

ISSN 1672-3708

CN 33-1306/Z

台州学院学报

JOURNAL OF TAIZHOU UNIVERSITY

总第242期 | VOL.45 NO.6



6.2023

TAIZHOU XUEYUAN XUEBAO

台州学院·数学建模团队

基本概况

数学建模是针对一个实际问题，构建能够近似刻画并解决该问题的数学模型的过程。数学建模不仅能解决一个个实际问题，更能体现解决问题的能力 and 思考方式，这种思考方式在实际生活中可以被广泛运用。

数学建模竞赛始于1985年，中国于1992年开始举办全国大学生数学建模竞赛(CUMCM)，该赛项被首批列入“高校学科竞赛排行榜”，也是世界上高校参赛规模较大的竞赛，2023年参赛人数近18万。

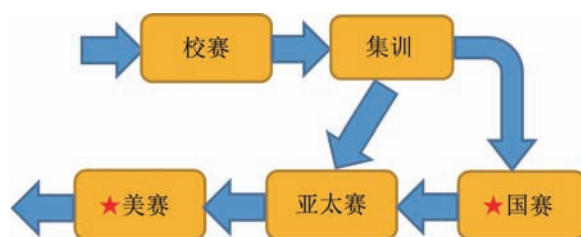
台州学院拥有一支优秀、稳定、甘于奉献的数学建模教师团队，团队现有10人，其中：教授1人，副教授4人，博士5人，讲师4人；台州市“500精英”人才2人。



数学建模师生团队合影

教学理念

数学建模教师团队成员精诚协作，在多个专业开设了数学实验和数学建模课程，定期为数模协会学生举办讲座；每年集中开展数学建模校级竞赛，组织为期六周的暑期集训，组建参赛队伍。指导教师根据学生的专业特点，培养学生的数学建模意识和能力，探索出“讲座→课程→(集)训→(竞)赛”的四进阶数模知识体系和“一训四赛”的学生团队培养模式；同时，秉持“在游泳中学会游泳”的理念，在集训环节为学生团队构建“五模（拟）三（点）评”的个性化指导，锤炼、提高学生的团队战斗力；师生共同努力，用汗水铺就一条共同成长之路。据统计，台州学院每年有上千名学生在数学建模的相关活动中受益。



“一训四赛”的学生团队培养模式

06
Vol.45 No.6

台州学院学报

JOURNAL OF TAIZHOU
UNIVERSITY (总第242期)

中国人文社会科学引文数据库(CISSCD)来源期刊

万方数据——数字化期刊群全文收录期刊

维普中文期刊全文数据库

中国知网全文数据库

主管单位 台州学院
Authority Taizhou University

主办单位 台州学院
Sponsor Taizhou University

主编 赵小明
Editor-in-chief Zhao Xiaoming

编辑出版 台州学院学报编辑部
Edited by Editorial Board of Journal of Taizhou University

地址 浙江省临海市东方大道605号
Address No. 605, Dongfang Avenue, Linhai, Zhejiang Province

邮编 317000
Postcode

网址 www.journal.tzc.edu.cn
The URL

印刷单位 台州印刷厂(有限公司)
Printed by Taizhou Printing House (Co., Ltd.)

国内发行 台州学院学报编辑部
Domestic Distributor Editorial Board of Journal of Taizhou University

国外发行 中国出版对外贸易总公司(北京782信箱 邮编:100011)

Overseas Distributor China National Publishing Industry Trading Corporation (P. O. Box 782, Beijing 100011, China)

电子邮箱 xbb@tzc.edu.cn
E-mail

电话 0576-85137169
Tel.

目次

数学与建模

基于贪心算法的无人机纯方位无源定位

..... 祁晨彬, 蔡依蝶, 陈建林, 王 洁 | 01

Wordle 答题情况的预测与分析 蔡忠哲, 曾日威, 林承铖, 李韶伟 | 08

能源转型在应对气候变化中的作用分析与预测

..... 赵怀天, 刘志鹏, 李永锋 | 14

生物学

台州市宁溪摇蚊属种类记述 刘 旭, 周 瑾, 余文洁, 曹家康, 齐 鑫 | 22

台州市蝗虫的物种多样性与区系分析

..... 张 晨, 陈思琦, 叶倩宏, 白 义, 王海瑞, 吴巧露 | 28

材料科学

Ti-22Al-25Nb 合金热处理后不同相含量的比较及其对

合金显微硬度的影响 章馨予, 邵 玲 | 34

环境科学

基于系统动力学的建筑业碳排放预测

——以浙江省为例 陈 莉, 杨雨欣 | 42

基于温室气体口径的城市碳当量达峰路径规划

——以浙江省T市为例 陈宇光 | 52

医 学

肺癌药物靶点与 Nur77 的研究进展 潘莉分, 李祯烨, 劳茹阳, 胡琼莹 | 60

miR-431-5p 通过 MAPK/ERK 通路促进食管鳞癌细胞增殖和迁移

..... 金 戈, 陈耀武, 李阳坤, 叶赛卿, 钱昕晔, 朱皓宇, 徐雯轩, 包晓红 | 69

教育·教学

专利视角下长三角高校技术创新策源分析 王香莲, 徐 萍, 胡金杰 | 77

数学课堂文化、学生的数学身份与数学学习 张晓贵 | 87

.....
《台州学院学报》2023 年总目次 | I

CONTENTS

Azimuth-only Passive Location of UAV Based on Greedy Algorithm Qi Chenbin, Cai Yidie, Chen Jianlin, Wang Jie	01
Prediction and Analysis for Wordle Cai zhongzhe, Zeng Riwei, Lin Chengcheng, Li Shaowei	08
Analysis and Prediction of the Role of Energy Transition in Addressing Climate Change Zhao Huaitian, Liu Zhipeng, Li Yongfeng	14
Notes on the Genus <i>Chironomus</i> Meigen from Ningxi Town, Taizhou Liu Xu, Zhou Jin, Yu Wenjie, Cao Jiakang, Qi Xin	22
Species Diversity and Fauna Analysis of Grasshoppers in Taizhou Zhang Chen, Chen Siqi, Ye Qianhong, Bai Yi, Wang Hairui, Wu Qiaolu	28
Comparison of Different Phase Contents in Ti-22Al-25Nb Alloy After Various Heat Treatments and Their Effects on the Microhardness of the Alloy Zhang Xinyu, Shao Ling	34
Research on Carbon Emission Prediction Based on System Dynamics — A Case Study of Zhejiang Province Chen Li, Yang Yuxin	42
Research On Prefectural Carbon Equivalent Peaking Path Planning Based on Greenhouse Gas Caliber — Taking T City in Zhejiang Province as an Example Chen Yuguang	52
Advancement on Anti-lung Cancer Target and Nur77 Pan Lifan, Li Zhenye, Lao Ruyang, Hu Qiongying	60
miR-431-5p Promotes the Proliferation and Migration of Esophageal Squamous Cell Carcinoma Cells via the MAPK/ERK Pathway Jin Jian, Chen Yaowu, Li Yangkun, Ye Saiqing, Qian xinye, Zhu Haoyu, Xu Wenxuan, Bao Xiaohong	69
Research on the Technological Innovation Sources of Universities in the Yangtze River Delta from Patents Perspective Wang Xianglian, Xu Ping, Hu Jinjie	77
Math Classroom Culture, Students' Math Identity and Math Learning Zhang Xiaogui	87
Complete Contents of <i>Journal of Taizhou University</i> in 2023	I

基于贪心算法的无人机纯方位无源定位

祁晨彬, 蔡依蝶, 陈建林, 王 洁

(台州学院 电子与信息工程学院, 浙江 临海 317000)

摘要:以全国大学生数学建模竞赛(CUMCM)赛题为背景,采用纯方位无源定位模型,确定无人机的位置。利用实时定位跟踪模型,结合贪心算法思想,对被动接收信号的无人机进行实时定位、追踪及位置的调整;同时通过 MATLAB 软件进行仿真实验,验证算法的有效性。

关键词:纯方位无源定位模型;无人机;实时定位跟踪模型;贪心算法;MATLAB

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.001

0 引言

无人机的有源定位原理是:由一个终端向外部信号源发射信号,当外部信号源定位后,再将定位信息发送回该终端。无源定位原理是:观测站不主动发射信号,而是通过接收目标辐射源或散射无线电信号来估计目标的位置^[1]。对于静态目标,常见的无源定位方式是通过测量和计算信号发射与接收到达的时间差^[2]来进行定位的;对于移动物体的无源定位,现有研究的主要对象是在海中航行的船只^[3],其信号源静止、位置信息已知且无偏差。而在无人机的实际运用中,发射信号的无人机位置常常未知或已知但不精确。目前国内外常用的无源定位技术有:到达角定位技术^[4];到达时间定位技术^[5];到达频差定位技术^[6];到达时间差定位技术^[7]。

纯方位无源定位是指在不使用向外发射信号设备的情况下,同时发射信号的设备不具备接收信号的能力,仅利用被动接收信号的无人机接收到的角度信息对该无人机进行定位^[8]。它具有保密性好、安全性高、距离远、隐蔽性强、抗干扰能力强、探测距离远等优点。

由于纯方位无源定位技术所用信息单一,对于高精度的定位实现较困难,特别是三维空间中移动物体的定位。徐勇^[9]建立了双站无源定位模型,通过采用最小二乘法的方式来实现对目标距离的有效估计。王本才等^[10]在多站纯方位无源定位算法的研究进展中指出:最小二乘算法、最大似然算法及扩展卡尔曼滤波算法等经典的算法仍存在不足,虽然其较先前的研究有了一定的进展,但依旧没有实现发射信号的无人机位置未知或已知但不精确情况下的有效定位。

本文以全国大学生数学建模竞赛赛题为背景,考虑由 9 架无人机(编号 F1~F9)近似均匀分布在某一圆周上,1 架无人机(编号 F0)位于圆心的圆形编队,在该圆上调整 9 架无人机的位置直至使其真正均匀分布。已知纯方位无源定位条件是:被动接收信号的无人机所接收到的角度信息为该无人机与任意两架发射信号的无人机的夹角。例如:被动接收信号的无人机 F3 接收到 F0, F1, F5 发射的角度信息 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, 记 $F_0 \sim F_9$ 分别表示无人机 F0~F9 所在位置,如图 1 所示。本文拟建立基于贪心算法思想的纯方位无源定位无人机的模型,调整该模型相应的参数,使其适用于圆形编队。结果表明,纯方位无源定位模型至

收稿日期:2023-09-14

作者简介:祁晨彬(2002—),男,浙江温州人,2021级数学与应用数学(师范)专业本科生;王 洁(通信作者)(1982—),女,浙江仙居人,讲师,主要从事数学建模、组合优化等研究。

少使用3架信号发射无人机才可对多架无人机进行有效定位。

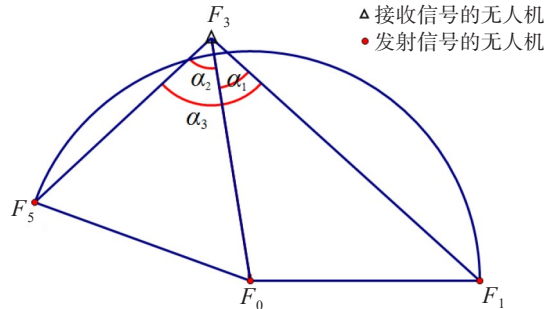


图1 被观测无人机接收到的方向信息示意图

1 模型建立和求解

由于无人机自身可以感应高度信息,即可自动调整所有无人机至同一高度,因此,文中仅考虑二维平面对被动接收信号的无人机的定位。

1.1 基本假设

假设 1:将无人机视为质点,不考虑其朝向、体积等因素对定位准确度的影响。

假设 2:忽略无人机在运动过程中产生的扰动对信号接收的影响。

假设 3:在运动过程中,不考虑调整所需时间,仅考虑某一时刻各个无人机的位置。

1.2 无人机纯方位无源定位模型

无人机纯方位无源定位模型是指由编队中某几架无人机发射信号,其余无人机被动接收信号,从中提取出方向信息进行定位、调整无人机位置的模型,可分为信息全已知模型和信息部分已知模型。

1.2.1 发射信号的无人机信息全已知模型

全已知表示发射信号的无人机位置无偏差且编号已知。对此我们建立被动接收信号的无人机的定位模型,由位于圆心的无人机(F_0)和编队中另外两架无人机发射信号,从而调整其余位置略有偏差的被动接收信号的无人机。

设 F_0 为已知位置的一架无人机, F_1 和 F_5 为另外两架发射信号的无人机。3 架无人机构成以 F_0 为圆心、 R 为半径的圆,且 F_1, F_5 均在该圆上。该圆所处平面内有一点 P , P 指代其余待定位的无人机,将 P 分别与 F_0, F_1, F_5 相连接,分别标记 $\angle F_0PF_1, \angle F_0PF_5, \angle F_1PF_5$ 为 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 。若 $\alpha_3 > 90^\circ$, 则 P 在弧 F_0F_1 的劣弧附近;反之, P 在优弧附近。仅考虑 P 与 F_0 和 F_1 时,由于线段 F_0F_1 及其对应角 α_1 已知,利用虚拟轨迹算法作出 P 点的运动轨迹(如图 2 所示),不难发现 P 的运动轨迹为一段圆弧。

设 F_1 和 F_0 之间的直线距离为 R ,且 α_1 已知。当 $\triangle F_0PF_1$ 为以 α_1 为顶角的等腰三角形时,利用等腰三角形三线合一以及同弧所对应的圆心角是圆周角的两倍的性质得出:

$$\angle F_0OF_1 = 2\alpha_1 \quad (1)$$

$$r_1 = \frac{R}{2\sin\alpha_1} \quad (2)$$

同理,在仅考虑 P, F_0 和 F_5 时,可确定 P 在以 r_2 为半径的圆 O_2 上运动。结合阿波罗尼斯圆^[11]的思想,计算出两圆交点坐标,即 P 和 F_0 的坐标;再结合圆的性质以及余弦公式,则可计算出 P 的极坐标。

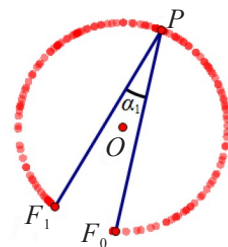


图2 仅考虑点 P, F_0 和 F_1 时 P 点的运动轨迹图

以 F_0 为极点,射线 F_0F_1 为极轴,长度单位为 m,角度单位为 $(^\circ)$,逆时针方向为正方向建立一个极坐标系。 F_0 的极坐标为 $(0,0)$, F_1 的极坐标为 $(R,0)$ 。由于圆上的 9 架无人机是均匀分布且发射信号的无人机位置准确,则无人机 F_5 的极坐标为 $(R,160^\circ)$ 。由于圆相对于任意的直径对称,可假设 P 在弧 $F_1F_0F_5$ 的优弧附近;若 P 在弧 $F_1F_0F_5$ 的劣弧附近,只需将最终所求得的位置坐标关于射线 F_0F_1 对称, F_m 和 F_n (其中 $m < n$) 分别表示除 F_0 外,另外两架发射信号的无人机定位,如图 3 所示。

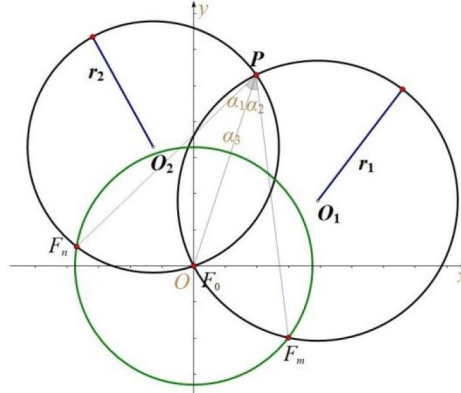


图 3 被动接收信号的无人机定位图

为了计算简便,以 F_0 为坐标原点,直线 F_0F_1 方向为 x 轴,其垂直方向为 y 轴建立直角坐标系。首先,计算出圆心 O_1 和 O_2 的极坐标:

$$O_1 = (r_1, 90^\circ - \alpha_1) = \left(\frac{R}{2 \sin \alpha_1}, 90^\circ - \alpha_1 \right), \quad (3)$$

$$O_2 = (r_2, 70^\circ + \alpha_2) = \left(\frac{R}{2 \sin \alpha_1}, 70^\circ + \alpha_2 \right). \quad (4)$$

利用极坐标转直角坐标公式^[12],计算出圆心 O_1 和 O_2 的直角坐标如下:

$$O_1 = (r_1 \sin \alpha_1, r_1 \cos \alpha_1), \quad (5)$$

$$O_2 = (r_2 \cos(70^\circ + \alpha_2), r_2 \sin(70^\circ + \alpha_2)). \quad (6)$$

利用式(5)和式(6),计算出圆方程如下:

$$\left[x - r_1 \cos(90^\circ - \alpha_1) \right]^2 + \left[y - r_1 \sin(90^\circ - \alpha_1) \right]^2 = r_1^2, \quad (7)$$

$$\left[x - r_2 \cos(70^\circ + \alpha_2) \right]^2 + \left[y - r_2 \sin(70^\circ + \alpha_2) \right]^2 = r_2^2. \quad (8)$$

由于 $(0,0)$ 为无人机 F_0 的坐标,解得点 P 的直角坐标为

$$\begin{cases} x = \frac{2r_1(\sin \alpha_1 + k \cos \alpha_1)}{1 + k^2}, \\ y = \frac{2kr_1(\sin \alpha_1 + k \cos \alpha_1)}{1 + k^2}. \end{cases} \quad (9)$$

其中, $k = \frac{r_1 \sin \alpha_1 - r_2 \cos(70^\circ + \alpha_2)}{r_2 \sin(70^\circ + \alpha_2) - r_1 \cos \alpha_1}$, 则点 P 的极坐标为

$$\left(\sqrt{x^2 + y^2}, \arctan k \right). \quad (10)$$

因此,可以将上述方法推广到信号发射无人机 F_m 和 F_n ,建立被动信号无人机的定位,以 F_0 为极点,射线 F_0F_m 为极轴,长度单位为 m,角度单位为 $(^\circ)$,逆时针方向为正方向建立一个极坐标系。无人机 F_0 的极坐标为 $(0,0)$,无人机 F_m 的极坐标为 $(R,0)$,无人机 F_n 的坐标为 $(R,40^\circ(n-m))$ 。经计算得,点 P 的极

坐标依旧为 $(\sqrt{x^2 + y^2}, \arctan k)$ 。

1.2.2 发射信号的无人机信息部分已知模型

部分已知模型是指若发射信号的无人机位置无偏差,某位置略有偏差的无人机除了接收到编号为 F_0 和 F_1 的无人机发射的信号,还接收到编队中若干编号未知(即位置未知)的无人机发射的信号,需确定发射信号无人机架数以及对位置偏差的无人机进行调整。

已知 F_0 和 F_1 的坐标及其对应角 $\angle F_0PF_1 = \alpha$ 的大小,即可确定点 P 的运动轨迹是以 O_1 为圆心, r_1 为半径的圆弧。由于 $O_1F_0 = O_1F_1 = r_1$,则可确定不论角 α 如何变化,圆心 O_1 始终在线段 F_0F_1 的中垂线上。假设编号及位置信息未知的信号发射无人机有 i ($i \leq 7$) 架,则点 P 处共可以收到 $i + 1$ 个以射线 PF_0 为边的角度信号。将接收到除了 α 以外的角,按角度从小到大排列,依次标记为 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ 。令无人机 F_0 所在位置为圆心 P_0 ,无人机 F_1 所在位置为 P_1 ,逆时针方向标记无偏差时各无人机所对应的位置(如图4所示)为 P_j ($j = 2, 3, \dots, 9$) 关于射线 P_0P_1 上下对称,即 P_2 和 P_9 对称, P_3 和 P_8 对称, P_4 和 P_7 对称, P_5 和 P_6 对称。

由于发射信号的无人机只能确定 F_1 和 F_0 的编号及位置信息,不能确定其余发射信号的无人机的位置,即其余发射信号的无人机可能处于 P_j ($j = 2, 3, \dots, 9$) 的任意点。假设仅增加一架发射信号的无人机,被动接收信号的无人机接收到3个方向信号,分别为 $\alpha, \alpha_1, \alpha + \alpha_1$ 。此时 P_j 中任意一点作为信号发射点,都可以在圆 O_1 上找到一点 P ,使得 $\angle P_0PP_j = \alpha_1$ 。由此可以说明无人机信息部分已知时,仅3架无人机不能进行有效定位。

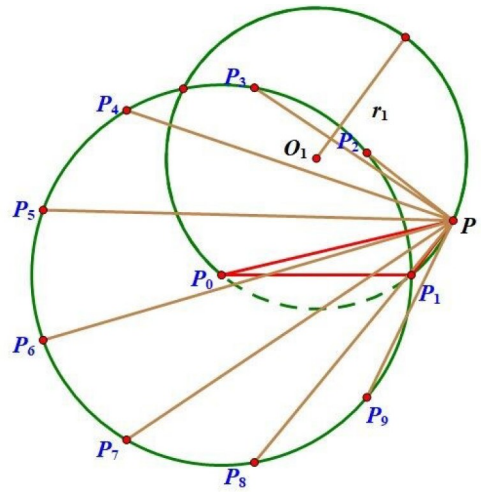


图4 T 时刻 $\angle P_0PP_j$ 示意图

保持 α 不变,即保持点 P 在圆弧上运动。连接 PP_j ,记录在点 P 的运动过程中 $\angle PP_jP_0$ 实时变化情况。当 $\alpha = 70.36^\circ$ 时,点 P 运动过程中 $\angle PP_jP_0$ 的实时变化情况如表1所示。

表1 $\alpha=70.36^\circ$ 时点 P 运动过程中 $\angle PP_jP_0$ 实时变化情况表

时刻 T	$\angle 1$	$\angle 2$	$\angle 3$	$\angle 4$	$\angle 5$	$\angle 6$	$\angle 7$	$\angle 8$	单位: ($^\circ$)
1	3.71	15.76	23.15	35.11	42.38	53.97	60.79	70.17	
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	
$n-2$	4.76	14.77	24.26	34.19	43.55	53.22	62.04	70.13	
$n-1$	4.53	14.98	24.02	34.39	43.29	53.38	61.76	70.14	
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	

若在 F_0 和 F_1 的基础上再增加 i 架无人机,可以对点 P 进行有效定位。相当于在某时刻 T 随机取 $\angle 1 \sim \angle 8$ 中的 i 个角度信息 $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i\}$; 同样,在 T' 时刻随机取 $\angle 1 \sim \angle 8$ 中的 i 个角度信息 $A' = \{\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_i\}$ 。当且仅当 $T = T'$ 时,使得 $A = A'$,那么 i 个角度信息可以唯一确定圆 O_1 上一点 P ,也就是说至少还需要增加 i_{\min} 架发射信号的无人机,才可以实现被动接收信号的无人机的有效定位。

为减少运算次数、优化算法,对上述数据进行以下处理:比较 $1 \sim n$ 时刻中任意两个时刻的角度数据,记录下这两个时刻8个角中角度相同的个数 N ; 找出任意时刻任意组合下具有最多相同角度的个数 N_{\max} ,其中, $N_{\max} + 1 = i_{\min}$ 。具体流程如图5所示。

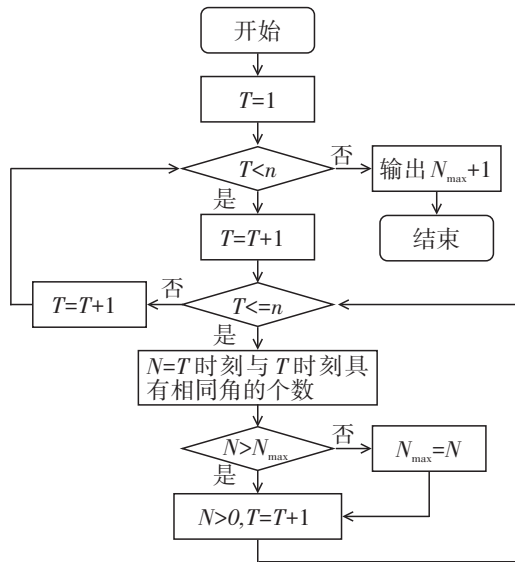


图5 优化计算流程图

1.3 基于贪心算法思想建立实时定位跟踪模型

考虑将无人机调整时的每一时刻分割都视为静止状态,从而独立考虑采用贪心算法进行实时定位且决定接下来的调整方案。

分析表1的数据,发现编号为F1的无人机在半径为100 m的圆周上,所以假设编号为F1的无人机位置无偏差。根据表1的数据我们利用MATLAB软件画出了无人机的初始点坐标,以 F_0 为圆心,100 m为半径的圆,以及每一架无人机均匀分布在圆上的最终结果,如图6所示。从图6可以得出,除了 P_0 和 P_1 外,其余所有的无人机位置都是有偏差的。

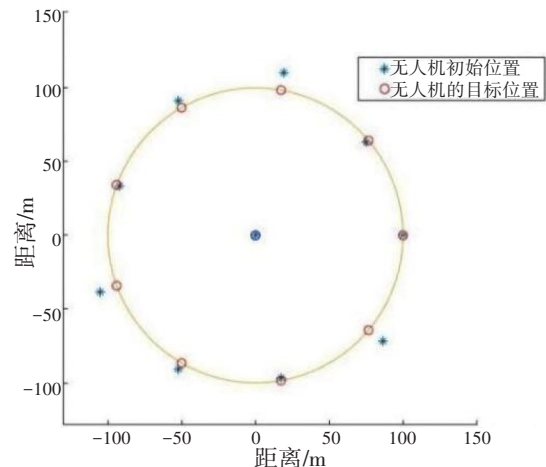


图6 无人机初始位置与目标位置图

针对无人机的调整方案,在某一时刻时,将除 P_0 和 P_1 外的所有待调整的无人机位置记为 P 。发射电磁信号的无人机位于点 P_0 和 P ,接收信号的无人机位于点 P_1 ,可以得到 α_1 ,要将 F_3 移动到目标位置 P_3 , α_1 的角度应该为 50° ,其计算方法如下:

$$\frac{180^\circ - 40^\circ \times P_i}{2} \quad (P_i = 1, 2, 3, 4) \quad (11)$$

其中: $P = P_2$ (或 P_9)时对应的 P_i 为1, $P = P_3$ (或 P_8)时对应的 P_i 为2,以此类推,如图7所示。

记 $\Delta\delta = |\alpha_1 - \angle P_0 P_1 P_3|$ 为目前夹角与目标夹角的差值, $\Delta\delta_t$ 为 t 时刻的 $\Delta\delta$,建立实时定位跟踪模型为

$$\Delta\delta_t = 0 \quad (12)$$

步骤一:将 F_3 这个点分别向四周扩展一次(向四周移动一个小单位),移动一次后退回,观察 α_1 的变化。如果 α_1 的度数是趋近于目标位置的度数(50°),就向该方向继续移动,重复以上操作,直到 $\alpha_1 = 50^\circ$ 。利用MATLAB软件编程分析可得移动后的无人机 F_3 是在射线 $P_1 P_3$ 上。

将 F_3 通过上述步骤迭代到射线 $P_1 P_3$ 上后,发射电磁信号的无人机位于点 P_0 和 P_1 , F_3 作为接收信

利用 MATLAB 软件计算得到:当 $\alpha = 37.96^\circ$ 时, $N_{\max} = 2, i_{\min} = N_{\max} + 1 = 3$ 。

经检验发现,当角度 α 改变时,不会使 N_{\max} 继续增大,那么只要再增加 3 架发射信号的无人机就可以进行有效定位。定位精度不同,所需要的发射信号的无人机数量也不同。

3 结语

本文采用纯方位无源定位的方法确定无人机的位置,利用实时定位跟踪模型和贪心算法思想,改变该实时定位跟踪模型相应的参数,实时追踪定位被动接收信号的无人机,调整位置略有偏差的无人机,使其适用于圆形编队队形。

参考文献:

- [1]张铠宇,于昊天,卢雨.一种基于双站协同的时差频差定位方法[J].系统工程与电子技术,2023,45(9):2698-2075.
- [2]陈鹏,陈洋,王威.无人机声学定位技术综述[J].华南理工大学学报(自然科学版),2022,50(12):109-123.
- [3]张鲲,沈重,王海丰,等.海上侦察船的纯方位无源定位技术研究[J].舰船科学技术,2018,40(2):19-21.
- [4]WEI Y L,CHOUDHURY R R.Estimating angles of arrival (AoA) of mutiple echoes in a steering vector space[EB/OL].(2021-09-27)[2023-05-20].https://doc.taixueshu.com/foreign/rgPrep2021213251533.html?utm_source=doc_share.
- [5]ZHAO S,ZHANG X P,CUI X,et al.A new TOA localization and synchronization system with virtually synchronized periodic asymmetric ranging network[J].IEEE Internet of Things Journal,2021,8(11):9030-9044.
- [6]HO K C,LU X,KOVAVISARUCH L.Source localization using TDOA and FDOA measurements in the presence of receiver location errors:Analysis and solution [J].IEEE Transactions on Signal Processing,2007,55(2):684-696.
- [7]BOTTIGLIERO S,MILANESIO D,SACCANI M,et al.A low-cost indoor real-time locating system based on TDOA estimaton of UWB pulse sequences[J].IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,2021,70:1-11.
- [8]于振海.多普勒无源定位[D].西安:西安电子科技大学,2007.
- [9]徐勇.基于LS的双站纯方位无源定位算法[J].光学与光电技术,2008(2):9-11.
- [10]王本才,王国宏,何友.多站纯方位无源定位算法研究进展[J].电光与控制,2012,19(5):56-62.
- [11]赵晓飞,傅鲜兵.阿波罗尼斯圆与平面向量的“碰撞”[J].上海中学数学,2020(6):21-23.
- [12]罗海.极坐标系下两类变换公式的推导[J].甘肃教育学院学报(自然科学版),2000(增刊1):18-19.
- [13]崔雪娇,曾成,徐占然,等.基于贪心算法的云计算资源调度策略[J].微电子学与计算机,2016,33(6):41-43.
- [14]康桂花.计算概论[M].北京:中国铁道出版社,2016.

Azimuth-only Passive Location of UAV Based on Greedy Algorithm

Qi Chenbin, Cai Yidie, Chen Jianlin, Wang Jie

(School of Electronics and Information Engineering, Taizhou University, Linhai 317000, China)

Abstract: Based on the background of the CUMCM B, azimuth-only passive positioning model is used to locate the position of UAV(Unmanned Aerial Vehicle) first. Then, the real-time positioning and tracking model, combined with the greedy algorithm idea, real-time positioning, tracking and position adjustment are performed to the UAV that passively receives the signal. At the same time, the effectiveness of the algorithm is verified by MATLAB simulation experiments.

Keywords: azimuth-only passive positioning model; UAV; Real-time positioning and tracking model; greedy algorithm; MATLAB

Wordle 答题情况的预测与分析

蔡忠哲, 曾日威, 林承铨, 李韶伟

(台州学院 电子与信息工程学院, 浙江 临海 317000)

摘要: Wordle 是《纽约时报》的一款“猜词”游戏, 玩家可根据“试错”的提示信息猜出正确的“谜底”。根据 2023 年美国大学生数学建模竞赛(MCM/ICM)赛题数据, 建立了预测答题情况的 ARIMA-LSTM 模型和单词的难度分类模型, 并按照模型选出难度恰当的“单词”作为“谜底”, 以实现《纽约时报》预测 Wordle 玩家“试错”次数和依难度对单词进行分类的功能。

关键词: ARIMA-LSTM 预测; K-means 聚类分析; 混淆矩阵

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.002

0 引言

Wordle 是《纽约时报》推出的一款“猜词”游戏, 因具有趣味性和益智性, 深受大众欢迎。Wordle 玩家可通过多次的“试错”得到线索, 从而猜出“谜底”; 而 Wordle 依照“试错”的次数可以给玩家评分。本文利用该游戏的运作原理和单词的属性解决两个问题, 以实现《纽约时报》可以预测未来某一天 Wordle 游戏的答题情况, 并对“谜底单词”进行难度分类。两个问题具体如下:

问题一: 根据 2023 年美国数学建模竞赛(MCM/ICM)赛题数据, 建立合理的预测模型, 预测 2023 年 3 月 1 日的答题情况, 并研究单词属性对答题情况的影响。

问题二: 建立“谜底”单词的难度分类模型, 并说明分类结果的正确性。

1 模型建立与求解

1.1 ARIMA-LSTM 预测模型

因赛题所提供的时序数据中含有线性和非线性成分, 预测难度较大, 所以我们选用了 ARIMA-LSTM 预测模型(自回归滑动平均取值和长短期记忆神经网络的组合模型: Autoregressive Integrated Moving Average, Long Short-Term Memory)^[1-2], 以便精确地预测 2023 年 3 月 1 日的答题结果。

1. 建立 ARIMA 模型(自回归滑动平均模型, Autoregressive Integrated Moving Average)。建立过程包括: 数据的平稳性检验、差分化、确定参数、参数显著性检验、模型预测。

(1) 平稳性检验。依据自相关函数 ACF (Autocorrelation Function) 和偏自相关函数 PACF (Partial Autocorrelation Function)^[3]的结果来量化数据的平稳性, 定义自相关函数为

$$R(t, s) = E(f_t - \bar{f})(f_{t+k} - \bar{f}) \quad (1)$$

自相关数为

$$\bar{\mu}_k = \frac{R(t, s)}{\sum_{t=1}^n (f_t - \bar{f})^2} \quad (2)$$

收稿日期: 2023-09-01

作者简介: 蔡忠哲(2001—), 男, 浙江宁波人, 2020 级数学与应用数学(师范)专业本科生; 李韶伟(通信作者)(1979—), 男, 浙江仙居人, 讲师, 博士, 主要从事数学建模方面研究。

其中: f_t 为当天需要该次数完成游戏的人的比例数, \bar{f} 为该段时间内需要该次数完成游戏的人所占比例数的平均值, E 表示期望, k 为滞后系数。

定义偏自相关函数为

$$\bar{\alpha}_{kk} = \frac{\bar{D}_k}{\bar{D}} \quad (3)$$

其中: $\bar{D} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \overline{\mu_{k-1}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{\mu_{k-1}} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$, $\bar{D}_k = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \overline{\mu_1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{\mu_{k-1}} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$ 。

根据原始数据描绘图形,如图1所示。由图1可直观看出,原始数据的平稳性不佳,需要对其进行差分处理。

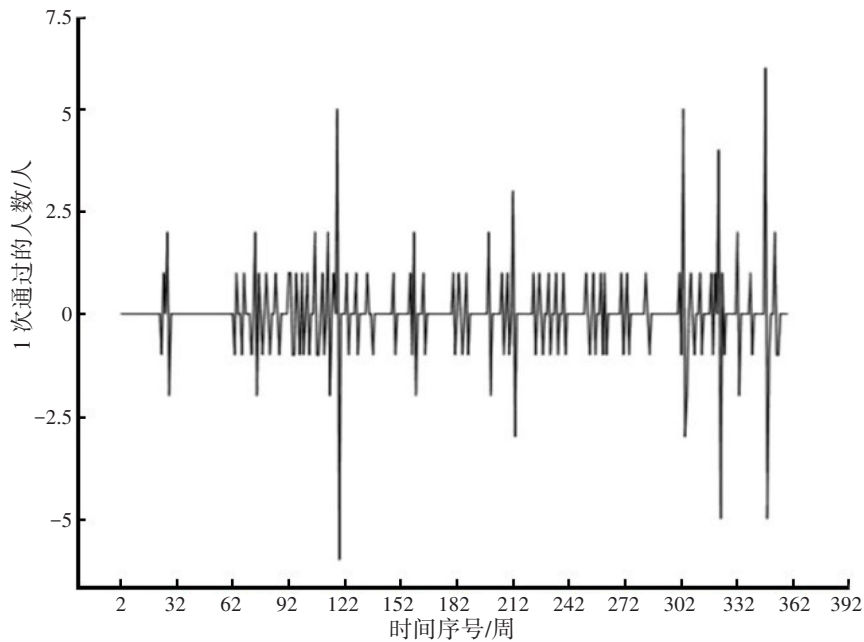


图1 原始数据图形

(2)差分化。根据人们的数据处理经验,对数据差分的阶数不宜过高。本文对数据经过一阶差分处理,即可得到“平稳”的数据,因此确定差分阶数 $d = 1$ 。

(3)确定参数。通过对自相关 ACF 和偏自相关 PACF 进行分析,确定 ARIMA 模型的参数 p 和 q ,相关的数据图形如图2所示。

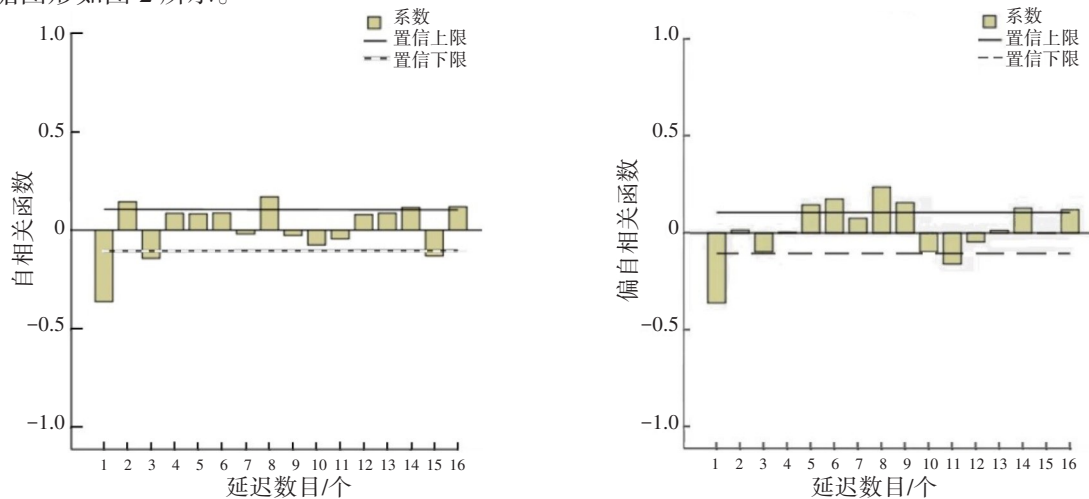


图2 自相关图与偏自相关图

从图2中的自相关ACF图可以看出,数据为3阶拖尾;而从偏自相关PACF图可以看出,数据为1阶拖尾。因此,可以确定 $p=3, q=1$ 。这样,模型的3个参数(p, d, q)已全部确定。

(4)参数显著性检验。通过残差检验来判断数据是否为白噪声序列,基于假设检验 H_1 和 H_0 ,通过构建LB(Ljung-Box)统计量来分析,即

$$LB = N(N+2) \sum_{k=1}^M \frac{\bar{\mu}_k^2}{N-k} - X^2(m), \quad (4)$$

其中: $\bar{\mu}_k^2$ 为自相关系数, M 为项数之和, N 为项数。

假设 H_1 成立时,模型有效性显著;而假设 H_0 成立时,残差序列存在线性关系,模型的显著性不足。通过实际的数据检验可得 H_1 成立,模型有效性显著。

(5)ARIMA模型预测。经过上述步骤,模型被确定下来,使用该模型可预测得到各类型人数的比例,即

$$\bar{Q}_t = \left(\sum_{j=1}^p \delta_j Y_{t-j} - \sum_{m=1}^q Z_{t-m} \right), \quad (5)$$

其中: Y_{t-j} 为差分平稳序列; Z_{t-m} 表示随机误差; p 为自回归系数; q 为移动平均数。

经过模型预测,可得到从2022年1月1日至2023年3月1日的答题情况,如图3所示。接着,可进一步得到2023年3月1日的预测结果。

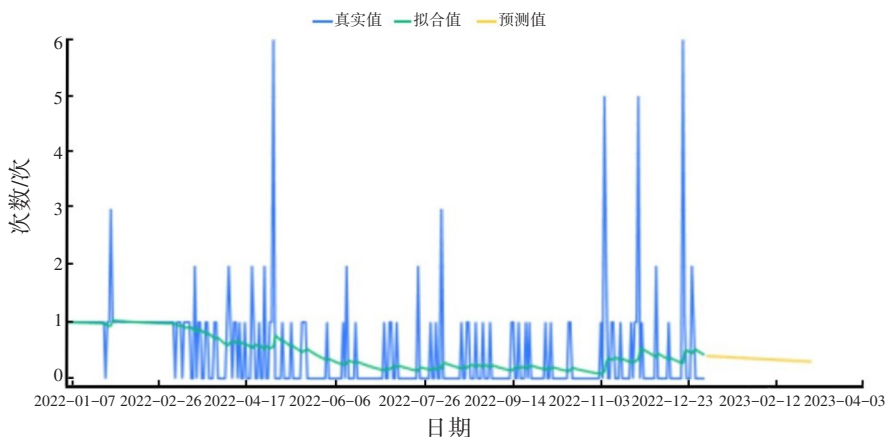


图3 2022年1月1日到2023年3月1日的预测结果

2. 构建LSTM模型(长短期记忆神经网络, Long Short-Term Memory)。建立过程包括:处理数据、参数设定、训练与输出。

(1)处理数据。将原始的序列数据做类似归一化处理,得到:

$$y_{t1} = 2 \times \frac{y_t - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}, \quad (6)$$

其中: y_{t1} 为处理后的数据, y_{\max} 、 y_{\min} 分别为最大值、最小值。

(2)参数设定。对于LSTM模型中的参数,包括训练窗口数、节点数、迭代训练数等,为保证预测的效果,选用修正线性激活函数ReLU(Rectified Linear Unit)^[4]。

(3)训练与输出。输入答题人数进行训练,使用ARIMA模型预测答题情况,经反向归一化后得出预测值。为保证预测的准确性,采用加权平均方法将两种结果结合起来,得到更为合理的预测值,如表1所示。

表1 预测结果

预测指标	ARIMA 结果	最终结果
答题人数	25 600	25 485.28
答题困难人数	2 880	2 738.46
1次成功/%	0.12	0.00
2次成功/%	6.64	5.60
3次成功/%	18.28	16.89
4次成功/%	26.83	37.78
5次成功/%	25.70	19.68
6次成功/%	21.52	18.84
6次以上/%	0.91	1.21

1.2 K-means 聚类分析模型

K-means 聚类分析^[5]可实现高效的分类,要依照难度对“单词”进行分类。首先,要确定每一个单词的“难度”。显然,体现单词难度的指标有很多,例如单词生僻程度、单词中重复字母出现的个数等,为避免人为赋值的主观性,这里采用所有人通过游戏所需不同次数的概率 P_i 来构建难度指标。

(1) 指标选取。对一个单词来说,确定简单模式的人为 V , 困难模式的人为 T , 简单模式下不同次数通过游戏的人为 (v_1, v_2, \dots, v_7) , 困难模式下不同次数通过游戏的人为 (t_1, t_2, \dots, t_7) 。那么,对该单词来说,第 j 次通过的概率为

$$P_j = \frac{v_j}{V} + \frac{t_j}{T} = \frac{Tv_j + Vt_j}{VT} \quad (7)$$

但是,每个单词在困难模式和简单模式下耗费不同次数通过游戏的人数是未知的,因此上述公式无法直接求解。对公式进行放缩后得到:

$$\frac{Vv_j + Vt_j}{VT} > P_j > \frac{Tv_j + Tt_j}{VT} \quad (8)$$

经过变形,上述不等式的两边都是可求的,此时 P_j 可简化为取两数的平均值,即

$$P_j = \frac{1}{2} \left(\frac{v_j + t_j}{T} + \frac{v_j + t_j}{V} \right) \quad (9)$$

由此下来,每个单词的难度指标已构建完成。根据选取的指标,计算每个单词各项难度指标值,得出题目所给单词的难度特征。

(2) 原始数据标准化。建立原始数据与处理后数据的关系式:

$$x = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X} \quad (10)$$

其中: X 为原始数据; x 为处理后的数据。

将处理后的数据集分为 4 类,在数据集中随机选取 4 个中心点,坐标为

$$(x_i^1, x_i^2, x_i^3) \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (11)$$

其中, x_i^j 为第 i 个中心点在第 j 项指标的数值。

(3) 计算距离。计算得到所有点与中心点的距离:

$$D_{m,i} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (y_m^k - x_i^k)^2} \quad (12)$$

其中: $D_{m,i}$ 为第 m 个点到第 i 个中心点的距离; m 为数据点个数; y_m^k 为第 m 个点第 k 项指标值。

(4)聚类分组。根据所有的点与各中心点的距离,把所有的点分配给距离其最近的点,形成一个小类群。

(5)中心点的计算。设置每个类群中心点的计算公式,即

$$y_i = \frac{\sum_{j=1}^M x_{j,i}}{M}, \quad (13)$$

其中: $x_{j,i}$ 为该类群中第 j 个点第 i 项分量; M 为该类群中点的个数。

(6)迭代。不断重复上述步骤,直到迭代收敛,所有的点被分为几个小类群,也得出了每个类群的中心点。对所给点进行聚类的结果如图4所示。

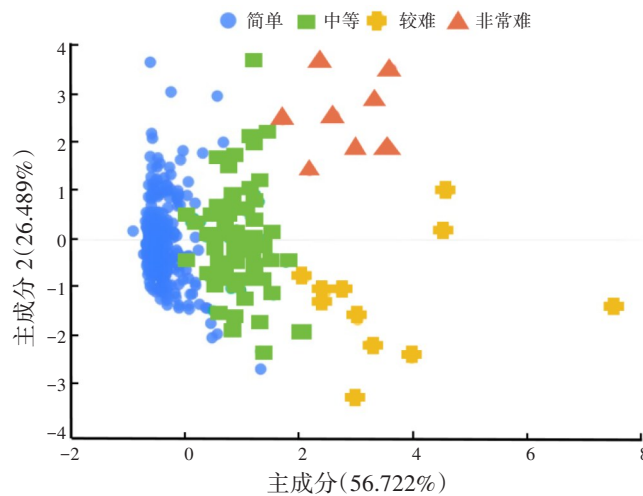


图4 聚类散点图

由图4可知,聚类结果共分为4类,各类占比分别为78.552%,16.156%,3.064%,2.228%;将4类结果分别命名为简单、中等、较难、非常难。经验证,该分类结果与实际相符,数据可靠。

(7)轮廓系数计算。为了说明分类模型的聚类效果较好,引入衡量聚类效果优劣的轮廓系数,它是一个可以用来描述聚类后各个类别轮廓清晰程度的指标。

首先,定义内聚度,即求出一个点与所处类群内元素的紧密程度,公式为

$$a_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i \neq j}^n D_{ij}, \quad (14)$$

其中, D_{ij} 为第 i 个点到第 j 个点的距离,内聚度越小说明结构越紧密。还需要在每一个类群中计算 b_i ,计算方法同 a_j ,但要取其最小值,即

$$b_i = \min \{ b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im} \}; \quad (15)$$

接着,定义轮廓系数,公式为

$$S(i) = \frac{b_i - a_i}{\max(b_i, a_i)}. \quad (16)$$

轮廓系数的取值在-1~1之间,轮廓系数越接近1,说明聚类效果越好;反之,效果越差。经过计算,分类结果轮廓系数为0.83,数值接近1,说明分类后轮廓清晰,效果较好。

(8)模型准确性验证。为了验证分类模型的准确性,即确定预测分类结果和实际分类结果的差异,引入用于显示预测情况与真实情况差异的混淆矩阵^[6]。首先,根据分类结果构建4×4的矩阵 $A(a_{ij})$ 。其中, a_{ij}

表示实际属于第 i 类而被预测为第 j 类的个数。接着,定义几个重要的指标: $TP(i)$ 表示实际为第 i 类而被预测为第 i 类; $FP(i)$ 表示实际为其他类而被预测为第 i 类; $TN(i)$ 表示实际不是第 i 类,预测也不是第 i 类; $FN(i)$ 表示实际为第 i 类而被预测为其他类。最后,引入精度和正确率指标,计算公式分别为:

$$P(i) = \frac{TP(i)}{TP(i) + FN(i)}, \quad (17)$$

$$A(i) = \frac{TP(i) + TN(i)}{M}, \quad (18)$$

其中, M 为样本总数。分别计算出 4 类结果的 $TP(i)$, $FP(i)$, $TN(i)$, $FN(i)$, 如表 2 所示。

表 2 混淆矩阵的几个指标

属性	简单	中等	较难	非常难
TP	243	29	6	4
FP	8	7	46	16
TN	71	295	299	335
FN	37	28	8	4

按照式(17-18)分别计算出分类模型的精度和正确率,如表 3 所示。由表 3 可知,精度和正确率可以说明分类模型的效果,数值越高说明分类模型准确性越强。从表中正确率可以看出,本模型对简单和中等难度单词分类的准确性较高,对较难和非常难单词的分类准确性一般。由于较难和非常难的单词在所有单词中占比较低(<5.3%),所以分类结果不会对游戏造成负面影响。

表 3 分类模型的准确性和精确度

属性	简单	中等	较难	非常难
精度/%	87.4	90.2	84.9	91.4
正确率/%	89.8	80.5	67.7	70.5

2 结语

本文首先构建了 ARIMA-LSTM 模型来预测 Wordle 的答题情况。通过数据分析,确定模型的参数值,再综合两个模型的预测值,给出 2023 年 3 月 1 日的预测结果。根据结果,3~6 次尝试的成功率占比总计达 92.33%,说明绝大多数人需要通过 3~6 次尝试才能完成比赛。其次构建了单词的“难度”指标并进行聚类分析。根据聚类结果,将所有单词分为简单、中等、较难、非常难 4 类,其中简单类占比最高;同时成功利用混淆矩阵引申出的精度和正确率,衡量单词分类结果的准确性。结果表明:大多数被选为“谜底”的单词是较为简单的,这也比较符合实际。因为如果选择的单词很难,会大大削弱玩家的参与热情和积极性,不利于游戏推广。因此,Wordle 游戏可采用本文的模型确定备选谜底单词的“难度”,避免将难度太高的“单词”作为“谜底”。

参考文献:

- [1]徐江,张晨飞,王富强,等.基于 ARIMA-LSTM 的容器云资源预测方法[J].重型机械,2022,371(6):6-14.
- [2]李丹青,杨超宇.基于 ARIMA 和 LSTM 的瓦斯浓度预测研究[J].新乡学院学报,2022,39(9):45-48.
- [3]李忠虎,何苗.民航客运量与国民受教育水平相关性研究[J].四川文理学院学报,2020,30(2):76-81.
- [4]刘富勤,刘颖,孔凡辉.基于 BP 神经网络的盾尾油脂消耗预测模型[J].湖北工业大学学报,2022,37(5):84-88.

能源转型在应对气候变化中的作用分析与预测

赵怀天, 刘志鹏, 李永锋

(台州学院 电子与信息工程学院, 浙江 台州 318000)

摘要: 为了应对全球气候变化问题, 收集全球能源转型数据, 采用数据分析和可视化图表技术, 分析了可再生能源对全球气候变化的影响, 以及中国在世界能源转型中的作用。为探究中国未来 CO₂ 排放及相关能源的发展情况, 采用 5 种不同的机器学习模型, 评估它们在 CO₂ 排放量增长率数据集上的精确度, 进而选择最优模型对水力发电、风力发电及太阳能发电在总量中的占比进行预测分析, 提出全球在能源转型中应对气候变化的可行性建议。

关键词: 能源转型; 气候变化; 机器学习; 数据可视化; 分析与预测

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.003

0 引言

持续上升的全球气温令人担忧, 空气质量的恶化影响着各个国家的发展, 不断上升的海平面威胁着部分国家的生存, 这些情况警示了能源转型和改善气候的紧迫性, 逐步淘汰传统能源产业, 鼓励、支持、大力发展新能源产业已经成为各国默契的发展路线。在全球能源转型中, 中国扮演着至关重要的角色, 中国政府积极推动能源转型和可持续发展, 采取了一系列政策措施, 以实现能源的低碳、清洁、高效和可再生。此外, 中国在新能源技术研究和应用方面也取得了巨大进展, 为全球能源转型提供了有力的帮助。

21 世纪以来, 以风能和太阳能为代表的新能源产业异军突起, 它们在改善气候变化、促进节能减排过程中发挥着越来越重要的作用。本文重点分析了 21 世纪可再生能源对气候变化的影响, 以及中国的能源转型情况和可再生能源与 PM_{2.5} 浓度的关系, 并对中国的 CO₂ 排放量增长率及相关能源占比进行了预测, 以此唤醒人们的环境意识, 共建美丽家园。

1 数据来源与研究思路

1.1 数据来源

以和鲸 ModelWhale 数据云端协作工具^[1]作为数据建模和数据分析平台, 利用 2023 年中国计算机设计大赛大数据主题赛中的数据集, 搜集“用数据看世界(Our World in Data)”平台数据^[2]、世界银行开放数据^[3]、BP(英国石油公司, British Petroleum)世界能源统计年鉴数据^[4]和国务院新闻办公室发布的数据^[5]为研究对象, 共计 6 852 条。将这些数据进行清洗和处理后最终得到 3 496 条数据, 这些数据为后续的数据挖掘与可视化分析提供了数据支持。

1.2 研究思路

本文的研究思路如图 1 所示。首先, 选取世界气候变化情况和中国能源转型与发展情况作为研究对

收稿日期: 2023-09-01

作者简介: 赵怀天(2003—), 男, 河南南阳人, 2021 级数据科学与大数据技术专业本科生; 李永锋(通信作者)(1978—), 男, 讲师, 主要从事人工智能与大数据研究。

象;接着,使用和鲸 ModelWhale 数据云端协作工具对 BP 世界能源统计年鉴等数据库网站提供的数据集进行分析,同时使用 Z-Score 标准化方法和线性回归(Linear Regression)模型进行数据清洗和拟合;然后探索可再生能源类型与 CO₂ 排放量增长率和 PM_{2.5} 浓度之间的相关性,评估它们在 CO₂ 排放量增长率数据集上的精确度,并选择最优模型对水力发电、风力发电及太阳能发电的占比进行预测;最后,对世界气候变化及中国能源转型情况进行总结,并从世界、国家、社会和个人 4 个维度提出可行性建议。

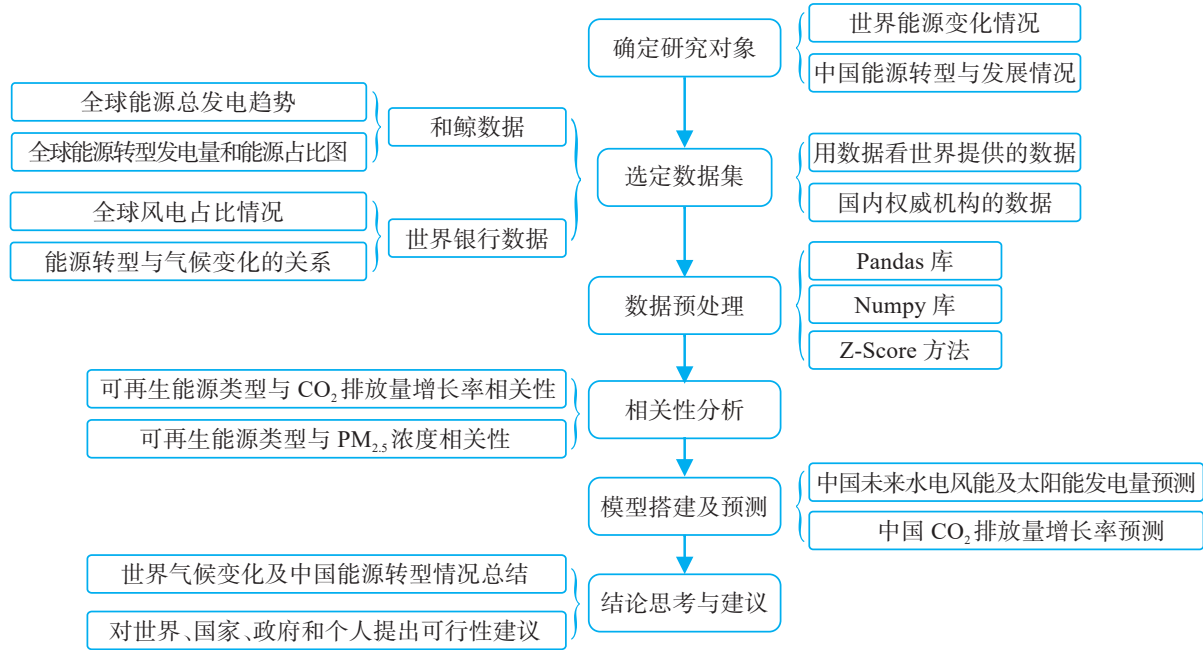


图 1 研究思路

2 全球能源类型发电量占比情况

首先,通过计算得到了 2000 年和 2020 年全球各类能源发电量占比情况,如表 1 所示。

表 1 2000 年和 2020 年全球各类能源发电量占比变化情况

能源类型	2000 年占比/%	2020 年占比/%	变化量/百分点
化石燃料	64.070	61.400	-2.67
水力发电(抽水蓄能除外)	16.850	16.140	-0.71
核能	16.660	9.920	-6.74
生物质能	0.910	2.160	1.25
抽水蓄能	0.540	0.450	-0.09
其他不可再生能源	0.420	0.560	0.14
地热能	0.340	0.350	0.01
风能	0.200	5.890	5.69
太阳能	0.010	3.130	3.12
海洋能	0.004	0.004	0.00

由表 1 可知,2020 年各类能源发电量占比由大到小依次是:化石燃料,水力发电(抽水蓄能除外),核能,风能,太阳能,生物质能,其他不可再生能源,抽水蓄能,地热能以及海洋能。其中:化石燃料发电量占比自 2000 年至 2020 年下降了 2.67 个百分点,风能和太阳能的发电量占比分别上升了 5.69 和 3.12 个百分点。从表 1 中传统能源和可再生能源的发电量占比数据可以看出,世界整体在积极推动传统能源的转型工作。

3 可再生能源发电量增长率与 CO₂和 PM_{2.5}的关系

为了研究能源转型对气候变化的影响,本文提取了已有的可再生能源发电量数据,并选择了两个气候变化指标,即全球 CO₂排放量增长率(2000—2020年)和 PM_{2.5}浓度(2000—2020年),以探讨可再生能源对气候变化的影响。

3.1 可再生能源发电量增长率与 CO₂排放量增长率相关性分析

经过 Z-Score 方法去除异常值后,拟合出两者变化的趋势线,绘制的散点趋势图如图 2 所示。由图 2 可以得出,随着全球可再生能源发电量的增长,CO₂排放量增长率呈现下降趋势。

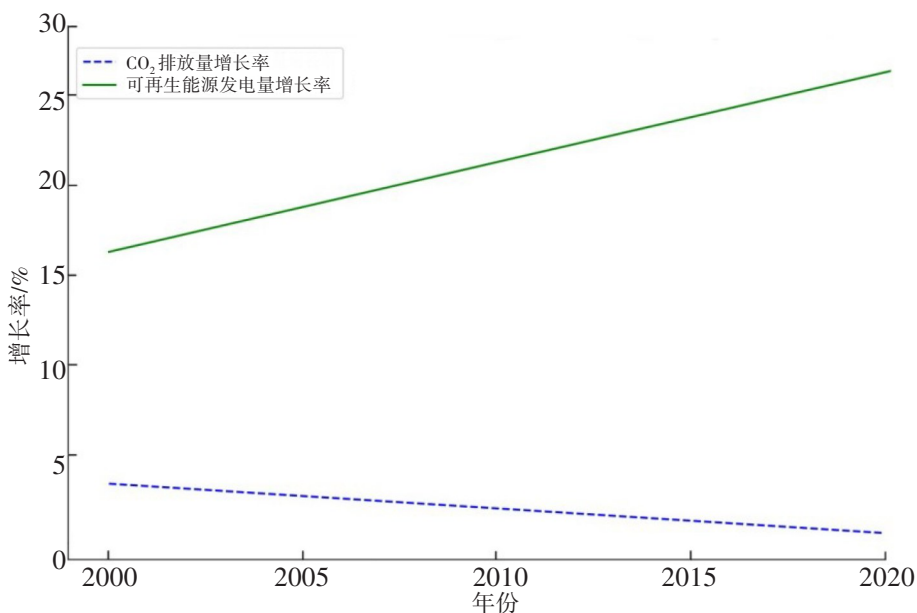


图 2 可再生能源发电量增长率与 CO₂排放量增长率趋势变化图

3.2 可再生能源与 PM_{2.5}浓度相关性分析

在探索可再生能源与 PM_{2.5}浓度的关系时,使用 Z-Score 算法剔除数据集中的异常值,并计算对应的相关性系数,如表 2 所示。从表 2 可以看出,可再生能源与 PM_{2.5}浓度大多呈现负相关关系,其中地热能的相关系数为-0.98,太阳能和生物质能的相关系数为-0.95,风能的相关系数为-0.94。

表 2 各类可再生能源与 PM_{2.5}浓度相关系数表

类型	PM _{2.5}	水力发电 (抽水蓄能除外)	核能	风能	生物 质能	太阳能	抽水 蓄能	地热能	其他可再生 能源
相关系数	1.00	-0.92	-0.62	-0.94	-0.95	-0.95	-0.49	-0.98	-0.93

4 中国的能源占比变化及各类能源与 PM_{2.5}的关系

为了探索中国在世界能源转型中发挥的作用,本文结合 BP 世界能源统计年鉴数据、世界银行开放数据和国务院新闻办公室发布的数据,从中国可再生能源发电量在世界的占比、中国各类能源发电量占比变化、中国各类能源与 PM_{2.5}浓度关系 3 个方面进行了分析。

4.1 中国的可再生能源发电量在世界的占比情况分析

计算相关数据,分析中国可再生能源发电量在世界的占比情况,如表 3 所示。表 3 中数据显示:中国可再生能源发电量在世界的占比呈现增长态势,2000 年的占比为 7.84%,2020 年的占比达到 28.78%。

表3 中国可再生能源发电量在世界的占比情况

年份	世界可再生能源发电量/吉瓦时	中国可再生能源发电量/吉瓦时	中国在世界的占比/%
2000	2 845 004.09	222 955.11	7.84
2002	2 881 804.75	288 812.81	10.02
2004	3 117 220.26	354 851.61	11.38
2006	3 428 468.46	442 586.35	12.91
2008	3 752 939.24	606 278.74	16.15
2010	4 184 810.31	780 007.57	18.64
2012	4 744 781.92	994 392.00	20.96
2014	5 309 260.22	1 269 855.86	23.92
2016	5 883 208.71	1 522 404.63	25.88
2018	6 590 943.44	1 810 863.56	27.48
2020	7 468 057.98	2 149 534.43	28.78

4.2 中国各类能源发电量占比情况分析

笔者计算了2000年和2020年中国各类能源发电量占比情况,如表4所示。从表4可以看出,各类能源发电量的占比发生了明显变化。从2000年至2020年,化石燃料占比下降了15.360个百分点,风能占比增加了5.957个百分点,核能占比增加了3.472个百分点,其他可再生能源也有不同程度的增长。这些数据表明,近年来中国能源转型工作已取得实质性进展。

表4 2000年和2020年中国各类能源发电量占比情况变化表

能源类型	2000年占比/%	2020年占比/%	变化量/百分点
化石燃料	82.124	66.764	-15.360
水力发电(抽水蓄能除外)	16.213	16.988	0.775
核能	1.235	4.707	3.472
抽水蓄能	0.194	0.430	0.236
生物质能	0.179	1.272	1.093
风能	0.045	6.002	5.957
地热能	0.007	0.469	0.462
太阳能	0.003	3.363	3.360
海洋能	0.001	0.002	0.001
其他不可再生能源	0.000	0.469	0.469

4.3 中国各类能源与PM_{2.5}浓度关系

为了分析中国各类能源与PM_{2.5}浓度的关系,笔者计算了各种可再生能源发电量与PM_{2.5}浓度的相关性系数,如表5所示。从表5可以看出,化石燃料的相关系数为0.46,生物质能的相关系数最低,为-0.52,太阳能的相关系数为-0.48,地热能的相关系数为-0.42。数据表明,中国的可再生能源发电量与PM_{2.5}浓度大多呈现负相关关系。

表5 中国各类能源与PM_{2.5}浓度相关系数表

类型	PM _{2.5}	化石燃料	水力发电(抽水蓄能除外)	核能	风能	生物质能	太阳能	抽水蓄能	地热能	其他能源
相关系数	1.00	0.46	-0.37	-0.26	-0.50	-0.52	-0.48	0.21	-0.42	-0.33

5 中国的CO₂排放量增长率及水力发电、风力发电和太阳能发电占比预测

为了解未来中国 CO₂排放量增长率及相关能源的发展情况,本文构建了相应的模型,预测未来 20 年中国的 CO₂排放量增长率及水力发电、风力发电和太阳能发电在总量中的占比情况。

5.1 中国未来 20 年的 CO₂排放量增长率预测

采用 5 种不同的模型(K 临近模型,随机森林模型,多项式回归模型,线性回归模型和支持向量机模型)对 CO₂排放量年增长率进行预测。选用 2000—2015 年的数据作为训练集,并对 2016—2021 年的数据进行预测。通过比较预测值和实际值的 MSE(均方误差),得出支持向量机模型的均方误差最小,为 3.19,详见表 6。从表 6 可知,5 种模型中,支持向量机模型预测中国未来 CO₂排放量增长率表现较优。

表 6 5 种模型在 CO₂排放量增长率数据集的 MSE 值

模型	MSE(均方误差)
K 临近模型	3.40
随机森林模型	10.87
多项式回归模型	18.37
线性回归模型	7.39
支持向量机模型	3.19

5.2 中国未来 20 年的水力发电、风力发电和太阳能发电占比预测

选取水力发电、风力发电和太阳能发电 3 个数据集的 2000—2015 年发电量数据作为训练集,利用训练后的模型对 2016—2021 年的数据进行预测,并将预测值和实际值进行比对,计算 5 种模型在不同数据集上的 MSE。结果表明:支持向量机模型在水力发电数据集上的 MSE 最小,仅为 0.92,详见表 7。线性回归模型在风力发电数据集上的 MSE 最小,为 5.41,详见表 8。而多项式回归模型在太阳能发电数据集上的 MSE 最小,为 1.19,详见表 9。

表 7 5 种模型在水力发电数据集中 MSE 值

模型	MSE(均方误差)
K 临近模型	1.18
随机森林模型	3.97
多项式回归模型	5.53
线性回归模型	1.71
支持向量机模型	0.92

表 8 5 种模型在风力发电数据集中 MSE 值

模型	MSE(均方误差)
K 临近模型	10.72
随机森林模型	7.75
多项式回归模型	6.62
线性回归模型	5.41
支持向量机模型	15.27

表 9 5 种模型在太阳能发电数据集中 MSE 值

模型	MSE(均方误差)
K 临近模型	1.58
随机森林模型	1.33
多项式回归模型	1.19
线性回归模型	1.45
支持向量机模型	1.45

因此,采用支持向量机模型对中国的水力发电情况进行预测,采用线性回归模型对风力发电进行预测,采用多项式回归模型对太阳能发电情况进行预测。预测结果表明:未来20年水力发电的占比呈现下降趋势,预计至2042年达到14.83%,如图3所示;未来20年风力发电和太阳能发电占比呈现上升趋势,预计至2042年分别达到23.19%和2.92%,如图4和图5所示。

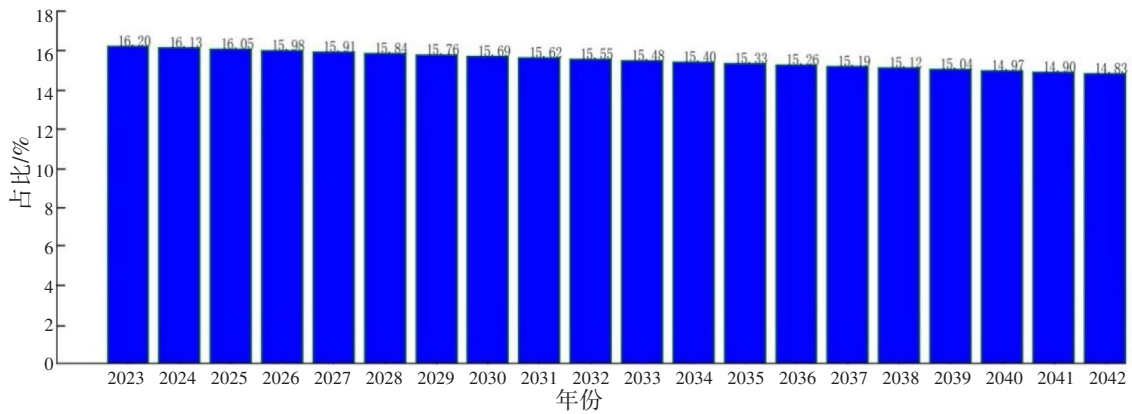


图3 未来20年水力发电占比预测图

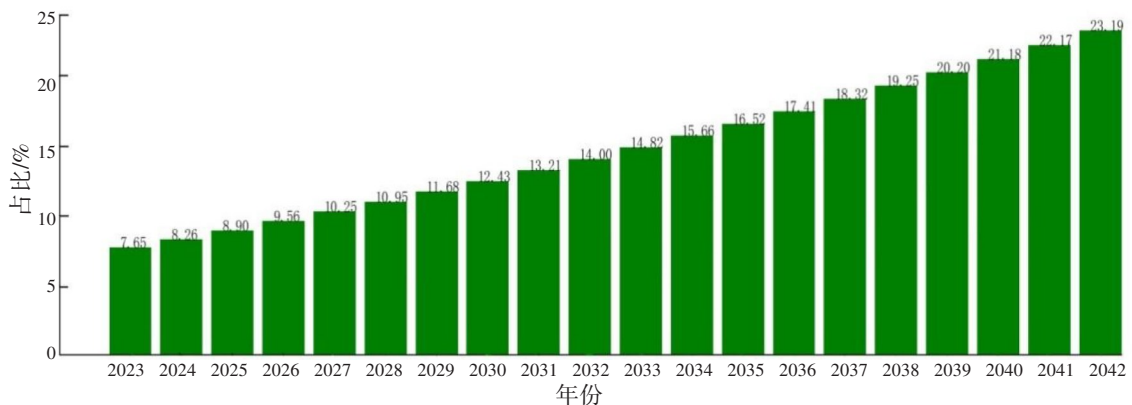


图4 未来20年风力发电占比预测图

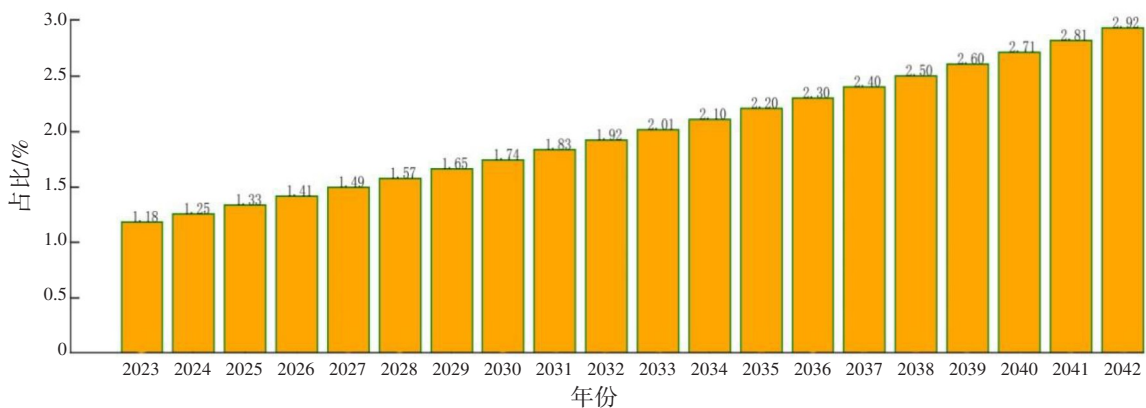


图5 未来20年太阳能发电占比预测图

预测结果表明,未来中国将大力发展风能和太阳能产业。近年来,中国政府对风电和光伏产业的发展给予了高度重视,因此可再生能源将在不久的将来发挥更加重要的作用,以替代传统能源并改善空气质量和全球气候。

6 结语

6.1 分析总结

综上所述,通过对21世纪以来全球能源转型的情况和各类能源对全球气候变化的影响进行分析,从中国在21世纪以来能源转型的发展情况和未来中国能源转型的方向两方面着手,总结如下:

(1)21世纪以来,全球可再生能源发电量占比上升趋势明显,以化石燃料为代表的不可再生能源(发电量)增长缓慢。在世界风力发电占比中,排名靠前的地区分别是北欧部分国家(如瑞典、芬兰等)、大洋洲的澳大利亚、南美洲的巴西以及非洲部分国家(如肯尼亚、摩洛哥等)。

(2)21世纪以来,全球温室气体排放量的增长率变缓;全球 $PM_{2.5}$ 浓度呈现下降趋势;全球地表温度总体呈现上升趋势;全球降水量变化较小。

(3)在探究能源转型对气候变化的作用时,得出可再生能源(发电量)的增长对降低全球 CO_2 排放量和 $PM_{2.5}$ 浓度发挥着积极的作用。随着可再生能源产业的发展,全球 CO_2 排放量会逐渐减少,空气中 $PM_{2.5}$ 浓度会降低,全球气候会得到改善。

(4)中国大力发展节能减排相关产业,政策关键词为能源、绿色、清洁、发展等。21世纪中国可再生能源发电量在世界的占比增长明显,2020年占比将近三成。中国的能源转型对于降低 $PM_{2.5}$ 浓度同样发挥着积极的作用。

(5)在预测未来20年中国各类能源发电总量占比时,水力发电占比会逐年下降,而风力发电和太阳能发电占比将逐年上升。可以推断中国在未来将会加大支持和投入到新能源相关产业,尤其是风能和太阳能等相关产业的建设和发展中去。

6.2 可行性建议

通过对能源转型应对气候变化的作用进行分析总结后,从世界、国家、社会及个人层面提出以下4点建议:

(1)世界层面:制定全球性应对气候变化的方案和计划,鼓励各国加强协作,共同推动能源转型,减少温室气体排放;引导各国共同研发新能源技术和设备,促进可持续发展。

(2)国家层面:发布政策鼓励和支持可再生能源的发展,加大对新能源的投资力度,制定更高的环境标准。

(3)社会层面:加强宣传和教育,普及环保知识;同时举办环保活动,推广低碳生活方式。

(4)个人层面:响应政策号召,积极参与环保活动;同时从日常出发,采取低碳、环保的生活方式。

参考文献:

- [1]和鲸科技.个人数据分析工具·组织数据科学协同平台[EB/OL].(2015-04-01)[2023-07-18].<https://www.modelwhale.com/>.
- [2]RITCHIE H,ROSER M,RASADO P. Per capita CO_2 emission[EB/OL].(2017-05-01)[2023-07-18].<https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions/>.
- [3]Institute for Health Metrics and Evaluation(IHME). $PM_{2.5}$ air pollution,mean annual exposure (micrograms per cubic meter)[EB/OL].(2019-12-31)[2023-07-18].<https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.PM25.MC.M3/>.
- [4]Energy Insstitute.Statistical review of world energy[EB/OL].(2023-06-26)[2023-07-18].<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html/>.
- [5]国务院新闻办公室.《新时代的中国能源发展》白皮书[EB/OL].(2020-12-21)[2023-07-18].https://www.gov.cn/zhengce/2020-12/21/content_5571916.htm.

Analysis and Prediction of the Role of Energy Transition in Addressing Climate Change

Zhao Huaitian, Liu Zhipeng, Li Yongfeng

(School of Electronics and Information Engineering, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

Abstract: To address the global climate change challenge, data on the global energy transition were collected, and the impact of renewable energy on global climate change and the pivotal role of China in the world's energy transition was analyzed by utilizing data analysis and visualization techniques. To explore China's future CO₂ emissions and related energy development, five distinct machine learning models were used to evaluate their accuracy on the datasets of CO₂ emission growth rate, and subsequently the optimal model was selected to predict the proportion of hydroelectricity, wind power, and solar power in the total amount of power generation, so as to put forward a set of feasible suggestions to mitigate climate change in the context of global energy transition.

Keywords: energy transition; climate change; machine learning; data visualization; analysis and prediction

(上接第 13 页)

[5] 金鑫,于非凡,戴雨桐,等.基于聚类分析和鉴别信息的教学效果评价模型分析[J].山东大学学报(理学版),2023,58(7):115-120.

[6] 李文楷,刘原池,刘子越,等.基于正样本-背景数据的校正混淆矩阵[J].海南大学学报(自然科学版),2023,41(3):293-302.

Prediction and Analysis for Wordle

Cai Zhongzhe, Zeng Riwei, Lin Chengcheng, Li Shaowei

(School of Electronics and Information Engineering, Taizhou University, Linhai 317000, China)

Abstract: Wordle is a "word guessing" game by The New York Times. Players can guess the correct "answer" according to the "trial and error" prompt information. 2023 MCM/ICM contest asked participants to predict the difficulty of words and the number of trial-and-error attempts by players. According to the data provided, the ARMI-LSTM model and the difficulty classification model of words are established to predict the answer situation of a certain day. According to the above model, "words" of the appropriate difficulty can be selected as "answers".

Keywords: ARIMA-LSTM prediction; K-means cluster analysis; confusion matrix

台州市宁溪摇蚊属种类记述

刘旭¹, 周瑾², 余文洁¹, 曹家康¹, 齐鑫¹

(1. 台州学院 生命科学学院, 浙江 台州 318000;

2. 台州市林业技术推广总站, 浙江 台州 318000)

摘要: 依据采集自台州市宁溪的摇蚊标本, 记述了摇蚊属(*Chironomus* Meigen, 1803)中的5种: 尖附器摇蚊(*C. cingulatus* Meigen, 1830)、台南摇蚊(*C. circumdatus* Kieffer, 1916)、背摇蚊(*C. dorsalis* Meigen, 1818)、黄色羽摇蚊(*C. flaviplumus* Tokunaga, 1940)和花翅摇蚊(*C. kiiensis* Tokunaga, 1936)。其中, 背摇蚊依据雄成虫和幼虫标本鉴定; 尖附器摇蚊、台南摇蚊和花翅摇蚊依据雄成虫标本鉴定; 黄色羽摇蚊依据幼虫标本鉴定。本文对上述5种进行了详细描述, 并附主要特征图。其中, 黄色羽摇蚊为台州市新记录种。

关键词: 摇蚊属; 雄成虫; 幼虫; 分类

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.004

0 引言

摇蚊属(*Chironomus* Meigen)隶属于双翅目摇蚊亚科(Diptera: Chironomidae), 由德国昆虫学家Meigen于1803年建立, 模式种是*Tipula plumosa*, 现为*C. plumosus*的同物异名^[1]。目前, 摇蚊属被细分为以下4个亚属: 双叶摇蚊亚属[*C. (Camptochironomus)* Kieffer, 1918]、毛叶摇蚊亚属[*C. (Chaetolabis)* Townes, 1945]、宽叶摇蚊亚属[*C. (Lobochironomus)* Ryser, 1985]、摇蚊亚属[*C. (Chironomus)* Meigen, 1803]^[2]。据统计, 摇蚊属已记录种类达300余种^[3], 有约250种分属于*Chironomus*、*Chaetolabis*、*Lobochironomus*3个亚属, 且全球广布^[4]。中国目前已知摇蚊属共计2亚属29种, 其中, 雄成虫记录23种^[3], 幼虫15种(其中未定名1种)^[5]。浙江省尚未开展摇蚊属系统性的分类学研究, 已有记录仅出现在少数保护区的昆虫名录中, 台州市目前仅记录8种摇蚊属昆虫^[6-7]。

宁溪镇位于台州市黄岩区西部, 距城关38 km, 西依上郑乡, 南连乐清市、富山乡, 北接屿头乡, 东临长潭水库, 因黄岩溪上游急流至此方宁而得名宁溪。宁溪域内溪流众多, 水网密集, 多为黄岩溪支流, 且水质清澈, 是台州“大水缸”长潭水库的重要水源地, 溪流中水生昆虫种类繁多, 但宁溪未见有关摇蚊科昆虫的研究报道。本文以采集自宁溪域内的摇蚊属昆虫为研究对象, 共采集到摇蚊属标本32头(其中, 雄成虫25头, 幼虫7头); 经整理和鉴定, 共计5种, 其中, 黄色羽摇蚊(*C. flaviplumus* Tokunaga, 1940)为台州市新记录种。

1 方法与术语

本文中形态学术语、标本测量方法及种的描述参照Qi等^[8]、Tang等^[9]的相关研究。采集到的摇蚊标

收稿日期: 2023-10-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(32070481); 浙江省自然科学基金项目(LY22C040003); 国家级大学生创新创业训练计划项目(202110350023, 202210350031, 202110350060)

作者简介: 刘旭(2002—), 女, 山东泰安人, 2021级生物科学专业本科生; 齐鑫(通信作者)(1981—), 男, 山东济南人, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事昆虫分类学研究。

本保存于体积分数为70%~80%的酒精中,玻片标本的制作遵照 Saether^[10]和唐红渠^[5]所写的有关流程。

2 种的描述

2.1 尖附器摇蚊(*Chironomus cingulatus* Meigen, 1830)

观察标本:6头雄成虫,浙江省台州市宁溪,15.VII.2020,曹家康灯诱。

鉴别特征:翅透明,无色斑;额瘤发达,第II~IV背板具棕色斑,主要分布在每部分的前半部,第IX背板中央有明显的圆形区域;肛背板条带清晰,长达肛尖基部;上附器基部不明显,延伸部分逐渐向肛尖处弯曲变细,末端尖锐;下附器端部未达抱器端节一半。

雄成虫($n = 6$)

体长 5.00~6.20 mm,翅长 2.51~3.68 mm,体长/翅长 1.75~2.17,翅长/前足腿节长 1.95~2.50。

体色:头及胸部棕黄色,腹部各节背板浅黄色,第II~IV背板的前半部具深棕色斑,足浅黄,跗节关节处具棕色环,ta₅棕色。

头部:触角 11 鞭节,触角比为 3.2~3.93。颧毛 20~39 根;唇基毛 20~42 根;幕骨长 168~228 μm ,宽 58~85 μm ;下唇须 5th/3rd 为 1.18~1.60。

胸部:背中鬃 15~36 根;翅前鬃 5~8 根;小盾片鬃 6~21 根。

翅:R 脉具 25~50 根刚毛;R₁ 脉具 15~30 根刚毛;R₄₊₅ 脉具 32~35 根刚毛;B 脉具 2~3 根刚毛;腋瓣具 14~33 根缘毛。

足:中、后足 ta₁₋₄ 具有伪胫距,数量为 1~4 根;前足 ta₁ 无长毛。前足比为 1.32~1.75,中足比为 0.53~0.62,后足比为 0.69~0.76。

生殖节(图 1):第IX背板中部具有 4~14 根长刚毛,第IX侧板具 1~4 根刚毛。肛尖宽大,呈片状,两侧几近平行,端部钝圆;阳茎内突长 123~200 μm ,横腹内生殖突长 75~130 μm 。上附器钩状,顶端尖锐,长 80~128 μm ,宽 15~23 μm ;下附器指状,长达抱器端节的中部,长 153~205 μm ,具 15~30 根长刚毛;抱器基节长 228~317 μm ;抱器端节长 168~248 μm 。生殖节比为 1.14~1.50;生殖节值为 2.40~3.40。

分布:中国的浙江(台州、杭州、温州)、安徽、福建、贵州、河北、河南、湖北、新疆;欧洲。

2.2 台南摇蚊(*Chironomus circumdatus* Kieffer, 1916)

观察标本:3头雄成虫,浙江省台州市宁溪,15.VII.2020,曹家康扫网。

鉴别特征:翅透明,无色斑,额瘤发达,前足 ta₁ 长刚毛缺失,腹部第II~V背板中部具纵向椭圆形色斑,第IX背板中部缺少圆形区域;上附器的基部不明显,延伸部分钩状;下附器延伸至抱器端节中部;肛尖细长,呈竹片状,基部至端部逐渐增粗,端部圆润。

雄成虫($n = 3$)

体长 3.70~5.90 mm,翅长 2.10~2.95 mm,体长/翅长 1.80~2.20,翅长/前足腿节长 1.75~2.35。

体色:头部棕黄色,胸部棕色,腹部各节浅黄色,第II~IV背板中部具纵向椭圆形色斑,足浅黄,跗节关节处具棕色环,ta₅棕色。

头部:触角 11 鞭节,触角比为 2.55~3.65。额瘤发达,颧毛 25~35 根;唇基毛 20~30 根;幕骨长 158~220 μm ,宽 50~80 μm ;下唇须 5th/3rd 为 1.30~1.68。

胸部:背中鬃 17~29 根;翅前鬃 5~7 根;小盾片鬃 6~18 根。

翅:R 脉具 26~39 根刚毛;R₁ 脉具 23~32 根刚毛;R₄₊₅ 脉具 15~30 根刚毛;B 脉具 2~3 根刚毛;腋瓣具 15~29 根缘毛。

足:中、后足 ta_{1-4} 具有伪胫距,数量 1~4 根;中、后足 ta_1 具毛形感受器,其中,中足 ta_1 具 7~20 根,后足 ta_1 具有 10~35 根。前足比为 1.59~1.79,中足比为 0.59~0.68,后足比为 0.72~0.81。

生殖节(图 2):第 IX 背板中部具有 4~10 根长刚毛,第 IX 侧板具 2~8 根刚毛。肛尖细长,呈竹片状,基部至端部逐渐增粗,端部圆润。上附器的基部不明显,延伸部分钩状;下附器指状,延伸至抱器端节中部,具 15~25 根长刚毛。生殖节比为 1.15~1.48;生殖节值为 2.39~3.16。

分布:中国的浙江(台州、杭州)、福建、广东、广西、贵州、湖北、海南、台湾、云南;朝鲜;印度;泰国;日本;澳大利亚;密克罗尼西亚。

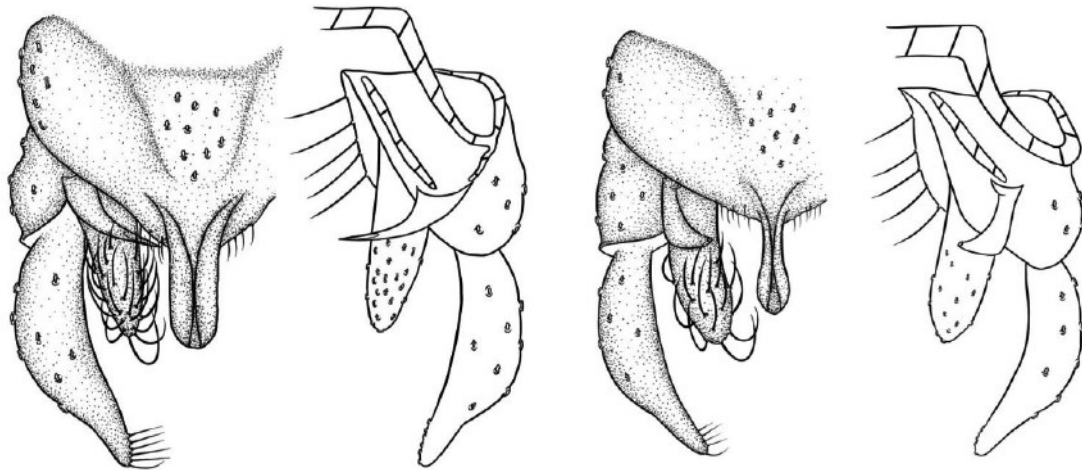


图 1 尖附器摇蚊(*C. cingulatus* Meigen, 1830)的生殖节 图 2 台南摇蚊(*C. circumdatus* Kieffer, 1916)的生殖节

2.3 背摇蚊(*Chironomus dorsalis* Meigen, 1818)

观察标本:7 头雄成虫,浙江省台州市宁溪, 15.VII.2020, 曹家康灯诱;6 头幼虫,浙江省台州市宁溪, 15.VII.2020, 曹家康 D 型网采集。

鉴别特征:雄成虫:翅透明,无色斑;额瘤发达,长度约为宽度的 1.5~3 倍;前足 ta_1 长刚毛缺失,前足比 >1.50 ;腹部第 II~IV 背板具蘑菇状色斑块,第 IX 背板中部具明显的圆形区域;上附器的延伸部分似勺状。幼虫:活体淡红色或者暗红色;头壳黄褐色,头壳额唇基及后头缘颜色明显加深;额板颜色加重呈黑褐色,额板倒数第三、四侧齿比邻齿低,具 6 对侧齿,腹额板、影线纹发达;触角 5 节,上颚具 1 顶齿、1 背齿、3 内齿,背齿色淡,内齿及顶齿均为黑褐色;一对侧腹管长在腹部第七节,两对腹管长在第八节,两对腹管约等长;尾部有刚毛。

雄成虫($n = 7$)

体长 4.25~6.10 mm,翅长 2.35~3.40 mm,体长/翅长 1.70~2.15,翅长/前足腿节长 2.05~2.20。

体色:头部及胸部棕色,腹部浅黄色,第 II~IV 背板具蘑菇状色斑,足浅黄。

头部:触角比为 2.50~3.50。颧毛 16~29 根;唇基毛 17~27 根;幕骨长 163~203 μm ,宽 50~68 μm ;下唇须 $5^{\text{th}}/3^{\text{rd}}$ 为 1.35~1.70。

胸部:背中鬃 18~24 根;翅前鬃 4~5 根;小盾片鬃 6~10 根。

翅:R 脉具 25~35 根刚毛; R_1 脉具 16~26 根刚毛; R_{4+5} 脉具 14~29 根刚毛;B 脉具 2~3 根刚毛;腋瓣具 11~24 根缘毛。

足:中、后足 ta_{1-4} 具 1~4 根伪胫距;前足 ta_1 无长毛。前足比为 1.64~1.83,中足比为 0.59~0.65,后足比为 0.71~0.78。

生殖节(图 3A):第Ⅸ背板中部具 3~10 根长刚毛,第Ⅸ侧板具 3~5 根刚毛。肛尖细长,两侧几近平行,顶端圆润。上附器的基部狭小,延伸部分两端平行,呈勺状,顶端稍尖;下附器延伸未至抱器端节中部,具 15~18 根长刚毛。生殖节比为 1.15~1.69;生殖节值为 2.61~3.55。

幼虫($n = 6$)

体长 8.4~12.6 mm;头壳长 430~720 μm ,宽 350~610 μm ;头壳比为 0.81~1.1。

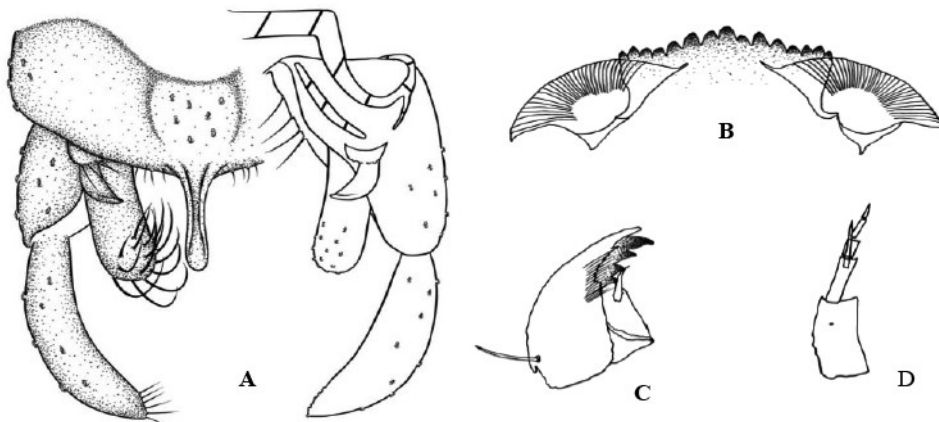
颊板(图 3B):宽 141~172 μm ,中齿三分叉,6 对侧齿,倒数第三、四侧齿明显比邻齿低;腹颊板宽 143~168 μm ,腹颊板高 48~64 μm ,腹颊板比为 2.21~2.62;两腹颊板间距 71~123 μm ,腹颊板间距比为 1.36~2.05;颊比为 0.92~1.11;腹颊板具有 40~42 条影线纹。

上颚(图 3C):长 154~239 μm ,1 顶齿,3 内齿,顶齿长 19~39 μm ,内齿宽 28~43 μm ,上颚齿比为 0.47~1.09。

触角(图 3D):5 节,总长 141~213 μm ,基节长 80~107 μm ,触角比为 0.50~0.62,触角叶达到末节的中端。

腹部具 2 对腹管,长约是其着生体节的 1.5 倍,中间具有 3~4 微弱缢缩。一对侧腹管,较短,长度约为腹管的十分之一。

分布:中国的浙江(台州、杭州、温州)、重庆、广东、贵州、河北、湖北、湖南、四川、陕西、西藏、云南;欧洲。



A. 生殖节; B. 颊板; C. 上颚; D. 触角

图 3 背摇蚊(*C. dorsalis* Meigen, 1818)

2.4 黄色羽摇蚊(*Chironomus flaviplumus* Tokunaga, 1940)

观察标本:1 头幼虫,浙江省台州市宁溪,15.VII.2020,曹家康 D 型网采集。

鉴别特征:活体红色或者深红色;幼虫头壳黄褐色,头壳后头缘及额唇基板后端颜色加重,后颊颜色加深,呈褐色;颊板中间三齿明显比相邻两齿低,6 对侧齿,从顶端到基部逐渐减小;上颚具 1 顶齿、1 背齿、3 内齿,背齿色淡,顶齿颜色加重,呈褐色,各内齿均一半褐色;腹管、侧腹管均存在,一对侧腹管长于腹部第Ⅶ节,两对腹管长于第Ⅶ节,2 对腹管均长于其着生体节,前面一对腹管长于身体后端;尾部有刚毛。

体长 11.2 mm;头壳长 580 μm ,宽 570 μm ;头壳比为 0.98。

颊板(图 4A):宽 147 μm ,中齿三分叉;6 对侧齿,从顶端到基部逐渐减小;腹颊板宽 145 μm ,腹颊板高 68 μm ;腹颊板比为 1.01,具有 41 条影线纹。

上颚(图 4B):长 388 μm ,顶齿长 102 μm ,内齿宽 67 μm ,上颚齿比为 1.5。

触角(图4C):5节,总长368 μm ,基节长230 μm ;触角比为0.62;触角叶达到末节的中端。

腹部第Ⅶ节具有一对侧腹管,第Ⅷ节具有2对腹管,长度大约是其着生体节的2倍,前面一对长于身体的后端。

分布:中国的浙江(台州)、河北、陕西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、西藏、云南、广东;日本;朝鲜;欧洲。

2.5 花翅摇蚊(*Chironomus kiiensis* Tokunaga, 1936)

观察标本:9头雄成虫,浙江省台州市宁溪,15.VII.2020,曹家康扫网。

鉴别特征:翅具色斑(图5A);额瘤发达,长度约为宽度的2~4倍;腹部第Ⅱ~Ⅳ背板无色斑;各足腿节与胫节相接处、跗关节处具色环,ta₄₋₅棕色;肛尖端部膨大;上附器延伸部分光裸,呈钩状;下附器指状,延伸至抱器端节中部。

雄成虫($n = 9$)

体长3.75~5.40 mm,翅长1.83~2.73 mm,体长/翅长1.87~2.18,翅长/前足腿节长2.05~2.50。

体色:头及胸部棕色;腹部各节浅黄色,无色斑;足浅黄,各足腿节与胫节相接处、跗关节处具色环,ta₄₋₅棕色。

头部:触角11鞭节,触角比为2.65~3.80。鬃毛16~30根;下唇须5th/3rd为1.25~1.70。

胸部:背中鬃10~17根;小盾片鬃2~6根;翅前鬃4~6根。

翅:R脉具30~40根刚毛;R₁脉具15~25根刚毛;R₄₊₅脉具15~35根刚毛;B脉具1~3根刚毛;腋瓣具11~19根缘毛。

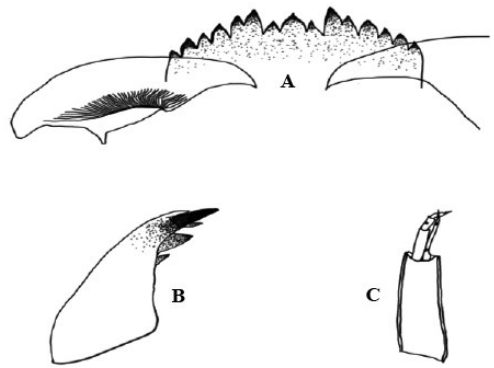
足:中、后足ta₁₋₂具1~2根伪胫距,ta₃₋₅无伪胫距;后足的胫节稍长于腿节。前足比为1.59~1.93,中足比为0.54~0.61,后足比为0.70~0.78。

生殖节(图5B):第Ⅸ背板中部具7~15根长刚毛,第Ⅸ侧板具3~5根刚毛。肛尖端部膨大;上附器延伸部分光裸,呈钩状;下附器指状,延伸至抱器端节中部,具11~20根长刚毛。生殖节比为1.22~1.53;生殖节值为2.53~3.41。

分布:中国的浙江(台州、杭州、温州、丽水)、福建、广东、四川、台湾、云南;朝鲜;印度;泰国;日本;马来西亚;澳大利亚。

3 讨论

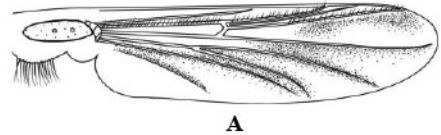
摇蚊属是摇蚊科中最古老的属之一,也是种类较多的一个属,其种级阶元分类较为混乱。在19世纪,摇蚊属大约记载了1300多个种,但其中很多种后来被放到不同的属甚至不同的亚科。目前,该属经多位学者整理修订后有300余种^[3]。台州市位于中国东南部,域内河网密集,湖泊、水库、湿地众多。正是由于这种生态环境的多样化,形成了台州市摇蚊科昆虫区系成分复杂、种类丰富等一系列特点。但截至目前,



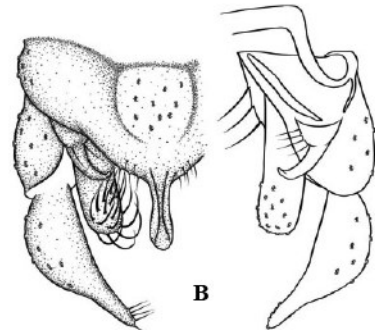
A. 颏板; B. 上颚; C. 触角

图4 黄色羽摇蚊

(*C. flaviplumus* Tokunaga, 1940)幼虫



A



B

A. 翅; B. 生殖节

图5 花翅摇蚊

(*C. kiiensis* Tokunaga, 1936)雄成虫

台州市仅记录临海三江湿地和仙居国家公园的摇蚊属种类 8 种^[6-7]:尖附器摇蚊(*C. cingulatus* Meigen, 1830)、台南摇蚊(*C. circumdatus* Kieffer, 1916)、背摇蚊(*C. dorsalis* Meigen, 1818)、爪哇摇蚊(*C. javanus* Kieffer, 1924)、花翅摇蚊(*C. kiiensis* Tokunaga, 1936)、冲绳摇蚊(*C. okinawanus* Hasegawa & Sasa, 1987)和萨摩亚摇蚊(*C. samoensis* Edwards, 1928)、中华摇蚊(*C. sinicus* Kiknadze, Wang, Istomina & Gunderina, 2005),且仅给出了种名和分布,未对物种进行详细的描述。除台州地区外,浙江其他地区仅天目山记录了与台州市相同的 8 种摇蚊属雄成虫^[11];乌岩岭记录摇蚊属:雄成虫 2 种(*C. kiiensis* 和 *C. okinawanus*)^[12]、幼虫 1 种(*C. flaviplumus*)^[5];丽水记录幼虫 1 种(*C. kiiensis*),并对其作线粒体基因组分析^[13]。

本文所描述的黄色羽摇蚊(*C. flaviplumus*)为台州市新记录种,而 *C. dorsalis* 为浙江省的幼虫首次记录与描述。*C. dorsalis* 的同物异名多达 12 个^[14],其幼虫的典型鉴别特征就是额板颜色加深,额板倒数第三齿明显比邻齿低,后额颜色加重,影线纹在 40 条左右。台州宁溪的标本与唐红渠^[5]的记述基本一致。最新的研究表明:目前依据雄成虫特征鉴定而被定名为 *C. flaviplumus* 的种类可能包含 5 个种,故应为 *C. flaviplumus* 种团^[15]。*C. flaviplumus* 幼虫形态与 *C. kiiensis* 极为相似,但 *C. flaviplumus* 个体明显比 *C. kiiensis* 大,且后额和额板颜色稍重^[5]。

参考文献:

- [1] SPIES M, SAETHER A O. Notes and recommendations on taxonomy and nomenclature of Chironomidae (Diptera) [J]. Zootaxa, 2004, 752(1): 1-90.
- [2] EPLER J H, EKREM T, CRANSTON P S. The larvae of the Holarctic Chironomidae—morphological terminology and key to subfamilies [J]. Insect Systematics & Evolution, 2013, 66: 387-556.
- [3] 姜永伟. 中国摇蚊属系统学研究(双翅目:摇蚊科) [D]. 天津:南开大学, 2011.
- [4] SONG C, MARTIN J, WANG S, et al. Redescription and new record of *Chironomus novosibiricus* (Diptera, Chironomidae) from northern China [J]. Annales Zoologici Fennici, 2022, 59(1): 111-115.
- [5] 唐红渠. 中国摇蚊科幼虫生物系统学研究(双翅目:摇蚊科) [D]. 天津:南开大学, 2005.
- [6] 石赛帅, 尹一清, 胡珍珠, 等. 浙江省仙居括苍山自然保护区摇蚊科昆虫名录 [J]. 湖北农业科学, 2020, 59(13): 89-91.
- [7] 杜炫发, 胡娟, 汪家玲, 等. 浙江省三江国家级城市湿地公园摇蚊科昆虫名录 [J]. 湖北农业科学, 2013, 52(9): 2063-2065.
- [8] QI X, LIN X L, WANG X H. Review of *Dicrotendipes* Kieffer from China (Diptera, Chironomidae) [J]. ZooKeys, 2012, 183: 23-36.
- [9] TANG H Q, CRANSTON P S, ZHAO J G, et al. The immature stages of *Polypedilum* (*Pentapedilum*) *nodosum* (Johannsen) and *Polypedilum* (*Tripodura*) *masudai* (Tokunaga) (Diptera, Chironomidae, Chironominae) [J]. Zootaxa, 2014, 3893(3): 416-428.
- [10] SAETHER O A. Some Nearctic Podonominae, Diamesinae and Orthoclaadiinae (Diptera, Chironomidae) [J]. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, 1969, 170: 1-154.
- [11] 王新华, 林晓龙, 齐鑫, 等. 摇蚊科 [M] // 杨定, 吴鸿, 张俊华, 等. 天目山动物志: 第八卷. 杭州: 浙江大学出版社, 2016: 116-202.
- [12] 齐鑫, 王新华. 浙江省乌岩岭国家级自然保护区摇蚊科昆虫调查初步名录 [J]. 四川动物, 2010, 29(3): 496-498.
- [13] LIU C, XU G N, LEI T, et al. The complete mitochondrial genome of a tropical midge *Chironomus kiiensis* Tokunaga, 1936 (Diptera: Chironomidae) [J]. Mitochondrial DNA Part B, 2022, 7(1): 211-212.
- [14] ASHE P, CRANSTON P S. Family Chironomidae [M] // SOOS A, PAPP L. Catalogue of Palaearctic Diptera: Vol. 2. Budapest: Akade'miai Kiado', 1990: 113-355.
- [15] MARTIN J. The *Chironomus* species studied by Letha Karunakaran in Singapore, with a review of the status of selected South-East Asian *Chironomus* [J]. Journal of Chironomidae Research, 2022, 35: 44-49. (下转第 92 页)

台州市蝗虫的物种多样性与区系分析

张晨^a, 陈思琦^a, 叶倩宏^a, 白义^a, 王海瑞^b, 吴巧露^a

(台州学院 a. 生命科学学院; b. 教师教育(体育)学院, 浙江台州 318000)

摘要: 采用实地调查和数据统计分析的方法, 对台州市常见蝗虫种类、区系组成和物种组成成分进行研究。结果表明: 台州市的蝗虫共计 5 科 30 属 40 种, 蝗虫种类非常丰富。从物种组成看, 该地区广布种类的蝗虫有 18 种, 东洋区种类有 22 种, 说明该地区暖湿的沿海气候环境、多样的地貌和植被类型适宜不同种类的蝗虫生存。从蝗虫物种的种属成分看, 该地区斑腿蝗科蝗虫物种数量最多, 为 19 种; 斑腿蝗科和网翅蝗科的物种数分别为 8 种和 5 种。该地区的蝗虫物种成分符合中国南方地区斑腿蝗科蝗虫数量较多的特点, 文中结果对于认识台州市蝗虫物种构成, 以及蝗虫的综合治理和生态环境的保护有着重要的现实意义。

关键词: 蝗虫; 物种多样性; 区系分布

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.005

0 引言

蝗虫是人们生活中很常见的昆虫, 主要取食植物的叶茎。蝗虫种类非常多, 中国已经记载的蝗虫有 1 000 多种, 其中, 有相当多的种类容易形成危害^[1]。在一些主要农作物种植区, 蝗虫灾害导致粮食减产的事件时有发生, 造成很大的经济损失。因此, 各地、各部门都非常重视蝗虫的防治工作^[2-3]。在中国几千年的文明史中, 蝗虫灾害几乎一直伴随其中。最近几十年来, 蝗虫的危害得到了有效控制, 但是每年都有一些报道指出蝗虫灾害对自然环境造成一定程度的伤害, 因此蝗虫的防治工作仍然不能松懈^[4-5]。各地区由于自然环境的差异性, 蝗虫危害特点也不一样, 如: 芦苇丛生的河滩地区, 飞蝗容易大量发生; 水稻大量种植的地区, 稻蝗容易造成大面积危害; 竹林成片的地区, 竹蝗危害容易发生^[6-8]。因此, 因时因地对蝗虫进行调查研究与防治, 是当前和今后需要不间断进行的工作。

台州市地处东南沿海, 陆地总面积 9 411 km², 依山面海, 地势由西向东倾斜, 西北山脉连绵, 千米峰峦叠起。受海洋水体调节和西北高山对寒流的阻滞, 夏少酷热, 冬无严寒, 热量丰富, 雨水充沛, 气候温和湿润。独特的地理环境和植被类型, 使得台州市蝗虫资源非常丰富。既有常见的花胫绿纹蝗(*Aiolopus tamulus*)、中华稻蝗(*Oxya chinensis*)、棉蝗(*Chondracris rosea*)、疣蝗(*Trilophidia annulata*)等广泛分布种类, 也有局地分布的蔡氏蹦蝗(*Sinopodisma tsaii*)、斑角蔗蝗(*Hieroglyphus annulicornis*)以及青脊竹蝗(*Ceracris nigricornis nigricornis*)等种类。截至目前, 该地区蝗虫有多少种类, 仍然不得而知。笔者通过分析台州市的地理气候环境, 初步划分出适合蝗虫生存的一般生境类型, 包括山地丘陵环境、灌木丛、草地以及农作物种植环境, 对该地区不同生境类型的蝗虫种类进行调查研究, 对于认识台州市蝗虫物种的构成、蝗虫的综合治理及生态环境的保护有着重要的现实意义。

收稿日期: 2023-08-05

作者简介: 张晨(2003—), 男, 浙江杭州人, 2021 级科学教育专业本科生; 白义(通信作者)(1980—), 男, 陕西府谷人, 副教授, 博士, 主要从事昆虫系统学研究。

1 材料与方法

1.1 标本采集与试验地

主要使用目测法和网捕法对蝗虫标本进行采集。目测法:在划定区域内规定5个样点,目测记录每个样点在规定时间内出现的蝗虫种类、数量和雌雄比例,对于存疑或者采集难度较大的蝗虫可以以录像或者照片的形式记录。网捕法:用捕虫网尽量将划定区域内的所有蝗虫进行采集,记录蝗虫数量、种类与性别,后续将采集到的蝗虫带回实验室,制作成针插标本^[9]。

根据台州市的地貌特征与植被特点,选择以下样地对蝗虫进行调查采集,地点(括号内数值表示该地的地理坐标)分别为:玉环市双龙村(28°29'N,121°31'E)、天台县石梁镇(29°14'N,121°03'E)、天台县平桥镇(29°09'N,120°53'E)、仙居县响岩村(28°48'N,120°42'E)、临海市灵江村(28°50'N,121°06'E)、黄岩区滨江新村(28°39'N,121°15'E)、路桥区田洋村(28°22'N,121°22'E)、温岭市小南门村(28°21'N,121°22'E)、三门县亭旁镇(29°02'N,121°20'E)、椒江区建设新村(28°40'N,121°26'E)。

1.2 标本分类与鉴定

研究对象为2023年采集的标本以及以往收藏的标本。利用体视显微镜,采用常规方法对标本进行鉴定。标本的鉴定与分类参考《蝗虫分类学》^[1]等工具书以及目前文献资料的记录^[10-11]。

1.3 数据统计与分析

对所有的蝗虫进行分类鉴定,对每个试验地采集到的蝗虫个数和种类进行统计。数据分析采用SPSS软件以及Excel电子表格进行分析。

2 结果与分析

通过近几年对台州市附近蝗虫的野外采集,共捕捉蝗虫成虫3000余头,共计5科30属40种,其中东洋种占55%,广布种占45%。

2.1 台州市常见蝗虫物种成分与生境

台州市常见的蝗虫有12种,如图1所示,分别为:短额负蝗 *Atractomorpha sinensis*(图1A),主要分布在草地和菜地环境中;花胫绿纹蝗 *Aiolopus tamulus*(图1B),主要分布在低地和矮草环境中;黄脊雷篦蝗 *Rammeacris kiangsu*(图1C),主要分布在竹林环境中;棉蝗 *Chondracris rosea rosea*(图1D),广泛分布于丘陵、灌木丛中;中华稻蝗 *Oxya chinensis*(图1E),广泛分布于草地和稻田中;长角佛蝗 *Phlaeoba antennata*(图1F),主要分布在竹林中;蔡氏蹦蝗 *Sinopodisma tsaii*(图1G),主要分布在海拔500 m左右的灌木和草丛中;东方凸额蝗 *Traulia orientalis*(图1H),主要分布在海拔500 m左右的林地和灌木丛中;长翅素木蝗 *Shirakiacris shirakii*(图1I),主要分布在低地和矮草环境中;疣蝗 *Trilophidia annulata*(图1J),广泛分布在低地和矮草环境中;日本黄脊蝗 *Patanga japonica*(图1K),广泛分布于丘陵、灌木丛中;长角直斑腿蝗 *Stenocatantops splendens*(图1L),主要分布在低地和矮草环境中^[12]。

2.2 台州市蝗虫的物种成分分析

根据台州市蝗虫调查结果,该地区蝗虫有5科30属40种,蝗虫物种非常丰富。其中东洋种22种,广布种18种,如表1所示。

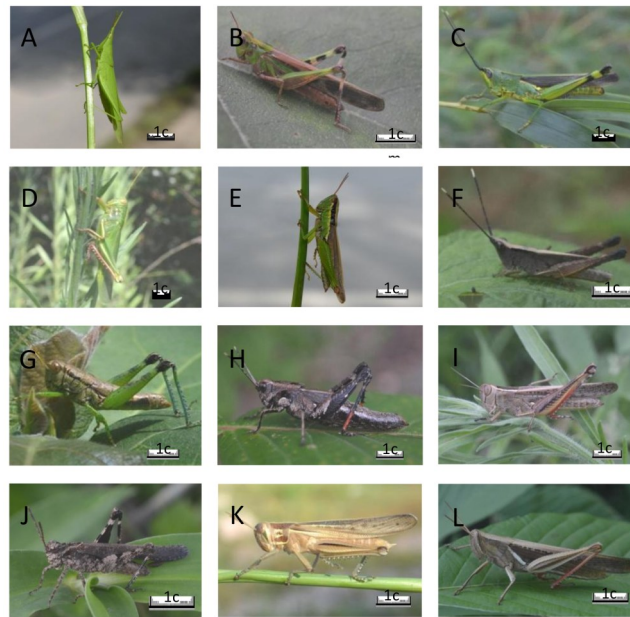


图1 台州市常见蝗虫种类

表1 台州市蝗虫的物种成分分析

科	属	种	区系性质		
			东洋种	广布种	
锥头蝗科 Pyrgomorphidae	负蝗属 <i>Atractomorpha</i>	短额负蝗	<i>Atractomorpha sinensis</i> I.Bol.	+	
	稻蝗属 <i>Oxya</i>	山稻蝗	<i>Oxya agavis</i> Tsai	+	
		中华稻蝗	<i>Oxya chinensis</i> (Thunberg)	+	
		日本稻蝗	<i>Oxya japonica</i> (Thunberg)	+	
		无齿稻蝗	<i>Oxya adentata</i> Willemse	+	
		小稻蝗	<i>Oxya intricata</i> (Stål)	+	
	蔗蝗属 <i>Hieroglyphus</i>	斑角蔗蝗	<i>Hieroglyphus annulicornis</i> (Shiraki)	+	
	板胸蝗属 <i>Spathosternum</i>	中华板胸蝗	<i>Spathosternum prasiniferum sinense</i> Uvarov	+	
	腹露蝗属 <i>Fruhstorferiola</i>	绿腿腹露蝗	<i>Fruhstorferiola viridifemorata</i> (Caudell)	+	
	斑腿蝗科 Catantopidae	蹦蝗属 <i>Sinopodisma</i>	卡氏蹦蝗	<i>Sinopodisma kelloggii</i> (Chang)	+
			比氏蹦蝗	<i>Sinopodisma pieli</i> (Chang)	+
			蔡氏蹦蝗	<i>Sinopodisma tsaii</i> (Chang)	+
		棉蝗属 <i>Chondracris</i>	棉蝗	<i>Chondracris rosea rosea</i> (De Geer)	+
		黄脊蝗属 <i>Patanga</i>	日本蝗脊蝗	<i>Patanga japonica</i> (I.Bolivar)	+
凸额蝗属 <i>Traulia</i>		东方凸额蝗	<i>Traulia orientalis</i> Ramme	+	
斜翅蝗属 <i>Eucoptacra</i>		斜翅蝗	<i>Eucoptacra praemorsa</i> Stål	+	
斑腿蝗属 <i>Catantops</i>		红褐斑腿蝗	<i>Catantops pinguis</i> (Stål)	+	
直斑腿蝗属 <i>Stenocatantops</i>		短角直斑腿蝗	<i>Stenocatantops mistshenkoi</i> (Willemse)	+	
外斑腿蝗属 <i>Xenocatantops</i>		短角外斑腿蝗	<i>Xenocatantops brachycerus</i> (Willemse)	+	
素木蝗属 <i>Shirakiacris</i>	长翅素木蝗	<i>Shirakiacris shirakii</i> (I.Bolivar)	+		

续表

科	属	种	区系性质		
			东洋种	广布种	
斑翅蝗科 Oedipodidae	踵蝗属 <i>Pternoscirta</i>	红翅踵蝗	<i>Pternoscirta sauteri</i> (Karny)	+	
		黄翅踵蝗	<i>Pternoscirta caliginosa</i> (De Haan)	+	
	车蝗属 <i>Gastrimargus</i>	云斑车蝗	<i>Gastrimargus marmoratus</i> (Thunberg)	+	
	飞蝗属 <i>Locusta</i>	东亚飞蝗	<i>Locusta migratoria manilensis</i> (Meyen)	+	
	绿纹蝗属 <i>Aiolopus</i>	花胫绿纹蝗	<i>Aiolopus tamulus</i> (Fabricius)	+	
	异距蝗属 <i>Heteropternis</i>	方异距蝗	<i>Heteropternis respondens</i> (Walker)	+	
	小车蝗属 <i>Oedaleus</i>	红胫小车蝗	<i>Oedaleus manjius</i> Chang	+	
	疣蝗属 <i>Trilophidia</i>	疣蝗	<i>Trilophidia annulata</i> (Thunberg)	+	
网翅蝗科 Acrepteridae	竹蝗属 <i>Ceracris</i>	青脊竹蝗	<i>Ceracris nigricornis nigricornis</i> Walker	+	
	雷箠蝗属 <i>Rammeacris</i>	大青脊竹蝗	<i>Ceracris nigricornis laeta</i> (I.Bol.)	+	
		黄脊雷箠蝗	<i>Rammeacris kiangsu</i> (Tsai)	+	
	斜窝蝗属 <i>Epacromiacleis</i>	爪哇斜窝蝗	<i>Epacromiacleis javana</i> Willemse	+	
	雏蝗属 <i>Chorthippus</i>	鹤立雏蝗	<i>Chorthippus fuscipennis</i> (Caudell)	+	
剑角蝗科 Acrididae	鸣蝗属 <i>Mongolotettix</i>	异翅鸣蝗	<i>Mongolotettix anomopterus</i> (Caudell)	+	
	佛蝗属 <i>Phlaeoba</i>	短翅佛蝗	<i>Phlaeoba angustidorsis</i> Bol.	+	
		长角佛蝗	<i>Phlaeoba antennata</i> Br.-W.	+	
		僧帽佛蝗	<i>Phlaeoba infumata</i> Br.-W.	+	
	夏蝗属 <i>Gonista</i>	二色夏蝗	<i>Gonista bicolor</i> (Haan)	+	
	蟻蚶蝗属 <i>Gelastorhinus</i>	圆翅蟻蚶蝗	<i>Gelastorhinus rotundatus</i> Shiraki	+	
剑角蝗属 <i>Acrida</i>	中华剑角蝗	<i>Acrida cinerea</i> Thunberg	+		
		总计		22	18
		占比/%		55	45

2.3 台州市蝗虫在不同科中的属和种的组成

图2的结果显示了台州市蝗虫科、属、种的组成情况,该地区蝗虫各科的属、种分布相对比较均匀,各科中属级单元较多的是斑腿蝗科、斑翅蝗科2个主要属,每个属分别占总数的43.33%和23.33%;种类数最多的是斑腿蝗科,占总数的47.50%,其次是斑翅蝗科和剑角蝗科,占总数的20.00%和17.50%。这说明在台州市蝗虫种类组成中,斑腿蝗科、斑翅蝗科的蝗虫占主要地位,也是危害当地杂草和侵入农田主要类群。此结果符合东洋区斑腿蝗科物种较多的特点。而网翅蝗科的蝗虫无论是属还是种都较少。本文中,台州市的雏蝗属只有一个物种鹤立雏蝗,其分布区位于海拔较高的括苍山。网翅蝗科的物种喜干旱,在高原地区的草地环境中分布较多,台州地区的气候环境不适合该类群的生活。

2.4 台州市蝗虫的区系分析

由表2可知,斑腿蝗科的东洋种和广布种在属以及种的数量上最多,斑翅蝗科次之,锥头蝗科只有1属1种,为广布种。网翅蝗科有4属5个种,只有东洋种,没

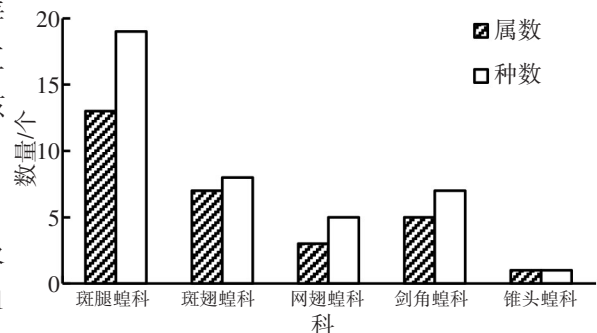


图2 台州市蝗虫在不同科之间的属、种组成

有广布种。剑角蝗科有5属7个种,其中4个种为东洋种,3个种为东洋区和古北区均有分布的广布种。

表2 台州市蝗虫的区系分析

科	属(种)	东洋种属(种)	广布种属(种)
斑腿蝗科	13(19)	7(9)	6(10)
斑翅蝗科	7(8)	3(4)	4(4)
网翅蝗科	4(5)	4(5)	—
剑角蝗科	5(7)	3(4)	3(3)
锥头蝗科	1(1)	—	1(1)
总计	30(40)	17(22)	14(18)

3 讨论

蝗虫的分布现状受地形、植被、土壤等诸多自然因素的综合影响,其中植被、小气候及土壤类型与蝗虫分布的有无及多寡的关系尤为密切。前者决定着蝗虫的食性、发育、生殖等,后者对蝗虫的栖居、产卵等行为习性以及分布区的大小有着直接影响^[13-14]。本文对台州市40种蝗虫的区系成分进行了分析,结果显示:台州市蝗虫在世界动物地理各区系中分布于东洋界的种类主要有22种,占全部种类的55%;在东洋区和古北区均有分布的广布种共18种,占45%。这表明:在中国动物地理区系中,本区的蝗虫以东洋物种为主,广布种在该地区也有大量分布。

蝗虫喜温、干,较干燥的环境利于蝗虫的生长繁殖,因此蝗虫广泛分布于较温热的草地和植被低矮的灌木丛中^[15]。台州市地处浙江省中部沿海,依山面海,冬无严寒,热量丰富,土地平坦肥沃,植被资源丰富,非常符合蝗虫的生长所需条件。当地的地貌丰富多样,既有海拔超过1000m的括苍山,也有大量的沿海低地平原,复杂的地貌适合不同生活习性的蝗虫生存。该地区的气候特征为夏季干热,7月至9月为干热期,也为蝗虫的繁殖提供了有利的温湿度。相关研究表明:地表的植被覆盖率低时,蝗虫繁殖速度快,且分布密集;气候干旱、蒸发旺盛时,河湖水域面积缩小,低洼地的面积增加,会为蝗虫的产卵提供合适的场所^[16-17]。台州市多样的地貌特征、适宜的温湿度为许多常见蝗虫提供了理想的繁殖条件,因此该地区广布型的蝗虫占很大比例,这也是本地区蝗虫物种多样性丰富的重要原因。

在不同海拔的环境中,蝗虫物种成分差异很大。本文围绕括苍山,发现在海拔1000m左右的山坡平地中,既有能适应干燥气候环境的鹤立雏蝗,也有广布种类疣蝗^[18-19];在海拔500m左右的山地,有小翅的蝗虫,如卡氏蹦蝗、比氏蹦蝗,也有飞翔能力强大的棉蝗和日本黄脊蝗等;在海拔200m左右的竹林环境中,有短角外斑腿蝗、长角佛蝗以及青脊竹蝗等;在低地和平原地区则有大量的常见蝗虫,如东亚飞蝗、中华稻蝗和花胫绿纹蝗等。这些蝗虫的适应能力非常强,在全国各地都有广泛分布^[20-21]。多样的地貌和气候特点,为各种蝗虫的生存提供了适宜的条件,同时也反映出蝗虫种群与群落结构在时间、数量、空间上的差异性与规律性。

参考文献:

- [1]郑哲民. 蝗虫分类学[M]. 西安:陕西师范大学出版社,1993.
- [2]石旺鹏,谭树乾. 蝗虫生物防治发展现状及趋势[J]. 中国生物防治学报,2019,35(3):307-324.
- [3]胡靖,钱秀娟,刘长仲. 放牧模式对高山草地蝗虫群落生物多样性的影响及其作用机制[J]. 植物保护学报,2021,48(1):212-220.
- [4]康乐,魏丽亚. 中国蝗虫学研究60年[J]. 植物保护学报,2022,49(1):4-16.

- [5]李金星,靳茜,管廷贤,等.新疆博尔塔拉蒙古自治州草原蝗虫多样性及群落结构特征[J].中国生物防治学报,2022,38(5):1213-1222.
- [6]马志宁,俞鸿千,王颖,等.宁夏草原蝗虫多样性及其对环境因子的响应[J].中国生物防治学报,2022,38(6):1459-1472.
- [7]胡靖,钱秀娟,刘长仲.高山草地蝗虫群落生物多样性和空间聚集强度对植物群落的响应[J].植物保护学报,2021,48(1):202-211.
- [8]李家玉,曹奕昕,李馨,等.延安黄土丘陵沟壑区不同年限人工恢复林地中的蝗虫群落结构[J].延安大学学报(自然科学版),2018,37(2):77-81.
- [9]郑哲民,白义,许升全.浙江省临海三江湿地蝗虫的调查(直翅目)[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2012,40(6):58-60.
- [10]郑哲民.中国蝗虫的分类学研究[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2003,31(增刊2):46-58.
- [11]邢飞,高文财,于艳萍,等.东北地区蝗虫物种多样性调查研究[J].吉林师范大学学报(自然科学版),2005(1):20-22.
- [12]TORMA A,CSÁSZÁR P,BOZSÓ M,et al. Species and functional diversity of arthropod assemblages (Araneae,Carabidae, Heteroptera and Orthoptera) in grazed and mown salt grasslands[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2019, 273: 70-79.
- [13]FARTMANN T,PONIATOWSKI D,HOLTMANN L. Effects of land-use and climate change on grasshopper assemblages differ between protected and unprotected grasslands[J]. Basic and Applied Ecology, 2022, 63: 83-92.
- [14]白义,许升全,邓素芳.陕西蝗虫地理分布格局的聚类分析[J].动物分类学报,2006,31(1):18-24.
- [15]ZHANG L,LECOQ M,LATCHININSKY A,et al. Locust and grasshopper management[J].Annual Review of Entomology, 2019, 64: 15-34.
- [16]LUCAS J M,JONAS J,LAWS A N,et al. Functional and taxonomic diversity of grasshoppers differentially shape above-and below-ground communities and their function[J]. Functional Ecology, 2021, 35(1):167-180.
- [17]李馨,王丽红,王文强,等.中国蝗虫物种多样性研究进展[J].延安大学学报(自然科学版),2014,33(3):59-63.
- [18]蒋国芳,洪芳.中国蝗虫特有属代表种及其地理分布[J].国土与自然资源研究,1994(4):43-46.
- [19]梁铭球,郑哲民.中国蝗总科(Acridoidea)昆虫分类研究综述[J].昆虫知识,1994,31(2):119-121.
- [20]张宏杰,廉振民,霍科科.中国蝗虫生物多样性研究进展[J].汉中师范学院学报(自然科学),2002(6):82-88.
- [21]胡鑫,潘晓丹,周斌灵,等.中华稻蝗不同龄期的形态多样性研究[J].应用昆虫学报,2018,55(3):382-392.

Species Diversity and Fauna Analysis of Grasshoppers in Taizhou

Zhang Chen^a, Chen Siqu^a, Ye Qianhong^a, Bai Yi^a, Wang Hairui^b, Wu Qiaolu^a

(a. School of Life Science; b. School of Teacher Education(Physical Education), Taizhou University, Taizhou 318000, China)

Abstract: In this study, the common grasshopper species, zonal composition and species composition in Taizhou are studied by field survey and statistical analysis of data. The results show that grasshoppers in Taizhou are rich in species, with 30 genera and 40 species in 5 families. In terms of species composition, there are 18 grasshopper species belong to widespread species and 22 species belong to oriental species, indicating that the warm and humid coastal climate, diverse landscape and vegetation types are suitable for different species of grasshoppers. In terms of the species composition of grasshopper species, the number of grasshopper species that belong to widespread species is the highest in the family Catantopidae with 19 species, and the number of species in the families Oedipodidae and Arcypteridae are 8 and 5 species respectively. The species composition of grasshoppers belong to widespread species is consistent with the characteristics of the high number of grasshoppers in the family Catantopidae in southern China. The results of this study are of great relevance to the understanding of the species composition of grasshoppers in Taizhou, the comprehensive management of grasshoppers and the conservation of the ecological environment.

Keywords: grasshoppers; species diversity; fauna distribution

Ti-22Al-25Nb 合金热处理后不同相含量的比较 及其对合金显微硬度的影响

章馨予¹, 邵玲^{1,2}

(1. 台州学院 浙江省工量刃具检测与深加工技术研究重点实验室, 浙江 台州 318000;
2. 浙江大学台州研究院 台州市医疗器械与先进材料重点实验室, 浙江 台州 318000)

摘要:通过对 Ti-22Al-25Nb 合金设计不同的热处理工艺路线, 分别得到 β /B2 相和 O 相的两相合金及 β /B2 相、 α_2 相和 O 相的三相合金; 借助 X 射线衍射仪(XRD)、扫描电子显微镜(SEM)和维氏显微硬度计, 研究合金在不同热处理工艺下的组织演变、物相、相含量及显微硬度。结果表明: 随着热处理温度的降低, 由 β /B2 相和 O 相两相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金中, O 相和 β /B2 相的晶粒尺寸都逐渐增大; O 相的体积分数逐渐增加, 而 β /B2 相的体积分数逐渐减少; 合金的显微硬度逐渐增加。随着热处理温度的降低, 由 β /B2 相、 α_2 相和 O 相三相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金中, α_2 相和 O 相的晶粒尺寸都逐渐增大, 而 β /B2 相的晶粒尺寸逐渐减小; α_2 相和 O 相的体积分数逐渐增加, 而 β /B2 相的体积分数逐渐减少; 合金的显微硬度逐渐增加。这一研究结果为进一步获得综合性能优异的 Ti-22Al-25Nb 合金提供了数据参考。

关键词: Ti-22Al-25Nb 合金; 热处理; 组织演变; 相含量; 显微硬度

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.006

0 引言

随着航空航天领域的迅速发展, 该领域对材料的要求也逐渐提高, 材料的研究在一定程度上影响着该研究领域的发展速度。从综合飞机等飞行器的工作环境来看, 拥有低密度、高比强度、抗高温氧化性和良好的可加工性等优异综合性能的 Ti-Al 系合金材料非常符合航空航天领域对材料性能的要求^[1-2]。Ti₂AlNb 基合金具有高比强度、高比刚度、低密度、低弹性模量和热膨胀系数、良好的抗蠕变性能和高温抗氧化性等优点, 无磁性和阻燃性能好^[3-4], 比 Ti₃Al 基合金具有更好的塑性变形能力和延展性, 在航空航天领域有着广泛的应用前景, 被视为最具有潜力且有助于航空航天发动机通过结构减重实现性能提升的新型轻质高温结构材料^[5-6]。

Ti-22Al-25Nb 合金作为第二代 Ti₂AlNb 基合金中的一种, 包括 β /B2 相(β 是无序结构, B2 是体心立方结构)、 α_2 相(密排六方结构)和 O 相(有序正交结构)^[7-8]。由于其具有优异的高周疲劳、高温强度和蠕变性能等优点, 长时间使用的温度可达到 650~750 °C, 适应未来航空航天发动机结构对高比模量、高比强度且综合性能优异的轻质高温结构材料的迫切需求, 有望替代 Ni 基高温合金并应用于航空发动机的关键部位^[9-11]。Ti-22Al-25Nb 合金属于三元系合金, 相变关系复杂, 微观组织、相含量和力学性能受热处

收稿日期: 2023-09-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(52201187); 浙江省“尖兵”研发攻关计划项目(2023C0082); 浙江省教育厅一般科研项目(Y202249336); 台州市科技计划项目(21gya23)

作者简介: 章馨予(2001—), 女, 安徽芜湖人, 2020级材料科学与工程专业本科生; 邵玲(通信作者)(1985—), 女, 浙江金华人, 副研究员, 博士, 主要从事金属材料的合成及性能改性机理的研究。

理工艺影响极为敏感。合理调控合金微观组织和相含量,可以实现对性能的精确控制,这已成为该合金目前研究的热点和难点,也受到了广泛的关注^[12-13]。贾建波等^[14]将粉末冶金制备的 Ti-22Al-25Nb 合金分别在 940~1 100 °C、10~120 min 和 800 °C/8 h 条件下进行固溶处理和时效处理,研究了“固溶+时效”处理对粉末冶金 Ti-22Al-25Nb 合金显微组织和显微硬度的影响;Li 等^[15]将 Ti-22Al-25Nb 合金分别在 800~950 °C 高温扭转 1、2、6、12 h 后,研究变形的 Ti-22Al-25Nb 合金显微组织的优化和力学性能的提升;周伟等^[16]通过一系列固溶和时效热处理试验,研究了不同温度和时间对粗晶 Ti-22Al-25Nb 合金显微组织演变的影响;王邵丽等^[17]研究了不同固溶温度下 Ti-22Al-25Nb 合金的微观组织形貌变化、复杂相组成及相比例的变化。

然而,目前对 Ti-22Al-25Nb 合金的热处理工艺与微观组织、相含量和力学性能的关系的研究还不够充分。本文通过对 Ti-22Al-25Nb 合金设计不同的热处理工艺路线,分别得到 β /B2 相和 O 相的两相合金及 β /B2 相、 α_2 相和 O 相的三相合金,利用 X 射线衍射仪(X-ray diffractometer, XRD)对试样进行物相分析,采用扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)观察显微组织变化,并对各试样进行显微维氏硬度测试,以获得显微组织和相含量对显微硬度的影响规律。

1 实验材料及方法

实验所用材料为 Ti-22Al-25Nb 合金,其化学成分如表 1 所示。所用 Ti-22Al-25Nb 合金厚度为 2 mm,其物相和显微组织结构分别如图 1 和图 2 所示。由图 1 可见,厚度为 2 mm 的 Ti-22Al-25Nb 合金由 α_2 相、O 相和 β /B2 相三相组成。由图 2 可见,Ti-22Al-25Nb 合金板中明亮的相是 β /B2 相,灰色的相是 O 相,黑色的相是 α_2 相。

表 1 Ti-22Al-25Nb 合金的化学成分

元素	Al	Nb	O	N	H	Ti
含量/%	21.700	24.400	0.240	0.049	0.270	Bal.

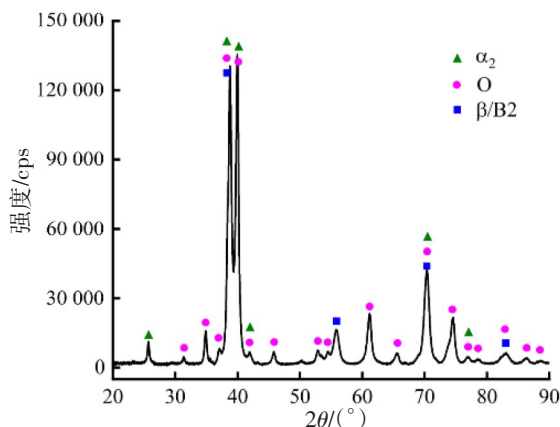


图 1 Ti-22Al-25Nb 合金的物相

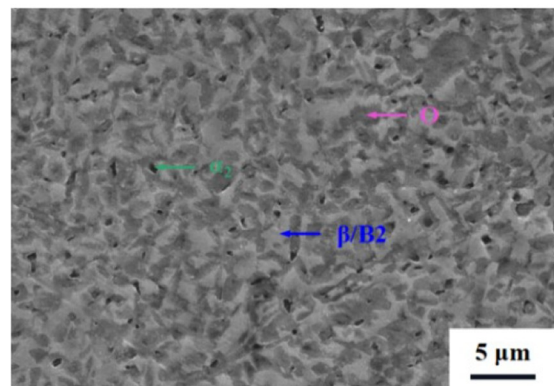


图 2 Ti-22Al-25Nb 合金的显微结构

为获得 β /B2 相和 O 相的两相合金,将厚度为 2 mm、由 α_2 相、O 相和 β /B2 相三相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金进行如图 3 所示的热处理工艺:先以 10 °C/min 的加热速率加热到 β /B2 单相区的 1 100 °C,保温 60 min;再以 10 °C/min 的速率冷却到 O+ β /B2 两相区的 850 °C、750 °C 和 650 °C,分别保温 120 min 后进行水淬(Water Quenching, WQ)。在 1 100 °C/60 min+850 °C/120 min/WQ 热处理条件下处理的试样为 # 1 号试样;在 1 100 °C/60 min+750 °C/120 min/WQ 热处理条件下处理的试样为 # 2 号试样;在 1 100 °C/60 min+650 °C/120 min/WQ 热处理条件下处理的试样为 # 3 号试样。

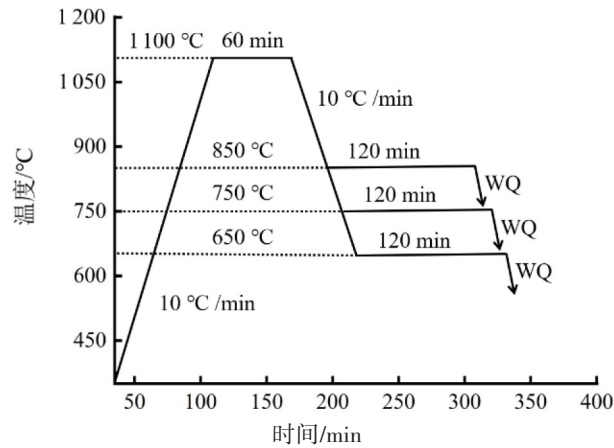


图3 获得 β /B2相和O相的Ti-22Al-25Nb合金的热处理工艺

为获得 β /B2相、 α_2 相和O相的三相合金,将厚度为2 mm、由 α_2 相、O相和 β /B2相三相组成的Ti-22Al-25Nb合金进行如图4所示的热处理工艺:以10 °C/min的速率加热到O+ β /B2两相区的850 °C、750 °C和650 °C,分别保温120 min后进行水淬。在850 °C/120 min/WQ热处理条件下处理的试样为#4号试样;在750 °C/120 min/WQ热处理条件下处理的试样为#5号试样;在650 °C/120 min/WQ热处理条件下处理的试样为#6号试样。

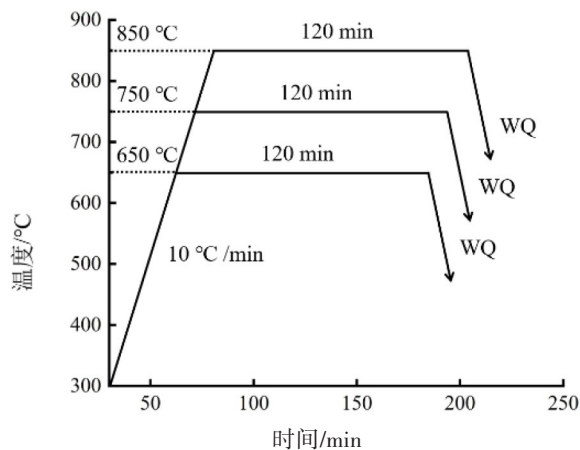


图4 获得 β /B2相、 α_2 相和O相的Ti-22Al-25Nb合金的热处理工艺

将Ti-22Al-25Nb合金原材料和经不同热处理条件处理后的Ti-22Al-25Nb合金,放在Rigaku SmartLab X射线衍射仪上进行测试,以确定物相组成。XRD测试条件为Cu靶 $K\alpha$ 射线,石墨单色器滤波,特征波长 $\lambda = 0.15418$ nm。射线管工作电压和电流分别为40 kV和40 mA,扫描步距为 0.02° ,扫描速度为 $5^\circ/\text{min}$,衍射角(2θ)变化范围为 $20^\circ \sim 90^\circ$ 。为观察试样的显微组织,将试样先在150 #,400 #,600 #,1 000 #,1 500 #和2 000 #水砂纸上依次进行手工粗磨与精磨,再在抛光机上用绒布加 FeO 、 CrO_3 和水的混合液进行抛光。经过打磨抛光后的试样用 $V(\text{HF}):V(\text{HNO}_3):V(\text{H}_2\text{O})=1:1:20$ 的体积比配制的溶液进行腐蚀,再用水和乙醇分别清洗试样,将试样用室温风吹干,最后将试样放置在Hitachi UHR CFE SU8230扫描电子显微镜下对显微组织进行观察和拍照。

维氏显微硬度测量在Wilson Instruments 402 MVD维氏显微硬度计上按照标准E92-16进行。先将试样磨制成抛光状态,清洗干净和干燥后,置于显微硬度计的载物台上,通过施加载荷装置对四棱锥形金刚石压头加载。测量载荷1 kgf,保压时间5 s,将每个试样测量 ≥ 10 次后计算得到的硬度平均值作为试样的硬度值。

2 结果分析与讨论

2.1 显微组织

试样# 1,# 2 和# 3 通过 XRD 测试分析的结果如图 5 所示。从图 5 中的衍射峰可以分析出试样# 1、# 2 和# 3 含有的相种类相同,都含有 O 相和 β/β_2 相两相,只是组织形态有差别。用 SEM 观察试样# 1,# 2 和# 3 的显微组织(如图 6 所示),晶粒的大小对热处理温度十分敏感。随着第二段热处理温度的降低(即 $850\text{ }^\circ\text{C}\rightarrow 750\text{ }^\circ\text{C}\rightarrow 650\text{ }^\circ\text{C}$),O 相和 β/β_2 相的晶粒尺寸都逐渐增大。

试样# 4,# 5 和# 6 通过 XRD 测试分析的结果如图 7 所示。从图 7 可以看出,试样# 4,# 5 和# 6 都是由 α_2 相、O 相和 β/β_2 相三相组成。用 SEM 观察试样# 4,# 5 和# 6 的显微组织(如图 8 所示),随着热处理温度的降低(即 $850\text{ }^\circ\text{C}\rightarrow 750\text{ }^\circ\text{C}\rightarrow 650\text{ }^\circ\text{C}$),不仅 α_2 相的晶粒尺寸逐渐增大,O 相的晶粒尺寸也逐渐增大,而 β/β_2 基体的晶粒尺寸逐渐减小。Banerjee 等^[18]研究表明 Ti-22Al-25Nb 合金中会发生如下的相变:包晶反应 $\alpha_2+\beta/\beta_2\rightarrow\text{O}$; $\beta/\beta_2\rightarrow\text{O}$ 转变; $\alpha_2\rightarrow\text{O}$ 转变将沿一定惯析面产生镶嵌组织; O 相出现在 α_2 颗粒边缘通常是包晶反应 $\alpha_2+\beta/\beta_2\rightarrow\text{O}$ 的产物。马雄等^[19]提出 Ti-22Al-25Nb 合金热机械处理过程中发生 $\text{O}\rightarrow\alpha_2$ 和 $\alpha_2\rightarrow\beta/\beta_2$ 的相转变。本文进行热处理研究后的结果表明, Ti-22Al-25Nb 合金中发生了 $\beta/\beta_2\rightarrow\text{O}$ 的相变。

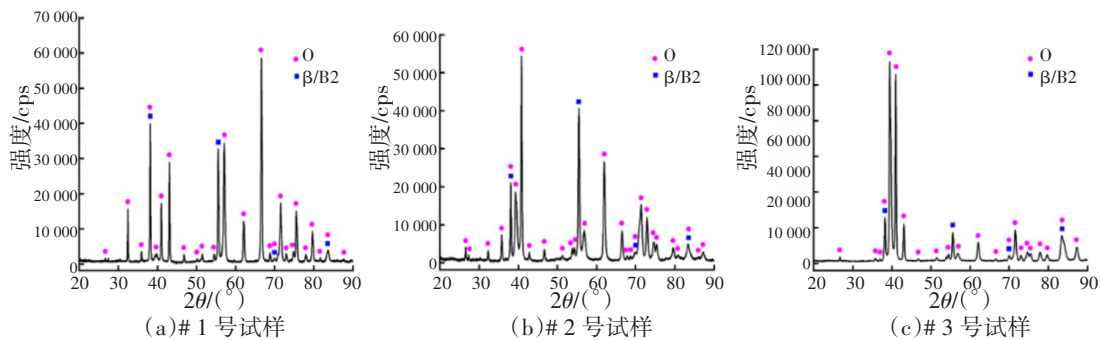


图 5 经不同热处理后的 Ti-22Al-25Nb 合金的 XRD 谱

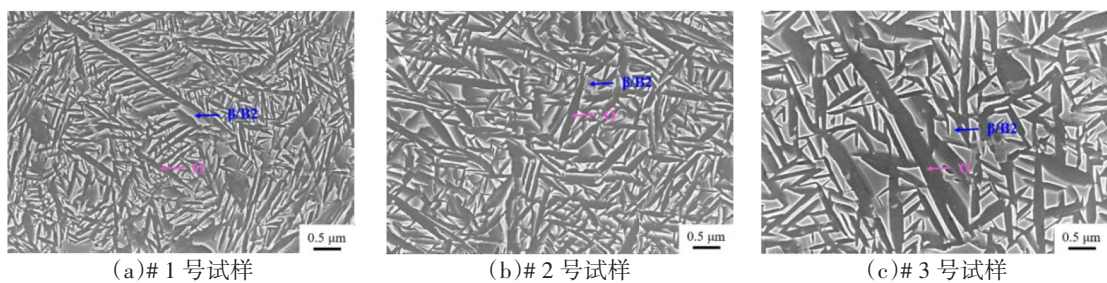


图 6 Ti-22Al-25Nb 合金经过不同热处理后的显微组织

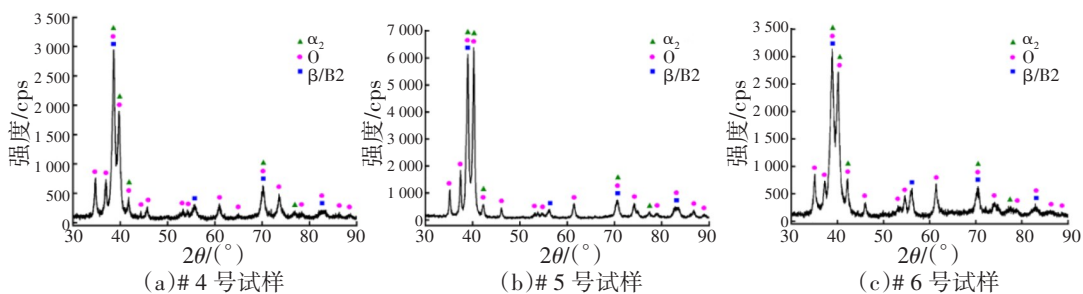


图 7 经不同热处理后的 Ti-22Al-25Nb 合金的 XRD 谱

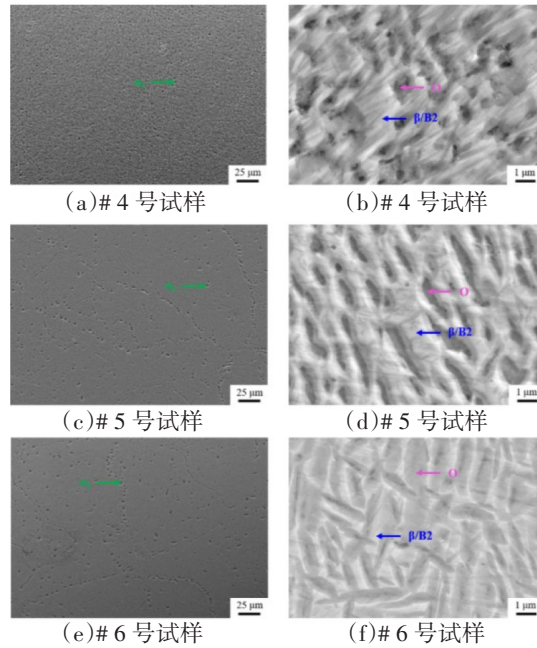


图8 经不同热处理条件后 Ti-22Al-25Nb 合金的显微组织

2.2 相含量

使用 ImageJ 软件对 SEM 照片进行图像分析后得到不同相的面积比,每个测量数值用 10 张不同照片获取读数的平均值。 $V_V=A_A^{[20]}$, V_V 是特定区域结构测量的体积分数, A_A 是相同区域结构测量的面积比, 不同相的体积分数通过面积比来确定。试样# 1、# 2 和# 3 中 O 相和 $\beta/B2$ 相的体积分数变化趋势如图 9 所示, 试样# 4、# 5 和# 6 中 α_2 相、O 相和 $\beta/B2$ 相的体积分数变化趋势如图 10 所示。

从图 9 可以看出, 在 1 100 °C/60 min+850 °C/120 min/WQ 热处理条件下, 试样# 1 中 O 相的体积分数为 9.2%, $\beta/B2$ 相的体积分数为 90.8%。在 1 100 °C/60 min+750 °C/120 min/WQ 热处理条件下, 试样# 2 中 O 相的体积分数为 30.4%, $\beta/B2$ 相的体积分数为 69.6%。在 1 100 °C/60 min+650 °C/120 min/WQ 热处理条件下, 试样# 3 中 O 相的体积分数为 44.1%, $\beta/B2$ 相的体积分数为 55.9%。可见随着第二段热处理温度的降低(即 850 °C→750 °C→650 °C), O 相的体积分数逐渐增加, 而 $\beta/B2$ 相的体积分数逐渐减少。

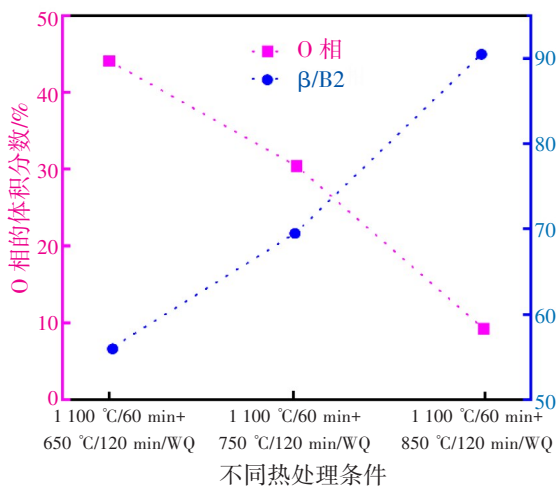


图9 经过不同热处理后 Ti-22Al-25Nb 合金中的 O 相和 $\beta/B2$ 相的体积分数

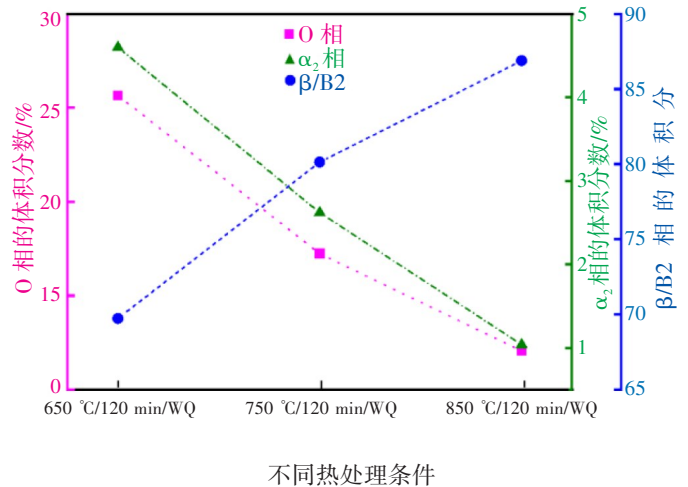


图10 经过不同热处理后 Ti-22Al-25Nb 合金中的 $\beta/B2$ 相、 α_2 相和 O 相的体积分数

从图 10 可以看出, 在 850 °C/120 min/WQ 热处理条件下, 试样# 4 中 α_2 相的体积分数为 1.04%, O 相

的体积分数为 12.07%, β /B2 相的体积分数为 86.89%。在 750 °C/120 min/WQ 热处理条件下,试样# 5 中 α_2 相的体积分数为 2.62%,O 相的体积分数为 17.24%, β /B2 相的体积分数为 80.14%。650 °C/120 min/WQ 热处理条件下,试样# 6 中 α_2 相的体积分数为 4.6%,O 相的体积分数为 25.66%, β /B2 相的体积分数为 69.74%。随着热处理温度的降低(即 850 °C \rightarrow 750 °C \rightarrow 650 °C), α_2 相和 O 相的体积分数逐渐增加,而 β /B2 相的体积分数逐渐减少。

2.3 显微硬度

试样# 1,# 2 和# 3 的维氏显微硬度测试结果如图 11 所示。在 1 100 °C/60 min+850 °C/120 min/WQ 热处理条件下,试样# 1 的平均显微硬度值为 382.08 HV;在 1 100 °C/60 min+750 °C/120 min/WQ 热处理条件下,试样# 2 的平均显微硬度值为 415.67 HV;在 1 100 °C/60 min+650 °C/120 min/WQ 热处理条件下,试样# 3 的平均显微硬度值为 433.05 HV。由 α_2 相、O 相和 β /B2 相三相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金先在 β /B2 单相区内的某温度下保温一段时间,再在 O+ β /B2 两相区中进行热处理,结果表明:随着热处理温度的降低,Ti-22Al-25Nb 合金的显微硬度逐渐增加;O 相和 β /B2 相的晶粒尺寸逐渐增大(图 6),组织中界面数量逐渐减少;组织中界面数量减少将降低滑移阻力,使位错运动受到的阻碍更少,塑性变形利于进行,如果从这个角度解释,合金的显微硬度应该是逐渐减小的,但是显微硬度测试分析结果反之;O 相的体积分数逐渐增加,而 β /B2 相的体积分数逐渐减少。结合以上分析可得,合金的显微硬度逐渐增加应该是因 O 相的硬度大于 β /B2 相的硬度所致。

试样# 4,# 5 和# 6 的维氏显微硬度测试结果如图 12 所示。在 850 °C/120 min/WQ 热处理条件下,试样# 4 的平均显微硬度值为 305.84 HV;在 750 °C/120 min/WQ 热处理条件下,试样# 5 的平均显微硬度值为 311.37 HV;在 650 °C/120 min/WQ 热处理条件下,试样# 6 的平均显微硬度值为 327.58 HV。结果表明:由 α_2 相、O 相和 β /B2 相三相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金在 O+ β /B2 两相区中进行热处理,随着热处理温度的降低,Ti-22Al-25Nb 合金的显微硬度逐渐增加。在文献[21]中,作者采用原位纳米压痕测试获得 3 种不同相的显微硬度大小顺序为: α_2 相>O 相> β /B2 相。随着热处理温度的降低, α_2 相和 O 相的体积分数逐渐增加,而 β /B2 相的体积分数逐渐减少(图 10),这可以说明为什么试样# 6 的显微硬度>试样# 5 的显微硬度>试样# 4 的显微硬度。

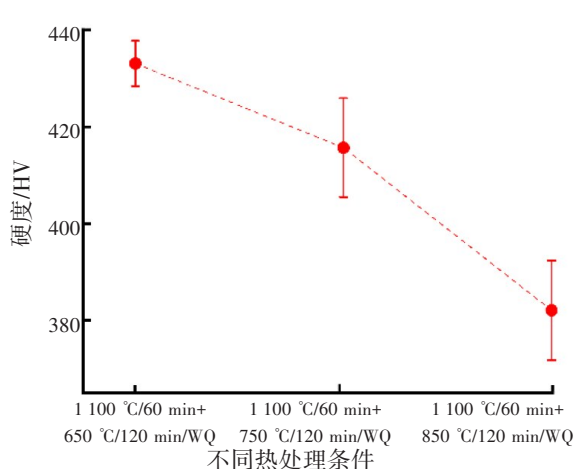


图 11 经过不同热处理后 Ti-22Al-25Nb 合金显微硬度的变化

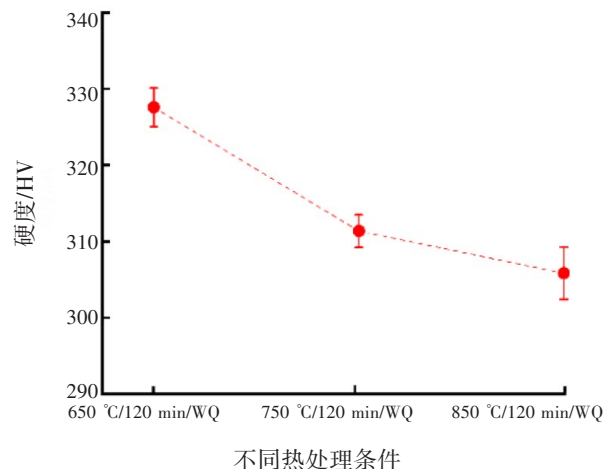


图 12 经过不同热处理后 Ti-22Al-25Nb 合金显微硬度的变化

3 结语

通过对 Ti-22Al-25Nb 合金设计不同热处理工艺路线分别得到 $\beta/\text{B2}$ 相和 O 相的两相合金及 $\beta/\text{B2}$ 相、 α_2 相和 O 相的三相合金,分析了合金在不同热处理工艺下的组织演变、物相、相含量及显微硬度变化。主要研究结果如下:

(1)由 α_2 相、O 相和 $\beta/\text{B2}$ 相三相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金,先在 $\beta/\text{B2}$ 单相区内的某温度下保温一段时间,再在 O+ $\beta/\text{B2}$ 两相区中进行热处理,获得由 $\beta/\text{B2}$ 相和 O 相两相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金。随着第二段热处理温度的降低,O 相和 $\beta/\text{B2}$ 相的晶粒尺寸都逐渐增大;O 相的体积分数逐渐增加,而 $\beta/\text{B2}$ 相的体积分数逐渐减少;由 $\beta/\text{B2}$ 相和 O 相两相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金显微硬度逐渐增加。

(2)由 α_2 相、O 相和 $\beta/\text{B2}$ 相三相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金,在 O+ $\beta/\text{B2}$ 两相区中进行热处理,获得由 $\beta/\text{B2}$ 相、 α_2 相和 O 相三相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金。随着热处理温度的降低, α_2 相和 O 相的晶粒尺寸都逐渐增大,而 $\beta/\text{B2}$ 相的晶粒尺寸逐渐减小; α_2 相和 O 相的体积分数逐渐增加,而 $\beta/\text{B2}$ 相的体积分数逐渐减少;由 $\beta/\text{B2}$ 相、 α_2 相和 O 相三相组成的 Ti-22Al-25Nb 合金显微硬度逐渐增加。

参考文献:

- [1] LUO Y, LIU S, SUN Z, et al. Microstructural evolution during annealing of a powder metallurgical TiAl-Nb composite and its effect on mechanical properties[J]. *Journal of Materials Research and Technology*, 2023, 25: 3654-3669.
- [2] LIN C, WU W, HAN Y, et al. Orderly nucleation and competitive growth behaviors of Ti-Al intermetallic compounds in Ti/TiAl₃ diffusion couple under high temperature[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2023, 939: 168815.
- [3] AYADH W, DENAND B, HALKOUM A, et al. Effect of prior α_2 phase on precipitation kinetics of O-phase in advanced Ti₂AlNb alloy[J]. *Acta Materialia*, 2023, 252: 118930.
- [4] 贾建波, 张尧, 范长琳, 等. (TiB₂+TiB)/Ti-22Al-25Nb 复合材料的热变形行为与组织演变[J/OL]. *中国有色金属学报*: 1-20[2023-09-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1238.TG.20230518.1701.005.html>.
- [5] ILLARIONOV A G, STEPANOV S I, NASCHETNIKOVA I A, et al. A review-Additive manufacturing of intermetallic alloys based on orthorhombic titanium aluminide Ti₂AlNb[J]. *Materials*, 2023, 16(3): 991.
- [6] LI Z, CHANG B, ZHANG D, et al. Effect of post-heat treatment on Ti₂AlNb-based alloy fabricated by twin-wire alternating dual-electron beam additive manufacturing technology[J]. *Journal of Materials Science & Technology*, 2023, 157: 130-143.
- [7] SIM K H, RI Y C, JO C H, et al. Modified Zerilli-Armstrong and Khan-Huang-Liang constitutive models to predict hot deformation behavior in a powder metallurgy Ti-22Al-25Nb alloy[J]. *Vacuum*, 2023, 210: 111749.
- [8] ZHANG Y, XUE X, ZHANG J, et al. Construction of constitutive model and strain-rate sensitivity coefficient distribution map of Ti₂AlNb[J]. *Metals and Materials International*, 2020, 27(7): 1988-1996.
- [9] YUPENG L, LINGJIAN M, HOMGLIANG Y, et al. Constitutive models for tensile deformation behavior of Ti-22Al-25Nb alloy sheet at elevated temperature[J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2023, 52(3): 785-790.
- [10] 龙川, 苏艳, 杜宇雷, 等. 铸态 Ti-22Al-25Nb 合金的结构特征与力学性能[J]. *稀有金属材料与工程*, 2020, 49(11): 3902-3908.
- [11] MA H, ZENG W, ZHANG F, et al. Grain-boundary migration induced abnormally increased flow stress under large strain in a high-temperature compressed Ti-22Al-25Nb alloy[J]. *Materials Letters*, 2023, 330: 133222.
- [12] MA H, ZENG W, KOU Y, et al. Special deformation mechanisms dominated by grain boundary sliding of extrusion-refined Ti-22Al-25Nb alloy during compression in single BCC phase field[J]. *Materials Science and Engineering: A*, 2023, 871: 144906.

- [13]ZHANG P,ZENG W,MA H,et al. Research on tensile anisotropy of Ti-22Al-25Nb alloy isothermally forged in B2 phase region related with texture and variant selection[J]. *Materials Characterization*,2023,201:112899.
- [14]贾建波,鹿超,杨志刚,等. 固溶+时效处理对粉末冶金 Ti-22Al-25Nb 合金显微硬度的影响[J]. *材料研究学报*,2020,34(3):199-208.
- [15]LI H,ZHANG W,YANG J,et al. Microstructural evolution and mechanical properties of Ti-22Al-25Nb alloy fabricated by high-pressure torsion under ageing treatment[J]. *Journal of Materials Engineering and Performance*,2023,32(11):4902-4910.
- [16]周伟,姚泽坤,马震. 固溶和时效处理对粗晶 Ti-22Al-25Nb 合金显微组织的影响[J]. *热加工工艺*,2018,47(14):208-212.
- [17]王邵丽,曾卫东,马雄,等. 固溶温度对 Ti-22Al-25Nb 合金微观组织的影响[J]. *热加工工艺*,2009,38(8):106-109.
- [18]BANERJEE D. The intermetallic Ti_2AlNb [J]. *Progress in Materials Science*,1997,42:135-158.
- [19]马雄,张建伟,梁晓波,等. Ti-22Al-25Nb 合金热机械处理组织与性能研究[J]. *稀有金属材料与工程*,2017,46(5):1375-1379.
- [20]秦国友. 定量金相[M]. 成都:四川科学技术出版社,1987.
- [21]SHAO L,ZHANG X Y,CHEN Y W,et al. Why do cracks occur in the weld joint of Ti-22Al-25Nb alloy during post-weld heat treatment?[J]. *Frontiers in Materials*,2023,10:1-7.

Comparison of Different Phase Contents in Ti-22Al-25Nb Alloy After Various Heat Treatments and Their Effects on the Microhardness of the Alloy

Zhang Xinyu¹, Shao Ling^{1,2}

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory for Cutting Tools, Taizhou University, Taizhou 318000, China;

2. Taizhou Key Laboratory of Medical Devices and Advanced Materials, Research Institute of
Zhejiang University-Taizhou, Taizhou 318000, China)

Abstract: By designing different heat treatment processes for Ti-22Al-25Nb alloy, two-phase alloys consisting of $\beta/B2$ and O phases, as well as three-phase alloys consisting of $\beta/B2$, α_2 , and O phases, were obtained. The microstructural evolution, phases, phase volume fractions, and microhardness of the alloy under different heat treatment processes were investigated by using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and Vickers microhardness tester. The results showed that with decreasing the heat treatment temperature, the grain size of O and $\beta/B2$ phases in the Ti-22Al-25Nb alloy composed of $\beta/B2$ and O phases gradually increased; the volume fraction of O phase increased while the volume fraction of $\beta/B2$ phase decreased; and the microhardness of the alloy gradually increased. With decreasing the heat treatment temperature, the grain size of α_2 and O phases in the Ti-22Al-25Nb alloy composed of $\beta/B2$, α_2 , and O phases gradually increased, while the grain size of $\beta/B2$ phase gradually decreased; the volume fraction of α_2 and O phases increased, while the volume fraction of $\beta/B2$ phase decreased; and the microhardness of the alloy gradually increased. These results provide data reference for obtaining Ti-22Al-25Nb alloy with excellent comprehensive performance.

Keywords: Ti-22Al-25Nb alloy; heat treatment; microstructure evolution; phase content; microhardness

基于系统动力学的建筑业碳排放预测

——以浙江省为例

陈莉, 杨雨欣

(安徽建筑大学 经济与管理学院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 首先依据系统动力学模型,对浙江省建筑业的碳排放影响因子进行了深入分析,利用存量流量图进行系统仿真,揭示经济发展、人口状况、能源耗费与建筑业碳排放之间的动态变化规律,并采用3种方式验证模型的有效性;其次结合相关政策,设置高、中、低3种不同情景,预测浙江省建筑业未来碳排放量,结果表明,在低耗能情景下的直接碳排放量较少;最后从技术进步、思维方式、能源结构和政策引导4个方面提出浙江省碳减排的建议。

关键词: 建筑业;碳排放;系统动力学;碳减排

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.007

0 引言

新时代背景下,我国城镇化水平与日俱增,与此同时,建筑业碳排放也呈现上升的趋势。相关数据表明:2019年,在全球范围内,建筑业的CO₂排放量达到全球CO₂总排放量的38%,其中,钢铁、玻璃等建筑材料在它们建造过程中的CO₂排放量约为全球CO₂总排放量的10%^[1];截至2018年,我国建筑全过程能源占我国能源消费总额的46.5%,碳排放量占我国总量的51.3%^[2]。因此,推进“碳中和”目标实现,是当下建筑行业的当务之急。而浙江省是国内首个提出碳达峰碳中和科技创新有关行动方案的地区,通过对浙江省建筑业碳排放的研究,可为其他省份碳减排寻求先机^[3]。本文通过建立浙江省碳排放系统动力学模型,分析碳排放各个影响因素之间的关系和作用;通过模拟仿真,揭示浙江省经济发展、人口状况、能源耗费与建筑业碳排放之间的动态变化规律;预测浙江省未来碳排放量,预先发现可能发生的问题并予以修正,把握建筑业绿色发展的源头,这对于浙江省乃至全国建筑行业实现“碳中和”目标具有重要意义。

1 文献综述

建筑业碳排放已成为国内外学者研究的焦点。在研究建筑业及其运行过程中碳排放影响因素方面,邓椿等^[4]采用Kaya恒等式和LMDI(对数均值迪氏指数分解模型,Logarithmic Mean Divisia Index)模型,对山西省1988—2012年各年度的能源碳排放进行因素分析,结果表明:经济效应对碳排放的影响较大,而对人口结构的影响较小。戴新颖^[5]根据Kaya恒等式,将碳排放强度、能源消费强度、能源结构、人均GDP、人口数量作为影响中国煤炭碳排放量的5个因素,采用实证分析的方法分析影响因素与煤炭碳排放之间的协整关系,研究发现,经济的增长是我国煤炭碳排放增长的最主要因素。汪燕等^[6]首先将国内外

收稿日期:2023-07-25

基金项目:国家社科基金后期资助项目(21FKSB048);安徽省教育厅“工程管理专业学位案例库和教学案例推广中心建设项目(皖教秘科[2015]49号)

作者简介:陈莉(1966—),女,安徽阜阳人,教授,博士,主要从事技术经济评价方面研究。

的研究结果与浙江省的现实相结合,得出6个主要影响因子,即经济发展水平、人口、产业结构、能源结构、城市化水平、能源利用水平。其次,在对影响因子初步研究的基础上,基于拓展的STIRPAT模型(随机环境影响计量模型, Stochastic Impacts by Regression on Population Affluence and Technology),对浙江省碳排放驱动因素进行展开分析。最后通过岭回归方法,得出了人口规模(总数、城市化水平)、财富效应(人均GDP、第二产业占比)、技术因素(煤炭消费、能源消费强度)对CO₂排放具有显著影响的结论,而人口规模对碳排放总量的影响最为显著。Ma等^[7]根据STIRPAT模型和岭回归方法,得出5个因素(人口、城市化水平、公共建筑人均面积、第三产业GDP指数、公共建筑碳排放强度)对碳排放有显著影响。李爽等^[8]基于Kaya恒等式、STIRPAT模型、岭回归方法分析各种因素对建筑业碳排放量的影响。惠明珠等^[9]采用SBM法测算建筑业碳排放效率,同时,通过空间杜宾面板计量分析,从经济发展水平、城镇化水平、产业结构、能源消费结构、节能技术水平和资源禀赋6个角度探讨我国建筑业的碳排放效率影响因素。范建双等^[10]利用空间自相关和核密度函数方法,对中国建筑业碳排放量开展时空特征分析研究,得出中国建筑行业发展水平和从业人口规模对CO₂排放量大幅增加具有重要的促进作用。针对建筑业碳排放的因素分解研究,诸多学者都是使用Kaya恒等式、LMDI模型、STIRPAT模型等方法建立碳排放模型,得出影响建筑碳排放的关键因素主要有经济、环境、人口、能源4个方面。

系统动力学(System Dynamics, SD)广泛应用于研究复杂问题的影响机制,在碳排放量预测和影响因素方面有很大贡献^[11-12]。SD模型基于因果关系图对影响建筑业碳排放的要素关系进行定性描述,通过流图确定各要素性质、系统框架,并利用函数方程确定各要素之间的定量关系,从而实现了对碳排放系统的模拟。Du等^[13]以SD为基础,通过8个子系统(社会经济,第一、二、三产业,住宅,交通,废物处置,电力)具体研究其对城市碳排放的影响程度,并开展仿真预测,研究表明:我国城镇的CO₂排放量主要来自工业能源的生产和电力的使用。刘菁^[14]以系统动力学仿真技术为基础,通过设置各种模拟情景预测建筑碳排放的未来变化及其内部逻辑关系,并据此提出了相应的减排措施。赵冬蕾等^[15]基于SD,分析经济、能源、人口、环境4个子系统之间的因果关系,在此基础上进行仿真模拟,并从建材生产、产业结构、能源结构3个不同方面提出相应的政策建议。本文在其他学者研究的基础之上,以系统动力学为理论基础,通过构建浙江省建筑业碳排放模型来分析不同系统之间影响因素的协整关系,对浙江省建筑业的碳排放进行预测,并据此提出相应的碳减排建议。

2 浙江省建筑业碳排放现状

建筑行业的碳排放总量主要有:直接碳排放和间接碳排放。直接碳排放主要源于工业生产过程,间接碳排放则是由于大量建材的耗费而间接产生的。本文参考冯博等^[16]建立的建筑业CO₂排放量预测模型,结合联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)公布的碳排放系数,依据《中国统计年鉴》(2011—2020年)、《中国能源统计年鉴》(2011—2019年)、《浙江省统计年鉴》(2011—2020年),利用差值法对某些缺失数据进行补齐,得出浙江省2010—2019年建筑业碳排放量,如表1所示。本文选取了9种能源的直接碳排放,主要能源消费碳排放量从大到小依次为柴油>电力>汽油>原煤>煤油(仅列出排名前五者)。2010—2019年浙江省建筑业能源消费碳排放量在持续增长,排放CO₂从460.56万t增加到683.52万t,增幅达48.41%。建筑业间接碳排放主要是由5种材料消耗所形成的碳排放量,如水泥、钢材、玻璃和木材、铝材等^[17]。浙江省建筑业的间接碳排放量在建筑行业中占比很大,约为95%。2010—2017年,间接碳排放量CO₂从32 419.10万t增长到57 355.22万t,但浙江省建筑业

间接碳排放量在 2017 年达峰值,在此之后 CO₂ 排放量从 57 355.22 万 t 下降到 43 057.55 万 t。

表 1 建筑业碳排放量统计表

时间	建筑业碳排放量/万 t	直接碳排放量/万 t	间接碳排放量/万 t
2010	32 879.66	460.56	32 419.10
2011	41 707.37	496.62	41 210.74
2012	45 390.45	502.36	44 888.09
2013	51 507.68	564.49	50 943.19
2014	52 987.10	582.28	52 404.82
2015	53 968.28	593.68	53 374.60
2016	54 384.01	590.11	53 793.90
2017	57 968.99	613.77	57 355.22
2018	50 951.79	645.83	50 305.96
2019	43 741.07	683.52	43 057.55

3 实证

3.1 建筑业碳排放系统动力学模型

3.1.1 建筑业碳排放因果关系图

系统动力学利用内部的动态结构和反应机理来表达系统的动作模式和功能。根据有关学者的研究成果可知,在经济发展、产业结构调整、技术创新、社会效应等因素作用下,建筑业的碳排放水平受到较大影响。基于此,本文采用 LMDI 模型^[18]和 Kaya 恒等式,从经济、环境、能源、人口 4 个系统的角度出发,设定变量 C 、 C_i 、 E 、 E_i 、 Y 、 P ,分别表示建筑业碳排放总量、 i 种能源的碳排放量、一次能源消费量、 i 种能源的消费量、建筑业生产总值(GDP)、人口数量,计算得出建筑业碳排放 Kaya 恒等式为 $C = \sum_i$,

$$C_i = \sum_i \times \frac{E_i}{E} \times \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E}{Y} \times \frac{Y}{P} \times P。$$

将浙江省建筑业碳排放系统分成 4 大子系统,子系统中的具体指标为:①环境子系统:建筑业碳排放、环保水平、碳汇。②经济子系统:GDP、建筑业总产值、建筑业投资、减排成本、科技创新投入、技术水平、第二产业所占比重。③能源子系统:能源强度、建筑业能源消耗总量。④人口子系统:生活水平、劳动力、城市人口。这 4 个子系统之间相互联系、相互作用,形成了复杂的关系网图(如图 1 所示)。整个系统内部的主要反馈回路为:①GDP→+生活水平→+城市人口→+劳动力→+第二产业所占比重→+GDP。②GDP→+科技创新投入→+技术水平→+GDP。③GDP→+建筑业投资→+建筑业总产值→+第二产业所占比重→+GDP。④建筑业碳排放→+减排成本→-GDP→+科技创新投入→+环保水平→+碳汇→+建筑业碳排放。⑤建筑业碳排放→+减排成本→-GDP→+能源强度→+建筑业能源消耗总量→+建筑业碳排放。GDP 的增长会促进建筑业投资、科技投入等变量,导致建筑业产值增加;建筑业产值的增长对第二产业比重产生一定的影响,从而使建筑业能耗和碳排放量上升。通过对建筑碳排放体系的因果关系和主要反馈的分析,可以发现:建筑业的碳排放受到诸多因素的制约,存在着复杂的因果关系。因此,要有效地控制建筑业的碳排放,必须对其复杂的影响机制进行深入的探讨,可以构建系统动力学存量流量图来研究建筑业碳排放。

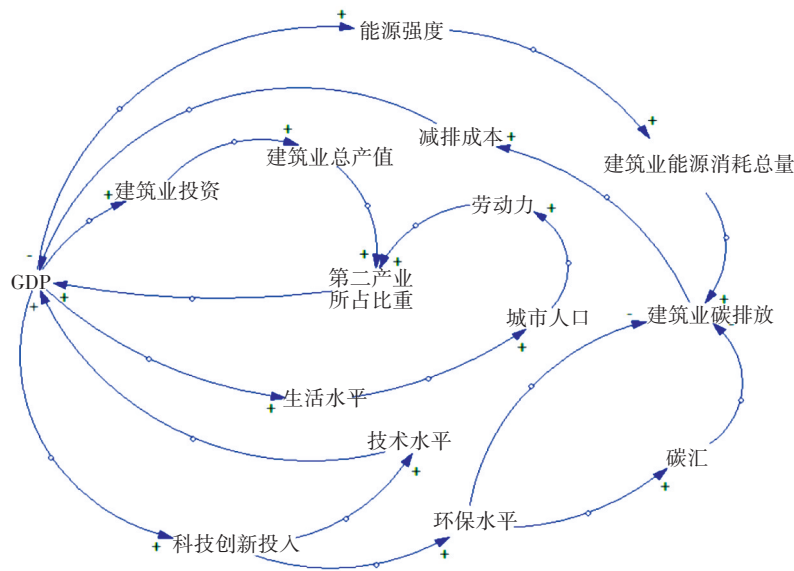


图1 碳排放系统因果关系图

3.1.2 建筑业碳排放存量流量图

根据建筑业碳排放系统因果关系图,综合考虑建筑业的直接和间接碳排放量,得出浙江省建筑业碳排放存量流量图,如图2所示。

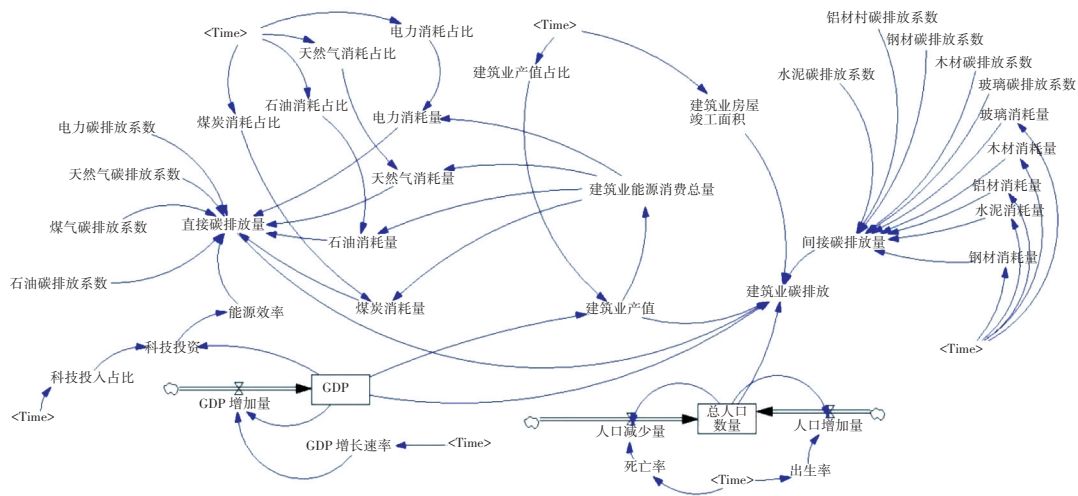


图2 碳排放存量流量图

该模型主要变量包括GDP、建筑业产值、总人口、建筑能耗等。其中,建筑业碳排放量直接受直接排放和间接碳排放影响,而其他影响因子如GDP增长速率作用于GDP增加量,GDP影响因子协同总人口数量、建筑业产值、能源效率等影响直接碳排放量,最后影响到整个建筑业的碳排放量。

3.2 模拟仿真及检验

3.2.1 系统仿真

基于系统存量流量图中的结构模型,本文对2010—2019年的浙江省建筑业碳排放量进行仿真,系统模拟时间设为2010—2019年,并设置了2010年的一些初始值,数据来源于《中国统计年鉴》(2011—2020年)、《中国能源统计年鉴》(2011—2019年)、《浙江省统计年鉴》(2011—2020年),利用差值法对某些缺失数据进行补齐。通过建立各变量方程,结合Vensim PLE软件对浙江省2010—2019年建筑业碳排放量和各影响因子进行了数值模拟,模拟仿真结果如表2所示。

系统模拟仿真结果输出的变量趋势图如图3所示。通过对比浙江省建筑业总碳排放量、直接碳排放

量、间接碳排放量趋势图结果可以得出:2010—2019年建筑业碳排放与间接碳排放涨幅是趋于一致的,间接碳排放占95%以上,这是因为建筑材料消耗所形成的碳排放量大造成的,因此在建材生产过程中实施节能减排,更有利于实现低碳的目标。2017年,建筑行业的总碳排放量和间接碳排放量都达到了最高峰,此后开始逐年下降。究其原因,“十三五”期间,浙江省坚持绿色发展理念,推动“911”行动计划,积极推进创新绿色发展体制机制建设,生态环境取得显著成果。与此同时,装配式建筑在我国发展飞速,在某种程度上降低了现场混凝土的浇筑,对建筑碳排放产生了抑制作用。浙江省把发展绿色低碳作为社会经济发展的重要战略,这也是形成生态文化的重要手段,《浙江省“十三五”控制温室气体排放实施方案》对此作了明确阐述:到2020年,碳排放总量规模将得到合理调控。在本文所仿真模拟的建筑业碳排放量趋势图中,2019年建筑业碳排放量有所降低,这有利于目标任务的完成,我们再结合多方面的措施,为进一步实现减排目标作出贡献。

表2 建筑业碳排放系统各指标模拟仿真结果

时间	建筑业碳排放量/万 t	直接碳排放量/万 t	间接碳排放量/万 t	总人口数量/万人	建筑业房屋竣工面积/万 m ²
2010	32 720	446.6	32 270	4 748	45 100
2011	41 420	464.4	40 960	4 830	51 150
2012	45 130	522.9	44 610	4 859	55 470
2013	51 260	598.8	50 670	4 882	61 550
2014	52 700	587.4	52 120	4 910	66 480
2015	53 590	574.7	53 020	4 979	68 320
2016	54 030	592.7	53 440	5 005	68 820
2017	57 580	621.7	56 960	5 018	66 570
2018	50 440	618.3	49 820	5 036	54 210
2019	43 230	636.2	42 590	5 058	43 550

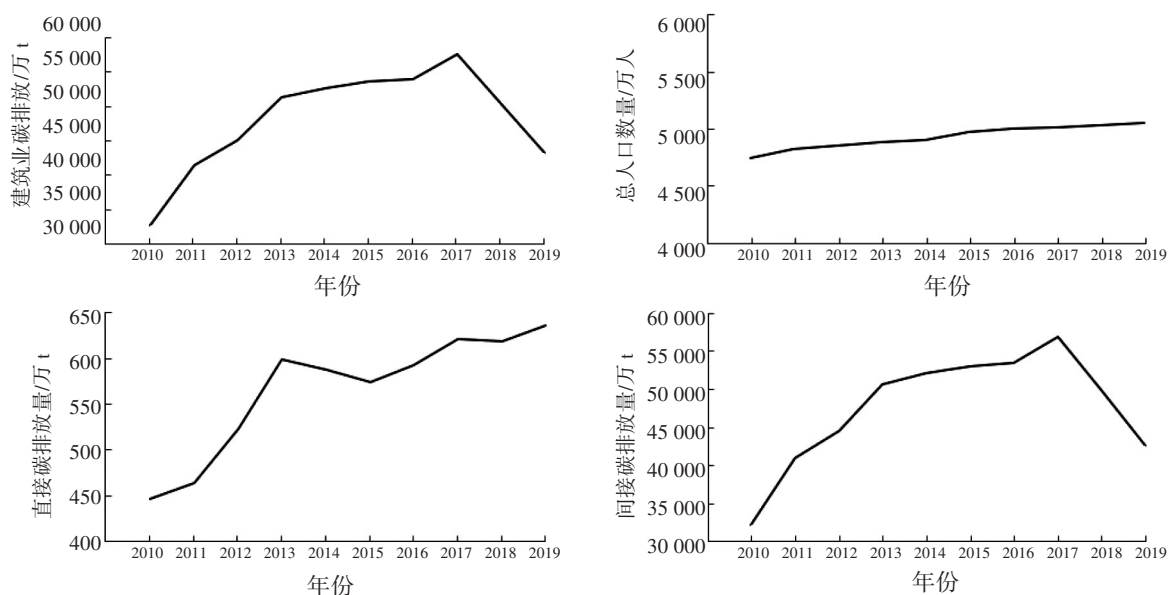


图3 建筑业碳排放量运行检验结果

3.2.2 有效性检验

通过对建筑业碳排放系统进行模拟仿真,得到系统各指标的仿真结果。从仿真结果数值角度对比上述计算的真实结果,以验证检验模型运行的合理性和有效性。本文采用了历史检验和运行检验两种方法。

(1)历史检验。历史检验是将模拟与实际数据进行对比,并将其误差绝对值进行对比,从而判定该模型的有效性。通过对建筑业碳排放、直接碳排放、间接碳排放、人口总量4个指标的历史检验,得出的具体结果如表3和表4所示。通过对比分析后,可以得出:4个指标变量的模拟值维持在一个合理的范围内,仿真偏差小于10%,满足系统动力学15%的误差允许范围,从而通过了历史验证。

(2)运行检验。用3种不同的步长模拟值(0.25,0.5,1)来验证该模型总体的稳定性。如图4所示,在步长模拟中,模型最后结果没有发生太大的变化,表明该模型也通过了运行检验。

表3 各指标仿真数据对照表

年份	建筑业碳排放/万 t			总人口数量/万人		
	模拟值	实际值	误差/%	模拟值	实际值	误差/%
2010	32 720	32 879.66	0.49	4 748	4 747.95	0.00
2011	41 420	41 707.37	0.69	4 830	4 781.31	1.02
2012	45 130	45 390.45	0.57	4 859	4 799.34	1.24
2013	51 260	51 507.68	0.48	4 882	4 826.89	1.14
2014	52 700	52 987.10	0.54	4 910	4 859.18	1.05
2015	53 590	53 968.28	0.70	4 979	4 873.34	2.17
2016	54 030	54 384.01	0.65	5 005	4 910.85	1.92
2017	57 580	57 968.99	0.67	5 018	4 957.63	1.22
2018	50 440	50 951.79	1.00	5 036	4 999.84	0.72
2019	43 230	43 741.07	1.17	5 058	5 038.91	0.38

表4 各指标仿真数据对照表

年份	直接碳排放/万 t			间接碳排放/万 t		
	模拟值	实际值	误差/%	模拟值	实际值	误差/%
2010	446.6	460.56	-3.03	32 270	32 419.10	-0.46
2011	464.4	496.62	-6.49	40 960	41 210.74	-0.61
2012	522.9	502.36	4.09	44 610	44 888.09	-0.62
2013	598.8	564.49	6.08	50 670	50 943.19	-0.54
2014	587.4	582.28	0.88	52 120	52 404.82	-0.54
2015	574.7	593.68	-3.20	53 020	53 374.60	-0.66
2016	592.7	590.11	0.44	53 440	53 793.90	-0.66
2017	621.7	613.77	1.29	56 960	57 355.22	-0.69
2018	618.3	645.83	-4.26	49 820	50 305.96	-0.97
2019	636.2	683.52	-6.92	42 590	43 057.55	-1.09

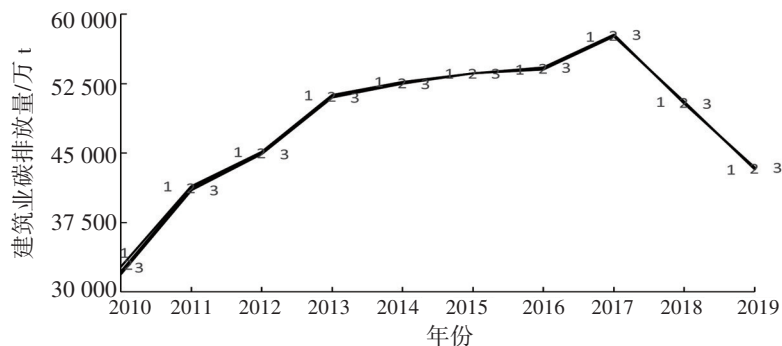


图4 建筑业碳排放量运行检验结果图

3.2.3 与GM预测对比

为了对模型进行深入验证,本文通过GM灰色预测模型,对建筑业碳排放总量的拟合值与实际值进行对比,再结合系统动力学模型仿真结果,得到如表5所示的结果。从表中可以看出,用系统动力学模型仿真的模拟值与实际值更接近,这进一步证明了以此方法进行仿真是真实有效的。

表5 各指标仿真数据对照表

年份	建筑业碳排放/万t					
	系统动力学			GM预测		
	模拟值	实际值	误差/%	模拟值	实际值	误差/%
2010	32 720	32 879.66	-0.49	32 879.66	32 879.66	0.00
2011	41 420	41 707.37	-0.69	47 914.04	41 707.37	14.88
2012	45 130	45 390.45	-0.57	48 492.24	45 390.45	6.83
2013	51 260	51 507.68	-0.48	49 077.42	51 507.68	-4.72
2014	52 700	52 987.10	-0.54	49 669.66	52 987.10	-6.26
2015	53 590	53 968.28	-0.70	50 269.04	53 968.28	-6.85
2016	54 030	54 384.01	-0.65	50 875.66	54 384.01	-6.45
2017	57 580	57 968.99	-0.67	51 489.60	57 968.99	-11.18
2018	50 440	50 951.79	-1.00	52 110.95	50 951.79	2.28
2019	43 230	43 741.07	-1.17	52 739.79	43 741.07	20.57

3.3 情景分析及预测

在减排取得一定成效的基础上,为了模拟未来浙江省建筑业碳排放的变化,本文基于情景分析法,对2020—2030年浙江省建筑业碳排放的发展趋势进行预测考量。首先,因为文中浙江省的建筑业间接碳排放量计算主要依据建筑材料消耗量与建材的碳排放系数计算而得出,因此,间接碳排放的主要因素是建材消耗。同时,由于建筑材料生产受到行业短期发展政策、进口产品总量等诸多因素的影响,这10年来的数据波动较大,难以精确地预测。据此,通过控制参量,本文将从经济、人口、能源结构、产业结构等方面着手,依靠《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》,逐步调整2020—2030年预测模型中的主要产业结构、总人口出生率、总人口死亡率、GDP增长率。其次,“十三五”期间,国家能源局依据《能源发展战略行动计划(2014—2020年)》的相关要求,提出全国建筑节能要达到9.3亿t标准煤以内的目标。按照《石油发展“十三五”规划》,维持石油比重不变的“稳油增气”发展方针,在减少煤占比、增加燃气占比的原则上作出预测。综合考虑,本文借鉴国家及浙江省相关节能政策要求(见表6),对不同情景下的减排成果进行预测,得出的主要指标数值如表7所示。

表6 国家及浙江省相关节能政策

机构	时间	内容
国家发展和改革委员会	2016年12月	《石油发展“十三五”规划》:“稳油增气”
住房和城乡建设部	2021年9月	《建筑节能与可再生能源利用通用规范》:碳排放强度平均降低7 kgCO ₂ /(m ² ·a)以上
住房和城乡建设部	2022年3月	《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》:到2025年,建筑运行一次二次能源消费总量(亿t标准煤)达到11.5亿t
浙江省人民政府办公厅	2015年9月	《浙江省加强节能标准化工作实施方案》:到2020年,重点高耗能行业实现能耗限额标准全覆盖
浙江省发展和改革委员会、浙江省能源局	2021年5月	《浙江省节能降耗和能源资源优化配置“十四五”规划》:到2025年,全省人均GDP能耗减少15%,年均下降3.2%

表7 相关建筑业碳排放具体节能减排指标

分类	指标	方案一(低耗能)	方案二(中耗能)	方案三(高耗能)
经济	GDP增长率/%	6.0	7.0	8.0
人口	出生率/%	12.0	13.0	14.0
	死亡率/%	6.5	7.0	7.5
能源结构	煤炭占比/%	7.0	8.0	9.0
	石油占比/%	65.0	65.0	65.0
	天然气占比/%	0.7	0.5	0.3
	电力占比/%	12.3	11.5	10.7
产业结构	建筑业产值占比/%	6.0	7.0	8.0
	科技投入占比/%	2.0	1.5	1.0

基于浙江省建筑行业的碳排放系统动力学模型,对其进行模拟预测,得到直接碳排放模拟值,结果如表8所示。再结合图5的趋势图可以得出:在方案一中,2020年浙江省建筑业直接碳排放量为649.2万t,2030年达到1047.0万t;在方案二中,2020年浙江省建筑业直接碳排放量为660.2万t,2030年达到1190.0万t;在方案三中,2020年浙江省建筑业直接碳排放量为682.1万t,2030年达到1299.0万t。相比较中耗能及高耗能,在低耗能情景下的直接碳排放量较少,2030年低耗能情景比中耗能少排放143万t CO₂,比高耗能少排放252万t CO₂,这表明节能减排对降低碳排放量是非常有效的。通过改变能源结构、产业结构及技术等其他手段能使碳排放量降低,这对于浙江省“碳达峰”和“碳中和”的战略目标具有重要的指导作用,同时,也为全面贯彻落实《浙江省“十三五”控制温室气体排放实施方案》提供了依据。

表8 浙江省建筑业直接碳排放模拟值

年份	建筑业直接碳排放量/万t		
	方案一	方案二	方案三
2010	446.6	446.6	446.6
2011	464.4	464.4	464.4
2012	522.9	522.9	522.9
2013	598.8	598.8	598.8
2014	587.4	587.4	587.4
2015	574.7	574.7	574.7
2016	592.7	592.7	592.7
2017	621.7	621.7	621.7
2018	618.3	618.3	618.3
2019	614.8	632.9	651.0
2020	649.2	660.2	682.1
2021	670.2	697.3	812.0
2022	733.0	818.2	860.7
2023	858.6	929.8	974.4
2024	879.6	948.4	1007.0
2025	900.5	985.6	1056.0
2026	921.5	1079.0	1137.0
2027	942.4	1116.0	1169.0
2028	963.3	1153.0	1218.0
2029	1026.0	1172.0	1267.0
2030	1047.0	1190.0	1299.0

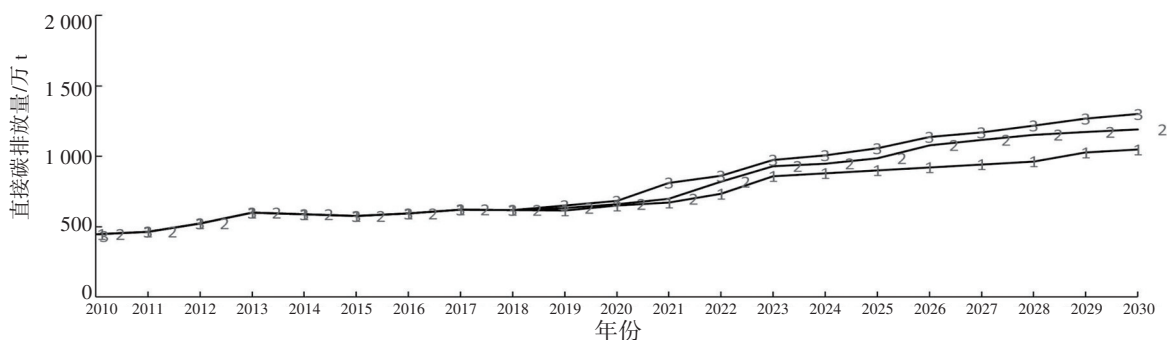


图5 2010—2030年浙江建筑业直接碳排放量趋势模拟图

4 对策

基于上述对浙江省建筑业碳排放进行仿真模拟和情景分析的结果,结合当前国际、国内先进的节能减排经验,依据国家制定的减排目标,对浙江省建筑行业的碳减排提出了以下几点建议:

(1)加快技术进步,打造数字化技术应用平台。“十四五”期间,建筑业在数字化建造和智能建造方面发生很大变革。加强科技研究力量及投入,积极拓展建筑应用领域内可再生能源市场,使建筑能源结构逐步向洁净化和低碳化转变,逐步建成以新型能源技术和可再生能源为主导的新型可持续建筑能源体系。深入研发低碳技术,加强绿色低碳技术和产品创新,并运用到能源、工业、建筑等重点领域。

(2)转变思维方式,建设建材生产全面绿色转型区。建材生产造成了巨大的碳排放量,首先要转变建设及运维管理思维方式,结合浙江省气候特征与建筑特点,对建材进行合理的资源化利用,优先使用低消耗、低排放的材料,打造超低能耗建筑,从而降低建筑业碳排放总量。根据地区特点,因地制宜采取工业余热的使用、绿色环保建材的应用等低碳手段,提高可再生能源的比重。例如:进一步加快探索在杭州、宁波、温州3个低碳城市试点工作,并总结经验,以便推广复制到其他城市。

(3)优化能源结构,建设可再生能源集聚地。通过新技术与新能源的结合,科学调整能源结构,如碳捕捉、碳封存技术。合理调控能源消费总量,降低燃煤消费占比,逐步消除燃煤过剩的生产能力,提升燃煤洁净化利用水平。深入推动我国清洁能源示范省建设,首先,重视优先发展非化石能源,促进能源结构低碳化;其次,积极推动清洁能源替代,加快推进电动汽车、地铁、船舶岸等发展,进一步实施以电代煤、以电代油,提升社会经济电气化水平。

(4)加强政策引导,打造低碳策源地。强化政策引导,利用市场机制完善低碳转型。通过政策法规的引导,对能源结构进行调整和优化,进而降低建筑业碳排放量。例如,煤炭补贴改革^[19]在一定程度上能提升能源利用效率。坚持低碳理念和要求,在重大城乡规划和环境工程建设中,进一步发挥低碳理念;积极探索发展集约、智能、绿色生态、低碳的新型城市化管理模式,通过防止大拆大建,从根源上限制建筑物的碳排放量;通过发展现代装配式建筑,深入推行绿色建筑标准,加速研发和推广绿色建材。

5 结语

本文围绕浙江省建筑业碳排放展开研究,通过建立浙江省碳排放系统动力学模型,探讨影响建筑业碳排放影响因素及内在关系。为探究浙江省建筑业能否实现碳减排战略目标,文中对浙江省2010—2019年建筑业碳排放进行动态模拟,并对浙江省2020—2030年建筑业碳排放量进行预测及分析,为我国其他省份建筑业低碳发展提供一定指导。本文主要得出以下结论:浙江省建筑行业碳排放主要来源于大量建材耗费产生的间接碳排放,直接碳排放量的比例较少。在碳排放影响因素方面,建筑业CO₂排放量的上升将引起碳排放成本的增加,从而导致GDP的下降;此外,GDP将影响科技投入、建筑投资等变量,最终影

响到建筑行业的碳排放量。

参考文献:

- [1]王鑫,张鹏飞.建筑零碳化发展及建筑碳金融增益模式分析[J].绿色建筑,2022,14(3):16-18.
- [2]中国建筑节能协会.2019 中国建筑能耗研究报告[J].建筑,2020(7):30-39.
- [3]徐晋涛.一部探索省域碳达峰、碳中和之路的创新力作:评《浙江省率先实现碳达峰、碳中和路径对策研究》[J].农业经济问题,2022(7):143-144.
- [4]邓椿,师萍,董洁芳.基于kaya恒等式的山西省碳排放影响因素实证研究[J].未来与发展,2015(8):102-107.
- [5]戴新颖.我国煤炭碳排放影响因素分析及减排措施研究[D].徐州:中国矿业大学,2015.
- [6]汪燕,程纪华,沈晓栋,等.浙江碳排放驱动因素及减排对策分析[J].浙江经济,2016(5):30-32.
- [7]MA M, YAN R, CAI W. An extended STIRPAT model-based methodology for evaluating the driving forces affecting carbon emissions in existing public building sector: Evidence from China in 2000—2015[J]. Natural Hazards, 2017, 89(2):741-756.
- [8]李爽,陶东,夏青.基于扩展STIRPAT模型的我国建筑业碳排放影响因素研究[J].管理现代化,2017,37(3):96-98.
- [9]惠明珠,苏有文.中国建筑业碳排放效率空间特征及其影响因素[J].环境工程,2018,36(12):182-187.
- [10]范建双,周琳.中国建筑业碳排放时空特征及分省贡献[J].资源科学,2019,41(5):897-907.
- [11]MOHAMED M, SHIMAA A. Analyzing sustainability in low-income housing projects using system dynamics[J]. Energy and Buildings, 2017(134):143-153.
- [12]侍剑峰.基于系统动力学的中国碳排放峰值预测及应对策略研究[D].北京:华北电力大学,2018.
- [13]DU L L, LI X Z, ZHAO H J. System dynamic modeling of urban carbon emissions based on the regional national economy and social development plan: A case study of Shanghai City[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 172:1501-1513.
- [14]刘菁.碳足迹视角下中国建筑全产业链碳排放测算方法及减排政策研究[D].北京:北京交通大学,2018.
- [15]赵冬蕾,刘伊生.基于系统动力学的中国建筑业碳排放预测研究[J].河南科学,2019,37(12):2025-2033.
- [16]冯博,王雪青,刘炳胜.考虑碳排放的中国建筑业能源效率省际差异分析[J].资源科学,2014,36(6):1256-1266.
- [17]顾海兵,李志云.油气行业“十三五”规划目标的可行性分析:基于多维预测的检测[J].福建论坛(人文社会科学版), 2017(2):50-58.
- [18]王瑛,何艳芬.中国省域二氧化碳排放的时空格局及影响因素[J].世界地理研究,2020,29(3):512-522.
- [19]刘伟,李虹.中国煤炭补贴改革与二氧化碳减排效应研究[J].经济研究,2014,49(8):146-157.

Research on Carbon Emission Prediction Based on System Dynamics

— A Case Study of Zhejiang Province

Chen Li, Yang Yuxin

(Institute of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

Abstract: Firstly, according to the system dynamics model, this paper deeply analyzes the influencing factors of construction carbon emission in Zhejiang Province, establishes the stock flow diagram for system simulation, reveals the dynamic change law between economic development, population status, energy consumption and construction carbon emission, and verifies the effectiveness of the model in three ways. Secondly, combined with relevant policies, three different scenarios are set up to predict the future carbon emissions of the construction industry in Zhejiang Province, and the following conclusions are drawn: compared with medium energy consumption and high energy consumption, the direct carbon emissions under the low energy consumption scenario are less. Finally, suggestions on carbon emission reduction in Zhejiang Province are put forward from four aspects: technological progress, mode of thinking, energy structure and policy guidance.

Keywords: construction industry; carbon emissions; system dynamics; carbon emission reduction

基于温室气体口径的城市碳当量达峰路径规划

——以浙江省T市为例

陈宇光

(台州行政学院 经济学教研室, 浙江 台州 318000)

摘要:碳预算的研究思路已成为区域碳达峰路径规划的重要分析框架。以浙江省T市为例,基于温室气体全口径,对全市2021年碳当量总额进行核算,并按照碳预算的分析框架,构建了城市能源和碳当量LEAP(节能减排分析平台)模型;同时设置基准情景、能耗强度情景、能源替代情景进行比较研究。结果显示:在非化石能源持续建设的背景下,全市能源消费总量与碳当量总额存在一定程度的背离倾向,即在全市能耗总量稳步提高的情况下,碳当量总额预期将于2030年后形成高位波动态势。因此,为了持续推进“双碳”工作,需规划建设符合“双碳”要求的能源体系,深化能效提升和低碳转型集成改革,强化温室气体排放的控制能力建设。

关键词:温室气体;碳达峰;LEAP模型

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.008

0 引言

自2020年9月我国提出“2030碳达峰、2060碳中和”目标愿景以来,国内碳预算方向的研究逐渐兴起。碳预算研究通过编制区域碳排放清单,建立排放趋势数学模型、设计节能降碳未来情景、评估气候变化政策效率等步骤,为“双碳”目标提供量化的路径规划方案。限于数据可得性因素,现有研究通常仅核算能源活动的二氧化碳排放,而温室气体还来源于工业生产过程、废弃物处理、农业等活动,其核算还需考虑甲烷、氧化亚氮等气体的碳当量排放,须通过“全球升温潜势”参数予以全面折算评估。本文拟以浙江省T市为例,阐述编制城市温室气体清单的方法,并对当地碳当量达峰目标的实现路径进行规划评估。

从建模技术路径看,碳预算研究可分为宏观路径和微观路径两种。宏观路径多选择具备统计稳定性的省级以上区域作为研究对象,通过宏观整体函数模型实现排放系统与其他社会经济系统的串联互动,典型方法有对数均值迪氏指数分解模型(Logarithmic Mean Divisia Index, LMDI)的趋势外推、随机环境影响计量模型(Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology, STIRPAT)的情景模拟、环境库兹涅茨曲线假说下的碳达峰实证分析等^[1-3]。微观路径强调对排放系统进行详尽分解,多用于研究具体节能降耗政策和技术的减排效果,典型方法包括节能减排分析平台模型(Low Emissions Analysis Platform, LEAP)、能源供给战略及环境影响模型(Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts, MESSAGEI)、国家能源技术模型等^[4-6]。本文综合考量研究对象、模型特点、数据可得性等因素,选取微观路径中的LEAP模型进行建模。

LEAP模型是由瑞士斯德哥尔摩环境研究所开发的一款用于评估能源供需、大气污染物减排量、减

收稿日期:2023-07-14

基金项目:台州市哲学社会科学规划项目(22GHB03)

作者简介:陈宇光(1990—),男,浙江台州人,副教授,主要从事环境经济学研究。

排社会成本的模型。自 20 世纪 90 年代以来,众多国家采用该模型向国际社会报告其应对气候变化工作。LEAP 模型的基本假设是假定所研究区域内,各部门未来的大气污染物排放量与其活动水平及排放强度挂钩,且后两者根据历史趋势、政策导向、技术变动等外生变量可以进行综合评估。在该假设下,LEAP 模型允许研究者根据特定研究目的,自行设计调用“关键假设、终端需求、能源转换、非能源活动碳当量”等模块,通过“关键假设”下的外生变量驱动活动水平、能源强度、排放系数等变量变动,构建污染物排放情景路径。该模型的一个显著优点是能够灵活地将甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物等非碳温室气体以及农业、林业、废弃物处理等排放领域纳入模型,其具体的研究步骤是:先核算区域基准年排放,然后在各个模块中设置所有参数在不同未来情景下的变动趋势,最后通过情景差异分析实现区域碳预算路径规划。

1 基于温室气体口径的城市基准年碳当量核算

根据活动水平数据的统计口径,本文将 2021 年作为基准年,空间范围仅限 T 市行政区域;核算口径为当地直接排放,不考虑电力调入调出;核算领域囊括能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业、废弃物处理 5 大领域;温室气体种类根据当地排放情况,考虑二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物 4 种。核算中所使用的公式、排放系数、全球升温潜势参数参考《浙江省温室气体清单编制指南:2018 年修订版》《综合能耗计算通则》(GB/T2589-2020)和《中国能源统计年鉴 2022》附录 4 等资料^[7-9]。

1.1 能源活动

1.1.1 化石燃料燃烧活动

工业行业化石燃料燃烧的活动水平原始数据采用当地统计年鉴中规上工业分行业主要能源消费量。将工业行业归并为公用电力热力、石油天然气开采与加工、固体燃料和其他能源工业、钢铁、有色、化工、建材、纺织、造纸、其他工业、非能源利用 11 个部门。其中,前 4 个部门内均为规上企业;其余 7 个部门内均存在规下企业,其各种能源的消费量须统一换算为整个部门的能源消费量,计算公式如下:

$$E_{ij} = E_{规上,ij} \times \frac{VA_{全市}}{VA_{规上}}, \quad (1)$$

其中: i 代表排放部门, j 代表该部门所消费的各种能源; E_{ij} 、 $E_{规上,ij}$ 分别代表 2021 年 i 部门、 i 部门规上企业所消费的能源 j 的实物量; $VA_{全市}$ 、 $VA_{规上}$ 分别代表 2021 年全市工业增加值、全市规上工业增加值。此外,建筑业、服务业、居民生活、农林牧渔、交通运输 5 个部门的能源消费活动水平数据分别根据全市房屋建筑施工面积、服务业增加值、常住人口数、农林牧渔业增加值、交通运输业增加值占全省的比例,从《中国能源统计年鉴 2022》“浙江能源平衡表”中换算。

在获取各部门分能源品种的消费数据后,其碳当量核算采取能源消费量乘以对应的排放系数、全球升温潜势参数后逐层累加后得到,计算公式如下:

$$\text{Emission}_{化石} = \sum_i \sum_j \sum_k E_{ij} \times EF_{i,j,k} \times GWP_k, \quad (2)$$

其中: $\text{Emission}_{化石}$ 代表化石燃料燃烧所产生的温室气体碳当量; k 代表能源消费所产生的二氧化碳、甲烷、氧化亚氮气体; $EF_{i,j,k}$ 代表 i 部门在消费能源 j 过程中排放温室气体 k 对应的排放系数; GWP_k 代表 k 种气体的全球升温潜势参数。

1.1.2 其他能源活动

生物质燃料燃烧所产生的二氧化碳与生物质生长过程中光合作用所吸收的二氧化碳基本抵销,通常只需报告秸秆、薪柴燃烧所产生的甲烷、氧化亚氮排放。秸秆、薪柴活动水平数据来自当地农业农村局调研。油气系统逃逸仅存在于天然气消费环节,活动水平数据为工业、交通运输业、服务业、居民生活天然气消费量之和。上述其他能源活动的碳当量均由活动水平、排放系数、全球升温潜势参数三者相乘得到。

1.2 工业生产过程

经部门走访和企业调研, T市没有水泥熟料生产过程、石灰石煅烧过程、高炉炼钢过程, 也没有从事电石、硝酸、己二酸生产和原铝熔炼的企业; 镁合金加工、电力设备生产过程不涉及温室气体的使用。一氯二氟甲烷(HCFC-22)生产企业在生产过程中会产生三氟甲烷(HFC-23)副产品, 通过对生产企业的调研, 该企业配套建设了自愿减排焚烧分解项目, 相关三氟甲烷副产品没有排放到大气中。

电炉炼钢企业涉及熔剂石灰石的消耗过程排放、生铁的降碳排放、电极消耗排放, 相关二氧化碳排放计算公式如下:

$$\text{Emission}_{\text{电炉钢}} = \text{AD}_l \times \text{EF}_l + (\text{AD}_r \times F_r - \text{AD}_s \times F_s) \times 44/12 + P_e \times \text{EF}_e, \quad (3)$$

其中: $\text{Emission}_{\text{电炉钢}}$ 代表电炉炼钢过程的二氧化碳排放量; AD_l 是电炉钢企业消耗的石灰石数量; EF_l 是对应的排放系数; AD_r 、 AD_s 分别代表生铁以及对应的钢材产量; F_r 、 F_s 是相应的平均含碳量; P_e 是电炉钢产量; EF_e 是所消耗电极的排放系数。

半导体和氢氟烃生产企业涉及氢氟碳化物的泄漏排放, 其碳当量计算公式如下:

$$\text{Emission}_{\text{HFC}} = \sum_{n=1}^2 \text{AD}_{\text{HFC},n} \times \text{EF}_{\text{HFC},n} \times \text{GWP}_{\text{HFC},n}, \quad (4)$$

其中: $\text{Emission}_{\text{HFC}}$ 代表半导体和氢氟烃生产过程中氢氟碳化物泄漏对应的碳当量; n 代表半导体生产过程或氢氟烃生产过程; $\text{AD}_{\text{HFC},n}$ 、 $\text{EF}_{\text{HFC},n}$ 、 $\text{GWP}_{\text{HFC},n}$ 分别代表氢氟碳化物的使用量或生产量、对应的排放系数及全球升温潜势参数。

1.3 农业活动

1.3.1 稻田甲烷排放

稻田甲烷的排放来自双季稻、单季稻种植过程, 其碳当量由稻谷种植面积与排放系数、甲烷全球升温潜势参数相乘得到, 其中稻谷种植面积数据来自当地统计年鉴。

1.3.2 农用地氧化亚氮排放

农用地氧化亚氮排放包括直接排放和间接排放两部分。直接排放是由农用地当季氮输入引起的排放, 包括化肥氮、粪肥氮、秸秆还田氮 3 部分; 间接排放包括大气氮沉降、氮淋溶径流引起的氧化亚氮排放, 两者的计算公式分别如下:

$$\text{Emission}_{\text{直接}} = (N_{\text{化肥}} + N_{\text{粪肥}} + N_{\text{秸秆}}) \times \text{EF}_{\text{直接}} \times 44/28 \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}; \quad (5)$$

$$\text{Emission}_{\text{间接}} = (N_{\text{沉降}} \times \text{EF}_{\text{沉降}} + N_{\text{淋溶}} \times \text{EF}_{\text{淋溶}}) \times 44/28 \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}, \quad (6)$$

其中: $\text{Emission}_{\text{直接}}$ 、 $\text{Emission}_{\text{间接}}$ 分别代表农用地氧化亚氮直接排放碳当量、间接排放碳当量; $N_{\text{化肥}}$ 、 $N_{\text{粪肥}}$ 、 $N_{\text{秸秆}}$ 分别代表化肥氮、粪肥氮、秸秆还田氮, 其计算所需的农用化肥施用量、畜禽年末存栏量、乡村人口数量、主要农作物年产量等数据来自当地统计年鉴; $N_{\text{沉降}}$ 、 $N_{\text{淋溶}}$ 分别代表大气沉降氮、淋溶径流氮, 其计算是基于化肥氮、粪肥氮、秸秆还田氮的运算结果; $\text{EF}_{\text{直接}}$ 、 $\text{EF}_{\text{沉降}}$ 、 $\text{EF}_{\text{淋溶}}$ 分别代表相应的排放系数; $\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}$ 为氧化亚氮全球升温潜势参数。

1.3.3 动物肠道发酵和粪便管理的甲烷排放

动物肠道发酵、粪便管理的甲烷排放碳当量由畜禽年末存栏量、对应的排放系数、甲烷全球升温潜势参数三者相乘得到, 畜禽年末存栏量数据来自当地统计年鉴。

1.4 废弃物处理

1.4.1 污水处理

对生活污水、工业废水处理过程中的甲烷碳当量展开核算, 每种废水在计算过程中均考虑在污水处理厂处理过程中产生的甲烷和排入环境后产生的甲烷两部分排放, 估算公式如下:

$$\text{Emission}_{\text{污水}} = \sum_{m=1}^2 (\text{TOW}_{\text{处},m} \times \text{EF}_{\text{处},m} + \text{TOW}_{\text{入},m} \times \text{EF}_{\text{入},m}) \times \text{GWP}_{\text{CH}_4}, \quad (7)$$

其中: $\text{Emission}_{\text{污水}}$ 代表污水处理和排放产生的甲烷对应的碳当量; m 代表生活污水、工业废水两个类别的污水; $\text{TOW}_{\text{处},m}$ 、 $\text{TOW}_{\text{入},m}$ 分别代表 m 类污水经污水处理厂处理去除的有机物总量、排入环境的有机物总量,其数据来源于当地统计年鉴; $\text{EF}_{\text{处},m}$ 、 $\text{EF}_{\text{入},m}$ 分别为相应的甲烷排放因子; GWP_{CH_4} 为甲烷全球升温潜势参数。此外,核算生活污水处理产生的氧化亚氮碳当量公式如下:

$$\text{Emission}_{\text{生活}} = P \times P_r \times F_{\text{NPR}} \times F_{\text{NON-CON}} \times F_{\text{IND-COM}} \times \text{EF}_E \times 44/28 \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}, \quad (8)$$

其中: $\text{Emission}_{\text{生活}}$ 代表生活污水处理所产生的氧化亚氮对应的碳当量; P 为城镇常住人口数,其数据根据当地统计年鉴中常住人口和城镇化率计算; P_r 是人均蛋白质消耗量; F_{NPR} 代表蛋白质中的氮含量; $F_{\text{NON-CON}}$ 指废水中的非消耗蛋白质比例系数; $F_{\text{IND-COM}}$ 指废水中工业和商业来源的蛋白质比例系数; EF_E 指废水的氧化亚氮排放系数。

1.4.2 废弃物焚烧处理

T市于2021年实现了生活垃圾“零填埋”目标,故不再核算垃圾填埋产生的甲烷排放,只核算废弃物焚烧产生的碳当量,废弃物焚烧的二氧化碳排放量估算公式如下:

$$\text{Emission}_{\text{废弃物}} = \sum_{t=1}^2 \text{IW}_t \times \text{CCW}_t \times \text{FCF}_t \times \text{EF}_t \times 44/12, \quad (9)$$

其中: $\text{Emission}_{\text{废弃物}}$ 代表废弃物焚烧所产生的二氧化碳排放量; t 代表城市垃圾、危险废弃物两种废弃物; IW_t 代表 t 种废弃物的焚烧量,数据来自当地统计年鉴和《T市固体废物污染环境防治信息公告》; CCW_t 指 t 种废弃物的碳含量比例; FCF_t 指 t 种废弃物中矿物碳在碳总量中的比例; EF_t 指 t 种废弃物在焚烧炉中的碳氧化率。此外,城市垃圾焚烧的甲烷、氧化亚氮碳当量均由焚烧量与对应排放系数、全球升温潜势参数相乘得到。

1.5 土地利用变化和林业的碳核算

“土地利用变化和林业”领域主要衡量当地森林系统的碳吸收汇数量,其内容包括森林碳储量变化和森林转化温室气体排放。前者核算乔木林、散四疏、竹林、经济林、灌木生长的碳吸收汇以及森林采伐引起的碳排放;后者核算森林生物质燃烧以及后续缓慢分解对应的碳当量排放。本文根据林业部门提供的资料以及2015—2020年土地利用变化和林业相关报告,采用趋势外推法得到2021年的相关数据(见表1)。

表1 T市2021年温室气体口径碳当量核算结果(万t-CO₂e)

领域	部门	二氧化碳 碳当量/万t	甲烷 碳当量/万t	氧化亚氮 碳当量/万t	氢氟碳化物 碳当量/万t
能源活动	能源生产与加工转换	3 853.18		24.69	
	工业和建筑业	265.36			
	交通运输业	150.09	0.20	2.34	
	农林牧渔业	95.94			
	服务业	46.82			
	居民生活	127.03			
	非能源利用	2.24			
	生物质燃烧		0.43	0.21	
	油气系统逃逸		1.34		
工业生产过程	钢铁生产过程	0.12			
	半导体生产过程				0.015
	氢氟烃生产过程				0.590

续表

领域	部门	二氧化碳 碳当量/万 t	甲烷 碳当量/万 t	氧化亚氮 碳当量/万 t	氢氟碳化物 碳当量/万 t
农业活动	稻田甲烷		27.99		
	农用地氧化亚氮			51.54	
	动物肠道发酵和粪便管理		10.25		
土地利用变化和林业	森林碳储量变化	-307.39			
	森林转化碳排放	1.81			
废弃物处理	废弃物焚烧	88.94	0.90	1.77	
	生活污水处理		9.86	8.51	
	工业废水处理		7.68		
合计		4 324.14	58.65	89.06	0.605

1.6 基准年碳当量核算结果

汇总五大领域核算结果,得到基准年全市碳当量净排放估算结果为 4 472.46 万 t。由表 1 的结果可知:从气体种类看,二氧化碳气体占比最大,达到 96.68%,甲烷、氮氧化物、氢氟碳化物分别占 1.31%、1.99%、0.01%;从排放领域看,能源活动排放占全市净排放的 102.18%,其中贡献最大的是能源生产与加工转换部门中的电力与热力部门,其排放占全市净排放的 86.69%;土地利用变化和林业的碳吸收汇占全市净排放的-6.83%;而废弃物处理、农业活动、工业生产过程分别贡献 2.63%、2.01%、0.02% 的碳当量。

2 城市能源和碳当量 LEAP 模型的构建

2.1 模型情景设置

在完成基准年数据核算后,LEAP 模型的框架结构、数据驱动因素、能源和气体种类等基本要素均已确定,后续须设置基准情景和政策情景。其中,基准情景的设置通常根据已有的能耗趋势,结合后续规划中的重大项目建设进度合理外推。本文基准情景的设置依据主要有:2015—2021 年规上工业分行业主要能源消费量、浙江能源平衡表、全市常住人口、重大建设项目“十四五”规划文件等。基准情景中较为重要的预判包括:预计全市常住人口将于 2025 年达峰;预计当地新建的两期核电项目将分别于 2025 年、2032 年并网发电;预计当地将于 2027 年、2029 年分别扩建完成 1 台、2 台百万千瓦级的超临界燃煤机组。

根据基准年的能耗和碳当量分布可知,能源活动是区域重点排放领域。本文据此设置“能耗强度”“能源替代”两个政策情景进行深入分析。其中:“能耗强度”情景展示各个用能部门在均加强节能降耗力度情况下的能耗和碳当量图景;“能源替代”情景展现“十五五”期间继续采用海上风电、分布式光伏等非化石能源替代煤电的节能减排效果。上述 3 个情景的具体描述如表 2 所示。

表 2 城市能源和碳当量 LEAP 模型的情景设置

情景名称	情景具体描述
基准情景	没有增量政策情况下的区域能耗和碳当量趋势
能耗强度情景	2030 年的城市单位 GDP 能耗强度相对基准情景额外下降 5%
能源替代情景	2030 年的非化石能源占一次能源消费比重相对基准情景额外提升 3%

2.2 模型模块设置

模型的运行架构如图 1 所示。从图 1 可以看出,在 LEAP 模型中启用“终端需求”“非能源活动”两个模块。在核算各情景城市能源消费总量时进行口径调整,计算公式如下:

$$E_{全} = E_{能源活动} - E_{非能源} - E_{油气} + E_{非化石}, \quad (10)$$

其中: $E_{全}$ 代表各情景下全市能源消费总量; $E_{能源活动}$ 、 $E_{非能源}$ 、 $E_{油气}$ 分别代表能源活动、非能源利用部门、油气系统逃逸部门所有能源消费的折标煤量; $E_{非化石}$ 代表新增的风电、光电、核电等非化石能源电力的折标煤量。对于“非能源活动”模块,需要预先估算工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业、废弃物处理4个领域的温室气体排放量,后续模型将两个模块中的碳当量数值相加,即可得到城市碳当量总额。

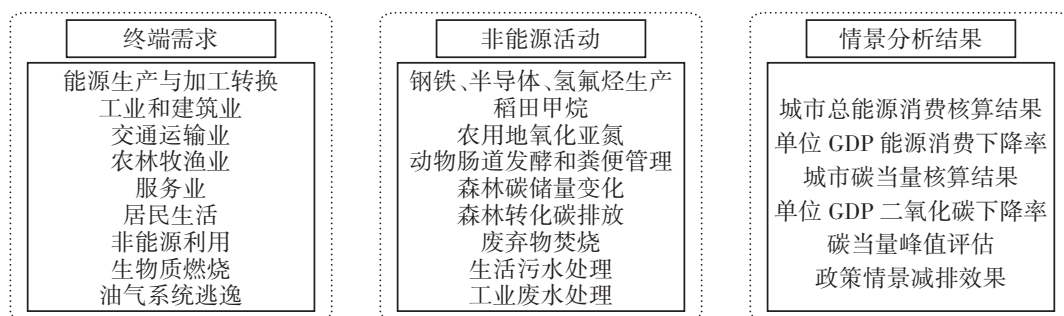


图1 城市能源消费和碳当量 LEAP 模型架构图

3 城市能源和碳当量 LEAP 模型情景分析结果

3.1 能源消费总量情景核算结果

2021—2035年,预计T市的能源消费总量呈刚性增长态势,如图2所示。在基准情景中,城市能源消费总量从基准年的1776.30万t上升至2035年的2682.14万t。其中:在2027—2030年,由于燃煤机组的相继并网发电,能耗上升较为显著;在2030年之后,能耗总量呈现高位波动态势。考察基准情景下的城市单位GDP能耗强度,预计“十四五”期间全市能耗强度下降5.37%,低于“十三五”期间7.7%的下降幅度。

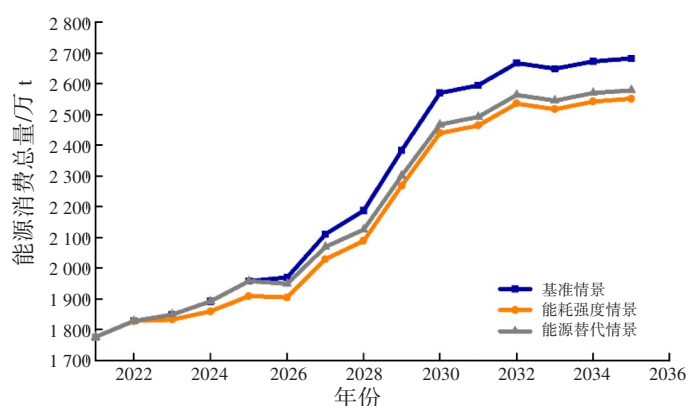


图2 2021—2035年T市能源消费总量变动趋势

“能耗强度”情景设计2030年单位GDP能耗强度相比基准情景低5%,各部门的节能量自2023年起分摊。由图2可知,各部门的集体节能减排工作成效显著,相比基准情景显著压低了城市能耗峰值。“十四五”期间,该情景下的全市能耗强度下降率达到7.74%,与“十三五”期间持平。“能源替代”情景设计2030年非化石能源占比相对基准情景提高3%,由于非化石能源的建设需要提前规划,故设计能源替代相关的节能量自2026年起分摊,从图2可知,非化石能源替代政策也具有良好的节能效果。

3.2 碳当量情景核算结果

如图3所示,与城市能源消费总量刚性增长态势不同,预计在2026年前后,由于多个核电、风电项目的竣工并网而形成能源替代效应,将导致区域碳当量出现暂时下降;之后由于煤电扩建项目并网发电,碳当量数值重新增长,并于2030—2032年到达峰值,后续在新增核电项目完工的背景下,区域碳当量再次

出现一定程度的下降。分情景来看:在基准情景下,2021—2025年单位GDP二氧化碳排放下降13.63%,低于2015—2019年17.58%的下降率;而在“能耗强度”情景下,2021—2025年该指标的下降率预计将会达到16.02%;两个政策情景均能对基准情景下的碳当量峰值起到显著的削峰作用。

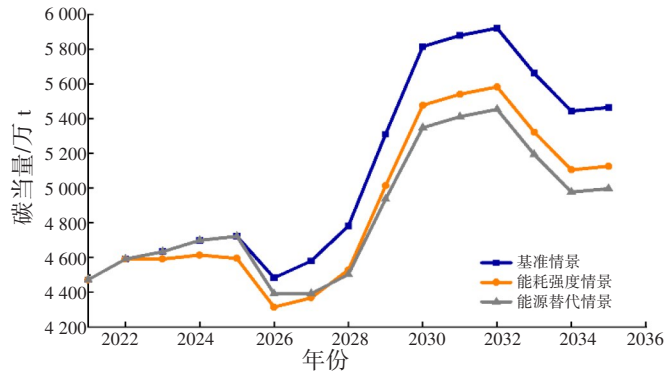


图3 2021—2035年T市碳当量变动趋势

4 主要结论和政策建议

通过在市域层面核算温室气体口径的碳当量,进行能源和碳当量LEAP模型情景分析,可以发现T市的能源消费总量与碳当量总额之间存在一定程度的背离趋势,即随着核电、风电等零碳能源项目的持续落地,全市能耗总量虽稳步上行,但对应的碳当量总额却可能已经达峰,甚至出现小幅下降。两者的背离趋势为后续化解区域能源总量瓶颈提供了破题思路。

从情景分析的结果来看,仅仅依靠基准情景下的现有政策,其力度恐难以实现“十四五”末期单位GDP能耗强度及单位GDP二氧化碳排放两项指标的下降目标,未来重点需要在能源活动的供给侧和需求侧两端发力,具体对策及建议如下:

(1)规划建设符合双碳要求的能源体系。由电力热力部门的排放在碳当量总额中的比重可知,没有电力行业的碳达峰碳中和,就没有全市的碳达峰碳中和。根据“能源替代”情景的分析,非化石能源的规划建设是全市调整能源结构、实现电力行业排放达峰的重要手段,须重点保障相关工程的顺利推进。须积极安全稳妥地发展核电,争取“十四五”末新增投产一台机组;谋划保障新增风光项目的用地需求,稳步推进海上风电、渔光互补、农光互补等一系列重点风光项目建设。碳捕集利用封存技术是未来实现化石能源低碳化利用的必备选项,也是碳中和目标下保持电力系统灵活性的配套技术手段。应加强对碳捕集利用封存技术可行性、成本、能耗的研究和跟踪,抢占关键核心技术制高点,适时选择有条件的电力企业先行实施技术试点。

(2)深化能效提升和低碳转型集成改革。全市没有布局水泥熟料、平板玻璃等传统能源密集型产业,现有产业的能源需求较为刚性,整体能耗强度和碳排放强度均处于全省先进水平,未来须进一步深挖减排潜力,以更大的决心和力度推进用能侧节能工作。在落实能耗双控层面,严格落实高耗能企业能耗预算化管理,控制医药、造纸、橡塑、汽车零配件等高碳企业用能增长过快。继续抓好“两高”项目清理整治,严格执行高耗能缓批限批规定,严格执行新上工业项目0.52吨标煤/万元工业增加值的准入标准。在推进重点领域减排层面,分领域推广节能降碳技术,开展能效领跑者行动,持续淘汰落后和过剩的用能设备设施。落实节能审查制度,强化节能监察执法,打造能效和碳排放对标的监管体系。

(3)强化温室气体排放的控制能力建设。大力培育低碳高效产业,聚焦新能源汽车、节能环保、信息技术、生物医药、高端装备等新兴产业,以信息化、智能化、绿色化为导向,深入推进全市产业基础再造和产

业链提升。积极准备参与碳排放权交易市场,打造碳达峰碳中和领域综合服务平台,建立碳管理体系,提升碳管理能力。鼓励支持企业开展各种形式的碳资产管理,包括碳市场配额、国家核证减排量、林业碳汇项目减排量等,为后续参与全国碳市场交易、降低负碳抵消成本打好基础。实施数智精准控碳,积极推动“能效倒逼双碳协同创新”等应用的贯通落地;搭建碳普惠应用场景,落实居民个人的碳积分奖励,从而构建激励全民低碳的长效机制。

参考文献:

- [1] ANG B W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide[J]. *Energy Policy*, 2005, 33(7): 867-871.
- [2] YORK R, ROSA E A, DIETZ T. STIRPAT, IPAT and ImpACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. *Ecological Economics*, 2003, 46(3): 351-365.
- [3] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Environmental impacts of a north American free trade agreement [J]. *CEPR Discussion Papers*, 1992, 8(2): 223-250.
- [4] HAINOUN A, ALDIN M S, ALMOUSTAFA S. Formulating an optimal long-term energy supply strategy for Syria using MESSAGE model[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(4): 1701-1714.
- [5] 魏一鸣, 余碧莹, 唐葆君, 等. 中国碳达峰碳中和路径优化方法[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2022, 24(4): 3-12.
- [6] 宋鹏, 张慧敏, 毛显强. 面向碳达峰目标的重庆市碳减排路径[J]. *中国环境科学*, 2022, 42(3): 1446-1455.
- [7] 浙江省生态环境厅. 浙江温室气体清单编制的指南: 2018年修订版[EB/OL]. (2018-06-01)[2023-06-01]. <https://www.docin.com/p-2248421740.html>.
- [8] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 综合能耗计算通则: GB/T 2589—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020: 5-6.
- [9] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2022[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023: 353-354.

Research On Prefectural Carbon Equivalent Peaking Path Planning Based on Greenhouse Gas Caliber

—Taking T City in Zhejiang Province as an Example

Chen Yuguang

(Department of Economics, Taizhou Administration Institution, Taizhou 318000, China)

Abstract: Carbon budget research has become an important framework for regional carbon peaking path planning. Taking T City of Zhejiang Province as an example, this paper calculates the total carbon equivalent of the city in 2021 based on the full scope of greenhouse gases, and builds the LEAP (Low Emissions Analysis Platform) model of prefectural energy and carbon equivalent according to the analysis framework of carbon budget, and sets the baseline scenario, energy intensity scenario and energy alternative scenario to carry out comparative research. The results show that in the context of the continuous construction of non-fossil energy, there is a certain degree of divergence between the total energy consumption and the total carbon equivalent. That is, when the total energy consumption of the city steadily increases, the total carbon equivalent is expected to form a high fluctuation trend after 2030. Therefore, in order to promote energy conservation and emission reduction, it is necessary to plan an energy system that meets the requirements of carbon peaking and carbon neutrality, and deepen integrated reforms to improve energy efficiency, and enhance the ability to control greenhouse gas emissions.

Keywords: greenhouse gas; carbon peaking; LEAP model

肺癌药物靶点与 Nur77 的研究进展

潘莉分, 李祯烨, 劳茹阳, 胡琼莹

(台州学院 医学院, 浙江 台州 318000)

摘要:肺癌是对人类健康和生命造成重大威胁的恶性肿瘤之一,死亡率位居癌症之首。肺癌的治疗主要包括手术、放疗、药物、免疫治疗等,存在治疗费用高、毒副作用大、疗效有限等问题,需要不断发现新的有效治疗手段。现有研究表明:核受体超家族成员孤儿核受体 Nur77 在癌症的发生和发展中起着重要作用,Nur77 能够通过高表达和易位到线粒体,诱导肺癌细胞凋亡,有望成为治疗肺癌的潜在药物靶点。通过综述近年来肺癌相关的药物靶点与 Nur77 及其相关化合物,展望了未来的研究方向,为肺癌治疗尤其是靶向药物治疗提供了新思路 and 理论依据。

关键词:肺癌;靶向药物;Nur77;靶向治疗

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.009

0 引言

肺癌是对人类健康造成重大影响的重要公共卫生问题,数据显示:2020 年全球肺癌发病率约 22.4%,死亡率高达 18%,其死亡人数居癌症死亡人数之首^[1]。我国是肺癌高发国家,2020 年肺癌患者数量达到 80 万,近 30 年,肺癌死亡率提高了 46.5%,肺癌已经成为我国致死恶性肿瘤中死亡率排名第一的疾病^[2]。非小细胞肺癌是肺癌最常见的类型,约占肺癌病例的 85%^[3]。肺癌的治疗手段主要包括手术治疗、放疗、化疗(包括靶向治疗)和免疫治疗等^[4]。这些治疗手段各有局限性:手术治疗生存率低且易复发和转移;放疗不良反应大;以铂为基础的化疗方案毒副作用大,靶向性低且易复发^[5-7];免疫治疗费用高,仅有约 20% 的患者能从中获益,且毒副作用较大^[3,8-9]。而小分子靶向治疗是不同药物作用于不同靶点,具有药物用量少、特异性强等优点,因此小分子靶向药物的研发已成为抗肺癌药物研发的主要趋势^[10-11]。孤儿核受体 Nur77 能够影响肿瘤细胞的生长、凋亡和自噬等生理调控过程^[12],有望成为治疗的新靶点。本文简要介绍了部分抗肺癌药物靶点,并综述了 Nur77 及其相关化合物。

1 国内外抗肺癌靶向药物市场分析及发展趋势

目前报道较多的药物靶点包括间变性淋巴瘤激酶(Anaplastic Lymphoma Kinase, ALK)、表皮生长因子受体(Epidermal Growth Factor Receptor, EGFR)、肉瘤致癌因子-受体酪氨酸激酶(c-Ros oncogene 1, Receptor Tyrosine Kinase, ROS1)、血管内皮细胞生长因子(Vascular Endothelial Growth Factor, VEGF)、间质表皮转化因子(Mesenchymal Epithelial Transition Factor, MET)、鼠类肉瘤病毒癌基因同源物 B1(v-Raf Murine Sarcoma Viral Oncogene Homologue B1, BRAF)、泛人表皮生长因子受体(Human Epidermal Growth Factor Receptor 2, HER2)等^[13-14],各靶点以及相关药物具体情况介绍见表 1。其中 ALK 药物在国

收稿日期:2023-07-20

基金项目:浙江省基础公益研究计划项目(LGF21H280002);浙江省公益性技术应用研究(实验动物)项目(2016C37143)

作者简介:潘莉分(2001—),女,浙江温州人,2019 级临床医学专业本科生;胡琼莹(通信作者)(1976—),女,浙江宁海人,副教授,博士,主要从事抗肿瘤、抗病毒、抗糖尿病新药的发现及药物作用分子机制和新的有效靶点的研究。

内市场销售额预测为 96.44 亿,EGFR 药物国内市场销售额预测为 226.51 亿元,具有广阔的市场前景^[2]。

表 1 抗肺癌药物靶点及相关药物

靶点	相关药物	药物优点	药物缺点
ALK	克唑替尼(一代)、色瑞替尼(二代)、劳拉替尼(三代)等	疗效显著;三代药物能抑制二代药物耐药,具有 ALK 和 ROS 突变的双重抑制作用 ^[13-16]	ALK 阳性患者易出现耐药现象;不良反应发生率高,临床上使用受限 ^[14-16]
EGFR	吉非替尼(一代)、阿法替尼、达克替尼、来那替尼(二代)、奥希替尼(三代)等	有明显的临床治疗效果;三代抑癌作用强,毒副作用小,可逆转因 T790M 突变产生的耐药性问题 ^[13]	出现耐药现象;部分药物不良反应较多,毒性大 ^[14]
ROS1	克唑替尼、劳拉替尼等适用于 ALK 基因突变的药物 ^[13]	同 ALK 抑制剂	同 ALK 抑制剂
VEGF	尼达尼布、莫特塞尼、阿西替尼、利尼非尼布等	抗肿瘤效果较好,毒副作用小,多为多靶点作用药物 ^[14]	不良反应主要为皮疹、高血压、腹泻及出血等,患者耐受性较差 ^[14]
MET	克唑替尼、卡马替尼、沃利替尼、卡博替尼	有强大的抗肿瘤活性;卡马替尼选择性高,药效强,有一定的中枢神经系统活性 ^[17] ;卡博替尼对发生 Y1230 二次突变的 MET 仍显示出有效的抑制作用 ^[3]	药物在临床研究阶段,目前还未上市
BRAF	维罗非尼(尚在研究中)	对存在 BRAF 突变的肺腺癌患者的疾病控制率为 96% ^[13]	药物在临床试验阶段,还未上市
HER2	来那替尼、阿法替尼、吡咯替尼等	强抗肿瘤活性 ^[17] ,与化疗药物联合使用后,疾病控制率升至 96% ^[13]	在临床试验中大多没有明显的临床获益 ^[13] ,还未上市

目前国外市场上靶向药物主要包括吉非替尼、埃克替尼、厄洛替尼等;国内市场上推出的治疗肺癌的小分子靶向药物主要包括吉非替尼、埃克替尼、克唑替尼等^[2]。从表 1 中列举的各药物特点可以看出,目前上市的肺癌小分子靶向药物仍然存在耐药及副反应较大等缺点,因此仍需进一步研究肺癌的分子机制以及开发更有效的新靶向药物^[13,18]。

下面我们对在机体代谢与发育以及稳态维持等方面发挥重要功能的孤儿核受体家族成员 Nur77 进行讨论^[19-20],探讨其相关的作用机制与治疗前景。

2 Nur77 及其靶点相关的化合物

核受体超家族至少包含 48 个转录因子成员,它们通过调控靶基因的表达来影响不同的生命活动过程,是主要的药物靶点^[12,21-22]。Hazel 等^[18]于 1988 年首次发现的一个细胞核受体超家族的孤儿成员 Nur77(也称为 NR4A1/TR3/NGFI-B),在维持细胞内稳态和在疾病中起着重要作用^[19,21,23]。

2.1 Nur77的分子结构特点

Nur77 cDNA 序列能够编码 598 个氨基酸的蛋白质^[24]。Nur77 具有典型的核受体结构,包括 N 端结构域、DNA 结合结构域(DNA binding domain, DBD)和配体结合结构域(Ligand binding domain, LBD)^[25](如图 1 所示)。其 N 端区域包含配体独立的激活功能 1(Activation function-1, AF-1)反式激活域(Transactivation domain, TAD),是与其他转录因子相互作用和进行反转录激活所必需的^[12]。DBD 区域能够识别特定的 NGFI-B 响应元件(NGFI-B response element, NBRE), Nur77 通常通过与靶基因启动子区域的 NBRE 结合而起作用^[26-27];而 LBD 区域在转录活性和/或二聚过程中有重要作用^[28]。



图1 Nur77 结构示意图

2.2 Nur77作为肺癌靶点的可能性

2.2.1 Nur77 在癌症中的表达及预后

有研究统计,与正常组织细胞相比, Nur77 在结肠癌、胰腺癌、乳腺癌和肺癌等多种肿瘤中过表达,其在肺癌、乳腺癌和结肠癌等中的表达水平与患者的生存或预后息息相关。Nur77 相关肿瘤的预后和功能随肿瘤类型、肿瘤环境和化合物或配体的不同效应而变化^[20]。有队列研究结果显示, Nur77 蛋白高水平表达会降低患者生存期的预后^[29]。也有研究发现,部分化合物如厚朴酚、马来毒箭木苷等能够通过调节 Nur77 信号通路来抑制肿瘤的生长^[30-31]。

2.2.2 Nur77 与肿瘤相关的生物学功能

Nur77 在肿瘤细胞的生长、凋亡和自噬等生理调控过程中发挥着重要的作用^[12]。Nur77 作为转录因子能够调控多种基因的表达,也能够作为与不同细胞间的伙伴直接相互作用的蛋白质,发挥与细胞存活和死亡相关的多种功能^[32]。

作为一种转录因子, Nur77 通过与其同源基因结合的特异性蛋白 1(Sp1)转录因子相互作用,或通过 Nur77/Sp1 共同作用发挥转激活功能来调控基因^[33-34]。已有研究证明: Nur77 通过其启动子区域的 NBRE 调节丝氨酸蛋白酶抑制剂家族成员 SerpinA3,这可能与 Nur77 在炎症疾病中的作用有关^[35]。Nur77 还能够招募并作用辅抑制因子 SWI/SNF 复合物到 CD36 和 FABP4 的启动子上,来抑制它们的转录,从而阻碍脂肪酸的摄取,抑制乳腺癌细胞增殖^[36]。

Nur77 磷酸化能够诱导 Nur77 从细胞核转移到线粒体,进而在线粒体中通过 LBD 与 Bcl-2 相互作用,暴露 Bcl-2 的 BH3 结构域,使其从抗凋亡分子转变为促凋亡分子,并触发癌细胞中细胞色素 C(Cyt C)的释放,激活 Caspase-9 和 Caspase-3,诱导肿瘤细胞凋亡^[12,23,37]。在 THPN(1(-3,4,5-trihydroxyphenyl)nonan-1-one)的诱导下, Nur77 在线粒体内膜(MIM)通过 TAD 与腺嘌呤核苷酸转位酶 1(Adenine nucleotide translocase 1, ANT1)相互作用,导致 ANT1-VDAC1 复合物消耗线粒体膜电位并诱导黑色素瘤细胞自噬^[38]。除线粒体外,在 CD437 等化合物的作用下, Nur77 还可转移到内质网,并与 Bcl-2 或转介子相关蛋白亚单位 γ (Translocon-associated protein subunit γ , TRAP γ)相互作用,引起内质网应激诱导的细胞凋亡^[39]。

在不同化合物的作用下,Nur77在多种肿瘤细胞中过表达并诱导凋亡,如肺癌^[37]、乳腺癌^[36]、结肠癌^[40]、胃癌^[41]、食管癌^[42]、胰腺癌^[43]和前列腺癌^[44]等。除了具有促凋亡功能以外,Nur77还可以抑制膀胱癌^[45]、子宫平滑肌瘤^[46]等肿瘤细胞的生长和细胞周期。

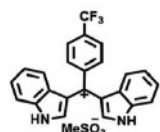
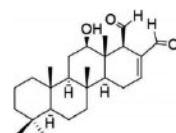
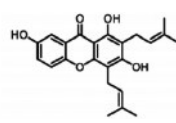
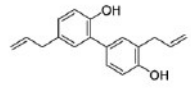
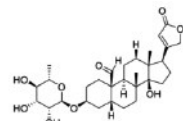
2.2.3 Nur77 配体

Nur77在肿瘤中的表达和功能显示,其配体作为激动剂或拮抗剂代表了一种潜在的新型选择性受体调节剂用于癌症治疗^[47]。Nur77的受体激动剂如壳囊孢酮B(Cytosporone B,Csn-B)和1,1-二(3'-咪唑基)-1-(p-取代苯基)甲烷(C-DIMs)等可与Nur77直接结合并激活Nur77,诱导Nur77出核,从而引发凋亡并抑制肿瘤细胞生长^[48-49]。此外,而后发现的C-DIMs衍生物BI1071以及Csn-B相关化合物、三萜类青藤酚和许多其他化合物,包括多不饱和脂肪酸也有类似的作用^[23,50]。这几种不同类型的化合物已被证实为结合受体Nur77的配体,由此可见Nur77配体化合物的有效性,以及Nur77作为肺癌治疗靶点的可能性。

2.3 调节 Nur77 信号通路抗肿瘤化合物

已有研究发现,某些化合物能够通过调节Nur77信号通路来抑制肿瘤的生长^[20]。课题组曾综述了某些真菌聚酮及其类似物、化疗药物顺铂、植物提取物丁烯基苯酚(BP)、模拟肽紫杉醇等Nur77相关抗肿瘤化合物^[51]。下面将综述近年来发现的氧杂蒽酮类、萜类化合物、植物提取衍生物等能够通过调节Nur77信号通路的抗肿瘤化合物,如表2所示。

表2 调节 Nur77 信号通路的抗肿瘤化合物

化合物	化合物类别	生物学功能	肿瘤类别	分子结构
3,3'-二咪唑甲烷(DIM)衍生物(二(1H-咪唑-3-基)(4-(三氟甲基)苯基)甲烷)的盐形式(BI1071) ^[23]	氧化性 DIM	Nur77 介导的凋亡		
12-Deacetyl-12-epi-Scalaradiol ^[52]	萜类化合物	Nur77 介导的凋亡	宫颈癌	
1,3,7-三羟基-2,4-二戊基氧杂蒽酮(CCE9) ^[53]	氧杂蒽酮化合物	Nur77 介导的凋亡	乳腺癌、结直肠癌、肝癌、小细胞肺癌	
β-1,3-葡聚糖(LNT) ^[54]	真菌聚酮类似物	Nur77 介导的凋亡	乳腺癌	
5-((8-甲氧基-2-甲基喹啉-4-基)氨基)-1H-咪唑-2-碳酰肼衍生物 10g ^[55]	其他	Nur77 介导的自噬和凋亡	肝细胞癌	
厚朴酚(Honokiol) ^[30]	其他		乳腺癌	
马来毒箭木苷(Malayoside) ^[31]	其他	Nur77 介导的凋亡	非小细胞肺癌	

2.3.1 氧化性二吡啶甲烷

3,3'-二吡啶甲烷(DIM)衍生物(二(1H-吡啶-3-基)(4-(三氟甲基)苯基)甲烷)的盐形式(也就是BI1071)被认为是第一个促进 Nur77-Bcl-2 凋亡途径的 Nur77 结合小分子^[23]。相较于其他 DIM 衍生物, BI1071 能够直接与 Nur77 高亲和力结合,促进 Nur77 的线粒体靶向及其与 Bcl-2 的相互作用,从而诱导肿瘤细胞凋亡,凋亡率为对照的 30 倍。BI1071 在动物体内也具有显著地抑制肿瘤细胞的生长的作用,其对正常细胞的影响较小,因此可能具有较高的治疗指数。

2.3.2 萜类化合物

角鲨烷萜类化合物是一种独特的萜类化合物,已被报道在体外或体内有出显著的抗肿瘤活性。12-deacetyl-12-epi-scalaradial 是提取自西沙海绵的角鲨烷萜类化合物,对肝细胞癌细胞、乳腺癌细胞和结肠直肠癌细胞的生长具有抑制活性^[52]。12-deacetyl-12-epi-scalaradial 在 HeLa 细胞中通过诱导 PARP 裂解与 Caspase 通路激活,并抑制 MAPK/ERK 通路的激活,诱导 Nur77 磷酸化,以及与 Nur77-LBD 的相互作用,从而触发 HeLa 细胞凋亡。在 12-deacetyl-12-epi-scalaradial 处理下,HeLa 细胞凋亡率可达 61.4%。这进一步证明了角鲨烷萜类化合物具有抗肿瘤活性,并显示出其作为治疗宫颈癌化合物的前景。

2.3.3 氧杂蒽酮类

氧杂蒽酮是一类主要在高等植物和微生物中作为次级代谢产物发现的三元杂环化合物,具有降压降脂、清热解暑、抗血栓形成和抗癌等作用^[53,56]。1,3,7-三羟基-2,4-二戊基氧杂蒽酮(CCE9)是一种从中药植物越南黄牛木的变种红芽木中分离出的氧杂蒽酮化合物,可诱导乳腺癌、结直肠癌、肝癌、小细胞肺癌等肿瘤细胞凋亡^[53]。CCE9 通过 p38 α MAPK 依赖性的方式诱导 Nur77 表达和 Bcl-2 磷酸化,从而导致 Nur77 与 Bcl-2 相互作用和 Nur77 的细胞质定位以及线粒体靶向,最终诱导癌细胞凋亡。在 CCE9 处理下,HeLa229 细胞发生广泛的早期凋亡率达 19.85%。

2.3.4 真菌聚酮类似物

β -1,3-葡聚糖(LNT)是一种提取自香菇的香菇多糖,具有显著的抗肿瘤生物活性^[54]。在体外实验中,缺氧诱导乳腺癌细胞中缺氧诱导因子-1 α (HIF-1 α)和 Nur77 的表达;而在无氧环境中添加 LNT 能够下调 HIF-1 α 的表达,该过程呈 Nur77 依赖性,涉及 Nur77 介导的泛素蛋白酶体途径。在体内实验中,LNT 对乳腺肿瘤组织的生长也有显著的抑制作用。临床研究表明:LNT 单独或与其他化疗药物联合使用可用于治疗卵巢癌、胃癌、肝癌和肺癌。作为免疫调节剂,潜在的抗肿瘤机制可能是激活免疫反应以诱导细胞凋亡。

2.3.5 其他

5-((8-甲氧基-2-甲基喹啉-4-基)氨基)-1H-吡啶-2-碳酰肼衍生物是一种有效的 Nur77 调节剂^[55]。其先导化合物之一 10g 具有低细胞毒性,对肝癌细胞具有广谱的抗增殖活性。10g 能够与 Nur77 结合,并上调 Nur77 的表达,促使 Nur77 向内质网(ER)和线粒体的易位。10g 诱导的内质膜应激可以促进细胞自噬,通过内质网应激和自噬途径诱导细胞凋亡。10g 处理后,HepG2 细胞凋亡率可达 91.3%。体内试验证实,10g 可显著抑制异种移植瘤的生长且具有良好的耐受性,肿瘤生长抑制率(TGI)可达 62.38%。

厚朴酚(Honokiol)是一种从日本厚朴木兰中提取的酚类化合物。最近有研究表明,这种天然存在的小分子在多种肿瘤细胞中发挥着抗侵袭和抗增殖活性等作用^[30]。Honokiol 通过抑制 I κ B 激酶(Inhibitor of kappa B kinase,IKK)和 c-Jun 氨基末端激酶(c-Jun N-terminal kinase,JNK)或干扰肿瘤坏死因子受体超家族成员 1A(Tumor Necrosis Factor Receptor 1,TNFR1)对其连接蛋白受体相互作用蛋白激酶 1(Receptor-interacting protein kinase 1,RIPK1)的募集来抑制 TNF- α 诱导的 Nur77 表达,促使 MCF-7 乳

腺癌细胞对 TNF- α 的杀伤作用更敏感。在体内, Honokiol 有效地抑制了 MCF-7 荷瘤小鼠内肿瘤的生长, 治疗 2 周后抑制率超过 50%。这些结果表明: Nur77 是一种有潜力的乳腺癌治疗干预药物靶点, 并将 Honokiol 确定为有治疗乳腺癌前景的先导物。

此外, 课题组研究发现, 从中药见血封喉中提取出的强心苷马来毒箭木苷 (Malayoside) 能够通过调节 Nur77 信号通路来抑制肺癌的生长^[31]。Malayoside 通过激活 MAPK 信号通路 (如 p38 和 ERK1/2), 促使 Nur77 保留于细胞质中, 定位于线粒体, 并诱导 Cyt C 释放, 激活 Caspase-3, 显著抑制 NSCLC 细胞的生长并诱导细胞凋亡。在 NCI-H460 荷瘤小鼠中, 马来毒箭木苷处理后的肿瘤生长抑制率可达 55.2%。基于 Malayoside 在 NSCLC 发生发展中的重要作用, 研究结果表明: Malayoside 可能成为一种高效、低毒的潜在抗癌化合物, 为治疗非小细胞肺癌提供了新的思路和见解。

针对上述 Nur77 相关的抗肿瘤化合物, 我们对其所涉及的信号通路进行综合, 如图 2 所示。

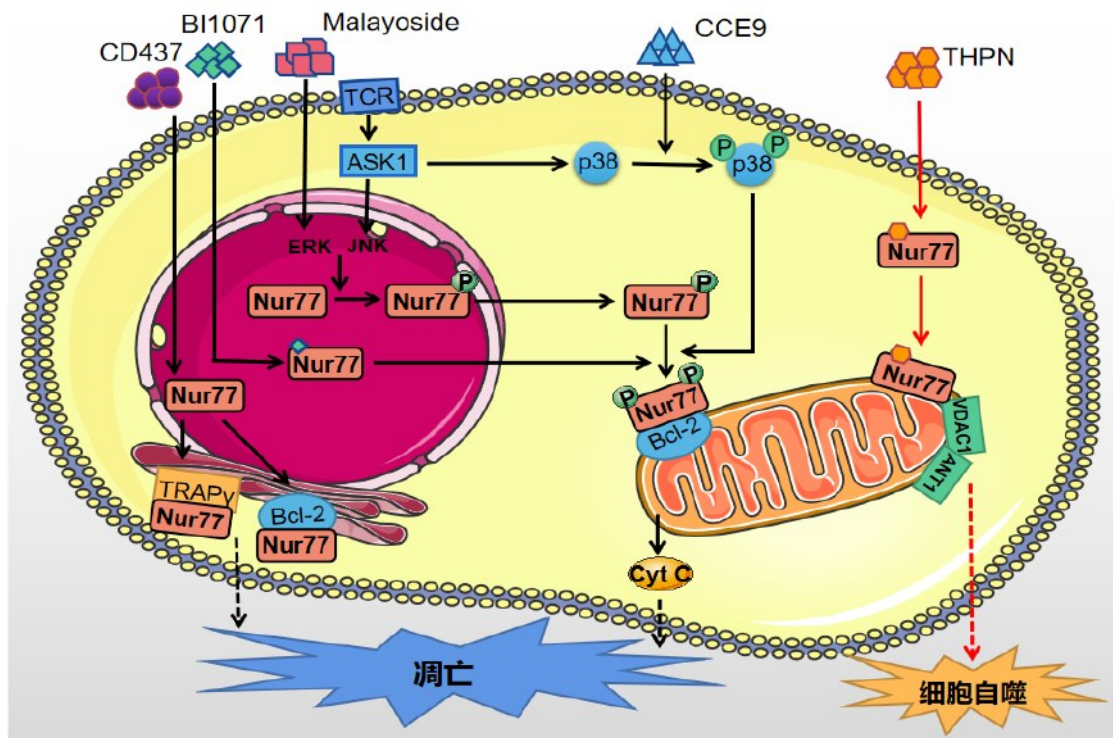


图 2 Nur77 介导的抗肿瘤信号通路

3 结语

在过去的几十年里, 尽管在化疗、分子靶向治疗以及免疫治疗等方面均取得了重大进展, 但肺癌仍然是全球和中国重要公共卫生负担。免疫治疗的出现使肺癌的治疗进入新时代, 然而只有部分患者能够从中得到很好的治疗, 且与其相关的不良反应、耐药等问题还需要未来的科研实验进一步探索 and 解决。小分子靶向药物治疗较其他治疗方法具有药物用量少、特异性强、低毒性以及效果明显等优点, 为抗肺癌药物研发提供了方向, 也给肺癌患者带来了福音。对此, 我们综述了目前报道较多的药物靶点及其相关药物, 得出目前上市的肺癌小分子靶向药物不可避免地存在耐药及副反应较大等缺点, 因此仍需进一步研究肺癌的分子机制以及开发更有效的新靶向药物。此外, 我们从 Nur77 在癌症中的表达、预后、与肿瘤相关的生物学功能及其配体 3 个方面重点探讨了孤儿核受体 Nur77 成为肺癌靶点的可能性, 对调节 Nur77 信号

通路抗肿瘤化合物也作了进一步阐述。在不同化合物的作用下,Nur77在多种肿瘤细胞的生长、侵袭、凋亡和自噬等生理调控过程中发挥着重要的作用。

综上所述,研发更安全有效的新靶向药物,进一步明确肺癌药物靶点出现耐药现象的原因,研发针对不同耐药机制的新型药物,制定针对不同肺癌类型患者的实际情况与药物耐受性的治疗新方案,提高肺癌患者生存率,减轻患者痛苦,等等,这些仍是医学研究需要不断深入的课题。

参考文献:

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] 王兴波. 易瑞沙抗肺癌药市场营销策略优化研究[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2021.
- [3] 王熠伟, 李文新. 非小细胞肺癌免疫治疗新进展[J]. *内蒙古医学杂志*, 2021, 53(7): 818-820.
- [4] MILLER K D, NOGUEIRA L, MARIOTTO A B, et al. Cancer treatment and survivorship statistics, 2019[J]. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 2019, 69(5): 363-385.
- [5] 李婧涵, 齐盈颖. 肺癌发病因素、诊断方式与治疗手段的研究进展[J]. *世界最新医学信息文摘*, 2019, 19(28): 123.
- [6] 国家卫生健康委员会. 原发性肺癌诊疗规范: 2018年版[J]. *肿瘤综合治疗电子杂志*, 2019, 5(3): 100-120.
- [7] 张爽, 程颖. 小细胞肺癌治疗新进展[J]. *中国肿瘤临床*, 2021, 48(10): 501-505.
- [8] 卢小娟, 施华球, 阙秋扬, 等. 晚期非小细胞肺癌免疫治疗的研究进展[J]. *赣南医学院学报*, 2021, 41(7): 664-668.
- [9] 杜洋, 范承娟, 申维喜, 等. 非小细胞肺癌免疫治疗研究进展[J]. *现代肿瘤医学*, 2021, 29(13): 2368-2371.
- [10] 钱紫. 非小细胞肺癌 EGFR 通路靶向药物的研究进展[J]. *健康必读*, 2020(16): 276-276.
- [11] 刘禹杉, 何馨彤, 杜荣蓉, 等. 非小细胞肺癌靶向治疗药物的临床研究进展[J]. *药物评价*, 2021, 44(2): 432-439.
- [12] NIU G, LU L, GAN J, et al. Dual roles of orphan nuclear receptor TR3/Nur77/NGFI-B in mediating cell survival and apoptosis[J]. *Int Rev Cell Mol Biol*, 2014, 313: 219-258.
- [13] 周健坤. 晚期非小细胞肺癌靶向治疗研究进展[J]. *临床肺科杂志*, 2021, 26(7): 1104-1109.
- [14] 胡鹏程, 耿德临, 魏慎海, 等. 晚期非小细胞肺癌靶向治疗的研究进展[J]. *山东医药*, 2020, 60(16): 102-106.
- [15] LIN J J, RIELY G J, SHAW A T. Targeting ALK: Precision medicine takes on drug resistance[J]. *Cancer Discov*, 2017, 7(2): 137-155.
- [16] GOLDING B, LUU A, JONES R, et al. The function and therapeutic targeting of anaplastic lymphoma kinase (ALK) in non-small cell lung cancer (NSCLC)[J]. *Mol Cancer*, 2018, 17(1): 52.
- [17] RUSSO A, LOPES A R, MCCUSKER M G, et al. New targets in lung cancer (excluding EGFR, ALK, ROS1)[J]. *Curr Oncol Rep*, 2020, 22(5): 48.
- [18] HAZEL T G, NATHANS D, LAU L F. A gene inducible by serum growth factors encodes a member of the steroid and thyroid hormone receptor superfamily[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1988, 85(22): 8444-8448.
- [19] SAFE S, JIN U H, MORPURGO B, et al. Nuclear receptor 4A (NR4A) family-orphans no more[J]. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 2016, 157: 48-60.
- [20] SAFE S, KARKI K. The Paradoxical roles of orphan nuclear receptor 4A (NR4A) in cancer[J]. *Mol Cancer Res*, 2021, 19(2): 180-191.
- [21] WU L, CHEN L. Characteristics of Nur77 and its ligands as potential anticancer compounds (Review)[J]. *Mol Med Rep*, 2018, 18(6): 4793-4801.
- [22] LAZAR M A. Maturing of the nuclear receptor family[J]. *J Clin Invest*, 2017, 127(4): 1123-1125.
- [23] CHEN X, CAO X, TU X, et al. BI1071, a novel Nur77 modulator, induces apoptosis of cancer cells by activating the Nur77-Bcl-2 apoptotic pathway[J]. *Mol Cancer Ther*, 2019, 18(5): 886-899.
- [24] KURAKULA K, KOENIS D S, VAN TIEL C M, et al. NR4A nuclear receptors are orphans but not lonesome[J]. *Biochim Biophys Acta*, 2014, 1843(11): 2543-2555.

- [25] BRÉLIVET Y, ROCHEL N, MORAS D. Structural analysis of nuclear receptors: From isolated domains to integral proteins[J]. *Mol Cell Endocrinol*, 2012, 348(2):466–473.
- [26] WILSON T E, FAHRNER T J, MILBRANDT J. The orphan receptors NGFI-B and steroidogenic factor 1 establish monomer binding as a third paradigm of nuclear receptor–DNA interaction[J]. *Mol Cell Biol*, 1993, 13(9):5794–5804.
- [27] KATAGIRI Y, TAKEDA K, YU Z X, et al. Modulation of retinoid signalling through NGF-induced nuclear export of NGFI-B[J]. *Nat Cell Biol*, 2000, 2(7):435–440.
- [28] BRÉLIVET Y, KAMMERER S, ROCHEL N, et al. Signature of the oligomeric behaviour of nuclear receptors at the sequence and structural level[J]. *EMBO Rep*, 2004, 5(4):423–429.
- [29] LEE S O, ANDEY T, JIN U H, et al. The nuclear receptor TR3 regulates mTORC1 signaling in lung cancer cells expressing wild-type p53[J]. *Oncogene*, 2012, 31(27):3265–3276.
- [30] XIE L, JIANG F, ZHANG X, et al. Honokiol sensitizes breast cancer cells to TNF- α induction of apoptosis by inhibiting Nur77 expression[J]. *Br J Pharmacol*, 2016, 173(2):344–356.
- [31] HU Q Y, ZHANG X K, WANG J N, et al. Malayoside, a cardenolide glycoside extracted from *Antiaris toxicaria* Lesch, induces apoptosis in human non-small lung cancer cells via MAPK–Nur77 signaling pathway[J]. *Biochem Pharmacol*, 2021, 190:114622.
- [32] PAWLAK A, STRZADALA L, KALAS W. Non-genomic effects of the NR4A1/Nur77/TR3/NGFI-B orphan nuclear receptor[J]. *Steroids*, 2015, 95:1–6.
- [33] LEE S O, CHINTHARLAPALLI S, LIU S, et al. p21 expression is induced by activation of nuclear nerve growth factor-induced Balph (Nur77) in pancreatic cancer cells[J]. *Mol Cancer Res*, 2009, 7(7):1169–1178.
- [34] SHRESTHA R, MOHANKUMAR K, JIN U H, et al. The histone methyltransferase gene G9A is regulated by nuclear receptor 4A1(NR4A1) in alveolar rhabdomyosarcoma cells[J]. *Molecular Cancer Therapeutics*, 2020, 20(3):612–622.
- [35] ZHAO Y, LIU Y, ZHENG D. Alpha 1-antichymotrypsin/SerpinA3 is a novel target of orphan nuclear receptor Nur77[J]. *FEBS J*, 2008, 275(5):1025–1038.
- [36] YANG P B, HOU P P, LIU F Y, et al. Blocking PPAR γ interaction facilitates Nur77 interdiction of fatty acid uptake and suppresses breast cancer progression[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2020, 117(44):27412–27422.
- [37] PEARCE M C, GAMBLE J T, KOPPARAPU P R, et al. Induction of apoptosis and suppression of tumor growth by Nur77-derived Bcl-2 converting peptide in chemoresistant lung cancer cells[J]. *Oncotarget*, 2018, 9(40):26072–26085.
- [38] WANG W J, WANG Y, CHEN H Z, et al. Orphan nuclear receptor TR3 acts in autophagic cell death via mitochondrial signaling pathway[J]. *Nat Chem Biol*, 2014, 10(2):133–140.
- [39] CHEN H Z, WEN Q, WANG W J, et al. The orphan nuclear receptor TR3/Nur77 regulates ER stress and induces apoptosis via interaction with TRAP γ [J]. *Int J Biochem Cell Biol*. 2013, 45(8):1600–1609.
- [40] HU Y, FRENCH SW, CHAU T, et al. RAR β acts as both an upstream regulator and downstream effector of miR-22, which epigenetically regulates NUR77 to induce apoptosis of colon cancer cells[J]. *FASEB J*, 2019, 33(2):2314–2326.
- [41] LIU J J, ZENG H N, ZHANG L R, et al. A unique pharmacophore for activation of the nuclear orphan receptor Nur77 in vivo and in vitro[J]. *Cancer Res*, 2010, 70(9):3628–3637.
- [42] ILSON D H, VAN HILLEGERSBERG R. Management of patients with adenocarcinoma or squamous cancer of the esophagus[J]. *Gastroenterology*, 2018, 154(2):437–451.
- [43] HEDRICK E, LEE S O, SAFE S. The nuclear orphan receptor NR4A1 regulates β 1-integrin expression in pancreatic and colon cancer cells and can be targeted by NR4A1 antagonists[J]. *Mol Carcinog*, 2017, 56(9):2066–2075.
- [44] WU J, SUN H, YANG X, et al. Nur77 suppression facilitates androgen deprivation-induced cell invasion of prostate cancer cells mediated by TGF- β signaling[J]. *Clin Transl Oncol*, 2018, 20(10):1302–1313.
- [45] WU J, LIU J, JIA R, et al. Nur77 inhibits androgen-induced bladder cancer growth[J]. *Cancer Invest*, 2013, 31(10):654–660.
- [46] LUO X, DING L, XU J, et al. Leiomyoma and myometrial gene expression profiles and their responses to

- gonadotropin-releasing hormone analog therapy[J]. *Endocrinology*, 2005, 146(3): 1074–1096.
- [47] SAFE S, JIN U H, HEDRICK E, et al. Minireview: Role of orphan nuclear receptors in cancer and potential as drug targets[J]. *Mol Endocrinol*, 2014, 28(2): 157–172
- [48] ZHAN Y, DU X, CHEN H, et al. Cytosporone B is an agonist for nuclear orphan receptor Nur77[J]. *Nat Chem Biol*, 2008, 4(9): 548–556.
- [49] CHINTHARLAPALLI S, BURGHARDT R, PAPINENI S, et al. Activation of Nur77 by selected 1,1-Bis(3'-indolyl)-1-(p-substituted phenyl)methanes induces apoptosis through nuclear pathways[J]. *J Biol Chem*, 2005, 280(26): 24903–24914.
- [50] SAFE S, SHRESTHA R, MOHANKUMAR K. Orphan nuclear receptor 4A1 (NR4A1) and novel ligands[J]. *Essays Biochem*, 2021, 65(6): 877–886.
- [51] 郑文涛, 钱叶荷, 胡琼莹. 调节 Nur77 信号通路的抗肿瘤化合物研究进展[J]. *台州学院学报*, 2019, 41(3): 61–67.
- [52] ZHOU M, PENG B R, TIAN W, et al. 12-Deacetyl-12-epi-Scalaradial, a scalarane sesterterpenoid from a marine sponge *Hippospongia* sp., induces hela cells apoptosis via MAPK/ERK pathway and modulates nuclear receptor Nur77[J]. *Mar Drugs*, 2020, 18(7): 375.
- [53] LIU J, WANG G H, DUAN Y H, et al. Modulation of the Nur77-Bcl-2 apoptotic pathway by p38 α MAPK[J]. *Oncotarget*, 2017, 8(41): 69731–69745.
- [54] HANG X, LI T, LIU S, et al. β -glucan from *Lentinus edodes* inhibits breast cancer progression via the Nur77/HIF-1 α axis[J]. *Biosci Rep*, 2020, 40(12): BSR20201006.
- [55] LI B, YAO J, GUO K, et al. Design, synthesis, and biological evaluation of 5-((8-methoxy-2-methylquinolin-4-yl)amino)-1H-indole-2-carbohydrazidederivatives as novel Nur77 modulators[J]. *Eur J Med Chem*, 2020, 204: 112608.
- [56] 李官华. 藤黄科植物红芽木的资源状况与传统药用知识评价[D]. 北京: 中央民族大学, 2021.

Advancement on Anti-lung Cancer Target and Nur77

Pan Lifan, Li Zhenye, Lao Ruyang, Hu Qiongying

(School of Medicine, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

Abstract: Lung cancer is one kind of malignant tumors that seriously threatens human health and life, with the first mortality among all cancers. The present treatment of lung cancer mainly includes surgery, radiation, drugs and immunotherapy, with the problems such as high cost, strong toxicities or adverse reactions, and limited curative effect. It is necessary to constantly find new effective treatments. Previous studies have shown that Nur77, a member of nuclear receptor superfamily, plays an important role in the genesis and development of cancer. Furthermore, Nur77 can induce apoptosis of lung cancer cells through its high expression and translocation to mitochondria, which may be a potential target for lung cancer treatment. The current review focus on the drug targets related to lung cancer and Nur77 and its related compounds in recent reports, and the trends of future research, which will aid new strategy or theoretical basis for lung cancer treatment, especially target drug therapy.

Keywords: lung cancer; target drugs; Nur77; target therapy

miR-431-5p 通过 MAPK/ERK 通路 促进食管鳞癌细胞增殖和迁移

金 戈, 陈耀武, 李阳坤, 叶赛卿, 钱昕晔, 朱皓宇, 徐雯轩, 包晓红

(台州学院 医学院, 浙江 台州 318000)

摘要: 为了检测 miR-431-5p 在食管鳞癌(Esophageal squamous cell carcinoma, ESCC)中的表达, 探讨其功能, 利用 TCGA 公共数据库分析 miR-431-5p 在食管癌中的表达, 通过 RT-qPCR 检测 miR-431-5p 在组织和细胞中表达; 再利用 miR-431-5p 模拟物和抑制剂, 通过 CCK-8 实验、细胞划痕和 Transwell 实验以及蛋白免疫印迹实验, 检测 miR-431-5p 对 ESCC 细胞增殖、侵袭和迁移的影响以及分子作用机制。结果显示: miR-431-5p 在食管癌中高表达; 转染 miR-431-5p 模拟物后, KYSE30 细胞增殖率、迁移率和侵袭率分别增加了 24.19%, 30.86% 和 50.29% ($P < 0.05$); 而转染 miR-431-5p 抑制剂后, TE-11 细胞数量、迁移率分别降低了 21.43% 和 9.52% ($P < 0.05$); miR-431-5p 模拟物增加 KYSE30 细胞 p-ERK 表达量 11.68%; miR-431-5p 抑制剂降低 TE-11 细胞 p-ERK 表达量 45.73%。研究结果表明: miR-431-5p 通过 MAPK/ERK 通路促进 ESCC 细胞的增殖、侵袭和迁移。该研究为开发食管鳞癌治疗的有效靶点提供实验依据。

关键词: miR-431-5p; 食管鳞癌; 细胞增殖; 侵袭和迁移; MAPK/ERK

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.010

0 引言

食管癌(Esophageal cancer)为常见的最具侵袭性的消化道恶性肿瘤之一, 它有两种组织学亚型, 即食管鳞癌(Esophageal Squamous Cell Carcinoma, ESCC)和食管腺癌(Esophageal Adenocarcinoma, EAC)。在全球癌症统计报告中, 食管癌发生率排第六位, 死亡率排第七位, 且其 5 年生存率低于 20%^[1-2]。中国的食管癌病例占全球的 50% 以上^[3]。目前食管癌的主要临床治疗手段为手术切除、放化疗, 但常规治疗的疗效有限且发生严重的不良反应^[4]。西妥昔单抗(靶向表皮生长因子受体, EGFR)和贝伐珠单抗(靶向血管内皮细胞生长因子, VEGF)为代表的靶向治疗已被证实在食管癌的治疗中发挥着重要作用^[4]。然而, 食管癌的异质性, 迫使研究者们寻求更多的潜在治疗靶点。ESCC 因缺乏其有效靶点, 靶向治疗效果欠佳; 微小 RNA(microRNA, miRNA)是一种非编码小 RNA, 它参与包括食管癌在内的多种癌症的各个阶段^[5], 在肿瘤发生发展中的作用显著, 有望成为肿瘤治疗的有效靶点。已有研究报道, miR-431-5p 的异常表达在肿瘤发生发展过程中发挥了重要作用^[6], 但其在食管癌中的作用尚不明确。本文通过检测 miR-431-5p 在食管癌中的异常表达, 证实了 miR-431-5p 参与 ESCC 的细胞增殖、侵袭和迁移过程, 并探索了其作用机制, 为食管鳞癌的分子靶向治疗提供新的方向。

收稿日期: 2023-10-10

基金项目: 台州市科技计划项目(20ywb99); 2021 年度台州市大学生科技创新项目

作者简介: 金 戈(2001—), 男, 浙江宁波人, 2020 级临床医学专业本科生; 包晓红(通信作者)(1983—), 女(蒙古族), 内蒙古通辽人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事多组学与疾病生物标志物研究。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

人食管鳞癌细胞(ESCC)株 TE-1 和 TE-11 购自江阴齐氏生物科技有限公司; KYSE30、KYSE70 和 KYSE450 购自南京科佰生物科技有限公司; ESCC 组织 cDNA 芯片(癌/癌旁各 15), 上海芯超生物科技有限公司; miR-431-5p 模拟物和抑制剂, 北京鼎国昌盛生物技术有限责任公司; RPMI1640 培养基, 美国 Hyclone 公司; 标准胎牛血清, 美国 Gemini Bio; CCK-8 试剂, 美国 APEXBio 公司; BCA 定量试剂盒, 美国 Thermo Scientific 公司; 兔抗人 p-ERK(1/2)单克隆抗体(#4370)和兔抗人 ERK 抗体(#9102), 美国 Cell Signaling Technology 公司; 小鼠抗人 β -actin 单克隆抗体(sc-69879), 美国 Santa Cruz 公司; HRP 标记山羊抗兔 IgG(ab6789)多克隆抗体、HRP 标记山羊抗小鼠 IgG(ab6721)多克隆抗体, 英国 abcam 公司; ECL 发光液, 上海碧云天生物科技公司; transwell 板、Matrigel 基质胶, 美国康宁公司; Thermo CO₂ 细胞培养箱, 美国 Thermo 公司; BioTek Synergy H1 酶标仪, 美国 BioTek 公司; GE Amersham Imager 600 超灵敏多功能成像仪, 美国 GE 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 TCGA(The Cancer Genome Atlas)数据库分析 miR-431-5p 表达

从 TCGA 数据库(<https://portal.gdc.cancer.gov>)下载并整理 TCGA-ESCA(食管癌)项目 BCGSC 流程的 miRNA-seq 数据并提取 RPM 格式的数据。利用 R(4.2.1)软件分析 miR-431-5p 表达, 采用 ggplot2[3.3.6] 包对数据进行可视化。

1.2.2 组织 cDNA 芯片 PCR 及细胞 RT-qPCR

根据天根 miRcute miRNA 荧光定量检测试剂盒的操作步骤进行操作。配置 20 μ L qPCR MasterMix 体系: 2 \times miRcute Plus miRNA Premix 10 μ L, 正向引物终浓度 200 nmol/L, 反向引物(10 μ mol/L)0.4 μ L, ddH₂O 补水至 20 μ L。将 cDNA 芯片置于冰上静置 15 min, 振荡 30 s, 以 3 000 r/min 转速离心 3 min, 上机实验。PCR 程序为: 一阶段 95 $^{\circ}$ C 30 s; 二阶段 95 $^{\circ}$ C 5 s, 60 $^{\circ}$ C 30 s, 循环 40 次; 三阶段 95 $^{\circ}$ C 5 s, 60 $^{\circ}$ C 1 min。

细胞培养至对数生长期时 trizol 法提取其总 RNA, 测定 RNA 浓度及纯度, 进行反转录。具体反应如下: 配置反应液去除 DNA(5 \times gDNA Wiper Mix 2 μ L, Total RNA 500 ng、无酶水补足至 10 μ L, 40 $^{\circ}$ C 反应 2 min); 在 RNase-free 离心管中按说明书配置反应液, 反应体系: 上一步反应液 10 μ L、5XPrimmeScript RT Master Mix 2 μ L、step-loop primer 0.2 μ L、无酶水补足至 20 μ L。反应条件: 25 $^{\circ}$ C, 5 min; 50 $^{\circ}$ C, 15 min; 85 $^{\circ}$ C, 5 min。PCR 反应体系: cDNA 0.5 μ L, mQ primer R 0.4 μ L, 2 \times SYBR PCR Master mix 5 μ L, 上、下游引物 0.2 μ L, 无酶水 3.9 μ L。反应条件: 一阶段 95 $^{\circ}$ C, 5 min; 二阶段 95 $^{\circ}$ C, 10 s, 60 $^{\circ}$ C, 30 s 循环 40 次; 三阶段 95 $^{\circ}$ C, 15 s, 60 $^{\circ}$ C, 1 min、95 $^{\circ}$ C, 15 s。利用 $2^{-(\Delta\Delta Ct)}$ 法分析数据。

1.2.3 细胞培养

将 KYSE30、KYSE70、KYSE450、TE-1、TE-11 细胞培养于含体积分数为 10% 胎牛血清和青-链霉素各 100 units/mL 的 RPMI1640 培养基, 置于 37 $^{\circ}$ C、体积分数为 5% CO₂ 的培养箱中; 倒置显微镜观察细胞形态及生长情况, 待细胞汇合度 80%~90% 时, 胰酶消化, 用于后续实验。

1.2.4 细胞转染

以每孔 5×10^4 个细胞接种到 24 孔板中, 过夜培养后进行细胞转染。50 μ L Opti-MEM 稀释 miR-431-5p 模拟物和抑制剂(终浓度为 50 nmol/L), 混匀。再与 50 μ L Opti-MEM 稀释的 LipofectamineTM 2000 混合, 室温下静置 20 min。将 100 μ L 转染复合物加入到未含血清的 24 孔细胞板中, 轻摇细胞板混合均匀, 培

养 48 h。转染 6 h 后换新鲜完全培养基。分组如下:①KYSE30+模拟物对照组(以下简称 KYSE30-MNC);②KYSE30+模拟物组(以下简称 KYSE30-M);③TE-11+抑制剂对照组(以下简称 TE-11-I);④TE-11+抑制剂组(以下简称 TE-11-I)。

1.2.5 CCK-8 细胞增殖实验

接种于 6 孔板的细胞培养过夜后,转染 miR-431-5p 模拟物和抑制剂 24 h。经胰酶消化、离心重悬后,等体积接种于 96 孔板。采用 CCK-8 法检测转染 24 h,48 h,72 h 时的细胞增殖情况。方法简述如下:10 μ L CCK-8 加入每孔中,培养板置于 37 $^{\circ}$ C 培养箱孵育 2 h,用酶标仪测其吸光度值($A_{450\text{ nm}}$),分析其数据。

1.2.6 细胞划痕实验

5×10^5 个细胞接种于 6 孔板,培养过夜。转染 miR-431-5p 模拟物和抑制剂 24 h 后,用移液器吸头划痕,以 PBS 清洗细胞 3 次,加入无血清培养基,0 h、48 h 时分别在显微镜下拍照纪录。用 Image J 计算划痕面积。迁移率(%)=[(0 h 划痕面积-48 h 划痕面积)/0 h 划痕面积] $\times 100\%$ 。

1.2.7 Transwell 实验

将 4 $^{\circ}$ C 融化的转染基质胶用 OPTI-MEM 培养基稀释(1:20),加入 Transwell 小室内,37 $^{\circ}$ C 固化 1~2 h;再将 0.2 mL、含 5×10^4 个转染 48 h 的细胞的 OPTI-MEM 培养液加入到 Transwell 上室。Transwell 下室中加入 0.6 mL 含有体积分数为 20%FBS 的 OPTI-MEM 培养基。将 Transwell 小室细胞置于 37 $^{\circ}$ C、体积分数为 5% CO_2 的培养箱 24 h,取出小室,固定、结晶紫染色、拍照。用 Image J 计算细胞数量,计算细胞侵袭率。重复实验 3 次。

1.2.8 Western blot 实验

3×10^5 个细胞接种于 6 孔板,培养过夜,转染 miR-431-5p 模拟物和抑制剂 48 h 后,提取其总蛋白,测其蛋白浓度。在质量浓度为 4%~10% 的不连续 SDS-聚丙烯酰胺凝胶点样孔内加入等量蛋白样品,再电泳,转膜,封闭 1 h 后,加入一抗(1:1 000)稀释液 4 $^{\circ}$ C 孵育过夜。TBST 清洗 3 次,每次 10 min。再加二抗(1:10 000)室温孵育 1 h, TBST 清洗 3 次,每次 10 min;最后用 ECL 显色液进行显色、拍照。使用 Image J 软件分析条带灰度值。

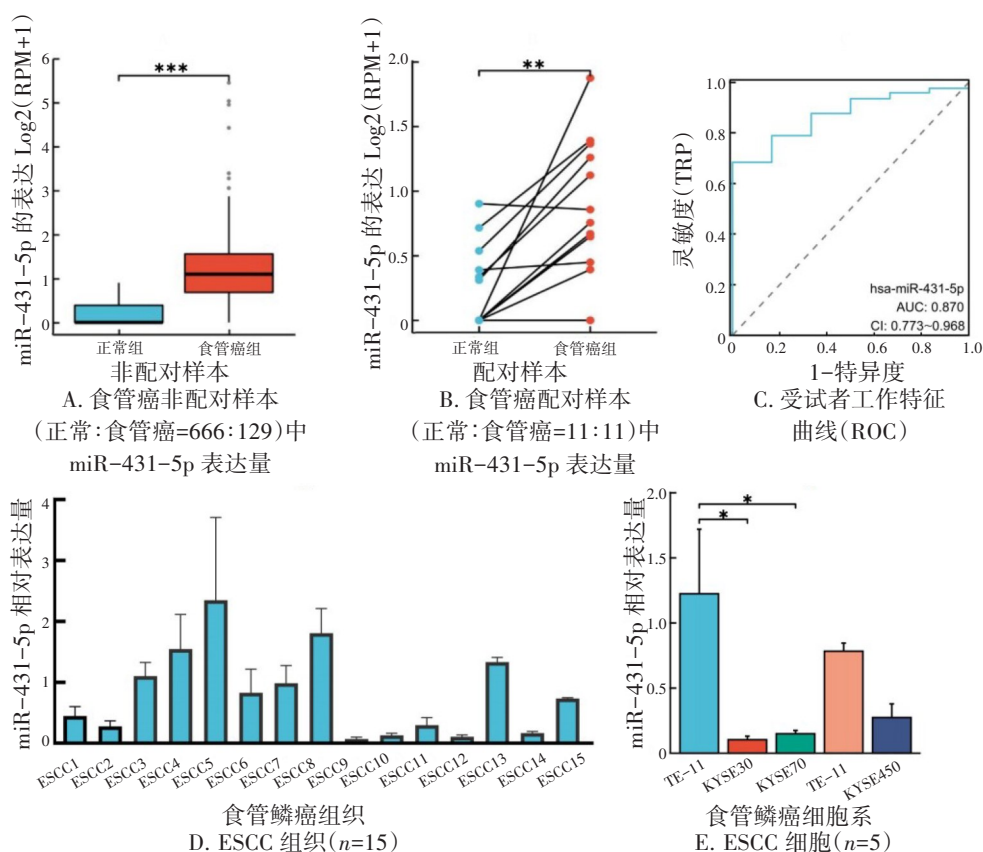
1.2.9 数据处理

转录组公共数据库采用 R(4.2.1)语言,ggplot2[3.3.6]包用于数据可视化,GraphPad Prism 8.0 软件用于实验数据的可视化。两组间比较采用 *t* 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 实验结果

2.1 miR-431-5p 在食管癌中高表达

miR-431-5p 在食管癌中高表达情况如图 1 所示。非配对样本(正常组:食管癌组=13:187)和配对样本(正常组:食管癌组=13:13)中,肿瘤组中 miR-431-5p 的表达量均高于正常组(图 1A 和图 1B),且具有统计学意义($P < 0.01$)。根据受试者工作特征曲线(ROC 曲线,图 1C),ROC 曲线下与坐标轴围成的面积(AUC)值为 0.870(CI:0.773~0.968),具有较好的诊断价值,说明 miR-431-5p 的表达水平可能是 ESCC 的潜在生物标志物。为了验证 miR-431-5p 在 ESCC 中的表达,我们在 ESCC 组织和细胞中检测其表达情况。RT-qPCR 结果显示:与癌旁组织相比较,miR-431-5p 相对表达量高于 1 的组织有 5/15(30%,图 1D),而在 5 种 ESCC 细胞系中表达量从高到低分别是 TE-11、TE-1、KYSE450、KYSE70、KYSE30 细胞(图 1E)。在后续实验中,分别挑选表达量最低的 KYSE30 和表达量最高的 TE-11 细胞作为实验细胞。



说明:ESCC 为食管鳞癌;AUC 为曲线下面积; * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$ 。

图1 miR-431-5p 在食管癌中的高表达

2.2 miR-431-5p 促进 ESCC 细胞增殖

采用 RT-qPCR 方法验证转染 miR-431-5p 模拟物后的 KYSE30 细胞和转染抑制剂后的 TE-11 细胞中 miR-431-5p 的表达情况,结果如图 2 所示。经 miR-431-5p 模拟物转染,KYSE30 细胞 miR-431-5p 相对表达量显著增加(图 2A, $P < 0.05$),而经 miR-431-5p 抑制剂转染,TE-11 细胞 miR-431-5p 相对表达量显著降低(图 2B, $P < 0.001$),说明 miR-431-5p 模拟物和抑制剂有效。为了检测 miR-431-5p 对 ESCC 细胞增殖的影响,KYSE30 和 TE-11 细胞转染 miR-431-5p 模拟物和抑制剂,检测其细胞增殖情况。转染 72 h 时,与 KYSE30-MNC 比较,KYSE30-M 组细胞吸光度值增加了 24.19%(图 2C);与 TE-11-INC 组比较,TE-11-I 组的细胞吸光度值降低了 21.43%(图 2D),表明 miR-431-5p 促进 ESCC 细胞增殖。

2.3 miR-431-5p 有利于 ESCC 细胞的迁移

miR-431-5p 模拟物和抑制剂分别转染于 KYSE30 和 TE-11 细胞后,细胞迁移率变化如图 3 所示。KYSE30-MNC 组迁移率为 15.93%,而 KYSE30-M 组迁移率增加至 46.79% ($P < 0.001$),TE-11-INC 组迁移率为 27.37%,而 TE-11-I 组迁移率降至 17.85% ($P < 0.05$),这说明 miR-431-5p 与 ESCC 细胞迁移呈正相关,在其发展过程中可能发挥重要的作用。

2.4 miR-431-5p 有助于 ESCC 细胞的侵袭

Transwell 实验用于检测 miR-431-5p 对 ESCC 细胞侵袭的影响。KYSE30-MNC 组只有小部分侵袭过膜,而 KYSE30-M 组侵袭过膜细胞明显增加(如图 4 所示, $P < 0.001$),侵袭率增加了 50.29%,这说明 miR-431-5p 与 ESCC 细胞侵袭呈正相关,在食管鳞癌发展过程中必不可少。

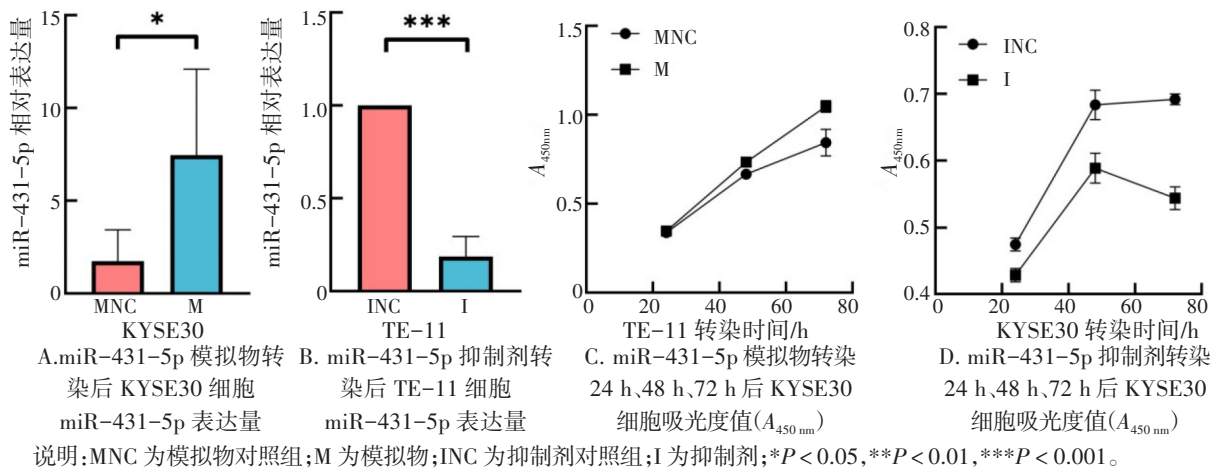


图 2 miR-431-5p 促进 ESCC 细胞增殖

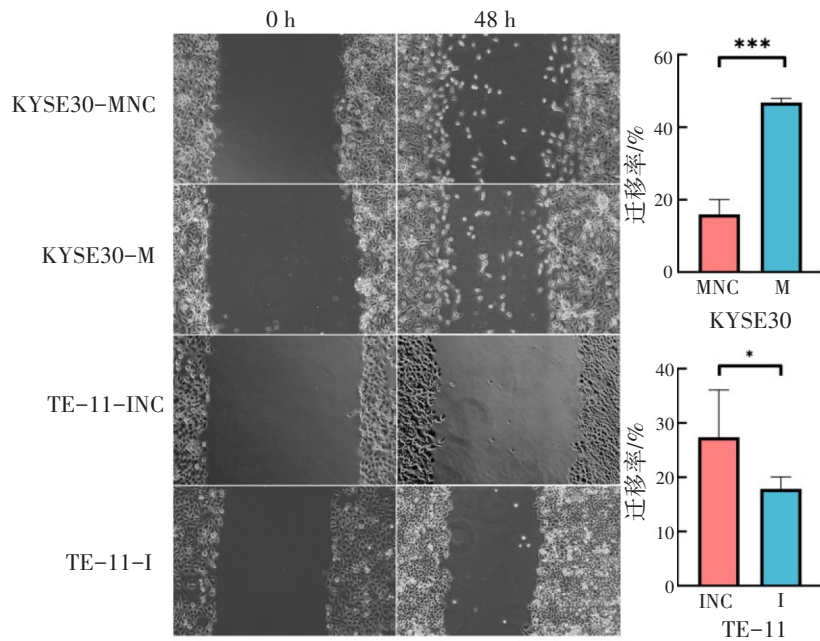


图 3 miR-431-5p 促进 ESCC 细胞迁移

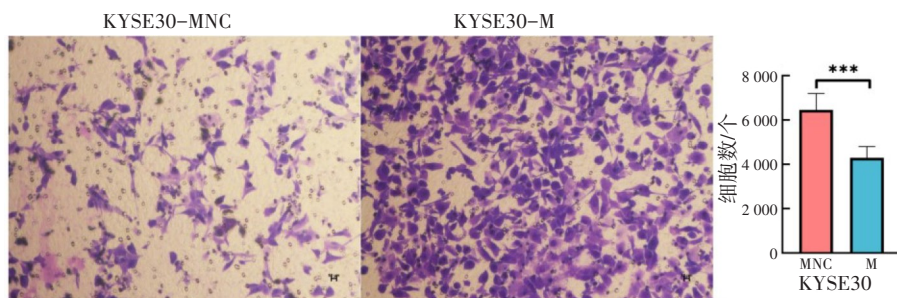
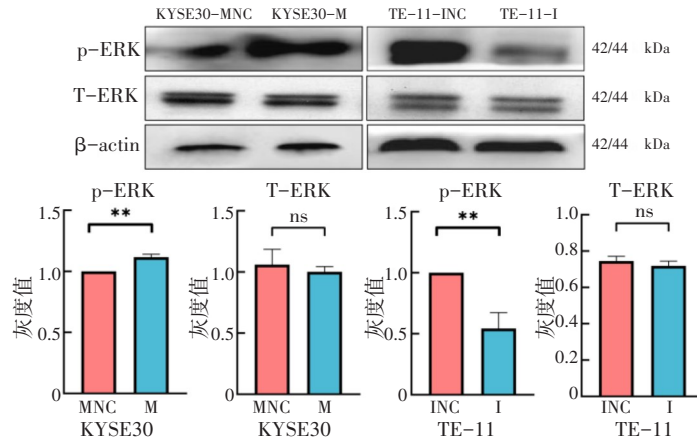


图 4 miR-431-5p 促进 ESCC 细胞侵袭

2.5 miR-431-5p 通过 MAPK/ERK 通路促进 ESCC 细胞侵袭

为了探索 miR-431-5p 对 ESCC 细胞增殖、侵袭和迁移的作用机制, 我们检测了 p-ERK 蛋白表达(如

图5所示)。



说明:p-ERK,T-ERK 和内参 β -actin western blot 结果及灰度值可视化柱状图。MNC 为模拟物对照组;M 为模拟物;INC 为抑制剂对照组;I 为抑制剂;** $P < 0.01$ 。

图5 miR-431-5p 促进 MAPK/ERK 信号通路

与 KYSE30-MNC 组比较,KYSE30-M 组 p-ERK 表达量增加 11.68% ($P < 0.01$);而与 TE-11-INC 组比较,TE-11-I 组 p-ERK 表达量减少 45.73% ($P < 0.01$)。以上实验表明:miR-431-5p 通过上调 MAPK/ERK 信号通路,促进了 ESCC 细胞肿瘤的发生发展。

3 讨论

3.1 miR-431-5p 可能是 ESCC 潜在诊断标志物

miRNA 大小约为 22 个核苷酸,其表达失调在肿瘤发展过程当中发挥重要作用。随着 miRNA 研究的深入,许多潜在的癌症生物标志物被提出可用于诊断和预后,这为癌症筛查提供了新的视角^[7]。本文研究发现:miR-431-5p 在食管癌中高表达,具有较高的诊断价值,因此,它可作为潜在的诊断性生物标志物;并且 miR-431-5p 对 ESCC 细胞增殖、侵袭和迁移具有明显的促进作用。

食管癌组织 RNA 公共数据库分析结果显示,食管癌中的 miR-431-5p 表达显著高于癌旁组织。为了验证数据库分析结果的准确性,我们检测了 ESCC 组织 cDNA 芯片上 miR-431-5p 表达,结果显示,1/3(5/15) 组织高表达 miR-431-5p。Xu 等^[8]也通过 RT-qPCR 的方法检测子宫颈腺癌中 miR-431-5p 表达,其结果也显示了 miR-431-5p 的高表达。然而,因样本数量较少,我们未能获得统计学上的显著差异。后续的研究拟扩大样本量,进一步表达其验证,以便更准确地分析 miR-431-5p 表达量和评估其诊断价值。miR-431-5p 在 ESCC 中的高表达是我们以 miR-431-5p 作为靶点研究的重要依据。

3.2 miR-431-5p 与 ESCC 发生发展密切相关

为了验证 miR-431-5p 的功能,我们首先选择 miR-431-5p 表达量最高的 TE-11 细胞和表达量最低的 KYSE30 细胞,再通过功能缺失和获得进行研究,发现 miR-431-5p 能促进 ESCC 细胞增殖、侵袭和迁移。miR-431-5p 在宫颈腺癌中的研究结果也显示 miR-431-5p 促进宫颈鳞癌细胞生长。然而,miR-431-5p 在结肠直肠癌中的研究发现:miR-431-5p 的上调抑制了 SW620 和 HCT116 细胞的增殖和侵袭^[9];miR-431-5p 在骨肉瘤组织中的过表达抑制了 U2OS 和 HOS 细胞的侵袭和迁移^[10];舌鳞状细胞癌组织中 miR-431-5p 受到竞争性内源 RNA circ_0001742 的调控而表达下调,导致 ATF3 癌基因的高表达,在舌鳞状细胞癌中发挥抑癌作用^[11]。

以上研究结果与我们的研究结果不一致,分析其原因,可能与 miR-431-5p 的靶基因有关。根据 ENCORI(The Encyclopedia of RNA Interactomes, <http://starbase.sysu.edu.cn/tutorialAPI.php>)数据库预测的

miR-431-5p的靶基因结果,LIMCH1(LIM and calponin-homology domains 1)可能为潜在作用靶点(数据未显示)。LIMCH1蛋白是一种细胞骨架相关蛋白,属于LIM蛋白家族。LIMCH1为负调控因子,可能通过调控HUWE1和p53参与肺癌的发生发展^[12]。另外一项基于免疫组化和生物信息学的研究发现,LIMCH1的表达缺失可预测肺鳞癌手术切除患者的不良预后^[13]。miR-431-5p在ESCC中的表达上调,可能通过抑制LIMCH1实现,从而促进ESCC的增殖、侵袭和迁移。因此,须进行深入的研究加以验证。

上皮-间充质转化(epithelial to mesenchymal transition,EMT)是指非运动性上皮细胞向具有侵袭能力的间充质表型转变,是肿瘤转移的重要的生物学过程^[14]。深入分析miR-431-5p促进ESCC转移EMT分子机制尤为重要。MAPK/ERK信号通路调控肿瘤细胞的增殖和转移,包括食管鳞癌的EMT过程^[15-16]。ERK是MAPK信号通路中的关键调节因子,是将信号从表面受体传导至细胞核的关键^[17]。ERK参与调节细胞骨架组织、细胞运输、细胞黏附和代谢,而在癌细胞中,ERK的磷酸化蛋白(p-ERK)的高表达常常与增殖、侵袭和耐药性有关^[18]。因此,ESCC细胞经miR-431-5p模拟物/抑制剂转染后,检测其p-ERK表达量。miR-431-5p正向调节p-ERK是我们的新发现。在食管鳞癌发生发展过程中,miR-431-5p可能是一个重要的正向调节分子,通过调控MAPK/ERK信号通路,使ESCC细胞触发EMT进程,从而参与ESCC细胞的增殖、侵袭和迁移等过程。此外,miR-431-5p还可能通过ROCK1/PI3K/AKT通路调节肿瘤细胞增殖和转移^[19]。上皮表面标志物(最显著的是E-钙黏蛋白)的缺失和间质标志物(包括波形蛋白和N-钙黏蛋白)的获得是EMT发生的标志^[14]。miR-431-5p模拟物/抑制剂处理后,检测以上EMT标志物,详细探究miR-431-5p通过MAPK/ERK通路促进EMT的作用机制也是我们今后研究的方向。

4 结语

miR-431-5p在ESCC中表达上调,而且miR-431-5p通过MAPK/ERK信号通路正向调控ESCC细胞的增殖、侵袭和迁移。深入探索miR-431-5p的作用靶点以及分子机制,将为以miRNAs为靶点的食管鳞癌诊断和治疗提供更有效的参考依据。

参考文献:

- [1]THRIFT A P. Global burden and epidemiology of Barrett oesophagus and oesophageal cancer[J]. Nat Rev Gastroenterol Hepatol,2021,18(6):432-443.
- [2]SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA:A Cancer Journal for Clinicians,2021,71(3):209-249.
- [3]ZHU H, MA X, YE T, et al. Esophageal cancer in China: Practice and research in the new era[J]. Int J Cancer,2023,152(9):1741-1751.
- [4]YANG Y M, HONG P, XU W W, et al. Advances in targeted therapy for esophageal cancer[J]. Signal Transduct Target Ther,2020,5(1):229.
- [5]ZARRILLI G, GALUPPINI F, ANGERILLI V, et al. miRNAs Involved in Esophageal Carcinogenesis and miRNA-Related Therapeutic Perspectives in Esophageal Carcinoma[J]. Int J Mol Sci,2021,22(7):3640.
- [6]JIANG Q, CHENG L, MA D, et al. FBXL19-AS1 exerts oncogenic function by sponging miR-431-5p to regulate RAF1 expression in lung cancer[J]. Biosci Rep,2019,39(1):BSR20181804.
- [7]HE B, ZHAO Z, CAI Q, et al. miRNA-based biomarkers, therapies, and resistance in Cancer[J]. Int J Biol Sci,2020,16(14):2628-2647.
- [8]XU J, LU W. CircSPIDR acts as a tumour suppressor in cervical adenocarcinoma by sponging miR-431-5p and regulating SORCS1 and CUBN expression[J]. Aging (Albany NY),2021,13(14):18340-18359.
- [9]HUANG W, ZENG C, HU S, et al. ATG3, a Target of miR-431-5p, Promotes Proliferation and Invasion of Colon

- Cancer via Promoting Autophagy[J]. *Cancer Manag Res*,2019,11:10275-10285.
- [10]GAO P,HAO J L,XIE Q W,et al. PELO facilitates PLK1-induced the ubiquitination and degradation of Smad4 and promotes the progression of prostate cancer[J]. *Oncogene*,2022,41(21):2945-2957.
- [11]LIU W,LEI L,LIU X,et al. CircRNA_OTUD7A upregulates FOXP1 expression to facilitate the progression of diffuse large B-cell lymphoma via acting as a sponge of miR-431-5p[J]. *Genes Genomics*,2021,43(6):653-667.
- [12]ZHANG Y,ZHANG Y,XU H. LIMCH1 suppress the growth of lung cancer by interacting with HUWE1 to sustain p53 stability [J]. *Gene*,2019,712:143963.
- [13]CAO H,ZHAO J,CHEN Z,et al. Loss of LIMCH1 predicts poor prognosis in patients with surgically resected Lung Adenocarcinoma:A study based on Immunohistochemical Analysis and Bioinformatics[J]. *J Cancer*,2021,12(1):181-189.
- [14]SERRANO-GOMEZ S J, MAZIVEYI M, ALAHARIL S K. Regulation of epithelial-mesenchymal transition through epigenetic and post-translational modifications[J]. *Mol Cancer*,2016,15:18.
- [15]PASHIRZAD M,KHORASANIAN R,FARD M M,et al. The Therapeutic Potential of MAPK/ERK Inhibitors in the Treatment of Colorectal Cancer[J]. *Curr Cancer Drug Targets*,2021,21(11):932-943.
- [16]BAO S,JI Z,SHI M,et al. EPB41L5 promotes EMT through the ERK/p38 MAPK signaling pathway in esophageal squamous cell carcinoma[J]. *Pathol Res Pract*,2021,228:153682.
- [17]ULLAH R,YIN Q,SNELL A H,et al. RAF-MEK-ERK pathway in cancer evolution and treatment[J]. *Semin Cancer Biol*,2022,85:123-154.
- [18]ASL E R,AMINI M,NAJAFI S,et al. Interplay between MAPK/ERK signaling pathway and MicroRNAs:A crucial mechanism regulating cancer cell metabolism and tumor progression[J]. *Life Sci*,2021,278:119499.
- [19]YIN D,WEI G,YANG F,et al. Circular RNA has circ 0001591 promoted cell proliferation and metastasis of human melanoma via ROCK1/PI3K/AKT by targeting miR-431-5p[J]. *Hum Exp Toxicol*,2021,40(2):310-324.

miR-431-5p Promotes the Proliferation and Migration of Esophageal Squamous Cell Carcinoma Cells via the MAPK/ERK Pathway

Jin Jian, Chen Yaowu, Li Yangkun, Ye Saiqing, Qian xinye,
Zhu Haoyu, Xu Wenxuan, Bao Xiaohong

(School of Medicine, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

Abstract: To detect miR-431-5p expression in ESCC and explore its function, we analyzed the TCGA public database for miR-431-5p expression in esophageal cancer. RT-qPCR was used to detect the expression of miR-431-5p in ESCC tissues and cells. CCK-8 assay, cell scratch and transwell migration assay and Western blotting were performed to detect the effect of miR-431-5p on the proliferation, migration and invasion of ESCC cells suffering the transfection of miR-431-5p mimics and inhibitors. Our results showed that miR-431-5p was highly expressed in esophageal cancer. After transfection of miR-431-5p mimics, the proliferation rate, migration rate and invasion rate of KYSE30 cells were increased by 24.19%, 30.86% and 50.29% ($P < 0.05$); while the number and migration rate of TE-11 cells were decreased by 21.43% and 9.52% ($P < 0.05$) after transfection of miR-431-5p inhibitors; miR-431-5p mimics increased the expression of p-ERK in KYSE30 cells by 11.68%; miR-431-5p inhibitor decreased the expression of p-ERK in TE-11 cells by 45.73%. In summary, miR-431-5p promotes the proliferation, migration and invasion of ESCC cells through the MAPK/ERK pathway, providing experimental basis for the development of effective targets for the treatment of ESCC.

Keywords: miR-431-5p; esophageal squamous cell carcinoma; cell proliferation; invasion and migration; MAPK/ERK

专利视角下长三角高校技术创新策源分析

王香莲¹, 徐萍², 胡金杰³

(1.台州学院 图书馆, 浙江 台州 318000; 2.浙江树人学院 信息科技学院, 浙江 杭州 310015;
3.绍兴文理学院 数理信息学院, 浙江 绍兴 312000)

摘要:高校在国家创新战略中发挥着重要的技术创新策源作用。基于专利信息,融合熵值-TOPSIS法,从原始技术创新和技术创新辐射两个维度构建技术创新策源评价指标体系,并针对技术创新生产力、技术创新发展力、技术创新影响力、技术创新联动力4个方向对高校技术创新策源的现状和特征展开研究,对长三角30所高校技术创新策源的现状和特征进行实证分析,以期对高校技术创新策源提升提供借鉴和参考。研究结果表明:上海市和江苏省高校的技术创新策源优于浙江省和安徽省;上海市高校的高价值专利和合作创新专利、江苏省高校和农林类高校的专利转移转化表现优异,但技术创新影响力和技术创新联动力是各高校的核心短板。

关键词:技术创新策源;熵值法;TOPSIS法;创新领域;长三角高校

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.011

0 引言

高校是国家的科技智库^[1],是国家基础研究的主力军、重大科技创新的“摘星人”,在国家整体战略和科技创新驱动发展中发挥着重要的创新策源作用,是国家科技创新的前沿阵地和重要的技术创新策源地。

“创新策源”是以强化原始创新、增强源头供给作为国家创新驱动发展战略后被广泛提起的概念,对经济高质量、跨越式发展具有不可预估的作用。目前,政策层面已将增强创新策源能力和打造创新策源地作为国家/地区的战略目标予以设计和实施,学界的研究主要以科技视角,从创新策源能力和创新策源地两方面展开,少有针对技术创新策源的研究,而关于高校作为创新主体的相关研究更少。

1 研究综述

技术创新策源是一个国家/地区把握技术发展前沿趋势、突破关键核心技术、成为高端技术发明的创造者和创新产业开拓者的重要内容^[2],它是高质量的技术创新,也是国家/地区经济高质量、跨越式发展的核心竞争力和硬核引擎。目前关于技术创新策源的相关研究相对较少,卢超等^[3]认为国家技术发明奖可以表征技术创新策源能力;衣春波等^[4]从专利视角对上海、纽约、东京和伦敦 AI 领域的技术创新策源能力进行了评价研究。学界研究主要从创新策源能力研究和创新策源地建设两方面展开。

创新策源能力的研究主要从概念内涵解读和评价展开。陈超^[5]指出创新策源能力至少包括学术新思想、科学新发现、技术新发明和产业新方向4个方面。李万^[2]指出“策”主要指制度创新,“源”主要指通过创新生态孕育更多的原始创新成果;敦帅等^[6]认为创新策源能力是融合能力建设和条件建设,催生更多原始创新成果的综合能力。评价方面,宁连举等^[7]采用熵权法、TOPSIS法(逼近理想方案排序法,

收稿日期:2023-08-28

基金项目:浙江省教育厅一般科研项目(Y202145908);台州市哲学社会科学规划重点项目(21GHZ02)

作者简介:王香莲(1977—),女,浙江台州人,馆员,主要从事知识服务、决策咨询研究。

Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)和灰色关联分析法得出全国八大经济区域的创新策源能力差异明显;张金福等^[8]运用模糊综合评价法分析出各省的创新策源能力分布不均衡,创新集聚趋势明显;刘琦^[9]采用 HAKEN 协同演化模型评价了粤港澳大湾区的科技创新策源能力,并通过 SOM 聚类算法识别了科技创新策源要素^[9]。另外,敦帅等^[6]利用熵值法对北京、上海、纽约等国际创新城市的创新策源能力进行了评价研究。

创新策源地建设的研究主要以政府战略设计和媒体报道为主,学界研究还处于起步阶段。林汉川等^[10]最先提出技术策源地概念;刘刚等^[11]认为技术策源地是技术扩散地的赋能者,两者能够产生互补性创新;王少^[12]认为科技创新策源地是以科技创新中心为基础的特定科技创新活动的发源地,以抢占高科技新高地,为产业发展提供原始创新供给为建设目的,并从策源基础、策源动力、辐射通道、孵化箱四个维度提出科技创新策源地的建设路径;刘雪凤等^[13]利用 AHP-模糊综合评判法对我国“985”高校的知识产权能力进行评价发现,综合类高校强于理工类高校和社科类高校,东、中、西部呈由高到低三级阶梯分布,高校的知识产权创新能力、成果运营、保护和管理效率有待于提高;张慧卿等^[14]对京津部分高水平高校的技术创新能力进行评价发现,清华大学、北京大学、北京航空航天大学 and 北京化工大学的技术创新能力较强,但专利运营比例远低于国外一流大学;李文辉等^[15-16]分别对经济发达地区和国家中心城市高校的技术创新溢出能力进行了研究。

综上所述,目前学界关于创新策源的研究,大多以科技视角展开,单技术视角的创新策源研究较少;虽已有技术创新策源能力和区域创新策源能力的相关研究,但针对高校这一创新主体的相关研究还没有;虽已有高校技术创新能力及创新领域的研究,但主要以高水平高校和经济发达地区高校为主,以长三角高校为对象的研究较少。长三角高校作为国家基础研究和高新技术领域主力军、高水平人才培养摇篮,在国家创新战略中发挥着重要的技术创新策源作用^[17]。因此,基于创新策源能力和创新策源地的研究基础,构建一套科学、易操作的技术创新策源评价指标体系对长三角高校的技术创新策源进行实证研究具有重要意义。

2 技术创新策源评价指标体系构建

2.1 指标选取与说明

突破关键核心技术,成为高端技术发明的创造者和创新产业开拓者是技术创新策源的核心。专利作为技术创新的重要载体,是最常用的技术创新衡量指标,但专利质量呈现高度偏态分布^[18],只有高质量的专利才具有创新策源作用。因此,本文立足于高质量专利,以发展性、应用性为原则,从原始技术创新和技术创新辐射两个维度构建技术创新策源评价指标体系,同时,参考世界大学科研竞争力评价指标^[19],细分技术创新生产力、技术创新发展力、技术创新影响力和技术创新联动力 4 个二级指标,具体评价维度构成和指标如表 1 所示。

2.1.1 原始技术创新

技术创新策源强调技术原创性、突破性能力和持续创新能力,包括技术创新生产力和技术创新发展力。技术创新生产力是技术创新的数量与能级体现,设置高被引论文和授权发明专利两个指标,这两个指标是学术界普遍认同的高质量技术创新产出形式。论文被引用是衡量论文创新程度的重要指标,高被引论文代表高质量的基础研究^[20]。我国当代技术,如卫星、通信、超导、核能、航空航天等技术的突破,90%左右源于基础研究的发展^[21]。授权发明专利数量是技术创新强度的重要指标,“十四五”时期,万人授权发明专利数就被作为一个重要战略指标。技术创新发展力是技术创新过程中的持续创新发展能力,设置实质审查专利和授权发明专利增长率两个指标。实质审查是国家专利局对申请专利的新颖性、创造性、实

用性等实质性内容所作的审查,是发明专利授权的关键一环,能反映技术创新的活跃程度。实质审查专利数量越多,未来产出授权专利越多。技术创新策源并非某个短暂的时间截面,而是一段时期内创新主体的技术创新对社会、产业的促进和辐射作用。授权发明专利增长率是评价一段时期内授权发明专利成长状况和发展能力的重要指标,能反映技术创新的发展性和持续性。

表1 技术创新策源评价指标及权重

一级指标	二级指标	三级指标	代码	权重/%
原始技术创新	技术创新生产力	高被引论文	X ₁	14.11
		授权发明专利	X ₂	13.01
	技术创新发展力	实质审查专利	X ₃	8.61
		授权发明专利增长率	X ₄	4.79
技术创新辐射	技术创新影响力	被引证专利	X ₅	6.86
		高价值专利	X ₆	24.92
	技术创新联动力	合作创新专利	X ₇	13.25
		专利转移转化率	X ₈	14.45

2.1.2 技术创新辐射

技术创新策源更强调技术创新的辐射能力。策源最重要的特征是技术的“以有促新”“以有生新”“以有济无”能力和对产业、社会的促进、辐射能力,以技术创新影响力和技术创新联动力表征。

借鉴学术影响力的定义,技术创新影响力是指一段时期内专利对相关技术创新领域的影响范围和影响深度,设置被引证专利和高价值专利两个指标。专利之间的引证体现了技术间的关联信息,一件专利被其他文献引用越多,其技术影响力越高,越能体现其技术创新策源能力。高价值是专利的核心意义,是每个创新主体共同的追求,专利价值越高,越能对产业和社会带来正向的促进和推动作用。技术创新影响力数值越大,代表技术创新辐射影响力越强。

技术创新联动力包含合作创新专利和专利转移转化率两类指标,激发创新主体合力也是技术创新策源能力的体现。三螺旋创新理论之父埃茨科威兹认为创新越来越依赖于大学、产业、政府之间的相互作用,已有研究证明合作专利有利于提高专利质量及专利成果转化^[22]。技术创新最终需要得到市场检验,才能实现创新价值。2020年,教育部联合多部门印发文件,要求全面提升高校专利质量,强化专利转化、实施,实现高校技术创新转化为服务经济、社会发展的现实生产力,专利转移转化运营体现了高校的技术需求和知识转移能力。专利转移转化率是指转让、许可和质押等实施专利占授权专利的百分比,该指标数值反映了专利成果转化为生产力的能力,其数值越大,技术创新策源的辐射联动力越强。

2.2 指标赋权

利用熵值法进行指标赋权。熵值法根据样本指标携带信息量的离散程度确定指标权重,离散程度越大,熵越小,指标的权重越大。指标离散程度 Y_{ij} 的计算公式:

$$Y_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}} ; \quad (1)$$

指标熵值计算公式:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m Y_{ij} \cdot \ln Y_{ij} ; \quad (2)$$

指标权重计算公式:

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} 。 \quad (3)$$

式(1-3)中: X'_{ij} 为第*i*个评价对象在第*j*个指标上归一化处理后的值;*m*为评价对象个数;*n*为总指标数。

3 长三角高校技术创新策源实证分析

3.1 对象选取

长三角区域共有近 500 所普通高校,浙江大学、上海交通大学、复旦大学等 30 所高校的授权发明专利占总授权发明专利的比例近 60%,说明这 30 所高校是长三角区域的技术创新核心高校,具有较高的技术创新策源能力,可以反映长三角区域高校的技术创新策源情况。因为专利授权具有时滞性,本文以 2011—2020 年长三角区域高校的授权发明专利总量为筛选条件,选取前 30 所高校作为样本,研究其技术创新策源情况,如表 2 所示(检索时间:2022-03-17)。

表 2 样本高校信息

省/市名称	学校名称	高校类型	主管部门	代码
上海市	复旦大学	综合类	教育部	A1
	同济大学	综合类	教育部	A2
	上海交通大学	综合类	教育部	A3
	华东理工大学	理工类	教育部	A4
	东华大学	综合类	教育部	A5
	上海大学	综合类	上海市	A6
	上海理工大学	理工类	上海市	A7
江苏省	南京大学	综合类	教育部	B1
	东南大学	综合类	教育部	B2
	中国矿业大学	理工类	教育部	B3
	河海大学	理工类	教育部	B4
	江南大学	综合类	教育部	B5
	苏州大学	综合类	江苏省	B6
	南通大学	综合类	江苏省	B7
	南京林业大学	农林类	江苏省	B8
	江苏大学	综合类	江苏省	B9
	南京航空航天大学	理工类	工业和信息化部	B10
	南京理工大学	理工类	工业和信息化部	B11
	南京工业大学	理工类	江苏省	B12
	南京邮电大学	理工类	江苏省	B13
	常州大学	理工类	江苏省	B14
浙江省	浙江大学	综合类	教育部	C1
	浙江工业大学	理工类	浙江省	C2
	浙江理工大学	理工类	浙江省	C3
	中国计量大学	理工类	浙江省	C4
	杭州电子科技大学	综合类	浙江省	C5
	宁波大学	综合类	浙江省	C6
	浙江海洋大学	农林类	浙江省	C7
安徽省	中国科学技术大学	理工类	中国科学院	D1
	合肥工业大学	理工类	安徽省	D2

3.2 数据采集与处理

本文的高被引论文数据来源于 Web of Science(WOS)数据库,专利部分原始数据来源于智慧芽(Patsnap)全球专利数据库。WOS 数据库是国际上具有影响力、权威的大型综合性、多学科引文索引数据库。Patsnap 数据库收录了全球 126 个国家/地区的专利数据,并对数据进行了深加工,拥有近 200 个检索字段,包含丰富的专利基本信息、申请信息和市场化信息,符合本文的研究要求。为了更准确地衡量创新成果数量,避免同一申请文本被重复计数,文中把同一个申请文本的后续申请均记为等同专利,计一项专利。

利用 TOPSIS 法进行数据处理。TOPSIS 法又称逼近理想方案排序法,是有限方案多指标决策分析的一种常用方法。TOPSIS 法通过计算评价对象与有限方案中最理想方案 X^+ 和最差方案 X^- 之间的距离得到 D^+ 和 D^- ; 根据 D^+ 和 D^- 计算相对接近程度 C 值; C 值越大,代表评价对象越优秀。TOPSIS 法能充分体现原始数据信息,客观真实地反映各评价对象之间的差距^[23]。

首先,利用公式(4)对指标原始数据 X 进行归一化处理,得到数据 X' 如下:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (4)$$

D_i^+ 、 D_i^- 和 C_i 的计算公式如下:

$$X_j^+ = \max(X'_{ij}) \quad (i = 1, 2, \cdots, m) \quad ;$$

$$X_j^- = \min(X'_{ij}) \quad (i = 1, 2, \cdots, m) \quad ; \quad (5)$$

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_j^+ - X'_{ij})^2} \quad ; \quad (6)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_j^- - X'_{ij})^2} \quad ; \quad (7)$$

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad 。 \quad (8)$$

应用公式(1-3)得到表 1 中各指标权重;应用公式(6-8)得到各样本高校的相对接近度 C 值及排名,如表 3 所示。

表 3 样本高校的专利归一化数据、 C 值及排名

学校	X'_1	X'_2	X'_3	X'_4	X'_5	X'_6	X'_7	X'_8	C 值	排名
A1	0.802	0.072	0.321	0.161	0.246	0.348	0.080	0.065	0.339	5
A2	0.400	0.217	0.471	0.289	0.375	0.058	0.178	0.048	0.206	18
A3	0.973	0.500	0.764	0.154	0.560	0.841	1.000	0.065	0.646	2
A4	0.196	0.031	0.108	0.000	0.145	0.493	0.167	0.164	0.312	7
A5	0.120	0.137	0.174	0.212	0.276	0.000	0.232	0.133	0.126	25
A6	0.198	0.079	0.182	0.096	0.298	0.072	0.076	0.161	0.127	24
A7	0.082	0.038	0.038	0.333	0.088	0.000	0.056	0.045	0.059	30
B1	0.701	0.113	0.216	0.205	0.211	0.145	0.129	0.130	0.263	11
B2	0.471	0.585	0.823	0.347	0.699	0.058	0.365	0.099	0.324	6

续表

学校	X'_1	X'_2	X'_3	X'_4	X'_5	X'_6	X'_7	X'_8	C 值	排名
B3	0.200	0.281	0.000	0.569	0.509	0.319	0.365	0.008	0.277	10
B4	0.103	0.251	0.441	0.598	0.458	0.493	0.174	0.076	0.341	4
B5	0.134	0.275	0.422	0.371	0.519	0.261	0.167	0.178	0.251	13
B6	0.478	0.137	0.262	0.340	0.293	0.130	0.141	0.263	0.233	15
B7	0.026	0.000	0.162	1.000	0.08	0.290	0.059	0.432	0.256	12
B8	0.067	0.007	0.158	0.484	0.151	0.000	0.092	1.000	0.300	8
B9	0.243	0.306	0.479	0.422	0.454	0.000	0.110	0.288	0.210	17
B10	0.160	0.24	0.542	0.424	0.376	0.000	0.110	0.088	0.170	20
B11	0.186	0.121	0.590	0.624	0.368	0.000	0.072	0.045	0.169	21
B12	0.162	0.069	0.124	0.154	0.047	0.101	0.149	0.206	0.132	22
B13	0.096	0.088	0.275	0.639	0.002	0.000	0.016	0.890	0.282	9
B14	0.020	0.080	0.026	0.619	0.000	0.000	0.050	0.774	0.248	14
C1	1.000	1.000	1.000	0.133	1.000	1.000	0.572	0.065	0.692	1
C2	0.119	0.264	0.792	0.366	0.500	0.000	0.119	0.150	0.210	16
C3	0.037	0.053	0.154	0.21	0.267	0.000	0.103	0.161	0.093	27
C4	0.024	0.014	0.164	0.284	0.245	0.000	0.046	0.037	0.068	29
C5	0.051	0.079	0.345	0.564	0.205	0.000	0.013	0.404	0.171	19
C6	0.069	0.050	0.085	0.280	0.171	0.000	0.004	0.127	0.072	28
C7	0.000	0.043	0.037	0.759	0.205	0.000	0.000	0.014	0.094	26
D1	0.907	0.059	0.181	0.236	0.129	0.377	0.035	0.000	0.353	3
D2	0.098	0.149	0.332	0.530	0.201	0.000	0.117	0.119	0.128	23

3.3 结果与分析

3.3.1 长三角高校技术创新策源现状

从样本高校的技术创新策源 C 值测算可以看出,各样本高校的技术创新策源表现不均衡,差距明显。浙江大学(第 1 名)和上海交通大学(第 2 名)的 C 值大于 0.6,遥遥领先于其他高校,是长三角区域高校技术创新策源的领跑者。从第 3 名开始,各高校的 C 值呈现断崖式下降,最高值只有 0.353,平均值为 0.208。

从排名梯队看,第 1 梯队(排名前 10 名)中,上海市 3 席(占本市高校的 3/7,约 42.9%),江苏省 5 席(占本省高校的 5/14,约 35.7%),浙江省 1 席(占本省高校的 1/7,约 14.3%),安徽省 1 席。江苏省占据了第 1 梯队的半壁江山,上海市样本高校的占比最高(安徽省样本量太少,此处不计算在内),说明上海市和江苏省高校的技术创新策源整体较强。第 2 梯队(排名第 11 至第 20 名)中,江苏省 7 席,浙江省 2 席,上海市 1 席,江苏省占据绝对优势。第 3 梯队(排名后 10 名)中,上海市 3 席,浙江省 4 席。

从图 1 中的 C 值分布看,上海市高校呈离散分布,上海交通大学、复旦大学和华东理工大学 3 所高校高于样本均值,其余 4 所高校低于样本均值;浙江省除浙江大学外,其余高校均低于样本均值;江苏省高校的 C 值分布相对均衡,密集分布于样本均值附近,有 9 所高校的 C 值高于样本均值;安徽省高校在样本均值上下各有 1 所。整体而言,上海市、江苏省和安徽省高校的 C 值均值高于样本均值,浙江省低于样本均值。

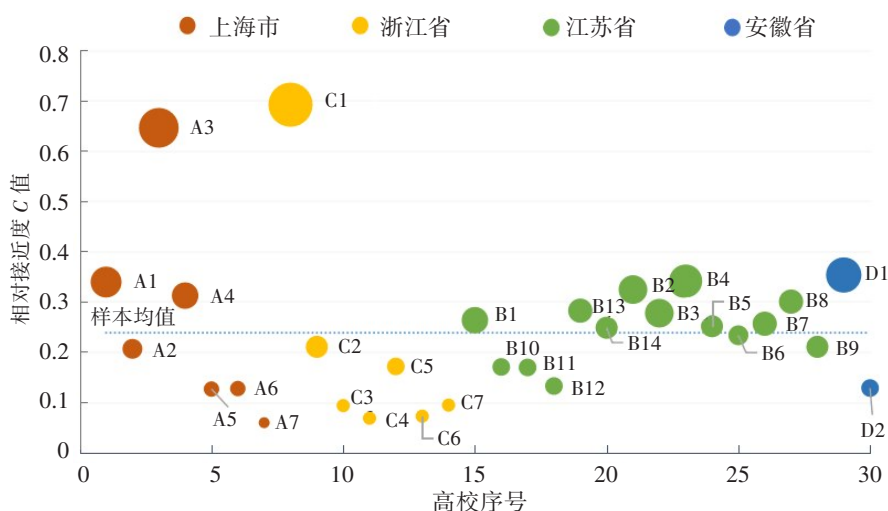


图1 样本高校的相对接近度C值分布图

3.3.2 长三角高校技术创新策源特征

为了勾勒高校的技术创新策源特征,揭示创新差异,本部分以各区域/类型高校的指标均值与样本高校指标均值比值来表征创新指标优势。若所得比值大于1,说明区域/类型高校该指标优于样本高校平均水平,即区域/类型高校该指标在样本高校内具有比较优势,比值越大,优势越强;若所得比值等于1,说明区域/类型高校与样本高校平均水平相当;若所得比值小于1,说明区域/类型高校低于样本高校平均水平。计算各区域/类型高校的指标均值与样本均值的比值,根据所得结果绘制指标雷达图,如图2和图3所示。从图中可以看出,各区域/类型高校技术创新特征不同,各具特点。

(1) 不同区域高校的技术创新策源特征。

由图2可以看出,上海市高校凭借超强的综合科研实力和区位优势,高价值专利、合作创新和高被引论文指标具有显著优势,达到或接近样本均值的1.5倍,授权发明专利、实质审查专利和被引用专利略低于样本水平,专利转移转化率和授权发明专利增长率表现不佳。江苏省高校在授权发明增长率和专利转移转化率指标表现突出,其他指标略优于或接近样本平均水平,相对短板是高被引论文和高价值专利指标。浙江省高校的授权发明、实质审查专利和被引证专利指标略优于样本平均水平,高被引论文和专利转移转化指标表现欠佳。安徽省高校的高被引论文指标优异,明显高于样本平均水平,但转移转化率、合作创新、专利被引证等指标短板明显。

(2) 不同类型高校的技术创新策源特征。

由图3可以看出,农林类高校的技术创新策源特征突出,专利转移转化率和发明增长率指标表现抢眼,其他指标差距明显。南京林业大学的专利转移转化率居样本高校榜首,南京林业大学基于农、林、材料测量测试、微生物、酶、材料分析与处理、新植物培育与植物栽培等产业应用与关键核心技术攻关,以需求链开拓创新链,以创新链布局产业链,以产业链部署创新链,打通了高校科技创新产学研用的“最后一公里”^[24];浙江海洋大学近10年授权发明专利增长率增长迅速,在样本高校中排名第2。综合类高校的高被引论文、授权发明专利、实质审查专利、被引证专利、高价值专利、合作创新专利等指标表现优秀,特别是高被引论文和高价值专利指标明显优于其他类型高校。浙江大学、上海交通大学、复旦大学、南京大学和中国科学技术大学的高被引论文产出超过1000篇。综合类高校的高价值专利占样本高校高价值专利的64.2%,其中,浙江大学和上海交通大学两校就占了36.9%。理工类高校的授权发明专利增长率略高于样本均值,转移转化率接近样本均值,但其他指标低于样本平均水平。

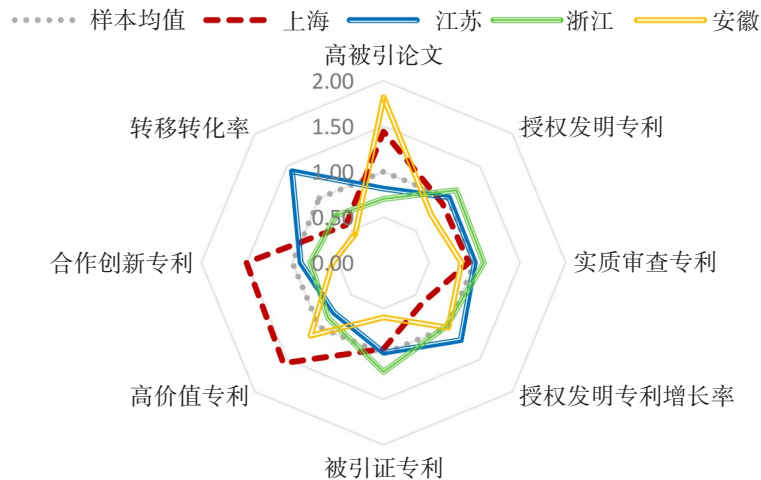


图2 不同区域样本高校创新指标雷达图

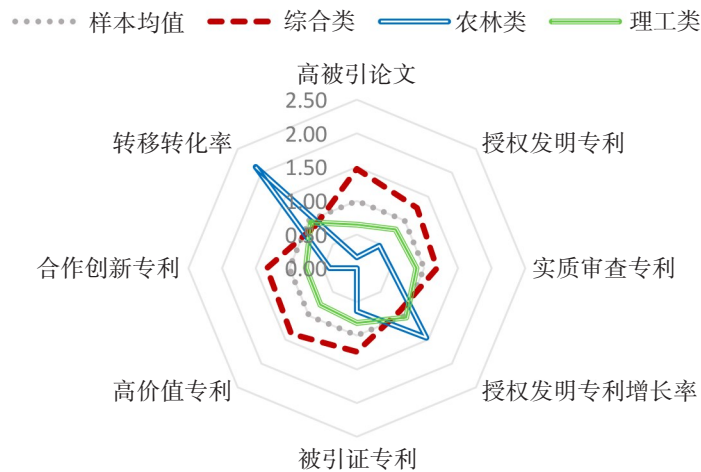


图3 不同类型样本高校创新指标雷达图

4 结语

4.1 长三角高校的技术创新策源差距明显

浙江大学和上海交通大学是长三角区域高校技术创新策源的领跑者,其他高校的技术创新策源能力相对集中,呈微弱梯度。省际高校而言,上海市、江苏省高校由于地缘、经济、产业优势,“双一流”高校数量、高校规模等先天因素,高校的技术创新策源表现较好;浙江省和安徽省整体技术创新策源表现偏弱。省内高校而言,上海市在各层次都有表现,呈梯度分布;江苏省相对均衡,排名以中高层为主,差距不大;安徽省处于中等层次;浙江省断层严重,除浙江大学遥遥领先外,中高层次空缺严重,中低层次较多。

4.2 长三角高校的技术创新策源各具特征

从高校所属区域而言,上海市高校的高价值专利、合作创新专利和高被引论文指标,江苏省高校的授权发明专利增长率和专利转移转化率指标,浙江省高校的授权发明、实质审查专利和被引证专利指标,安徽省高校的高被引论文指标均表现优异,但专利的转移转化、合作创新和被引证等指标是区域高校技术创新策源的核心短板。从高校所属类型而言,农林类高校在专利转移转化率和发明增长率指标表现抢眼,综合类高校的高被引论文和高价值专利指标明显优于其他类型高校,理工类高校的授权发明专利增长率和转移转化率指标略优于综合类高校。

5 提升建议

纵观整体指标数据,高价值专利、合作创新和专利的转移转化率等指标是技术创新策源评价的关键指标,也是长三角高校技术创新策源的核心短板,更是后期高校技术创新策源的重点和突破点。结合本文分析,提出以下几点建议:

(1)聚力攻坚,共促技术创新量质齐升。2011—2020年长三角区域高质量专利在授权专利中占8.86%,长三角高校的高质量专利占比11.82%,样本高校高质量专利占比21.36%,总体而言,高质量专利占比不高。作为技术创新的重要领跑者,高校须立足国家迫切需求和长远需求,结合区域、产业发展痛点、难点,挖掘、筛选、提炼技术创新策源点,确定技术研究路线,加大科研资金投入,聚力突破关键核心技术,占领技术创新新高地。积极开展技术创新成果的专利挖掘和前瞻布局,建立专利申请预审机制,确保高质量专利的撰写、申请、确权和全面系统保护。

(2)取长补短,共建创新共同体。在长三角一体化高质量发展背景下,积极探索建立开放、集成、高效的协同创新模式,构建多学科融合、多团队协同、多技术集成的重大研发与应用平台,鼓励高校与高校、高校与企业之间强强合作、互补性合作,实现创新要素和创新资源的优化整合,综合高校的不同高精尖优势,进一步发挥高水平高校的创新辐射引领作用。联合企业和科研院所,围绕国家重点发展的战略性新兴产业和区域传统优势产业,打造覆盖长三角的创新集群,共建创新共同体,促进关键核心技术的合作立项、技术攻关、技术供给和转移转化,推动教育链、创新链、产业链的良性循环,构建良好的创新生态体系。

(3)深度融合,共促成果转移转化。随着高校技术创新成果转移转化激励政策的相继出台和完善,转移转化率已得到明显提高,但相对于美国、德国等国家高校,国内高校技术创新成果“不会转”“不好转”现象还普遍存在。企业是技术创新的需求者,成果转化的主战场,高校与企业之间走“研发—应用”的融合发展道路,立足需求进行技术研发、中试和转化,实现“双赢”。另外,积极鼓励以自行实施、转让、许可、质押融资、作价入股等方式实现成果的转移转化,助推经济高质量发展。

参考文献:

- [1]范国睿. 中国教育政策蓝皮书:2019[M]. 上海:上海教育出版社,2020:312.
- [2]李万. 增强科技创新策源能力的战略选择[J]. 中国科技论坛,2020(8):1-3.
- [3]卢超,李文丽. 京沪深创新策源能力评价研究:基于国家科学技术“三大奖”的视角[J]. 中国科技论坛,2022(2):151-161.
- [4]衣春波,赵文华,邓璐芾,等. 基于专利信息的技术创新策源评价指标体系构建与应用[J]. 情报杂志,2021,40(2):55-62.
- [5]陈超. 如何理解创新策源能力[J]. 竞争情报,2018(4):3.
- [6]敦帅,陈强,马永智. 创新策源能力评价研究:指标构建、区域比较与提升举措[J]. 科学管理研究,2021,39(1):83-89.
- [7]宁连举,肖玉贤,刘经涛,等. 跨行政区域创新策源能力评价与实证:基于熵权法、TOPSIS法、灰色关联分析[J]. 科技管理研究,2021,41(20):44-51.
- [8]张金福,刘雪. 我国地方创新策源能力的模糊综合评价研究[J]. 科技管理研究,2021,41(9):8-14.
- [9]刘琦. 粤港澳大湾区科技创新策源能力评价研究[J]. 经济体制改革,2021(3):65-72.
- [10]林汉川,邱红. 中国高新技术企业国际化方式评价[J]. 中南财经政法大学学报,2006(1):56-61.
- [11]刘刚,刘晨. 人工智能科技产业技术扩散机制与实现策略研究[J]. 经济纵横,2020(9):109-119.
- [12]王少. 科技创新策源地:概念、内涵与建设路径[J]. 科学管理研究,2021,39(2):17-21.
- [13]刘雪凤,杜浩然,闫莉. 我国“985”高校知识产权能力绩效评价[J]. 科技管理研究,2018,38(2):65-74.
- [14]张慧卿,朱冬香,张杰,等. 京津地区部分高校技术创新能力探究:基于近20年专利视角的比较分析[J]. 中国高校科技,2021(9):81-84.

- [15]李文辉,丘芷君,利雪莹,等.国家中心城市高校技术创新溢出格局比较研究[J].世界地理研究,2020,29(4):781-791.
- [16]李文辉,陈依楠,江涌芝,等.中国经济发达地区高校技术创新溢出研究[J].科研管理,2021,42(3):120-130.
- [17]周琦,潘澍之,袁程炜.高校科技管理实践与创新[M].北京:中国商务出版社,2021:81.
- [18]SCHERER F M, HARHOFF D. Technology policy for a world of skew-distributed outcomes[J]. Research Policy, 2000,29:559-566.
- [19]邱均平,赵蓉英,马瑞敏,等.世界大学科研竞争力排行榜是如何产生的?[J].高教发展与评估,2006(3):33-38.
- [20]许林玉,杨建林.基于引用时间视角的高被引论文内外部特征与其被引量的关系研究[J].现代情报,2021,41(12):131-143.
- [21]樊增强.基础研究与技术创新能力提升[J].东北师大学报(哲学社会科学版),2020(2):93-102.
- [22]蒋仁爱,张路路,石皓月.专利发明人合作对中国专利质量的影响研究[J].科学学研究,2020,38(7):1215-1226.
- [23]王桂梅,程开明,罗雨森.知识产权保护对经济高质量发展的影响效应:基于面板分位数回归模型的实证检验[J].华东经济管理,2021,35(7):66-74.
- [24]徐新洲.创新链与产业链融合下的科技成果转化:以南京林业大学为例[J].中国高校科技,2019(10):8-12.

Research on the Technological Innovation Sources of Universities in the Yangtze River Delta from Patents Perspective

Wang Xianglian¹, Xu Ping², Hu Jinjie³

(1. Library, Taizhou University, Taizhou 318000, China;

2. College of Information Science and Technology, Zhejiang Shuren University, Hangzhou 310015, China;

3. School of Mathematical Information, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China)

Abstract: Universities play an important role as the source of technological innovation in the national innovation strategy. Based on patents information, this paper integrates the entropy-TOPSIS method to construct a technological innovation source evaluation index system from the two dimensions of original technological innovation and technological innovation radiation, and studies the status quo and characteristics of technological innovation sources of universities in the four directions of technological innovation productivity, technological innovation development ability, technological innovation influence and technological innovation linkage power, and empirically analyzes the status and characteristics of technological innovation sources in 30 universities in the Yangtze River Delta, in order to provide reference and reference for the improvement of technological innovation sources in universities. The results show that the technological innovation sources in Shanghai and Jiangsu are better than those in Zhejiang and Anhui. High value patents and cooperative innovation patents of universities in Shanghai, patent transfer and transformation of universities in Jiangsu Province and agricultural and forestry universities are excellent, but the influence of technological innovation and the power of technological innovation alliance are the core shortcomings.

Keywords: technological innovation source; Entropy method; TOPSIS; innovation field; universities in the Yangtze River Delta

数学课堂文化、学生的数学身份与数学学习

张晓贵

(合肥师范学院 数学与统计学院, 安徽 合肥, 230601)

摘要:数学课堂文化、数学身份和数学学习是数学教育中3个重要的概念,它们之间有着密切的关系:良好的数学课堂文化、学生积极的数学身份以及有效的数学学习之间存在着密切的关系;而不良的数学课堂文化、学生消极的数学身份以及低效的数学学习之间也存在着密切的关系。它们之间的关系具有理论和实践意义。

关键词:数学课堂文化;数学身份;数学学习

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2023.06.012

0 引言

数学课堂文化的研究可以追溯到20世纪80年代,Nickson^[1]那篇著名的关于数学课堂文化的论文在很大程度上点燃了数学教育研究者对数学课堂文化研究的热情。时至今日,人们对数学课堂文化与数学学习之间的关系以及数学课堂文化的发展等相关问题已经有了更为深刻的认识。近年来,在数学教育研究领域出现了另一个重要的话题,即对于学生数学身份的研究。尽管到目前为止,对于学生数学身份的界定有多种方式,但其最基本的性质仍来源于米德对身份的社会学理解,即身份是发展的并且具有多重性。这方面的研究仍然在扩大和深化之中,对于学生身份的重视已经成为数学教育界的共识。因此,不少国家的数学教育文件都提倡要促进学生积极数学身份的形成,如全美数学教师联合会(NCTM)在其文件中就多次直接或间接地强调了培养学生积极数学身份的重要性,也对学生的数学身份给出了比较明确的界定,即学生所发展的关于他们在数学情境中的参与和表现,以及在他们生活的各种情境中有效运用数学的倾向性和信念^[2]。

1 数学课堂文化、学生的数学身份与数学学习的概念

1.1 数学课堂文化

数学课堂文化是针对数学课堂,对数学课堂整体学习环境的描述。Nickson^[1]曾对数学课堂文化作了这样的界定:它们是看不见并被共享的,是被教师和学生一起带入到数学课堂中的,并且控制着课堂中师生的互动。对该界定分析后,不难得出数学课堂文化所具有的几个特点:

(1)数学课堂文化是指数学课堂中看不见的一些规范和成员的共同认识,这些规范和认识被课堂中的所有成员共享,换句话说,数学课堂文化所指的是非物质性的东西,这与我们通常所理解的文化,包括物质性文化和非物质性文化是有区别的。另外,遵守这些认识和规范的应该是全体成员,而不是其中的部分成员。

收稿日期:2023-07-09

基金项目:安徽省高校人文社科重点项目(2022AH052118);合肥师范学院校级重点研究项目(2022JCJYZD11)

作者简介:张晓贵(1965—),男,安徽肥东人,教授,博士,硕士生导师,主要从事数学教育与教学工作。

(2)数学课堂文化并非学校或数学教师的规定,而是师生在数学课堂实践中协商的结果。当然,在数学课堂文化的形成中,教师扮演着更为重要的角色即主导作用。正是师生在教学过程中的逐步协商,才会使得这些规范和认识被成员真正共享。

(3)数学课堂文化影响着课堂中师生的行为,从而表明了数学课堂文化在数学课堂教学中的重要价值。由于数学课堂中不同的师生行为会导致不同的教学效果,这就意味着不同的数学课堂文化会对数学课堂教学产生不同的结果。

不同的数学课堂文化对于学生的数学学习会产生不同的影响,因此,可以将数学课堂文化简单地分成良好的数学课堂文化和不良的数学课堂文化。良好的数学课堂文化是指有助于学生更好地进行数学学习的数学课堂文化,而不利于学生数学学习的数学课堂文化则为不良的数学课堂文化。显然,随着时代的发展,良好和不良的数学课堂文化概念的内涵也在变化之中,例如传统的数学教学中某些良好的数学课堂文化在当今的数学教学中就不能称之为良好。

1.2 学生的数学身份

1.2.1 定义

数学身份是对数学学习活动中学生个体属性的刻画。有人对数学教育文献进行了分析,发现可以将研究者们对于学生数学身份的多种定义分为基于参与的身份(participative)和基于叙事的身份(narrative)等5类^[3],这些定义虽然各不相同,但它们有一个共同点,即都是从社会的视角来理解数学身份的。例如:基于参与的身份是通过社会群体中活动的参与而进行定义的,从这个角度进行身份理解的学者很多是借助于温格(Etienne Wenger)的实践共同体概念。而基于叙事的身份定义则是从人们对于自己和他人的数学学习故事中来理解身份的,其中斯法德(Anna Sfard)和普卢萨卡(Anna Prusak)所给出的基于叙事的学生数学身份的定义具有较大的影响力。该定义表明:身份是人们讲述的关于自己和关于他人的故事集合,特别是那些令人信服、被认可和有意义的叙事^[4]。

对数学身份的各种不同的定义,在某种程度上为数学身份的进一步研究带来了不小的麻烦,同时也给予了启示。我们从社会学对于身份的基本认识出发,同时考虑到现有各种对于数学身份的界定,给出了一个可能更为合理的学生数学身份的定义:在一定的数学学习情境中,特别是在数学课堂教学活动中,某个学生的数学身份是其所具有的、希望自己成为一种什么样的数学人(如有较强的数学能力)的倾向和信念,这种倾向和信念通过其在教学活动中与他人的互动而被教师和同伴所认识。该定义强调了以下几点:(1)一个学生的数学身份是一个过程而不是一个实现的结果。将身份视为一个过程实际上是基于社会学对身份的基本认识,而基于心理学的身份观则将其视为一个实现的结果。(2)一个学生的数学身份与情感有着密切的关系,而这种内在的情感可以通过社会活动体现出来,从而被教师和同学所认可。(3)一个学生的数学身份与其数学能力之间并不存在某种对应的关系。

1.2.2 分类

基于学生的数学身份将学生进行分类,即积极的数学身份学生和消极的数学身份学生。积极数学身份的学生是指那些希望自己能在数学教学活动中成为更有数学能力的学生,而消极数学身份的学生则相反。如果从数学课堂文化的角度看教师的教学过程是建构良好数学课堂文化过程的话,那么,从数学身份的角度看,教师的教学过程则是培养学生积极数学身份的过程。

1.3 数学学习

数学学习是数学课程的核心所在,而数学课程目标正是通过学生的数学学习实现的。与数学课堂文化、数学身份不同,数学学习是数学教育领域传统的研究话题。数学学习是学生通过参加数学课堂活动、

动手实践和积极思维,理解数学知识、解决数学问题、发展数学能力以及形成一定的情感态度。即使在同样的学习环境下,不同学生的数学学习效果也是不同的。可以将学生的数学学习简单地分成两类,即有效的数学学习和低效的数学学习。有效的数学学习能较好地实现数学教学目标,而低效的数学学习则正好相反。

2 数学课堂文化、学生数学身份以及数学学习间的关系

数学课堂文化与学生的数学身份之间有着密切的关系,数学课堂文化会影响到学生数学身份的形成,而每个学生数学身份的发展变化过程对于数学课堂文化的发展会产生直接的影响。两者均与数学学习有关,因为没有数学学习也就不存在数学课堂文化与学生的数学身份,以下从两个方面对三者之间的关系进行分析。

2.1 数学课堂文化对于学生数学身份以及数学学习的影响

数学课堂文化表现为一系列数学课堂中师生应该遵守的规范和共同的认识,不同的数学课堂中具有不完全相同的课堂文化,即使是同一个学校同年级的平行班级也是如此。由于数学课堂文化会极大地影响数学课堂教学,因此,数学教师会尽力地建设自己的数学课堂,改正不良的数学课堂文化,并形成和保持良好的数学课堂文化。

在数学课堂文化建设中,教师通过潜移默化和摆事实、讲道理等方式,让学生认识到在数学教学中怎样做是正确的以及为什么如此,这些方式及措施在实施中逐步成为了数学教学活动中的规范和共同认识。当学生在课堂教学中大多能自觉甚至不自觉地符合这些规范和共享这些认识时,相应的数学课堂文化就建立起来了。当然,不同的教师对于如何有效促进数学学习的认识不尽相同,从而不同数学课堂中的规范也是有差异的。但在一个相同的大环境下,不同数学课堂中的规范有许多是相同的。如果数学课堂上一个新的数学教师认为这个班级所形成的数学课堂文化不利于学生的数学学习,他就会设法对该班级的数学课堂文化进行重建。例如:一位教师认为要让学生认识到几何作图应该用作图工具而不是用笔直接画出的道理,而另一位教师则可能认为只要能把图大致地做出来就可以了;一位教师可能认为学生在解题的最后一步进行回顾反思是非常重要的,而另一位教师可能会认为只要能够得出正确答案就可以了;一位教师可能会认为小组合作学习中首先要进行思考而不是直接进行讨论,而另一位教师可能会认为小组合作就是小组成员在一起讨论找出问题的解答,等等。

在教师主导下所形成的数学课堂文化与学生的数学身份是有关系的。在良好数学课堂文化的建设中,教师引导班级通过协商逐步形成有利于数学课堂教学和学生数学学习的教学氛围,这些课堂教学中学生应该遵守的行为规范和共同的认识,既有利于学生更好地学习数学,也有利于教学活动的开展。例如:在课堂教学中学生在教师讲解时都应该认真听讲并积极思考,这个规范既有利于课堂教学的开展也有利于学生的数学学习;而在教学活动开展中每个学生都应该积极地参与到活动中,与其他同学合作时能主动分享自己的想法,并敢于对其他学生的想法提出疑问,这些显然也有利于教学活动的开展和学生的数学学习。这些规范尽管各种各样,但大多都要求学生要努力学习,使自己成为一个更有数学能力的人。从数学身份的角度看,那就是每个学生都应该具有积极的数学身份。因此,良好的数学课堂文化实际上规定了一种学生在数学课堂活动中具有积极的数学身份的标准。

相反地,当一个数学课堂所形成的是不良的数学课堂文化,这样的课堂文化如果体现在课堂成员所遵守的规范和形成的共同认识中,将不利于数学课堂教学和学生的数学学习。例如:在教师讲解时不注意倾听和积极思考,以及正常的课堂活动不能积极参与等。不难得出:不良的数学课堂文化实际上规定的是

学生在数学教学活动较为消极的数学身份标准,它会在很大程度上导致学生消极地进行数学学习和参与课堂教学中的活动。

虽然数学课堂文化规定了学生的标准数学身份,但并不是每个学生所具有的都是这样的身份。对于课堂中的大多数学生来说,都能理解数学课堂文化并会在数学教学中自觉或不自觉地遵守各种规范和共享共同的认识,但是他们在课堂教学活动中仍然具有不尽相同的数学身份,即个体数学身份与标准数学身份并不完全一致。虽然数学课堂文化对于学生的数学身份有一个期望,但是,学生在数学学习上的差异性以及不同的性格特点等,导致他们对于自己想成为什么样的数学人的倾向和信念不尽相同,而这就直接导致了他们具有不同的数学身份。有的学生会形成比较符合数学课堂文化所规定的标准数学身份中的个体数学身份,而有的学生的个体数学身份会与标准数学身份有差距甚至有较大的差距。例如:在一个有着良好数学课堂文化的课堂中会有少数具有比较消极数学身份的学生,而在一个有着不良数学课堂文化的课堂中也会出现一些具有比较积极数学身份的学生。

可见,数学课堂文化会在某种程度上影响到学生的身份,进而影响其数学学习。具体来说,良好的数学课堂文化在某种程度上会使得学生具有积极的数学身份,从而有助于学生有效的数学学习,而不良的数学课堂文化在某种程度上会使得学生具有消极的数学身份,从而导致学生低效的数学学习。

2.2 学生的数学身份对于数学课堂文化以及数学学习的影响

对于一般的学生来说,在数学活动中具有积极的数学身份是一种很自然的期望,因为具有积极的数学身份可以得到教师更多的青睐和同学更多的尊重,而这就意味着可以得到更多的资源和机会^[5]。从社会学的角度看,学生数学学习真正的目的就是为了取得更高的身份,关于这一点,Wenger^[6]的话真正地道出了学习的本质:因为学习改变了我们是谁、我们能做什么,所以它是一种身份认同的体验。它不仅是技能和信息的积累,而且还是一个成为他人的过程——成为某个人,或者相反,避免成为某个人;即使是我们完全靠自己完成的学习,最终也有助于使我们成为一种特定类型的人。我们积累技能和信息,不是抽象地作为目的本身,而是为身份服务。从这样的角度可以得出学生数学学习与数学身份之间的关系:数学学习的目的是成为具有某种数学身份的人,学习数学本身不是目的而是手段。既然学生数学学习的根本目的是带有某种身份的,那么,教师的教学目的也就是为了尽可能地使得每个学生都具有积极的数学身份。因此,仅从促进学生的数学学习的角度看,也应该培养学生具有积极的数学身份。

教师培养学生积极数学身份的过程也是建构良好数学课堂文化的过程。对于教师如何培养学生积极的数学身份,艾伦(Kasi Allen)等^[7]提出了解并相信你的学生、重新定义数学上的成功、优先考虑学生的声音以及监控学生的身份建构等措施,其中对于优先考虑学生的声音则给出了一些非常具体的做法:(1)限制广播式的提问,即不应该面向全班学生提问然后让首先举手的学生回答。(2)让每个学生能首先将自己的想法在小组中分享。(3)注重利用形成性评价和自我评价。(4)让学生确立自己的学习目标。这些措施中的一些内容实际上也是在构建良好的数学课堂文化。例如:教师应该了解并相信学生,这就意味着在数学课堂中,每个学生都能被尊重而不论他们的出生和数学成绩,说明了数学课堂中应该具有民主平等的氛围,这是良好课堂文化的主要标志之一。再如:教师要重新定义数学上的成功,也就意味着学生在数学上的成功并不只是从考试成绩上看,诸如能在数学活动中积极地参与、提出新的想法以及在原有基础上有所进步等都是数学上的成功,这显然有利于良好数学课堂文化的建设。在所提出的关于优先考虑学生声音的4个具体做法中,也可以看出它们大多有利于良好数学课堂文化的建设。此外,联系到学生数学身份的定义,还应该注意以下几点:(1)通过教学活动让学生感受到数学在现代社会中所具有的重要价值。

(2)使得学生具有学好数学的自信心。(3)让学生在课堂中有更多的学习机会。在数学教学中,教师要在教学活动中让学生体会到数学的价值特别是其应用价值,这是使得学生具有积极数学身份的重要前提。如果我们的教学活动让学生感受不到数学的价值,那么学生就不会具有积极的数学身份。学生具有学好数学的自信心对于他们具有积极的数学身份也是必要的,如果他们具有自己学不好数学的想法,那么他们就不会努力去学习数学,更不用说具有积极的数学身份。要使学生具有学好数学的信念,学习的机会是不可缺少的。在数学教学中,教师应该给学生更多的机会去学习数学,包括经历数学知识形成的机会、进行数学创造的机会以及和他人合作解决数学问题的机会等。更多的学习机会很大程度上意味着学生在数学学习上有更大的成就感,也就意味着为具有积极的数学身份提供了条件。以上3点与良好的数学课堂文化的建设也有着直接或间接的关系,因为无论是使得学生重视数学价值还是具有学好数学的自信心以及有更多的学习机会,都有助于形成课堂中努力学习数学的氛围。

如果教师不能很好地培养学生积极的数学身份,而使得数学课堂中大多数学生具有消极的数学身份,这就意味着多数学生不思进取,不能努力地进行数学学习,不能对数学知识有深刻的理解,解决数学问题的能力有限,也不会积极地参与到数学活动中。这样的后果不但使得学生个体的数学学习是低效的,也使得数学课堂文化具有不良的特征。

综上所述,学生积极的数学身份的培养有助于建设良好的数学课堂文化,也有助于学生进行有效的数学学习;反之,班级中大面积消极的数学身份会导致不良的数学课堂文化,也会导致学生低效的数学学习。

3 结语

本文根据数学课堂文化、学生的数学身份与数学学习的内容,从两个方面对学生的数学身份、数学课堂文化以及学生的数学学习之间的关系进行了分析,这种关系不但具有理论意义,也具有重要的实践意义。教师要培养学生积极的数学身份可以从构建良好的数学课堂文化入手,构建了良好的数学课堂文化在一定程度上也就培养了学生积极的数学身份。如果教师要构建良好的数学课堂文化也可以从培养学生积极的数学身份入手,因为培养了学生积极的数学身份也就意味着良好的数学课堂文化在一定程度上得以构建。另外,因为学生积极的数学身份、良好的数学课堂文化与学生有效的数学学习之间的密切关系,教师要促进学生的数学学习也可以从培养学生积极的数学身份或从建构良好的数学课堂文化入手。

参考文献:

- [1]NICKSON M. The culture of the mathematics classroom:An unknown quantity?[C]// LERMAN S. Cultural perspectives on the mathematics classroom. Amsterdam:Kluwer Academic Publishers,1994:8.
- [2]AGUIRRE J M,KAREN M,DANNY B M. The impact of identity in K-8 mathematics:Rethinking equity-based practices [M]. Reston,VA:The National Council of Teachers of Mathematics,2013.
- [3]DARRAGH L. Identity research in mathematics education[J]. Educ Stud Math,2016(93):19-33.
- [4]SFARD A, PRUSAK A. Telling identities: In search of an analytic tool for investigating learning as a culturally shaped activity[J]. Educational Researcher,2005,34(4):14-22.
- [5]NASIR N, COOKS J. Becoming a hurdler: How learning settings afford identities [J]. Anthropology & Education Quarterly,2009,40(1):41-61.
- [6]WENGER E. Communities of practice: Learning, meaning and identity [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1998:215.
- [7]ALLEN K,SCHNELL K. Developing mathematics identity[J]. Mathematics Teaching in the Middle School,2016,21(7): 398-405.

Math Classroom Culture, Students' Math Identity and Math Learning

Zhang Xiaogui

(The College of Mathematics and Statistics, Hefei Normal University, Hefei 230601, China)

Abstract: There is a close relationship between mathematics classroom culture, mathematical identity and mathematical learning in mathematics education, three important concepts in mathematics education. There is a close relationship between a good math classroom culture, a student's positive mathematical identity and effective mathematical learning, and there is also a close relationship between poor math classroom culture, students' negative mathematical identity and inefficient mathematical learning. The relationship between them is both theoretical and practical.

Keywords: mathematics classroom culture; mathematical identity; mathematics learning

(上接第 27 页)

Notes on the Genus *Chironomus* Meigen from Ningxi Town, Taizhou

Liu Xu¹, Zhou Jin², Yu Wenjie¹, Cao Jiakang¹, Qi Xin¹

(1. School of Life Science, Taizhou University, Taizhou 318000, China;

2. Taizhou Forestry Technology Extension Station, Taizhou 318000, China)

Abstract: The genus *Chironomus* Meigen from Ningxi Town in Taizhou were noted 5 species including *C. cingulatus* Meigen, 1830; *C. circumdatus* Kieffer, 1916; *C. dorsalis* Meigen, 1818; *C. flaviplumus* Tokunaga, 1940; and *C. kiiensis* Tokunaga, 1936. All the above-mentioned species were re-described and figured (*C. cingulatus*, *C. circumdatus*, *C. dorsalis* Meigen and *C. kiiensis* Tokunaga based on the adult males; *C. dorsalis* Meigen and *C. flaviplumus* based on the larvae). *C. flaviplumus* is the first record for Taizhou.

Keywords: *Chironomus* Meigen; adult male; larva; taxonomy

《台州学院学报》2023年总目次

第1期

【诗学研究】

- 论西方诗歌诗性观 向天渊/01
《瓦隆》杂志与象征主义自由诗运动的重塑 李国辉/09
超越伦理的形而上追问——鲁迅《颓败线的颤动》的宗教哲学意义 雷文学/16

【红楼漫谈】

- 《红楼梦》艺术工程总体设计探胜 洪迪/21
贾珍拄拐礼制辨析 张万里/29

【科学技术史】

- 中国古代科技史研究方法之反思 厚宇德, 刘姝婷/35
《履园丛话》中的工艺史料与科学思想初探 邹旺, 郑文锋/40

【高校管理】

- 高校数智校园建设探索与实践 赵小明, 陈平水, 潘仙张/46
区块链技术在高校内部审计中的应用 张洋海, 尹兰香/52

【天台山文化】

- 和合文化与共同发展——“2022和合文化全球论坛”发言综述 杨供法/57
台州宋韵文化的美学意蕴和文旅价值 徐媛苹, 林大岳/64
军事社会学视域下的戚继光与戚家军——兼论倭乱期间东南兵害成因及其治理 黄友泉/70
黄岩学者王棻的谱学理念探析——以馆藏《柔桥王氏宗谱》等稿本为例 仇家京/76

【语言】

- 论现代汉语“X的”结构语义构建的指类思维 张新杰, 李燕娟/82
网络旅游景点简介语篇的多模态生态话语分析 汪琴/87

第2期

【天台山文化】

- 南宋初作家陈克论考 高平/01
《清人诗文集总目提要》订补——以张亨梧、戴礼、王锡珪三位浙东作家为中心 朱则杰/11

【文旅融合】

- 股权众筹开发乡村旅游促进共同富裕:逻辑与案例 李跃军, 姜琴君/17
台州市旅游国际化形象及其话语构建 赵丽丽, 崔瑞国, 程龔, 许利敏/24

【近代文学】

- 清末警政与中国传统文艺管理制度的近代转型——以小说戏曲管理为中心 张天星/32

- 论澳门中文报载小说的近代转型——以《华侨报》为中心的考察赵海霞/40
 近代海派文化与报刊诗话转型述略李德强/47
 娱世·讽世·觉世——论吴双热的滑稽小说吴佳,孙超/54

【语言】

- 论《五音集韵》部件移位异体字邱龙升/60
 “私下”和“私自”的差异与关联高翀/67

【浙东唐诗之路】

- 论浙东唐诗的创作范式与时代价值娄欣星/73
 试论浙东唐诗之路形成的内生动力徐永恩/81

【书评】

- 当今现代散文的别致开拓——读赵宗彪新作《山河故人》洪迪/86
 合散而求全守正而出新——评李秀华《〈淮南子〉学史》方勇/90

第3期

【物理学】

- Pt_nRh_{38-n} 团簇电子结构及吸附性的密度泛函理论研究梁晓庆,陆林璐/01

【数学与建模】

- 基于回归模型的 C_4 烯烃制备策略研究夏志乐,叶宇航,叶昊,陈子悦/10
 基于回归模型的 C_4 烯烃最佳制备条件研究黄建平,施雨欣,胡诗涵,张星成/16

【生物学】

- 濒危植物多花帚菊叶枯病病原菌的分离与鉴定
黄雯馨,吴倩,田盛野,刘焯,张焱琴,顾航,张慧娟,蒋明/24
 半红树植物黄槿的组织培养孙文,杨党,陈正满,朱云霄,王振福,李钧敏,杜照奎/30

【计算机科学】

- 基于ZigBee的逆变 CO_2 焊机参数遥控与群控系统设计与实现周迅,鄢力力,彭青,刘奇,管功湖/36
 新冠肺炎疫情下学生居家学习状态的可视化分析陈照照,陈晓聪,钟姿慧,金杰/43
 基于虚拟现实技术的数字化体育舞蹈教学平台设计与实现武玲玲,叶晨/51

【环境科学】

- 表面活性剂辅助悬浮固化分散液液微萃取-气质联用测定水样中多环芳烃
贺贤杰,郭会,李鑫,彭春龙/57
 浙江玉环漩门湾国家湿地公园湿地资源现状和保护对策探讨
孙海平,赵洪,岳春雷,陈严雪,吴丞昊,房瑶瑶,章旭日/65

【教育教学】

- 地方院校土建专业师生成长共同体育人模式的探索与实践王小岗,林喆,朱晓菊/72

地方应用型高校理工类专业课程育人模式探索与实践——以“材料力学”课程为例 ···徐 锋,许晨光/80
 大学文科数学教学改革与实践——以“数学文化”课程为例 ······俞优莉/87

第4期

【生命传播与跨媒介叙事】

数智时代重思人道与人道传播 ······师曾志/01
 数智时代在生命实践中进行精神修炼——皮埃尔·阿多“哲学作为日常生活”的思想探究 ·····唐 倩/10
 在城市幻影中向死而生——“末班车”故事的叙事建构与思想内涵 ······黄哲楷,黄金玉/16

【哲学】

简论中华文明民本民主优良传统 ······洪 迪/23

【共同富裕】

外来务工人员精神共富与文化适应——以N市H区为例 ······崔凤军,娄欣星,赵丽丽,徐宁宁/30
 基于CiteSpace的精神富有研究脉络与趋势分析 ······张 帆/38

【大陈岛垦荒精神】

大陈岛垦荒精神的多维叙事与系统呈现——“第七届大陈岛垦荒精神研讨会”综述 ·····盛跃明,钟秉谕/47
 大陈岛垦荒精神中德育资源的开发与利用 ······崔永江/52
 大陈岛垦荒精神融入大学生积极社会心态培育的价值与应用 ······徐 敏/57

【文化】

礼俗互动 礼乐相须——浙东民俗与浙东锣鼓的活态共存 ······陈 辉/62
 王士性与竹添进一郎山水游记比较论 ······何方形/68
 再造·流动·情感·趣缘——数字藏品的文化传播、情感体验及数字交往 ······张琪云,曹 淮/74

【书评】

形式反叛、自由精神与诗性功能——理解李国辉《〈风行〉杂志与象征主义自由诗》的三个关键词
 ······乔 琦/80
 一统皇元气象殊——评任红敏《元代文坛格局与走向研究》 ······王红利/84
 中国当代文学态势研究的新方向与新突破——评洪治纲《中国新世纪文学的日常生活诗学》
 ······王振锋/87

第5期

【科学技术史】

我国古代能源开发利用及生态破坏议题之再探讨——以笔记小说史料为核心的考察 ······厚宇德/01
 西力东渐与明代火器技术的重塑 ······冯震宇/08

【哲学】

《巴黎手稿》劳动异化思想的哲学党性问题再认识——对四类常见论述的反思 ······彭志恩/16
 本末甚明:论陆九渊对颜回之学的阐释 ······杨抒漫/25

【天台山文化】

- 戴复古诗歌中的理学色彩 贾先奎, 盛凤娟/32
从项士元的藏书活动看其藏书思想 张明君/39

【大陈岛垦荒精神】

- 中国式现代化视域下大陈岛垦荒精神的时代方位和价值意蕴 高立伟, 罗逸雪/45
论大陈岛垦荒精神重塑的意义、方位及实现逻辑 周军虎/50
新时代大陈岛垦荒精神公共话语体系的构建 陈旭峰, 郭庆春, 王月娇/56
大陈岛垦荒精神的斗争性及时代意蕴 李金花/61

【思想政治教育】

- 深入推进马克思主义理论学科建设与教学实践——“马克思主义理论学科建设高端论坛暨大中小学思想政治教育一体化地方创新实践学术研讨会”综述 袁 杰/67
四重理据下中国式现代化的历史逻辑探究 王在亮/73
系统思维视角下推进大中小学劳动教育一体化建设路径探析 王保进, 刘 阳/79
“四全媒体”视角下大中小学思想政治教育一体化建设思考 侯耀宗/86

第6期**【数学与建模】**

- 基于贪心算法的无人机纯方位无源定位 祁晨彬, 蔡依蝶, 陈建林, 王 洁/01
Wordle答题情况的预测与分析 蔡忠哲, 曾日威, 林承铖, 李韶伟/08
能源转型在应对气候变化中的作用分析与预测 赵怀天, 刘志鹏, 李永锋/14

【生物学】

- 台州市宁溪摇蚊属种类记述 刘 旭, 周 瑾, 余文洁, 曹家康, 齐 鑫/22
台州市蝗虫的物种多样性与区系分析 张 晨, 陈思琦, 叶倩宏, 白 义, 王海瑞, 吴巧露/28

【材料科学】

- Ti-22Al-25Nb合金热处理后不同相含量的比较及其对合金显微硬度的影响 章馨予, 邵 玲/34

【环境科学】

- 基于系统动力学的建筑业碳排放预测——以浙江省为例 陈 莉, 杨雨欣/42
基于温室气体口径的城市碳当量达峰路径规划——以浙江省T市为例 陈宇光/52

【医学】

- 肺癌药物靶点与Nur77的研究进展 潘莉分, 李祯烨, 劳茹阳, 胡琼莹/60
miR-431-5p通过MAPK/ERK通路促进食管鳞癌细胞增殖和迁移
..... 金 戈, 陈耀武, 李阳坤, 叶赛卿, 钱昕晔, 朱皓宇, 徐雯轩, 包晓红/69

【教育·教学】

- 专利视角下长三角高校技术创新策源分析 王香莲, 徐 萍, 胡金杰/77
数学课堂文化、学生的数学身份与数学学习 张晓贵/87
《台州学院学报》2023年总目次 I

台州学院·数学建模团队

主要成绩

台州学院自2000年开始组织参加全国大学生数学建模竞赛(CUMCM),自2014年开始组织参加颇具国际影响力的美国大学生数学建模竞赛(MCM/ICM)。数学建模竞赛育人是一项长期的系统工程,在教师团队合理的竞赛机制运作下,近五年,台州学院数学建模师生团队在各类数学建模竞赛中取得了优异的成绩,共获国赛(CUMCM)奖项55项、美赛(MCM/ICM)奖项18项。2022年,台州学院获浙江赛区优秀组织奖。

为了提升学生的科研能力,进一步推广数学建模竞赛成果,近两年,师生团队以数学建模竞赛论文为基础,公开发表学术论文7篇,其中:3篇获台州学院本科生科研成果奖、3篇入选中国知网《学术精要数据库》高下载论文。



各类获奖证书

师生感言

一次参赛,终身受益。学生时代我曾两次获数学建模竞赛全国一等奖,自此确立了要成为一名大学教师的职业方向。数学建模,爱上了就是一辈子。

——李韶伟老师,数学建模竞赛负责人

大学时代获得数学建模竞赛全国一等奖是我的荣耀,以此为标准,我不断追求人生的“尽善尽美”,不断找寻我的“最优解”。数学建模已在我身上烙下了深深的印记。

——冷欣锚,数学与应用数学专业2014届毕业生

进入大学后接触数学建模,转到数学与应用数学专业,参加数学建模竞赛拿奖(三获美赛H奖)……我为数学建模付出很多,它伴随着我成长,最重要的是它让我明白了自己想要的是什么;它是我梦的起源,也帮我成就了梦想,我希望攻读数学博士之后能回到台州学院从事数学教学工作。数学建模,让我认识了真正的自我。

——朱德凯,数学与应用数学专业2023届毕业生



教师指导学生团队



学生团队获全国大学生数学建模竞赛一等奖

中国·台州

TAIZHOU CHINA

主管单位 台州学院

Authority Taizhou University

主办单位 台州学院

Sponsor Taizhou University

主编 赵小明

Editor-in-chief Zhao Xiaoming

编辑出版 台州学院学报编辑部

Edited by Editorial Board of Journal of Taizhou University

地址 浙江省临海市东方大道605号

Address No. 605, Dongfang Avenue, Linhai, Zhejiang Province

邮编 317000

Postcode

网址 www.journal.tzc.edu.cn

The URL

印刷单位 台州印刷厂(有限公司)

Printed by Taizhou Printing House (Co., Ltd.)

国内发行 台州学院学报编辑部

Domestic Distributor Editorial Board of Journal of Taizhou University

国外发行 中国出版对外贸易总公司(北京782信箱 邮编100011)

Overseas Distributor China National Publishing Industry Trading Corporation (P.O. Box 782, Beijing 100011, China)

电子邮箱 xbb@tzc.edu.cn

E-mail

电话 0576-85137169

Tel.

双月刊

1979年创刊

第45卷 第6期

(总第242期) 2023年12月20日出版

Bimonthly Started in 1979

(Issue No. 242) Vol. 45 No. 6 Dec. 2023

封面题字: 沙孟海

中国标准连续出版物号:

ISSN 1672-3708

CN 33-1306/Z

定价: 12.00元



ISSN 1672-3708



9 771672 370234