

# 大气动力学发展态势分析 ——基于国家自然科学基金大气科学项目

张雅乐 匡钰 贾朋群

(中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

**摘要:** 基于国家自然科学基金1987-2021年对大气动力学的资助情况, 分析大气动力学发展变化的态势。通过资助情况分析发现国家自然科学基金对大气动力学的支持以重点类项目、面上项目、青年科学基金为主, 三类主要受资助项目在资助重点和年际变化趋势各具特点。大气动力学获得资助的项目主要分布在科研院所、高等院校和气象系统, 中国科学院大气物理研究所、南京大学、南京信息工程大学分居前三。基于现状分析, 从大气动力学自身发展以及与新兴学科相融促动两个层面进行探讨, 提出大气动力学作为大气科学的基础理论学科, 自身发展对大气科学发展起到支撑和源头创新的作用, 同时在新兴学科的发展中, 作为重要的理论依据参与学科交叉研究, 起到引领和促动作用。希望通过研究, 使大气动力学更加适应学科快速发展, 同时能够拓展学科边界, 带动新兴学科的成长。

**关键词:** 大气动力学, 大气科学, 国家自然科学基金

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.06.008

## Analysis of the Development Trend of Atmospheric Dynamics ——Based on the National Natural Science Foundation of China Atmospheric Science Programs

Zhang Yale, Kuang Yu, Jia Pengqun

(China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081)

**Abstract:** This paper analyzes the development trend of atmospheric dynamics based on the support of the National Natural Science Foundation of China (NSFC) for the subject from 1987 to 2021. The funding analysis shows that the NSFC's support for atmospheric dynamics is mainly focused on key projects, general projects and youth science funds, and the three main types of funded projects have their own characteristics in funding priorities and inter-annual variation trends. The atmospheric dynamics projects supported by the NSFC are mainly distributed among scientific research institutes, universities and meteorological agencies. The Institute of Atmospheric Physics of the Chinese Academy of Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology rank in the top three. Based on the analysis of the current situation and from the two aspects of the self-development of atmospheric dynamics and its integration with emerging disciplines, it is proposed that atmospheric dynamics, as the basic theoretical discipline of atmospheric science, plays a supporting and source innovation role in the development of atmospheric science. At the same time, as a key theoretical basis, atmospheric dynamics becomes an important part in interdisciplinary research, and plays a leading and promoting role in the development of emerging disciplines. It is hoped that through the research, atmospheric dynamics can adapt to the rapid development of the atmospheric science, expand the boundary of the discipline, and promote the growth of new disciplines.

**Keywords:** atmospheric dynamics, atmospheric science, National Natural Science Foundation of China

### 0 引言

在国家自然科学基金的大气科学学科体系中, 大

气动力学自设置以来, 在4次学科代码调整中, 是唯一一个没有变化的二级学科代码<sup>[1-4]</sup>。从与母学科的关系来看, 大气动力学搭建了大气科学与数学、力学、物理学、行星科学等学科的交融通道, 将母学科的知识成果引入大气科学, 并形成系统的知识体系。同时, 大气动力学作为大气科学中的分支学科, 将“天气”“气候”“古气候”不同时间尺度的分支学科统辖在

收稿日期: 2022年9月28日; 修回日期: 2022年11月4日

第一作者: 张雅乐(1983—), Email: 552350554@qq.com

通信作者: 匡钰(1997—), Email: 18611307918@163.com

资助信息: 同许局长文章

大气动力理论体系下，使其可在动力学的观点下进行融合；大气动力学为“大气数值模式发展”和“地球系统模式发展”等支撑技术提供动力框架支撑<sup>[1]</sup>。

大气动力学是从物理学和流体力学的基本定律出发，研究大气中各种动力过程演变的学科，从而探究大气运动的基本规律和机制<sup>[5]</sup>。大气动力学起源于北欧，可以追溯到20世纪20年代挪威学派提出的锋面气旋学说，在此之后的十年，随着无线电探空仪的使用，人们对高空大气运动有了新的认识，芝加哥学派提出了地转适应和长波理论，并因此引出一系列研究。20世纪50—60年代，随着计算机和观测手段发展，大气动力学的研究尺度扩展到中小尺度系统，地理空间也从中高纬度延伸到热带，同时还在大气环流和气候形成的数值模拟等方面取得了成就。70年代以来，大气动力学朝着更深更广的领域发展，如大气动力不稳定性问题、大气运动谱结构及演变、准定常行星波动、大气环流遥相关机制、阻塞形式动力学、非线性大气动力学等<sup>[6-8]</sup>。

目前，从天气机理研究到数值模式发展，从小尺度对流系统到年代际气候变化，从定性分析到定量研究，大气动力学都扮演着举足轻重的角色。本研究拟通过基金支持的视角，来分析大气动力学的现状和发展趋势。

## 1 国家自然科学基金对大气动力学资助情况分析

### 1.1 国家自然科学基金对大气动力学资助的年度变化

从1987—2021年国家自然科学基金对大气动力学资助共计544项，占大气学科10.1%，资助经费25757.3万元，占大气学科9.44%，资助强度高于大气学科的平均水平18180.8万元。35年间，大气动力学受资助项目数量和资助金额及其在大气学科所占比例总体呈上升趋势，其中资助项目数量和金额（图1）都在2021年达到最高，分别为42项和2461万元，分别是1987年的14倍和307.63倍。资助项目数量和金额在大气学科的所占比例都在1993年达到最高，分别为35.48%，55.99%。同时，国家自然科学基金对大气科学的资助项目数量和金额一直持续增长<sup>[4]</sup>，尤其在2011年后增长幅度很大，相较整体情况，大气动力学作为大气科学学科的二级学科，获得资助数量和经费同期也有所增长，相对增幅较为平稳。

### 1.2 大气动力学资助分布

国家自然科学基金根据科学发展趋势和国家战略需求设立相应的项目类型，从资助定位和管理特点出

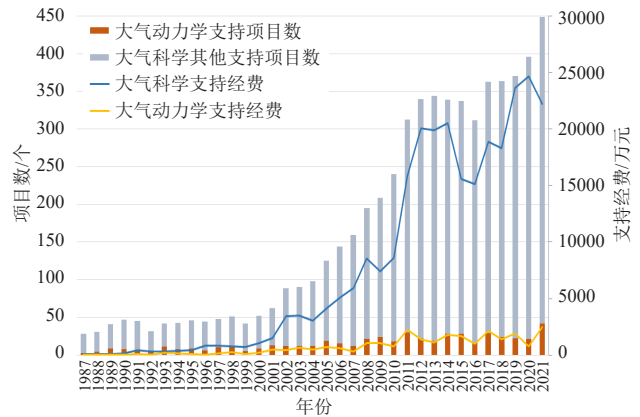


图1 1987—2021年大气动力学立项数及支持经费  
Fig. 1 Number of atmospheric dynamics projects and supporting funds from 1987 to 2021

发，分为研究项目系列、人才项目系列和环境条件项目系列三大资助系列。其中研究项目系列包括面上项目、重点项目、重大项目、重大研究计划、联合基金项目和国际（地区）合作研究项目，人才项目系列包括青年科学基金、国家杰出青年基金（包括外籍）、海外青年学者合作研究基金、香港、澳门青年学者合作研究基金、创新研究群体科学基金、国家基础科学人才培养基金。通过统计1987—2021年国家自然科学基金对大气动力学科的资助情况，项目分布在重点项目、国家杰出青年基金（包括外籍）、优秀青年科学基金项目、面上项目、青年科学基金项目、地区科学基金项目和海外或港、澳青年学者合作研究基金项目，其中主要集中在重点类项目（包括重点项目、国家杰出青年基金项目）、面上项目、青年科学基金这三种资助类型。

1987—2021年，国家自然科学基金对大气动力学科的资助在重点类项目、面上项目、青年科学基金资助项目数分别为33项（6.07%）、342项（62.87%）、152项（27.94%），资助金额分别为5658万元（21.97%）、15851.4万元（61.54%）、3312.5万元（12.86%），平均单项资助金额分别为171.45万元、46.35万元、21.79万元。从项目数量来看依次为面上、青年、重点；从资助金额来看依次为面上、重点、青年；从平均单项资助金额来看依次为重点、面上、青年（图2）。由此可见，国家自然科学基金资助大气动力学项目中，面上项目为资助项目数量最多，经费所占比例最大，可见面上项目代表了大气动力学科研究最重要的力量和研究水平；重点类项目（包括重点项目、国家杰出青年项目）为资助范围小，但经费支持强度高，代表着我国大气动力学研究的最高水平，主要集中在气候变化、热带气旋、青藏高原环流动力学机制研究上。

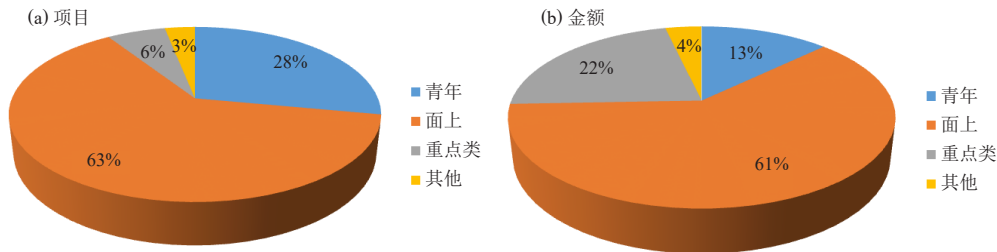


图2 1987—2021年国家自然科学基金对大气动力学资助分布情况  
Fig. 2 Distribution of NSFC support for atmospheric dynamics from 1987 to 2021

### 1.3 主要资助项目年度变化

由图3a可见, 1991年起大气动力学开始得到重点类项目的资助, 1991—2021年, 受重点类项目资助的项目数量和资助金额成阶段性变化趋势, 其中2001—2011年增加资助金额幅度最大, 期间受资助项目18项, 金额为2985万元; 2011年增加资助金额最大, 2011年也是国家自然科学基金对大气科学学科的重点类项目资助力度增幅最大的一年。自2015年起, 大气动力学重点类项目的资助有隔年资助的特征, 且项目较少。重点类项目的持续稳定资助是与国际水平看齐

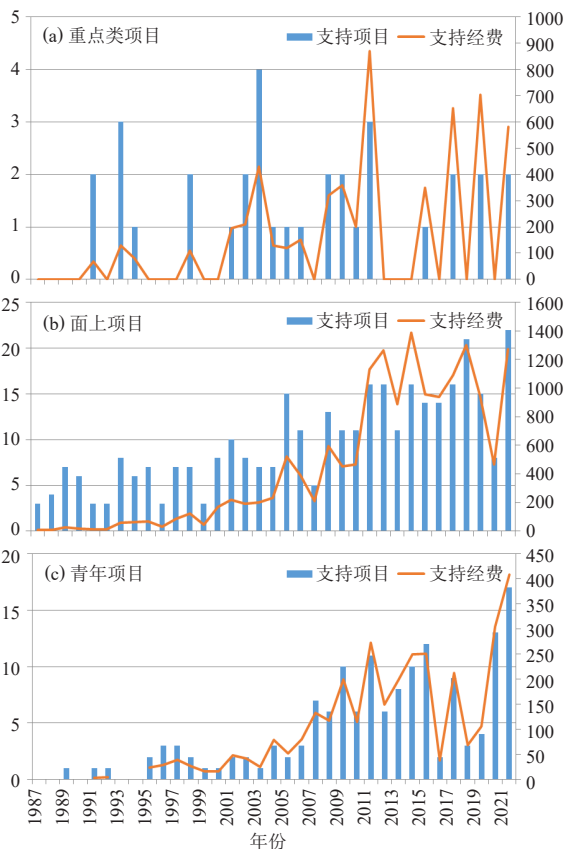


图3 1987—2021年国家自然科学基金对大气动力学主要资助情况

Fig. 3 NSFC support for atmospheric dynamics from 1987 to 2021

的关键, 对大气动力学的持续支持有利于重大基础理论的突破。

面上项目支持科技工作者在国家自然科学基金资助范围内自由选题, 开展创新性的科学研究。由图3b可见, 1987—2011年, 大气动力学受面上项目资助的项目数量和金额整体呈上升趋势, 项目增长和经费支持较为一致, 有4个增长幅度较大的年份, 分别在2005、2011、2018和2021年。近几年来面上项目的资助数量和经费有明显的增加, 而从事科研的科技人员却呈现出指数性上升, 这表明申请面上项目的难度增加, 从我国目前的发展形势分析, 面上项目的立项数量不会大幅提高, 面上项目的申报难度还会进一步增加, 竞争将会更加激烈。

青年项目旨在发挥基础科学人才培养基金的作用, 促进基础研究与教育的结合, 为科学研究源源不断地提供高素质的后备力量。由图3c可见, 大气动力学资助项目和金额从2001年起增幅较大, 2011、2021年立项数明显加大, 2021年资助金额是1989年的116.5倍。从发展趋势看, 青年科技工作者申请项目获批的几率会进一步上升。从未来发展看, 青年基金的资助力度还应该持续提高, 加强对青年学者的资助力度是提高我国未来大气动力学研究水平的关键。

## 2 主要研究机构和领域

自1987年至今, 在自然基金资助下, 国内大气动力学研究已经形成了一个由高校、中国科学院、气象系统组成的体系, 其中中国科学大气物理研究所(144项)、南京大学(65项)、南京信息工程大学(41项)位列前三。除地方高校外, 军队的高校中逐渐建立起稳定的大气动力学研究力量。近年, 随着高校增设大气科学专业, 如复旦大学、北京师范大学等, 承担项目数显著增长。中国气象局国家级科研院所如气象科学研究院、上海台风研究所、乌鲁木齐沙漠气象研究所, 主要业务机构如国家气象中心、国家气候中心、干部学院也是大气动力学项目的主要承担单位。

自1993年以来, 国家自然科学基金大气动力学项目

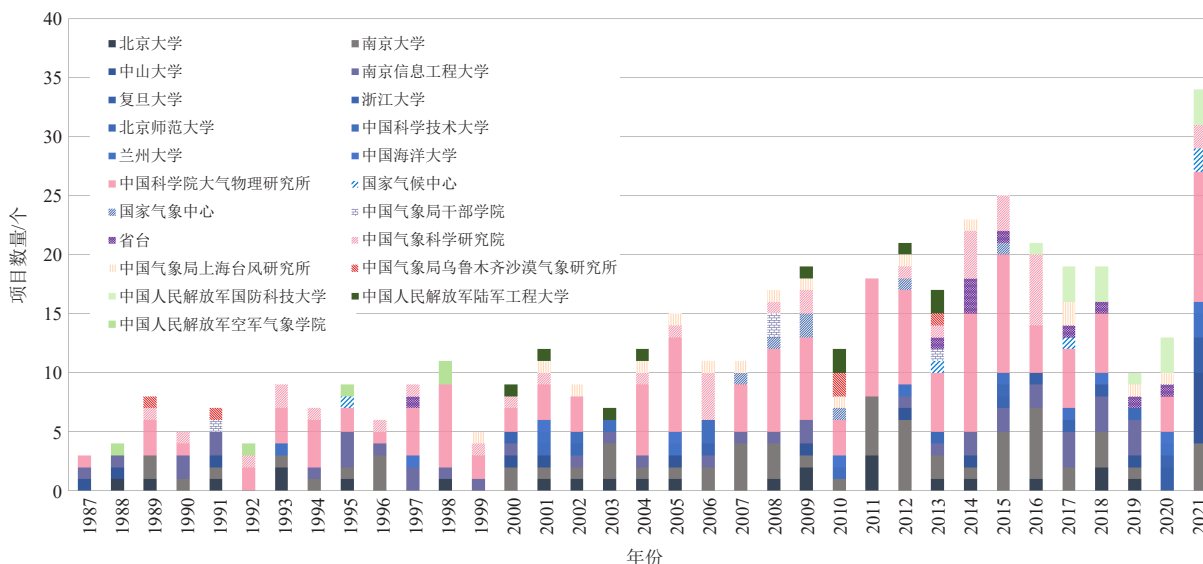


图4 1987—2021年大气动力学前20获批资助单位情况 (冷色系表示高校、绿色系表示军队院校、暖色系表示中科院、冷色系阴影表示气象系统业务单位、暖色系阴影代表气象系统科研单位)

Fig. 4 Top 20 agencies that have been granted with the supporting fund for atmospheric dynamics from 1987 to 2021 (cold color represents colleges and universities, green color represents military colleges and universities, warm color represents Chinese Academy of Sciences, the shaded cold color represents meteorological operational agencies, and the shaded warm color represents meteorological research agencies)

申报增加了关键词,从1993年至今的508个支持项目中包含1128个关键词,2043个高频词。2000年之前,风暴、相互作用、非线性、热带气旋、厄尔尼诺与南方涛动(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)、季风为出现5次以上的高频关键词。之后的10年,即2001—2010年,关键词数量和词频显著增长,在之前关键词从某种程度上成为一个研究领域,项目在此基础上研究更加聚焦,如非线性理论应用于ENSO可预报性、台风的可预报性,相互作用扩展到海、陆、气多系统多尺度研究等;同时,数值模拟、中小尺度、雷达卫星资料应用、暴雨、青藏高原等成为新的特点。在近10余年中,关键词按空间划分有热带、中纬度、极地的陆地、大气、海洋,垂直上从边界层到平流层均有涉及;从时空尺度看,研究从小尺度到全球尺度,从小年到年代际甚至古气候均有覆盖;从研究对象看,既有传统的暴雨、台风、ENSO,还有火山、臭氧、云降水过程;研究以波动、能量、混沌、涡旋、湍流、不稳定、耦合等大气动力学理论体系为基础。尤其是近2年,申报项目更聚焦复杂系统、多圈层相互作用、非线性领域。从关键词分析可见,大气动力学研究正朝着更加多元、聚焦、精细化的领域开展。

### 3 大气动力学趋势分析

#### 3.1 大气动力学自身积极寻求突破

从大气动力学自身发展看,首先纵观历史,大气

动力学的每一次大跨越和数学、物理界取得的进步息息相关,同时与观测手段和计算能力的发展也紧密联系。大气动力学进一步发展需要与数学、物理等母学科进行更加紧密的联系。二是为了将数学表述和物理意义有机融合,大气动力学各种理论模型在推导过程中有诸多简化和省略,属于半开放形式,这就导致发展到一定阶段,传统经典理论在解释分析和预报预测方面存在欠缺。三是与国际先进水平相比,我国大气动力学虽然有了长足的发展,大气动力学的研究没有协同,目前各个尺度、系统还有割裂现象,中小尺度天气系统动力学机理方面还存在明显差距,提高灾害性天气研究和预报水平,需要对多尺度的相互作用,中小尺度演变机理进行深入研究。这就需要大气动力学从自身寻找突破。

#### 3.2 大气动力学与新兴学科的并行与互融

从近年代码调整中发现,“大气化学与大气环境”、“气候变化及影响与应对”、“大气环境与健康气象”等学科成为了资助的新领域,大气动力学作为基础理论学科在申请项目和资助的波动,以及新兴学科申请和资助的持续增长,呈现基础理论领域与新兴领域并重的局面。

全球气候变暖背景下,学界越来越重视天气、气候、环境等交叉领域研究<sup>[9]</sup>,如地球系统模式各圈层反馈机制,污染物与天气、气候的相互作用和反馈机

制等都需要结合大气动力学深入开展机理研究。说明学科代码不断优化中,大气动力学作为支撑的基础学科在发挥作用的同时,也在引领和推动新兴学科。因为基础理论学科代表着源头创新,同时国家对科技领域也提出加强基础科学研究、提高原始创新能力的要求。

### 3.3 大气动力学发展需要持续资助

从大气动力学受资助趋势分析,青年基金资助增长速度较快,面上基金资助较为稳定。从资助形势看,近十年呈多样化趋势,优秀青年科学基金、国家杰出青年基金资助的年份也有明显增长。以上增长与国家支持基础研究有关。同时需要注意的是,整体趋势增长的同时,近五年,青年基金、面上基金个别年份立项个数和资助金额下降幅度较大,重点项目则呈现周期性波动特征。

通过对近年“申报代码2”和立项关键词分析发现,很多涉及大气动力学的项目选择在天气学、气候与气候系统和数值模式领域申报,可能与基金在以上三个领域立项数较多有关,申报人没有把大气动力学作为第一代码申报。说明大气动力学在新时期的支持存在争议。

代码调整,大气动力学始终立于不变的位置,体现了其作为基础研究是科学之本、技术之源,对大气科学发展起着基础支撑和前瞻引领作用,关系着大气

科学学科发展的后劲和未来。习近平总书记指出,“基础研究是整个科学体系的源头,是所有技术问题的总机关”。大气动力学作为大气科学学科基础理论领域,是其立足之本,体现大气科学学科原始创新能力。对大气动力学的支持,也是积极响应国家在科技领域强调加强基础科学研究的要求。未来,大气动力学需要更加与数学、物理学、信息科学等学科深度融合,不断拓展研究范式,提高原始创新能力。

#### 参考文献

- [1] 刘哲,丁爱军,张人禾.调整国家自然科学基金申请代码,优化大气学科资助布局.科学通报,2020,65(12):12-19.
- [2] 周小刚,罗云峰.1986—2006年国家自然科学基金大气科学领域面上项目基金资助及成果统计分析.地球科学进展,2007,22(5):540-546.
- [3] 罗云峰,周小刚.国家自然科学基金为推动我国大气科学学科中的气候变化研究提供重要支撑.气候变化研究进展,2008,4(5):315-318.
- [4] 李积明,刘哲,郭郁葱,等.2019年度大气科学领域项目评审与研究成果分析.地球科学进展,2019,34(11):1212-1217.
- [5] 孟智勇,张福青,罗德海,等.新中国成立70年来的中国大气科学研究:天气篇.中国科学(地球科学),2019,49(12):1875-1918.
- [6] 陶诗言,赵思雄,周晓平,等.天气学和天气预报的研究进展.大气科学.2003,27(4):451-467.
- [7] Mu M, Zeng Q C, et al. Nonlinear stability of multilayer quasi-geostrophic flow. Journal of Fluid Mechanics, 1994, 264(1). 165-165.
- [8] 俞永强,张学洪,郭裕福. Global Coupled Ocean-Atmosphere General Circulation Models in LASG/IAP. 大气科学进展(英文版), 2004, 21(3): 444-455.
- [9] 周天军,陈晓龙,吴波.支撑“未来地球”计划的气候变化科学前沿问题.科学通报,2019,64(19):1967-1974.