

国家自然科学基金大气科学学科二级申请代码下设研究方向与关键词 解读: D0501 天气学

孟智勇 梁旭东

Research Directions and Keywords under the Secondary Application Codes of the Atmospheric Sciences Discipline of the National Natural Science Foundation of China: D0501 Synoptic Meteorology

MENG Zhiyong LIANG Xudong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9895.2301.22301>

您可能感兴趣的其他文章 Articles you may be interested in

一种表征南海季风强度的指标及其与华南降水的关系

An Index to Characterize the Intensity of the South China Sea Monsoon and Its Relationship with Precipitation in South China

大气科学. 2020, 44(1): 1 <https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9895.1906.18138>

京津冀一次重度雾霾天气能见度及边界层关键气象要素的模拟研究

A Modeling Study of the Visibility and PBL Key Meteorological Elements during a Heavy Fog-Haze Episode in Beijing-Tianjin-Hebei of China

大气科学. 2017, 41(6): 1177 <https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9895.1703.16211>

黄河源高寒湿地-大气间暖季水热交换特征及关键影响参数研究

Characteristics of Water and Heat Exchanges and Their Crucial Influencing Factors on the Alpine Wetland during the Warm Season in the Source Region of the Yellow River

大气科学. 2017, 41(2): 302 <https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9895.1607.16103>

华南夏季降水两次年代际转折的水汽输送异常成因初探

Preliminary Research on Moisture Transport Anomalies in Two Interdecadal Changes in Summer Precipitation in South China

大气科学. 2021, 45(2): 273 <https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9895.2005.19231>

北太平洋冬季天气尺度涡旋的机理分析

The Possible Physical Mechanism for the Synoptic-Scale Eddy over the North Pacific in Winter

大气科学. 2018, 42(5): 977 <https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9895.1712.17133>

春季影响江淮地区的天气尺度气旋活动与同期降水的联系

Simultaneous Relationship between Precipitation and Activities of Springtime Synoptic Scale Affecting Cyclone over the Yangtzi-Huaihe River Valleys

大气科学. 2019, 43(2): 311 <https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9895.1804.17294>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

孟智勇, 梁旭东. 2023. 国家自然科学基金大气科学学科二级申请代码下设研究方向与关键词解读: D0501 天气学 [J]. 大气科学, 47(1): 101–110. MENG Zhiyong, LIANG Xudong. 2023. Research Directions and Keywords under the Secondary Application Codes of the Atmospheric Sciences Discipline of the National Natural Science Foundation of China: D0501 Synoptic Meteorology [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 47(1): 101–110. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2301.22301

国家自然科学基金大气科学学科二级申请代码 下设研究方向与关键词解读: D0501 天气学

孟智勇¹ 梁旭东²

¹ 北京大学物理学院大气与海洋科学系, 北京 100871

² 中国气象科学研究院, 北京 100081

摘 要 2019 年国家自然科学基金委员会大气科学学科调整了申请代码。2020 版大气科学学科申请代码包括 15 个二级申请代码, 分属“分支学科”“支撑技术”和“发展领域”三个板块。其中, D0501 天气学二级申请代码由原代码 D0505 天气学与天气预报调整而来, 天气预报的内容调整到了“支撑技术”板块二级申请代码 D0511 大气数值模式发展。本文对天气学二级申请代码下设的 6 个研究方向的设计思路和关键词设置进行了解读, 对一些易被混淆或误用的关键词做了解释, 同时分析了 2020~2022 年申请书中关键词使用情况, 并针对性地提出了关键词使用注意事项与建议。希望本文的解读有助于基金申请人准确选择研究方向和关键词, 使申请书能被更精确地匹配评审专家。

关键词 国家自然科学基金 天气学 研究方向 关键词 文献计量学

文章编号 1006-9895(2023)01-0101-10

中图分类号 P44

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2301.22301

Research Directions and Keywords under the Secondary Application Codes of the Atmospheric Sciences Discipline of the National Natural Science Foundation of China: D0501 Synoptic Meteorology

MENG Zhiyong¹ and LIANG Xudong²

¹ Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871

² Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

Abstract In 2019, the National Natural Science Foundation of China (NSFC) restructured the atmospheric sciences application code. A total of 15 sub-application codes were determined. The application code for synoptic meteorology was changed from the original D0505 to D0501, with the numerical model development studies relocated to the sub-code of D0511. This paper interprets the setting of six research directions and their respective keywords of D0501. Some misuses of keywords are clarified. Meanwhile, the keyword usage status for 2020–2022 is summarized. Suggestions and issues that should be considered when using keywords are proposed. This paper aims to help applicants choose research

收稿日期 2022-11-12; 网络预出版日期 2023-01-09

作者简介 孟智勇, 女, 1969 年出生, 教授, 主要从事中小尺度气象学研究。E-mail: zymeng@pku.edu.cn

directions and keywords accurately for a better match between the proposals and reviewers.

Keywords National Natural Science Foundation of China, Synoptic meteorology, Research directions, Keywords, Bibliometrics

1 引言

国家自然科学基金申请代码是国家自然科学基金委员会（简称“自然科学基金委”）为便于项目受理和评审，以学科体系为框架，针对科学研究设置的多层次、综合性的编码体系（刘哲等, 2020）。申请代码的布局不仅面向项目申请和评审，还关系到学科布局 and 知识体系建设。为了助力构建源于知识体系逻辑结构、促进知识与应用融通的学科布局，2019 年自然科学基金委地球科学部地球科学五处（大气科学学科，简称“大气学科”）调整了二级申请代码（简称“申请代码”），按照“分支学科”“支撑技术”和“发展领域”三个板块把原有的 15 个申请代码做了整合与优化，基本上解决了原有代码的逻辑结构不自洽、分支学科不完整、与地球科学顶层设计脱节等弊端。

D0501 天气学属于分支学科板块，由原代码 D0505 的天气学与天气预报调整而来，而原代码中天气预报部分则调整带支撑技术板块二级申请代码 D0511 大气数值模式发展。2019 年，通过广泛征求天气学领域专家的意见，开展专家研讨和论证，形成了天气学的 6 个研究方向和相对应的关键词，并于 2020 年开始实施。2020 版又根据 2020 年关键词的使用情况和专家建议做了微调。2022 年，大气学科组织申请代码和关键词工作组专家针对 2020 版大气学科下设的 15 个二级申请代码及相关研究方向、关键词进行解读，以帮助申请人准确选择吻合申请书内容和研究领域的申请代码、研究方向和关键词，这将有利于智能辅助指派系统精确匹配评审专家以及后期学科发展状况的辅助分析和决策。

2 总体框架

天气学申请代码 D0501 下的研究方向是根据天气学研究的特点确定的。大气科学是研究地球和行星大气中发生的各种现象及其变化规律进而利用这些规律为社会服务的学科。天气学尤其如此，天气学主要研究大气中各种天气现象的演变规律、生消条件、能量来源、相互作用等的物理机制，以及

天气分析预报原理和方法。其研究对象包括多种时空尺度的天气系统及其造成的天气现象，以及这些研究对象的结构、演变及其背后的物理过程和预报方法（孟智勇等, 2019）。

天气学的研究对象包含天气现象和天气系统。天气现象（或者天气）指某地区距离地表较近的大气层在短时间内的具体状态。大气中气象要素的空间分布可表现为各种瞬息万变的天气现象。这些天气现象的分布和变化是由不同时空尺度的天气系统引起的。引起各种天气变化和分布的高压、低压、高压脊、低压槽等具有典型特征的大气运动系统称为天气系统。各种不同时空尺度的天气系统相互交织、相互作用、外加地形影响表现为极为复杂的演变特征。

天气学研究的终极目标是提高预报准确度，具有鲜明的服务社会特点。天气预报已由原来的外推法（假定未来天气系统的移动和变化与起始时刻的情况相同，也称为持续性法）发展到目前主要基于各种观测和理论发展的数值天气预报时代。要提高某一种天气现象的预报准确度，需要对该天气过程的活动规律、三维热力、动力和云微物理结构、发生发展消亡的时空演变特征及其背后的各种物理过程、预报应用技术几个层面开展深入研究。

天气学研究对象种类繁多，每个研究对象都有独特的发生、发展规律，涉及到的物理过程复杂多样，因而从内容上划分为不同的研究方向是比较困难的。为了便于对研究进行分类，将天气学申请代码划分为 6 个研究方向，包括大尺度天气系统、中小尺度天气系统、灾害性天气、结构和演变机理、关键物理过程、预报理论与可预报性（表 1，英文关键词列表见表 A1）。前 3 个研究方向是按照研究对象做的分类，把天气系统按尺度分为大尺度和中小尺度。灾害性天气方向包含不同尺度天气系统造成的致灾性天气现象。所有这三类研究对象的结构和演变以及关键物理过程又划分为两个研究方向。最后一个研究方向侧重预报技术应用。

目前 6 个研究方向的划分是与我国天气学研究的现状紧密相连的。天气学的研究从 20 世纪 30 年代之前对各种天气现象的定性描述为主，发展到目

表 1 天气学 D0501 申请代码的下设研究方向及关键词

Table 1 Research directions and keywords under the application code of synoptic meteorology (D0501)

研究方向	关键词
大尺度天气系统	锋面、梅雨锋、准静止锋、西风槽、切变线、干线、气旋、低涡、冷涡、极地天气系统、极涡、阻塞高压、切断低压、副热带高压、南亚高压、季风槽、热带辐合带、罗斯贝波、开尔文波、东风波、高空急流、低空急流
中小尺度天气系统	对流、中尺度对流系统、飚线、下击暴流、冷池、阵风锋、超级单体、龙卷、中尺度高压、中尺度低压、中小尺度涡旋、中尺度低涡、热带气旋、涡旋波、重力波、涡旋罗斯贝波、重力罗斯贝波、惯性重力波、中尺度环流、中尺度辐合线、海风锋、边界层滚涡
灾害性天气	暴雨、降水、短时强降水、持续性降水、极端降水、强对流、雷暴、雷电、冰雹、大风、台风、寒潮、暴雪、雨雪冰冻、低温阴雨、高温热浪、焚风、低能见度、大雾、沙尘暴、高影响天气
天气系统结构和演变机理	动力结构、热力结构、云微物理结构、边界层结构、触发、对流自聚合、形成、对流组织化、强度变化、强度突变、路径变化、路径突变、移动传播、日变化、环境场、不稳定性、垂直风切变、水汽输送、非线性过程、台风变性
关键物理过程	动力过程、热力过程、非绝热加热、不稳定过程、云微物理过程、气溶胶效应、辐射过程、边界层过程、湍流过程、陆面过程、土壤湿度、能量转换、多尺度相互作用、多系统相互作用、波流相互作用、海气相互作用、陆气相互作用、下垫面强迫、地形强迫、高原影响、城市热岛
预报理论与可预报性	数值模拟、大涡模拟、客观预报、数值预报、动力统计预报、降尺度预报、网格预报、短临预报、短期预报、中期预报、延伸期预报、集合预报、可预报性、模式释用与订正、预报检验、大数据、人工智能、外场观测试验、自适应观测、目标观测、多源资料融合、资料同化、资料反演、卫星资料应用、雷达资料应用、灾害预报预警、灾害评估与防范

前的与动力气象学、高性能计算和日新月异的观测技术紧密结合的定量化研究。几个研究方向里列的一些关键词虽然属于传统研究内容，但是观测手段和计算机技术的进步为这些古老的话题提供了前所未有的深入研究的可能。尤其是大部分的中小尺度天气系统和灾害性天气，其细致的三维热力、动力和云微物理结构和关键物理过程认知还非常有限，导致数值模式的预报能力明显不足。各种新型观测数据的定量应用近几年也才刚刚开始受到关注。

6 个研究方向里共有 150 个关键词可供选择，力求全面、典型、前沿。考虑包容性，每个方向的关键词并不是完全互斥的，设置了一些包含关系的关键词，比如锋面之于梅雨锋、极地天气系统之于极涡、低涡之于冷涡、对流之于中尺度对流系统、降水之于短时强降水、低能见度之于大雾、强对流之于雷暴、强度变化之于强度突变、热力过程之于非绝热加热、地形强迫之于高原影响、数值模拟之于大涡模拟等等。这主要是基于完整性的考虑，有的申请人可能关注的是一般意义上的某一类天气系统或灾害性天气里的物理过程，而不是特别局限于某一种天气系统或灾害性天气；有的申请人则是研究内容比较具体，聚焦于某一特定的种类。这种具有包含关系的设置使得申请人便于选择相应的关键词，又能够凸显一些关注度比较大或者前沿性的研究内容。

按照目前 6 个方向的分类，申请人可以在前三个研究方向里选择研究对象，在后三个研究方向里选择要探讨的机制过程或预报技术应用。这样可以

更好地指导科研人员更为便捷、准确地选择合适的关键词，也可以比较好地满足逻辑性和包容性，避免关键词在不同研究方向的重复，也比较方便未来关键词的增减。

3 基于基金申请情况的关键词统计分析

基于 2020~2022 年天气学申请代码下关键词使用情况看，少数申请人选择自填关键词，不利于申请书的精准指派。关键词推荐列表的使用率在逐年提高，2022 年 79% 的关键词被申请人使用。2020~2022 年每年的前 20 个关键词分布（图 1）也说明了这一点。2020 年有 3 个关键词不在推荐列表，2021 年和 2022 年的高频关键词大多在推荐列表里，每年有 2~3 个比较接近于推荐列表的关键词。

推荐列表的关键词基本能够抓住学科领域多数申请人的关注点。天气学领域的关注重点在中小尺度天气系统、其造成的灾害性天气及其物理过程。每年以及三年总的申请书前 20 个关键词分布（图 1）表明，关注最多的天气系统和灾害性天气为热带气旋、中尺度对流系统、暴雨、极端降水、短时强降水、暖区暴雨、冷池和低空急流。关注比较多的结构和演变机理为动力结构、强度变化、热力结构、对流触发、日变化、形成机理、快速增强和水汽输送。关注比较多的关键物理过程为多尺度相互作用、云微物理过程、地形强迫、动力过程。关注比较多的预报理论和可预报性方向为集合预报、可预报性、

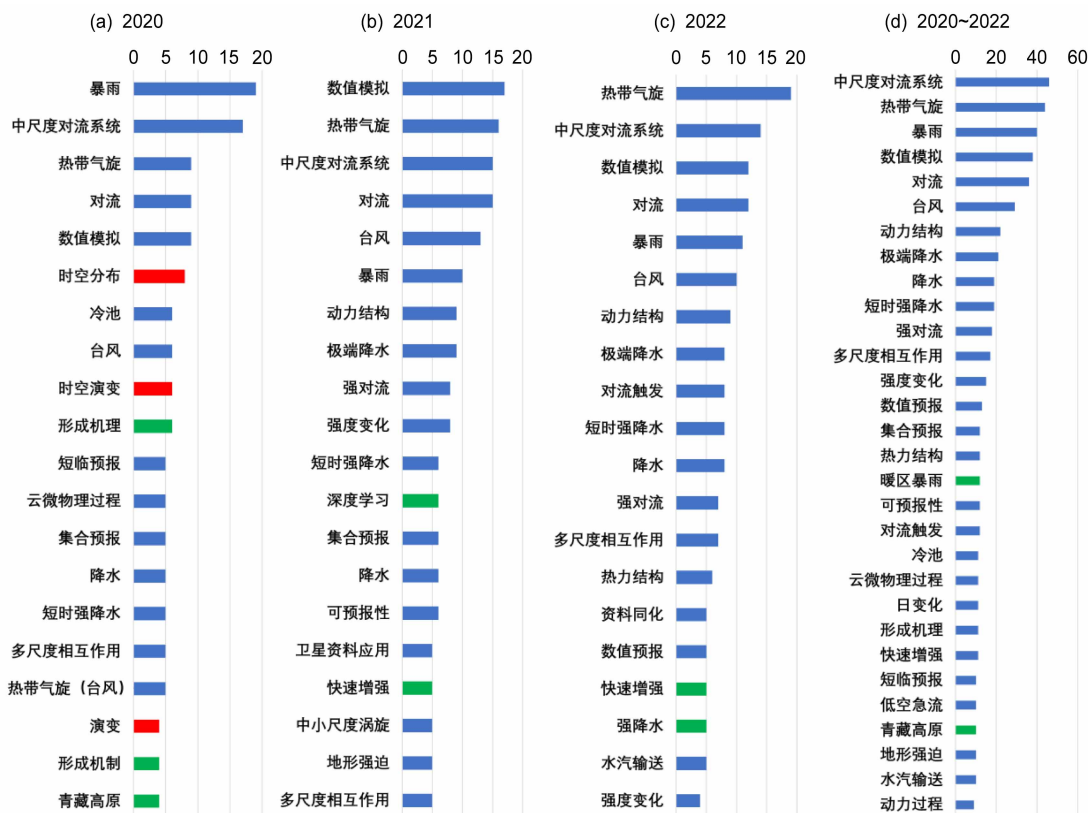


图1 2020~2022年天气学申请书的前20个关键词使用情况。蓝(红)色代表在(不在)推荐列表里的关键词,绿色代表与推荐列表的关键词比较接近

Fig. 1 Usage of the top 20 keywords in the proposals in the synoptic meteorology from 2020 to 2022. The blue (red) color denotes the keywords included (not included) in the recommended list. The green color denotes keywords similar to those in the recommended list

短临预报。这一特点在这三年每个研究方向不少于4次使用的关键词列表(图2)里也有明显体现。

2022年修订关键词里3年均未被使用的关键词共有32个(图3),包含24个研究对象、4个机理和物理过程、4个预报技术。这些关键词缺少关注的原因有几个方面。一是属于认知比较成熟的范畴,往往很少被作为关键词,更多的可能是作为对其他天气系统的影响背景。包括西风槽、极涡、副热带高压、热带辐合带、高空急流、干线、切变线、罗斯贝波、开尔文波、东风波。这些关键词在未来不同系统相互作用的研究里是可能用到的。二是理论性比较强且认知有限的内容,包括涡旋波、涡旋罗斯贝波、惯性重力波、边界层滚涡、不稳定性、波流相互作用、非线性过程。三是比较经典且空间尺度比较大的灾害性天气。这类灾害性天气的预报能力相对较高,可能是关注度较低的原因,包括持续性降水、寒潮、低温阴雨、沙尘暴。这类天气一旦出现,有可能会造成较大的社会影响。四是

考虑了包容性因而与其他的关键词有一定的重叠。包括气旋、中尺度低涡、低能见度。气旋与低涡、冷涡、极涡、切断低压有重叠,中尺度低涡与低涡、中尺度低压、中小尺度涡旋、热带气旋有重叠。低能见度与大雾、沙尘暴有重叠。机理和过程方向,路径突变源于以往热带气旋的研究热点,目前人们更多地关注结构和强度变化,对路径突变的研究减少,但路径突变的预报难度还是存在的,仍需要进一步研究。预报技术方向的四个关键词确是需要深入研究的内容,只是这三年缺少关注。

4 关键词解读与说明

4.1 研究方向1: 大尺度天气系统

按经典尺度划分,水平范围2~2000 km的称为中尺度天气系统,生命期为几小时到几天,2000 km以上的称为大尺度天气系统,生命期为几天到十几天。人们有时把1000~3000 km的也称为天气尺度天气系统,生命期为一天到三天,把200~2000 km

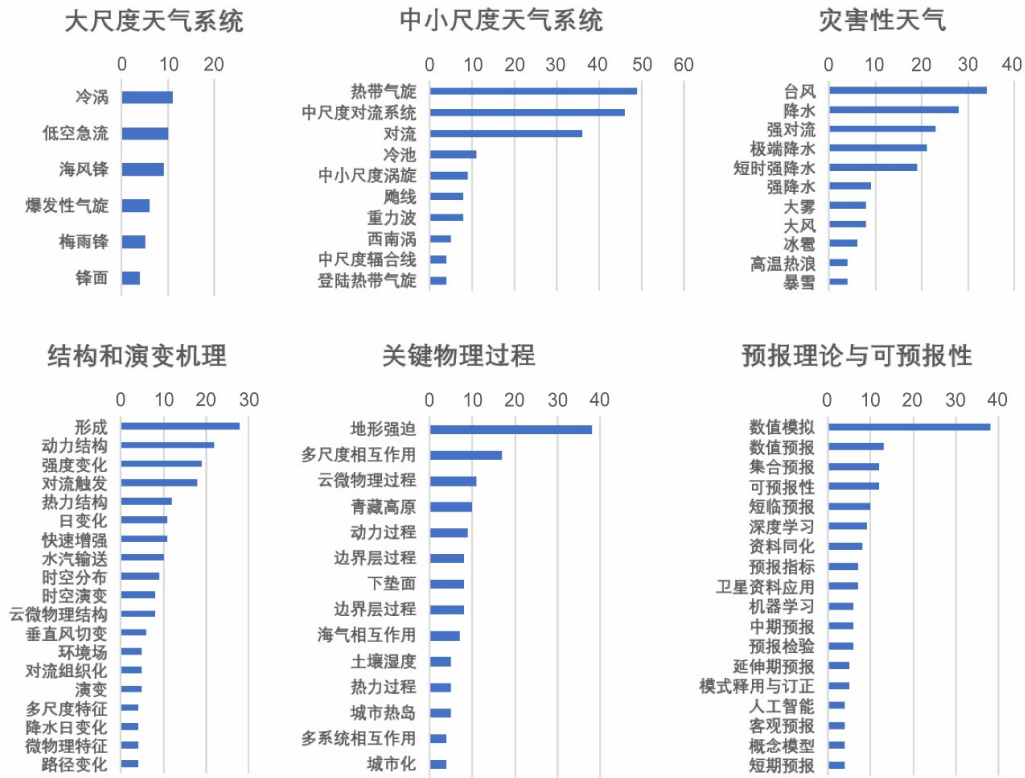


图 2 2020~2022 年天气学申请书各研究方向使用频次不小于 4 次的关键词
Fig. 2 Keywords used at least four times in the proposals from all research directions in synoptic meteorology from 2020 to 2022

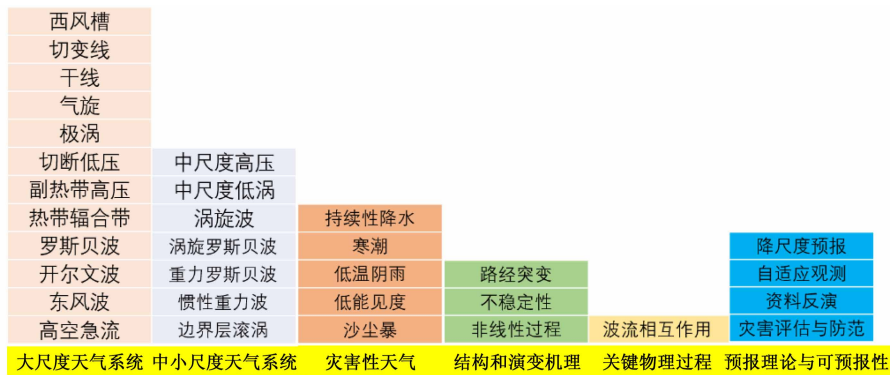


图 3 2022 年天气学修订关键词里 2020~2022 年均未被使用的关键词
Fig. 3 Keywords in the updated 2022 version but not used in the proposals from all research directions in synoptic meteorology from 2020 to 2022

的也称为次天气尺度天气系统，生命期为 10 小时到一天，把等于或大于天气尺度的天气系统也称为大尺度天气系统。研究方向 1 里包含的就是该意义下的大尺度天气系统。包含气团交界面、低压、高压和波动四个类别。气团交界面类别包含锋面（包含冷锋和暖锋）、准静止锋、具有我国特色的梅雨锋、以及干湿气团交界面的干线。低压类别包含西风槽、低涡、冷涡、极涡、切断低压、季风槽、热带辐合带。高压类别包括阻塞高压、副热带高压、

南亚高压。波动类别包含罗斯贝波、开尔文波、东风波。此外，还包含了一些风场上具有独特的水平或垂直分布的天气系统，包括气旋（多指温带气旋）、切变线、高空急流、低空急流。考虑极地天气的前沿性，除了在低值系统里列了极涡之外，也把极地天气系统作为一个关键词。

4.2 研究方向 2：中小尺度天气系统

该研究方向包含的是时空尺度低于 4.1 节所列大尺度类别的天气系统。不同于大尺度天气系统，

中小尺度系统多伴随着较大的气压、温度和风的梯度。中小尺度系统是气压场向风场适应,因此风场特征占主导,特别是垂直速度比较大的对流系统,包括对流、中尺度对流系统、飑线、超级单体、龙卷。伴随着较大温度梯度的有下击暴流、冷池、阵风锋、海风锋、中尺度环流。这一方向同样分为低压、高压、波动和独特的风场特征系统多个类别。低压系统包含中尺度低压和中尺度低涡;高压系统包括中尺度高压;波动包括涡旋波、重力波、涡旋罗斯贝波、重力罗斯贝波、惯性重力波;具有独特风场特征的包括热带气旋、中小尺度涡旋、中尺度辐合线、边界层滚涡(又名对流卷)。

4.3 研究方向 3: 灾害性天气

该研究方向服务防灾减灾的重大需求,选取了典型的涵盖多个尺度的灾害性天气。这个研究方向具有时空尺度和灾害种类两个类别。时空尺度类别包含了大尺度灾害天气包括寒潮、低温阴雨、雨雪冰冻、高温热浪;中小尺度灾害天气包括暴雨、短时强降水、极端降水、强对流、雷暴、雷电、冰雹、焚风、台风、低能见度、大雾、沙尘暴、暴雪。大、中、小尺度兼具的有大风、降水、持续性降水、高影响天气。

灾害种类可分为与降水、风、温度、能见度相关的致灾性天气。降水类包含暴雨、降水、短时强降水、持续性降水、极端降水、雨雪冰冻、暴雪。风类包括大风、焚风。温度类包含寒潮、低温阴雨、高温热浪。风雨交加类主要是台风和对流性天气(包含强对流、雷暴、雷电、冰雹)。能见度类包括低能见度、大雾、沙尘暴。

高影响天气列为一个关键词增加了天气与社会科学的交叉融通,关注天气变化的经济、社会影响效应,积极思考应对措施,服务于国家和人类社会中的减灾防灾战略。关于高影响天气的定义,目前学界存在一些误解。很多的灾害性天气,特别是经济损失或人员伤亡比较大的都具有较高的社会影响。但并不是所有的灾害性天气都是高影响天气,比如发生在无人区的龙卷风,即便强度很强,如果没有造成任何灾害甚至都有可能不被发现,就不是高影响天气。有的天气虽然没有致灾性,但对社会活动、生产、生活造成较大影响,也属于高影响天气。与此相关的,极端天气有时也会被误认为高影响天气。极端天气是指某一个特征发生频率很低的天气,一般用气候发生频率的前 3% 界定,如极端

降水、极端低温、极端高温等。具有高社会影响的极端天气才可称之为高影响天气。同样,高影响天气并不一定具有极端性。

台风是西北太平洋热带气旋的别名。台风在我国热带气旋等级划分上有严格的定义,按照底层中心附近最大平均风速等级分为热带低压($10.8\sim 17.1\text{ m s}^{-1}$, 风力 6~7 级)、热带风暴($17.2\sim 24.4\text{ m s}^{-1}$, 风力 8~9 级)、强热带风暴($24.5\sim 32.6\text{ m s}^{-1}$, 风力 10~11 级)、台风($32.7\sim 41.4\text{ m s}^{-1}$, 风力 12~13 级)、强台风($41.5\sim 50.9\text{ m s}^{-1}$, 风力 14~15 级)和超强台风($\geq 51.0\text{ m s}^{-1}$, 风力 16 级以上)。我国习惯上用台风代表热带气旋。这个关键词的使用频率很高,因此除了在中小尺度天气系统里列了热带气旋之外,在灾害性天气这个方向也列了台风,这样设置不影响对评审专家的匹配。

4.4 研究方向 4: 天气系统结构和演变机理

这个研究方向的划分考虑了研究对象的结构、演变及其环境条件三个类别。随着观测手段特别是各种遥感观测手段的进步,天气系统或天气现象的结构特征研究逐渐成为可能。对结构的准确认知也直接关系着灾害的分布和预警。结构类别包括动力结构、热力结构、云微物理结构、边界层结构。

演变类别包括触发、对流自聚合、形成、对流组织化、强度变化、强度突变、路径变化、路径突变、移动传播、日变化、台风变性、非线性过程。形成一般指某一类天气系统达到一定强度、长度等指标的阶段,可用于所有天气系统。触发则多指强对流天气出现并达到某一个强度的过程,是强对流发展的初始阶段,一般不用于非对流系统。对于强对流系统而言,触发和形成是不同的。比如飑线的触发一般指雷达回波首次达到 35 dBZ 的过程,而形成则一般指 40 dBZ 回波长度达到 100 km 的时间维持至少 3 小时的初始时刻。移动传播这个关键词有两层含义,移动指的研究对象作为一个整体的位移,而传播方向指的是多单体对流系统里新生单体的发生方向。这两个特征的决定因素和方向往往不一样,整个系统的移动方向是单体移动方向和传播方向的矢量之和。

非线性过程这个关键词比较宽泛,指天气系统的非线性演变过程。真实的天气过程都具有不同程度的非线性。一些过程的非线性特征比较显著,比如天气系统演变过程中的突变特征。中小尺度天气系统的演变往往具有明显的非线性。一些大尺度的

天气过程也具有非线性特征, 比如阻塞过程。

对流组织化和对流自聚合是两个具有类似含义的关键词, 比较容易引起混淆。对流组织化指的是对流风暴的存在形式, 包括单体、分布杂乱的单体群、排列成线状的单体群、超级单体。对流的组织化类型与其造成灾害性天气的强度、范围和持续时间密切相关。对流组织化可用于观测或模拟的对流风暴。对流自聚合是对流组织化的一个子集, 指的是辐射对流平衡、边界层条件和强迫均一条件下的云解析数值模拟中, 湿对流单体自发地组织为一个或多个独立的单体群 (Wing et al., 2017)。对流自聚合是国际上热带地区对流活动机理研究中的热点话题, 例如, 对流自聚合和热带气旋形成的关系研究就是目前的一个前沿方向。

研究对象发生、发展所在的环境条件类别包括环境场、不稳定性、垂直风切变、水汽输送。不稳定性、垂直风切变和水汽输送是深湿对流发生的重要环境条件。对这些环境条件的准确认知和预报是短期天气预报和对流潜势预报的关键。

4.5 研究方向 5: 关键物理过程

该研究方向关注影响天气系统和天气现象发展演变的物理过程和机制。关键词的选择充分体现了与其他学科方向的交叉融通。关键词的分类有单一过程和多过程相互作用两个类别。单一过程包括动力过程、热力过程、非绝热加热、不稳定过程、云微物理过程、湍流过程、气溶胶效应等内部过程, 以及辐射过程、边界层过程、陆面过程、下垫面强迫、地形强迫、高原影响、城市热岛等外强迫过程。根据关键词使用情况, 2022 年新增加了土壤湿度, 可以近似归属于外强迫类别。这部分的关键词体现了天气学与大气动力学以及大气化学、大气物理学等具有不同母学科背景分支学科的交叉。多过程相互作用类别包括多尺度相互作用、多系统相互作用、波流相互作用、海气相互作用、陆气相互作用和能量转换, 体现了多尺度、多过程、多圈层、多学科的交叉。特别是多尺度相互作用的使用次数显著增多 (图 1), 曾多次被作为天气学研讨会的名称。天气系统虽被划分为多个时空尺度, 但不同尺度系统之间存在着复杂的相互作用和能量反馈, 直接影响着数值模式各种尺度上的预报误差。

4.6 研究方向 6: 预报理论与可预报性

该研究方向的主题是预报技术应用, 包含预报时效、预报种类、预报检验、产品释用、目标观测、

观测应用、灾害预警和防范、新兴预报技术等多个类别。预报时效类别包含短临预报、短期预报、中期预报、延伸期预报。预报种类类别包含大涡模拟、客观预报、动力统计预报、降尺度预报、网格预报、集合预报。产品释用类别包含预报检验、模式释用与订正。目标观测类别包含外场观测试验、自适应观测、目标观测。观测应用类别包含多源资料融合、资料同化、资料反演、卫星资料应用、雷达资料应用。灾害预警和防范类别包含灾害预报预警和灾害评估与防范。新兴预报技术类别包含大数据和人工智能。数值模拟和数值预报属于两个包容性关键词。

可预报性这个关键词的含义在学界比较模糊。美国气象学会关于可预报性的定义是基于对某一个天气系统目前和过去状态的认知对其未来状态的可预报上限 (American Meteorological Society, 2022a)。由于天气系统的非线性特征、以前和目前的信息以及预报模式都是有误差的, 因而可预报性本质上大多是有限的。即使模式和观测任意精确, 一个物理系统的可预报性也多是有限的。Lorenz (1963) 最早提出了可预报性的概念。大气的可预报性通常分为两类 (Lorenz, 1996; Melhauser and Zhang, 2012): 实际可预报性和本性可预报性。实际可预报性关注当前水平下对天气过程能够准确预报的最长时限 (Lorenz, 1996), 主要受限于目前数值模式和初始场的误差 (Lorenz, 1982, 1996)。本性可预报性关注使用近乎完美的数值模式和初始场对天气过程能够准确预报的最长时限 (Lorenz, 1996), 主要受限于天气系统内部的动力过程和误差增长机制 (Lorenz, 1969, 1996)。在最理想的情况下, 随着数值模式和初始场误差的持续减小, 实际可预报性将会逼近本性可预报性。本性可预报性的研究范畴比较容易界定, 多是考察很小的初始扰动的增长特征和机制。实际可预报性却往往被混同于预报检验中的误差分析, 而预报时限的特征却往往被忽略。例如, 采用不同的物理参数化方案对一次飑线过程进行模拟, 如果只是对比分析每个模拟结果与观测飑线的差异, 而不关注对飑线的形成或触发时间的预报时限变化, 就不能严格地归于飑线过程的可预报性研究。

大涡模拟也是一个容易被误用的关键词。大涡模拟是近十多年来发展起来的研究湍流运动的一种重要手段, 指的是湍流运动的三维数值模拟中比关注系统尺度小的大涡可以被解析, 但其他次网格的

涡动效应被参数化 (American Meteorological Society, 2022b)。湍流运动是由许多大小不同的涡组成的。大涡对平均流动有明显影响, 大量的质量、热量、动量、能量交换是通过大涡实现的, 小涡的作用表现为耗散。大涡具有明显的各向异性, 小涡更接近各向同性, 因而较易于建立有普遍意义的模型。于是人们把湍流运动分成大尺度和小尺度两部分, 小尺度量通过模型建立与大尺度量的关系, 大尺度量通过数值计算得到。大涡模式的空间格距减小到惯性子区, 使得大涡可以被解析, 次网格只包含通过分子粘性力对能量输送和耗散从而可以忽略不计或作参数化处理的小涡。

自适应观测和目标观测两个概念也容易混淆。自适应观测指的是自动启动识别观测目标并跟踪捕获其动态演变信息, 还可以自动切换观测模式, 快、精、准地获取对流多维结构, 为气象监测、预报、预警提供支撑。目标观测 (或适应性观测) 多指通过计算观测敏感区, 在敏感区内做额外的观测, 以达到同化这些观测而最大程度地减小目标预报量的误差。

大数据和人工智能是近几年的新兴技术。大数据的含义是对海量数据进行分布式数据挖掘, 通过对数据的加工, 挖掘数据背后的应用价值。人工智能是计算机科学的一个分支, 是研究开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统, 主要目标是使机器能够胜任一些通常需要人类智能才能完成的复杂工作。人工智能由机器学习、计算机视觉等不同领域组成。机器学习是利用数据挖掘技术或者其他算法, 构建隐藏在数据中的模型并用于预测。结合数值天气预报以及海量的气象观测数据, 机器学习有可能在气象领域发挥巨大的作用。目前已有许多机器学习或深度学习应用于气象领域的成功案例, 例如, 对流雷达重构 (Duan et al., 2021)、模式误差订正 (Han et al., 2021b)、短临预报 (Han et al., 2021a) 等等。由于关键词总数的限制, 目前的列表无法穷举各种机器学习算法, 暂一并由人工智能代表。

5 研究方向和关键词选择的注意事项和建议

每个申请书可以选择 5 个关键词。这 5 个关键词的选择对突出申请的核心关键内容和评审专家的

匹配至关重要。一般来讲, 要有一个关键词给出核心研究对象, 一到两个关键词给出研究的核心物理过程或影响系统, 一到两个关键词给出核心的研究方法。如第 2 节框架设计里所述, 天气学下设的 6 个研究方向是并列的, 分属研究对象、结构和演变、物理过程、预报方法。申请人可以在前 3 个方向里选择研究对象, 在第 4 和第 5 个研究方向里选择研究内容, 在第 6 个研究方向里选择研究方法。各部分的关键词基本不重叠。每个方向内部会有部分关键词有交叉或包含关系。申请人需要选择最接近研究对象和核心研究内容的关键词。

建议申请人优先选择关键词列表中的词汇。如果不使用推荐列表的关键词, 而是自己添加关键词, 往往会造成添加的关键词与其他方向里的推荐关键词意思接近但写法不一样, 不利于申请书精准指派。

本文通过对不在推荐列表里的关键词的分析, 主要发现以下几个问题: (1) 关键词过细。多为推荐列表里的关键词加了定语或者是某一推荐关键词的分支。建议申请人把过于细化的关键词用推荐列表里意思最接近的关键词代替。每个研究方向里都有一些包含性很强的关键词, 比如对流、降水、数值预报、数值模拟等, 实在找不到合适的关键词就建议使用这些包含性比较强的关键词, 起码能确保匹配的大方向准确。比如, 暖区暴雨可改为暴雨, 登陆热带气旋可改为热带气旋, 初值扰动可改为集合预报, 深度学习可改为人工智能等。(2) 多个关键词组合。比如, 降水日变化可拆分为降水和日变化两个词。(3) 非核心内容的关键词。比如, 地名, 推荐列表里没有把纯地名作为关键词。建议申请人针对科学内容选择关键词。申请书关键词和发表文章的关键词有一定差异, 地名出现在文章关键词里是可以的, 但不适合出现在申请书的关键词里。(4) 含义不确定、不完整。比如, “特征提取” “梯度异常” “权重推荐” 等。(5) 常规物理量。比如, “温度” “垂直运动” “阈值” “成因” “云参量” 等。申请代码和关键词工作组将进一步征询科学界的意见, 适时提出关键词优化方案。

关键词是用来自动匹配评审专家的。评审专家是从关键词列表里选择合适的关键词来界定自己的研究范畴, 申请人只有从推荐列表里选择最能反映自己申请书或研究领域核心内容的关键词才能为申请书匹配到最合适的评审专家。申请人自己添加不在列表里的关键词往往会给智能辅助指派系统精准

指派带来困难。天气学作为大气科学的基础学科, 大气科学其他二级学科的研究或多或少会涉及到与天气学的交叉。目前其他二级学科的申请代码下也包含了一些天气学申请代码的关键词。建议申请人在申请项目核心科学内容隶属的二级学科申请代码中选择关键词, 这样更利于匹配到合适的评审专家。

6 结语

天气学的研究方向设置和其他二级申请代码下研究方向的思路有很大不同。目前以研究对象、结构和演变机理、物理过程和预报技术而不是真正的研究方向设置, 优点是涵盖了传统研究的各个方面, 也比较有利于自由探索、发展学科新的生长点, 也比较符合申请人的研究习惯。缺点是研究内容比较分散, 学科发展的导向性不强, 后期也难以做研究方向的统计分析。未来有待基于天气学的国内外研究态势对天气学申请代码下的研究方向和关键词做进一步的优化。也希望通过大气科学领域专家的深度研讨, 对大气科学所有二级申请代码下的研究方向和关键词做进一步的优化, 以更有效地促进多学科平衡发展。

致谢 感谢所有参与天气学二级申请代码下关键词讨论的专家, 特别是专题顾问谈哲敏、费建芳、闵锦忠、李跃清教授的指导和建议。

参考文献 (References)

- American Meteorological Society. 2022a. Predictability [EB/OL]. Glossary of Meteorology. <http://glossary.ametsoc.org/wiki/predictability> [2022-11-11]
- American Meteorological Society. 2022b. Large eddy simulation [EB/OL]. Glossary of Meteorology. https://glossary.ametsoc.org/wiki/Large_eddy_simulation [2022-11-11]
- Duan M S, Xia J J, Yan Z W, et al. 2021. Reconstruction of the radar reflectivity of convective storms based on deep learning and Himawari-8 observations [J]. Remote Sensing, 13(16): 3330. doi:10.3390/rs13163330
- Han L, Zhao Y Y, Chen H N, et al. 2021a. Advancing radar nowcasting through deep transfer learning [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 60: 4100609. doi:10.1109/TGRS.2021.3056470
- Han L, Chen M X, Chen K K, et al. 2021b. A deep learning method for bias correction of ECMWF 24–240 h forecasts [J]. Adv. Atmos. Sci., 38(9): 1444–1459. doi:10.1007/s00376-021-0215-y
- 刘哲, 丁爱军, 张人禾. 2020. 调整国家自然科学基金申请代码, 优化大气学科资助布局 [J]. 科学通报, 65(12): 1068–1075. Liu Z, Ding A J, Zhang R H. 2020. Adjusting application codes and optimizing funding layout for the discipline of atmospheric sciences in the National Natural Science Foundation of China [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 65(12): 1068–1075. doi:10.1360/TB-2020-0146
- Lorenz E N. 1963. Deterministic nonperiodic flow [J]. J. Atmos. Sci., 20(2): 130–141. doi:10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2
- Lorenz E N. 1969. The predictability of a flow which possesses many scales of motion [J]. Tellus, 21(3): 289–307. doi:10.3402/tellusa.v21i3.10086
- Lorenz E N. 1982. Atmospheric predictability experiments with a large numerical model [J]. Tellus, 34(6): 505–513. doi:10.3402/tellusa.v34i6.10836
- Lorenz E N. 1996. Predictability—A problem partly solved [R]. ECMWF Seminar on Predictability.
- Melhauser C, Zhang F Q. 2012. Practical and intrinsic predictability of severe and convective weather at the mesoscales [J]. J. Atmos. Sci., 69(11): 3350–3371. doi:10.1175/JAS-D-11-0315.1
- 孟智勇, 张福青, 罗德海, 等. 2019. 新中国成立 70 年来的中国大气科学研究: 天气篇 [J]. 中国科学: 地球科学, 49(12): 1875–1918. doi:10.1360/SSTe-2019-0175
- Meng Z Y, Zhang F Q, Luo D H, et al. 2019. Review of Chinese atmospheric science research over the past 70 years: Atmospheric physics and atmospheric environment [J]. Science China Earth Sciences, 62(12): 1946–1991. <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9534-6>
- Wing A A, Emanuel K, Holloway C E, et al. 2017. Convective self-aggregation in numerical simulations: A review [J]. Surv. Geophys., 38(6): 1173–1197. doi:10.1007/s10712-017-9408-4

附录 A

表 A1 天气学 D0501 申请代码的下设研究方向及关键词的英文表述

Table A1 Research directions and keywords in English under the application code D0501 Synoptic Meteorology

Research directions	Keywords
Large-scale weather systems	front, Meiyu front, quasi-stationary front, westerly trough, shear line, dry line, cyclone, low-pressure vortex, cold vortex, polar weather system, polar vortex, blocking high, cut-off low, subtropical high, South Asian high, monsoon trough, tropical convergence zone, Rossby wave, Kelvin wave, easterly wave, upper-level jet, low-level jet
Mesoscale and small-scale weather systems	convection, mesoscale convective system, squall line, downburst, cold pool, gust front, supercell, tornado, mesoscale high, mesoscale low, mesoscale and small-scale eddy, mesoscale low eddy, tropical cyclone, vortex wave, gravity wave, vortex Rossby wave, Rossby-gravity wave, inertial gravity wave, mesoscale circulation, mesoscale convergence line, sea breeze front, boundary-layer roll vortex
Severe weather	heavy rain, precipitation, short-term heavy precipitation, persistent precipitation, extreme precipitation, severe convection, thunderstorm, thunder and lightning, hail, strong wind, typhoon, cold wave, blizzard, freezing rain, low temperature and rain, high temperature and heatwave, foehn, low visibility, heavy fog, dust storm, high impact weather
Weather system structure and evolution mechanism	dynamic structure, thermal structure, cloud microphysical structure, boundary-layer structure, initiation, convective self-aggregation, formation, convective organization, intensity change, sudden change in intensity, path change, sudden change in path, propagation, diurnal variation, environmental field, instability, vertical wind shear, water vapor transport, nonlinear process, extratropical transformation of typhoon
Key physical processes	dynamic process, thermodynamic process, diabatic heating, unstable process, cloud microphysical process, aerosol effect, radiation process, boundary-layer process, turbulent process, land surface process, soil moisture, energy conversion, multiscale interaction, multisystem interaction, wave-current interaction, air-sea interaction, land-atmosphere interaction, underlying surface forcing, topographic forcing, plateau influence, urban heat island
Forecast theory and predictability	Numerical simulation, large eddy simulation, objective forecasting, numerical forecasting, dynamic statistical forecasting, downscaling forecasting, grid forecasting, nowcasting, short-term forecasting, medium-term forecasting, extended-range forecasting, ensemble forecasting, predictability, model output interpretation and correction, forecast verification, big data, artificial intelligence, field experiment, adaptive observation, target observation, multi-source data fusion, data assimilation, data inversion, satellite data application, radar data application, disaster forecast and early warning, disaster assessment and prevention