

国家自然科学基金地球物理学和空间物理学学科布局规划研究

程惠红*, 孙长青, 王聪

国家自然科学基金委员会地球科学部, 北京 100085

* 联系人, E-mail: chenghh@nsfc.gov.cn

2020 年是国家自然科学基金委员会全面推进实施科学基金升级版改革之年。面向新时代自然科学基金深化改革新局面, 地球物理学和空间物理学学科按照改革方案和地球科学部对优化学科申请代码的统一部署, 对学科现有申请代码进行了重新梳理、整合和拓展, 以五大分支学科为基础, 构建多层次和多维度的二级申请代码新体系, 优化了学科布局。新代码体系强调了地球物理学和空间物理学等基础学科面对世界科技前沿, 在源头创新和原始创新中的引领作用; 突出了应用地球物理学等应用学科在解决国家重大需求及面对国民经济主战场中的技术支撑作用; 着重体现了发展行星物理学新学科, 对地球科学与行星科学深度交叉的核心推动作用。新代码体系明确了学科发展目标, 提高了包容性, 涵盖了更多的研究方向, 并突出交叉学科领域和未来重点发展方向, 以期能进一步提升我国地球物理学和空间物理学的基础研究水平和国际竞争力, 推动行星物理学新学科发展, 为新时期地球科学部的深海、深地、深空和地球系统战略部署及国家中长期科学和技术发展战略规划提供学科支撑。

1 新时期国家自然科学基金改革举措

习近平总书记在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上指出“全面深化科技体制改革, 提升创新体系效能, 着力激发创新活力。创新决胜未来, 改革关乎国运。科技领域是最需要不断改革的领域。”^[1]。作为我国基础研究的资助主渠道之一, 国家自然科学基金委员会(简称自然科学基金委)坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导, 认真贯彻落实党的十九大和十九届二中、三中全会精神, 深入分析我国基础研究和科学基金发展面临的新形势新任务要求, 在反复研究并广泛征求意见的基础上, 形成了新时代科学基金深化改革的总体目标和改革思路^[2,3]。

根据自然科学基金深化改革的总体部署和自然科学基金委地球科学部的整体工作思路, 在主管委领导侯增谦的指导下, 地球科学部全面推进优化学科布局, 积极开展战



程惠红 博士, 国家自然科学基金委员会地球科学部。现负责地球物理学和空间物理学学科项目管理和资助战略研究等工作。

略研究, 延伸了地球科学深海、深地、深空和地球系统(“三深一系统”)的前沿新构思, 提出了以地球系统的过去、现今和未来及其宜居性为核心的优先领域布局, 强调各学科交叉融通, 构建了“十四五”乃至未来 15 年地球科学发展的总体布局, 支撑新时期地球科学的基金资助工作。

根据科学基金深化改革的整体安排, 地球科学部通过系统梳理各学科的定义和未来学科发展需求, 明确提出了申请代码优化调整的 3 个基本原则: 明确学科基础和分支学科领域、学科的新兴和交叉学科领域、学科需求和支撑学科领域。调整后的申请代码更好地反映了学科的逻辑体系和架构, 适应自然科学基金委优化学科布局、分类评审的要求, 服务新时期地球科学部的“三深一系统”战略部署及国家中长期科学和技术发展战略规划。

2 学科代码发展现状和存在问题

2.1 自然科学基金委学科申请代码体系

20 世纪 80 年代初, 中国科学院 89 位院士(学部委员)致函党中央、国务院, 建议设立面向全国的自然科学基金。1986 年 2 月 14 日, 国务院正式批准成立国家自然科学基金委员会(<http://www.nsfc.gov.cn/publish/portal0/jgsz/01/>)。为了方便项目申请受理和遴选评审专家, 以及更好地进行科学基金管理, 在参考国外多个科学基金组织申请代码的基础上, 自然科学基金委以学科体系为框架, 针对科学研究设置了多层次、综合性的编码体系^[4,5]。期间, 鉴于科学

基金学科分类体系的重要性,确保学科界定、分类、划分及均衡协调发展,自然科学基金委进行了适时修订完善学科分类及代码体系。经过30多年的实践,该代码体系已形成合理的基础研究资助格局,是学科前沿发展方向和资助战略导向的指南^[6,7]。

申请代码是科技人员和基金管理之间的一座桥梁。通过申请代码,申请人可以清晰明确地选择所属的分支学科,基金管理可以更好地遴选相应的同行评议专家。同时,申请代码是学科门类属性,一方面决定了学科资助范围的内涵和外延,另一方面体现了学科知识体系的科学性、系统性和前瞻性。因此,学科申请代码调整是落实新时代科学基金优化学科布局重要的组成部分。在当前新一轮科技革命蓬勃兴起的时代背景下,通过梳理学科,优化学科布局,提高申请代码的包容性和覆盖面,加强对跨学科甚至跨学部大交叉研究的支持,进而更好地落实新时代科学基金改革和对接自然科学基金委地球科学部“三深一系统”战略部署的顶层设计^[8]。

自然科学基金委地球科学部成立时,设置了包含地球物理学(学科申请代码:D04)在内的6个学科(D01~D06),从1987年开始设立二级申请代码(共82个)。2008年,全委进行申请代码改革,地球科学部在原有的6个一级申请代码的基础上,大规模地设立三级申请代码,形成了75个二级申请代码、52个三级申请代码的学科布局。2018年,自然科学基金委地球科学部成立了环境地球科学学科(D07),构成了7个一级申请代码、95个二级申请代码和65个三级申请代码的学科格局。

2.2 D04 学科申请代码历史沿革与发展

D04 学科申请代码演化可分3个阶段。在自然科学基金委成立之年(1986年),地球物理学学科设置1个一级申请代码D04。1987年,自然科学基金委地球科学部各个学科均设立了二级申请代码。根据学科体系和研究方向,D04学科设立了11个二级申请代码(D0401~D0411),见表1。随着空间物理学学科快速发展和空间环境对人类活动影响认知的提升,1988年增设了D0412空间环境科学,D04学科初步形成了12个二级申请代码的基本格局。

第二个阶段为三级申请代码的初设阶段(1989~2007年)。随着空间物理学研究对象的拓展,1989年,学科首次在二级申请代码D0410空间物理下设置了5个三级申请代码(D041001~D041005)。在随后的20年,自然科学基金委地球科学部各学科格局基本没有发生变化,D04学科的代码体系一直沿用。值得一提的是,随着空间物理学的发展壮大,1998年,D04学科名称也由“地球物理学”改为“地球物理学和空间物理学”。

第三个阶段是三级申请代码的大规模增设阶段(2008~2020年)。三级申请代码的增设,既反映各学科研究内容在

广度上不断拓展,也表明各方向研究快速走向更细致和精深层面。突出变化来自D0401大地测量学,随着该分支学科的快速发展和应用领域不断拓展,2008年在原有代码基础上,大地测量学增设了3个三级申请代码,并于2019年又新增了1个二级申请代码D0413工程测量学。此外,2008年勘探地球物理学更名为应用地球物理学,并进一步细分为D040901勘探地球物理学和D040902城市地球物理学两个三级申请代码。D0410空间物理在原来5个三级申请代码基础上,新增设了1个三级申请代码D041006行星物理学,并调整了三级申请代码D041004名称,由行星际物理学变更为太阳大气和行星际物理学。截至2020年,D04学科包含有13个二级申请代码和11个三级申请代码。二级申请代码在4个分支学科中的分布为:大地测量学2个(D0401和D0413)、固体地球物理学7个(D0402~D0408)、应用地球物理学1个(D0409)和空间物理学2个(D0410和D0412)。三级申请代码在4个分支学科分布:大地测量学3个、应用地球物理学2个、空间物理学6个。并且,固体地球物理学的7个二级申请代码和D0411地球物理实验与仪器,除了个别代码名称略有改动外,基本没有调整。

2.3 2010~2020 年 D04 学科各个二级申请代码项目申请和资助情况

图1给出了2010~2020年D04各个二级申请代码面上项目申请数和资助数的情况。可以看出,各个二级申请代码的项目申请数和资助数之间差距较大,呈现出不均衡分布。具体体现:D0401、D0409、D0410和D0402申请量相对较高(>10%)。11年申请项目总数占比分别为22.53%、25.39%、15.84%和12.70%。然而,D0403、D0412和D0406申请量较低(<4%),11年面上项目申请总数分别占比为3.42%、1.77%和0.75%。但是,4个分支学科申请数和资助数逐年变化相对稳定,也相对均衡。将11年申请项目数据加和统计,固体地球物理学、应用地球物理、大地测量学和空间物理学分别占总申请数的37.17%、21.87%、20.67%和20.29%。

2.4 D04 学科旧版申请代码存在问题

旧版的学科申请代码在学科发展过程中发挥过重要作用,也在发展的过程中进行了适度的动态调整,如在1988年新增了D0412空间环境科学,在2019年新增了D0413工程测量学。然而,当前的二、三级申请代码共存的局面尚存一些问题,不利于学科交叉融合,难以满足新时代学科发展的需求,迫切需要改革。经过多次学科调研、专家分析讨论,D04学科旧版申请代码反映的问题集中体现在以下三方面。

(i) 二级申请代码布局应进一步提升。目前,D04学科包含大地测量学、固体地球物理学、应用地球物理学和

表1 自然科学基金D04学科申请代码历史沿革情况^{a)}

The historical evolution for the application code system of D04 discipline of the National Natural Science Foundation of China (NSFC)				
第一阶段		第二阶段		第三阶段
1987年	1988年	1989~2007年	2008~2018年	2019~2020年
二级申请代码	二级申请代码	二级申请代码	二级申请代码	二级申请代码
三级申请代码	三级申请代码	三级申请代码	三级申请代码	三级申请代码
D0401 天文、动力 大地测量学	D0401 大地测量学	D0401 大地测量学	D040101 物理大地测量学 D040102 动力大地测量学 D040103 卫星大地测量学(含导航学)	D040101 物理大地测量学 D040102 动力大地测量学 D040103 卫星大地测量学(含导航学)
D0402 地震学	D0402 地震学	D0402 地震学	D0402 地震学	D0402 地震学
D0403 地磁学	D0403 地磁学	D0403 地磁学	D0403 地磁学	D0403 地磁学
D0404 电磁学	D0404 电磁学	D0404 电磁学	D0404 地球电磁学	D0404 地球电磁学
D0405 重力学	D0405 重力学	D0405 重力学	D0405 重力学	D0405 重力学
D0406 地热学	D0406 地热学	D0406 地热学	D0406 地热学	D0406 地热学
D0407 深部地球 物理学	D0407 深部地球物 理学	D0407 深部地球物理 学	D0407 地球内部 物理学	D0407 地球内部 物理学
D0408 地球动力学	D0408 地球动力学	D0408 地球动力学	D0408 地球动力学	D0408 地球动力学
D0409 勘探地球 物理学	D0409 勘探地球 物理学	D0409 勘探地球物理	D0409 应用地球 物理学	D0409 应用地球 物理学
			D040901 勘探地球物理学 D040902 城市地球物理学	D040901 勘探地球物理学 D040902 城市地球物理学
			D041001 高层大气 物理学	D041001 高层大气物理学
D0410 空间物理	D0410 空间物理	D0410 空间物理	D041002 电离层物理学 D041003 磁层物理学 D041004 太阳大气 和行星际物理学 D041005 宇宙线物理学 D041006 行星物理学	D041002 电离层物理学 D041003 磁层物理学 D041004 太阳大气和行星 际物理学 D041005 宇宙线物理学 D041006 行星物理学
D0411 地球物理 实验与仪器	D0411 地球物理 实验与仪器	D0411 地球物理实验 与仪器	D0411 地球物理实 验与仪器	D0411 地球物理学 和空间物理学实验 与仪器
	D0412 空间环境 和空间天气	D0412 空间环境和空 间天气	D0412 空间环境和 空间天气	D0412 空间环境和 空间天气
			D0413 工程测量学	D0413 工程测量学

a) 粗体字表示新增/变化

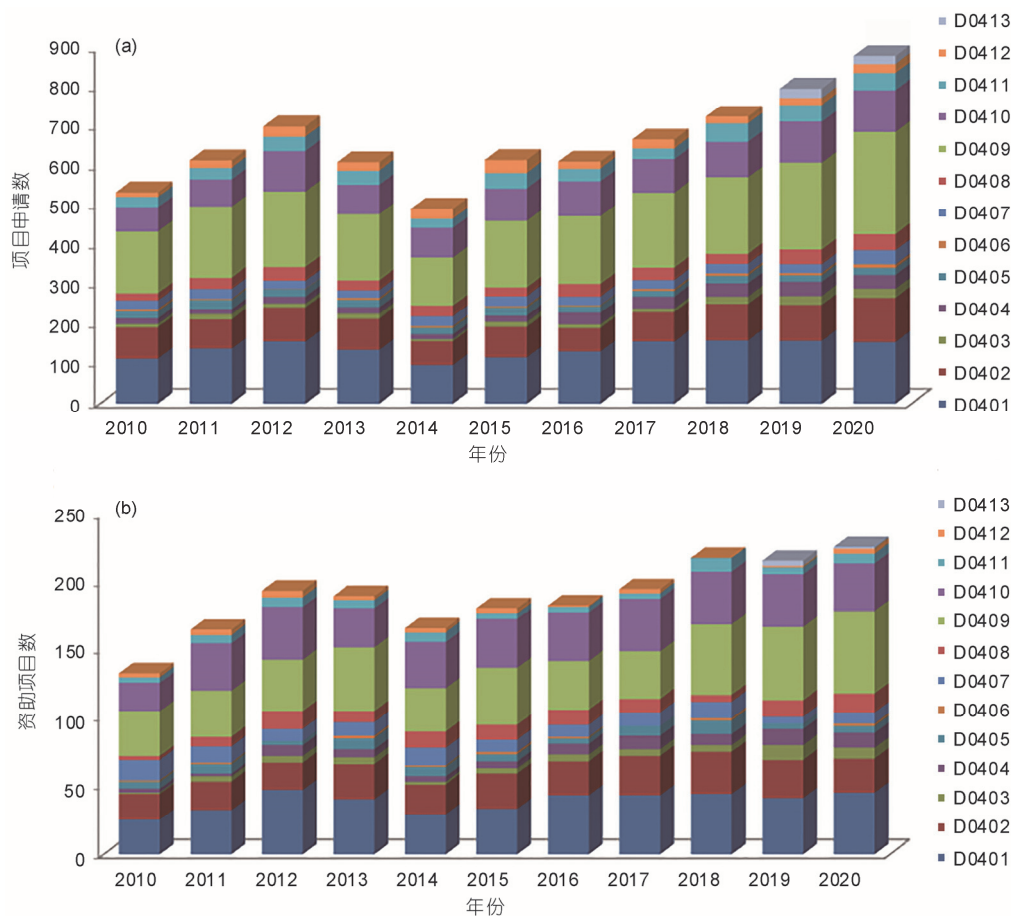


图1 2010~2020年D04学科各个二级申请代码面上项目申请数(a)和资助数(b)情况

Figure 1 Analysis of general programs received (a) and funded (b) in D04 classified by secondary application code since 2010

空间物理学4个分支学科和1个地球物理学和空间物理学实验与仪器二级申请代码。大地测量学方向包括D0401大地测量学和D0413工程测量学2个二级申请代码；空间物理学方向包括D0410空间物理与D0412空间环境和空间天气2个二级申请代码；应用地球物理学方向仅包括D0409应用地球物理学1个二级学科代码。相比较，固体地球物理学方向则包括D0402地震学、D0403地磁学、D0404地球电磁学、D0405重力学、D0406地热学、D0407地球内部物理学和D0408地球动力学7个二级申请代码。此外，D0411地球物理学和空间物理学实验与仪器方向为1个独立的二级申请代码，涵盖地球物理学和空间物理学的实验与仪器。可以看出，4个分支学科方向的二级申请代码布局不协调，与其他3个分支学科相比，固体地球物理学二级申请代码偏多，且30年来未作大的调整，需重新梳理、凝练和融合。

(ii) 三级申请代码分布不均。在旧版学科申请代码中，大地测量学、应用地球物理学、空间物理学均存在用二级申请代码代替学科方向的现象。为体现分支学科的差异性，在前期调整中，通过增设三级申请代码来细化学科。具体

来讲，D0401大地测量学二级申请代码下增设了3个三级申请代码(D040101物理大地测量学、D040102动力大地测量学、D040103卫星大地测量学(含导航学))；D0409应用地球物理学二级申请代码下增设了2个三级申请代码(D040901勘探地球测量学、D040902城市地球物理)；而D0410空间物理二级申请下则总共增设了6个三级申请代码(D041001高层大气物理学、D041002电离层物理学、D041003磁层物理学、D041004太阳大气和行星际物理学、D041005宇宙线物理学、D041006行星物理学)。相比较，其他9个二级学科则没有增设三级申请代码。

学科申请代码分得过细，既不利于学科交叉融合，又不能涵盖战略性新兴产业发展方向。比如，海洋测绘是当前有广泛国家需求的战略性新兴产业，在旧版学科代码分类中无法体现。新时代科学基金改革中也认识到所存在的问题，不提倡代码过细，学科不再设置三级申请代码。

(iii) 学科申请代码逻辑结构应进一步优化。首先，由旧版申请代码顺序来看，D0412空间环境和空间天气、D0413工程测量学是在前期代码微调过程中逐步增加的二级申请代码，从分支学科属性上D0412属于空间物理学，

D0413 属于大地测量学。其次,旧版各二级或三级申请代码有的代表学科方向,有的代表学科分支方向。比如,随着行星科学的快速发展,行星物理学已经成长为 D04 学科的一个重要分支学科。再次,旧版各二级申请代码申请体量差异大,需进一步加强学科态势的自然成长及学科长远发展规划。

3 D04 学科申请代码优化调整思路 and 方案

3.1 自然科学基金委顶层部署

优化学科布局是新时代自然科学基金系统性改革的三大主要内容之一,是构建符合知识体系内在逻辑和结构、促进科学前沿和国家需求相统一的学科布局的重要组成部分。申请代码是学科布局 and 知识体系顶层设计的主要抓手,也有助于更好指导科研人员更为便捷、准确地选择研究领域。申请代码必须紧扣学科的内涵和外延,不仅体现自然科学知识体系的创新性、前瞻性和融通过程,同时也要能向科学界释放自然科学基金委和学部资助战略的导向性信号及顶层设计的精神。申请代码调整从分支学科入手,贯彻自然科学基金委二级申请代码数不增加、不设置三级申请代码的精神。在分支学科的基础上构建二级申请代码,化繁为简,既注重学科传承,又凸显学科拓展与创新,把握当前学科主流及国家战略性新兴产业的拓展需求。申请代码的框架设计要清晰,在表述上要具有高度概括性和严谨性,其内容的体系性和结构性较原版代码均显著提高。

根据《科学基金学科布局改革任务第一阶段工作实施方案》(国科金政函[2019]73号)^[9]要求,学科优化布局 and 申请代码调整遵循3个基本原则:(1)明确学科基础和分支学科领域,新申请代码应面向本学科传统和基础的领域和方向,从而为学科发展提供基础理论支撑;(2)明确学科的新兴和交叉学科领域,新申请代码应面向国家需求、科学前沿以及学科交叉方向,为学科未来发展提供新的生长点;(3)明确学科需求和支撑学科领域,新申请代码能够为学科发展提供关键性技术、方法等“卡脖子”瓶颈问题的解决方案。

3.2 D04 学科申请代码调整原则

自然科学基金委地球物理学 and 空间物理学学科资助范围:地球物理学、空间物理学 and 大地测量学,旨在运用物理学和相关学科的理论 with 方法,结合观测 and 实验手段,认识地球、行星 and 日地空间结构、运行状态 with 演化的基本规律,探寻地球 and 行星内部资源,揭示地球 with 空间环境、人类宜居环境的变化特征 and 机理^[2]。按照学科性质划分,包括固体地球物理学、勘探地球物理学、空间物理学 and 大地测量学等领域的研究。

依照自然科学基金委关于学科代码调整的顶层部署,

遵循“地球物理学 and 空间物理学”学科发展和科学研究规律,并结合地球科学部具体情况,D04 学科申请代码调整总体遵循以下4个原则:(1)以学科现有申请代码为基础,梳理整体架构 and 逻辑层次,既要保持基础学科相对稳定,又要反映新兴学科 and 前沿领域;(2)申请代码领域不宜过窄,以保证各申请代码申请量相对均衡;(3)申请代码名称应简洁明了、科学准确;(4)不设三级申请代码,原有三级申请代码所涵盖的学科领域合理归入相应的二级申请代码。

通过学科代码的重新梳理、融合 and 凝练,新版 D04 学科代码具有以下两大特色:(1)继承传统,注重创新。学科申请代码整体架构不变,即遵循本学科知识体系的逻辑 with 结构的演化规律 and 发展趋势,又通过较粗的申请代码结构尽可能涵盖更多的研究方向,从而大幅度地提高申请代码的包容性和覆盖面,有利于促进学科交叉融合;(2)学科均衡,导向明确。围绕基础学科、前沿学科、应用学科均衡设置的原则,明确“固体地球物理学、空间物理学 and 大地测量学”三大分支学科为本学科的传统 and 基础,明确“应用地球物理学”是本学科对接国民经济主战场的应用学科,明确“地球 and 行星物理实验 with 仪器”是本学科发展的技术支持,明确“行星物理学”是本学科的新兴 and 交叉前沿领域。

3.3 D04 学科申请代码调整方案

通过充分地调研 and 广泛地征集广大科学家的意见和建议,新版地球物理学 and 空间物理学学科的分支学科由原来的4个变成5个(表2)。调整后的 D04 学科申请代码以分支学科 and 支撑技术为基础,基础、前沿 and 应用三者并重,形成了地球→空间→行星层次分明的多层次、多尺度 and 多维度的学科体系,有力助推传统的地球物理学 and 空间物理学向新时期地球科学学部的“三深一系统”战略体系转变。

调整后内容的体系性、结构性、逻辑性 and 拓展性均有显著提高,主要调整内容如下。

3.3.1 以分支学科为基础,构建多层次 and 多维度的有机架构

经过调整,D04 学科涵盖领域更为广泛,主要包括五大分支学科 and 一个实验 with 技术支撑:以对地观测理论 and 技术研究为重点的大地测量学(D0401~D0403);地球本体 and 内部探测、动力学机制研究为重点的固体地球物理学(D0404~D0407);以矿产、油气资源勘探开发和城市 with 工程建设勘探、环境与地质灾害监测研究为重点的应用地球物理学(D0408~D0410);以太阳、行星际空间、地球 and 行星的大气层、电离层、磁层等为研究重点的空间物理学(D0411 and D0412);以研究行星空间环境、中高层大气环境、表面环境、内部圈层结构、物质状态、物质成分、内部动力学等物理过程的行星物理学(D0413);以研制地球 and 行星科学相关的物理探测仪器 and 实验装备为重点的地球 and 行星物理实验 with 仪器(D0414)。

从学科继承 and 发展上看,新版学科二级申请代码 with 旧

表 2 地球物理学和空间物理学学科代码调整情况一览表

Table 2 Overview of the adjustments made to the application code system of the discipline of geophysics and space physics

学科布局	旧版二级申请代码	新版二级申请代码	调整说明
大地测量学	D0401 大地测量学	D0401 物理大地测量学	由原三级申请代码 D040101 物理大地测量学优化调整而来, 并整合原三级申请代码 D040102 动力大地测量学的研究内容
	D0413 工程测量学	D0402 卫星大地测量学	由原三级申请代码 D040103 卫星大地测量学(含导航学)优化而来
		D0403 应用大地测量	由原二级申请代码 D0413 工程测量学优化调整而来, 并包含城市和矿山相关大地测量相关内容
固体地球物理学	D0402 地震学	D0404 地震学	由原二级申请代码 D0402 地震学优化而来
	D0403 地磁学	D0405 地磁学和地球电磁学	由原二级申请代码 D0403 地磁学和 D0404 地球电磁学融合而成
	D0404 地球电磁学		
	D0405 重力学	D0406 重力学	由原二级申请代码 D0405 重力学优化调整而来, 并将原二级申请代码 D0401 大地测量学中有关重力学研究内容包括进来
	D0406 地热学	D0407 地球内部物理学和地球动力学(含地热学)	由原二级申请代码 D0406 地热学、D0407 地球内部物理学和 D0408 地球动力学融合而成
	D0407 地球内部物理学		
应用地球物理学	D0408 地球动力学		
	D0409 应用地球物理学	D0408 油气地球物理学	由原三级申请代码 D040901 勘探地球物理学优化调整而来
		D0409 矿产地球物理学	由原三级申请代码 D040901 勘探地球物理学优化调整而来
空间物理学		D0410 工程和环境地球物理学	由原三级申请代码 D040902 城市地球物理学优化调整而来
	D0410 空间物理	D0411 空间物理	由原二级申请代码 D0410 空间物理优化而来
	D0412 空间环境和空间天气	D0412 空间天气学	原二级申请代码 D0412 空间环境和空间天气, 将名称优化为空间天气学
行星物理学	无	D0413 行星物理学	新增的二级申请代码
实验与仪器	D0411 地球物理学和空间物理学实验与仪器	D0414 地球和行星物理实验与仪器	原二级申请代码 D0411 地球物理学和空间物理学实验与仪器, 将名称优化为地球和行星物理实验与仪器

版有很好的承接性. 具体体现在: (1) 新版“D0401~D0403”将大地测量学旧版的 2 个二级申请代码涵盖内容重新梳理, 细分为物理、卫星和应用大地测量学 3 个二级申请代码, 突出了利用卫星开展大地测量的相关研究领域, 并进一步拓展了利用现代大地测量技术在包括工程、城市、大地、矿山、海洋和地下空间等多个领域的综合应用研究. (2) 新版 D0405 地磁学和地球电磁学由旧版的 2 个二级申请代码 D0403+D0404 融合而来, 通过将“磁”与“电”进行统一, 将地球磁场与行星磁场相关联, 注重地球、太阳系早期星云以及其他星球磁场起源及演化、地磁场与地球各圈层相互作用及对星球宜居性改造机制、大地、航空和卫星电磁及其应用等领域研究. (3) 新版 D0407 地球内部物理学和地球动力学(含地热学)则由旧版的 3 个二级申请代码 D0406+D0407+D0408 有机整合而来, 将地球内部过程及其动力学机制研究有机整合, 将地球内部与地表的热演化过程与机制研究相关联, 从地球各圈层结构及其相互作用和系统地球科学的角度认识地球本体及内部的演化及其动力学过程. (4) 新版的应用地球物理学依照应用领域, 将旧版的 1 个二级申请代码细分为 3 个二级申请代码, 从而明确和拓展地球物理在油气(D0408)、矿产(D0409)与工程和环境(D0410)三大领域中的应用研究, 突显地球物理学在面向国民经济主战场中的应用前景. (5) 为配合新版五大

分支学科的发展需求, 新版 D0414 地球和行星物理实验与仪器是在旧版的实验与仪器申请代码基础上优化调整而来, 旨在为地球物理学以及地球科学未来走向深海、深地、深空提供技术支撑, 更好地应对新时期地球科学大力推进“三深一系统”工程探测和科学研究.

从学科属性和研究对象上看, 大地测量学、固体地球物理学和空间物理学属于基础学科, 应用地球物理学属于应用学科, 行星物理学属于前沿交叉学科, 地球和行星物理实验与仪器为整个学科的研究和发展提供技术支撑. 图2 给出了新版申请代码框架, 可以看出该申请代码体系体现了地球-空间-行星多个层次, 具有基础-应用-交叉-技术多个维度, 突显了面向世界科技前沿、面向国家重大需求、面向国民经济主战场的定位. 其中, 大地测量学(D0401~D0403)主要借助数学和物理学方法、现代化测量技术以及卫星等大型设备实施多尺度、多参数的对地和对空观测和测量等, 并为地球物理学提供边界条件. 固体地球物理学(D0404~D0407)主要解决地球本体及其内部结构、理化性质、运行状态及其动力学过程. 应用地球物理学(D0408~D0410)主要借助重、磁、电、震、声、光和放射性等各种物理学探测方法, 研究油气和矿产资源的赋存状态及其变化规律, 并重点对国家战略性资源和能源进行勘察、探测和开发等, 同时面向国民经济主战场, 对城

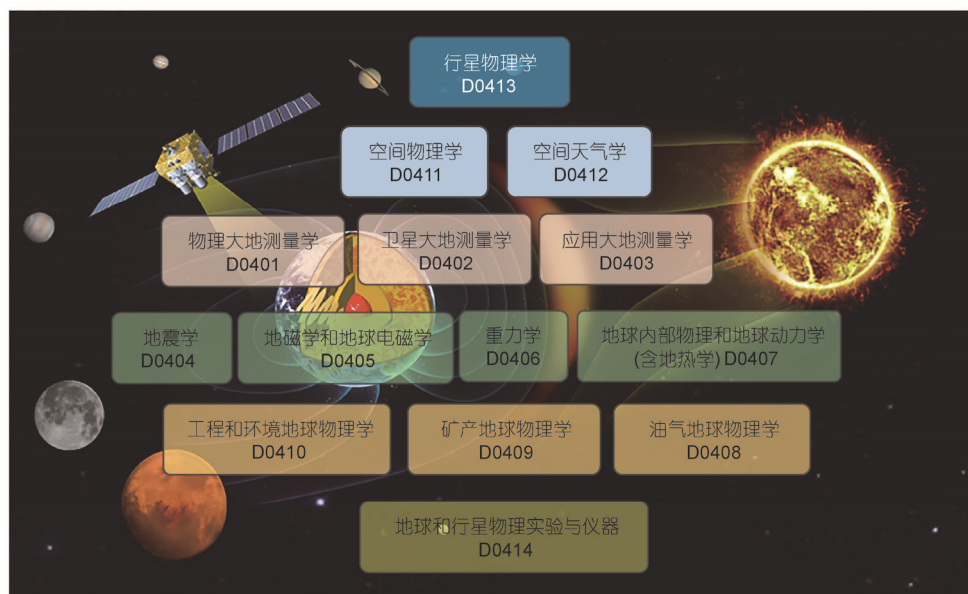


图2 地球物理学和空间物理学学科新版申请代码框架及其体系

Figure 2 New version of the layout and the application code system of the discipline of geophysics and space physics

市与工程建设进行地球物理学勘探,对环境与地质灾害等进行地球物理学检测等。空间物理学(D0411和D0412)既关注日地空间和太阳系空间中的各种物理过程及其变化规律,又研究太阳及太阳风、磁层、电离层和中高层大气等对人类社会影响。行星物理学(D0413)则从比较行星学的角度出发,利用物理学原理研究行星的形成和演化历史、内部圈层结构、物质状态、物质成分、行星空间环境、中高层大气环境、表面环境等。地球和行星物理实验与仪器(D0414)则重点关注各类物理探测仪器和实验装备等,从而为地球物理学和空间物理学的科学发展提供技术支撑。

3.3.2 以基础学科为龙头,引领前沿科学研究和源头、原始创新

基础研究是科技创新的源头。在新版学科申请代码中,大地测量学(D0401~D0403)、固体地球物理学(D0404~D0407)和空间物理学(D0411和D0412)构成了D04的学科基础。通过重新梳理、融合拓展和优化整合等操作,有望成为新版D04学科发展和科学研究的龙头,引领前沿科学研究,推动源头创新和原始创新。

第一,随着空间大地测量手段快速发展,传统的物理大地测量学与工程测量学分属不同的分支学科,已经不能适应大地测量学基础理论与应用研究发展的需求,也不利于二者的交叉融合及相互促进。相比较,现代大地测量学则将静态地球观发展为动态地球观,且扩大了应用领域。一方面,随着航空航天技术的快速发展,卫星大地测量已成为精密测定地表几何位置及变化规律,获得地球重力场

及其时空变化特征,定量研究地球质量分布迁移运动规律,探究地壳运动变形的动力学机制,精密测定空间飞行器的位置及导航等的重要手段,直接推动了现代大地测量学与地震、海洋、冰川和水文学等领域的交叉研究。另一方面,随着智慧地球、智慧城市需求以及测绘手段的进步,以城市大地测量、矿山大地测量、精密工程测量、山体滑坡监测等为代表的工程大地测量学将会得到长足的发展,其科学内涵也将随生产、生活需求发展而不断丰富,成为发展国民经济和建设宜居地球的重要助力,因此会成为大地测量学的重要领域。

第二,地球内部物理学、地球动力学和地热学是地球物理学乃至整个固体地球科学的基础学科,综合描述地球的内部状态、物理性质、运动学过程及动力学机制。旧版代码中,将三者分属不同的二级申请代码,既不利于系统推进对地球内部性质及其演化机制的研究,也不利于它们的交叉融合及相互促进。在新版申请代码中,将三者紧密关联,合并在一个学科框架之下,有利于系统研究地球的内部状态(含热状态)、物理性质、运动过程及力学机制,加强地球浅层至深部的几何学、运动学和动力学的耦合,共同揭示活动地球的演化过程和运行机制,最终提供宜居星球演化的基础构架和核心约束。

第三,地磁场是地球乃至太阳系的基本物理场,它与太阳系的形成演化过程紧紧伴随,成为地球生物圈包括人类生存的重要环境条件。新版代码中,将地磁学和地球电磁学融合,有利于从时间和空间两个维度上,研究地磁场和电磁场的时间变化、空间分布、起源及其演化规律,有

利于通过与行星科学、物理学和生命科学等学科交叉,研究地磁场与岩石圈、生物圈、水圈和大气圈等地球各圈层之间的相互作用过程,探索太阳系早期星云和其他星球磁场及其演化过程,还有利于开展大地电磁、海洋电磁、航空电磁和卫星电磁等基础应用研究。

第四,新版申请代码中地震学(D0404)、重力学(D0406)、空间物理学(D0411)和空间天气学(D0412)虽未作调整,但经过优化,也被赋予了新的内涵。比如,(1)新版地震学除了涵盖地震震源参数、发生机理和地球内部结构等主要研究内容,还包括地震预测预警、地震致灾、新技术新理论在地震学中的应用,大数据、人工智能、深空探测等新方向。(2)重力学作为地球物理学重要分支学科,主要研究地球形状、地球的局部和整体运动、地表及内部物质分布与迁移和地球密度结构相关的学科。近年来,重力学观测技术逐步趋向于高精度、绝对化和连续观测等方面发展,重力技术的发展也与高精度的大地测量学需求相呼应。因此,在新版申请代码中,重力学的研究手段和内容都大为拓展,包括重力测量技术与方法,全球和区域重力场精细结构、时变特征及力学机制,重力(卫星、航空、海洋、陆地)数据处理方法,重力场正反演理论与方法,重力固体潮,重力场构造反演和动力学演化,重力场时空变化与机制,重力辅助导航,月球和行星重力场等。(3)旧版的空间物理学三级申请代码体现对于日地空间和太阳系空间的物理现象研究。近年来,空间物理的发展越来越倾向于把整个日地空间作为一个整体进行研究,并比较研究整个太阳系内的行星空间,以期更好地理解物理过程及其机理。

3.3.3 以应用学科为驱动,面向国家重大需求和国民经济主战场

新版申请代码的另一个重要变化是对应用地球物理学做了导向性调整。原应用地球物理学主要分为勘探地球物理与城市地球物理两个方向。在中美竞争和国家重大需求牵引下,原应用地球物理学已无法满足国家重大需求和国民经济社会发展需要。此次调整将应用地球物理学面向油气资源开发利用、矿产资源勘查及工程和环境3个领域的研究需求进一步拓展和细分,分别设置了油气地球物理学(D0408)、矿产地球物理学(D0409)、工程和环境地球物理学(D0410)。

应用地球物理学主要是利用地球物理学的理论和方法来研究地球物理场和地球物质的物理特性与人类生存环境(包括天然和人工环境)之间的关系,方法手段包括地震勘探、电法勘探、重力勘探、磁法勘探、地球物理测井和放射性勘探等。应用地球物理研究与国家建设、社会发展和巩固国防有着密切关系。油气资源对国家能源安全与经济建设至关重要,新时期我国油气资源勘探重大战略转移亟需技术支撑,有必要把油气地球物理突显出来,夯实其理论基础,彰显其在国家能源发展战略中的作用。矿产资源是国家“向地球深部进军”发展战略的重要落地目标之一,

目前面临资源发现与储量增长双跨越、开采能力翻番和突破“第二勘查空间”等的技术支撑压力,有必要把矿产地球物理突显出来。工程与环境地球物理与国民经济发展和人民生活息息相关,发展前景十分广阔。

3.3.4 以行星物理为核心,推动地球科学与行星科学深度交叉

在新版D04学科申请代码上,行星物理学(D0413)既作为分支学科被单独列出,又作为独立的二级申请代码而存在。随着航天技术和深空探测的快速发展,行星科学已经成为当今科学前沿,成为我国科技战略的重要组成部分^[10]。行星物理学发展自比较行星学和空间物理学,随着行星科学的快速发展,逐渐发展成一门以研究行星形成和演化、行星空间环境、大气环境、表面环境及内部结构等行星多圈层物理过程的新兴交叉学科。并且,行星物理学已经成为助推我国“嫦娥探月工程”和“火星探测天问工程”等一系列深空探测工程的重要科学基础,在探索地球与行星的形成和演化历史、空间与内部各圈层的结构和物理过程、圈层间的物质与能量耦合过程和机理、多圈层耦合系统的长期变化与演化、太阳能量调控地球与行星环境的机理等方面发挥重要作用,也将在地球与行星探测原理和技术方面大展拳脚^[11,12]。

总之,地球物理学和空间物理学学科不仅是地球科学发展的重点学科和面向世界科学前沿创新的重要领域,也是面向国家需求、国民经济主战场,保证社会和谐、满足人类居住安全性和生活资源可持续性的基本保证。本学科重视基础理论研究、实验与观测、实践与应用,根据地球科学和空间科学的发展趋势,深化“三深一系统”的核心科学问题研究,鼓励开拓新的学科生长点和研究方向以及与其他学科的深度交叉融合;鼓励发展新技术和新方法,研制新仪器装备,为地球科学和空间科学的发展提供技术支撑;鼓励拓展地球物理应用研究,服务国民经济主战场。

4 结语

地球物理学和空间物理学学科是地球科学的支柱学科,也是发展迅速的一门学科。随着卫星观测技术等地球物理观测手段快速发展,大地测量学、地球物理学和空间物理学等学科均有了实质性进展。经过代码的重新梳理和调整,D04的学科布局更加合理,各二级申请代码之间相对更加协调和均衡,有望解决旧版二级申请代码不协调、不均衡等问题。然而,要更大地发挥新版代码在“优化学科布局、促进学科交叉、强化原始创新、面向国家需求”等方面的重要作用,还需在以下几个方面加强工作。

(i) 加强跨学科交叉研究导向。在十九大报告中,习近平总书记指出,加快建设创新型国家,要瞄准世界科技前沿,强化基础研究,实现前瞻性基础研究、引领性原创成果重大突破^[13]。2020年9月11日,习近平总书记主持召

开科学家座谈会,进一步强调“坚持把创新作为引领发展的第一动力”^[14]。跨学科交叉研究是取得重大科学发现和产生引领性原创成果重大突破的重要方式,推动跨学科交叉研究是提升创新能力的重要途径。自然科学基金委学科申请代码的设定是为了搭建学科框架,梳理知识体系,有利于科技工作者选择自己的课题申请方向,有利于项目评审中遴选评审专家。此次学科代码调整,删除三级申请代码,融合或整合若干旧版二级申请代码,就是为了增强学科交叉融合,加强原创性成果的重大突破。然而,新版的D04学科共设定了14个二级申请代码,学科之间仍存在明显的界限。因此,在一些前沿交叉研究、重大科学问题和重大工程项目等领域,仍要进一步打破学科壁垒,加强一些跨学科、跨学部的重点或重大等项目,来进一步促进学科交叉。比如,地震学、重力学等学科的发展历史已经超过百年,一些问题已经研究得比较透彻。其次,学科的发展要与时俱进,因此需要更新学科的内涵,而不是简单的继承。例如,近年来,地震学的密集台阵观测迅猛发展,形成了海量的观测数据,对传统的地球物理数据处理方式提出了挑战。如果将海量密集台阵观测数据与大数据、机器学习、人工智能结合起来,可望形成新的增长点。

(ii) 加强地球与行星物理相关仪器自主研制导向。工欲善其事,必先利其器。地球物理学和空间物理学学科是一门观测科学,我国老一辈地球物理学家曾再三强调“注重自主研制地球物理仪器”^[15],刘光鼎院士^[16]甚至明确指出,仪器问题不解决,就无法实现地学现代化。新中国建立以后,面对西方国家的封锁和后来苏联撤走援华专家,中央提出“自力更生,奋发图强”的口号,我国地球物理仪器的自主研制曾有过辉煌的历史。改革开放以后,国民经济恢复发展,地球物理仪器的需求量也急剧增长,进口仪器逐渐成为主流,由于“造”不如“买”导致我国地球物理仪

器研制领域遭受了巨大冲击,相关人才培养也出现青黄不接的现象。从面上项目近11年的申请-资助情况也能看出这一变化,虽然D04学科从1987年就设立一个专门的二级申请代码(地球物理实验与仪器)来支持和引导我国学者积极参与地球物理学相关仪器的研制工作,然而相对申请量一直不高(~5%)。随着中国在深海、深地、深空探测的逐步推进,以及面临发达国家潜在的技术封堵,D04学科鼓励更多的科技工作者投身到地球和行星物理学相关探测仪器和实验装备的研制,实现一批高精尖探测仪器和实验装备的国产化,解决我国高端地学仪器严重依赖进口的难题,为我国未来在深海、深地、深空等重大工程探测方面提供技术支撑,也为我国在资源、能源、环境、国防安全等重大国家需求领域作出应有的贡献。

(iii) 加强创新人才培养导向。人才是第一资源。人才的培养主要在大学和研究所完成,而人才的后期成长则主要在工作实践中实现。自然科学基金委通过多种类型的科研项目和人才项目,在科技人才的培养与支持方面已经发挥巨大作用。随着新时期地球科学全面走向“三深一系统”和“学科交叉”,D04学科既要发挥传统学科优势,在探索地球内部结构及其动力学过程、地磁场起源和演化及其生物环境效应等基础前沿问题上有所突破,也要面向国家重大需求和国民经济主战场,在资源、能源、环境、城市建设、重大工程建设和国防安全等领域发挥重要作用,还要在深海、深地、深空探测等重大工程中担负重要任务,同时还要为地球科学与行星科学交叉,推动行星物理学的学科建设提供重要动力。科技繁荣和学科发展的关键是要具有创新思维和能力的人。D04学科希望通过人才项目培育和重大(点)项目引导等多种方式,培养和造就一批具有国际水平的战略科技人才、科技领军人才和创新交叉团队等。

致谢

衷心感谢地球物理学和空间物理学学科发展战略组及对本次学科布局优化和申请代码调整工作提出宝贵论证意见的专家(按姓氏拼音排序):曹俊兴、陈石、陈晓非、窦贤康、符力耘、高静怀、高锐、胡祥云、黄清华、乐新安、李建成、李金华、李杨、李忠海、林君、刘财、倪四道、潘永信、单新建、石耀霖、孙和平、汪毓明、王赤、王尚旭、王一博、魏勇、杨顶辉、杨元喜、于晟、姚宜宾、张海江、张培震、赵亮、周元泽等。感谢国家自然科学基金委员会分管委领导侯增谦副主任、地球科学部郭正堂主任、姚玉鹏副主任,及地球科学部咨询委员会在学科申请代码优化调整和文章修改中提供的支持和指导。感谢地球物理学和空间物理学领域广大科技工作者在学科申请代码调整中提出的宝贵意见和建议。

推荐阅读文献

- 1 Xi J P. The statement at the opening of the 19th Meeting of the Academicians of the Chinese Academy of Sciences (CAS) and the 14th Meeting of the Academicians of the Chinese Academy of Engineering (CAE) (in Chinese). People's Daily, 2018-05-29 [习近平. 在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上的讲话. 人民日报, 2018-05-29]
- 2 National Natural Science Foundation of China. National Natural Science Fund Guide to Programs 2019 (in Chinese). Beijing: Science Press, 2019 [国家自然科学基金委员会. 2019年度国家自然科学基金项目指南. 北京: 科学出版社, 2019]

- 3 National Natural Science Foundation of China. National Natural Science Fund Guide to Programs 2020 (in Chinese). Beijing: Science Press, 2020 [国家自然科学基金委员会. 2020 年度国家自然科学基金项目指南. 北京: 科学出版社, 2020]
- 4 Li J H. Building a science funding system for a new paradigm shift in science (in Chinese). Bull Natl Nat Sci Found Chin, 2018, 32: 345–350 [李静海. 国家自然科学基金支持我国基础科技强国根基. 中国科学基金, 2018, 32: 345–350]
- 5 Liu Q, Zhu W T, Chen Z. Characteristics and implications of foreign science foundation application code (in Chinese). Bull Natl Nat Sci Found Chin, 2007, 21: 190–192 [刘权, 朱蔚彤, 陈钟. 国外科学基金组织项目申报代码特点及其启示. 中国科学基金, 2007, 21: 190–192]
- 6 Zhang C L, Zheng Y M, Fan W J, et al. The historical evolution and outlook for the application code of geography discipline, NSFC (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2019, 74: 191–198 [张朝林, 郑袁明, 范闻捷, 等. 国家自然科学基金地理学科申请代码的历史沿革与发展. 地理学报, 2019, 74: 191–198]
- 7 Liu Z, Ding A J, Zhang R H. Adjusting application codes and optimizing funding layout for the discipline of atmospheric sciences in the National Natural Science Foundation of China (in Chinese). Chin Sci Bull, 2020, 65: 1068–1075 [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: 1068–1075]
- 8 Liu Y. Research on the strategy of optimizing the discipline layout of environmental geosciences under the National Natural Science Foundation of China (in Chinese). Chin Sci Bull, 2020, 65: 2076–2084 [刘羽. 国家自然科学基金环境地球科学学科布局优化战略研究. 科学通报, 2020, 65: 2076–2084]
- 9 National Natural Science Foundation of China. Notice of the Issuance of Implementation Plan for the First Phase of the Task of Reforming the Discipline Layout of NSFC (in Chinese). National Natural Science Foundation of China, 2019, No. 73 [国家自然科学基金委员会. 关于印发《科学基金学科布局改革任务第一阶段工作实施方案》的通知(国科金政函[2019]73 号)]
- 10 Wei Y, Zhu R X. Planetary science: Frontier of science and national strategy (in Chinese). Bull Chin Acad Sci, 2019, 34: 756–759 [魏勇, 朱日祥. 行星科学: 科学前沿与国家战略. 中国科学院院刊, 2019, 34: 756–759]
- 11 Rong Z J, Cui J, He F, et al. Status and prospect for Chinese planetary physics (in Chinese). Bull Chin Acad Sci, 2019, 34: 760–768 [戎昭金, 崔峻, 何飞, 等. 我国行星物理学的发展现状与展望. 中国科学院院刊, 2019, 34: 760–768]
- 12 Fu S Y, Xu J Y, Wei Y, et al. Seventy years of space physics research in China (in Chinese). Sci Sin Terrae, 2019, 49: 1641–1658 [傅绥燕, 徐寄遥, 魏勇, 等. 探索中前行——中国空间物理研究 70 年. 中国科学: 地球科学, 2019, 49: 1641–1658]
- 13 Xi J P. Secure a decisive victory in building a moderately prosperous society in all respects and strive for the great success of socialism with Chinese characteristics for a new era (in Chinese). People's Daily, 2017-10-28 [习近平. 决胜全面建成小康社会夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利. 人民日报, 2017-10-28]
- 14 Xi J P. The comments at a symposium attended by scientists. People's Daily, 2020-09-12 [习近平. 在科学家座谈会上的讲话. 人民日报, 2020-09-12]
- 15 Lu Q H, Peng K Z, Yi B J. The development of geophysical instrumentation in China (in Chinese). Prog Geophys, 2007, 22: 1332–1337 [陆其鹄, 彭克中, 易碧金. 我国地球物理仪器的发展. 地球物理学进展, 2007, 22: 1332–1337]
- 16 Liu G D. Promote the innovation of geophysical methodology, and lead the future of exploration apparatus technology (in Chinese). Chin J Geophys, 2017, 60: 4145–4148 [刘光鼎. 推动我国地球物理方法创新, 引领探测仪器技术未来. 地球物理学报, 2017, 60: 4145–4148]

Summary for “国家自然科学基金地球物理学和空间物理学学科布局规划研究”

Optimization of the discipline layout of geophysics and space physics sciences in the National Natural Science Foundation of China

Huihong Cheng^{*}, Changqing Sun & Cong Wang

Department of Earth Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China

^{*} Corresponding author, E-mail: chenghh@nsfc.gov.cn

In 2020, the National Natural Science Foundation of China (NSFC) has conducted a systematic and comprehensive reorganization for upgrading the discipline layout and funding system. Correspondingly, the application code system of the discipline of geophysics and space physics (DGSP, application code: D04) has been reviewed and carefully reorganized with forming a new application code system, according to the general regulation and proposal of the Department of Earth Sciences in NSFC.

In the new system, the research directions are grouped into three major subjects, i.e., basic research, applied research, as well as the frontier and interdisciplinary research. The basic research includes the general and traditional geodesy, solid geophysics and space physics; the applied research is mainly composed of the multiple directions of applied geophysics; and the planetary physics is highlighted as a frontier and interdisciplinary subject. On the other hand, the experimental techniques and instruments provide technical support for the scientific research of the whole DGSP. According to all these subjects and targets, the new application code system (D04) is subdivided into 14 secondary application codes. D0401 to D0403 cover the scope of geodesy, with three branches of physical geodesy, satellite geodesy and applied geodesy. D0404 to D0407 cover the solid geophysics, with four branches of seismology, geomagnetism and geo-electromagnetics, gravity, as well as physics of the Earth's interior and geodynamics (including geothermal science). Compared to the old version, the branches of magnetism and electricity studies are integrated into a new code of D0405, which will highlight the origin and evolution of the magnetic field of the Earth and other planets, the early nebulae of the solar system and other planets. Similarly, the new code of D0407 also combines several research branches in the old version, in order to integrate the relevant studies of the Earth's internal processes and their dynamic mechanism, as well as the geothermal condition and evolution. For the applied research, the new codes cover the three major fields of geophysical application, which are oil and gas (D0408), mineral resources (D0409), and engineering and environment (D0410), highlighting the contributions of geophysical research to the national economy. There is no significant adjustment in space physics, which still contains two secondary application codes (D0411 and D0412), covering all kinds of physical processes in solar terrestrial space and solar system space, as well as the influence of the sun and solar wind, magnetosphere, ionosphere and upper atmosphere on the human society. As a new research branch, planetary physics (D0413) is an independent secondary code, which focuses on the formation and evolution history of planets, including the inner layer structure, material state, composition, planetary space environment, middle and upper atmosphere environment, and surface environment. Finally, the research direction of experimental techniques and instruments (D0414) is still set as an independent secondary code, which focuses on all kinds of physical exploration instruments and experimental equipment, so as to provide technical support for the scientific research and development of DGSP.

The new application code system firstly emphasizes the leading role played by the basic research disciplines, such as geophysics and space physics, in the innovation and frontiers of modern science and technology. Secondly, it highlights the applied research disciplines, i.e., applied geophysics, which should meet the general and major national demand, and strongly support the national economic development. Thirdly, it selects planetary physics as a key frontier and interdisciplinary research direction of Earth and Planetary sciences. The new application code system is configured with a clear position and goal for each discipline of DGSP. It covers more research areas and emphasizes both the interdisciplinary fields and the key fields in the future. The new system will contribute to the international competitiveness of geophysics and space physics of China, and further promote the development of planetary physics. The high-quality development of DGSP will serve the top-level strategy of the Department of Earth Sciences in NSFC, i.e., “deep Earth, deep sea, deep space, and Earth system”, and will also provide the key support for the long-term strategic plans for national scientific and technology development of China.

discipline layout, application codes, geophysics, space physics

doi: 10.1360/TB-2020-1322