

· 基金纵横 ·

# 2004—2013年矿山充填领域国家自然科学基金项目分析

陈绍杰<sup>1\*</sup> 李 军<sup>2</sup> 朱旺喜<sup>2</sup>

(1 山东科技大学 矿山灾害预防控制国家重点实验室培育基地, 山东 青岛 266590;

2 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部, 北京 100085)

[关键词] 国家自然科学基金, 矿山充填, 矿业工程, 研究热点, 申请方向

矿产资源开采后, 地表或地下形成大范围的采空区。在地面或井下用矸石、粉煤灰、尾砂、矿渣等废弃物料或其组成的复合材料充填采空区, 形成以充填体为主的采场围岩控制体系, 可以提高矿井资源采出率、控制岩层运动及地表沉陷, 是实现矿山绿色开采的理想途径和关键技术之一<sup>[1-5]</sup>。近年来, 随着中国对环境保护重视程度的不断提高和可持续发展的强烈要求, 越来越多的矿山开始采用充填开采技术<sup>[6]</sup>。但是, 如何高效利用矿山废弃物的潜在性质, 加大充填与相关技术的协调性、创新性, 满足人们对安全、环保和资源回收等方面不断提高的要求, 仍是当前中国矿业领域急需解决的一项课题<sup>[7,8]</sup>。随着资源开发强度的增加和充填技术的发展, 矿山充填相关理论和技术已成为我国矿业工程学科内的重要研究领域, 也是国家自然科学基金(以下简称“科学基金”)在学科内的重要资助方向之一。

科学基金是中国基础研究领域最高层次的科学基金项目, 也是涉及研究领域最广、申请及资助数量最多的国家级项目。由于其管理规范、评审程序客观公正、对申请人限制性条件要求较少、申请数量不限, 某一领域的资助情况可反映该领域近期研究的热点问题, 对矿山充填领域科学基金项目进行总结和分析, 能帮助科研工作者尤其是青年科研工作者明确研究方向, 探索新的研究领域, 为矿业工程科技发展提供帮助。

## 1 近10年矿山充填领域科学基金资助项目基本情况

2004年至2013年10年间, 矿山充填领域共获得科学基金委员会资助基金24项, 资助额度1125万元。其中工程与材料科学部工程科学一处资助21项, 资助额度988万元; 工程科学四处资助1项, 资助额度20万元; 地球科学部地球科学二处资助2项, 资助额度117万元。24项中面上项目12项、青年科学基金9项、重点项目1项、地区科学基金1项、专项基金1项。近10年科学基金资助矿山充填领域项目概况见表1。

表1 近10年科学基金矿山充填领域项目概况

类别	项数	额度
面上项目	12	683万
青年科学基金	9	202万
重点项目	1	180万
地区科学基金	1	50万
专项基金	1	10万

矿山充填开采工程资金投入大, 因此行业学者对充填的研究热度与整体煤炭行业形势休戚相关。随着矿业工程经历新世纪以来的10年黄金时期, 行业科研和工程人员对矿山充填的研究兴趣逐渐增加, 科学基金资助的矿山充填领域项目由2010年以前不超过2项增加至2010年及以后的5项左右。工程与材料科学部工程科学一处2013年共接收矿山充填领域申请课题35项, 批准立项6项, 资助率

\* Email: csjwyb@163.com

本文于2014年3月11日收到。

17.14%,略低于学科平均资助率19.7%。

## 2 矿山充填领域科学基金资助项目主要研究内容

矿山充填领域获科学基金资助项目的研究主要集中在3个方面:

(1) 矿山充填材料的开发与优化,包括胶凝材料的研制、新型材料的来源与开发、化学添加剂的研究与应用,占资助总项数的16.7%。

(2) 充填材料的各项基本性能,包括结构性能、力学性能及输送性能等,占资助总项数的25.0%。

(3) 矿山充填工程基础研究,包括充填条件下的岩层控制、巷道稳定性、瓦斯与冲击地压防治等,占资助总项数的70.8%(因部分项目涉及了两个方面研究内容,故资助项目3方面比例合计大于100%)。

### 2.1 充填材料的开发与优化

充填材料是矿山充填领域的基础和核心,其对充填质量的优劣、充填成本的高低、充填材料的输送性能、充填开采控制地表沉陷的效果起着至关重要的作用<sup>[9]</sup>。例如在胶结充填中,充填材料占到整个充填成本的80%以上。

该方向获资助项目研究内容包括:复盐矿物在赤泥—矿渣采矿充填料中的形成机理及调控机制;以高炉矿渣为主要原料、相关工业废弃物作为激发剂,在无煅烧条件下配制最佳性能的矿渣胶凝材料;矿渣胶凝材料在尾砂胶结体中的水硬化固结机理;以典型全尾砂为研究对象,通过添加碱性激发剂和早强剂等来调控充填材料的化学活性,及其固结反应研究;采用固定变量法、正交试验法和对比试验法,在实验室系统研究化学添加剂对全尾砂胶结充填材料流变性能和强度性能的影响机理。

### 2.2 充填材料的基本性能

不同充填方法对充填材料性能具有特定要求,如结构性能、输送性能、力学性能等。其结构性能是材料最为基本的性质,输送性能影响着矿山的正常生产,而力学性能对充填效果起着决定性作用。近年来该方向获资助项目的研究内容主要集中在以下几个方面。

充填材料的结构性能。开采扰动及腐蚀环境中富水充填材料劣化机理及其控制,如何提高富水充填材料的稳定性及降低有害离子浓度、水固比对富水材料硬化体微观结构演变规律;废石尾砂胶结充填体材料结构性能,充填体材料结构模型与评价理

论的建立。

充填材料的输送性能。固体直接充填采煤的垂直输送物料的动力特性,包括物料垂直投放过程的模型,不同条件下物料垂直下落中风阻变化规律及与气流场的相互作用关系;胶结充填的废石与全尾砂高浓度管输充填基础研究,包括废石与全尾砂充填的级配适应性,管输充填系统的沿程阻力和系统及理论;通过添加分散剂、减阻剂等来提高胶结材料在自流输送或管道挤压输送过程中的流动性。

充填体的力学性能。循环载荷作用下矿山固废胶结充填体损伤过程声发射特性及力学性质;随着开采深度的加大上覆充填体的整体稳定性。

### 2.3 矿山充填工程基础研究

充填是矿业工程中的一项主要技术和重要手段,其目的是为了防治矿山灾害事故、保证矿山安全生产。充填系统只有与其它系统有效协调起来,才能更好地为矿山服务,达到安全、绿色开采的目的。矿业工程学者以矿山充填为基础,开展了大量矿业工程基础研究。

矿山岩层控制基础研究,包括:“三下”急倾斜煤层充填长壁综采岩层控制及地表沉陷规律;长壁综采矸石充填与岩层运动控制;长壁开采矸石充填工作面支架与围岩相互作用机理;综合机械化固体充填开采回收房式煤柱采场矿压显现规律;垮落带离层注充控制覆岩移动与地表沉陷的机理与关键问题;固体充填采煤地表沉陷预计模型和方法;陡倾金属矿充填法开采引起的岩体移动规律及其发生机制;陡倾矿体充填开采岩移规律。

巷道稳定与控制基础研究,包括:综放巷内充填沿空留巷围岩稳定性控制;沿空留巷巷旁充填体及覆岩运动影响的力学机理;深井大采高矸石充填综采沿空留巷变形机理及控制。

灾害防治与气体存储基础研究,包括:高瓦斯综采工作面矸石充填基础理论及瓦斯运移规律;深部矿井充填开采防治冲击地压的机理;深部高应力环境下充填介质与岩体能量耗散匹配;浅埋煤层局部柔性充填隔水岩组稳定性;煤矿固体废弃物充填采空区存储CO<sub>2</sub>的流固及化学耦合作用机理。

## 3 矿山充填领域及相关学科的研究热点

### 3.1 矿业工程学科研究热点

矿山充填领域的研究主要以矿业工程为背景,矿业工程学科科学基金项目划归工程与材料科学部

工程一处管理,矿业工程学科的申报和资助项目主要集中在地下开采(E0401、E0402)、石油天然气开采(E0403)、矿山岩体力学与岩层控制(E0409)、安全科学与工程(E0410)、矿物工程与物质分离(E0411)这几个研究方向,其中安全科学及工程申报和资助数量最多,矿业工程学科安全方面的基础研究仍是重中之重<sup>[10]</sup>。

地下开采主要包括煤炭和非煤矿床地下开采。申请项目主要为开采新技术和特殊条件下的开采方法,如溶浸开采、充填开采、数字矿山、煤与煤层气共采、大采高技术、采矿机械设备等方面。

石油及天然气开采包括油气开采、储运、钻井技术等几个方面,近年申请数量增幅很快,其中石油天然气开采占据了大多数。

矿山岩体力学与岩层控制包括内容较广,主要有岩石力学特性、矿山压力、岩层移动与控制、巷道稳定、岩石损伤与断裂等。随着开采强度的增大,资源开采向深部转移,深部复杂高应力条件下的岩石力学与岩层控制问题吸引了大量学者。近几年深井“强开采扰动”和多场耦合受到越来越多的关注。

矿业工程的安全科学与工程方向主要针对资源开采和利用过程中的安全问题,包括通风与防尘、突水与防灭火、岩爆与瓦斯灾害、安全检测与监控。该方向在矿业学科的申报数量最多,瓦斯与岩爆(冲击地压)防治、安全检测与监控是近年的研究热点。

矿物加工与物质分离包括矿物粉碎、矿物加工、矿物分离以及矿物材料等几个方面,近几年资源高效环保利用、磁选技术、生物分离技术等受到了较高关注。

### 3.2 矿山充填领域研究热点

矿山充填是绿色采矿和科学采矿的重要内容,随着社会经济和科学技术的快速发展,充填技术在我国矿业工程中得到了较快的发展,但仍然存在着机械程度和生产效率低、生产成本高等问题;同时,我国各地区的地质采矿条件相当复杂且差异很大。

矿山充填领域涉及矿业工程学科中地下开采、矿山岩石力学与岩层控制、安全科学与工程等多个研究方向。和获资助项目类似,矿山充填领域自由申请项目也主要在充填材料开发和优化、充填材料基本性能、矿山充填工程基础研究3个方面。2013年工程科学一处受理的35项中,涉及到3个方面项目数量分别为4、10、24,分别占总数量的11.4%、28.6%、68.6%(因部分项目涉及了两个方面研究内

容,故资助项目3方面比例合计大于100%)。

充填材料本身偏属于材料、化工学科,矿山充填中的材料开发和优化研究,则注重以矿山废弃物为原料的低成本、高性能的便捷充填材料的开发。

矿山充填以矿业工程为背景,充填材料性能的研究也更多的以解决矿业工程中的问题而开展的基础研究,学者们主要研究充填材料的输送性能、胶结性能、力学性能,其中以充填材料长期压缩变形及支承性能为研究热点。

更多的学者则直接研究安全高效充填技术中的基础问题和充填条件下矿业工程基础问题,包括巷旁充填、采空区充填、离层注浆充填、高效充填开采、充填体强度准则以及充填条件下覆岩控制、地表变形、冲击地压防治、瓦斯与水害防治等,其中以巷旁充填、充填条件下覆岩控制和地表变形以及灾害防治为研究热点。

## 4 矿山充填领域科学基金资助项目申请方向与建议

### 4.1 申请方向

随着时代和科技的进步和人类对环境保护的重视,矿山充填越来越引起矿业工程学者的兴趣。对充填及相关矿业工程科学问题进行深入研究仍是科学基金矿业工程学科中的关键技术和重要研究内容<sup>[11-12]</sup>。

矿山充填以矿业工程为学科和行业背景,涉及材料科学、化学工程、岩石力学等多个学科,需对以下问题进行深入探讨:低成本、来源广泛、性能稳定充填材料开发;各类充填材料的性质及与之相匹配的高效充填技术;各类充填体在不同地质、力学、温度等条件下长期稳定性;不同地质采矿条件下的充填体强度准则;充填与矿山工程科学问题的结合;充填系统与各类采矿方法的协调。

### 4.2 申请建议

(1) 注重矿山工程的基础科学问题。科学基金非常注重各学科的基础性研究,在基础研究的基础之上,支持科研工作者开展创新性的研究。矿山充填离不开矿业工程,以充填解决矿山工程的科学问题是矿山充填领域基金研究的根本。

(2) 多学科相互协调合作。充填材料是充填技术的核心,尤其是低成本的胶凝材料研制是近年研究的热点,这对于矿山充填的推广应用起着至关重要的作用。因此需要材料、化学等相关学科的互相合作,共同发展。

(3) 重点突出, 切实可行。科学基金的申请注重研究内容的可行性, 许多申请总是从大的研究方向出发, 研究内容空洞而广泛, 与实际问题联系不紧密。申请者应从具体的工程问题出发, 挖掘出相关科学问题, 紧扣此科学问题来开展研究。

### 参 考 文 献

- [1] 郭惟嘉, 张新国, 史俊伟, 等. 煤矿充填法开采技术研究现状及应用前景. 山东科技大学学报, 2010, 29(4): 24—29.
- [2] 钱鸣高, 许家林, 缪协兴. 煤矿绿色开采技术. 中国矿业大学学报, 2003, 32(4): 343—348.
- [3] 胡炳南. 我国煤矿充填开采技术及其发展趋势. 煤炭科学技术, 2012, 40(11): 1—18.
- [4] 郭惟嘉, 张新国, 刘进晓, 等. 煤矿充填开采技术. 北京: 煤炭工业出版社, 2013.
- [5] 缪协兴, 钱鸣高. 中国煤炭资源绿色开采研究现状与展望. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(1): 1—14.
- [6] 周爱民, 古德生. 基于工业生态学的矿山充填模式. 中南大学学报, 2004, 35(3): 468—472.
- [7] 于润沧. 我国充填工艺创新成就与尚需深入研究的课题. 采矿技术, 2011, 11(3): 1—3.
- [8] 施士虎, 李浩宇, 陈慧泉. 矿山充填技术的创新与发展. 中国矿山工程, 2010, 39(5): 10—13, 19.
- [9] 冯光明, 丁玉, 朱红菊, 等. 矿用超高水充填材料及其结构的实验研究. 中国矿业大学学报, 2010, 39(6): 813—819.
- [10] 袁瑞甫, 朱旺喜, 李军. 近5年矿业领域国家自然科学基金自由申请项目统计及研究热点分析. 中国科学基金, 2013(2): 111—115.
- [11] 董中保, 石阔. “科学问题”概念及其本质特征和属性. 辽宁工程技术大学学报, 2000, 2(1): 10—14.
- [12] 王来贵, 朱旺喜. 申报国家自然科学基金要以科学问题为主线. 中国科学基金, 2007(1): 39—42.

## Analysis on Mining Filling Projects Funded by NSFC in 2004~2013

Chen Shaojie<sup>1</sup> Li Jun<sup>2</sup> Zhu Wangxi<sup>2</sup>

(1 State Key Laboratory of Mining Disaster Prevention and Control, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590;  
2 Department of Engineering and Materials Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

**Key words** mine filling, mining engineering, research focus, application directions

### · 资料信息 ·

### 2014年度国家自然科学基金项目申请数量前20位的依托单位: 信息科学部

序	单位名称	项数	序	单位名称	项数
1	电子科技大学	357	11	北京大学	197
2	西安电子科技大学	339	12	华中科技大学	196
3	中国人民解放军国防科学技术大学	297	13	东南大学	182
4	清华大学	267	14	北京邮电大学	177
5	上海交通大学	245	15	东北大学	159
6	哈尔滨工业大学	241	16	天津大学	151
7	北京航空航天大学	222	17	西北工业大学	150
8	浙江大学	205	18	上海大学	141
9	北京理工大学	204	19	中国人民解放军空军工程大学	139
10	南京邮电大学	203	20	南京航空航天大学	137

(张丽萍、李东 供稿)