

2004—2013年开采沉陷类国家自然科学基金项目分析

陈绍杰¹, 朱旺喜², 李 军²

(1. 山东科技大学 矿山灾害预防控制省部共建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)

摘要:回顾了国家自然科学基金委2004—2013资助开采沉陷类项目的基本情况,分析了开采沉陷领域面临的主要科学问题。开采沉陷类基金资助项目的主要研究内容为开采沉陷机理、开采沉陷与地表变形规律、开采沉陷预测模型和方法、地表移动变形监测技术、开采沉陷控制、采动地层地基稳定性、开采沉陷对地表构(建)筑物的影响及安全防护,尤其集中在开采沉陷机理、预测和控制三个方面。

关键词:国家自然科学基金;资助;开采沉陷;研究内容;研究热点

中图分类号:TD325

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)06-0058-05

Analysis of Mining Subsidence Projects Funded by National Natural Science Foundation from 2004 to 2013

Chen Shaojie¹, Zhu Wangxi², Li Jun²

(1. State Key Laboratory of Mining Disaster Prevention and Control Co-founded by Shandong Province and the Ministry of Science and Technology, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Department of Engineering and Materials Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China)

Abstract: This paper reviewed the basic situation of mining subsidence projects supported by National Natural Science Foundation of China(2004-2013) and analyzed the main scientific problems in these projects. The above research concerned mainly the mechanism, forecast and control of mining subsidence, including mechanism of mining subsidence, law of mining subsidence and surface deformation, prediction model and method of mining subsidence, monitoring technology of surface movement, control of mining subsidence, stability of foundation after mining, the mining subsidence's influence on buildings on the ground and safety protection of buildings.

Key words: National Natural Science Foundation of China; project grant; mining subsidence; research contents; research hotspots

1 2004—2013年开采沉陷类资助项目基本情况

矿物资源被采出后,开采区域周围岩体的原始应力平衡状态受到破坏,应力重新分布,达到新的平衡,在此过程中,岩层和地表产生连续的移动、变形和非连续的破坏(开裂、冒落),称为开采沉陷^[1]。广义上说,开采沉陷既包括地表连续或非连续的移动、变形,也包括上覆岩层的运动和破坏;有用矿物的开采既可以是井

收稿日期:2014-01-02

基金项目:国家自然科学基金项目(51104094,51474134);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-13-0880);山东省自然科学基金重点项目(ZR2013EEZ001);中国博士后科学基金项目(2013T60763)

作者简介:陈绍杰(1978—),男,河北定州人,副教授,博士,主要从事矿井特殊开采、矿山岩石力学的科研与教学工作。

E-mail:csjwyb@163.com

朱旺喜(1961—),男,山西霍州人,研究员,博士,主要从事石油与矿业、金属冶金与材料制备方面的科研管理工作。

E-mail:zhuwx@nsfc.gov.cn

工开采,也可以是露天开采;开采的矿物可以是层状的,也可以是非层状的。在国家自然科学基金(Natural Science Foundation of China, NSFC)的申请过程中,一般把开采上覆岩层的运动和破坏归类为矿山压力和岩层控制方向,而露天开采和边坡工程是另一个研究方向。本文分析的开采沉陷类基金项目主要指资源开采引起的地表移动变形以及由此引起的地表构(建)筑物损坏与保护方面。

2004—2013年,国家自然科学基金委员会共资助开采沉陷类研究项目52项,资助额度2 906万元(表1)。其中:工程与材料科学部工程科学一处资助42项,资助额度2 434万元;地球科学部地球科学一处资助3项,资助额度89万元;地球科学二处资助5项,资助额度333万元;地球科学三处资助2项,资助额度50万元。矿业开采导致地表沉陷的机理、规律及控制已经越来越多地引起开采业的重视,成为矿业领域的重要研究方向之一。

2013年工程与材料科学部工程科学一处共接受开采沉陷类课题申请23项,获批9项,资助率达39.13%,远高于19.7%的学科平均资助率。这也表明随着矿山开采引起地表灾害意识的增强,开采沉陷在矿业工程学科中的重要性得到了行业学者的高度认可。

表1 2004—2013年国家自然科学基金开采沉陷类项目概况
Tab.1 Mining subsidence projects founded by NSFC from 2004 to 2013

类别	工程与材料科学部		地球科学部	
	项数	额度/万元	项数	额度/万元
面上项目	29	1 472	6	371
青年科学基金	7	142	4	101
重点项目	2	330		
煤炭联合重点项目	2	420		
煤炭联合培育项目	1	60		
专项基金	1	10		

2 开采沉陷类资助项目主要研究内容

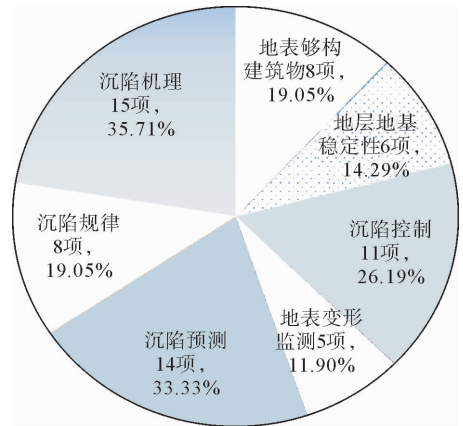
开采沉陷类国家自然科学基金资助的研究内容主要集中在以下方面:开采沉陷机理、开采沉陷与地表变形规律、开采沉陷预测模型和方法、地表移动变形监测技术、开采沉陷控制、采动地层地基稳定性、开采沉陷对地表构(建)筑物的影响及安全防护。

2004—2013年资助的开采沉陷类国家自然科学基金研究内容如图1所示,该方向国家自然科学基金的研究内容主要集中在开采沉陷机理、预测和控制方面,分别占资助总数的35.71%,33.33%和26.19%。

2.1 开采沉陷机理

矿床开采引起覆岩运动,反映到地表会发生地表移动和沉陷。不同采矿条件、不同地质条件、不同地表移动和沉陷特征之间的相关性是开采沉陷机理方向的主要研究内容。

国家自然科学基金资助的开采沉陷类项目在该方向包括以下研究内容:采矿地质因素与山区高陡边坡变形的关系以及高陡边坡失稳的判别模型;地质构造对开采沉陷的发生、发展规律以及灾变的影响;井工矿山在多次重复开采下地表多频次沉陷的时空规律和多因子耦合致灾机理;多尺度下特别是小时间尺度下沉陷区地表变形机理;随采场推进覆岩由微观扰动到宏观应力、位移的动态发展变化过程和覆岩破坏与地表沉陷一体化模型;基于关键层理论的厚含水松散层失水固结对地表沉陷的附加影响;关键层控制下煤柱群的塌陷机理以及地表裂缝与台阶下沉的发育机理;采动诱发岩石裂纹扩展到地表渐进开裂机理的随机无网格法数值模拟;采场对上方岩体乃至地表的空间影响范围、持续时间的四维动态沉陷信息演化



注:部分项目涉及多个方向研究内容,重复统计。

图1 2004—2013年国家自然科学基金开采沉陷类项目研究内容

Fig.1 Research contents of mining subsidence projects founded by NSFC from 2004 to 2013

规律;风沙区煤炭开采地表移动变形、地表裂缝发生发育全过程;石膏矿采空区破坏发生机制和控制条件以及采空区破坏的突变分析模型;岩盐大面积连通井组开采沉陷机理。

2.2 开采沉陷与地表变形规律

经过几十年的发展,采矿学者已经基本掌握普通地质采矿条件下的开采沉陷与地表变形规律^[2-5]。近年来,国家自然科学基金对该方向的资助主要集中在特殊地质条件、特殊采矿方法引起的开采沉陷与地表变形的特殊特征和规律,主要包括以下研究内容:陡倾镍矿矿体采用下向胶结充填开采岩体变形机制和岩移规律;风沙区超大工作面开采引起的开采沉陷规律研究;条带旺格维利采煤技术的地表沉陷规律及主控因素;深井采动岩体沉陷移动的分带、分区特征及突变集中变形和阶段性滞缓移动现象的动态演化规律;深部开采沉陷破坏规律及开采沉陷-环境资源损伤损益评价模型;急倾斜煤层综采工作面采空区胶结充填条件下“充填体-支架-煤体-围岩”形成的采场大结构动态平衡对上覆岩层移动和地表变形控制机理;采动裂缝与地质、采矿、地表等因素关系的统计模型及其对山区地表移动的影响。

2.3 开采沉陷预测模型和方法

开采沉陷预测是矿山开采沉陷的核心内容之一,对开采沉陷的理论研究和生产实践都有重要意义。目前所采用的预测方法主要有概率积分法、典型曲线法、剖面函数法、数值模拟法、相似材料模拟法、灰色系统理论预测法、神经网络预测法和时序预测法等,这些方法对于简单地质条件和统一采矿方法区域的预测效果较好。2004—2013年该方向国家自然科学基金资助项目主要集中在典型地质条件、采矿方法的开采沉陷预测方法模型以及基于新理论的预测模型。

典型地质条件、采矿方法的开采沉陷预测方法模型包括:不同构造环境中的典型煤矿区采煤沉陷的量化预计模型;岩盐大面积连通井组开采沉陷预测理论;岩盐大面积连通井组开采沉陷影响因子和开采沉陷预测理论多频次采动地表移动预测模型;条带旺格维利采煤地表沉陷预测参数及模型;考虑充填体变形特性和覆岩运动特征的地表沉陷预测方法;多煤层条带煤柱稳定性评价方法、地表沉陷预测模型和预测参数体系;高层充填条件下采动覆岩移动及地表沉陷实时评估和预测体系;矸石充填开采岩层运动的关键层矿压模型和地表沉陷预测的等价采高方法。

基于新理论的预测模型包括:应用协同学理论和 Cosserat 介质理论,嵌入岩体缺陷协同演化力学模型的 FLAC^{3D} 预测方法;基于随机介质理论、关键层理论、Knothe 时间函数以及所建立的覆岩内部下沉系数模型,关键层控制下多工作面开采覆岩与地表沉陷动态预测模型;针对沉积煤系地层中不同层位采动离层间的发展差异性以及开采沉陷与覆岩离层的时空对应关系,基于采动覆岩离层异速生长的开采沉陷预测模型。

此外,中国矿业大学邓喀中教授在主持的“废弃采空区上方建筑地基稳定性评价理论及应用研究(40772191)”项目中开展了废弃采空区残余沉陷预测理论、预测模型及预测参数体系方面的研究。

2.4 地表移动变形监测技术

地表移动变形监测是矿山开采沉陷的基础,2004—2013年国家自然科学基金在该方向的资助项目主要为矿山开采沉陷的新型监测技术,包括:SAR(synthetic aperture radar,合成空间雷达)影像信息处理理论和方法;高分辨率 SAR 高精度相位和散射测量方法;基于分布式 CCD/GPS(charge-coupled device/global position system)的矿区沉陷灾害动态监测方法;以高分辨率遥感影像、开采沉陷预测模型及有源地形图等多源数据为基础,采用 GIS(Geographic Information System)监测地表地物地貌空间分布和时空演变规律;利用三波段(L, C, X 波段)SAR 影像,研究基于 PS-CR-DS(permanent scatterers-corner reflector-distributed scatterers,永久散射体-角反射器-分布散射体)的分层联合算法和短基线累积干涉纹图时间序列分析方法;DinSAR(differential interferometry SAR)提取开采沉陷参数的误差来源和构成,提高参数提取精度的措施和方法。

2.5 开采沉陷控制

2004—2013年国家自然科学基金在该方向的资助项目大部分为各种充填开采控制覆岩及地表沉陷项目,包括:适用于长壁综采的高效矸石充填采煤方法、工艺和设备配套体系;采场、巷道中采、留、充、注整体系统与上覆岩层结构时空综合优化;覆岩离层注浆与井下矸石充填采空区控制覆岩;充填材料与采动岩体相互

作用及其流动规律,以及离层充填减沉机理和技术;宽条带跳采全采垮落带粉煤灰浆体注充控制采动覆岩。

同时,还包括一些控制开采沉陷的技术,如:滑坡区开采控制理论及应用技术体系;滑坡控制的开采设计方法和技术措施;基于建筑物安全和地表位移控制的地下硐室合理埋深优化方法;煤柱群大面积失稳致灾的针对性防控技术。

另外,关于条带煤柱的研究也是开采沉陷控制的主要研究内容之一:多煤层条带煤柱协同作用机理和规律的非线性理论;深部煤柱长期支承效应与蠕变破坏失稳特征;复杂条件下煤柱的延性特征及失稳预计;复杂地质条件采动影响下条带煤柱应力集中分布演化规律与深部条带煤柱开采诱发冲击地压机理及防治理论与方法。

2.6 采动地层地基稳定性评价

利用废弃采空区塌陷地进行建筑,可合理利用土地资源,恢复生态环境,保障城市和矿区建设用地。废弃采空区地基稳定性评价是在废弃采空区上兴建建筑物的基础。

2004—2013年国家自然科学基金在该方向资助项目的主要研究内容包括:基于SAR监测技术的老采空区地基稳定性评价方法;开采扰动对土体宏观力学性质的影响规律,考虑开采扰动影响的采动区构(建)筑物地基稳定性计算方法;大面积采空及大范围冒落破碎带对场地地震的影响,采动地层结构动力失稳的破坏形式;大面积采动地层地面塌陷、地裂缝形成原因和条件以及防治措施和治理方案;废弃采空区的变形机理与时间效应及处置废弃采空区的新方法。

2.7 开采沉陷对地表构(建)筑物的影响及安全防护

保证采矿区域地表构(建)筑物的安全是开采沉陷研究的主要目标。2004—2013年国家自然科学基金在该方向的资助项目主要包括以下研究内容:基于非线性力学理论和变位分配原理的地下硐室-地层-建筑物的相互作用关系以及建筑物安全控制系统;采动区桥体结构整体稳定性机理;大变形条件下桥梁及地基的损害机制和加固方式;地表动态变形对框架结构建筑物的影响机理及建筑物承受地表变形的极限能力;采动影响下基础、铁塔、高压线路之间的协同变形理论模型以及高压输电线路下采煤安全防护理论和技术;建筑物基础与地基增湿压缩变形协调作用机制;地表变形引起地表建筑物损伤规律及其在强地震动场作用下的灾变破坏机理以及矿区建筑物的抗变形-抗地震的双重保护机制;井筒在采动影响下的变形机理及井筒抗变形理论以及新建井筒抗变形技术与措施。

3 开采沉陷领域国家自然科学基金项目研究热点

开采沉陷作为矿业工程的重要研究方向,涉及到岩土力学、测量学、计算机科学、建筑学、环境保护等诸多学科。矿业工程为国民经济发展提供资源和能源,而开采沉陷的研究则力求减少和弥补矿业工程对地球造成的伤害。

相关学者对开采沉陷的认识和研究已经近80年,目前已经形成了多个理论体系。但由于我国地质采矿条件极其复杂,同时采矿方法也在不断创新,因此,开采沉陷仍然是我国矿业工程的重要研究内容和发展方向之一^[6-9],并持续得到国家自然科学基金的资助。

目前,开采沉陷领域国家自然科学基金的研究热点包括以下内容:特殊地层、不同地表形貌对开采沉陷的控制和影响;特殊地质条件、特殊开采方法(如充填开采、部分开采方法)下的开采沉陷与地表变形规律;开采沉陷与地表变形的特殊特征(斑裂、滞后、反弹等)及其形成原因;地表移动特殊特征与采掘空间灾害(如冲击地压)的相关性;开采沉陷及预测的采空区残余变形的动态预测和准确预测;便捷易操作的地表变形监测方法和技术;充填开采中充填体的长期性能;矿柱长期稳定性、失稳预测与性能提升;采动地层地基长期稳定性及承载建筑物能力评价;开采沉陷对地表构(建)筑物的影响及安全防护。

4 结论

对2004—2013年开采沉陷类国家自然科学基金资助项目进行统计,分析其研究重点,得到如下结论:

1) 开采沉陷是矿业工程学科中的重要分支和研究内容,越来越引起行业学者的高度重视。同时,由于申

报数量较少,开采沉陷类项目2013年在工程科学一处获资助率为39.13%,高于平均资助率。

2) 开采沉陷类国家自然科学基金资助的研究主要集中在以下方面:开采沉陷机理、开采沉陷与地表变形规律、开采沉陷预测模型和方法、地表移动变形监测技术、开采沉陷控制、采动地层地基稳定性、开采沉陷对地表构(建)筑物的影响及安全防护,尤其是开采沉陷机理、预测和控制方面。

3) 我国地质采矿条件极其复杂,采矿方法不断创新,开采沉陷仍然是我国矿业工程的重要研究内容和发展方向。

4) 建议在国家自然科学基金申请中要集中于研究、解决某个具体的科学问题,避免泛泛而谈,不宜包含太广泛的内容。

参考文献:

- [1]何国清,杨伦,凌赓娣,等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1991:1.
- [2]王金庄,邢安仕,吴立新. 矿山开采沉陷及其损害防治[M]. 北京:煤炭工业出版社,1995:3-51.
- [3]钱鸣高,缪协兴,许家林. 资源与环境协调(绿色)开采[J]. 煤炭学报,2007,32(1):1-7.
Qian Minggao, Miao Xiexing, Xu Jialin. Green mining of coal resources harmonizing with environment[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(1): 1-7.
- [4]钱鸣高,许家林,缪协兴. 煤矿绿色开采技术[J]. 中国矿业大学学报,2003,32(4):343-348.
Qian Minggao, Xu Jialin, Miao Xiexing. Green technique in coal mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(4): 343-348.
- [5]郭文兵,柴华彬. 煤矿开采损害与保护[M]. 北京:煤炭工业出版社,2008:1-49.
- [6]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[J]. 中国科学基金,2013(2):111-115.
Yuan Ruifu, Zhu Wangxi, Li Jun. Statistics on free application projects of National Nature Science Foundation in mineral field and analysis on the research focus[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2013(2): 111-115.
- [7]国家自然科学基金委员会. 自然科学学科发展战略调研报告:冶金与矿业学科[M]. 北京:科学出版社,1997:43-46.
- [8]朱旺喜,王来贵,王建国,等. 资源枯竭城市灾害形成机制与控制战略研讨[M]. 北京:地质出版社,2003:68-70.
- [9]国家自然科学基金委员会,中国科学院. 未来10年中国学科发展战略:工程科学[M]. 北京:科学出版社,2012:125-127.

(责任编辑:吕文红)