建筑垃圾再生骨料膏体充填开采研究进展

刘　音，陈军涛，刘进晓，姚树阳
（山东科技大学 资源与环境工程学院，山东 青岛 266590）

摘　要：针对建筑垃圾环境问题和煤矿采空区沉陷及“三下”压煤问题，分析了建筑垃圾再生骨料和膏体充填煤矿采空区技术研究与应用现状，探讨了建筑垃圾再生骨料作为膏体充填骨料充填煤矿的可行性，指出该技术今后的主要研究方向：再生骨料膏体充填材料的可泵性、充填体强度、耐久性研究，再生骨料膏体充填工艺设计及充填后的效益评价。

关键词：建筑垃圾；再生骨料；膏体充填；采空区沉陷

中图分类号：TD 853.34　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1672-3767(2012)06-0052-05

Advance of Filling Paste into Mine Goaf with Building Waste

LIU Yin，CHEN Juntao，LIU Jinxiao，YAO Shuyang
（College of Resource and Environmental Engineering，Shandong University of Science and Technology，Qingdao，Shandong 266590，China）

Abstract：Aiming at such problems as building waste and unexploited coal under buildings，railways，and water，this paper analyzed the technical research of recycled aggregate and paste filling into mine goaf，according to which the feasibility of filling the building waste into goaf was proposed. It is pointed out that the future main research will cover the pumpability，strength，durability，filling process design of recycled aggregate and benefit evaluation of paste filling technology.

Key words：building waste；recycled aggregate；paste filling；mining subsidence

随着我国城市化进程的不断加快，建筑垃圾不断增加。目前，我国建筑垃圾的总量约占到城市垃圾总量的 30%～40%[1]，并呈逐年增加趋势。而我国对建筑垃圾的处理基本以露天堆放或填埋的方式处理，不仅造成环境污染和资源浪费，也给城市安全带来极大隐患。如何对这些建筑垃圾进行科学处置已经成为各级政府和建筑行业面临的重要问题。

作为煤炭资源大国，我国每年从地下采掘大量的煤炭资源，并逐年递增，2012 年我国的煤炭产量已达 32.40 亿 t。煤炭的大量开采在煤矿区附近留下了很多的采空区，但由于缺乏有效回填途径，一方面导致采空区地面大面积沉降，大量宝贵耕地沦为湖面，直接破坏村庄、工业、农业、交通及居住环境；另一方面也造成“三下”压煤现象十分严重，大量煤炭资源难以开采。据不完全统计[2]，我国国有重点大中型煤矿“三下”压煤量达到 140 亿 t 以上，到目前为止仅从“三下”采出的煤炭约有 10 亿 t，占“三下”压煤总量的 7%左右[2]。以煤炭资源紧缺的山东省为例，全省煤炭消耗量占全国 5%，但煤炭资源占有量仅为全国的 2.2%。山东省现有的 80 亿 t 煤炭贮量中，有 50%都是“三下”压煤，若“三下”压煤问题得不到有效解决，按目前每年 1.4 亿 t 的开采量计算，现有的煤炭资源可采年限不足 28 年[3]。如何有效解决煤矿采空区沉陷和“三下”压煤，也是我国政府和煤炭企业面临的重要课题。

如果将建筑垃圾处理和煤矿充填开采复合成一个系统工程，则既可解决煤矿采空区沉陷及“三下”压煤

收稿日期：2012-09-08
基金项目：国家自然科学基金项目(50874070)；山东科技大学“春蕾”计划项目(2009AZZ178)
作者简介：刘　音(1973—)，女，陕西米脂人，讲师，博士研究生，主要从事矿山环境的研究和教学. E-mail：liuyin-73@163.com

环卫科技网 www.cn-hw.net

的问题，又可以有效利用建筑垃圾，变“两害为一利”，从而实现社会、经济和环境效益三赢的目标。

1　建筑垃圾再生骨料研究现状

1.1　建筑垃圾再生骨料

建筑垃圾再生骨料就是将建筑垃圾中的废弃混凝土、砖块等经过分选、破碎、清洗、分级等一系列工序，按一定比例与级配混合加工而成的再生骨料[4]。不同结构类型的建筑所产生的垃圾基本组分是一致的，主要由土、渣土、散落的砂浆和混凝土等组成(表 1)，它们是建筑垃圾资源化利用的主要研究对象。

表 1　建筑垃圾质量组分表

Tab. 1　Building components of building waste　%

混凝土	渣土	碎砖石	木材	玻璃	废金属	塑料	有机杂质	其他
54.0	12.0	15.0	6.0	1.0	4.5	0.7	1.5	5.3

1.2　建筑垃圾再生骨料的研究与利用

1) 国外研究与利用现状

早在第二次世界大战前后，发达国家如美国、日本、德国、荷兰等对建筑垃圾进行了开发利用与研究[4]。日本政府 1977 年制订了《再生骨料和再生混凝土使用规范》，1991 年又制定了《资源重新利用促进法》，并相继在各地建立了以处理建筑垃圾为主的再生加工厂，生产再生水泥和再生骨料[5]。美国政府制定了《超级基金法》，促使企业自觉地寻求建筑垃圾资源化利用途径，美国现在很多州都已将再生混凝土作为地基材料，用于公路、高速公路地基建设，并制定了再生混凝土的规范。在欧洲，法国 CSTB 公司专门统筹在欧洲的“废物及建筑业”业务。荷兰在 20 世纪 80 年代就制定了关于再生混凝土骨料制备各类混凝土的规范。作为最早推行环境标志的国家，德国国内几乎每个地区都有大型的建筑垃圾再加工综合工厂。比利时的公路研究中心资料[6]表明，利用公路就地拆除废料，可减少运输费 70%，降低材料成本 20%，具有很好的经济效益。

2) 国内研究与利用现状

近年来，我国高度重视对建筑垃圾废弃物的利用，鼓励废弃物的研究和应用。建设部在 1997 年将“建筑废渣综合利用”项目列入科技成果重点推广项目，并于 2005 年 6 月 1 日起实行《城市建筑垃圾管理规定》[5]。各高校和科研机构也纷纷对建筑垃圾资源化进行性质与应用方面的研究，肖建庄[7]、杜婷[8]、王志尧[1]等学者对废弃物混凝土的性质及再生工艺进行了详细的研究，指出废弃混凝土做再生骨料与普通自然混凝土的相比强度差距不大，可用于低强度混凝土骨料，还针对废弃混凝土破碎工艺进行了研究，提出了一套适合我国国情的破碎分选工艺。实际工程应用中，上海、北京等地的多个建筑公司在 20 世纪 90 年代初就已经就地回收利用建筑垃圾进行工地建设，取得了一定的经济效益。南京工业大学用建筑垃圾制造环保免烧标准砖，各项性能均满足国家标准，且成本较低。

通过对再生骨料的文献研究及应用分析看出，建筑垃圾再生骨料的性能虽然与天然骨料有一定差异，但是经过与胶凝材料的优化，仍可以用于建筑、煤矿等行业，而且建筑垃圾再生骨料来源广泛，加工工艺简单，生产成本低，因此用煤矿周围的建筑垃圾作充填骨料进行煤矿充填开采是具有可行性的。

2　煤矿膏体充填开采技术

2.1　充填采煤方法分类

随着社会发展，充填开采技术在矿山的应用越来越多，许家林等[9]依据充填位置、充填量、充填动力及充填材料不同，将充填采煤方法进行分类(图 1)。

2.2　我国煤矿充填开采中的问题

目前，充填开采在我国煤矿仍处于起步阶段，还存在很多问题。首先，充填开采技术要求高，充填技术还有许多问题未得到解决，特别是以覆岩控制为目的的充填技术研究刚刚起步[10]；其次，充填材料供应与需求

环卫科技网 www.cn-hw.net

不均衡，同金属矿相比，煤矿自身工业废弃物比例小，难以全部充填采矿区，因此需要解决充填材料来源困难的问题；第三，充填开采项目初期投资大，充填成本高包括充填材料和充填设备投入较高，充填成本与采矿效益不均衡，也阻碍了充填开采在全国范围内的推广实用；第四，目前煤矿充填设备不配套，使其技术稳定性差；第五，煤矿充填开采技术也缺乏相关法规政策措施扶持。这些问题都不同程度地影响着煤炭企业实施充填开采项目的积极性。

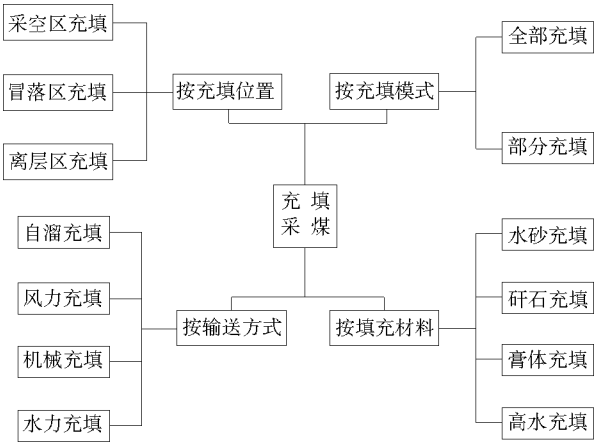


图1 充填采煤方法分类框图

Fig.1 Method of classification of coal filling

从我国国情及长远发展来看，随着土地资源的日益匮乏，土地赔偿和村庄搬迁的费用将越来越高。而随着科学技术的发展，充填材料和充填设备的成本将会逐渐降低，因此煤矿充填开采是一个必然的发展趋势。2012年4月，国家能源局在山东省泰安市召开了全国煤矿充填开采现场会，推广山东省煤炭行业充填经验，希望通过山东省的先进经验推动我国煤矿充填开采技术的发展，以此解决我国严重的“三下”压煤问题和采空区塌陷问题[11]。

2.3 煤矿膏体充填开采技术分析

煤矿实施膏体充填开采主要是因为膏体充填材料密实度高，可以取得最好的控制岩层移动效果，最大限度提高采出率，从而解放“三下一上”压煤，提高煤炭资源采出率，延长矿井服务年限。

煤矿膏体充填开采系统主要由三部分组成，即充填材料制备系统、充填材料输送系统、工作面充填系统(图2)。充填材料是膏体充填技术的核心，对充填质量的优劣、充填成本的高低、充填料浆的输送以及充填开采控制地表沉陷的效果起着决定性作用。

解放“三下”压煤和预防开采沉陷的煤矿膏体充填开采与金属矿山膏体充填有显著区别，其主要特点是：

1) 采煤与充填在同一个工作面进行，充填体构筑方法不同于金属矿山，煤矿需要有专门膏体充填隔离支架。

2) 为了降低材料成本，并有效解决矿山废弃物，因此主要是煤矸石、粉煤灰、河沙、矿渣等，这些材料品质差异大，稳定性差。

3) 充填材料强度要求不同。煤矿充填数小时后就要求充填体能够自立，并具有一定的承载，否则会影响采煤面产量。

从目前我国部分煤矿已经实施的膏体充填采煤应用项目(表2)来看，大多采用煤矸石作为粗骨料进行充填，但是煤矿的矸石产量一般为煤炭开采量的15%左右，采空区如果全部实施煤矸石充填，则难以解决充填材料来源困难的问题。如山东省枣庄、肥城矿务局很早就实施矸石不上井，或用矸石铺路、制砖等，矿山已经没有矸石作为充填材料来利用，因此这些煤矿企业实施充填开采项目时，选择价格低廉、来源广泛、性质稳定的固体充填骨料就是一个非常重要的选择。钱鸣高院士在煤炭绿色开采论述中曾提出煤炭行业在充填开采的研究中最重要的是考虑如何降低充填成本和选择各类充填置换方法以换取最大的利益[12]。

3 建筑垃圾再生骨料膏体充填煤矿开采的研究进展

谷志孟[13]、冯长根[14]等曾经提出用城市垃圾回填矿山采空区来治理环境问题和解决采空区塌陷问题，匡中文等[15]在固体废物用作煤矿膏体充填原材料的可行性研究中分析了城市固体垃圾的来源、分类及其物理化学组成等，论证了城市垃圾作为膏体充填材料的可行性。但是，他们的研究思路都是针对城市生活垃圾，而建筑垃圾与城市生活垃圾无论是从物理性质及化学性质、结构等方面均存在着较大的差异。梁晓珍等[16]以建筑垃圾为骨料的骨架式巷旁充填实验研究中，以建筑垃圾为骨料与水泥、粉煤灰相胶结配置膏体充填材料，并与煤矸石为骨料的充填材料进行了抗压能力对比分析，其抗压能力和工作性均能满足膏体充填

环卫科技网 www.cn-hw.net

的基本要求，实验为建筑垃圾再生骨料用于煤矿膏体充填开采提供了可靠依据。但是，关于利用建筑垃圾进行煤矿充填开采的应用实例研究尚未见报道，没有现成的经验和资料可借鉴，因此需要进行系统的研究来验证再生骨料充填煤矿开采的技术可行性、经济合理性和工程应用的可靠性。

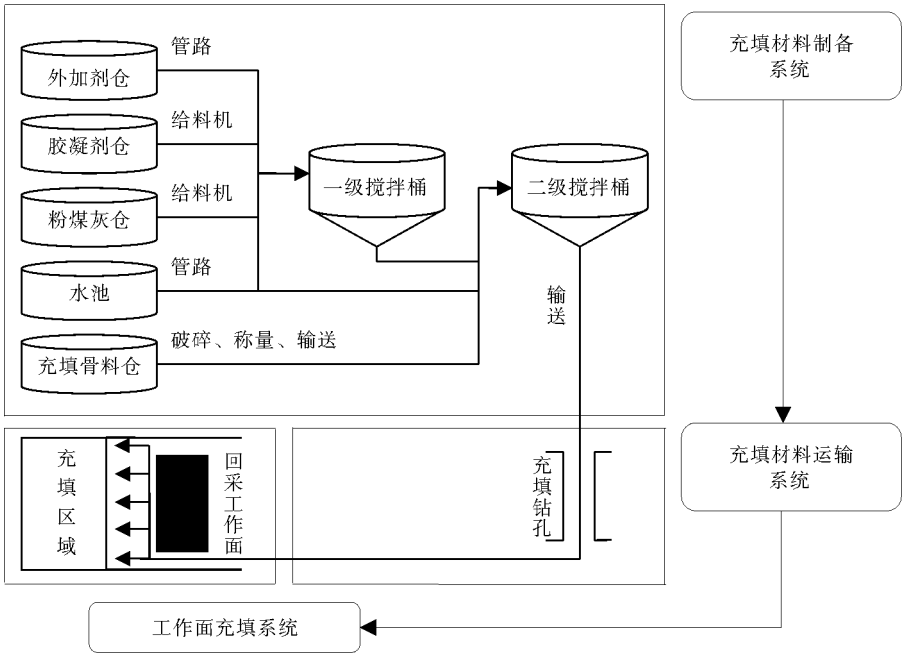


图 2　膏体充填工艺流程图

Fig. 2　Paste filling process flow diagram

表 2　我国部分煤矿实施煤矸石膏体充填项目一览表

Tab. 2　The implementation of coal gangue paste filling project in our country

序号	项目名称	煤矿名称	进展情况
1	煤矸石/粉煤灰膏体充填	金牛股份邢台煤矿	2007.07 投产
2	村庄下矸石膏体充填开采	峰峰集团小屯矿	2008.06 投产
3	膏体(煤矸石)充填回收条带煤柱	淄矿集团岱庄煤矿	2009.12 投产
4	村庄下煤矸石膏体充填	枣庄蒋庄煤矿	2006.05 投产
5	煤矸石似膏体自流充填	新汶孙村矿	2006.09 投产
6	煤矸石似膏体自流填充	峰峰通顺公司	2009.09 投产
7	煤矸石膏体充填	内蒙古泰源煤矿	2008.10 通过论证
8	矸石/河沙膏体充填	新汶赵官煤矿	2009.09 通过论证
9	煤矸石膏体填充	金牛股份东庞矿	2010.04 项目启动

4　结束语

从我国国情及长远发展来看，煤矿充填开采技术是我国煤矿发展的一个必然趋势，开发新的固体充填骨料，降低充填成本是目前该技术一个重要的研究任务。国内外对建筑垃圾再生骨料的各项研究与应用已表明，建筑垃圾再生骨料的利用是一项很好的资源再利用工程，用于煤矿采空区充填技术上是可行的。在今后研究与应用过程中存在着许多亟待解决的技术问题，较为重要的有 3 个方面：

1）建筑垃圾再生骨料作为膏体充填材料的骨料与胶结剂如何配置才能满足煤矿膏体充填开采的要求，即充填体的强度、充填材料的和易性、耐久性等研究；

2）建筑垃圾再生骨料进行煤矿膏体充填开采关键技术其中包括再生骨料生产工艺、充填工艺的设计、

万方科技网
www.cn-hw.net

充填设备的研究与开发；

3）建筑垃圾再生骨料进行煤矿膏体充填后的效益评价，包括社会效益、环境效益及经济效益。

参考文献：

[1]王志尧，曹辰. 废弃混凝土作为再生骨料和掺和料的利用研究[J]. 广东建材，2011(4)：19-23.

[2]常杰. 三下采煤技术的探讨与研究[J]. 山西煤炭，2011，30(10)：51-53.
CHANG Jie. Discussion and research on mining technology under buildings，railways and water[J]. Shanxi Coal，2011，30(10)：51-53.

[3]刘莎莎. 山东有望解决"三下"压煤难题[N/OL]. 证券时报，(2008-07-21)[2012-09-08]. http://stock.sohu.com/20080721/n258270706.shtml.

[4]林志伟. 基于综合利用建筑垃圾再生骨料混凝土的研究[D]. 昆明：昆明理工大学，2007：1-16.

[5]王金城. 浅谈再生混凝土的研究现状和展望[J]. 山西建筑，2009，35(15)：141-143.
WANG Jincheng. Discussion on the research status and prospect of recycled aggregate concrete[J]. The Construction of Shanxi，2009，35(15)：141-143.

[6]OIKONOMOU N D. Recycled concrete aggregates[J]. Cement & Concrete Composites，2005，27：315-318.

[7]肖建庄，孙振平，李佳彬，等. 废弃混凝土破碎及再生工艺研究[J]. 建筑技术，2005，36(2)：141-144.
XIAO Jianzhuang，SUN Zhenping LI Jiabin，et al. Study on crushing and regenerating technology of waste concrete[J]. Building Technique，2005，36(2)：141-144.

[8]杜婷，李惠强，郭太平，等. 废弃混凝土再生骨料应用的经济性分析[J]. 新型建筑材料，2006(6)：30-33.

[9]许家林，轩大洋，朱卫兵. 充填采煤技术现状与展望[J]. 采煤技术，2011，11(3)：24-30.
XU Jialin，XUAN Dayang，ZHU Weibing. Status and prospect of coal mining with filling[J]. Mining Technology，2011，11(3)：24-30.

[10]张华兴. 对"三下"采煤技术未来的思考[J]. 煤矿开采，2011，16(1)：1-3.
ZHANG Huaxing. On the technology of coal mining under buildings，railways and water-body in future[J]. Coal Mining，2011，16 (1)：1-3.

[11]吕良. 山东煤炭充填开采技术领先全国[N/OL]. 中国贸易报，(2012-5-17)[2012-09-08]. http://www.chinatradenews.com.cn/founder/html/2012-05/17/content_25148.htm? div=-1.

[12]钱鸣高. 绿色开采的概念与技术体系[J]. 煤炭科技，2003(4)：1-3.
QIAN Minggao. Technical system and green mining concept[J]. Coal Science and Technology Magazine，2003(4)：1-3.

[13]谷志孟，白世伟. 关于用城市垃圾回填矿山采空区的环境治理问题[J]. 科技导报，2000，45(6)：55-58.
GU Zhimeng，BAI Shiwei. To refill mine excavations with urban refuse[J]. Technology Review，2000，45(6)：55-58.

[14]冯长根，李俊平，晏鑫. 采空场处理与利用[J]. 工业安全与环保，2002，28(4)：23-24.
FENG Changgen，LI Junping，YAN Xin. Utilization and treatment of mine goaf[J]. Industrial Safety and Environmental Protection，2002，28(4)：23-24.

[15]匡中文，何利辉，胡磊，等. 固体废物用作煤矿膏体充填原材料的可行性研究[J]. 煤矿开采，2009，14(3)：16-18.
KUANF Zhongwen，HE Lihui，HU Lei，et，al. Feasibility research on solid waste for paste stowing material in mine[J]. Coal Mining Technology，2009，14(3)：16-18.

[16]梁晓珍，王辉. 以建垃圾为骨料的骨架式巷旁充填实验研究[J]. 金属矿山，2011(11)：63-64.
LIANG Xiaozhen，WANG Hui. Experimental research on roadway filling with skeleton type based on construction waste [J]. Metal Mine，2011(11)：63-64.

环卫科技网 www.cn-hw.net