

综 述

我国现代煤矿充填技术发展及其分类

李 杨, 杨宝贵

(中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083)

[摘 要] 充填开采既是“三下”压煤开采的常用技术途径, 又是煤矿绿色开采技术体系的重要组成部分。在简述我国充填开采技术的基础上, 对现代煤矿充填技术应用进行了新的分类, 对泵送高浓度胶结材料充填、巷道迎头抛矸机胶带充填、采空区架后刮板输送机漏矸充填、混凝土膏体材料充填4种充填技术应用进行了介绍, 并分析了现行煤矿充填技术的缺陷及发展方向。

[关键词] 充填开采; 应用分类; 充填技术

[中图分类号] TD823.7 [文献标识码] A [文章编号] 1006-6225 (2011) 05-0001-04

Stowing Mining Technology Development and Classification of Chinese Modern Coal Mine

LI Yang, YANG Bao-gui

(Resources & Safety Engineering School, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Stowing mining is common technology approach of mining coal under river, railway and building, and is also important component of green mining technology system. On the basis of introducing Chinese stowing mining technology, this paper re-classified modern stowing technologies 4 stowing technologies including stowing of cementitious material with high consistency by pump, refuse stowing by belt in roadway, stowing by scraper behind support, stowing with concrete paste material were introduced. The shortcomings of current stowing technologies and development tendency were analyzed as well.

Key words: stowing mining; application classification; stowing technology

随着煤炭资源的大量开采, 村庄下压煤问题越来越突出, 严重影响着许多煤矿企业的正常生产。据统计, 目前我国仅统配煤矿的生产矿井“三下”(建筑物下、铁路下、水体下)压煤就达13.79Gt。几乎每个矿井都有“三下”压煤, 一般都占矿井储量的10%~40%, 华东矿区有的矿井高达60%以上。因此, 在保证地表建(构)筑物安全的前提下, 基于提高“三下”压煤的采出率和合理处理固体废弃物的问题, 开发充填采煤新技术, 已成为国家及煤矿企业急需解决的重大技术难题^[1-2]。

我国充填工艺与技术的发展, 经历了废石干式充填、分级尾砂和碎石水力充填、混凝土胶结充填、以分级尾砂和天然砂作为充填料的细砂胶结充填、废石胶结充填、高浓度全尾砂胶结充填和膏体泵送胶结充填的发展过程^[3]。充填开采是建筑物下压煤开采的最理想技术途径, 其优点是煤炭资源的采出率高, 但由于受成本高、充填工艺复杂等因素的制约, 没有得到大范围的使用。近几年, 随着煤矿充填技术的不断发展, 充填技术在煤矿开采中的应用也越来越广泛。

1 我国现代煤矿充填技术应用分类

对于现代煤矿充填技术的应用分类可以分为减沉充填开采和其他充填技术应用两大类。减沉充填开采也就是通常所说的充填采煤, 一般应用于解放“三下”压煤, 合理处理固体废料, 控制地表下沉等; 其他充填技术指不涉及减沉开采部分, 包括混凝土膏体材料充填沿空留巷, 高水速凝材料充填密闭等技术。

1.1 减沉充填开采技术应用分类

按照充填量和充填范围占采出煤层的比例, 对于现代减沉充填开采技术的应用分类可以分为全采全部充填与全采部分充填。

1.1.1 全采全部充填开采

全采全部充填开采即在煤层采出后顶板未冒落前, 对所有采空区域进行充填, 充填量和充填范围与采出煤量大体一致, 其完全靠采空区充填体支撑上覆岩层控制开采沉陷。

该种开采方法在金属矿山得到了广泛的应用。由于采空区充填采矿法是一种采出率高、贫化率低

[收稿日期] 2011-08-11

[基金项目] 国家自然科学基金项目(51104162); 国家科技支撑计划课题(2009BAB48B02)

[作者简介] 李 杨(1982-), 男, 河北唐山人, 在读博士, 主要研究方向煤矿绿色开采, 充填开采。

的采矿方法，特别在地表不允许破坏和有自燃倾向的矿床开采中，具有无可替代的作用。

按照所采用充填材料和输送方式的不同，将现代全采全部充填开采分为：用矿车、胶带或其他机械输送干式充填料（井下固体废物）充填采空区的干式充填采矿法^[4]；用水泥及其代用品或其他胶凝材料与矸石等配制成具有胶结性质的充填材料充填采空区的胶结充填采矿法。

其中，干式充填采矿法的充填料主要采用井下掘进头产出的矸石或地面的矸石山，实现矸石不升井和减少地表污染的真正绿色开采。目前我国煤矿常见的干式充填采矿方式主要有采空区架后刮板输送机漏矸充填、巷道迎头抛矸机胶带充填^[5]；目前我国煤矿常见的胶结充填采矿方式主要有泵送膏体充填、泵送高浓度胶结材料充填、煤矸石似膏体自流充填。

1.1.2 全采部分充填开采

全采部分充填开采，是相对全部充填而言的，其充填量和充填范围仅是采出煤量的一部分，仅对采空区的局部或离层区与冒落区进行充填，靠覆岩关键层结构、充填体及部分煤柱共同支撑覆岩控制开采沉陷^[6]。

全采全部充填的位置主要是采空区，而部分充填的位置可以是采空区、离层区或冒落区。部分充填开采技术关键在于结合采动岩层移动规律，靠覆岩关键层结构、充填体及部分煤柱共同支撑覆岩控制开采沉陷。目前我国煤矿常见的部分充填开采方式主要有冒落矸石空隙注浆胶结充填减沉法、覆岩离层注浆充填法^[6]。其中冒落区充填可以分为长壁开采冒落区注浆充填、房柱式冒落区注浆充填和条带开采冒落区注浆充填。

1.2 现代煤矿充填技术应用分类

我国现代煤矿充填技术应用分类总结见图 1。

2 现代煤矿常用充填技术及系统概述

近年来，许多学者开始加大对充填开采的方法、矿压及岩层控制理论、充填系统设备等问题的研究，提出了许多充填开采及沉陷控制技术的新思路。如郭广礼将充填与条带开采相结合提出了三步法开采沉陷控制模式；许家林结合关键层理论提出了部分充填和短壁充填的思路；淄博、邢台等矿区有多座煤矿进行了条带矸石充填试验；淄博岱庄煤矿实施了条带矸石充填的工业性试验；山东的新汶、淄博矿区、河北的邢台矿区和山西的霍州矿区先后进行了长壁工作面矸石充填、胶结充填和巷采

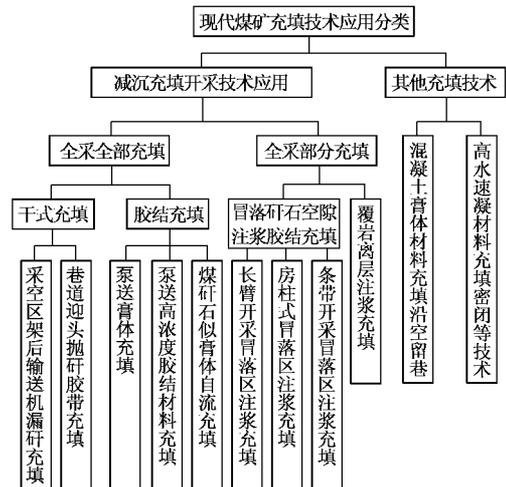


图 1 我国现代煤矿充填技术应用分类

矸石充填的试验研究，并开发出了一些专利设备；张华兴等提出对冒落区注浆加固；杨宝贵利用胶结性固体废物充填材料充填采空区，并分析了胶结性固体废物充填材料的特殊性，目前正在有关煤矿开展工业性试验。

根据近几年我国煤矿充填技术的应用情况，介绍泵送高浓度胶结材料充填、巷道迎头抛矸机胶带充填、采空区架后刮板输送机漏矸充填、混凝土膏体材料充填沿空留巷，4 种充填技术的应用。

2.1 泵送高浓度胶结材料充填系统

泵送高浓度胶结充填所采用的充填材料是煤矸石、粉煤灰、胶结材料和水，其中煤矸石采用成品煤矸石，胶结材料为 32.5 号普通硅酸盐水泥。充填的过程是先将煤矸石破碎加工，然后把煤矸石、粉煤灰、水泥和水按一定比例混合、搅匀，用充填泵输送到井下充填采空区的过程，整个充填工艺的流程可以划分为矸石破碎子系统、配比搅拌子系统、管道泵送子系统、井下工作面充填子系统。充填系统工艺流程见图 2。在使用成品矸石期间，不需要矸石破碎子系统，但将来不可避免地用到原料矸石，所以在工艺流程设计时考虑了原料矸石的破碎，因而设计了矸石破碎子系统。

2.2 巷道迎头抛矸机胶带充填系统

巷道迎头抛矸机胶带充填也称为充填巷采。该充填技术是一项旨在减少矿井环境污染、节能减排、实现煤矿“三下”采煤的最新技术研究^[7]，其工艺流程根据矿井的条件而设计。一般情况下，其工艺流程如图 3 所示。

充填巷采系统工艺流程：岩巷掘进的矸石装车后经轨道大巷、运料车场进入充填工程上部车场运至矸石仓上口，由推车机、翻车机将矸石翻入矸石

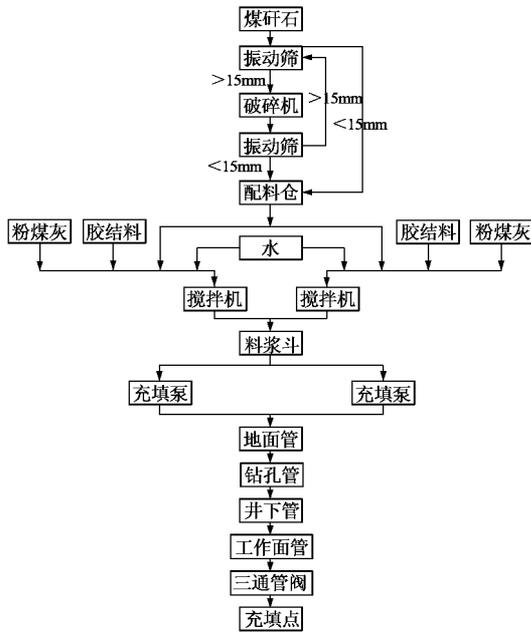


图2 泵送高浓度胶结材料充填系统工艺流程

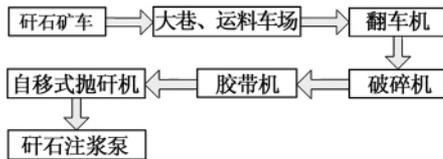


图3 巷道矸石充填系统工艺流程

仓，经破碎机把矸石破碎到 $\leq 150\text{mm}$ 粒径，再由给料机、胶带运到充填巷，经输送机抛射充填，矸石在较干燥的情况下边充填、边洒水，以利于矸石堆集。

矸石充填经抛矸胶带充填完成后，对巷道回填矸石上部的空隙采用注浆法加以充填密实。管道输送充填注浆系统位于输送机后面，矸石通过胶带到达筛分设备后筛分出粒径小于 5mm 的粉末，然后加注水泥、粘结剂等制成浆体物料，由注浆系统注入充填矸石上部空隙，通过回填矸石的缝隙将浆液流入回填矸石中起到凝结作用，同时将顶部空隙充满，使巷道的充填率达到最好。

2.3 采空区架后刮板输送机漏矸充填系统

采空区架后刮板输送机漏矸充填工作面采用走向长壁后退式采煤法，生产工艺采用综采工艺^[8-9]。采用双滚筒采煤机割煤、装煤。工作面矸石充填采用专用充填液压支架后悬150刮板输送机运矸，充填液压支架如图4，矸石通过溜槽卸载孔，自下而上进行采空区充填，充填过程中可采用卸矸溜槽之间增加普通溜槽的方式，调整卸矸溜槽孔距以保证充填效果。

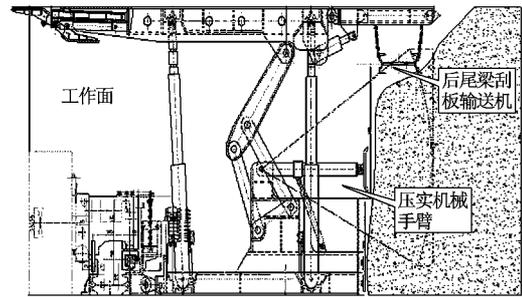


图4 采空区架后刮板输送机漏矸充填液压支架

采空区架后刮板输送机漏矸充填系统工艺流程有2种：

(1) 先采后充：煤机割煤至溜头或溜尾→移溜、拉架→顺直工作面充填溜子→开动充填溜子→开动工作面轨道巷运矸胶带运矸→工作面充填→(充填完毕后按相反操作)停止运矸胶带→停止充填溜子→卫生清理。

(2) 边采边充：煤机割煤→移溜、拉架→开动充填溜子→开动工作面轨道巷运矸胶带运矸→工作面前方采煤后方充填→(充填完毕后按相反操作)停止运矸胶带→停止充填溜子→卫生清理。

2.4 混凝土膏体材料充填沿空留巷系统

到目前为止，我国对薄及中厚煤层采煤工作面的沿空留巷技术已日趋完善，巷旁支护、巷内支护、加强支护及煤帮加固技术已经成熟。

新巷旁支护应用混凝土膏体速凝材料进行整体浇注充填，克服了以往巷旁支护(如矸石带、混凝土砌块等)增阻速度慢、初撑力低等缺点，混凝土膏体速凝材料的早强和速凝特性，使得充填体在工作面后方 10m 以内就可以达到其支护阻力的 60% 以上^[10-12]。

采煤工作面采用单一走向长壁、区内后退式综合机械化采煤法，一次采全高，轨道巷采用混凝土膏体材料充填沿空留巷，每次充填长度 2400mm ，宽度 2500mm ，充填体在轨道巷内的宽度为 900mm ，在采空区的宽度为 1600mm ，其余采空区顶板为自然垮落法处理。沿空留巷充填材料选用膏体混凝土，其主要成份是：硅酸盐水泥、碎石、砂子、粉煤灰、添加剂及水拌和的膏体混凝土。

采煤工艺流程为：割煤→推溜(装、运煤)→移架→充填，每推进3个步距，充填1次。本工作面计划按照“两采两充”组织施工，每个采煤班生产3刀，每天生产6刀。

混凝土膏体材料充填沿空留巷充填系统工艺流程，如图5所示。

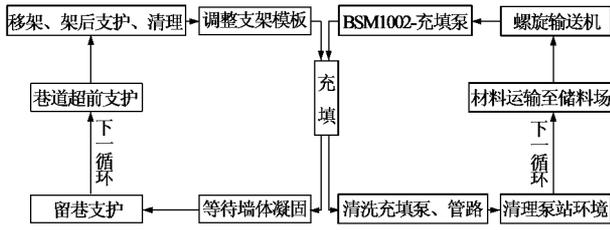


图 5 沿空留巷工艺流程

3 结论

(1) 为适应村庄等建筑物不搬迁采煤的需要, 逐渐发展了充填开采、部分开采、采空区冒研空隙注浆充填、覆岩离层区注浆、完全开采、顺序开采、协调开采、连续开采、对称背向开采、同时开采等一系列建筑物下、铁路下、水体下采煤方法。就控制地表沉陷效果来说, 充填开采无疑是最有效的方法。

(2) 对于现代煤矿充填技术的应用分类, 是近几年我国煤矿比较常用的充填采矿技术, 有些充填技术没有罗列, 例如水砂充填、风力充填等在现代煤矿中利用较少, 也不是煤矿充填开采技术的发展方向。而对于未来充填技术的发展, 必须满足控制地表变形、处理矿井废弃物、保障矿井产量、降低充填成本等条件, 只有同时满足这些条件的充填采矿方法才是真正意义的绿色开采。

(3) 随着绿色开采理论的提出, 充填采矿技术拥有了更广阔的发展空间, 但发展的同时也存在许多问题需要完善, 例如干式矸石充填其充填体的压缩率较大, 最终产生的地表变形较大, 对地表沉陷控制要求较高的场合该方法不太适合; 膏体充填与高浓度胶结材料充填其充填成本过高, 存在充填

工作面积水与淤泥过多等问题, 而所有充填采矿的主要问题还是充填工作面产量过低。因此, 对于以后充填开采技术的研究提出了更高的要求。

(4) 煤矿充填开采技术的工艺与设备已趋于完善, 但是对于充填开采技术的理论研究还很缺乏, 在充填开采条件下顶板及上覆岩层的活动与破坏规律、充填工作面矿山压力显现规律等问题还需做更深入的研究。

[参考文献]

[1] 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 (04): 343-348.

[2] 钱鸣高, 许家林, 缪协兴. 煤矿绿色开采技术的研究与实践 [J]. 能源技术与管理, 2004 (04): 1-4.

[3] 闫少宏, 张华兴. 我国目前煤矿充填开采技术现状 [J]. 煤矿开采, 2008, 13 (03): 1-3, 10.

[4] 孙文标, 郭军杰, 张建立, 等. 煤系固体废弃物用作充填材料改善煤矿安全和环境状况 [J]. 矿业安全与环保, 2008 (01): 70-72.

[5] 刘鹏亮. 邢东矿充填巷式开采数值模拟与现场实测研究 [D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2007.

[6] 李兴尚. 建筑物下条带开采冒落区注浆充填减沉技术的理论研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008.

[7] 刘建功, 赵庆彪, 张文海, 等. 煤矿井下巷道矸石充填技术研究与应用 [J]. 中国煤炭, 2005 (08): 36-38.

[8] 张吉雄. 矸石直接充填综采岩层移动控制及其应用研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008.

[9] 张吉雄, 缪协兴. 煤矿矸石井下处理的研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2006 (02): 197-200.

[10] 卜万奎, 李强, 徐慧, 等. 条带开采矸石充填控制变形的数值模拟研究 [J]. 矿业安全与环保, 2008 (02): 4-7.

[11] 刘长友, 杨培举, 侯朝炯, 等. 充填开采时上覆岩层的活动规律和稳定性分析 [J]. 中国矿业大学学报, 2004 (02).

[12] 郭振华. 村庄下膏体充填采煤控制地表沉陷的研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008. [责任编辑: 施红霞]

(上接 10 页)

始化与数据样本特征相关联, 避免由于聚类中心的选取不当引起聚类误差; 同时, 改进的聚类算法按照时间顺序对数据样本进行分组, 大大降低了迭代运算次数, 提高了计算效率。

利用改进聚类技术有效地对原始数据样本进行聚类分析后, 对每簇数据进行异常点检测和处理, 减小了误差; 并采用平均值法计算每簇数据的新聚类中心作为实际位移数据点, 以便更为准确地计算安全阀流量。

[参考文献]

[1] 鲁永秋, 高钦和, 蒋威. 液压系统的压力、流量数据采集

系统设计 [J]. 机床与液压, 2008, 36 (11): 124-130.

[2] 胡学军, 滕达, 谈宏华. 基于 MATLAB 的液压试验台的数据采集与处理 [J]. 自动化技术与应用, 2010, 29 (3).

[3] 王晗, 孔令富. 一种新的增量式关联规则数据挖掘方法研究 [J]. 仪器仪表学报, 2009, 30 (2): 438-443.

[4] 张贺, 蔡江辉, 张继福, 等. 信息熵度量的离群数据挖掘算法 [J]. 智能系统学报, 2010, 5 (2): 150-155.

[5] 孙庆先, 陈秋平, 方涛, 等. 基于模糊聚类的多尺度空间数据挖掘模型及其矿山应用 [J]. 上海交通大学学报, 2008, 42 (2): 194-197.

[6] 周荃, 赵凤英, 王崇俊, 等. 数据挖掘方法在入侵检测中的应用研究 [J]. 模式识别与人工智能, 2008, 21 (4).

[7] 陈大峰, 汪加才, 韩冰青. 基于离群数据挖掘的计算机审计 [J]. 南京审计学院学报, 2009, (6) 2: 62-66.

[责任编辑: 李宏艳]