文章编号：1000-1964(2006)02-0197-04

煤矿矸石井下处理的研究

张吉雄[1]，缪协兴[2]
(1. 中国矿业大学 能源与安全工程学院，江苏 徐州 221008；
2. 中国矿业大学 理学院，江苏 徐州 221008)

摘要：针对煤矿矸石地表堆积对人类生存环境和条件带来的威胁与危害，研究了矸石井下处理技术. 该项技术运用开采沉陷理论预计地表允许沉陷范围内充填区域矸石充填压实后残余空间的最大高度，确定矸石充填巷的布置；基于数值模拟方法分析了充填巷两侧煤柱应力分布、消除充填巷开掘时的“多洞效应”问题，优化矸石充填巷掘进顺序；设计了矸石充填工艺. 此项技术在邢东矿井得到成功应用，实现了矸石井下处理与建筑物下煤炭资源的开采利用.

关键词：矸石；井下处理；充填巷；多洞效应；充填工艺
中图分类号：TD 849⁺.5　　**文献标识码**：A

Underground Disposal of Waste in Coal Mine

ZHANG Ji-xiong[1], MIAO Xie-xing[2]
(1. School of Mineral and Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 2. School of Science, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract: In order to solve the problem of heaping waste in aboveground, a technique of disposal waste in underground was proposed. Applying theory of mining subsidence and by means of the maximum height of residual space of the compacted filling-waste within the limits of mining subsidence, the layout of waste filling roadway was determined. Based on numerical simulation method to analyze stress distribution of coal-pillar of both sides of filling roadway and to remove 'mutual influence of multi hole' caused by driving filling roadway, the driving sequence was optimized and determined. The filling process of waste was designed. The technique has been successfully used in Xingdong Coal Mine and the good results of disposing waste in underground and mining coal resource under the surface building have been realized.

Key words: waste; underground disposal; filling roadway; mutual influence of multi hole; filling technology

煤矿矸石传统的处理方式是由井下提至地表堆积，形成煤矿特有的地表特征“建筑物”——矸石山. 据不完全统计，目前全国历年累计堆放的煤矸石约 45 亿 t，规模较大的矸石山有 1600 多座，占用土地约 1.5 万 hm^2，而且堆积量每年还以 1.5～2.0 亿 t 的速度增加. 煤矸石的大量排放对人类生存环境和条件带来很大的威胁与危害，主要表现在：侵占土地、污染环境、危害人类安全[1-3].

而矸石井下处理可断绝其污染源，消除其危害. 本文研究了井下矸石(主要指来自岩石及煤-岩巷道、硐室掘进所出矸石)处理问题. 主要通过地表允许沉陷范围内充填区域矸石充填压实后残余

收稿日期：2005－05－20
基金项目：国家杰出青年科学基金项目(50225414)；国家自然科学基金项目(50374065)
作者简介：张吉雄(1974-)，男，宁夏回族自治区中卫市人，讲师，博士研究生，从事采动岩体控制及矸石井下处理等方面的研究.
E-mail：zjxiong@163.com　　Tel：0516-83885501

空间的最大高度及矸石充填巷两侧煤柱的应力分布，来确定矸石充填巷的合理布置及开掘顺序，设计矸石井下处理工艺等，进行矸石与煤的“置换”[4-5]，并在邢东矿井进行了工业性试验.

1 充填区域采矿技术条件

矸石井下处理工业性试验地点在邢东矿井工业广场和先于村保护煤柱中. 该区域位于 −760 大巷东侧，南邻主副暗斜井，北邻 F21 断层，东面是本矿井深部采区. 规划区南北平均长 455 m，东西平均宽 680 m，面积 30.94 万 m^2. 该区域煤层走向 NW29°～NE2°，倾向 NE，矿井主采 2# 煤层厚度平均 4.35 m，倾角 10°，煤层赋存深度 842～975 m. 区内构造简单，煤层赋存稳定.

2 矸石压实后残余空间最大高度预计

考虑邢东矿采用的综掘机最大有效掘进宽度为 5.0 m，矸石充填巷的宽度设计为 5 m（高度与煤层厚度相同，为 4.35 m）. 由于巷宽较小，可按照小区域开采沉陷理论[6-7]预计地表允许沉陷范围内矸石压实后残余空间的最大高度，结果如图 1 所示.

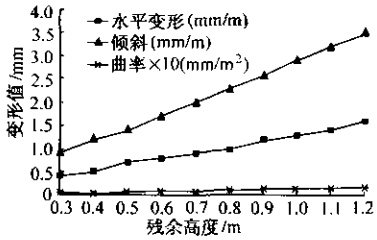


图 1 残余空间的最大高度

Fig. 1 The maximum height of residual space

国家 I 级保护规定[8]：水平变形 $\varepsilon \leqslant 2.0$ mm/m，曲率 $k \leqslant 0.2$ mm/m^2 和倾斜 $i \leqslant 3.0$ mm/m. 结合邢东矿井以往地表开采沉陷观测资料及地表建筑物结构情况，设计矸石充填后地表拉伸变形在 0.8 mm/m，曲率在 0.2 mm/m^2 和倾斜在 3.0 mm/m 的范围之内. 由图 1 可知，充填区域矸石充填压实后残余空间的最大高度不大于 0.7 m.

3 充填巷两侧煤柱设计与开掘顺序优化

3.1 充填巷两侧煤柱宽度设计

通过矸石的力学性能测试，得出邢东矿井矸石的压实度为 0.7. 并由前述充填区域矸石充填压实后残余空间的最大高度不大于 0.7 m、充填巷宽为 5 m，经分析计算确定充填巷两侧煤柱宽度为 5 m，即充填区域回采率为 50%.

3.2 矸石充填巷开掘顺序优化

设计矸石充填巷最小间距 5 m，施工充填巷在一定距离时会出现应力相互叠加的负效应（本文称之为“多洞效应”），从而降低充填巷掘进速度、并使其难以维护. 如何开掘才能降低或消除多洞效应，需对充填巷的开掘顺序进行合理安排.

为确定充填巷间合理的开掘顺序，通过 UDEC 3.0 数值计算软件对开掘充填巷后两侧煤柱支承应力分布进行分析. 根据研究问题的需要，建立平面应变计算模型，计算模型沿水平方向取 1 800 m，垂直方向取 860 m. 按围岩条件模型取岩层柱状共计 21 层，围岩物理力学性质参照实际岩体力学参数确定，见表 1.

表 1 煤岩层力学性质参数

Table 1 Mechanical property parameters of strata

岩层性质	弹性摩量/GPa	剪切摩量/GPa	内摩擦角/(°)	内聚力/MPa	抗拉强度/MPa
表土层	1.1	0.8	21	0.25	0.1
黏土岩	2.5	1.8	26	0.4	0.25
亚黏土岩	2	1.4	24	0.3	0.1
泥质细砂岩	12	8	30	2.2	1.8
粗粒砂岩	11	7.5	29	1.5	1.5
粉质砂岩	10	6	27	1.1	1.05
中砂岩	12	8	26	2.2	1.8
粉砂岩	14	10	31	2.4	1.9
细砂岩	18	12	32	3.2	3.2
煤	4.6	3.0	30	0.65	0.45

设定煤层的厚度为 4.35 m. 模型两侧面为滑动支承，底部为固定支承. 围岩本构关系采用 Mohr-Coulumb 模型. 数值计算所选择的岩土力学参数见表 1. 单条充填巷开掘后的应力影响范围如图 2 所示，相距 15 m 的两条充填巷开掘后应力分布如图 3 所示.

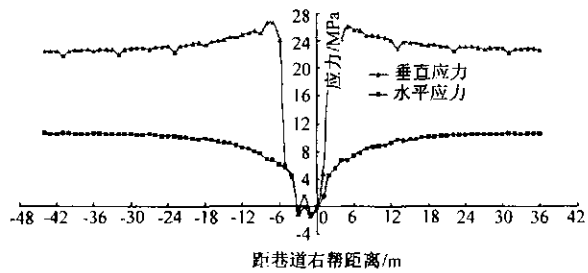


图 2 单条充填巷开掘后的应力影响范围

Fig. 2 Area of influence of stresses while driving only one filling roadway

由图 2，3 可以得出：

1）从巷道开掘应力影响范围应力分布分析，水平应力与垂直应力的影响范围在 27 m 范围内、稳定区域在 27 m 外，其峰值影响范围为 6～7 m.

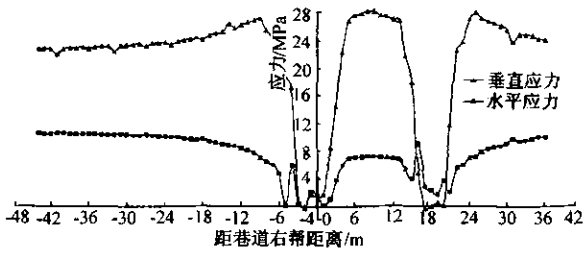


图 3　相距 15 m 的两条充填巷开掘后应力分布

Fig. 3　Stress distribution while driving two filling roadway in 15 m

2）相距 15 m 开掘两条充填巷后，在两巷中部会出现应力叠加区. 故在 15 m 范围内开掘时，须在两侧的充填巷已充填完毕. 为了提高充填矸石的对上部岩层的控制效果，在距已经充填完毕的充填巷一侧 15 m 的充填巷内，通过在煤柱中打钻孔对其进行注浆强化加固.

结合设计煤柱宽度为 5 m，充填巷宽为 5 m，基于掘进时消除多洞效应问题，最终确定邻近巷道的开掘应在 35 m 的位置，以此间距交错开掘. 矸石充填巷的布置及其开掘顺序如图 4 所示，图中 1，2，3，4，…为充填巷的位置与开掘顺序.

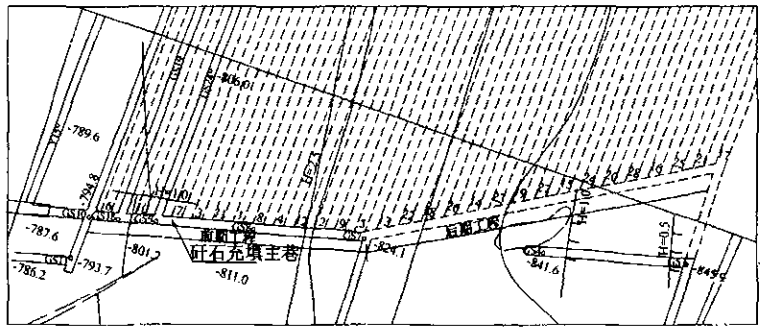


图 4　矸石充填巷布置及其开掘顺序

Fig. 4　Layout of waste filling roadway and its sequence of driving

4　工程应用概况

4.1　充填工艺

矸石井下充填工艺设计，即充填方法的研究，是这项技术工程应用的关键. 作者在国内外调研的基础上，确定矸石井下处理充填方案为：胶带输送机运输，矸石充填机充填，并向充填完毕的充填巷进行邻近充填巷注浆加固.

根据设计的充填工艺，矸石充填设备选用（或研制）以下设备各一台：矸石充填机（自行研制）TLL-1/6 推车机，FDBZ-1/6 翻车机，破碎机；K3-00A 给煤机，DSP1010/650 机尾驱动式胶带输送机.

充填工艺如下：矸石矿车经推车机推入翻车机，翻车机翻矸到破碎机，破碎机把矸石破碎成粒径小于 150 mm 的矸石存放到矸石仓，由矸石仓下口入给料机，将矸石转载到胶带运输机上运至充填机，由充填机充填到充填巷内. 并在邻近充填巷（距本填巷一侧 15 m 的矸石充填巷）内进行注浆强化加固，其工艺流程如图 5 所示.

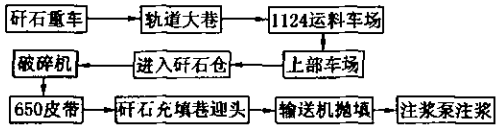


图 5　矸石充填工艺流程

Fig. 5　Process of waste filling technique

4.2　经济效益分析

邢东矿井进行矸石井下处理，消除了地表矸石山对人类生存环境带来的威胁与危害. 并取得了以下的经济效益（以邢东矿井目前每年岩巷掘进出矸量 4.0 万 t/a 计）：1）矸石充填工程固定投入合计 335.8 万元；2）每吨矸石井下处理费用 14.3 元/t，即每年矸石井下处理费用为 57.2 万元；3）矸石充填所需掘充填巷出煤效益 1594.7 万元.

综上可知，此项矸石充填工程每年新增利税 1594.7万元，创纯利润 1537.5 万元，取得了较好的经济效益.

5　结　论

矸石井下处理技术工程试验成功，实现了从源头上消灭地表矸石的堆放，取得以下成果：

1）首次提出矸石井下处理技术研究的总体思路，并在邢东矿井试验成功. 实现了矸石井下处理与建筑物等下的煤炭资源的开发利用，取得了较好的经济效益与社会效益.

2）运用开采沉陷理论预计地表允许沉陷范围内充填区域矸石充填压实后残余空间的最大高度为 0.7 m，并据综掘机允许最大掘进宽度 5 m，矸石的压实度 0.7，确定了充填巷及其两侧煤柱宽度为 5 m.

3）通过大型工程计算软件 UDEC3.0 分析开

掘充填巷后其两侧煤柱应力分布，并消除了充填巷开掘时的“多洞效应”问题，优化了充填巷的开掘顺序.

4）优选矸石井下处理方案，设计了采用充填机进行矸石充填的工艺处理.

致谢：本文得到中国矿业大学青年科研基金(OA4453)资助，特致谢.

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，2003，32(4)：343-348.
QIAN Ming-gao，XU Jia-lin，MIAO Xie-xing. Technique of cleaning mining in coal mine[J]. Journal of China University of Mining & Technology，2003，32(4)：343-348.

[2] 中国能源发展报告编辑委员会. 中国能源发展报告[M]. 北京：中国计量出版社，2001.

[3] 钱玉山. 煤炭清洁生产中的矸石处置[J]. 能源环境保护，2001，15(5)：22-24.
QIAN Yu-shan. Waste disposal of clearing mining [J]. Journal of Protection of Energy Environment，2001，15(5)：22-24.

[4] 张东升，张吉雄，徐金海. 预掘巷过断层及其矸石井下处理技术[J]. 中国矿业大学学报，2004，33(2)：178-182.
ZHANG Dong-sheng，ZHANG Jie-xiong，XU Jin-hai. Pre-driven roadway in fault and under disposal of associated waste[J]. Journal of China University of Mining & Technology，2004，33(2)：178-182.

[5] 李金柱. 井工煤矿清洁开采技术[J]. 中国煤炭，1997，23(6)：25-29.
LI Jin-zhu. Clean mining technology for underground coal mine[J]. Journal of China Coal，1997，23(6)：25-29.

[6] 邹友峰，邓喀中，马伟民. 矿山开采沉陷工程[M]. 徐州：中国矿业大学出版社，2003.

[7] 煤炭科学研究院北京开采研究所. 煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用[M]. 北京：煤炭工业出版社，1983.

[8] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]. 北京：煤炭工业出版社，2000.

（责任编辑 陈其泰）

我校第十批学位授权申报工作取得重大突破

近日，国务院学位委员会公布了第十批博士和硕士学位授权学科、专业名单，我校此次学科点申报工作取得重大突破.

在学科点数量上，我校新增 4 个博士学位授予权一级学科，17 个博士学位授予点，14 个硕士学位授权一级学科，24 个硕士学位授权点。其中，增列的二级学科博士学位授权点数量远远多于以往历次申报获准的数量. 由此，我校具有博士学位授予权的一级学科达到 9 个，博士学位授予权的二级学科达到 50 个，硕士学位授予权的二级学科达到了 96 个.

我校本次申报工作的突破，使我校博士点学科领域得到极大的拓宽，学科布局得到进一步优化. “思想政治教育”学科获得博士学位授权点，成为我校第一个在法学门类获得博士授予权的学科，实现了我校人文社科类博士点的首次突破，使我校博士生培养学科门类从原来的三大门类拓宽到包括法学在内的四大门类. “地质学”一级学科整体授予权的获得，实现了我校在理学门类中一级学科博士点的首次突破，为我校理学博士生的培养提供了更为广阔的平台. 在构建多科性、高水平研究型大学的学科体系中迈出了重要的一步.