

TDS 智能干选硐室大断面围岩变形规律研究

段玉锋

陕西澄合百良旭升煤炭有限责任公司, 陕西 渭南 715300

[摘要] 大断面智能干选硐室开凿后, 围岩变形较常规巷道持续时间长、初期发展剧烈。为了分析了智能干选硐室围岩裂隙发育特点和围岩变形规律, 通过现场钻孔窥视得到硐室顶板结构特征, 并利用数值模拟软件对智能干选硐室围岩塑性区的变化过程及硐室围岩的位移变化、塑性区的发展形式进行了分析, 并综合现场实测及数值模拟结果对硐室围岩变形破坏影响因素进行了总结, 从而揭示了百良旭升煤矿智能干选硐室围岩变形失稳特征。研究表明: 大断面围岩塑性区变化过程中局部塑性点、围岩塑性环、塑性局部畸变、不均匀扩展、恶性扩展、快速扩展等共 6 个阶段展, 为智能干选硐室围岩控制提供理论依据。

[关键词] 大断面; 干选硐室; 围岩变形; 塑性区发育

DOI: 10.33142/aem.v4i9.6954

中图分类号: TD353

文献标识码: A

Study on Deformation Law of Large Section Surrounding Rock in TDS Intelligent Dry Cleaning Chamber

DUAN Yufeng

Shaanxi Chenghe Bailiang Xusheng Coal Co., Ltd, Weinan, Shaanxi, 715300, China

Abstract: After the excavation of large section intelligent dry separation chamber, the deformation of surrounding rock lasts longer than that of conventional roadway and develops violently in the initial stage. In order to analyze the crack development characteristics and deformation law of surrounding rock of intelligent dry cleaning chamber, the structural characteristics of chamber roof were obtained by drilling on site. The change process of plastic zone, displacement change and development form of plastic zone of surrounding rock of intelligent dry cleaning chamber were analyzed by using numerical simulation software. The results of field measurement and numerical simulation were used to analyze the surrounding rock of intelligent dry cleaning chamber. The influencing factors of deformation and failure are summarized, and the deformation and instability characteristics of surrounding rock of intelligent dry separation chamber in Bailiang Xusheng coal mine are revealed. The results show that: In the process of plastic zone change of large section surrounding rock, there are six stages: Local plastic point, surrounding rock plastic ring, plastic local distortion, uneven expansion, malignant expansion and rapid expansion, which provide theoretical basis for surrounding rock control of intelligent dry separation chamber.

Keywords: large section; dry separation chamber; surrounding rock deformation; development of plastic zone

引言

随着“绿水青山就是金山银山”生态环保理念的深入人心, 近年来很多煤矿开始朝着绿色矿山、生态矿山转型发展。目前, 已有多家煤矿开始尝试在井下建立煤矸分选系统, 以期实现矸石不升井、地面无矸石的目标^[1~3]。然而煤矸分选系统中煤矸分选设备体积大且系统相关设备多, 因此往往需要在井下建立大断面硐室或硐室群, 在复杂地质条件下, 大断面硐室变形破坏严重、控制困难。

掌握硐室变形规律是对其成功控制的前提。目前国内学者展开了以一些的研究。周向文等^[4]利用数值模拟手段研究了回采巷道在其掘进期间围岩变形与巷道空间布置关系。刘学生等^[5]研究了单一大断面硐室和硐室群条件下硐室的变形特点, 研究结果认为硐室群条件下硐室开挖后围岩变形呈非对称性, 裂隙更加发育, 建议“品”字形

布置硐室群; 孟庆彬等^[6]研究了 4 种不同支护条件下, 大断面硐室的围岩塑性区发展规律; 杨朋等^[7]通过物理模拟相似加载试验, 得到了不同掘巷方式下大断面硐室的变形破坏特征和裂隙发育规律。以上研究从多角度研究了硐室围岩变形特点和规律, 但目前针对其破坏机理还未有统一的认识。因此有必要针对硐室变形展开更深入的研究。

为此, 本文以陕西澄合百良旭升煤炭有限责任公司百良旭升煤矿井下智能干选硐室为研究对象, 以该硐室所处的工程地质情况建立数值模拟模型, 采用 FLAC3D 数值模拟软件, 研究硐室开挖后的围岩塑性区、应力场、变形量的发育规律, 为智能干选硐室围岩稳定性控制提供理论依据。

1 工程地质概况

百良旭升煤矿位于陕西省合阳县, 隶属于陕西陕煤澄合矿业有限公司, 设计生产能力 60 万 t/a。为了响应国

家环保政策号召,实现在井下进行煤矸分选和充填的目标,矿井在井底煤仓附近建立了煤矸分选系统,其主要硐室为智能干选硐室。智能干选硐室形状为直墙半圆拱,直墙净宽 6.10m,硐室高 7.95m,硐室断面面积达 44.5m²,属于典型的大断面硐室。智能干选硐室平面布置具体如图 1 所示。

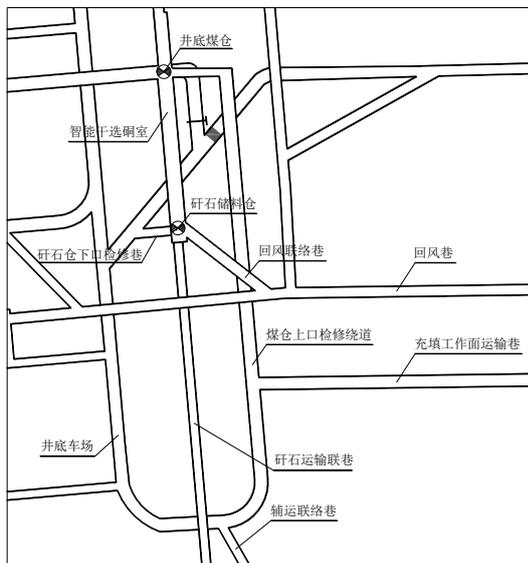


图 1 智能干选硐室平面布置

煤矸干选硐室位于 5 号煤顶板上方大约 35m 处,埋深约 350m,硐室顶底板标高范围为+310.15~+318.10m,其巷道底板为粉砂岩,其余围岩主要以细粒砂岩和砂质泥岩互层为主。智能干选硐室开凿以后,部分断面内出现了顶板下沉量大、硐室变形剧烈等情况。为此以百良旭升煤矿智能干选硐室为例,对围岩变形规律进行研究。

2 巷道围岩裂隙及变形规律实测分析

2.1 围岩裂隙演化实测分析

采用 TYGD10 矿用钻孔探测仪对智能干选硐室进行钻孔摄像观测,共布置两个监测断面,分别为 1#距离井底煤仓处 18m、2#距离井底煤仓 36m 的位置,每个探测断面布置 5 个钻孔,巷道的顶板与左右两肩的孔深都为 8m,左右两帮的孔深都为 6m,每个钻孔的直径为 32mm。

通过对两个监测断面各 5 个钻孔的观测图像进行截图与统计分析,选出了具有代表性的图片,具体的钻孔图如图 2 所示。

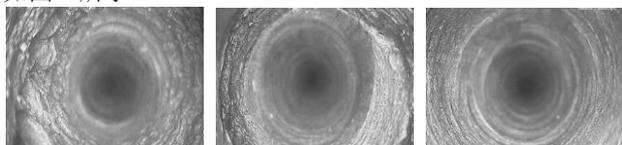


图 2 典型硐室断面围岩钻孔图

从图 2 中可以看出,钻孔图中岩层裂隙的分布形式主要包括破碎区,离层与完整岩层,而破碎区与离层主要是由围岩中的裂隙发育而来。根据各探测孔对围岩的裂隙发育情

况的探测,绘制相对应的巷道监测断面图,更加形象的表现出巷道断面围岩破坏范围,具体的描述图如图 3 所示。

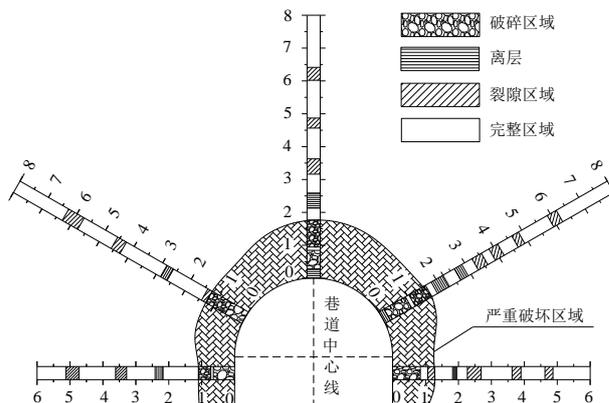


图 3 1#巷道断面围岩破坏范围

由图 2 与 3 分析可知:

(1) 1#硐室断面围岩的破坏范围整体上与硐室表面成环型分布,并与硐室中心线基本呈对称分布。硐室围岩松动破坏的范围为 1.1~1.7m,该破坏区域内围岩多为破碎或严重破坏的形式,钻孔破坏区域以外多为裂隙发育或含少量的离层与破碎区域;

(2) 随着硐室开凿的进行,智能干选硐室围岩破坏的范围逐渐扩大,靠近硐室表面初期为横向与纵向裂隙逐渐发育成破碎区域,而较为完整的区域逐渐产生横向与纵向裂隙,裂隙的范围逐渐向深处扩展延伸;

(3) 硐室掘进初期,由于围岩的强度较低,大断面硐室的自承能力较小,在开挖以后很短时间以内就产生了破坏,相对于小断面巷道掘进初期破坏的范围大。

对 1#与 2#巷道断面各钻孔围岩的破坏范围进行统计分析,具体见表 1。

表 1 巷道各监测断面围岩破坏范围 (单位: m)

项目	右帮平均值	右肩平均值	顶板平均值	左帮平均值	左肩平均值
1#断面	1.30	1.60	1.70	1.40	1.10
2#断面	2.20	2.70	3.00	3.10	2.20

3 数值模拟研究

3.1 模型的建立

根据智能干选硐室围岩赋存特征,结合矿井综合柱状图,建立相对应的数值计算力学模型,和利用有限差分软件 FLAC3D 建立数值计算力学模型,如图 4 所示。

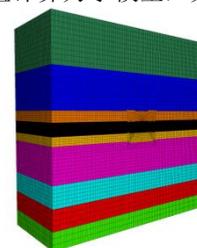


图 4 数值模型立体图

硐室断面为直墙半圆拱形,其跨径为 6.1m,直墙高为 4.9m。根据硐室开挖的影响范围(依据圣维南原理,巷道开挖影响的范围为最大跨径的 3~5 倍),考虑计算机的内存大小等相关因素,确定模型的尺寸长×宽×高为 50m×20m×50m,共划分 284000 个有限差分单元体和 307910 个网格节点。模型侧面和底面采用位移约束,模型上方施加的垂直应力为 9.0MPa,并施加 9.8m/s² 的重力加速度模拟初始地应力场,模型的侧压系数为 1。

3.2 硐室围岩变形破坏过程

塑性区变化数值模拟

巷道围岩塑性区的变化范围与变化形态是影响巷道稳定性的重要因素^[8-10],可通过分析其变化范围与变化形态,来判断巷道首先变形破坏的薄弱部位及研究巷道围岩变化破坏规律^[11-12],以及分析巷道围岩变形破坏影响因素。从而针对薄弱部位与围岩变形破坏规律,采取相应的围岩控制措施,以保证围岩的稳定性。采用数值模拟的方法,以代码运行不同步数模拟巷道随时间变化的变形破坏情况,并布置顶底板及左帮(左右两帮对称,选择左帮观测)的位移测点,观测与分析巷道围岩塑性区的最大值变化。为了更加方便与直观的分析塑性区的变化规律,对监测的巷道顶底板与左帮位移量进行数据整理分析与处理。并对塑性区变化过程中不同迭代步数巷道顶底板与左帮的塑性区最大值做记录,并将迭代的观测阶段进行整理,相应数据整理如图 5(a)、(b)所示。

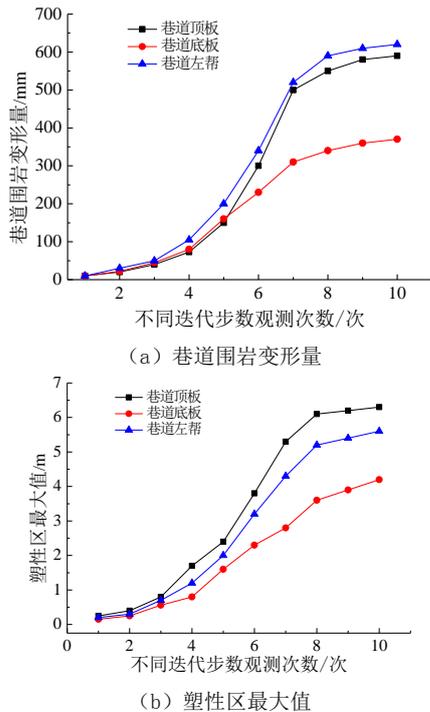


图 5 不同迭代观测次数围岩位移与塑性区最大值曲线

由图 5 可知:

(1) 巷道顶底板为粘土岩,煤层为软弱岩层,巷道

开挖以后,围岩的应力状态发生变化,浅部的塑性区发生破坏,导致围岩的自承能力减小,围岩的两帮与顶板的变形量较大,底鼓也严重,左帮的最大移近量为 620mm,顶板的最大变形量为 590mm,低板的最大底鼓量为 370mm,这与实测围岩变形量接近。

(2) 塑性区最大值的范围变化趋势为初期缓慢变化,中期快速变化,后期趋于平稳,即“慢”、“快”、“缓”3 个不同时期。塑性区的最大值的变形速度与变形量为顶板、两帮、底板依次减小,变化范围分别为 6.3m、5.6m、4.2m。

(3) 巷道塑性区变化扩展过程分析

对图 3-13 巷道开挖以后,不同迭代步数的巷道塑性区的变化过程进行整理分析,可将其分为围岩局部塑性点、围岩塑性环、塑性局部畸变、不均匀扩展、恶性扩展、快速扩展等共 6 个阶段。各个阶段塑性区的变化过程及相应关系如图 3-13 所示。

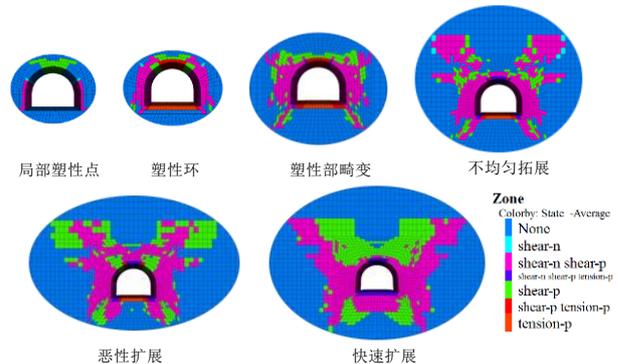


图 6 巷道塑性区变化扩展过程由图 3-13 可知

(1) 局部塑性点与塑性环阶段。巷道刚开挖完,巷道的两帮与顶板以及底板角处分别出现塑性点与不同长度的塑性线。随着迭代的步数增加,巷道浅部围岩应力逐渐增加,塑性点与线逐渐扩展形成塑性环,均匀分布在巷道围岩四周,这与巷道围岩变形理论分析相一致。

(2) 塑性局部畸变与不均匀扩展阶段。随着迭代步数的继续增加,巷道围岩出现不均匀偏向应力,导致巷道四周围岩出现应力集中,从而使巷道局部产生塑性畸变;对于不均匀扩散阶段,即为局部畸变的进一步演变过程,一方面在局部畸变的部位塑性区进一步扩大;另一方面出现新的塑性敏感区。

(3) 恶性扩展与快速扩展阶段。不均匀阶段的塑性扩展,使得围岩的自承能力减小,巷道围岩塑性区在原有基础上进一步延伸,且这种扩展形式随着迭代的步数持续发展;而快速扩展阶段在恶性扩展的基础上全面扩展,围岩由于自承能力快速减小,导致围岩逐渐失稳,从而使得围岩塑性区逐渐扩大,呈现出如“蝶形”的不均匀扩展形式。

3.3 硐室围岩变形破坏影响因素分析

根据围岩裂隙与变形规律实测分析,结合硐室围岩塑

性区的变化过程,对百良旭升煤矿大断面智能干选硐室围岩变形破坏原因进行总结:

(1) 巷道埋深与围岩岩性。百良旭升煤矿智能干选硐室所处的原岩应力为 9.85MPa;硐室顶底板分别为 2.7m 和 2.2m 的细粒砂岩和砂质泥岩,

(2) 高偏向应力。根据硐室围岩塑性区的变化过程,可以得出影响硐室围岩塑性区的恶性与快速扩展主要是硐室所受偏向力,加之硐室围岩的自承能力小,在高偏向应力作用下,硐室围岩塑性区不断呈不均匀方向发展,导致硐室围岩的塑性区扩大而失去控制,硐室围岩产生失稳。

(3) 巷道刚开挖以后,三软煤巷顶板与两帮的浅部围岩发生剪切变化,刚开始,围岩由于具有自承能力,巷道围岩的塑性区变化随迭代的步数向深部发育较小,而当巷道自承能力的减小,巷道围岩的塑性区变化速度迅速增加,围岩变形破坏呈多种形式。

4 结论

通过采用现场实测分析、数值模拟方法,分析了智能干选硐室围岩变形破坏规律,并对智能干选硐室围岩变形失稳进行了数值模拟,总结分析了大断面智能干选硐室围岩变形破坏影响因素,得出如下结论:

(1) 通过对比不同掘进位置处的围岩内部的钻孔图,得出了掘进过程中硐室不同部位围岩内部裂隙演化规律。

(2) 采用数值模拟,通过硐室围岩塑性区随不同迭代步数的变化过程,统计分析了不同迭代次数下智能干选硐室围岩的顶底板及帮部的位移变化量及塑性区最大数值;对围岩塑性区变化过程中局部塑性点、围岩塑性环、塑性局部畸变、不均匀扩展、恶性扩展、快速扩展等共 6 个阶段展开了分析。

(3) 根据硐室围岩裂隙与变形规律及塑性区的变化过程,结合巷道围岩物理力学特性测试,对巷道围岩变形破坏影响因素进行了归纳总结,分别为巷道埋深与围岩岩性,高偏向应力及巷道支护方式。

[参考文献]

- [1]何琪.煤矿井下采选充采一体化关键技术研究[D].北京:中国矿业大学,2014.
 - [2]杨所武.煤矿井下采选充采一体化工艺与技术研究[J].山东煤炭科技,2016(2):21-22.
 - [3]张吉雄,张强,巨峰,等.煤矿“采选充+X”绿色化开采技术体系与工程实践[J].煤炭学报,2019,44(1):64-73.
 - [4]周向文.特厚煤层回采巷道围岩破坏特征及控制技术[J].陕西煤炭,2020,39(5):20-24.
 - [5]刘学生,宋世琳,范德源,等.深部超大断面硐室群围岩变形破裂演化规律试验研究[J].采矿与安全工程学报,2020,37(1):40-49.
 - [6]孟庆彬,孔令辉,韩立军,等.深部软弱破碎复合顶板煤巷稳定控制技术[J].煤炭学报,2017,42(10):2554-2564.
 - [7]杨朋,华心祝,杨科,等.深井复合顶板条件下沿空留巷顶板变形特征试验及控制对策[J].采矿与安全工程学报,2017,34(6):1067-1074.
 - [8]王卫军,郭罡业,朱永建,等.高应力软岩巷道围岩塑性区恶性扩展过程及其控制[J].煤炭学报,2015(12):2747-2754.
 - [9]范加冬.深部软岩巷道耦合支护机制及参数优化研究[D].北京:中国矿业大学,2014.
 - [10]荆升国.高应力破碎软岩巷道棚-索协同支护围岩控制机理研究[D].北京:中国矿业大学,2009.
 - [11]袁亚文.综采工作面采动压力影响下巷道支护技术研究[J].陕西煤炭,2020,39(5):40-43.
 - [12]刘如鹏.深部双翼开采下大巷维护技术实践[J].陕西煤炭,2020,39(4):156-160.
- 作者简介:段玉锋(1989.5-)男,籍贯:陕西合阳,毕业时间:2012年7月,毕业院校及专业:西安科技大学采矿工程,学位:学士,职称:工程师,现任职务:生产副总工程师兼生产部部长;所从事专业:采矿工程。