

铜矿峪矿深部工程支护控制技术应用与探析

王志浩

北方铜业铜矿峪矿 山西 运城 043700

摘 要：随着金属资源开发的深度增加，采准工程布置受复杂地质力学环境影响，巷道围岩易发生变形、破坏和垮落。为保障巷道空间的稳定，需采取技术手段对巷道进行支撑和加固，确保安全。本文针对铜矿峪矿深部工程的地质条件以及地压逐步增大的问题，结合金属矿山领域和铜矿峪矿一期、二期工程常用的支护型式和存在的问题不足，开展后期深部工程的支护技术探析，选择出适合深部工程的支护型式，对同类深部矿山开采具有借鉴指导意义。

关键词：金属矿山；支护理论；支护技术；失效机制；深部开采

1 引言

随着矿山开采深度增加，岩体原始应力平衡被打破，地应力场重新分布。为控制围岩大变形，维持长期稳定，需研发适应高地应力动态变化的支护技术，保障安全生产。近年来，国内外巷道支护技术迅速发展，学者们在支护机理、设计方法、监测技术及材料创新等方面取得突破性进展，积累了丰富的经验。目前锚杆、锚索、喷射混凝土及其组合支护体系已成为行业核心解决方案，有效支撑深部资源安全高效开发^[1]。

2 铜矿峪矿一期二期支护型式及存在的问题

铜矿峪矿1984年引进自然崩落法开采技术，1989年一期工程810中段建成投产，一期工程开采深度较浅，设计巷道平均断面仅为7.8m²，在生产过程中，690m中段的部分巷道出现了较为严重的破坏，主要原因是巷道采用C35流态混凝土被动受压支护，当围岩失稳后，流态混凝土支护强度远远小于采场应力、矿石和围岩重力的共同作用，从而产生了破坏。

二期工程410m中段开采深度最深达到了430m左右，最大主应力在19Mpa-25Mpa之间。采掘、运输设备逐步实现了大型化，巷道平均断面为12m²，同时，矿方技术人员根据现场需求对支护型式进行了优化，提高了支护效果，大部分巷道未出现破坏，仅部分区域受到拉底爆破质量、放矿管理等多方面因素影响，出现了地压破坏。

3 支护系统主要失效原因及型式

采矿实践表明，随着开采深度增加，矿岩受到开采扰动时反应能力提高，呈现出巷道变形大、速度快、持续的时间长等特点。铜矿峪矿支护结构的失效原因一是受支护型式选择的影响，二期工程530m中段采用被动的支护方式，不能充分发挥围岩自身的承载能力；二是由于部分区域拉底爆破和放矿管理不当，形成了长期局部应力集中，产生“楼板”、“岩墙”，对底部结构围

岩的稳定性造成了破坏，使其失去承载能力；三是工程质量不到位，部分巷道掘进超欠挖严重，锚杆、锚索、钢筋网、钢结构、混凝土施工质量不到位造成。主要有以下几种型式^[2]。

3.1 锚杆杆体剪断破坏



图1 锚杆悬空失效

巷道裂隙发育，巷道围岩存在“倒三角”岩块，锚杆布置方式不合理，大块岩体的脱落会导致锚杆悬空失效，如图1所示。

由于掘进及支护施工工程质量差，加上地压活动和爆破影响，造成混凝土开裂破坏。

巷道全部破坏，锚杆、锚网、钢拱架支护整体失效。如图2所示。



图2 支护结构整体失效

4 铜矿峪矿深部工程支护型式探讨

铜矿峪矿深部工程在270m和150m中段进行开采设计,最大开采深度约720m。该区域最大主应力值较高,介于25MPa至37MPa之间。深部岩石节理发育显著,4#矿体节理密度达3.38条/m(间距29.6cm),5#矿体节理密度为1.53条/m, (间距64.8cm)。矿体构造以断裂为主,节理极为发育,且处于高地应力环境。

深部工程采掘、运输设备进一步采用大型化、自动化设备。设计巷道断面随之增大,平均断面为16.8m²,巷道支护难度明显增加。因此,在进行深部工程支护设计时,要充分考虑巷道用途、断面大小、服务年限、原岩特性、受采动应力影响等因素,针对不同和区域,选择相对应的支护材料及支护方式^[3]。

5 深部工程各主要巷道支护型式

深部工程技术人员根据巷道用途、断面大小、服务年限、原岩特性、受采动应力影响等因素,对深部工程各主要巷道支护型式进行了优化,对主要锚杆的长度选择进行了重新计算选择。

5.1 深部工程锚杆长度选择:

5.1.1 理论计算法

根据《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086-2015中的规定,按照下列公式计算,取大值:

$$N_d \leq \frac{f_{ms}}{K} \cdot \pi \cdot D \cdot L_a \cdot \varphi, \text{经过计算,锚杆的锚固段长度}$$

不应小于1.9m,再考虑锚杆外露0.1m,则锚杆总长度不应小于2.0m。

5.1.2 经验计算法

Barton等人(1980)提出的锚杆长度计算公式如下:

$$L = 2 + 0.15B/ESR$$

式中: B——巷道跨度;

ESR——开挖支护比,具体取值见表1。

表1 Barton等人推荐的ESR取值表

序号	工程分类	ESR取值
1	临时井巷	3-5
2	永久井巷、过水隧道等	1.6
3	储存硐室、水处理硐室、联络道等	1.3
4	变电所、主要道路,人员防护硐室等	1.0
5	地下核动力站、铁路站、体育和公共设施	0.8

经过计算,出矿水平的锚杆长度应在2.4m-2.5m

通过上述两种方式估算,不同的巷道支护需要的锚杆长度应在2.4-2.5m之间,考虑到自然崩落法底部结构稳定对生产的重要性,建议选取出矿沿脉和穿脉拱顶的锚杆长度为3.0m(如果现场施工困难,锚杆长度可降至2.5m),两帮的锚杆长度为2.25m。

5.2 锚网、混凝土、锚索的选择^[4]。

基于铜矿峪矿一期、二期工程积累的丰富支护实践经验,结合深部工程所揭露的主要地质特征,现对深部工程的支护系统关键参数提出以下建议:

金属网片:建议继续采用φ6.5mm的钢筋作为金属网片的制作材料。网片编织应保持150mm×150mm的网格尺寸。该规格网片在前期工程中已充分验证其能有效控制破碎岩块的掉落,提供良好的初期表面控制能力,并与后续喷射混凝土层形成可靠的组合拱结构,其强度与韧性匹配深部围岩的变形特性。

索体构成:由两根φ15.20mm的1×7标准型钢绞线组成,采用灰砂比2:1的砂浆全长粘结,锚头采用MJ-1型的锚具,全长粘结确保了荷载沿锚索长度均匀传递至稳定岩层,提供可靠的深部锚固力。

喷射混凝土:支护结构中的喷射混凝土层,其设计强度等级应不低于C25。

5.3 出矿水平支护

出矿水平穿脉巷道属于底部结构中的重要工程,且受拉底地压影响较大,平均断面16.9m²。建议采用喷锚网加长锚索联合支护方式。喷射混凝土采用湿喷工艺,喷射厚度150mm,强度等级为C25。砂浆锚杆采用灰砂比为2:1的水泥砂浆灌注,全长锚固,锚杆孔内灌注密实,锚杆体使用φ22mm的钢筋,锚杆间距为1m×1m,顶板锚杆长度为3.0m,两帮为2.25m,金属网采用φ6.5mm钢筋制作,网度为150mm×150mm。在部分巷道拱部增加锚索支护,间距和排距均为2m,顶部锚索长度8.0m,两侧拱部锚索长度6.0m,锚索由两根φ15.20mm的1×7标准型钢绞线组成,采用灰砂比2:1的砂浆全长粘结,锚头采用MJ-1型的锚具。

5.4 拉底水平支护

拉底水平巷道由于断面较小,平均为10.7m²,建议采用喷射钢纤维混凝土加锚杆支护。喷射混凝土采用湿喷工艺,喷射混凝土厚度为100mm,强度等级为C25;喷射混凝土中加入钢纤维,钢纤维推荐参数为φ0.5mm,长30mm,长径比为60,抗拉强度大于1000MPa;钢纤维加入量为40kg/m³砼。砂浆锚杆支护参数同出矿水平一致。

5.5 有轨运输巷道及风道支护

270m有轨运输距离主层拉底水垂直距离为57m,平均断面为18.8m²,受拉底应力影响较小,但由于断面较大且深部地应力增大,建议有轨巷道采用喷锚网支护,喷射混凝土采用湿喷工艺,厚度为150mm,强度等级为C25;砂浆锚杆支护参数同出矿水平一致。进回风巷道建议采用喷锚网支护,支护参数同有轨运输巷道一致。

5.6 特殊部位的支护

5.6.1 出矿穿脉和装矿进路支护

装矿进路开挖后,出矿穿脉和装矿进路交汇处为应力集中区,应力可达到33MPa,因此建议装矿进路采用两次支护,第一次支护采用喷锚网支护,第二次支护采用喷锚网加中长锚索联合支护。

5.6.2 装矿进路眉线梁支护

装矿进路眉线梁支护建议采用两次支护。见图3

一次支护采用砂浆锚杆+钢筋网+长锚索+喷射混凝土联合支护。混凝土及砂浆锚杆支护参数同出矿水平支护参数一致。

二次支护采用U型钢拱架+钢筋混凝土浇筑支护,设置4排拱架,并降低巷道高度500mm,拱架与装矿进路斜交^[5]。



图3 眉线位置锚喷网+锚索+钢拱架支护

6 深部支护质量的保障措施

6.1 合理布置各类巷道位置

巷道位置、各类硐室及底部结构等选择应尽可能避开较大断层、破碎带,尽可能避开较大断层、破碎带,尤其在暴露面较大区域要重点预防,否则需采取注浆、长锚索、钢结构进行提前支护,补强支护。

6.2 采用可靠支护方式

目前,国际上自然崩落法矿山支护方式也普遍由被动受压支护改进为主动承压支护,主要采用锚杆+钢筋网+长锚索+喷射混凝土(包括钢纤维喷射混凝土)联合支护方式,在重点部位增加了钢结构加强支护。

6.3 加强工程质量管理

一是积极推行“新奥法”施工技术,合理控制超挖,保证巷道规格,提高作业安全性;二是加强锚杆、锚索、钢筋网、钢结构、混凝土施工质量管理,保证支护强度;三是加强拉底爆破过程管控,及时释放、转移应力,避免出现“楼板”“岩墙”等爆破质量问题,同时做好松动出矿,避免因出矿不均造成应力集中。

6.4 做好地压预防治理

地压管理一定坚持“以防为主,防治结合,综合治理”的原则,超前研判,强采强出,及时卸压。利用微震监测技术,做好预警,主动采取措施,及时消除应力集中;做好地压日常检查,早发现、早卸压、早治理,地压治理时,要坚持“治理一个,松动一个”的原则,保证治理成果^[5]。

结束语

本文通过深入分析深部工程每个具体位置(“点”)的地质条件、应力状态、服务年限以及相邻作业的潜在影响,审慎评估并选用砂浆锚杆+钢筋网+长锚索+喷射混凝土联合支护,针对装矿进路眉线梁支护等特殊部位,采取了U型钢拱架+钢筋混凝土浇筑的二次支护,其核心目标在于构建一个协同、互补的支护体系,从而主动预防各类潜在的、由不同诱因导致的破坏模式^[6]。同时,要利用好现代化、智能化技术,巷道支护的监测数据进行分析,提供决策支持,从而提高巷道支护的效率和精度,降低巷道支护的成本和风险。

参考文献

- [1]刘金涛,于壮,张明新.浅析金属矿山支护方式的选择[J].世界有色金属.2019年,(08).188-190
- [2]王建栋.浅谈金属矿山巷道支护技术[J].采矿技术,2024,(04).227-231.
- [3]黄振.矿山巷道支护理论与技术现状探讨[J].山西煤炭.2020,(06).41-42.
- [4]张皓钦,吴钦正,刘兴全.深部矿山支护控制技术应用现状与展望[J].世界有色金属.2020,(06).204-207.
- [5]王鑫.自然崩落法底部结构稳定性影响因素及其保障措施研究[J].采矿技术.2024,(04)258-261.
- [6]张雷.金属矿山深部开采应力变化与巷道支护方法研究[J].世界有色金属.2019,(06).25-27.