

矿山井下巷道破碎岩层掘进支护病害防治

肖 焱

陕西西北有色地质勘查院有限公司 陕西 汉中 723000

摘 要: 矿山井下巷道穿越破碎岩层过程中, 由于掘进扰动以及支护荷载相互影响造成支护结构破坏现象如支护开裂、锚杆断裂、喷射混凝土脱落以及围岩大变形等问题时有发生, 严重影响巷道安全性和使用寿命。针对此问题, 结合破碎岩层性质及支护结构之间相互作用机理对掘进卸载、地压显现、水岩耦合以及施工质量问题四个方面进行分析总结, 在此基础上给出掘进前预加固、掘进中让压支护、选用优质喷射混凝土、锚注一体化和智能化监控五方面综合治理措施, 提出“先治后掘、让抗结合、信息闭环”原则。该文可为复杂环境下巷道支护改进以及预防病害发生起到一定指导作用。

关键词: 破碎岩层; 巷道掘进; 支护病害; 锚注加固; 让压支护; 围岩控制

引言

矿山深部开采不断推进, 在巷道工程施工中遇到的地质条件日益复杂, 而破碎岩层(断层破碎带、节理密集带、软弱夹层等)由于其岩体较破碎、自稳性较差, 导致掘进过程中的支护失效力集中区以及病害高发区。据调查数据, 破碎岩层巷道返修率是完好岩层巷道的3~5倍, 而且大多数病害都在掘进后1~3个月内出现, 严重影响矿井生产接续同时带来安全隐患。目前在工程上普遍使用喷锚网、注浆加固、可缩性金属支架等方法进行治理, 但是面对破碎岩层特有的“扰动敏感—时效劣化—水弱化”的特点, 现有的措施大多来源于经验, 未能全面认识病害的发生和发展过程。因此有必要从力学角度出发研究破碎岩层巷道支护病害类型、原因及其发展规律, 并提出从掘进前到掘进后全方位预防措施。

1 破碎岩层工程力学特征及其对支护的挑战

1.1 破碎岩层的结构性与强度弱化

破碎岩层的特点是其中存在大量的不规则裂隙、节理或者断层泥使得它不能被视为一个连续体, 在其结构面上(一般用裂隙间距或者RQD表示)决定了整个岩石力学性质, 在RQD小于30%的情况下, 可认为该区域为严重破碎, 此时单轴抗压强度仅为完好岩体强度的1/3甚至更低而且其摩擦角也会大幅下降, 更重要的是, 破碎岩层具有明显的方向性和非均匀性, 由于裂隙的存在使得作用于它上面的支护荷载无法形成良好的“承载拱”, 因此几乎所有的松弛应力都要由支护来承受。

1.2 流变时效性与水敏感性

破碎岩层在恒定地应力条件下具有较大的蠕变性, 在蠕变过程中可以达到正常岩层的几倍到几十倍, 而且一般不会有明显的减速蠕变过程就进入了等速或者加速蠕变的阶段。这就说明, 在施工初期虽然围岩得到及时支护, 但是经过一段时间由于围岩继续变形会造成支护超载。另外, 裂缝的存在为地下水渗流提供了路径, 水分一方面起到润滑作用, 减少了岩石之间摩擦力, 另一方面对于一些较软矿物(如蒙脱石、伊利石等)有泥化作用, 从而使岩石强度大幅度降低。有学者认为, 当含水量增大5%, 则会使破碎泥岩的粘聚力降低40%以上, 这对支护结构与围岩接触面不利。

1.3 掘进强扰动下的动力响应

爆破掘进或者机械截割所引起的振动荷载会使破碎岩体瞬时发生应力变化, 在产生弹性波被裂缝反射并放大的同时, 更重要的是使原有的裂缝张开、扩展或者贯穿, 造成新的损伤区域^[1]。掘进之后围岩应力重新分配较大, 切向应力集中系数可达到2.5~4.0, 由于破碎岩体强度较低不能承受如此高的切向应力, 必然会将这部分多余的力传递给支撑结构, 这是后续问题发生的最初原因。

2 破碎岩层巷道支护病害的主要类型与表征

2.1 喷射混凝土层开裂、剥落与离层

喷射混凝土是初期支护的主要组成部分, 在破碎岩石中一般有以下三种破坏方式: 一种是纵向或者环向张拉裂缝, 是由于围岩非均质造成的弯曲拉应力;

第二种是剪切斜裂缝,一般发生在岩层走向变化或者局部软弱地带交接处;第三种是大面积剥落甚至是掉块,一般与喷射层与岩面之间脱离(离层)有关。而离层出现往往比肉眼看到的裂缝更早,可以看作是一种预兆,其原因是喷射层收缩应变与围岩膨胀应变不同步,同时破碎岩面的糙度过低以及灰尘影响都使得二者之间的黏结力下降。

2.2 锚杆(索)锚固力衰减与拔出失效

锚杆在破碎岩层中锚固是依靠锚固剂与孔壁岩石之间黏结剪切力实现。但是裂隙切割使孔壁有效接触面积减少,在受力后由于破碎岩石自身应力释放容易造成孔壁坍塌或者缩径,从而影响到锚固剂灌注饱满度。服役过程中,围岩蠕变所施加轴向拉力一直作用在锚杆上,一旦超过锚固体与岩石之间最大粘结力就会出现缓慢滑移现象,即托盘松动、螺母扭矩降低,直至最终被拔出或者杆体折断。在整个锚杆长度范围内都有黏结情况下,在破碎岩层中往往因为不能良好适应变形而导致全长黏结锚杆首先断裂,而在一端进行锚固形式锚杆更易出现锚固界面处脱黏。

2.3 金属网片锈蚀、撕裂与网兜现象

铺设在喷射混凝土层中的金属焊接网或者编织网,起到抗拉以及防止小块岩块掉落的作用。但是在破碎岩层高应力以及动态来压的情况下,由于局部应力集中导致网片发生网格变形、焊点脱落或者钢筋断裂而形成“网兜”,即围岩碎块把网片从喷射层中顶出,造成支护结构鼓包并且失稳^[2]。另外,在破碎岩层潮湿环境中由于电化学腐蚀使得钢筋的有效截面显著减小,在 pH 值小于 5 的弱酸性矿水中,网片服役两年后锈蚀深度达到 1.5~2.0mm,极大地降低了其抗拉强度。

2.4 型钢支架扭曲、卡缆滑移及底臃

可缩性 U 型钢支架在破碎岩层中易出现拱顶压弯、侧腿内挤、卡缆滑动失效等问题。这是由于破碎围岩压力一般分布不均,偏心载荷造成支架受附加弯矩作用,在超过其允许变形范围后形成塑性铰。另外,在底板敞开或者底角无支护情况下,高应力作用引起底臃,底臃量可达到 500mm 以上,进而带动两侧壁面支护发生连带破坏。

3 全周期支护病害防治策略

3.1 掘进前主动预加固与围岩改性

防治工作应在掘进面前进行。对已知破碎带可进行超前深孔注浆或管棚预支护,在预定破碎处注入水泥-水

玻璃双液浆或化学浆液填充裂缝并将松散石块黏结成整体以增加岩体的整体性及强度,在预加固之后破碎岩体的黏聚力与内摩擦角均可提高 30%—50%,从而减小其松动范围,还可配合超前锚杆或自钻式锚杆形成“注浆+锚固”的组合预加固层使被动支护变为主动改造。

3.2 让压支护体系的设计原则与参数优化

对于破碎岩层大变形,刚性支护效果不佳,需坚持“让抗结合”。即:(1)使用高延性锚杆(延展率 $\geq 20\%$)或者恒阻大变形锚杆,使围岩有一定位移来消耗一部分能量;(2)喷射混凝土设置纵向缝并且加大钢纤维或者聚丙烯纤维含量(体积分数 0.5%~1.0%),提高其韧性;(3)U 型钢支架采用可缩卡缆,有适宜的工作阻力以及让压力(一般为设计位移量的 60%~80%)。主要参数(初锚力、让压速度、二次支护时间)要根据围岩位移情况进行及时调整,防止出现“让抗”或者“抗不让”。

3.3 高性能喷射混凝土材料与工艺调控

从材料角度,需使用低水胶比(不大于 0.40)掺入硅灰或者超细粉煤灰的喷射混凝土以及添加纳米级早强剂来减少回弹率及提高初期强度,在抗裂性能上可加入聚丙烯纤维(长 12—19mm,掺量为 0.9—1.5kg/m³)或钢纤维使得混凝土发生破坏之后还具有较高剩余强度。施工时要控制好喷射角度(与岩面垂直,误差不超过 $\pm 15^\circ$)、喷射距离(0.8~1.2m)以及风压保证其紧贴岩面;另外必须用湿喷法代替干喷避免粉尘影响黏结面。养护时要进行洒水或覆盖养护不少于七天以免产生因干燥而形成的收缩性裂纹。

3.4 锚注一体化技术及其适用条件

锚注一体化是将锚杆施工与围岩注浆结合的方法,其主要特点是用中空锚杆作为注浆管路,在锚固的同时对裂隙岩体内进行灌浆达到“锚固—封闭—加固”的目的,适合用于裂隙宽度在 0.5~5mm 的破碎地层中应用,其注浆压力一般不超过 1.0~2.5MPa 以防劈裂,浆液扩散半径取 1.5~2.0m,可以很好地把松散破碎带胶结成一个整体承受荷载并且能够阻止地下水渗入从而根治由水引起的恶化条件,在施工过程中要使用止浆塞以及排气孔使注浆饱满率达到 90% 以上。

3.5 动态监测与信息反馈下的闭环管控

病害防治需要有感知系统支持。要布置多参量监测网,即:(1)围岩表面位移以及深部位移(多点位移计);(2)锚杆轴力以及锚固力(锚杆测力

计);(3)喷射层面应变以及裂缝宽度(振弦式应变计及裂缝计);(4)支架工作阻力(压力盒)。监测频率掘进之后一周内(0~7d)每天两次,之后每星期一次^[3]。根据这些信息制定“位移速率+加速度”双指标预警机制,如果位移速率连续大于2mm/d或者加速度为正值,则采取相应措施进行加强,比如复喷、补打锚杆或者二次压浆等。另外还要把监测结果应用于数值反演计算中去不断调整支护参数从而达到“监测—诊断—决策—执行”的目的。

4 系统性防治框架与实施要点

4.1 分阶段防控的重心转移

将防治工作分为三个阶段:(1)掘进前阶段——以地质预报和预加固为主,主要查明破碎带分布范围、产状以及含水情况,有针对性地进行预加固;(2)掘进中阶段——以快速支护与让压配合为主,在保证喷射混凝土质量的同时,注意检查锚杆扭矩以及支架安设位置,使初期支护尽早封闭围岩;(3)掘进后阶段——以保持稳定性和劣化修补为主,根据监测结果发现问题,及时进行补注浆、更换失效锚杆或者套架修复等工作。三个阶段紧密联系,前面一个阶段的工作是给后面一个阶段做准备。

4.2 多结构协同的承载体系构建

破碎岩层巷道不宜采用单一支护方式,应形成“喷射混凝土封闭层+锚杆悬吊层+金属网抗拉层+支架承载层+注浆加固圈”的多层配合支护结构。主要是使各部分之间相互适应,即锚杆起到对深部悬吊作用,阻止围岩向巷道内部挤压;喷射层起到外侧约束以及防渗作用;金属网承担局部小块掉落重量;支架起到最终支撑作用;而注浆圈从根本上提高围岩本身自承能力^[4]。这五个方面缺一不可,而且要合理组织施工顺序(如先喷一层→锚杆→上网→再喷一层→支架),才能做到互相配合。

4.3 特殊工况下的应急防治措施

对于突水、冲击地压或者强烈来压等情况,需要有应急处置方法:例如快速水泥-水玻璃双液注浆封堵突水通道;使用吸能锚杆以及防冲支架对抗冲击力的作用;

当来压较大时设置“让压窗口”,即切断一部分喷射混凝土使其发生一定的位移而消耗部分能量,然后迅速再喷射混凝土进行修复。以上这些都应当作为常规工作内容,在出现情况时能够立即做出反应的时间不应超过4小时。

5 结语

矿山井下巷道破碎岩层掘进支护病害防治,实质上是一项涉及岩体力学、材料科学、施工技术和动态监测等多方面内容的综合性工作。基于破碎岩层工程力学特点,分析喷射层开裂、锚杆失效、网片损坏以及支架弯曲等常见病害类型及其成因,总结出造成这些病害的主要因素有应力过大、界面脱离、水-力-时耦合作用以及施工不当四点原因,在此基础上提出“超前预加固-让压支护-高性能材料-锚注一体-智能监测”的全方位防治方案,突出了分阶段重点转移以及多种结构协同受力的思想。主要观点包括三方面内容:一是破碎岩层支护病害产生的本质是围岩自身支撑力不足以及支护变形协调差造成的,因此防治要从“被动承受”到“积极治理”转变;二是让压而不是抵抗才是解决大变形的有效手段,但是需要以准确监测数据为基础进行参数优化;三是防治是一个持续的过程,施工质量和后期管理同样重要。对于实际工程具有指导意义,后续可以针对新型高韧性的纳米改性注浆材料以及智能锚固装置开展相关研究。

参考文献

- [1] 王卫军,袁超,余伟健,等.深部破碎软岩巷道围岩失稳机理及支护控制技术[J].煤炭学报,2022,47(7):2531-2544.
- [2] 李树清,朱永建,赵志强.断层破碎带巷道锚注支护机理与围岩稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2021,40(S2):3120-3130.
- [3] 高明仕,张农,韩昌良,等.让压锚杆支护技术在深井高应力巷道的应用研究[J].采矿与安全工程学报,2023,40(3):511-519.
- [4] 赵兴东,张洪训,李元辉.破碎岩体巷道喷射混凝土损伤演化及纤维增韧效应[J].东北大学学报(自然科学版),2022,43(8):1176-1183.