

特殊地质条件煤矿开采掘进工作面顶板管理

郝记伟

山西鲁能河曲电煤开发有限责任公司 山西 忻州 034000

摘要:特殊地质条件(破碎、松软顶板,断层及褶曲构造带,岩溶发育区等)影响顶板稳定性,管理面临预判难、支护适配性不足等难点。关键技术包括针对性支护优化、构建智能化监测预警体系、优化现场管理流程。管理效果保障需加强技术培训与人才培养、推进装备与材料升级、强化监督考核与责任落实。

关键词:特殊地质条件;煤矿开采掘进;工作面板管理

引言:在地下掘进工程中,特殊地质条件对顶板稳定性构成严峻挑战,破碎顶板、松软顶板、断层褶曲带及岩溶发育区等复杂地质状况,不仅增加了顶板稳定性预判难度,还对支护技术适配性、监测预警及时性以及现场管理协同性提出更高要求。为有效应对这些难题,需从针对性支护技术优化、智能化监测预警体系构建、现场管理流程优化等多方面入手,并采取系列保障措施,确保掘进工作面顶板安全稳定。

1 特殊地质条件的类型及对顶板稳定性的影响

1.1 破碎顶板条件

破碎顶板主要由砂岩、页岩等岩性组成,岩层节理、裂隙发育,整体性差,受开挖扰动后易发生离层、掉块。此类顶板的稳定性依赖岩层间的摩擦力和黏聚力,掘进过程中巷道暴露后,原岩应力平衡被打破,裂隙迅速扩展,若支护不及时,极易形成局部垮落,甚至引发大范围顶板坍塌。常见于煤层顶板受多次地质构造运动影响的区域,或近距离煤层开采时上层煤柱压力传递导致的顶板破碎区域。

1.2 松软顶板条件

松软顶板多为泥岩、砂质泥岩等软弱岩层,强度低、塑性大,抗压强度通常小于10MPa,遇水易软化崩解。掘进时顶板易产生较大下沉量,且变形持续时间长,传统刚性支护难以适应其塑性变形需求,易出现支护结构压裂、失效现象。在富水区域,松软顶板受水侵蚀后强度急剧降低,稳定性进一步恶化,给顶板控制带来极大挑战。

1.3 过断层及褶曲构造带条件

断层及褶曲构造带是地壳运动形成的地质不连续面,该区域顶板岩层破碎、裂隙密集,且存在断层泥、糜棱岩等软弱夹层,岩层完整性和承载能力显著下降。掘进穿越断层时,不仅面临顶板垮塌风险,还可能因断层导水引发涌水事故,同时断层两盘岩层的错动易导致

巷道顶板应力集中,加剧顶板失稳概率。褶曲构造的轴部区域岩层受挤压变形强烈,节理发育,顶板稳定性同样较差。

1.4 岩溶发育区顶板条件

岩溶发育区顶板常见于石灰岩、白云岩等可溶性岩层中,因地下水长期溶蚀形成溶洞、溶隙等地质缺陷。此类顶板存在“空洞-薄基岩”结构,局部岩层厚度不足,承载能力不均,掘进过程中若揭露未探明溶洞,易发生顶板突然垮落;同时,溶洞内可能储存地下水,突水风险与顶板失稳风险叠加,给管理工作增加双重难度^[1]。

2 特殊地质条件下掘进工作面顶板管理的核心难点

2.1 顶板稳定性预判难度大

在特殊地质条件下,顶板稳定性预判困难重重。此地顶板岩性繁杂、结构多变,传统地质勘察手段,像钻探、物探等,在揭示岩层内部隐蔽缺陷方面力有不逮,难以全面精准地探明裂隙、溶洞、断层等情况。这使得在掘进前,无法精准预估顶板稳定性,进而导致制定的支护方案缺乏针对性。要么支护强度不够,出现“支护不足”引发安全隐患;要么支护过度造成资源浪费。深部开采时,高地应力与特殊地质条件耦合,更让顶板变形规律难以捉摸。

2.2 支护技术适配性不足

在特殊地质条件下,传统支护技术暴露出严重的适配性短板。锚杆、锚索支护等传统方式,多适用于中硬以上且完整的顶板环境。然而,面对特殊地质状况,其局限性尽显。在破碎顶板中,岩体破碎松散,锚杆难以获得充足锚固力,“脱锚”现象频发,支护失效风险大增。松软顶板里,刚性支护无法顺应顶板的塑性变形,极易被压坏。过断层时,常规支护难以跨越构造破碎带,导致支护结构整体性欠佳。并且,现有的支护材料在强度、韧性以及适应性等方面,均难以契合不同特殊地质条件下对动态控制支护的严苛需求。

2.3 监测预警及时性与准确性欠缺

在特殊地质条件下,顶板监测预警工作面临及时性与准确性严重不足的困境。此类地质环境中的顶板,变形速度迅猛且失稳具有极强的突发性。传统人工监测手段,像采用测杆、测绳测量顶板下沉量等方式,不仅监测周期漫长,而且测量精度较低,所获取的数据存在明显滞后性,根本无法实时精准地捕捉顶板细微的变形趋势。此外,部分监测设备对复杂恶劣环境的适应性较差,在高湿、高尘的掘进工作面中,极易出现故障,无法正常工作,进而造成预警信息不能及时发出,使得相关人员错过对支护方案进行最佳调整的宝贵时机,给采掘作业带来极大的安全隐患^[2]。

2.4 现场管理协同性不足

在顶板管理工作中,现场协同性不足的问题较为突出。顶板管理涵盖地质勘察、支护设计、现场施工以及监测预警等多个关键环节,各环节之间紧密相连,若衔接不畅极易引发管理漏洞。例如,地质资料传递不及时,施工人员无法及时掌握前方地质风险状况,在作业过程中难以提前做好防范措施;支护施工时,未严格按照设计要求执行,锚杆角度偏差、锚固深度不达标等情况时有发生,影响支护效果;监测数据未能有效指导施工调整,出现“监测与施工脱节”的怪象,使得监测工作流于形式,无法及时对顶板异常状况作出反应,进而加剧了顶板失稳的风险。

3 特殊地质条件下掘进工作面顶板管理关键技术

3.1 针对性支护技术优化

(1) 破碎顶板强化支护:采用“锚杆+锚索+金属网+钢带+喷浆”联合体系。高强度螺纹钢锚杆加长锚固段或全长锚固,提高锚固力;大直径钢绞线锚索配合锚索梁深部锚固,增强整体性;金属网与钢带防局部掉块,喷浆封闭岩层表面。极破碎区域用超前管棚支护(如 $\Phi 42\text{mm}$ 无缝钢管,长3-5m),提前加固前方顶板。(2) 松软顶板柔性支护:采取“可缩性支架+锚杆+注浆加固”方案。可缩性支架(如U型钢)适应塑性下沉;玻璃钢或中空注浆锚杆,后者注浆填充裂隙,遇水软化顶板先预注浆堵水。控制掘进循环进尺不超过1.2m,缩短暴露时间,实现“短掘短支”。(3) 过断层及构造带跨越支护:实施“超前探查+断层两盘加固+构造带充填支护”。掘进超前钻探探明断层情况;在断层两盘稳定岩层施工锚索或锚杆形成“锚固基础”;破碎带注浆加固;穿越时用工字钢梯形或液压支架,间距缩至0.8-1.0m,必要时“挑顶卧底”调坡度。(4) 岩溶发育区顶板补强:执行“岩溶探查+空洞充填+局部补强”策略。

物探探明溶洞位置、大小;小溶洞用混凝土或砂浆充填;大型溶洞施工型钢托梁或混凝土墩柱支撑;薄基岩顶板“锚杆+锚索+注浆”联合补强,加强涌水监测,配套排水系统防突水失稳。

3.2 智能化顶板监测预警体系构建

(1) 多参数实时监测系统部署:在掘进工作面及后方50m范围合理布置监测点,采用“有线+无线”混合监测模式。顶板下沉量监测选用高精度激光位移传感器,精准采集数据;锚杆(索)受力监测用应力传感器,追踪锚固力变化;顶板内部位移监测借助深基点位移计,探测岩层离层情况;环境参数监测利用温湿度和流量传感器,同步监测湿度、涌水量等。监测数据经工业以太网稳定传至地面监控中心,实现24小时不间断监控,为顶板安全提供基础数据。(2) 智能预警模型应用:基于实时监测数据构建顶板失稳智能预警模型,运用随机森林、LSTM等先进算法,剖析顶板下沉速度、锚杆应力变化率等核心指标。设定三级预警阈值:一级预警(正常)时,顶板日下沉量和锚杆应力处于较低水平;二级预警(需关注)时,下沉量处于一定区间,锚杆应力达到一定比例,启动支护参数复核;三级预警(紧急)时,下沉量和锚杆应力超限,立即停止掘进并启动应急支护。模型可自动推送预警信息至管理人员手机终端,实现快速响应。(3) 超前地质探测技术融合:有机结合超前钻探与物探技术,实现地质条件动态精准探查。掘进中定期施工超前小口径钻孔,揭示前方岩层结构;同时用地质雷达扫描巷道两帮及顶板,探测隐蔽裂隙、溶洞等。深度融合探测与监测数据,提前预判顶板稳定性趋势,为支护方案动态调整提供科学依据^[3]。

3.3 现场管理流程优化

(1) 建立地质-施工-监测协同机制:成立专项管理小组,将地质、掘进、监测专业人员整合其中。地质人员每日精准更新前方地质预报,细致明确顶板风险点,为后续施工提供可靠依据。施工人员依据地质预报情况,灵活调整掘进速度与支护顺序,确保施工安全与效率并重。监测人员则及时反馈当日监测数据,三方共同对顶板稳定性进行全面评估,构建起“预报-施工-监测-调整”的闭环管理模式,实现各环节紧密衔接、高效协作。(2) 强化支护施工质量管控:针对特殊地质条件,制定专门的支护施工标准,严格规定锚杆角度(与顶板法线夹角不大于 15°)、锚固深度(不小于设计值的95%)、预紧力(按设计值的 $\pm 5\%$ 控制)等关键参数。运用扭矩扳手、拉力计等工具现场检测施工质量,对不合格支护立即返工。同时,推行“支护质量终身负

责制”，清晰界定施工人员与验收人员责任，保障支护施工严格规范、达标合规。（3）完善应急处置预案：针对不同特殊地质条件制定专项应急预案，明确顶板垮塌、片帮等事故的应急响应流程。配备充足的应急支护材料，如临时木支架、注浆设备，以及救援装备，如液压救援顶杆、生命探测仪。定期组织应急演练，提升作业人员应急处置能力。一旦发生顶板事故，迅速启动预案，及时撤离人员并采取临时加固措施，防止事故进一步扩大。

4 顶板管理效果保障措施

4.1 加强技术培训与人才培养

为有效应对特殊地质条件下掘进工作面的顶板管理难题，需全方位加强技术培训与人才培养。（1）定期系统组织掘进工作面的管理人员与施工人员参与专项技术培训，培训内容紧密围绕特殊地质条件展开，涵盖地质识别，使人员能精准判断地质状况，提前做好应对准备；支护工艺方面，详细讲解不同地质下适宜的支护方式与操作要点；监测设备操作培训确保人员能熟练运用设备获取准确数据；应急处置培训则提升人员在突发状况下的应对能力。（2）邀请行业内资深专家到现场进行指导，专家通过分享典型案例经验，为学员提供实践参考。同时，积极开展技能竞赛活动，以赛促学、以赛促练，激发人员学习热情，提升实操能力。通过这一系列举措，逐步培养出一批既具备扎实地质知识，又精通支护技术的复合型人才，为顶板管理提供坚实的人才支撑。

4.2 推进装备与材料升级

在掘进工作面特殊地质条件顶板管理中，推进装备与材料升级是提升管理效能的关键举措。（1）要加大对新型支护装备和监测设备的资金投入力度。积极引进液压锚杆钻机，其具备强大的钻孔和锚固能力，能大幅提高支护施工效率；自动喷浆机的应用可实现喷浆作业的自动化与精准化，减少人工操作误差，提升施工质量。（2）注重研发适应特殊地质条件的支护材料。高强度玻璃钢锚杆具有重量轻、强度高、耐腐蚀等优点，能有效应对复杂地质环境；可降解注浆材料在完成支护使命后可逐渐降解，减少对环境的长期影响，提升支护的适应性与环保性。（3）积极与科研院校建立合作关系，

共同开展支护技术创新研究，加速技术成果向实际生产的转化应用，为特殊地质条件下的顶板管理提供坚实的装备与材料保障^[4]。

4.3 强化监督考核与责任落实

在掘进工作面特殊地质条件顶板管理工作中，强化监督考核与责任落实是保障管理成效的重要环节。（1）构建一套科学、全面且具有可操作性的顶板管理监督考核体系至关重要。将顶板事故率、支护合格率、监测预警准确率等关键指标精准纳入绩效考核范畴，以量化数据直观反映顶板管理工作成效，为考核提供坚实依据。

（2）在监督方式上，采用“日常检查+专项督查”的有机结合模式。日常检查做到高频次、全覆盖，及时发现并纠正潜在问题；专项督查则针对重点环节、关键部位开展深入检查，确保无死角、无盲区。一旦发现问题，明确整改期限，跟踪整改情况直至彻底解决。（3）对于因管理疏忽、责任落实不到位而引发顶板事故的，坚决严肃追究相关人员责任，形成有力震慑，促使全体人员严格履行职责，确保各项顶板管理措施不折不扣落地见效。

结束语

特殊地质条件下掘进工作面顶板管理是一项复杂且系统的工程。通过针对性优化支护技术、构建智能化监测预警体系、优化现场管理流程，可有效应对顶板管理难题。同时，加强技术培训与人才培养、推进装备与材料升级、强化监督考核与责任落实等保障措施不可或缺。唯有如此，才能提升顶板管理效能，降低顶板事故风险，保障掘进工作安全、高效推进，推动矿业工程持续稳定发展。

参考文献

- [1]张伟.煤矿掘进工作面顶板支护管理技术[J].当代化工研究,2020,20(8):89-90.
- [2]温有财.煤矿采掘工作面顶板管理问题的处理方法研究[J].当代化工研究,2021(11):87-88.
- [3]窦韶龙.煤矿采掘工作面顶板管理的问题研究[J].当代化工研究,2021(08):72-73.
- [4]李斯斯.煤矿采掘工作面顶板管理问题的处理方法探析[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(07):67-68.