

复杂条件下矿山立井井筒掘进施工关键技术与风险管控

王宁伟

温州东大矿建工程有限公司 浙江 温州 325800

摘要: 随着深部资源开发推进,复杂地质条件下矿山立井井筒掘进难度显著提升。本文聚焦复杂地质条件下矿山立井井筒掘进施工,深入剖析软岩地层、断层破碎带、高应力区域等地质特征。详细阐述防治水、地质勘探、掘进设备与工艺、支护及安全监测等关键技术。同时,从风险识别与评估、技术措施、管理措施及应急措施等方面,构建全面的风险管控体系。旨在为复杂地质条件下矿山立井井筒掘进施工提供技术指导与风险防控策略,保障施工安全与高效推进,推动矿山工程领域的稳定发展。

关键词: 复杂地质;立井井筒掘进;关键技术;风险管控

引言:在矿山工程中,立井井筒掘进是关键环节,其施工效率与安全直接影响矿山整体开发进程。然而,复杂地质条件给立井井筒掘进带来诸多挑战。软岩地层易导致井壁失稳,断层破碎带增加坍塌风险,高应力区域可能引发岩爆等灾害。这些地质难题不仅考验施工技术,更对风险管控提出高要求。深入研究复杂地质条件下立井井筒掘进施工关键技术与风险管控,对于提高施工安全性、降低成本、保障工程顺利实施具有重要意义,是当前矿山工程领域亟待解决的重要课题。

1 复杂地质条件特征

1.1 软岩地层

软岩地层具有强度低、胶结程度差的特点,在立井井筒掘进时,极易出现变形、坍塌等问题。其内部结构松散,受施工扰动后,岩石颗粒间的连接被破坏,导致井壁稳定性差。而且软岩的吸水性强,遇水后软化,进一步削弱了岩石的强度。在掘进过程中,软岩地层的自稳时间短,若不能及时支护,就会引发井壁片帮、冒顶等事故,严重影响施工安全与进度,给施工人员和设备带来极大威胁。

1.2 断层破碎带

断层破碎带是地壳运动形成的特殊地质区域,岩石破碎、结构紊乱。在立井井筒掘进至该区域时,会面临诸多难题。破碎的岩石缺乏整体性,稳定性极差,容易发生坍塌,造成井筒堵塞或设备损坏。同时,断层破碎带可能富含地下水,增加突水风险,给施工带来严重安全隐患。此外,其地质条件复杂多变,增加了施工的不确定性,需要采取特殊的技术措施和支护方式以确保施工安全。

1.3 高应力区域

高应力区域是由于地质构造运动,岩石内部积聚了

大量应力。在立井井筒掘进过程中,当揭露高应力岩体时,应力会重新分布。若应力超过岩石的强度极限,就会引发岩爆现象,大量岩石碎片会突然弹出,对施工人员和设备造成严重伤害。高应力还会导致井壁变形、开裂,影响井筒的长期稳定性。而且,高应力区域的岩石性质复杂,给地质勘探和施工方案制定带来了很大困难^[1]。

2 复杂地质条件下矿山立井井筒掘进施工关键技术

2.1 防治水技术

在复杂地质条件下进行矿山立井井筒掘进施工,防治水工作至关重要,关乎施工安全与进度。(1)精准的地质勘探是防治水的基础。施工前,需运用多种地质勘探手段,如物探、钻探等,详细查明井筒周围的水文地质情况,包括含水层的分布、富水性、水位变化以及与地表水的联系等。通过绘制精确的水文地质剖面图,为防治水方案的设计提供可靠依据,提前预判可能出现的涌水位置和水量大小。(2)采用合理的注浆堵水技术。针对含水层或断层破碎带等可能发生涌水的部位,实施注浆作业。根据不同的地质条件和涌水情况,选择合适的注浆材料,如水泥-水玻璃双液浆等,通过注浆管将浆液注入岩层裂隙中,形成一道隔水帷幕,阻止地下水的渗入。注浆过程中,要严格控制注浆压力、注浆量等参数,确保注浆效果。(3)构建有效的排水系统。在井筒内设置多级排水设备,如潜水泵、离心泵等,根据涌水量的大小合理配置排水能力。同时,完善井筒周边的排水沟和集水井,及时将井筒内的积水排出。在施工过程中,要定期检查排水设备的运行状况,确保其正常工作。一旦发生涌水事故,能够迅速启动排水系统,将水排出井外,保障施工人员的安全和施工的顺利进行。通过以上防治水技术的综合应用,可有效降低复杂地质条件下立井井筒掘进施工中的水害风险。

2.2 地质勘探技术

在复杂地质条件下开展矿山立井井筒掘进施工，精准的地质勘探技术是保障施工安全与高效推进的关键前提。（1）物探技术发挥着重要的先导作用。它借助先进的物理仪器，通过分析地下岩体的物理性质差异，如电性、磁性、弹性等，来推断地下地质结构。例如，采用电阻率法可以探测含水层的位置和范围，因为含水层的电阻率与周围岩体存在明显差异；地震勘探则能清晰呈现地下岩层的界面和断层构造，帮助施工人员提前了解可能影响井筒掘进的不良地质体分布，为后续施工规划提供基础数据。（2）钻探技术是获取直接地质信息的核心手段。通过在井筒周边布置合理的钻探孔位，使用专业的钻探设备深入地下取样。钻探过程中，不仅能直观获取不同深度岩层的岩芯样本，准确判断岩层的岩性、厚度和结构特征，还能进行原位测试，了解岩层的力学性质，如抗压强度、抗剪强度等。这些一手资料对于制定科学合理的掘进方案和支护措施至关重要。（3）地质测绘与编录工作贯穿施工全过程。施工人员要对井筒掘进过程中揭露的地质现象进行详细记录和描绘，包括岩层的产状、节理裂隙的发育情况、断层的特征等。通过定期整理和分析这些数据，及时调整地质模型，修正对前方地质条件的预测，使地质勘探成果更加贴近实际情况，为施工决策提供动态、准确的地质依据。

2.3 掘进设备与工艺

在复杂地质条件下的矿山立井井筒掘进施工中，合适的掘进设备与科学的工艺是确保工程顺利推进的核心要素。（1）在掘进设备选型上需精准适配地质状况。对于软岩地层，因其强度低、易变形，应选用具备高扭矩、低转速的掘进设备，如部分改进型的反井钻机，其能以较为温和的切削方式破碎软岩，减少对周边岩体的过度扰动，降低井壁失稳风险。而面对断层破碎带和高应力区域，全断面硬岩掘进机（TBM）经过针对性改造后，可凭借其强大的破岩能力和稳定的掘进性能，有效应对破碎岩石和复杂应力环境，保障掘进效率与安全。（2）工艺方面要注重优化与创新。在软岩地层掘进时，采用短段掘砌混合作业工艺，即每掘进一小段距离，立即进行临时支护和部分永久支护，快速封闭暴露的井壁，防止软岩因长时间暴露而发生变形。对于断层破碎带，可先进行超前注浆加固，增强破碎岩体的整体性，再采用小进尺、多循环的掘进方式，配合强力支护，逐步通过破碎区域。（3）设备与工艺的协同至关重要。通过先进的自动化控制系统，实现掘进设备与支护设备的精准联动。例如，在掘进过程中，传感器实时监测设

备的工作状态和井壁的变形情况，系统根据反馈信息自动调整掘进参数和支护时机，确保掘进与支护的紧密配合，提高施工效率和安全性，有效应对复杂地质条件带来的挑战。

2.4 支护技术

在复杂地质条件下的矿山立井井筒掘进中，科学有效的支护技术是保障井筒稳定与施工安全的关键。（1）针对软岩地层，由于其强度低、易蠕变，需采用柔性较大的支护形式。锚网喷支护是常用且有效的方式，通过向软岩中打入锚杆，利用锚杆的锚固力将周围软岩连接成一个整体，增强岩体的整体性。再挂上金属网，防止小块岩石掉落，最后喷射混凝土形成一层保护壳，不仅能封闭岩面，防止风化，还能与锚杆、金属网共同作用，提供一定的支护阻力，限制软岩的变形。（2）对于断层破碎带，其岩体破碎、稳定性差，需要采用更加强力的支护手段。注浆锚索支护可发挥重要作用，先向破碎岩体中注入具有胶结作用的浆液，填充岩体裂隙，提高岩体的强度和完整性。然后安装锚索，锚索深入到稳定的岩层中，提供强大的拉力，将破碎岩体紧紧固定在稳定岩层上，有效防止破碎岩体的塌落。（3）在高应力区域，为应对岩爆等灾害，可采用让压支护技术。让压锚杆和让压支架能够在岩体应力释放时，通过自身的变形来吸收能量，避免因应力集中导致支护结构破坏。让压锚杆在一定范围内可以伸缩，当岩体应力增大时，锚杆能够适当让压，保持对岩体的支护作用；让压支架则通过特殊的结构设计，在承受高应力时发生可控的变形，保障井筒的安全。

2.5 安全监测技术

在复杂地质条件下的矿山立井井筒掘进施工中，安全监测技术犹如“耳目”，能实时掌握井筒及周边环境状况，为施工安全保驾护航。（1）井筒变形监测至关重要。采用激光测距仪、全站仪等高精度仪器，对井筒的径向位移、收敛情况进行定时测量。在井筒关键部位设置监测点，通过对比不同时间的测量数据，精准判断井筒是否发生变形。一旦发现变形量超出安全阈值，立即发出预警，提醒施工人员采取加固等应对措施，防止井筒坍塌事故发生。（2）应力应变监测不可或缺。在井筒围岩和支护结构中埋设应力传感器和应变计，实时监测岩体和支护结构的应力应变状态。当应力应变数据出现异常波动时，表明井筒周边地质环境可能发生变化，如遇到断层破碎带或高应力区域。根据监测结果，及时调整施工参数和支护方案，确保支护结构能够有效承受围岩压力，保障井筒稳定。（3）地下水监测不容忽视。在

井筒周边布置水位观测孔,安装水位计,实时监测地下水水位变化。同时,对井筒涌水量进行定时测量。若地下水水位突然上升或涌水量急剧增加,可能预示着前方存在含水层或发生突水隐患。此时,可提前采取注浆堵水等防治措施,避免突水事故对施工造成严重影响,保障施工人员生命安全和施工顺利进行^[2]。

3 复杂地质条件下矿山立井井筒掘进施工风险管控

3.1 风险识别与评估

复杂地质条件下矿山立井井筒掘进施工,风险识别与评估是安全基石。施工前,要深入剖析地质资料,明确软岩、断层破碎带、高应力区域等特殊地质分布。软岩可能引发井壁失稳、片帮;断层破碎带易造成坍塌、涌水;高应力区域有岩爆风险。同时,结合施工流程,识别设备故障、操作失误等人为风险。风险评估需综合考量风险发生概率与后果严重性。通过历史数据统计、专家经验判断,构建风险评估模型。对高概率、高后果的风险,如大规模突水、严重岩爆,列为重点管控对象;对低概率、低后果的风险,如局部设备小故障,制定常规处理方案。准确的风险识别与评估,能为后续管控措施提供精准方向,降低事故发生可能性。

3.2 技术措施管控

技术措施管控是应对复杂地质风险的关键手段。针对软岩,采用柔性支护与注浆加固结合技术,柔性支护适应软岩变形,注浆增强岩体强度。对于断层破碎带,运用超前小导管预注浆,提前加固周边岩体,再配合钢架支护,增强结构稳定性。在高应力区域,采用让压锚杆、让压支架,释放部分应力,避免岩爆。掘进过程中,利用先进监测技术,实时获取井筒变形、应力数据,根据数据调整施工参数。优化掘进设备,选用适应复杂地质的钻机、掘进机,提高施工效率与安全性。

3.3 管理措施管控

管理措施管控为施工风险管控提供制度保障。建立严格的安全管理制度,明确各级人员安全职责,从项目经理到一线工人,层层落实安全责任。加强人员培训,定期组织安全知识与技能培训,提高施工人员安全意识

与操作水平,使其熟悉复杂地质条件下的施工要求。严格执行安全检查制度,每日、每周、每月对施工现场进行全面检查,重点检查支护结构、设备运行、安全防护设施等,及时发现并整改安全隐患。加强施工过程协调管理,确保各部门之间信息畅通,协同应对突发情况。通过科学的管理措施,营造安全有序的施工环境。

3.4 应急措施管控

应急措施管控是应对突发风险的最后防线。制定详细全面的应急预案,涵盖各类可能发生的事故,如突水、坍塌、火灾等,明确应急组织架构、响应流程与救援措施。配备充足的应急救援物资,如排水泵、救生绳、急救药品等,并定期检查维护,确保物资完好可用。建立应急救援队伍,成员包括专业技术人员、医护人员等,定期进行应急演练,提高队伍的应急处置能力。与周边医院、消防等救援机构建立联系,确保在事故发生时能迅速获得外部支援。一旦发生事故,立即启动应急预案,有序开展救援工作,最大限度减少人员伤亡与财产损失^[3]。

结束语

在复杂地质条件下开展矿山立井井筒掘进施工,既是对关键技术的严峻考验,也是对风险管控能力的深度挑战。从精准的地质勘探、适配的掘进设备与工艺、可靠的支护技术,到全方位的安全监测,每一项关键技术都是保障施工顺利推进的基石。而风险识别与评估、技术、管理及应急措施的全方位管控,则为施工安全筑牢了坚固防线。未来,需持续探索创新,提升技术水平,完善管控体系,以更科学、高效的方式应对复杂地质难题,实现矿山立井井筒掘进施工的安全、优质与高效发展。

参考文献

- [1]王俊杰,刘金良.复杂施工条件下煤矿井筒修复技术研究[J].能源与环保,2017,39(06):154-158
- [2]魏亚飞,郑浩.探究复杂地质条件下矿井巷道安全掘进技术[J].冶金与材料,2023,43(06):97-99.
- [3]李佩龙.复杂地质条件下的巷道掘进支护分析[J].能源与节能,2020,(05):132-133+192.