

井颈段通过第四系施工关键技术研究

朱伟 陈利泰 马杰

中国华冶科工集团有限公司辽宁矿业分公司 辽宁 鞍山 114000

摘要：本文针对井颈段（通常指井筒顶部至地面之间的部分）穿越第四纪沉积层时面临的复杂地质条件及施工难点，系统分析并提出了相应的关键技术策略。第四纪沉积层因其结构松散、稳定性差而给井颈段施工带来诸多挑战，如钻进效率低下、易塌孔、卡钻等问题频发。基于此，本研究结合理论分析与工程实例，重点探讨了优化钻井液配方、采用适宜的钻头类型、实施有效的围岩加固措施以及精细化施工管理等综合解决方案，旨在提高井颈段施工的安全性和经济性，为同类工程项目提供科学依据和技术指导。

关键词：井颈段通过第四系；施工关键技术；研究

引言：随着矿产资源开采向更深部拓展，井颈段作为连接地下矿体与地表的重要通道，其施工质量直接影响着后续采矿作业的顺利进行。特别是在通过以第四纪沉积层为代表的软弱地层时，如何有效克服地层不稳定、水文条件复杂等问题，是当前井颈段施工亟需解决的关键课题。

1 研究背景与意义

提高井颈段施工效率和安全性，对于促进矿产资源勘探开发、保障能源供应安全以及推动经济社会可持续发展具有不可估量的价值。井颈段，作为连通地面与地下空间的生命线，其施工质量直接决定了后续井下作业能否顺利展开。尤其是在复杂的地质环境中，如何高效且安全地完成这一关键步骤，已成为衡量一个国家工程技术实力的重要标志之一。全球范围内，矿产资源的深度开采趋势愈发明显，这要求我们必须拥有更高的技术水平来应对更为恶劣的地质条件。高效的井颈段施工不仅能缩短前期准备时间，还能大幅降低总体成本，这对于提高资源开发利用的经济效益至关重要。科技创新是推动工业发展的强大动力。井颈段施工技术的进步，不仅体现在施工速度的提升，更重要的是它能带动相关装备制造制造业的发展，促进新技术、新材料的应用，从而全面提升我国在国际矿业领域的竞争力。井下工程施工涉及众多人员的直接参与，任何疏忽都有可能酿成重大安全事故，威胁生命安全。此外，不当的施工方法可能会破坏生态环境，引发地下水污染等一系列连锁反应。因此，确保井颈段施工安全性是对人类生存环境负责任的表现。随着法律法规的不断完善，企业对安全生产的重视程度不断提升。严格遵守相关安全规范，不仅是法律义务，也是企业履行社会责任的具体体现。安全第一的理念正逐渐深入人心，成为评价企业形象和信誉的重要

指标^[1]。

2 第四系地层特征分析

2.1 地层结构与性质：揭示地球深处的秘密

地层结构是指地球表面以下不同岩石和土壤层的排列顺序，它们按照时间和沉积环境的不同，形成了丰富多彩的地层序列。了解特定区域的地层结构，对于预测地下资源分布、评估地质灾害风险以及规划基础设施建设具有重要意义。在井颈段施工中，地层结构的详尽勘查是决定施工方案是否可行的第一步。沉积岩层：由陆地上或海洋里的碎屑、生物残骸经压实固结而成，如砂岩、页岩、石灰岩等。这类岩石通常呈层状分布，富含化石，是研究古地理环境的重要载体。火成岩层：分为侵入岩和喷出岩两大类，前者如花岗岩，后者如玄武岩。火成岩质地坚硬，热导率高，常出现在地震带上，对井颈段钻探构成一定的技术挑战。变质岩层：原岩受高温高压影响，矿物成分和结构发生变化形成的岩石，如片麻岩、大理岩。变质岩的硬度和致密程度不一，需要根据具体情况选择合适的钻进工具。岩层倾角，倾斜角度大的岩层容易引起滑坡或崩塌，影响井颈段的直立性和稳定性。断层带，地壳运动造成的断裂带常常是地下水流动的通道，同时也是地震活跃地带，施工时须特别警惕。地下水位，地下水的存在会改变岩石的物理性质，降低其承载力，有时还会产生浮力效应，加剧井壁坍塌的风险。在正式施工之前，利用地震波反射法、电磁测井、核磁共振等先进技术手段获取准确的地层剖面图，分析岩性、厚度、连续性等参数，是规避潜在风险、制定科学施工计划的基础。通过三维建模技术模拟不同工况下的应力分布情况，可以预见潜在的地质问题，提前做好防范措施，确保井颈段施工既快又稳。

2.2 水文地质条件：水与岩石间的秘密对话

水文地质学研究地下水的运动规律、水质状况及其与周围地质环境的相互作用,对于指导井颈段施工、预防防水害具有至关重要的意义。地下水不仅是自然界的宝贵资源,也是影响地下工程施工安全的主要因素之一。补给区,雨水或地表水渗透到地下的区域,通常是山岭、高地或裸露岩层处。排泄区,地下水汇集到一定高度后溢出地表的地方,如泉水、沼泽或河流源头。储存区,地下水被不透水层包围,储存在孔隙或裂隙中的区域,形成地下水库。水压,地下水位高于井颈段位置时,产生的静水压力会对井壁造成挤压,增加施工难度。溶蚀作用:在碳酸盐岩等可溶性岩石中,地下水携带的二氧化碳等酸性物质会侵蚀岩石,形成空洞或裂隙,影响井身完整性。泥浆流失,当钻孔穿过高渗透性地层时,用于冷却钻头和清洗井底的泥浆可能大量泄漏到周围地层中,导致井壁失稳。超前地质预报,通过地质雷达、瞬变电磁法等非开挖技术,提前探测前方未知水体的位置和规模,为施工决策提供依据。止水帷幕技术,在井颈段周围建造一道防水墙,阻止地下水流入,确保施工环境干燥。排水系统设计,合理布局集水坑和排水管道,及时排出井内积水,防止水压积累,同时收集的水资源可用于后续的环保处理或再利用。总而言之,深入理解和掌握地层结构与水文地质条件的奥秘,是确保井颈段施工顺利推进的基石。每一次钻进,都是对地球深层结构的一次探索之旅,而每一次成功的井颈段施工,则是在人与自然和谐共生理念指引下,科技与智慧的完美结晶^[2]。

3 施工关键技术研究

3.1 地质稳定性评估与控制技术:构建安全可靠的地下工程基石

地质稳定性评估是确保地下工程建设安全、高效推进的关键环节。它涉及到对目标区域地质构造、岩土力学性质、地下水状态等多个方面的综合考量,旨在预测和量化可能影响工程稳定性的地质风险,从而采取有效措施加以防控。在井颈段施工中,地质稳定性评估尤为关键,因为它直接关系到井壁的稳固与否,进而影响整个井下作业的安全与进度。初步调查,搜集已有地质资料,包括地形地貌、地质图件、地震记录等,形成基本认识。现场勘查,实地考察,采集岩芯样本,进行岩土测试,获取直接的地质数据。数值模拟,借助计算机软件,建立三维地质模型,模拟不同荷载条件下岩土体的变形与应力分布。专家评审,组织跨学科专家团队,对评估报告进行全面审查,确保评估结果的科学性和实用性。预支护技术,在开挖前预先对井壁进行加固,如打

入锚杆、安装钢拱架,以增强岩土体的自身承载力。即时封闭,采用喷射混凝土或灌浆的方式,快速封闭新暴露的井壁,防止水分侵入和岩层风化。动态监控,布设传感器,实时监测井壁变形、地下水位等关键参数,预警异常情况,及时调整施工方案。地质稳定性评估与控制技术的有机结合,为井颈段施工提供了一道坚实的屏障,确保了地下工程的顺利进行和长期稳定性。

3.2 地层稳定性分析方法:洞察大地脉络,守护工程平安

地层稳定性分析是地质稳定性评估的重要组成部分,它聚焦于岩土体内部结构与外部环境交互作用的微观层面,通过定量分析,预测地层可能发生的变形模式和破坏机制。在复杂多变的地质条件下,准确把握地层稳定性,对于规避施工风险、保障工程质量和安全至关重要。极限平衡分析,基于莫尔-库仑破坏准则,计算岩土体沿潜在滑动面的抗剪强度,判断其是否处于稳定状态。有限元分析,运用弹性力学原理,将地层划分为若干个单元,模拟其在外力作用下的应力-应变行为,适用于复杂应力场和边界条件的分析。离散元分析,侧重于颗粒级尺度的力学行为,适用于描述破碎岩石和松散堆积物的流变特性。随着大数据和人工智能技术的飞速发展,越来越多的工程实践中开始尝试融合机器学习算法,从海量历史数据中挖掘地层稳定性演化规律,实现个性化预测和定制化干预策略。这种数据驱动的方法不仅提高了分析的精确度,还极大缩短了决策周期,增强了工程风险管理的时效性和有效性。

3.3 地层加固技术:巧施妙手,重塑大地骨骼

面对地质条件不佳的挑战,地层加固技术成为了提升岩土体承载力、改善井颈段施工条件的有力武器。通过人工干预手段,增强脆弱地层的结构性和整体性,确保其在承受施工荷载和环境变化时依然保持稳定。化学注浆加固,向地层中注入聚合物、水泥浆等固化材料,通过化学反应生成凝胶体,填实微裂缝,提高地层密实度。高压旋喷桩技术,利用高压旋转喷嘴,将浆液以高速喷射到地层中,形成柱状加固体,适用于淤泥土层和砂土层加固。冻结法加固,通过低温冷冻介质使地层内的水分结冰,形成临时支撑结构,适用于富水地层和极软弱地层的加固。随着纳米技术、生物技术的兴起,新型加固材料和工艺正在不断涌现。例如,微生物诱导碳酸钙沉淀技术(MICP),利用微生物代谢产物促使碳酸钙在岩石孔隙间沉积,形成自然“水泥”,是一种绿色环保、可持续的地层加固方法。未来,地层加固技术将在跨学科交叉融合的大背景下,朝着更加高效、生态友

好和智能化的方向发展，为人类的地下工程活动提供更强大的技术支持^[3]。

4 水文地质条件应对技术

4.1 地下水控制技术：筑起地下工程的水防线

地下水控制技术是确保地下建筑结构稳定和施工安全的关键环节，特别是在井颈段施工中，有效地管理和调节地下水位对于防止地下水渗透和控制水压有着举足轻重的作用。地下水不仅会影响施工进度，还可能危及工程结构的完整性和周边环境的安全。因此，采用科学合理的地下水控制措施，是每一个地下工程师必须掌握的技能。井点降水是一种常用的地下水位降低方法，它通过在基坑四周或内部打设降水井，利用抽水泵将地下水抽出，从而降低地下水位，为井颈段施工创造干作业条件。这种方法特别适用于渗透系数较高的砂土层，能够有效防止边坡坍塌和井壁渗水。单级井点，适用于地下水位较低、渗透系数适中的场合，通过单一井点即可达到降水目的。多级井点，针对地下水位深、水量大的复杂地质条件，采用多级井点组合降水，逐级降低地下水位，确保施工安全。帷幕注浆是另一种地下水控制的有效手段，主要用于形成隔离水层，阻断地下水向施工区域的流动。它通过在井颈段周围或底部密集布置注浆孔，向地层中注入水泥浆、化学浆液或其他固结材料，待浆液凝固后形成一层连续的防渗帷幕。水泥浆帷幕，适用于大多数地质条件，具有良好的防渗效果和较强的耐久性。化学浆帷幕：适用于特殊地质条件，如高渗透性地层或需快速固结的情况，化学浆液能在短时间内形成高强度的固结体。实际应用中，地下水控制往往需要多种技术的协同配合，例如先采用帷幕注浆形成外围防渗屏障，再辅以井点降水降低地下水位，双管齐下，确保井颈段施工不受地下水干扰。

4.2 防渗漏技术：守护地下工程的最后一道防线

防渗漏技术在地下工程中扮演着至关重要的角色，尤其是在地下水丰富或水文地质条件复杂的区域，确保井颈段结构的密封性和防水性能是防止地下水入侵、保障工程质量的关键。通过采用防渗膜铺设、注浆堵漏等技术手段，可以有效提升井颈段的防渗性能，为地下

工程的安全运行奠定坚实基础。防渗膜作为一种柔性防水材料，广泛应用于地下工程的防水隔绝。它通常采用HDPE（高密度聚乙烯）、LDPE（低密度聚乙烯）等塑料薄膜制成，具有优良的防渗性能和耐腐蚀性。局部贴敷法，针对易漏水部位，如接缝、拐角等进行防渗膜的局部贴敷，强化薄弱环节的防水功能。注浆堵漏则是通过向井颈段可能出现渗漏的部位注射水泥浆、化学浆液等封堵材料，利用其膨胀固化特性填补裂缝，达到永久性防水的效果。高压注浆，利用高压泵将浆液注入细微裂缝，适用于处理宽度小于0.1mm的微小裂缝。低压注浆，适用于宽裂缝和孔洞较大的情况，通过较低的压力将浆液送入缺陷处，形成牢固的堵塞。在井颈段施工中，应始终坚持预防为主的原则，通过事前的地质勘察和详细的施工方案设计，尽可能避免潜在的渗漏风险。同时，建立健全应急预案，储备充足的堵漏材料和设备，一旦发生突发渗漏事件，能够迅速响应，最大限度减少损失。地下水控制技术和防渗漏技术的合理运用，如同为井颈段施工穿上了一副坚不可摧的铠甲，让工程在面对地下水挑战时，能够从容不迫，稳步前行^[4]。

结束语

综上所述，井颈段通过第四纪沉积层施工是一项复杂而艰巨的任务，但通过科学合理的施工方案和精细的管理措施，完全有可能将其转化为一次成功的工程实践。未来的研究还应继续深化对第四纪沉积层物理力学性质的认识，探索更多创新技术，不断提高井颈段施工的智能化和自动化水平，以期更好地服务于国家的资源开发战略。

参考文献

- [1]立井井筒快速施工工艺及支护技术[J].王浩.山东煤炭科技,2023(08)
- [2]煤矿立井井筒装备安装施工工艺[J].李喜红.内蒙古煤炭经济,2023(14)
- [3]煤矿立井井筒装备安装施工工艺分析[J].赵利君.机械管理开发,2023(06)
- [4]关于煤矿立井井筒装备安装施工工艺的探讨[J].朱小娟.中国设备工程,2022(18)