

水利水电工程中隧洞衬砌及喷锚支护加固施工关键技术的探讨

任元超

中国水利水电第三工程局有限公司 陕西 西安 710000

摘要: 本文详细探讨了水利水电工程中隧洞工程的特点,包括地质条件复杂、断面形式多样、施工环境恶劣等。深入分析了隧洞衬砌的作用与类型,以及喷锚支护加固原理。重点阐述了隧洞衬砌施工和喷锚支护加固施工的关键技术,涵盖施工准备、模板工程、混凝土施工、喷射混凝土施工、锚杆施工等多个方面。同时对隧洞衬砌及喷锚支护加固施工的质量控制与安全管理进行了系统论述,旨在为水利水电工程隧洞施工提供全面的技术指导和管理思路,确保隧洞施工的质量和安

关键词: 水利水电工程; 隧洞工程; 衬砌施工; 喷锚支护; 质量控制; 安全管理

1 水利水电工程隧洞工程特点及衬砌与喷锚支护加固原理

1.1 水利水电工程隧洞工程特点

水利水电工程中的隧洞工程具有一系列显著特点。第一,地质条件复杂多变是隧洞工程面临的首要难题,隧洞往往穿越不同的地质层,可能遇到岩层破碎带、软弱夹层、断层、溶洞等不良地质现象。这些地质条件不仅增加了施工的难度,还可能引发塌方、涌水等地质灾害,对施工人员的生命安全和工程进度造成严重威胁。例如,在穿越岩溶地区时,溶洞的存在可能导致隧洞局部围岩稳定性极差,需要采取特殊的处理措施。第二,隧洞断面形式多样,根据水利水电工程的功能需求,隧洞的断面形状有圆形、城门洞形、马蹄形等多种形式。不同的断面形式对施工工艺和模板设计提出了不同的要求。圆形断面受力性能较好,常用于有压隧洞;而城门洞形和马蹄形断面则更适用于无压隧洞,但施工难度相对较大,需要精确控制模板的安装和混凝土的浇筑质量。第三,施工环境恶劣,隧洞施工空间狭小,通风、照明条件差,粉尘、噪音等污染严重。施工人员长期在这样恶劣的环境中作业,容易产生疲劳和职业病,隧洞内湿度大,对施工设备和材料的性能也有一定影响,增加了施工管理的难度。第四,隧洞工程具有隐蔽性强的特点,一旦隧洞施工完成,内部的质量问题很难直观地发现。如果施工过程中质量控制不严,可能会导致隧洞在运行过程中出现渗漏、裂缝等问题,影响工程的安全性和耐久性。因此隧洞施工需要更加严格的质量检测和监控手段。

1.2 隧洞衬砌作用与类型

隧洞衬砌是隧洞工程中至关重要的结构部分,其主要作用包括承受围岩压力、防止围岩风化和坍塌、减少隧洞渗水等。在隧洞开挖后,围岩的应力状态会发生改变,可能导致围岩失稳^[1]。衬砌结构能够提供必要的支护力,维持围岩的稳定,保证隧洞的安全使用。同时衬砌还可以防止地下水渗入隧洞内部,减少对隧洞结构和设备的侵蚀,延长工程的使用寿命。隧洞衬砌的类型多种多样,常见的有混凝土衬砌、钢筋混凝土衬砌、预应力混凝土衬砌等。混凝土衬砌施工工艺相对简单,成本较低,适用于地质条件较好、围岩压力较小的情况。钢筋混凝土衬砌则在混凝土中加入钢筋,提高了衬砌的抗拉、抗弯能力,适用于围岩压力较大或有特殊受力要求的隧洞。预应力混凝土衬砌通过在混凝土中施加预应力,使衬砌在受力前就处于受压状态,能够更好地抵抗围岩压力和变形,适用于大跨度、高水头的隧洞工程。

1.3 喷锚支护加固原理

喷锚支护是一种结合了喷射混凝土和锚杆支护的联合支护方式,其加固原理主要是通过锚杆和喷射混凝土与围岩共同作用,形成一个整体的支护体系。锚杆一端锚固在稳定的岩体中,另一端与喷射混凝土层相连,将围岩的松动压力传递到稳定的岩体上,从而提高围岩的自承能力。锚杆还可以对围岩起到加固作用,限制围岩的变形和位移。喷射混凝土能够及时封闭围岩表面,防止围岩风化和剥落,减少围岩的暴露时间。喷射混凝土与围岩紧密粘结,形成一个整体,共同承受围岩压力。喷射混凝土还可以填充围岩的裂缝和孔隙,提高围岩的整体性和稳定性。喷锚支护的优点在于施工速度快、灵活性高,能够及时对围岩进行支护,适应不同地质条件

的隧洞施工。

2 水利水电工程中隧洞衬砌施工技术

2.1 施工准备

施工准备是隧洞衬砌施工的重要环节，直接影响到后续施工的顺利进行。首先，要进行详细的施工图纸会审和技术交底工作。施工人员应熟悉施工图纸，了解衬砌的结构形式、尺寸要求、混凝土强度等级等技术参数，明确施工工艺和质量标准。同时，对施工人员进行技术培训，提高其操作技能和质量意识。其次，做好施工场地的布置和准备工作，合理规划材料堆放区、设备停放区、施工通道等，确保施工现场的整洁和有序。搭建必要的临时设施，如仓库、宿舍、办公室等，为施工人员提供良好的工作和生活条件。再者，准备好施工所需的材料和设备，对混凝土原材料进行严格的质量检验，确保其符合设计要求。检查模板、钢筋等材料的规格和质量，保证其能够满足施工需要。对施工设备进行调试和维护，确保设备性能良好，运行正常。

2.2 模板工程

模板工程是隧洞衬砌施工的关键环节之一，其质量直接影响到衬砌的外观质量和尺寸精度。根据隧洞的断面形式和尺寸要求，选择合适的模板类型。常见的模板有组合钢模板、木模板、滑模等。组合钢模板具有强度高、刚度大、拼装方便等优点，适用于圆形和矩形断面的隧洞衬砌^[2]。木模板则具有制作简单、成本较低的特点，但使用寿命相对较短，适用于一些小型隧洞或临时衬砌。滑模适用于长隧洞的连续衬砌施工，能够提高施工效率，保证衬砌的平整度和垂直度。在模板安装过程中，要严格按照设计要求进行定位和固定。模板的接缝应严密，防止漏浆。对于圆形隧洞衬砌，模板的圆度应符合设计要求，可通过调整模板的支撑和固定装置来保证。模板安装完成后，要进行全面的检查和验收，确保模板的安装质量符合标准。

2.3 混凝土施工

混凝土施工是隧洞衬砌的核心环节，其质量直接关系到衬砌的强度和耐久性。在混凝土配合比设计方面，要根据隧洞的使用要求和地质条件，选择合适的水泥品种、骨料级配和外加剂。通过试验确定最佳的配合比，确保混凝土的强度、和易性和耐久性满足设计要求。混凝土浇筑前，要对模板、钢筋等进行再次检查，清除模板内的杂物和积水。采用分层浇筑的方法进行混凝土施工，每层浇筑厚度不宜过大，一般控制在30-50cm左右。在浇筑过程中，要使用振捣器进行充分振捣，确保混凝土密实。振捣时要注意振捣器的插入深度和振捣时间，

避免漏振和过振。混凝土浇筑完成后，要及时进行养护。养护时间一般不少于14天，可采用洒水养护或覆盖养护的方式。在养护期间，要保持混凝土表面的湿润，防止混凝土因水分蒸发过快而产生裂缝。

2.4 特殊地质条件下的衬砌施工技术

在特殊地质条件下，如岩溶地区、软弱围岩地区等，隧洞衬砌施工需要采取特殊的技术措施。在岩溶地区，首先要对溶洞进行详细的勘察和处理。对于小型溶洞，可采用回填混凝土、浆砌块石等方法进行处理；对于大型溶洞，可能需要采用梁、拱等结构跨越溶洞。在衬砌施工时，要根据溶洞的处理情况，调整衬砌的结构形式和施工工艺，确保衬砌的安全性和稳定性。在软弱围岩地区，围岩的自稳能力较差，容易发生坍塌。在衬砌施工前，要先进行超前支护，如超前锚杆、超前小导管注浆等，提高围岩的稳定性。衬砌施工时，可采用分段跳仓浇筑的方法，减少衬砌对围岩的扰动。同时要加强对衬砌的钢筋配置，提高衬砌的抗弯、抗剪能力。

3 水利水电工程中喷锚支护加固施工技术

3.1 施工准备

喷锚支护施工前的准备工作是保障后续施工顺利开展、确保支护效果的关键基础，容不得半点马虎。首先，必须对隧洞围岩展开全面且细致的勘察与地质分析工作。专业的地质人员要深入现场，运用多种勘探手段，精准掌握围岩的岩性特征，判断其坚硬程度与稳定性；详细记录节理裂隙的发育情况，包括走向、间距、张开度等，因为这些裂隙是围岩稳定性的薄弱环节；密切关注地下水状况，了解地下水的分布、水位变化以及渗流情况，地下水可能会对围岩产生软化、侵蚀等不利影响。依据这些详实的勘察结果，结合工程实际需求，制定科学合理的喷锚支护施工方案，明确锚杆的类型、长度、间距，喷射混凝土的厚度、强度等关键技术参数。此外，还要组织施工人员进行全面的技术培训 and 安全教育，让他们深入理解喷锚支护的施工工艺和操作规程，提高安全意识。提前准备好施工所需的各类材料和设备，如锚杆、水泥、砂石、喷射机、注浆机等，并对设备进行严格的调试和检查，确保其性能良好、运行正常，为喷锚支护施工做好充分准备。

3.2 喷射混凝土施工

喷射混凝土施工是喷锚支护的重要组成部分。在施工前，要先对围岩表面进行清理，去除浮石、危石和松散岩层，用高压水冲洗围岩表面，使其保持湿润。喷射混凝土的配合比应根据设计要求和原材料性能进行确定，保证混凝土的强度和粘结性能。喷射作业时，要控

制好喷射距离、喷射角度和喷射顺序。喷射距离一般控制在0.8-1.2m左右,喷射角度应尽量垂直于围岩表面。喷射顺序应先墙后拱,自下而上进行^[3]。在喷射过程中,要分层喷射,每层喷射厚度不宜过大,一般控制在3-5cm左右。后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行,以保证层间结合良好。喷射混凝土施工完成后,要进行养护。养护时间一般不少于7天,可采用喷水养护的方式,保持混凝土表面的湿润。

3.3 锚杆施工

锚杆施工的质量直接影响到喷锚支护的效果。锚杆的类型应根据围岩条件和设计要求选择,常见的有砂浆锚杆、中空注浆锚杆等。在锚杆钻孔前,要根据设计要求进行测量放线,确定锚杆的位置和角度。钻孔过程中,要控制好钻孔的深度、直径和垂直度,确保锚杆能够顺利安装。锚杆安装时,要将锚杆插入钻孔中,并保证锚杆的外露长度符合设计要求。对于砂浆锚杆,要采用注浆机将水泥砂浆注入钻孔中,注浆压力和注浆量要符合设计要求。中空注浆锚杆则可直接通过锚杆体进行注浆。锚杆安装完成后,要进行抗拔力试验,检验锚杆的锚固质量是否符合标准。

3.4 喷锚支护联合施工与监测

喷锚支护联合施工时,要合理安排喷射混凝土和锚杆施工的顺序和时间间隔。一般情况下,先进行锚杆施工,待锚杆达到一定强度后,再进行喷射混凝土施工。在施工过程中,要加强现场监测,及时掌握围岩的变形和支护结构的受力情况。监测内容包括围岩位移监测、锚杆轴力监测、喷射混凝土应力监测等。通过监测数据的分析,可以及时发现施工中存在的问题,采取相应的措施进行调整和优化。如果发现围岩变形过大或支护结构受力异常,应及时加强支护措施,确保隧洞施工的安全。

4 隧洞衬砌及喷锚支护加固施工质量控制与安全管理

4.1 施工质量控制

施工质量控制是隧洞衬砌及喷锚支护加固施工的核心任务。要建立健全质量管理体系,明确各级人员的质量职责,加强对施工全过程的质量控制。在原材料质量控制方面,要严格对水泥、砂石、钢筋、锚杆等材料进行检验和验收,确保材料质量符合设计要求。在施工过程中,要加强工序质量控制,每道工序完成后,要进行自检、互检和专检,合格后方可进行下一道工序。对于关键工序和隐蔽工程,要实行旁站监理,确保施工质

量。例如,在混凝土浇筑过程中,要严格控制混凝土的配合比、浇筑速度和振捣质量;在锚杆施工时,要检查锚杆的安装位置、角度和注浆质量。同时,要加强质量检测和验收工作,定期对衬砌和喷锚支护结构进行质量检测,如混凝土强度检测、锚杆抗拔力检测等。工程完工后,要按照相关标准和规范进行验收,确保工程质量符合设计要求。

4.2 施工安全管理

施工安全管理是隧洞施工的重要保障。要制定完善的安全管理制度和操作规程,加强对施工人员的安全教育和培训,提高其安全意识和自我保护能力。在施工现场设置明显的安全警示标志,配备必要的安全防护用品,如安全帽、安全带、安全网等。加强对施工设备的安全管理,定期对设备进行检查和维护,确保设备运行安全^[4]。对于爆破作业、高处作业等危险作业,要制定专门的安全技术措施,并严格按照操作规程进行施工。在隧洞施工过程中,要加强通风和照明管理,改善施工环境,减少粉尘和有害气体对施工人员的危害。要建立健全应急救援体系,制定应急预案,定期组织演练。一旦发生安全事故,能够迅速采取有效的救援措施,最大限度地减少事故损失。

结束语

水利水电工程中的隧洞衬砌及喷锚支护加固施工是一项复杂且关键的工作。本文从隧洞工程特点出发,详细阐述衬砌与喷锚支护加固的原理,深入探讨衬砌施工和喷锚支护加固施工的关键技术,并对施工质量控制与安全管理进行系统论述。通过全面分析,为隧洞施工提供技术指导和管理思路。在后续实际工程中,需严格遵循相关技术与规范,保障施工质量和安全,推动水利水电工程顺利建设。

参考文献

- [1]杨劲松.水利水电工程中隧洞衬砌及喷锚支护加固施工关键技术的探讨[J].科技资讯,2024,22(24):142-144.
- [2]黄勇,刘大军.钻孔爆破技术在水利水电工程隧洞施工中的应用[J].治淮,2022,(08):41-42.
- [3]李富强,康波.水利水电工程隧洞衬砌及喷锚支护加固施工技术研究[J].中国高新科技,2024,(14):139-141.
- [4]张生武.水利工程隧洞衬砌及喷锚支护加固施工[J].科学技术创新,2024,(07):161-164.