

水利工程隧洞衬砌及喷锚支护施工技术研究

郦微园

浙江鼎川建设有限公司 浙江金华 321100

摘要: 本文围绕水利工程隧洞衬砌及喷锚支护施工技术展开研究。首先,在隧洞衬砌方面,提出了一种新型的衬砌材料,能够有效提高衬砌的抗渗性和承载能力,延长隧洞使用寿命。其次,在喷锚支护方面,对传统喷锚支护技术进行了改进,提出了一种高效的喷锚设备,并结合现场实验验证了其施工效果。最后通过试验研究验证了该技术的有效性。结果表明,通过提出的新材料和施工方案,隧洞施工过程中的工程质量得到了有效保障。

关键词: 水利工程; 隧洞衬砌; 喷锚支护; 衬砌材料

引言

水利工程中隧洞衬砌和喷锚支护技术是确保水利工程安全稳定运行的重要手段,但目前在实际应用中还存在一些问题和挑战^[1]。隧道在运行过程中可能会受到地质条件变化、水压等外部影响而产生变形或破坏,因此,本研究旨在通过深入分析水利工程中隧洞衬砌及喷锚支护施工技术的现状和存在的问题,探讨不同衬砌材料和喷锚技术对隧道支护效果的影响,进而提出一套系统的施工工艺流程,以期为相关领域的工程实践提供有益参考^[2]。通过该研究的开展,有望填补相关领域的研究空白,推动水利工程中隧洞设计和施工技术的进步,为保障工程质量和安全性提供可靠保障。

一、隧洞衬砌与喷锚支护技术分析

(一) 隧洞衬砌材料的选择与评价

在水利工程中,隧洞衬砌材料的选择至关重要,直接影响到隧洞结构的稳定性和耐久性。在选择衬砌材料时,需要考虑其抗压和抗渗性能。通常情况下,常见的隧洞衬砌材料包括混凝土、钢筋混凝土和砖石等。混凝土作为一种常用的衬砌材料,具有良好的抗压性能,适用于一般水利工程中的隧洞结构;而钢筋混凝土则在抗压性能和耐久性方面表现更优秀,适合用于对隧洞结构要求较高的工程项目;而砖石则常用于对风化作用较强的隧洞进行衬砌。除了材料的选择外,衬砌材料的评价也应考虑施工过程中的操作性、成本和维护方便程度等因素。在实际工程中,应根据具体工程要求和条件综合考虑,选择最为适合的隧洞衬砌材料。针对水利工程隧洞衬砌的特点和要求,对衬砌材料进行科学评价和选择,

能有效提高工程的施工质量和安全性,保障工程的长期稳定运行^[3]。

(二) 喷锚支护技术

在隧洞衬砌与喷锚支护技术分析的过程中,我们不得不关注喷锚支护技术的发展与应用。喷锚支护作为隧洞工程中重要的支护方式之一,其发展历程和应用情况对于提高隧道施工质量和效率具有重要意义。随着科技的不断进步,喷锚支护技术在隧洞工程中得到了广泛应用并取得了一系列进展。首先,喷锚支护技术在支护材料的选择上逐渐趋向于环保、耐久、高强度的产品,以确保支护体的牢固性和耐久性。其次,喷锚支护设备的自动化程度不断提高,能够实现更高效的作业,减少人力成本和提高作业效率^[4]。

二、衬砌材料试验设计与分析

(一) 试验原材料

超高性能混凝土(UHPC)是在高性能混凝土(HPC)基础上发展起来的一种新型混凝土,其原材料选用、配合比设计、搅拌成型工艺、试件尺寸要求、力学性能与收缩徐变试验方法等还没有出台统一的标准。参照普通混凝土相关试验规程及国内外研究成果,对原材料的选用、配合比、制备工艺、试验设备与操作方法等给出介绍^[5]。

1. 胶凝材料

(1) 水泥

水泥采用的是亚东水泥厂生产的洋房牌52.5 II型硅酸盐水泥,具体参数如表1所示。

(2) 粉煤灰

粉煤灰采用微珠,是一种新型超微粉体材料,是利

表1 水泥物理性能

物理性能	凝结时间/min		抗压强度/MPa		抗折强度		比表面积 (m ² /kg)
	初凝时间	终凝时间	3d	28d	3d	28d	
指标							349
实测值	191	245	32.9	68.5	6.3	10.4	密度 (kg/m ³)
国家标准	≥ 45	≤ 390	≥ 23.0	≥ 52.5	≥ 4.0	≥ 7.0	2980

用优质粉煤灰经过独特工艺精选、加工而成的超细且具有连续粒径分布的一种亚微米、完美的正球状粉体产品。粉煤灰微珠具有活性高、低水化热、质轻、耐腐蚀、抗压强度高、流动性好和热稳定性好等优异功能，可作为高性能混凝土的新型活性超微骨料。采用北京正源益清新材料技术优先公司生产的超微火山灰粉体微珠，含碳量≤1%^[6]。

2. 外加剂

(1) 减水剂

UHPC的水胶比非常低，要想具有足够的流动性，则需要在制备过程中加入高效减水剂。本文中使用的聚丙烯酸酯高效液态减水剂，颜色为淡黄色，生产厂家为广西聚砜新材料科技有限公司，型号为JT-US。

(2) 消泡剂

消泡剂是苏州市兴邦化学建材有限公司生产的A-406白色粉末状高性能消泡剂。

3. 骨料

骨料采用的是玄武岩机制砂，表观密度为3030 kg/m³，取1kg用筛分仪进行筛分，经过筛分后粒径分布，其累计堆积曲线与紧密堆积曲线较为相近，级配较好。

(二) 试件制作流程

首先将机制砂、水泥、硅灰、微珠分别称重依次倒入搅拌机进行干拌，干拌3min后将称重好的减水剂与水混合，倒入搅拌机进行搅拌，搅拌5分钟后，少量多次将钢纤维加入，搅拌3~5分钟。搅拌完成后开始卸料，进行浇筑，浇筑完毕，放至振动台振动约20s。振动时间不能太长或者太短，振动时间过短试件内部会有气孔，而振动时间过长骨料与纤维会明显下沉。ISO法所用搅拌机为HOBART台式搅拌机；立方体试块以及轴心抗压、弹性模量、泊松比试件用强制式单卧轴混凝土搅拌机搅拌，单次最大搅拌量为40升。浇筑振捣成型后立即用塑料薄膜覆盖，放置于室内24h脱模，并进行后续养护。

三、锚固支护模型试验

(一) 锚固支护机理

目前锚杆加固机理是研究热点之一，其中包括悬吊、复合梁和加固拱等方法。此外，还有围岩结构松动圈学说、最大水平应力理论和强度强化理论等新理论还在研究中。锚杆支护一般由杆体、托板、螺母等组成。

在巷道开挖后，由于工作面支撑作用，顶板下沉量和两帮收敛量相对较小。这时可以利用锚杆技术对浅部岩体进行加固，以控制岩体的离层和滑动。因此，锚杆加固技术可以有效地控制巷道变形，提高其稳定性和安全性^[5]。在相邻岩体层中锚杆提供的约束抗力为：

$$\sigma_0 = \frac{nP}{bB} \quad (1)$$

由于锚杆的支护使得相邻岩体层中增加的抗剪力为：

$$\tau_0 = \frac{n}{bB} \left(\mu P + \frac{\pi d^2 \tau}{4} \right) \quad (2)$$

式中： P ——锚杆的预紧力，kN； d ——锚杆直径，m； τ ——锚杆抗剪强度，MPa； n ——每排锚杆数； b ——锚杆排距，m； μ ——岩层间摩擦系数； B ——巷道的跨度，m。

(二) 测试方案

考虑到上述锚杆拉拔模型的几何形状、约束条件和荷载均对称于锚杆轴心，因此其应力、应变和位移也对称于锚杆轴心，与环向坐标无关。锚固拉拔试验装置，包括有用于制备并固定半体锚固结构的加载固定装置即内外置挡板、作为离面位移约束且相互平行的固定装置即上下挡板。外置挡板为半圆柱状壳体，内壁高度400mm、内径250mm、厚度120mm，试验前可于其中填入制备锚固基体的所需材料并养护获取半体锚固结构试件，上端部通过螺杆与万能试验机连接紧固，下端部预置半圆孔、半圆孔孔径与半体锚固试件中的锚杆匹配，拉拔时锚杆穿过半圆孔并被万能试验机夹头夹紧，锚杆伸出半圆柱状壳体长度为150mm，万能试验机夹头夹持锚杆长度≥50mm。拉拔过程中的监测设备可放置在半体锚固结构的正对面，可直观观察锚杆拉拔试验中锚固结构表面变形场的演化过程。

(三) 基体制作

现场取样条件难以满足半体锚固测试所需400mm×250mm×120mm的岩石尺寸，且大尺寸岩石运输过程中更易发生损坏和改性，因此以弱胶结粉砂岩为相似材料配比对象。类岩石材料需满足性质与弱胶结岩

石相近、力学性能稳定且离散性小，经过配比测试，以水泥、河砂、水为主料。为消除因试样浇筑过程中产生的气泡对试验结果造成的离散性，添加约占水溶液质量0.5%的消泡剂。本次试验所配制的类岩石材料与弱胶结粉砂岩性质相近，且与其破坏模式类似。

如图1所示，类岩石基体制作步骤如下：（1）混合物倒入预先放置在振动台上的内径为125mm、高度为400mm的半圆柱钢筒模具中；（2）利用振动台对混合材料进行消除气泡处理，待水泥混合物中无微小气泡溢出后结束振动，在模型中预埋半圆形PVC管为锚杆及锚固剂留设孔道，浇筑完成24h后取出预埋PVC管，对试件养护21d；（3）将锚杆放入预留孔道中，添加锚固剂，并确保锚杆1/2周长与锚固剂黏结；（4）待锚固剂凝结48h后，对模型表面进行打磨。



图1 锚固试件加工流程

四、试验结果分析

从图2可以看出，在水泥与硅灰总量不变的情况下，随着水泥比例减少和硅灰比例增加，抗折强度与抗压强度均呈现出先增大后降低的趋势。不同点在于：抗折强度的最大为A-3时水泥与硅灰的配比，即水泥为750kg、硅灰为250kg时的抗折强度最大；抗压强度最大为A-2时水泥与硅灰的配比，并且A-2与A-3的抗压强度差别很小，几乎保持水平，说明A-2与A-3的抗压强度相当。分析抗压强度变化的原因主要有两点，一方面硅灰作为填充物起到填充效应，硅灰的粒径平均为0.1~0.3 μm ，而水泥的粒径平均为30 μm ，硅灰掺量在合理的范围间可以很好的填充在水泥颗粒的缝隙内，增大密实度，提高抗压强度；另一方面硅灰作为矿物掺料，活性较高，在温度较高的环境下发生火山灰效应，可以有效提高混

凝土的抗压强度。

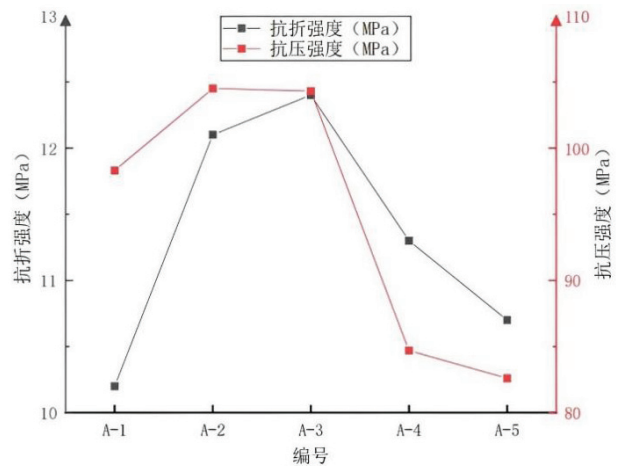


图2 硅灰配合比试验抗折、抗压强度变化

结论

通过本研究深入分析了水利工程中隧洞衬砌及喷锚支护施工技术的现状及存在问题，提出了一些可行的改进方案和创新技术，为水利工程的实际施工提供了有益的参考和借鉴。这些技术创新和改进措施不仅可以提高施工效率、降低施工成本，同时也能提升工程质量和安全性，具有一定的实际应用价值。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 熊昕. 水利工程隧洞衬砌及喷锚支护加固施工探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2023, 51 (10): 46-47+62.
- [3] 陈好场. 外掺MgO对水工隧洞混凝土温度徐变应力的影响[D]. 大连理工大学, 2019.
- [4] 孙礼波. 铰接段间距对输水隧洞铰接减震缝减震措施效果的影响[J]. 水利科学与寒区工程, 2024, 7 (05): 116-118.
- [5] 马强, 温立峰, 党侃. 基于不同围岩特性的隧洞衬砌厚度优化分析[J]. 粘接, 2024, 51 (05): 161-164.
- [6] 张鑫, 霍俊亮, 王志伟, 等. 输水隧洞衬砌空洞处理措施分析[J]. 海河水利, 2024 (04): 107-110.