

# 水工隧洞混凝土衬砌施工工艺改进与质量提升策略

杨龙

中景恒业建设工程有限公司 610000

DOI:10.12238/ems.v7i7.14228

**[摘要]** 本论文聚焦水工隧洞混凝土衬砌施工,深入剖析施工现状、常见质量问题及成因。通过研究发现,传统施工工艺在模板、钢筋、浇筑等环节存在局限性,质量控制体系也有待完善。针对这些问题,提出模板工艺改进、钢筋施工优化、浇筑工艺创新等施工工艺改进策略,以及原材料质量控制、施工过程管控、人员培训管理和质量检测监测等质量提升保障措施。

**[关键词]** 水工隧洞; 混凝土衬砌; 施工工艺; 质量提升; 保障措施

**[Abstract]** This paper focuses on the construction of concrete lining for hydraulic tunnels, and deeply analyzes the current construction status, common quality problems, and causes. Through research, it is found that traditional construction techniques have limitations in formwork, reinforcement, and pouring, and the quality control system needs to be improved. In response to these problems, we propose construction process improvement strategies such as template process improvement, reinforcement construction optimization, and pouring process innovation, as well as quality improvement safeguards such as raw material quality control, construction process control, personnel training management, and quality inspection and monitoring.

**[Key words]** hydraulic tunnel; Concrete lining; Construction technology; Quality improvement; Guarantee measures

## 引言

在水利工程建设蓬勃发展的当下,水工隧洞作为水利枢纽的重要组成部分,承担着输水、导流、泄洪等关键功能。混凝土衬砌作为水工隧洞的核心结构,其施工工艺与质量直接关乎隧洞的结构安全、使用寿命及水利工程效益的发挥。

## 一、水工隧洞混凝土衬砌施工现状分析

### 1.1 施工工艺现状

目前,水工隧洞混凝土衬砌施工基本上沿用了老的工作流程,即按照模板安装——钢筋加工——钢筋绑扎——混凝土浇筑的顺序实施施工工序。模板通常选用木模或钢模,木模费用低廉、制作简单,但是周转率较低,容易发生变形,造成混凝土表面平整性较差;钢模刚度大、周转率高,但重量较大、拼接拼缝不易处理。模板安装时主要靠人工测量定位,测量误差难以保证,同时通常用大量支撑体系来确保模板安装的牢固性,施工效率低下。钢筋绑扎通常在现场进行钢筋加工,钢筋加工长度、弯钩长度、弯折角度通常由人工制作完成,其准确程度受操作人员技术水平的影响较大。由于水工隧洞洞径小,一般施工区域空间狭窄,人工绑扎速

度慢,人工绑扎时钢筋受力状况、钢筋间距和保护层厚度难以保证均匀性,对钢筋的受力状态及整体性能存在一定影响。

### 1.2 质量控制现状

针对工程质量控制,目前普遍是按照国家、行业规范为指导,在工程中通过原材料检验、工序质量和实体产品质量检验等环节对施工质量进行检验,但由于对原材料进场检验的基本指标界定不够全面和明确,例如水泥、骨料、外加剂等原材料是否合格主要依据产品的物理化学性质进行初步检测,其实际用途是否合理还有待鉴别,不能明确是否会造成其他方面的损失;在施工过程中,质量检验则处于一种事中检验、事后检验状态,一定程度上减少了针对施工中的重要环节的实时检验,因此经常会出现整体质量问题,而在整改的过程中已经造成了一定的经济损失;因此,具体的施工过程中往往会出现因质量问题而进行返工的情况。

成品质量验收主要依赖于回弹法、超声回弹综合法等非破损检测手段,对混凝土内部存在缺陷的检测能力较弱,对质量较深部位裂缝、空洞等混凝土存在的问题难以正确判断;质量监督方面,监理及施工单位虽然在合同中对责任分工进

行了明确,但是在实际管理过程中常常会发生相互沟通不到位的情况,从而引发施工单位在质量控制中部分问题整改落实不到位的后果,影响质量控制的整体效果;质量控制人员的专业素质存在差异,一些人员对新的施工技术、工艺不了解,不能很好地进行质量监督控制,对于新的施工技术、工艺的质量控制存在一定的盲目性。

## 二、水工隧洞混凝土衬砌施工常见质量问题及成因分析

### 2.1 常见质量问题

水工隧洞混凝土衬砌常见的质量缺陷多表现为蜂窝、漏水、露筋、孔洞等表面缺陷以及衬砌厚度不足。其中裂缝病害最为严重,主要包括干缩裂缝、温度裂缝、沉陷裂缝,干缩裂缝是混凝土浇筑后凝结时水分蒸发快,混凝土体积收缩受到约束而发生收缩裂缝;温度裂缝是指浇筑混凝土过程中的水化热造成混凝土中心温度急剧上升,与混凝土表面形成巨大温差而热胀冷缩导致的裂缝;沉陷裂缝由于基础不均匀沉陷或衬砌下端回填不实,衬砌结构受力不均匀造成裂缝。

### 2.2 成因分析

一是由于原材料方面,部分水泥选用了不适合、安定性不符合要求,骨料级配不合理、含泥量超标,还有外加剂掺量不适宜等,对混凝土的质量产生直接的影响,使得混凝土出现的质量问题增多。二是由于施工方面,模板的拼装不紧密、支撑的稳定性不好等原因,造成混凝土浇筑漏浆、跑模等问题;在钢筋的绑扎过程中,比如搭接长度过小、锚固长度过小等,导致所构成的结构整体性变差;在混凝土的浇筑中,浇筑的速度过快、分层过高等,导致混凝土发生离析的现象;在振捣固上,对混凝土的混凝土振捣不密实,导致其在振捣的过程中存在孔洞。三是其他方面,比如炎热干、干旱的天气条件加速了混凝土的失水,低温的情况下会对水泥的水化反应造成影响,最终使得混凝土出现质量问题。

## 三、水工隧洞混凝土衬砌施工工艺改进策略

### 3.1 模板工艺改进

除上述设计形式外,还有不同传统模板的不足,利用新的模板材料以及结构形式。比如利用一些高强度的复合材料模板,其具备的质量轻、强度大、表面光滑,从而能够防止混凝土表面出现气泡麻面的情况,这些材料的模板大多数是由玻璃纤维加强树脂组成,因此具备比较强大的防腐能力,

能够满足隧洞内出现潮湿环境,从而减小报废率。利用一些液压的自升模板,它就是利用液压的系统带动上升的结构,其可以自行实现上升功能,这样就可以减少部分的劳动力成本,与传统模板的安装相比,在安装的效率上至少可以提升到40%左右,也有一定的提高安装模板的准确性。利用一些模型来进行安装模板,也就是可以使用BIM技术的方式进行模板的安装,可以通过相关的三维建模的形式,从而在这一基础上完成对模板拼装的模拟,进一步预测和发现一些拼接出现的问题并提前加以解决。

### 3.2 钢筋施工工艺优化

实施钢筋集中加工配送,在加工厂运用数控设备加工钢筋,保证加工质量以及加工效率。数控设备能够控制钢筋的弯曲角度、切断长度等参数,在毫米级控制加工误差,加工精度相比人工高出一个数量级。钢筋采用直螺纹套筒连接、套筒挤压连接等机械连接方式代替传统绑扎搭接连接,机械连接强度相当于钢筋母材强度的95%以上,大大提升钢筋连接强度与可靠性,并减少现场绑扎工作量。钢筋施工前通过BIM模型检视钢筋碰撞,进行钢筋排布优化,消除现场钢筋交叉碰撞难以安装的隐患。施工过程中采用二维码技术对钢筋进行标识,从原材料进场到安装的全过程实现钢筋可追溯性。

### 3.3 混凝土浇筑工艺创新

改进浇筑手段,将以往整个结构一次性浇筑改为分层分段浇筑,跳仓浇筑,合理地划分浇筑段,合理地控制混凝土浇筑厚度,防止因浇筑量较大,混凝土收缩变形引起混凝土结构开裂。跳仓浇筑工艺施工要点是在混凝土浇筑之前预留混凝土施工缝,通过跳仓浇筑缩小了混凝土结构浇筑面,通过控制混凝土分段收缩后,等到混凝土稳定,然后拼接施工缝,使其发挥出与整体混凝土浇筑时相同的应力释放效果。优化泵送混凝土配合比设计,优化泵送混凝土的配合比设计,通过增大混凝土内的骨料颗粒的级配,添加一定的高效减水剂等,有效提升混凝土的流动性和粘聚性,降低混凝土的离析程度。应用自密实混凝土技术,通过自密实混凝土技术增强混凝土的流动性、间隙通过性,抗离析,从而方便混凝土的泵送,更易于浇筑到钢筋密集、泵送不顺畅的位置。

### 3.4 振捣与养护工艺改进

采用高频振捣器取代原有的插入式振捣棒。高频振捣器的振动频率可达到12000次/分钟以上,与传统振捣棒相比,能在短时间使混凝土达到密实,提高了振捣效率与密实度,并减轻了过振、漏振的现象。开发智能振捣设备,设备中植入传感器,以实时采集振捣时间、深度以及频率,后通过控制系统输出到智能喷淋养护系统,以到达自动化控制,达到所需振捣参数后再控制振捣器停止工作,以避免人为误操作带来的影响。养护工艺方面采用智能喷淋养护系统,通过集成温湿度传感器以根据环境温湿度自行调节喷水量、喷水时间等,以使混凝土表面长时间保持湿润。

#### 四、水工隧洞混凝土衬砌质量提升保障措施

##### 4.1 原材料质量控制

建立原材料采购管控制度,优选信誉度高、产品稳定的供应商,对水泥、骨料、外加剂等原材料建立双检制度,针对原材料常规的检测内容以外再增加有害物质含量、耐久性指标等检测项。在原材料储存过程中,对原材料采取防潮、防雨、防晒等措施,并针对不同批次、不同规格的材料分区存放并且做好标记,防止混用。针对原材料供应商定期进行考核评价,对于质量不太稳定的供应商及时更新原材料供应商,从而从原材料源头保障混凝土衬砌质量。建立原材料溯源系统,利用扫码等信息化手段对原材料生产批次、运输过程等进行溯源,一旦发现质量问题可快速定位问题产生的原因。

##### 4.2 施工过程质量管控

健全施工过程质量管控体系,将质量控制关口前移,严格审查施工方案的编制、技术交底等前期工作。关键工序如模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑等须开展旁站监理,实时监督施工质量。对检查过程中发现的质量问题建立质量台账,做到检查问题及时记录、督促整改,整改完毕后复检。借助信息化管理平台,实现施工过程数据实时上传与共享,管理人员可通过手机或电脑端的终端及时查看到施工进度与质量等实时信息,及时发现和处理问题隐患,并进一步通过AI算法对施工数据进行分析,预判质量风险点,事先采取防控措施。

##### 4.3 人员培训与管理

定期对施工人员进行技术培训,培训内容主要包括施工

工艺、质量标准、安全规定等,由行业资深专家进行授课,采取理论授课和现场操作相结合的方式来提升施工人员的质量水平。建立对人员的考核奖罚机制,把施工质量与个人的工作成绩相关联,对施工质量较好的人员进行嘉奖,对质量操作违章或产生质量问题的人员进行惩处,规定各工作岗位的质量责任,由责任人签订质量责任书,提升施工人员的质量观念及责任心。

##### 4.4 质量检测与监测技术应用

采用地质雷达检测技术、分布光纤传感技术等先进的质量检测和监测技术对混凝土衬砌厚度、内部缺陷等进行无损检测,检测结果直接可视、明确有效;采用分布式光纤传感技术对混凝土内部温度、应变变化实现动态监测,可以提前预防裂缝等质量事故的发生。建设质量检测数据库,对检测数据进行汇总分析,总结质量变化的规律,为今后施工质量控制提供参考借鉴。

#### 结语

水利隧洞衬砌施工技术改进以及质量提升作为水利工程安全可靠的条件和依据,有针对性地分析水利隧洞衬砌施工存在问题并找出相应的原因,针对具体的施工流程有针对性地实施相应的施工方法改进和质量控制措施保障,从施工技术以及施工管理改进两个方面来提高水利隧洞衬砌施工质量。在未来的水利工程施工中应加强新技术新材料的应用,不断提高施工质量控制,推进水利隧洞施工技术智能化、精细化。

#### [参考文献]

- [1] 吴彦军. LEAC防水材料在引水隧洞混凝土修复技术应用[J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(05): 102-104.
- [2] 杨振誉. 引水隧洞初支施工喷射混凝土配合比优化研究[J]. 水利科技与经济, 2025, 31(05): 152-156.
- [3] 孔张宇. 严寒地区冬期尾水隧洞混凝土施工技术[J]. 低温建筑技术, 2025, 47(04): 153-156.
- [4] 李行星, 孔祥芝. 超长水工隧洞衬砌混凝土施工质量管理浅析[J]. 水科学与工程技术, 2025, (01): 48-51.
- [5] 王浩宇, 李鹏飞, 聂鼎. 水工隧洞衬砌混凝土多尺度开裂机理及防裂技术研究进展[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2024, 43(12): 27-40.