

## 导流工程大体积混凝土温控防裂与施工防渗一体化技术

肖 硕

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**导流工程作为水利水电工程的核心临时构筑物,其大体积混凝土结构长期承受水流冲刷、温度变化及渗透压力作用,温控防裂与施工防渗是保障工程稳定性和耐久性的关键技术难题。传统技术中,温控防裂与施工防渗多采用分治策略,存在协同性差、施工效率低、防渗与抗裂衔接不畅等问题,易导致混凝土结构出现裂缝、渗漏等病害,影响工程安全运行。文章基于大体积混凝土温度场与渗流场耦合作用机理,结合材料改性、施工工艺优化及监测控制技术,提出温控防裂与施工防渗一体化技术体系,通过优化混凝土配合比、创新分层浇筑与保温养护工艺、构建协同监测系统,实现“控温、抗裂、防渗”三者有机统一,提升工程结构的抗裂防渗性能与服役寿命。

**[关键词]**导流工程;大体积混凝土;温控防裂;施工防渗;一体化技术

DOI: 10.33142/hst.v9i3.19347

中图分类号: TV6

文献标识码: A

### Integrated Technology of Temperature Control, Crack Prevention and Construction Anti-seepage for Large Volume Concrete in Diversion Engineering

XIAO Shuo

Hebei Water Resources and Hydropower Investigation, Design and Research Institute Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** As the core temporary structure of water conservancy and hydropower engineering, diversion engineering has a large volume concrete structure that can withstand long-term water flow erosion, temperature changes, and seepage pressure. Temperature control, crack prevention, and construction anti-seepage are key technical challenges to ensure the stability and durability of the project. In traditional technology, temperature control and crack prevention, as well as construction anti-seepage, often adopt a separate treatment strategy, which has problems such as poor coordination, low construction efficiency, and poor connection between anti-seepage and crack prevention. This can easily lead to cracks, leaks, and other diseases in concrete structures, affecting the safe operation of the project. Based on the coupling mechanism between the temperature field and seepage field of large volume concrete, combined with material modification, construction process optimization, and monitoring and control technology, this article proposes an integrated technology system for temperature control, crack prevention, and construction anti-seepage. By optimizing the concrete mix ratio, innovating the layered pouring and insulation maintenance process, and constructing a collaborative monitoring system, the organic unity of "temperature control, crack resistance, and anti-seepage" is achieved, which improves the crack resistance and anti-seepage performance and service life of engineering structures.

**Keywords:** diversion engineering; large volume concrete; temperature control and crack prevention; construction anti-seepage; integrated technology

#### 引言

导流工程承担施工过程中的水流疏导任务,导流工程的施工质量对水利枢纽工程的施工进度、运行安全性与稳定性有着直接的影响,而混凝土的防抗裂能力以及防渗性能是影响导流结构可靠性的关键性指标。导流工程混凝土的结构大多数属于大面积的混凝土,在浇筑的过程中容易因水泥水化热引发温度应力,进而导致裂缝的出现。加之

结构长时间与水体接触,不仅加剧了渗漏问题,而且对工程的整体安全造成严重的威胁。目前在温控防裂以及施工防渗技术方面大多采用独立设计、分开设计的模式,这种设计模式不仅工序衔接复杂,防控效果相互制约,而且综合成本较高,难以满足现代工程对质量安全以及效益的综合要求。鉴于此,深入探讨导流工程大体积混凝土温控防裂与施工防渗一体化技术尤为关键。本文研究通过构建一

体化的技术体系,对关键施工流程以及控制参数进行明确,通过试验与数值模拟验证技术可行性,为工程实践提供科学依据。

## 1 导流工程大体积混凝土温控防裂与防渗核心机理

### 1.1 温控防裂机理

导流工程大体积混凝土产生裂缝的主要原因在于温度应力与混凝土的抗拉强度之间的不匹配,其发展过程与温度场演变存在一定的相关性。通常在混凝土完成浇筑工序后,水泥水化过程中会释放大量的热量,而混凝土自身的导热性能较差,无法快速散开,与表层混凝土形成明显的温度差,从而促使表面产生压力硬化,而当压力应大于混凝土的抗拉强度时,容易发生表面裂缝的情况。随着水化热持续释放并逐步消散,混凝土内部开始降温收缩,在外部的约束作用下会产生体积收缩应力,当超过混凝土的抗压强度时会产生贯通性裂缝。此外,混凝土的变形特性也会使裂缝扩大。温控防裂的关键思路除了要提高混凝土的抗拉强度与抗变形能力,而且需要控制温度梯度、降低最高温度、放缓降温速率,确保混凝土的拉力强度与温度应力处于相对平衡状态,以此有效控制裂缝的产生。

### 1.2 施工防渗机理

导流工程中大体积混凝土的防渗能力主要由防渗结构设计合理性、混凝土密实程度以及施工质量共同决定的。防渗的核心原理在于切断各类渗流通道,主要包括毛细孔隙、施工缝与结构裂缝三类。通过优化配合比、强化振捣密实度,从源头减少毛细孔隙,同时合理设置止水带等防渗构造,提高混凝土养护质量,可有效降低开裂风险、提升防渗效果。

### 1.3 温控防裂与防渗的耦合关系

导流工程大体积混凝土的温控防裂与防渗存在着相互作用、彼此制约的关系。温度裂缝会破坏混凝土的整体结构,降低其防渗能力,而渗漏的现象又会促使裂缝扩大、延伸。同时,防渗措施可以改变混凝土的内部温度场分布,而温控方案会对施工工艺以及防渗效果产生影响。两者之间的耦合效应主要体现为协同增效与相互制约两个层面,因此为了全面提高结构的综合耐久性能,需要同步实施“控温防裂”与“防渗止水”技术措施。

## 2 导流工程大体积混凝土温控防裂与施工防渗一体化技术体系构建

### 2.1 混凝土配合比优化(一体化基础)

混凝土的配合比对其抗裂性能以及防渗性能有着很大的影响,通过一体化的配合比优化,在满足结构强度要求的前提下,可以提高混凝土的抗渗能力与抗裂能力,且有助于降低水化热温升。在胶凝材料选择方面,建议优先选用低热矿渣硅酸盐水泥,掺入20%~30%粉煤灰、15%~25%矿渣粉及0.9~1.8kg/m<sup>3</sup>聚丙烯纤维,以降低水化热、增强抗裂防渗效果。在骨料的控制方面,细骨料选用中砂,含泥量不大于3%,细度模数控制在2.3~3.0;粗骨料采用5~31.5mm连续级配,针片状颗粒含量不大于5%,含泥量不大于1.0%,值得注意的是,若施工时间是在炎热的夏季,应该对骨料进行预冷处理,同时也要控制入仓的温度。为了实现抗裂与防渗的协同作用提高,在外加剂选用时掺入高效缓凝减水剂,减水率不低于25%,水胶比控制在0.45~0.55,同时掺入8%~12%膨胀剂。导流工程大体积混凝土优化配合比参数见表1。

### 2.2 分层浇筑与振捣工艺(一体化核心)

分层浇筑与振捣对混凝土的密实性,施工缝处理效果有着直接的影响,“一体化”施工工艺以分层科学、振捣密实、缝面协同处理为核心,充分围绕导流工程结构的断面特点采用斜面分层、薄层浇筑、连续推进的方式,分层厚度控制在300~500mm。层间间隔时间夏季为4~6h,冬季为6~8h,浇筑坡度控制在1:3~1:5,在浇筑过程中优先浇筑温度应力较大的部位。采用直径φ50~φ70mm的插入式振捣器,振捣插入深度为分层厚度的1.25倍,振捣点间距200~300mm,振捣时间20~30s,以混凝土表面泛浆、无气泡逸出为宜。层间结合部位进行二次振捣,时间10~15s。大体积混凝土的水平施工缝设置在平行于结构较小截面尺寸方向,以减少约束力,在保证大体积混凝土结构整体性的同时,减小混凝土温度裂缝的产生。在处理施工缝的过程中,上层混凝土浇筑之前应该对下层混凝土表面进行凿毛,清除表面浮浆、松动石子及软弱混凝土层,并在浇筑前充分润湿,以提高结构的整体性和耐久性。随后铺设20~30mm厚水泥砂浆结合层,在施工缝的中部设置橡胶,准确安装止水带,确保安装位置正确、牢固,施工缝位置避开温度应力集中区及主要渗流通道,以此形成双重防渗体系。

表1 导流工程大体积混凝土优化配合比参数表

水胶比	水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰掺量(%)	矿渣粉掺量(%)	聚丙烯纤维掺量 (kg/m <sup>3</sup> )	缓凝减水剂掺量 (%)	砂率(%)	抗渗等级	绝热温升(°C)
0.50	280	25	20	0.9	1.2	38	P12	45
0.48	290	22	22	1.2	1.3	39	P12	43
0.52	270	28	18	0.6	1.1	37	P10	48

### 2.3 保温养护与防渗施工协同（一体化关键）

适当的养护方式可以降低混凝土保护层的总孔隙率，从而降低渗透性。保温养护与防渗施工的协同作业其关键在于遵循“保温不损伤防渗、防渗助力保温”的原则，混凝土浇筑完成后，立即覆盖由土工布+泡沫板+塑料薄膜组成的复合保温层，按照季节合理调整保温层的厚度，夏季50~80mm，春秋季节80~100mm，冬季100~150mm。另外，在施工的过程中要对混凝土的降温速率进行严格的控制，通常为1~2℃/d，在养护方面，控制养护时长不少于28d，采用洒水或蓄水养护方式，外侧同步设置防护结构。混凝土初凝后，涂刷渗透结晶型防渗涂料，涂层厚度控制在0.8~1.2mm，施工人员还应在混凝土表面开始失去光泽但尚未初凝时（浇筑后1~2h）进行第一次抹面，在混凝土终凝前（浇筑后3~6h）进行第二次抹面，消除混凝土表面的泌水通道和毛细孔隙，减少水分蒸发导致的干缩裂缝，进而提高混凝土的表面质量及抗裂性能，涂刷完成后及时覆盖湿麻袋、塑料薄膜或洒水养护等措施。提前预埋灌浆管路，待混凝土强度达到设计值70%以上时，采用水泥浆进行灌浆处理，灌浆压力控制在0.3~0.5MPa。针对迎水面关键部位，在保温层外侧增设防水卷材，采用满粘法施工，搭接宽度不小于100mm。在施工缝区域增设密封胶，止水构造周边强化混凝土振捣，并加强保温养护措施，防止止水带周围出现裂缝。

### 2.4 协同监测与动态调控（一体化保障）

为确保温控防裂与施工防渗一体化技术达到预期效果，建立“温度-渗流-应力”协同监测体系，并实施闭环管控策略。温度监测采用热电偶传感器：内部测点设于构件中心，表面测点距混凝土表面50mm，环境测点布置在结构周边10m范围内。应力监测采用应变片，布设位置覆盖混凝土内部及表面，渗流量与渗透压力采用专用仪器，分别布置在迎水面与背水面，监测混凝土内部温度、表面温度、环境温度、渗流量、渗透压力及混凝土应力，为判断温控防渗效果提供参考依据，及时调整施工与养护措施，如渗流量超出设计值或渗透压力异常时，对防渗层进行检查、修补，必要时采取灌浆处理；降温速率大于2℃/d时，强化保温养护措施；温度应力超过混凝土抗拉强度时，采取二次振捣等措施防止开裂；内外温差超过25℃时，此时，施工人员通过有效的温度控制措施，增设保温层，使混凝土内外温差不超过控制标准25.0℃，以此确保了大体积混凝土浇筑施工的质量与结构耐久性。

## 3 一体化技术试验研究与数值模拟

### 3.1 试验研究

为验证导流工程大体积混凝土相关一体化技术可行性与有效性，开展室内与现场试验。试验采用优化后的混凝土配合比及多种材料，设置对照组。抗裂性能试验用平板法，一体化配合比试件裂缝萌生时间推迟50%，数量减少50%以上，宽度与长度显著减小；抗渗性能试验用逐级加压法，一体化配合比抗渗等级提高4级以上；温度场试验模拟现场工艺，一体化温控措施下各项指标均满足规范，能有效控制温度场，达到温控防裂效果。

### 3.2 数值模拟

基于MIDAS FEANX软件，按照导流工程混凝土结构实际尺寸，建立尺寸为20m×10m×5m的三维数值模型；分别采用不同单元类型对混凝土本体、界面接触关系及多物理场进行模拟，并施加相应边界约束条件。计算参数依据试验结果取值，包含混凝土、保温层、防渗层材料参数及水化热相关参数。数值模拟结果表明：采用一体化技术后，结构温度场分布更为均匀，温控效果良好；渗流场主要集中于迎水面，渗流量满足设计要求，防渗效率提升；应力场中，温度应力与收缩应力叠加后的组合应力仍低于混凝土抗拉强度，可有效防止裂缝产生，实现了温控防裂与防渗的协同控制。

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

本文构建了“材料优化+工艺协同+监测控制”的一体化技术体系，得出以下结论：

(1) 优化后的混凝土配合比能提高混凝土的密实度、抗裂性能与抗渗性能，优化后，可以有效提高混凝土抗渗等级，降低绝热温升与裂缝风险。

(2) 通过实施分层浇筑以及加强对振捣工艺的优化，结合施工缝的协同处理，能有效控制混凝土温度场分布，提高混凝土密实度，减少施工缝缝隙，兼顾温控防裂与施工防渗效果，提高施工质量。

(3) 保温养护与防渗施工的协同实施，实现了“保温不破坏防渗、防渗辅助保温”的目标，能有效控制混凝土降温速率，减少温度应力，同时阻断渗流通道，提升防渗效果，复合保温层与渗透结晶型防渗涂料的协同使用，提升工程的抗裂防渗性能。

(4) “温度-渗流-应力”协同监测系统与动态调控措施能够对混凝土结构的温度、压力变化，渗流等相关参数进行实时掌握，根据实际情况及时调整施工措施，确保一体化技术的实施效果，在一定程度上可以避免渗漏以及裂缝的产生。数值模拟与试验结果表明，一体化技术能更有

效的控制混凝土内外温差,降低渗流量降低,温度应力控制在混凝土抗拉强度范围内。

#### 4.2 展望

未来一体化技术的发展方向主要包括以下几个方面:

(1) 结合物联网、大数据等技术,实现监测数据的实时采集、分析与调控措施的自动执行,提高一体化技术的实施效率与精度。

(2) 研发新型低热、高抗裂、高防渗混凝土材料,提升混凝土的抗裂防渗性能。

(3) 探索新型分层浇筑、振捣与保温养护工艺,如3D打印浇筑、智能保温养护等,实现施工工艺的自动化与智能化,提升施工质量与效率,进一步强化温控防裂与防渗的协同效果。

(4) 深入开展温度场、渗流场的多场耦合理论研究,完善一体化技术的理论体系,为技术参数的优化提供更科学的依据,推动一体化技术在更多水利水电导流工程中应用。

#### [参考文献]

- [1]石稳.水利水电工程建筑施工技术与管理[J].建材与装饰,2019,0(26):291-292.
- [2]张勇,顾志永.透析建筑工程施工裂缝产生原因[J].建筑发展,2018,2(6):77-78.
- [3]高靖宇.市政路桥施工裂缝全过程防控技术体系研究[J].

中国建筑金属结构,2026,25(2):118-120.

[4]刘波.房建工程大体积混凝土浇筑施工裂缝控制技术研究[J].时代漫游,2022(9):28-30.

[5]王小军.水利水电工程大体积混凝土温控防裂技术研究[J].行车指南,2025(8):0022-0024.

[6]崔战友,陈勇.建筑工程混凝土施工裂缝控制技术研究[J].时代漫游,2022(8):94-96.

[7]韩洪超,郭保林,王凯,等.矿物掺合料和养护方式对混凝土保护层耐久性能的影响研究[J].混凝土,2026(1):16-23.

[8]宁飞.高层建筑大体积混凝土筏板基础裂缝控制策略研究[J].科学技术创新,2026(4):101-104.

[9]徐伟杰,朱虎勇.大体积混凝土施工阶段开裂风险评估及裂缝控制措施[J].交通世界,2025(25):149-152.

[10]王永萌.混凝土重力坝施工期温控防裂技术研究[J].中国地名,2026(1):175-177.

[11]狄国伟.超长混凝土结构温度应力分析与裂缝控制方法研究[J].张江科技评论,2025(4):62-64.

[12]王丽君,胡竹华.大体积混凝土温控措施在合肥水源工程中的应用[J].治淮,2024(11):41-43.

作者简介:肖硕(1988.2—),毕业院校:河北工程大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司,职务:职员,职称级别:高级工程师。