

# 水电站拦河水闸大体积混凝土施工温度控制措施

文 / 陈树萍 江西省水利水电建设集团有限公司

**摘要：**水电站作为一种重要基础设施，无论是在区域经济，能源供应还是环境保护等方面都产生了深远的影响。水电站施工期间，拦河水闸为保证水流调控及发电安全关键结构。随着大体积混凝土的发展，大体积混凝土在水电站工程中用于修建拦河水闸的工程日益增多，从而提高了结构强度及耐久性。由于混凝土水化热等原因，大体积混凝土浇筑时内部温度的变化有可能引起裂缝，影响工程质量和安全。文章旨在通过对水电站拦河水闸施工过程中大体积混凝土温度控制措施进行分析，对当前温度控制应用的技术和方法进行总结和讨论，特别注意了配合比选择，降温技术，温度监测系统 and 环境因素等因素。

**关键词：**水电站；拦河水闸；混凝土施工；温度控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.088

## 引言

水电站拦河水闸施工时，采用大体积混凝土是非常有意义的，但是因其浇筑时产生了大量水化热，造成结构内部温度过高，会诱发裂缝并影响长期安全和耐久性。所以温度控制是大体积混凝土建设的关键。

### 一、水电站拦河水闸的作用与重要性

水电站拦河水闸作为水电工程的关键部分，一般布置在水库上游地区，主要起控制水流，调节水位及确保水库正常蓄水和排泄等作用。它的作用包括对河水的阻隔或疏导，保证发电机组的平稳运行，还具有防洪和灌溉的多种功能。在水电站整体施工中，水闸既是水利调度核心设施又是避免水流超载和确保下游安全关键工程。水电站拦河水闸设计及施工质量的好坏直接关系到整个水电站运行的效率及安全性，所以其可靠性，耐久性及稳定性是非常重要的。尤其是采用大体积混凝土可以有效地加强水闸结构强度与防渗能力，但是在温度控制方面也存在挑战。施工期混凝土水化热释放将使其内部温度发生急剧变化并可能诱发裂缝，从而影响水闸安全及长期寿命。

### 二、大体积混凝土的特点

#### (一) 混凝土在硬化过程中温度变化的规律

水电站拦河水闸大体积混凝土性能显著，表现为其体积大，浇筑连续，强度与耐久性要求高等。在混凝土硬化的过程中，会发生水化反应，这会释放出大量的水

化热，从而使混凝土的内部温度迅速升高。该温度变化对混凝土强度发展，收缩及裂缝均有影响。一般情况下，浇筑大体积混凝土之初，混凝土内部温度因外部温度偏低而迅速升高，到达水化热释放高峰，从而造成温差很大。内部温度随硬化过程进行而逐渐降低并趋于平稳，但是这种温度变化有可能导致混凝土内应力集中现象，尤其是温度梯度大的地区易产生裂缝。为避免裂缝出现，必须对浇筑时温度变化进行严密监控，采取适当温控措施。通过调节混凝土配合比，采用低水化热水泥，施工期增加冷却管道或者采取冰块掺合可有效地控制温度变化。

#### (二) 温度变化对混凝土强度、收缩与裂缝的影响

温度变化对大型体积混凝土强度，收缩及裂缝形成有明显影响，特别在水电站拦河水闸等大型基础设施建设过程中表现得更加明显。大体积混凝土硬化时，水化反应引起的水化热使其内部温度剧烈升高，温度差异可使混凝土内温度应力变大，从而影响其强度的发展及形态。过高的温度会使混凝土中的水分蒸发过快，进而加剧收缩现象的发生，尤其是硬化初期的混凝土，如果温度过高则会使混凝土的表面和内部温度相差很大，将导致表面开裂，并可能最终影响整个结构完整性。由于温度逐渐下降，混凝土内部收缩及应力变化等因素都有可能诱发新裂缝出现，特别是施工期温控不当，裂缝扩展与积累将对水闸使用寿命及安全性造成严重影响。

表1 混凝土入仓温度控制标准

项目	基础温差	上下层温差	内外温差	入仓温度	浇筑温度
标准值	25℃	20℃	15℃	25℃	45℃
备注	上限值	上限值	上限值	夏季施工	

### 三、拦河水闸工程的特殊性

#### (一) 水闸施工环境与工程规模特点

水电站拦河水闸工程有着特殊的施工环境及工程规模特点，这主要表现在它所处的地理位置，施工难度大，

及工程质量要求高等方面。水闸一般分布在河流上游地区，其建设环境比较复杂，受到水位，流量以及气候等诸多因素影响。比如很多水电站拦河水闸施工都是在山区或者峡谷地带进行，这类区域交通不方便，施工资源

以及设备运输都异常艰难。另外，水闸施工需克服水文地质条件复杂，鉴于泥石流、洪水等自然灾害危险性大，对工程安全性要求极高。从规模上看，水电站拦河水闸工程一般都有大容积混凝土浇筑要求。如在一个大型水电站拦河水闸建设时混凝土浇筑量可达几十万立方米。由于施工期较长，工程量较大，水闸施工须在一个持续时段内平稳完成，而且往往涉及多个专业，多个工种协同工作，给施工管理带来了很大困难。

#### （二）混凝土浇筑的连续性与施工周期长

鉴于水闸的建设通常依赖于大量的混凝土浇筑，这类项目的施工周期通常较长，可能需要好几个月乃至几年的时间来完工。以某大型水电站项目为例，该项目中水闸的混凝土浇筑量高达数十万立方米，整个浇筑过程需要分阶段、连续地进行，以确保结构的完整性和稳定性。连续的混凝土浇筑需要施工期保持稳定的作业节奏才能避免施工期温度与应力分布不均，尤其是气候变化大的情况，一定要充分考虑到混凝土浇筑后早期温度的控制问题。在一个较长的施工周期中还要考虑材料的供应，施工人员的管理以及机械设备合理配置。为保证水闸的顺利建设，一般都要制定合理的施工计划与调度来保证连续浇筑时混凝土的均匀性，也要避免因施工时发生任何间断造成混凝土接缝，裂缝等各种质量问题。

#### 四、温控的技术要求

##### （一）如何有效控制水闸大体积混凝土的内部温度

由于大体积混凝土浇筑过程中会因为水化反应而放出大量的热，使其内部温度过高，易诱发裂缝而影响结构长期稳定，所以温度的控制非常重要。要对水闸大体积混凝土内部温度进行有效的控制，必须首先对混凝土配合比进行合理地选择，减少水泥水化热并采用矿粉、粉煤灰等低热水泥或者掺合材料，能有效降低水化反应时热量释放和混凝土温升。浇筑时的降温措施同样很关键，如向混凝土中加冰块或者利用冷却水循环系统等，利用冷却水在管内流动将多余热量带出，使混凝土温度下降。另外，温度监控系统应用不容忽视，现代工程一般都是将温度传感器设置于大体积混凝土内部，对混凝土温度变化情况进行实时监控，以保证施工期温度差异不会超出规定区间。通过温度预警系统可以及时发现温升异常并采取措施进行补救，以免温差过大导致开裂。最后还需要在施工期间对气温和湿度等环境因素进行考虑和采取相关应对策略如采用保温材料对混凝土表面进行覆盖，避免混凝土表面温度骤降，以免因温差过大而出现表面裂缝。

##### （二）温度控制对工程质量的影响分析

在大体积混凝土的建设过程中，水化热的释放会导致其内部温度迅速升高。如果温度控制措施不到位，过大的温差可能会导致裂缝的产生，这样不但会影响混凝土力学性能，而且可能会使混凝土耐久性下降。研究表明：不适当的温度控制会使混凝土表面与内部温度相差过大，产生热应力进而诱发收缩裂缝或者膨胀裂缝，既

影响结构整体稳定性又会使水渗透而减弱水闸防渗能力。以永新县袍陂水源改造项目为研究对象，如果在施工过程中没有实施有效的温度控制措施，混凝土的温度差异过大可能会引发裂缝，这些裂缝的宽度有可能达到毫米级别，显著降低了混凝土强度及抗压性，从而影响水闸承载能力及使用寿命。同时温控不当也会使得混凝土强度发展不均，造成混凝土抗拉强度与抗压强度下降，进而影响水闸整体抗震性能与安全。研究表明：当温度控制较好时，混凝土强度及耐久性均能满足设计要求，并能有效地避免裂缝出现，以确保水闸长期平稳运行。

#### 五、水电站拦河水闸大体积混凝土温度控制技术

##### （一）混凝土配合比与温控

混凝土中水泥种类及对比对混凝土水化热释放速率有直接影响，所以选择适当配合比可以有效地控制混凝土温度上升。一般情况下，使用低热水泥或者掺加矿粉和粉煤灰可明显降低水泥水化热以减小混凝土浇筑时内外温差。例如，当混凝土中粉煤灰的掺入量为30%时，其水化热可以比传统水泥降低20%-30%，这有助于显著减少因温度波动导致的裂纹风险。另外，适当调节水灰比以及细骨料、粗骨料配比可提高混凝土流动性、密实度、减小水分蒸发速度、进一步缩小混凝土温差。以某水电站工程为例，通过优化配合比使得混凝土初始温度峰值减小，温升过程更趋于平缓，从而成功地避免了过高温差导致的开裂。混凝土温控效果可在合理配合比情况下明显提高，并进一步确保混凝土强度发展，抗裂性能和长期耐久性。



图为水电站混凝土施工

## （二）温度监测与预警系统

由于大体积混凝土在浇筑时，其水化热释放将引起内部温度的剧烈波动，所以对混凝土内部和表面温度变化情况进行实时监测显得尤为重要。在混凝土浇筑过程中，温度监测系统通常会安装温度传感器，例如热电偶或光纤传感器，并将其安置在混凝土内部不同深度的位置，并且以无线或者有线的形式向监控系统传输数据。以一个具体的水电站项目为研究对象，施工过程中在大体积的混凝土内部安装了超过 100 个温度传感器，这些传感器能够实时捕获各监测点的温度信息，并对温度的变化模式和趋势进行监控。该预警系统通过实时分析温度变化趋势，可以及时发现温差过大和温升过快的异常现象，同时发出预警信号提示施工人员采取适当降温措施，例如，调节混凝土浇筑速度，加装冷却系统，控制施工环境温度。温度监测及预警系统的使用能够有效地避免温度控制失误所引起的开裂问题，保证混凝土强度及耐久性满足设计要求。在某些工程项目中，通过实施温度监控和预警系统，我们观察到温度控制异常的出现频率降低了超过 30%，这大大提升了工程的质量和安全性。例如，在某水电站的拦河水闸施工中，项目方采用了温度监测和预警系统，以确保混凝土温度得到有效控制。项目方在水闸的大体积混凝土浇筑区域内安装了多达 60 个温度传感器，分布在混凝土浇筑的不同深度和不同位置（如核心区、边缘区和表面区）。这些传感器通过无线网络实时传输温度数据到中央监控系统。在混凝土浇筑后的初期阶段，核心区温度迅速上升，最高温度达到了 50℃，而表面温度较低，约为 30℃，温差达到了 20℃。在温度达到预设的安全阈值时（如 50℃），系统自动发出预警，提醒施工人员采取降温措施。通过冷却管系统和定期浇水等方式，施工方成功将混凝土核心温度从最高的 50℃ 降低至 45℃ 以内，确保了温差控制在允许范围内。在整个混凝土浇筑过程中，系统不断监测并记录温度变化，最终使混凝土的温差控制在 18℃ 以内，避免了因温差过大引起的裂缝问题。这一温度监测和预警系统的应用，显著提高了混凝土浇筑的温控精度，减少了人为操作的误差，确保了水闸工程的质量和长期稳定性。通过科学的温控和实时数据反馈，温度监测系统成为水电站拦河水闸施工中不可或缺的技术保障。

## （三）施工阶段温度控制措施

混凝土浇筑前选用低水化热水泥为温控第一环节。以一个具体的水电站项目为研究对象，采用了低热水泥和粉煤灰的混合材料，成功地降低了大约 25% 的水化热，从而从根本上减缓了混凝土温度的上升。施工时可采用控制浇筑速度，分段浇筑等措施，以免一次浇筑过多，造成局部气温突然升高，加大裂缝风险。另外，很多工程都采用冷却管道系统来有效地降低混凝土内部温度。本实用新型采用混凝土浇筑时埋冷却管并循环冷水或者

冷却液冷却的方式，既降低混凝土内部的温度又使温度分布更加均匀。以某水电站大体积混凝土建设为例，利用冷却管系统，混凝土内最高温度成功控制在 65℃ 范围内，明显减小温差导致的开裂。控制环境因素也是如此，高温季节或者是气候比较炎热的区域，施工现场往往会采用覆盖的方式，即使用遮阳网和保温材料对混凝土进行表面覆盖，以减少水分蒸发，降低表面温度。

## （四）环境因素的影响与应对策略

高温天气特别易造成混凝土表面提前干燥和水分蒸发过快，进而加剧温度梯度和裂缝风险。比如夏季施工，当温度高于 35℃，混凝土表面温度就可能高达 50℃ 甚至更高，这将造成混凝土表面温度和内部温差过大，进而诱发温控不当而产生裂缝。在此背景下，施工团队普遍采取了一系列应对策略，以减少温度升高所带来的危害。高温天气浇筑的时间要适当地调整，尽量避免中午或者是气温最高的时候浇筑，一般都会选择凌晨或者是晚上气温比较高的时候。另外遮阳措施也是对付高温天气常用的方法，利用遮阳网和反射膜对混凝土表面进行遮挡，可以在减少水分蒸发的同时有效地遮挡阳光直射和降低表面温度。以某水电站工程为例，该工地采用 5000 平方米左右遮阳网进行施工，表面温度成功控制在 40℃ 以下，明显延缓混凝土温升。控制湿度也是至关重要。干燥环境下，混凝土水分易挥发，使表面提前收缩，故可采用喷水保湿或者采用特殊养护膜等措施来保持表面湿润，以免失水过快。另外，大风速环境还会加快水分蒸发速度，故可采取设置风障和临时围挡来降低风速对混凝土表面温湿度的影响。

## 结语

水电站拦河水闸大体积混凝土建设中温度控制非常关键。通过对混凝土配合比进行优化，冷却管系统的使用，浇筑方式的合理调整以及实时温度监测等措施，可有效地避免温差过大导致的开裂问题，保证混凝土强度及耐久性。同时对环境因素如遮阳，湿养护以及风速控制等进行管理也是控制温度的一种有效方法。这些技术措施的综合应用可以确保水闸工程施工质量及长期稳定性。

## 参考文献

- [1] 李玉欣. 土木工程中大体积混凝土结构施工技术运用[J]. 产品可靠性报告, 2024, (12): 141-143.
- [2] 刘晓远. 浅谈土木工程建筑中混凝土结构的施工技术[J]. 中国住宅设施, 2024, (11): 130-132.
- [3] 曾令情. 住宅建筑工程中大体积混凝土结构的施工技术[J]. 居舍, 2024, (29): 74-77.
- [4] 罗方鑫. 土木工程中大体积混凝土结构施工技术研究[J]. 中国水泥, 2024, (10): 94-96.
- [5] 杨国涛. 土木工程施工中混凝土浇筑施工技术应用[J]. 砖瓦, 2024, (09): 169-171.