

水利工程中混凝土裂缝控制技术

李立明

宁夏水利水电工程局有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 水利工程建设过程中, 混凝土裂缝问题一直是影响工程质量和安全的重要因素。随着水利工程的规模不断扩大和施工技术的不断提高, 混凝土裂缝控制技术的研究显得尤为重要。本文将从混凝土裂缝产生的原因、裂缝控制技术的分类及应用、裂缝预防与修复措施等方面, 对水利工程中混凝土裂缝控制技术进行深入研究。

关键词: 水利工程; 混凝土; 裂缝控制技术

引言

混凝土裂缝是水利工程建设中常见的质量问题, 不仅影响工程的美观性, 更可能降低工程的承载能力和耐久性, 甚至威胁到工程的安全运行。因此, 研究混凝土裂缝控制技术, 对于提高水利工程的质量和安全性具有重要意义。

1 水利工程中混凝土裂缝产生的原因

1.1 温度应力

在混凝土凝固过程中, 水泥水化反应会释放大量热能, 使得混凝土内部温度迅速上升。这种内部温度升高与外部环境温度之间的差异, 导致了温度梯度的形成。温度梯度进一步引发了温度应力, 特别是在混凝土的早期龄期, 其抗拉强度相对较低。一旦温度应力超出了混凝土的当前抗拉强度, 混凝土便会出现裂缝。此外, 昼夜温差、季节变化等环境因素也会导致温度应力的变化, 进而加剧裂缝的形成。

1.2 收缩变形

混凝土在凝固和硬化过程中, 伴随着水分的蒸发以及水泥水化反应, 会发生自身体积的收缩。这种收缩包括化学收缩、干燥收缩和自收缩等多种形式。如果混凝土的收缩受到周围结构或地基的约束, 就会在混凝土内部产生拉应力。当这些拉应力超过混凝土的抗拉强度时, 裂缝就会随之产生^[1]。此外, 混凝土中的水分蒸发速率、水泥的种类和用量、以及混凝土的配合比等因素, 都会影响收缩变形的大小和速率。

1.3 沉降变形

在水利工程中, 由于地质条件的复杂性和地基处理的不当, 混凝土在浇筑后可能面临不均匀沉降的问题。这种不均匀沉降会导致混凝土内部产生额外的拉应力, 特别是在沉降差异较大的区域。当这些拉应力超出混凝土的抗拉能力时, 裂缝就会形成。此外, 地基的软弱层、土壤的固结和沉降、以及地下水位的变化等因素,

都可能对混凝土的沉陷变形产生影响。

1.4 施工因素

施工过程中的多个环节都可能对混凝土裂缝的产生造成影响。例如, 浇筑速度过快可能导致混凝土内部的气孔和泌水现象加剧, 从而降低混凝土的密实性和强度; 振捣不均匀则可能导致混凝土内部的空隙分布不均, 使得部分区域的抗拉强度降低; 而养护不到位则可能导致混凝土在早期龄期时水分蒸发过快, 加剧了混凝土的干燥收缩和裂缝的形成。此外, 模板的支撑不稳固、拆模时间过早或过晚、以及施工缝的处理不当等因素, 也可能导致混凝土裂缝的产生。

2 水利工程中混凝土裂缝控制技术的分类及应用

2.1 温度控制措施

2.1.1 采用低水化热水泥

在水利工程混凝土施工中, 为有效控制温度应力导致的裂缝, 应优先选用低水化热水泥。具体而言, 矿渣水泥和粉煤灰水泥因其显著的低水化热特性成为理想选择。矿渣水泥中含有较高比例的矿渣成分, 其水化反应速度相对较慢, 能有效降低混凝土内部的温度峰值。粉煤灰水泥则通过粉煤灰中的硅酸盐矿物与水泥熟料中的氢氧化钙反应, 形成额外的水化产物, 这一过程同样能减缓水化热释放, 从而降低混凝土温升。选择这类水泥时, 需确保其符合工程对强度和耐久性的要求。

2.1.2 优化配合比设计

优化混凝土配合比设计是减少水化热、提高抗裂性能的关键。具体措施包括: 一是水灰比调整: 在保证混凝土工作性能的前提下, 尽量降低水灰比, 减少自由水含量, 以降低孔隙率和干缩率^[2]。二是砂率与骨料级配: 通过试验确定最佳砂率和骨料级配, 确保混凝土具有良好的密实性和流动性, 同时减少水泥用量, 直接降低水化热。三是矿物掺合料应用: 适量添加粉煤灰、硅灰等矿物掺合料, 它们不仅能与水泥水化产物反应, 消耗氢

氧化钙，降低水化热，还能细化混凝土孔结构，提高耐久性。

2.1.3 冷却措施

针对大体积混凝土或高温环境下的施工，应采取积极的冷却措施：（1）预埋冷却水管：在混凝土浇筑前，根据设计要求预埋冷却水管，通过循环水系统带走混凝土内部热量，特别是在浇筑初期和高峰期，需加强冷却水的循环。（2）表面冷却：在混凝土表面铺设塑料薄膜或湿布，减少太阳直射和空气对流带来的热量输入，同时可定期喷洒冷水或使用冰块直接降温。（3）分层浇筑与间歇期：对于大体积混凝土，采用分层浇筑方法，并在每层浇筑后设置适当的间歇期，让混凝土有时间散热，避免内部温度过高。

2.2 干燥收缩控制措施

2.2.1 添加膨胀剂

为有效补偿混凝土在硬化过程中的干燥收缩，可在混凝土拌合物中加入特定比例的膨胀剂。膨胀剂的作用机理在于，它能与混凝土中的水泥水化产物发生反应，生成具有膨胀性的物质，从而在混凝土内部产生微膨胀力。这种微膨胀力能够抵消或减缓因水分蒸发而产生的收缩应力，显著降低混凝土的开裂风险。选择膨胀剂时，需考虑其与混凝土原材料的兼容性、膨胀效果的稳定性以及对混凝土力学性能的影响，确保在不影响混凝土强度和耐久性的前提下，实现最佳的干燥收缩补偿效果。

2.2.2 加强养护管理

混凝土浇筑完成后，养护管理是控制干燥收缩的关键环节。应采取以下具体措施：（1）覆盖保湿：立即使用塑料薄膜、湿布或专用养护布覆盖混凝土表面，形成保湿层，有效减少水分蒸发，维持混凝土内部的湿润状态。（2）定期洒水养护：根据环境温度、湿度及混凝土的具体情况，制定合理的洒水养护计划。在混凝土初凝后开始洒水，保持混凝土表面持续湿润，但避免过度浸泡导致混凝土强度降低。（3）养护时间：通常，混凝土养护时间应不少于7天，对于大体积混凝土或环境条件恶劣的情况，需适当延长养护时间，直至混凝土完全稳定。（4）温度控制：在养护期间，还应注意控制混凝土与环境的温差，避免急剧的温度变化引起额外的应力，特别是在寒冷季节，应采取保温措施防止混凝土受冻。

2.3 地基处理措施

2.3.1 地基加固

针对软弱地基，需采取有效加固措施以提升其承载能力和稳定性，从而减小地基不均匀沉降对混凝土结构的影响。具体措施包括：根据地基条件和工程要求，选

用预制桩或灌注桩等桩基形式，将荷载传递至较深的坚硬土层，以增强地基的承载能力。桩基的设计需考虑桩的类型、布置方式、桩长及桩径等因素，确保满足工程对承载力和变形控制的要求。对于浅层软弱地基，可采用换填法进行处理。即挖除地基表层的软弱土层，换填为压缩性较低、承载力较高的材料，如砂石、碎石或灰土等。换填层的厚度和压实度需根据工程要求进行严格控制，以确保换填后的地基具有足够的稳定性和承载力。

2.3.2 设置变形缝

在混凝土结构中合理设置变形缝，是适应地基不均匀沉降和温度应力引起变形、防止裂缝产生的有效手段。变形缝的设置应遵循以下原则：变形缝应设置在结构受力较小、变形较大的部位，如建筑物的转角处、长度较大的中间部位或地基条件差异显著的区域。变形缝的宽度需根据地基沉降量、温度应力及结构材料的膨胀系数等因素综合考虑，确保缝宽能够满足结构变形的需求，同时避免过宽导致结构稳定性问题^[1]。变形缝处需采取特殊的构造措施，如设置止水带、填缝材料等，以防止水分渗透和杂物进入，同时保持缝的灵活性，确保结构在变形过程中能够自由移动而不产生过大的应力集中。

2.4 施工质量控制措施

2.4.1 严格控制配合比

在施工前，对所有原材料进行严格的质量检验，包括水泥、骨料、矿物掺合料及外加剂等，确保其符合相关标准和设计要求。采用高精度的计量设备，严格按照设计配合比进行各种原材料的准确称量，确保每一批混凝土的材料组成稳定且符合设计要求。结合工程实际情况，通过试验对配合比进行优化，调整水灰比、砂率、骨料级配等参数，以获得良好的工作性能、力学性能和抗裂性能。在混凝土生产过程中，实时监测混凝土的性能指标，如坍落度、含气量等，及时调整配合比，确保混凝土质量稳定。

2.4.2 加强振捣和养护

在混凝土浇筑过程中，使用合适的振捣设备，确保混凝土在模板内充分振捣，以消除内部空隙，提高混凝土的密实度和均匀性。振捣应均匀、适度，避免过振或漏振。对于大体积混凝土，采用分层浇筑的方法，每层浇筑厚度应控制在一定范围内，以确保振捣效果并减少温度应力。混凝土浇筑完成后，立即进行养护工作。采用覆盖保湿、定期洒水等方法，保持混凝土表面湿润，减少水分蒸发，促进混凝土的水化反应，提高强度和抗裂性能。养护时间应根据混凝土类型和环境条件确定。在养护期间，注意控制混凝土与环境的温差，避免急剧

的温度变化引起额外的应力。

3 水利工程中混凝土裂缝的修复措施

3.1 表面修补法

针对宽度较小（通常小于0.3毫米）、深度较浅且对结构整体性能影响不大的裂缝，表面修补法是一种经济有效的修复方法。具体实施时，可采取以下步骤：首先，对裂缝表面进行彻底清理，去除松散的混凝土碎块、尘土和其他杂质，确保修补材料能够牢固地粘附在裂缝表面。根据裂缝的具体情况和工程要求，选择合适的修补材料。常用的材料包括高性能水泥浆、环氧树脂、聚合物水泥砂浆等。这些材料应具有良好的粘结性、耐久性和抗渗性。将选定的修补材料均匀地涂抹在裂缝表面，或采用喷涂方式进行施工^[4]。涂抹或喷涂时，应确保材料充分覆盖裂缝，并形成一定的厚度，以达到封闭裂缝、防止水分和有害物质侵入的目的。修补完成后，对修补区域进行适当的养护，如洒水保湿、覆盖保护等，以确保修补材料能够充分硬化和固化，提高修补效果。

3.2 灌浆法

对于宽度较大（通常大于0.3毫米）、深度较深且对结构整体性能有较大影响的裂缝，灌浆法是一种更为有效的修复方法。其具体操作步骤如下：首先，对裂缝进行详细检测，包括裂缝的宽度、深度、走向以及是否贯通等，以评估裂缝的严重程度和对结构的影响。根据裂缝的特点和工程要求，选择合适的灌浆材料。常用的灌浆材料包括环氧树脂、聚氨酯、水泥基灌浆材料等。这些材料应具有良好的流动性、渗透性、粘结性和强度。

灌浆设备准备：根据灌浆材料的特性和工程量，选择合适的灌浆设备，如灌浆泵、注浆管、压力表等。将灌浆材料通过注浆管注入裂缝内部，利用灌浆泵产生的压力将材料渗透到裂缝的各个角落。灌浆过程中，应控制灌浆压力和流量，确保灌浆材料能够充分填充裂缝并排出多余的水分和气体。灌浆完成后，等待灌浆材料固化。固化时间根据材料的类型和环境温度而定。固化期间，应避免对灌浆区域进行扰动或施加额外的荷载。固

化完成后，对灌浆区域进行适当的养护，以确保灌浆材料的性能和耐久性。

3.3 结构加固法

一是预应力加固：预应力加固是通过在混凝土构件中施加预应力，使构件产生一定的压应力，从而抵消部分或全部由外荷载引起的拉应力，达到提高构件承载能力和抗裂性能的目的。二是粘贴钢板加固：粘贴钢板加固是将钢板粘贴在混凝土构件的受拉区域，利用钢板的抗拉强度来增强构件的承载能力。这种方法施工简单、效果显著，适用于各种类型和形状的混凝土构件。三是增设支点加固：增设支点加固是通过在混凝土构件上增加额外的支点来分散荷载，从而降低每个支点的受力，达到提高构件承载能力的目的。这种方法适用于跨度较大、承载力不足的梁、板等构件。四是喷射混凝土补强：喷射混凝土补强是将混凝土通过喷射机械高速喷射到混凝土构件表面，形成一层密实、坚硬的混凝土层，从而提高构件的承载能力和耐久性。这种方法施工速度快、适用范围广，特别适用于大面积混凝土裂缝的修复。

结语

水利工程中混凝土裂缝控制技术的研究和应用对于提高工程质量和安全具有重要意义。通过温度控制、干燥收缩控制、地基处理、施工质量控制等措施的综合运用，可以有效预防和控制混凝土裂缝的产生。同时，对于已经产生的裂缝，应及时采取有效的修复措施，确保水利工程的安全运行。未来，随着新材料、新技术的不断涌现，混凝土裂缝控制技术将不断得到完善和发展。

参考文献

- [1]陈国林,周宜.水利工程施工中混凝土裂缝控制措施探讨[J].治淮,2024,(04):53-54.
- [2]周秋露.水利工程施工中混凝土裂缝控制策略探讨[J].工程技术研究,2024,9(01):103-105.
- [3]韩冬玥.水利工程混凝土浇筑施工裂缝控制技术分析[J].水上安全,2023,(07):179-181.
- [4]张霄龙.水利工程混凝土结构施工裂缝控制技术[J].水利科学与寒区工程,2023,6(03):145-148.