

水利工程混凝土裂缝分析与防治措施应用

涂世磊

中国水利水电第十六工程局有限公司 福建 福州 350000

摘要：水利工程中大坝混凝土裂缝问题一直是工程质量和安全的重要关注点。本文深入分析了水利工程混凝土裂缝的分类、成因，并提出了相应的防治措施和处理技术。通过优化混凝土设计配合比、加强施工质量控制、采取针对性防治措施以及应用先进的裂缝处理技术，可以有效减少和控制混凝土裂缝的产生，确保水利工程的安全稳定运行。

关键词：水利工程；混凝土裂缝；成因分析；防治措施；处理技术

引言：混凝土裂缝是水利工程中常见的质量问题，它不仅影响工程的外观和耐久性，还可能对结构的安全性和稳定性构成威胁。对混凝土裂缝进行深入分析，并采取有效的防治措施，对于保障水利工程的质量和安全性具有重要意义。

1 水利工程混凝土裂缝的分类与成因

1.1 大坝裂缝分类标准

根据《水工混凝土建筑物缺陷检测和评估技术规范》(DL/T 5251-2010)，大坝混凝土裂缝根据缝宽和缝深进行分类，分类标准见下表1.1。当缝宽和缝深未同时符合表中指标时，应按照靠近、从严的原则进行归类。

表1.1 大坝混凝土裂缝分类标准

	裂缝类型	特性	分类标准	
			缝宽	缝深
大坝大体积混凝土	A类裂缝	龟裂或细微裂缝	$\delta < 0.2\text{mm}$	$h \leq 300\text{mm}$
	B类裂缝	表面或浅层裂缝	$0.2\text{mm} \leq \delta < 0.3\text{mm}$	$300\text{mm} < h \leq 1000\text{mm}$
	C类裂缝	深层裂缝	$0.3\text{mm} \leq \delta < 0.5\text{mm}$	$1000\text{mm} < h \leq 5000\text{mm}$
	D类裂缝	贯穿性裂缝	$\delta \geq 0.5\text{mm}$	$h > 5000\text{mm}$
大坝钢筋混凝土	A类裂缝	龟裂或细微裂缝	$\delta < 0.2\text{mm}$	$h \leq 300\text{mm}$
	B类裂缝	表面或浅层裂缝	$0.2\text{mm} \leq \delta < 0.3\text{mm}$	$300\text{mm} < h \leq 1000\text{mm}$ ， 且不超过结构宽度的1/4
	C类裂缝	深层裂缝	$0.3\text{mm} \leq \delta < 0.4\text{mm}$	$1000\text{mm} \leq h < 2000\text{mm}$ ， 或大于结构厚度的1/4
	D类裂缝	贯穿性裂缝	$\delta \geq 0.4\text{mm}$	$h \geq 2000\text{mm}$ ，或大于2/3 结构厚度

1.2 裂缝的成因分析

(1)混凝土材料因素：混凝土材料因素是导致裂缝产生的重要原因之一。水泥的品种、骨料的性质、水灰比的大小以及添加剂的种类和用量等都会影响混凝土的物理力学性能。例如，使用发热量较大的水泥、骨料级配不合理、水灰比过大或添加剂使用不当等都可能使混凝土在硬化过程中产生裂缝。(2)施工过程因素：施工过程因素也是导致裂缝产生的重要原因。浇筑过程中的振捣不充分、浇筑速度过快或过慢、浇筑温度过高等都可能使混凝土内部产生应力，进而引发裂缝。养护过程中的温度控制、湿度控制以及养护时间等也会影响混凝土的硬化过程，从而影响裂缝的产生。(3)外部环境因

素：外部环境因素同样对裂缝的产生具有重要影响。温度、湿度和光照等环境因素的变化都会导致混凝土内部应力的变化，进而引发裂缝。例如，在高温下浇筑的混凝土由于内部温度过高，容易产生温度裂缝；在湿度过低的环境下养护的混凝土由于水分蒸发过快，容易产生干缩裂缝。(4)设计因素：设计因素也是导致裂缝产生的原因之一。结构约束度过大、配筋率不合理等设计问题都可能导致混凝土在受力过程中产生过大的应力，进而引发裂缝。

2 水利工程混凝土裂缝的防治措施

2.1 优化混凝土设计配合比

(1)控制原材料质量：原材料的质量直接影响混凝土

土的物理力学性能。在采购原材料时,应严格把关,确保水泥、骨料、掺合料等的质量符合国家标准和设计要求。特别是水泥,应选择发热量低、水化热小的品种,以减少混凝土硬化过程中的温度应力。(2)减少水泥用量,添加粉煤灰等掺合料:在保证混凝土强度满足设计要求的前提下,适当减少水泥用量,可以降低混凝土的水化热,减少温度裂缝的产生。添加粉煤灰等掺合料,可以改善混凝土的微观结构,提高混凝土的抗裂性能。粉煤灰的加入还能减少混凝土的用水量,降低混凝土的干缩性,从而减少干缩裂缝的产生。(3)调整水灰比,提高混凝土的和易性:水灰比是影响混凝土性能的关键因素之一。合理调整水灰比,可以使混凝土具有更好的和易性,便于施工操作。适当降低水灰比,可以提高混凝土的密实性,减少孔隙率,从而提高混凝土的抗渗性和耐久性。但需要注意的是,水灰比过低会导致混凝土过于粘稠,不利于施工,应根据实际情况进行合理调整。

2.2 大坝裂缝调查及检测

裂缝调查及检测可分为一般检查和专项检测两种:

(1)一般检查主要为裂缝的表观情况,包括:缝宽(表面缝宽)、缝长、所在部位、高程、数量、缝面是否渗水、溶出物等。一般检查以人工目测现场普查为主,所用工具有米尺、读数放大镜、塞尺等。对细裂缝可用先洒水,再用风吹干或晒干再检查。对高部位的裂缝可用高倍望远镜普查,必要时再搭架人工靠近检查。

(2)专项检测项目为混凝土裂缝性状,主要为裂缝方向、所在部位、高程、缝深检查。

裂缝方向、所在部位、高程检测主要以测量仪器为主。

缝深检查主要用以下方法进行:

1)沿缝凿槽,适合于表面浅层裂缝,凿至目测不到缝为止。凿槽深度等于裂缝深度;

2)钻孔压水法;沿裂缝两侧打斜孔穿过缝面(过缝 $\geq 0.5\text{m}$),然后在孔口安装压水设备(压水管、手摇泵)和阻塞器,进行压水。若压水缝表面出水,说明钻孔过缝且缝深大于钻孔穿过缝的垂直深度,这样再打少量斜孔检查,直至表面无水冒出。此时斜孔与缝的交点至混凝土表面的垂直距离即为裂缝深度。

具体施工方法如下:

① 钻孔设备采用手风钻,孔径为:40mm。

② 在裂缝两侧同一平面上(同一排孔)打一浅孔和一深孔,钻孔钻进倾角为 60° ,钻孔与缝面交会后继续延伸 0.5m ,作为安全加长,钻孔具体布置见图1:

③ 首个孔位置根据现场裂缝走向由现场监理工程师

会同施工单位共同确定,需要增加孔数时,孔距为 3m 。

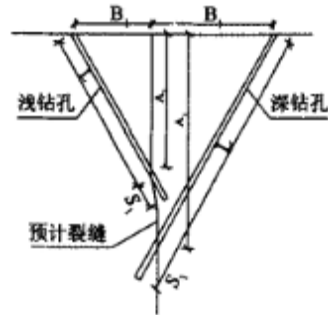


图1 钻孔布置图

④ 钻孔深度计算

假设裂缝深度为 A_1 ,根据直角三角形求得:

$$A_1 = \text{tg}60^\circ B_1 \quad \text{即} B_1 = A_1 / \text{tg}60^\circ$$

$$L_1 = B / \cos 60^\circ + S_1 \quad (\text{安全加长})$$

假设检查裂缝深度预计为 1m

$$\text{则} B_1 = 1 / \sqrt{3} = 0.58\text{m}$$

$$L_1 = 0.58 / 0.5 + 0.5 = 1.66\text{m}$$

即如预计裂缝深度为 1m ,钻孔位置距裂缝 0.58 ,进钻孔按倾斜度 60° 钻进,钻孔长 1.66m 。

2.3 温度裂缝的防治措施

(1)选择发热量较少的水泥:发热量较少的水泥可以降低混凝土的水化热,从而减少温度裂缝的产生。在选购水泥时,应优先选择发热量低、水化热小的水泥品种。(2)控制混凝土的入仓温度:混凝土的入仓温度对其内部温度分布和温度应力有重要影响。在浇筑混凝土前,应测量并控制混凝土的入仓温度,避免在高温时段浇筑混凝土^[2]。还可以通过设置遮阳棚、喷洒冷水等措施来降低混凝土的入仓温度。(3)加快混凝土散热:在混凝土浇筑完成后,可以采取加快散热的措施来降低混凝土内部的温度。例如,可以设置冷却管道,通过循环水冷却来降低混凝土的温度。还可以采用埋设散热片等措施来加速混凝土的散热过程。

2.4 干缩裂缝的防治措施

(1)选择干缩值较小且强度较好的水泥:干缩值较小且强度较好的水泥可以降低混凝土的干缩率,从而减少干缩裂缝的产生。在选购水泥时,应优先选择干缩值小、强度高的水泥品种。(2)严格控制混凝土调制质量:混凝土的调制质量直接影响其性能。在调制混凝土时,应严格按照说明书进行配比,确保各种原材料的用量准确、搅拌均匀。还应注意控制混凝土的坍落度和含气量等指标,以满足设计要求。(3)控制浇灌质量:浇灌质量的好坏直接影响混凝土的密实度和均匀性。在浇灌混凝土时,应确保浇灌速度均匀、振捣密实。还应保持模板的适宜湿度,避免模板过

于干燥或过于湿润而导致混凝土产生干缩裂缝。

2.5 其他裂缝的防治措施

除了温度裂缝和干缩裂缝外，水利工程中还可能出現其他类型的裂缝，如施工缝、钢筋配置不当引起的裂缝等。为了预防这些裂缝的产生，可以采取以下措施：加强施工过程中的管理，确保各道工序的施工质量和顺序符合设计要求；合理配置钢筋，避免钢筋配置不当引起的裂缝；加强混凝土结构的耐久性设计，如采用防腐涂料、防水层等措施来延长混凝土结构的使用寿命；防止碱-骨料反应等化学腐蚀引起的裂缝，选择不含活性成分的骨料，或在混凝土中掺加抑制剂等措施来降低碱-骨料反应的风险。

3 水利工程混凝土裂缝的处理技术

3.1 裂缝表面处理

(1)水泥砂浆粘补与涂抹：对于宽度较小、深度较浅的裂缝，可以采用水泥砂浆进行粘补和涂抹。需要清理裂缝表面的杂物和污垢，确保裂缝干燥、清洁。然后，将水泥砂浆按照一定比例调配均匀，并涂抹在裂缝表面。涂抹时，应确保水泥砂浆与混凝土表面紧密结合，避免出现空鼓或脱落现象。对涂抹的水泥砂浆进行养护，确保其充分硬化，形成有效的裂缝封闭层。(2)环氧树脂嵌补：对于宽度较大、深度较深的裂缝，或者需要更高强度裂缝修复的情况，可以采用环氧树脂等高分子材料进行嵌补。环氧树脂具有优异的粘结性能和力学性能，能够在裂缝中形成坚固的封闭层。嵌补前，同样需要清理裂缝表面的杂物和污垢，并确保裂缝干燥。将环氧树脂按照一定比例调配均匀，并注入裂缝中。注入时，应控制注浆压力和注浆速度，确保环氧树脂能够充分渗透并填充裂缝。对嵌补的环氧树脂进行固化处理，使其形成坚固的封闭层。固化过程中，应注意控制温度和湿度，避免环氧树脂因环境因素导致固化不良或开裂。

3.2 化学灌浆法施工工艺

(1)新型化学灌浆材料的选择：在化学灌浆法施工工艺中，选择适合的灌浆材料至关重要。随着材料科学的发展，环氧树脂、聚氨酯等新型化学灌浆材料因其优异的粘结性能、渗透性能和力学性能而逐渐被广泛应用。这些材料能够在裂缝中形成紧密的封闭层，与传统的水泥灌浆材料相比，展现出更高的强度和更好的耐久性，能够更出色地适应各种复杂的环境条件。(2)注浆技术的应用：注浆技术是化学灌浆法施工工艺的核心环节。注浆过程需借助专业的注浆设备和注浆管，将灌浆材料精确注入裂缝内部。在此过程中，需严格控制注浆压力和注浆速度，以确保灌浆材料能够充分渗透并均匀填充裂缝。还需对注浆过程进行实时监测，以评估灌浆效果和

确保施工质量。注浆完成后，应及时封堵注浆口，防止灌浆材料外泄。在实际操作中，注浆技术的选择应根据裂缝的宽度、深度、位置和工程的具体要求来确定。对于宽度较小、深度较浅的裂缝，可采用低压注浆技术；而对于宽度较大、深度较深的裂缝，则需采用高压注浆技术以确保灌浆效果。灌浆材料的选择也应根据裂缝的特点和工程要求来确定。例如，对于需要高强度修复的裂缝，可选择环氧树脂等高分子材料；对于需要快速固化的裂缝，则可选择聚氨酯等快速固化材料。

3.3 碳纤维补强加固技术

(1)碳纤维增强复合材料片材的应用：碳纤维增强复合材料片材具有高强度、高模量、轻质、耐腐蚀等优异性能。在裂缝修复中，可以将碳纤维片材粘贴在裂缝部位，通过碳纤维片材的拉力来抵消裂缝处的应力集中，从而增强混凝土结构的承载能力。碳纤维片材还能够提高混凝土结构的耐久性，防止裂缝进一步扩大和恶化。(2)碳纤维补强加固的施工步骤：碳纤维补强加固的施工步骤包括裂缝表面处理、底胶涂刷、碳纤维片材裁剪与粘贴以及固化处理等。需要对裂缝表面进行清理和处理，确保裂缝干燥、清洁。在裂缝表面涂刷底胶，以提高碳纤维片材与混凝土表面的粘结力。根据裂缝的宽度和长度，裁剪合适的碳纤维片材，并将其粘贴在裂缝部位。在粘贴过程中，应控制粘贴压力和粘贴温度，确保碳纤维片材与混凝土表面紧密结合。对粘贴的碳纤维片材进行固化处理，使其形成坚固的补强层。固化过程中，应注意控制温度和湿度，避免碳纤维片材因环境因素导致固化不良或开裂。(3)碳纤维补强加固技术的优势：与传统的裂缝修复方法相比，碳纤维补强加固技术具有施工简便、工期短、对原结构影响小等优势。碳纤维片材还具有轻质、耐腐蚀等性能，能够适应各种复杂环境和工况。

结束语：水利工程混凝土裂缝问题不容忽视。通过深入分析裂缝的分类和成因，并采取有效的防治措施和处理技术，可以显著减少和控制混凝土裂缝的产生。这不仅能够提高水利工程的外观质量和耐久性，还能确保工程的安全性和稳定性，为水利事业的可持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1]李应龙.水利工程混凝土浇筑施工裂缝控制研究[J].大众标准化,2022(17):88-89+92.
- [2]仝正芳.水利工程施工中混凝土裂缝的成因及有效防治措施[J].工程技术研究,2021,6(23):130-132+152.
- [3]赵健.水利工程施工混凝土产生裂缝成因及防治措施[J].河南水利与南水北调,2020,49(06):92-93.