

水利工程施工中混凝土裂缝控制措施探讨

王鑫波

万载县水利局

摘要：水利工程建设规模不断扩大，混凝土工程施工质量成为关注重点。混凝土裂缝不仅影响工程安全，还会导致漏水等问题，加剧维护难度。本文以混凝土裂缝成因及控制措施为切入点，分析了温度、湿度、荷载及材料等因素导致裂缝的机理，提出了相应的控制和处理技术，旨在为提高水利工程混凝土施工质量提供技术参考。

关键词：水利工程；混凝土裂缝；裂缝成因；裂缝控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.23.071

随着水利工程的不断推进，混凝土结构在诸多水利工程中发挥着不可或缺的作用。但混凝土极易产生裂缝，一旦出现裂缝，不仅会影响结构的耐久性和安全性，还可能导致渗漏、腐蚀等一系列问题。因此，有效控制和处理混凝土裂缝，对于确保水利工程的质量和运营至关重要。

一、水利工程施工中混凝土裂缝的成因分析

（一）温度变化引起的裂缝

温度变化是导致水利工程施工中混凝土裂缝产生的重要原因之一。混凝土在凝结过程中会释放大量的水化热，内部温度迅速升高，而外部温度则相对较低，这种温度梯度会引起混凝土内外部发生不均匀收缩，从而在混凝土内部产生拉应力，一旦拉应力超过混凝土的抗拉强度，就会导致裂缝的形成。此外，混凝土在凝结后，其体积也会随着温度的变化而发生相应的变化，温度升高会引起混凝土膨胀，温度降低则会使混凝土收缩，当混凝土的收缩被约束时，也会产生拉应力，进而引发裂缝。温度开裂主要分为塑性收缩裂缝和干燥收缩裂缝两种类型。塑性收缩裂缝是指混凝土在凝固过程中，由于水化热的逐渐积聚，内外温差加大，内部拉应力增大而在表面形成的裂缝。干燥收缩裂缝则是由于混凝土内外部存在湿度梯度，外部混凝土先行干燥收缩而内部混凝土仍处于相对潮湿状态，从而产生拉应力而形成的裂缝^[1]。

（二）湿度变化引起的裂缝

混凝土内部的湿度变化主要是由于混凝土自身的水分蒸发引起的。在浇筑初期，混凝土呈饱和状态，内部湿度很高。随着时间的推移，混凝土表面开始发

生水分蒸发，使得内部湿度逐渐降低。由于混凝土的收缩系数与湿度密切相关，内外部湿度差异将导致混凝土收缩量不均匀，从而在其内部产生拉应力，进而引发裂缝。湿度变化引起裂缝的另一个主要原因是混凝土与周围环境湿度的差异。水利工程施工环境复杂多变，环境湿度存在较大波动，而混凝土本身也会随温度和湿度的变化而吸收或释放水分，导致混凝土内外部湿度差异加大。当混凝土表面湿度较低时，外层将先行收缩，而内部仍保持相对较高的湿度状态，从而在混凝土内部形成拉应力，诱发裂缝的产生。反之，当环境湿度较高时，混凝土外层会吸收水分膨胀，而内部仍保持相对较低的湿度，两者之间的差异同样会引发内应力，进而导致裂缝。

（三）荷载引起的裂缝

荷载是导致水利工程混凝土结构产生裂缝的一个重要原因。根据荷载的不同性质，可将其分为静荷载和动荷载两大类。静荷载主要包括混凝土自重荷载、承重构件荷载、上部荷载等。这些荷载虽然作用持续时间较长，但变化较小，容易预测和控制。但如果静荷载超过混凝土结构的承载极限，就会导致开裂。根据弯曲正应力公式：

$$\sigma = M/W$$

其中 σ 为正应力， M 为弯矩， W 为抗弯模量。当 σ 超过混凝土抗拉极限强度 f_t 时，混凝土将产生裂缝。动荷载则具有冲击性和不可预测性，主要来源包括水流冲击力、地震作用、风荷载等。这些动荷载可能瞬间引起结构内部应力骤增，从而导致开裂。根据动力响应计算公式：

$$F = m \cdot a$$

其中 F 为作用力， m 为质量， a 为加速度。当 F 超过结构抵抗极限时，也会引发裂缝。

（四）材料因素引起的裂缝

混凝土作为一种人工合成材料，其原材料的质量、配合比及掺和料的选择都会直接影响混凝土的性能，从而引发开裂等问题。原材料质量是关键。水泥、砂石、外加剂等物料如果质量不合格，就无法保证混凝土达到设计要求的强度、耐久性等性能指标。例如，水泥的含钙硅质过高，会导致水化热升高，增大温度裂缝风险；

砂石中若含有有机杂质,会影响界面黏结,降低混凝土的整体性能。混凝土的配合比设计也事关重大。水灰比、砂率、掺合料用量等因素如果不合理,都可能引发混凝土干缩、塑性沉降裂缝等问题。功能性外加剂的种类和用量也需要严格把控。若选择不当,不仅无法发挥预期作用,反而可能加剧混凝土开裂,如减水剂过量会延长凝结时间,空气剂过量会增大混凝土干缩量^[2]。

二、水利工程施工中混凝土裂缝控制措施

(一) 温度裂缝的控制

温度裂缝的产生主要源于混凝土内外部温度差异引起的收缩不均匀,因此控制温度裂缝的基本原理就是减小温度梯度,尽可能使混凝土整体保持均匀温度。具体可采取以下措施:一是,合理控制混凝土的最大温升。通过选用低热水泥、适当掺加粉煤灰等矿物掺合料、降低水灰比、添加缓凝剂等方式,可有效降低水化热的释放量,降低混凝土内部最高温度。其次,采取有效的降温措施,如安装冷却管路、使用液氮等,可直接对混凝土进行强制冷却,从而控制温度升高。此外,对于大体积混凝土浇筑,可采用分层浇筑、分期浇筑等施工方式,避免一次性浇筑过多混凝土而导致温升过高。二是,增强混凝土的抗裂能力。一方面可通过外加钢筋、钢纤维等方式提高混凝土的抗拉强度,另一方面也可采用掺加缩混剂、减少最大骨料粒径等措施来降低混凝土的收缩量,从而减小开裂倾向。此外,还可在混凝土中预留伸缩缝,为混凝土的体积变化预留空间,避免产生过大的拉应力而开裂。三是,采取科学有效的养护措施。在混凝土初凝后的第一阶段,应对其进行湿硬化养护,尽量保持混凝土表面湿润,使内外部温差减小;而进入后期时,则要转为干燥养护,促进混凝土的均匀收缩,减小内外部的收缩差异。同时还应避免日照、风吹等极端环境对混凝土的影响,维持恒定的适宜温湿度环境。

(二) 湿度裂缝的控制

控制湿度裂缝的关键在于合理调控混凝土内外部的湿度变化幅度,并采取有效措施降低湿度梯度对混凝土的不利影响。在原材料的选择和配合比的确定上要保证混凝土具有良好的抗干缩性能。可选用低热水泥、掺合料以及缓凝剂等,有效降低混凝土的自身干缩系数。适当增加胶凝材料用量,适度提高混凝土的强度等级,从整体上提升混凝土的抗裂性能。其次,在混凝土浇筑施工时,要严格控制水灰比,避免出现离析和蜂窝等缺陷,确保整体质量的均匀性。可采用超塑化剂等外加剂改善混凝土的工作性,降低水灰比^[4]。为防止混凝土外

部湿度变化过快,可在浇筑完成后立即覆盖湿毡布等保温保湿材料,延缓表面水分的蒸发。为有效控制湿度梯度,应当预先在混凝土结构中设置足够的收缩缝,将整体混凝土划分为若干个相对独立的构件。构件尺寸要严格控制规范允许的范围,并在边角部位适当加密收缩缝的间距。在浇筑构筑物时,也要注意分层浇筑,避免过高的一次浇筑厚度。对于特大型构筑物,还需结合实际工况,设置临时支撑,限制构件开裂。收缩缝处还应设置可靠的钢筋锚固措施,确保结构整体性。此外,应适当外加保护措施。可在混凝土表面喷涂专用的亲水型或疏水型涂层材料,有效隔离外界湿度变化对混凝土的影响。对于已有的细小裂缝,可采用灌浆或涂覆加固措施,阻止进一步扩展。对于特殊部位,如溢洪道和消能池等,则需要采取耐磨防护层或钢衬里等措施,以免在高速水流冲蚀下加剧裂缝问题^[3]。

(三) 荷载裂缝的控制

荷载作用下混凝土材料由于其固有的脆性,在承受外力时极易产生裂缝,从而影响结构物的安全性和耐久性。为此,必须从设计和施工两个阶段同时着手采取有效措施,科学合理地控制荷载引起的混凝土裂缝。在设计阶段,要对结构物所受的作用荷载进行全面评估,包括永久荷载、活荷载以及可能产生的偶然荷载等,并根据具体工程特点对荷载值进行适当放大。须根据作用荷载的性质、大小和分布特征,对结构截面尺寸、钢筋配置以及混凝土强度等进行严格计算,确保结构的受力性能满足安全要求。在此基础上,采用适宜的结构布置形式,尽可能将构件内力简化,减小应力梯度,避免应力集中。进入施工阶段,应严格按设计要求及相关规范进行混凝土配合比设计和施工,确保混凝土的和易性和抗裂性能满足要求。在浇筑过程中,要严格控制混凝土的浇筑温度、浇筑速度和振捣方式,避免因温升过快或振捣不当导致塑性收缩裂缝。混凝土凝结后,要通过分层分批拆模,控制拆模时的应力突变,避免裂缝扩展。同时,要严格控制荷载的施加时序,在混凝土强度未达到设计要求前,不得将设计荷载完全加载到构件上。荷载施加时,要注意观测构件的应力应变情况,发现异常情况及时调整施加方式或采取临时支撑等措施^[5]。

(四) 材料因素的控制

原材料的质量以及合理的配合比设计都将直接影响到混凝土的性能和耐久性,从而影响裂缝的产生和发展。因此,严格把控原材料质量,优化混凝土配合比设计,是控制混凝土裂缝的关键环节。对于水泥、粗细骨料、外加剂等原材料,需要严格按照相关标准进行取样

检测,确保各项指标均能满足规范要求。其中,对于粗骨料尤为关注,需控制好其含泥量、粘球强度等指标;而对于细骨料,需重点把控其细度模数、粉尘含量等,避免由于过细或含泥过多而影响混凝土的性能。同时,水泥的强度等级、凝结时间等性能指标也需符合设计要求。只有原材料的质量得到充分保证,才能为制作出优质的混凝土打下坚实的基础。设计混凝土配合比时,需要根据工程实际情况,确定合理的设计强度等级和耐久性指标;依据骨料的实际级配情况、坍落度要求等,综合确定水灰比、砂率等关键指标,从而制定出满足工程需求的配合比方案。在此过程中,还需结合工程的特殊环境,针对性地添加外加剂等,以提高混凝土的抗裂性能。比如,在大体积混凝土浇筑过程中,可适当添加减缓剂延缓水化热的释放,降低温度应力。

三、水利工程施工中混凝土裂缝的处理技术

(一) 混凝土置换技术

混凝土置换技术的基本原理是将原有的受损混凝土切除,然后重新浇筑新的混凝土以恢复结构的完整性和承载能力。这种技术往往应用于混凝土裂缝已经严重扩展,无法通过灌浆等方式进行有效修复的情况。在施工过程中,需要对存在裂缝的混凝土进行切割和移除,切割范围要超出裂缝面一定距离,以确保完全去除受损部分。之后对切缝面进行清理和凿毛,露出内部的混凝土骨料,并用高压空气或水流清洗切缝面,为新浇混凝土的黏结做好准备。如果原结构中存在钢筋,需要对其进行除锈处理,必要时焊接补强钢筋。在置换区域周边安装模板,并对边缘无损部分喷涂防止脱空剂,以便新旧混凝土的黏结。新浇筑的混凝土需要具有与原结构相当的强度等级,其配合比的设计应当结合实际工况,选用合适的水化热水泥等措施,控制混凝土的收缩变形。混凝土浇筑分层进行,并采用振捣等方式确保密实,避免蜂窝或夹渣。待混凝土初凝后,立即用塑料薄膜覆盖保湿养护。

(二) 灌浆填充技术

灌浆填充技术主要分为压力注浆法、开槽填补法和涂膜封闭法三种。压力注浆法适用于修补相对较小的混凝土裂缝。施工时,首先需彻底清理裂缝周边区域的杂物和残留物,并将注浆嘴与裂缝牢固连接,进行试压检查。配制合适的注浆料,在注浆过程中密切监控压力,待完成后再次清理混凝土表面。该方法操作简便,能够将注浆料充分注入裂缝内部,从而起到很好的修补作用。涂膜封闭法主要用于处理细小裂缝(宽度小于0.2mm)。先沿裂缝开凿一定深度的U形槽,涂刷界面

处理剂,再将预先调制好的聚合物水泥砂浆压实填充于槽内,最后及时养护。此法不仅可修补裂缝,还能起到装饰和防护作用,避免混凝土保护层碳化和离子渗透侵蚀。开槽填补法适用于结构物表面允许开凿或裂缝宽度较大的情况。操作步骤为先开设一定规格的凹槽,涂刷界面剂,再用修补砂浆填充密实,并做好后期养护。该方法可永久性地修补大裂缝,提高结构物的使用性能。

(三) 钢材料粘贴技术

钢材料粘贴技术首先需要对裂缝部位进行彻底的清理,确保黏结面洁净无污染。然后在裂缝两侧的混凝土表面打磨粗糙,增大黏结面积。接着将事先切割好的钢板或纤维增强复合材料涂覆上特种环氧树脂或其他高强度胶粘剂,压实粘贴于裂缝处。粘贴完成后,需要对钢板或纤维材料进行适当的固定和养护,待胶粘剂完全固化后方可投入使用。钢板粘贴技术更适用于正截面的受拉区、受压区或斜截面部位的裂缝修补,能有效提高局部区域的抗拉、抗压能力。钢材料粘贴技术具有操作便捷、质量可控、不增加结构自重等优点,由于不需要大范围拆除原有结构,能最大限度保留原有结构的完整性,修复后的结构外观也相对简洁美观。

结束语

综上所述,水利工程施工中的混凝土裂缝问题一直是行业内广为关注的难题。合理控制和处理混凝土裂缝,不仅关系到工程结构的安全性和使用寿命,更是推进水利工程绿色环保可持续发展的重要一环。未来,应该在材料、工艺、设计等多方面持续创新,建立系统的混凝土裂缝防控体系。通过集中资源攻坚,必将有效遏制裂缝问题的发生,提高工程质量,为建设更加智能、绿色、有韧性的现代水利基础设施贡献力量。

参考文献

- [1] 袁月丽.水利工程施工混凝土裂缝成因分析及控制措施[J].黑龙江水利科技,2022,50(07):113-117.
- [2] 余方方,朱宏松.水利工程施工中混凝土裂缝控制技术分析[J].治淮,2022,(02):41-42.
- [3] 闵超.水利工程施工中混凝土裂缝控制技术探讨[J].河南水利与南水北调,2020,49(01):57-58.
- [4] 王庆.浅谈水利工程施工混凝土裂缝成因分析及控制措施[J].陕西水利,2016,(S1):79-80.
- [5] 曹瑜.浅谈港口工程施工中混凝土裂缝成因与控制措施[J].建材与装饰,2016,(21):42-43.

作者简介:王鑫波,198810,男,汉,江西省九江市,本科,单位:万载县水利局,工程师,研究方向:水利工程方面。