

水利工程大坝施工中混凝土裂缝控制策略研究

张明博 王 倩

陕西省泾河工程局 陕西 咸阳 713800

摘 要: 本文聚焦水利大坝施工中混凝土裂缝问题。先阐述裂缝类型及产生机理,包括收缩、温度、荷载裂缝等。接着分析主要影响因素,涵盖材料、施工工艺、环境方面。随后提出控制策略,涉及材料选用与配合比优化、施工工艺改进、施工过程温度控制。最后探讨养护及后期防控策略,包括混凝土养护、裂缝监测与排查、裂缝处理。旨在为减少大坝混凝土裂缝、保障施工质量与安全提供参考。

关键词: 水利大坝; 混凝土施工; 裂缝控制; 施工工艺; 养护管理

引言: 在水利大坝施工中,混凝土裂缝问题不容忽视。其类型多样,产生机理复杂,受材料、施工工艺、环境等多种因素影响。裂缝的存在不仅影响大坝的美观,更威胁其结构安全与耐久性,可能导致渗漏、强度降低等严重后果。因此,深入剖析混凝土裂缝的类型、产生机理及影响因素,制定全面且有效的控制策略至关重要。这不仅关乎大坝施工质量提升,更对保障水利工程的长期稳定运行、发挥其防洪、灌溉、发电等综合效益具有深远意义。本文将围绕水利大坝施工中混凝土裂缝展开系统研究,为实际工程提供理论支持与实践指导。

1 水利大坝施工中混凝土裂缝的类型及产生机理

在水利大坝施工过程中,混凝土裂缝类型丰富,依据不同的分类标准有着不同的划分结果。(1)从产生时间维度来看,可分为施工期裂缝与运行期裂缝。其中,施工期裂缝在整体裂缝中占据较高比例,是大坝施工期间裂缝控制的关键所在。运行期裂缝则在大坝投入使用后逐渐显现。(2)按产生原因划分,主要有收缩裂缝、温度裂缝和荷载裂缝,且各自产生机理存在明显差异。收缩裂缝的产生与混凝土硬化过程中的体积收缩密切相关。在混凝土凝结硬化阶段,水分不断蒸发,若表面水分蒸发速度显著快于内部水分迁移速度,混凝土表面会因失水过快而产生收缩应力。一旦该应力超出混凝土自身的抗拉强度,表面收缩裂缝便会随之产生。这类裂缝通常较为细微,分布相对均匀,主要集中在混凝土表面及表层区域。(3)温度裂缝是大坝混凝土施工中较为常见且危害较大的一类裂缝。混凝土在水化反应过程中会释放出大量热量,致使内部温度急剧升高,而表面受环境因素影响升温速度较慢,进而形成较大的内外温差。这种温差使得混凝土内部产生膨胀应力,表面产生收缩应力,当应力超过混凝土抗拉强度时,温度裂缝便会产生,其可能贯穿混凝土表层,甚至深入内部,对大坝的

结构完整性造成严重影响。(4)荷载裂缝则源于施工过程中的不合理荷载作用,如布料不均、振捣不当、模板支撑不牢固、过早拆模或加载等情况,这些因素会导致混凝土结构受力不均匀,产生局部应力集中现象,当集中应力超过混凝土抗拉强度时,就会形成与荷载作用方向相关的不规则荷载裂缝^[1]。

2 水利大坝施工中混凝土裂缝的主要影响因素

2.1 材料因素

混凝土材料特性是影响裂缝产生的基础。水泥作为胶凝材料,其品种、强度等级和用量影响水化热释放量与收缩性能。(1)水泥用量过多,水化热释放大,内外温差增大,收缩量增加,裂缝产生概率提升;选用水化热高的普通硅酸盐水泥且未降温,易引发温度裂缝。(2)骨料质量、级配和掺量影响混凝土抗裂性。级配不合理、颗粒间断,空隙率增大,需更多水泥填补,增加水化热与收缩量;含泥量过高,降低混凝土强度和粘结力,抗拉性能下降,易生裂缝;细骨料细度模数小,表面积增大,需更多水分湿润,收缩量增大。(3)外加剂选用和掺量影响抗裂性,不合理选用或掺量异常,会破坏配合比平衡,使凝结硬化速度异常、收缩量增加,引发裂缝。拌和用水水质不佳,含杂质或有害物质,影响强度和耐久性,间接增加裂缝风险^[2]。

2.2 施工工艺因素

混凝土浇筑工艺对施工期裂缝影响关键。(1)浇筑速度过快、布料不均,会使内部气泡难以及时排出形成空隙,且内部温度分布不均,产生局部应力集中而引发裂缝;浇筑厚度过大,内部水化热难散发,内外温差增大,同时上层浇筑时下层已初步硬化,会产生附加应力,易出现分层裂缝。(2)振捣工艺不合理也是重要致裂因素。振捣过度会使骨料下沉、水泥浆上浮,造成分层离析,降低混凝土整体性与抗拉强度,引发表面裂

缝；振捣不足会使混凝土密实度不够，存在蜂窝、麻面等缺陷，降低抗拉性能，后期易在缺陷处生裂缝。（3）模板施工工艺不当同样会引发裂缝。模板拼接不严密有缝隙，会导致漏浆形成缺陷，降低混凝土强度；支撑不牢固、刚度不足，浇筑时会变形位移，使结构受力不均；拆除过早，混凝土强度未达标，无法承受荷载，会产生收缩或荷载裂缝。

2.3 环境因素

施工环境的温度、湿度变化是引发混凝土裂缝的重要外部因素，施工过程中若环境温度过高，会加快混凝土表面水分蒸发速度，导致表面收缩过快，产生收缩裂缝；同时，高温环境会加速水泥水化反应，使水化热释放速度加快，混凝土内外温差增大，引发温度裂缝。

（1）环境湿度不足、风速过大，会进一步加剧混凝土表面水分蒸发，使混凝土收缩量增加，提升裂缝产生的概率；若施工过程中遭遇降雨、寒潮等恶劣天气，未采取有效的防护措施，会导致混凝土表面温度急剧下降，产生温度应力，同时雨水会稀释混凝土表面水泥浆，降低混凝土强度和粘结力，易产生裂缝。（2）大坝施工场地的地质条件也会间接影响混凝土裂缝产生，场地地基不均匀沉降，会导致混凝土结构受力不均，局部应力集中，进而引发裂缝。

3 水利大坝施工中混凝土裂缝的控制策略

3.1 材料选用与配合比优化策略

合理选用原材料是提升混凝土抗裂性、减少裂缝的基础。水泥优先选水化热低、收缩量小的品种，降低用量以减少水化热释放，从源头控制温度与收缩裂缝；严格把控水泥质量，确保强度等级、安定性等指标达标，不用受潮、变质水泥。（1）骨料选用遵循级配合理、颗粒均匀、含泥量低原则，选质地坚硬、耐久性好的骨料，优化级配提高密实度，减少水泥用量；严控含泥量，细骨料控制在合理范围，粗骨料进一步降低，避免杂质影响强度与粘结力；适当增加粗骨料、减少细骨料用量，降低表面积与收缩量，提升抗裂性。（2）科学选用外加剂，依施工需求和混凝土性能选缓凝型、减水剂等。缓凝剂延缓凝结硬化，延长水化热释放时间，降低内外温差；减水剂减少拌和用水，提高密实度与强度，减少收缩量。严格按配合比控制外加剂掺量。（3）优化配合比，在满足大坝混凝土强度、防渗、耐久等设计要求下，合理调整各材料用量比例，降低水胶比，提高抗拉强度与密实度；适当增加矿物掺合料替代部分水泥，减少水化热，改善工作与抗裂性能^[3]。

3.2 施工工艺改进策略

改进混凝土浇筑工艺，依据混凝土凝结速度与施工设备性能，合理确定浇筑速度，防止过快致内部温度不均与应力集中。采用分层浇筑、振捣，控制浇筑厚度，确保下层初凝前完成上层浇筑，减少分层裂缝。浇筑时保证布料均匀，避免局部堆积，使温度与密实度分布均匀。（1）优化振捣工艺，选合适设备，控制振捣时间与强度，以表面泛浆、无气泡为宜，避免过度或不足。遵循“快插慢拔、分层振捣”原则，确保密实，减少内部空隙，提高整体性与抗拉强度，抑制裂缝。对阴阳角、预埋件等薄弱部位加强振捣。（2）完善模板施工工艺，选刚度足、平整度好、拼接严密的模板，拼接处密封防漏浆。支撑系统设计合理、牢固，保证刚度与稳定性，防浇筑时变形位移。严格把控模板拆除时间，达设计拆除强度后，按“分层、对称”原则拆除，避免暴力操作伤结构。（3）加强混凝土运输控制，选合适设备，缩短运输时间，防离析、坍落度损失大。运输中采取保温保湿措施，减少环境温度影响，确保浇筑时温度与工作性能达标。

3.3 施工过程温度控制策略

温度控制是抑制大坝混凝土温度裂缝的关键，需贯穿施工全程。（1）原材料温度控制上，水泥、骨料等应避免高温堆放。水泥可采用低温储存、通风散热降低初始温度；骨料可通过遮阳、洒水降温，减少其对混凝土浇筑温度的影响。（2）混凝土拌和温度控制，可用低温水拌和，必要时在拌和水中加冰块降低温度。同时优化拌和顺序，缩短拌和时间，减少热量产生，确保拌和温度合理。（3）浇筑温度控制，应避开高温时段，优先选早晚、夜间施工。浇筑时，混凝土表面采取遮阳措施，避免阳光直射。对于大体积混凝土，预埋冷却水管，浇筑后通入冷却水，加速内部热量散发，控制内外温差，防止因温差过大引发裂缝。（4）硬化过程温度控制，要加强温度监测，实时掌握混凝土内部和表面温度变化。当内外温差超规定范围，及时采取保温、降温措施。可在混凝土表面覆盖保温材料，减少热量散失，延缓降温速度，控制收缩应力，有效抑制裂缝产生。

4 水利大坝施工中混凝土裂缝的养护及后期防控策略

4.1 混凝土养护策略

混凝土养护是减少收缩裂缝、提升混凝土抗裂性能的关键环节，养护工作应在混凝土浇筑完成后及时开展，确保护养时间充足、养护方式合理。养护的核心是保持混凝土表面湿润，控制混凝土水分蒸发速度，减少收缩量，同时促进混凝土强度发展，提升抗拉强度。

（1）根据施工环境和混凝土结构特点，选用合适的养

护方式,对于大坝表面混凝土,可采用洒水养护、覆盖保湿材料养护等方式,洒水养护应保持混凝土表面持续湿润,避免出现干燥、发白现象,洒水频率应根据环境温度、湿度调整,高温、干燥天气应增加洒水频率;覆盖保湿材料养护可选用土工布、麻袋等保湿性能好的材料,覆盖应严密,避免出现漏盖、裸露现象,确保混凝土表面水分不流失。(2)严格控制养护时间,大坝混凝土养护时间应符合相关要求,不得过早停止养护,养护期间应避免混凝土表面受到碰撞、冲击等损伤,避免养护过程中破坏混凝土表面结构,引发裂缝;对于大体积混凝土,养护时间应适当延长,确保混凝土强度充分发展,抗裂性能得到提升^[4]。

4.2 裂缝监测与排查策略

加强大坝施工过程中混凝土裂缝的监测与排查,建立完善的监测体系,实时掌握裂缝的产生、发展情况,及时采取针对性防控措施,抑制裂缝扩展。(1)监测范围应覆盖大坝混凝土全部施工区域,重点监测大坝主体结构、阴阳角、预埋件等薄弱部位,监测内容包括裂缝的位置、长度、宽度、深度及扩展速度等。(2)选用合适的监测设备和监测方法,根据裂缝大小和监测需求,采用肉眼观察、裂缝尺测量、超声波探测等多种监测方法相结合的方式,确保监测数据准确、全面;监测频率应根据施工进度和裂缝发展情况调整,施工关键阶段、裂缝易产生时段应增加监测频率,发现裂缝异常扩展时,应立即停止相关施工,分析原因并采取防控措施。

(3)定期开展裂缝排查工作,排查工作应全面、细致,避免遗漏细微裂缝,对于排查发现的裂缝,应及时记录相关信息,分类整理,根据裂缝的类型、大小和危害程度,制定针对性的处理措施,避免裂缝进一步扩展,影响大坝施工质量。

4.3 裂缝处理策略

对于施工过程中排查发现的混凝土裂缝,应根据裂缝的严重程度,采取科学、合理的处理措施,确保处理效果,恢复混凝土结构的整体性和抗裂性能。(1)对于细微收缩裂缝,裂缝宽度较小、未贯穿混凝土表层,

可采用表面封闭法处理,清理裂缝表面灰尘、杂物,涂抹封闭材料,封闭裂缝,防止水分、有害物质渗透,抑制裂缝扩展。(2)对于中等宽度裂缝,裂缝宽度较大、已贯穿混凝土表层但未深入内部,可采用压力灌浆法处理,选用合适的灌浆材料,通过压力设备将灌浆材料注入裂缝内部,填充裂缝,待灌浆材料硬化后,形成整体结构,提升混凝土的整体性和强度。(3)对于严重裂缝,裂缝宽度大、已深入混凝土内部,影响大坝结构安全,应先停止相关施工,分析裂缝产生的原因,采取针对性的防控措施,控制裂缝进一步扩展,再采用综合处理方法,如灌浆+加固处理,确保处理后混凝土结构满足设计要求,保障大坝施工安全^[5]。

结束语

水利大坝施工中混凝土裂缝的防治是一项系统且长期的工作。从裂缝类型与机理的深入剖析,到影响因素的全面考量,再到控制策略的精准制定与实施,以及养护及后期防控的细致落实,每个环节都紧密相连、缺一不可。通过合理选用材料、优化配合比、改进施工工艺、严格温度控制、加强养护监测与及时处理裂缝等措施的综合运用,能够有效减少混凝土裂缝的产生,提升大坝的整体质量与安全性。在实际工程中,需根据具体情况灵活运用这些策略,不断总结经验,持续完善裂缝防治体系,以确保水利大坝能够长期稳定运行,为社会经济发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]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.
- [2]张剑.水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术研究[J].工程与建设,2023,37(06):1775-1777.
- [3]肖丽芳.水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术思考[J].中华建设,2023,(01):122-124.
- [4]赵士召.探析水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术[J].水上安全,2023(02):181-183.
- [5]柴宝丽.浅谈水利水电工程混凝土施工常见问题与建议对策[J].河北水利,2023(02):45.