

常态混凝土重力坝裂缝产生的原因及防治措施

朱书刚

杭州亚太工程管理咨询有限公司 浙江 杭州 311122

摘 要：常态混凝土重力坝裂缝是影响其结构稳定性和耐久性的重要因素。裂缝的产生源于多方面因素，包括混凝土收缩、温度应力、地基不均匀沉降及施工质量问题等。为有效防治裂缝，需从优化混凝土配合比、加强温度控制、提高施工质量及加强养护管理等方面入手。通过综合施策，可显著提升常态混凝土重力坝的抗裂性能，保障其长期安全运行。

关键词：常态混凝土；重力坝裂缝；产生原因；防治措施

引言

常态混凝土重力坝作为水利工程中的重要结构形式，其稳定性和耐久性对于保障工程安全具有重要意义。然而，裂缝问题一直是常态混凝土重力坝建设中的难点和热点。本文旨在探讨常态混凝土重力坝裂缝产生的原因及防治措施，以期对相关工程实践提供参考。通过深入分析裂缝产生的机理，提出针对性的防治措施，以期提高重力坝的整体性能。

1 常态混凝土重力坝裂缝概述

常态混凝土重力坝裂缝是重力坝工程中常见的结构问题，对坝体的安全性能和耐久性具有重要影响。重力坝作为典型的大体积混凝土结构，在浇筑和运营过程中，由于温度应力、基础约束、施工条件等多种因素的综合作用，容易产生裂缝。裂缝的形成机制复杂多样。第一，混凝土浇筑后，由于水化热温升导致体积膨胀，在受到岩石或老混凝土约束时，初期将产生较小的压应力。当后期混凝土温度下降时，块内将出现拉应力，若拉应力超过混凝土的抗拉强度，即会产生裂缝。第二，基础约束也是裂缝产生的重要原因。基岩或老混凝土对新浇混凝土的温度变形产生约束，当温度应力超过混凝土的极限抗拉强度时，即会产生基础约束裂缝，这种裂缝自基础面向上开展，严重时可能贯穿整个坝段。裂缝的存在对重力坝的危害不容忽视，裂缝不仅会降低坝体的承载力，还会加速混凝土的炭化过程，降低其耐久性。空气中的二氧化碳通过裂缝深入混凝土内部，与水泥中的成分发生反应，导致混凝土结构的破坏。裂缝还会降低混凝土抵抗各种侵蚀性介质的耐腐蚀能力，如溶蚀性腐蚀、酸盐腐蚀和镁盐腐蚀等，进一步影响坝体的安全度。在重力坝的设计、施工和运营过程中，需要采取有效的措施来控制裂缝的产生和发展，这包括改善混凝土的性能、优化施工工序、加强温度控制等，以确保

重力坝的安全性和耐久性。

2 常态混凝土重力坝裂缝产生的原因

2.1 混凝土收缩

混凝土在硬化过程中，会发生收缩现象，这是导致常态混凝土重力坝产生裂缝的重要原因之一。混凝土收缩主要包括塑性收缩、干燥收缩和自生收缩。塑性收缩发生于混凝土浇筑初期，此时其仍呈塑性。水泥水化消耗及表面水分蒸发，致内部水分不均，产生毛细管压力，使体积收缩，若表面受较大约束，无法自由收缩，就会产生拉应力，当拉应力超当时抗拉强度，便出现较浅且不规则的塑性收缩裂缝。干燥收缩在混凝土硬化后出现。随环境湿度降低，内部水分向外界散失，毛细管失水产生负压，引发体积收缩。重力坝体积大，内部水分迁移路径长，表面水分散失快，内外收缩差异形成内部拉应力、外部压应力。当应力差达一定程度，混凝土表面或内部就会出现干燥收缩裂缝，严重时贯穿坝体，影响整体性与耐久性。自生收缩由水泥水化使固相体积增加、液相体积减小所致。在低水胶比的高性能混凝土中表现显著。自生收缩应力在坝体内部积累，超过混凝土承载能力时，便引发裂缝，威胁常态混凝土重力坝结构安全^[1]。

2.2 温度应力

温度变化对常态混凝土重力坝的影响极为显著，温度应力是导致坝体裂缝产生的关键因素。在混凝土浇筑过程中，水泥水化反应会释放大量热量，使混凝土内部温度迅速升高。由于混凝土导热性较差，内部热量不易散发，形成较大的温度梯度，坝体内部温度高，处于膨胀状态，而表面温度相对较低，膨胀受限，内部膨胀对表面产生拉应力。当拉应力超过混凝土的抗拉强度时，就会在混凝土表面产生裂缝。在坝体运行阶段，外界气温的周期性变化也会对坝体温度产生影响。冬季气温降

低,坝体表面温度下降快,内部温度下降慢,坝体表面收缩变形大于内部,内部对表面产生约束,使表面产生拉应力,易出现裂缝。夏季气温升高,坝体表面温度升高,混凝土膨胀,而内部温度变化相对较小,表面膨胀受到内部约束,同样会产生拉应力,可能引发裂缝。水库水位的升降也会导致坝体温度场发生变化,水位上升时,坝体迎水面温度降低,与背水面形成温度差,产生温度应力。水位下降时,坝体迎水面温度回升,又会形成新的温度应力。这种反复的温度应力作用,使坝体混凝土疲劳损伤,降低了混凝土的抗拉强度,增加了裂缝产生的可能性。温度应力产生的裂缝在常态混凝土重力坝中较为常见,对坝体的结构安全和耐久性危害较大。

2.3 地基不均匀沉降

地基不均匀沉降是常态混凝土重力坝裂缝产生的又一重要原因。重力坝依靠地基承载坝体巨大的重量和各种荷载。当地基土的性质存在差异,如土层分布不均匀、土质软硬不一,或者地基在施工过程中处理不当,都可能导致地基在坝体荷载作用下发生不均匀沉降。坝体不同部位的地基沉降量不同,会使坝体产生附加应力。例如,坝体一端地基沉降大,另一端沉降小,坝体就会产生弯曲变形,在坝体内部形成拉应力和压应力。当这种附加应力超过混凝土的极限强度时,坝体就会出现裂缝。裂缝的方向和位置与地基不均匀沉降的情况密切相关,一般垂直于沉降差较大的方向。地基的不均匀沉降还可能导致坝体与地基之间的接触面产生相对位移,使坝体底部的混凝土受到剪切力作用。长期的剪切力作用会使坝体底部出现剪切裂缝,逐渐向上发展,严重影响坝体的稳定性。地基在地震等动力荷载作用下,也可能发生不均匀沉降,加剧坝体裂缝的产生和发展。因此,地基不均匀沉降对常态混凝土重力坝的危害不容忽视,在坝体设计和施工过程中,必须对地基进行充分勘察和妥善处理,以减少地基不均匀沉降的影响^[2]。

2.4 施工质量问题

施工质量问题在常态混凝土重力坝裂缝产生过程中起着不可忽视的作用。在混凝土原材料方面,如果水泥的安定性不良,在水化过程中会发生体积变化不均匀,导致混凝土内部产生应力,引发裂缝。骨料的质量也至关重要,若骨料含泥量过高,会降低骨料与水泥浆之间的粘结力,影响混凝土的强度和耐久性,增加裂缝产生的风险。混凝土配合比设计不合理同样会导致裂缝问题,水灰比过大,会使混凝土在硬化过程中产生过多的孔隙,降低混凝土的强度和抗渗性,同时增加混凝土的收缩量,容易引发裂缝。水泥用量过多,会使混凝土水

化热增大,内部温度过高,产生较大的温度应力,导致裂缝出现。在混凝土浇筑施工过程中,振捣不密实会使混凝土内部存在空洞和蜂窝麻面等缺陷,这些缺陷会削弱混凝土的整体强度,在受力时成为裂缝的发源地。混凝土浇筑间隔时间过长,形成冷缝,也会严重影响坝体的整体性,在冷缝处容易产生裂缝。混凝土的养护对其性能和裂缝控制也十分关键,养护时间不足、湿度不够会使混凝土表面水分蒸发快,导致收缩加剧,产生收缩裂缝。过早拆除模板,混凝土强度尚未达到设计要求,无法承受自身重量和施工荷载,也会引起坝体变形和裂缝。因此,确保施工质量是预防常态混凝土重力坝裂缝产生的重要环节。

3 常态混凝土重力坝裂缝的防治措施

3.1 优化混凝土配合比

(1)合理选用水泥品种对控制混凝土裂缝至关重要。低热水泥水化热低,能有效减少混凝土内部因温度变化产生的应力。在工程实践中,可根据坝体不同部位的受力和环境条件,精准选择合适的低热水泥。优化水泥用量,在保证混凝土强度和耐久性的前提下,尽量减少水泥用量,降低水化热的产生。(2)集料的选择与级配对混凝土性能影响显著。采用质地坚硬、级配良好的粗集料,可有效提高混凝土的密实度和强度,减少裂缝产生的可能性。细集料的细度模数和含泥量也需严格控制,适宜的细度模数能保证混凝土和易性,而低含泥量可避免因杂质影响混凝土的粘结性能。通过科学设计集料的配合比例,能极大提升混凝土的综合性能。(3)外加剂的合理使用是优化混凝土配合比的关键环节。减水剂可在不增加用水量的情况下提高混凝土的流动性,便于施工操作,同时减少混凝土因泌水等问题导致的裂缝。膨胀剂能补偿混凝土收缩,有效控制收缩裂缝的出现。根据工程实际需求,精确确定外加剂的种类和掺量,能显著改善混凝土的抗裂性能。

3.2 加强温度控制

(1)混凝土浇筑温度直接影响其内部温度场分布。在高温季节,可采取对原材料进行降温处理的措施,如对集料进行喷淋降温、采用低温水搅拌等,降低混凝土的出机温度。在低温季节,则需对原材料进行预热,保证混凝土浇筑温度适宜,避免因温度过低导致混凝土早期强度增长缓慢而产生裂缝。(2)混凝土内部水化热的散发需要合理引导。为了有效控制混凝土内部温度峰值,通过预埋冷却水管,在混凝土内部通水循环,带走多余热量,是一种有效方法。冷却水管的布置间距、管径大小以及通水时间和流量,这些参数都极为关键,需

根据混凝土浇筑块的尺寸、水泥品种、浇筑时间长度及环境温度等多种因素进行精确计算和控制,以确保达到最佳的温控效果。(3)表面保温措施是防止混凝土表面温度骤降产生裂缝的重要手段。在混凝土浇筑完成后,及时覆盖保温材料,如草帘、棉被等,减小混凝土表面与内部的温差。在气温骤变时,加强对混凝土表面温度的监测,适时调整保温措施,维持混凝土表面温度的相对稳定,有效预防裂缝的产生^[3]。

3.3 提高施工质量

(1)混凝土浇筑过程中的振捣质量直接关系到混凝土的密实度。采用合适的振捣设备和振捣工艺,确保混凝土振捣充分,避免出现蜂窝、麻面等缺陷,能有效增强混凝土的强度和抗渗性能,减少裂缝的产生。振捣时间和振捣点的间距需严格按照施工规范执行,保证混凝土内部骨料均匀分布,浆体填充饱满。(2)施工缝的处理是施工质量控制的关键环节。在施工缝处,要将已浇筑混凝土表面的浮浆、松动骨料等清理干净,再铺设一层水泥砂浆,然后进行后续混凝土浇筑,确保施工缝处新旧混凝土结合紧密。合理设置施工缝的位置,避免在应力集中区域留设,可有效降低裂缝在施工缝处出现的概率。(3)钢筋的布置和锚固对混凝土结构的整体性和抗裂性能影响重大。按照设计要求准确布置钢筋,保证钢筋的保护层厚度符合标准,能有效约束混凝土的变形,提高混凝土结构的承载能力和抗裂能力。钢筋的锚固长度要满足规范要求,确保在受力状态下钢筋与混凝土协同工作,共同抵抗外力作用,防止因钢筋锚固不足导致混凝土开裂。

3.4 加强养护管理

(1)混凝土养护的及时性至关重要。在混凝土浇筑完成后,应在规定时间内及时进行养护,保持混凝土表面湿润,促进水泥水化反应的正常进行。这不仅能保证混凝土内部结构的稳定形成,还能有效防止内外温差引起的热裂,以及避免混凝土表面因水分过快蒸发而产生

干缩裂缝,为混凝土强度的增长及最终性能提供良好的环境条件。(2)养护时间的长短需根据混凝土的类型、环境温度等因素合理确定。一般情况下,普通混凝土养护时间不少于7天,而对于大体积混凝土或有抗渗要求的混凝土,养护时间应适当延长。在养护期间,持续保持混凝土表面的湿润状态,确保水泥水化反应充分进行,提高混凝土的耐久性和抗裂性能。(3)养护方法的选择要因地制宜。对于露天浇筑的混凝土,可采用洒水养护、覆盖保湿养护等方法;对于模板内的混凝土,可通过在模板外侧喷水或采用蒸汽养护等方式进行养护。根据工程实际情况,综合运用多种养护方法,确保混凝土在适宜的温湿度条件下硬化,有效预防裂缝的产生,保证混凝土重力坝的工程质量^[4]。

结语

综上所述,常态混凝土重力坝裂缝的产生是多因素共同作用的结果。为确保重力坝的结构安全和耐久性,必须从多个方面入手,采取综合性的防治措施。通过优化混凝土配合比、加强温度控制、提高施工质量及加强养护管理等手段,可有效减少裂缝的产生,提高重力坝的抗裂性能。未来,随着技术的不断进步和实践经验的积累,常态混凝土重力坝的裂缝防治工作将取得更加显著的成效。

参考文献

- [1]尚文彬,王晨嘉,王馨田.高纬度寒区常态混凝土重力坝浇筑质量控制要点探析[J].东北水利水电,2025,43(2):17-19,68.
- [2]王飞,王晓峰.基于温控仿真的热带地区常态混凝土重力坝施工期温控防裂研究[J].水电能源科学,2020,38(1):83-85.
- [3]苑振杰.青峪口水库碾压混凝土重力坝施工技术分析[J].安徽建筑,2024,31(12):148-150.
- [4]李帅伟.堆石混凝土重力坝温度应力仿真及温控分析[J].黑龙江水利科技,2024,52(7):34-37.