

水利工程大坝砼防裂措施

牟 虎

宁波宏达工程咨询有限公司 浙江 宁波 315000

摘 要：本文分析了水利工程大坝砼裂缝成因，包括温度、材料、施工及结构因素。提出防裂设计措施，如优化体型设计、设置温度控制与防裂构造、材料选择与配合比设计。还介绍了施工防裂措施，如浇筑与振捣控制、温度控制与监测、施工缝处理与养护。最后阐述了防裂监测与维护体系，以保障大坝结构安全稳定运行。

关键词：水利工程大坝；砼裂缝；防裂措施；温度控制；监测维护

引言：水利工程大坝砼裂缝问题关乎工程安全与耐久性。裂缝成因复杂，涉及温度、材料、施工及结构等多方面因素。一旦出现裂缝，可能影响大坝整体结构性能，甚至威胁其安全运行。深入研究大坝砼防裂措施，采取有效手段预防和控制裂缝产生，对保障水利工程安全具有重要意义。

1 大坝砼裂缝成因分析

1.1 温度因素

水泥水化热是导致大坝砼裂缝的主要温度因素之一。在砼硬化初期，水泥与水发生化学反应释放出大量热量，造成内部温度迅速上升。由于大体积砼散热条件较差，内部热量难以及时散发，而外部则因环境影响较快冷却，形成较大的内外温差。这种温差会引起温度应力，当应力超过砼的抗拉能力时，便可能引发裂缝。外界环境温度的变化也会对砼结构产生不利影响。例如，在昼夜温差较大或气温骤降的情况下，砼表面会因快速降温而收缩，从而产生拉应力。这种反复变化的温度梯度会在结构内部形成复杂的应力分布状态，在某些区域出现应力集中现象，进一步增加裂缝的发生概率。

1.2 材料因素

材料的选择和配比直接影响砼的抗裂性能。水泥作为主要胶凝材料，其品种、矿物组成以及细度都会影响水化反应的速度和热量释放情况，进而影响砼的早期收缩和后期变形。骨料的质量与级配同样具有重要影响。粗细骨料的比例、颗粒形状、表面特征以及杂质含量等因素都会改变砼的体积稳定性^[1]。良好的级配可以减少空隙率，提高密实度，从而降低收缩变形。外加剂和掺合料的使用在现代砼中越来越广泛，它们不仅可以改善工作性，还能有效控制裂缝的产生。例如，掺入适量粉煤灰等掺合料有助于降低水化热释放速度，而膨胀剂则可在一定程度上补偿砼的收缩变形，提升抗裂能力。

1.3 施工因素

施工过程中的操作方式对砼裂缝的形成有直接影响。浇筑工艺是否合理、振捣是否充分，都会影响砼的密实性和均匀性。如果振捣不足，会导致内部存在较多气泡和空隙，削弱结构强度；反之，过度振捣则可能引起粗骨料下沉、浆体上浮，破坏砼的均匀性。施工缝处理不当也是裂缝产生的常见原因。在分层分块施工过程中，若接缝部位未进行有效清理或结合不良，容易形成薄弱面，进而在后续荷载作用下出现开裂。养护措施不到位同样不可忽视。砼在硬化初期对水分和温度极为敏感，若未及时覆盖保温或保湿养护时间不足，将加速水分蒸发，造成表面干缩裂缝，影响整体结构质量。

1.4 结构因素

结构设计的合理性对裂缝控制起着关键作用。大坝体型设计不合理可能导致局部应力集中，尤其是在转折部位或孔口周围，更容易出现裂缝。合理的断面尺寸和过渡形式有助于改善应力分布状况，减小裂缝风险。约束条件同样是影响裂缝的重要因素。大坝基础与地基之间的相互作用会产生不同程度的约束效应，特别是在温差变化或体积变形过程中，受到较强约束的区域往往成为裂缝的发源地。基础处理是否得当也会影响整体结构的稳定性。当地基承载力不均或处理不彻底时，可能引起不均匀沉降，使大坝结构承受额外应力，诱发裂缝的产生。

2 大坝砼防裂设计措施

2.1 优化大坝体型设计

在大坝结构设计阶段，合理的体型设计是控制裂缝产生的基础。应根据工程所处的地形地质条件、受力状态以及施工过程中的温控要求，科学确定坝体的断面形状与尺寸。过大或过小的断面都会影响结构的应力分布，进而增加裂缝风险。因此，需结合实际受力情况，选取适宜的几何形态，使荷载传递更加均匀。在转折部位、孔口周围等易出现应力集中的区域，应采用圆滑过渡或局部加厚等构造形式，以减缓应力突变带来的不利

影响。此外,在设计中还需综合考虑温度应力与自重应力的共同作用。由于砼在硬化过程中会因水化热产生较大的内部温度应力,而大坝自身的重量又会在结构内部形成一定的压应力,两者叠加后的应力状态直接影响裂缝的发生与发展。通过结构受力分析和数值模拟手段,合理调整几何参数和荷载传递路径,有助于降低关键部位的拉应力水平,从而有效减少裂缝产生的可能性。

2.2 设置温度控制与防裂构造

针对大体积砼结构在施工期和运行期可能出现的温度裂缝问题,应在设计中设置相应的构造措施加以控制。冷却水管是一种常用的内部降温手段,通过在砼内部布置管道并通入循环冷却水,可有效带走部分水化热,降低内外温差引起的温度应力。测温元件的埋设则为温度监测提供依据,便于掌握内部温度变化趋势,及时采取调控措施^[2]。伸缩缝和诱导缝是防止温度收缩和不均匀变形引起裂缝扩展的重要构造措施。伸缩缝的作用在于释放由于温度变化和收缩变形引起的应力,避免裂缝无序发展;而诱导缝则是在预定位置削弱结构强度,引导裂缝出现在可控范围内,从而保护整体结构安全。此外,预应力技术也可用于改善结构的应力状态。通过对某些关键部位施加预压应力,可以抵消部分由温度变化或外力作用产生的拉应力,提高结构的抗裂能力。该方法尤其适用于对裂缝控制要求较高的重要区域,如基础连接部位或孔洞周边。

2.3 材料选择与配合比设计

材料性能直接影响砼的抗裂能力,在设计阶段应注重原材料的选择与配比优化。水泥作为主要胶凝材料,其品种和矿物组成决定了水化反应的速度与热量释放情况。为了降低水化热释放量,应优先选用低热水泥,以延缓早期放热速度,减少内外温差引起的温度应力。骨料的质量与级配同样具有重要影响,应选择粒径适中、级配良好、杂质含量低的粗细骨料,以提高砼的密实性和体积稳定性。掺合料如粉煤灰、矿渣粉等可以部分替代水泥,不仅能降低水化热释放总量,还能改善工作性和耐久性。外加剂的使用也应根据工程需求进行合理配置,例如加入缓凝剂延长初凝时间,或掺入膨胀剂补偿收缩变形,增强结构的整体性。为了确保各项材料之间的协调性,在正式施工前应开展多组配合比试验,通过对比不同方案的力学性能、温控效果及施工适应性,最终确定最优配合比。配合比设计应兼顾强度、耐久性和施工性能,力求在满足结构功能的前提下,最大程度提升抗裂能力,为大坝结构的长期稳定运行提供保障。

3 大坝砼施工防裂措施

3.1 砼浇筑与振捣控制

在大坝砼施工过程中,浇筑与振捣是影响结构质量的关键环节。合理的浇筑方案应根据结构尺寸、环境条件及材料特性进行制定,重点控制浇筑速度和分层厚度。过快的浇筑速度可能导致热量积聚,增加温度应力,而过厚的分层则会影响散热效果,加剧内外温差。应采用分层浇筑的方式,每层厚度应符合施工工艺要求,确保温度均匀性和结构稳定性。振捣是保证砼密实度的重要手段,应选择适合的振捣设备和工艺参数,确保每一区域充分振捣,避免出现蜂窝、空洞等缺陷。同时需注意振捣时间不宜过长,防止粗骨料下沉、浆体上浮,造成离析与泌水现象。这些不良情况会削弱砼的均匀性和整体强度,进而增加裂缝产生的风险。

3.2 温度控制与监测

温度变化是引发大坝砼裂缝的主要原因之一,因此在施工阶段必须采取严格的温控措施。首先,应从源头入手,控制砼的入模温度,避免因初始温度过高而导致后续温升过大^[3]。可以通过降低原材料温度或在搅拌过程中加入冷水等方式实现降温。其次,在砼内部设置测温点,对温度变化进行持续监测,掌握内部与表面之间的温差情况,及时发现异常并调整温控策略。冷却水管是一种有效的内部降温手段,通过在砼结构中布置管道并通入循环冷却水,可以有效带走水化热,降低内部温度梯度。此还需结合外部保温措施,防止表面温度骤降引起拉应力,从而减少裂缝的发生概率。通过系统化的温度控制与动态监测,可显著提升砼结构的整体抗裂性能。

3.3 施工缝处理与养护

施工缝是大坝砼结构中的薄弱部位,若处理不当极易成为裂缝的起始点。在施工过程中,应对已浇筑砼的接缝面进行凿毛处理,清除表面浮浆和松散颗粒,使新旧砼之间形成良好的粘结界面。随后应彻底清洗施工缝,去除杂质和粉尘,并在浇筑前涂刷水泥净浆或专用接浆材料,增强两层砼之间的结合力。养护是防止砼早期裂缝的重要措施之一,应根据环境条件和结构特点制定科学的养护制度。养护时间应足够长,以保证砼在关键硬化阶段不因失水过快而产生干缩裂缝。常见的养护方法包括覆盖湿麻布、草垫、洒水保湿以及喷涂养护剂等,这些方式均能有效维持砼表面湿度,减缓水分蒸发速度。特别是在高温或干燥环境下,应加强保湿措施,防止表层迅速脱水而开裂。通过规范的施工缝处理和有效的养护管理,有助于提高大坝砼的整体性和耐久性,降低裂缝发生的可能性。

4 大坝砼防裂监测与维护

4.1 防裂监测体系建立

在大坝运行过程中,建立完善的防裂监测体系是掌握结构状态、预防裂缝扩展的重要手段。监测体系的构建应从项目设置、测点布置以及设备选型等方面入手,确保能够全面反映砼结构的变化情况。监测项目通常包括温度变化、应力应变、变形位移等关键参数,这些数据有助于分析裂缝产生的潜在原因。测点的布置需结合大坝的结构特点和受力状况,重点布设在易出现裂缝的区域,如基础部位、孔口周围及断面转折处。选用的监测仪器与设备应具备较高的精度和稳定性,以保证数据的可靠性。例如,温度传感器用于记录砼内部温差变化,裂缝观测仪可对微小裂缝进行持续跟踪。还需制定合理的监测频率,初期可适当加密观测次数,待结构趋于稳定后逐步调整。采集到的数据应及时整理与分析,通过建立数据库和预警机制,为后续评估和处理提供科学依据。

4.2 裂缝监测与评估

裂缝一旦形成,必须定期开展监测工作,掌握其发展动态。监测内容主要包括裂缝的位置、宽度、长度和深度等参数。对于表面裂缝,可通过放大镜或专用测量工具进行目视检查和精确测量;对于深层裂缝,则可采用超声波检测或钻孔取芯等方式获取更准确的信息。监测过程中应记录裂缝随时间的变化趋势,判断其是否处于稳定状态还是持续扩展阶段^[4]。裂缝的发展往往受到多种因素影响,如温度波动、荷载变化及地基沉降等,因此需综合分析各项监测数据,识别裂缝成因及其对结构安全的影响程度。若裂缝较窄且未见明显扩展,通常属于非结构性裂缝,对整体安全影响较小;而当裂缝宽度较大、延伸范围广或伴随明显位移时,则可能威胁结构稳定性,需引起高度重视,并及时采取相应措施。

4.3 裂缝处理与维护措施

针对已出现的裂缝,应根据其性质、位置及严重程度制定相应的处理方案。对于宽度较小且未深入结构内

部的浅层裂缝,可采用表面封闭的方法进行修补。常用的材料有环氧树脂、聚合物砂浆等,这类材料具有良好的粘结性和抗渗性能,能有效防止水分侵入和裂缝进一步扩展。对于深度较大、影响结构受力的裂缝,则需采用灌浆方式进行加固处理。通过压力将水泥浆液或化学浆液注入裂缝内部,使其充填密实并恢复结构的整体性。在某些受力较大的关键部位,还可结合锚固技术,利用锚杆或钢丝网增强局部承载能力,提升抗裂效果。除了对已有裂缝进行处理外,日常的维护管理同样不可忽视。应建立完善的巡查制度,定期对大坝表面进行检查,发现异常及时处置。应注意排水系统的畅通,避免积水渗透进入裂缝内部,加剧侵蚀破坏。在极端天气条件下,如高温、严寒或暴雨过后,应加强巡检频次,确保结构处于良好状态。通过科学的监测、评估与维护措施,可有效控制裂缝的发展,延长大坝使用寿命,保障工程安全运行。

结束语

水利工程大坝砼防裂是一项系统工程,需从设计、施工到运行维护各环节严格把控。通过优化体型设计、合理选择材料与配合比、加强施工过程控制以及建立完善的监测维护体系,可有效降低裂缝发生概率,保障大坝结构安全稳定,为水利工程的长期安全运行提供坚实保障。

参考文献

- [1]杨修.大体积混凝土在大坝施工中的温控与防裂技术研究[J].中国水能及电气化,2025,(02):19-23+28.
- [2]贾立欣.水利工程施工中混凝土防裂技术的优化与应用探讨[J].新农民,2024,(27):34-36.
- [3]马己安,张鑫华.水利工程中大体积混凝土温控防裂措施研究[J].科技资讯,2023,21(16):158-161.
- [4]朱秦秦.水利工程大体积混凝土温控与裂缝防治技术[J].珠江水运,2023(13):92-94.