

水工结构工程裂缝成因及防治探讨

唐 尧 邓卓然

中水珠江规划勘测设计有限公司 广东 广州 510610

摘 要：水工结构作为水利工程的核心组成部分，其稳定性直接关系到水利设施的安全运行及周边人民生命财产安全。本文围绕水工结构工程裂缝展开探讨。先对水工结构工程裂缝进行了概述，进而深入分析其成因，包括温度变化、混凝土收缩、地基变形、荷载作用、施工质量以及材料特性等方面。针对这些成因，提出了相应的防治措施，如设计优化、合理选用材料、改进施工工艺、加强温度控制以及强化维护管理等。旨在通过对水工结构工程裂缝成因及防治措施的研究，为减少水工结构工程裂缝的产生、提高工程质量和耐久性提供理论参考和实践指导。

关键词：水工结构工程；裂缝成因；防治探讨

引言：水工结构工程在水利事业中占据着关键地位，其质量的优劣直接关系到水利工程的安全性和可靠性。然而，在实际工程中，裂缝问题常常困扰着水工结构工程。裂缝的出现不仅会影响结构的外观，还可能導致结构的承载能力下降、耐久性降低，甚至引发安全事故。因此，深入研究水工结构工程裂缝的成因，并采取有效的防治措施，对于保障水工结构工程的正常运行和延长其使用寿命具有重要的现实意义。本文将对水工结构工程裂缝的成因及防治措施进行详细探讨。

1 水工结构工程裂缝概述

在水工结构工程中，裂缝是较为常见且不容忽视的问题。水工结构工程裂缝，指的是因各类因素，在水工建筑物（诸如大坝、水闸、输水管道等）上所产生的缝隙。这些裂缝形态各异，按走向有水平、垂直与斜向裂缝；从深度区分，存在表面、深层及贯穿裂缝。水工结构工程裂缝的产生原因复杂多样，且危害不容小觑。温度变化致使混凝土热胀冷缩，易形成温度裂缝，对结构耐久性影响显著；混凝土收缩，无论是塑性收缩还是干燥收缩，都可能引发裂缝，削弱结构整体性；地基变形若不均匀，会使水工结构承受额外应力，进而开裂，严重时威胁结构稳定性。荷载作用，像静荷载与动荷载，超出结构承载能力，也会造成裂缝，降低结构安全性。依据裂缝特性与发展态势，可分为稳定裂缝、准稳定裂缝和不稳定裂缝。稳定裂缝的开度与长度不再变化，对结构影响相对较小。准稳定裂缝的开度随季节等因素周期性变化，长度不变或变化缓慢；不稳定裂缝的开度和长度随时间不断增大，对水工结构工程危害极大，若不及时处理，可能致使结构损坏，引发严重安全事故。因此，深入探究裂缝成因并制定有效防治措施，对保障水工结构工程安全、稳定运行意义重大^[1]。

2 水工结构工程裂缝成因分析

2.1 温度变化

水工结构工程中，温度变化是导致裂缝产生的关键因素。混凝土在浇筑后，水泥水化反应会释放大热量，致使内部温度急剧上升，而外部散热快，形成显著温差。这种温差产生的温度应力，一旦超出混凝土的抗拉强度，就会引发裂缝。在大体积混凝土水工结构，如大坝中，该现象尤为突出。同时，环境温度的频繁波动，例如昼夜温差、季节更替，也会使结构表面产生收缩和膨胀变形。表面变形受内部约束，进一步加大裂缝产生风险。温度裂缝多呈现不规则状，可能出现在结构表面或内部，对结构的整体性与耐久性危害严重。

2.2 混凝土收缩

混凝土收缩包含塑性收缩与干燥收缩。塑性收缩发生于混凝土初凝前，此时水分快速蒸发，混凝土体因失水产生体积收缩。若收缩过程中受到模板、钢筋等约束，便易产生裂缝。干燥收缩则是混凝土硬化后，内部水分逐渐散失，引发体积减小。当收缩应力超过混凝土的抗拉强度时，裂缝随即出现。此外，水泥品种、用量以及骨料特性等，也会对混凝土收缩产生影响。如水泥用量大、细骨料多，会增大收缩量。收缩裂缝常为表面裂缝，多呈平行分布，严重时可能贯穿结构，削弱结构的承载能力。

2.3 地基变形

地基变形是水工结构工程裂缝的另一重要成因。若地基土质不均匀，或在施工过程中地基处理不当，在水工结构自重及外部荷载作用下，易出现不均匀沉降。不均匀沉降使结构各部位受力不均，产生附加应力。当附加应力超出结构的承受能力，便会导致裂缝产生。例如，建在软土地基上的水闸，若地基未进行有效加固处

理,随着时间推移,地基沉降差异会使闸室结构开裂。地基变形引发的裂缝通常较为宽大,且方向与地基沉降方向相关,对结构稳定性威胁极大。

2.4 荷载作用

水工结构在运行期间,承受多种荷载,如自重、静水压力、动水压力、地震荷载等。当荷载过大,超过结构设计承载能力时,结构内部应力分布改变,混凝土受拉区拉应力超过其抗拉强度,从而产生裂缝。在一些遭受强烈地震的水工结构中,地震荷载产生的强大惯性力,使结构发生剧烈震动和变形,常导致大量裂缝出现。此外,长期反复的荷载作用,还会使结构材料疲劳,降低其承载能力,加速裂缝的产生与发展。荷载裂缝一般与主拉应力方向垂直,多发生在结构的薄弱部位^[2]。

2.5 施工质量

施工过程中的诸多环节若把控不当,也会引发裂缝。混凝土浇筑时,振捣不密实,会导致混凝土内部存在空洞、蜂窝等缺陷,降低结构强度,在受力时易产生裂缝。另外,模板过早拆除,混凝土强度尚未达到设计要求,无法承受自身及施工荷载,同样会造成裂缝。施工缝处理不当,新老混凝土结合不紧密,形成薄弱界面,也易引发裂缝。再者,钢筋布置不符合设计要求,如钢筋间距过大、锚固长度不足,会削弱结构的抗拉能力,增加裂缝产生的可能性。施工质量问题引发的裂缝形态多样,位置和走向与具体施工缺陷相关。

2.6 材料特性

材料特性对水工结构裂缝的产生有显著影响。水泥的品种和质量不同,其水化热、凝结时间等性能存在差异。例如,低热水泥水化热低,能有效减少温度裂缝;而高水化热水泥则易导致温度应力过大。骨料的粒径、级配及含泥量等,会影响混凝土的和易性与强度。骨料粒径过小、级配不良或含泥量高,会使混凝土的收缩增大,强度降低。此外,外加剂的种类和用量若选择不当,也可能影响混凝土的性能,引发裂缝。如减水剂用量过多,可能导致混凝土坍落度损失过快,造成施工困难和收缩裂缝。

3 水工结构工程裂缝防治措施

3.1 设计优化

在水工结构工程裂缝防治中,设计优化是关键一环。设计阶段,需全面考量结构的工作环境、荷载特征等要素,合理规划结构形式与尺寸,以降低裂缝产生风险。例如,对于大体积混凝土结构,像大坝这类易因温度应力产生裂缝的工程,可通过合理分缝分块设计,削减温度应力积聚。同时,优化结构布置,使结构受力更

均匀,避免应力集中区域。在配筋设计上,应依据结构受力分析,精确确定钢筋的规格、数量与布置方式。合理配置构造钢筋,能有效控制混凝土收缩与温度裂缝。比如在水工结构的边角、孔洞等易开裂部位,增设构造钢筋,增强结构抗裂性能。此外,还可运用有限元分析等先进技术,模拟结构在不同工况下的应力应变状态,提前发现潜在裂缝隐患,进而调整设计方案。通过科学的设计优化,从源头上减少水工结构工程裂缝的出现,为工程的安全稳定运行奠定坚实基础^[3]。

3.2 材料选用

合理选用材料对防治水工结构工程裂缝至关重要。水泥方面,优先选用水化热低的品种,像矿渣水泥、粉煤灰水泥等,可有效降低混凝土内部因水泥水化热产生的温升,减少温度裂缝风险。对于大体积混凝土,7d 的水泥水化热应不大于 250kJ/kg。骨料的选择也不容忽视。粗骨料宜采用 5-40mm 颗粒级配的石子,且严格控制含泥量小于1.5%,良好的级配能增强混凝土的密实度与强度。细骨料选用中、粗砂,同样将含泥量控制在1.5% 以内,有助于改善混凝土和易性。掺合料与外加剂的使用是提升混凝土性能的关键手段。粉煤灰作为常用掺合料,能提高混凝土和易性,改善工作性能与可靠性,替代部分水泥,降低水化热,一般掺加量为水泥用量的 15% 左右,可降低水化热约 15%。外加剂中的减水剂,如木钙减水剂,可减少 10% 左右拌和用水,节约水泥,降低水化热;缓凝剂能延缓混凝土凝结时间,防止因凝结过早影响浇筑面粘结;膨胀剂则可有效防止混凝土初始裂缝产生。在一些对耐久性要求极高的水工结构中,还可考虑使用特种材料,如抗硫酸盐水泥,用于有硫酸盐侵蚀环境的工程,增强混凝土抗侵蚀能力,减少裂缝产生。

3.3 施工工艺改进

施工工艺的优化对减少水工结构工程裂缝起着决定性作用。在混凝土浇筑环节,合理分层分块能有效控制温度应力,避免过大温差导致裂缝。如大体积混凝土浇筑,每层厚度控制在30-50cm,合理安排浇筑顺序,确保混凝土均匀上升,防止冷缝产生。振捣工艺直接关乎混凝土的密实度。采用插入式振捣棒时,应快插慢拔,振捣点均匀布置,间距控制在振捣棒作用半径 1.5 倍以内,振捣时间以混凝土表面不再显著下沉、无气泡逸出为准,一般为20-30 秒,以此保证混凝土内部密实,减少因振捣不实引发的裂缝。施工缝处理是关键。在旧混凝土表面凿毛,清除浮浆、松动石子等杂质,新浇筑混凝土前,先铺一层1-2cm 厚的水泥砂浆,确保新老混凝土

良好结合,增强结构整体性,预防施工缝处裂缝。模板安装与拆除也需规范。模板应具有足够强度、刚度和稳定性,安装牢固,防止浇筑时变形挤压混凝土致裂缝。拆除时间依据混凝土强度确定,以标准养护试块抗压强度达设计强度75%~100%为宜,避免过早拆除使混凝土无法承受自身及施工荷载而开裂。

3.4 温度控制

温度控制在水工结构工程裂缝防治中极为关键。水泥水化热是混凝土内部温度升高的主因,可通过优化配合比,选用低热水泥并合理控制水泥用量来降低。例如在大体积混凝土施工时,优先采用低热矿渣硅酸盐水泥,且将水泥用量控制在合理范围,减少水化热产生。在混凝土浇筑环节,控制浇筑温度能有效降低内部初始温度。在高温季节,可对原材料进行降温处理,如对骨料喷淋冷水、用低温水搅拌混凝土,使混凝土出机温度保持在适宜区间。像一些大型水利工程,通过在骨料堆场搭建遮阳棚、对搅拌用水进行制冷等方式,成功将混凝土浇筑温度降低至25℃以下。冷却水管的埋设是控制混凝土内部温度的有效手段。在大体积混凝土结构内合理布置冷却水管,通循环冷水带走水化热。水管间距依据结构尺寸和温度控制要求确定,一般为1.0~1.5m,通过调节水流量和水温,精准控制混凝土内部温度。冷却水管多采用直径25~32mm的钢管或塑料管,确保冷却效果稳定。混凝土表面保温同样重要。在低温时段或气温骤降时,及时覆盖保温材料,如草帘、棉被、保温板等,减小混凝土表面与内部的温差,降低温度应力。对于长期暴露的水工结构表面,还可采用保温涂层,提高结构的保温性能。

3.5 维护管理加强

加强维护管理是防治水工结构工程裂缝的重要保障。日常巡检不可或缺,安排专业人员定期对水工结构进行全面检查,借助裂缝观测仪等设备,监测裂缝的数量、宽度、长度及深度变化。比如每月对大坝进行一次常规巡检,及时察觉裂缝的萌生与发展,对可能出现

裂缝的关键部位,像结构的薄弱点、应力集中区,重点关注。维护管理中,对水工结构运行状态的监测至关重要。通过安装应变计、渗压计等传感器,实时掌握结构的应力、应变以及渗流情况。若发现应力异常或渗流量增大,极有可能是裂缝发展所致,需即刻分析原因并处理。定期清理水工结构周边杂物,防止其对结构产生额外荷载或阻碍排水,确保排水系统畅通无阻。针对严寒地区的水工结构,冬季来临前,在结构表面铺设保温材料,降低温度变化对结构的影响,减少裂缝产生。同时,根据水工结构的运行年限、工作环境及病害情况,制定合理的维护计划。对运行多年、存在较多裂缝隐患的结构,增加巡检频次,必要时进行结构性能评估,依据评估结果实施修复加固措施,维持水工结构良好的运行状态,有效降低裂缝引发安全事故的风险,延长其使用寿命^[4]。

结语

水工结构工程裂缝问题,严重威胁工程的安全性与耐久性。其成因复杂,温度变化、混凝土收缩、地基变形、荷载作用、施工质量欠佳及材料特性差异等,均是裂缝产生的诱因。防治裂缝,需设计、材料、施工、温度管控与维护管理等多环节协同发力。只有全方位构建防治体系,才能有效抑制裂缝萌生与发展,保障水工结构稳定运行,使其充分发挥防洪、灌溉、供水等关键功能,为水利事业的长远发展筑牢根基,推动社会经济与生态环境的协调共进。

参考文献

- [1]许翔.水工结构工程裂缝成因及防治[J].绿色环保建材,2022(4):214-215.
- [2]路辉.浅析水利工程混凝土裂缝渗透成因及预防措施[J].农技服务,2022,33(1):193.
- [3]许健民.桥梁工程中混凝土裂缝控制与防止措施研究[J].工程技术研究,2019,4(6):74-75.
- [4]齐文军.道路桥梁施工中裂缝的成因与防治措施[J].工程技术研究,2020,5(4):188-189.