

水利工程

水利桥梁空心板裂缝成因及防治措施研究

高玉林

广饶县水利工程公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i3.8789

[摘要] 水利桥梁工程中预应力空心板是承担上部荷载的核心受力构件，混凝土裂缝问题会直接削弱结构承载力、降低耐久性并缩短工程服役周期。文章以水利桥梁预制空心板为研究对象，系统划分裂缝类型并明确表观与分布特征，从结构设计、原材料、配合比、现场施工四个维度深入剖析裂缝产生的核心诱因，结合工程实践提出可落地、可量化的全过程防治技术措施，旨在解决水利桥梁空心板混凝土开裂的共性难题，提升构件抗裂性能与结构整体稳定性，降低后期养护维修成本，为同类水利桥梁工程的空心板设计、预制与质量管控提供可靠技术参考与实践依据。

[关键词] 水利桥梁；空心板；混凝土裂缝；成因分析；防治措施

Research on the causes and prevention measures of cracks in hollow slabs of hydraulic bridges

Gao Yulin

Guangrao County Water Conservancy Engineering Company

[Abstract] In hydraulic bridge engineering, prestressed hollow slabs serve as the core load-bearing components that bear the upper loads. Concrete cracking issues can directly weaken the structural bearing capacity, reduce durability, and shorten the service life of the project. This article takes the prefabricated hollow slabs for hydraulic bridges as the research object, systematically categorizes crack types, and clarifies their apparent and distribution characteristics. It deeply analyzes the core causes of crack formation from four dimensions: structural design, raw materials, mix proportion, and on-site construction. Combined with engineering practice, it proposes practical and quantifiable whole-process prevention and control technical measures. The aim is to solve the common problem of concrete cracking in hydraulic bridge hollow slabs, enhance the crack resistance performance of components and the overall stability of the structure, reduce later maintenance costs, and provide reliable technical references and practical basis for the design, prefabrication, and quality control of hollow slabs in similar hydraulic bridge projects.

[Key words] hydraulic bridge; hollow slab; concrete crack; cause analysis; prevention and control measures

1 水利桥梁空心板裂缝的主要类型与特征

水利桥梁空心板的宏观裂缝多在混凝土浇筑后 24h 内萌生，拆模后沿连接筋、板顶等部位集中出现，不同成因裂缝的形态、尺寸与分布规律存在显著差异，是判断开裂诱因的重要依据。（1）收缩裂缝：多沿构件连接筋呈竖向连续或断续分布，侧面裂缝长度通常为 50~150 mm、宽度介于 0.02~0.08 mm 之间，板顶区域裂缝长度多为 50~100 mm、宽度 0.02~0.12 mm，局部凿开检测可见裂缝深度集中在 0~5 mm 范围，主要由混凝土塑性收缩与硬化阶段干燥收缩共同作用引发，属于早期非结构性裂缝（见图 1）；（2）温度裂缝：主要受水泥水化热释放

与环境温度骤变共同影响，内部高温膨胀与表面快速收缩形成拉应力，裂缝走向多呈不规则网状或条状分布，宽度会随昼夜温差与季节温度变化出现明显开合现象，在构件厚度较大、水化热集中释放的区段更为突出；（3）荷载裂缝：由超出设计限值的外部荷载、结构次应力或预应力张拉偏差诱发，裂缝走向与主拉应力方向保持一致，多出现于板端、跨中及应力集中部位，轻微时为浅表裂缝，严重时发展为贯通性裂缝，直接降低构件承载能力与结构安全度；（4）施工裂缝：由振捣密实度不足、养护不到位、芯模漏气或模板变形等现场操作不当引发，以浅层表面裂缝为主，初期宽度较小、深度较浅，若未

及时封闭处理,会在后期干湿循环与荷载作用下持续向混凝土内部扩展,增大病害风险。

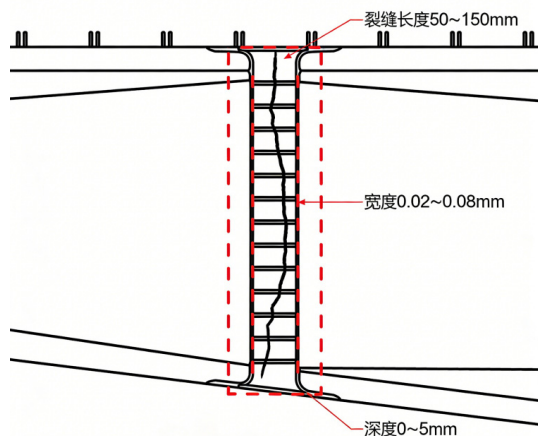


图1 收缩裂缝示意图

2 水利桥梁空心板裂缝成因

2.1 结构设计参数不合理

水利桥梁空心板的构造设计与应力检算是控制裂缝的前置环节,设计偏差会形成先天性开裂隐患。设计阶段若对温度应力、混凝土收缩应力估算不足,构件断面尺寸偏小、构造钢筋配置量不足或布置位置偏移,易造成局部应力集中。预应力筋束弯道未做圆缓处理、零弯矩截面钢筋配置缺失,加之理论检算模型与实际受力工况存在偏差,结构安全系数储备不足,在外部荷载与内部变形应力叠加作用下,空心板板端、转角等部位易率先出现开裂,此类裂缝多呈应力集中型分布特征^[1]。

2.2 原材料质量不达标

混凝土组成材料的性能直接决定空心板的抗裂能力,材料质量失控是诱发早期裂缝的关键诱因。水泥水化热过高会导致混凝土内部与表面产生较大温差,引发温度应力开裂。砂、碎石含泥量超标会破坏骨料与水泥石的胶结界面,降低混凝土强度与抗渗性,进而产生网状浅表裂缝。钢筋配置不合理同样会引发开裂,钢筋用量不足无法有效约束混凝土收缩,局部钢筋过密则会阻碍混凝土正常凝结收缩,两种情况均会导致早期开裂,原材料进场检验缺失会将质量缺陷直接带入成品构件。

2.3 混凝土配合比例失衡

混凝土配合比是调控工作性能与力学性能的核心指标,配比参数失衡会直接引发空心板开裂。水灰比过大易造成混凝土离析,粗骨料下沉、水泥浆上浮至板顶,形成上部强度偏低、下部强度偏高的不均匀结构,顶板薄弱区极易产生收缩裂缝。水泥用量超标会加剧水化热释放,增大混凝土内外温差,未合理掺加减水剂、塑化剂会降低混凝土和易性,振捣成型后内部孔隙较多,收缩变形不均,进而产生塑性收缩与沉降裂缝,施工配合比与设计配比偏差过大是此类问题的主要诱因。

2.4 现场施工管控不到位

施工环节的操作不规范是空心板裂缝产生的直接触发条件,全流程管控缺失会放大前期设计与材料的潜在缺陷。混凝土拌和时间不足会导致混合料均匀性差,搅拌时间过长则会破坏胶凝材料结构,浇筑顺序错误、振捣不实或过振均会引发混

凝土泌水、离析。充气芯模漏气、模板支撑下沉、拆模时机不当,会直接造成混凝土表面开裂。养护不及时、养护周期不足,混凝土表面受日晒、大风影响急剧干燥失水,侧模未采取散热措施导致温差过大,均会促使浅表裂缝快速扩展为深层裂缝^[2]。

3 水利桥梁空心板裂缝的防治措施

3.1 优化结构设计参数管控措施

结构设计阶段需结合水利桥梁的水文、荷载与环境条件,完善空心板细部构造与应力计算,从源头降低开裂风险。设计时应精准核算温度应力与混凝土收缩应力,合理确定构件断面尺寸,构造钢筋优先采用直径 ≤ 12 mm的小直径钢筋,按100~150 mm小间距布置,全截面构造配筋率不低于0.3%。预应力筋束弯道做圆缓过渡处理,零弯矩截面补足构造钢筋,提升检算模型与实际工况的契合度,安全系数按规范上限取值。预埋锚垫板需精准定位,确保垂直于预应力钢绞线孔道中心,孔道按设计坐标固定牢固,端模板预留孔位置偏差控制在2 mm以内。混凝土强度达到设计值100%后方可张拉,张拉时千斤顶作用线与钢绞线轴线重合,采用分批对称张拉,作业环境温度控制在10~34℃,避免温差引发板端开裂。

3.2 强化原材料进场检验管控措施

原材料进场需执行逐批全项检验制度,严格把控材料质量关口,消除先天性开裂隐患。水泥选用低水化热品种,高标号混凝土水泥用量控制在500 kg/m³以内,进场检测安定性、强度与水化热指标,不合格批次严禁使用。细集料采用级配良好的中砂,细度模数大于2.6,含泥量严格控制在2%以下,超标砂料经清洗、筛分合格后方可入场。粗集料选用质地坚硬的碎石,压碎值小于12%,含泥量不超过1%,针片状颗粒含量低于5%,施工前剔除软弱颗粒与杂质。钢筋进场核查规格、力学性能与锈蚀情况,构造钢筋间距、用量严格按设计执行,钢筋保护层厚度采用定位卡具控制,偏差控制在 ± 5 mm以内,通过全流程材料管控,杜绝因质量缺陷引发的裂缝^[3]。

3.3 精准调控混凝土配合比措施

以设计配合比为基准,结合现场温度、湿度与施工工艺动态微调配比参数,保障混凝土抗裂性能达标。严格控制水灰比,禁止现场随意加水,每台班检测混凝土坍落度,偏差控制在 ± 20 mm以内。合理掺加高效减水剂与缓凝塑化剂,减少水泥用量以降低水化热,提升混凝土和易性与保水性。混凝土拌和时间不少于2分钟,采用强制式搅拌机搅拌,确保混合料均匀无结块,泵送施工时严禁通过加水调整稠度。混凝土浇筑选在日温较低时段进行,一次性连续浇筑完成,采用插入式振捣器施工,振捣器移动间距不超过作用半径1.5倍,与侧模保持5~10 cm距离,振捣至混凝土停止下沉、无气泡溢出、表面泛浆后缓慢拔棒,避免过振导致离析,从配比与浇筑环节控制收缩与离析开裂。

3.4 规范现场施工全流程管控措施

施工全过程执行精细化操作标准,覆盖多种关键工序,阻断裂缝萌生与拓展路径。混凝土收浆完成后立即覆盖土工布、保湿棉等材料,同步开启洒水养护,保持表面持续湿润,严禁高温时段裸露暴晒,侧模外部持续喷水散热,将混凝土内外温差控制在25℃以内,养护时长不少于15天(《大体积混凝土施工标准》(GB 50496-2018)中规定,第5.5.1条:保湿养护持续时间不宜少于14d)。采用充气胶囊芯模时,预制前逐

件检查气密性，确保无漏气、无破损，混凝土强度达到 2.5 MPa 后方可抽拔芯模，避免过早抽拔引发顶面开裂。模板与支撑体系须具备足够强度、刚度与稳定性，基础提前压实平整，防止支撑下沉变形，拆模时混凝土强度满足设计要求，采用轻撬慢拆方式，避免强行拆模扰动混凝土。钢筋、预埋件安装后固定牢固，浇筑过程中安排专人看护，防止移位扰动，通过全流程规范施工，有效控制施工裂缝的产生。

4 案例分析

4.1 工程概况

项目区位于东八路两侧，南起广利河，北至黄河大堤南坝，途径溢洪河、永丰河、三排沟、张镇河、小岛河、咸水沟等骨干河道。本工程通过实施河湖湿地连通工程，合理调配水资源，重点优化东八路湿地功能，发挥湿地净化作用，形成河流入海前自然生态屏障，进一步提升入海河流水质。工程建设张振河闸运维交通连接桥，上部承重构件采用预应力混凝土空心板，空心板为预制 C40 混凝土构件（文章是对空心板的研究，应该增加工程案例中，空心板的结构参数，如桥板长度、宽度、跨径、先张 / 后张等核心参数），是保障水库交通通行、日常巡查的核心结构（详见表 1）。该工程空心板施工易受湿度、温度及水利施工环境影响（增加工程所在地湿度、温度等环境参数数据，使其环境具体化），易产生收缩与温度裂缝，需应用全过程裂缝防治技术保障构件质量。

表 1 工程参数表

工程参数	数值/说明
工程名称	东八路湿地改造提升工程张振河闸
工程等级	III等
空心板类型	预应力混凝土空心板
混凝土强度等级	C40
构件功能	方便周边通行
施工环境	湿度大、温差波动明显

4.2 具体应用

结合东八路湿地改造提升工程张振河闸交通连接桥预应力空心板的施工需求，针对库区高湿度、温差大易引发裂缝的问题，将优化设计、材料管控、配比调控、规范施工（空心板多为先张法预制，全文未区分先张 / 后张、预制 / 现浇，措施针对性不足）四项防治措施落地应用，全过程把控空心板预制与安装质量，有效解决水利库区环境下的混凝土开裂难题。

(1) 结构设计优化应用：针对东八路湿地改造提升工程水文荷载与潮湿环境特点，对交通连接桥空心板开展设计精细化优化，精准核算温度应力与混凝土收缩应力，合理调整构件断面尺寸。采用直径 10 mm 的小直径构造钢筋，按 120mm 间距加密布设，全截面构造配筋率提升至 0.35%，有效约束混凝土变形。预应力筋束弯道做圆缓过渡处理，补足零弯矩截面构造钢筋，预埋锚垫板精准定位，孔道预留偏差控制在 2 mm 以内，张拉作业待混凝土强度达标后分批对称实施，从源头消除应力集中引发的开裂隐患。

(2) 原材料质量管控应用：严格遵循东八路湿地改造提升工程原材料管控标准，对空心板预制材料执行逐批全项检验。选用低水化热普通硅酸盐水泥，进场检测安定性、强度指标，杜绝不合格材料入场。细集料采用级配良好的中砂，细度

模数大于 2.6，含泥量控制在 2% 以下；粗集料选用坚硬碎石，压碎值小于 12%，含泥量不超过 1%。钢筋进场核查力学性能与锈蚀情况，用定位卡具控制保护层厚度偏差在 ± 5 mm 内，从材料层面消除先天性开裂缺陷。

(3) 混凝土配合比调控应用：以 C40 空心板设计配合比为基准，结合库区现场温度、湿度动态微调施工配比。严格控制水灰比，严禁现场随意加水，每班检测混凝土坍落度，偏差控制在 ± 20 mm 以内。合理掺加高效减水剂，减少水泥用量以降低水化热，提升混凝土和易性与保水性。采用强制式搅拌机搅拌，拌和时间不少于 2 分钟，选择日温较低时段连续浇筑，规范振捣工艺避免混凝土离析，通过配比精准调控抑制塑性收缩与沉陷裂缝。

(4) 现场施工精细化管控应用：针对东八路湿地改造提升工程施工环境，落实空心板全流程精细化施工管控。混凝土收浆后立即覆盖土工布，持续洒水保湿养护 15 天，侧模外部喷水散热，将混凝土内外温差控制在 25℃（空心板是薄壁构件，应按温控 ≤ 20 ℃ 控制；25℃ 是大体积混凝土标准）以内。充气芯模预制前逐件检查气密性，待混凝土强度达到 2.5 MPa 后缓慢抽拔。模板支撑体系加固稳固，拆模待强度达标后轻撬慢拆，浇筑过程专人看护钢筋与预埋件，严控振捣、养护、抽芯、拆模各工序，彻底阻断施工裂缝的萌生与拓展路径。

4.3 应用效果

本次裂缝综合防治措施在东八路湿地改造提升工程交通连接桥空心板施工中落地实施后，经现场质量检测与验收，各项指标均符合水工混凝土施工规范要求，裂缝防控与结构质量提升效果突出，为交通桥梁安全运行提供了坚实保障。一是空心板裂缝得到精准管控，现场未出现塑性收缩、温度贯通及荷载型有害裂缝，仅存在少量宽度小于 0.05 mm 的浅表微裂缝，远低于规范允许限值（补充具体规范名称及限值），彻底解决了库区高湿度、温差波动大引发的混凝土开裂问题，构件表观质量优良。二是结构耐久性与承载性能显著提升，混凝土强度、抗渗性能均达标，钢筋保护层偏差合格率 100%，无钢筋锈蚀与混凝土劣化隐患，后期养护维修频次与成本大幅降低，空心板服役寿命有效延长，稳定支撑水库运维交通通行需求。

5 结语

综上所述，水利桥梁空心板裂缝是结构设计、原材料、配合比、现场施工多因素耦合作用的结果，不同类型裂缝的诱因、形态与危害程度存在明显差异，需采取针对性、全过程的防控措施实现裂缝有效管控。未来水利桥梁工程建设中，应进一步融合智能监测、数字化管控技术，实时监控混凝土应力、温度与变形数据，构建裂缝早期预警与快速处置体系，持续推动空心板施工质量升级，为水利桥梁工程的长效安全运行提供坚实技术支撑。

[参考文献]

- [1] 马万林. 桥梁工程预应力空心板裂缝原因分析及控制[J]. 企业技术开发: 中旬刊, 2013, 32(11): 138-139
- [2] 郑鹏. 桥梁工程预应力空心板裂缝原因及解决措施[J]. 交通世界, 2016(30): 68-69