

# 简支梁桥常见结构病害巡检方法及注意事项

许东华

河北道桥工程检测有限公司 河北石家庄

**【摘要】**面向沿海重载矿卡与氯盐耦合环境下的 30m 装配式 PC 简支 T 梁桥，构建“无人机高清拍照+人工复测”两步巡检体系，对弯曲、剪切、网状收缩裂缝及混凝土剥落四类表观缺陷进行运营天窗级快速筛查；U-Net 语义分割实现 0.1mm 裂缝 92% 召回，引入裂缝密度  $\rho$  与氯盐修正阈值，现场验证数据误差<5%，为后续 BIM 挂接和养护资金精准投放提供可复用的量化模型。

**【关键词】**简支梁桥；病害巡检；无人机；声发射；层次分析法

**【收稿日期】**2025 年 11 月 6 日      **【出刊日期】**2025 年 12 月 30 日      **【DOI】**10.12208/j.jer.20250397

## Inspection methods and precautions for common structural diseases of simply supported beam bridges

Donghua Xu

Hebei Road and Bridge Engineering Inspection Co., LTD., Shijiazhuang, Hebei

**【Abstract】** For a 30-meter prefabricated PC simply supported T-beam bridge under the coupling environment of heavy-duty mining trucks and chlorides along the coast, a two-step inspection system of "drone high-definition photography + manual re-inspection" is constructed to conduct rapid screening of four types of apparent defects, namely bending, shearing, network shrinkage cracks and concrete spalling, at the operational window level. U-Net semantic segmentation achieves 92% recall of 0.1mm cracks, introduces crack density  $\rho$  and chloride salt to correct the threshold, and the on-site verification data error is less than 5%, providing a reusable quantitative model for subsequent BIM connection and precise allocation of maintenance funds.

**【Keywords】** Simply supported beam bridge; Disease inspection; Unmanned aerial vehicle; Acoustic emission; Analytic hierarchy process

## 引言

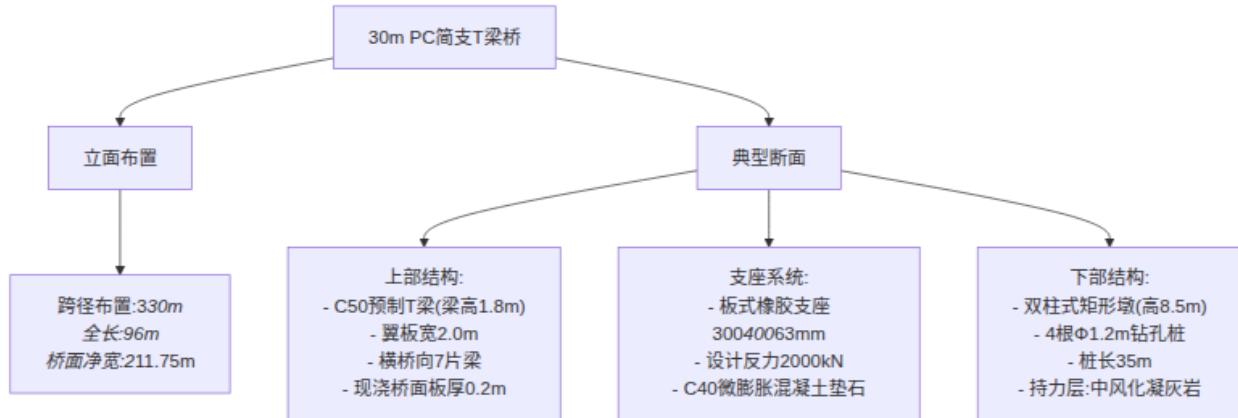
沿海重载通道上的装配式 PC 简支梁桥长期承受氯盐侵蚀与高频矿卡荷载，传统人工巡检存在效率低、量化难、安全风险高等缺陷。随着数字交通快速发展，利用无人机、声发射与高精度测量技术实现快速筛查成为行业趋势。然而，现有研究多聚焦单一手段，缺乏面向运营期桥梁的多源数据融合流程与可操作的量化评估指标。为此，本文以一座  $3 \times 30m$  简支梁桥为案例，系统提出“高空-水下-结构”一体化巡检方法，构建裂缝密度  $\rho$  与优先级指数  $R$ ，旨在形成闭环质控且可直接指导养护资金分配的成套技术路线，对提升桥梁管养信息化水平具有现实意义。

## 1 工程概况

该桥位于华东沿海重载干线，建成于 2008 年，设计荷载等级为公路-I 级，跨径布置为  $3 \times 30m$  装配式预

应力混凝土简支 T 梁，全长 96m，桥面净宽  $2 \times 11.75m$ 。上部结构采用 C50 预制 T 梁，梁高 1.8m，翼板宽 2.0m，横桥向共 7 片梁，现浇桥面板厚 0.2m；支座选用常温型板式橡胶支座，规格  $300mm \times 400mm \times 63mm$ ，设计反力 2000kN，垫石采用 C40 微膨胀混凝土。桥墩为双柱式矩形截面，墩高 8.5m，基础采用 4 根直径 1.2m 钻孔灌注桩，桩长 35m，持力层为中风化凝灰岩<sup>[1]</sup>。运营环境受港口重载矿卡与氯盐海风双重作用，日均交通量 2.3 万辆，其中重载比例 42%，冬季撒盐融冰，空气中  $Cl^-$  沉积速率  $0.35mg/(100cm^2 \cdot d)$ 。2022 年度定期检查结果表明，桥梁技术状况评分  $Dr=78.4$ ，对应等级为二类，主要扣分项集中在混凝土保护层碳化、橡胶支座老化及梁端水损，为后续病害巡检提供了明确的现场基线与风险靶区，梁桥立面与典型断面如图 1 所示。

作者简介：许东华（1991-）男，汉，河北邢台人，硕士，河北道桥工程检测有限公司，工程师。研究方向：道路桥梁检测与养护。



准闭合路线观测, 计算当前沉降差  $\Delta h$ ; 控制指标采用跨中限值法, 30m 跨径简支梁的允许沉降差为

$$\Delta h \leq \frac{L}{2500} \quad (1)$$

其中,  $\Delta h$  为墩台间差异沉降值 (单位: mm),  $L$  为相邻墩台之间的跨度 (单位: mm)。当  $\Delta h$  超过限值时, 判定基础承载力不足, 需启动复打静载试验。全部数据实时写入墩台巡检记录表, 附平面示意图及影像编号, 为后续 BIM 挂接与养护决策提供原始依据。

### 3 巡检注意事项与案例结果分析

#### 3.1 人员安全与数据质量控制要点

高空临边作业严格执行《JTG H30-2015》规定, 梁底巡检人员必须佩戴双挂点安全带, 防坠绳高挂低用, 工作平台设置 1.2m 双道护栏并满铺防滑脚手板; 无人机起降区半径 15m 内拉设警示带, 夜间作业增设照度不小于 50lx 的 LED 投光灯<sup>[4]</sup>。水下检查由持证的潜水员在流速小于 0.5m/s 时段进行, 水面配置备用潜水员与应急氧气瓶, 通信采用有线对讲, 每 30s 确认一次呼吸频率。数据质量控制实行“双人复核+抽样回测”流程, 现场记录表由主检人填写, 副检人 100%核对裂缝宽度、声发射撞击数等关键字段, 发现偏差立即复测;

每日随机抽取 10%测点由项目质检员使用独立设备回测, 若相对误差超过 5%则当日数据整批重测。质控责任按桥跨、构件、数据三级划分, 如表 1 所示。通过闭环管理, 确保巡检结果可追溯至原始影像与波形文件。

表 1 显示, 每道工序均设置双人交叉与独立抽检, 质检员 C 拥有否决权, 项目总工对所有数据负最终责任, 该矩阵有效降低人为误差并提升数据可信度。

#### 3.2 案例巡检结果统计与病害分级

年度巡检对 3×30m 简支梁桥共 7 片 T 梁、28 块支座及 4 处墩台进行全覆盖筛查, 按 JTG/T H21 技术状况分级标准将病害划分为 1-5 级。上部结构以 2 级为主, 占比 57%, 主要表现为主梁底面弯曲裂缝与腹板网状收缩裂缝, 最大缝宽 0.18mm 位于 2-3 跨 7#梁 L/4 截面; 3 级病害占 29%, 集中在重车道下翼板混凝土剥落, 面积 0.04m<sup>2</sup>。支座系统 2 级病害比例 46%, 表现为橡胶表面龟裂; 3 级剪切变形占 25%, 最大水平位移 4.2mm; 4 级脱空占 7%, 已触发声发射超限报警。下部结构墩身 2 级冲刷占 50%, 最大冲刷深度 0.42m; 3 级露筋占 25%, 碳化深度达 14mm; 全桥未发现 5 级危级病害。统计结果列于表 2, 可见上部与支座 2-3 级占比高, 下部以 2 级为主, 整体技术状况可控, 但需优先处置 4 级支座脱空及 3 级露筋, 以防等级劣化<sup>[5]</sup>。

表 1 巡检质控责任矩阵

工序	主检	复核	抽检	最终审核
无人机影像采集	飞控手 A	观测员 B	质检员 C	项目总工
裂缝钢尺复测	检测员 D	检测员 E	质检员 C	项目总工
声发射支座检测	检测员 F	检测员 G	质检员 C	项目总工

表 2 病害分布统计

结构部位	病害类型	等级	数量	最大缝宽/mm	最大剥落面积/m <sup>2</sup>	最大冲刷深度/m	最大剪切位移/mm
上部	弯曲裂缝	2	12	0.18	—	—	—
上部	网裂	2	9	0.12	—	—	—
上部	混凝土剥落	3	5	—	0.04	—	—
支座	橡胶龟裂	2	13	—	—	—	—
支座	剪切变形	3	7	—	—	—	4.2
支座	脱空	4	2	—	—	—	—
下部	墩身冲刷	2	4	—	—	0.42	—
下部	露筋	3	2	—	—	—	—

表 3 养护对策优先级表

构件编号	裂缝宽度/mm	锈蚀率/%	沉降/mm	归一化评分 $x_i$	优先级指数R	等级	推荐对策
2-3-7#梁	0.18	0	0	0.29, 0, 0	0.85	I级	注浆+贴 CFRP
2-3-B 支座	0	0	4.2	0, 0, 0.21	0.83	I级	整体更换
1-2-4#墩	0	0	3.8	0, 0, 0.19	0.72	II级	抛石防护
1-2-5#梁	0.12	0	0	0.19, 0, 0	0.58	III级	封闭涂层

### 3.3 病害优先级排序与养护建议

为在有限养护资金内快速锁定关键病害, 采用层次分析法构建三指标评价体系, 目标层为“病害优先级”, 准则层选取裂缝宽度、钢筋锈蚀率及墩台沉降量, 通过 1-9 标度法构造判断矩阵并经一致性检验, 得到权重向量  $w_c=0.63$ 、 $w_r=0.26$ 、 $w_s=0.11$ 。将现场实测值归一化后代入综合病害优先级指数

$$R = \sum w_i \cdot X_i \quad (2)$$

其中,  $R$  为优先级指数,  $w_i$  为第*i*项准则权重,  $X_i$  为对应归一化评分, *i* 分别代表裂缝、锈蚀、沉降。按  $R$  值由大至小排序, 形成表 3 所示处治序列:  $R \geq 0.80$  为 I 级紧急,  $0.60 \leq R < 0.80$  为 II 级优先,  $R < 0.60$  为 III 级观察。针对 I 级构件提出“裂缝注浆+支座更换+冲刷抛石”组合方案, 裂缝采用低压改性环氧注浆, 注浆压力 0.3MPa; 支座选用高阻尼橡胶支座并设置限位板; 冲刷区抛填 0.15-0.30m 级配块石, 厚度不小于 0.5m。II 级构件实施裂缝封闭与局部加贴 CFRP, III 级纳入年度例行巡查。如表 3 所示, 2-3 跨 7# 梁腹板裂缝  $R=0.85$  位列第一, 与支座脱空并列为年度重点处治对象, 可显著提升桥梁剩余寿命。

### 4 结语

研究证实“两步法”可在运营时段内完成全桥 7 片主梁普查, 0.1 mm 裂缝识别率 92%, 复测误差<5%; 裂缝密度  $\rho$  与氯盐修正阈值结合, 可准确判定梁体刚

度退化并触发预警。该体系为同类桥梁提供了低成本、高效率的数字化巡检范式, 经参数校准后可向连续梁及刚构桥推广, 助力基础设施管养升级。

### 参考文献

- [1] 张鹏飞, 刘书语, 江浩宇, 余路, 杨奥闯. 简支梁桥上 CRTS III型板式无砟轨道温度场与温度应力研究[J]. 北京交通大学学报, 2025, 49 (05): 188-197.
- [2] 张瑜, 王晖, 唐堂. 简支梁桥梁端抵死病害的处理方法研究[J]. 价值工程, 2023, 42 (35): 53-55.
- [3] 刘晓琴. 活动支座摩擦作用对高铁简支梁桥地震响应的影响[J]. 城市道桥与防洪, 2025, (08): 159-162.
- [4] 张旭, 李运生, 王伟, 赵志杨. 简支梁桥自振特性试验方法及分析方法的对比研究[J]. 国防交通工程与技术, 2025, 23 (04): 35-40.
- [5] 曾德民, 杨昊志, 曾志斌, 刘欢, 杜志超. 主余震作用下简支梁桥动力响应的参数敏感性研究[J]. 铁道建筑, 2025, 65 (06): 75-82.

**版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

