

预制箱梁混凝土浇筑过程中振捣质量控制研究

梁家启 贾磊

中铁三局集团有限公司 山西太原 030002

DOI: 10.32629/ems.v8i8.21566

[摘要] 混凝土的密实度影响着混凝土耐久性与结构的整体稳定性，决定铁路线路运营安全与使用寿命。振捣作为混凝土施工过程中的核心关键工序，是消除结构内部空隙、排出气泡、保障混凝土成型质量的关键环节。本文以铁路工程主要构件箱梁为研究对象，系统分析当前混凝土振捣施工的质量现状与突出问题，探究采用可视化智能振捣技术的应用路径，提高混凝土振捣质量，为铁路桥梁混凝土施工质量管控提供参考与借鉴。

[关键词] 混凝土浇筑；振捣施工；质量控制；可视化监测；箱梁

[Abstract] Concrete compactness is a core index to ensure structural strength, durability and overall stability, which directly affects the construction quality of railway bridge projects and the long-term operation safety of railway lines. As a key process in concrete pouring construction, vibration can effectively discharge internal air bubbles, eliminate void defects, ensure dense concrete forming, and avoid common quality problems such as honeycomb, pitted surface, cavities and layered segregation. Railway box girders are typical thin-walled prestressed concrete components with complex structural forms, dense steel bar arrangement, and strict standards for appearance and durability, which put forward extremely high requirements for the precision of vibration construction technology. Taking the concrete pouring construction of railway box girders as the core research object, this paper systematically sorts out the current quality status of box girder concrete vibration construction, deeply analyzes prominent problems existing in manual vibration, including insufficient vibration, over-vibration, non-standard vibration parameters and inadequate process management. It mainly explores the application ideas and implementation paths of visualized intelligent vibration technology in box girder construction. By adopting digital and visualized management means to optimize vibration technology and accurately control construction parameters, the compactness and forming quality of box girder concrete are effectively improved. The research results can provide references for the refined quality control of concrete vibration, construction technology optimization and the promotion of intelligent construction technology for railway box girders.

[Key words] Concrete Pouring; Vibration Construction; Quality Control; Visual Monitoring; Railway Box Girder

1. 当前混凝土振捣质量概况及存在的问题

随着我国高速铁路建设标准不断提高，对混凝土密实度、外观质量、抗渗耐久性要求极高。现阶段铁路施工普遍采用插入式振捣器为主、附着式振捣器为辅的振捣作业模式。混凝土振捣高度依赖作业人员施工经验，人工操作的随机性、

不规范性，导致振捣质量离散性较大，精细化管控水平难以匹配高铁高标准建设要求，各类细微质量缺陷时有发生。

笔者结合自身工作经历及铁路预制箱梁现场调研情况，

当前箱梁混凝土振捣施工主要存在四大类问题。

第一，漏振与欠振问题频发。箱梁腹板与倒角位置钢筋

排布复杂、空间狭窄，作业人员振捣点位覆盖不全，振捣时间不足，导致混凝土内部残留气泡、空隙，出现蜂窝、麻面、空洞等缺陷，降低混凝土密实度与结构承载力，长期运营易引发渗水、钢筋锈蚀等隐患。

第二，过振病害普遍存在。部分作业人员为规避漏振风险，盲目延长振捣时间、加密振捣频次，违反“快插慢拔”施工原则。过振会造成混凝土骨料下沉、砂浆上浮，引发分层离析，导致结构表面起皮、开裂，同时破坏混凝土原有配合比性能，大幅降低结构耐久性，尤其对箱梁薄壁结构的抗裂性能影响显著。

第三，振捣操作规范性不足，工序管控松散。施工现场普遍存在振捣棒随意插拔、移动间距超标、插入深度不足、搭接长度不够等违规操作。箱梁振捣不均匀，出现局部密实度差异，影响结构整体受力稳定性。

第四，质量管控手段滞后，缺乏动态监测。传统振捣质量完全依靠人工肉眼判断、经验把控，无量化数据支撑，振捣时长、振捣频率、插入深度、作业点位等关键参数无法实时记录，施工过程不可追溯。

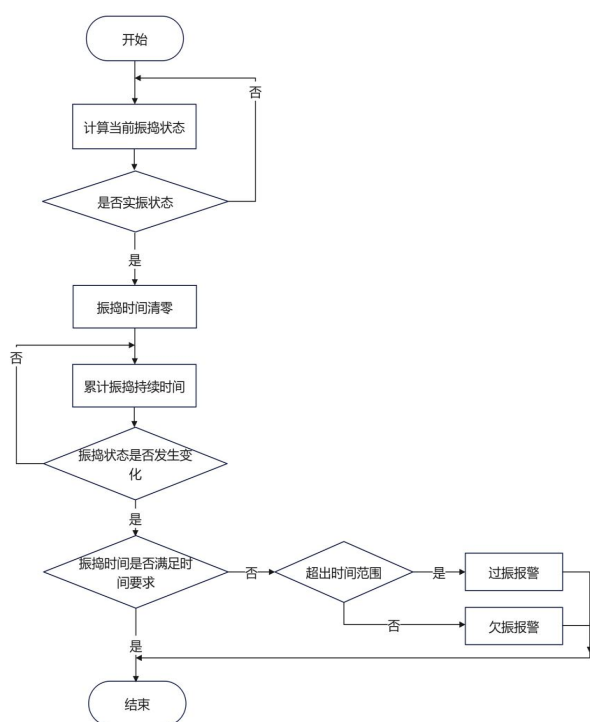


图1 振捣状态实时监测流程图

2. 混凝土可视化振捣质量控制系统简介

针对箱梁结构特点，在振捣棒上设置惯性测量单元（Inertial Measurement Unit 以下简称 IMU）传感器，通过 IMU 在混凝土中实振及空振时的惯性加速度的不同，判断振捣棒在该位置的作业时间，通过作业时间判断该位置混凝土的欠振、振捣及过振情况，通过数据传输单元（Data Transfer Unit，以下简称 DTU）将串口或者其他类型接口的数据转换成适合无线网络传输的数据格式，并通过通信网络将数据发送到远端服务器，同时也能够接收服务器下发的指令并将之转化为相应的控制信号。

3. 混凝土可视化振捣系统组成

可视化振捣监测系统依托 UWB 超宽带定位技术、惯性传感技术、无线数据传输技术搭建，由前端传感设备、数据传输终端、后台可视化管理平台等部分组成。在振捣棒内置高精度传感器，可实时采集振捣深度、振捣时长、振捣频率、作业位置、移动轨迹等核心参数，数据实时上传至后台平台，实现振捣全过程数字化、可视化呈现。

3.1 振捣棒定位算法及定位子系统：

利用 UWB 超宽带技术和 IMU 惯性测量单元实现的振捣棒精确定位算法，通过三边测量或多边定位技术，结合无损卡尔曼滤波算法进行数据融合，计算出振捣棒在三维空间中的精确位置轨迹。定位子系统负责接收和处理来自 UWB 基站和其他传感器的数据，确保实时、准确地反映出振捣棒在混凝土浇筑过程中的位置变化。

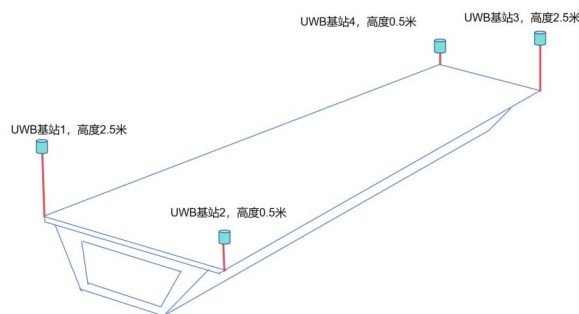


图2 基站布置图

3.2 振捣时间计算子系统

根据振捣棒的移动轨迹、速度以及振捣规律，该子系统计算每一点的振捣时间和累积振捣时间。通过对振捣过程中的时间节点和振捣持续时间的精确记录，可以确保混凝土达到规定的振捣标准，避免出现欠振或过振的情况。

3.3 3D 可视化子系统：

将振捣棒的实际位置数据及其他相关信息转化成三维图形，通过 Three.js 等三维渲染技术在电脑或手机显示屏上实时展示振捣棒在箱梁或其他结构内部的运动轨迹。不同颜色或纹理可代表振捣状态，如振捣不足、正常振捣和过度振捣区域，为施工人员提供直观的视觉参考。



图三 现场试验

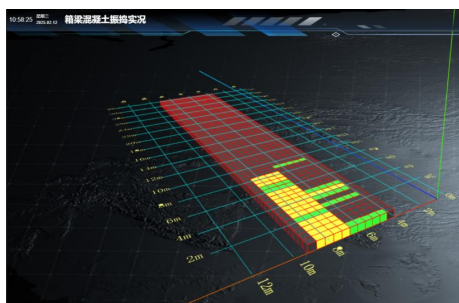


图4 可视化效果

3.4 质量评价子系统：

根据振捣时间和空间位置信息，质量评价子系统对混凝土振捣质量进行全面评估。系统根据预设的工程标准和振捣

准则，分析振捣区域的覆盖程度、振捣时间合理性以及振捣效果的均匀性等参数，对整个混凝土浇筑区域的密实度和质量进行量化评价。当检测到不符合要求的区域时，会发出警告，并提供优化建议，帮助操作人员及时调整振捣策略，确保工程质量达标。同时，该子系统还可以生成详细的振捣质量评估报告，用于后期审查和质量追溯。

4. 混凝土可视化振捣系统应用成效

可视化振捣系统在金建高铁金华梁场进行了大量的试验研究。对比发现传统振捣质量管控依赖人工经验，存在主观性强、数据缺失、过程不可追溯等短板，可视化智能振捣技术可实现振捣过程动态监测、参数量化、隐患实时预警，是解决铁路混凝土振捣质量管控难题的核心技术路径。

通过可视化振捣管控，彻底摆脱人工经验依赖，实现振捣质量标准化、量化管控。对比传统施工模式，可有效控制混凝土的漏振过振现象，降低混凝土蜂窝、麻面、空洞、裂缝等缺陷发生率，大幅提升箱梁混凝土密实度与外观质量

结语

混凝土振捣质量是铁路桥梁工程混凝土施工质量的核心关键，直接关系工程结构安全与使用寿命。通过混凝土可视化振捣技术，可有效解决依赖作业人员施工经验，人工操作的随机性、不规范性的问题；可直观实施观测、监测混凝土的振捣情况，并及时提出纠正建议，有效提高箱梁混凝土施工质量。未来，随着智能建造技术的不断迭代升级，铁路混凝土振捣施工将实现全流程可视化、智能化管控，为我国铁路工程高质量发展提供有力支撑。

[参考文献]

- [1] 刘亚洁. 基于立体视觉的混凝土振捣质量监测系统的开发 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2024.
- [2] 鹿存福. 如何控制桥梁工程预制 T 梁施工质量[J]. 价值工程. 2018, (30).