

先简支后结构连续桥梁施工技术研究

梁凯

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/UAID.2025020032

摘 要 : 先简支后结构连续桥梁结合了简支梁施工便捷与连续梁受力合理的优势, 在公路、铁路工程中应用广泛。本文以实际工程案例为依托, 系统分析该类桥梁的结构特点、关键施工技术及质量控制要点, 每个论点均辅以具体工程实例与数据支撑, 探讨了预制梁安装、湿接缝施工、体系转换等核心环节的技术要点, 旨在为同类桥梁工程提供实践参考。

关 键 词 : 先简支后连续; 桥梁施工; 体系转换; 湿接缝; 预制梁

Research on the Construction Technology of Continuous Bridges with Simple Support First and then Structure

Liang Kai

Zhejiang Provincial Hongtu Transportation Construction Co., LTD. Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : The continuous bridge that is simply supported first and then structured combines the advantages of convenient construction of simply supported beams and reasonable force application of continuous beams, and is widely used in highway and railway engineering. Based on actual engineering cases, this paper systematically analyzes the structural features, key construction techniques and quality control points of this type of bridge. Each argument is supported by specific engineering examples and data. It discusses the technical key points of core links such as prefabricated beam installation, wet joint construction and system conversion, aiming to provide practical references for similar bridge projects.

Keywords : simple branch first, then continuous; bridge construction; system transformation; wet joint; prefabricated beam

前言

随着我国交通建设的快速发展, 桥梁工程对结构受力合理性、施工经济性的要求不断提高。先简支后结构连续桥梁作为一种组合式结构, 先按简支梁形式预制、安装, 再通过湿接缝、负弯矩区张拉等工序实现结构连续, 兼具简支梁“工厂化预制、施工速度快”和连续梁“行车平稳、受力均匀”的优点, 已成为中小跨径桥梁的主流形式之一。

据统计, 在我国高速公路桥梁中, 先简支后连续结构占比达40%以上。例如, 某高速公路项目共设桥梁28座, 其中20座采用先简支后连续结构, 最大跨径30m, 总长约8km, 较全连续梁方案节约造价15%, 缩短工期20%。但该结构施工工序复杂, 体系转换过程中易出现桥面开裂、支座脱空等问题。某桥梁工程因湿接缝施工质量不足, 运营3年后出现连续梁体纵向裂缝, 维修费用达500万元。因此, 深入研究先简支后结构连续桥梁的施工技术, 对保障工程质量、提升结构耐久性具有重要意义。本文结合国内10余个典型工程案例, 从结构特点、关键施工技术及质量控制三个方面展开研究。

一、先简支后连续桥梁的结构特点及受力影响

(一) 分阶段受力特征明显

先简支后连续桥梁在施工阶段(简支状态)和运营阶段(连续状态)的受力模式截然不同, 施工阶段梁体承受正弯矩为主, 运营阶段连续段承受负弯矩, 需通过合理的施工工艺实现受力转换。

例如: 某30m跨先简支后连续梁桥, 施工阶段(简支状态)通过支座受力, 跨中最大正弯矩达1800kN·m; 体系转换后(连

续状态), 支点处产生负弯矩1200kN·m, 跨中正弯矩降至900kN·m, 受力更均匀, 验证了分阶段受力特征; 某高速公路桥梁施工监测显示, 简支阶段梁体跨中挠度达25mm, 支点处挠度为0; 连续化后, 跨中挠度减少至12mm, 支点处出现-5mm(上拱)的挠度变化, 体现了受力模式的转变。

(二) 结构刚度逐步提升

该类桥梁的整体刚度并非预制梁安装后即形成, 而是随湿接缝浇筑、预应力张拉等工序逐步提升, 其中连续段(湿接缝及负弯矩区)的施工质量直接决定整体刚度。

例如：某20m跨桥梁施工过程中，预制梁安装完成后（简支状态），整体纵向刚度为 $5.2 \times 10^4 \text{ kN/m}$ ；湿接缝浇筑完成后，刚度提升至 $7.8 \times 10^4 \text{ kN/m}$ ；负弯矩区预应力张拉后，刚度达 $1.2 \times 10^5 \text{ kN/m}$ ，连续段施工使整体刚度提升130%；某桥梁因连续段混凝土强度不足（设计C50，实际检测C42），运营中整体刚度较设计值低15%，跨中最大挠度超出规范限值8mm，需进行加固处理。

（三）支座受力需重新分布

施工阶段采用临时支座承受梁体自重，体系转换后由永久支座承担整体荷载，转换过程中支座受力需重新分布，易出现局部受力集中。

例如：某桥梁在体系转换前，临时支座承受的最大反力为800kN；转换后，永久支座最大反力为950kN（因连续段自重叠加），且靠近连续段的支座反力比简支阶段增加20%，需提前验算永久支座承载力；某工程因临时支座拆除顺序不当，体系转换时3号永久支座出现瞬时超载（反力达设计值的1.5倍），导致支座变形超标，不得不更换支座，延误工期5天。^[1]

二、先简支后连续桥梁关键施工技术

（一）预制梁工厂化预制技术

预制梁工厂化预制是保证后续施工质量的基础，需从模板选型、钢筋加工、混凝土浇筑到养护全程把控，确保梁体几何精度与结构强度。模板采用整体式定型钢模（面板厚度不小于12mm，肋板间距 $\leq 50 \text{ cm}$ ），通过数控切割下料与焊接，保证模板平整度误差 $\leq 2 \text{ mm/m}$ ，拼缝间隙 $\leq 1 \text{ mm}$ ；钢筋加工采用自动化生产线，主筋采用数控弯曲机成型（偏差 $\leq 1 \text{ d}$ ），预应力孔道采用塑料波纹管（直径误差 $\pm 2 \text{ mm}$ ），并通过定位钢筋（间距50cm）固定，确保孔道坐标偏差 $\leq 3 \text{ mm}$ 。混凝土选用级配良好的骨料（含泥量 $\leq 1\%$ ），掺加高效减水剂（减水率 $\geq 20\%$ ），采用泵送连续浇筑（分层厚度30cm），插入式振捣棒（直径50mm）振捣至表面泛浆，初凝前进行二次压光，覆盖土工布洒水养护（保持湿润7天），蒸汽养护时控制升温速率 $\leq 10^\circ \text{ C/h}$ 。^[2]

例如：某预制梁场生产30mT梁时，应用上述技术，梁长偏差控制在 $\pm 3 \text{ mm}$ ，梁高偏差 $\leq 2 \text{ mm}$ ，预应力孔道平顺度误差 $\leq 1 \text{ mm/m}$ ，安装时湿接缝钢筋对齐率达98%；另一梁场因模板刚度不足（肋板间距80cm），梁体跨中挠度偏差达15mm，需机械矫正后才能安装；某工程通过“骨料预热（ 50° C ）+热水拌合（ 80° C ）”冬季施工技术，使预制梁 -10° C 环境下3天强度达设计值75%，较常规冬季施工缩短养护时间4天，且混凝土抗冻等级达F200。

（二）梁体架设精准对位技术

梁体架设需实现空间精准定位，确保梁体轴线、高程与设计一致，为湿接缝施工创造条件。架设前需完成支座垫石施工（高程偏差 $\leq 5 \text{ mm}$ ，平整度 $\leq 2 \text{ mm}$ ），并采用全站仪（精度 $2 \text{ mm}+2 \text{ ppm}$ ）测设梁体平面位置与高程控制点，支座顶面铺设1:2环氧树脂砂浆（厚度5–10mm）找平。采用双导梁架桥

机（起重能力不小于梁体自重的1.2倍）吊装，起吊时梁体两端高差 $\leq 5 \text{ cm}$ ，就位时通过架桥机纵移、横移微调（控制精度 $\pm 1 \text{ mm}$ ），确保梁体轴线偏差 $\leq 5 \text{ mm}$ ，相邻梁端间距（湿接缝宽度）偏差 $\pm 10 \text{ mm}$ ，梁顶高程偏差 $\leq 5 \text{ mm}$ 。就位后立即采用钢斜撑（截面 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ）与横向限位装置固定，斜撑与地面夹角 60° ，确保梁体横向位移 $\leq 2 \text{ mm}$ 。^[3]

例如：某桥梁架设25m箱梁时，应用该技术，单片梁对位时间控制在40分钟内，全联梁体轴线累计偏差 $\leq 8 \text{ mm}$ ，梁端错台 $\leq 3 \text{ mm}$ ；某项目因未设横向限位，浇筑湿接缝时梁体横向位移达12mm，导致湿接缝钢筋搭接长度不足，需补焊处理；某工程在梁体与临时支座间设置5mm厚四氟滑板（摩擦系数 ≤ 0.06 ），体系转换时梁体自由伸缩，避免产生附加应力；未设滑板的段落，梁体伸缩受阻，临时支座出现局部压裂，最大裂缝宽度0.5mm。

（三）湿接缝刚性连接施工技术

湿接缝是实现梁体从简支到连续的关键结构，需通过界面处理、钢筋连接、混凝土浇筑与养护等环节，确保连接刚性与整体性。梁端结合面采用液压凿毛机（冲击力 $\geq 300 \text{ N}$ ）处理，凿毛深度5–10mm，露出新鲜骨料面积 $\geq 70\%$ ，边角5cm范围内重点凿毛，处理后用高压水（压力 $\geq 2 \text{ MPa}$ ）冲洗干净，去除浮渣与粉尘。钢筋连接优先采用绑扎搭接（长度 $\geq 35 \text{ d}$ ），受拉区接头面积百分率 $\leq 25\%$ ，受压区 $\leq 50\%$ ，搭接处用铁丝绑扎（间距 $\leq 20 \text{ cm}$ ）；直径 $\geq 25 \text{ mm}$ 的钢筋采用机械连接（套筒挤压或直螺纹），接头外露丝扣2–3牙。模板采用定型钢模（厚度6mm），与梁体间隙用海绵条密封，防止漏浆，支撑采用满堂脚手架（步距1.2m），立杆下垫5cm厚木板。混凝土采用C50微膨胀混凝土（膨胀率 $2-4 \times 10^{-4}$ ），掺加聚丙烯纤维（长度12mm，掺量 0.9 kg/m^3 ），通过串筒下料（自由落差 $\leq 2 \text{ m}$ ），插入式振捣棒（直径30mm）振捣，振捣时间15–30s，直至混凝土表面泛浆、不再下沉。浇筑完成后覆盖土工布洒水养护（保持湿润14天），夏季覆盖遮阳网（避免温度骤升），冬季采用棉被覆盖保温（确保养护温度 $\geq 5^\circ \text{ C}$ ）。^[4]

例如：某桥梁湿接缝施工中，应用该技术，28天混凝土抗压强度达58MPa，结合面抗剪强度4.2MPa（设计值3.5MPa）；某项目因凿毛深度仅2mm，结合面抗剪强度仅2.8MPa，低于设计值，不得不采用植筋加固；某工程通过预埋测温线监测，湿接缝混凝土内外温差控制在 20° C 以内，未出现温度裂缝；另一项目因未控温，温差达 38° C ，表面出现0.3mm裂缝，采用环氧树脂注浆修补，每延米增加费用1200元。

（四）负弯矩区预应力张拉技术

负弯矩区预应力张拉是实现体系转换的核心工序，需通过孔道准备、设备调试、分级张拉与压浆等步骤，确保预应力有效建立。张拉前清理孔道（用 $\phi 18$ 通孔器往返拉动），去除杂物与积水，安装工作锚（夹片外露长度2–3mm）、限位板与千斤顶，千斤顶与孔道轴线同心（偏差 $\leq 2^\circ$ ）。采用智能张拉系统（压力精度 $\pm 1\%$ ，位移精度 $\pm 0.1 \text{ mm}$ ），按“先长束后短束、对称同步”原则张拉，张拉控制力分5级加载（ $0 \rightarrow 20\% \sigma_{\text{con}} \rightarrow 50\% \sigma_{\text{con}} \rightarrow 80\% \sigma_{\text{con}} \rightarrow 100\% \sigma_{\text{con}}$ ），每级持荷2分钟，最后一级持荷

5分钟。实时监测钢绞线伸长量，实际伸长值与理论值偏差控制在 $\pm 6\%$ 内，超出时立即停止，检查孔道是否堵塞、锚具是否滑移。张拉完成后24小时内进行孔道压浆，采用真空辅助压浆工艺（真空度 -0.06 至 -0.1MPa ），水泥浆水胶比 0.35 – 0.4 ，掺加阻锈剂，压浆压力 0.5 – 0.7MPa ，稳压3分钟，确保孔道饱满。

例如：某30m连续梁负弯矩张拉时，理论伸长量200mm，实际测量195mm（偏差 -2.5% ），符合要求；某项目因孔道漏浆堵塞，实际伸长量仅150mm（偏差 -25% ），不得不通孔后重新张拉，延误工期3天；某工程通过智能张拉系统实现4束钢绞线同步张拉，应力偏差 $\leq 3\%$ ，较人工张拉（偏差 $\pm 10\%$ ）大幅提升精度，且预应力损失率降低至5%以内。

三、先简支后连续桥梁施工质量控制

（一）支座安装保精度

支座安装高程直接影响梁体受力，需通过精密抄平、临时固定、注浆锚固确保精度，永久支座顶面高程偏差应 $\leq 2\text{mm}$ 。

例如：某桥梁采用“全站仪定位+不锈钢调平钢板”安装支座，高程偏差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内，体系转换后支座受力均匀；另一项目因支座高程偏差达8mm，导致梁体出现横向倾斜，运营后3号墩支座过早老化；某工程对永久支座采用压力注浆锚固（注浆压力 0.3 – 0.5MPa ），确保支座与垫石间隙填充率100%；而未注浆的支座，1年后出现松动，支座与垫石间隙达3mm，需返工处理。^[5]

（二）预应力张拉双控

预应力张拉需同时监控油表读数（应力）与钢绞线伸长量，两者偏差超6%时需暂停检查，避免张拉不足或超张拉。

例如：某30m连续段张拉时，理论伸长量为150mm，实际测量为145mm（偏差 -3.3% ），符合要求；而某桥梁因孔道摩阻系数计算错误，实际伸长量仅120mm（偏差 -20% ），发现后重新进行孔道清理与张拉，挽回结构隐患；某工程采用智能张拉系统（精度 $\pm 1\%$ ），使50束钢绞线的应力偏差控制在 $\pm 3\%$ 内，而人

工张拉的段落偏差达 $\pm 8\%$ ，证明智能系统的优势。

（三）桥面系施工控时机

桥面系（铺装、护栏）施工荷载易使未完全受力的连续段产生附加应力，需在体系转换完成、混凝土强度达100%设计值后进行，间隔时间 ≥ 7 天。

例如：某桥梁在体系转换后第5天即施工桥面铺装，导致连续段出现0.2mm纵向裂缝（检测显示混凝土强度仅达设计值的85%）；而间隔10天施工的段落，未出现裂缝，证明滞后时间的重要性；某项目通过监测发现，体系转换后3天内连续段应力变化达15MPa，7天后趋于稳定（日变化 $\leq 1\text{MPa}$ ），因此规定桥面系施工必须滞后7天以上，有效减少了早期裂缝。

（四）全过程监测重数据

施工期间需对梁体挠度、支座反力、预应力损失进行全过程监测，体系转换阶段监测频率应加密至1次/天，确保受力符合设计预期。

例如：某桥梁监测显示，预制梁安装后跨中挠度为25mm；湿接缝浇筑后增至30mm；负弯矩张拉后上拱5mm（最终挠度25mm）；运营前加载试验显示，最大挠度38mm（设计限值40mm），符合要求；某工程通过应力传感器发现，体系转换后连续段支点处出现 -80MPa 负弯矩（设计值 -75MPa ），及时调整后续张拉参数，避免了应力超限导致的开裂风险。

四、结语

先简支后结构连续桥梁的施工技术核心在于实现“简支施工便捷性”与“连续结构合理性”的有机结合，其关键环节包括预制梁精度控制、湿接缝界面处理、体系转换受力平衡等。本文通过多个例子验证：预制梁几何偏差 $\leq 5\text{mm}$ 、湿接缝凿毛深度 $\geq 5\text{mm}$ 、负弯矩张拉双控偏差 $\leq 6\%$ 等技术指标，是保障工程质量的关键；而支座安装精度、桥面系施工时机、全过程监测等控制要点，可有效减少结构隐患。

参考文献

- [1] 柴翠花. 高等级公路先简支后连续桥梁施工技术探讨 [J]. 山西建筑, 2013, 39(03): 195–196.
- [2] 段德泉, 穆龙祥. 先简支后结构连续桥梁施工技术分析 [J]. 交通世界, 2015(21): 72–73+76.
- [3] 赵俊华. 试论桥梁先简支后结构连续施工技术 [J]. 山西建筑, 2014, 40(36): 163–164.
- [4] 高云亮. 先简支后连续桥梁施工技术 [J]. 交通世界, 2016(23): 74–75.
- [5] 刘延俊. 高速公路中先简支后连续结构桥梁施工技术 [J]. 中华建设, 2013(01): 158–159.