

岩溶区铁路框架桥纠偏施工技术研究

文 / 朱学辉 中铁十一局集团第二工程有限公司

摘要: 采用顶升基础挖孔桩施工、线路架空加固以及三维精准纠偏等施工基本原理, 结合某铁路框架的工程实际问题, 提出铁路框架桥纠偏专项施工技术。工程实践表明: 综合运用挖孔桩施工、线路架空加固、路桥过渡段施工、三维精准纠偏施工以及施工监测等措施, 能有效的解决框架桥顶升过程中发生的框架整体偏移、框架边墙侵入公路限界以及框架整体下移等问题, 相应的施工工艺和应急措施可供类似工程参考。

关键词: 铁路框架桥; 纠偏技术; 施工工艺; 施工监测

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.062

引言

随着城市化进程的加速, 为交通需求日益增长, 其中框架桥下穿铁路可以打通被铁路分隔的区域, 优化交通网络布局, 被广泛应用。基于此, 本文在基于框架桥顶升过程中的工程实际问题, 采用顶升基础挖孔桩施工、线路架空加固以及三维精准纠偏等施工基本原理, 提出行之有效铁路框架桥纠偏专项施工技术, 为后续铁路框架桥的建设提供技术支持。

一、工程概况

钢筋混凝土框架桥下穿某铁路, 下穿铁路段的主线纵坡-2.4%、1.65%, 竖曲线半径R为8000m, 框架桥内最小净距5.5m, 铁路中心线与高速公路主线和集散车道A的夹角分别为61°和59°。桥区位于井冈山市附近, 地处剥蚀低丘区, 其间断续分布U型沟谷盆地, 地形呈波状起伏, 起伏较大, 地面高程在211-237m, 相对高差26m, 呈北东向长状, 自然坡度10-30°。桥区主要不良地质为弱风化石灰岩、弱风化炭质灰岩中的岩溶, 弱风化石灰岩岩溶中等-强烈发育, 主要以溶洞的形式出现。为了避免岩溶对桩基施工及其稳定性产生的影响^[1], 施工时应穿过溶洞并进入一定深度稳定岩层。

二、工程面临的问题

根据现场监测资料, 框架桥顶升过程中发生了如下问题:

1. 框架整体偏移

将现场实测已顶进3-13m框架桥的内角点A'~D'和设计的内角点A~D进行对比, 如表1所示。框架整体朝

表1 框架内角点偏差表

顶进→ 设计	偏移 方向	偏移值 (cm)			最大值 (cm)
		左幅	右幅	集散车道	
A' → A	横向	170	118	78	170
	纵向	147	48	24	147
B' → B	横向	132	90	51	132
	纵向	65	14	85	85
C' → C	横向	7	5	40	40
	纵向	0	64	132	132
D' → D	横向	44	23	14	44
	纵向	82	2	72	82

一个方向偏移, 其中偏移最大的两个位置为左幅的A1'点右幅的A2'点, 横向偏移值达170cm、118cm。框架轴线偏移情况: 左幅偏移26-150cm, 偏移2.8°; 右幅偏移10~104cm, 偏移2.1°; 集散车道偏移24~64cm, 偏移2.1°。

2. 框架边墙侵入公路限界

已顶进到位的3-13m框架桥, 集散车道框架边墙满足公路限界要求, 但左幅、右幅框架边墙已侵入公路限界。侵限主要情况: 左幅框架A1'点侵入左幅的右侧硬路肩88cm; 右幅框架A2'点完全侵占右幅的左侧路缘带, 且侵入右幅车行道87-75=12cm。A1'、A2'点为最大侵限点, 侵限值沿着框架轴线逐渐减小直至消失。

3. 框架整体下移

根据现场实测顶板底标高数据, 左幅框架现场与设计相比, 整体下移了0.15~0.26m; 右幅整体下移0.13~0.3m; 集散车道整体下移0.05~0.09m。其中以右幅为例, 框架内的公路净高见下表2。从表2可以看出, 按顶进到位后的框架梗斜最低点为控制点, 框架顶进到位后的最小净高为5.57m, 满足设计要求的5.5m要求。

表2 右幅框架内公路净高表

部位	右幅			计算最小净高 (m)
	标高计算 (m)			
	顶底实测值	计算梗斜底标高	框架内路面最高点标高	
E'	219.82	219.32		
F'	219.83	219.33		219.32-
G'	219.99	219.49	213.75	213.75
H'	219.97	219.47		=5.57>5.5

根据现场实测数据可知, 当框架桥的框架顶进3-13m后, 发生了横向偏移、框架边墙侵入公路限界、框架整体下移等问题。由于框架桥重量较大, 纠偏施工存在极大的困难^[2]。因此, 如何针对框架桥的施工特点, 在进行框架纠偏处治的同时需对既有线路进行加固, 以免对既有线路造成影响是本工程顺利进行的关键要素。

三、施工方案及工艺

针对框架桥顶升过程中发生的偏移问题, 从顶升基础、线路架空和三维精准纠偏三方面, 通过挖孔桩施

工、线路架空加固、路桥过渡段施工、三维精调纠偏施工以及施工监测等措施，在顺利纠偏的同时避免对既有线的运营安全的影响。

(一) 顶升基础挖孔桩施工

1. 方案设计

顶升基础为桩基础，平面尺寸为2.0m×3.1m、2.0m×3.2m、2.0m×3.3m、2.0m×4.0m、2.0m×4.2m、2.2m×4.8m、2.0m×5.2m共7种；桩长约10m，嵌入弱风化石灰岩2m。基础采用挖孔桩^[3]，钢筋混凝土护。

2. 工艺及注意事项

工艺流程：测量放样→施工准备→桩身开挖→出碴→检查孔壁→绑扎护臂钢筋→护壁立模→灌注护臂混凝土→拆模→桩底达标→桩底处理、验收合格→安装钢筋笼→灌注桩身砼。关键参数：孔口护圈采用C25钢筋混凝土浇筑，高1.6m，壁厚0.5m，锁口应高于原地面0.3m；挖孔桩采用C30混凝土一次性浇筑成型；工作槽护壁采用C25混凝土浇筑，厚度为0.3m。

桩基开挖时，不能放坡开，且顶升到后，需将框架底的开挖范围均进行压浆处理；每一循环进尺不得大于1.0m，开挖完成后必须立即施工砼护壁；每节护壁厚度采用上大下小不同厚度，上下搭接长度为7cm；孔桩竖向每3m布置一道水平钢管横撑，水平方向布置两道。

(二) 线路架空加固

为保证框架纠偏时线路的绝对安全和列车正常运行，施工前对线路进行加固，采用D24和D16型施工便梁低位架设，临时支墩采用C30钢筋砼条形支墩，装拆便梁及抽穿钢枕均在铁路封锁点内完成^[4]。

1. 方案概述

①邻近施工：在邻近条件下可同步施工中孔四个顶升基础。

②第1个封锁时间：左幅框架吊装1组D16便梁，1组D24便梁，利用既有的架空支墩与中孔框架作为受力体系完成左幅框架线路架空。

③第2个封锁时间：集散车道框架吊装1组D16便梁，1组D24便梁，利用既有架空支墩与中孔框架作为受力体系完成集散车道框架线路架空。

④第3个封锁时间：拆除集散车道框架架空（1组D16便梁，1组D24便梁）。慢行条件下开挖吉安侧过渡段路基，开挖最大宽度约2m；及时施作坡面防护。安装左幅框架纠偏千斤顶，完成左幅框架纠偏，并回填左幅过渡段混凝土。

⑤第4个封锁时间：安装框架顶钢板与双拼钢轨，纵移一组D24m便梁到右幅框架上，利用左幅框架与集散车道框架为受力体系架空中孔框架线路。慢行条件下安装中孔框架千斤顶纠偏中孔框架。

⑥第5个封锁时间：安装框架顶钢板与双拼钢轨，恢复路容后纵移安装1组D24m便梁，安装1组D16m便梁，利用既有架空支墩与调整后的中孔框架作为受力体系架空集散车道框架线路。慢行条件下开挖衡阳侧过渡段路基并完成边坡支护，纠偏集散车道框架，纠偏完成后回填过渡段混凝土。

⑦第6个封锁时间：拆除倒运1组D16、1组D24便梁出场。

2. 便梁架设

框架桥顶部距离轨底最小距离为1.2m，便梁采用低位法架设。在便梁两侧设置限位装置，防止在列车运行导致便梁发生偏移，影响行车安全。其中对便梁进行限位共两种方式，分布为：在新建支墩位置直接预埋钢轨桩和在既有支墩及框架桥上部位置植筋，图1为钢轨桩的限位布置图。

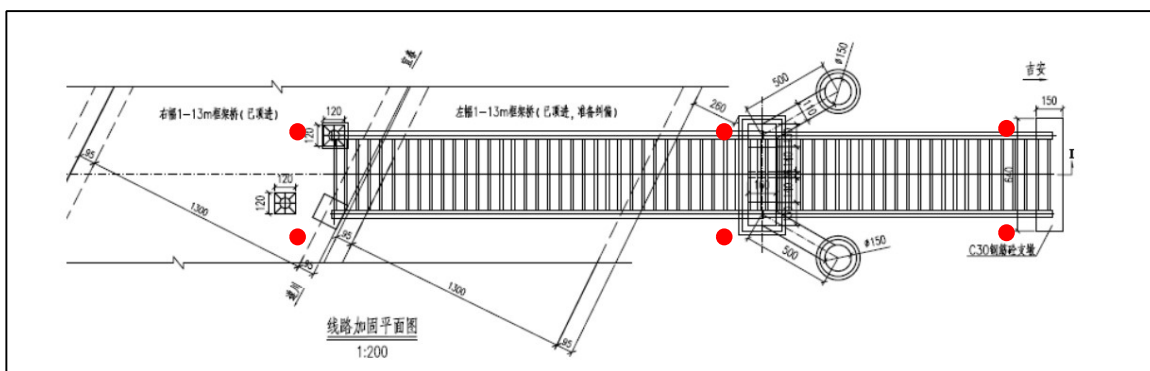


图1 便梁钢轨桩限位布置

(三) 路桥过渡段施工

1. 过渡段开挖路基及坡面防护

纠偏前对过渡段路基进行开挖，开挖采用长臂挖机分层进行作业，用装载机进行土方外转作业。路基开挖完成后，及时进行坡面防护。框架底最大开挖宽度约2m，开挖深度为11.75m，分两级放坡开挖，坡率按1:0.75控制。

为保证在施工期间铁路运营绝对安全，铁路路基开挖后，边坡采用挂网喷射10cm厚C20混凝土支护方式施

工。主要工艺流程：整理工作面→挂钢丝网→喷射混凝土→养护。其中重要参数为：钢丝网采用Φ3.0镀锌机编网，搭接长度应大于100mm；喷射砼强度等级为C20，内掺速凝剂。

2. 过渡段回填、顶升基础注浆

完成孔框架桥纠偏后，为防止框架桥两侧路桥过渡段产生不均匀沉降，箱体与线路连接过渡段采用C20混凝土回填。浆液配制以纯水泥浆为主，采用P042.5级普通硅酸盐水泥，水灰比0.8:1~1.2:1。

(四) 三维精调纠偏施工

根据偏移情况，通过三维千斤顶将框架桥逐渐移动，不断反复调整千斤顶的位置、方向和位移，直至将框架纠偏至设计位置。为了保证纠偏施工的精度，采用的PLC液压同步顶升技术，同时液压千斤顶根据分布位置分组，与相应的位移传感器组成位置闭环，以便控制框架桥顶升的位移和姿态，同步精度为±2.0mm。

纠偏施工过程中共包括三个部分，分布是左幅三维千斤顶纠偏、右幅三维千斤顶纠偏、集散车道三维千斤顶纠偏。根据表1在横向和纵向两个方向进行纠偏，三部分纠偏流程大致相同，因此对其中的右幅三维千斤顶纠偏流程进行说明。

待四个点处千斤顶全部安装调试完成后，千斤顶全部顶升，按位移同步设置，将框架桥底部与地面分离，然后进行纠偏施工，如图2所示（蓝点为顶进后框架桥各点平面位置，红点为框架桥设计平面位置）。

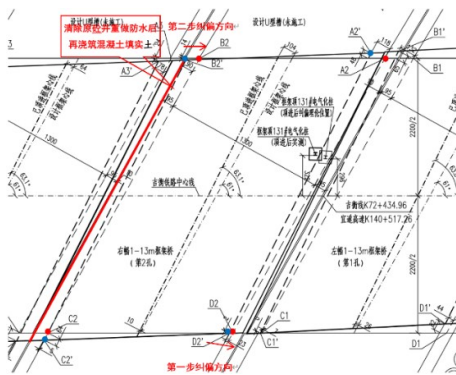


图2 右幅框架桥纠偏示意图

四个点同步沿着公路横向进行纠偏，距离为23cm，沿着公路纵向进行纠偏，距离为2cm，将D2点位置纠偏至设计坐标。待D2'点调整到位后，以D2'点为圆心，B2'点千斤顶作为主动纠偏动力，纠偏方向为B2'到B2点，A2'、C2'跟随框架桥旋转而移动。从A2'向A2点沿公路横向距离为118cm，沿公路纵向距离为48cm；从B2'向B2点沿公路横向距离为90cm，沿公路纵向距离为14cm；从C2'向C2点沿公路横向距离为5cm，沿公路纵向距离为64cm；从D2'向D2点沿公路横向距离为23cm，沿公路纵向距离为2cm。三维精调千斤顶每次纠偏距离为5cm，每次千斤顶达到行程，需检查千斤顶偏位情况，重新调整千斤顶位置，保证框架桥受力部位为腹板下部。

(五) 施工监测

1. 便梁监测

为监测便梁姿态轨迹变化，分别在每孔施工便梁纵梁端头内部位置布置1个施工便梁监测仪，在便梁外部路基上布置一个施工便梁监测仪作为基准点，使其与施工便梁内监测仪相连，每孔布置5个施工便梁监测仪。其中检测仪读数频率为3s/点。

2. 框架桥施工监测

框架桥顶升过程中通过沉降、变位、应变监测点对施工过程中产生的位移和变形进行监测。其中在框架桥

四个角各设置两个变形观测标，观测框架桥变位，在框架桥端部截面设置应变监测点，布置应变计监测应变。支墩桩基础位移和桩周土体位移，通过设置测斜仪进行监测，测点布置如下图4。测点A-G在腹板粘贴反光片，利用全站仪测量。监测频率视施工阶段、周边环境等因素适时调整。在桩基坑开挖阶段，深度小于5m和位于5-10m时，监测频率分别为1次/2d和1次/1d，桩基浇筑完成后7-14d，14-28d监测频率依次为1次/3d和1次/5d。框架桥顶升过程中需连续监测。表3给出了各监测项目的报警值。

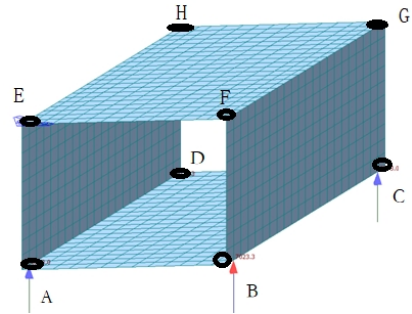


图3 变形测点布置

表3 框架桥顶升及支护结构监测报警值

序号	监测内容	安全值 (累计值)	报警值	
			(单个方向的 累计值)	变化速率 (mm/d)
1	水平位移	<4.4mm	≥ 2.64mm	0.5mm/d
2	竖向位移	<5.5mm	≥ 3.3mm	0.5mm/d
3	混压应变	300 μ ε	≥ 240 μ ε	50 μ ε /d
4	裂缝宽度	0.2mm	≥ 0.1 mm	0.05mm/d

结束语

本文基于某铁路框架的工程实际问题采用顶升基础控孔桩施工、线路架空加固以及三维精准纠偏等施工基本原理，重点介绍了铁路框架桥纠偏专项施工技术的相关施工工艺以及注意事项。工程实践表明：综合运用岩通过挖孔桩施工、线路架空加固、路桥过渡段施工、三维精调纠偏施工以及施工监测等措施，能有效地解决框架桥顶升过程中发生的框架整体偏移、框架边墙侵入公路限界以及框架整体下移等问题，相应的施工技术和方案对类似工程具有较大的参考价值。

参考文献

[1] 马骁, 蒋小珍, 雷明堂, 等. 桩基施工诱发岩溶塌陷的机理模式及防控措施[J]. 地下空间与工程学报, 2023, 19(2): 691-700.

[2] 李家稳, 孙先委, 王峰峰. 框架桥下穿既有铁路施工风险监控研究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(1): 86-91.

[3] 杨愤绪. 人工挖孔桩振捣辅助装置设计与应用研究[J]. 建筑结构, 2022, 52(S2): 2563-2566.

[4] 陈兵. 大跨度曲线钢箱梁上跨双线铁路拖拉施工关键技术研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(9): 197-200.