

变斜率钢箱梁跨高铁步履式顶推施工关键技术

刘海龙

通号(郑州)电气化局郑州铁路工程有限公司 河南 郑州 450000

摘要:随着我国基础建设的蓬勃发展,上跨既有结构物新建桥梁越来越多,尤其是跨越铁路、高速公路等繁忙交通线路,需要在安全高效完成施工的同时,最大限度减少对既有行车的干扰。钢箱梁顶推施工作为大跨度桥梁跨越的优选形式,被设计院多次采用。本次研究内容不同于以往单一纵坡定斜率顶推,该桥梁存在多级变坡且跨越高铁,与常规有所差异,施工要点时长受限,在此情况下,开展本次施工开展关键技术研究。

关键词:高铁线路;钢箱梁;竖曲线;变斜率;步履式顶推

1 引言

近年来,桥梁顶推施工运用越来越广泛,尤其是在铁路施工领域更为普遍。顶推可分为步履式顶推和拖拉式顶推两种,对于混凝土桥梁,由于重量大,所需支承点多,一般采用拖拉式顶推;对于钢结构桥梁,由于重量相对较轻,所需支承点少,一般采用步履式顶推。步履式顶推因精度高、速度快、成本低,不产生墩顶水平力,梁体受力均匀,非常适用于大跨度钢箱梁的顶推施工^[1]。

2 项目背景及难点分析

郑州彩虹桥及接线拆解与新建工程是郑州市的重点

民生项目,位于郑州市北三环南阳路立交西侧,自西向东依次跨越站内4线、京广上行线、郑焦城际下行线、渡线、京广下行线,与京广下行线交角75.6°,交叉处铁路里程K667+993,对应郑焦城际下行里程K0+121.3,按高速铁路管理。桥梁上部结构为一联(30+46+30)m钢箱梁,等高单箱七室斜腹板梁,桥面宽39.5m、悬臂长5.85m,底板宽26.5m,标准段名义梁高2.3m(如图1)。顶推总重量1882.6t,总行程104.1m,钢箱梁就位后梁底距轨顶最小8.37m,距离承力索1.37m^[2]。

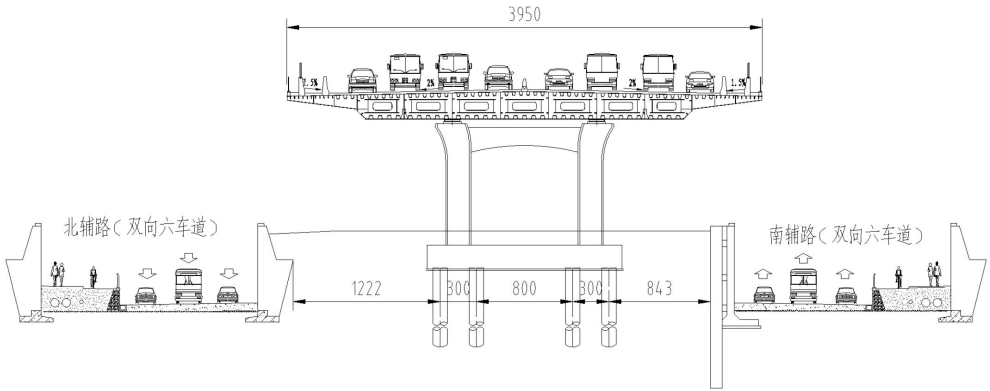


图1 桥梁横断面

本次顶推钢箱梁处于 $R = 3700\text{m}$ 的竖曲线上,梁底纵坡分别为0、-0.82%、-2.06%,东侧相邻东引桥纵坡-3.5%。不同于以往单一纵坡定斜率顶推,钢箱梁拼装及顶推均与常规有所差异,需控制好节段拼装坡度,采用上坡顶推就位,长距离顶推中临时支点反力不断变化,钢箱梁应力及抄垫情况复杂,对顶推控制精度要求高;同时上跨位置受线型控制,距离铁路接触网较近,每次顶推需在“天窗”点内进行,但此区间为高速铁路,垂直天窗仅30分钟且为凌晨00:10-00:40,每次“要点”扣除停送电、接挂地线等时间最多顶推1.0m,仅铁

路主跨46m就需“要点”46次,按每周给点5次,仍需2个月,施工“要点”次数繁多,对工期和铁路运输带来较大影响,安全风险陡增。

3 顶推施工关键技术

3.1 顶推及拼装支架设计

本次共设25个拼装支架及16个顶推支架,在钢箱梁施工前,采用midas civil对钢箱梁支架布置、拼装过程、顶推过程等多个工况进行建模模拟(如图2),分析最不利工况,合理设计临时支撑结构,确定支架间距和杆件型式。

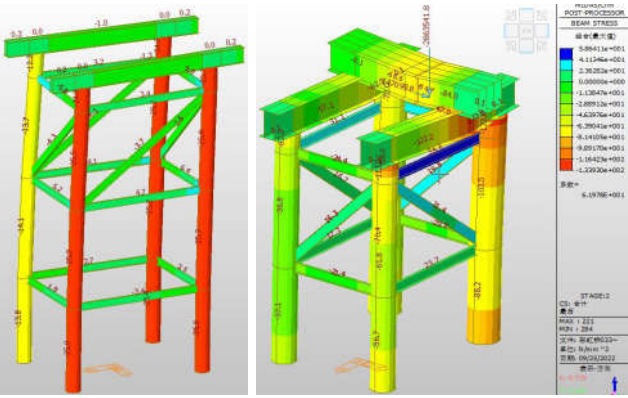


图2 拼装支架及顶推支架受力分析图

考虑钢箱梁有两处变坡点，且与东引桥纵坡不一致，按顶推就位线型进行支架搭设，通过调节钢桶进行精准定位拼装焊接。导梁及梁底距承力索净空需始终大于2.0m，为“慢行要点”做准备，并考虑落梁时墩顶与临时支墩高差因素，以及上坡顶推引起的导梁上对侧接引墩时的空间要求，统筹考虑钢箱梁拼装高度。

3.2 顶推设备选型

顶推过程中，随钢箱梁位置不断变化，每个临时墩支点反力也会随之变化，经分析：钢箱梁在顶推总行程达89.87m、尾部离开5#临时墩时，6#临时墩出现最大支点反力517.7t，此时支反力应力图如下（如图3）：

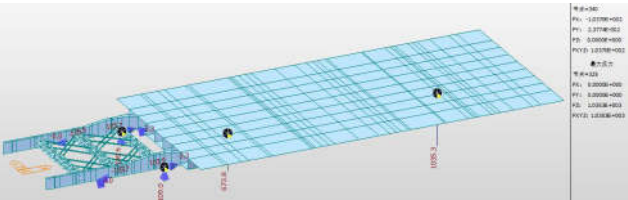


图3 顶推工况支点反力图

顶升力计算：结合顶推设备性能以及钢箱梁顶推施工

最大支点反力，考虑1.3倍安全系数，顶升力为 $1.3 \times 517.7 = 673t$ 。

纵向水平顶推力计算：单侧临时墩最大水平顶推力 $F = \mu \times N = 0.05 \times 517.7 = 25.9t < 100t$ ，满足规范2倍安全系数。

横向纠偏推力计算：单侧临时墩最大横向纠偏推力： $F = \mu \times N = 0.05 \times 517.7 = 25.9t < 100t$ ，满足规范2倍安全系数。

综合以上因素，在临时墩6#墩顶各布置1台800t步履式千斤顶，其余墩顶各布置1台600t步履式千斤顶，主顶升力800t、600t，纵、横向推力100t，满足工况要求（如图4）。

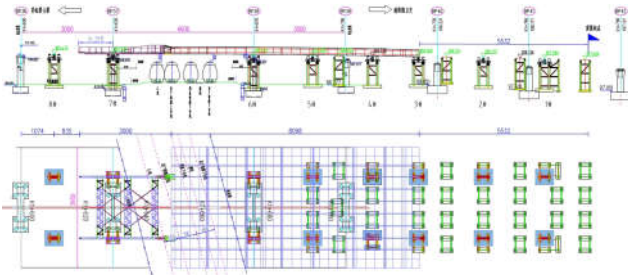


图4 钢箱梁顶推示意图

3.3 顶推“要点”方式

传统施工采用“V型天窗+垂直天窗”要点次数过多，导致钢箱梁在铁路上方的悬臂时间长，下方列车通过时速快（160km/h），会对铁路运输安全产生一定影响，为减少不确定性风险的发生，采用“V型天窗+慢行”的要点方案（如表1），实现快速跨越铁路，大大节约“要点”次数。正式顶推施工首先利用1个V型天窗顶进8m，用于观察顶推运行状态是否正常，导梁、钢箱梁的应力及挠度是否与理论计算相符。若无异常，利用3天慢行顶推94.1m就位，累计顶推104.1m。

表1 施工要点时间表

序号	日期	施工等级	要点时长 (分钟)	要点次数	正式顶推步骤	时长 (分钟)	备注
1	XXXX	II	90	1	设置防护，接触网停电	5	顶推8m，累计10m (含试顶2m)
					钢箱梁顶推作业，平均10.6cm/min	80	
					接触网送电，撤除防护	5	
2	XXXX	II	72小时	/	限速60km/h，顶进94.1m，累计顶推104.1m		
3	XXXX	II	30	3	落梁		

顶升速度约130mm/min，顶推速度约210mm/min，顶推回顶速度较快可忽略不计，顶进一个行程40cm需 $400/210+200/130 \approx 3.5min$ ；考虑每顶进2个行程纠偏一次约0.5min，则每顶推80cm需要 $3.5 \times 2 + 0.5 = 7.5min$ ，平均速度约 $80/7.5 = 10.6cm/min$ 。

3.4 顶推支点抄垫

钢箱梁处于竖曲线位置，存在两处变坡点，顶推过程中钢箱梁应力及抄垫情况极度复杂。为保证梁底距承力索净空大于2.0m，并考虑到落梁时墩顶与临时支墩高差因素，以及上坡顶推引起的导梁上接引墩空间要求，主跨支点最大抄垫高度达到2.06m。通过对不同顶推工况抄垫高度进行计算模拟，现场结合不同支墩提前准备不

同数量的抄垫钢板，不同工况下按不同数量填塞（如表 2），确保钢箱梁及导梁受力合理。

表2 抄垫高度明细表（单位：cm）

支架名称	垫块高度	钢板高度	合计	备注
1#支架	22.2	6	28.2	/
2#支架	22.2	8~15	30.2~37.2	/
3#支架	22.2	7~20	29.2~42.2	/
4#支架	22.2	6~33	28.2~55.2	现场根据实际情况垫块和钢板抄垫搭配使用，要便于快速抽换
5#支架	22.2	6~46	28.2~68.2	
6#支架	22.2+3×15	5~62	72.2~84	
7#支架	22.2+2×15	1~18	53.2~70.2	/
8#支架	22.2+15	1~30	38.2~67.2	钢板厚度 > 15cm时，调换为垫块

4 同步控制措施

4.1 同步措施

考虑不同工况、不同临时支墩千斤顶之间支反力各不相同且不断变化，根据每台千斤顶回归方程，提前计算不同工况、不同千斤顶支反力对应的油压数值，通过主控台面板提前设定每个受力点的最高压力及同一桥墩上各受力点之间的最大压差。顶升时通过PLC主控单元实现千斤顶的动态集群控制；通过设置在千斤顶的压力传感器和位移传感器，进行压力和位移量的采集，计算机通过监测各受力点的载荷变化情况，准确地协调整个系统的载荷分配，实现顶推压力的自适应控制。并通过收集设置在钢箱梁、顶推临时支墩的应力传感器数据，与计算应力进行比对，实时掌握顶推结构的受力情况。

横向调节控制重点保证同一个顶推支架上的设备，以某一个千斤顶为主动点，其余为从动点，以此来双控钢箱梁顶推同步，现场应用取得了良好的效果^[3]。

顶推控制策略以“位移控制为主，压力控制为辅”，墩间同步精度控制在5mm之内、同墩两侧同步精度控制在4mm之内。

4.2 抗倾覆措施

在钢梁前端部悬臂46.0m时最容易发生颠覆，在考虑极端竖向风荷载（18m/s）和雪荷载（60年一遇）的情况下，抗倾覆系数9.1，大于规范1.5，安全性满足要求。

步履式千斤顶设备两侧设有顶推保险墩，防止设备回油时梁体失稳。为确保导梁顺利到达铁路对侧7#接引墩上方，此时6#顶推千斤顶抄垫高度达到最大，为最大悬臂状态。顶推保险墩最大抄垫高度2.06m，为确保支点稳定性，将步履式千斤顶进行抬高，在千斤顶下方支垫1.5×1.5m钢板，尺寸大于千斤顶底座，高度45cm，层间进行点焊。千斤顶上方抄垫高宽比 $0.84/0.75 = 1.12 < 3$ ，

顶推保险墩垫块高宽比 $2.06/0.75 = 2.74 < 3$ ，均满足规范要求。

千斤顶底部四周设限位角板，防止千斤顶出现滑动。顶推保险支墩底部支承垫块与平台分配梁顶面进行围焊固定，上部码放15cm调节垫块。垫块及调平钢板要码放平整，错台不得大于5mm，垂直度偏差 $\leq 1\%$ ，顶面高程0~10mm。

5 结语

本次通过采取以上关键技术，成功实现跨高铁104.1m步履式顶推，总结了多项关键施工技术，并得到以下启发：

（1）前期对不同顶推工况状态进行模拟分析，研究各支点反力、导梁和钢箱梁挠度、应力变化情况，用于合理布置支架及顶推设备选型，降低成本；

（2）通过技术手段来满足施工规范安全卡控要求，实现“慢行”要点方式，大大节约顶推时间，同时降低安全风险；

（3）结合不同支墩计算竖曲线下梁底调整高度，提前准备不同数量的抄垫钢板，按不同工况不同数量填塞，保证桥体沿圆曲线顶推并最终与成桥线形一致。

（4）设置顶推保险墩，采取补强措施，并适时调整步履千斤顶与垫板的空間位置，确保支墩在超高抄垫情况下的稳定性。

参考文献

[1]大跨筒支钢箱梁顶推及高位落梁施工关键技术.[J]伍彦斌.吕茂丰.殷齐家.余冠球.中外公路.2022(09)
[2]京广铁路跨线桥拆解与新建工程总体设计.[J]刘诗文.价值工程.2023(07)
[3]跨高速公路曲线钢箱梁顶推施工技术.[J]姚亮.铁道建筑技术.2022(09)