

基于多点同步顶推安装大跨度公铁两用钢桁梁桥梁的关键技术研究

王维刚 朱廷志 袁杰升 吕绍鸿

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545005)

摘要:随着高速铁路快速发展,铁路跨越桥梁结构呈多样化,超大跨度、超大重量成为高铁跨江桥梁的主要特点,其中大跨度、大吨位的钢桁架梁由于其具有优良的特点,成为铁路跨越江河的主要结构体系,在江河、峡谷架设大吨位钢桁梁施工方法和工艺的创新性成为成功安装大跨度、大吨位钢桁梁的关键。基于多点同步液压控制、柔性牵引、钢桁节点滑靴承载等技术是实现大跨度大吨位钢桁梁架设安装关键创新技术,该技术的成功运用为同类跨越江河、峡谷的大跨度、大吨位钢桁桥梁建造提供参考和经验借鉴。

关键词:大跨度 大吨位 钢桁桥梁 多点同步顶推 滑靴承载

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2017.05.001

引言

随着高速铁路快速发展,铁路跨越江河、峡谷以及城市其他构筑物已成必然,大跨度桥梁结构是跨越的关键,而由于钢桁梁结构体系因经济性、结构合理性等因素被成功运用于铁路跨越江河的主要桥梁结构体系之一,钢桁桥梁的跨径是如今高铁桥梁的关键创新思路,因而大跨度、大吨位钢桁桥梁跨越江河、峡谷的建造技术是实现这种设计创新的追求目标。基于液压同步控制、柔性牵引、钢桁节点滑靴承载的顶推技术是实现超大跨度,超大重量的公铁两用钢桁梁架设的创新技术。

济南黄河公铁桥是石济客运专线跨越黄河的桥梁,主桥采用128m+3×180m+128m连续钢桁梁跨越黄河主槽,其结构分为上下2层,下层桥面为石济客专及邯济胶济铁路联络线四线铁路,上层为双向6车道公路,全长798.3m,全连续钢桁梁总重为36000t,是我国首座大跨度刚性悬索加劲连续钢桁梁公铁两用桥,刚性悬索加劲连续钢桁梁主桁由三片钢桁架组成,主桁中心距14.65m,桁宽29.3m,桁高15m。该结构体系在岸跨分段组装,整体往另一岸跨方向顶推架设工艺,钢梁最大顶推重量达37000t,钢桁梁单片桁架节点最大支反力3700t,顶推最大悬臂长度达154m,顶推架设过程,节点局部应力和滑道局部

应力、钢桁梁三片桁架滑移同步性、主墩和临时墩水平位移和应力等是施工控制的关键点,采用的顶推工艺、施工装备、电液控制技术必须满足上述技术要求。基于多点液电同步控制、柔性牵引、钢桁节点滑靴承载的顶推技术的成功创新运用,完成了该桥超大跨度、超大重量钢桁梁架设施工。刚性悬索连续加劲钢桁梁立面图及截面图见图1及图2。

1 同步顶推架设钢桁梁关键技术研究

1.1 钢桁梁节点承载滑靴滑设计

单片桁架节点竖向支承力达到3700t,支承滑靴必须满足局部承压要求,设计上采用铸钢结构,材料选用ZG200-400。滑靴中部设柔性牵引通孔,钢绞线后锚嵌入滑靴内部,千斤顶直接牵引滑块拖载钢梁前移,滑靴本体承压应力控制在150MPa以下。滑靴与滑道梁顶面组成摩擦副,两者之间设置MGE板,MGE板为塑料材料,承压应力控制在8MPa以下,滑靴、MGE板和滑道等设计摩擦系数控制在0.1以下,如图3所示。

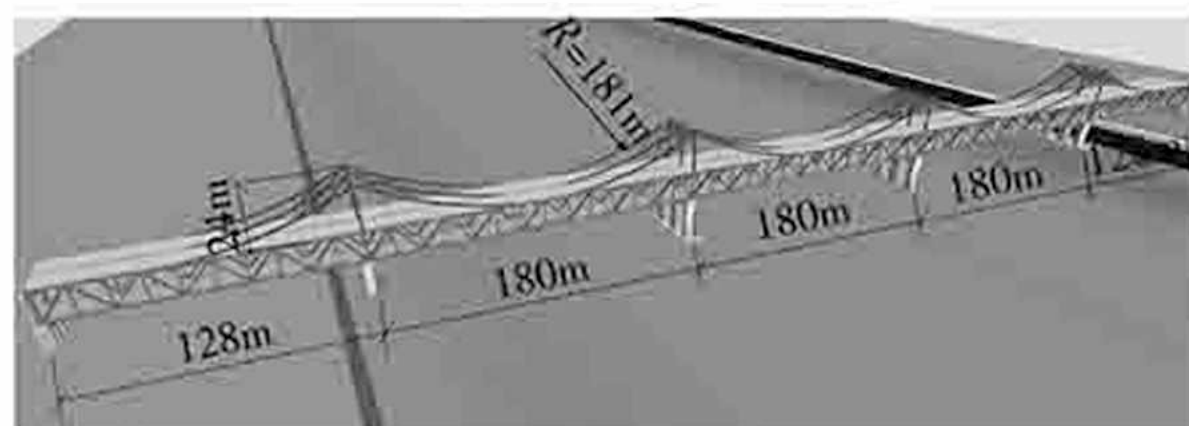


图1 刚性悬索连续加劲钢桁梁立面图

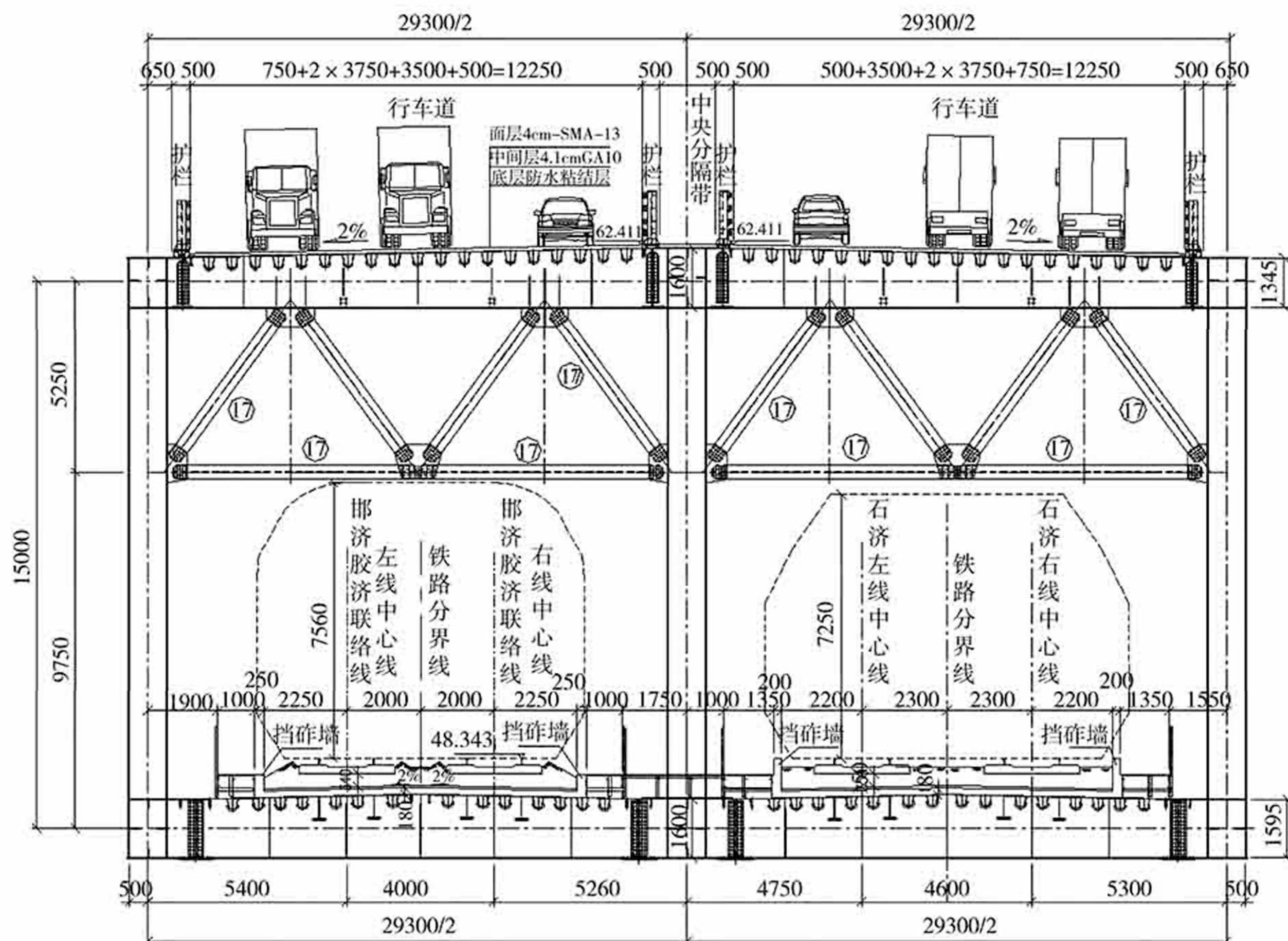


图2 刚性悬索连续加劲钢桁梁截面图

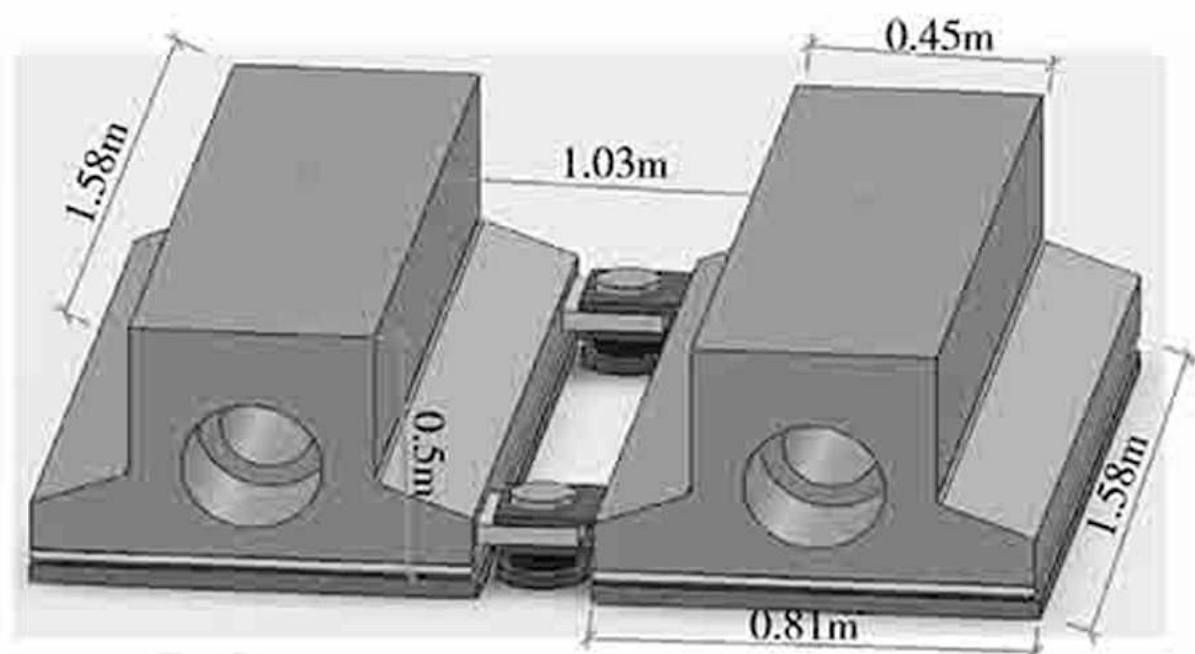


图3 钢桁梁节点承载滑靴图

1.2 顶推施工滑道梁装置

在连续顶推施工过程中,钢桁梁节点承载滑靴对滑道梁造成较大的局部应力。为了获悉滑道梁的受力是否满足设计要求,采用大型有限元软件建立滑道梁的计算模型,详细分析各个滑道梁在不同工况下受力状况。经过模型分析,在顶推过程中,各主墩在顶推过程中最大支反力为99693kN,作为墩旁托架滑道梁的设计荷载依据。各主墩在合龙过程中墩顶最大支反力为

104642kN,作为垫石顶滑道梁的设计荷载依据。墩旁支架架滑道梁,在各工况下局部最大应力为362MPa,超过Q345钢材屈服强度值345MPa,但小于屈服强度1.2倍,基本满足施工要求;墩旁托架滑道梁除腹板局部应力略大于Q345钢材屈服强度值345MPa,小于超过屈服强度的1.2倍外,其余位置最大应力均小于345MPa,滑道强度均满足施工要求。

1.3 柔性牵引液压同步顶推设备布置

根据钢桁梁纵向三片钢桁的结构特点和依据0.1N(N为钢桁主梁总重量)摩阻系数计算所需的最大顶推力,在616#拼装支架平台滑道梁、617#~620#墩纵向托架滑道梁的端部共设置5组大吨位水平连续千斤顶,全桥共布置22台200t水平连续千斤顶。其中616#拼装支架平台共布置6台水平连续千斤顶,在每个截面位置,每片桁两侧布置2台;617#~620#墩旁托架均布置4台水平

连续千斤顶，两边桁两侧布置2台，中桁不设置。全桥22套千斤顶系统、11套液压泵站系统、22套传感器采集系统等组成液电网络控制核执行系统，通过主控计算机系统的软件系统集中控制。

1.4 多点同步顶推钢桁梁辅助导梁

为减小钢桁梁最大悬臂状态支点处负弯矩和前端挠度，增大抗倾覆系数，根据钢桁梁推拉过程中的结构受力要求，在钢桁梁前端设置导梁结构。导梁设计同时考虑到尽量减少主墩的支点反

力和适应导梁在主墩托架滑移的模数要求，导梁长度取为8个节间长度，节间长度为： $12.8\text{m} \times 4 + 13\text{m} \times 4$ ，全长103.2m，为最大悬臂长度的0.67倍，导梁为变截面三片桁结构，适应了钢桁梁三片主桁的结构，导梁结构图见图4~图5。

考虑到钢桁梁顶推过程中的下挠，实现顺利上墩，导梁下弦设计为变截面结构，导梁前后端下弦杆件底面高差为500mm。为预留起顶空间，导梁前端设计为变高刚性节点。

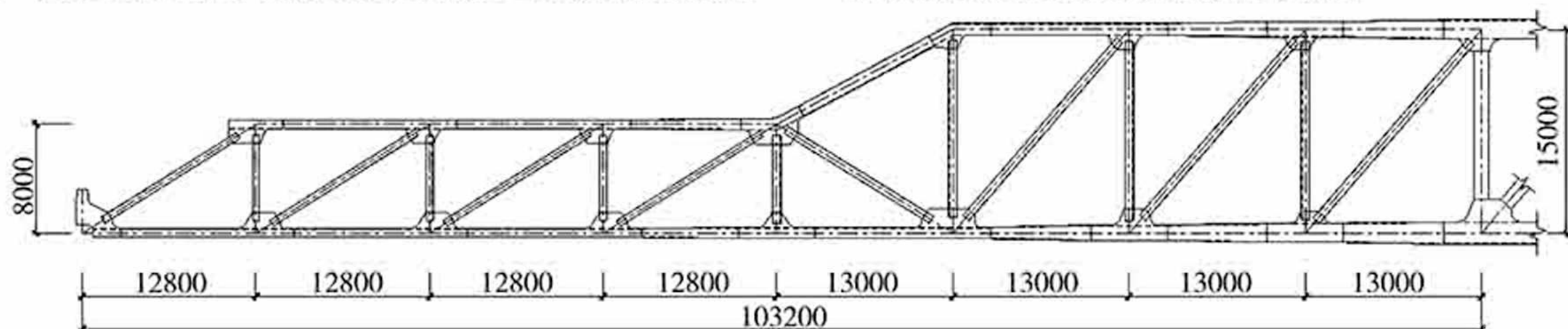


图4 钢桁梁顶推导梁结构示意立面图

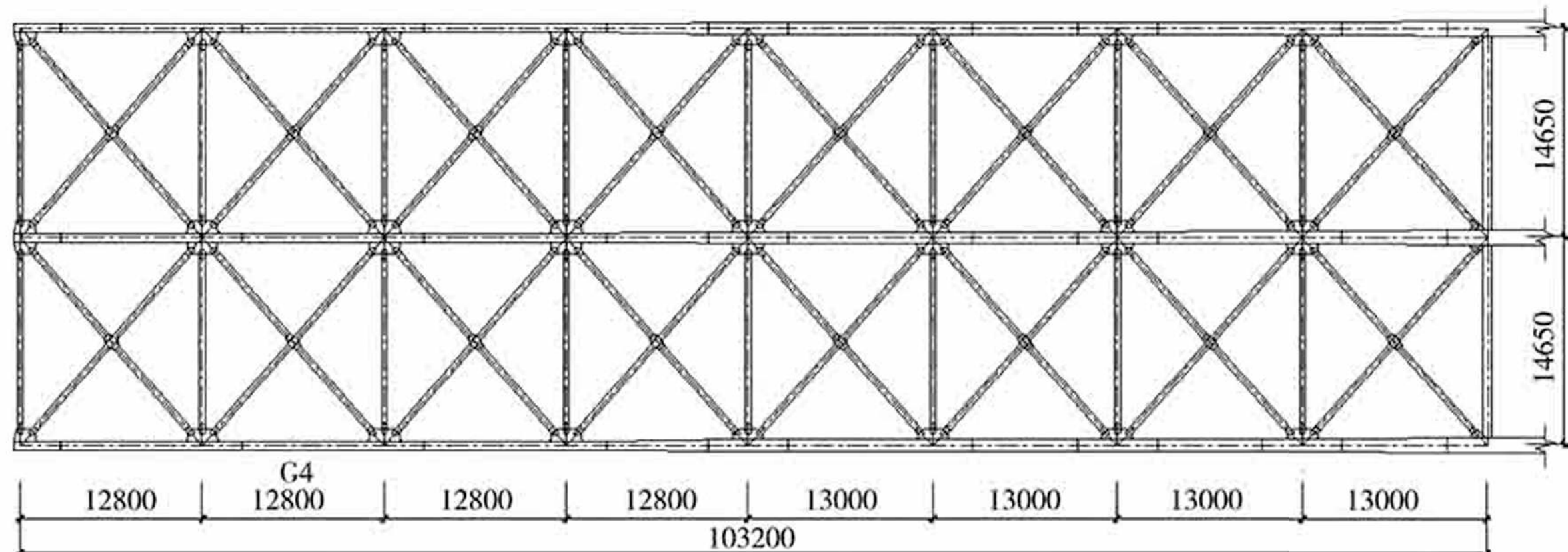


图5 钢桁梁顶推导梁结构示意俯视图

1.5 多点同步顶推钢桁梁架设总体方案

采用钢桁梁带加劲弦北岸向南岸顶推架设方案。在支架上顶推架设导梁及一定数量的钢桁梁后，利用公路桥面上的汽车吊架设加劲弦立柱及加劲弦，钢桁梁带加劲弦从黄河北岸（小里程）向黄河南岸（大里程）方向多点顶推架设，钢桁梁和加劲弦架设平行作业，利用边跨拼装支架及617#主墩调整钢桁梁线形实现加劲弦合龙。继续钢桁梁带加劲弦顶推，拼装剩余节间钢桁梁，直至全桥顶推就位。

钢桁梁顶推架设施工主要的辅助设施包括临时拼装平台和附墩托架。拼装平台支架设，附墩托架设在617#、618#、619#、620#永久墩纵桥两侧，621#墩旁支架及导梁。全桥辅助支架布置见图6。

1.6 多点同步顶推钢桁梁架设步骤

Step1 利用龙门吊在拼装支架平台上拼装8个节间的钢导梁，步骤见图7。

Step2 在拼装支架平台上集中架设钢桁架梁，利用顶推系统多次循环往前定推架设钢桁梁，见顶推步骤示意图8。

Step3 经过多次循环拼装、多次循环顶推施工，全桥钢桁梁顶推架设完成，见示意图9。

1.7 多点同步顶推钢桁梁架实施关键点

(1) 按支反力的10%设定对应墩的水平千斤顶水平顶推力，防止钢桁梁节点承载滑靴出现滑块“打滑”现象；

(2) 计算机软件系统编程设定加载程序，按该工况下桁架总重的0.1倍的20%，40%，

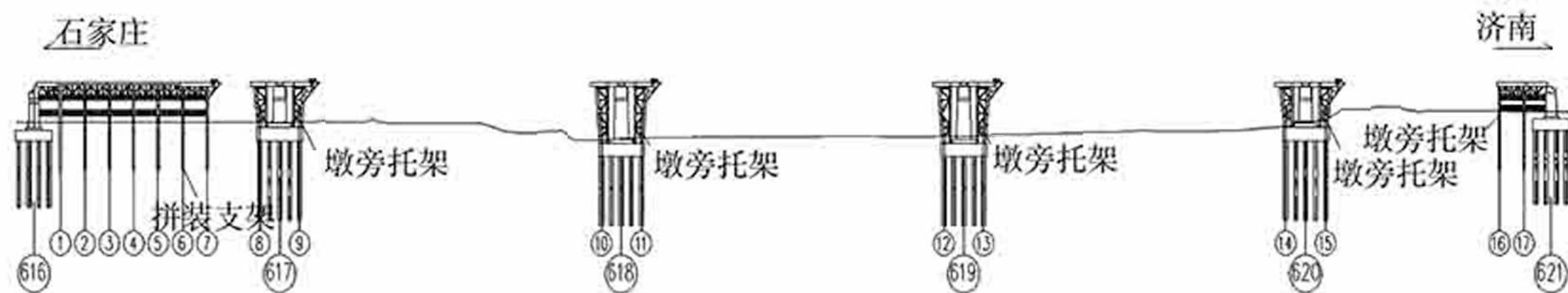


图6 全桥辅助支架布置图

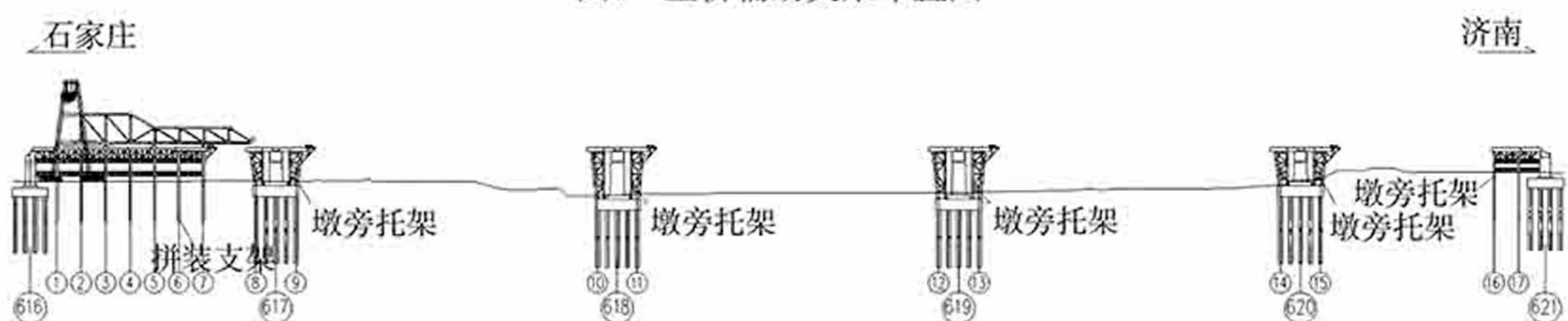


图7 顶推步骤示意图

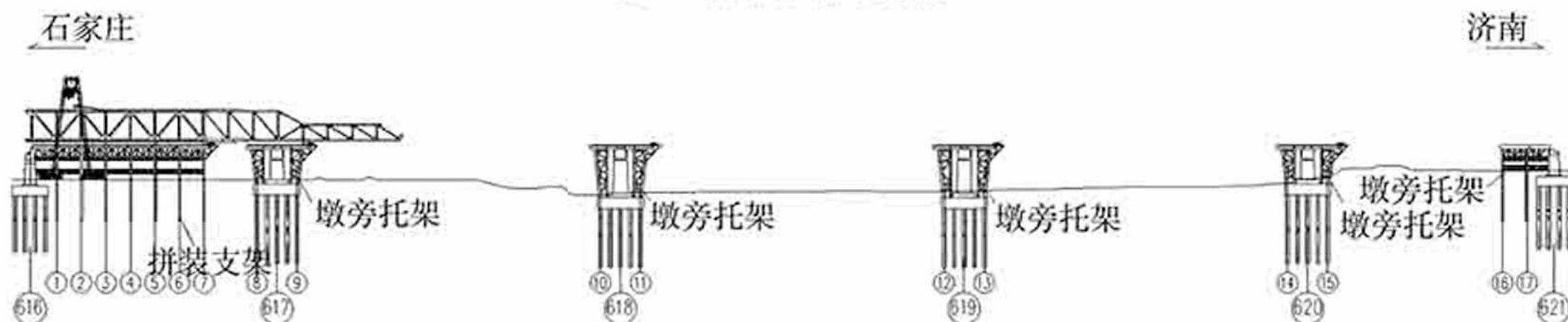


图8 顶推步骤示意图

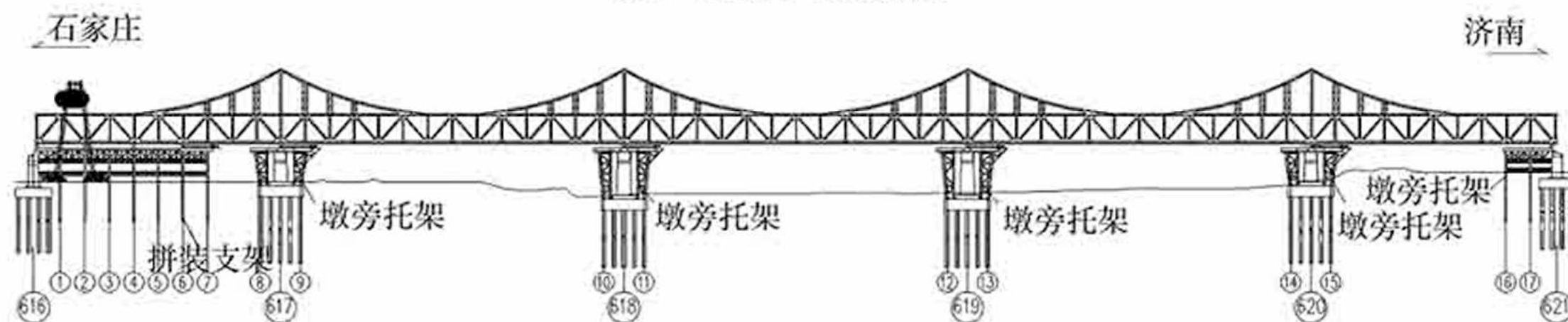


图9 顶推步骤示意图

60%, 80%, 85%, 90%, 95%, 100%缓慢分级加载, 直至桁架梁顶动。如分级加载到最高压力后钢梁仍没有滑动, 必须停止加载, 检查滑道、滑靴等是否存在障碍物或润滑不足的地方;

(3) 当水平千斤顶加载完成, 钢梁从静态变成动态滑动时, 计算机主控系统自动记录钢梁从静态变成动态滑动时的负载变化情况, 并以变化曲线显示;

(4) 钢梁滑动后, 主控系统操作人员应根据钢梁顶动时泵站最高油压, 检查油压与结构重量(支反力)是否符合, 并根据实际动静摩擦系数设定新的最高油压;

(5) 全面检查各个油路是否完好, 将各泵站油压调整到钢梁启动时的最高时油压以上2MPa, 以保证水平千斤顶的充足动力;

(6) 顶推过程中, 主控系统操作人员必须

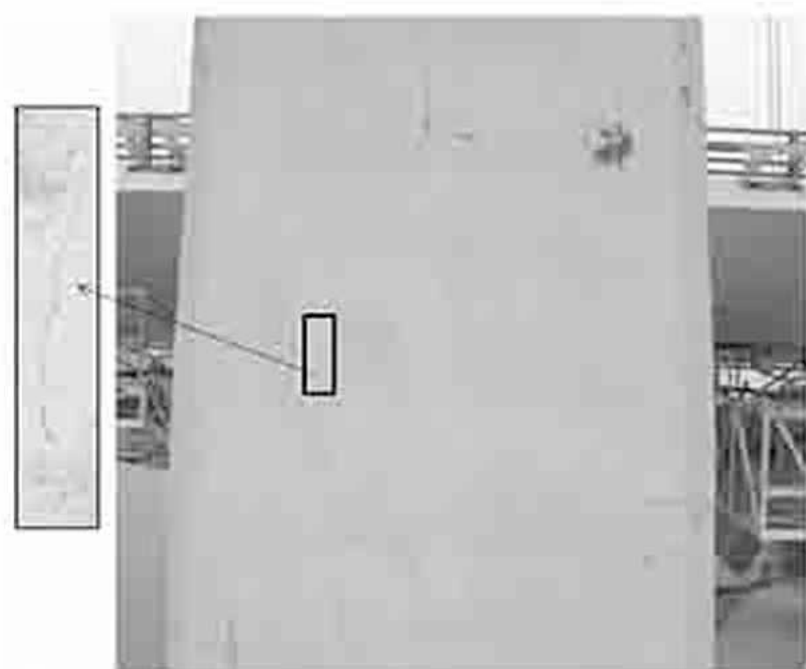
密切观察显示器显示的位移、压力等参数的变化及主控系统发出的报警;

(7) 顶推过程中, 各墩监护人员必须密切观察泵站、千斤顶的工作状况, 及时向控制室汇报现场观测的数据和情况;

(8) 顶推过程中, 发生主控系统报警时, 主控系统操作人员根据情况暂停系统的运行, 第一时间向指挥人员汇报故障原因, 并向现场监护人员通告报警原因, 现场监护人员必须按系统控制员的要求进行逐步检查, 查找原因, 排除故障;

(9) 故障排除后, 主控系统操作人员向所有现场监护人员发出通告, 所有监护人员检查各自工作点是否完成顶推准备并向系统操作员汇报。主控系统操作人员在获得指挥人员指令后重新启动控制系统, 继续自动顶推;

(下转第11页)



(a) 隐蔽的疑似病害



(b) 表面露筋

图7 检测结果

(上接第6页)

(10) 顶推过程中, 钢梁的轴线发生偏移, 根据指挥员的指令, 可通过主控制系统控制界面对泵站变频器频率进行小范围的调整, 以便调整各桁水平千斤顶的速度, 从而扭转钢梁水平方向偏位。纠偏过程中, 主控系统操作人员应对相应的参数进行记录。

2 结束语

钢桁结构桥梁主要特点是钢节点受力。针对不同装备, 顶推安装架设方法不同, 但由于钢节点受力的特点, 在顶推过程中, 不能违反钢桁梁节段受力的具体要求, 所以确保钢桁梁节点位置的局部应力和钢桁梁挠度尤为关键, 同时针对顶推施工工法特点, 不允许对钢桁梁进行因施工措施而改造结构, 即施工过程尽量保证钢桁梁的原始结构, 所以针对这个要求, 钢桁梁节点承载滑靴起到非常好的效果, 一方面可以作为承载结构, 另一方面又可以作为顶推动力的传递结构, 对钢桁梁结构起到保护作用。超大跨度、超重量的钢桁梁顶推施工必须保证各个控制点满足设计要求, 必须降低和消除“蛙跳现象”, 而计算机集中控制多点、数组液电系统、大数据处理、监控可视等系统技术保证了全桥超大跨度, 超大重

特点, 弥补常规检测的不足与短板, 使桥梁外观检测更为高效、全面和准确。

在实践中同时发现无人机受天气影响大, 无线传输信号受钢结构干扰和无人机机体安全需富有经验的飞手保证等不足, 这仍然需要依赖多旋翼无人机技术的发展, 以及针对无人机在桥梁外观检测领域的研究。

参考文献

- [1] JTG/TH21-2011. 公路技术状况评定标准[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [2] 彭玲丽, 黄少旭, 张申申等. 浅谈无人机在桥梁检测中的应用与发展[J]. 交通科技, 2015(6): 42-44.
- [3] 王小莉. 面向桥梁检测的四旋翼飞行器控制系统研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
- [4] 庞娜, 赵启林, 芮挺等. 基于机器视觉的桥梁检测技术现状与发展[J]. 现代交通技术, 2015(6): 26-31.
- [5] ZHOU G, FANG L, TANG K, et al. Guidance: a Visual Sensing Platform for Robotic Applications[C]. //2005 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2015:9-14.

量的钢桁梁顶推施工, 质量、安全均得到了良好的控制, 工程效果非常明显, 但在实施过程中, 仍存在诸多不足:

(1) 大吨位、大跨度钢桁梁公铁两用桥多点顶推工程为特种工程, 滑靴结构设计单位在设计计算过程中, 未能全面仿真安装施工过程, 导致存在导梁个别构件在最不利施工工况中承载力不足或应力过大情况, 需加强导梁结构施工仿真整体和细部模型分析, 并采取相应的加固补强措施;

(2) 在顶推过程中, 要保证三桁滑道面的平整度, 若滑道变形较大, 造成较低滑道上滑块脱空, 滑块易滑脱出节点受压范围, 需采取调整抄垫或设置“7”字型卡板对滑块起防滑脱限位作用。

参考文献

- [1] 成大先. 机械设计手册[M]. 5版. 北京: 化学工业出版社, 2007.
 - [2] 韩胜利. 大跨高墩钢箱梁多点同步顶推技术[J]. 世界桥梁, 2012, 40(6): 24-28.
 - [3] 康宇, 刘元松, 吴长青. 跨铁路箱梁顶推技术[J]. 桥梁工程, 2010, 4(28): 154-155.
 - [4] 金健, 宋进军, 王炳岩. 桥梁架设中大型结构递进式柔性顶推技术[J]. 施工技术, 2012, 5(27): 60-65.2
 - [5] 李艳哲, 蔡红珍. 桃花峪黄河大桥顶推施工方案设计与创新[J]. 施工技术, 2013, 42(11): 69-72.
- 卫红发. 多支点顶推技术在跨铁路桥梁施工中的应用[J].