

高速铁路预制箱梁智能化、高精度同步预应力张拉施工技术及质量控制

吕 静¹, 张达志¹, 孙根强²

(1. 中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066; 2. 雄安高速铁路有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘要:对高速铁路预制箱梁制作时的预应力孔道张拉施工质量进行控制至关重要,其直接影响到桥梁在使用过程中的安全性和耐久性。结合雄商高铁临清制梁场预应力张拉施工,阐述了智能化、高精度同步预应力张拉施工技术的原理及特点,对施工要点进行了分析与探讨,根据验收标准,总结出相关经验,提出了相关注意事项,旨在提高高速铁路预制箱梁张拉施工的效率,保障张拉施工的质量,提高预制箱梁整体施工水平,保证高速铁路安全可靠运行。

关键词:高速铁路;箱梁;预应力张拉;智能化张拉;高精度;同步张拉;雄商高铁

中图分类号:U215;U215.1;U215.7

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)增 2-0013-04

Intelligent and High-precision Synchronous Prestressed Tension Construction Technology and Quality Control of High-speed Rail Prefabricated Box Girder

LV Jing, ZHANG Dazhi, SUN Genqiang

(1. Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066;

2. Xiongan High-speed Railway Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei 050000)

Abstract: In the prefabricated box girder of high-speed railway, the quality control of prestressed tension construction is very important, which directly affects the safety and durability of the bridge in the process of use. Combined with the prestressed tension construction of Xiongshang High-speed Railway, this paper introduces the principles and characteristics of intelligent and high-precision synchronous prestressed tension construction technology, analyzes and discusses the construction points, summarizes the acceptance criteria, and puts forward the relevant matters for attention. It has a good reference significance to improve the construction efficiency of high-speed railway box girder, ensure the quality of tension construction, improve the overall construction level of box girder, and ensure the safe and reliable operation of railway.

Key words: High-speed railway; Box girder; Prestressed tension; Intelligent tension; High-precision; Synchronous tensing; Xiongshang High-speed Railway

1 概 述

预应力孔道张拉是高速铁路箱梁预制的关键工序,亦为特殊工序,对预应力体系的影响至关重要,甚至会影响到桥梁的使用寿命和耐久性,进而影响到铁路的运行安全。为了提高预应力张拉施工的质量及施工效率,降低施工成本,提升梁场的智能化水平,笔者结合雄商高速铁路临清制梁场智能化、高精度同步预应力张拉工程实例,对新一代智能化预应力张拉工艺进行了介绍,根据验收标准总结出相关经验并提出了相应的注意事项。经实践验证:新一代智能化张拉技术先进,应用情

况良好,进一步提升了高速铁路预制箱梁的施工水平。

笔者所依托的工程为新建北京至雄安新区至商丘高速铁路,雄安新区至商丘段站前工程 XSZQ-08 标段,该标段途经山东省聊城市临清市东昌府区,全长 33.461 km。该段共设桥梁 2 座,其中桥梁长度为 31.658 km,路基 1.807 km,站场路基 1 座,简支梁施工采用梁场集中预制、铁路专用架桥机架设的方式^[1],该标段共设制梁场 1 座,其位于临清市刘垓子镇境内,占地面积为 13.78 hm²。该制梁场承担着雄商铁路站前八标 908 榀箱梁的预制与架设施工任务,梁场内设有

收稿日期:2024-06-26

制梁区、存梁区、辅助生产区、装梁区及办公生活区五大部分,梁场内设有制梁台座 16 个,双层存梁台座 112 个。梁型为双线简支梁,设计使用年限为 100 a,采用 C50 混凝土,主要以 32.6 m 梁长为主,部分 24.6 m 的梁长用于调跨。箱梁的截面高度为 3.032 m,桥面宽度为 12.6 m,箱梁的最大自重约为 697 t。高速铁路预制箱梁的张拉分为三个阶段:即预张拉、初张拉和终张拉。其中预张拉是为了防止混凝土早期裂纹,其条件为混凝土强度达到 60% 以上;初张拉是为了将梁体从制梁台座移至存梁养护区,其条件为混凝土强度达到 80% 以上;终张拉在存梁区进行,其条件为混凝土强度和弹模均达到 100% 且其龄期不少于 10 d。

2 智能化、高精度同步预应力张拉系统的技术原理及特点

智能化、高精度同步预应力张拉系统主要由四台智能泵站(1 台主泵站和 3 台副泵站)、四台千斤顶及一套计算机控制系统构成^[2]。由计算机控制系统控制智能泵站,每一台智能泵站控制一台千斤顶。千斤顶主要由压力传感器、位移传感器、油缸和夹片测量装置等精密设备组成。这些组件的协同工作依赖于一个预先设定的系统程序。该系统根据所设定的程序从主机发出精确的控制指令实现对另外三台设备的同步操控,确保其能够同步执行相同的机械动作,从而高效、准确地完成整个张拉过程,具有张拉精度高、同步性好等特点。

与传统施工方法相比,该系统具有以下优点:(1)实现了一台主机控制多台千斤顶同步张拉,进而提高了同步率;(2)实现了全程自动化,减少了人为因素对施工质量的影响;(3)张拉数据真实且具有可回溯性;(4)每工作班可节省 4 名作业人员;(5)实现了远程监控,有利于对施工质量的实时把控。

3 工艺要点

预应力张拉施工工艺流程见图 1。

(1)张拉参数的准备。对于张拉参数,主要准备了三个板块:①静态工艺参数;②动态工艺参数;③表头等参数。静态工艺主要包括:钢束单端设计张拉力、钢束单端理论伸长值、单端锚外自由回缩量、每个钢束张拉总次数的设置等。动态工艺主要包括:张拉阶段的设置、张拉钢束及张拉顺

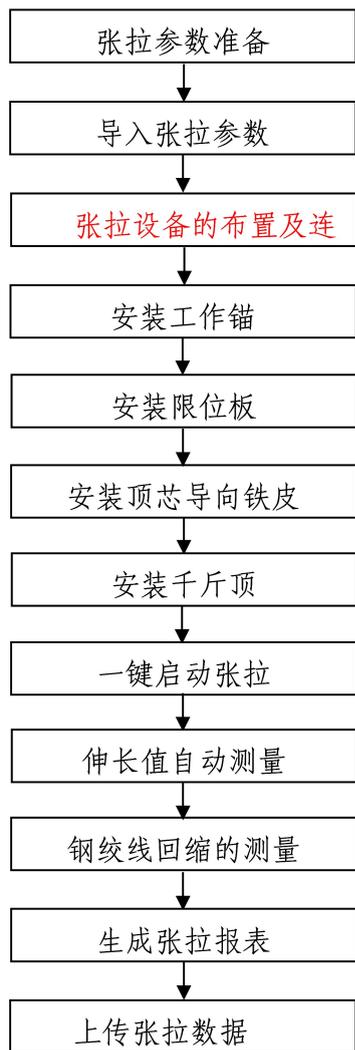


图 1 预应力张拉施工工艺流程图

序的设置、张拉阶段初始百分比的设置、张拉静态时间的设置。表头等参数主要包括:梁号、梁型、混凝土强度(弹模)、钢绞线弹模、锚夹具型号等。

(2) 导入张拉参数。

为了提高工作效率、方便施工,项目部在电脑端安装了智能张拉系统,并在办公室将其参数填写完毕、导出数据包保存至 U 盘。现场只需在张拉设备主机端新建桥名(梁号)并将提前准备好的数据导入至对应的梁号中即可。

(3) 张拉设备的布置及连接

①按照预先标定的对应关系,使用通讯线将千斤顶、压力传感器、位移传感器和智能泵站连接起来,并注意其一一一对应关系。

②布置张拉控制站(主机)与辅机的位置。张拉控制站应选择选择在箱梁一端的侧边,其应设置在

不影响现场其他工序施工、控制站能安全工作、无阳光直射、能方便看到箱梁两端并能连接到电源的地方。智能张拉的平面布置见图 2, 自动张拉的侧面位置见图 3。

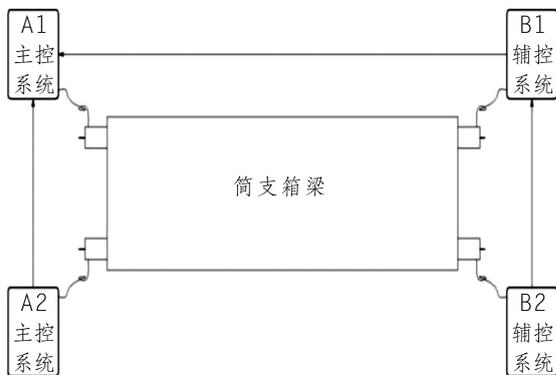


图 2 智能张拉平面布置图

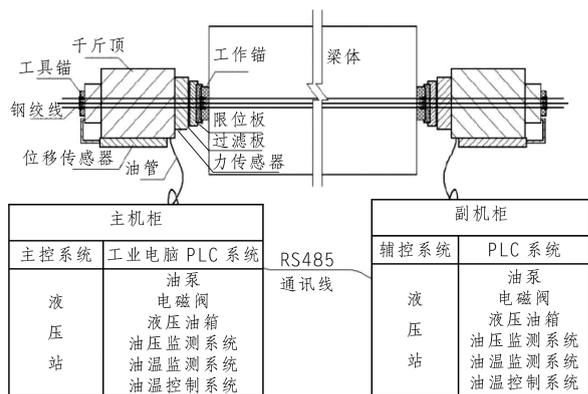


图 3 自动张拉侧面位置示意图

③连接电源: 电源采用三相四线。

④连接油管: 为了防止进油管与回油管混淆, 应确保进油管安装在距离梁端近的一侧; 同时检查油嘴及接头是否含有杂质并彻底将其擦拭干净、确保其清洁。

⑤连接各个智能泵站的通讯线, 将筒支梁各端的两台泵站连接, 然后用一根通讯线将筒支梁两端的泵站进行连接。

(4) 安装工作锚与限位板

清除锚垫板下的水泥浆, 将钢绞线逐根对孔穿入工作锚中, 同时安装工作夹片, 使用钢管将工作锚夹片打紧。安装时必须使工作锚落入锚垫板止口中并使其与孔道轴线同心^[3]。工作锚安装完成后, 进入张拉限位板安装阶段。限位板安装时, 必须根据该片梁所使用的钢绞线直径精确选择相应槽深的限位板, 以确保张拉过程的准确性和安

全性。

(5) 安装千斤顶孔芯导向铁皮与千斤顶

采用项目部自主研发的自动夹锁内卡式千斤顶, 这是一种免安装工具锚和工具夹片的千斤顶。为了使千斤顶孔芯方便地穿入钢绞线, 在安装千斤顶前需要在钢绞线前端 2~3 cm 处安装一个厚约 5 mm 的导向铁皮, 孔眼必须与千斤顶孔芯、工作锚的孔眼同心。安装千斤顶时应确保孔道、工作锚与千斤顶中心同轴。由于在智能张拉千斤顶前端安装有传感器, 而传感器的尺寸必须满足张拉要求, 故无需再安装延长套。

导向铁皮安装完成后晃动千斤顶即可将钢绞线穿入千斤顶, 再将千斤顶推至与限位板紧贴使其入槽对中, 稳住千斤顶待油缸出顶 2~3 cm, 千斤顶的孔芯自带夹片可实现与钢绞线的自锁。检查钢绞线的外露长度是否满足设计要求, 钢绞线头是否有散头现象以避免造成千斤顶安装困难。

(6) 一键启动张拉

以上工作全部结束后, 再次检查张拉设备数据线的连接是否良好, 然后点击、开始张拉按钮。开始张拉时, 千斤顶的受力必须与梁端锚穴面垂直; 再次检查锚具、千斤顶、孔道三者的轴心是否同心, 有偏差时应用手轻扳千斤顶或用手锤轻击限位板调整位置使三者同心。整个张拉过程全部按照导入的参数进行, 一般情况下无需人工干预。

在整个张拉过程中, 操作人员应实时观测电脑终端, 若发现因电脑故障出现的异常现象, 应及时按下急停按钮, 待查明原因并处理后方可继续张拉。张拉分为 5 个过程: 初始应力阶段、张拉阶段、控制应力阶段、锚固阶段与油缸回程。

(7) 伸长值的自动测量

在智能化、高精度同步张拉千斤顶上装有测量装置。在整个张拉过程中, 油缸的伸长量会实时被采集并通过计算机系统将伸长值偏差和不同步率实时显示, 该装置还设有超差自动报警装置。应当特别注意的是: 若采用无夹片测量装置的普通千斤顶张拉时, 还需要手动测量工具夹片的回缩值, 并在每束钢绞线张拉结束后手动输入; 若采用有夹片测量装置的普通千斤顶或内卡式千斤顶时, 则无需手动测量工具夹片的回缩值。

预应力张拉以张拉力为主,采用伸长值进行校核。张拉过程应确保其张拉伸长值的偏差在设计伸长值的 $\pm 6\%$ 范围内。当伸长值偏差超过 $\pm 6\%$ 时,暂停张拉,检查原因,待问题解决后再继续张拉。

单端实际伸长值的计算公式: $\{\text{控制阶段油缸的伸长值}-\text{初始阶段油缸的伸长值}-(\text{初始阶段工具夹片外露}-\text{控制阶段工具夹片外露})\}/(1-\text{初始阶段设计力}/\text{控制阶段设计力})$

伸长值的偏差: $\{(\text{实际伸长值}-\text{理论伸长值})/\text{计算伸长值}\} \times 100\%$

不同步率: $\{|\text{A端实际伸长值}-\text{B端实际伸长值}|/\text{实际伸长值}\} \times 100\%$

(8) 钢绞线回缩的测量

张拉进入锚固阶段时,系统会自动采集锚固阶段千斤顶油缸的伸长量。计算公式为: $\text{控制阶段油缸伸长量}-\text{锚固阶段油缸的伸长量}-\text{锚外端的自由回缩量}$ 。

(9) 生成张拉报表

在每束钢绞线张拉完成或整个张拉结束时,返回张拉界面,点击生成张拉报表,即可生成 Excel 格式的张拉报表。

(10) 上传张拉数据

在要求上传张拉数据时,必需安装对应的接口模块。张拉完成时即可将张拉报表和张拉实时过程上传至相关平台。

4 质量控制措施

4.1 张拉施工质量的控制

预应力张拉施工质量控制见表1。

表1 预应力张拉施工质量控制表

序号	检验项目	标准	施工单位 检验数量	检验方法
1	锚具、夹片等的规格与数量	符合设计要求	全部	观察和丈量
2	张拉时的混凝土强度	符合设计要求	全部	同条件试块的抗压强度
3	张拉应力、顺序等	符合设计要求	全部	观察
4	伸长值偏差	$\leq \pm 6\%$	全部	观察和计算
5	不同步率	$\leq 5\%$	全部	观察和计算
6	断丝率	$\leq 0.5\%$	全部	观察

4.2 滑断丝的处理

在张拉过程中,如果遇到断丝滑丝现象可以按照以下步骤进行操作:

(1)在滑丝的另一端用单孔连接器将钢绞线接长至露出工作锚端面 60 cm 左右。

(2)用一块尺寸为 450 mm \times 60 mm \times 40 mm 且中心钻有直径 20 mm 孔的钢板使钢绞线穿过钢板中心孔^[4]。

(3)使用 25 t 千斤顶张拉钢绞线,当活塞伸长时工具夹片随钢绞线外移。

(4)用钢丝钩子缓慢钩出工具夹片。

(5)缓慢回油放松钢绞线,待更换工作夹片后重新张拉。

(6)若工具夹片滑丝而工作夹片无异常,更换新工具夹片后补张或全部放张后重张。

4.3 其他注意事项

(1)严格控制预应力管道的位置,定位网偏差不大于 4 mm。增加定位网的刚度并将焊接在梁体钢筋上,减少定位网的设置误差和移动量。

(2)在预应力钢绞线使用前,必须按实测的弹性模量进行计算。

(3)根据相关规范要求进行管道摩阻、喇叭口的摩阻测试^[5],并根据测试结果及时调整张拉力及理论计算伸长值。

(4)应对张拉设备,特别是千斤顶上的压力传感器、位移传感器和测量装置做好日常的保养工作,特别是防水防潮工作。

(5)在整个张拉过程中,操作人员应实时观测电脑终端,若发现异常现象,应及时按下急停按钮,待查明原因并处理后方可继续张拉。

(6)检查钢绞线的外露长度是否满足设计要求,钢绞线线头是否有散头现象,以避免造成千斤顶安装困难。

(7)检查油泵、油管安装的是否正确,接头处应牢固,不得出现漏油现象。

(8)应定期检定张拉设备。张拉设备应配套标定,配套使用。

(9)选择责任心较强的工程技术人员完成预应力智能张拉系统的操作。

(10)预应力张拉以张拉力为主,采用伸长值进行校核。张拉过程应确保张拉伸长值的偏差在设计伸长值的 $\pm 6\%$ 范围内。

5 结语

智能化、高精度同步预应力张拉施工技术在

(下转第 57 页)

(1)在空间受限的情况下不能直接采取架桥机、龙门架等方式进行架梁工程时,可以采用操作更灵为活的抬吊法架设箱梁。

(2)当采用抬吊法施工遇到起重机械吊装半径不能够满足施工要求时,可以采用对工作面需求小、具有带载行走能力的履带吊,替代传统方式中更换具有更大起重能力起重机械的方法,其经济性更好。

(3)采用履带吊进行抬吊法施工时,一定要重点针对履带吊吊重方向的地基进行加强处理,适当换填大块刚性支撑材料,如较大的混凝土碎块、块石等,并在承载面上铺设钢板,可以有效地减少履带吊履带的沉陷。还需考虑配备一定数量的级配碎石用于处理履带吊转向引起的基础面挤压变形。

(4)一定要充分考虑履带吊的荷载,如带载行走的折减系数、物件不平衡分配、吊钩的重量、钢丝绳的重量、风荷载影响等,绝不能直接套用设备吊装曲线表,以确保安全。

(5)履带吊带载行走与吊装半径的调整、起重臂转向等的操作不应同步进行。笔者建议:应按照先调整、后移动的顺序进行操作,以降低工况组

(上接第 16 页)

雄商高铁临清制梁场的成功应用,消除了传统张拉方式带来的同步率差、持压时间不能保证、张拉精度不高等缺点,有效提高了施工质量,优化了工作流程,提升了效率,减少了潜在的安全隐患,有效地减少了管理成本的支出,亦满足了现场施工安全风险管控、施工工期等方面的要求,取得了较好的社会效益。

参考文献:

- [1] 屈超. 高速铁路建设箱梁预制场的布设方案探讨[J]. 铁路工程技术与经济, 2017, 32(2): 43-45, 49.
- [2] 戴斌. 智能张拉系统在控制预制箱梁张拉力精度上的应用研究[J]. 市政技术, 2019, 37(2): 92-95.

合的复杂性,确保现场安全可控。

(6)两台履带吊协同配合转向时,一定要控制好各自转向的速度,必须全程关注钢丝绳是否垂直,特别是钢丝绳与被吊物体接触处的相对位移情况。正式施工前,应进行试吊装模拟试验以确定各自的速度和操作工序。

(7)进行结构冲突检算时,一定要综合履带吊的机械尺寸、主臂尺寸、钢丝绳长度、工作半径和相邻结构位置进行验算以降低吊装风险。

参考文献:

- [1] 孙彬彬. 城市复杂环境下钢结构桥梁吊装施工技术[J]. 广东建材, 2022, 38(2): 67-69.
- [2] 叶建荣, 王学峰, 肖国徽. 低净空高架桥下钢箱梁吊装施工技术[J]. 广东土木与建筑, 2022, 29(7): 104-107.
- [3] 关柯, 刘长滨. 《建筑施工手册》第四版(缩印本)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [4] 张广义. 低净空钢箱梁分节段吊装施工技术[J]. 中国公路, 2020, 27(9): 95-97.
- [5] 郭刚, 周志国. 浅议起重吊装中的双机抬吊方法[J]. 四川建筑, 2020, 35(3): 221-223.

作者简介:

乐闻多(1986-),男,四川成都人,项目总工程师,副高级工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工作。

(编辑:李燕辉)

- [3] 张俊,陈强. 预制箱梁简支转连续施工技术及其质量控制[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017, 13(6): 57-59.
- [4] 王吉连,李陆平. 一种新型多孔前卡式千斤顶在 T 梁张拉中的应用[J]. 铁道标准设计, 2009, 51(12): 68-71.
- [5] 吴建强,王鹏翔. 高速铁路悬臂浇筑连续梁施工质量控制[J]. 铁路技术创新, 2022, 19(5): 93-98.

作者简介:

吕静(1998-),女,黑龙江哈尔滨人,助理工程师,从事高速铁路工程建设施工技术与管理工作;

张达志(1990-),男,甘肃环县人,工程师,学士,注册安全工程师,从事高速铁路工程建设施工技术与管理工作;

孙根强(1981-),男,河南商丘人,工程师,从事铁路工程建设施工技术与管理工作。

(编辑:李燕辉)