

大吨位先张法 U 梁张拉施工新技术的探讨

宫能波

(扬州市交通建设管理有限责任公司 扬州 225000)

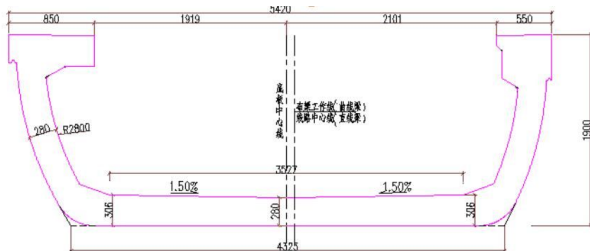
摘要:随着城市轨道交通工程中的高架桥梁工厂化集中预制施工技术不断成熟,如何提高预制生产各工序施工效率及安全质量保障措施尤为重要,因此对桥梁预制生产需要增加大量投入,其中科技创新投入当属第一。通过不断的探索和创新,深入发掘产品本质和配套资源,以设计出更加优秀的施工方案,创造出更加先进的施工技术。桥梁预应力施工质量的好坏,直接影响到城市轨道交通工程的结构使用安全,控制好预应力施工质量是保证城市轨道交通工程安全的关键。

关键词:轨道交通; U 型梁; 预应力; 先张法; 大吨位

引言:随着国内经济的高速发展,城市轨道交通工程的建设速度在不断的加快。在城市轨道交通工程建设施工过程中,由于高架桥梁的先张法预应力混凝土预制梁因其耐久性好,结构受力合理、经济性优越、质量性能稳定以及线路平顺性易控制等优点已逐渐取代预应力后张混凝土梁,预应力先张法混凝土结构梁现已广发被运用。随着混凝土强度等级的不断提高,高强钢筋的进一步使用,大吨位先张法预应力施工技也日趋成熟。

1、工程概况

深圳市轨道交通6号线工程南起龙华区深圳北站至宝安区松岗镇,全线37.85km。全线除穿越山体地段采用隧道,终点考虑与11号线转乘的便捷性采用地底线路外,其它地段已采用架空路线为主。高架上部结构采用整孔预制U梁设计跨度为20m、25m、26m、27m、28m、30m、32m、35m,跨度20~30米采用先张法预应力砼结构,跨度大于30m采用先张和后张结合预应力砼结构,20~30米U梁上部宽5.42m、中部梁高1.9m、端部1m范围内梁高2.02m,30米 U梁重206吨,35米U梁上部宽5.42m,梁高2.02m,35米 U梁重280吨。30米及以下跨度U梁混凝土强度等级为C55,30米以上跨度为C60。



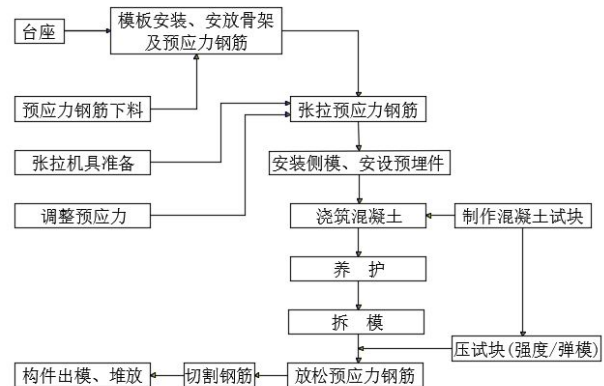
U梁断面图

2、传统工艺概况及存在问题分析

2.1 先张法混凝土 U 型梁预应力设计及施工概述

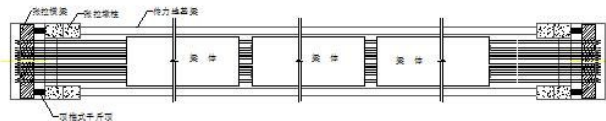
预应力先张法混凝土梁的设计一般采用多束钢绞线布置,由夹具固定在台座上。在浇筑混凝土前提前给预应力筋两端一个设计拉应力并固定在两端专用承力墩台上,待混凝土达到设计强度和龄期,以保证具有足够的粘结力和避免徐变值过大后,放松预应力钢筋,在预应

力筋回缩的过程中利用其与混凝土之间的粘结力,对混凝土施加预压应力,使预应力筋的预使应力传递给混凝土梁体达到预应力效果。

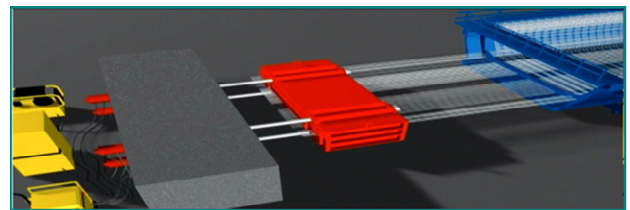


U 梁预制工艺流程图

先张法预应力施工传统工艺采用台座两端预设承力墩台,使用两台或两台以上顶推式千斤顶尾部支撑在承力墩台外侧,千斤顶活塞缸一端顶推钢绞线锚固横梁。



顶推式张拉原理简图

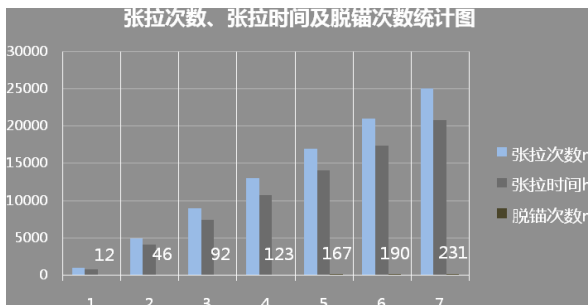


牵引式方案效果图

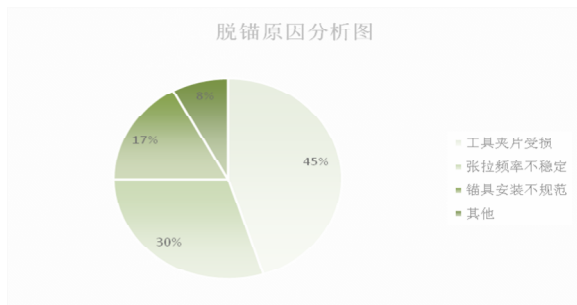
2.2 传统工艺存在的问题

通过对类似工程先张法施工工艺进行了大量的调查和资料收集,调查过程中发现在目前的张拉系统存在的问题主要有两个方面:一方面,所有的控制系统均设置在现场相对应的张拉台座指定位置,且小顶初张和大顶

终张的系统都是独立分开的，这让现场操作变得繁琐，不方便现场管理，资源整合难度较大。另一方面，由于牵引式千斤顶采用液压传感器，油缸行程不足造成大跨度结构或长线法施工时满足不了预应力筋的设计应力伸长量，只能实现第二阶段大顶整体张拉，张拉结束后依靠穿心式小千斤顶逐根张拉到设计吨位，延长工作时间。当人工对每根预应力筋进行最后一阶段小顶终张时，因单根预应力筋初始力值较大，长线施工单根预应力筋锚具和连接器较多，张拉频率不稳定等因素，随时都有可能出现脱锚情况，存在安全隐患。



张拉次数、张拉时间及脱锚次数统计图



脱锚原因分析图

从以上统计结果可以看出，由于预应力施工时小顶终张时间较长，张拉施工次数较多，千斤顶工具夹片消耗较大，单顶张拉脱锚情况较严重。传统工艺延长施工作业时间，对材料的消耗极大，对现场安全、进度以及质量控制还存在一定的问题。

3、设定解决目标

3.1 目标的设定

研发新型先张法全自动智能张拉系统，提炼总结编制工法，形成施工工艺。满足工期要求，在确保整体式张拉施工质量的同时提高先张法专业化生产要求。

3.2 目标分解

目标一：确保实现牵引式全自动智能张拉系统。减少施工作业时间，杜绝预应力筋张拉过程中出现脱锚现象。

目标二：实现专业化生产。设立远程独立的张拉操控室，通过主控台直接控制、记录整个梁场的张拉施工，实现智能化泵站。

3.3 目标可行性分析

能否实现这个目标，首先要对目标的可行性进行分析：

①、外部环境：本工程是深圳市首次引入先张法预制轨道梁，政府及社会各界关注度高。业主对工艺革新给予充分支持，目标实施有良好的外部条件。

②、上级单位支持：先张法预应力施工是我公司的主要引领行业技术之一，是公司技术与研究的焦点，在资金、技术力量等方面能首先得到集团和公司的支持，具备成功实施的资源条件。

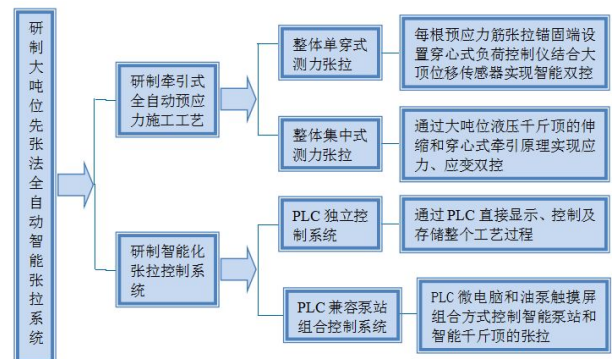
③、项目自身水平：项目技术团队力量强，多位技术骨干曾参与过先张施工工艺革新，理论基础好，创新能力强。

通过以上的可行性分析，可以得出前面设定的目标可以实现。

4、提出方案并确定最佳方案

4.1 提出方案

通过详细分析了智能张拉系统的各个组成部分和张拉台座的稳定性，邀请设备厂家对液压系统和全自动化数控屏显的实现进行深入讨论研究，结合本工程实际情况，共提出了以下4种对策方案：



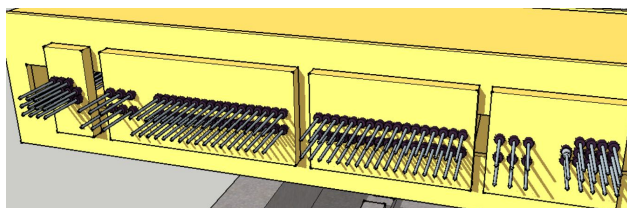
4种具体对策方案

4.2 方案对比及确定最佳方案

通过对4个方案进行综合论证，得出以下对比分析：

①、整体单穿式测力张拉：采用牵引式张拉施工工艺，通过在张拉端活动钢横梁上分丝板预应力筋锚固处一对一设置穿心式负荷控制仪，监测每根预应力筋的应力。通过小顶初张实现每根预应力筋的应力同步，以大顶同步张拉实现应力、应变双控。其优点：1.通过对每根预应力筋直接监测，减少其他因素的干扰；2.数据直观、真实；3.便于查找力值未同步问题的根源。缺点：1.预应力筋之间的间距有限，对于穿心式负荷传感器的尺寸有要求，需厂家订制。2.本工程梁体张拉钢束较多，所需负荷传感器数量较大，工程投入成本较大。3.由于每次监测目标较多，数据分析较为复杂，不便于系统管理。

效果示意图



②、整体集中式测力张拉：通过对传力杆两端固定锚锁，置高精度大吨位荷载传感器于大千斤顶前端，通过千斤顶的伸缩，带动锚固在活动钢梁上的预应力筋，从而实现应力控制。设置磁致伸缩位移传感器监测大顶位移伸长量，以此来实现张拉过程中应变控制。其优点：1.制作及安装（拆卸）方便；2.相对于以往采用的液压式传感器更稳定，精度更高；3.传感器和大顶配套使用，数量较少，造价成本低。缺点：1.其受力变形要求质量高，体积大，市场无标准件，需定制加工；2.台座基础施工时预留孔洞位置精度要求高。

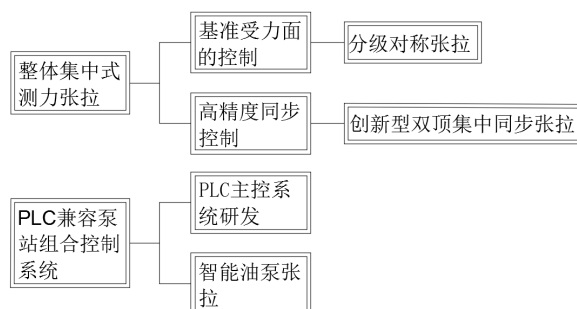
③、PLC独立控制系统：通过PLC微电脑可编程逻辑控制器，直接对现场各个泵站进行控制，即输入采样、用户程序执行和输出刷新。在整个运行期间，可编程逻辑控制器的CPU以一定的扫描速度重复执行上述三个阶段。结合施工现场各张拉区域的视频监控，从而可以实现张拉操作技术员只需通过在张拉控制室就可控制张拉施工作业。其优点：1.操作容易，程序简单；2.稳定性强；3.硬件配套齐全，使用便捷，适应性强；4.功能完善，性价比高；5.易安装及调试；6.维修方便，易保养；7.现场作业环境相比以前得到很大的改善提高；8.现场施工人员数量减少，功效提高。缺点：1.现场控制点较多，系统程序出现超负荷运作；2.大吨位张拉对于现场危险性较大，安全管控有待提升。

④PLC兼容泵站组合控制系统：该系统相对于PLC独立控制系统增设了智能化液压泵站，现场施工作业可通过对应的智能泵站进行独立操作，同时张拉控制室PLC系统统一控制现场各个智能泵站。其优点：1.通过增设智能化液压泵站，减缓主控系统的运行负荷；2.分级控制对于系统的检修提供很大的方便；3.在出现紧急故障的情况下，主控系统和智能化泵站都可任意控制，确保作业安全。缺点：1.智能化泵站是首次提出，无实例参考，开发难度大；2.PLC兼容智能泵站组件复杂，前期设计难度较大。

5、方案实施过程中必须解决的问题

通过对上述4种研制方案进行论证，结合我项目的施工范围、成本、质量、工期和环境影响，确定1、3号研制方案不予采用，2、4号研制方案为可采用方案。在方案2中，要实现先张法全自动智能张拉，第三阶段大顶智能张拉取代传统的人工手动补张还需解决初张结束后每束预应力筋是否均匀受力、大顶同步张拉液压系统的稳定性、大吨位高精度力学传感器的研发这两方面问题，可简称为基准受力面和高精度同步控制。在方案4中，要

实现先张系统的工厂化、专业化面临着主控系统和智能油泵的研发。确定最佳控制方案，见下表。

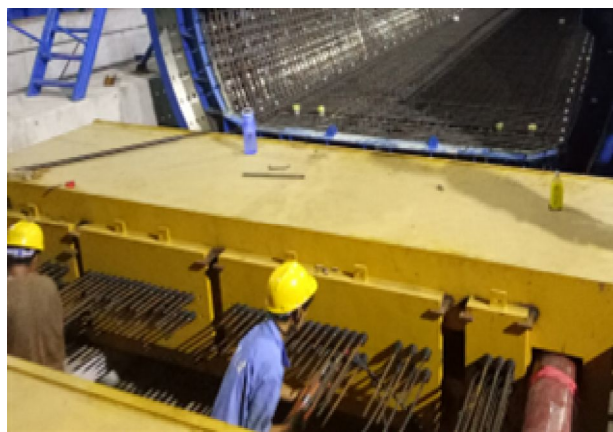


最佳控制方案

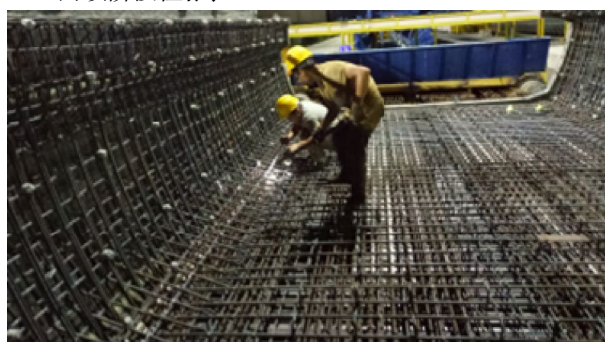
6、对策实施

6.1 分级对称张拉

通过初张小千斤顶对锚固在活动刚横梁上所有钢束从两端到中部对称均匀张拉，一次性张拉到目标力值。张拉结束后对钢筋骨架内的预应力筋进行障碍排查，对存在干扰的钢筋清障后，进行初张目标值补张，实现了基准面受力均匀。



两项阶段性张拉



排查干扰情况

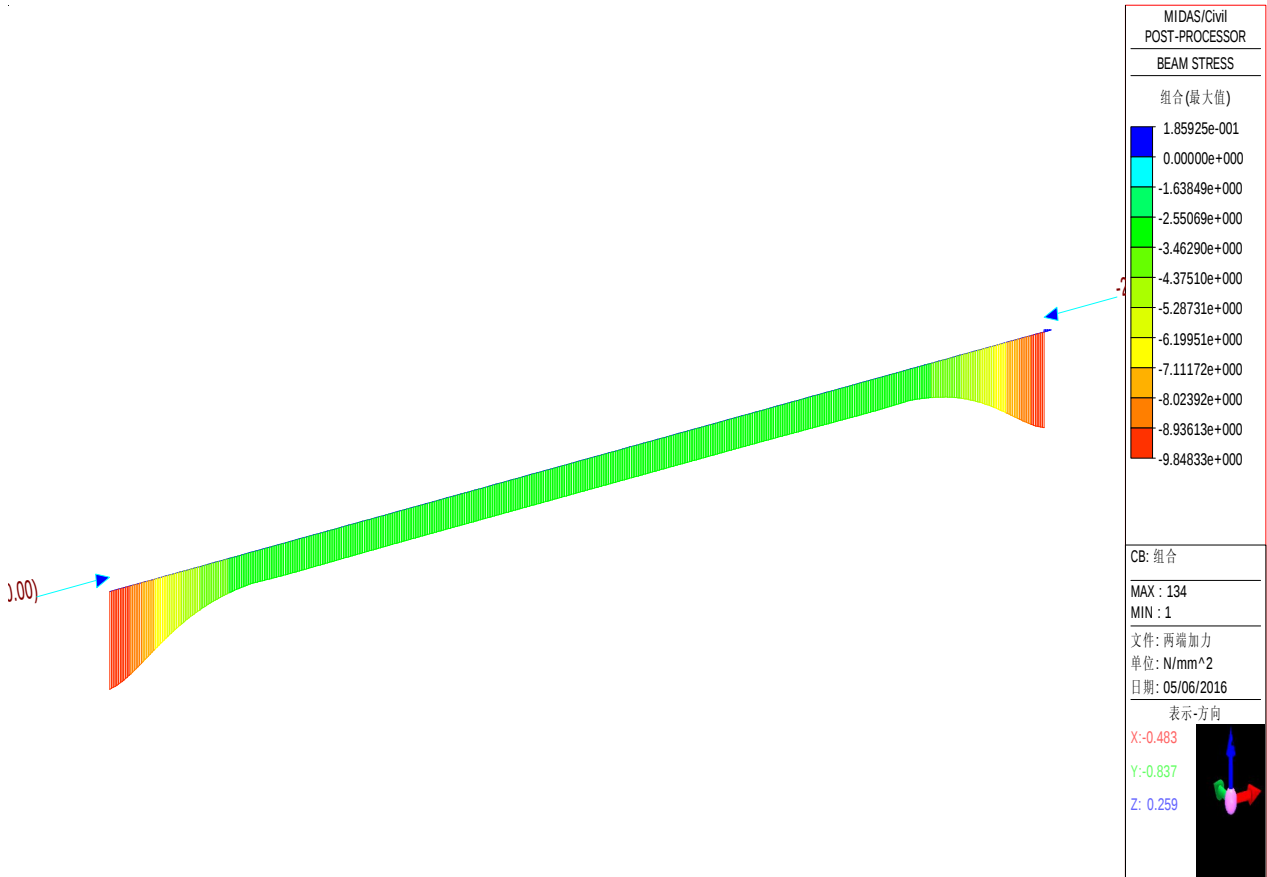


张拉末端受力情况

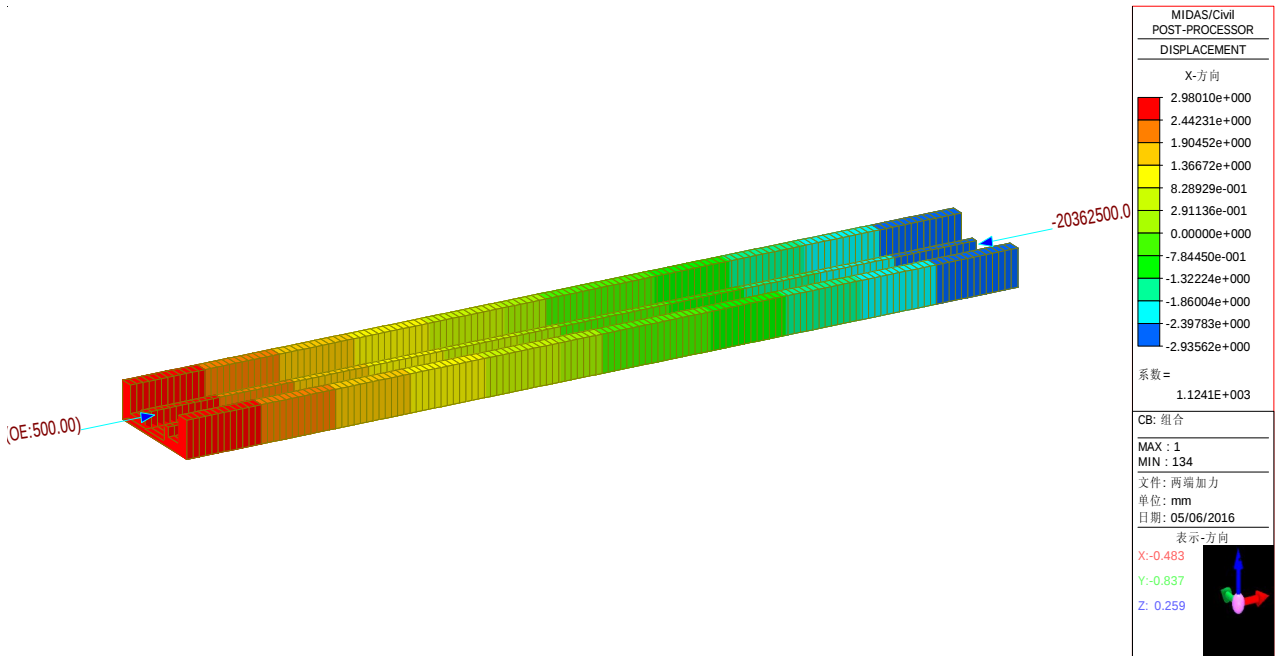
调查、验证、分析情况：经现场实际施工，并经现场检测，梁体钢绞线初张力值受力均匀，基准面单根钢绞线受力误差 $< 1\text{kN}$ ，抽查的钢绞线受力合格率100%。

6.2 创新型双顶集中同步张拉

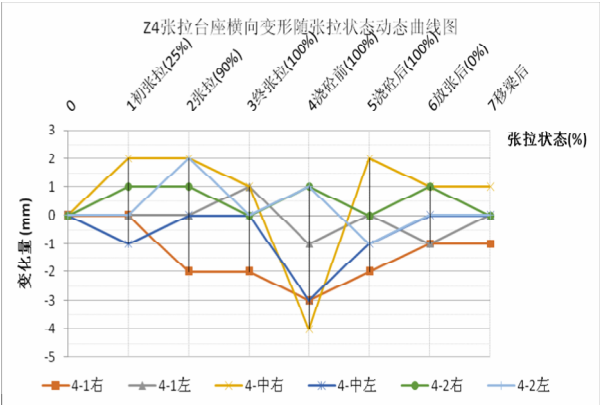
压应力图



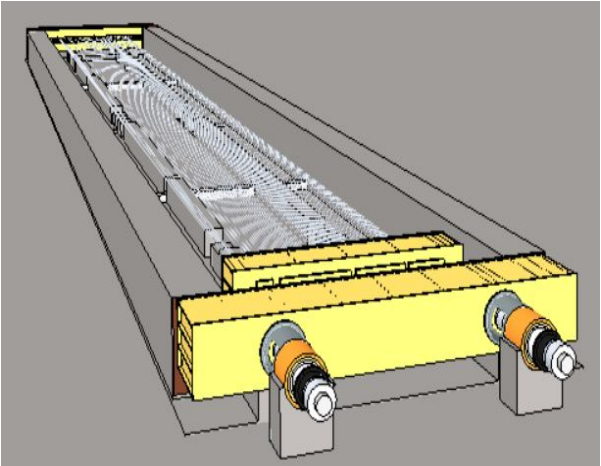
受压变形图



经有元分析制梁台座屈服极限载荷为191F, 受压稳定性满足要求。轴压力作用下最大压应力为9.85MPa, 小于混凝土抗压强度, 满足要求。始节点1的变形量为2.98mm, 终节点135变形量为2.94mm, 则制梁台座总压缩量为5.92mm, 考虑钢筋对其约束后压缩量小于5mm。验算合格, 满足使用要求。



施工现场检测图



牵引式双顶同步张拉方案 1:1 三维效果图



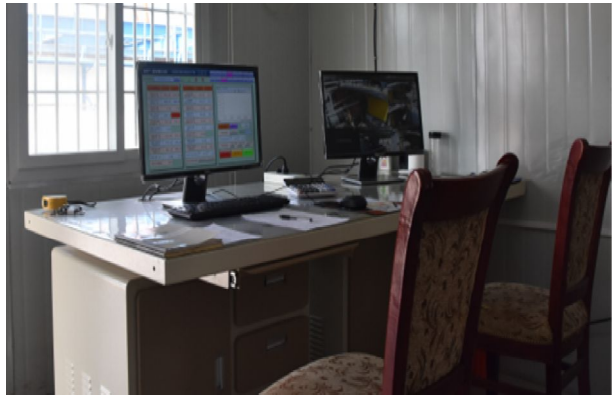
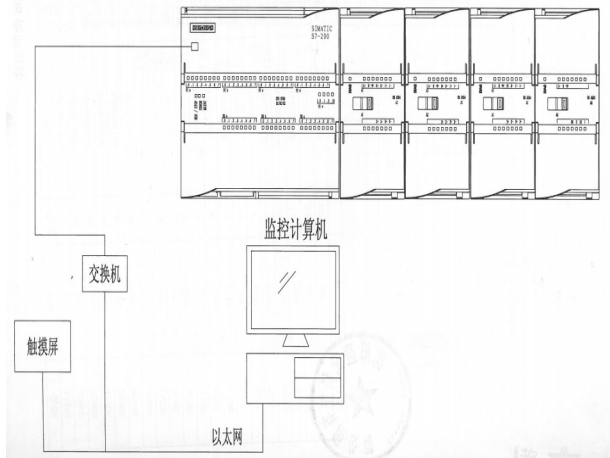
现场实物图

调查、验证、分析情况: 经理论分析和现场实际检

测, 张拉台座满足使用要求, 两顶同步控制满足设计吨位需求, 应力、应变可控。

6.3PLC主控系统研发

通过运用以太网, 结合远程监控和PLC集成控制系统, 依据PLC系统稳定可靠、性价比高、功能完善、操作灵活、维修方便等优点, 在施工现场设立独立的张拉操控室。根据现场工况和要求, 并与设备厂家技术人员研究开发出专业预应力施工PLC控制系统。



张拉主控室



PLC集成线路控制柜

调查、验证、分析情况：经现场实际操作，系统平稳可控，设备使用过程无异常，实现了规范化施工作业。

6.4智能油泵研发

将小顶的低压阀组、低压泵组、电动机和大吨位千斤顶高压阀组、高压泵组合并，同时控制，泵站同时满足小顶初张和大顶终张，终张拉千斤顶由高压阀组控制，初张拉千斤顶由低压阀组控制。通过调整溢流阀的压力来控制主油路与回程油路的最高压力，通过旋转安全阀的调节旋钮(右旋调大或左旋调小)来设定系统的安全压力，当系统超过此压力时，安全阀打开，压力油通过安全阀流回油箱。通过与PLC控制柜兼容，设置液晶可触摸显示屏实现泵站独立智能操控。通过无线遥控简化初张繁琐的张拉过程。

经过运行实践检验，采用牵引式预应力方案在辅助同步控制系统不仅很好解决了传统工艺无法解决的问题，而且也是一种创新工艺，使先张法预应力这项重点难点以及危险源工艺不再危险，安全质量得到了切实保证。

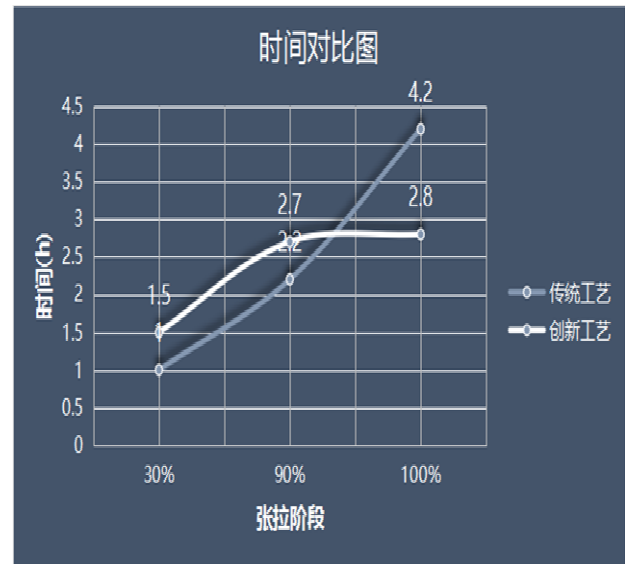


智能张拉油泵操作站

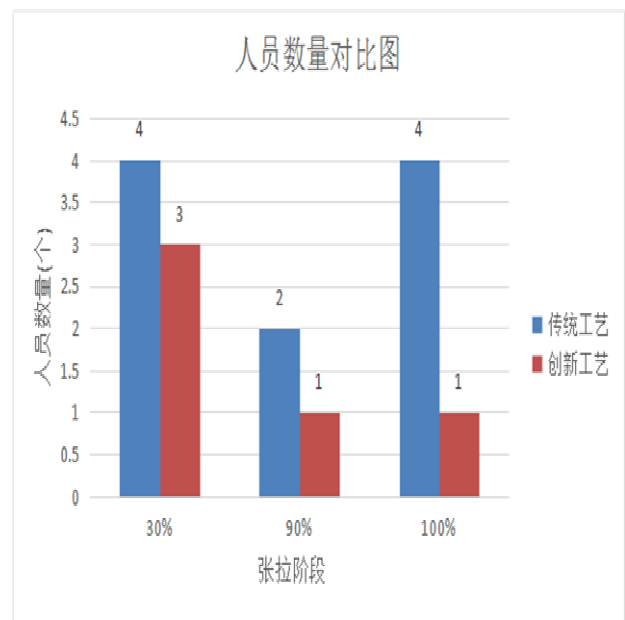
7、效果检查

整套系统于2016年04月26日正式投产使用，成功解决了第三阶段人工手动张拉的问题，缩短了张拉时间，减少了施工人员数量。实现了全过程数据存储和整合，杜绝人为改动，确保张拉数据真实有效。解决了预应力筋脱锚情况的发生，杜绝了安全事故的发生，确保了施工质量。通过专业化管理，实现了张拉作业人员只需在主控室就可对整个梁场进行张拉施工作业。我们小组对

常态化生产后人员的配置与所需施工时间进行了单个台座平均分析，相较于传统张拉如下图所示：



时间对比图



人员数量对比图

8、结论

本次攻关研发解决了传统大吨位先张法张拉的专业化、智能化问题，为今后的“U”形梁施工做出最关键的技术支持。采用本次研发的创新系统，相较传统工艺直接成本节省了大量施工成本，加快了施工进度，减少了人员配置。同时决绝了锚具脱锚现象的发生，减少了材料消耗，减低我施工安全风险。