

先张法折线配筋 预应力混凝土简支梁预制工法

(TGJGF-03·04-11)

中铁一局集团有限公司

一、前言

24m 折线配筋先张法预应力混凝土简支梁为分片式 T 型截面普通高度梁,全长 24.6m,梁高 2.20m,梁顶宽 2.07m,梁重 83.4t,是国内在青藏铁路多年冻土区的新建桥梁首次采用的新型结构,由铁道专业设计院设计。设计混凝土强度等级 C50,每孔两片梁,施工方量为 65.28m^3 。两片梁腹板中心距 2.0m,在隔板处施加横向预应力进行联接。该结构梁采用的折线配筋,改善了结构受力性能,突破了既有先张梁在 20m 以下的跨度局限。

该结构由中铁一局集团桥梁建筑工程有限公司在格尔木现场批量预制生产。在生产过程中研究开发了适于施工现场使用的偏心压柱式台座、折线预应力筋施工工艺、高性能耐久混凝土施工控制技术,于 2002 年 9 月 30 日通过局级投产鉴定,同年 11 月 27 日通过铁道部产品质量监督检验中心生产许可证审核,具有很好的推广应用价值。2002~2003 年共生产 210 片 T 型简支梁,产品质量优良,对生产技术进行总结形成本工法。

二、工法特点

1. 采用折线配筋转折器,有效改善了梁体受力性能,施工工序少,节约材料,具有更好的耐久性,特别适用于高原严寒地区使用。
2. 使用高性能耐久混凝土,可延长桥梁结构的使用寿命,减少维修、养护费用。
3. 使用整体放张楔块,节约了设备资金投入。

三、适用范围

本工法适用于高海拔、高寒地区铁路桥 24m(专桥青藏 04)T 型截面先张法折线配筋预应力混凝土简支梁预制。其他地区同跨度的先张法折线配筋梁的预制,亦可参照使用。

四、工艺原理

采用折线配筋的形式,使一部分预应力钢绞线弯起,并分散锚固于梁端,提供预剪力,有效地降低梁端主拉应力,从而改善结构性能,扩大了先张梁的使用跨度。

折线配筋是通过预埋导向装置来实现的。根据先张梁张拉及放张过程中导向装置的工作状态设置转折器,转折器具有以下特点:摩阻尽可能小;适应自身和梁体纵向移动;操作简便,价格合理。依据试验研究,转折器导向辊半径 $R=19.5\text{mm}$ 既能满足上述要求,又能满足高寒区钢绞线疲劳应力幅需降低的设计要求。

根据电算模拟放张工况分析,采用不同的放张顺序。当直线筋外露长度不小于 2m 时,先整体放张折线筋,切断转折器侧板,最后整体放松直线筋。

采用 C50 以上高强混凝土并掺加适宜的外加剂和粉煤灰等制备高性能混凝土,提高抗渗性能,改善抗冻融能力。

五、施工工艺

(一)24m 折线配筋先张梁预制工艺流程(见图 1)。

(二)施工要点

1. 台座

先张梁台座根据折线配筋的结构形式,采用了钢筋混凝土压力式传力柱和斜向钢支撑架相结合的台座形式(见图2)。传力柱为现场浇灌的钢筋混凝土结构,斜向钢支撑架通过预埋铁件和传力柱的牛腿联结。预施应力由活动横梁、传力柱和斜向钢支撑架来传递。在距跨中两侧各4.5m处设置预应力筋导向转折器,使折线筋按设计要求顺利弯起,预应力筋放张时松开控制转折器导向装置的预埋螺栓可使梁体作微小的纵向移动。

2. 模板施工

模板采用拼装式大块钢模板,由端模、侧模及桥面挡渣模板、边墙模板等组成。面板用厚8mmQ235钢板,加劲肋及支架用I20制作。工厂加工后,在工地台座上组拼。侧模板制作时端块长4.31m、中块长4m,同时设置同底模板相适应的预留反拱值跨中为30mm,长度应增加弹性压缩值20mm。拼装时按跨中30mm反拱(沿梁长按抛物线布置)调好侧模线后,将侧模按端部8.31m、中部8.0m为一节焊拼成整体,磨平、抛光焊缝。相邻模扇之间用M24螺栓联结。相应的纵向支架连成一个整体框架,以增加模板刚度。外模板与底模之间嵌有半径30mm燕尾型橡胶带,以防底脚漏浆。在底模板扁担处,每隔0.8m设置底脚顶楔,每4m模板支架设2根 $\phi 60$ 的可调丝杠作为支撑以加固模板。

立模时安装顺序为端模、侧模、U形螺栓、泄水管模、桥面挡渣墙模板、内边墙模板、端边墙模板。安装侧模板时,从一端开始先吊装内侧模扇再吊装外侧模扇。吊立侧模扇时侧模扇支架与底模板扁担相对位置必须准确,同时打好底脚楔子上好顶拉杆,用竖向可调丝杠调整好垂直度,与相邻模板联结好。

拆模顺序为:卸掉所有紧固件和联结螺栓,拆除底脚楔子、上拉杆以及挡渣墙、内边墙、端边墙等小构件模板,拆除侧模板下翻板顶杆、侧模板,然后将其吊离台座,放张后拆除端模板。

3. 高性能耐久混凝土施工

(1) 配合比选定

经青藏铁路耐久混凝土试验中心最终检测,8项耐久性指标(抗冻融循环性能、抗渗性能、护筋性、抗氯离子渗透性、抗裂性、耐腐蚀性、抗碱-骨料反应性能、耐风蚀性)符合规范要求的C50混凝土施工配合比见表1。

(2) 混凝土灌注

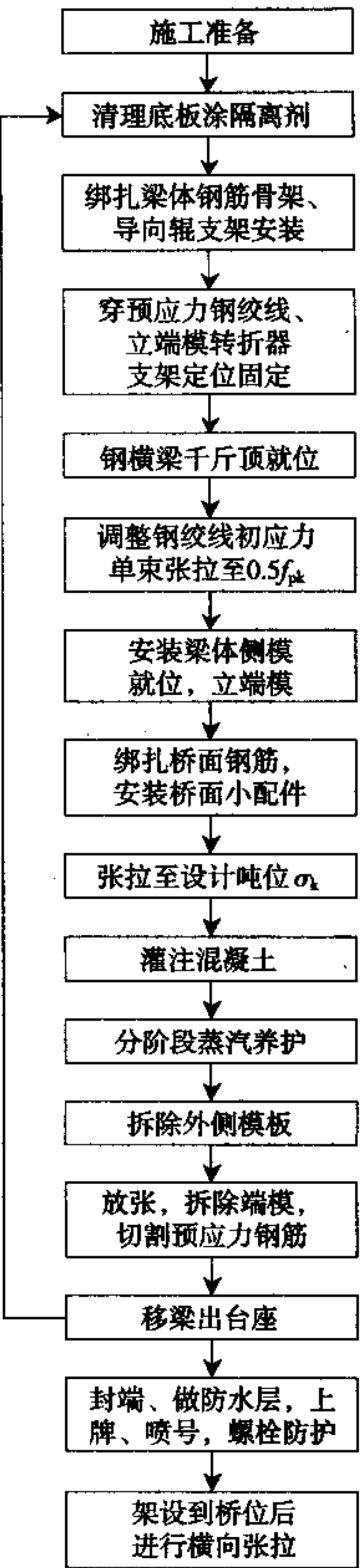


图1 折线配筋先张梁生产工艺流程

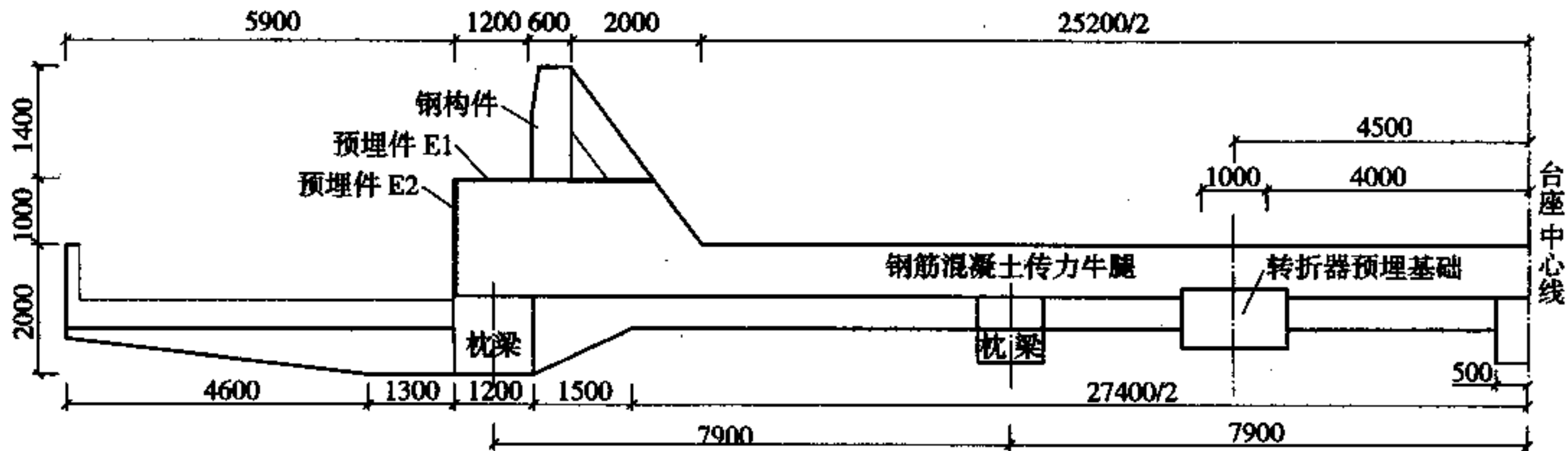


图2 折线配筋先张梁台座(单位:mm)

表1 C50 高性能耐久混凝土施工配合比

强度等级	水泥 P. O(42.5R)	砂(中砂)	碎石(5~25mm)	外加剂(DZ-4)	水	粉煤灰(I级)	坍落度	含气量
C50	420kg	613kg	1168kg	46.4kg	160kg	63kg	10cm	2.2%

耐久混凝土施工采用自动计量上料系统强制式搅拌机进行集中拌合。每盘混凝土拌制时间控制在210s左右。坍落度控制在9~12cm之间,搅拌完毕含气量控制在3%~5%,浇筑前含气量控制在2%左右,采用吊罐灌注混凝土工艺。施工性能、耐久性指标须满足要求。

灌注时对坍落度、含气量、泌水率三项指标进行监测,以保证耐久性指标得到实现。

混凝土灌注顺序为先底板,后腹板,再桥面板,采用水平分层、斜向推进,逐步从梁一端向另一端推进的连续灌注方案。工艺斜度以不大于1:3为宜,分层厚度不得超过20~30cm。混凝土必须连续灌注,一次成型,有足够的密实度。先后两层混凝土灌注间隔时间,以下层混凝土不初凝为准。混凝土运输中要求不发生离析、漏浆、严重泌水及坍落度损失过多等现象。

用附着式震动器和插入式震动棒相结合的方式振捣,每扇拼装后的模板在腹板中部及下翼缘处,交错布置两排1.1kW附着式震动器9台,内、外扇侧模每侧各布置17台。插入振捣时间为30~45s,附着振捣时间不少于1min,确保混凝土振捣密实。当混凝土表面不泛浆、不下沉、不再出现气泡、表面平坦时,表明混凝土已捣固密实。注意不宜过振。

梁体混凝土应尽量安排在白天施工,以便观察混凝土的灌注质量,灌注过程中应设专人看护模板,发现问题及时处理。模板底部可调丝杠应涂黄油加以保护。

夏季施工时,采用在模板钢筋上喷洒雾水方式降温。工地昼夜平均气温连续3d低于+5℃或最低温度低于-3℃时,按冬季施工措施处理:对原材料加热;灌注混凝土前对模板覆盖篷布通蒸汽预热升温,确保混凝土入模温度在5℃以上。灌注混凝土时,采用边掀篷布,边灌注,灌注完毕立即覆盖篷布通低温蒸汽。通气温度与张拉预应力钢绞线时的温差不得超过20℃。梁体蒸汽养护时,升降温速度不得超过10℃/h,保持50℃左右恒温养护不少于28~30h,自然养护时要及时喷养护剂保湿,以利混凝土强度增长,避免温差裂纹。

4. 预应力施工

(1) 钢绞线的穿入及张拉

穿钢绞线时从一端向另一端穿入,先穿直线再穿折线,先穿下层再穿上层。穿折线筋时必须注意穿过导向装置的正确位置。为保证穿筋时钢绞线不混乱,穿折线筋时每隔4m绑一横筋,穿完后将其拆除。

张拉采用工具钢绞线张拉体系。预应力钢绞线分为直线筋和折线筋两部分,其张拉顺序为:首先将直线筋初调,然后张拉折线筋,最后将直线筋张拉到设计吨位。

直线预应力筋采用单端张拉,整体初调,单束张拉,千斤顶配合放张楔块整体放张工艺。即一端为千斤顶、另一端为楔形放张块,两端进行整体放张。

直线筋张拉步骤:0→整推四个大顶至 $0.2f_{pk}$ (整体初调、测伸长值初读数)→单束张拉 $0.5f_{pk}$ (持荷3min)→锚固→立模、绑扎桥面筋→单束张拉到控制应力 σ_k (持荷3min,测量伸长值)→锚固。

折线筋采用两端张拉,为单束初调,单束张拉,两端均为放张楔块整体放张工艺。

折线筋张拉步骤:0→ $0.2f_{pk}$ (单束初调、测伸长值初读数)→单束张拉 $0.5f_{pk}$ (持荷3min)→锚固→立模、绑扎桥面筋→单束张拉到控制应力 σ_k (持荷3min,测量伸长值)→锚固。

张拉控制采用双控,即以油表读数为主、以张拉伸长值做校核。伸长值偏差超过6%时,应查明原因及时处理。张拉时应保证环境温度在0℃以上。

转折器附近的底部中间两根钢筋,制作时分段下料绑扎,并在折线筋张拉完成后,对转折器附近的钢筋进行补筋绑扎。

(2) 钢绞线放张

梁体混凝土强度达到设计值的85%、弹性模量达到相应值、混凝土龄期不少于3d、拆除模板(端模除外)后,即可放松预应力钢绞线。放张前,必须将转折器定位螺栓松出,以便放张时梁体纵向滑动。

放张按三步进行:先两端同时整体放松折线筋,再切断导向设备支承侧板,最后整体放松直线筋。放

张折线筋时采用放张楔块放张,放张时梁体两端整体交替徐徐放松,先拆除放张器卡板,再利用手动千斤顶顶松楔形块,尽量使同一端的两个放张器同步,放完折线筋后,切割预埋在梁体外侧的转折器侧板。直线筋采用千斤顶配合放张楔块进行放张。在安有放张楔块端按照折线筋的放张方法,用放张楔块进行放张;另一端松开千斤顶保险箍,油泵徐徐回油,直至钢绞线全部放松,放张时边放松边检查梁底爬行情况,及时测量梁体上拱度。

5. 梁体滑移、装运

梁体混凝土的强度和弹性模量达到设计要求,放张后,将梁体移出台座。移梁时用 P43 钢轨作滑道,用厚 20mm 钢板制成移梁钢板,钢板与滑道间满涂黄油润滑。用 2 台 50kN 慢速卷扬机配合 150kN 滑车组作牵引。

梁体横移前,用 2 台 1000kN 千斤顶在支座中心位置处将梁顶起,穿入钢轨及移梁钢板,用鱼尾夹板接通滑道,将梁体落在移梁钢板上。钢丝绳穿过滑车组挂设在梁体横隔板上,开动 2 台卷扬机移梁。为保证移梁过程中不使梁体和滑移钢板之间产生错动,在梁体与移梁钢板间垫设厚 20mm 的杂木板,在移梁板和梁体桥面板之间加设斜向支撑杆。

梁体通过移梁股道横移到 2 台 700kN 龙门吊下,装在运梁平板车上,加固后运出。

6. 横向联结施工

横向联结是在两片梁的横隔板间施加横向预应力,在梁体架设后现场施行。横向张拉采用单端张拉工艺。横向预应力筋用 $\phi 32\text{mm}$ 高强度精轧螺纹粗钢筋,强度级别为 735/935MPa、弹性模量为 200GPa。采用 YGM 高强度精轧螺纹粗钢筋锚具,张拉设备用 YG-70 型穿心式单作用千斤顶。桥梁架设就位后,在两片梁间横隔板预留孔道处放置内径为 $\phi 55\text{mm}$ 波纹管,将预埋在隔板内钢筋恢复水平搭接并绑扎在一起,确认联结钢板焊接牢固后,灌注 C50 微膨胀细石混凝土,混凝土强度达到设计要求后,张拉 $\phi 32\text{mm}$ 高强精轧螺纹粗钢筋并进行压浆、封锚,最后使用耐 -50℃ 低温聚氨酯防水涂料将联结板处缝隙封好。

六、机具设备(见表 2)

表 2 机具设备

序号	机械设备	规 格	数量	备 注
1	钢筋弯曲机	GW40A 型	5 台	
2	钢筋切断机	GQ40-1 型	2 台	
3	钢筋调直机	GT-4-14	1 台	
4	钢筋对焊机	UN-100 型	1 台	
5	电焊机	BX1-500 型	5 台	
6	强制式混凝土搅拌机	JW1000 型	1 台	
7	装载机	ZL50 型	1 台	
8	龙门吊	MH10-10 型	2 台	
9	水泥输送管	螺旋上料管	1 套	
10	车床	CA6240 型	1 台	制作铁配件用
11	钻床	Z3032 \times 10	1 台	制作铁配件用
12	剪板机	Q11-16 \times 2500 型	1 台	制作铁配件用
13	张拉千斤顶	YDC-200Q 型	2 台	单束张拉用
14	张拉千斤顶	机械锁定型	8 台	整体初调用
15	张拉千斤顶	YG-70 型	1 台	横向张拉用
16	电动油泵	ZB4-500 型	2 台	单束张拉用
17	电动油泵	YBZ10-49 型	2 台	初调整推用
18	螺旋式千斤顶	QLD50 型	12 个	放张用
19	自制楔型放张器	放张量 50mm	16 个	放张用
20	卷扬机	JM5 型	2 台	滑移梁用
21	滑车组	150kN	2 组	滑移梁用
22	振动器	1.1kW	160 个	混凝土浇注
23	蒸汽锅炉	DZL4-1.25 型	1 台	梁蒸汽养护用

七、劳动组织(见表3)

表3 劳动组织

序号	分 工	人数	备 注
1	制作钢筋	20	钢筋工13人、电焊工4人、普工3人
2	绑扎钢筋	30	钢筋工24人、普工6人
3	安装模板	17	模型工10人、装吊工2人、普工5人
4	拆除模板	12	模型工8人、装吊工1人、普工3人
5	模板维修	5	钳工1人、电焊工1人、普工2人、装吊工1人
6	铁件加工制作	19	车工1人、钳工2人、电焊工8人、钻床2人、普工6人
7	预应力张拉	12	张拉工8人、普工4人
8	灌注混凝土	22	混凝土工16人、普工4人、运浆车司机2人
9	拌合站	6	
10	预应力张拉	10	张拉工6人、普工4人
11	转折器维修	2	修理工2人
12	电工	6	
13	锅炉工	9	
14	水质化验工	3	
合计		173	

八、安全措施

在编制项目施工组织设计时,建立梁场安全保证体系,制定系列的安全保证措施。施工前对所有员工进行安全技术交底,施工中定期进行安全大检查。张拉钢绞线时,千斤顶后面不准站人,也不得踩踏高压油管,防止闲杂人员进入施工现场。起顶梁时必须搭好保险垛,一端完成之后,再顶另一端,严禁两端同时操作。滑移梁时必须保持两边行程一致,防止梁体受到侧向弯矩。移梁钢板与梁体混凝土接触点必须垫木板,以防损坏混凝土。高空作业人员必须严格执行相应的安全操作规程。

九、质量控制措施

1. 组建一个强有力的质量管理机构和质量监督系统。
2. 把质量工作贯穿到施工的全过程。明确规定每个部门、岗位在质量保证活动中所负的职责和具体内容,形成道道工序齐抓共管,使工程质量始终处于受控状态。
3. 按公司质量体系中《采购控制程序》,严格控制主要材料的采购。进场的水泥、钢材等主要材料,必须按《进货检验与试验控制程序》及国家有关标准,由物资设备室进行检验,检查技术凭证,外观质量,取样试验合格后方能投入使用。
4. 钢筋的下料、弯制、安装应严格按图纸施工,绑扎完毕后先自检合格后,再由专职检查人员检查并报请监理工程师检验签认后,方可进行下道工序。
5. 模板要求板面平整,接缝密贴。安装模板时注意检查燕尾型橡胶带与外模板是否密贴,以免下翼缘漏浆,检查底部底脚顶楔是否牢固,以免灌注混凝土时跑模或漏浆。模板板面清理干净,涂脱模剂以确保混凝土表面光滑平整。
6. 严格控制混凝土水胶比,通过坍落度、含气量、泌水率三项指标控制混凝土拌合物的质量,使耐久性指标得以保证。严格按配合比进行施工,混凝土流动性大于施工要求时,只减少用水量,保证胶凝材料总量不变;流动性小于施工要求时,保持水胶比不变,增加水泥浆用量,同时按比例增加外加剂用量。
7. 梁的养护工作是高性能混凝土的重要工艺,在拆除保温设施时,梁体表面温度与环境温度之差控制在15℃左右。
8. 张拉器具、设备必须检定合格后才能投入使用。千斤顶每月校正一次,校正系数不大于1.05,油压表每周检定一次。转折器各导向辊必须转动灵活,减少折点摩擦损失。张拉实际伸长值与理论伸长值进行校核,相差在6%以内。灌注前,抽查预应力筋,应力损失超过3%时必须补拉。张拉后应及时(一般在2h以内)灌注混凝土,否则应予补拉。
9. 混凝土拌合采用有微机监控自动称量系统的混凝土拌合站,其计量设备定期检查校正,保证混凝土

土施工配合比的准确。

10. 按铁道部标准每 30 孔梁抽一片做静载弯曲抗裂试验。

十、效益分析

24m 折线配筋先张梁由于其施工工艺新、施工难度大,是国内首次采用的新型结构,采用此工法预制的梁产品,在 2003 年 9 月 6 日至 8 日于格尔木召开的“全国铁路先张梁技术协作组四届二次会议”上得到了铁道部标准技术处、设计院、十七家专业桥梁生产企业数十位领导和专家的一致好评,对预制梁产品质量和梁场管理工作给予充分的肯定和高度赞扬。

采用自行设计的放张楔块,操作简单方便,满足施工工艺要求,节约设备费 256 万元。采用大块模板,明显降低了工人劳动强度。

通过折线先张耐久梁的预制生产实践,为以后在严寒、高原地区梁体预制施工及以后高速铁路上同类梁预制的质量控制积累了一定的经验。

十一、工程实例

中铁一局集团桥梁建筑工程有限公司承担了青藏铁路二期工程 QZ1.2 包件 105 孔 24m 先张法折线配筋耐久梁的施工任务。2002 年 8 月在青藏高原格尔木正式投产,2003 年完成 24m 折线配筋先张梁的全部生产任务。

执笔:和民锁 马新安 白双明 曹新刚