

折臂随车吊在高压线下安装预制 T 梁技术探讨

陈泉, 黄宇

(中交四航局 第三工程有限公司, 广东 湛江 524005)

摘要:以广连(广州—连州)高速公路 TJ02 标湛江特大桥为工程背景,研究折臂随车吊安装预制 T 梁施工技术。通过对各工况下折臂随车吊安装预制 T 梁的可行性分析和吊装工艺核算,从安全、质量、成本、进度等方面对折臂随车吊、汽车吊、架桥机安装预制 T 梁进行对比分析,得出在高压线下采用折臂随车吊安装预制 T 梁可行,且相对于其他施工工艺,该方法更安全、经济、快速;最后介绍高压线下折臂随车吊安装预制 T 梁的关键技术。

关键词:桥梁;预制 T 梁安装;折臂随车吊;高压线

中图分类号:U445.4

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2023)06-0123-05

在高速公路桥梁工程施工中,预制梁安装是十分关键的工序,其安装方式对项目施工进度、成本、安全控制都有深远影响。目前桥梁梁体安装技术主要有双导梁架桥机架设、联合架桥机架设及双机抬吊架设等,其中双机抬吊法在条件有限的情况下被广泛采用,具有灵活、适用性强、效率较高、施工成本较低的优点^[1]。通常选用 2 台汽车吊或履带吊进行双机抬吊预制梁安装,但汽车吊和履带吊对作业环境条件要求较高,要求现场空旷、无杂物。折臂随车吊能在相对狭小或低矮的场所施工,更适合高压线下预制梁安装。

1 工程概况

广连(广州—连州)高速公路 TJ02 标湛江特大桥跨越湛江航道、湛江蓄滞洪区,全长 1 689.84 m,左幅共 13 联,右幅共 14 联。为减小对蓄滞洪区的影响,蓄滞洪区内引桥采用 40 m T 梁,蓄滞洪区外引桥采用 25 m 小箱梁,采用架桥机进行梁体安装。左右幅桥主桥上均为(80+2×125+80) m 三跨预应力混凝土变截面连续箱梁,采用挂篮悬臂浇筑法施工;边跨现浇直线段采用少支点钢管支架施工。

该桥(主桥立面如图 1 所示)左幅第 16 跨、右幅第 17 跨、左幅第 21 跨、右幅第 22 跨为引桥与主桥

边跨现浇直线段相邻的四跨,上部结构均为 T 梁,每跨 7 片 T 梁。左幅第 16 跨、右幅第 22 跨单片梁长 36 m,质量 116 t;左幅第 21 跨、右幅第 17 跨单片梁长 40 m,质量 126 t。

2 工程难点

(1) 预制 T 梁无法一次性安装完成。引桥预制梁安装进度快于主桥连续刚构挂篮悬臂施工,主桥连续刚构直线段预计在预制 T 梁安装完成 2 个月后进行张拉压浆。为保证主桥连续刚构直线段留有工作面进行张拉压浆,左幅第 16 跨、右幅第 17 跨、左幅第 21 跨、右幅第 22 跨预制 T 梁不能一次性安装到位,均留有 2 片 T 梁(主梁 3、主梁 5)未进行安装(见图 2)。如果继续采用架桥机安装预制 T 梁,会出现架桥机空闲时间长、资源浪费和成本增加的问题。

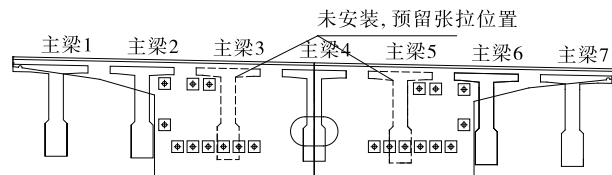


图 2 T 梁预留位置断面图

(2) 预制 T 梁安装现场存在多条高压线(见图 3)。右幅第 17 跨南侧有 800 kV 楚穗直流线(角度 51°,净空 40 m),北面有 500 kV 兴安直流线(角度 51°,净空 19 m),如果采用汽车吊或履带吊从桥上进行预制 T 梁安装,作业风险高,须充分考虑吊车作业半径和高度。特别是 500 kV 兴安直流线净

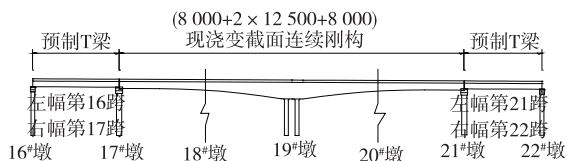


图 1 湛江特大桥主桥立面图(单位:cm)

空只有 19 m, 根据 GB 50194—2014《建设工程施工现场供用电安全规范》, 在 500 kV 高压线下各类施工机械外缘与外电架空线路的最小距离不小于 8.5 m, 即工作高度最多为 10.5 m。在此高度下, 汽车吊或履带吊难以安全地进行预制 T 梁安装。

3 方案比选

对遗留下的 8 片预制 T 梁考虑选用架桥机或双机抬吊进行安装, 两种架梁方法各有优缺点, 须从工程环境、质量、安全、进度及成本等方面综合考虑,

选择安全、经济、适用的架梁方式。表 1 为架桥机法与双机抬吊法的比较。

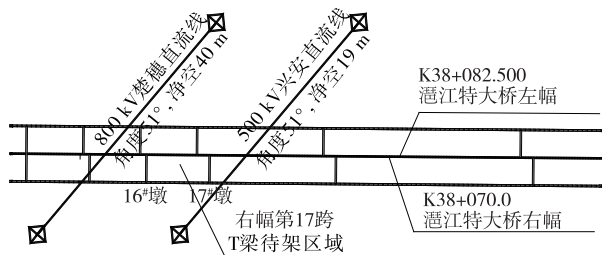


图 3 高压线位置示意图

表 1 架梁方案比较

架梁方案	安全	质量	进度	成本
架桥机架梁	T 梁架设安全可控	可满足梁板架设精度要求	8 片 T 梁分别在左右幅, 分四跨进行, 每 2 片 T 梁安装完成后须进行架桥机移位。预计总工期 6 d	架桥机停工费为 5 万元/月, 每片 T 梁安装费用为 3 000 元, 合计 12.4 万元
汽车吊架梁	因现场存在 2 条较低高压线, 汽车吊施工存在较大安全风险	可满足梁板架设精度要求	考虑高压线的影响, 为保证安全施工, 须减慢 T 梁架设速度。预计总工期 3 d	220 t 汽车吊的费用为 16 000 元/d, 总计 96 000 元
折臂随车吊架梁	T 梁架设安全可控	可满足梁板架设精度要求	T 梁架设不受高压线影响, 能正常施工。一跨架设完成后能快速转移到下一跨安装点。预计总工期 2 d	350 t 折臂随车吊的台班费为 9 000 元/d, 总计 36 000 元

经多角度比选, 摒弃采用架桥机和常规汽车吊进行双机抬吊的架梁方法, 采用折臂随车吊进行双机抬吊的架梁方法安装预制 T 梁。折臂随车吊既保留了汽车吊进退场方便、成本较低、效率更高的优点, 又因为其能够二次折叠, 作业更灵活、快捷, 更适合于高压线下等相对狭小或低矮的工作场所^[2]。该方法方便快捷、成本最低, 既能保证施工工期, 又能确保安全。

4 基于折臂随车吊的预制 T 梁安装

预制 T 梁安装步骤分为 T 梁出运、折臂随车吊就位、T 梁起吊、T 梁安装, 下面以右幅第 17 跨 T 梁吊装为例进行阐述。

4.1 吊机及吊具选择

采用 2 台 350 t 折臂随车吊作为 40 m 预制 T 梁吊装机具, 其机械性能参数见表 2。预制 T 梁转运及吊装不设吊环、吊孔或卸扣等吊具, 采用 2 根长为 10 m 的钢丝绳兜底吊装, 系挂点距梁端 1.0~2.0 m。钢丝绳选用公称抗拉强度为 1 870 MPa、直径为 60 mm 的 6×37(a) 类纤维芯钢丝绳 (6×37 表

示钢丝绳由 6 股组成, 每股有 19 根钢丝)。

表 2 350 t 折臂随车吊的机械性能参数

参数名称	参数值	参数名称	参数值
最大起重质量 (作业半径 3 m)/t	350	回转角度/(°)	360
最大工作半径/m	21.4	折臂随车吊质量/t	53
支腿工作距离/m	2.3~7.6	安装后最低高度/m	3.68

4.2 预制 T 梁出运

运梁通道为架设完成并加固好 T 梁的桥面, 要求其纵横坡度、平整度等满足运梁车行驶参数要求。清理运梁通道上的闲杂物品。

运梁车装梁时, 预制 T 梁重心落在运梁车纵向中心线上, 偏差不超过 2 cm, 梁底铺设方木和橡胶垫。装好梁后, T 梁两端分别用 2 个 2 t 手拉葫芦将 T 梁捆绑固定在运梁车上, 同时使用运梁车自带钢管支架支撑翼缘板底部, 保证梁体稳定。

运梁车将预制梁运至桥面指定停放位置前, 在距离上一跨桥面横断面 1 m 的位置设置 2 块三角枕木作为辅助刹车。预制 T 梁运至指定停放位置后,

在运梁车前(后)轮位置放 2 块三角枕木,防止运梁车滑移。

4.3 吊车就位

2 台 350 t 折臂随车吊完成预制 T 梁装车后,1 台通过右幅第 17 跨主梁 6、主梁 7 停在主桥连续刚构直线段上,待运梁车通过运梁通道运至桥面指定位置后,另一台折臂随车吊在图 4 和图 5 所示位置就位。2 台 350 t 折臂随车吊分别停放在右幅

第 17 跨两端,尾支腿完全伸出后离盖梁中轴线 0.5~1.0 m,两边支腿伸出分别放在 T 梁中心轴上。运梁车停放在主梁 6、主梁 7 上,轮胎过 T 梁中轴线。设备就位无误后,准备起吊。

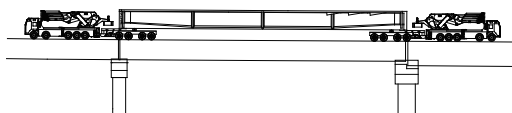
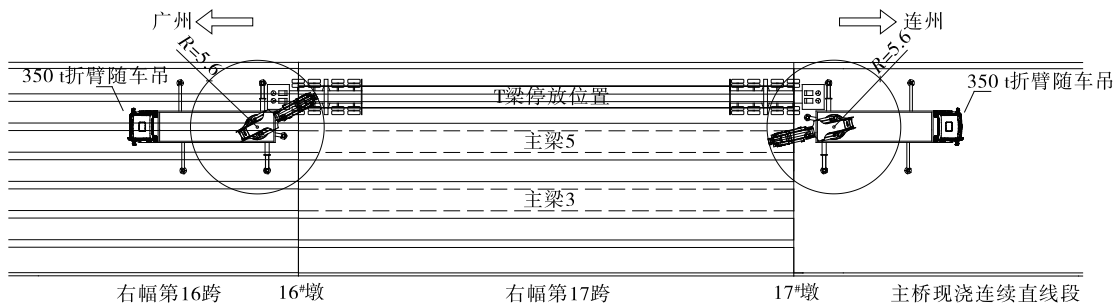


图 4 预制 T 梁就位立面图



R 为折臂随车吊作业半径

图 5 主梁 5 双机抬吊平面布置示意图(单位:m)

4.4 预制 T 梁起吊

2 台折臂随车吊下钩将吊绳系挂在预制 T 梁两端,同时将预制梁提至距运梁车顶约 20 cm,随后将后炮车与前炮车牵引在一起,停在原位等待预制 T 梁安装完成。2 台折臂随车吊协同配合将预制 T 梁移动至图 6 所示安装位置上方,等准备工作就绪后开始安装。

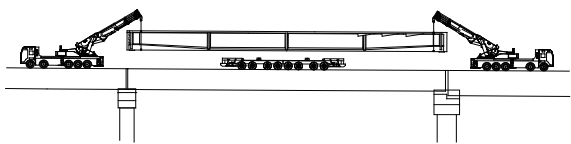


图 6 预制 T 梁起吊立面图

采用 2 根长为 10 m 的钢丝绳兜底吊装预制 T 梁,避开支座安装位置,在距梁端 1~2 m 的吊点兜住梁体。同时采用捆绑的方式,在 T 梁下部及上部翼缘板处采用专用 L 形橡胶垫保护好 T 梁和钢丝绳,钢丝绳与梁体间的夹角不小于 60°。

折臂随车吊使用前进行试吊、试运转。系好钢丝绳后缓慢起吊,起吊至离运梁车 50~100 mm 时停顿 2~3 min,对吊钩、钢丝绳、卡环等主要受力部位的情况进行检查,检查构件绑扎是否牢固、吊索是否拉紧、吊机运转是否正常,同时观察折臂随车吊的工作性能,满足要求后进行正式吊装。

2 台折臂随车吊同时起吊,协同作业,切忌急停、急起。现场施工时 2 台折臂随车吊吊钩提升和

下降速度很难同步,容易发生“斜吊”,导致吊车的倾覆力矩增大或对吊车产生水平方向的分力,降低其稳定性^[3]。为避免出现这种情况,2 台吊车同时吊梁的过程中由专人统一指挥,确保梁的两端提升速度基本一致。

4.5 预制 T 梁安装

预制 T 梁下落至距支座顶 20 cm 后停止落梁,待梁体楔形块与支座中点一致后缓缓落梁(见图 7)。要求 T 梁就位位置准确且其底面楔形块与盆式支座顶面密贴,否则将 T 梁吊起重新进行调整,直至达到要求为止。安装时不得采用撬棍移动预制梁的方式进行就位。

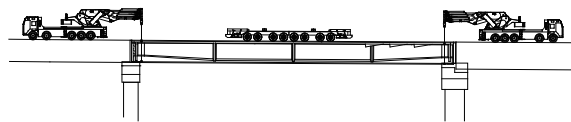


图 7 预制 T 梁安装立面图

吊机松钩前在 T 梁两端设置斜撑,在端隔板下设置垫木,以防倾覆。确认梁体稳定后方可松钩。为防止预制 T 梁安装完成后由于剧烈振动、大风及其他外部因素影响造成梁体倾覆倒塌^[4],一跨 T 梁安装完成后,将已安装梁片的端横梁主筋全部按设计要求完成焊接,并与前一跨预埋筋进行临时连接固定。在架梁过程中不得碰撞已架设的梁片及其支撑。

5 吊装工艺验算

5.1 钢丝绳验算

预制 T 梁转运及安装不设置吊环,两端各采用 1 根钢丝绳兜底吊装。吊索采用公称抗拉强度为 1 870 MPa、直径为 60 mm 的 6×37(a)类纤维芯钢丝绳。取质量最大的 40 m T 梁进行验算,梁的质量为 126 t,吊具总质量为 2 t,则单股钢丝绳的受力

$P=(126+2) \times 10 / 4 / \sin 60^{\circ}=363.74 \text{ kN}$ 。按下式验算单根钢丝绳的安全系数 K :

$$K=T / P$$

式中: T 为钢丝绳的最小破断拉力(见表 3)^[5]。

由表 3 可知:对于公称抗拉强度为 1 870 MPa 的 6×37(a)类纤维芯钢丝绳,直径为 60 mm 时,钢丝绳的最小破断拉力为 2 220 kN,安全系数 $K=T / P=2 \text{ 220} / 363.74=6.1>6$,满足吊装安全要求^[6]。

表 3 钢丝绳的最小破断拉力

钢丝绳的公称 直径 D/mm	不同公称抗拉强度(MPa)钢丝绳的最小破断拉力/kN									
	1 570		1 670		1 770		1 870		1 960	
	纤维芯 钢丝绳	钢芯 钢丝绳	纤维芯 钢丝绳	钢芯 钢丝绳	纤维芯 钢丝绳	钢芯 钢丝绳	纤维芯 钢丝绳	钢芯 钢丝绳	纤维芯 钢丝绳	钢芯 钢丝绳
46	1 100	1 180	1 170	1 260	1 240	1 330	1 310	1 410	1 370	1 480
48	1 190	1 290	1 270	1 370	1 350	1 450	1 420	1 530	1 490	1 610
50	1 300	1 400	1 380	1 490	1 460	1 580	1 540	1 660	1 620	1 740
52	1 400	1 510	1 490	1 610	1 580	1 700	1 670	1 800	1 750	1 890
54	1 510	1 630	1 610	1 730	1 700	1 840	1 800	1 940	1 890	2 030
56	1 620	1 750	1 730	1 860	1 830	1 980	1 940	2 090	2 030	2 190
58	1 740	1 880	1 850	2 000	1 960	2 120	2 080	2 240	2 180	2 350
60	1 870	2 010	1 980	2 140	2 100	2 270	2 220	2 400	2 330	2 510
62	1 990	2 150	2 120	2 290	2 250	2 420	2 370	2 560	2 490	2 680
64	2 120	2 290	2 260	2 440	2 390	2 580	2 530	2 730	2 650	2 860

5.2 吊装负荷验算

湛江特大桥剩余待安装 T 梁长度为 36 m 和 40 m,采用 2 台 350 t 折臂随车吊安装,质量最大的为 40 m T 梁,梁质量为 126 t,吊具总质量为 2 t。图 8、图 9 分别为全配起重重力分布图和显示图。

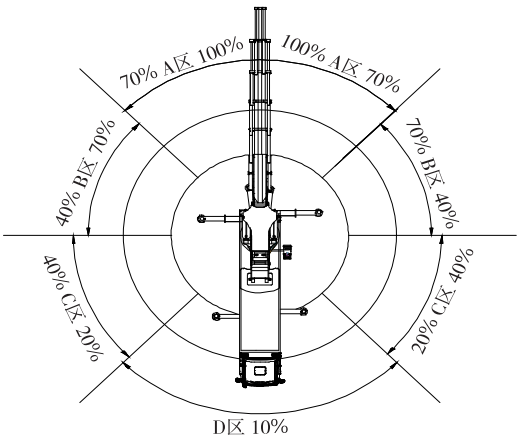


图 8 全配起重重力分布图

根据 JGJ 276—2012《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》,采用双机抬吊作业时,单机的起吊载荷不得超过允许载荷的 80%。按负荷平均分配,

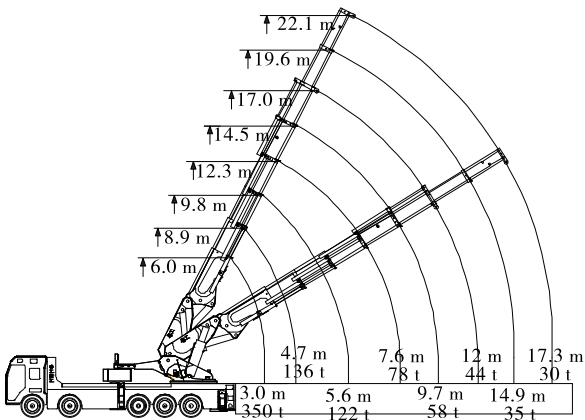


图 9 全配起重重力显示图

单机须承担的荷载为 $(126+2) / 0.8 / 2=80 \text{ t}$ 。该桥预制 T 梁安装均在桥面上进行喂梁,吊机的起升高度应满足下式:

$$H \geq h_1+h_2+h_3=2.5+4.0+1.5=8 \text{ m}$$

式中: H 为折臂随车吊的起升高度(m); h_1 为构件吊起后底面至桥面的高度(m), $h_1=2.5 \text{ m}$; h_2 为构件吊起后底面至吊钩中心的距离(m), $h_2=4.0 \text{ m}$; h_3 为吊钩中心至吊臂顶的距离(m), $h_3=1.5 \text{ m}$ 。

根据图9,350 t折臂随车吊在全配重、作业半径为5.6 m时的最小起重能力为122 t(臂高9.8 m)。根据图8、图5,折臂随车吊的作业范围为A区。取最不利情况70%计算,最小起重能力为 $122 \times 0.7 = 85.4 \text{ t} > 80 \text{ t}$,满足最小起重质量要求;在该工况下,实际所需起升高度为 $8 \text{ m} < \text{吊机最大起吊高度 } 9.8 \text{ m}$,满足吊装高度要求;实际所需起升高度为 $8 \text{ m} < 10.5 \text{ m}$ (最大工作高度),满足高压线下吊装要求(见图10)。

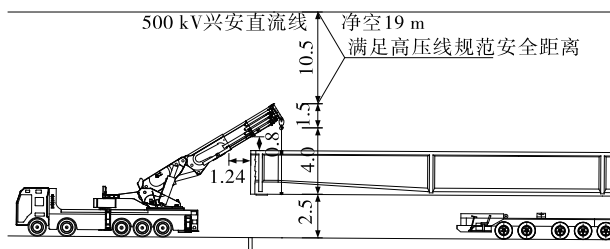


图10 折臂随车吊与高压线的相对位置(单位:m)

6 结语

受高压线、时间等因素制约,湛江特大桥施工中无法使用汽车吊或架桥机进行T梁安装,故采用折臂随车吊进行安装。通过总结折臂随车吊安装预制

T梁的关键技术并进行安全稳定性验算,验证了该方法的可行性、合理性。折臂随车吊的架梁方案有效解决了汽车吊无法在低空高压线下起吊的难题,达到了双机抬吊法安装预制T梁的预期效果,可为类似工程提供参考。

参考文献:

- [1] 甘春华,周远见,邓永攀.双机抬吊法在桥梁板吊装施工中的应用[J].建筑技术开发,2012,39(1):46—47+63.
- [2] 杜向南.大体积箱梁双机抬吊施工技术分析[J].江西建材,2021(11):185—186.
- [3] 夏顺俊,王志华,姚志浩.预制板梁双机抬吊施工研究[J].工程技术研究,2019,4(22):119—120.
- [4] 和寒露.浅谈泛婆罗洲大道10标立交桥项目双机抬吊架梁安全控制措施[J].工程质量,2020,38(10):35—38.
- [5] 全国钢标准化技术委员会.重要用途钢丝绳:GB 8918—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [6] 刘奎成.T型箱梁双机抬吊验算分析[J].价值工程,2012,31(27):104—105.

收稿日期:2022-05-22

(上接第105页)

方法可用于类似结构。

(2) 相较于传统U肋截面,采用大U肋截面能减少U肋数量和焊缝数量,进而降低现场焊接施工焊缝缺陷带来的质量问题风险,在横隔板与U肋相交处及横隔板弧形切口处应力幅降低。

(3) 在大U肋截面中引入内隔板的构造形式,能改善由于大U肋开口宽度较大导致顶板与U肋相交处刚度不足的问题,进一步降低横隔板与U肋相交处、横隔板弧形切口处的应力幅,所关注的3个疲劳细节处的抗疲劳强度均满足规范要求。

参考文献:

- [1] 邵旭东,胡建华.钢—超高性能混凝土轻型组合桥梁结构[M].北京:人民交通出版社,2015.
- [2] 夏嵩,陈柳,杨旭.超高性能混凝土(UHPC)在桥面板体系中的应用2020年度研究进展[J].土木与环境工程学报(中英文),2021,43(增刊1):175—184.
- [3] 赵欣欣.正交异性钢桥面板疲劳设计参数和构造细节研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2011.

- [4] 曲宛桐.带大U肋的轻型组合桥面板基本性能研究[D].长沙:湖南大学,2017.
- [5] 张清华,郭伟峰,崔闯,等.新型大纵肋正交异性钢—混凝土组合桥面板疲劳特性研究[J].公路,2015,60(12):71—77.
- [6] 中交公路规划设计院有限公司.公路钢结构桥梁设计规范:JTG D64—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [7] 蔡诚.STC—正交异性钢桥面板轮压局部受力分析与试验研究[D].西安:长安大学,2021.
- [8] 张清华,张鹏,刘益铭,等.新型大纵肋正交异性组合桥面板力学性能研究[J].桥梁建设,2017,47(3):30—35.
- [9] 童乐为,沈祖炎.正交异性钢桥面板疲劳验算[J].土木工程学报,2000,33(3):16—21+70.
- [10] 李昶,顾兴宇.大跨径钢桥桥面铺装力学分析与结构设计[M].南京:东南大学出版社,2007.
- [11] 朱爱珠,李牧,田杨,等.设内隔板正交异性钢桥面板足尺模型疲劳试验[J].钢结构,2017,32(1):45—50.

收稿日期:2022-10-17