

大跨度预应力双 T 板安装施工技术在装配式建筑中的研究与应用

刘宇

(中交一航局西南工程有限公司)

摘 要: 为进一步提升施工现场管理水平,采用预应力双 T 板安装技术进行现场施工,避免由安装失误引发的安全事故及质量问题。以北港钦州新通道联运中心项目中一试验段进行预应力双 T 板安装施工工艺的研究,分析了设备选型、运输吊装方式,总结了施工流程、工艺标准等重点内容,制定了安全、技术管控措施,总结出了基于预应力双 T 板安装技术的管控措施,可保障建筑施工的效能和人员安全,并为类似工程施工提供参考。

关键词: 预应力双 T 板;设备选型;效能分析;管控措施

0 引言

近年来,材料技术发展突飞猛进,预制混凝土构件的优势日益突出,大量建筑结构采用装配式混凝土构件。其中,预应力双 T 板具有跨度大、承载能力强、整体性好、抗裂度高、材料用量省、综合生产效率高特点,在厂房、仓库等工程中应用较多。随意装配式建筑被大力推广应用,大跨度预应力双 T 板这类重荷载装配式混凝土构件势必在未来得到更加广泛的应用。

在近些年的研究中,葛益芃等^[1]为弥补预应力双 T 板足尺试验和有限元模拟方面的缺失,进行弯曲试验,利用 ABAQUS 有限元分析软件结合实测材料特性建模,研究了混凝土强度、预应力筋用量、板面普通钢筋用量、板肋普通钢筋用量和有效预应力大小等对抗弯性能的影响;芦静夫等^[2]对 30 kN/m² 活荷载的典型办公楼工程足尺双 T 板进行受力性能试验研究,结果表明双 T 板的受弯、受剪承载力均满足规范和设计要求;金仁超^[3]利用 ABAQUS 有限元分析软件对双 T 板的屈曲特性进行分析,得到双 T 板在水平地震力作用下的极限荷载,水平地震力以集中荷载的形式作用在双 T 板和下端梁的接触处,研究结果表明双 T 板基本满足抗震设防要求;余标等^[4]从技术角度提出了安装预应力双 T 板实践方法,安装效果良好,进一步为推广双 T 板的应用提供了可靠支撑。

基于上述情况,本文对北港钦州新通道联运中心项目大跨度预应力双 T 板安装施工过程中的设备选型、施工要点、运输吊装方式、安全技术

管控措施等进行了研究。

1 工程概况

北港钦州新通道联运中心一期项目位于钦州港大榄坪港区的大榄坪作业区 5 号、6 号泊位后方,占地面积约 27.0 万 m²。本项目主要建设内容包括新建 1—10 号仓库、风雨罩棚、综合楼、空重集装箱堆场、拆装箱场地、冷箱堆场、堆场、修箱棚、污水处理站、机修器材库、消防水池、进出闸口等设施,总建筑面积约 8 万 m²。本工程 1—9 号仓库屋顶结构采用预应力混凝土双 T 板,屋顶结构安全等级为二级,混凝土结构所处环境类别为二 a 类。

仓库单体建筑尺寸为 144.48 m×47.8 m,净高为 9.0 m(单层),宽度方向为双跨,预应力双 T 板构件长度为 23.66 m,宽度分别为 2.98 m、2.38 m、1.98 m,双 T 板最高搁置高度 9.71 m,平板斜放,坡度为 3%。

2 施工设备

2.1 设备选型

1) 运输车辆选型:根据预应力双 T 板构件长度、宽度,结合现场实际情况,最终选用载重量 48 t,总长 26 m 的平板运输汽车。

2) 起重设备选型:由于预应力双 T 板的计算重量为 25.34 t,通过方案计算及效率比选,起重设备驻位一次最多吊装 14 片双 T 板,最大吊装距离 24 m。根据厂家提供的 SAC3000C8-8A 汽车吊主要技术参数表得知,吊钩重量为 696 kg,所以目标起重量为:双 T 板+吊索+吊钩=26.4 t。根据

起重设备主臂性能表可知,当工作幅度为 24 m 时,主臂伸出臂长 45.1 m 时性能最佳,此时起重量为 30.4 t, 26.4 t<30.4 t, 满足要求。

2.2 吊索具选型

1) 钢丝绳选型:动载系数按照 1.1 考虑,预应力双 T 板的计算重量为 25.34 t。双 T 板采取 8 点吊装,吊点按 18G432—1《预应力混凝土双 T 板》^[5]要求两端对称预留,即第 1、2 排吊点距板边分别为 0.8 m、1.6 m。吊装时,钢丝绳与结构水平夹角一般控制在 45°~60°之间。根据公式 $S=Q/n \times \sin \alpha$ (S 为 1 根吊索所承受内力, Q 为所吊构件重力, n 为吊索支数, α 为吊索与水平面形成夹角) 得,1 根吊索所承受的内力 $S=45$ kN, 因此选择容许拉力值不小于 45 kN 的钢丝绳才能满足要求。

根据钢丝绳相关选用表,试选直径 28 mm 的钢丝绳,公称抗拉强度 1 850 MPa,钢丝绳破断力总和为 544.5 kN,安全系数取 6,考虑钢丝绳之间荷载不均匀系数为 0.82,计算所选钢丝绳容许拉力值为 74.42 kN>45 kN,可知此时钢丝绳容许拉力值大于吊装时实际最大拉力,因此满足吊装要求。查表可知,直径 28 mm 的钢丝绳重量为 2.77 kg/m,吊索用钢丝绳重量为 342 kg。

2) 卸扣选型:预应力双 T 板采取 8 点吊装,吊点按双 T 板的预留吊点,吊装水平夹角选择大于 45°,单根钢丝绳最大拉力为 45 kN,计划选用额载 8.5 t 的 D 型卸扣,85 kN>45 kN,满足要求。

2.3 进场设备机具

本项目施工进场的设备机具统计见表 1。

表 1 设备机具统计表

序号	机械设备	型号	数量	用途
1	平板运输汽车	26 m(大件运输)	根据实际情况	构件运输
2	汽车吊/台	SAC3000C8-8A	1	构件起吊
3	卸扣/只	8.5 t	20	构件起吊
4	钢丝绳/根	直径 28 mm(规格型号为 6×37)	8	构件起吊
5	白棕绳/根	20 m	2	位移导向
6	铁撬棍/根	φ25/2 m	4	位移调整
7	水准仪/台	AT-B3	2	高程测量
8	全站仪/台	RTS342R10	2	施工放样
9	塔尺/把	—	4	测量配套
10	钢卷尺/把	—	10	测量距离
11	安全带/副	—	10	安全操作
12	电焊机/台	220 V	2	焊接固定
13	对讲机/部	—	6	现场指挥

3 施工技术

本项目采用场外预制预应力双 T 板,由预制厂将预应力双 T 板运至施工现场指定起吊位置,再由大型起重设备将预应力双 T 板吊装至屋框架,平稳落位,最后通过预埋件连接、固定,板缝之间采用 C25 细石混凝土塞填密实处理。

3.1 施工工艺流程

大跨度预应力双 T 板安装施工工艺流程为:施工准备→双 T 板运输→双 T 板试吊、起吊→焊接预埋件固定→拼缝塞缝→验收。

3.2 施工技术要点

3.2.1 施工准备

为确保预应力双 T 板安装精准,施工过程中用到的水准仪、全站仪要委托具有相应资质的检测机构进行标定。现场用到的材料、构件应符合设计和相关规程规范标准的要求,在加工厂质检部门检验合格的基础上,项目部也要对其加强复检,复检合格后方可进场,禁止使用不合格构件及材料。

吊装前现场要设置运输车辆行驶路线指示牌及相关安全标识,必须保障进场道路畅通,清理阻碍吊装施工的物体,对松软、有坑陷等隐患地带硬化处理,确保道路转弯半径满足现场要求。检查现场并计算吊装场地承载力以及起吊空间,通过支设钢制垫板满足汽车吊支腿承载力要求,保证起吊过程安全平稳^[6]。

根据施工图纸,在已完成混凝土框架梁上弹出轴线、双 T 板的支座边线及控制线,并复核各轴线、支座边线、控制线等是否正确,满足误差允许要求;并在场区内通过撒石灰粉的方式画出起重设备站位及运行区域。检测混凝土框架梁的截面尺寸、轴线位置、标高等,如有不合格,应处理无误后再进入下一道工序施工。

3.2.2 双 T 板运输

双 T 板生产均为场外预制,当双 T 板构件强度达到 100%后即可装车运输。合理组织现场运送作业,根据吊装次序配套供应,按吊装顺序运输。双 T 板须对称放置在运送车辆上,保证车身和车上双 T 板之间平稳固定。

预应力双 T 板装车时,距板端 200~300 mm 处要设置 200 mm 厚垫木,并在垫木上与双 T 板接触部位设置防滑橡胶垫,确保运输途中不发生滑动及扭转。为确保安全,运输车每次装运 1 片

预应力双 T 板。双 T 板运输车进场后，根据运输路线依次行驶至起吊点、就位，起吊完成后驶离起吊位置，并沿驶出路线出场，由下一辆双 T 板

运输车跟进驶至起吊点，过程中前车行驶至起吊点时，后车保持 30 m 以上的安全操作距离。双 T 板进场路线见图 1。

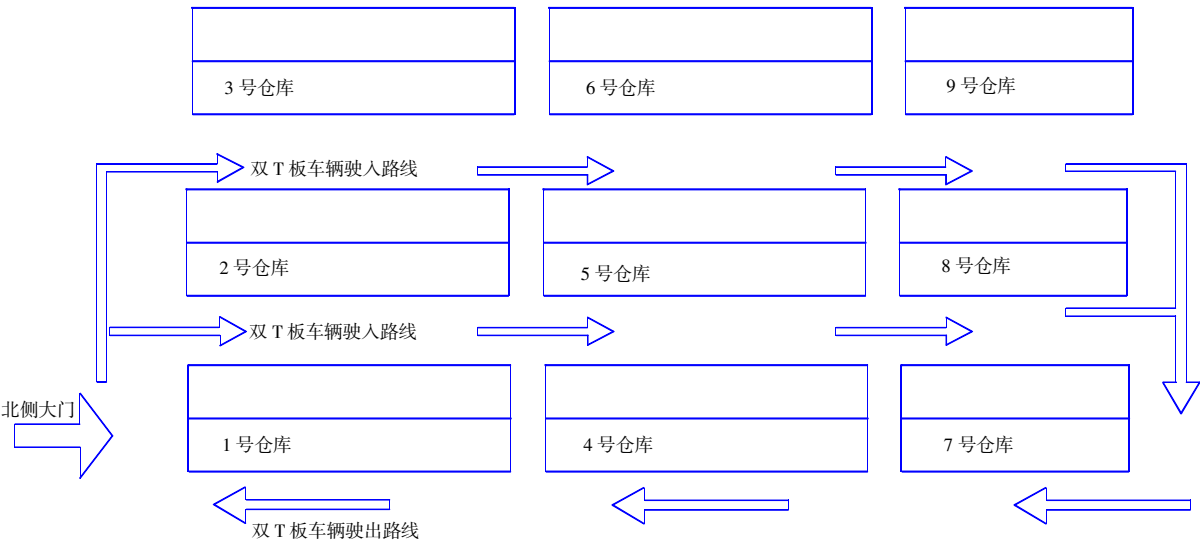


图 1 双 T 板进场路线图

3.2.3 双 T 板起吊

双 T 板起吊方式采取仓库内一次驻位、两跨顺序，直至一跨吊装完毕后在仓库外驻位，吊装补齐另一跨双 T 板。根据双 T 板预留的吊环位置，采用 8 点对称起吊，缆绳吊角两端不小于 45°，指定专人负责 2 个起吊点，包含挂钩、平稳落位、脱钩等步骤。

试吊时，将双 T 板保持离地面 200 mm 高度左右时停留 1 min 左右，反复 3 次，并检查双 T 板、起重机、吊具的稳定性，仔细观察此时地面的承压情况。当试吊顺利结束后，才能进行双 T 板的安装。

起吊至屋顶上方时，通过牵引绳控制构件旋转并平稳吊至指定位置上方 200~500 mm，再用木方作为引导棍，缓慢下降并引导至结构表面，最后根据屋框梁上弹出的定位线，通过铁撬棍微调至定位线上，检查无误后平稳卸力、脱钩。双 T 板就位后徐徐降钩，在双 T 板刚接触梁顶时立即刹车对准。检查并调整双 T 板与梁顶预埋件的间隙，确保所有相邻板下表面平整度控制在 3 mm 内，确认无误后再指挥吊车缓慢落钩至设计标高处，调整垂直度，达到要求后方可临时固定焊接。现场吊装如图 2 所示。



图 2 现场吊装图

3.2.4 焊接预埋件固定

双 T 板吊装就位应放置在混凝土圈梁上，与圈梁上预埋件紧密贴合。吊装前须保证 4 个支承面处于平整状态，先对双 T 板平整度及安装位置偏差进行校正，然后焊接双 T 板拼缝部位，待应力释放完成稳定后再进行板与板之间的焊接，由固定的低跨一端向另一端施焊。

此外，还要将双 T 板板端锚固件表面的混凝土浮浆剔除洁净，确保二者吊装后能得到有效连接，对于双 T 板和预埋件之间的空隙采取铁板来填垫，使用焊条进行焊接固定。支座、板面施焊

时要保持焊接连续，保证焊缝饱满、平顺，成型良好，不得出现漏焊、表面气孔等。对于板跨<15 m 的板，每侧焊缝长度>50 mm；板跨>18 m 的板，每边焊缝长度>80 mm。用于传递山墙水平力的板端焊缝应加强为：焊缝厚度>8 mm，两侧焊缝长度 2 100 mm。

3.2.5 拼缝塞缝

双 T 板安装焊接完成后，相邻双 T 板板缝底部采用耐碱玻璃纤维网格布作为拼缝吊模，板缝两侧网格布采用黏结砂浆固定，浇筑 C25 细石混

凝土塞填密实，保证表面收面与双 T 板顶标高一致、紧密粘接、连接平顺。待所有双 T 板之间的缝底填实后，方可进行最后的质量验收。

3.2.6 现场质量验收

吊装完毕后，根据规范要求开展验收工作，发现不符合要求处，立即整改，确保满足规范要求。双 T 板外观尺寸及安装的允许偏差按表 2、表 3 执行。现场质量验收按照三检制流程进行，质量验收结果均满足要求，最终经监理单位验收合格后方可进行下道工序施工。

表 2 双 T 板外观尺寸允许偏差

项目	允许偏差/mm	检查频率		检查方法
		范围	点数/个	
长度	-30,+10	每个仓库 抽 10 片	2	用皮尺量
宽度	±5		3	用钢尺量
高度	±5		3	用钢尺量
面板厚度	-3,+5		2	用钢尺量
肋中心间距	-3,+5		2	用钢尺量
肋宽	-3,+5		4	用钢尺量
对角线差	10		2	用皮尺量

表 3 双 T 板安装允许偏差

项目		允许偏差/mm	检查频率		检查方法
			范围	点数/个	
平面位置	顺仓库纵轴线方向	5	每个构件	2	用钢尺量
	垂直仓库纵轴线方向	5		2	用钢尺量
标高		±5		4	水准仪
构件搁置长度		±10		1	用钢尺量
纵肋两侧焊缝长度		≥100		1	用钢尺量
纵肋两侧焊脚长度		≥8		1	用钢尺量

4 效能分析

通过对汽车吊驻位及主臂起吊范围计算优化，将 260 t 汽车吊调整为 300 t 汽车吊，单次驻位起吊数量由 10 片扩大至 14 片，不仅提前 26 d 完工，还节省了人工成本、吊装机械使用费用约 15 万元。同时，起重设备选型的调整，使得单次驻位挪移减少，吊装效率也随之提升，能源消耗相对减少，总体燃油使用量减少约 20%，经济效益和节能环保效益良好。

5 安全技术管控措施

吊装作业施工过程中必须严格按照《预应力混凝土双 T 板》、GB/T 6067.1—2010《起重机安全规程》^[7]及有关规范、规程及相关通过审批的安全技术方案执行管控，结合现场实际要求组织施工。针对施工现场情况，除遵循相关规定及方案外还应做到：

1) 吊装作业尽量选在白天进行，大雨、大雾和六级风以上禁止作业。

2) 工人进入施工现场时, 必须戴好安全帽, 穿好反光背心、防滑鞋, 操作时必须挂好安全带, 保证高挂低用。吊装时在坠落范围外地面设围栏和警戒标志, 并由专职安全员旁站监督, 严禁无关人员进入作业区。

3) 现场要建立高精度的测量控制网, 选用技术熟练的测量人员, 采用先进的测量仪器和技术进行施测。尽量选择在清晨无风的时候进行建筑物的轴线和标高测量, 以减少温度和风力对测量的影响。

4) 吊装前对板面拱度不一致的, 按大小排列依次安装, 减少相临板面的错位, 以免吊装后出现板面高差悬殊。

5) 起重设备和吊索具必须经过验收合格后方可使用, 设备要重点检查限位装置、安全保护装置和安全防护装置; 吊索具重点检查选型是否与方案一致, 编织长度是否满足规范要求, 有无磨损、疲劳等。

6 结语

本文对大跨度预应力双T板安装施工技术在装配式建筑中的应用进行研究, 结论如下:

1) 大跨度预应力双T板运输和施工过程中, 需要对场区内道路设施条件、运输场地科学布置, 可以较好地实现现场协调统一, 减少吊装

安全隐患。

2) 施工前要根据现场实际情况, 合理选择起重设备、平板运输汽车、钢丝绳、卸扣类型, 尽量选择吨位等级偏大的汽车吊, 使得安装作业时安全、性能达到最佳, 取得良好的经济效益和节能环保效益。

3) 大跨度预应力双T板安装施工技术较成熟, 操作性强, 主要适用于单层24 m以下跨度的预应力双T板屋顶安装施工, 尤为适用于外观较规则、单体较多且结构类型基本相同的工业建筑, 在后续类似工程中具有很大的推广前景。

参考文献:

- [1] 葛益芃, 熊学玉. 预应力混凝土双T板弯曲试验有限元分析[J]. 工业建筑, 2021, 51(10): 21-27, 52.
- [2] 芦静夫, 孙占琦, 邱勇, 等. 大跨重载预应力混凝土双T板受力性能试验研究[J]. 工业建筑, 2020, 50(9): 62-67.
- [3] 金仁超. 多层排架结构工业厂房在罕遇地震作用下的弹塑性反应分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- [4] 余标, 张进. 浅析大跨度预应力双T板吊装施工技术[J]. 四川建材, 2023, 49(9): 95-97.
- [5] 18G432—1, 预应力混凝土双T板[S].
- [6] 陈超, 王惠朝, 周建杰, 等. 改扩建工程中采用大吨位汽车吊进行预制箱梁架设的关键技术研究[J]. 中华建设, 2021(6): 158-159.
- [7] GB/T 6067.1—2010, 起重机安全规程[S].