



# 预应力混凝土双 T 板在港口工程的设计与应用

陈红兵, 刘观发, 胡佳栋

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

**摘要:** 预应力混凝土双 T 板结构已在工业厂房等结构中得到逐步推广和使用, 但相关的设计经验总结却不多。通过钦州 7<sup>#</sup>、8<sup>#</sup> 泊位自动化码头的工程实践, 介绍双 T 板结构在港口工程中维修车间设计应用的关键点以及施工注意事项。结果表明, 双 T 板自身的变截面坡和支座选型对下部结构设计存在较大影响, 设计时须予以重视, 并注意加强对双 T 板支承梁的配筋复核, 建议国标图集考虑增补跨度 24 m 以上双 T 板的结构选型, 以便于双 T 板结构有更多的应用空间。

**关键词:** 双 T 板; 维修车间; 支座选型

中图分类号: U 642

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)10-0172-04

## Design and application of prestressed concrete double-T plates in port engineering

CHEN Hong-bing, LIU Guan-fa, HU Jia-dong

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

**Abstract:** The prestressed concrete double-T plates have been gradually popularized and used in industrial structures, but relevant experience summary on their designs is few. Based on the engineering practice of automated wharfs in Qinzhou 7<sup>#</sup> and 8<sup>#</sup> berths, this paper introduces some key issues regarding the design and application of double T plates in the maintenance shop of port engineering and matters needing attention during the construction. The results show that the variable cross-section slope and bearing types of double T plates have a great influence on the design of the lower structure. Therefore, it is necessary to pay attention to the design and recheck the reinforcement of supporting beams under double T plates. Furthermore, it is suggested that the *Drawing Collection for National Building Standard Design* add details of double T plates with a span of above 24 m, so as to make double T plates widely applied.

**Keywords:** double T plate; maintenance shop; bearing type

近年来, 随着装配式建筑的推广和发展, 预应力混凝土双 T 板(简称双 T 板)因其良好的经济性、受力性能和耐久性能, 已在国内外的大跨度、重荷载的工业建筑中得到了较广的应用<sup>[1-2]</sup>, 但双 T 板结构的使用存在一定的地域特点, 即北方地区应用较为广泛, 南方地区的案例却不多<sup>[3-4]</sup>。而在沿海尤其是南方的港口类工程大跨度工业建筑中, 普遍采用门式刚架+轻钢屋面的结构, 在南方

多雨、沿海高盐分和台风频发的海岸环境下, 存在钢结构易腐蚀、渗漏水、轻钢屋面围护结构被台风损坏、后期定期维护费用高等缺点。为了克服钢结构的固有缺点, 又能发挥装配式结构施工便利、低碳节能的优点, 在钦州 7<sup>#</sup>、8<sup>#</sup> 泊位自动化码头工程两个大跨度的维修车间采用双 T 板屋面结构进行设计。

双 T 板结构虽然在国内尤其是北方地区有

收稿日期: 2022-05-20

作者简介: 陈红兵(1982—), 男, 高级工程师, 从事港口工程结构设计。

了较多的工程实践, 但相关的总结普遍为试验<sup>[5]</sup>、裂缝<sup>[6]</sup>、施工<sup>[7]</sup>和支座<sup>[8-10]</sup>等方面的研究, 设计与施工综合相关的经验介绍却比较少。本文以钦州自动化码头工程的成功实践为基础, 对双 T 板在沿海港口工程中的应用进行了较为全面的设计总结, 从建模计算分析到构造措施以及施工注意事项提出了应注意的关键点, 为双 T 板在港口工程中类似的结构设计提供一定的参考。

1 结构计算要点

1.1 结构布置及模型

本工程单层车间长 60 m、总宽度 30.4 m, 其中维修区宽 24.4 m、高 10.3 m, 高程 8.0 m 处带 10 t 的桥式吊车, 设计采用跨度 24 m 双 T 板屋盖; 储存区宽度 6 m、高 6.5 m。A 轴侧边(梁板式)雨棚的悬挑长度为 2 m, 结构布置如图 1 所示。结构采用盈建科(YJK)软件进行三维整体建模计算和分析, 模型如图 2 所示。

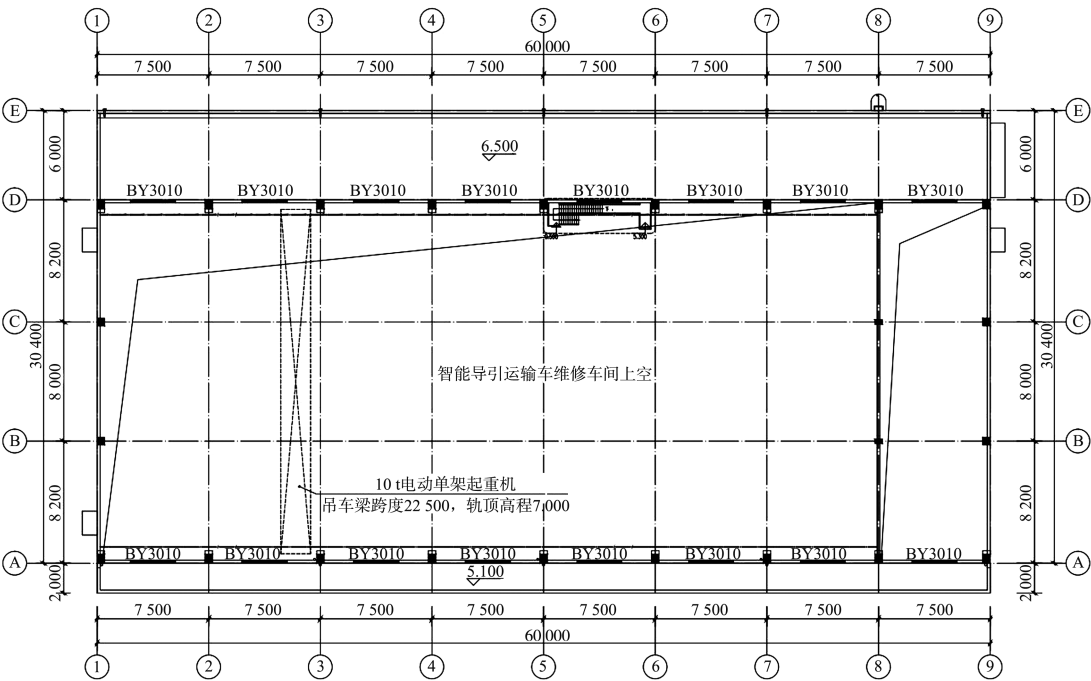


图 1 建筑平面 (尺寸: mm; 高程: m)

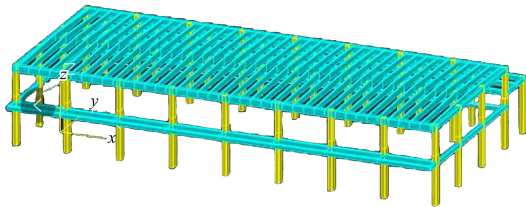


图 2 三维计算模型

1.2 双 T 板的设计和模拟

该维修车间屋面结构的跨度为 24 m, 选用国标图集《预应力混凝土双 T 板》<sup>[11]</sup>中 YTSb2430-2 坡板板型, 预应力筋数量为  $10\phi^{s}12.7\times 2$  (10 根  $1\times 2$  的直径 12.7 mm 钢绞线), 不上人屋面附加的永久荷载限值为 2.45 kPa, 可满足工程的荷载使用要求, 其截面尺寸如图 3 所示, 实物如图 4 所示。

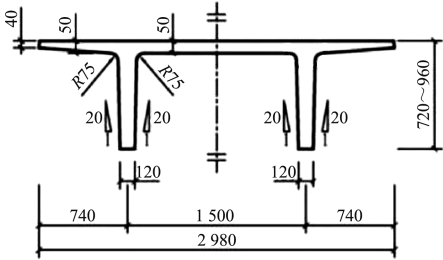


图 3 双 T 板截面 (单位: mm)



图 4 双 T 板实物

双 T 坡板为变截面(坡板),屋脊处与端部的高差为 240 mm。整体模型中,每块板的双 T 梁按矩形梁参与计算,楼板厚度取 50 mm。为考察屋脊变截面找坡的影响,分为模拟和不模拟变截面坡梁两个模型,其对支承梁和框排柱的配筋影响见表 1。

表 1 双 T 板模拟对主要构件的配筋影响

构件	配筋量/mm <sup>2</sup>		配筋量 差别/%
	平屋顶模型	变截面 坡梁模型	
双 T 板支承梁(剪扭纵筋)	560	1 590	184
框排柱	1 242	1 720	38

1.3 支座模拟

双 T 板结构中,板梁支座处的连接节点是传力的关键部位。双 T 板与支承构件的连接方式以焊接、螺栓的干式全截面连接为主。文献[8-10]对双 T 板端部的连接方式进行了较为全面的总结和论述,并提出了变截面的新型钢质企口连接。

本工程的支座连接采用国标图集《预应力混凝土双 T 板》中的焊接做法(图 5),结构计算按固定铰支座模拟。

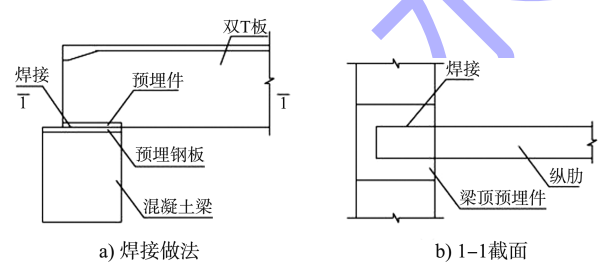


图 5 焊接支座连接

为考察支座水平刚度的影响,分别试算双 T 板两端固定铰接和一端固定铰接、另一端滑动简支两种模型。两种模型下支承梁和框排柱的配筋变化见表 2。

表 2 双 T 板支座类型对主要构件的配筋影响

构件	配筋量/mm <sup>2</sup>		配筋量 差别/%
	固定铰接+ 滑动简支模型	两端固定 铰接模型	
双 T 板支承梁(剪扭纵筋)	700	1 590	127
框排柱	1 850	1 720	-7

2 结构设计关键点

2.1 双 T 板模拟对支承梁和排架柱配筋的影响

双 T 板变截面模型对支承梁和排架柱的配筋有较大影响,双 T 板支承梁最大配筋位置在车间的两个边跨,排架柱最大配筋位置在中间跨。

由表 1 可知,按实际模拟变截面找坡时,边跨的支承梁剪扭纵筋需要增大 184%,框排架柱配筋需要增大 38%。即双 T 板的变截面找坡会引起排架柱和支承梁的配筋显著加大,尤其是边跨的支承梁剪扭纵筋会增大很多,不容忽视。

同时,双 T 板变截面找坡时,其下的支承框架梁处于双向受弯状态,故对双 T 板支承梁应注意复核软件是否进行了面外配筋设计。

2.2 双 T 板支座模拟对支承梁和排架柱配筋的影响

双 T 板支座模型对支承梁和排架柱的配筋有较大影响。由表 2 可知,双 T 板两端固定铰接模型计算的配筋对比一侧滑动简支模型的计算,支承梁的剪扭纵筋的配筋需要增大 127%,框排架柱配筋需要减少 7%。即固定铰接模拟会增大支撑梁的剪扭配筋量,因结构整体性更好,柱配筋会略小。实际工程中,考虑到滑动支座也存在一定的摩擦约束力,建议采用两端固定铰支座的设计,避免支承梁配筋偏小,固定铰接支座也对柱顶提供了侧向约束力,能加强结构的整体性。

2.3 整体位移控制

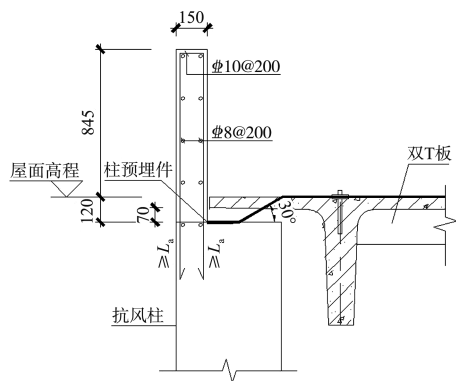
位移控制是整体结构设计的重点,结构长边(纵向)方向形成了框架结构,故该方向结构位移的控制指标按《建筑抗震设计规范》<sup>[12]</sup>要求取  $h/550$  ( $h$  为层高),本模型计算的层间位移为  $h/855$ ,满足要求。

结构短边(双 T 板长度)方向为排架结构,因目前国标没有明确的位移控制指标,参照国标图集《实腹钢梁混凝土柱》<sup>[13]</sup>,位移可按  $h/400$  控制,本模型计算的层间位移为  $h/640$ ,满足要求。

2.4 构造措施

为确保两侧山墙处的抗风柱与屋面结构形成有效的传力路径,抗风柱的顶面注意预埋钢板,并与双 T 板进行连接(图 6),使屋面板对抗风柱

形成侧向支点。



注:  $L_a$  为钢筋的锚固长度。

图 6 抗风柱顶连接构造 (单位: mm)

同时, 作为抗震构造措施的要求, 屋面与山墙相邻近处两榀双 T 板的顶面 (6 m 范围) 均应设置标准预埋件 M-3, 并采用钢板或角钢进行连接形成整体, 具体做法可参见国标图集《预应力混凝土双 T 板》相关的屋面抗震构造。

## 2.5 其他问题与建议

1) 国标图集《预应力混凝土双 T 板》最大适用跨度为 24 m, 江苏省标准图集《预应力混凝土双 T 板》<sup>[14]</sup> 的最大跨度可达 30 m。鉴于目前国内 24 m 跨度以上的双 T 板有了一定的工程经验, 建议国标图集增加 24 m 以上双 T 板的类型, 便于该类结构的推广和使用。

2) 双 T 板按图集使用时, 应避免板面作用较大的集中荷载, 当屋面有设备基础及放置较重的设备时, 注意对双 T 板进行截面抗剪验算, 且集中荷载作用位置尽量避免靠近双 T 板的端部位置。

## 3 施工注意事项

1) 因 A 轴处排架柱单侧带较大悬挑的梁板式雨棚, 使柱子承受了一定的面外倾覆力矩, 故在屋面双 T 板安装固定前注意不应拆除悬挑梁板式雨棚的脚手架, 避免对柱子产生不利影响。

2) 双 T 板预制施工时, 须根据图纸和图集的要求, 注意预埋吊钩、支座埋件 M-1、板边缘处的拼缝埋件 M-2 和接山墙处双 T 板的抗震构筑措施要求的埋件 M-3, 避免埋件遗漏而影响后期安装。

3) 双 T 板运输时不宜超过 3 层, 且应有可靠

的固定措施。运抵现场后, 应注意堆放场地的平整和放置枕木, 堆放层数不宜超过 5 层。

4) 双 T 板吊装过程中应防止双 T 板遭受冲击作用。安装完毕后, 外露铁件应除锈并按图纸的要求做防腐处理。

## 4 结论

1) 双 T 板屋盖结构具有良好的经济性、耐久性及抗台风性能, 与钢结构屋盖相比具有独特的优势, 可在港口工程的工业建筑中积极推广使用。

2) 双 T 板下部支承梁处于双向受弯状态, 应进行支承梁的面外配筋复核, 避免梁配筋偏小。

3) 双 T 板变截面坡产生的侧向推力对其下支承梁和排架柱配筋均有较大的影响, 建模计算时应予考虑; 双 T 板的支座选型和模拟对结构的整体计算有较大影响, 建议采用固定铰支座的设计。

4) 边跨的框排架柱外侧有较大的悬挑构件 (如雨棚等) 时, 应注意复核施工期间柱子的倾覆问题, 建议悬挑构件的模板在双 T 板安装完后再拆除。

5) 建议国标图集适当考虑和补充 24 m 以上双 T 板的结构选型, 便于预应力混凝土双 T 板在更多跨度类型的工业建筑中的应用和推广。

## 参考文献:

- [1] 庞瑞, 梁书亭, 朱筱俊. 国外预制混凝土双 T 板楼盖体系的研究[J]. 工业建筑, 2011, 41(3): 121-126.
- [2] 王茂宇, 郑毅敏, 赵勇. 中美预制预应力混凝土双 T 板构件对比[J]. 混凝土与水泥制品, 2014(8): 42-45.
- [3] 汤武华, 裘涛. 预应力混凝土双 T 板设计剖析[J]. 建筑结构, 2009, 39(S2): 58-59.
- [4] 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.
- [5] 刘延明, 王晓锋, 赵勇. 预应力混凝土双 T 板早期反拱实测与分析[J]. 工业建筑, 2021, 51(6): 67-71.
- [6] 苗冬梅, 廖显东, 周光毅, 等. 大型预制预应力双 T 板裂缝成因及处理措施[J]. 施工技术, 2018, 47(3): 7-10.
- [7] 张帅, 周善荣, 许金勇. 含双 T 板的装配式多层工业建筑施工关键技术[J]. 施工技术, 2020, 49(S1): 1021-1024.

(下转第 203 页)