

# 双 T 梁在特种荷载作用下的性能研究

徐 佳

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘 要:** 双 T 梁具有施工便利, 养护检修方便等优点, 近年来作为空心板梁的替代结构, 越来越多地被运用到实际工程中。然而, 目前的研究成果仅适应公路 -I/II 级和城 -A/B 级的荷载作用, 但许多中小桥梁往往还要承担特种荷载的作用, 因此, 开展双 T 梁在特种荷载作用下的性能研究十分必要。依托上海某工程, 采用有限元方法对标准双 T 梁结构在特种荷载作用下的使用性能进行验算, 提出加强方案, 并对加强方案进行验算、对比和分析, 最终得到了一套完整的方案供相近桥梁结构设计与施工参考。

**关键词:** 城市桥梁; 双 T 梁; 特种荷载; 有限元

**中图分类号:** U443.32

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)05-0097-04

## 0 引 言

长久以来, 空心板梁一直是中小跨径桥梁建设中最受青睐的一种结构形式。由于其具备造价低, 架设方便快速, 适用范围广等优点, 而被运用于各种新建和改建工程中。但是, 由于空心板梁质量控制难度大, 使用的胶囊内模又易出现上浮<sup>[1]</sup>, 同时又由于是封闭结构, 使用阶段养护维修困难。所以, 寻求一种更为优越的替代结构成为必然的趋势。

双 T 梁是一种质量易控制、养护维修方便、同时适用于中小跨径桥梁的结构形式。该结构最早出现于美国, 有 AASHTO/PCI 双 T 形梁和 NEXT 双 T 形梁两种形式<sup>[2-3]</sup>, 均在美国的中小跨径桥梁中得到了广泛应用。近年来, 我国根据国情也研发了 10~22 m 双 T 梁标准图集, 其梁高与空心板梁相近, 可作为空心板梁的替代结构用于新建和改建工程中, 并且已在上海市龙东大道改建工程等实际工程中得到了试点应用, 取得了良好的使用效果<sup>[4]</sup>。

我国研发的双 T 梁标准图集目前仅研究了其在公路 -I/II 级和城 -A/B 级汽车荷载下的使用性能, 但我国许多中小跨径桥梁往往还承担了大件货物运输的功能, 需承受特种荷载的作用, 所以有必要对双 T 梁在特种荷载作用下的使用性能进行进一步的研究总结。

本文依托上海某工程, 对标准双 T 梁结构在特种荷载作用下的使用性能进行验算, 并提出加强改造措施, 为进一步提升双 T 梁的适用范围提供参考。

## 1 工程概况

上海市外环东段(龙东大道-华夏中路)交通功能提升工程位于上海市浦东新区, 工程北起龙东大道, 南至华夏中路, 全长约 3.86 km。

现状外环线为上海市大件运输通道, 承担特-300 荷载行驶功能。故本工程实施后, 近期应保证高架桥梁仍然具备特-300 荷载行驶功能, 远期待外环线全线完成抬升改造后, 将特-300 行驶功能移至地面道路。

以本工程地面道路上 1 座 22 m 跨径双 T 梁桥为例进行研究, 桥梁宽 15 m, 布置 6 片双 T 梁, 梁高 950 mm, 桥面铺装由 100 mm 厚 C50 钢筋混凝土铺装层和 100 mm 厚沥青混凝土铺装层组成。设计荷载为城-A 级, 并按特-300 荷载验算。桥梁横断面布置见图 1。

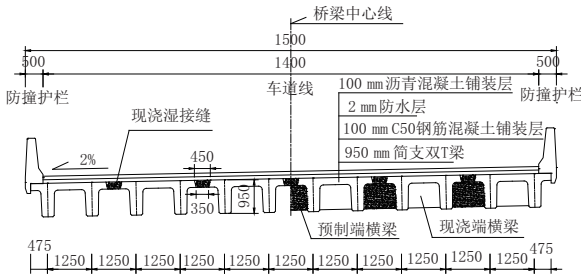


图 1 桥梁横断面示意(单位:mm)

收稿日期: 2023-08-02

作者简介: 徐佳(1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁工程设计和研究工作。

2 分析模型建立和基于标准图集的验算

2.1 分析模型建立

采用 MIDAS Civil 有限元软件建立全桥杆系元梁格分析模型,研究双 T 梁在特 -300 荷载作用下的使用性能,考虑到双 T 梁受力性能类似于 T 梁结构,单片双 T 梁的 2 片 T 肋受力不均匀,故模型中以单片 T 肋作为 1 个纵向单元截面进行模拟,横向单元则是采用 1 m 宽的桥面板单元将各个纵梁连接成整体。同时考虑到特 -300 荷载出现的频率较低,结合经济性,计算中将 50 mm 厚混凝土铺装计入梁高参与受力,分析模型见图 2。

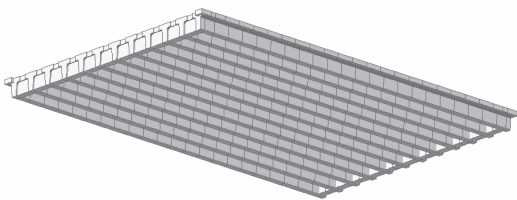


图 2 梁格分析模型示意

根据《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)(2019 年版)附录 A,进行特 -300 荷载模拟,该荷载横桥向居中布置,行驶范围不大于 6 m。为得到最不利的荷载布置,考虑居中行驶和最大偏载行驶 2 种荷载工况,并取包络结果,活载加载模式见图 3 和图 4。同时为得到更为准确的荷载横向传递规律,车辆荷载加载在横向桥面板单元上,由横向桥面板单元分配至各个纵梁。

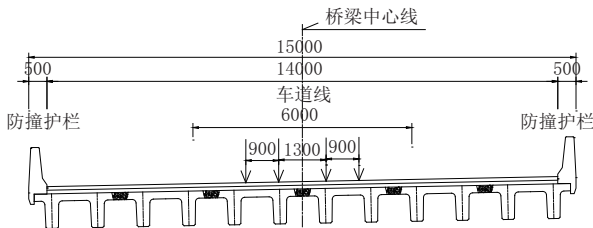


图 3 特 -300 荷载居中布置示意(单位:mm)

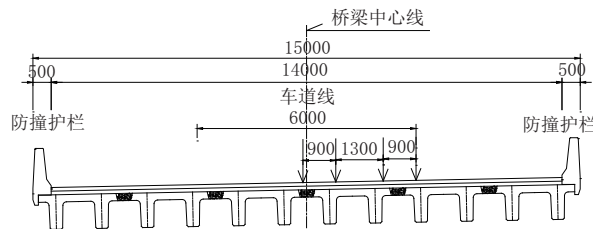


图 4 特 -300 荷载偏载布置示意(单位:mm)

承载能力极限状态验算采用荷载基本组合,但结构重要性系数取为 1.0,特 -300 荷载分项系数取为 1.1,同时不计冲击,并考虑不大于 3%的效应提高系数。正常使用极限状态验算则是采用荷载标准组合,各荷载的分项系数均取为 1.0。除特 -300 荷载

外,计算中计入了恒载(含预应力)、整体升降温和温度梯度等荷载,并按实际工况模拟施工过程。

2.2 基于标准图集的验算

基于标准图集的双 T 梁构造和钢束、钢筋配置,对桥梁进行承载能力极限状态和正常使用极限状态的验算。并取最不利梁的验算结果列于表 1 和表 2 中。

表 1 承载能力极限状态验算结果汇总

| 分项          | 特 -300 单项引起内力 | 基本组合内力 | 抗力    |
|-------------|---------------|--------|-------|
| 抗弯 / (kN·m) | 1 149         | 2 793  | 3 259 |
| 抗剪 / kN     | 346           | 656    | 804   |
| 抗扭 / kN     | 156           | 166    | 141   |

表 2 正常使用极限状态验算结果汇总

| 分项         | 标准组合应力 / MPa | 抗力 / MPa |
|------------|--------------|----------|
| 正截面最大拉应力   | 1.163        | 2.565    |
| 正截面最大压应力   | 19.239       | 23.1     |
| 主拉应力(不含扭矩) | 0.315        | 2.565    |
| 主拉应力(含扭矩)  | 3.451        | 2.565    |
| 主压应力       | 19.362       | 25.025   |

由表 1 可知,受力最不利梁的抗弯和抗剪承载能力均满足规范要求,并具备不少于 10%的安全储备,但梁端抗扭承载能力不能满足规范要求,且 90% 以上的扭矩值均由特 -300 荷载引起。分析可得,当特 -300 荷载重轮靠近跨中位置布置时,重轮直接作用下的 T 肋产生较大的竖向挠度,由于标准双 T 梁跨中无中横梁,横向荷载传递仅依靠桥面板,荷载传递较弱,造成横向各片梁变形不一致,导致了重轮外侧的 T 肋产生最大的扭转效应,转换到梁端即产生了最大的扭矩,荷载变形模式见图 5。

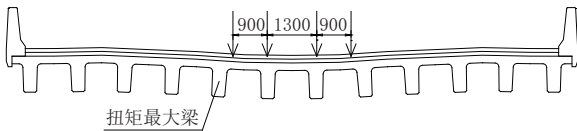


图 5 特 -300 荷载作用下梁体变形示意(单位:mm)

由表 2 可知,受力最不利梁的正截面最大拉应力、正截面最大压应力和主压应力均满足规范要求,但梁端主拉应力不能满足规范要求,产生梁端主拉应力的直接因素为梁端扭转效应大产生了较大的扭转剪应力。根据计算结果,标准双 T 梁结构无法直接适应特种荷载的作用,需要对梁体进行加强改造。

3 加强措施的提出和验算

根据第 2 节的计算和分析结果,考虑采取在标

准双 T 梁的跨中增设横梁的方案限制主梁扭转效应,从而减小主梁梁端扭矩和主拉应力。跨中增设中横梁,可提高各片梁之间的整体性,特种荷载作用可较平均的分配到各片梁,使得各片梁跨中挠度值更为接近,从而减小了梁端转角。

计算考虑在跨中设置 1 道中横梁以及跨中、1/4 点均设置中横梁(共 3 道)两种方案,计算模型见图 6 和图 7。

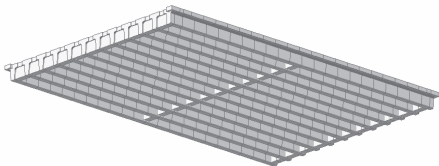


图 6 跨中设置 1 道中横梁方案

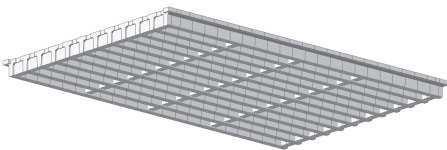


图 7 跨中设置 3 道中横梁方案

计算中重点关注最不利梁的梁端最大扭矩值和主拉应力值,验算结果列于表 3 和表 4 中。

表 3 承载能力极限状态验算结果汇总

| 分项     | 基本组合内力<br>1 道横梁工况 | 基本组合内力<br>3 道横梁工况 | 抗力  |
|--------|-------------------|-------------------|-----|
| 抗扭 /kN | 129               | 96                | 141 |

表 4 正常使用极限状态验算结果汇总

| 分项             | 标准组合应力 /MPa<br>1 道横梁 | 标准组合应力 /MPa<br>3 道横梁 | 抗力 /MPa |
|----------------|----------------------|----------------------|---------|
| 主拉应力<br>(不含扭矩) | 0.300                | 0.277                | 2.565   |
| 主拉应力<br>(含扭矩)  | 2.516                | 1.597                | 2.565   |

由表 3 和表 4 可知,当跨中设置 1 道横梁时,受力最不利梁的抗扭承载能力和主拉应力均可满足规范要求,梁端最大扭矩相比跨中无横梁工况可减小约 22%,梁端主拉应力相比跨中无横梁工况可减小约 27%。当跨中设置 3 道横梁时,受力最不利梁的扭矩和主拉应力进一步减小,梁端最大扭矩相比跨中无横梁工况可减小约 42%,梁端主拉应力相比跨中无横梁工况可减小约 54%。计算结果表明,采取跨中设置横梁的加强方案对减小梁端的扭转效应效果明显。

结合施工便利性,同时考虑到特 -300 荷载出现的频率较低,最终采用跨中设置 1 道横梁的方案,同时考虑对梁端的抗扭钢筋进行适当加强以提高梁端抗扭承载力的安全储备,具体表现为梁端范围的箍

筋由 D12 加强至 D16,梁端范围的腹板纵筋在原有纵筋基础上并置 1 根 D16 钢筋。

为减小对标准双 T 梁模板的影响,中横梁的尺寸构造、配筋形式和施工工艺均与端横梁保持一致。即在浇筑主梁混凝土时,预先在主梁内埋设钢筋连接器,待主梁浇筑完成后,连接和绑扎横梁钢筋,二次浇筑横梁。

4 基于实体单元模型的分析

为进一步了解梁端主应力分布规律,并对梁格模型结果进行验证,采用 MIDAS FEA 有限元软件建立全桥实体单元分析模型进行分析计算,模型共计 16 万个单元,见图 8。

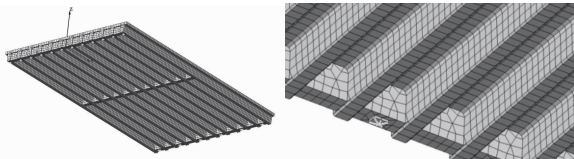


图 8 全桥实体单元分析模型示意

特 -300 荷载加载时,首先在梁格模型中追踪出受力最不利梁产生梁端最大扭矩时对应的车辆荷载加载位置,并在全桥实体单元分析模型的相同位置处进行车辆荷载的加载,全桥实体单元分析模型中考虑了车轮的实际着地面积和铺装层的扩散作用,并将车轮荷载采用等效面荷载的方式进行加载模拟,车辆荷载的模拟方式见图 9 和图 10。

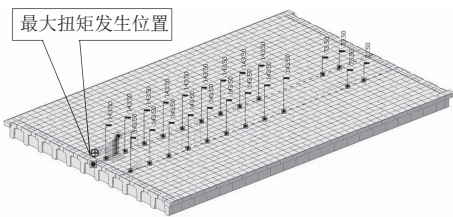


图 9 梁格模型最大扭矩对应的车辆位置

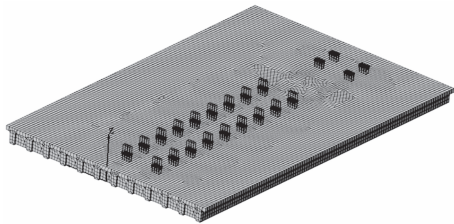


图 10 实体模型最大扭矩对应的车辆位置

除特 -300 荷载外,模型中计入了恒载(含预应力)、整体升降温和温度梯度等荷载,并按实际工况模拟施工过程。荷载标准组合下,受力最不利梁梁端主拉应力计算结果见图 11。

由图 11 可知,受力最不利梁梁端主拉应力最大值出现在腹板靠近顶板位置,为 2.35 MPa,略小于但

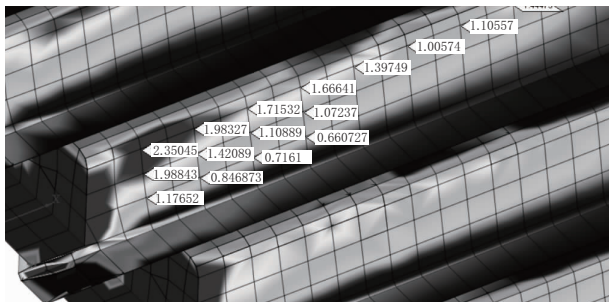


图 11 受力最不利梁端主拉应力计算结果(单位:MPa)

接近于梁格模型得到的最大主拉应力值。梁端主拉应力沿梁高方向的分布规律为靠近顶板位置最大并沿着梁高向下逐渐减小,梁端主拉应力沿跨度方向的分布规律为靠近支点位置最大并沿跨度方向逐渐减小。全桥实体单元分析模型的计算结果也验证了梁格模型计算结果的正确性。

## 5 结 语

该文依托上海某工程,采用有限元方法对标准双T梁结构在特种荷载作用下的受力性能进行验算,提出加强方案,并对加强方案进行验算、对比和分析,最终形成如下结论和建议供相近桥梁结构设计施工参考。

(1)标准双T梁结构无法直接适应特种荷载作用

产生的梁端扭矩和主拉应力,需采取额外的加强措施。

(2)采用跨中增设中横梁的加强措施对减小特种荷载产生的梁端扭矩和主拉应力效果明显。跨中横梁数量越多,扭转效应减小越明显。

(3)主拉应力最大值出现在梁端腹板靠近顶板位置,沿跨度方向和梁高向下方向逐渐减小。设计中宜对梁端的抗扭钢筋进行适当加强以提高梁端抗扭承载力的安全储备。

(4)中横梁的尺寸构造、配筋形式宜与端横梁一致。宜采用预埋钢筋连接器后二次浇筑的施工工艺,以减小对标准双T梁模板的影响。

## 参考文献:

- [1] 李健,姚悦欣.预应力空心板梁顶板厚度控制技术创新[J].民营科技,2009(3):145.
- [2] PCI Design Handbook[M].Chicago:PCINE(Precast / Prestressed Concrete Institute Northeast),2010.
- [3] Guidelines for NORTHEAST EXTREME TEE BEAM(NEXT BEAM)[Z].Chicago: PCINE (Precast / Prestressed Concrete Institute Northeast),2012.
- [4] 李洞明.一种先张法预应力混凝土双T形梁的研发与应用[J].城市道桥与防洪,2019(12):178-180.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: [cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)