

# 替换空心板的变高度后张预应力T梁设计研究

邢渊<sup>1,\*</sup> 李志峰<sup>1</sup> 刘钊<sup>2</sup> 马增<sup>2</sup> 马松根<sup>3</sup> 刘志勇<sup>3</sup>

(1 华汇工程设计集团股份有限公司 绍兴 312000 2 东南大学 南京 210096

3 绍兴袍江建设投资有限公司 绍兴 312000)

**摘要:**结合某空心板梁桥的单板受力病害,提出采用一种变高度后张预应力T梁替换空心板的处置设计方案。该结构方案的梁端与原空心板梁高度相等,跨中梁高适当增加,这样可以在不改变原桥面标高的前提下更新桥跨结构。为此,在截面构造上加密了T梁的肋间距(比一般横向装配式T梁的肋间距小),优化了预应力筋布置,并在T梁端部设计了“预埋钢板”和“抗剪钢筋骨架”两种抗剪加强构造,可为同类工程的改造设计提供参考。

**关键词:**空心板梁 T梁 变高度梁 桥梁改造 抗剪设计

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2016.06.003

## 1 引言

空心板梁因梁高小、造价低、安装方便等优点,在世界各国的中小跨径城市桥梁和公路桥梁中得到了广泛应用<sup>[1-2]</sup>。然而若设计或施工不当,其横向整体性差,结构刚度低等缺点,亦容易造成单板受力,甚至发生触目惊心的桥梁坍塌事故。例如,2009年4月12日一辆重型拖挂车在通过河南省漯河市107国道澧河桥时,压断了行车道下的3片空心板,卡车随折断的空心板坠入河中(图1);2011年7月15日杭州钱江三桥南引桥也在一辆半挂车通过时,压断了其中某跨的2片空心板。

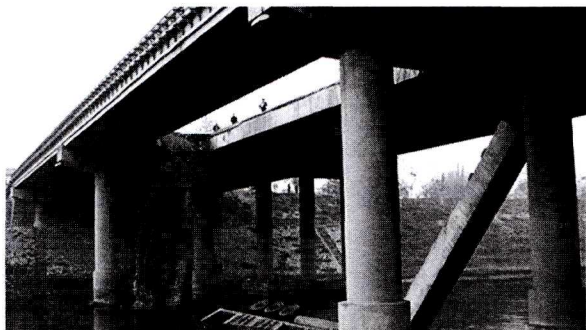


图1 河南省澧河公路桥空心板压断

可见,为防患于未然,对既有空心板梁进行定期病害调查与检测十分重要;另一方面,研究与评价单板受力造成的危害<sup>[3-6]</sup>,提出空心板梁桥恰当的加固或改造措施<sup>[7-8]</sup>,同样是十分棘手的问题。本文结合某桥空心板梁病害情况,提出了一种低高度变截面M梁的替换设计方案。

转自《结构工程师》2015年第3卷第4期

## 2 工程案例

浙江某航道桥于2003年建成通车,主桥为钢管混凝土系杆拱桥,引桥上部结构为小铰缝先张预应力空心板梁,分20m和25m跨径两种,梁高分别为80cm与100cm,高跨比均为1/25。桥面按照双向四车道分幅布置,单幅行车道宽8.3m,设计荷载为汽车-超20级,挂车-120。在2013年桥梁状况检测中,发现该桥的主桥结构状况良好,而引桥机动车道部分的空心板梁病害突出,在桥面铰缝对应位置处已形成多条贯通纵缝(图2),在空心板底面,铰缝间的勾缝基本脱落,渗水析白现象普遍(图3),此外,一些空心板端还有侧面斜裂缝,桥面横向缝、桥面坑槽、网裂、碎裂等情况。结合桥梁委托检测报告,可以判定空心板的横向连续性基本失效,且难以维修加固,为确保安全,只有对上部结构进行更换改造。

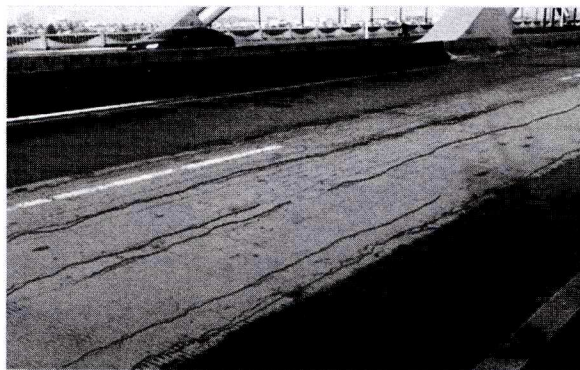


图2 铰缝对应位置的桥面有纵向通长裂缝



图3 底面铰缝间渗水析白现象

在考虑既有空心板的替换结构时，首先要确定新桥跨结构的梁高。从旧桥改造速度和经济性方面考虑，支承空心板梁的原桥墩盖梁不宜拆除重建，这就决定了梁体标高的下界；同时，由于主桥无须加固改造，且两侧引道坡度也不允许有明显改变，这就决定了梁体标高的上界。换句话说，改造后的桥跨结构似乎必须与原空心板梁一致。而原桥跨1/25的高跨比，似乎只有再次设计相同高度的空心板才能满足梁高的要求。但是，汲取低高度空心板横向整体性差的经验教训，相

同高度的空心板方案是不能接受的。

### 3 替代空心板梁的变截面T梁方案研究

本桥原20m和25m跨径先张预应力空心板梁的单板宽度为1m，梁高分别为80cm和100cm，这在空心板梁中也是高度偏低的（图4）。为使替换梁在端部取相同高度，而保持原桥立面线形和原桥墩不改变，在结合桥位特点和多种结构方案比选研究的基础上，本文提出一种后张预应力混凝土变截面T梁的替换设计方案。

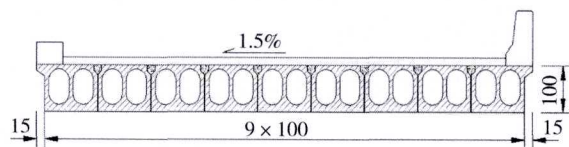


图4 原跨径25m的空心板梁截面（尺寸单位：cm）

在20m跨径变截面T梁设计中，端部梁高保持80cm（与原空心板一致），经端部1.5m范围渐变，将跨中范围梁高增加到1.2m；对于25m跨径，T梁端部梁高保持1m（与原空心板一致），跨中梁高增加到1.45m，梁体构造及尺寸见图5。

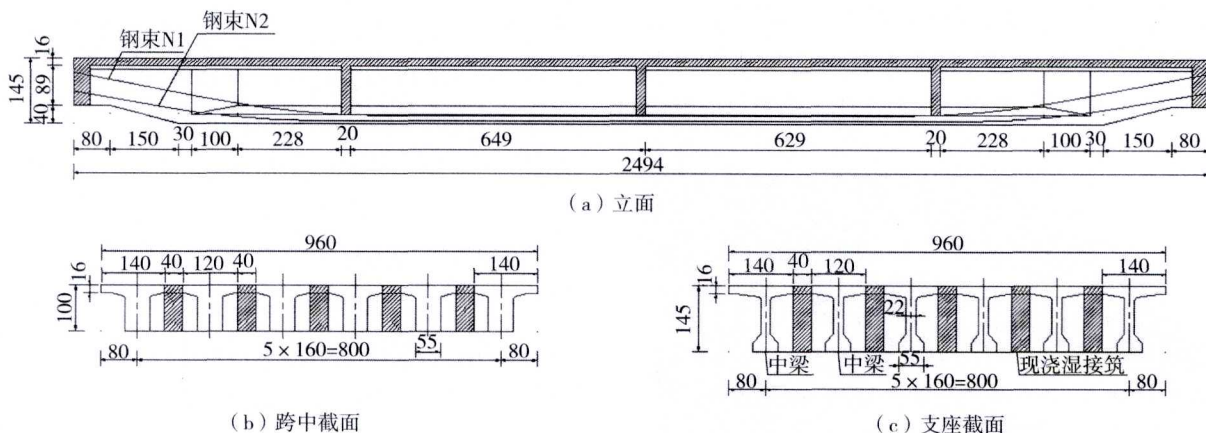


图5 跨径25m低高度变截面T梁设计方案（尺寸单位：cm）

在方案构思中，也与目前公路T梁通用设计图进行了对比，以20m跨径T梁为例，20m跨径其梁高为1.5m，肋间距为2.25m。由于本梁的跨中高度仅为1.2m，但是肋板间距加密到1.6m，腹板和下马蹄宽度也比T梁通用图大，经计算全截面刚度可以与通用图相当。

## 4 变截面T梁预应力布置与端部构造设计

### 4.1 预应力布置

对于25m跨径的变截面T梁，每片梁配置3束预应力（2束7 $\phi$ 15.2与1束9 $\phi$ 15.2），底缘布置7根 $\phi$ 25的HRB400普通钢筋。预应力束在跨中与支点截面的位置如图6所示，预应力束在端部的起弯位置，通过放样考虑截面几何尺寸的变化，使之满足构造要求，预应力在梁端的锚固合力点应尽量接近截面形心。

在预应力设计中，要考虑T梁从预制到成桥

的两种结构受力状态。在预制阶段，按照上翼缘宽度1.2m的单梁模型，进行预应力张拉短暂状态的应力验算；在运营阶段，考虑1.6m上翼缘宽度，采用全跨范围的梁格模型进行正常使用和承载能力验算。

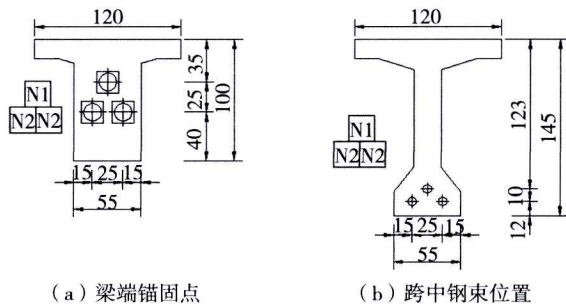


图6 预应力钢束在端部与跨中的位置(单位: cm)

#### 4.2 端部抗剪和局部应力计算

变截面T梁的端部抗剪设计和局部复杂应力状态尤为令人担心，为此，不仅依据规范条文进行计算，还开展了三维有限元分析。

首先，根据现行桥规进行了端部截面验算<sup>[9]</sup>，表明腹板尺寸满足要求，可避免发生斜压破坏；其次，在抗剪配筋验算中，计算出混凝土和箍筋的抗剪贡献为 $V_{cs}=1493\text{kN}$ ，大于最大剪力组合设计值。若再考虑与斜截面相交的普通弯起钢筋及预应力弯起钢筋的抗剪承载力，则抗剪承载力设计值还可以增大。

此外，还针对一片变截面T梁进行了三维实体有限元建模，分析表明在传力锚固状态，除锚下和端部区域几何突变处有小范围局部拉应力外，锚下总体区基本处于受压状态。最大压应力出现在变截面处底缘，约 $-14.1\sim-19.5\text{MPa}$ （图7）。

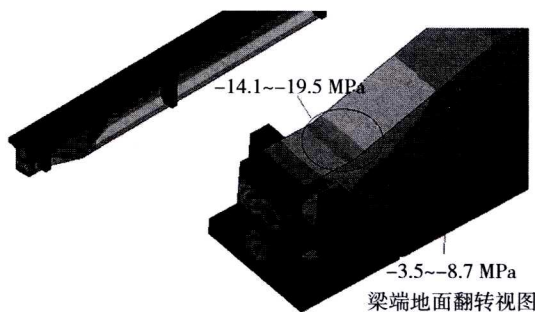


图7 实体有限元模型的表面应力

梁端纵剖面的压应力等值线显示，除锚下局

部区的压应力超过 $-20\text{MPa}$ 外（该区域有锚下螺旋筋等构造），锚固力扩散后区域的压应力一般均在 $-12\text{MPa}$ 以下（图8），可满足规范要求。

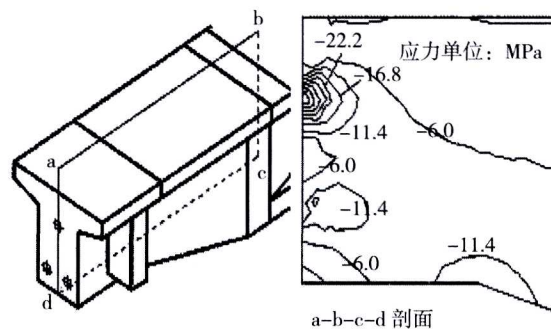


图8 梁端剖面的压应力等值线

#### 4.3 端部加强构造

合理的构造加强设计，也是保证梁端变截面部位安全性的重要措施，为此，在T梁端部设计了“预埋钢板”和“抗剪钢筋骨架”两种加强构造，具体构造见图9。预埋钢板加强构造包括底部预埋钢板N1以及与之垂直焊接的钢板N2，同时，沿钢板N2的下底缘按箍筋间距设预留孔以便箍筋穿过，此外，在预埋钢板N1和N2上，还焊接了增强粘结力的剪力钉。抗剪钢筋骨架加强构造，由两片平行钢筋网片组成，每一网片由多根倾斜布置的钢筋组焊而成。

#### 5 结语

空心板梁的横向整体性较弱，浅铰缝空心板的企口尤其容易在长期反复荷载作用下破坏，一旦在企口铰缝位置形成桥面纵向贯通裂缝以后，将对运营安全造成很大危害。此时，一般的加固措施难以改变单板受力状态，用新型上部结构替代空心板梁是一个可行方案。

然而，在考虑用T梁替代空心板梁时，如果原桥面与墩台盖梁的高程不变，则难以用等截面T梁满足原空心板高度。针对这一情形，本文提出了一种变高度的后张预应力T梁方案，可在不改变原桥面标高的前提下实现桥跨结构设计的更新。为此，通过详细的结构设计研究，给出了截面尺寸，优化了预应力筋布置，并且对梁端变截面部位进行了特别的抗剪加强构造。

（下转第26页）

- D60-01-2004) [S]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [2] 项海帆等. 公路桥梁抗风设计指南[S]. 北京: 人民交通出版社, 1996.  
Xiang haifan et al. Wind-resistant design specification of highway bridges[S]. Beijing: China Communications Press, 1996.
- [3] Davenport A G. The application of statistical concepts to the wind loading of structures[C]. Proc. Inst. Civil Eng. 1961, 19: 449-471.
- [4] E. Simiu, R.H. Scanlan. Wind Effects on Structures (Third Edition) [M]. John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- [5] A. Jain, N.P. Jones, R.H. Scanlan. Coupled aeroelastic and aerodynamic response analysis of long-span Bridges [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1996(60): 69-80.
- [6] A. Jain, N.P. Jones, R.H. Scanlan. Coupled Flutter and Buffeting Analysis of Long-span Bridges [J]. Journal of Structural Engineering, 1996(6): 716-725.
- [7] N.P. Jones, R.H. Scanlan. Theory and Full-bridge Modeling of Wind Response of Cable-supported Bridges [J]. Journal of Bridge Engineering, 2001(6), 6: 365-375.
- [8] 陈甦人. 考虑参数不确定性及多模态气动耦合的桥梁风致振动控制系统的研究[D]. 博士学位论文, 上海: 同济大学, 2000.  
Chen suren. Study on wind-induced vibration control system of bridges based on the modal coupling and uncertainty parameters [D]. Doctoral dissertation of Tongji University, Shanghai: Tongji University, 2000.
- [9] 丁泉顺. 大跨度桥梁耦合颤抖振响应的精细化分析[D]. 同济大学博士学位论文, 上海: 同济大学, 2001.  
Ding quanshun. Refinement of coupled flutter and buffeting analysis for long-span bridges[D]. Doctoral dissertation of Tongji University, Shanghai: Tongji University, 2001.
- [10] Liepmann H. W. On the application of statistical concepts to the buffeting problem. Journal of Aeronautical science, 1952, 19(12): 793-800.
- [11] 周俊杰, 徐国权, 张华俊. Fluent工程技术与实例分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.  
Zhou junjie, Xu guoquan, Zhang huajun. Technical analysis of Fluent software in engineering field and case study[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2010.
- [12] 温正, 石良臣, 任毅. Fluent 流体计算应用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.  
Wen zheng, Shi liangchen, Ren yi. Fluid computing application tutorial of Fluent software[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
- [13] Davenport, A .G. Gust loading factors[J]. Journal of Structural Division, ASCE93(ST3), 1967: 11-34.

(上接第21页)

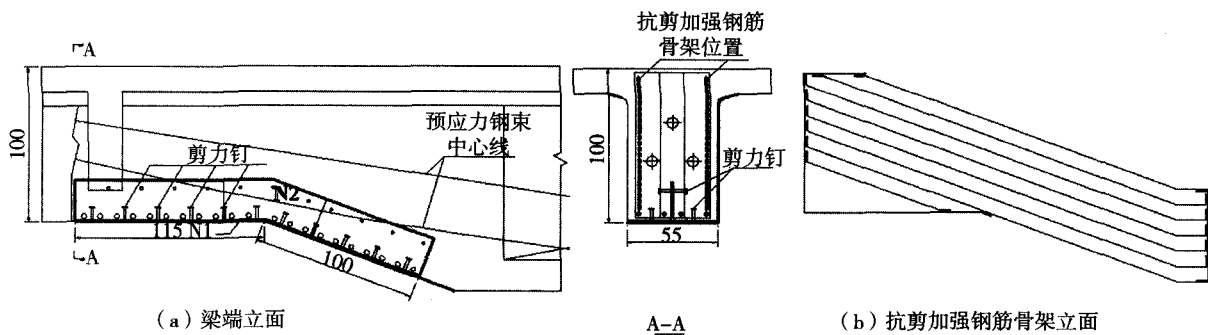


图9 变高度T梁的端部加强构造(尺寸: cm)

## 参考文献

- [1] Benaim R. The design of prestressed concrete Bridges—concepts and principles [M]. Taylor and Francis, 2008.
- [2] Cohn M. and Lounis Z. Optimal design of structural concrete bridge systems[J]. Journal of Structural Engineering, 1994, 120(9): 2653-2674.
- [3] 张彬, 朱栋, 徐建炜, 等. 浙江省中小跨径混凝土桥梁整体状况与典型病害研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版)2013, 32(S1): 742-745.  
Zhang Bin, Zun Don, Xu Jianwei, et al. Overall situation and typical diseases of medium and small span concrete bridges in zhejiang province[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2013, 32(S1): 742-745. (in Chinese)
- [4] Dowe H R K, Smith J W. Structural tests of precast, prestressed concrete deck panels for california freeway bridges[J]. PCI Journal. 2006, 51(2): 76-87.
- [5] 王亚军, 于坤, 蔡仕强. 公路预应力空心板梁桥单梁试验及评定[J]. 桥梁建设, 2011, (5): 36-39  
Wang Yajun, Yu Kun, Cai Shiqian. Testing and evaluation of single beam of highway prestressed concrete hollow slab beam bridge[J]. Bridge Construction, 2011, (5): 36-39. (in Chinese)
- [6] 赵卓, 蒋晓东, 霍达. 基于破坏荷载试验的预应力混凝土空心板单梁受力分析[J]. 北京工业大学学报, 2007, 33 (5): 498-501. )  
Zhao Zhu, Jling Xiaodon, Huo Da. Single slab load analysis of prestressed concrete hollow slab based on destructive test[J]. Journal of Beijing University of technology, 2007, 33 (5): 498-501. (in Chinese)
- [7] Scollm'd C R, Bartlett F M. Rehabilitation criteria for post-tensioned voided-slab bridges[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2004, 31(6): 977-987.
- [8] 黄民水, 朱宏平. 空心板梁桥“单板受力”病害机理及其加固处治研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(2): 118-121.  
Huang Minshu, Zhu Hongping. Study on mechanism and reinforcement processing of “Single slab beating” disease of hollow core slab beam bridge[J]. Journal of Huazhong University of Science & Technology(Natural Science Edition). 2008, 36 (2): 118-121. (in Chinese)
- [9] 中交公路规划设计院 JTG D62--2004, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.  
CCCC Highway Consult Co., Ltd. JTG D62--2004 Code for design of highway reinforced concrete and prestressed concrete bridges and culverts[S]. Beijing: Communications Press, 2004. (in Chinese)