

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqf.240856

# 某墩梁固结预应力T梁固结墩区域梁体腹板 八字裂缝成因分析

温建兴<sup>1,2</sup>, 武建中<sup>1,2</sup>

(1. 广东和立交交通养护科技有限公司, 广东 广州 510000; 2. 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510000)

**摘要:** 预应力先简支后结构连续T形梁桥是30~50 m跨径桥梁经常采用的一种形式,但桥梁运营期发现T梁腹板普遍存在裂缝,主要表现为竖向裂缝和斜裂缝。针对某高速公路墩梁固结预应力T梁固结墩区域梁体腹板八字裂缝病害成因进行研究分析,该八字裂缝与剪切裂缝方向垂直,数量多且有一定发展,缝宽超限,会影响结构安全和耐久性。通过对裂缝分布的统计分析和数值模拟,确定了产生八字裂缝的根本原因为结构体系先天不足,墩顶未设置负弯矩束,墩梁固结区域的受力复杂,属于应力扰动区;主要原因是基础形式多样,在早期沉降速率不一,当不均匀沉降大于15 mm时墩梁固结区间会产生超限的拉应力;次要原因是联长过大,收缩徐变及温度产生了不利影响;此外,运营桥梁结构材料性能的劣化与损伤累积也导致了八字裂缝的持续发展。研究成果可为此类桥梁的设计与运营管养提供参考。

**关键词:** 预应力T梁;墩梁固结;梁体腹板;八字斜裂缝;裂缝成因

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)03-0236-05

## Analysis on Causes of Eight-figure Crack in Girder Web Plate in Prestressed T-beam Consolidation Pier Zone of Pier and Beam Consolidation

WEN Jianxing<sup>1,2</sup>, WU Jianzhong<sup>1,2</sup>

(1. Guangdong Heli Transportation Maintenance Technology Co., Ltd, Guangzhou 510000, China; 2. Guangdong Transportation Planning and Design Institute Group Co., Ltd, Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** Prestressed simply supported and then structurally continuous T-beam bridges are a commonly used form for spans of 30~50 m. However, during operation, it was found that cracks were commonly present in the web plates of T-beams, mainly in the form of vertical and diagonal cracks. This article mainly studies and analyzes the causes of the eight shaped crack disease in the web plate of the prestressed T-beam consolidation pier area of a certain highway pier. The eight shaped crack is perpendicular to the direction of the shear crack, with a large number and certain development. The crack width exceeds the limit, which affects the safety and durability of the structure. Through statistical analysis and numerical simulation of crack distribution, it has been determined that the root cause of the eight character crack is the inherent deficiency of the structural system, the absence of negative bending moment bundles at the pier top, and the complex stress in the consolidation area of the pier beam, which belongs to the stress disturbance zone. The main reason is that the foundation forms are diverse, and the settlement rate varies in the early stage. When the uneven settlement is greater than 15 mm, excessive tensile stress will occur in the consolidation zone of the pier and beam. The secondary reasons are excessive elongation, shrinkage, creep, and adverse effects on temperature. In addition, the deterioration and accumulation of damage in the performance of bridge structural materials have led to the continuous development of "eight character" cracks. The research results can provide a reference for the design, operation and maintenance of such bridges.

**Keywords:** prestressed T-beam; consolidation of piers and beams; web plate of beam body; cause of crack formation

## 0 引言

预应力先简支后结构连续T形梁桥具有受力合理、跨越能力大、施工便捷灵活等优点,是30~50 m

收稿日期: 2024-08-13

作者简介: 温建兴(1995—),男,工学学士,工程师,从事桥梁养护维修设计工作。

跨径桥梁经常采用的一种形式,但在桥梁运营期间发现T梁腹板普遍存在裂缝,主要表现为竖向裂缝与八字斜裂缝<sup>[1]</sup>,例如某高速公路连续刚构T梁桥被评为3类桥,主要病害为T梁梁端腹板斜裂缝,且此类裂缝存在持续性的发展。现以某运营中的T梁桥为例,分析其腹板八字裂缝的形成机理,以为此类桥梁的设计与运营管养提供参考。

## 1 工程概况

本文以大石吓高架桥为分析实例。该桥属于山区高墩桥梁,采用墩梁固结,可节省材料、降低工程造价<sup>[2]</sup>,跨径为30 m的预应力混凝土预制T梁,通过现浇桥面板及现浇连续段整体化处理形成墩梁固结体系,全桥共22跨,分为2联。单幅桥宽15.75 m,由7片无中横隔梁的T梁组成,各T梁间距2.22 m,预制T梁高1.72 m,现浇桥面板平均厚度为18 cm。桥台为重力式V形桥台,桥墩为分离式钢筋混凝土薄壁Y形墩身,采用双排共有6根直径为120 cm的群桩基础,桩基础具有摩擦桩和嵌岩桩两种形式<sup>[3]</sup>。桥梁现场照片如图1所示。



图1 大石吓高架桥侧面照

在桥梁的运营过程中,发现T梁固结墩区域的梁体腹板出现斜向裂缝,斜裂缝方向与常规梁端的剪切裂缝方向垂直,且裂缝多出现在墩梁固结的梁端。2019年,管养单位对存在裂缝的部位采取垂直粘贴钢板加固措施,后续却发现此类裂缝仍有一定数量的新增,且存在较多修补裂缝重新开裂的情况,裂缝照片如图2所示。



图2 梁端腹板八字裂缝照片

## 2 桥梁裂缝病害

### 2.1 总体概述

该斜裂缝在腹板两边侧面大都对称分布,裂缝从腹板下缘斜向上方延伸到1/3~1/2腹板高度处,与水平面大约成45°,以梁为中心线呈正“八”字对称分布<sup>[4]</sup>。具体情况如下所述。

(1)裂缝总量:该桥共有180片T梁存在裂缝,共存在523条(左幅73片梁共计194条,右幅107片梁共计329条),裂缝长度介于0.13~8.8 m,平均长度约为0.64 m,宽度介于0.06~0.25 mm。

(2)裂缝增量:对比上一年度,新增了存在裂缝的T梁26片,共新增裂缝104条(其中左幅44条,右幅60条),裂缝长度介于0.24~4.2 m,总长68.89 m,平均长度约为0.66 m,裂缝宽度介于0.08~0.12 mm;该桥在2018—2023年的裂缝数量统计如图3所示。

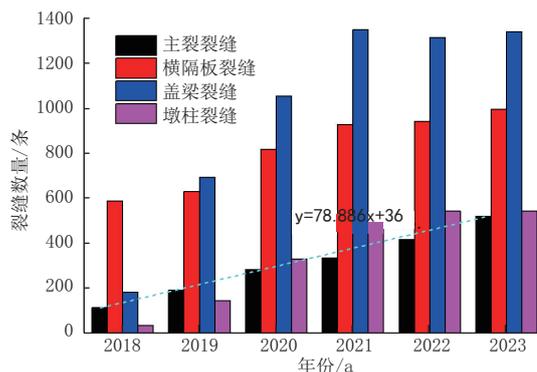


图3 桥梁历年裂缝数量统计

从图3可知,该桥主梁的裂缝数量多,新增裂缝较多,八字裂缝数量的年平均增长率为70%,有部分八字裂缝在修补后重新开裂。下面对梁端腹板八字裂缝分布规律进行统计分析,研究病害成因。

### 2.2 裂缝规律统计分析

#### (1)存在裂缝梁片数的跨数统计

左幅单跨5~7片梁存在八字裂缝病害的跨数有8跨,占36.4%;右幅单跨5~7片梁存在八字裂缝病害的跨数为15跨,占68.2%,数据统计如图4所示。墩台的不均匀沉降会影响到整个横断面主梁,该桥有5~7片T梁存在八字裂缝,跨数占比高,符合不均匀沉降的特征。

#### (2)固结墩与支座墩的影响

绝大多数的八字裂缝出现在固结墩墩顶附近的主梁,而支座墩或过渡墩墩顶上的裂缝数很少,不同墩形式的裂缝统计如图5所示。由图5可判断以墩中心线为中心的“八”字裂缝应与墩梁固结相关。

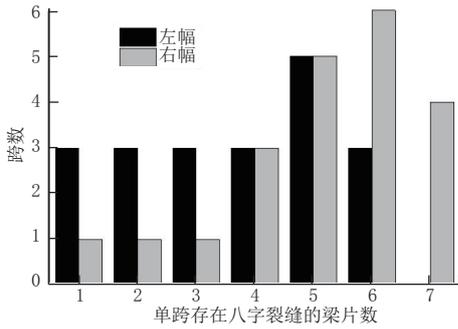


图4 存在不同裂缝梁片数的跨数统计

墩梁固结后限制了T梁的平动及转角变形,且局部的刚度很大,在温度效应、混凝土的收缩徐变、支座沉降等作用下会产生较大的附加内力,对T梁墩梁固结区的受力不利。

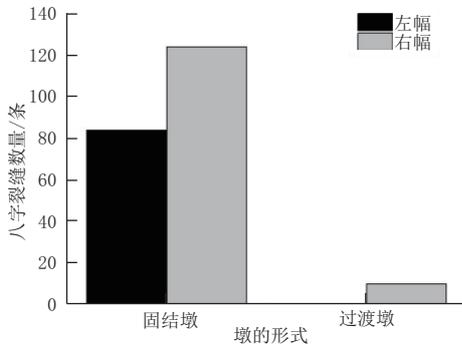


图5 不同墩形式八字裂缝数量统计

(3) 桥墩基础形式的影响

全桥下部结构共有2座桥台、21座桥墩,桥台为重力式V形桥台,桥墩为分离式钢筋混凝土薄壁Y形墩身,双排共有6根直径为120 cm的群桩基础。各墩顶主梁的八字裂缝数量统计如图6所示。由图可见,左幅的裂缝数量比右幅多,而裂缝数量与基础形式无明显相关性,因此可判断左幅裂缝主要由于温度和收缩徐变产生。

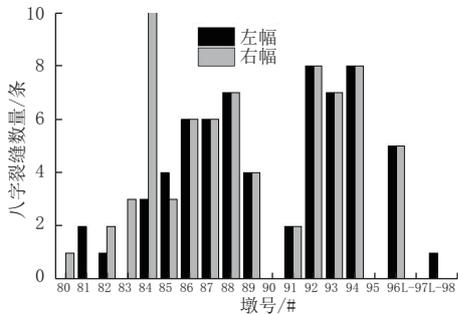


图6 各墩顶主梁八字裂缝数量统计

(4) 不同墩高的影响

不同墩高的八字裂缝数量统计如图7所示。

由上述T梁固结墩区域斜裂缝形态及裂缝统计规律可以看出:(1)裂缝出现部位的受力模式为弯剪共同作用区;(2)几乎所有连续墩都存在裂缝;(3)与

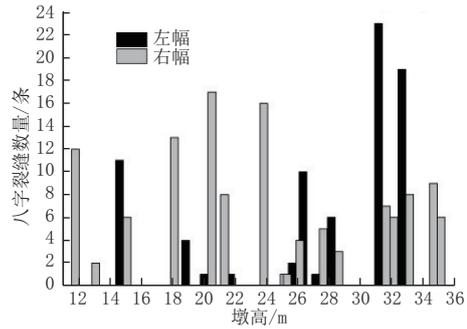


图7 不同墩高八字裂缝数量

墩梁固结相关但与墩高(主要影响固结部位的整体刚度)的线性相关性不大。

3 原规范与新规范的设计参数对比

该桥梁建设年代较早,原设计采用《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)<sup>[5]</sup>,其结构尺寸及配筋与现行设计规范《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)<sup>[6]</sup>有较大差别,对比新老设计规范下30 m的T梁尺寸如表1所列,配筋对比如表2和表3所列。

表1 原规范与新规范T梁尺寸对比表 单位:cm

项目	预制梁高	现浇层	跨中		端部		横隔板(道数)	
			腹板厚度	马蹄宽	腹板厚度	马蹄宽	端隔板	中隔板
JTJ 023—85	172	18	20	40	40	40	2	0
JTG D60—2015	200	10	20	60	40	60	2	3

表2 原规范与新规范T梁预应力参数对比表

项目	边跨跨中		含钢束量/(kg·m <sup>-3</sup> )	中跨跨中		负弯矩钢束(钢绞线根数/束数)
	(钢绞线根数/束数)			(钢绞线根数/束数)		
	边梁	中梁	边梁	中梁	根数/束数	
JTJ023—85	27/3	23/3	25.6	27/3	23/3	0
JTG D60—2015	26/4	23/4	31.5	23/3	21/3	20/4

表3 原设计与现行规范T梁普通钢筋参数对比表

项目	腹板端部				马蹄底部	
	水平钢筋		竖向钢筋		纵向钢筋	
	直径/mm	间距/mm	直径/mm	间距/mm	直径/mm	根数
JTJ 023—85	8	200	10	100	20	4
JTG D60—2015	10	136	12	100	25	6

通过上述设计参数的对比,可得到结论如下:

(1)原设计T梁的梁高、腹板厚度、马蹄宽度等截面尺寸较小,且未设置跨中横隔板,其纵向刚度及

横向刚度相对较弱;

(2)由于原设计T梁的尺寸相对较小,其跨中正弯矩预应力钢束配置略强,同时正弯矩钢束在端部全部弯起,梁端底部预应力较少,又未设置负弯矩钢束,使得原设计T梁梁端底部区域的预压应力较小,类似于普通钢筋砼结构;

(3)原设计T梁的梁端腹板水平钢筋、竖向抗剪钢筋、底部通长纵向钢筋的直径较小、间距较大,普通钢筋设置较弱;

(4)原设计T梁的截面尺寸小,梁端无负弯矩钢束,正弯矩钢束又全部弯起,同时梁端普通钢筋配置弱,梁端底部为薄弱位置,更易开裂。

## 4 数值模拟分析

### 4.1 杆系模型

(1)各主要荷载及组合的影响分析

考虑各主要荷载及组合,包括恒载、恒载+活载、收缩徐变、整体升温、整体降温、梯度升温、梯度降温作用下<sup>[5]</sup>墩梁固结区T梁梁底正应力的值,得到各荷载工况下梁端下缘应力值如表4、表5所列。

表4 各荷载工况下梁端下缘应力值-1 单位:MPa

荷载 工况	8 cm 沥 青铺装	恒载(自重+二 期+预应力)	汽车活载	收缩 徐变
应力值	-1.8	-3.5	0.5 (最大值) -5.8 (最小值)	1.9

表5 各荷载工况下梁端下缘应力值-2 单位:MPa

荷载 工况	整体升温+ 梯度升温	整体升温+ 梯度降温	整体降温+ 梯度升温	整体降温+ 梯度降温
应力值	2	-1	2	-1

注:1.表中数值受拉为正(+),受压为负(-)。

2.括号中的值为考虑10%预应力损失情况下的数值<sup>[7]</sup>。

从表4、表5可看出:a.恒载、汽车活载在墩梁固结区梁端下缘会产生压应力;b.收缩徐变、梯度升温会导致墩梁固结区附近主梁下缘产生拉应力;c.在恒载、收缩徐变及温度作用组合下,墩梁固结区附近主梁为受压状态,不会产生拉应力。

(2)不均匀沉降及参数分析

该桥部分桥墩采用扩大基础,且桥位的地质条件较差,通过调查发现在桩基施工期就曾观察到桥墩有较大的基础沉降。研究不同沉降量(5~30 mm,每5 mm一级)下墩梁固结区附近主梁下缘正应力与沉降量大小的关系,如图8所示。

由图8可看出,墩顶附近主梁正应力随沉降量的增大而增大,基本呈线性变化关系,且数值较大,但

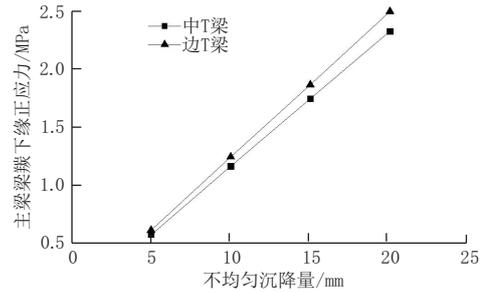


图8 墩梁固结区附近主梁下缘正应力随沉降量变化图

横向上边梁与中梁的应力差别不大。根据上述结果可以看出,不同桥墩位置的差异沉降会导致墩梁固结区附近产生正“八”字裂缝。

### 4.2 实体精细化模型

利用MIDAS/FEA NX软件建立3×30 m的全桥简化实体有限元分析模型,网格划分时采用以六面体为主导的混合网格生成器,墩顶附近的主梁及盖梁采用0.1 m的网格尺寸划分以便更准确地分析裂缝发生部位,其余位置采用0.2 m的网格尺寸划分,有限元模型及边界条件如图9所示。



图9 实体有限元模型渲染图

(1)混凝土本构:混凝土作为工程中使用最广的材料,成分复杂多样,本构关系也较为复杂。目前混凝土材料的本构关系主要是基于弹性理论或弹塑性理论,本次模拟计算采用弹性理论本构关系<sup>[8]</sup>。

(2)钢筋本构关系:对于钢筋本构模型,采用双向性随动强化BKIN进行模拟<sup>[9]</sup>。

(3)荷载组合“自重+预应力+二期+梯度升温+中间墩沉降”下的应力结果如图10所示。

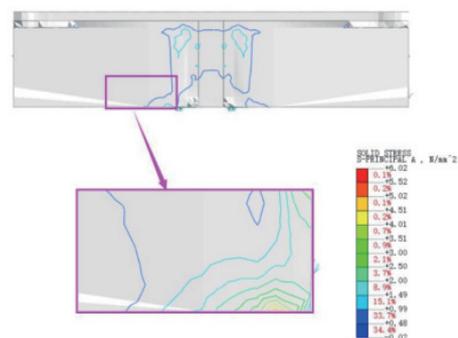


图10 第一主应力等值线(桥墩不均匀沉降15 mm)

不同沉降量组合下的梁端主应力值如表6所列。从验算结果可看出,在15 mm不均匀沉降量的作用下,应力超过C50主拉应力的区间有较大的增加,且应力等值线的形状与裂缝的形状具有一致性。

表6 不同沉降量组合下梁端主应力值

不均匀沉降量/mm	梁端部第一主应力值/MPa
5	1.65
10	3.22
15	4.77
20	6.36

根据上述计算结果,在“自重+预应力+二期+梯度升温+桥墩沉降”的荷载工况组合下,从方向上看,T梁端部的第一主应力方向与正“八”字斜裂缝方向吻合;从数值大小上看,其第一主应力沿腹板高度方向上小下大,符合实际裂缝的开展方向。根据应力等值线的形状及拉应力所占的区间来判断,当桥墩沉降大于15 mm时,墩梁固结区间附近产生正“八”字斜裂缝的可能性很大。

## 5 结 语

以某墩梁固结预应力混凝土T梁桥固结墩区域梁体腹板出现的正“八”字形特殊斜裂缝为研究对象,总结病害发展规律,结合杆系及实体有限元模型进行精细化分析,最终该八字裂缝的成因分析结论如下。

(1)结构体系先天不足:裂缝处结构采用先简支后墩梁固结体系,T梁为预应力混凝土结构,但墩顶区域未设置负弯矩钢束,整体上看,墩顶区域为普通钢筋混凝土结构,是该类裂缝产生的根本原因。

(2)墩梁固结区域受力复杂:该工程墩梁固结处通过现浇横梁将预制的T梁和桥墩连为整体,横梁与桥墩盖梁在纵向上等宽,固结刚度大,在固结区域形成了一个较为复杂的应力扰动区<sup>[10]</sup>,是该类裂缝产生的原因之一。

(3)基础不均匀沉降:是产生正“八”字裂缝的主要原因,根据分析,本研究的桥段桥墩基础以摩擦桩为主,部分采用嵌岩桩及扩大基础,基础形式多样,各类基础形式运营期的沉降量、沉降速率不一,当不均匀沉降大于15 mm时,墩梁固结区间附近产生正

“八”字斜裂缝的可能性很大。

(4)收缩徐变及温度等影响:是正“八”字形裂缝产生的次要原因,桥梁单联跨径组合为11×30 m,联长过大,从计算结果看,短期组合下梁端容易产生应力集中,应力值在4.12~4.18 MPa之间,超出规范限值(1.855 MPa)且超出混凝土抗拉强度(2.65 MPa)。

(5)材料性能的劣化与损伤累积:基础不均匀沉降一般在早期发生,会导致墩顶附近下缘受拉,且拉应力累积在混凝土内部,随着材料自身性能退化和内部损伤的累积,就导致近年该类裂缝有持续发展的趋势。

### 参考文献:

- [1] 刘明凡. 车辆荷载作用下T梁腹板竖向裂缝发展趋势与防治措施[D]. 西安: 长安大学, 2023.
- [2] 蒋晨旭, 高宝. 连续T梁墩梁固结后结构受力影响分析[J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2017, 18(2): 1-4.
- [3] 广东省公路工程总公司第四公司团队. 广深珠高速公路虎门大桥工程大石吓高架桥竣工[Z]. 北京: 广东省公路工程总公司第四公司, 1997.
- [4] 中路高科交通检测检验认证有限公司检测团队. 莞佛高速虎门大桥段全线结构物2023年定期检查(大石吓高架桥)[R]. 北京: 中路高科交通检测检验认证有限公司, 2023.
- [5] JTJ 023—85, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [6] JTG D60—2015, 公路桥涵设计通用规范[S].
- [7] 刘永前, 李勇, 杨明, 等. 重载铁路预应力混凝土T梁斜裂缝成因分析与试验研究[J]. 铁道学报, 2023, 43(5): 197-203.
- [8] 李嘉维. 预应力混凝土T梁连续刚构桥裂缝分析[J]. 福建交通科技, 2017(1): 53-55.
- [9] 安定宇. 预应力混凝土T梁裂缝模拟分析[J]. 黑龙江交通科技, 2022, 45(2): 44-46.
- [10] 黄萍. T梁连续刚构桥梁墩梁固结节点模型有限元分析[J]. 公路, 2013(8): 75-79.
- [11] 麻文燕, 陈善勤, 莫勇刚. 先简支后连续刚构梁桥影响内力参数分析[J]. 交通科技与经济, 2010, 12(1): 96-99.
- [12] 许见超, 葛凯, 王振, 等. 腹板斜裂缝对重载铁路32 m跨度预应力混凝土T梁受力影响仿真分析[J]. 铁道建筑, 2022, 62(4): 64-67.
- [13] 罗慧刚. 梁端斜裂缝对重载铁路32m跨度简支T梁受力性能影响研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2017, 30(4): 12-19.
- [14] 陈文明. 山区连续刚构T梁温度力分析[J]. 福建交通科技, 2022(12): 68-74.
- [15] 高宁. 预制T梁墩梁固结受力分析[J]. 山东交通科技, 2023(4): 88-91.