

# Study on Mechanical Behavior of Prestressed Short Rib T-Beam

Tianlai Yu\*, Wu Ou, Shuang Yao

School of Civil Engineering, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang  
Email: [tianlaiyu@126.com](mailto:tianlaiyu@126.com)

Received: Mar. 2<sup>nd</sup>, 2019; accepted: Mar. 19<sup>th</sup>, 2019; published: Mar. 26<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In order to study the overall anti-flexure performance of the prestressed short-ribbed T-girder bridge and the response of the girder to loads, and to make its design more reasonable, the full-scale tests of 15.96 m long girder with 14.96 m span, 0.85 m height and 1.05 m width are carried out in this paper. The strain distribution law of common tension steel bar and concrete along the section height and the failure mode of the beam body will also be discussed. The test results show that the prestressed short ribbed T-beam bridge is a new type of bridge structure with strong overall performance, which can be better and replace the hollow slab bridge and is widely used in small span highway bridges. In order to ensure the safety of this kind of bridge in the design reference period, it provides a basis for the relevant calculation theory of this type of bridge structure and provides a reference for the optimization design of this kind of bridge in the future.

## Keywords

Prestressed Short-Ribbed T-Beam, Full-Scale Test, Mechanical Performance

---

# 预应力矮肋T梁受力性能研究

于天来\*, 欧武, 姚爽

东北林业大学土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨  
Email: [tianlaiyu@126.com](mailto:tianlaiyu@126.com)

收稿日期: 2019年3月2日; 录用日期: 2019年3月19日; 发布日期: 2019年3月26日

---

## 摘要

为了研究预应力矮肋T梁桥的整体抗弯性能及梁体对荷载的响应, 为使其设计更加合理, 本文通过梁长

---

\*通讯作者。

15.96 m, 计算跨径14.96 m, 梁高0.85 m, 梁宽1.05 m的足尺试验, 探讨普通受拉钢筋、混凝土沿截面高度的应变分布规律及梁体的破坏形态, 试验结果表明: 预应力矮肋T梁桥是一种整体性能较强的新型桥梁结构形式, 能更好地替代空心板桥, 从而广泛用于小跨径的公路桥梁中。为此类型梁桥结构的相关计算理论提供依据的同时, 为今后此类桥梁的优化设计提供参考, 从而保证此类桥梁在设计基准期内的安全性。

## 关键词

预应力矮肋T梁, 足尺试验, 受力性能

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国在役桥梁中小跨径桥梁占比较大, 其中空心板结构最为常见[1]。但是空心板桥的铰缝损伤十分普遍[2], 影响车辆运行, 威胁行车安全。导致交通运营能力降低及后期管理运营、维修改造成本大大增加。为提高小跨径桥梁的使用年限, 提高其耐久性, 减小后期投入, 提高运营能力, 从根本上解决空心板桥的问题, 将空心板梁的双支座进行了缩减, 去掉其铰接形式, 采用预应力矮肋 T 梁桥代替铰接空心板梁桥的形式。由于其具备施工便捷、结构高度小、受力合理及耐久力好等优点, 可从构造上解决空心板梁结构的弊病, 为小跨径桥梁结构提供更优的选择。

国内一部分学者对矮肋 T 梁桥与空心板桥进行比较[3] [4] [5], 矮肋 T 梁桥造价更低, 制作、安装更加方便。2012年席进[6]、王耀明[7]对矮肋 T 梁桥细部设计进行了参数优化。利用相似理论, 国内学者对于矮肋 T 梁受力性能的研究多采用的是缩尺模型, 缩尺模型虽然考虑了材料、几何、边界等相似条件, 能够反应出一定规律, 但试件尺寸较小, 施工条件与现场会有较大的差异, 需根据形似比来推算原型构件的受力响应, 就原型构件的内力及变形的定量值而言, 会存在一定的误差。而足尺模型能够真实反应实际构件的受力性能及施工状况, 试验结果具有更强的直观性和说服力。为了使预应力矮肋 T 梁桥能够更好地服务于更广范围内的小跨径桥型, 采用足尺静载试验对桥梁整体的安全性能有着及其重要的意义。鉴于此, 我们开展了对预应力矮肋 T 梁的静力性能的研究, 通过其破坏过程, 裂缝发展及破坏形态等, 研究其抗弯性能, 为此类构件的工程应用提供理论基础。

## 2. 试验概况

### 2.1. 试验梁参数设计

本次试验以某桥梁结构中的上部结构为原型, 采用足尺模型对试验梁构件进行设计[7]。试验梁梁长15.96 m, 计算跨径14.96 m, 梁高0.85 m, 梁宽1 m, 跨中梁肋宽0.3 m, 梁端肋宽0.4 m, 翼板厚0.16 m。采用后张法张拉预应力筋, 其中, 钢绞线采用强度为1860级 $\Phi 15.24$  (7 $\Phi 5$ )钢绞线, 纵向受拉主筋采用直径为 $\Phi 22$ 的HRB335, 箍筋、架立钢筋均采用HRB235其直径为 $\Phi 10$ 。试验采用常规的两点加载(加载点位于两个三分点处)的加载方式, 梁体破坏状态以试验梁彻底失去承载能力为标准。该试验梁的细部尺寸见图1。

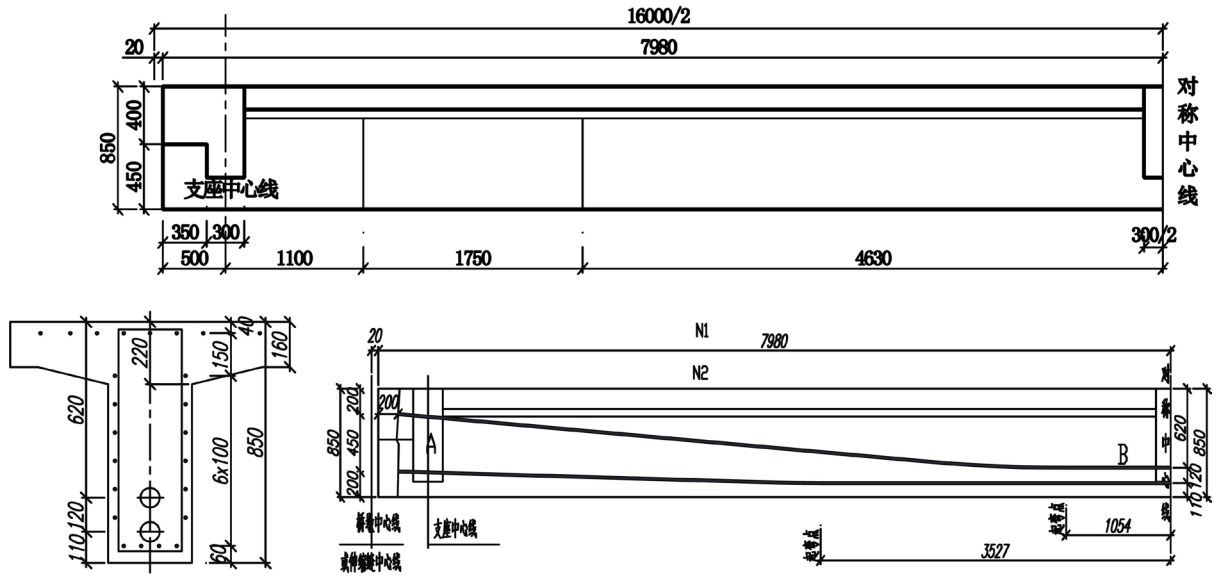


Figure 1. Test beam half elevation and detail size and steel bundle layout (unit: mm)

图 1. 试验梁半立面和试验梁细部尺寸及钢束布置图(单位: mm)

## 2.2. 材料力学性能

在构件厂预制作的同时, 预留一部分材料进行材料性能试验, 按照现有规范实验所得钢筋、预应力筋材料力学性能如表 1 中所示。

Table 1. Material characteristics table of test beam

表 1. 试验梁材料特性表

材料参数				
混凝土	$E_c$ (Mpa)	强度等级	$f_{ik}$ (Mpa)	
	34,500	C50	2.65	
	标准抗压强度 $f_{ck}$ (Mpa)	设计抗压强度 $f_{cd}$ (Mpa)	设计抗压强度 $f_{cd}$ (Mpa)	
	32.4	1.83	22.4	
钢筋	标准抗拉强度 $f_{tk}$ (Mpa)	弹性模量 $E_s$ (Mpa)	设计抗拉强度 $f_{sd}$ (Mpa)	
	HRB335	335	200,000	280
	R235	235	210,000	195
钢绞线	直径(mm)	种类	设计抗压强度 $f_{cd}$ (Mpa)	
	15.2	1×7 标准型	22.4	
	抗拉强度设计值 $f_{pd}$ (Mpa)	抗拉强度标准值 $f_{pk}$ (Mpa)	弹性模量 $E_p$ (Mpa)	
	1260	1860	195,000	

## 2.3. 试验加载方案

进行试验前, 为了确定加载分级。先根据单梁设计图纸, 计算单梁的抗弯极限承载能力, 在计算试验加载的最大值。为模拟试验过程, 先用 Midas Civil 建立试验梁的非线性有限元模型[8], 对试验的过程进行仿真分析, 确定试验荷载。

验采用的加载方式是常规的两点加载，试验装置示意图如图 2 中所示。支座一端采用滚动支座，另一端采用铰支座。试验挠度测点分别布置于支点、L/4、跨中断面及 3L/4，挠度、应变测点布置示意图见图 3~5。每次加载完成后，持续一定时间待梁体稳定后进行应变、挠度采集，对裂缝进行测量记录。检查构件是否产生裂缝，记录裂缝宽度长度及位置。

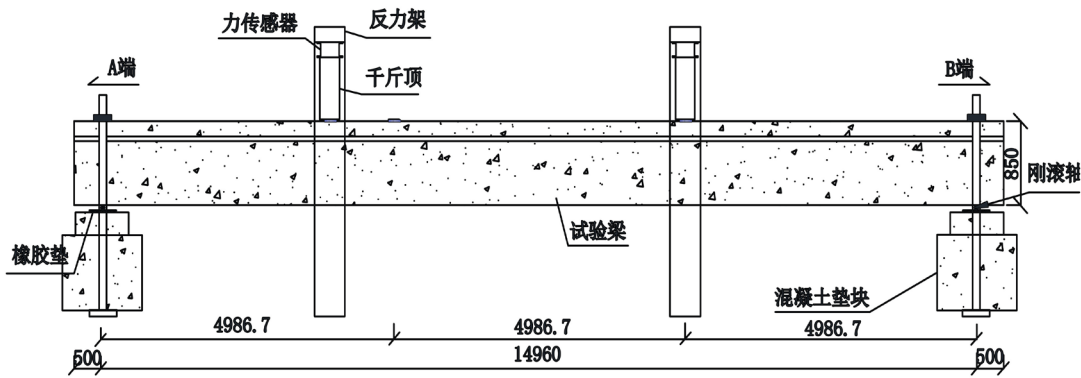


Figure 2. Layout of test equipment (unit: mm)

图 2. 试验装置图(单位: mm)

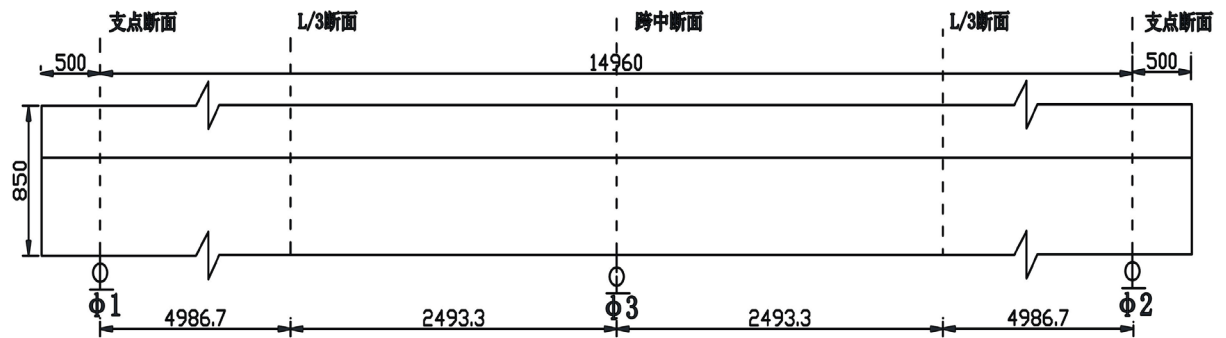


Figure 3. Layout of deflection measurement points (unit: mm)

图 3. 挠度测点布置图(单位: mm)

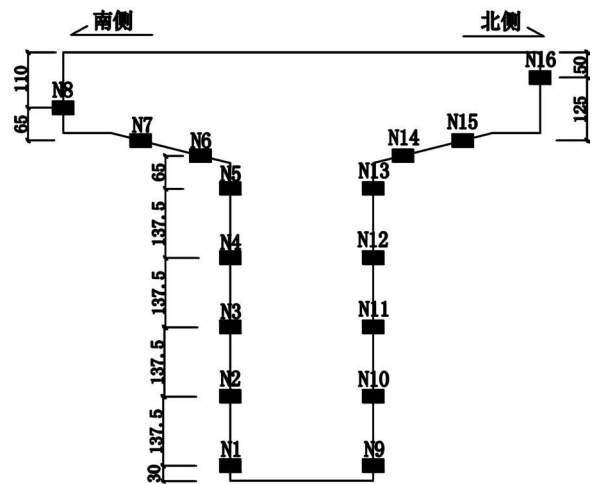
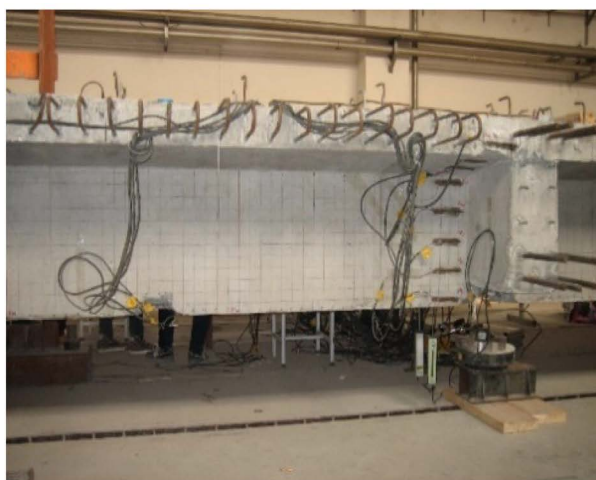


Figure 4. Layout of mid-span cross-section concrete strain measuring points (unit: mm)

图 4. 跨中横断面混凝土应变测点布置图(单位: mm)

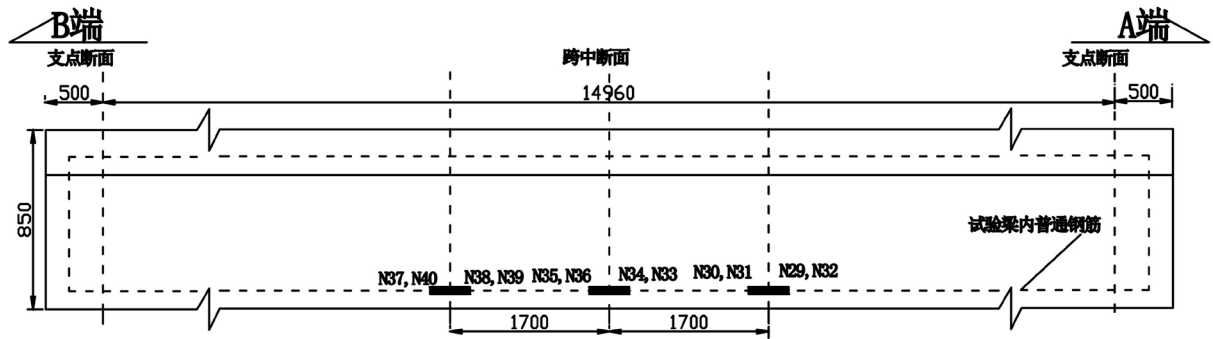


Figure 5. Layout of longitudinal steel bar strain measuring points (unit: mm)

图 5. 纵向钢筋应变测点布置图(单位: mm)

根据文献[9]计算, 不计试验梁梁体自重, 其开裂荷载  $P_{cr}$  为 495.46 kN, 极限荷载  $P_u$  为 874.12 kN。对比梁分级加载

- 1) 试验开始前, 需要对试验梁进行三级预加载。荷载步长为 27.9 kN;
- 2) 试验阶段先分 8 级加载至  $0.9P_{cr}' = 222.9$  kN, 每级增加 27.9 kN;
- 3) 当加载达到开裂试验荷载值的 90%后, 按每级 8 kN 加载, 直至试验梁开裂;
- 4) 当试验梁开裂后, 每级荷载值取 24.5 kN 的级距进行加载, 直至  $0.9P_u' = 393.4$  kN;
- 5) 当加载达到承载能力试验荷载技术值的 90%后, 按每级 11kN 加载至结构达到极限承载能力标志;
- 6) 卸载时的每级卸载值为两级加载值的总和, 且保证每级卸载后在构件上的试验荷载剩余值宜与加载时的某一荷载值相对应。

根据《混凝土结构试验方法标准》(GB50152-92) [10]规定, 确定该结构构件是否达到或超过承载能力极限状态。

### 3. 试验数据分析

#### 3.1. 试验梁受弯破坏过程及形态

试验梁在达到 386.49 kN 的荷载值之前, 一直处于非常良好的弹性工作状态, 跨中挠度为 24.34 mm, 钢筋应变随荷载变化的规律也呈线性, 混凝土应变符合平面假定。当荷载值超过了 386.49 kN, 混凝土的中性轴有了稍许的改变, 其下缘混凝土出现了竖向裂缝, 导致很小部分混凝土退出了工作状态, 确定了试验梁的开裂荷载为 386.49 kN。

当试验荷载达到 539.55 kN, 跨中挠度为 50.9 mm, 此时试验梁呈现出明显的弹塑性工作状态, 最大的裂缝宽度达到了 0.2 mm。试验梁的荷载 - 位移曲线和混凝土的应变曲线均存在明显的拐点和塑性变化段, 此时的结构表现出了一定延性。

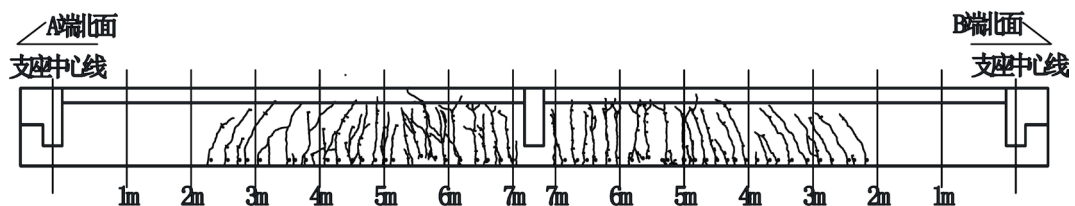
当荷载持续增大, 试验梁的挠度及裂缝宽度持续增大, 裂缝数量持续增加。加载到一定程度是, 预应力筋开始承担绝大部分荷载, 梁低普通受拉钢筋开始屈服, 梁体下挠速度明显加快。在试验过程中, 裂缝发展比较稳定, 首先出现在跨中纯弯段梁底的竖向裂缝向上发展, 宽度增加。随着荷载的增加, 部分裂缝汇合, 加载至 737.91 kN 时, 主裂缝发展速度明显增加, 弯剪区已经有明显斜裂缝产生, 当达到 913.55 kN 时, 梁体裂缝已经延伸到了翼缘处, 跨中挠度为 381.13 mm。最终试验梁主裂缝和跨中竖向缝延伸到翼缘、加载点附近翼缘混凝土被压碎, 达到彻底失效状态。试验梁现场破坏阶段加载情况及破坏状态见图 6、图 7; 同时, 此阶段下的钢筋应变片几乎全部失效, 由于裂缝扩展, 混凝土应变片失效。混凝土部分测点应变大小见表 2。

**Table 2.** Partial strain measurement point values table of test beam  
**表 2.** 试验梁部分应变测点值(单位:  $\mu\epsilon$ )

距梁底距离(mm)	荷载(kN)	0	386.49	539.55
30		0	460	841
167.5		0	386	455
305		0	206	125
422.5		0	66	32
580		0	-68	-15
645		0	-112	-116
675		0	-148	-177
740		0	-292	-489



**Figure 6.** Photos of the ultimate failure of the test beam  
**图 6.** 试验梁最终破坏照片



**Figure 7.** Crack layout of beam body in failure stage  
**图 7.** 梁体破坏阶段裂缝图

根据每级荷载所测裂缝数据, 在实验过程中, 其裂缝宽度的平均值随着荷载的增加而增加, 呈直线增长关系。其线性回归见图 8。

试验梁的荷载 - 裂缝线性回归曲线为:

$$Y = 1221.8 x + 305.9$$

线性相关系数:  $R = 0.9781$ , 说明裂缝平均宽度与荷载大小具有很好的线性相关性。

### 3.2. 刚度分析

在各级试验荷载作用下, 各测点挠度曲线见图 9、图 10。

试验荷载小于开裂荷载前, 试验梁处于弹性工作状态, 位移与荷载呈线性关系; 至荷载达到开裂荷载时, 挠度突然增大, 梁体开裂。随后随着荷载的增大, 裂缝处于稳定的发展阶段; 荷载至 539 KN 附近时, 裂缝进入快速发展阶段, 中性轴快速上移, 主梁挠度迅速下降; 至荷载达 973.9 KN 时, 下缘钢

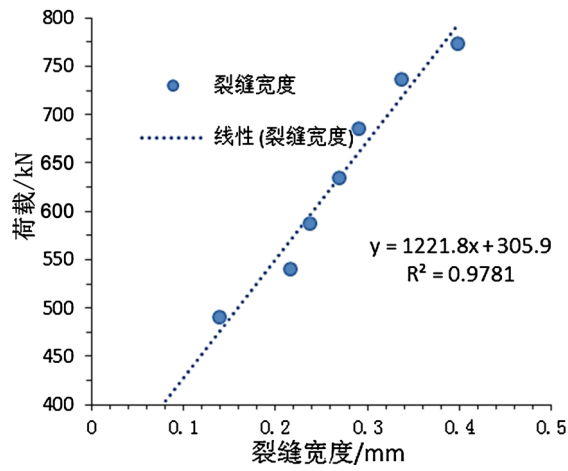


Figure 8. Relationship curve between load and crack width of test beam  
图 8. 试验梁荷载 - 裂缝宽度关系

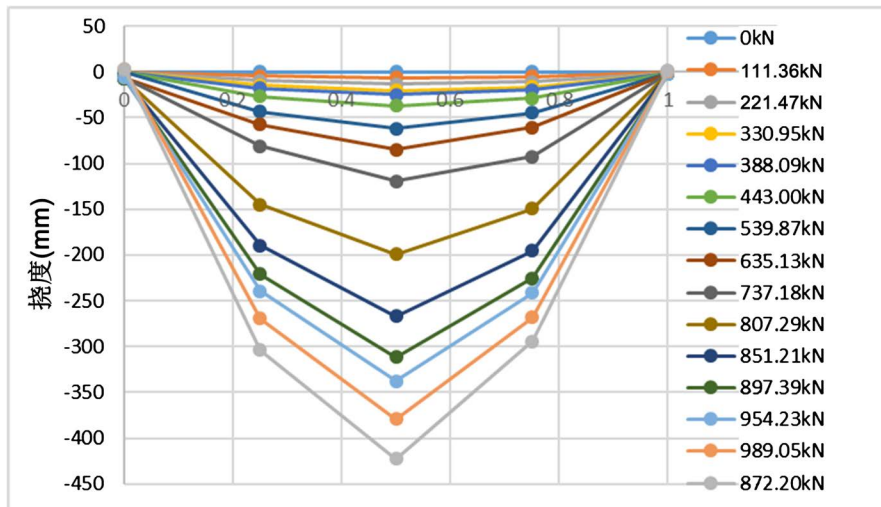


Figure 9. Load-vertical displacement  
图 9. 荷载 - 竖向位移

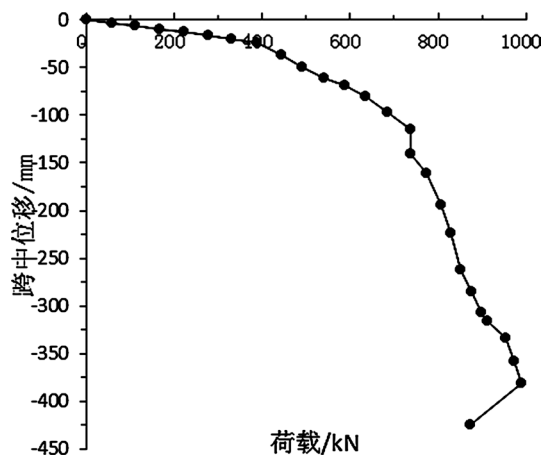


Figure 10. Curve of mid-span displacement  
图 10. 跨中位移

筋开始屈服，随后上缘混凝土压碎；破坏时，主梁跨中挠度接近 381.13 mm，反应出预应力矮肋 T 梁的竖向刚度偏低。

### 3.3. 应变分析

在试验荷载作用下，混凝土应变沿梁高分布总体符合平截面假定。下缘混凝土开裂后，随着荷载的增大，下缘混凝土拉应变增大，中性轴不断上移，上缘混凝土压应变不断增大。至 539 kN 附近时，裂缝进入快速发展阶，钢筋应变快速增加混凝土、钢筋应变见图 11、图 12；至 973.9 kN 附近时，下缘钢筋屈服，随之上缘混凝土被压碎，梁体完全破坏。

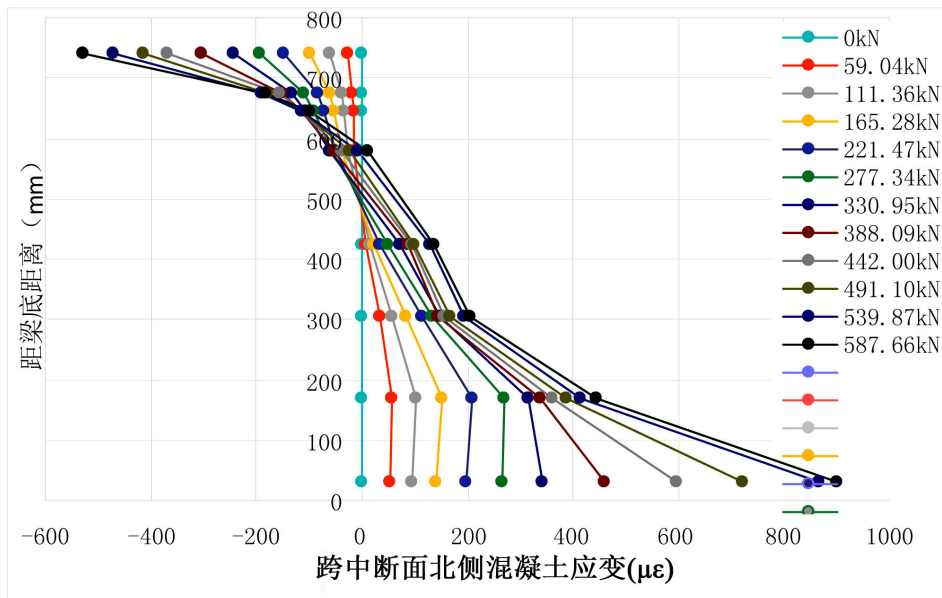


Figure 11. Concrete strain distribution curve along beam height

图 11. 混凝土应变沿梁高分布

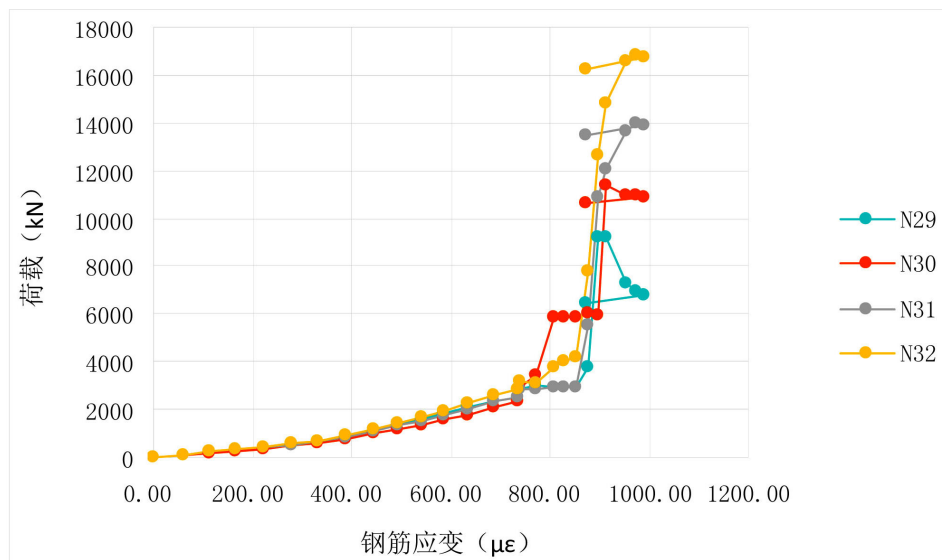


Figure 12. Reinforcement strain curve-loads

图 12. 钢筋应变 - 荷载



## 4. 结论

本文通过 16 m 预应力矮肋 T 梁足尺静力试验及数据分析, 得出了以下结论:

1) 试验荷载小于开裂荷载前, 试验梁处于弹性工作状态, 位移与荷载呈线性关系; 至荷载达到开裂荷载时, 挠度突然增大, 梁体开裂。随后随着荷载的增大, 裂缝处于稳定的发展阶段; 荷载至 539 KN 附近时, 裂缝进入快速发展阶段, 中性轴快速上移; 至荷载达 973.9 KN 时, 下缘钢筋开始屈服, 随后上缘混凝土压碎。

2) 荷载至 539 KN 附近时, 裂缝进入快速发展阶段, 中性轴快速上移, 主梁挠度迅速下降; 至荷载达 973.9 KN 时, 下缘钢筋开始屈服, 随后上缘混凝土压碎; 破坏时, 主梁跨中挠度达到 381.13 mm, 反应出预应力矮肋 T 梁的竖向刚度偏低。

## 参考文献

- [1] 姚爽. 低高度密肋式预应力混凝土 T 梁受弯性能分析[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
- [2] 于天来, 姚爽, 寇潇俊, 赵云鹏. 铰接板桥铰缝横向预应力加固效果影响因素分析[J]. 中外公路, 2018, 38(2): 94-97.
- [3] 胡银祥. 中小跨径桥梁上部密肋式 T 梁与空心板的比选[C]//建筑科技与管理学术交流会. 2013.
- [4] 吴平平, 席进, 梁长海, 等. 低高度密肋式预应力混凝土简支 t 梁桥: CN, CN201942992U[P]. 2011.
- [5] 雷波, 程建旗, 张仁根, 等. 预应力混凝土简支矮肋 T 梁桥应用研究[J]. 交通科技, 2013(6): 4-6.
- [6] 席进. 低高度密肋式 T 梁结构参数化分析研究[J]. 公路交通科技:应用技术版, 2012(4): 256-260.
- [7] 王耀明, 梁长海. 低高度密肋式 T 梁上部通用图编制研究[J]. 公路交通科技:应用技术版, 2012(4): 246-250.
- [8] 北京迈达斯技术有限公司. MIDAS FEA 用户手册第二册——分析与计算理论[M]. 2010.
- [9] 中华人民共和国交通部. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTG D62-2004)[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [10] 沈在康. 《混凝土结构试验方法标准》GB50152-92 介绍(续)[J]. 建筑科学, 1993(4): 66-69 + 74.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)