

文章编号:1671-6833(2006)04-0006-04

先张法折线形预应力梁钢绞线摩擦损失试验研究

刘立新<sup>1</sup>, 胡丹丹<sup>1</sup>, 于秋波<sup>1,2</sup>, 冯 辉<sup>1</sup>

(1. 郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学综合设计研究院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 弯起器是实现先张法折线形预应力配筋的关键部件, 通过量测 6 根钢绞线在不同弯起角度 5°、9°、13° 下穿过弯起器后预应力筋的摩擦损失, 分析影响钢绞线摩擦损失的主要因素, 提出试验所采用的弯起器预应力筋摩擦损失的计算方法及相关建议. 试验结果表明, 钢绞线的摩擦损失同弯起角度成正比关系且与张拉控制应力呈线性关系, 弯起器钢绞线孔洞上方的钢板挤压应力仅为张拉控制应力的 2.1%, 表明弯起器具有可靠的强度和安全保证依据.

**关键词:** 先张法预应力钢绞线; 摩擦损失; 张拉控制应力; 弯起角度; 弯起器; 减摩片

**中图分类号:** TU 378.2      **文献标识码:** A

0 引言

先张法预应力混凝土梁与后张法预应力混凝土梁相比, 具有工艺简单、工序少、制造速度快、成本低、技术成熟、施工质量更易得到保证等诸多优点. 此外, 先张法还可以节省后张法中采用的锚具、波纹管等, 虽然增加了预制场张拉台座的工作量, 却可以省去成孔、穿束、灌浆等工序, 更为重要的是, 它完全避免了后张法中可能出现的堵孔、压浆不密实、影响结构的耐久性等优点和质量问题, 并能在一定程度上节约混凝土和钢绞线的用量, 降低梁高, 节省工程造价. 与传统的直线形先张法预应力梁相比, 折线形先张法预应力梁能改善梁端的应力状态, 减缓斜裂缝的发生和发展, 提高梁体的耐久性<sup>[1]</sup>.

在先张法预应力构件中, 弯起器是实现折线形预应力配筋的关键部件, 但是通过弯起器后的钢绞线会产生一定的摩擦损失. 钢绞线中的预应力由于施工因素和材料性能及环境条件的影响, 都会引起预应力的损失. 预应力损失值的大小对结构的承载能力影响虽较小, 但是会影响到使用荷载下的性能 (如变形, 反拱和开裂荷载) 和连接. 过高或过低的估算预应力损失都是不利的, 因此准确的估算钢绞线预应力损失对正常使用极限状态具有非常重要的意义. 影响预应力损失大小的

因素有很多, 对于先张法折线形预应力混凝土梁来说, 预应力钢绞线在转向装置处的摩擦损失, 即  $\sigma_2$  在整个预应力的损失中占有较大的部分. 因此, 准确的计算预应力摩擦损失是全部预应力损失计算的关键之一. 本试验研究的目的是通过试验量测钢绞线以不同弯起角度穿过弯起器后预应力筋的摩擦损失, 分析影响钢绞线摩擦损失的主要因素, 提出可供工程应用的弯起器预应力筋摩擦损失的计算方法.

1 试验方案

1.1 试验设计

作者试验钢绞线均采用 1×7 股公称直径为  $\Phi 15.24\text{ mm}$ , 公称截面面积为  $139\text{ mm}^2$ , 强度标准值  $f_{pk}=1\ 860\text{ MPa}$ , 张拉控制应力  $\sigma_{con}=0.75f_{pk}$ <sup>[2]</sup>, 用经标定的液压千斤顶进行张拉. 为与试验结合的实际工程工况相一致, 将弯起器下端预埋锚固于混凝土台座上, 将钢绞线从锚固端水平穿过弯起器后保持一定的弯起角度  $\alpha$  进行张拉, 弯起角度  $\alpha$  变化范围为 5°~13°, 利用一个垫块将钢绞线抬高与转向器之间形成一个角度, 通过调整垫块的高度形成不同的角度来满足试验要求. 在张拉过程中张拉力从 10%  $\sigma_{con}$  逐渐增大到 100%  $\sigma_{con}$ , 无超张拉. 本试验还采用了河南海威公司提供的减摩片, 钢绞线穿过弯起器孔洞处接触面的处理方

收稿日期:2006-06-22; 修订日期:2006-09-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50578148); 河南省交通厅计划资助项目(2003-338)

作者简介:刘立新(1947-)男, 湖北汉川人, 郑州大学教授, 博士生导师, 主要从事混凝土结构、砌体结构基本理论及

法分为放置减摩片(18%~35%)和不放置减摩片(钢绞线与弯起器钢板直接接触)2种.图1为摩擦损失试验现场,表1为几种不同摩擦损失的试验参数.

1.2 试验过程

本次试验的张拉程序为0→10%σ<sub>con</sub>→20%σ<sub>con</sub>……→90%σ<sub>con</sub>→100%σ<sub>con</sub>,每张拉一级持荷2~3 min,并用CM-2B型静态电阻应变仪分别量测弯折钢绞线通过弯起器以前和通过弯起器以后钢绞线的应变值ε<sub>1</sub>和ε<sub>2</sub>,由钢绞线的应变可计算出钢绞线应力值σ<sub>1</sub>和σ<sub>2</sub>,比较σ<sub>1</sub>和σ<sub>2</sub>的差值,可得到钢绞线通过弯起器后产生的摩擦损失q<sub>2</sub>=σ<sub>1</sub>-σ<sub>2</sub><sup>[3]</sup>.此外,在弯起器钢绞线孔洞的上方还分别布置了电阻应变片,以量测弯起器的应变和应力(ε<sub>3</sub>、ε<sub>4</sub>和σ<sub>3</sub>、σ<sub>4</sub>).量测方法见图2.

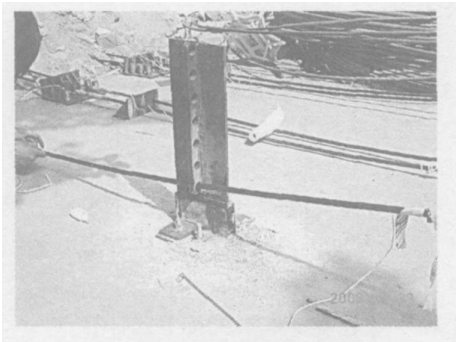


图 1 弯起器摩擦损失试验现场

Fig.1 The experiment field of the frictional loss

表 1 弯起器摩擦损失试验参数

Tab.1 Experiment parameter of the frictional loss

序 号	钢绞线与弯起器接触面处理	弯起角度/(°)
1	无减摩片	9
2	无减摩片	13
3	无减摩片	5
4	18%减摩片	5
5	25%减摩片	5
6	35%减摩片	5

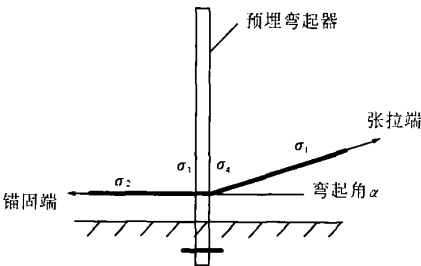


图 2 弯起器摩擦损失量测方法

Fig.2 The method of testing frictional loss

2 试验结果及分析

2.1 影响摩擦损失的因素

试验测得各级荷载应变,减去初始值得到实际的应变ε<sub>1</sub>和ε<sub>2</sub>,乘以钢绞线的弹性模量E<sub>s</sub>=1.95×10<sup>5</sup> MPa得到弯起前后的应力值σ<sub>1</sub>和σ<sub>2</sub>,比较差值可以得到钢绞线弯起前后的应力损失值q<sub>2</sub>=σ<sub>1</sub>-σ<sub>2</sub>.根据不同角度(5°,9°,13°)所得的数据计算的结果可以表明,钢绞线穿过弯起器产生的摩擦损失q<sub>2</sub>与钢绞线的张拉控制应力σ<sub>con</sub>以及钢绞线弯起角度α的大小有关;摩擦损失q<sub>2</sub>随着张拉控制应力σ<sub>con</sub>和弯起角度α的增大而增大,大致与σ<sub>con</sub>sinα成正比,如图3所示.

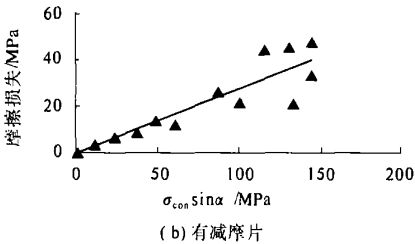
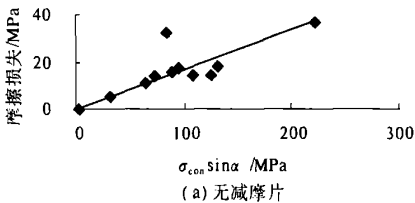


图 3 弯起器摩擦损失随σ<sub>con</sub>sinα的变化

Fig.3 The change of frictional loss along with σ<sub>con</sub>sin α

通过对放置减摩片(18%、25%、35%)和不放置减摩片(钢绞线与弯起器钢板直接接触)得到的摩擦损失的大小q<sub>2</sub>对比结果表明,钢绞线穿过弯起器孔洞处接触面放置减摩片和不放置减摩片对摩擦损失q<sub>2</sub>的影响不明显(图4).

2.2 转向装置(弯起器)应力

通过在弯起器的孔道上方贴应变片的方法测量此处的应变变化ε<sub>3</sub>、ε<sub>4</sub>,试验结果表明弯起器钢绞线孔洞上方的钢板在张拉过程中将主要产生挤压应力,其数值比较小,如表2所示.说明弯起器有足够的强度能可靠工作(图5)<sup>[3]</sup>.

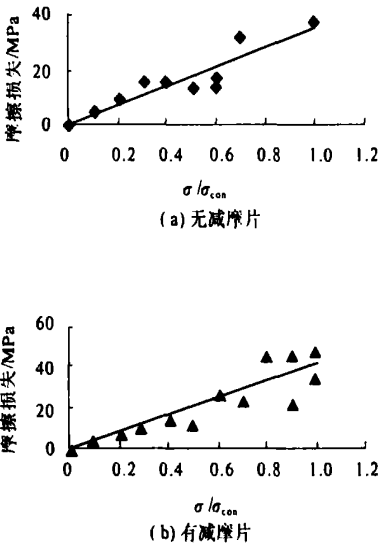


图 4 有无减磨片的摩擦损失对比图  
Fig. 4 Different friction loss between the wire with anti friction piece and without anti friction piece

表 2 挤压应力试验结果  
Tab. 2 The result of pressing stress MPa

类别	$\sigma_3$	$\sigma_4$
无减磨片	-21.84	-30.27
18%减磨片	-12.09	-31.62
25%减磨片	-15.21	-33.10
35%减磨片	-19.89	-38.03

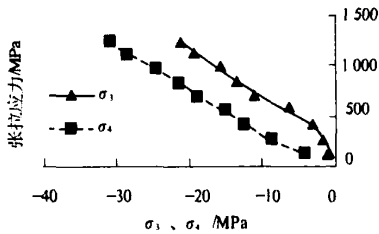


图 5 弯起器钢绞线孔洞上方钢板应力(无减磨片)  
Fig. 5 The pressing stress on the transfer apparatus

3 弯起器摩擦损失计算

由试验结果可以看出,摩擦损失  $q_2$  随着张拉控制应力  $\sigma_{con}$  的增大而增大,大致成线性关系;由图 3 可以发现,钢绞线弯起角度  $\alpha$  越大,摩擦损失  $q_2$  的值也越大,大致与  $\sigma_{con} \sin \alpha$  成正比;且图 4 表明钢绞线穿过弯起器孔洞处接触面放置减磨片和不放置减磨片对摩擦损失  $q_2$  的影响不明显.因此可将放置减磨片和不放置减磨片的试验结果合并考虑,建立统一的计算公式.

图 6 为计算弯起器摩擦损失  $q_2$  的示意图,图示钢绞线在弯起器处向上弯起  $\alpha$  角,在弯起处产生向上的竖向分力  $\sigma \sin \alpha$ ,同时也受到弯起器对钢绞线的挤压力  $\sigma \sin \alpha$ .因此弯起器摩擦损失  $q_2$  可用下式表示:

$$q_2=k \cdot \sigma_{con} \sin \alpha \tag{1}$$

式中:  $\sigma_{con}$  为钢绞线张拉应力;  $\alpha$  为钢绞线弯起角;  $k$  为摩擦系数可由试验结果确定.由物理试验结果可知,钢与钢直接接触的摩擦系数  $k=0.25$ ,则式(1)可表示为

$$q_2=0.25 \cdot \sigma_{con} \sin \alpha \tag{2}$$

式(2)的计算值与试验值比值的平均值  $\mu=1.097$ ,变异系数  $\delta=0.29$ ,由于钢绞线对弯起器的挤压作用,摩擦损失试验值有一定的离散性(图 7),按式(2)的计算结果偏低.根据试验结果回归的公式为

$$q_2=0.28 \cdot \sigma_{con} \sin \alpha \tag{3}$$

式(3)的计算值与试验值比值的平均值  $\mu=1.229$ ,变异系数  $\delta=0.29$ ,计算结果有一定的保证率(图 7).

预应力损失值的大小主要影响预应力梁的抗裂性能,为保证梁的抗裂性能,弯起器摩擦损失的计算  $q_2$  不宜偏小,考虑 85% 的保证率,建议在实际工程中弯起器摩擦损失按下式计算:

$$q_2=0.3 \cdot \sigma_{con} \sin \alpha \tag{4}$$

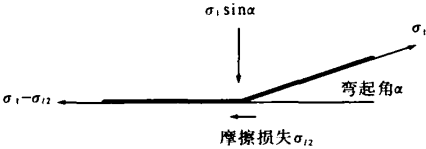


图 6 弯起器摩擦损失计算图  
Fig. 6 The calculation of frictional loss

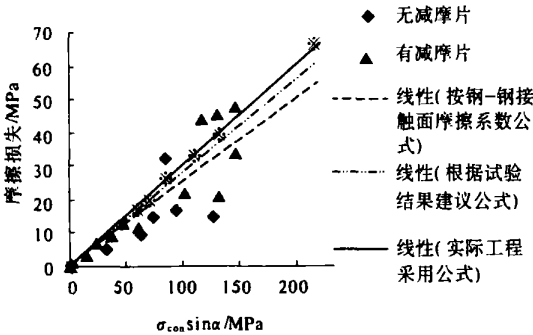


图 7 弯起器摩擦损失计算  
Fig. 7 The calculation of frictional loss

4 结论

( 1) 钢绞线弯起角度  $\alpha$  越大, 摩擦损失  $q_2$  的值也越大, 大致与  $\sigma_{con}\sin \alpha$  成正比. 摩擦损失  $q_2$  随着张拉控制应力  $\sigma_{con}$  的增大而增大, 大致成线性关系.

( 2) 弯起器钢绞线孔洞上方的钢板在张拉过程中将主要产生挤压应力, 其数值比较小, 仅为张拉控制应力的 2.1%. 所以本试验所采用的弯起器具有可靠的强度和安全保证.

( 3) 为保证梁的抗裂性能, 考虑 85% 的保证率, 建议在实际工程中弯起器摩擦损失按下式计算:

$$q_2=0.3\cdot \sigma_{con}\sin \alpha$$

参考文献:

[ 1] 刘立新. 先张法折线形预应力混凝土梁弯起器受力性能的试验研究[ D] . 郑州: 郑州大学, 2006.

[ 2] GB 50010—2002, 混凝土结构设计规范[ S] .

[ 3] 薛伟辰. 现代结构预应力设计[ M] . 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

[ 4] 李忠献, 吴沛风, 陈培奇. 预应力摩擦损失的试验研究[ J] . 天津城市建筑学院学报, 2003, 9( 1) : 29~31.

[ 5] 熊学玉, 蒋志贤. 预应力摩擦损失的合理设计建议[ J] . 结构设计师, 1997, ( 4) : 8~10.

[ 6] 郑文忠, 周 威, 王 英. 混凝土结构中预应力筋摩擦损失和反摩擦损失简化计算[ J] . 铁道学报, 2003, 25( 6) : 77~80.

Experimental Studies on Pre-stressing Frictional Loss of the Fold-line Pre-tension Pre-stressed Beam

LIU Li-xin<sup>1</sup>, HU Dan-dan<sup>1</sup>, YU Qu-bo<sup>1,2</sup>, FENG Hui<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China ;<sup>2</sup>Zhengzhou University Multifunctional Design and Research Academy, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract :** Transfer apparatus is the key component of being fold-line pre-stressed steel bars in the pre-tension pre-stressed structure . The pre-stressing frictional loss between the pre-stressed wire and the transfer apparatus is tested by the experimental study on six pre-stressing frictional loss of the fold-line pre-tension pre-stressed wire of different angle , 5°, 9°, 13° the main factors of frictional loss are analyzed experimentally , the method in the calculation of the frictional loss of the pre-stressed wire using the transfer apparatus in this experiment is indicated and a rational suggestion is proposed . The experimental results show that the factor of frictional loss is related linear to stretching controlling stress and is direct ratio with transferred angle . The pressing stress on the transfer apparatus is 2.1 percent of stretching controlling stress . The transfer apparatus used in the experiment has reliable force and safety assurance .

**Key words :** the fold-line pre-tension pre-stressed wire ; frictional loss ; stretching controlling stress ; transfer angle ; transfer apparatus ; anti-friction piece