

基于拉脱法的体外预应力筋张拉力测试^{*}

黄辉¹, 高华睿²

(1.宁夏公路建设管理局, 宁夏 银川 750000; 2.山东大学 岩土与结构工程研究中心, 山东 济南 250061)

摘要: 体外预应力钢绞线锚下预应力对于钢-砼组合梁桥的结构性能起到至关重要的作用。

文中阐述了拉脱法测试体外预应力的原理和测试过程, 结合实际工程预应力测试, 通过分析张拉力-伸长量变化曲线得到预应力筋锚下张拉力, 结果表明该桥体外预应力筋张拉力中存在锚下预应力超出规范值的问题。

关键词: 桥梁; 体外预应力; 张拉力; 组合梁桥; 拉脱法

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)03-0148-03

波形钢腹板体外预应力箱梁作为预应力砼箱梁的改进结构, 结合了箱梁结构形式、体外预应力与钢-砼组合结构的优点, 在结构长期受力、变形等方面具有诸多优点。体外预应力筋的应力水平对组合梁桥的受力性能具有十分重要的影响。在体外预应力张拉中, 若预应力张拉控制应力过大, 则可能导致梁体砼局部破坏或产生纵向裂缝, 降低延性; 若张拉控制应力偏小, 则可能导致梁体在运营阶段过早开裂和下挠。对于体外预应力筋锚下有效预应力, 张彦玲等基于共轭梁法并考虑连续组合梁内力重分布, 采用迭代法得到了预应力连续组合梁的荷载-变形曲线和预应力筋拉力随时间变化的规律; 宗周红等开展钢-砼组合连续梁静载全过程试验, 并进行了非线性分析; 杜进生等建立了基于结构变形的体外无粘结预应力筋应力变化分析方法。目前对体外预应力的研究虽然取得了一定成果, 但由于实桥试验数据偏少, 对实际施工期体外预应力束锚下有效预应力的测试方法未形成统一标准。

1 体外预应力筋张拉力测试方法简介

将体外预应力钢绞线锚下预应力控制在合理范围内关系到桥梁结构的安全性和耐久性。现阶段, 无损检测和局部有损检测为锚下预应力的主要检测方式。无损检测利用超声波、振动等测试技术测出张拉力, 由于其受外界因素的干扰较大, 测量精度较低; 局部有损检测虽然准确性较高, 但会对结构和钢绞线造成永久性损伤, 且工序繁杂不便于操作。

体外预应力筋外面由 PE 护套包裹, 以达到耐

久性的要求。但该装置的安装会导致基于弦振动理论的振动法测试体外索的精度大幅度降低。同时基于弦振动理论的振动法的基本假定是体外预应力端部为严格意义上的铰支边界, 该理想化的边界与实际工程中体外预应力的边界有差异。以上因素均会导致基于弦振动理论的体外预应力张拉力测试产生过大误差。

实际工程中也可通过在锚下放置穿心式压力传感器达到采集体外预应力张拉力的目的, 压力传感器可采用弦振动理论原理或磁通量原理制作。但这两种测试方法的费用均较高, 仅能在桥梁现场开展非常少量的测试。且基于弦振动理论的传感器一般是对整束的有效张拉力进行测试, 对单根钢绞线的测试难以在桥梁现场实施; 基于磁通量的传感器可较好测试单根钢绞线的有效张拉力, 但其要求较高, 需在体外预应力钢索制作期间设置传感器。这些都妨碍了体外预应力束张拉力测试技术的推广应用。

拉脱法是一种微损检测方法, 其损伤主要体现在需对钢绞线进行二次张拉, 夹片对钢绞线的二次锚固会产生轻微损伤。但该检测方法能准确测得钢绞线锚下有效预应力, 且损伤程度不大, 可通过现场抽检的方式达到预应力张拉质量控制的目的, 能应用于实际工程测试。该文采用拉脱法进行体外预应力钢绞线锚下有效预应力检测。

2 测试桥梁简介

宁夏叶盛黄河公路大桥共分为四联, 全长 1 357 m, 由西向东跨度为 (270+728+120+270) m。主

^{*} 基金项目: 宁夏交通运输厅科技项目(201504)

桥、引桥上部结构均采用波形钢腹板预应力砼连续梁,下部结构为实心片墩、钻孔灌注桩基础,采用肋板式桥台,主桥墩身设置破冰棱。箱梁纵向预应力采用体内与体外相结合的体系,体外预应力束采用 15-22 和 15-27 两种规格,锚下控制张拉应力为 $0.6f_{pk}=1\ 116\text{ MPa}$,在全桥合龙后、桥面二期铺装及护栏等附属设施施工之前完成张拉。体外预应力体系具备防腐措施,能方便进行单根换束,能对钢绞线进行多次张拉、补张拉等。测试桥梁见图 1。

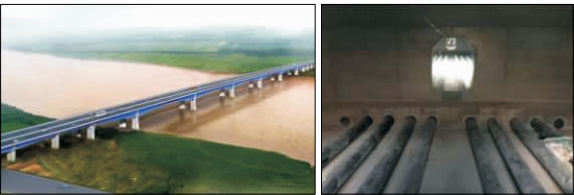


图 1 测试桥梁

3 拉脱法测试原理

通过拉脱法对体外预应力钢绞线进行反拉,得到预应力束内的有效预应力。检测过程中,分析张拉力及位移之间的关系即张拉力—延伸量曲线(见图 2),得到锚下有效预应力值。

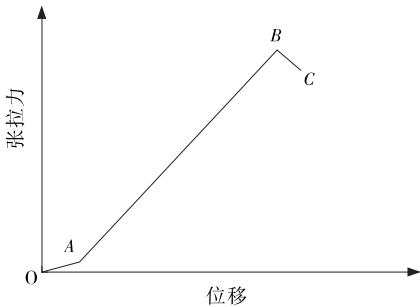


图 2 张拉力—延伸量理论曲线

由图 2 可看出测试过程分为 3 个阶段:第一阶段(O—A 段)为消除锚固端及加载端锚具与结构的初始缝隙阶段,此时钢绞线外露段张拉力缓慢增长,夹片与钢绞线之间的摩阻力始终不变。第二阶段(A—B 段)为外露段的钢绞线张拉力不停增加阶段。在拉伸过程中,加载端锚具夹片仍与钢绞线完全夹紧,其摩阻力与第一阶段一样保持不变。第三阶段(B—C 段)的拐点 B 处,锚固段钢绞线张拉力和外露段钢绞线张拉力相等,若继续张拉,则预应力束的外露段和工作段不再视为独立的而是共同参与受拉伸长。

实际过程中,夹片脱离锚具瞬间千斤顶油压供应不足,导致张拉力突然变小,故会在张拉力—延伸

量关系曲线上出现拐点,该拐点对应的张拉力等于预应力筋锚下张拉力。

4 测试过程及结果分析

如图 3 所示,辅助压力传感器连接采集设备,读取初始应力值,并实时监控整个加压过程,防止加载应力过大;高频压力传感器和位移计连接无线数据采集装置,并用计算机同步采集压力和位移数据。

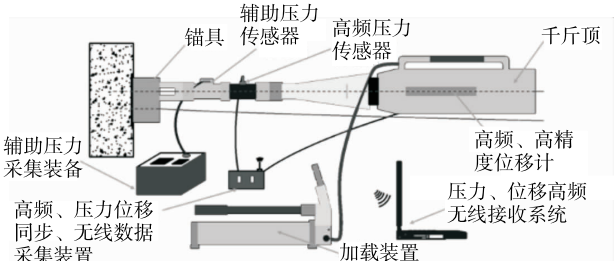


图 3 拉脱法检测锚下有效预应力示意图

运用拉脱法检测宁夏叶盛黄河公路大桥第 14 跨和第 16 跨纵向体外预应力钢绞线 6 束,每束抽检 3 根,共计 18 根。整体测试张拉力见表 1,其中 4 根钢绞线的张拉力与延伸量变化见图 4。

表 1 体外预应力束张拉力测试结果

| 检测位置 | 钢绞线编号 | 测试张拉力/t | 张拉力控制范围/t | 达标情况 |
|------|-------|---------|-------------|------|
| 14 跨 | Z1-1 | 15.59 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z1-2 | 15.58 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z1-3 | 15.47 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z2-1 | 15.88 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z2-2 | 16.10 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z2-3 | 15.63 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z3-1 | 15.78 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z3-2 | 15.74 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z3-3 | 15.71 | 13.94~16.90 | 是 |
| 16 跨 | Z4-1 | 17.11 | 13.94~16.90 | 否 |
| | Z4-2 | 17.88 | 13.94~16.90 | 否 |
| | Z4-3 | 16.75 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z5-1 | 16.80 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z5-2 | 16.82 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z5-3 | 16.52 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z6-1 | 16.55 | 13.94~16.90 | 是 |
| | Z6-2 | 18.43 | 13.94~16.90 | 否 |
| | Z6-3 | 17.75 | 13.94~16.90 | 否 |

从表 1 可看出:18 根检测钢绞线中,4 根钢绞线锚下张拉力超过 JTG D60—2015《公路桥涵设计通

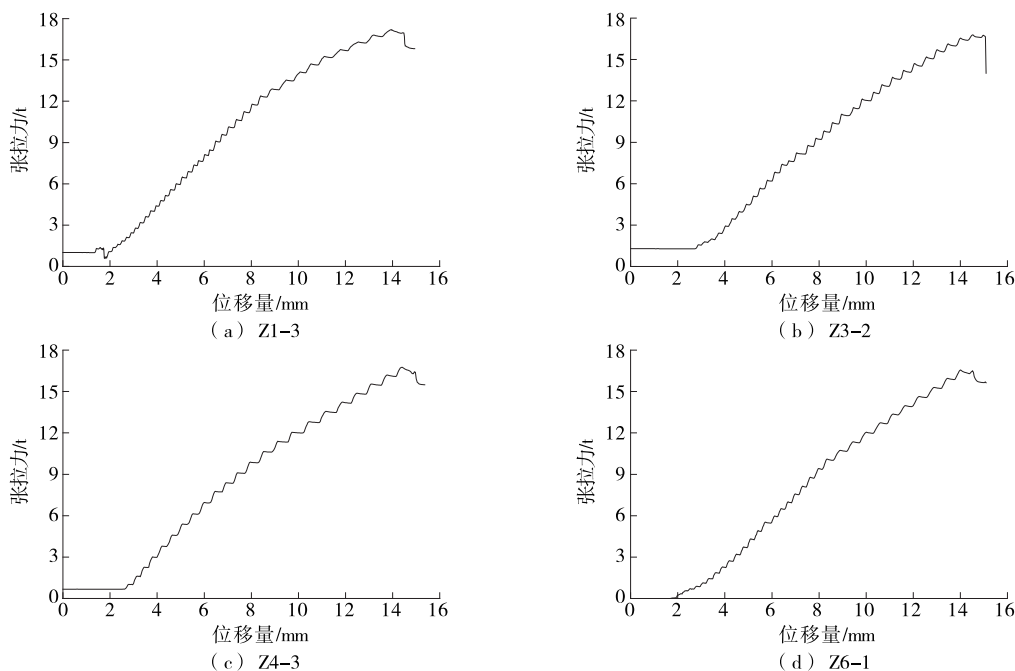


图4 实测张拉力与延伸量变化曲线

用规范》的控制标准,不合格率为22.2%,均出现在第16跨。第16跨钢绞线抽检有效预应力平均值为17.17 t,离散度为3.94%(见表2)。测试结果可为后续张拉施工质量控制提供指导。

表2 钢绞线锚下张拉力检测结果分析

| 检测位置 | 平均 张拉力/t | 同断面 离散度/% | 张拉力 控制范围/t |
|------|-------------|--------------|---------------|
| 14跨 | 15.72 | 1.19 | 13.94~16.90 |
| 16跨 | 17.18 | 3.94 | |

5 结语

该文简述了拉脱法测试体外预应力束锚下有效预应力的原理,并对宁夏叶盛黄河公路大桥开展了基于拉脱法的体外预应力检测。根据检测结果,18根测试钢绞线中4根钢绞线存在张拉控制应力过大的问题,与规范值相比,超出率为1.6%。与其他测试方法相比,拉脱法测试体外预应力束锚下有效预应力的结果准确,操作简便,便于实际工程应用。

参考文献:

- [1] 聂建国,陶慕轩.体外预应力钢—混凝土组合梁受力性能的研究现状与展望[J].工程力学,2011,28(增刊2).
- [2] 叶见曙.结构设计原理[M].第三版.北京:人民交通出版社,2014.
- [3] 张彦玲,李运生,樊健生.体外预应力连续组合梁预应力筋拉力计算方法及全过程受力分析[J].建筑结构学报,2011,32(5).
- [4] 宗周红,郑则群,房贞政,等.体外预应力钢—混凝土组合连续梁试验研究[J].中国公路学报,2002,15(1).
- [5] 杜进生,刘西拉.基于结构变形的无粘结预应力筋应力变化研究[J].土木工程学报,2003,36(8).
- [6] Chen R H L, Wissawapaisal K. An ultrasonic method for measuring tensile forces in a seven-wire prestressing strand[J]. Proceedings of the AIP Conference, 2002, 615.
- [7] 付丹,郭红仙,程晓辉,等.预应力锚索工作应力的检测方法:拉脱法的检测机制和试验研究[J].岩土力学,2012,33(8).
- [8] 张峰,高磊,徐向锋,等.施工期钢绞线锚下有效预应力测试技术[J].东北大学学报:自然科学版,2017,38(8).
- [9] 成剑波,姚晨,张峰.反拉法检测预应力钢绞线工作应力的模型试验研究[J].公路与汽运,2015(3).
- [10] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [11] 詹桂超,刘冠之.基于拉脱法的预应力钢绞线张拉力测试分析[J].公路与汽运,2016(3).
- [12] 钟新谷,杨滔,沈明燕,等.混凝土箱梁桥腹板竖向预应力筋张拉力检测方法[J].中国公路学报,2010(4).
- [13] 杨国强,徐向锋,姚晨.拉脱法在检测锚下有效张拉力的应用[J].公路,2016(10).