

交通运输

斜拉桥锚固段环向预应力钢绞线 伸长量误差分析

胡益良 王步高 王卫锋

(华南理工大学土木与交通学院, 广州 510640)

摘要 通过广州大桥索塔锚固段环向预应力钢绞线伸长量试验,发现后张法“U”形预应力钢绞线的实际伸长量大于理论限值,同时国内类似试验研究资料也表明对于后张法“U”形预应力钢绞线来说是一种普遍现象。文中分析了产生此类问题的原因,并提出了相应的建议,可供工程实践参考。

关键词 斜拉桥 环形预应力束 伸长量 误差分析

中图法分类号 U448.27; **文献标志码** A

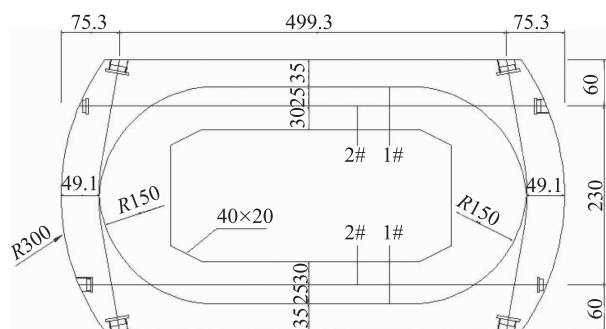


图1 索塔预应力钢绞线平面布置图(单位:cm)

1 工程概况

广州大桥为跨径 139 m + 106 m 的不对称单塔单索面混凝土斜拉桥,采用塔、梁、墩固结体系,桥梁共设 42 对索。桥塔上的斜拉索锚固区采用近似矩形空心断面,索塔采用 C55 混凝土,拉索锚固区采用“U”环向预应力钢绞线(1#)和“一”字形直线钢绞线(2#)加劲(见图 1 所示),1#钢束包含 17 根直径 15.24 mm 的钢绞线,2#钢束包含 9 根直径 15.24 mm 的钢绞线,张拉控制应力为 1 395 MPa,抗拉强度标准值 $f_{pk} = 1\ 860$ MPa,弹性模量 $E_p = 1.95 \times 10^5$ MPa,预应力孔道采用内径 15 × 19 mm 塑

料波纹管。

2 现场试验

广州大桥索塔锚固区每节标准间距为 1.8 m,每节配有 U 形环向预应力钢绞线 6 束,直线钢束 6 束,为了减少预应力损失,采用先张拉“U”形预应力,后张拉直线钢束的张拉顺序,直线钢束采用单端张拉,“U”形环向预应力钢束采用两端张拉工艺。为了保证千斤顶两端张拉时能比较理想地进行同步张拉,采用分级张拉,严格控制加载速度,每级加载后持荷 30 s。严格按照 JTJ 041—2000《公路桥涵施工技术规范》(以下简称《桥规》)12.10.3 中的后张法预应力筋张拉程序进行:安装钢绞线、锚具、千斤顶等→初应力→2 倍初应力→3 倍初应力→4 倍初应力→ σ_{con} (持荷 2 min 锚固)。其中 σ_{con} 为张拉控制应力,本桥为 1 395 MPa,初应力控制为 15% σ_{con} 。

3 试验结果

《桥规》12.8.3 中规定:预应力筋用应力控制方法张拉时,应以伸长值进行校核,实际伸长值与理论伸长值的差值应符合设计要求,无设计规定时,实际伸长量与理论伸长量的差值应控制在 6% 以内。否则应停止张拉,待查明原因并采取措施予以调整后方可继续张拉^[1]。同时《桥规》中也给出了相应的预应力筋伸长量 ΔL (mm) 计算公式

2011 年 11 月 21 日收到

第一作者简介:胡益良(1986—),男,汉族,湖南人,在读硕士研究生,研究方向:大跨度桥梁施工监控与城市桥梁。E-mail: 524939110@qq.com。

$$\Delta L = P_p L / (A_p E_p) \tag{1}$$

$$P_p = P(1 - e^{-(kL + \mu\theta)}) / (kL + \mu\theta) \tag{2}$$

式中 P_p 为预应力筋的平均张拉力(N); L 为预应力筋的长度(mm); A_p 为预应力筋的截面面积(mm^2); E_p 为预应力筋的弹性模量(N/mm^2); P 为预应力钢束张拉端锚下张拉力(N); μ 为孔道壁的摩擦系数; k 为孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数; θ 为从张拉端锚下到计算截面曲线切线夹角之和(rad)。

钢绞线的实测伸长值从初应力时开始量测。力筋的实际伸长值除了量测的伸长值外,必须加上初应力以下的推算伸长值。预应力筋张拉的实际伸长值 ΔL (mm),可按式计算:

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 \tag{3}$$

式中:

ΔL_1 —从初应力至最大张拉应力间的实测伸长值(mm);

表 1 广州大桥 U 形环向预应力钢绞线伸长量测试结果

钢绞线 编号	理论伸长 量/mm	伸长量 /mm	夹片回缩 损失/mm	实际伸长 量/mm	实际伸长 值与理论伸 长值偏差%
C3-1	75	110	12	98	30.7
C3-2	75	106	12	94	25.3
C3-3	75	100	12	88	17.3
C3-4	75	102	12	90	20.0
C3-5	75	106	12	94	25.3
C3-6	75	112	12	100	33.3
C4-1	75	111	12	99	32.0
C4-2	75	105	12	93	24.0
C4-3	75	113	12	101	34.7
C4-4	75	109	12	97	29.3
C4-5	75	106	12	94	25.3
C4-6	75	108	12	96	28.0

ΔL_2 —初应力以下推算伸长值(mm),本桥中 ΔL_2 采用分级张拉 15% σ_{con} 至 60% σ_{con} 三级加载时钢绞线的平均伸长量值。其中式(3)包括了钢绞线两端锚具夹片的回缩值。扣除夹片回缩值,便得到钢绞线的张拉伸长值,本桥根据《桥规》的给值,每个夹片回缩量扣除值为 6 mm。本桥采用两端张拉,

扣除两端夹片回缩损失值 12 mm。试验结果如表 1 所示。

4 结果分析

从表 1 可以看出,广州大桥索塔 U 形环向预应力钢绞线的实际伸长量测试值均大于其理论计算值,且每束钢绞线的伸长量值均超出了《桥规》^[1] 规定的:实际伸长量与理论伸长量的差值应控制在 6% 以内。同时,作者通过调查国内有关斜拉桥“U”形环向预应力钢绞线伸长量实测值与理论值的对比资料(见表 2 所示),结果显示几乎所有的斜拉桥“U”形环向预应力钢绞线伸长量都存在实测伸长量比理论伸长量偏大的情况。而且基本上都大于规范中规定的 6% 这个界限。偏差量在 20% ~ 30% 较多,大的偏差达 50% 多,而且离散性比较大。

表 2 国内相关桥梁钢绞线伸长量误差比较

序号	平均误差/%	最大误差/%
本桥	27	34.7
桥一 ^[2]	25.0	35.9
桥二 ^[3]	16.2	25.3
桥三 ^[4]	15.1	25.9
桥四 ^[5]	26.0	37.5
桥五 ^[6]	25.7	39.0
桥七 ^[7]	26.0	53.0
桥八 ^[8]	33.3	54.3

通过对上述数据分析,以及结合现场实际情况的考虑,作者认为导致“U”形环向预应力钢绞线伸长量实际测试值大于理论限值的原因可能以下几点。

(1) 小半径布置的“U”形环向预应力钢束,在巨大的张拉荷载作用下,将产生很大的径向压力,使得各根钢绞线之间更加密实,同时弯道处钢绞线与塑料波纹管内壁紧密相贴,导致实际弧长减小,从而管道中的钢绞线形成几何多余长度,最终在张拉力的作用下,表现为千斤顶活塞的行程,从而使实测活塞行程大于理论伸长量。

(2) 根据“U”形钢束的特点,在张拉前,钢绞线在管道内的呈 S 形曲线杂乱分布状态,每根钢束的松紧程度是不一致的,特别是曲线段,钢束的内圈

与外圈长度相差较大。因此在张拉过程中,随着张拉力的增大,S形曲线不断转换成标准“U”形,产生了非受力状态下的附加伸长量。

(3) 由于钢绞线在张拉前处于松弛状态,而根据《桥规》的计算方法,一般以 $(10\sim 15)\% \sigma_{\text{con}}$ 为初张拉力,以此为起点,通过分级加载来反算初张拉应力以下的伸长量,并以此来计算实测伸长量。然而,由于“U”形预应力钢绞线在 $(10\sim 15)\% \sigma_{\text{con}}$ 的初张拉应力时,由于小半径、钢绞线绞扭、摩阻损失以及孔道偏差等原因,导致此时钢绞线可能仍处于松弛状态,而出现一部分非受力状态的附加伸长量被计入实测伸长量,导致实测结果偏大。

(4) 一般来说工程上都是通过设计给出的钢绞线截面面积 A_p 和弹性模量 E_p ,来计算钢绞线在张拉过程中的理论伸长量。而未通过现场实测钢绞线的截面面积 A_p 和弹性模量 E_p 值。实际上由于钢丝在拉拔过程中,成品钢丝的直径并不是一个恒定值,随着拉拔的进行,钢丝的直径发生变化,钢绞线相应面积 A_p 和弹性模量 E_p 也发生变化,从而影响钢绞线伸长量理论计算值的准确性。

(5) 对于后张法构件预应力束与孔道壁的摩阻系数 μ 和孔道偏差系数 k 与材料类型、特征、孔道成形情况都有很大的关系。设计中往往给出了用于预应力损失估算的参考 μ 值和 k 值,但是在实际中,由于材料加工,现场制作的精度影响,实际的 μ 值和 k 值往往与给出的参考值存在一定的出入,从而也会影响钢绞线伸长量理论计算值。

(6) 此外由于钢绞线在成束使用时,存在同束各根长度参差不齐与应力不均现象,其反映出的 E_p 值实际上也表现为一种变形模量。钢绞线的捻距也影响到其弹性模量,随着捻距增大,弹性模量也相应增大。最终这些都体现为钢绞线的实测伸长量与理论值不相符。

5 结语

从以上论述,可以看出,影响钢绞线伸长量实测值的因素很多,原因也很复杂,但是还是可以通过采取一些手段来让实测值最大限度地接近理

论值。

(1) 通过摩阻试验来求得比较准确的摩阻系数 μ 和孔道偏差系数 k 值,通过现场孔道进行摩阻试验。求得摩阻系数 $\mu = 0.1929$ 和孔道偏差系数 $k = 0.0069$ 。通过对钢绞线进行标定试验求得准确的钢绞线截面面积 A_p 和弹性模量 E_p ,从而保证理论计算值的准确性。

(2) 对张拉千斤顶机具进行严格标定,施加预应力所用的机具设备及仪表应有专人使用管理,并定期维护校验;保证孔道精度控制,安装过程中应避免反复弯曲以防止管壁开裂,同时还应避免电焊火花烧伤管壁,防止混凝土浇筑过程中波纹管出现变形、移位、漏浆等影响预应力张拉的现象。

(3) 提高初张拉应力水平,较大的初应力将使预应力钢绞线张拉过程中的附加伸长量大大减少,本文建议以 $(25\sim 30)\% \sigma_{\text{con}}$ 作为初张拉应力较为理想。

(4) 伸长量控制在描述预应力钢束张拉的整体状态及张拉安全方面的作用,采用伸长量校核是必要的,但应不局限于规范规定的 $\pm 6\%$ 。建议施工中避免采用计算伸长量为主要控制预应力钢束的张拉参考,否则容易造成预加应力不足。

参 考 文 献

- 1 JTJ041—2000 公路桥涵施工技术规范. 北京:人民交通出版社,2000
- 2 中铁大桥局集团武汉桥梁科学研究院有限公司. 深圳湾大桥模型试验报告,2005
- 3 中铁大桥局集团武汉桥梁科学研究院有限公司. 杭州湾跨海大桥北航道通航孔桥模型试验报告,2004
- 4 陈小刚,吴文清. 斜拉桥索塔锚固区环形预应力束孔道摩阻试验研究. 现代交通技术, 2008;10(5):50—52
- 5 卜东平. 斜拉桥 190 m 主塔锚固区 U 形预应力管道摩阻试验研究. 现代交通技术, 2010;10(5):47—50
- 6 阮华夫,吴斌喧. 斜拉桥索塔锚固区环向预应力束的张拉试验研究. 城市道桥与防洪, 2009;11(11):105—107
- 7 张望喜,易伟建. 武汉军山长江公路大桥索塔锚固区带锚块足尺节段模形试验研究. 中南公路工程, 2001;12(4):33—35
- 8 单 炜. 异形截面斜拉桥索塔锚固区阶段受力性能研究. 东北林业大学,博士学位论文,2005

Error Analysis of Elongation on the Annular Prestressing Steel Strands of Anchorage Zone of Cable-stayed Bridges

HU Yi-liang, WANG Bu-gao, WANG Wei-feng

(School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, P. R. China)

[**Abstract**] Through the research on the elongation test of the annular Prestressing steel Strands by the Anchorage Zone of Guangzhou Bridge, it can be Found that the elongation of the tensioned U-shaped prestressing steel strands is greater than the actual theoretical limit, and the domestic trial research datas also showed that it is a common phenomenon to the tensioned U-shaped prestressing steel strands. This paper analyzes the reasons for such problems. Some Relative suggestions are proposed, they can be used in engineering practice.

[**Key words**] cable-stayed bridge the annular prestressing steel strands elongation error analysis

(上接第 1198 页)

- 4 任 俊, 刘加平. 建筑能耗计算中外遮阳系数的研究. 新型建筑材料, 2005; (4): 27—29
- 5 张 磊. 建筑外遮阳系数的确定方法. 广州: 华南理工大学, 2004; 62—64

- 6 齐百惠. 岭南早期现代建筑中夏昌世作品的遮阳技术分析. 广州: 华南理工大学, 2008; 45—70
- 7 朱燕燕, 杨坤丽, 韦延年. 浅析建筑构件遮阳系数确定中存在的问题. 四川建筑科学研究, 2007; (2): 143—145

Research on External Shading Coefficient: Simplified Algorithm Based on the Amount of Solar Radiation Simulation

SHEN Jie, ZHAO Li-hua *

(State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, P. R. China)

[**Abstract**] Based on the amount of solar radiation simulated, Ecotect for simulation is used to supplement the common shading coefficient calculation methods, and according to the common paradigms, added two independent variables, which were influential to external shading coefficient. The new fitting formulas is got for the form of horizontal and vertical shading devices, which would provide a simplified algorithm to calculate external shading coefficient more accurately.

[**Key words**] external shading coefficient simplified algorithm ecotect simulation data fitting