

文章编号: 1005—0523(2005)02—0043—04

后张预应力筋伸长量校核问题的探讨

徐光荣

(厦门中咨工程咨询监理有限公司, 福建 厦门 361006)

摘要: 预应力混凝土施工分为先张法和后张法. 一般均实行双控, 以张拉控制应力为主, 伸长值进行校核. 本文通过对后张法施工中参数 k 和 μ 的取值对理论伸长量的影响分析, 提出伸长量校核的思路; 对预应力筋回缩值在伸长量校核时的处理提出了自己的看法.

关 键 词: 后张法; 伸长量校核; 预应力筋锚固回缩值; 处理

中图分类号: TM392.3

文献标识码: A

0 引 言

预应力混凝土结构, 以其良好的受力性能被广泛运用于桥梁建设中. 预应力混凝土施工分为先张法和后张法. 一般以伸长量及张拉应力进行双控, 以张拉控制应力为主, 伸长值进行校核, 实际伸长量与理论伸长量误差控制在 6% 以内. 在实际施工过程中发现, 后张法施工伸长量误差控制在 6% 以内往往难以实现. 本文就后张法预应力张拉伸长量校核问题进行分析并提出一些看法以供探讨.

1 实际伸长量与理论伸长量误差原因分析及校核思路

JTJ041—2000《公路桥涵施工技术规范》(以下简称《施工规范》)中规定: 实际伸长量与理论伸长量的差值应控制在 6% 以内. 如伸长量误差超过 6%, 应暂停张拉, 查明原因并采取措施予以调整后, 方可继续张拉.

预应力混凝土构件施工前, 施工单位、监理单位必须对预应力筋、锚具、夹具、连接器等按设计要求和相关标准、规范进行抽检试验; 张拉所用的机

具设备及仪表进行校验; 对预留孔道坐标进行认真检查, 各项准备工作及施工须符合设计和规范要求.

实际施工中虽然上述工作均符合要求, 但张拉时往往出现实际伸长量与理论伸长量差值超过 6% 的情况. 因此, 我们不妨从理论伸长量计算方面进行探讨.

1.1 k 和 μ 的取值对理论伸长量的影响

理论伸长量计算公式: $\Delta L = P_p L / A_y E_y$
 $P_p = P(1 - e^{-(kL + \mu\theta)}) / (kL + \mu\theta)$
式中: P_p ——预应力筋的平均张拉力, N;
 P ——预应力筋张拉端的张拉力, N;
 L ——张拉端至计算截面的预应力筋长度, m;
 A_y ——预应力筋截面面积, mm^2 ;
 E_y ——预应力筋弹性模量, MPa;
 θ ——张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和, rad;
 k ——孔道每 m 局部偏差对摩擦的影响系数;
 μ ——预应力筋与孔道壁的摩擦系数.

参数 k 和 μ 的取值取决于预应力筋与管道之间的摩擦引起的应力损失大小, 在《施工规范》中及

国外有关规范规定中均非固定值,而是规定一取值范围.

为了测出曲线预应力筋与管道之间的实际摩擦引起的应力损失,国内做了大量的试验.在大连疏港路东一号桥 S 形曲线连续箱梁桥预应力摩擦损失试验研究中,测得 $k=0.0045$, $\mu=0.53$;在北京东便门立交桥试验中,测得 $k=0.0060$, $\mu=0.43$.均与《施工规范》中取值范围相差较大.

k 和 μ 的取值不同,直接影响到理论伸长量的计算结果.

【举例】一段 30 m 长的连续梁,预应力筋采用 12 $\Phi 15.24$ 的钢绞线,张拉控制力 $P_K=2346.3$ kN, $A_y=1680$ mm², $E_y=1.95 \times 10^5$ MPa,孔道为波纹管成型.两端张拉,半个曲线预应力筋分成四段,取 $k=0.0015$, $\mu=0.20$,各段参数及一端伸长量计算如下表.

线段	L(m)	$\theta(\text{rad})$	$kL+\mu\theta$	$e^{-(kL+\mu\theta)}$	终点力(kN)	伸长量(mm)
AB	5.5	0	0.00825	0.9918	2327.06	39.2
BC	2.3	0.123	0.02805	0.9723	2262.6	16.1
CD	4.5	0.262	0.05915	0.9426	2132.73	30.2
DE	3.0	0.262	0.0569	0.9447	2014.79	19.0
Σ						104.5

如果参照大连疏港路东一号桥 S 形曲线连续箱梁桥预应力摩擦损失试验中测得的参数,取 $k=0.0045$, $\mu=0.50$,则上例伸长量计算结果为 97.2 mm.两者差值:

$$(104.5-97.2)/97.2=7.5\%$$

k 和 μ 的取值不同对理论伸长量产生如此大的偏差,对于未经预应力摩擦损失试验的理论伸长量与实际伸长量相校核,误差要控制在 6% 以内是非常困难的.这也对张拉施工中伸长量的校核造成极大的困惑.

1.2 伸长量校核思路

由于在一般的工程项目施工中,对曲线预应力筋与管道之间的实际摩擦引起的应力损失往往没有进行现场试验,当 k 和 μ 的取值与实际偏离较大时实际伸长量与设计给出的理论伸长量的差值往往超过 6%,于是便通过人为调整 k 和 μ 的取值来调整理论伸长量,这样就出现了调整理论伸长量以适应实际伸长量的尴尬状况.

鉴于此,作者提出伸长量校核思路如下:

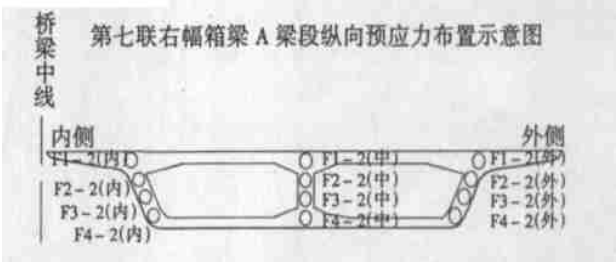
1) 强调摩擦损失试验工作.规范规定的实际伸长量与理论伸长量误差控制在 6% 以内,其前提应

是计算理论伸长量的 k 和 μ 的取值通过现场测试来确定,并以此计算理论伸长量.如此则应该可以达到规范要求.所以建议《施工规范》对此项试验应加以强调.

2) 校核实际伸长量的离散性.如无条件或无必要每个项目均做此试验,则应强调“以应力控制为主”.至于伸长量校核,与其人为修改理论伸长量来适应实际伸长量,不如采用质量控制统计理论进行校核,即在同一个工程项目中对于同一设计编号的预应力束,以其实测伸长量的算术平均值作为标准值,各个实测值与之进行比较,校核其离散性.差值同样控制在平均值或代表值的 6% 以内.当然前提是预应力筋材料、锚具夹具、仪器仪表、操作过程等必须符合设计和规范要求.

【工程实例】某桥梁上部结构为现浇预应力混凝土连续箱梁.其第七联右幅箱梁为单箱双室结构.预应力筋采用上海申佳牌 $\Phi 15.24$ 高强度低松弛钢绞线,公称面积 $A_y=140$ mm², $R_y=1860$ MPa,锚具采用 OVM15 锚具,锚下控制应力 $\sigma_k=1395$ MPa,孔道采用预埋波纹管成型,断面示意图如下.

纵向预应力采用连接器,单端张拉.张拉程序:
0——10% σ_k ——20% σ_k —— σ_k (持荷 2 min 锚固)



腹板预应力束首批张拉结果如下表:

钢束编号	钢束规格(mm)	下料长度(m)	设计理论伸长量(mm)	实测伸长量(mm)	误差(%)
F1-2 中					
外	$\Phi 15.24-12$	66.48	386.2	339	-12.2
内				344	-10.9

由于实测伸长量与理论伸长量的误差 $>6\%$,立即暂停张拉,查找原因.

- 1) 该批号钢绞线经抽样检测,符合 GB/T5224-1995 标准.
- 2) 锚夹具均经过检查验收,硬度检验合格.
- 3) 千斤顶、压力表等均进行了标定.
- 4) 张拉时混凝土强度已达设计强度的 96.8% (设计要求 85%).
- 5) 张拉操作符合规范要求.

于是,便从理论伸长量的计算方面考虑.由于缺乏试验条件,大家分析认为可能设计给出的理论伸长量考虑应力摩擦损失偏少, k 、 μ 取值偏小.于是现场对该联腹板预应力筋的理论伸长量通过调整参数重新进行计算.原设计参数为 $k=0.0015$, $\mu=0.20$,参考有关资料后,重新取参数 $k=0.0025$, μ

$=0.25$,采用公式 $\triangle L = PL(1 - e^{-(kL + \mu\theta)})/A_yE_y$ ($kL + \mu\theta$)分段计算,然后累加,得出理论伸长量分别为 $\triangle L_{F1-2}=359.3(\text{mm})$, $\triangle L_{F2-2}=359.1(\text{mm})$, $\triangle L_{F3-2}=363.2(\text{mm})$, $\triangle L_{F4-2}=363.0(\text{mm})$.

腹板预应力筋恢复张拉,其实测伸长量与理论伸长量的误差对比如下表:

钢束编号	钢束规格 (mm)	下料长度 (m)	原设计理论 伸长量(mm)	调整后理论 伸长量(mm)	实测伸长量 (mm)	与原设计 误差(%)	与调整后 误差(%)
F1-2 中					338	-12.5	-5.9
外	$\Phi 15.24-12$	66.48	386.2	359.3	339	-12.2	-5.6
内					344	-10.9	-4.3
F2-2 中					338	-12.4	-5.9
外	$\Phi 15.24-12$	66.44	386.0	359.1	343	-11.1	-4.5
内					341	-11.7	-5.0
F3-2 中					359	-7.9	-1.2
外	$\Phi 15.24-12$	67.30	389.9	363.2	345	-11.5	-5.0
内					357	-8.4	-1.7
F4-2 中					353	-9.4	-2.8
外	15.24-12	67.27	389.7	363.0	348	-10.7	-4.1
内					347	-11.0	-4.4

调整理论伸长量后,实测伸长量与理论伸长量误差均 $\leq 6\%$,符合规范要求.该结果也得到设计单位及监理的认可.

校核实际伸长量的离散性,结果如下表:

钢束编号	实测伸长量 (mm)	伸长量平均值 (mm)	误差(%)
F1-2 中	338		-0.7
外	339	340.3	-0.4
内	344		+1.1
F2-2 中	338		-0.8
外	343	340.7	+0.7
内	341		+0.1
F3-2 中	359		+1.5
外	345	353.7	-2.5
内	357		+0.9
F4-2 中	353		+1.1
外	348	349.3	-0.4
内	347		-0.7

2 预应力筋锚固回缩值的处理

预应力筋张拉锚固时,均会产生一定的回缩,引起预应力损失.一般通过超张拉来对此损失进行补偿.而JTJ041—2000《公路桥涵施工技术规范》中,对于采用高强度低松弛钢绞线,其张拉程序为

0——初应力—— σ_k (持荷 2 min 锚固),不需超张拉.但对于预应力筋锚固回缩值在伸长量校核时如何处理却未明确.

2.1 预应力筋回缩值产生原因

桥梁设计中,目前大多采用高强度低松弛钢绞线,及 OVM 系列张拉锚固体系.OVM 锚固体系具有良好的自锚性能,其配套的张拉千斤顶为 YCW 系列穿心式千斤顶,千斤顶前部采用限位板.限位板与锚圈之间有一间隙,一般为 6 mm,张拉时夹片可以在此间隙中松动 6 mm,以便钢绞线伸长.当张拉到规定的应力,持荷 2 分钟后回油锚固,由于失去了张拉力,原来被拉伸的钢绞线便立即回缩,并将夹片带入锚孔内锚紧.钢绞线回缩锚紧的位移一般也是 6 mm.《施工规范》中亦规定此类回缩的容许值为 6 mm.

2.2 预应力筋回缩值对伸长量校核的影响

《施工规范》规定,预应力张拉实行双控,以张拉控制应力为主,伸长量进行校核,实际伸长量与理论伸长量的差值应控制在 6% 以内.对于短预应力筋的张拉来说,6 mm 的差值对其伸长量的校核控制影响是非常大的,特别是两端张拉的情况,产生了 12 mm 的差值,将导致实际伸长量与理论伸长量的校核误差无法控制在 6% 以内.

为了说明问题,方便计算,现假设张拉一段 20 m 长的钢绞线,直线形,两端张拉.低松弛钢绞线标准强度 $R_y^b = 1\ 860\ \text{MPa}$,弹性模量 $E_p = 1.95 \times 10^5\ \text{MPa}$,锚下控制应力 $\sigma_k = 1395\ \text{MPa}$,则其理论伸长量

$$\Delta L_{\text{理}} = P_p L / A_Y E_Y = \sigma_k L / E_Y = (1\ 395 \times 20\ 000) / (1.95 \times 10^5) = 143.08\ \text{mm}$$

张拉程序:0——初应力—— σ_k (持荷 2 min 锚固)

假设张拉处于理想状态,则锚固前实际伸长量

$$\Delta L_{\text{实}} = \Delta L_{\text{理}} = 143.08\ \text{mm}$$

锚固后由于预应力筋回缩, $\Delta L_{\text{实}} = 143.08 - 12 = 131.08\ \text{mm}$

实际伸长量与理论伸长量的误差 $= 12 / 143.08 = 8.39\% > 6\%$,不符合规范要求.

2.3 预应力筋回缩值的处理

为了消除预应力筋回缩的影响,如果采取超张拉的方法,则计算一下同样 20 m 长的钢绞线要多拉长 12 mm 时张拉控制应力需达到多少,即:

$$\Delta L_{\text{理}} = \sigma_k L / E_Y$$

$$143.08 + 12 = \sigma_k \times 20\ 000 / 195\ 000$$

$$\sigma_k = 1512.03\ \text{MPa} = 0.813\ R_y^b$$

但 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中规定:对于钢丝、钢绞线 $\sigma_k \leq 0.75\ R_y^b$,且在任何情况下不应超过 $0.8\ R_y^b$.

因此不允许通过超张拉来消除预应力筋回缩

的影响.实际上预应力筋回缩的同时也带来了预应力的损失,所以锚固时的应力实际上小于控制应力.而设计时控制应力已经考虑了该预应力损失,故不需超张拉.然而用控制应力下的理论伸长量与小于控制应力下的实际伸长量相校核显然是不合

适的.由于回缩值是定值,所以预应力束越短,力筋回缩值对伸长量校核的影响越大.

所以,采用高强度低松弛钢绞线,无需超张拉的情况下,与控制应力下的理论伸长量相校核时,实际伸长量不应扣除预应力筋锚固时产生的回缩值.

如采用校核实际伸长量的离散性的方法,则不存在此类问题.

3 结 语

预应力技术从工程应用开始至今仅半个多世纪,由于其具有结构强度高,使用寿命长,抗震性能好,钢材用量省等优点,成为当今世界最重要、最有发展前途的结构之一.随着预应力技术应用范围越来越广,预应力的设计、计算理论及施工工艺、质量控制等还需不断发展、完善.本文观点系作者在实践中形成的几点粗浅看法,纯属抛砖引玉,以供探讨.

Analysis of the Post-tensioning Prestressed Reinforced Elongation Indicator's Proofread

XU Guang-rong

(Xiamen Zhongzi Engineering Consultation Supervision Co., Ltd., Xiamen 361006, China)

Abstract: Prestressed concrete construction are classified as pretensioning as post-tensioning. This text put forward the way of thinking of the elongation indicator amount of proofread from analysis that the value of parametric K and μ with detriment to the post-tensioning construction; The author present own viewpoint with dealing with the prestressed reinforcing steel bar anchorage retracting number at proofread elongation indicator.

Key words: post-tensioning; elongation indicator proofread; Prestressed reinforcing anchorage retracting number; disposal