

自锚式后张法预应力筋伸长值计算与实测方法

沈阳云

(中铁大桥局集团公司 湖北武汉 430100)

摘要:以几座大桥工程预应力筋张拉施工为例,介绍自锚式后张法预应力筋张拉施工伸长值实测方法,推导预应力筋理论伸长值分段精确计算公式。

关键词:后张法 预应力筋 伸长值 计算 实测

1 引言

随着桥梁建设朝着高强度、大跨度方向的发展,预应力混凝土被广泛运用于桥梁建设中。预应力筋张拉质量控制,施工中采用了张拉应力与张拉伸长值两项重要指标的双重控制措施。对于张拉应力控制可以在考虑试验确定的张拉千斤顶摩擦阻因素后,通过经标定的油压表读数来把握,因而张拉应力指标的控制显得较为直观。应变控制则需要通过多次间接量测伸长值,对读数值实时分析经计算求得。事实上应变控制不仅是对应力控制的校验,同时还直接反映预应力筋材质的负荷状态。因此,在张拉阶段准确掌握预应力筋实际伸长值状态显得尤为重要。

《铁路混凝土与砌体工程施工质量验收标准》(TB10424-2003)规定,预应力筋的实际伸长值与计算伸长值的差值不得大于 $\pm 6\%$ 。由于自锚式预应力筋张拉时,张拉千斤顶和限位板的安装,阻碍了预应力筋的直接量测。因此,必须采用间接量测方法经推算得到所求预应力筋实际伸长值,并在自锚前与理论伸长值比较,以控制实际伸长值符合设计和规范要求。

2 理论伸长值计算

2.1 计算原则

预应力筋理论伸长值计算原则为分段累加法,计算简图见图1。

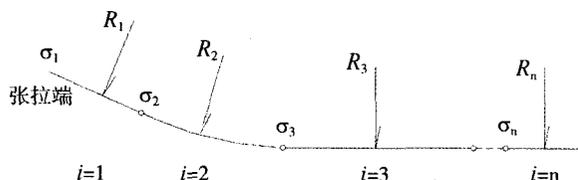


图1 预应力筋理论伸长量计算简图

其计算公式为:

$$\Delta L_i = \frac{PL}{A_g E_g}$$

$$\Delta L = \sum_{i=1}^n \Delta L_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

曲率半径 R 相等的相邻段预应力筋分为一段计算,直线段预应力筋曲率半径按 $R=\infty$ 考虑。

2.2 剩余应力确定

由于预应力筋与管道间的摩擦引起的预应力损失为:

$$\sigma_{L1} = \sigma_{con} [1 - e^{-(kx + \mu\theta)}]$$

如预应力筋管道为在竖平面内和水平面内同时弯曲的三维空间曲线,则 θ 按下式计算:

$$\theta = \sqrt{\theta_V^2 + \theta_H^2}$$

式中: θ_V 、 θ_H 分别为在同段管道上的竖平面内的弯曲角与水平面内的弯曲角。

考虑预应力筋与管管间的摩擦所引起的预应力损失后,预应力筋任意点的剩余应力可用下式表示:

$$\sigma_x = \sigma_{con} e^{-(kx + \mu\theta)}$$

$$\text{即: } \sigma_2 = \sigma_1 e^{-(kx_1 + \mu\theta_1)}$$

$$\sigma_3 = \sigma_2 e^{-(kx_2 + \mu\theta_2)}$$

...

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} e^{-(kx_{n-1} + \mu\theta_{n-1})}$$

2.3 理论伸长值计算公式推导

令 σ_x 为最左端应力为 σ_k 的 k 段预应力筋上任意一点的应力,则:

$$\sigma_x = \sigma_k e^{-(kx + \mu\theta)}$$

那么, 预应力筋dx微分段上的理论伸长值为:

$$dl = \frac{\sigma_x dx}{E_g}$$

则:

$$\begin{aligned} \Delta L_i &= \int_0^{x_1} \frac{\sigma_x dx}{E_g} \\ &= \int_0^{x_1} \frac{\sigma_1 e^{-(kx + \mu\theta)}}{E_g} dx \\ &= \int_0^{x_1} \frac{\sigma_1 e^{-(k + \frac{\mu}{R})x}}{E_g} dx \quad (\theta = \frac{x}{R}) \end{aligned}$$

$$= \sigma_1 \left[\frac{1 - e^{-(kx_1 + \mu\theta_1)}}{kx_1 + \mu\theta_1} \right] \frac{x_1}{E_g}$$

$$\text{令 } \bar{\sigma}_1 = \sigma_1 \left[\frac{1 - e^{-(kx_1 + \mu\theta_1)}}{kx_1 + \mu\theta_1} \right] \quad (\theta_1 = \frac{x_1}{R_1})$$

$$\text{则 } \Delta L_1 = \frac{\bar{\sigma}_1 x_1}{E_g}$$

同理:

$$\Delta L_2 = \frac{\bar{\sigma}_2 x_2}{E_g} \quad \bar{\sigma}_2 = \sigma_2 \left[\frac{1 - e^{-(kx_2 + \mu\theta_2)}}{kx_2 + \mu\theta_2} \right] \quad (\theta_2 = \frac{x_2}{R_2})$$

...

$$\Delta L_n = \frac{\bar{\sigma}_n x_n}{E_g} \quad \bar{\sigma}_n = \sigma_n \left[\frac{1 - e^{-(kx_n + \mu\theta_n)}}{kx_n + \mu\theta_n} \right] \quad (\theta_n = \frac{x_n}{R_n})$$

$$\therefore \Delta L = \sum_{i=1}^n \Delta L_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

2.4 理论不动点位置计算

对于两端张拉的预应力筋, 应采用两端剩余应力相等的原则求解预应力筋理论不动点位置后, 再按上述方法分别计算不动点两侧的理论伸长值, 两侧理论伸长值之和即为该预应力筋理论伸长值。

当预应力筋对称布置时, 对称点即为预应力筋理论不动点。

当预应力筋布置不对称时, 理论不动点按下述方法计算。

令: $\sigma_x = \sigma'_x$ σ_x 、 σ'_x ——分别为预应力筋两端剩余应力

$$\text{即: } \sigma_k e^{-(k + \frac{\mu}{R})x} = \sigma'_k e^{-(k + \frac{\mu}{R})x'}$$

又 $x + x' = L$ L ——为预应力筋不动点所处节段的长度

$$\therefore x = \frac{\ln \frac{\sigma_k}{\sigma'_k} + (k + \frac{\mu}{R})L}{2(k + \frac{\mu}{R})}$$

3 伸长值实测方法

3.1 基本原理

预应力筋张拉实际伸长值采用实测张拉千斤顶油缸伸出值扣除工具锚回缩量 and 张拉千斤顶段预应力筋伸长值后计算得到, 并卸顶后复核预应力筋张拉实际伸长值。张拉千斤顶张拉操作安装示意如图2所示。

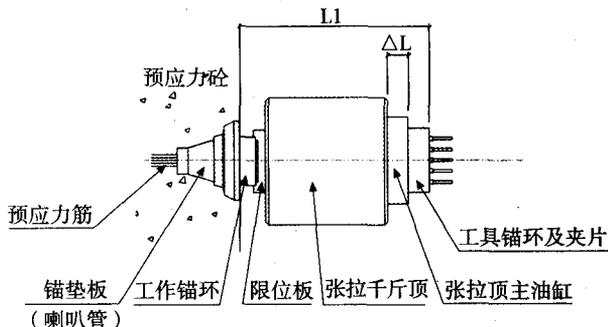


图2 张拉千斤顶张拉安装示意图

预应力筋张拉记录项目见表1。

从表1中可看出: 当张拉千斤顶一次张拉到位时, 预应力筋自0~100% σ_k 的实际伸长值由序14可计算得到; 当张拉千斤顶油缸行程不够, 需倒换张拉千斤顶进行二次张拉时, 序3、序4分别记录某一同级荷载时的倒换张拉顶前后读数, 此时预应力筋自0~100% σ_k 的实际伸长值为序号5-4+3-1+2-1-9-13计算得出。

预应力筋张拉操作时, 要求张拉千斤顶回油前油表读数(序10)与终应力时油表读数(序5)相同, 以消除或减小预应力值的安装偏差。

3.2 张拉程序

《铁路桥涵施工规范》(TB10203--2002)规定, 夹片式锚具预应力筋张拉程序为: 0→初应力→ σ_{con} (持荷5min)锚固。

当张拉千斤顶行程小于预应力筋一端理论伸长值时, 张拉时采用临时锚固的办法倒换张拉顶后继续张拉, 直到张拉到设计张拉应力。

表1 预应力筋张拉记录项目表

序号	数据记录项目	油表读数/油缸伸出值记录
1	初应力时读数(油表读数/油缸伸出值) (MPa/mm)	
2	两倍初应力时读数(同上) (MPa/mm)	
3	倒换千斤顶前读数(同上) (MPa/mm)	
4	倒换千斤顶后读数(同上) (MPa/mm)	
5	终应力时读数(同上) (MPa/mm)	
7	工具夹片初应力时外露量	
8	工具夹片终应力时外露量	
9	工具夹片位移量(序7-8) (mm)	
10	回油(安装)前油表读数 (MPa)	
11	安装时应力偏差[(序10-5)÷5] (%)	
12	预应力筋理论伸长值 (mm)	
13	张拉千斤顶工作段预应力筋理论伸长值 (mm)	
14	预应力筋实际伸长值(序5-1+2-1-9-13) (mm)	
15	张拉实际伸长值偏差[序(14-12)÷12] (%)	
16	张拉油压表回零时油缸伸出值 (mm)	
17	预应力筋内缩量(序5-16-13) (mm)	
18	工作夹片外露量 (mm)	
19	断丝、滑丝及处理	

注:表中“预应力筋理论伸长值”指构件两端工作锚之间长度段预应力筋从零应力张拉至设计控制应力且对其设计弹性模量作了修正后的计算伸长值。

3.3 实测伸长值需考虑的几个因素

3.3.1 预应力筋初应力张拉及伸长值推算

为使预应力筋张拉时各根钢束受力均匀,张拉前先单根预拉预应力筋到初应力 σ_0 ,该初应力宜为张拉控制应力 σ_{con} 的10~15%,伸长值应从初应力时开始量测。长束的初应力宜取上限。

当需要实际伸长值与100% σ_{con} 的理论伸长值进行比较时,必须推算初应力下的预应力筋伸长值。实际施工中,采用单倍初应力至两倍初应力时的伸长值替代初应力下的预应力筋实际伸长值。

3.3.2 工具夹片位移量量测

工具夹片位移量通过实际量测张拉前与张拉到控制应力状态下的夹片外露量差值计算得到。

3.3.3 预应力筋张拉工作段伸长值计算

预应力筋在张拉千斤顶中的工作长度,一般指张拉千斤顶安装于预应力筋上后,从工具锚锚板中心至工作锚锚板中心的距离。该段预应力筋在控制应力下的伸长值计算可不考虑摩擦损失,采用虎克定律直接计算得到。

3.3.4 预应力筋内缩量推算

预应力筋内缩量通过推算得到,即采用预应力筋张拉至终应力时的油缸伸出值减除张拉千斤顶油缸油压表读数回零时的油缸伸出值,再扣除张拉千斤顶工作段预应力筋在终应力时的理论伸长值。

该内缩量推算值理论上应大于或等于限位板槽口深度减除工作夹片外露量。

4 伸长值校核方法

张拉至初应力下在预应力筋上画线,记录预应力筋在该状态下画线点与工作锚板间的相对位置,待张拉完毕卸顶后,再次量测画线点的位置,该画线点的变化值即为该束预应力筋自初应力至控制应力阶段的实际伸长值。

该伸长值与张拉时量测的伸长值比较,可校核张拉记录情况,发现问题可及时查找原因并及时处理。

5 结语

经几座大桥工程预应力筋张拉施工实践,对按该方法施工的桥梁预应力筋张拉伸长值理论计算和实测结果分析,均符合《铁路混凝土与砌体工程施工质量验收标准》(TB10424-2003)和《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041-2000)预应力筋张拉的各项指标要求;张拉完成后梁体的线性监控量测结果均与设计计算结果相吻合。因此,证明该量测方法是符合设计与施工规范要求 and 可行的,可用于自锚式后张法预应力筋张拉施工中。

参考文献

- [1] TB10424-2003. 铁路混凝土与砌体工程施工质量验收标准[S].
- [2] JTJ041-2000. 公路桥涵施工技术规范[S].
- [3] TB10002.3-2005. 铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范[S].