

# 曲线预应力钢绞线理论伸长值分段计算探讨

彭爱红<sup>1</sup> 洪建云<sup>2</sup>

(1 江西省公路桥梁工程局 南昌 330009 2 江西省吉安公路局直属分局 吉安 343000)

**摘要:** 本文通过以20m预应力空心板的钢绞线的理论伸长值的计算为例, 详细介绍了预应力筋在呈曲线分布时理论伸长值分段计算方法, 并通过与不分段计算理论伸长值的比较, 得出了预应力筋在呈曲线分布时理论伸长值分段计算的重要性。

**关键词:** 桥梁工程 曲线预应力筋 理论伸长值 分段计算 比较

## 1 前言

现代桥梁建设中, 预应力技术应用越来越广泛, 在桥梁工程的预应力施工过程中, 关键是要做好预应力筋的张拉力控制, 预应力筋的张拉力控制一般采用“双控”的方法, 即采用预应力筋的张拉控制应力乘以预应力筋的截面积得到张拉控制力 $F$ , 再根据千斤顶校验公式求出相应的压力表读数 $P$ , 进行张拉的实测预应力筋伸长值进行校验, 当设计无规定时, 实测伸长值和理论伸长值的差值应控制在6%以内, 否则应暂停张拉, 待查明原因并采取措施予以调整后, 方可继续张拉; 当实测伸长值在无人员误差的情况下, 就显示了预应力筋理论伸长值的重要性, 因此应对预应力的理论伸长值进行准确的计算, 才能确保预应力筋的实测伸长值和理论伸长值的差值在规范规定的范围之内;

下面就以某桥的20m预应力空心板的钢绞线理论伸长值的计算为例, 详细介绍预应力筋呈曲线分布时理论伸长值分段计算方法。

## 2 预应力设计条件

### 2.1 预应力钢绞线

预应力钢绞线应符合《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T5224—1995)的相关规定, 其抗拉强度标准值 $f_{pk}=1570\text{MPa}$ , 张拉控制应力 $\delta_k=1125\text{MPa}$ , 钢绞线公称直径为 $\phi 15.24\text{mm}$ , 公称面积为 $139.9\text{mm}^2$ 。

### 2.2 锚具

采用OVM15-7型群锚体系。

### 2.3 施加预应力条件

混凝土强度(砼设计强度为C40)达到90%标准强度后方可进行预应力钢束张拉, 要求进行超张拉, 预应力钢束张拉采用双控施工, 张拉工序为:  $0 \rightarrow$ 初始应力( $0.1\delta_k$ )  $\rightarrow 0.2\delta_k \rightarrow 1.05\delta_k$  (持荷2分钟)  $\rightarrow \delta_k$ 锚固, 即相应的张拉力为:  $0 \rightarrow 110.17\text{kN} \rightarrow 220.34\text{kN} \rightarrow 1156.80\text{kN} \rightarrow 1101.71\text{kN}$ , 预应力施工过程中最大张拉力为 $1156.80\text{kN}$ 。

### 2.4 预应力钢绞线构造图

如图1所示, 设计共四组钢绞线, 每组7根, 上部两组编号为N1, 下部两组编号为N2。

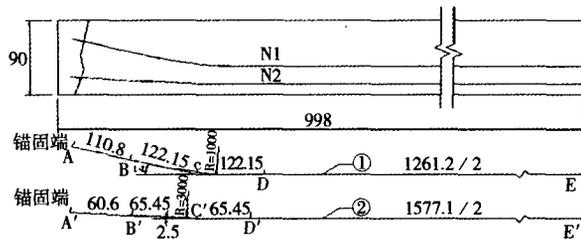


图1 预应力钢绞线构造图

### 2.5 分段计算钢绞线理论伸长值

为便于分段计算钢绞线的理论伸长值, 分别以钢绞线锚固端(A点)、钢绞线圆曲线起始点(B点)、圆曲线中点(C点)、圆曲线终点(D点)和空心板中线点(E点)进行分段。

## 3 理论伸长值分段计算

### 3.1 计算预应力筋各计算截面的张拉力

计算预应力筋各计算截面的张拉力(以N1钢绞线计算为例), 采用《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041—2000)附录G-8中的相关公式进

行计算, 计算过程如下:

(1) 锚固端(即张拉端)A截面的张拉力

$P_{PA}$ 为:

$$P_{PA}=1156800 \text{ (N)}$$

(2) 圆曲线起始点B截面的张拉力 $P_{PB}$ 为:

$$\begin{aligned} P_{PB} &= \frac{P [1 - e^{-(kx + \mu\theta)}]}{kx + \mu\theta} \\ &= \frac{1156.80 \times 1000 [1 - e^{-(0.0015 \times 1.108 + 0.225 \times 0)}]}{0.0015 \times 1.108 + 0.225 \times 0} \\ &= 1155839 \text{ (N)} \end{aligned}$$

式中:  $P$ —预应力筋张拉端的张拉力(单位N), 其数据为 $1156.80 \times 1000$  (N);

$x$ —从张拉端至计算截面的孔道长度(单位为m), 其数据为1.108m;

$\theta$ —从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和(单位为rad), B截面处于初始角, 故其数据为0rad;

$k$ —孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数, 查《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041)附表G-8, 施工中孔道成型采用金属波纹管, 故其数据为0.0015;

$\mu$ —预应力筋与孔道的摩擦系数, 数据采用以孔道成型和预应力筋有关, 查《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041)附表G-8, 故其数据为0.225(采用表格要求的中值)。

(3) 圆曲线中点C截面的张拉力 $P_{PC}$ 为:

$$\begin{aligned} P_{PC} &= \frac{P [1 - e^{-(kx + \mu\theta)}]}{kx + \mu\theta} \\ &= \frac{1156.80 \times 1000 [1 - e^{-(0.0015 \times 2.3295 + 0.225 \times 0.122173)}]}{0.0015 \times 2.3295 + 0.225 \times 0.122173} \\ &= 1139063 \text{ (N)} \end{aligned}$$

式中:  $P$ —意义和采用数据同上;

$x$ —意义同上, 其数据为2.3295m;

$\theta$ —意义同上, B截面处于曲线中点, 故其数据为 $(\pi/180) \times 7 = 0.122173$  (rad);

$k$ 、 $\mu$ —意义和采用数据同上。

(4) 圆曲线终点D截面的张拉力 $P_{PD}$ 为:

$$\begin{aligned} P_{PD} &= \frac{P [1 - e^{-(kx + \mu\theta)}]}{kx + \mu\theta} \\ &= \frac{1156.80 \times 1000 [1 - e^{-(0.0015 \times 3.551 + 0.225 \times 0.244346)}]}{0.0015 \times 3.551 + 0.225 \times 0.244346} \\ &= 1122611 \text{ (N)} \end{aligned}$$

式中:  $P$ —意义和采用数据同上;

$x$ —意义同上, 其数据为3.551m;

$\theta$ —意义同上, D截面处于曲线终点, 故其数据为 $(\pi/180) \times 14 = 0.244346$  (rad);

$k$ 、 $\mu$ —意义和采用数据同上。

(5) 空心板中线点E截面的张拉力 $P_{PE}$ 为:

$$\begin{aligned} P_{PE} &= \frac{P [1 - e^{-(kx + \mu\theta)}]}{kx + \mu\theta} \\ &= \frac{1156.80 \times 1000 [1 - e^{-(0.0015 \times 9.857 + 0.225 \times 0.244346)}]}{0.0015 \times 9.857 + 0.225 \times 0.244346} \\ &= 1117371 \text{ (N)} \end{aligned}$$

式中:  $P$ —意义和采用数据同上;

$x$ —意义同上, 其数据为9.857m;

$\theta$ —意义同上, E截面处于板中线点, 其截面的切线与张拉端仍呈 $14^\circ$ 角, 故其数据仍为0.244346rad;

$k$ 、 $\mu$ —意义和采用数据同上。

### 3.2 计算预应力筋的理论伸长值

计算预应力筋的理论伸长值(仍以N1钢绞线计算为例), 采用《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041)的(12.8.3-1)公式进行计算, 计算过程如下:

(1) 预应力筋AB段的理论伸长值 $\Delta L_{AB}$ 为:

$$\begin{aligned} \Delta L_{AB} &= \frac{P_p L}{A_p E_p} \\ &= \frac{(1156800 + 1155839) \div 2 \times 1108}{139.9 \times 7 \times 1.95 \times 10^5} \\ &= 6.71 \text{ (N)} \end{aligned}$$

式中:  $P_p$ —预应力筋的平均张拉力(单位为N), 其数据为 $(1156800 + 1155839) \div 2 = 1156319.5$ (N);

L—预应力筋的长度（单位为mm），其数据为1108mm；

$A_p$ —预应力筋的截面积（单位为 $\text{mm}^2$ ），其数据为 $139.9 \times 7 = 979.3 (\text{mm}^2)$ ；

$E_p$ —预应力筋的弹性模量（单位为 $\text{N/mm}^2$ ），其检测结果数据为 $1.95 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 。

(2) 预应力筋BC段的理论伸长值 $\Delta L_{BC}$ 为：

$$\begin{aligned} \Delta L_{BC} &= \frac{P_p L}{A_p E_p} \\ &= \frac{(1155839 + 1139063) \div 2 \times 1221.5}{139.9 \times 7 \times 1.95 \times 10^5} \\ &= 7.34 (\text{N}) \end{aligned}$$

式中： $P_p$ —意义同上，其数据为 $(1155839 + 1139063) \div 2 = 1147451(\text{N})$ ；

L—意义同上，其数据为1221.5mm；

$A_p$ 、 $E_p$ —意义和采用数据同上。

(3) 预应力筋CD段的理论伸长值 $\Delta L_{CD}$ 为：

$$\begin{aligned} \Delta L_{CD} &= \frac{P_p L}{A_p E_p} \\ &= \frac{(1139063 + 1122611) \div 2 \times 1221.5}{139.9 \times 7 \times 1.95 \times 10^5} \\ &= 7.23 (\text{N}) \end{aligned}$$

式中： $P_p$ —意义同上，其数据为 $(1139063 + 1122611) \div 2 = 1130837(\text{N})$ ；

L—意义同上，其数据为1221.5mm；

$A_p$ 、 $E_p$ —意义和采用数据同上。

(4) 预应力筋DE段的理论伸长值 $\Delta L_{DE}$ 为：

$$\begin{aligned} \Delta L_{DE} &= \frac{P_p L}{A_p E_p} \\ &= \frac{(1122611 + 1117371) \div 2 \times 6306}{139.9 \times 7 \times 1.95 \times 10^5} \\ &= 36.98 (\text{N}) \end{aligned}$$

式中： $P_p$ —意义同上，其数据为 $(1122611 + 1117371) \div 2 = 1119991(\text{N})$ ；

L—意义同上，其数据为6306mm；

$A_p$ 、 $E_p$ —意义和采用数据同上。

将以上分段计算的理论伸长值进行累加，则N1钢绞线的理论伸长值 $\Delta L$ 为：

$$\begin{aligned} \Delta L &= (6.71 + 7.34 + 7.23 + 36.98) \times 2 \\ &= 116.52(\text{mm}) \end{aligned}$$

利用相同方法可求出N2钢绞线的理论伸长值为117.80mm。

#### 4 与不分段计算比较和实际应用

(1) 不分段计算就是按钢绞线的直线长度进行理论伸长值的计算，以N1钢绞线为例，利用《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041)的(12.8.3-1)公式进行计算，则其理论伸长值 $\Delta L'$ 为：

$$\begin{aligned} \Delta L' &= \frac{P_p L}{A_p E_p} \\ &= \frac{1156800 \times 19714}{139.9 \times 7 \times 1.95 \times 10^5} \\ &= 119.42 (\text{N}) \end{aligned}$$

式中： $P_p$ —预应力筋的最大张拉力；

L—预应力筋的实际工作长度；

$A_p$ 、 $E_p$ —意义和采用数据同上。

同理N2钢绞线不分段计算的理论伸长值为118.73mm；

(2) 从以上整个的计算过程可以得出：第一，分段进行计算的预应力筋的理论伸长值要比不分段（按直线长度）计算的理论伸长值要小；第二，预应力筋设计呈曲线分布时弧度越大，曲线长度越长，理论伸长值与之成反比。为便于比较，分段计算与不分段计算的比较见表1，曲线弧度和长度的比较见表2；

表1

| 钢束编号 | 理论伸长值 (mm) |        |      |
|------|------------|--------|------|
|      | 分段         | 不分段    | 差值   |
| N1   | 116.52     | 119.42 | 2.90 |
| N2   | 117.80     | 118.73 | 0.93 |

表2

| 钢束编号 | 曲线弧度 (°) | 曲线段长度 (mm) | 曲线段理论伸长值 (mm) | 伸长率 (mm/m) |
|------|----------|------------|---------------|------------|
| N1   | 14       | 2443       | 14.57         | 5.96       |
| N2   | 2.5      | 1309       | 7.90          | 6.04       |

(下转第13页)

体外侧土体基本没有向基坑内侧移动,因而坑底不会发生较大的坑底隆起现象。

## 5 结语

(1) 地铁监测成果的分析是监控量测工作的最后环节,它对于正确掌握基坑开挖中的地表下沉、结构变形、支护的受力的大小和规律至关重要。通过对各项监测成果的分析,可以更好地完善设计,指导施工和确保工程安全。

(2) 在桩撑支护明挖顺筑基坑时,为了限制地表沉降和水平位移,应及早架设钢横撑。桩体最大水平位移出现在地面以下1/2H深度。

(3) 从监测成果看,支撑轴力变化过程是先增高后降低,呈递增趋势的时间约30天,增

量最大为87.7kN,随后逐渐回复初始锁定状态。而轴力降至稳定期间,正是主体结构中已完工,起了一定减跨作用。

(4) 公园前站基坑底部为基岩,围护桩入岩深3~8m,被动压力区抗力大,足以平衡主动压力,坑底不会产生较大的隆起。

## 参考文献

- [1] 秦长利,郭建国.《“复一八”线工程施工监控量测》.中国铁道出版社.1999
- [2] 许燕峰,苏钧.《浅埋暗挖法隧道施工引起地面沉降的原因规律及控制措施》.世界隧道.1998.2

(上接第10页)

(3) 通过以上数据比较还表明:当实测伸长值小于分段计算的理论伸长值且其差值在6%的范围内时,其与不分段计算的理论伸长值的差值就有可能超过6%(此情况在实际施工中较为常见);当实测伸长值大于不分段计算的理论伸长值时,其与分段计算的理论伸长值的差值也有可能超过6%。下面通过该桥在预制空心板时一些有代表性的实测数据进行比较,具体情况见表3。

表3

| 梁号   | 钢束编号 | 理论伸长值 (mm) |        | 实测伸长值 (mm) | 规范比较 |      |
|------|------|------------|--------|------------|------|------|
|      |      | 分段         | 不分段    |            | 分段   | 不分段  |
| 1-5  | N1   | 124.36     | 127.30 | 117        | 5.9% | 8.1% |
| 1-11 | N1   | 124.36     | 127.30 | 119        | 4.3% | 6.5% |
| 2-6  | N1   | 124.36     | 127.30 | 120        | 3.5% | 5.7% |
| 2-10 | N1   | 124.36     | 127.30 | 118        | 5.1% | 7.3% |
| 3-3  | N1   | 124.36     | 127.30 | 118        | 5.1% | 7.3% |
| 3-9  | N1   | 124.36     | 127.30 | 120        | 3.5% | 5.7% |

注:以上理论伸长值的计算和实测伸长值的检验均计入了千斤顶和工具锚内的钢绞线长度(即施加预应力的钢绞线工作长度)。

## 5 结语

预应力技术在桥梁施工中相当重要,而在实际施工过程中,经常发现有些施工技术人员为省事,在计算呈曲线分布的预应力筋的理论伸长值时只是按预应力的直线长度进行计算,这样就比较容易造成预应力筋的理论伸长值与实测伸长值超过规范要求的情况;因此,当在施加预应力的施工过程中,出现预应力筋的理论伸长值和实测伸长值超过规范要求时,要分析预应力筋理论伸长值的计算方法。分段计算曲线预应力筋的理论伸长值只是其中一个比较重要的原因,另外还与张拉器具、千斤顶的校验以及钢绞线的质量等其它因素有关,应逐项进行分析找出真正的原因,才能确保预应力的施工质量。

## 参考文献

- [1] GB/T5224-1995,预应力混凝土用钢绞线[S].
- [2] JTJ41-2000,公路桥梁施工技术规范[S].