

文章编号: 0451-0712(2005)10-0027-03

中图分类号: U448.35

文献标识码: B

# 浅析先张法预应力混凝土空心板梁反拱度理论值与实测值之差异

秦 飞

(路桥集团第一公路工程局天津工程处 天津市 300451)

**摘 要:** 通过扬州西北绕城高速公路先张法预应力混凝土空心板梁的施工,对空心板的反拱度进行了理论计算与跟踪测量,经分析比较,提出观点和看法,为今后施工提供参考。

**关键词:** 反拱度; 控制应力; 有效预应力

预应力混凝土构件的一个显著特点就是存在反拱度,它也是衡量预应力混凝土结构质量的一项重要指标。在先张预应力混凝土构件施工中,从张拉到混凝土浇注再到放张,每道工序都直接关系到结构质量及使用寿命,因此在施工中应引起足够重视。

## 1 先张法预应力混凝土空心板梁反拱度的计算

先张法预应力混凝土空心板梁施工的工艺流程示意如图 1 所示。

先张法预应力混凝土构件施工需要设有专门的台座,在浇注混凝土前将钢绞线临时固定在台座上

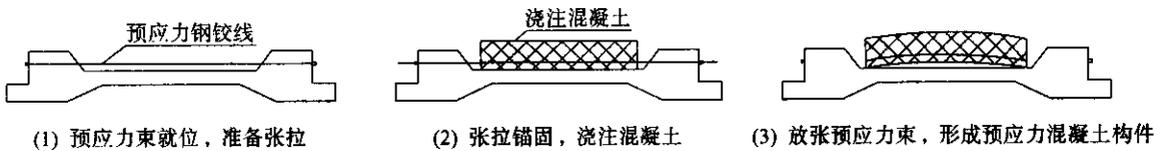


图 1 先张空心板梁施工工艺流程

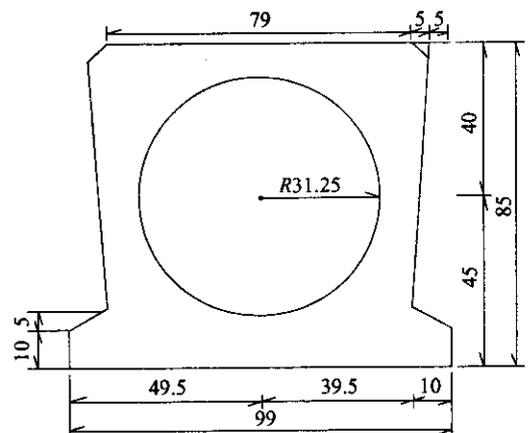
进行张拉,然后浇注混凝土,待混凝土达到一定强度后,放松并切断钢绞线,通过钢绞线与混凝土之间的粘结力,使混凝土获得有效预加力  $N_y$ ,在预加力  $N_y$  及预加力弯矩  $M_y = N_y \times e_y$  ( $e_y$  为偏心距)作用下,构件下边缘各点均受压,上边缘各点均受拉,从而产生向上的反拱度  $f_{m_y}$ ,它是在偏心预加力  $N_y$  作用下引起的。

### 1.1 算例基本资料

双陈分离式立交桥:标准跨径  $L = 20$  m,预应力束采用  $\phi^j = 15.24$  mm 钢绞线,公称面积  $A = 140.00$  mm<sup>2</sup>,标准抗拉强度  $R_y^b = 1\ 860$  MPa,弹性模量  $E_y = 1.95 \times 10^5$  MPa;非预应力筋采用  $\phi 12$  钢筋,钢筋弹性模量  $E_g = 2.0 \times 10^5$  MPa;混凝土强度等级为 C50,弹性模量  $E_h = 3.5 \times 10^4$  MPa。

### 1.2 跨中反拱度计算

空心板断面尺寸如图 2 所示。



单位:cm

图 2 空心板横断面

(1) 计算换算截面积。

14 根钢绞线截面积:  $A_y = 14 \times 1.40 = 19.6 \text{ cm}^2$ ;  
 4 根非预应力筋截面积:  $A_g = 4 \times 1.13 = 4.52 \text{ cm}^2$ ;  
 空心板截面面积:  $A_h = 4\,272 \text{ cm}^2$ ;  
 空心板换算截面面积:  $A_o = A_h + (n_y - 1) A_y +$   
 $(n_g - 1) A_g = 4\,382.9 \text{ cm}^2$  (式中  $n_y = E_y/E_h = 5.57$ ,  $n_g$   
 $= E_g/E_h = 5.71$ )。

(2) 换算截面重心位置。

换算截面对空心板毛截面重心的静矩为:

$$S_y = 3\,935.57 \text{ cm}^3$$

换算截面重心对毛截面重心的偏离为:

$$d_{ho} = S_y/A_o = 0.90 \text{ cm}$$

换算截面重心至空心板截面下缘的距离为:

$$y_{o\downarrow} = 39.10 \text{ cm}$$

钢绞线重心至换算截面重心的距离为:

$$e_y = 34.60 \text{ cm}$$

(3) 换算截面对中性轴的惯性矩为:

$$I_o = 4\,204\,678.914 \text{ cm}^4$$

(4) 由预加力  $N_y$  产生的偏心弯矩  $M_y$  估算预应力损失  $\sigma_s$  及有效预应力值  $\sigma_y$ 。

张拉控制应力:  $\sigma_k = 0.72 R_y^b = 0.72 \times 1\,860 =$   
 $1\,339.2 \text{ MPa}$ ;

应力损失估算:  $\sigma_s = \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6} =$   
 $181.1 \text{ MPa}$ ,

其中:  $\sigma_{s2}$  为锚具变形等引起的应力损失,  $\sigma_{s2} =$   
 $\Delta L \times E_y/L = 24.8 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_{s3}$  为自然养生产生的应力  
 损失,  $\sigma_{s3} = 0$ ;  $\sigma_{s4}$  为钢绞线松弛引起的应力损失,  $\sigma_{s4} =$   
 $0.016 \times 8 \times \sigma_k = 22.5 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_{s5}$  为混凝土弹性压缩所引  
 起的应力损失,  $\sigma_{s5} = n_y (N_{yo}/A_o + N_{yo} E_y^2/I_o) =$   
 $32.2 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_{s6}$  为混凝土收缩、徐变引起的应力损失,

在混凝土受荷载时的实际龄期为  $t = 1 \sim 6 \text{ d}$  时,  $\sigma_{s6} =$   
 $101.6 \text{ MPa}$ 。

则有效预应力  $\sigma_y = \sigma_k - \sigma_s = 1\,158.1 \text{ MPa}$ 。

放松预应力钢绞线产生预加力  $N_y$  及偏心弯矩  
 $M_y$  为:

$$N_y = \sigma_y A_y = 2\,269.876 \text{ kN}$$

$$M_y = N_y e_y = 785.38 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

由预加力  $N_y$  作用下引起的上挠度  $f_{my}$  为:

$$f_{my} = M_y L^2 / (8 \times 0.85 E_h I_o) = 3.01 \text{ cm} (\uparrow)$$

由空心板自重引起的下挠度  $f_g$  为(空心板每延  
 米重  $q = 11.23 \text{ kN/m}$ ):

$$f_g = 5qL^4 / (384 \times 0.85 E_h I_o) = 1.72 \text{ cm} (\downarrow)$$

则产生的反拱度为:

$$\Delta f = f_{my} + f_g = 3.01 - 1.72 = 1.29 \text{ cm} (\uparrow)$$

假设混凝土受荷龄期  $t = 90 \sim 120 \text{ d}$ , 此时板梁  
 还处于安装状态, 即二期恒载还未进行施工。则预应  
 力混凝土受荷载作用下的变形  $f_c$  为: 其中徐变系数  $\phi$   
 $(t_\infty, \tau) = 1.4$ , 则  $f_c = 3.1 \text{ cm} (\uparrow)$ 。

## 2 实测反拱值

在扬州西北绕城高速公路施工中, 先张法预应  
 力混凝土空心板梁共 572 片, 其中对双陈分离立交  
 20 m 空心板梁的 312 片梁进行了全面跟踪测量, 同  
 时对 10 m、13 m 空心板也进行了部分跟踪测量。测  
 量方法, 采用水准仪测板梁的两端和中间三点标高,  
 然后利用公式  $f(a, b, c) = b - (a + c)/2$  来计算反拱  
 值, 其中  $a, c$  为板两端标高,  $b$  为板中间标高。

20 m 空心板梁反拱实测值见表 1, 10 m、13 m、  
 20 m 空心板反拱实测值比较见表 2。

表 1 20 m 空心板梁反拱实测值

mm

加荷龄期	反拱实测值										平均值
放张 1 h	10.5	11.0	8.5	8.4	9.5	10.8	11.4	9.7	11.6	10.4	10.18
1~6 d	12.8	12.9	12.4	13.2	13.5	11.5	13.4	13.8	12.5	12.7	12.87
1 个月	16.2	16.6	15.0	15.2	16.5	15.8	19.4	14.5	18.5	16.0	16.37
30~60 d	21.5	19.7	17.6	18.2	21.2	23.0	24.2	23.5	21.6	20.6	21.11
>60 d	18.2	20.4	23.5	33.5	21.4	26.5	20.6	22.6	33.1	19.3	23.91

## 3 差异分析

通过对理论计算及实际测量的大量数据进行归  
 纳和比较, 对理论值与实测值两者之间的差异分析

如下。

(1) 板长不同、受荷龄期相同的预应力混凝土空  
 心板, 反拱度不一样, 它随着板长的增长而增大, 反

表2 10 m、13 m、20 m 空心板反拱实测比较 mm

加荷龄期	反拱实测值		
	L=20 m	L=13 m	L=10 m
放张 1 h	10.18	8.8	6.7
1~6 d	12.87	11.0	8.0
1 个月	16.37		
30~60 d	21.11		
> 60 d	23.91		

之则减小。由理论计算结果得知:板长为 20 m 放张 1~6 d 时,反拱度平均为 12.9 mm;板长为 13 m 放张 1~6 d 时,反拱度平均为 12 mm;板长为 10 m 放张 1~6 d 时,反拱度平均为 8 mm。无论理论计算还是实际测量得出的结论都是一样的。

(2)相同板长的预应力混凝土空心板,反拱度也不一样,实际测量的结果与理论计算值不一致,而且有时实测值要偏大些。究其主要原因有以下几个方面。

#### ①与张拉时控制预加力有关。

由于项目在施工中采用的是单根张拉、整体放张,虽然施工方便灵活,但张拉时间较长,各束钢绞线难以控制受力均衡,再加上人为、环境等各种因素影响,从而对张拉力的均匀性不易控制,时常会出现张拉力不均匀的现象。

#### ②与放张时混凝土的龄期有关。

由于混凝土的强度随着龄期增加而提高,其弹性模量同样伴随着混凝土的强度增长而增加。目前,在施工过程中为了加快施工进度,在混凝土中掺入外加剂,以使混凝土早强,从而能尽早放张。但加入外加剂后,混凝土的强度增长与弹性模量增长就不一定同步。如果在龄期较短时施加预应力,就会直接影响混凝土的反拱度,同时后期预应力的损失将会偏大。为了避免放张过早带来的严重后果,在施工中我们采取用同步养生混凝土试件的方法,在保证强度达到设计值的 90%与弹性模量达到设计值的 100%双控后放松钢绞线,并且进行缓慢放张,以保证钢绞线在混凝土中可靠地锚固,防止因为钢绞线与混凝土间粘结力不足而使钢绞线滑动,丧失预应力。但在施工中由于各种因素影响,往往现场情况与

试验结果存在一定的差异。在此建议,施工中强度要达到设计要求的指标,同时混凝土的弹性模量也要达到设计值的 100%后再放张,这样对减少板梁预应力损失是非常有利的。

#### ③与混凝土的收缩、徐变有关。

在预应力混凝土空心板中,由于混凝土长期承受预压应力,因此会产生徐变、收缩变形,从而使预应力混凝土空心板缩短。通过理论计算就可以发现反拱度随着徐变的增加而增大,而且由于徐变的影响能使板梁的反拱度增加 1~1.5 倍左右。一般情况下,混凝土在两周内完成最终徐变的 25%,3 个月内完成最终徐变的 50%,一年内完成最终徐变的 75%,几年后就趋于稳定。众所周知,徐变与混凝土的强度关系密切,在混凝土一定配合比范围内,徐变与加荷时混凝土的强度成反比。因为混凝土的强度随着龄期的增长而增加,而加荷时混凝土的龄期会对徐变、收缩产生影响。加荷时混凝土的龄期愈短,徐变愈大;龄期愈长,徐变愈小。因此反拱度与强度成反比,它随着强度的增加而减小。

在施工中影响混凝土强度的主要因素有:材料质量的波动;水灰比;配合比误差;混凝土的拌和、浇注、振捣密实程度;温度、养护的差异等。

影响混凝土收缩、徐变的主要因素有:配合比;水泥品种;集料种类;混凝土的拌和、浇注、振捣工艺;养护条件;加荷龄期、加载大小及加载时的水化程度等。

在预应力混凝土桥梁施工中,反拱度过大确实给施工带来了麻烦,因此在施工时应预先考虑它的影响,从而采取有效措施。并在施工的各个阶段加强检验并进行有效控制,才能将各种不利情况予以消除。

## 5 结语

反拱度的变化是一个很复杂的过程,有很多因素暂时还无法确切分析,这需要我们在今后的实践中不断探索、分析和研究。放眼未来,相信 21 世纪的预应力混凝土桥梁施工技术肯定会有一个更大的飞跃。