

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

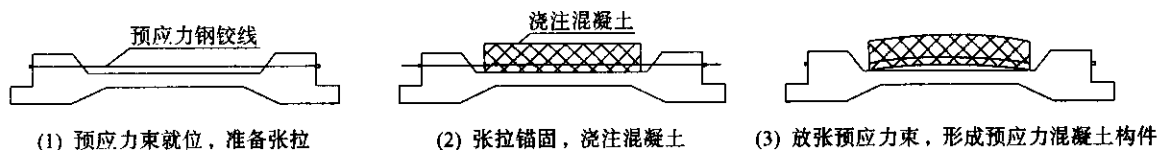


图 1 先张空心板梁施工工艺流程

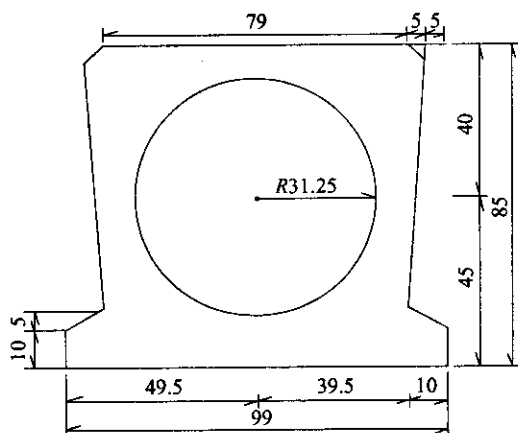
进行张拉,然后浇注混凝土,待混凝土达到一定强度后,放松并切断钢绞线,通过钢绞线与混凝土之间的粘结力,使混凝土获得有效预加力 N_y ,在预加力 N_y 及预加力弯矩 $M_y = N_y \times e_y$ (e_y 为偏心距)作用下,构件下边缘各点均受压,上边缘各点均受拉,从而产生向上的反拱度 f_{my} ,它是在偏心预加力 N_y 作用下引起的。

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 $A = 140.00$ mm²,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:
 $y_{o\text{下}}=39.10\text{ cm}$
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 σ_s 及有效预应力值 σ_y 。

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

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

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

$N_y=\sigma_yA_y=2\,269.876\text{ kN}$
 $M_y=N_ye_y=785.38\text{ kN}\cdot\text{m}$
由预加力 N_y 作用下引起的上挠度 f_{my} 为:
 $f_{my}=M_yL^2/(8\times 0.85\,E_hI_o)=3.01\text{ cm}(\uparrow)$
由空心板自重引起的下挠度 f_g 为(空心板每延米重 $q=11.23\text{ kN/m}$):
 $f_g=5qL^4/(384\times 0.85\,E_hI_o)=1.72\text{ cm}(\downarrow)$
则产生的反拱度为:
 $\triangle f=f_{my}+f_g=3.01-1.72=1.29\text{ cm}(\uparrow)$

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。