

# OVM15JB新型螺旋筋静载试验

朱万旭 郑晓龙

## 一、前言

在桥梁预应力结构的设计施工中,存在着小孔径群锚的螺旋筋中径偏大,甚至超过了锚垫板的有关尺寸,需要占用较大的施工空间。当有多束群锚邻近安装时,会发生干涉现象,对施工极为不利。

对此,使用单位的工程设计人员建议:

(1)当混凝土的强度等级较高时,可采用中径较小的螺旋筋。既可保证混凝土的有效承载,又利于安装施工。(2)减少螺旋筋的中径及其系列规格。以减少螺旋筋的品种,便于施工现场管理。

针对上述建议,我们对螺旋筋进行改进设计,出开发更轻便更符合用户需求的螺旋筋。下面以OVM15-6/7孔的螺旋筋为例,介绍设计和试验过程。

## 二、计算与设计

对新型的OVM15JB-6(7)L螺旋筋的锚下配套装置按照国家建筑规范GBJ10-89进行了计算和有限元分析比较,以检验其可靠性。

### 1、结构验算

(1)施工阶段强度验算:

$$\sigma_{cc} = \sigma_{con} A_p / A_n = 1860 \times 139 \times 7 \times 0.8 / (320^2 - \pi / 4 \times 70^2) = 14.7(\text{MPa})$$

$$\text{而 } 1.2 f_c' = 1.2 \times 19 = 22.8(\text{MPa})$$

$$\text{所以 } \sigma_{cc} \leq 1.2 f_c'$$

即施工阶段强度满足要求。

(2)局部受压承载力验算

$$F_L = 1.2 \sigma_{con} A_p = 1.2 \times 1860 \times 0.8 \times 139 \times 7 = 1737388.8(\text{N})$$

$$(\beta f_c + 2 \rho_v \beta_{cor} f_y) A_{ln} = (1.719 \times 19 + 2 \times 0.0586 \times 210) \times [\pi / 4 (210^2 - x70^2)] = 1763298.7(\text{N})$$

$$\text{所以 } F_L \leq (\beta f_c + 2 \rho_v \beta_{cor} f_y) A_{ln}$$

即局部受压承载力满足要求。

式中:  $F_L$ —局部压力设计值,后张法取1.2倍张拉控制力,即  $F_L = 1.2 \sigma_{con} A_p$ ;

$$\beta$$
—局部承压强度提高系数,  $\beta = \sqrt{A_b / A_1}$

$A_b$ —局部受压计算底面积,可按照“同心、对称、有效面积”的原则进行计算。不扣除开孔构件的孔道面积;

$A_1$ —局部承压面积,即垫板按荷载传递角度(一般取45°)扩散后的面积,不扣除开孔构件的孔道面积;

$\beta_{cor}$ —配置间接钢筋的局部受压承载力提高系数,  $\beta_{cor} = \sqrt{A_{cor} / A_1}$

$A_{cor}$ —网格筋或螺旋筋范围以内的混凝土核芯面积(不扣除孔道面积),重心应与  $A_1$  的重心相重合,并应满足条件  $A_b \geq A_{cor} \geq A_1$ ;

$A_{ln}$ —混凝土局部受压净面积,即垫板按荷载传递角度(一般取45°)扩散后的面积,并扣除开孔构件的孔道面积;

$\rho_v$ —间接钢筋的体积配筋率(核芯面积  $A_{cor}$  范围内单位混凝土体积所含间接钢筋体积,且要求  $\rho_v \geq 0.5\%$ );当网格布筋时;

$$\rho_v = \frac{n_1 A_{s1} l_1 + n_2 A_{s2} l_2}{A_{cor} S}$$

$$\text{当配置螺旋筋时, } \rho_v = \frac{4 A_{ss1}}{d_{cor} S}$$

$l_1, l_2$ —钢筋网两个方向长度,  $l_1 \leq l_2$ ,两个方向上钢筋网单位长度的钢筋面积相差不大于1.5倍;

$n_1, A_{s1}$ — $l_1$ 方向的钢筋根数和单根钢筋的截面面积;

$n_2, A_{s2}$ — $l_2$ 方向的钢筋根数和单根钢筋的截面面积;

$S$ —钢筋网或螺旋筋的间距,一般  $S = 30 \sim 80\text{mm}$ ;

$A_{ss1}$ —螺旋筋的截面面积;

$d_{cor}$ —螺旋筋范围以内的混凝土直径。

在各型锚垫板验算中,为保险起见,不计网钢筋,仅考虑螺旋筋。

**研究试验**

2、有限元计算

采用美国最新的MSC/PATRAN、MSC/AFEA有限元分析软件,取最为不利的工况对锚下装置进行分析。图1、图2为有限元模型和锚下砧结构的应力图。从最大拉应力图看,侧面有局部应力值较高的区域,最大应力值为3.3MPa,高于C40素混凝土的标准抗拉极限2.8MPa,大部分侧面应力低于1.9MPa,拉应力并不大,但仍需要按照施工规范进行布筋。

3、新型螺旋筋尺寸

经过分析、计算,设计出新系列的螺旋筋。在该系列中,减小了13孔以下锚具的螺旋筋中径,对个别安全系数过高的减小了螺旋筋钢材的直径。详见表1。

三、试验工作

自1999年6月7日~1999年6月28日,在柳州欧维姆建筑机械有限公司的试验室对新型螺旋筋OVM15JB-6(7)L的锚下装置进行严格的静载试验。

1、试验设备、仪器

YJ-5应变仪一台、P20R-5型预调平衡箱一台、JC-10型裂缝宽度测读仪两台、YES-500型压力机一台、水准尺一把、电阻应变片若干。

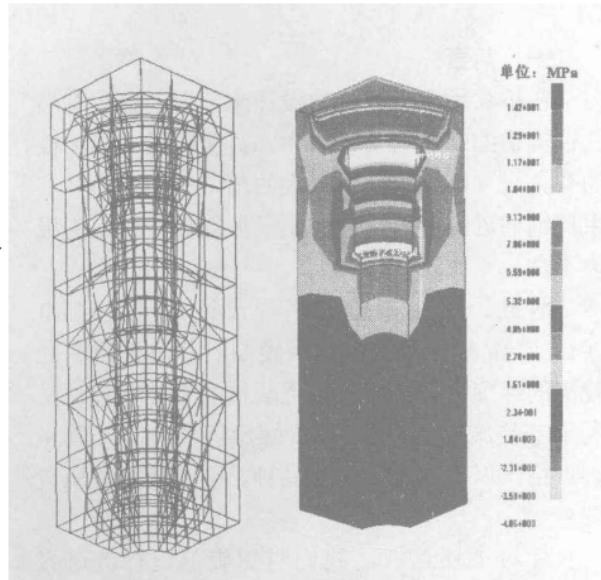


图1 锚下结构的有限元模型 图2锚下砧最大主应力

表1 螺旋筋参数表

图号	G (mm)	H (mm)	l (mm)	圈数n	所配用的锚具规格		质量
					OVM15锚具	固定端P型锚具	
OVM15JB-1L	Φ80	Φ8	30	4	OVM15-1	OVM15-1P	0.40
OVM15JB-2L	Φ110	Φ10	40	4	OVM15-2		0.85
OVM15JB-3L	Φ130	Φ10	40	4	OVM15-3		1.0
OVM15JB-4L	Φ150	Φ14	50	4	OVM15-4	OVM15-3P	2.27
OVM15JB-5L	Φ170	Φ14	50	4	OVM15-5	OVM15-4P	2.58
OVM15JB-6L/7L	Φ200	Φ14	50	4	OVM15JB-6/7	OVM15-5/6/7p	3.03
OVM15JB-8L/9L	Φ240	Φ16	60	5	OVM15JB-8/9	OVM15-9/12P	5.94
OVM15JB-10L/11L/ 12L/13L	Φ270	Φ20	60	6	OVM15JB-10/11/12/ /13	OVM15-19/27P	12.5
OVM15JB-14L	Φ350	Φ20	60	6	OVM15JB-14		16.3
OVM15JB-15L/16L/ 7L	Φ380	Φ20	60	6	OVM15JB-15/16/17		17.7
OVM15JB-18L/19L	Φ400	Φ20	60	7	OVM15JB-18/19		21.7
OVM15JB-21L/22L	Φ430	Φ20	60	7	OVM15JB-21/22		23.3
OVM15JB-25L/27L	Φ470	Φ22	70	7	OVM15JB-25/27		30.9
OVM15JB-31L	Φ510	Φ22	70	8	OVM15JB-31		38.3
OVM15JB-34L/37L	Φ570	Φ22	70	9	OVM15JB-34/37		48.1
OVM15JB-43L/44L	Φ620	Φ22	70	10	OVM15JB-43/44		58.2
OVM15JB-54L/55L	Φ700	Φ25	80	9	OVM15JB-54/55		76.3

## 2、试验标准

(1) 参照 (ASTMA416-87a) 中270K级的钢绞线性能值, 以及钢丝性能标准(EURONRM 138-79) 中直径  $\phi 0.6$  超级型钢丝的性能值, 预应力筋的特征极限抗拉力值  $F_{pk}=A_{pk} \times f_{pk}$  (式中:  $F_{pk}$ : 预应力筋的特征极限抗拉力;  $A_{pk}$ : 预应力筋的特征截面积;  $f_{pk}$ : 预应力钢材的特征抗拉强度)。

(2) 国际后张预应力混凝土协会 (FIP) 1993年现行“后张预应力体系验收建议”中的要求进行试验。

## 3、试样制作

按国际后张预应力混凝土协会FIP (1993年版) 要求及对应特定的预应力筋最小中心距确定其轮廓尺寸及钢筋含量。

试件中纵向钢筋总面积为  $1.13\text{cm}^2 \leq 2\text{cm}^2$ , 箍筋含量分别为  $29.1\text{kg}/\text{m}^2$ , 混凝土标号为C40, 水泥选用525号普通硅酸水泥 (新鲜尤佳), 石子最大粒径为3cm, 配合比为水: 水泥: 中砂: 石子=0.4: 1: 1.26: 2.82, 每立方米混凝土中水泥用量为438kg。

7孔试件数量为3个 (A1, A2, A3), 布筋及锚垫板、螺旋筋的放置要求: a、记录混凝土灌注日期; b、试件呈横置状态灌注和振捣; c、同时浇注 (100mm立方) 小试块12个; d、未浇筑混凝土前, 布好筋, 安装好OVM15-6 (7) D 锚垫板、螺旋筋、波纹管 (内径  $\phi 70$ ) 后, 整体拍照摄影; e、试件应浇筑1天后拆模, 进行湿养护直至试验, 小试块亦同样处理。

## 四、试验过程

### 1、试件安装

待小试块达到设计强度后, 开始大试件的试验, 将大试件在压力机上安装就位, 用水准尺、水准仪调节平衡, 并对整体拍照。

### 2、试件测试强度

在做荷载试验前, 测试得混凝土的现场强度 (100mm立方小试块), 见表2。根据表2所得的平均抗压强度44.6MPa, 通过尺寸效应换算成混凝土的强度等级为  $0.95 \times 44.6 = 42.4\text{MPa}$ , 证明试件混凝土强度已达设计要求。

3、将试件打磨平整, 贴应变片, 安装调试

应变仪。

表2 试件的现场强度

序号	成型日期	龄期 d	养护条件	试件尺寸 mm×mm×mm	承压面积	破坏荷载 kN	抗压强度 Mpa	备注
1	99.6.15	8	湿养护	100×100×100	10000	413	41.3	
2	99.6.15	8	湿养护	100×100×100	10000	464	46.4	
3	99.6.15	8	湿养护	100×100×100	10000	461	46.1	
平均						446	44.6	

4、循环加载。按荷载的0.2 $F_{pk}$ (362.0KN)、0.4 $F_{pk}$ (723.9KN)、0.6 $F_{pk}$ (1085.9KN)、0.8 $F_{pk}$ (1447.8KN) 分级加载, 当达到0.8 $F_{pk}$ (1447.8KN) 后, 进行循环加载, 上限和下限分别为0.8 $F_{pk}$ (1447.8KN) 和0.12 $F_{pk}$ (217.2KN)。循环次数不低于10次, 直至出现裂纹。

5、再逐步增加荷载直至破坏。加载方式如图3。

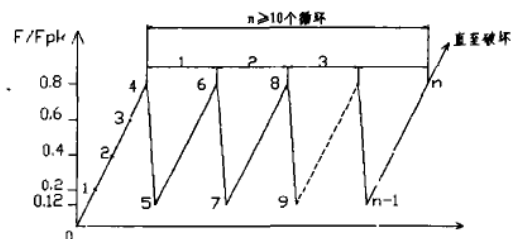


图3 试件加载图

### 6、测量与观察。

试验时进行了下列各项测量、观察、记录和描绘工作。

(1) 一定周次, 对应上限和下限荷载时, 在最大劈裂应力影响区内试件表面纵向和横向应变。其中试件1的应变值 (1、3为横向应变, 2、4为纵向应变) 具体见表3。由图5可见, 最后两次循环应变增量小于5%, 应变已经稳定。

(2) 上述时刻试件表面的裂缝宽度及扩展情况, 见表3。

根据FIP的规定, 每个试件第一次达到上限0.8 $F_{pk}$ 时, 裂缝宽度不能超过0.1mm, 最后一次达到下限0.12 $F_{pk}$ 时, 裂缝宽度不能超过0.1mm, 最后一次达到上限0.8 $F_{pk}$ 时, 裂缝宽度不能超过

研究试验

0.25mm, 破坏荷载应大于1.1Fpk (1990.8kN)。对比图5可见, 试验结果较好地满足了FIP的规定, 以上裂纹宽度均小于FIP规定值, 破坏荷载大于1.1Fpk。同时, 最后两次循环裂纹宽度几乎没有变化, 裂纹宽度已经稳定。

表3 试件表面最大裂缝宽度试验结果

测量项目	试件	1号试件	2号试件	3号试件
第一次达到上限0.8Fpk时裂纹宽度 (mm)	0	0	0	0
最后一次达到下限0.12Fpk时裂纹宽度 (mm)	0.1	0.1	0.1	0.1
倒数第二次达到上限0.8Fpk时裂纹宽度 (mm)	0.2	0.2	0.2	0.2
最后一次达到上限0.8Fpk时裂纹宽度 (mm)	0.2	0.2	0.2	0.2
破坏荷载 (KN)	2380	2280	2170	
锚垫板在破坏后的下沉量 (mm)	无明显下沉	无明显下沉	无明显下沉	

(3) 与混凝土接触的锚具部件变形用肉眼观察测量。由图5可见, 锚垫板在破坏后的无明显下沉量。

(4) 破坏的位置和形式。每个试件第一次达到上限0.8Fpk时没有产生裂纹。试件裂缝在Fu时整体形态的龟裂图见图4, 试件的破坏主要是由于纵向裂纹扩展引起的。

(5) 破坏荷载Fu。由图5可见, 试件的破坏荷载都很高, 特别是试件1, 其Fu为2380 kN, 为7孔钢绞线极限破断载荷Fpk (1810kN) 的1.3

倍; 破坏荷载最小的试件3相应的为1.2倍, 高于FIP标准要求的1.1倍。

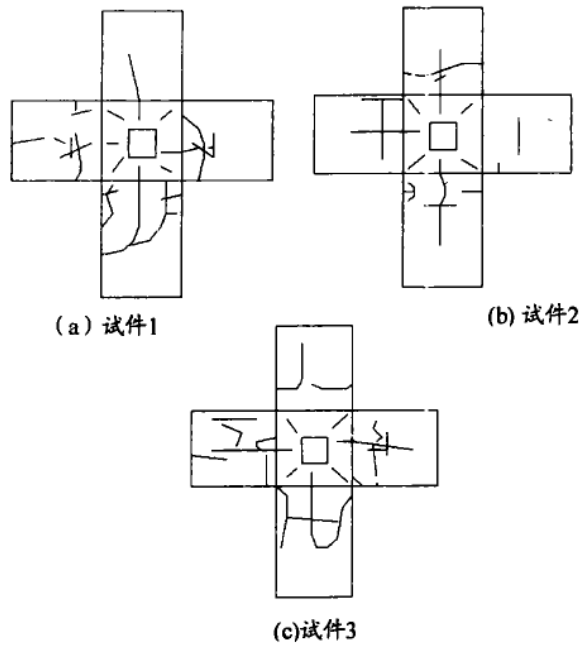
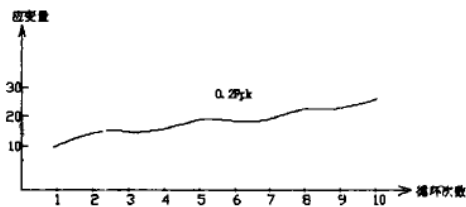


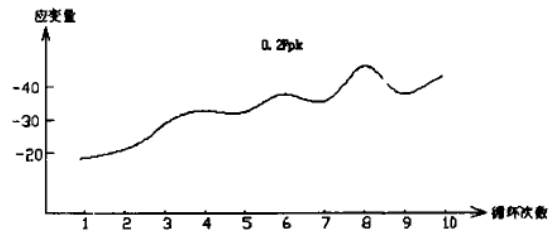
图4 试件裂缝在Fu时整体形态的龟裂图

五、试验结论

综上所述, 经过改型设计后的新型螺旋筋, 从理论计算、计算机有限元分析到工业试验, 都符合FIP标准, 完全能够满足预应力锚下施工的需要, 由于它较以往的螺旋筋中径更小, 质量更轻, 便于施工及运输, 将有更广阔的应用前景。



2号测量点相对应变量



4号测量点相对应变量

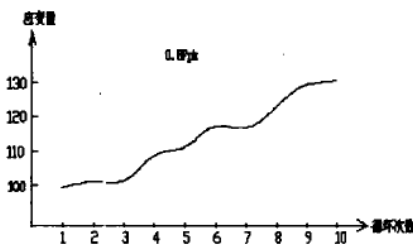


图5 循环加载时1号试件的应变