

# 夹片式锚具锚垫板系列的尺寸估算

## ——预应力锚固区安全探讨之四

裴 甯<sup>1</sup> 曾 利<sup>2</sup>

(1 中国建筑科学研究院 北京 100013 2 杭州浙锚预应力有限公司 浙江富阳 311402)

**摘 要:**锚垫板和螺旋筋是预应力锚固区的重要预埋件,他们和结构混凝土共同工作,承担锚具传来的巨大集中荷载。市售和工程正式采用的锚垫板及螺旋筋,都应符合认可标准试验。预应力结构物的锚固区,可能只有一个锚具,也可能有分布多样的多个锚具。这个区域的混凝土及锚垫板应力复杂多变,结构设计规范很难提供用之皆准的计算准则。预应力技术发祥于西欧,这里的权威们制订了技术认可标准,产品生产者及结构设计者都严格遵从。锚垫板及螺旋筋的产品设计,不可能完全脱离计算,至少估算是需要的。有限元分析法能探讨锚垫板的应力分布状况,有助于拟订锚垫板的设计。该文依据发布在《预应力技术》2012年第3期上的“预应力锚固区安全探讨之三”,拟订了圆形夹片式锚具下配用的锚垫板及螺旋筋系列尺寸,可供产品生产者设计产品之用,也可供工程设计、施工单位参考。该文的估算办法参考了美国PTI标准用于普通钢板加工型锚垫板的计算准则,只用了简单的结构力学和经验参数。该文仅拟订了 $\phi 15$ 钢绞线1~37孔锚具的锚下配件。实践经验对预应力技术很重要,该文列出了法国Freyssinet体系、瑞士V S L体系、中国QM、OVM、QVM体系的锚垫板、螺旋筋、波纹管尺寸,可供对照参考。该文考虑了我国铁道部门的相关要求。

**关键词:**夹片式锚具 锚垫板 尺寸 估算

### 1 系列范围

常用的夹片式锚具包括13和15两个系列,都是圆形,即YJM型。系列范围如下:

YJM13系列为1~55孔,即YJM13-1~55

YJM15系列为1~37孔,即YJM15-1~37

本文仅包括15系的1~37孔,待这些锚垫板进行荷载传递试验以后,并希望获得国检认可且符合欧洲标准及FIP的性能要求。对于13系列,只需将荷载量与15系列相近者予以整合即可确定。

### 2 锚具系列

锚垫板的尺寸应与锚具尺寸相匹配,所以必须先确定锚具尺寸。锚筋孔在锚板上的排列会影响锚板的直径,这又要求探讨排列的合理性。世界上各大预应力公司均有一条执行方案:只选用少数锚筋孔排列合理的锚具规格,才列入供应市场的产品目录;那些不合理排列的孔数均舍弃不用,设计结构的人员无从选用这些规格。中国有些不同,从一开始就将全部孔数的锚具列入了产品目录,这就使结构设计人员可以任意选择规

格,给锚具生产造成浪费,生产厂产品规格过多、施工也不方便。须知,不必太多的规格就能满足一切预应力结构的需要。

世界几大预应力公司积累多年的实践经验,已公认锚筋孔在锚板上呈正三角形排列有较多优点,比按同心圆排列便于加工,施工操作也相对方便一些。

13、15系列三角形排列的基本单元尺寸如图1所示。

按三角形排列的预应力钢绞线束均呈六边形截面的紧凑状态,辅以多股叉小工具,可以将众多平行的钢绞线穿过锚板及工具锚的锚筋孔,同时钢绞线束也得到梳理畅顺。在加工锚板时,数控机床的程序可能对三角形排列更感方便。

本文将锚板的孔数分为三个子系列,即:

a) 优选系列—孔数为:1、3、4、5、7、12、19、22、27、31、37孔,共11个规格,除4、5孔小规格外,其他都是按三角形孔位排列的,与世界上主要预应力公司的规格基本相同;

b) 可选系列—孔数为:6、11、13、17、

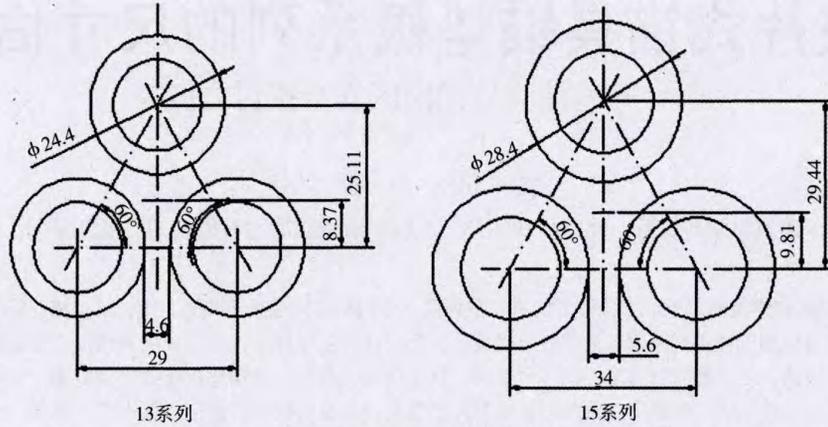


图1 锚筋孔三角形排列的基本单元尺寸

18、20、21、25、26、29、30、35、36孔，共13个规格，除13孔的规格外，也是按三角形排列的，只是在锚板上减少1~2根钢绞线，有些浪费，工程设计中，只在必要时才可选用这些规格；

c) 避选系列 — 孔数为：2、8、9、10、14、15、16、23、24、28、32、33、34孔，共13个规格，孔位排列不合理，希望将来不选用，不生产，逐渐予以淘汰。

三个子系列的孔位排列如图2所示。

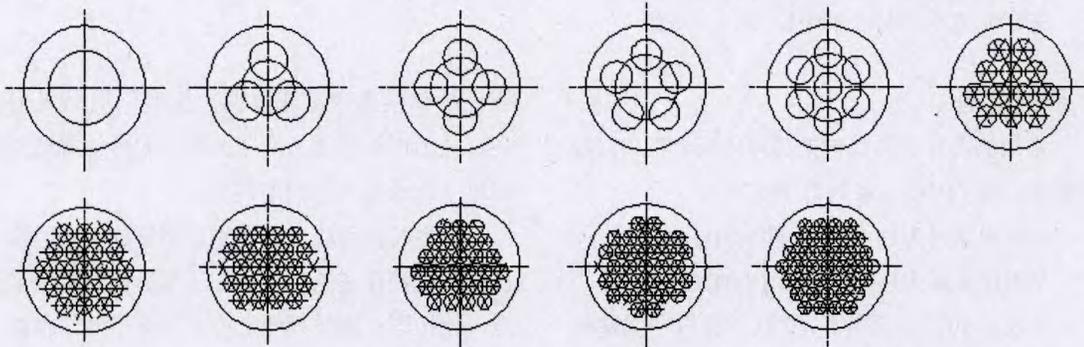


图2-1 优选系列YJM15-1、3、4、5、7、12、19、22、27、31、37

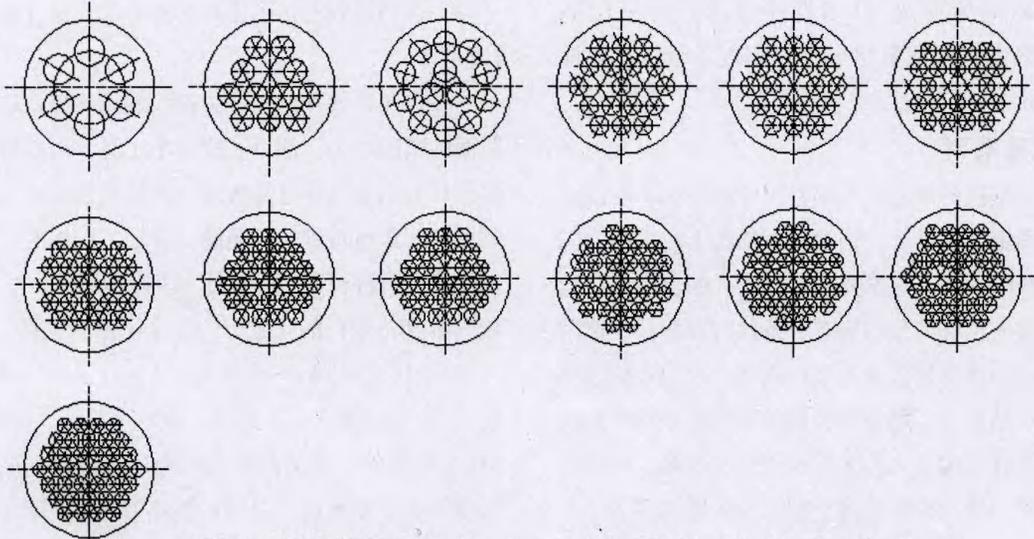


图2-2 可选系列YJM15-6、11、13、17、18、20、21、25、26、29、30、35、36

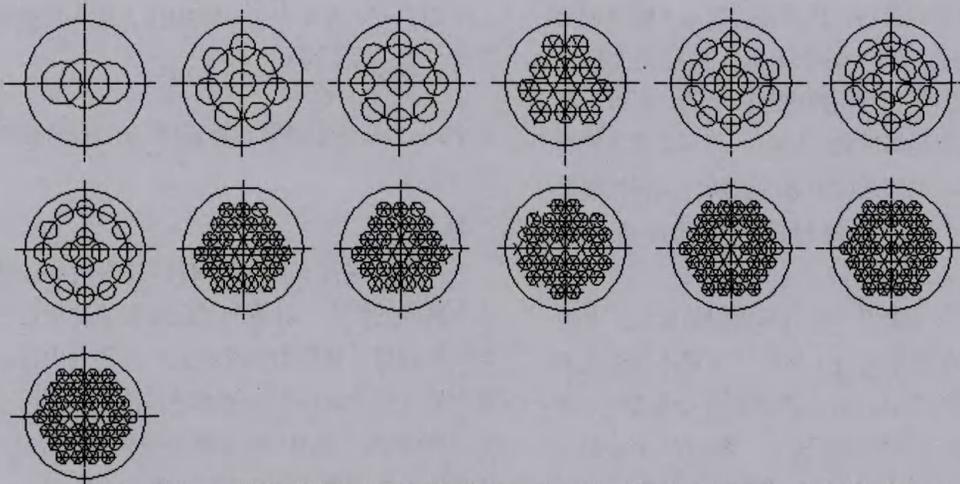


图2-2 遴选系列YJM15-2、8、9、10、14、15、16、23、24、28、32、33、34

### 3 锚固单元

预应力束中的每根钢绞线都是单独锚固的，在锚板上每个锥形锚筋孔配用一付楔形夹片，组成一个锚固单元，如图3所示。在我国自1987年研制成功预应力钢绞线夹片式锚具以来，至今已有25年的工程实践经历，各生产企业的锚固单元尺寸都非常接近，图3的尺寸或可反映我国当前的实际情况。和欧美相比，夹片略短7%左右，锥角、直径、牙型、硬度都基本相同。夹片如太短，不易满足静载和疲劳试验要求，德国Paul公司有此经验。特种或重要结构用的锚具，锚固单元尺寸可能略大一些。

### 4 混凝土强度

中国钢筋混凝土结构设计规范规定，预应力结构混凝土的强度等级不宜低于C40级；中国的预应力工程大多使用C40混凝土，也有一些条件较好的工程使用C45、C50级的混凝土。本文的锚

具配套件按C40设计，这是最低值；如用于较高强度的C45、C50混凝土，它是当然适用的。

中国混凝土抗压试验采用150mm立方体试块作为标准尺寸，欧美则采用 $\phi 150$ 、 $h=300$ mm的圆柱体试块作为标准；对于相同质量的混凝土，两者试压结果的数据是不同的。欧洲模式规范给出了圆柱体试块强度 $f_{ck}$ 与立方体试块强度 $f_{ckcube}$ 的比值表，比例系数 $\phi = f_{ck} / f_{ckcube}$ 在系列中不尽相同，工程常用平均值 $\phi = 0.83$ 。本文对不在正级上的比值也按0.83计算。据此，本文中的锚垫板适用的混凝土将为C33/40（33为圆柱体强度，40为立方体强度）；C37/45及C40/50自然适用。

### 5 螺旋筋

螺旋筋的配筋率是影响锚固区混凝土承载能力的重要因素。螺旋筋将锚垫板下的混凝土箍成一个圆柱体，在轴向荷载作用时，圆柱状混凝土

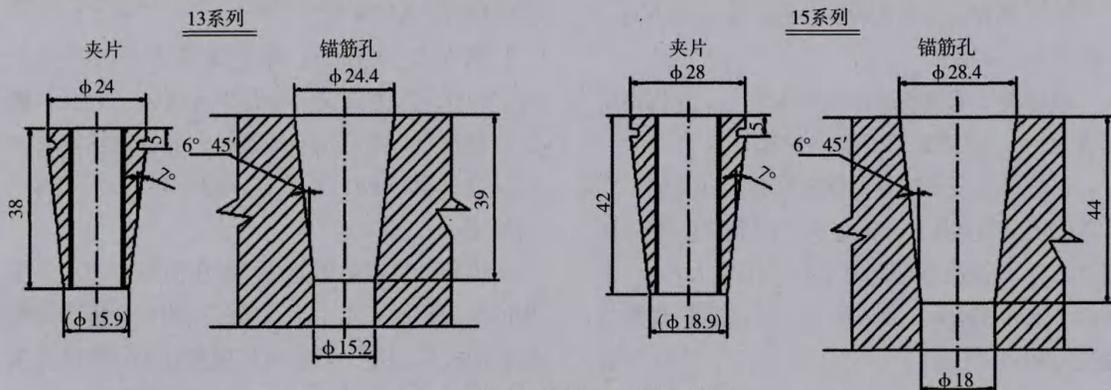


图3 预应力钢绞线的夹片锚固单元

的径向变形受到遏制,从而显著提高了锚下混凝土的承载能力。因为要求混凝土的径向变形极小,螺旋筋的伸长量同样也是极小的。所以,必须使螺旋筋有足够的截面面积,而不是要求它有较高的强度。不同强度等级的钢筋,其弹性模量都很相近,所以,使用低强钢筋即可(如HPB235)。

本文搜索了世界一些著名公司的资料,对他们的螺旋筋配筋率进行了分析,选定体积配筋率 $\rho_v=3.5\%$ 是比较适宜的。螺旋筋外径取 $D \approx 1.4b$ ( $b$ 为锚垫板主承压板宽度),螺距 $J = d + (40 \sim 45)$ ,螺旋筋总长 $G \approx 1.5b$ ,圈数 $m = G/J$ 。

## 6 锚垫板

本文的锚垫板采用HT200级灰铸铁铸造。主承压板为正方形,其下有两个附加圆翼板。锥形筒内壁的单边斜度不大于 $4^\circ$ ,使钢绞线在此处的弯折角不会太大。锥形筒下端与波纹管采用承插式连接方法。锥形筒下端孔口直径按波纹管套管外径确定。锚垫板的承压面积及厚度按《铸造型预应力筋锚垫板的受力和尺寸探讨》一文的方法计算。

附加翼板轴向投影面积:第1翼板位于筒身小端,外径 $\phi_4$ ,投影面积 $A_4$ 占总承压面积 $A_b$ 的10%;筒身中部的为第2翼板,外径 $\phi_3$ ,面积 $A_3=0.15A_b$ 。本案翼板面积不算太大。假设 $A_4$ 、 $A_3$ 与主承压板受等效反力。

HT200灰口铸铁的强度取值:

抗压强度 $\sigma_{bc}=750\text{MPa}$ ,当安全系数 $k=2.5$ 时,允许抗压应力 $[\sigma_{bc}]=750/2.5=300\text{MPa}$ 。

抗弯强度 $\sigma_{bb}=400\text{MPa}$ ,允许抗弯应力 $[\sigma_{bb}]=400/2.5=160\text{MPa}$ 。

锚垫板支承锚板的环状承压面上,允许挤压应力为: $f_{sb_i}=750/2.5 \times 1.5=450\text{MPa}$ 。

锚垫板厚度是按悬臂梁抗弯强度计算的,在荷载 $0.8F_{pk}$ 的作用下,锚垫板下混凝土的平均压应力为 $f_{bi}$ ,该值亦即此时的允许压应力 $f_{cpi}$ 。本案的 $f_{bi}=39.9\text{MPa}$ 。按《铸造型预应力筋锚垫板的受力和尺寸探讨》一文之式(4),当允许抗弯应力 $f_s=[\sigma_{bb}]=160\text{MPa}$ 时,

即 $f_s=3 \cdot f_{bi} \left(\frac{n}{h}\right)^2=160\text{MPa}$ ,代入数据可得

$$h = n \cdot \sqrt{\frac{3 \times 39.9}{160}} = n \cdot \sqrt{0.75}$$

式中, $n$ 为锚垫板悬臂计算长度, $h$ 为悬臂根部需要的高度。

## 7 算例

以圆形夹片式锚具YJM15-12为例,按其预应力荷载的需要,计算与其配套的锚垫板尺寸和螺旋筋规格。预应力钢绞线选用15系列中拉断力最大的直径为 $\phi 15.7\text{mm}$ 的品种,抗拉强度标准值 $f_{pk}=1860\text{MPa}$ ,其单根标准极限抗拉力为279 kN。适用的结构混凝土为C40级,即 $f_{ck}=40\text{MPa}$ ;它相当于欧洲标准中使用的圆柱体试块强度 $40 \times 0.83=33.2\text{MPa}$ 。要求混凝土强度达到 $0.8f_{ck}$ 时张拉全部预应力。螺旋筋的体积配筋率为 $\rho_v=3.5\%$ 。

### 7.1 计算锚垫板

因本文的锚垫板尺寸拟按欧洲标准试验检验,所以取用欧洲的符号规则。选定的锚垫板形式如图4所示。这种锚垫板的下部和中部各有一个附加翼板,能将一部分锚具荷载经翼板传递到深部混凝土中,这样可适当减少主承压板的面积,使结构设计时排布锚具更为紧凑。

已知条件:锚板外径 $\phi_a=165\text{mm}$ ,锚板底面 $\phi 18$ 锚筋孔外接圆 $\phi_s=121.9\text{mm}$ (按图1三角形孔位排列计算);锥形筒内壁单边斜度 $\alpha \leq 4^\circ$ ;12根钢绞线的标准极限抗拉力 $F_{pk}=12 \times 279=3348\text{kN}$ , $0.8F_{pk}=2678.4\text{kN}$ ;波纹管正常内径 $\phi_F=85\text{mm}$ ,连接套管规格为 $\phi_F=90\text{mm}$ 。

混凝土强度为C40级,相当于圆柱体强度 $f_{pk}=0.83 \times 40=33.2\text{MPa}$

按照 $\phi_s+4\text{mm}$ ,确定锚垫板上口直径 $\phi_1=126\text{mm}$ ;按照波纹管套管外径 $\phi 97+3\text{mm}$ ,确定锚垫板下口直径 $\phi_6=100\text{mm}$ ;如选定锚垫板锥形筒长度 $L=200\text{mm}$ ,经验算 $\alpha=3^\circ 43'$ ,小于 $4^\circ$ 的规定。

需要计算锚垫板的总净承压面积 $A_b$ 及主承压板的毛面积 $A_g$ 。 $A_b$ 由主承压板面积(含锥形筒内壁轴向投影面积)+第2翼板面积 $A_3$ +第1翼板面积 $A_4$ +筒身小端的端面积 $A_5$ 组成;本文令 $A_3=0.15A_b$ 、

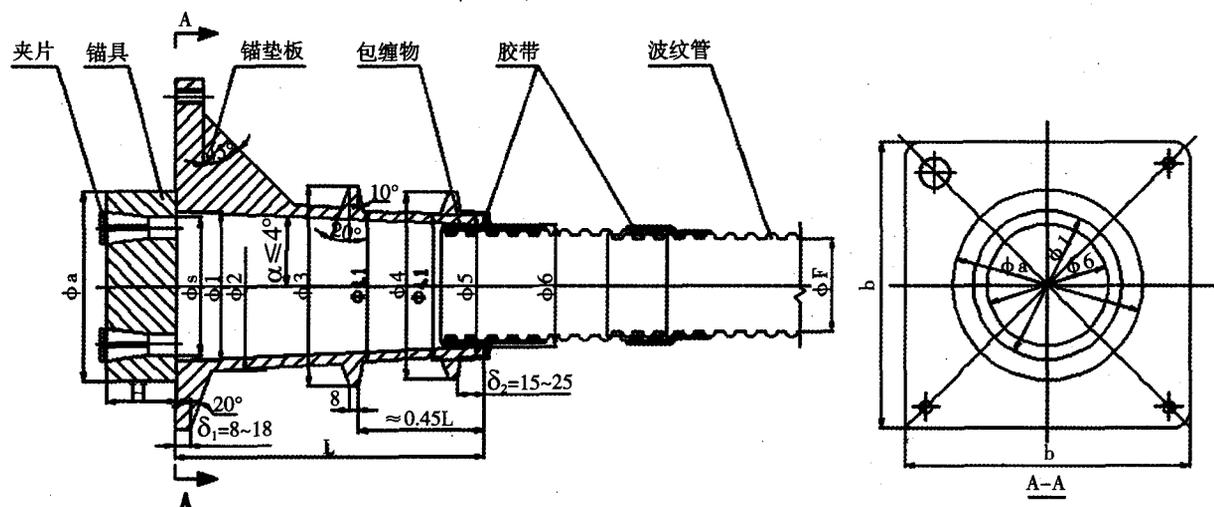


图4 锚垫板构造图

$A_4=0.1A_b$ 。而  $\sqrt{A_g}$  即为正方形锚垫板的主承压板边长,  $A_b$  应根据  $0.8F_{ck}$  的作用力及混凝土的允许压应力求出。

锚垫板下混凝土的允许压应力  $f_{cpi}$  由《铸造型预应力筋锚垫板的受力和尺寸探讨》一文之公式(2)确定。当有足够抗裂钢筋时

$$f_{cpi} = 0.75 \times f'_{ci} \times \sqrt{\frac{A}{A_g}} < 1.5 f'_{ci} \quad (1)$$

式中:  $f'_{ci}$  一张拉预应力时混凝土圆柱体试块抗压强度。

$f'_{ci} = 0.8 f_{ck} = 0.8 \times 33.2 = 26.6 \text{MPa}$  (混凝土强度达到80%  $f_{ck}$  时张拉)

$\sqrt{\frac{A}{A_g}}$  一混凝土局部受压时的强度提高系数。

$A$  为承压区面积, 它与  $A_g$  同形心, 美国PTI标准限定  $A$  的边长  $a$  不超过  $2b$ , 当  $a=2b$  时,  $\sqrt{\frac{A}{A_g}} = 2$ 。

将数据代入式(1), 锚垫板下混凝土的允许压应力为:

$$f_{cpi} = 0.75 \times 26.6 \times 2 = 39.9 \text{MPa}$$

在  $0.8F_{pk}$  的作用下, 锚垫板下混凝土的平均压应力  $f_{bi}$  不应超过张拉时混凝土的允许压应力  $f_{cpi}$ , 即

$$f_{bi} = \frac{0.8F_{pk}}{A_b} \leq f_{cpi}$$

$$\text{或 } A_b = \frac{0.8F_{pk}}{f_{bi}} = \frac{0.8 \times 12 \times 279 \times 1000}{39.9} = 67128 \text{mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{由于 } A_b &= (A_g - A_6) + A_3 + A_4 + A_5 \\ \therefore A_g &= A_b + A_6 - A_3 - A_4 - A_5 \\ &= A_b + A_6 - 0.15 A_b - 0.1 A_b - A_5 \end{aligned}$$

$$\text{式中: } A_6 = \frac{\pi}{4} \times 100^2 = 7854 \text{mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_5 &= \frac{\pi}{4} (\phi_5^2 - \phi_6^2) = \frac{\pi}{4} (116^2 - 100^2) \\ &= 2714 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\therefore A_g = 55488 \text{mm}^2$$

$$\sqrt{A_g} = 235.6 \text{mm}$$

经圆整, 取正方形锚垫板边长  $b = 240 \text{mm}$ , 偏大一些。

主承压板可用面积相等法则改变为圆形或矩形。本例如改为:

$$\text{圆形: } D_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A_g} = 265.8 = 266 \text{mm}$$

矩形: 长短边长比一般为: 1.2 : 1, 取  $260 \times 215 \text{mm}^2$

本文将15mm钢绞线的YJM15-1~37的全系列锚垫板计算数据列入表1之中, 有些将能归并为同一规格的锚垫板, 将予以归并, 如孔数为6、7的, 10、11、12的, 17、18、19的, 20、21、22的, 23、24、25、26、27的, 28、29、30、31的, 32、33、34、35、36、37的, 均加以合并。表1还尽量搜索了国内外主要预应力体系的尺寸数据, 包括锚板外径、锚垫板主承压板尺寸, 螺旋筋参数和波纹管径, 这些数据都可与本文的估算数据比较。

为了按表1的数据和图4的形状做出产品设计图, 本文还列出了全系列的YJM型锚垫板细部尺寸表, 如表2所示。表2给出了锚垫板细部的全部控制点尺寸, 据此可绘制全系列各个锚垫板的设计图。表2中 $\phi_3$ 、 $\phi_4$ 是根据翼板面积分别为 $0.15A_b$ 及 $0.1A_b$ 倒推计算的, 本文采用两个翼板共占 $0.25A_b$ 。在法国Freyssinet体系中, 这一比值可达 $0.40A_b$ , 所以它的主承压板都比本文计算的尺寸小一些, 它也是世界上尺寸最小的体系, 使用的混凝土允许压应力也略大一些。在设计锚垫板铸件时, 本文是按HT200灰铁计算的, 这一品质必须保证。铸件的阳角按常规取用, 阴角宜采用大尺寸阴角, 如R10~20。

### 7.2 螺旋筋估算

螺旋筋在工程结构中, 与锚垫板的相关位置如图5所示。依据螺旋筋圆圈直径与锚垫板对角线基本相等的概念, 本例选定螺旋筋外径 $D=330\text{mm}$ , 螺距 $J=55\text{mm}$ , 体积配筋率 $\rho_v=3.5\%$ , 求算单根钢筋截面 $A_s$ 。一个螺距内, 螺旋筋外径包围的混凝土中所含的钢筋体积即为 $\rho_v$ 。

$$\therefore \rho_v = \frac{\pi D \cdot A_s}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot J} = \frac{4A_s}{JD} = 3.5\%$$

$$\therefore A_s = \rho_v \cdot \frac{JD}{4} = 0.035 \times \frac{55 \times 330}{4} = 158.8\text{mm}^2$$

查钢筋截面积表, 选用直径 $d=14\text{mm}$ 的钢筋。 $\phi 14$ 钢筋截面表列为 $153.9\text{mm}^2$ , 比要求的 $A_s=158.8\text{mm}^2$ 小3%, 可以。表1中列出Freyssinet体系的螺旋筋为7 $\phi 14$ ,  $D=310$ ,  $J=50$ ; 换算 $\rho_v=3.97\%$ 。VSL体系的钢筋为 $\phi 16$ ,  $D=330$ ,  $J=60$ ; 换算 $\rho_v=4.06\%$ 。两者都比本案结果略强。

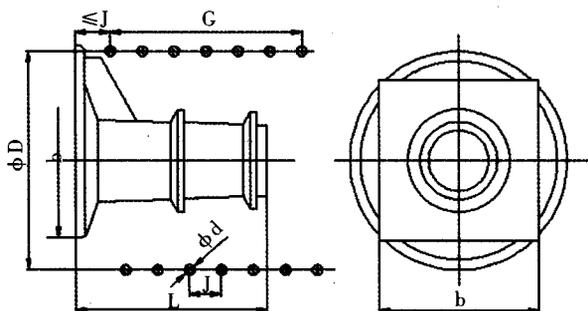


图5 螺旋筋及锚垫板的相关位置

## 8 锚具尺寸参数表

本文将圆形夹片式锚具参数列成表3, 可供锚具生产厂的产品尺寸参考。表3的参数与表1、2是一致的, 表3具有下列特点:

1) 将锚具规格分为3个子系列, 即优选系列——希望工程设计人员优先选用这些规格; 可选系列——必要时可选用这个系列; 避选系列——尽量不用这些规格, 将来尽快淘汰的规格。

2) 表3中的锚板外径和厚度是按尽量紧凑的原则排列的, 主要按三角形排列, 便于加工和施工, 也有少部分按同心圆排列。锚板外径 $\phi_a$ 与锚垫板上口 $\phi_1$ 是配合的, 承压面是足够的。张拉千斤顶的工具锚、限位板及施工辅助工具均应与此配套相符。夹片与锥孔的锚固单元按图3采用, 允许略有改变, 但应核准。锚板采用调质中碳钢时, 表列厚度能符合美国PTI《后张预应力体系验收标准》第4.1.1条的两项要求:

a) 95%荷载作用下, 锚板中心挠度不大于跨度的1/600;

b) 120%荷载作用下, 锚板不破损。

3) 锚垫板的承压面积是按C40混凝土估算的, C40是中国混凝土结构设计规范规定的最低标号, 也是中国普通预应力工程常用的标号。高速铁路桥梁使用的C50混凝土使用这种锚垫板偏于安全。锚垫板的锥孔单边斜度不超过 $4^\circ$ , 符合张拉施工时弯折度尽量减小的要求。锥孔上口净距 $5.6\text{mm}$ , 符合不小于 $5\text{mm}$ 的要求。

4) 本文选用的波纹管内径 $\phi_F$ 是正常尺寸, 符合国际及国内常情, 但锚垫板小端的承插孔 $\phi_6$ 是按套管外径确定的, 留有加大波纹管尺寸的余地。承插段加装套管可增加刚性, 避免波纹管在此处发生弯折。

5) 螺旋筋的配筋率是参考国际多家有经验的预应力公司的数据确定的, 配筋率是非常关键的指标, 是提高锚固区承载力的重要条件之一。

6) 通过荷载传递试验, 如能证明本文拟订的尺寸体系安全可靠, 这个体系将可以应用到国内外一切重要的预应力混凝土结构工程中; 结合组装件的静载和疲劳试验, 在国家质量检验部门认可以后, 它将全面符合国际标准及欧洲标准的技术要求。

表1 YJM型铸铁锚垫板及螺旋筋计算表(适用于1-37孔优选及可选系列锚具, C40、C50混凝土) 单位: mm

钢绞线15系列	根数	1	3	4	5	6、7	11、12	17、18、19	22	25、26、27	31	35、36、37	
	破断力 $F_{pk}$ (kN)	279	837	1116	1395	1953	3348	5301	6138	7533	8649	10323	
计算荷载	$0.8F_{pk}$ (kN)	223.2	669.6	892.8	1116	1562.4	2678.4	4240.8	4910.4	6026.4	6919.2	8258.4	
锚板外径	$\phi_a$	48	91	102	112	126	165	205	225	240	260	290	
锚板底孔外接圆	$\phi_s$	—	57.3	66	76	86	121.9	154	173.8	189.1	197.9	222	
锚垫板	上孔 $\phi_1$	—	60	70	80	90	126	160	180	196	206	230	
	下孔 $\phi_6$	—	50	55	65	75	100	115	125	135	145	155	
锚垫板总净面积 $mm^2$	$A_b = 0.8F_{pk}/39.9$	5594	16782	22376	27970	39158	67128	106286	123068	151038	173414	206977	
下孔面积	$A_6 = \phi_6^2 \pi / 4$	—	1963	2376	3318	4418	7854	10387	12272	14314	16513	18869	
底端面积	$A_5 = (\phi_5^2 - \phi_6^2) \cdot \pi / 4$	—	1963	1150	1338	2086	2714	3091	4241	4555	4869	6296	
第1翼板面积	$A_7 = 0.1A_b$	—	1678	2238	2797	3916	6713	10629	12307	15104	17341	20698	
第2翼板面积	$A_3 = 0.15A_b$	—	0	0	0	5874	10069	15943	18460	22656	26012	31047	
主承压板毛面积	$A_g = A_b + A_6 - A_3 - A_7 - A_5$	—	16011	21366	27153	31700	55488	87010	100332	123037	141705	167805	
方形	$b = \sqrt{A_g}$	85	130	150	165	185	240	300	320	350	380	420	
主承压板 矩形	长边 $\times$ 短边	120 $\times$ 65	145 $\times$ 120	165 $\times$ 135	180 $\times$ 150	200 $\times$ 170	260 $\times$ 215	330 $\times$ 270	350 $\times$ 290	390 $\times$ 315	420 $\times$ 340	460 $\times$ 380	
圆形	$D_0 = \sqrt{A_g / \pi}$	85	144	165	186	200	266	335	360	395	425	465	
锥筒长度	$L = (\phi_1 - \phi_6) / 2 \tan \alpha$	—	100	150	150	180	200	340	400	450	450	550	
翼板外径推算值	$\phi_4$	—	84	90	102	120	150	180	194	210	224	244	
	$\phi_3$	—	—	—	—	140	170	208	228	248	264	290	
锚垫板悬臂	长	$n_1 = (b - \phi_a) / 2$	—	19.5	24	26.5	29.5	37.5	47.5	47.5	55	60	65
	高	$h_1 = n_1 \times \sqrt{0.75}$	—	16.9	20.8	22.9	25.5	32.5	41.1	41.1	47.6	52	56.3
	长	$n_2 = 0.9b / \sqrt{2} - \phi_a / 2$	—	37.2	44.5	49	54.7	70.2	88.4	91.1	102.7	112	122.3
	高	$h_2 = n_2 \times \sqrt{0.75}$	—	32.2	38.5	42.4	47.4	60.8	76.6	78.9	89	97	105.9
锚垫板(方) 边长b参考值	JT/T329	80	130	145	160	180	235	285	300	330	350	400	
	QM	85	135	155	170	200	260	320	—	380	410	450	
	OVM无翼板型	80	135	165	180	210	270	310	320	350	390	465	
	VSL	—	135	150	—	190	250	310	—	—	390	430	
	Frey.	—	150 $\times$ 110	150 $\times$ 120	—	180 $\times$ 150	240 $\times$ 200	300 $\times$ 250	330 $\times$ 275	350 $\times$ 290	385 $\times$ 320	420 $\times$ 350	
锚板外径 $\phi_a$ 参考值	QVM	48	91	102	112	126	166	206	226	246	—	—	
	QM	46	85	95	105	125	165	200	225	245	260	290	
	OVM	46	91	102	115	126	166	206	226	244	260	296	
	VSL	53	85	110	—	130	170	220	—	—	270	300	
	Frey.	—	85	95	—	120	160	195	230	230	240	265	
	螺旋筋(本课题)	截面 $A_s = \rho_s \times JD / 4$	24	79	88	96	114	159	221	231	273	296	330
	钢筋直径d	6	10	10	12	12	14	18	18	20	20	20	
	圈数m	4	5	5	5	6	6	7	8	8	8	9	
	总长G	100	250	250	250	300	330	420	480	520	520	580	
Frey螺旋筋参考值	螺旋筋规格	—	5 $\phi$ 8	5 $\phi$ 10	—	6 $\phi$ 12	7 $\phi$ 14	7 $\phi$ 16	8 $\phi$ 16	7 $\phi$ 20	8 $\phi$ 20	9 $\phi$ 20	
	圆圈径D	—	160	180	—	220	310	400	430	470	500	550	
	圈数m	—	5	5	—	6	7	7	8	7	8	9	
	螺距J	—	50	60	—	60	50	70	70	80	80	90	
	长度G	—	250	300	—	360	350	490	560	560	640	810	
VSL螺旋筋参考值	螺旋筋规格	—	—	$\phi$ 12	—	$\phi$ 14	$\phi$ 16	$\phi$ 18	$\phi$ 18	—	$\phi$ 20	$\phi$ 22	
	圆圈外径D	100	185	200	—	250	330	400	470	—	510	550	
	圈数m	—	—	4	—	5	6	7	8	—	8	9	
	螺距J	—	—	60	—	55	60	65	50	—	70	80	
	长度G	—	—	210	—	260	345	440	400	—	70	605	
波纹管(内径) (含参考值)	本文	—	40	45	55	65	85	100	110	120	130	140	
	Frey.	—	40	45	—	60	80	95	105	115	120	130	
	VSL	—	45	50	—	60	80	95	110	120	130	140	
	OVM	—	50	55	55	70	90	100	120	120	130	140	
	QM	—	45	50	55	65	85	95	110	115	130	140	
	QVM	—	62	62	72	78	100	110	—	120	130	140	

表2 YJM型锚垫板细部尺寸

单位: mm

孔数 参数	单位: mm																
	2	3	4	5	6、7	8	9	10、 11、12	13	14	15	16	17、 18、19	20、 21、22	23、24、25、 26、27	28、29、 30、31	32、33、34、 35、36、37
$\phi_1$	55	60	70	80	90	100	110	126	131	139	144	156	160	180	196	206	230
$\phi_2$					140	152	156	170	175	182	186	195	208	228	248	264	290
$\phi_{3.1}$					98	110	115	127	130	135	138	145	151	169	182	192	212
$\phi_4$		84	90	102	120	30	134	150	152	158	158	167	180	194	210	224	244
$\phi_{4.1}$		63	68	78	93	103	108	118	118	123	123	128	134	148	158	168	182
$\phi_5$	57	62	67	77	91	101	106	116	116	121	121	126	131	145	155	165	179
$\phi_6$	45	50	55	65	75	85	90	100	100	105	105	110	115	125	135	145	155
$t_1$	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	12
$t_2$					12	12	12	12	12	12	12	12	12	144	14	14	16
L	100	10	150	150	180	180	180	200	250	250	300	340	340	400	450	450	550
0.45L	45	45	68	68	81	81	81	90	113	113	135	153	153	180	203	203	248
$\delta_1$	8	8	10	10	14	14	14	14	14	14	16	16	16	16	16	18	18
$\delta_2$	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	25	25	25	25	25

说明: 1、本表参数与图3与表1对应; 2、可根据本表数值绘制出全系列锚垫板的设计图。

表3 YJM15系列锚具尺寸参数

单位: mm

锚具系列YJM15—			锚板		锚垫板		波纹管	螺旋筋			
优选	可选	避选	直径 $\phi_a$	厚度 H	宽度 b	长度 L	内径 $\phi_F$	筋径 d	圈外径 D	螺距 J	圈数 m
1			48	48	85	—	—	6	110	25	4
		2	88	50	110	100	35	8	150	35	4
3			91	50	130	100	40	10	180	50	5
4			102	50	150	150	45	10	200	50	5
5			112	50	165	150	55	12	220	50	5
	6		126	50	185	180	65	12	260	50	6
7			126	53	185	180	65	12	260	50	6
		8	136	55	195	180	70	12	270	50	6
		9	146	55	205	180	75	14	280	55	6
		10	160	55	240	200	80	14	340	55	6
	11		160	57	240	200	85	14	340	55	6
12			165	60	240	200	85	14	340	55	6
	13		170	63	245	250	85	16	340	60	6
		14	175	65	255	250	90	16	350	60	7
		15	185	68	265	300	90	16	360	60	7
		16	195	70	272	300	95	16	370	60	7
	17		195	70	300	340	100	18	420	60	7
	18		205	72	300	340	100	18	420	60	7
19			205	75	300	340	100	18	420	60	7
	20		215	77	320	340	110	18	450	60	7
	21		225	80	320	400	110	18	450	60	8
22			225	80	320	400	110	18	450	60	8
		23	240	82	350	400	115	18	490	60	8
		24	240	82	350	450	115	18	490	60	8
	25		240	82	350	450	120	20	490	65	8
	26		240	85	350	450	120	20	490	65	8
27			240	85	350	450	120	20	490	65	8
		28	260	87	380	450	125	20	520	65	8
	29		260	87	380	450	125	20	520	65	8
	30		260	90	380	450	130	20	520	65	8
31			260	90	380	450	130	20	520	65	8
		32	290	95	420	450	135	20	580	65	9
		33	290	95	420	550	135	20	580	65	9
		34	290	100	420	550	135	20	580	65	9
	35		290	100	420	550	140	20	580	65	9
	36		290	105	420	550	140	20	580	65	9
37			290	105	420	550	140	20	580	65	9