

建筑结构设计示例丛书

钢筋混凝土结构中 预埋件设计

喻纯诚 陈家坤 李 光 编著

中 国 铁 道 出 版 社

目 录

符 号	1
第一章 设计原则	3
第二章 材料选用	5
第一节 锚 板	5
第二节 锚 筋	5
第三节 构件混凝土	6
第四节 焊接材料	7
第三章 预埋件计算	8
第一节 计算要点	8
第二节 受剪预埋件	12
一、采用直锚筋的受剪预埋件	12
二、弯折锚筋和直锚筋并用的受剪 预埋件	14
三、直锚筋和抗剪钢板并用的受剪 预埋件	15
第三节 受剪扭预埋件	15
第四节 轴心受拉预埋件	17
第五节 偏心受拉预埋件	18
第六节 受中心拉剪预埋件	19
第七节 受剪弯和受拉剪弯预埋件	20
第八节 末端焊挡板受拉锚筋的抗拔 力验算	22
第九节 受压剪弯预埋件	24

第四章	预埋件构造和施工制作	28
第一节	预埋件位置	28
第二节	锚板构造	28
第三节	锚筋间距和至构件边缘距离	29
第四节	焊 接	31
第五节	锚固措施	33
第六节	若干抗震措施	34
附表 1	常用预埋件承载力计算公式汇总表	35
附表 2	单根锚筋受剪承载力 V_{u1}	37
	角钢锚筋单位截面面积的受剪承载力 α_s 、 α_v 、 f_y	39
附表 3	$\frac{\alpha_v}{\alpha_s}$ 和 $\alpha_v(\alpha_s=1)$ 值	40
附表 4	锚筋常用特征表	42
计 算 实 例		43

符 号

一、荷载效应

M —— 弯矩设计值；

N —— 轴向力设计值；

R —— N 和 V 的合力；

R_{1x}, R_{1y} —— 受力最大锚筋由于扭矩作用在直角坐标轴上的剪力分力；

V —— 剪力设计值；

V_1 —— 受力最大锚筋由于剪力和扭矩作用产生的剪力。

二、锚筋抗力

Y_{11} —— 单根锚筋的受剪承载力设计值。

三、材料指标

f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值；

f_t —— 混凝土抗拉强度设计值；

f_s —— 锚筋抗拉强度设计值。

四、计算系数

α_l —— 锚筋锚固长度影响系数；

α_b —— 锚板弯曲变形的折减系数；

α_c —— 平行剪力方向锚筋边距影响系数；

α_e —— 地震对锚筋强度影响系数；

α_f —— 锚筋层数影响系数；

α_v —— 锚筋的受剪承载力系数；

γ_c —— 温度作用下混凝土轴心抗压强度折减系数；

γ_t —— 温度作用下混凝土抗拉强度折减系数；

γ_s —— 温度作用下钢筋强度折减系数。

五、几何参数

- b ——角钢锚筋的肢宽;
- b_1 ——抗剪钢板宽度;
- b_w ——焊缝宽度;
- c ——垂直剪力方向锚筋中心至构件边缘的距离;
- c_1 ——平行剪力方向锚筋中心至构件边缘的距离;
- d ——锚筋直径;
- e ——偏心距;
- h_w ——焊缝高度;
- l_a ——锚筋锚固长度;
- l_1 ——抗剪钢板长度;
- l_w ——焊缝长度;
- n ——锚筋根数;
- r_1, r_i ——受力最大锚筋和其他 i 锚筋至锚筋总截面重心的距离;
- s ——垂直剪力方向锚筋间距;
- s_1 ——平行剪力方向锚筋间距;
- t ——锚板厚度;
- t_1 ——抗剪钢板厚度;
- x_i, y_i ——锚筋的直角坐标值;
- Z ——外层锚筋中心线之间的距离;
- A ——锚板平面面积;
- A_1 ——抗剪钢板平面面积;
- A_s ——锚筋总截面面积;
- A_{s1} ——单根锚筋截面面积;
- A_{sb} ——弯折锚筋总截面面积;
- A_{sv} ——剪力锥范围内箍筋的截面面积;
- A_{se} ——混凝土矩形剪力锥在构件表面上投影面积的总和;
- θ ——斜拉力与锚板外表面的夹角;
- φ ——角 度。

第一章 设计原则

一、基本原则

预埋件设计需结合工程特点和结构设计需要，合理地选用材料和构造形式，做到技术先进，经济合理，安全适用，便于施工，确保质量。

二、有关规范

进行预埋件设计时，应遵守下列规范的有关规定：

- 《混凝土结构设计规范》
- 《工业与民用建筑结构荷载规范》
- 《工业与民用建筑抗震设计规范》
- 《钢结构设计规范》
- 《钢筋混凝土工程施工及验收规范》
- 《钢结构工程施工及验收规范》

对有侵蚀介质和振动作用的情况，尚应符合专门设计规范的有关要求。

三、预埋件分类

预埋件曾有过其他种名称，如预埋铁、埋设件等，现在按《混凝土结构设计规范》定名为预埋件。

预埋件由两部分组成。一是预埋混凝土中的部分称为锚筋，另一是外露在混凝土构件表面的部分称为锚板。锚板常用钢板，有的情况采用角钢或其他型钢。锚筋常用钢筋，对

于受力较大的预埋件常采用角钢。

按预埋锚筋的材料种类不同，预埋件可分为两大类。采用预埋钢筋的称为钢筋预埋件；采用预埋角钢的称为角钢预埋件。

按预埋件受力性质区分，可有不同受力的预埋件，如受剪预埋件、受拉预埋件、受拉弯剪预埋件等多种。

按设计时锚筋是否通过计算确定的情况来分类，预埋件可分为两类。经过计算确定的称为受力预埋件；按构造确定的称为构造预埋件。

锚筋常用下列几种：

直锚筋——与连接的锚板平面垂直的锚筋，是普遍使用的受力锚筋，与锚板呈T形焊连。

斜锚筋——与连接的锚板平面的夹角小于 90° 的锚筋。

平锚筋——与连接的锚板平面平行的锚筋，常用在牛腿上，预埋件承受水平力的作用。

此外，还有一种U形锚筋。由于焊在锚板上的贴角焊缝在受力时易被撕裂，受力可靠性较差，目前已不作为受力锚筋。但由于制作方便，还常用作构造锚筋。

预埋件的组成，除锚筋、锚板以外，还有两种常用附件：

挡板——或称锚筋末端挡板，过去还常称为小锚板，现为了与锚板相区别，定名为挡板，焊在锚筋末端，用以增强锚筋的锚固。

抗剪钢板——焊在锚板上的钢板，辅助锚筋承受剪力。

还有一种传力件，常与预埋件紧密联系在一起。将它焊在预埋件锚板上，通过它才能连接其他构件和承受外荷载。

第二章 材料选用

第一节 锚板

为了保证受力预埋件锚筋与锚板之间的焊接质量和设计强度，锚板所用的钢板和型钢一般采用 3 号钢，其质量标准应符合《普通碳素钢钢号和一般技术条件》规定，并应保证抗拉强度、伸长率、屈服点和碳、硫、磷的极限含量。

第二节 锚筋

一、锚筋选用

预埋件锚筋可按下列原则选用：

1. 一般采用 I 级或 II 级钢筋；预埋角钢采用 3 号钢，其质量要求与锚板相同。
2. 受力预埋钢筋宜采用直径为 10~25mm 的 II 级钢筋，但不得采用冷加工钢筋。
3. 构造用的锚筋宜采用直径为 6~10mm 的 I 级钢筋。
4. 表面温度高于 100℃ 时，构件所用预埋件应采用 II 级钢筋。

二、锚筋强度设计值

预埋件锚筋的抗拉强度设计值按表 2—1 采用。

三、温度作用下锚筋强度设计值

锚筋在 100~200℃ 温度下，其强度有所降低。温度作用

下锚筋的强度设计值为一般锚筋强度设计值 f ,乘以温度作用下锚筋设计强度的折减系数 γ_r 。 γ_r 值列入表2—2。

锚筋强度设计值 f_y (N/mm²) 表2—1

项次	锚筋种类	符 号	f_y
1	I级热轧钢筋	ϕ	210
2	II级热轧钢筋	Φ	310
3	预埋角钢(3号钢)		210

温度作用下锚筋设计强度折减系数 γ_r 表2—2

温度(℃)	100	150	200
γ_r	1.0	0.9	0.85

第三节 构件混凝土

一、构件混凝土选用

埋置预埋件的构件,其混凝土强度等级不宜低于C15;当锚筋采用II级钢筋和角钢时,混凝土强度等级不宜低于C20。

二、混凝土强度设计值

构件混凝土强度设计值按表2—3采用。

混凝土强度设计值 (N/mm²) 表2—3

项次	强度种类	符号	混凝土强度等级					
			C15	C20	C25	C30	C35	C40
1	轴心抗压	f_c	7.5	10	12.5	15.0	17.5	19.5
2	抗拉	f_t	0.9	1.1	1.3	1.5	1.65	1.8

三、温度作用下混凝土强度设计值

表面温度处于 $60\sim 200^{\circ}\text{C}$ 时,温度作用下混凝土的轴心抗压和抗拉强度设计值分别为混凝土轴心抗压强度设计值 f_c 和抗拉强度设计值 f_t ,乘以温度作用下混凝土强度的折减系数 γ_c 和 γ_t ,其值列于表2—4。

温度作用下混凝土设计强度折减系数 γ_c 和 γ_t 表2—4

温度($^{\circ}\text{C}$)	60	100	150	200
γ_c	0.9	0.85	0.8	0.7
γ_t	0.85	0.75	0.65	0.55

第四节 焊 接 材 料

采用压力埋弧焊时,应采用与主体金属(锚板和锚筋)强度相适应的焊剂。

手工焊接的焊条,应符合《低碳钢及低合金高强度钢焊条》规定。当锚筋与锚板的强度不同时,应按强度低的主体金属选用焊条型号。因锚板一般选用3号钢,不论预埋件锚筋为I级或II级钢筋,一般均选用T422-T425型焊条。这种型号焊条是普通酸性焊条,焊接工艺简单,容易掌握,焊缝成型较好。

第三章 预埋件计算

在本章第一节中，主要指明若干计算原则和以下各节计算方法中需注意的问题，如地震和温度影响等问题。在其他各节中，将根据预埋件的受力性质分别给出常温下静力通用计算公式。与此同时，还给出简化计算方法和计算实例，以便设计者能够较深入掌握和灵活运用计算方法，并节省计算工作量。

第一节 计 算 要 点

一、计算的主要内容

预埋件强度计算的主要内容为计算锚筋的承载力。

二、合理设置传力件

预埋件锚板上常焊接传力件（如传力钢板、钢牛腿等）。传力件的设置应使预埋件锚筋的受力状态与其计算简图一致。

三、受力荷载

进行预埋件承载力计算时，应首先按照《工业与民用建筑结构荷载规范》和其他有关规范计算出荷载效应设计值，即作用于预埋件上的剪力设计值 V 、轴向力设计值 N 和弯矩设计值 M 等。然后再按本章所述进行预埋件强度计算。

四、锚筋的层数

钢筋预埋件中，直锚筋不宜少于 4 根和不宜多于 4 层。超过 4 层时按 4 层计算。受剪预埋件的钢筋锚筋在垂直剪力方向可用 1 层（2 根）。

角钢预埋件常用于柱间支撑与柱的连接节点，其锚筋常用单列。锚筋排数不宜多于 4 层，超过 4 层时，按 4 层计算。

五、锚筋锚固长度和锚固长度影响系数

预埋件锚筋锚固长度可按下列要求设计：

1. 一般情况下，含受拉和受弯作用的预埋件和受纯剪预埋件中，锚筋的锚固长度应符合表 3—1 中的要求。

预埋件锚筋锚固长度¹。

表 3—1

预埋件受力类型	锚筋类型	混凝土强度等级			
		C 15	C 20	C 25	≥C30
含受拉和受弯预埋件	I 级钢筋	40d	30d	25d	20d
	II 级钢筋	—	35d	35d	30d
	角 钢	6.5b	6b		
受剪和受压剪预埋件	钢 筋	15d			
	角 钢	4b			

注：1. d 为钢筋直径， b 为角钢肢宽；

2. 本表适用于配有或大于最小配筋率的钢筋混凝土构件；对于素混凝土构件中的锚筋，应另外增加锚固措施；

3. 对于 I 级钢筋须加末端弯钩，弯钩长度不计在锚固长度之内；

4. 角钢锚筋末端须加焊挡板，挡板每边尺寸应大于相应边角钢肢宽 10mm，挡板厚度比角钢厚度大 1mm；

5. 一个预埋件上的锚筋宜等长设置。

当锚筋锚固长度小于表 5 中 l_a 值时, 对于含受拉和受弯预埋件, 应将其受拉和受弯强度乘锚固长度影响系数 α_s, α_b 为实际锚固长度与 l_a 的比值, 但钢筋锚筋的实际锚固长度不得小于 $20d$ 及 250mm , 角钢锚筋实际锚固长度不得小于 $5b$; 对于受剪和受压剪预埋件, 实际锚固长度不得小于 $10d$ 或 $3b$, 在 $10 \sim 15d$ (指钢筋锚筋) 或 $3 \sim 4b$ (指角钢锚筋) 之间时, 受剪强度应乘 α_s, α_b 在 $0.8 \sim 1.0$ 之间插取。

2. 如构件混凝土局部受拉且沿锚筋可能产生裂缝时, 应将锚筋延伸到混凝土受压区, 在受压区中的锚固长度应符合上述要求。

3. 当构件混凝土在凝固过程中易受扰动 (如滑模施工), 锚筋的锚固长度宜适当增加。

4. 当受力锚筋因条件限制不能满足上列锚固长度要求时, 应采取专门锚固措施, 参见第四章。

六、锚板弯曲变形对受拉锚筋强度的影响

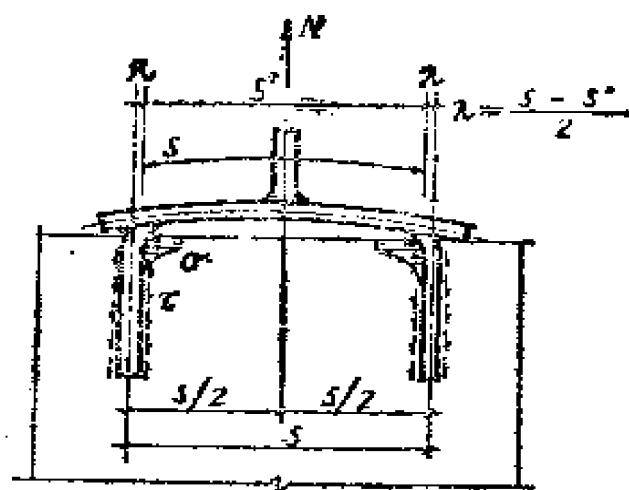


图 3—1 锚板弯曲变形使受拉锚筋呈复合受力状态

预埋件的锚板因受拉力 (含受弯作用引起的拉力)

而产生弯曲变形时, 使锚筋不单独承受拉力, 并还承受因锚板弯曲变形引起的内剪力 (图 3—1), 使锚筋受拉强度有所降低。因此, 在受拉和受弯预埋件中锚筋的承载力应乘锚板弯曲变形折减系数 α_b , α_b 与垂直拉力传力板方向的锚筋间距 s 、锚板厚度 t 和锚筋直径有关。 α_b 按下列情况分别取值:

1. 当 $5 < \frac{s}{t} \leq 8$ 时,

$$\alpha_b = 0.6 + 0.25 \frac{t}{d}。$$

2. 当 $\frac{s}{t} \leq 5$ 时, $\alpha_b = 1.0。$

如锚筋间距内具有拉力传力板的加劲肋或工字钢翼缘的情况, s 值按锚筋间距减去加劲肋板或工字钢翼缘的宽度计算。

3. 角钢预埋件一般为单列设置, 所以 $\alpha_b = 1.0。$

七、关于锚筋层数的影响系数

受剪和受弯预埋件的强度计算公式是根据 2 层锚筋的情况建立的。当锚筋层数增多时, 预埋件的承载力有所降低, 需将锚筋层数的影响系数 α_s 适当调低。当锚筋层数为 2 层时 α_s 取 1.0; 3 层时取 0.9; 4 层时取 0.85。

八、平行剪力方向锚筋边距影响系数 α_c 。

对于受剪预埋件, 平行剪力方向边层 (指底层) 锚筋至构件边缘的距离 c_1 需大于锚筋间距 s_1 , 才能保证边层锚筋和其他层锚筋的受剪强度接近一致。对于配有横向钢筋的构件, 当钢筋锚筋的 $c_1 \geq 12d$ 和角钢锚筋的 $c_1 \geq 7b$ 时, 视边层锚筋与其他层锚筋受剪承载力相等。当 c_1 小于上述数值时, 边层锚筋的受剪承载力应乘边距影响系数 α_c ,

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{c_1}{12d}} \quad (\text{钢筋锚筋})$$

$$\alpha_c = \sqrt{\frac{c_1}{7b}} \quad (\text{角钢锚筋})$$

式中 c_1 ——平行剪力方向边层锚筋至构件边缘的距离;

d —— 钢筋直径,

b —— 角钢肢宽。

但钢筋边层锚筋的 c_1 不得小于 $6d$; 角钢边层锚筋的 c_1 不得小于 $3.5b$ 。

九、构件表面温度较高时的计算要求

当预埋件设置在表面温度为 $60\sim 200^{\circ}\text{C}$ 构件上时, 应按本章第二节至第九节进行承载力计算, 但需按第二章第二、三节考虑温度对锚筋和混凝土设计强度的影响。

十、抗震设计要求

地震对预埋件承载力的影响系数 $\alpha_s=0.8$ 。也可以直接地按常温下预埋件承载力公式进行计算, 然后, 锚筋截面面积取计算结果的1.25倍。

与锚筋截面面积相适应, 可适当增厚锚板。

锚筋锚固长度可同非地震区设计。

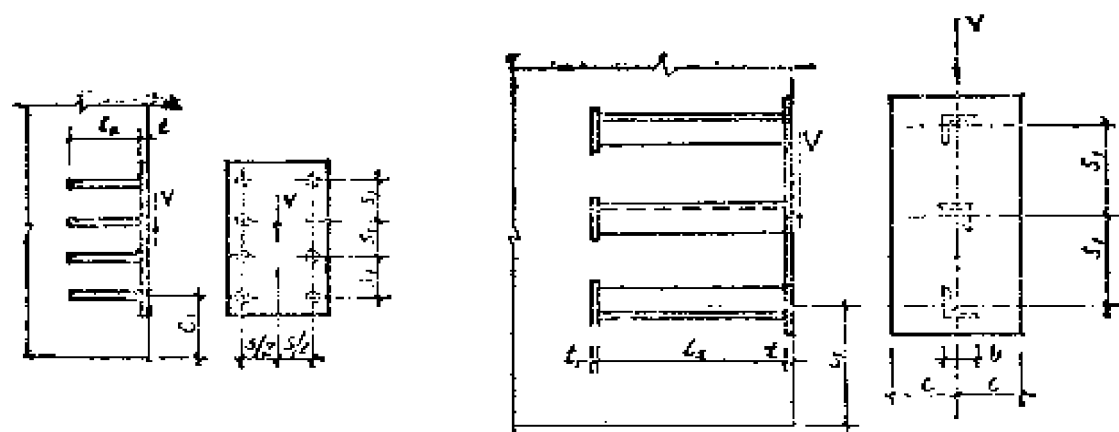
十一、锚板位于浇灌面时受剪锚筋的强度

当锚板位于混凝土构件的浇灌面时, 受剪锚筋的承载力应乘折减系数0.8。

第二节 受剪预埋件

一、采用直锚筋的受剪预埋件

由锚板 and 对称于剪力作用线均匀配置的直锚筋所组成的预埋件 (图 3—2), 其直锚筋的总截面面积 A_s 应按下列公式计算:



(a) 钢筋预埋件

(b) 角钢预埋件

图 3—2 由钢板和角钢组成的受剪预埋件

$$A_s \geq \frac{V}{\alpha_s \alpha_r f_r} \quad (3-1)$$

式中 V —— 剪力设计值；

α_r —— 锚筋层数的影响系数；当 2 层时取 1.0；3 层时取 0.9；4 层时取 0.85；

α_s —— 锚筋的受剪承载力系数，

钢筋为锚筋时 $\alpha_s = 4(1 - 0.02d) \sqrt{\frac{f_c}{f_r}}$ ，角钢为

锚筋时 $\alpha_s = 2.4 \sqrt{\frac{c}{2b}} \sqrt{\frac{f_c}{f_r}}$ ， $\sqrt{\frac{c}{2b}} > 1$ 时取

1.0，两式中 $\alpha_s > 0.7$ 时，取 $\alpha_s = 0.7$ ；

d —— 锚筋直径，mm；

f_c —— 构件混凝土轴心抗压强度设计值；

f_r —— 锚筋强度设计值；

c —— 垂直剪力方向锚筋中心至构件边缘的最小距离，角钢两侧 c 值不等时，按两侧值和之半取值；

b —— 角钢肢宽。

应指出，公式 (3-1) 中 A_s 和 α_s 值均与 d 值有关，需经反复计算才能得到满意的 A_s 值。因此建议采用公式 (3-2) 和附表 2 的方法进行设计，可以简便地选用锚筋

和确定预埋件的受剪承载力。

$$V_{s1} \geq \frac{V}{n} \quad (3-2)$$

式中 V_{s1} ——单根直锚筋的受剪承载力设计值，其值 $V_{s1} = \alpha_v \alpha_v f_v A_{s1}$ ，列于附表 2 中；
 A_{s1} ——单根锚筋的截面积；
 n ——锚筋根数。

二、弯折锚筋和直锚筋并用的受剪预埋件

弯折锚筋和直锚筋并用的受剪预埋件常用于预制构件的端部支承节点（图 3-3）。

弯折锚筋也称为斜锚筋，一般采用搭接焊方法焊在锚板上，弯起角度 φ 常为 $15^\circ \sim 30^\circ$ ，最大不超过 45° 。弯折锚筋必须与直锚筋搭配使用，弯折锚筋的直径不宜大于 18mm。锚筋应对称配置在剪力作用线的两侧。在剪力作用线方向上，弯折锚筋可配置在直锚筋的一侧或两侧。

弯折锚筋的总截面积 A_{s2} 可按下列公式计算：

$$A_{s2} \geq \frac{1.1V - nV_{s1}}{0.8f_v} \quad (3-3)$$

直锚筋的总受剪承载力 nV_{s1} 不宜小于 $0.1V$ 和不宜大于

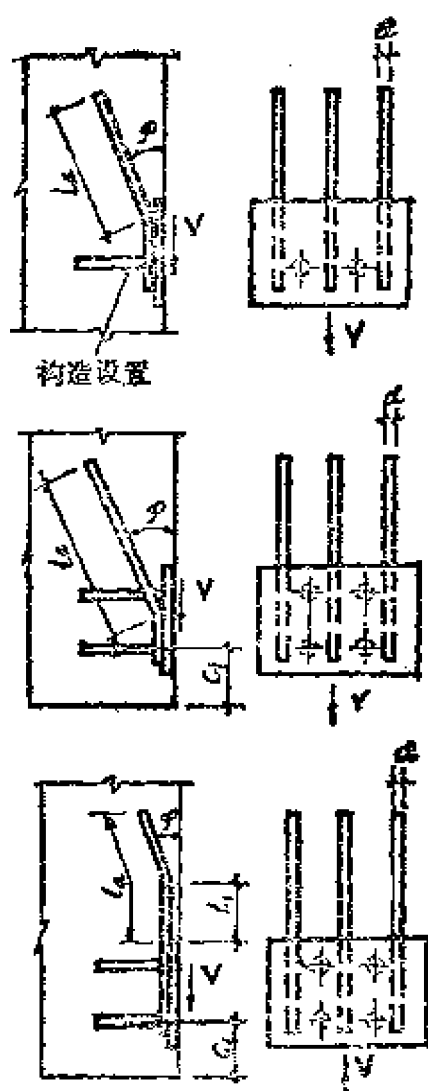


图 3-3 弯折锚筋和直锚筋并用的受剪预埋件

$0.3V$ 。当 $nV_{r1} > 0.3V$ 时, 取 $nV_{r1} = 0.3V$ 。当直锚筋按构造要求设置时, 应取 $A_s = 0$ 。

直锚筋上作用有轴向压力设计值 N 时, 可从剪力设计值 V 中减去 $0.3N$; 若预埋件位于构件浇灌混凝土的上表面时, 应取 $N = 0$ 。

弯折锚筋的锚固长度应按受拉锚筋确定。

三、直锚筋和抗剪钢板并用的受剪预埋件

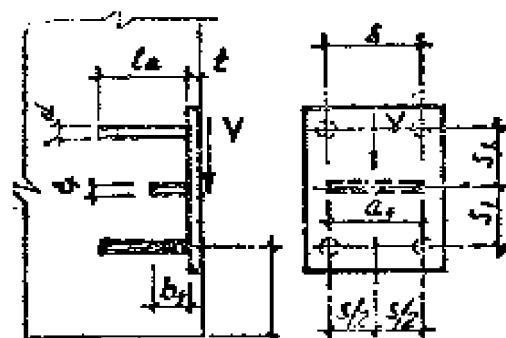


图 3—4 直锚筋和抗剪钢板并用的受剪预埋件

直锚筋和抗剪钢板并用的受剪预埋件 (图 3—4) 中抗剪钢板在混凝土中的承压面积 A_t 按下列公式确定:

$$A_t \geq \frac{V - nV_{r1}}{0.7f_c} \quad (3-4)$$

非地震设计时, 应符合 $0.7f_c A_t \leq 0.3V$; 地震设计时, 考虑到本章第一节 nV_{r1} 因锚筋截面面积需增大 1.25 倍而相应增大, 因此, 应符合 $0.56f_c A_t \leq 0.3V$ 。 $A_t = b_f L_f$, b_f 为抗剪钢板的宽度, L_f 为抗剪钢板的长度 (图 3—4)。 f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值。

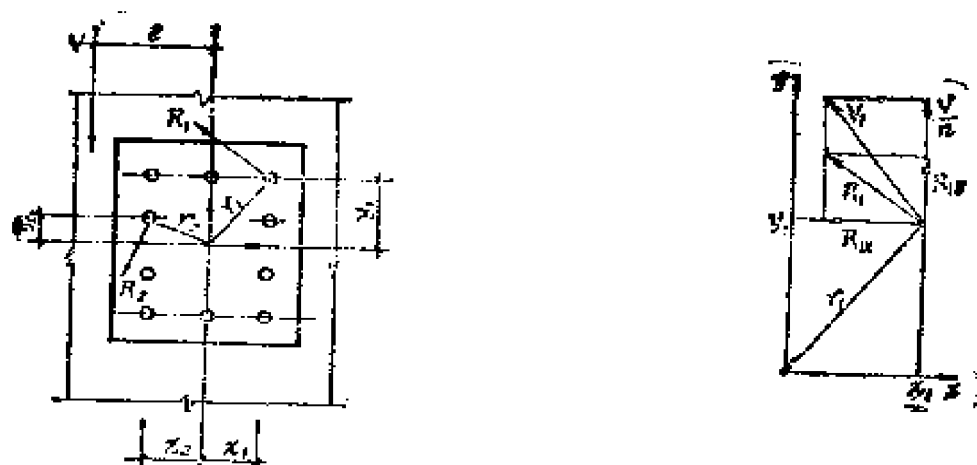
b_f 不应大于 $4t_f$ 和 50mm。抗剪钢板厚度 t_f 不应小于 6mm。

抗剪钢板宜采用在受剪、受压剪和受压剪弯预埋件中。受压剪和受压剪弯预埋件计算载于本章第九节中。

V 为剪力设计值; n 为直锚筋的根数; $V_{r1} = a_s a_r f_r A_{s1}$, 其值列于附表 2 中。

第三节 受剪扭预埋件

直锚筋总截面重心与锚板外表面平面内剪力作用线不重合的预埋件称为受剪扭预埋件 (图 3—5)。



(a) 计算简图

(b) 受力最大锚筋的剪力

图 8-5 受剪扭预埋件

直锚筋均匀配置的受剪扭预埋件，其直锚筋的受剪承载力应按下列公式计算：

$$V_{s1} \geq V_1 \quad (3-5)$$

$$V_1 = \sqrt{R_{1x}^2 + \left(R_{1y} + \frac{V}{n}\right)^2}$$

$$R_{1x} = \frac{Vey_1}{\sum r_i^2} = \frac{Vey_1}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}$$

$$R_{1y} = \frac{Vex_1}{\sum r_i^2} = \frac{Vex_1}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}$$

式中 V_1 ——在设计剪力 V 和扭矩 Ve 的共同作用下，受力最大锚筋的剪力；

V_{s1} ——单根直锚筋的抗剪强度，由附表 2 中按 1 层锚筋栏查出；

e ——锚筋总截面重心至剪力作用线的垂距；

R_{1x} 、 R_{1y} ——受力最大锚筋由于扭矩 Ve 的作用在以锚筋总截面重心为原点的直角坐标轴上的剪力分力；

r_i ——任意 i 锚筋至锚筋总截面重心的距离；

r_1 ——受力最大锚筋至锚筋总截面重心的距离，即 r_i 的最大值；

x_i, y_i ——相应于 r_i 的直角坐标值。

第四节 轴心受拉预埋件

由锚板和对称于法向拉力作用线均匀配置的直锚筋所组成的预埋件（图 3—6），其直锚筋的总截面面积 A_s 应按下列公式计算：

$$A_s \geq \frac{N}{0.8\alpha_b f_y} \quad (3-6)$$

式中 N ——法向拉力设计值；

f_y ——锚筋的抗拉强度设计值；

α_b ——锚板弯曲变形的折减系数，

$$\alpha_b = 0.6 + 0.25 \frac{t}{d}$$

其中 t ——锚板厚度，

d ——锚筋直径。

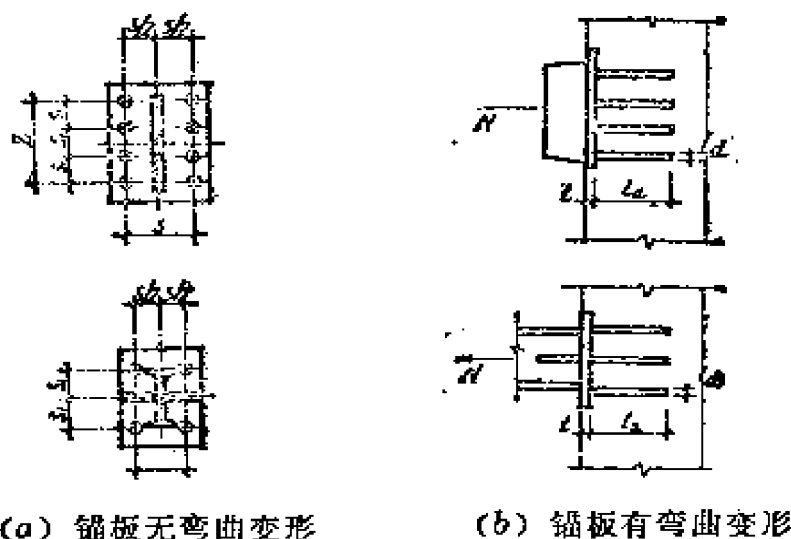


图 3—6 受拉预埋件

当垂直受拉传力板方向的锚筋间距或此间距减去受拉传力板的加劲板（或工字钢翼缘板）宽度的差值不大于 5 倍锚板厚度、或采取其他措施防止锚板弯曲变形，以及单列设置

角钢锚筋等情况，则取 $\alpha_l = 1.0$ （参见本章第一节第六项）。

对于末端焊挡板的受拉锚筋，如角钢锚筋末端均带挡板，尚应按本章第八节进行抗拔力验算。

第五节 偏心受拉预埋件

偏心受拉预埋件亦称为受拉弯预埋件（图 3—7），对称于拉力和弯矩作用平面均匀配置的直锚筋的总截面面积按下列公式计算：

$$A_s \geq \frac{N}{0.8\alpha_b f_y} \left(1 + \frac{2e}{\alpha_s Z} \right) \quad (3-7)$$

式中 N ——法向拉力设计值；

α_b ——锚板弯曲变形的折减系数，按本章第四节取值；

f_y ——锚筋强度设计值；

e —— N 对全部锚筋截面重心的偏心距；

Z ——外层锚筋中心线之间的距离；

α_s ——锚筋层数对力臂高度的折减系数，其值与抗剪锚筋层数的影响系数相同，2层时取1.0；3层时取0.9；4层时取0.85。

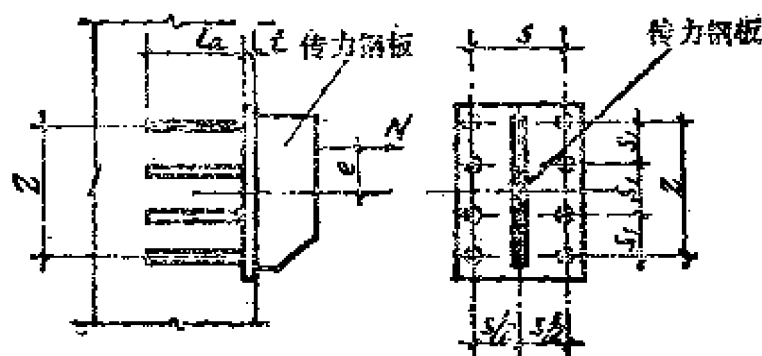


图 3—7 偏心受拉预埋件

对于拉力和弯矩作用下末端焊挡板的受拉锚筋，如角钢

锚筋均带挡板，尚应按本章第八节进行抗拔力验算。

第六节 受中心拉剪预埋件

受中心拉剪预埋件亦称为受斜拉预埋件（图 3—8），对称于拉力和剪力作用平面均匀配置的直锚筋的总截面面积 A ，按下列公式计算：

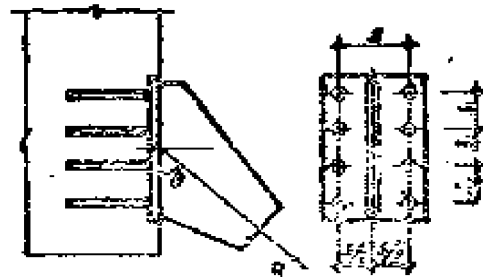


图 3—8 受拉剪预埋件

$$A_s \geq R \left(\frac{\cos \theta}{\alpha_s \alpha_s f_s} + \frac{\sin \theta}{0.8 \alpha_b f_s} \right) \quad (3-8)$$

式中 R ——斜拉力设计值，或为拉力设计值 N 和剪力设计值 V 的合力；

θ ——斜拉力设计值 R 与锚板外表面的夹角。

其他符号同前。

公式（3—8）还可以改用下列公式配合书后的附表进行计算：

$$V_{s1} \geq \left(\cos \theta + 1.25 \alpha_s \frac{\alpha_s}{\alpha_b} \sin \theta \right) \frac{R}{n} \quad (3-9)$$

式中 V_{s1} ——单根直锚筋的抗剪强度，其值 $V_{s1} = \alpha_s \alpha_s f_s \times A_{s1}$ 列于附表 2 中；

$\frac{\alpha_s}{\alpha_b}$ ——比值，对常用预埋件列于附表 3 中；

n ——锚筋的根数。

对于末端焊挡板受拉锚筋，如角钢锚筋末端均带挡板，尚应按本章第八节进行抗拔力验算。

第七节 受剪弯和受拉剪弯预埋件

受剪弯和受拉剪弯预埋件可以直接采用预埋件统一承载力公式进行计算,对无拉力作用的剪弯预埋件,取 $N=0$ 。应着重指出的是,只要熟练地掌握了预埋件统一承载力公式以及拉力、剪力和弯矩的各种复合作用下的特点,则上述各节承载力计算都可迎刃而解了。

由锚板和对称于拉力、剪力、弯矩复合作用平面配置的直锚筋所组成的预埋件(图3—9),其强度计算公式如下:

1. 符合条件

$$\frac{M}{VZ} < \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_v}{\alpha_b}}$$

时,预埋件由受拉剪弯承载力控制,其直锚筋的总截面面积 A_s 应按下列公式计算:

$$A_s \geq \frac{V}{\alpha_s \alpha_v f_r} + \frac{N}{0.8 \alpha_b f_r} + \frac{M}{1.3 \alpha_s \alpha_b f_r Z} \quad (3-10)$$

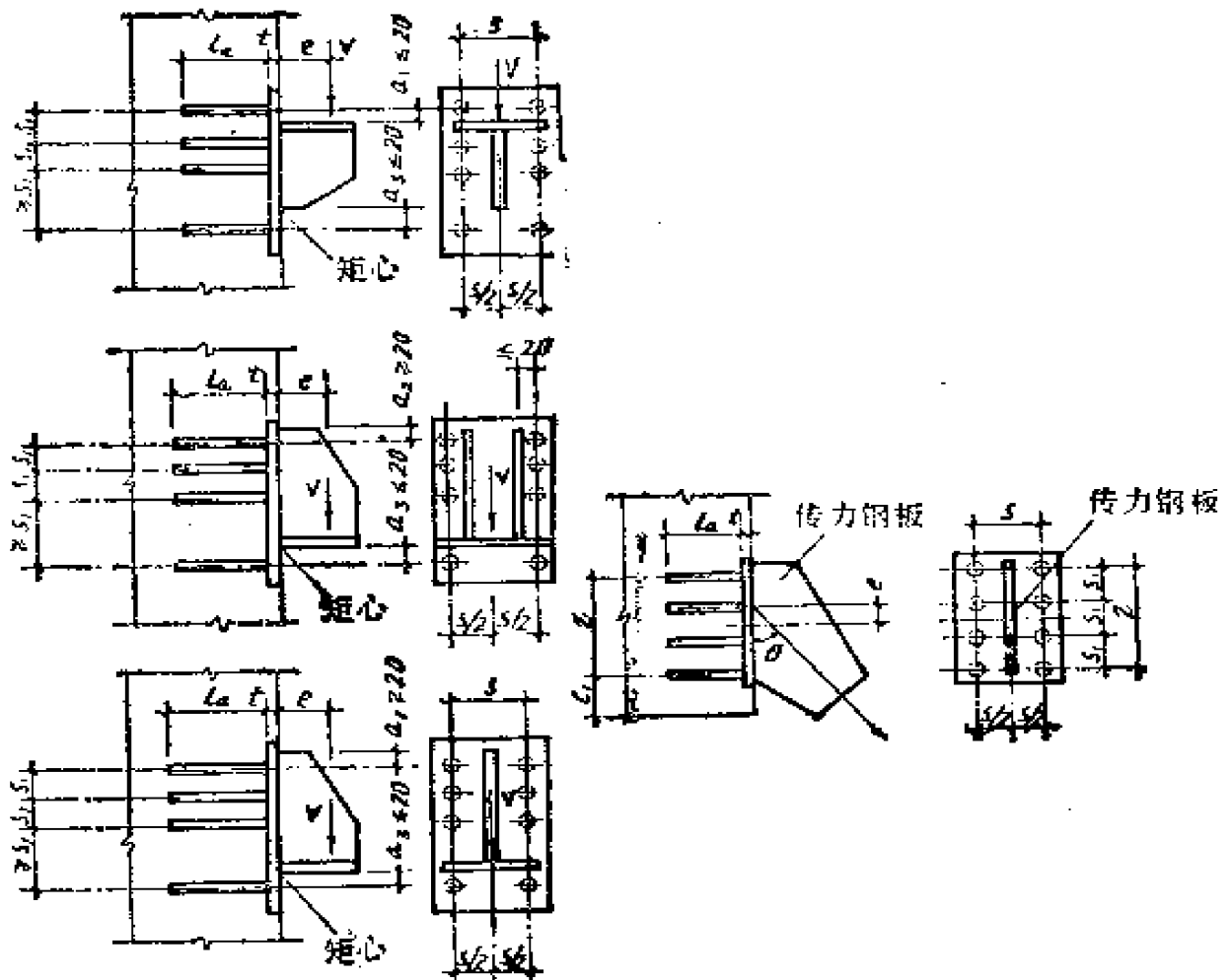
公式(3—10)还可以改用下列公式配合书后的附表进行计算:

$$V_{s1} \geq \frac{V}{n} + 1.25 \alpha_s \frac{\alpha_v N}{\alpha_b n} + 0.75 \frac{\alpha_v M}{\alpha_b Z n} \quad (3-11)$$

2. 符合条件

$$\frac{M}{VZ} \geq \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_v}{\alpha_b}}$$

时,预埋件由受拉弯承载力控制,其直锚筋的总截面面积 A_s 应按下列公式计算:



(a) 受剪弯预埋件

(b) 受拉剪弯预埋件

图 3-9 受剪弯和受拉剪弯预埋件

$$A_s \geq \frac{N}{0.8\alpha_s f_s} + \frac{M}{0.4\alpha_s \alpha_b f_s Z} \quad (3-12)$$

式中 M —— 弯矩设计值;

V —— 剪力设计值;

N —— 法向拉力设计值;

α_s —— 锚筋层数的影响系数: 2 层时取 1.0; 3 层时取 0.9; 4 层时取 0.85;

α_b —— 锚筋的受剪承载力系数, 按本章第二节取值;

α_c —— 锚板弯曲变形的折减系数, 按本章第四节取值;

f_t ——锚筋的强度设计值；

Z ——外层锚筋之间的距离；

V_{c1} ——单根直锚筋的受剪承载力，其值为 $V_{c1} = \alpha_c \alpha_s f_t \times A_{s1}$ 列于附表 2 中；

$\frac{\alpha_s}{\alpha_b}$ ——比值，对常用预埋件列于附表 3 中；

A_{s1} ——单根锚筋的截面面积。

应指出，对于具有受弯性质的预埋件，常把锚筋密集于受拉区布置，锚筋呈不均匀的布置的情况。此时，还应按上列公式进行计算，并应注意密集的锚筋的间距应符合构造措施的要求。

传力件上下边缘与外层锚筋的相对位置应根据所选用的 T 形、双 T 形或倒 T 形钢牛腿的形式分别按图 3—9(a) 考虑确定。

对于末端焊挡板受拉锚筋，例如角钢锚筋末端均带挡板，尚应按本章第八节验算其抗拔力。

对于受弯剪且受扭的预埋件，只需将公式 (5) 中 V 值取代上列公式中的 V/n 值，就可以计算了。

第八节 末端焊挡板受拉锚筋的 抗拔力验算

轴心受拉、偏心受拉（受拉弯）、受拉剪和受拉弯剪的预埋件中，末端焊挡板受拉锚筋的承载力不仅取决于锚筋的抗拉强度，而且还应取决于由混凝土剪力锥的抗拉强度和挡板对混凝土的局部挤压强度确定的抗拔力。因此，按本章各节对上述各种预埋件确定的末端焊挡板的受拉锚筋（主要是受拉角钢锚筋）尚应按下列公式验算其抗拔力：

$$N + \frac{M}{\alpha_s Z} \leq 0.6 f_t A_{s1} \quad (3-13)$$

式中 N ——预埋件承受的轴心拉力设计值；
 M ——预埋件承受的弯矩设计值；
 α_s ——锚筋层数的影响系数：2层时取1.0；3层时取0.9；4层时取0.85；
 Z ——外层锚筋之间的距离；
 f_t ——混凝土抗拉强度设计值；
 $A_{s,p}$ ——预埋件全部锚筋的混凝土剪力锥在构件表面上投影面积的总和。

锚筋的混凝土剪力锥，如冲切计算一样，假定为矩形锥。剪力锥有完整矩形锥和局部矩形锥的区分。锥顶为挡板尺寸，锥高为锚筋的锚固长度加锚板厚度，锥斜面按与锚筋夹角 45° 延至构件表面的锥体称为完整剪力锥，如图3—10(a)。当完整剪力锥互交和受到构件边缘限制而形成的锥体称为局部剪力锥，如图3—10(b)。一般情况， $A_{s,p}$ 相当于局部矩形剪力锥的投影面积的总和。

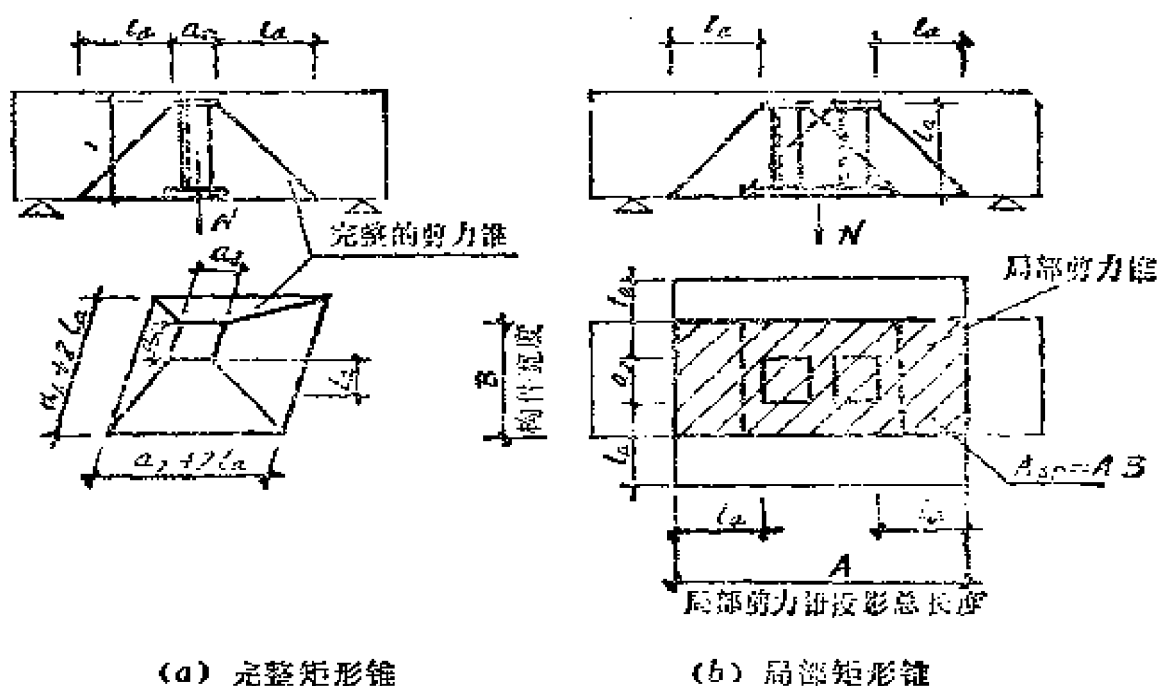


图3—10 混凝土剪力锥

当验算不能满足公式 (3—13) 的要求时, 说明预埋件的承载能力由锚筋的抗拔力控制, 应据此调低 N 和 M 值。如为了适应 N 和 M 的外载的需要而提高锚筋的抗拔力时, 可按下列方法考虑:

1. 根据具体情况和构造措施要求, 提高混凝土强度等级、增大锚筋间距或加长锚筋的锚固长度, 以增大混凝土剪力锥的抗拔力;

2. 按下列公式验算或增大剪力锥范围内配置箍筋的强度:

$$N + \frac{M}{a_c Z} \leq A_{sv} f_{sv}$$

式中 f_{sv} ——箍筋的强度设计值;

A_{sv} ——剪力锥范围内箍筋的截面面积。

第九节 受压剪弯预埋件

一、采用直锚筋的受压剪弯预埋件

由锚板 and 对称于法向压力、剪力、弯矩复合作用平面均匀配置的直锚筋所组成的受压剪弯预埋件 (图 3—11), 其承载力计算公式如下:

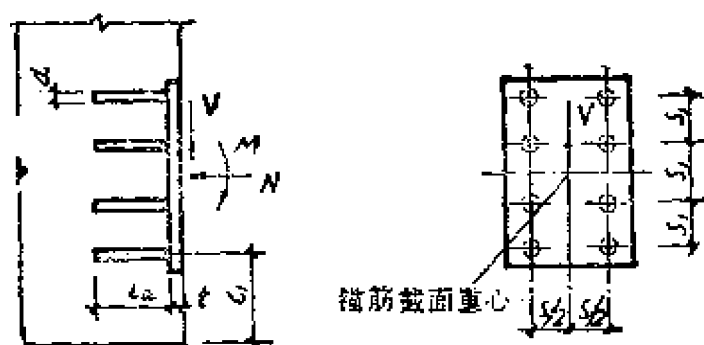


图 3—11 受压剪弯预埋件

1. 符合条件

$$\frac{M-0.4NZ}{(V-0.3N)Z} < \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_r}{\alpha_b}}$$

时, 预埋件由受压剪弯承载力控制, 其直锚筋的总截面面积 A_s 应按下列公式计算:

$$A_s \geq \frac{V-0.3N}{\alpha_r \alpha_b f_r} + \frac{M-0.4NZ}{1.3 \alpha_r \alpha_b f_r Z} \quad (3-14)$$

公式 (3-14) 还可以改用下列公式配合书后的附表进行计算:

$$V_{s1} \geq \frac{V-0.3N}{n} + \frac{0.75 \alpha_r (M-0.4NZ)}{\alpha_b Z n} \quad (3-15)$$

公式 (3-14) 和 (3-15) 中, 如 $M < 0.4NZ$ 时, 取 $M-0.4NZ=0$; 应符合 $N \leq 0.5f_c A$ (f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值, A 为锚板面积)。

2. 符合条件

$$\frac{M-0.4NZ}{(V-0.3N)Z} \geq \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_r}{\alpha_b}}$$

时, 预埋件由受压弯承载力控制, 其直锚筋的总截面面积 A_s 应按下列公式计算:

$$A_s \geq \frac{M-0.4NZ}{0.4 \alpha_r \alpha_b f_r Z} \quad (3-16)$$

公式 (3-16) 中, 如 $M < 0.4NZ$ 时, 取 $M-0.4NZ=0$; 应符合 $N \leq 0.5f_c A$ 。

上列公式中 N 为法向压力设计值, 取正值, 其他符号同前。

二、直锚筋和抗剪钢板并用的受压剪弯预埋件

直锚筋和抗剪钢板并用的受压剪弯预埋件(图 3-12),

按下列承载力公式进行计算:

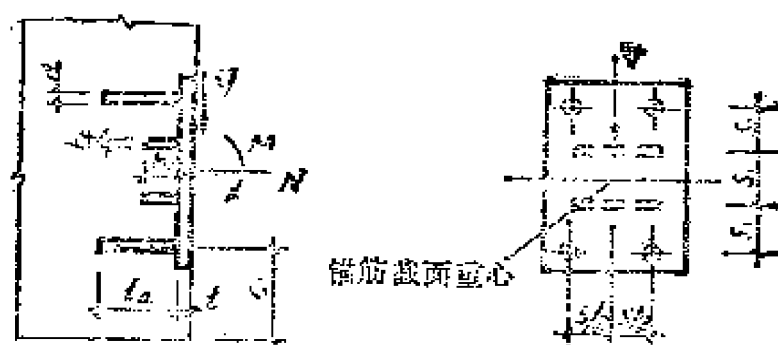


图 3-12 直锚筋和抗剪钢板共用的受压剪弯预埋件

1. 符合条件

$$\frac{M - 0.4NZ}{(V - 0.7f_c A_t - 0.3N)Z} < \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_s}{\alpha_b}}$$

时, 预埋件由受压剪弯承载力控制, 其直锚筋的总截面面积 A_s 应按下列公式计算:

$$A_s \geq \frac{V - 0.7f_c A_t - 0.3N}{\alpha_s \alpha_b f_t} + \frac{M - 0.4NZ}{1.3\alpha_s \alpha_b f_t Z} \quad (3-17)$$

公式 (3-17) 还可以改用下列公式配合书后的附表进行计算,

$$V_{s1} \geq \frac{V - 0.7f_c A_t - 0.3N}{n} + \frac{0.75\alpha_s (M - 0.4NZ)}{\alpha_b Z n} \quad (3-18)$$

2. 符合条件

$$\frac{M - 0.4NZ}{(V - 0.7f_c A_t - 0.3N)Z} \geq \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_s}{\alpha_b}}$$

时, 预埋件由受压弯承载力控制, 其直锚筋的总截面面积 A_s 应按下列公式计算,

$$A_s \geq \frac{M - 0.4NZ}{0.4\alpha_s \alpha_b f_t Z} \quad (3-19)$$

3. 上述计算均应符合下列条件:

(1) 当 $M < 0.4NZ$ 时, 取 $M - 0.4NZ = 0$;

(2) $N \leq 0.5f_c A$;

(3) 非地震设计时, $0.7f_c A_l \leq 0.3(V - 0.3N)$;

地震设计时, $0.56f_c A_l \leq 0.3(V - 0.3N)$, 直锚筋的截面面积比非地震设计时增大1.25倍。

符号同前及参见本章第二节第三项。

第四章 预埋件构造和施工制作

预埋件的构造应根据其受力性能和施工条件确定，力求构造简单、传力直接、易于施工和保证质量。

预埋件的制作和施工应符合设计要求。预埋件锚筋与锚板之间的焊接是受力关键部位和薄弱环节，制作时应予充分重视，严格检验制度，保证焊接质量。

第一节 预埋件位置

1. 预埋件锚筋不得与构件中主筋相碰，应放在构件最外层主筋的内侧（图 4—1）。

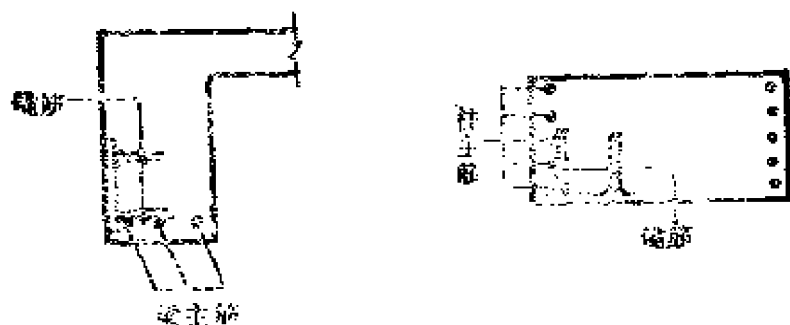


图 4—1 预埋件锚筋的位置

2. 对于设置在构件无配筋部分的悬浮式预埋件，应在构件素混凝土中增配局部构造锚筋，从受力强度方面保证预埋件成为构件整体的一部分，使其正常发挥作用。

第二节 锚板构造

1. 锚板厚度和锚筋至锚板边缘的距离应符合表 4—1

中的要求。

锚板厚度和锚筋至锚板边缘的距离 表 4—1

项 目		锚筋种类	
		钢筋锚筋	角钢锚筋
锚板厚度 t	受拉和受弯预埋件	$\geq \frac{s}{8}, \geq 0.6d$ 及 6 mm	$\geq \frac{b}{8}$ 及
	其他受力预埋件	$\geq 0.6d$ 及 6 mm	$1.4t_1$
	和锚筋搭接焊时	$\geq 0.3d$ 及 6 mm	—
锚筋中心至锚板边缘的距离(a)		$\geq 2d$ 及 20 mm	$\geq b$ 及 50 mm

注： d 为钢筋直径； b 为角钢肢宽； t_1 为角钢厚度； s 为垂直拉力传力板方向的锚筋间距。

2. 预埋件位于构件混凝土浇灌面且锚板短边尺寸大于200mm时，宜在锚板上预穿直径不小于25mm的排气孔，以保证混凝土浇灌密实。

3. 为保证预埋件在构件中的准确位置，可在锚板的4角各钻一小孔（孔径约4mm），以便用钉子将预埋件固定在模板上。

4. 锚板及外焊传力件等外露部分应在除锈后涂油漆防护。

5. 锚板尺寸宜采用负公差，便于放入模板内。

第三节 锚筋间距和至构件边缘距离

1. 预埋件锚筋间距和锚筋至构件边缘的距离（图4—2）应符合表4—2中的要求。

2. 当平行剪力方向锚筋至构件边缘的距离小于表4—2中要求时，宜按下列方法处理：

（1）按第三章第一节第八项在计算中考虑边距影响系

数 α_s ，对边层锚筋的受剪承载力予以折减。

(2) 如果不考虑边层锚筋受剪承载力的折减时，可按图4—3设置2根附加构造钢筋把边层锚筋锚固在构件的深部。

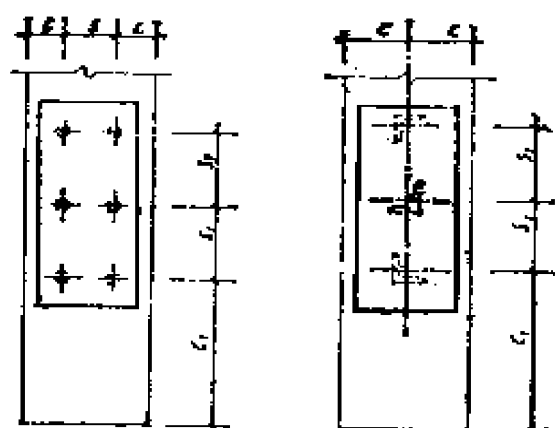


图4—2 锚筋间距和锚筋至构件边缘距离示意图

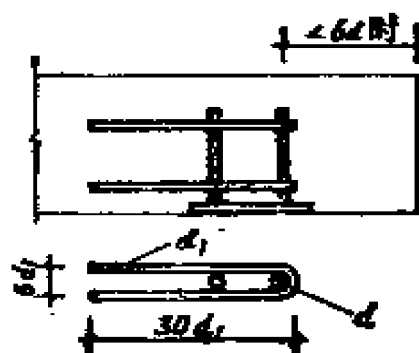


图4—3 锚拉边排锚筋的附加构造钢筋

锚筋间距和锚筋至构件边缘的距离 表4—2

项 目		锚筋种类	
		钢筋锚筋	角钢锚筋
锚筋间距	平行剪力方向 s_1	$\geq 6d$ 及 $\geq 70\text{ mm}$	$\geq 2.5b$ 及 $\geq 120\text{ mm}$
	垂直剪力方向 s	$\geq 3d$ 及 $\geq 45\text{ mm}$	—
	受拉、受弯预埋件 s, s_1	$\geq 3d$ 及 $\geq 45\text{ mm}$	$\geq 2b$
锚筋中心至构件边缘的距离	平行剪力方向 c_1	$\geq 12d$ 及 $\geq 140\text{ mm}$	$\geq 7b$
	垂直剪力方向 c	$\geq 3d$ 及 $\geq 45\text{ mm}$	$\geq 1.5b$
	受拉、受弯预埋件 c, c_1	$\geq 3d$ 及 $\geq 45\text{ mm}$	$\geq 1.5b$

注：1. 锚筋间距不宜超过300 mm；
2. d 为钢筋直径， b 为角钢肢宽，其他符号见图4—2。

(3) C_1 值不宜小于 $6d$ (对于钢筋锚筋)，和小于 $3.5b$ (对于角钢锚筋)。

3. 预埋件锚筋宜对称于力作用线均匀配置。受弯预埋件中部分锚筋可向受拉区适当集中，但锚筋间距不得小于表4—2中的要求。

各种受力预埋件的直锚筋宜等长配置。

第四节 焊 接

1. 预埋件受力直锚筋与锚板的焊接应采用T形焊，不得采用弯成 90° 角的U形、L形锚筋与锚板搭接焊（图4—4）。因为其弯折点的焊缝应力集中，导致焊缝撕裂和预埋件受力失效。

2. 采用弯折锚筋的预埋件，弯折锚筋的弯折角度不应大于 45° ，其弯折点应避开焊缝，至焊缝端点的距离不宜小于 $2d$ 和 30mm （图4—5）。

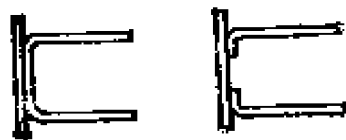


图4—4 受力不好的
U形锚筋构造

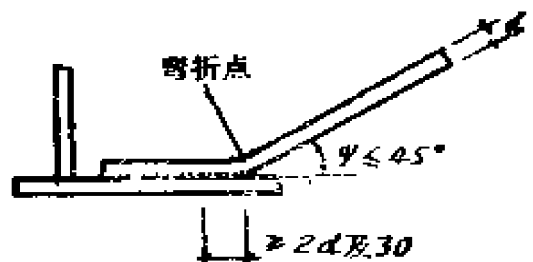


图4—5 弯折锚筋和
锚板搭接焊

3. 直锚筋和锚板T形焊的焊接方法应根据锚筋直径大小确定。锚筋直径不大于 20mm 时，宜优先采用压力埋弧焊；锚筋直径大于 20mm 时，宜采用穿孔塞焊（图4—6）。

4. 当直锚筋和锚板的T形焊采用手工焊时，焊缝高度不宜小于 6mm 及 $0.5d$ （Ⅰ级钢筋）或 $0.6d$ （Ⅱ级钢筋）（图4—7）。

5. 锚筋和锚板采用两条焊缝的搭接电弧焊时，应符合下列要求（图4—8）：

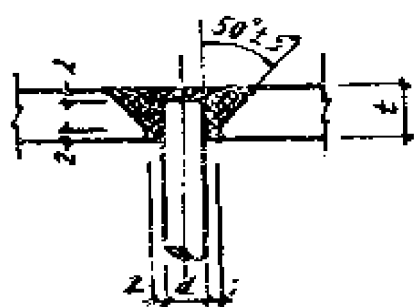


图 4—6 直锚筋和锚板穿孔塞焊

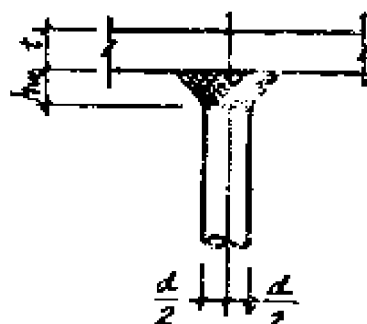


图 4—7 直锚筋和锚板T形焊

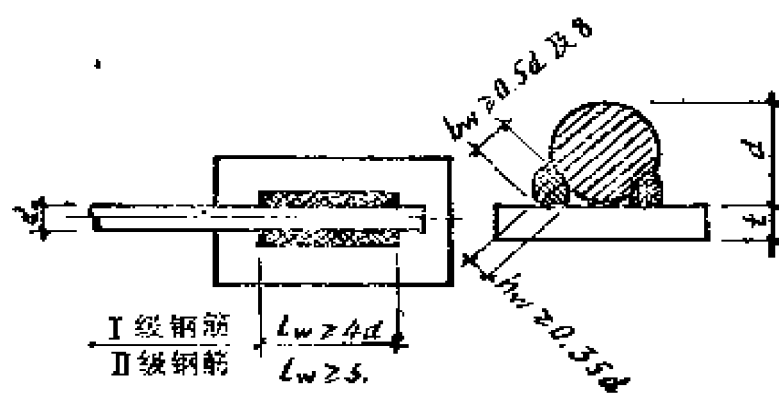


图 4—8 锚筋和锚板搭接焊

(1) 焊缝宽度 $b_w \geq 0.5d$ ，且不小于 8 mm；

(2) 焊缝高度 $h_w \geq$

$0.35d$ ，且不小于 6 mm；

(3) 焊缝长度 $L_w \geq 4d$

(I 级钢筋)；

$$L_w \geq 5d$$

(II 级钢筋)。

6. 抗剪钢板和锚板采用双面贴角焊时，焊缝高度 $h_w \geq 0.5t_t$ ， t_t 为抗剪钢板厚度（图 4—9）。

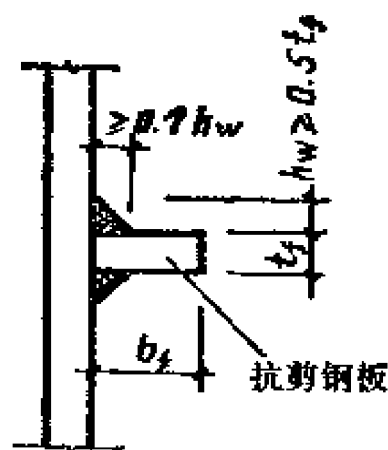


图 4—9 抗剪钢板和锚板焊接

7. 角钢锚筋与锚板连接应采用双面贴角焊，焊缝高度 h_t 根据角钢肢厚 t_1 确定：

(1) 当 $t_1 \leq 6$ mm 时， $h_t = t_1$ ；

(2) 当 $t_1 > 6 \text{ mm}$ 时, $h_t = t_1 - (1 \sim 2) \text{ mm}$ 。

8. 进行预埋件焊接时, 应确定合理的施焊程序, 防止或减少锚板变形。

9. 在预埋构件中预埋件上施焊 (如焊接钢牛腿) 时, 应采用细焊条和小电流多次施焊, 避免温度过高烧伤构件混凝土。

第五节 锚固措施

1. 因构件尺寸限制, 预埋件受拉锚筋的锚固长度不符合第三章第一节第五项要求且不考虑受拉承载力折减时, 可按图 4—10 构造措施处理。

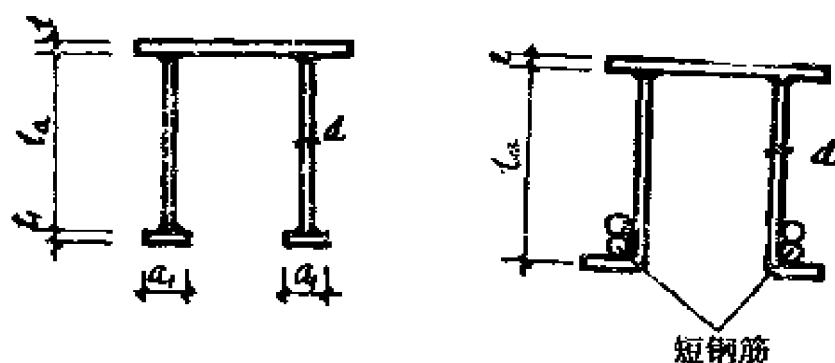


图 4—10 受拉锚筋附加锚固措施

2. 非预应力受拉构件中预埋件的受拉锚筋应延伸至构件对面受拉纵筋的外面, 并在锚筋末端增焊锚固板, 如图 4—11 所示。

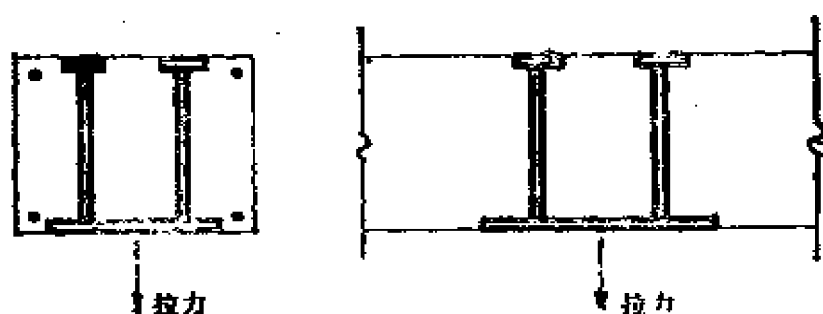


图 4—11 受拉构件中受拉锚筋锚固

3. 非预应力受弯构件受拉区中的预埋件受拉锚筋应延伸至受压区。锚筋在受压区的锚固长度不足时，应加焊短钢筋增强锚固，如图4—12所示。

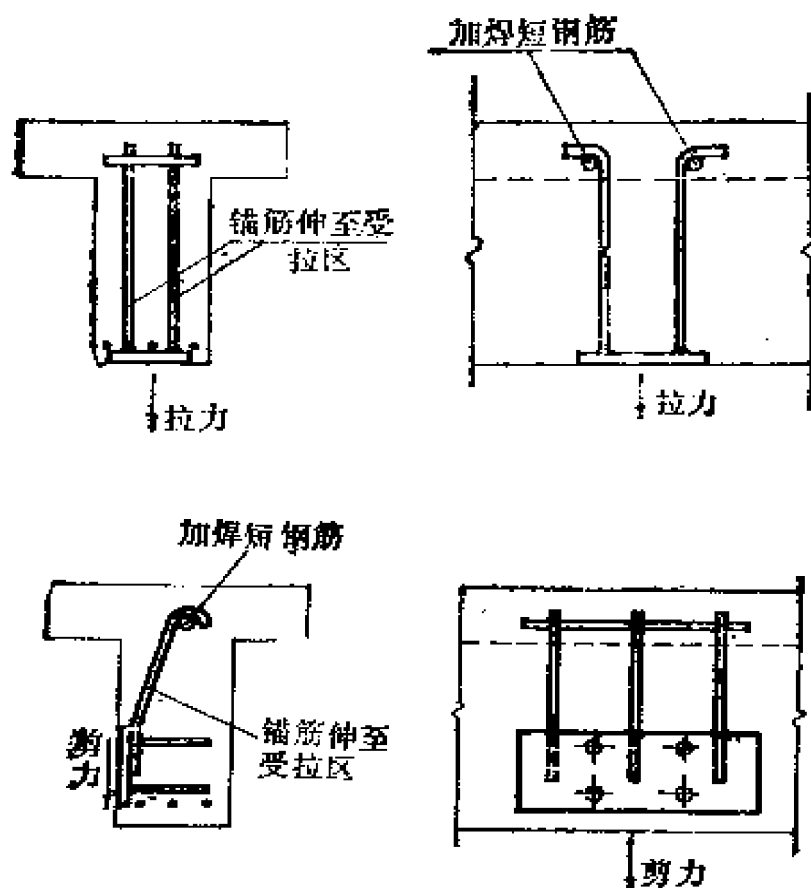


图4—12 受弯构件中锚筋的锚固

第六节 若干抗震措施

1. 8度和9度地震区中，大型屋面板端部底面预埋件宜采用角钢做锚板并与主筋焊连。
2. 牛腿上抗剪预埋件宜采用水平锚筋和直锚筋共同抗剪。
3. 设有柱间支撑的柱顶预埋件宜设置抗剪钢板。

常用预埋件承载力计算公式汇总表 附表 1

锚筋受力种类	承载力计算公式
直锚筋受剪	$V_{s1} \geq \frac{V}{n}$ <p>V_{s1} 为单根直锚筋受剪承载力, 常用值查附表 2; V 为剪力设计值, n 为锚筋根数</p>
弯折锚筋和直锚筋共同受剪	$A_{s1} \geq \frac{1.1V - nV_{s1}}{0.8f_y}$ <p>应符合 $0.3V \geq nV_{s1} \geq 0.1V$, f_y 为锚筋强度设计值</p>
直锚筋和抗剪钢板共同受剪	$A_f \geq \frac{V - nV_{s1}}{0.7f_c}$ <p>应符合 $0.7f_c A_f \leq 0.3V$ (非地震设计), $0.58f_c A_f \leq 0.3V$ (地震设计), $b_f \leq 4t_f$, $t_f \geq 6\text{mm}$, b_f 为抗剪钢板宽度, t_f 为抗剪钢板厚度, f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值</p>
直锚筋受剪扭	$V_{s1} \geq V, \quad V_{s1} = \sqrt{R_{s1}^2 + \left(R_{t1} + \frac{V}{n}\right)^2}$ $R_{s1} = \frac{Vey_1}{\sum(x_i^2 + y_i^2)}, \quad R_{t1} = \frac{Vex_1}{\sum(x_i^2 + y_i^2)}$ <p>e 为剪力偏心距, x_i, y_i 为锚筋所在直角坐标值</p>
直锚筋轴心受拉	$A_s \geq \frac{N}{0.8\alpha_b f_t}$ <p>N 为法向拉力设计值; A_s 为锚筋总截面面积; α_b 为锚板弯曲变形的折减系数, $\alpha_b = 0.6 + 0.25 \frac{t}{d}$ 当 $s \leq 4t$ 或单列设置角钢锚筋时, $\alpha_b = 1.0$, t 为锚板厚度, d 为锚筋直径, s 为垂直受拉传力板方向的锚筋间距或为此间距减去受拉传力板加劲板宽度的差值。</p>

锚筋受力种类	承载力计算公式
直锚筋偏心受拉	$A_s \geq \frac{N}{0.8\alpha_s f_y} \left(1 + \frac{2e}{\alpha_s Z}\right)$ <p>e为偏心距, Z为外排锚筋之间距离; α_s为锚筋层数的影响系数: 2层时取1.0; 3层时取0.9; 4层时取0.85</p>
直锚筋受中心拉剪	$V_{st} \geq (\cos\theta + 1.25\alpha_s \frac{\alpha_v}{\alpha_b} \sin\theta) \frac{R}{n}$ <p>R为斜拉力, θ为R与锚板表面夹角; $\frac{\alpha_v}{\alpha_b}$为比值, 常用值查附表 8</p>
直锚筋受剪弯和受拉剪弯	<p>1. 当 $\frac{M}{VZ} < \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_v}{\alpha_b}}$ 时,</p> $A_s \geq \frac{V}{\alpha_s \alpha_b f_y} + \frac{N}{0.8\alpha_b f_y} + \frac{M}{1.3\alpha_s \alpha_b f_y Z}$ <p>或 $V_{st} \geq \frac{V}{n} + 1.25\alpha_s \frac{\alpha_v N}{\alpha_b n} + 0.75 \frac{\alpha_v M}{\alpha_b Z n}$</p> <p>2. 当 $\frac{M}{VZ} \geq \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_v}{\alpha_b}}$ 时,</p> $A_s \geq \frac{N}{0.8\alpha_b f_y} + \frac{M}{0.4\alpha_s \alpha_b f_y Z}$ <p>M为设计弯矩设计值, α_s为锚筋的受剪承载力系数, 按第三章第二节取值和查附表 8</p>
末端焊挡板受拉锚筋的抗拔强度验算	$N + \frac{M}{\sigma_r f} \leq 0.6 f_c A_{sp}$ <p>f_c为混凝土抗拉强度设计值, A_{sp}为全部锚筋混凝土剪力矩形堆在构件表面上投影面积的总和</p>

续上表

锚筋受力种类	强度计算公式
直锚筋受压剪弯	<p>1. 当 $\frac{M - 0.4NZ}{(V - 0.3N)Z} < \frac{1}{1.75 \frac{\sigma_s}{\sigma_b}}$ 时,</p> $A_s \geq \frac{V - 0.3N}{\alpha_s \alpha_b f_s} + \frac{M - 0.4NZ}{1.3 \sigma_s \alpha_b f_s Z}$ <p>或 $V_{s1} \geq \frac{V - 0.3N}{n} + \frac{0.75 \alpha_s (M - 0.4NZ)}{\alpha_b Z n}$</p> <p>2. 当 $\frac{M - 0.4NZ}{(V - 0.3N)Z} \geq \frac{1}{1.75 \frac{\sigma_s}{\sigma_b}}$ 时,</p> $A_s \geq \frac{M - 0.4NZ}{0.4 \alpha_s \alpha_b f_s Z}$ <p>3. 上列计算均应分别符合:</p> <p>$N \leq 0.5 f_c A$ (A—锚板面积);</p> <p>$M < 0.4NZ$ 时, 取 $M - 0.4NZ = 0$</p>
直锚筋和抗剪钢板共同受压剪弯	<p>可直接利用直锚筋受压剪弯承载力计算公式, 但需附加考虑:</p> <p>1. 将 $(V - 0.3N)$ 项用 $(V - 0.7 f_c A_f - 0.3N)$ 取代; 2. 应符合 $0.7 f_c A_f \leq 0.3 (V - 0.3N)$ (非地震设计时) 和 $0.56 f_c A_f \leq 0.3 (V - 0.3N)$ (地震设计时)</p>

- 注: 1. 考虑地震影响设计时, 按本表求得的锚筋截面面积应增大 1.25 倍或在计算中将锚筋承载力乘 0.8 系数。
2. 注意按第三章第一节考虑温度、浇灌面、锚筋锚固长度和平行剪力方向锚筋边距偏小的影响。

单根锚筋受剪承载力 V_{s1} (kN) (I 级钢筋) 附表 2

混凝土强度等级	锚筋层数	锚筋直径 d (mm)							
		10	12	14	16	18	20	22	25
C15	1-2	9.97	13.64	17.59	21.70	25.85	29.92	33.79	38.96
	3	8.98	12.28	15.84	19.63	23.27	26.93	30.41	35.07
	4	8.48	11.60	14.90	18.45	21.98	25.43	28.72	33.12

续上表

混凝土 强度等级	锚筋层数	锚筋直径 d (mm)							
		10	12	14	16	18	20	22	25
C20	1-2	11.52	15.76	20.32	25.06	29.85	34.55	39.02	44.99
	3	10.37	14.18	18.28	22.56	26.87	31.10	35.12	40.49
	4	9.79	13.39	17.27	21.30	25.37	29.37	33.17	38.24
C25	1-2	11.55	16.63	22.63	28.02	33.38	38.63	43.63	50.30
	3	11.39	14.96	20.37	25.22	30.04	34.77	39.26	45.27
	4	9.81	14.13	19.23	23.82	28.37	32.84	37.08	42.75
C30	1-2	下同	下同	下同	29.56	36.58	42.32	47.79	55.10
	3	C25	C25	C25	26.60	32.91	38.09	43.01	49.59
	4	栏	栏	栏	25.12	31.08	35.97	40.62	46.84
C35	1-2				下同	37.41	45.71	51.62	59.52
	3				C30	33.67	41.14	46.46	53.56
	4				栏	31.80	38.85	43.88	50.59
C40	1-2					同	46.18	54.49	62.82
	3					C35	41.56	49.04	56.54
	4					栏	39.25	46.32	53.40

注：本表适用于锚筋锚固长度不小于 $15d$ 和常温使用条件。单根锚筋受剪承载力 V_{s1} (kN)(II级钢筋) 续附表 2

混凝土强度 等级	锚筋层数	锚筋直径 d (mm)							
		10	12	14	16	18	20	22	25
C20	1-2	13.99	19.14	24.68	30.54	36.27	41.98	47.41	54.66
	3	12.59	17.23	22.22	27.40	32.64	37.78	42.67	49.20
	4	11.89	16.27	20.98	25.88	30.83	35.68	40.30	46.46
C25	1-2	15.65	21.40	27.60	34.04	40.55	46.34	53.01	61.11
	3	14.08	19.26	24.84	30.64	36.50	42.24	47.70	55.00
	4	13.30	18.19	23.46	28.94	34.47	39.89	45.05	51.95

续上表

混凝土 强度等级	锚筋层数	锚筋直径 d (mm)							
		10	12	14	16	18	20	22	25
C30	1-2	17.04	23.45	30.23	37.29	44.42	51.41	58.06	66.95
	3	15.34	21.10	27.21	33.56	39.98	46.27	52.26	60.25
	4	14.49	19.93	25.79	31.70	37.78	43.70	49.35	56.90
C35	1-2	下同	24.54	32.65	40.28	47.98	55.53	62.72	72.31
	3	C30	22.09	29.39	36.25	43.18	49.98	56.45	65.08
	4	栏	20.86	27.76	34.34	40.78	47.20	53.31	61.46
C40	1-2		同	33.40	42.52	50.65	58.62	66.20	76.33
	3		C35	30.06	38.27	45.58	52.76	59.58	68.70
	4		栏	28.39	36.14	43.05	49.83	56.27	64.88

注：本表适用于锚筋锚固长度不小于 $16d$ 和常温使用条件。

角钢锚筋单位截面面积的受剪承载力 $\alpha_s \alpha_f$,

(N/mm²)

续附表 2

混凝土 强度等级	锚筋层数	$\frac{c}{2b}$					
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
C15	1-2	67.3	73.8	79.7	85.2	90.4	95.2
	3	60.6	66.4	71.7	76.7	81.3	85.7
	4	57.2	62.7	67.7	72.4	76.8	81.0
C20	1-2	77.8	85.2	92.0	98.4	104.3	110.9
	3	70.0	76.7	82.8	88.5	93.9	99.0
	4	66.1	72.4	78.2	83.6	88.7	93.5
C30	1-2	95.2	104.3	112.7	120.5	127.8	134.7
	3	85.7	93.9	101.4	108.4	115.0	121.2
	4	81.0	88.7	95.8	102.4	108.6	114.5
C40	1-2	108.6	119.0	128.5	137.4	145.7	147.0
	3	97.7	107.1	115.6	123.5	131.1	132.3
	4	92.3	101.1	109.2	116.8	123.8	125.0

α_s/α_b 和 α_s ($\alpha_b=1$) 值 (锚筋为 I 级钢筋) 附表 8

锚板厚度 t (mm)	混凝土 强度等级	锚筋直径 d (mm)						
		10	12	14	16	18	20	22
6	C15	0.81	构造不允许 $t/d < 0.6$					
	C20-C40	0.93						
8	C15	0.76	0.75	构造不允许 $t/d < 0.6$				
	C20	0.87	0.87					
	C30-C40	0.88	0.91					
10	C15	0.71	0.71	0.70	0.68	构造不允许 $t/d < 0.6$		
	C20	0.82	0.82	0.81	0.79			
	C30-C40	0.82	0.87	0.90	0.93			
12	C15	0.67	0.68	0.67	0.65	0.63	0.61	构造不允许 $t/d < 0.6$
	C20	0.78	0.78	0.77	0.75	0.73	0.70	
	C30	0.78	0.82	0.86	0.89	0.89	0.86	
	C40	0.78	0.82	0.86	0.89	0.91	0.93	
14	C15	0.64	0.64	0.64	0.63	0.61	0.59	0.56
	C20	0.74	0.74	0.74	0.73	0.70	0.68	0.64
	C30	0.74	0.79	0.82	0.86	0.86	0.83	0.79
	C40	0.74	0.79	0.82	0.86	0.88	0.90	0.90
α_s ($\alpha_b=1$)	C15	0.61	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42
	C20	0.70	0.66	0.63	0.59	0.56	0.52	0.49
	C30	0.70	0.70	0.70	0.70	0.68	0.64	0.60
	C40	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.68

注：本表适用于 $\alpha_b = 0.6 + 0.25t/d$ 和常温使用条件。

α_s/α_b 和 α_b ($\alpha_b=1$) 值 (锚筋为Ⅱ级钢筋) 续附表 3

锚板厚度 t (mm)	混凝土 强度等级	锚筋直径 d (mm)						
		10	12	14	16	18	20	22
6	C20	0.77	构造不允许 $t/d < 0.6$					
	C30-C40	0.93						
8	C20	0.72	0.71					
	C30	0.88	0.87					
	C40	0.88	0.91					
10	C20	0.68	0.68	0.66	0.65			
	C30	0.82	0.83	0.81	0.79			
	C40	0.82	0.87	0.90	0.90			
12	C20	0.64	0.64	0.64	0.62	0.60	0.58	
	C30	0.78	0.79	0.78	0.76	0.74	0.70	
	C40	0.78	0.82	0.86	0.87	0.84	0.80	
14	C20	0.61	0.61	0.61	0.60	0.58	0.56	0.52
	C30	0.74	0.75	0.75	0.73	0.71	0.68	0.65
	C40	0.74	0.79	0.82	0.83	0.81	0.78	0.74
α_s ($\alpha_b=1$)	C20	0.58	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.40
	C30	0.70	0.67	0.63	0.60	0.56	0.53	0.49
	C40	0.70	0.70	0.70	0.68	0.64	0.60	0.56

注：本表适用于 $\alpha_b = 0.6 + 0.25t/d$ 和常温使用条件。

 α_b 值 (角钢锚筋 3 号钢) 续附表 3

混凝土 强度等级	$\frac{c}{2b}$					
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
C15	0.32	0.35	0.38	0.41	0.43	0.45
C20	0.37	0.41	0.44	0.47	0.50	0.52
C30	0.45	0.50	0.54	0.57	0.61	0.64
C40	0.52	0.57	0.61	0.65	0.69	0.70

锚筋常用特征表

附表 4

钢筋锚固				角钢锚固				
d (mm)	A_{s1} (mm ²)	重量 (kg/m)	型号	A_{s1} (mm ²)	重量 (kg/m)	型号	A_{s1} (mm ²)	重量 (kg/m)
6	28.3	0.222	L40×4	309	2.42	L63×8	951	7.47
8	50.3	0.395	×5	379	2.98	L70×4	557	4.37
10	78.5	0.617	L45×4	349	2.74	×5	688	5.40
12	113	0.888	×5	429	3.37	×6	816	6.41
14	154	1.208	×6	508	3.99	×7	942	7.49
16	201	1.578	L50×4	390	3.06	×8	1067	8.37
18	254	1.998	×5	480	3.77	L75×5	741	5.82
20	314	2.466	×6	569	4.46	×6	880	6.91
22	380	2.984	L56×4	439	3.45	×7	1016	7.98
25	491	3.853	×5	542	4.25	×8	1159	9.03
注: d ——钢筋直径; A_{s1} ——单根锚筋截面积			×8	837	6.57	L80×5	791	6.21
			L63×4	498	3.81	×6	940	7.38
			×5	614	4.82	×7	1086	8.53
			×6	729	5.72	×8	1230	9.66

计 算 实 例

例题 1 采用直锚筋的受剪预埋件

〔已知〕

- (一) 剪力设计值 $V = 270 \text{ kN}$;
- (二) 构件混凝土强度等级为 C30;
- (三) 锚筋选用 II 级月牙纹钢筋;
- (四) 平行剪力方向 $C_1 = 12d$ 。

〔求〕

- (一) 锚筋的配置;
- (二) 锚筋最小锚固长度;
- (三) 锚板的最小尺寸。

〔解〕

- (一) 锚筋的直径和根数

利用公式 (3—2) 和附表 2, 可方便地选用锚筋的根数、层数和直径的几种不同组合结果。例如选用锚筋为 3 层 $6 \oplus 20$, 则根据 II 级钢筋和 C30 混凝土已知条件, 查附表 2 得

$$V_{.1} = 46.27 \text{ kN}$$

利用公式 (2)

$$nV_{.1} = 6 \times 46.27 = 278 \text{ kN} > 270 \text{ kN}, \text{ 可。}$$

- (二) 锚筋的最小锚固长度值

根据第三章第一节中表 3—1 的要求, 受剪预埋件钢筋锚筋的最小锚固长度为

$$l_a = 15d = 15 \times 20 = 300 \text{ mm}$$

(三) 锚板最小尺寸

按第四章的构造要求, 可得

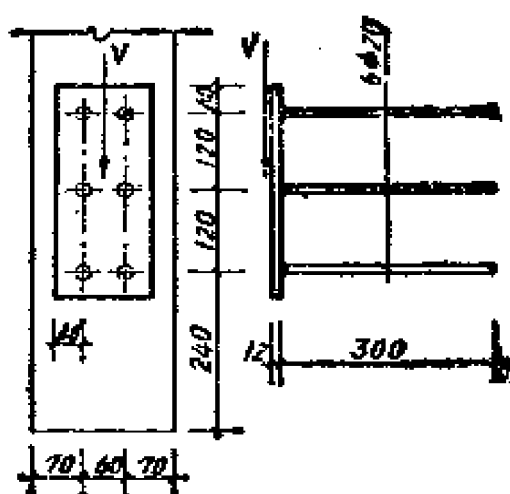
锚板最小宽度 $b_s = 3d + 2 \times 2d = 140\text{mm}$;

锚板最小长度 $l = 2 \times 6d + 2 \times 2d = 320\text{mm}$;

锚板最小厚度 $t = 0.6d = 12\text{mm}$ 。

(四) 预埋件选用简图

根据以上计算, 预埋件的选用如例图 1 所示。



例图 1 预埋件选用简图

例题 2 高温影响下直锚筋受剪预埋件

〔已知〕

同例题 1。

〔求〕

当构件混凝土表面温度为 150°C 时, 锚筋的配置。

〔解〕

(一) 较高温度下材料的强度

按第二章第二节和第三节的要求, 当构件表面温度为 150°C 时,

锚筋强度设计值为 $f_y = 310 \times 0.9 = 279\text{N/mm}^2$;

混凝土抗压强度设计值为 $f_c = 15 \times 0.8 = 12\text{N/mm}^2$ 。

(二) 锚筋的受剪承载力系数

按公式 (3—1) 进行计算, 试选锚筋直径为 $\Phi 20$, 则

$$\alpha_s = (4.0 - 0.08 \times 20) \sqrt{\frac{12}{279}} = 0.5 < 0.7$$

(三) 锚筋的截面面积

当选用锚筋为 3 层 $6 \Phi 20$ 时, $\alpha_s = 0.9$, $A_s = 1884 \text{ mm}^2$,
由公式 (3—1) 得

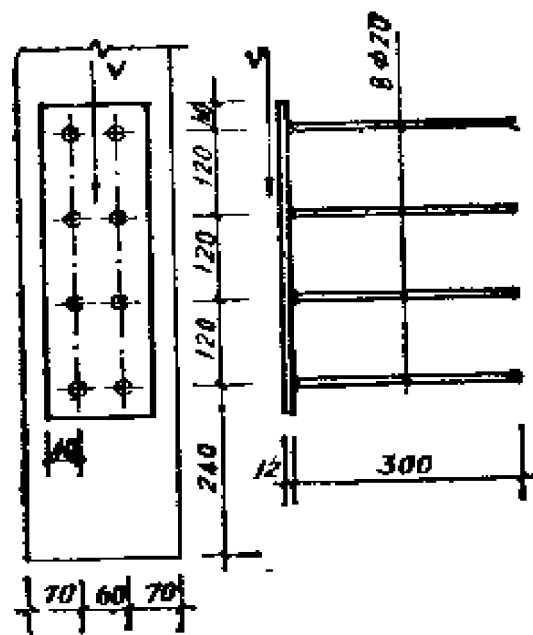
$$0.9 \times 0.5 \times 279 \times 1884 = 237000 < V = 270000 \text{ N}, \text{ 不可。}$$

再选用锚筋为 4 层 $8 \Phi 20$ 时, $\alpha_s = 0.85$, $A_s = 2513 \text{ mm}^2$,
则

$$0.85 \times 0.5 \times 279 \times 2513 = 298000 > V = 270000 \text{ N}, \text{ 可。}$$

(四) 预埋件选用简图

根据计算结果, 预埋件选用如例图 2 所示。



例图 2 预埋件选用简图

例题 3 边距较小的直锚筋受剪预埋件

〔已知〕

(一) 至 (三) 同例题 1;

(四) 锚筋在平行剪力方向边距 $C_1 = 10d$ 。

〔求〕

锚筋的配置。

〔解〕

(一) 考虑 α_s 的计算公式

按第三章第一节第八项所述, 当平行剪力方向的边层锚筋至构件边缘距离小于 $12d$ 且此边层锚筋的根数为 n_c 时, 可将公式 (2) 改写为

$$V \leqslant (n - n_c + \alpha_s n_c) V_{s1}$$

(二) 边距影响系数 α_s 。

$$\alpha_s = \sqrt{\frac{C_1}{12d}} = \sqrt{\frac{10d}{12d}} = 0.91$$

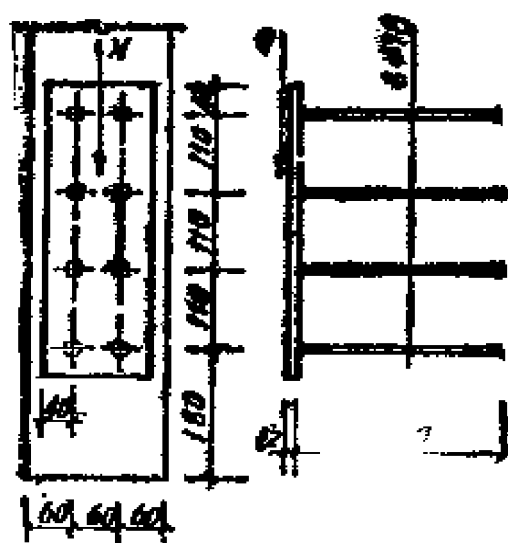
(三) 锚筋选用

当选用 4 层 $8\Phi 18$ 时, $n_c = 2$, 查附表 2 得 $V_{s1} = 37.76$ kN, 则

$$V_s = (8 - 2 + 0.91 \times 2) \times 37.76 = 295.0 > V = 270 \text{ kN}, \text{ 可。}$$

(四) 预埋件锚筋配置

根据计算结果, 预埋件锚筋配置如例图 3 所示。

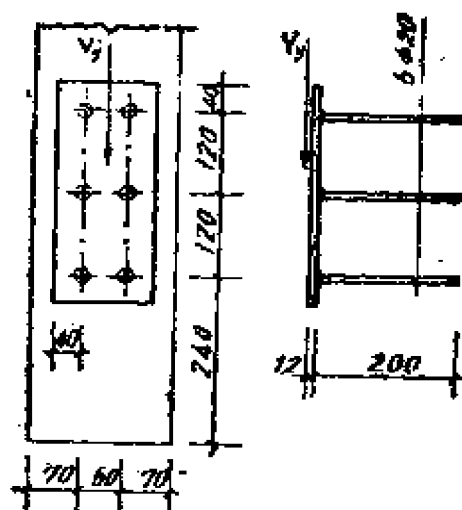


例图 3 预埋件选用简图

例题 4 地震影响下的直锚筋受剪预埋件

〔已知〕

- (一) 构件混凝土的强度等级为 C30;
- (二) 锚筋选用 II 级月牙纹钢筋;
- (三) 锚板为 3 号钢;
- (四) 地震烈度 7 度;
- (五) 锚筋的配置情况如例图 4 所示。



例图 4 预埋件构造图

〔求〕

预埋件的受剪承载力 V_u 。

〔解〕

(一) 锚固长度影响系数 α_s 。

如例图 4 所示，锚筋的锚固长度 $l_a = 200 = 10d$ ，按第三章第一节第五项的要求， l_a 在允许范围内，但不满足 $l_a \geq 15d$ 的要求。因此，当 $l_a = 10d$ 时， $\alpha_s = 0.8$ 。

(二) 地震影响系数 α_e 。

按第三章第一节第十项的要求，在地震区考虑地震影响时，其影响系数为

$$\alpha_s = 0.8$$

(三) 受剪承载力 V_s

当考虑地震和锚固长度的影响时, 公式(3—2)可改写为

$$V_s = \alpha_s \cdot \alpha_a \cdot n V_{s1}$$

查附表 2 得

$$V_{s1} = 46.27 \text{ kN}, n = 6, \text{ 则}$$

$$V_s = 0.8 \times 0.8 \times 6 \times 46.27 = 177.7 \text{ kN}$$

例题 5 弯折锚筋和直锚筋并用的受剪预埋件

[已知]

(一) 构件混凝土强度等级为 C20,

(二) 弯折锚筋采用 $3\Phi 16$, 直锚筋采用 $4\Phi 12$,

(三) 弯折锚筋的锚固长度 $l_a = 400 \text{ mm}$, 直锚筋的锚固长度 $l_a = 180 \text{ mm}$,

(四) 直锚筋在平行剪力方向至构件边缘的距离 $C_1 = 150 \text{ mm}$, 构件为钢筋混凝土构件,

(五) 锚板厚度 $t = 10 \text{ mm}$,

(六) 弯折锚筋弯折角 $\varphi = 25^\circ$,

(七) 预埋件构造如例图 5。

[求]

预埋件的受剪承载力 V_{su} 。

[解]

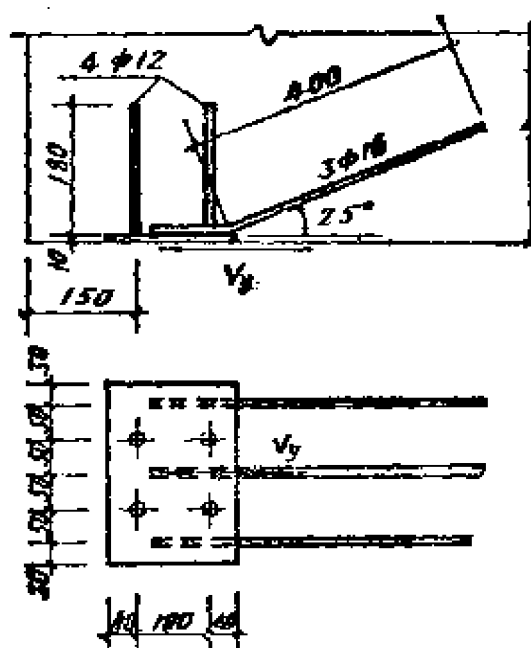
(一) 锚板厚度

根据已知条件, 锚板厚度 t 与两种锚筋中最大直径 d 之比为 $t/d = 10/16 = 0.625 > 0.6$, 符合第四章第二节关于锚板厚度的要求。

(二) 弯折锚筋的弯折角度为 25° , 符合第三章第二节第二项中在 $15^\circ \sim 45^\circ$ 之间的要求。

(三) 已知平行剪力方向锚筋至构件边缘距离 C_1

$=150\text{mm}$, 符合第三章第一节第八项的要求。



例图 8 预埋件构造简图

(四) 锚筋的锚固长度

根据第三章第一节第五项对锚筋锚固长度的要求。

(1) 直锚筋的锚固长度 $l_a = 180\text{mm} = 15d$ 满足要求。

(2) 弯折锚筋的锚固长度 $l_a = 400\text{mm} = 25d < 40d$, 不满足要求, 其比值 $25d/40d = 0.625$ 。因此, 在计算弯折锚筋承载力时, 应按此系数折减, 即取 $\alpha_s = 0.625$ 。

(五) 预埋件的受剪承载力 V_s

弯折锚筋和直锚筋并用的受剪预埋件应按公式(8—3)计算 V_s , 并在弯折锚筋项乘 α_s , 如

$$1.1V_s = nV_{s1} + 0.8\alpha_s f_s A_{s1}$$

及需满足 $0.1V_s \leq nV_{s1} \leq 0.3V_s$ 的条件。

当 $nV_{s1} = 0.1V_s$ 时, $V_s = 0.8\alpha_s f_s A_{s1}$;

当 $nV_{s1} = 0.3V_s$ 时, $V_s = \alpha_s f_s A_{s1}$ 。

根据已知条件: $f_s = 310\text{N/mm}^2$, $A_{s1} = 603\text{mm}^2$, 及从附表 2 中查得 $V_{s1} = 19.14\text{kN}$, 得出

$$nV_{s1} = 4 \times 19.14 = 76.6 \text{ kN}$$

大于 $0.3\alpha_s f_y A_{s0} = 0.3 \times 0.625 \times 0.310 \times 603 = 35 \text{ kN}$ 。

所以取 $nV_{s1} = 0.3V_s$ ，于是

$$V_s = \alpha_s f_y A_{s0} = 0.625 \times 0.310 \times 603 = 117 \text{ kN}$$

例題 6 直锚筋和抗剪钢板并用的受剪预埋件

〔已知〕

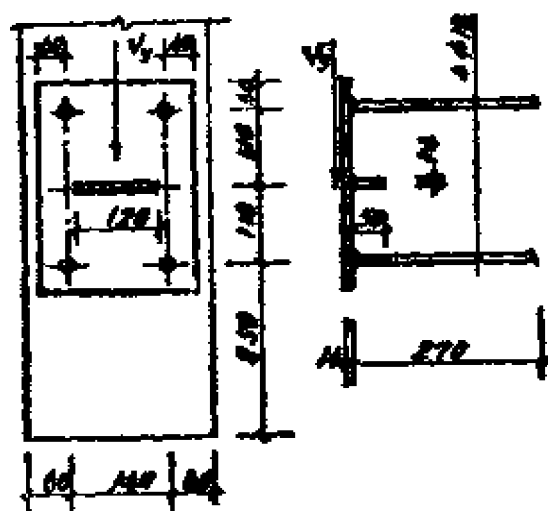
(一) 构件混凝土强度等级为 C25；

(二) 直锚筋为 $4 \Phi 18$ 。锚筋锚固长度 $l_a = 270 \text{ mm}$ ，符合 $l_a = 15d$ 的构造要求；

(三) 抗剪钢板长度 $l_t = 120 \text{ mm}$ ，宽度 $b_t = 50 \text{ mm}$ ；厚度 $t_t = 14 \text{ mm}$ ，符合 $t_t \geq 8 \text{ mm}$ 和 $b_t/4 = 1.25 < t_t$ 的要求；

(四) 平行剪力方向锚筋至构件边缘的距离 $C_1 = 250 \text{ mm}$ ，符合 $C_1 \geq 12d = 216 \text{ mm}$ 的要求；

(五) 预埋件构造如例图 6。



例图 6 直锚筋和抗剪钢板并用的受剪预埋件

〔求〕

预埋件的受剪承载力 V_{s0} 。

〔解〕

(一) 直锚筋的受剪承载力

根据已知条件, 查附表 2 得 $V_{.1}=40.55\text{kN}$, 所以直锚筋的受剪承载力为

$$nV_{.1}=4\times 40.55=162.2\text{kN}$$

(二) 抗剪钢板的抗剪强度

由 C25 的条件, 得 $f_c=12.5\text{N/mm}^2$, 所以

$$0.7f_cA_t=0.7\times 12.5\times 120\times 50=52.5\text{kN}$$

(三) 预埋件抗剪强度 $V_{.}$

$$V_{.}=0.7f_cA_t+nV_{.1}=52.5+162.2=214.0\text{kN}$$

其中抗剪钢板的受剪承载力与 $V_{.}$ 之比为 $0.245<0.3$, 满足要求。

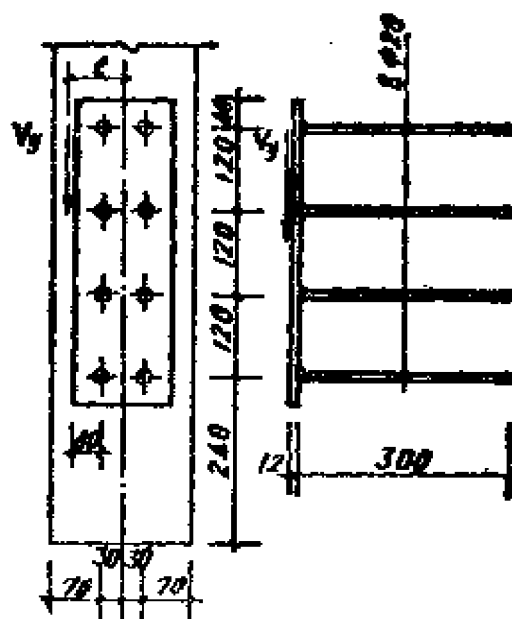
例题 7 受剪扭预埋件

[已知]

(一) 构件混凝土强度等级为 C30;

(二) 锚筋为 8 $\Phi 20$, 4 层;

(三) 锚筋锚固长度 $l_a=15d=300\text{mm}$, 锚筋间距、边距和锚板厚度等均符合构造要求 (例图 7)。



例图 7 受剪扭预埋件简图

〔求〕

当设计剪力作用线至锚筋中心线之间的偏心距分别为 $e = 0, b/4, b/2, 3b/4$ 和 b 时, 计算预埋件的受剪承载力及5个受剪承载力之比。

〔解〕

(一) 当 $e = 0$ 时, 预埋件的受剪承载力 V_u 。

根据C30和 $8 \Phi 20$ 的条件, 查附表 2 得 $V_{u1} = 43.70 \text{ kN}$ 。
所以

$$V_u = 8 \times 43.70 = 249.6 \text{ kN}$$

(二) 扭矩

设 $e_1 = b/4, e_2 = b/2, e_3 = 3b/4, e_4 = b$, 抗剪强度相应为 $V_u^{(1)}, V_u^{(2)}, V_u^{(3)}, V_u^{(4)}$, 于是相应的扭矩为

$$T_1 = \frac{b}{4} V_u^{(1)} \quad T_2 = \frac{b}{2} V_u^{(2)}$$

$$T_3 = \frac{3b}{4} V_u^{(3)} \quad T_4 = b V_u^{(4)}$$

(三) 扭矩作用下, 受剪最大锚筋的分力 R_{1x} 和 R_{1y} ,
受剪最大锚筋的直角坐标值为

$$x_1 = \frac{b}{2} \quad y_1 = \frac{3}{2} b$$

$$\sum x_i^2 + \sum y_i^2 = 8 \left(\frac{b}{2} \right)^2 + 4 \left(\frac{b}{2} \right)^2 + 4 \left(\frac{3b}{2} \right)^2 = 12b^2$$

代入式 $R_{1x} = \frac{T y_1}{\sum x_i^2 + \sum y_i^2}$ 和 $R_{1y} = \frac{T x_1}{\sum x_i^2 + \sum y_i^2}$ 得

$$R_{1x1} = \frac{3}{96} V_u^{(1)} \quad R_{1y1} = \frac{1}{96} V_u^{(1)}$$

$$R_{1x2} = \frac{3}{48} V_u^{(2)} \quad R_{1y2} = \frac{1}{48} V_u^{(2)}$$

$$R_{1x3} = \frac{3}{32} V_u^{(3)} \quad R_{1y3} = \frac{1}{32} V_u^{(3)}$$

$$R_{1,4} = \frac{3}{24} V_{\Sigma}^{(4)} \quad R_{1,7} = \frac{1}{24} V_{\Sigma}^{(4)}$$

(四) 受剪承载力

按公式 (3-5)

$$V_1 = V_{s1} = \sqrt{R_{1,2}^2 + (R_{1,7} + V_{\Sigma}/n)^2}$$

得

$$V_{s1} = \sqrt{\left(\frac{3}{96}\right)^2 + \left(\frac{1}{96} + \frac{1}{8}\right)^2} V_{\Sigma}^{(1)} = 0.139 V_{\Sigma}^{(1)}$$

$$V_{s1} = 0.159 V_{\Sigma}^{(2)}$$

$$V_{s1} = 0.182 V_{\Sigma}^{(3)}$$

$$V_{s1} = 0.208 V_{\Sigma}^{(4)}$$

由前面计算得知 $V_{r1} = 43.70 \text{ kN}$, 所以

$$V_{\Sigma}^{(1)} = 314.4 \text{ kN}$$

$$V_{\Sigma}^{(2)} = 274.8 \text{ kN}$$

$$V_{\Sigma}^{(3)} = 240.1 \text{ kN}$$

$$V_{\Sigma}^{(4)} = 210.1 \text{ kN}$$

(五) 受剪承载力之比

$$V_{s1} : V_{\Sigma}^{(1)} : V_{\Sigma}^{(2)} : V_{\Sigma}^{(3)} : V_{\Sigma}^{(4)} = 1.00 : 0.90 : 0.79 : 0.70 : 0.60$$

这种比值说明在该条件下偏心距的大小对预埋件受剪承载力, 也即对预埋件承剪扭作用的影响。

例题 8 锚板有弯曲变形的受拉预埋件

[已知]

(一) 法向拉力设计值 $N = 85 \text{ kN}$;

(二) 构件混凝土强度等级为 C20;

(三) 锚筋为 II 级钢筋;

(四) 受拉锚筋实际锚固长度 $l_{aE} = 260 \text{ mm}$ 。

[求]

锚筋直径和根数及锚板厚度。

[解]

(一) 先试算锚筋直径 $d=12\text{mm}$ 。

(二) 锚固长度的影响系数 α_s 。

根据第三章第一节第五项所述要求，锚筋锚固长度按已知Ⅱ级钢筋和C20条件，应为 $l_a=40d=480\text{mm}$ 。实际采用的锚固长度 $l_{a...}<l_a$ ，但在允许的使用范围内，即 $l_{a...}>20d=240\text{mm}$ 。在不考虑加强锚固措施的情况下，应对预埋件锚筋的受拉承载力乘下列锚固长度影响系数 α_s 。

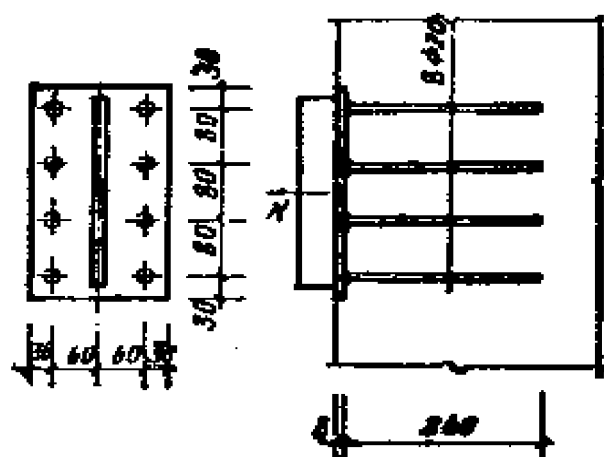
$$\alpha_s = \frac{l_{a...}}{l_a} = \frac{260}{480} = 0.54$$

(三) 锚筋根数和锚板厚度

按公式(3—6)计算并考虑 $\alpha_s=0.54$ 及 $A_s=nA_{s1}$ ， $A_{s1}=113.1\text{mm}^2$ ， $f_y=310\text{N/mm}^2$ ，同时试选锚板厚度 $t=8\text{mm}$ ，得 $\alpha_s=0.6+0.25\frac{8}{12}=0.77$ ，则

$$n \geq \frac{N}{0.54 \times 0.8 \times 0.77 \times 113.1 \times 0.310} = 7.3 \text{根}$$

最后选定锚筋为 $8 \oplus 12$ ，锚板厚度 $t=8\text{mm}$ (例图8)。

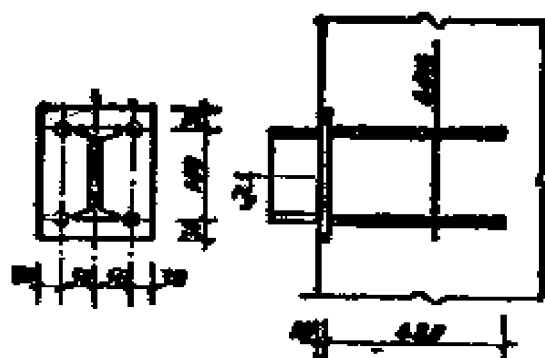


例图8 锚板有弯曲变形的受拉预埋件

例题9 锚板无弯曲变形的受拉预埋件

〔已知〕

- (一) 构件混凝土的强度等级为C30,
- (二) 锚筋为 $4 \Phi 16$;
- (三) 锚筋锚固长度 $l_a = 30d = 480\text{mm}$, 符合受拉锚筋锚固长度的要求,
- (四) 锚板上焊有工字钢连接件 (例图 9), 可防止受拉时锚板产生弯曲变形。



例图 9 锚板无弯曲变形的受拉预埋件

〔求〕

锚筋受剪承载力和锚板厚度。

〔解〕

(一) 锚筋受剪承载力

$$A_s = 804.25\text{mm}^2, f_y = 310\text{N/mm}^2, \alpha_b = 1.0$$

由公式(3—6)得

$$N_s = 0.8 A_s f_y \alpha_b = 0.8 \times 804.25 \times 310 \times 1.0 = 199.50\text{kN}$$

(二) 锚板厚度

按第四章第二节第一项所述, 锚板厚度

$$t \geq 0.6d = 0.6 \times 16 = 9.6\text{mm} \text{ 取 } t = 10\text{mm}$$

例题10 受中心拉剪预埋件

〔已知〕

(一) 构件混凝土强度等级为 C30,

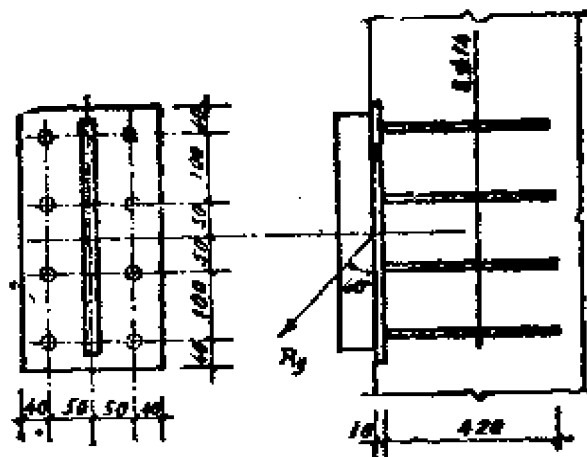
(二) 锚筋为 $8 \Phi 14$, 4 层;

(三) 锚筋锚固长度 $l_a = 30d$, 符合构造要求;

(四) 锚板厚度 $t = 10\text{mm}$, 锚板因受拉可能产生弯曲变形;

(五) 预埋件受斜拉力 R 的作用, R 与锚板表面夹角 $\theta = 40^\circ$;

(六) 斜拉力 R 作用点在锚板外表面上与锚筋截面重心重合 (例图 10)。



例图 10 受中心拉剪预埋件

〔求〕

无偏心时拉剪预埋件的承载力 R_u 。

〔解〕

(一) 单根锚筋的受剪承载力

由已知条件查附表 2 得单根锚筋的受剪承载力 $V_{u1} = 25.70\text{kN}$ 。

(二) 无偏心时预埋件的抗力强度 R_u 。

按公式 (3—9) 计算, 由附表 3 查得 $\alpha_s/\alpha_b = 0.81$, $\alpha_s = 0.85$, 则

$$R_u = n \cdot V_{u1} / \left(\cos \theta + 1.25 \alpha_s \cdot \frac{\alpha_s}{\alpha_b} \sin \theta \right)$$

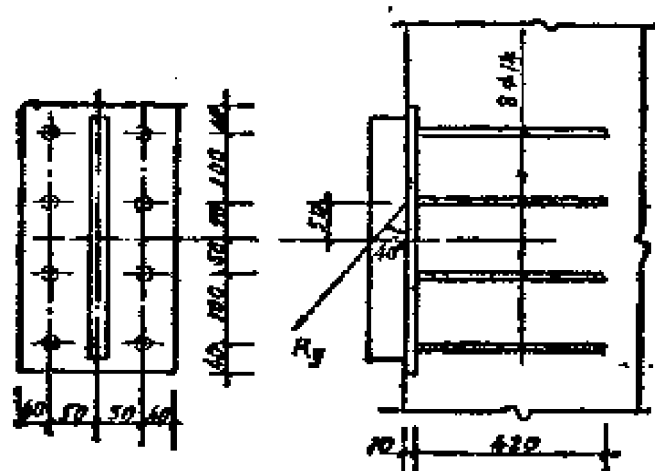
$$= 8 \times 25.7 / (0.766 + 1.25 \times 0.85 \times 0.81 \times 0.643) \\ = 156 \text{ kN}$$

例题11 受拉弯剪预埋件

〔已知〕

(一) ~ (五) 同例题10;

(六) 斜拉力 R 作用点在锚板外表面上与锚筋作用线有偏心距 $e = 50 \text{ mm}$ (例图11)。



例图11 受拉弯剪预埋件

〔求〕

有偏心时拉弯剪预埋件的承载力 R_u 。

〔解〕

① 计算 $\frac{M}{VZ}$ 及选用公式判别

因为 $N = R_u \sin 40^\circ$, $M = N e$, $e = 50 \text{ mm}$, $V = R_u \cos 40^\circ$, $Z = 300 \text{ mm}$, 所以

$$\frac{M}{VZ} = \frac{50 R_u \sin 40^\circ}{300 R_u \cos 40^\circ} = 0.14$$

由已知条件: C30, $t = 10 \text{ mm}$ 及 $\Phi 14$, 查附表 3 得 $\alpha_s / \alpha_b = 0.81$, 则

$$\frac{1}{1.75 \frac{\alpha_r}{\alpha_b}} = 0.71$$

所以

$$\frac{M}{VZ} = 0.14 < \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_r}{\alpha_b}} = 0.71$$

应按公式 (3-11) 计算承载力 R_u 。

(二) 有偏心时预埋件的受剪承载力 R_u 。

由附表 2 查得单根锚筋的受剪承载力 $V_{u1} = 25.7 \text{ kN}$, $\alpha_r = 0.85$, $N = R_u \sin 40^\circ$, $V = R_u \cos 40^\circ$ 代入公式 (3-11) 得

$$nV_{u1} = R_u \left(\cos 40^\circ + 1.25 \alpha_r \frac{\alpha_r}{\alpha_b} \sin 40^\circ + 0.75 \frac{\alpha_r e}{\alpha_b Z} \sin 40^\circ \right)$$

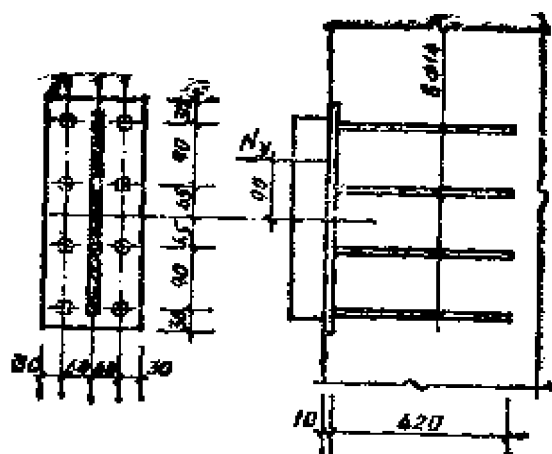
$$R_u = 8 \times 25.7 / \left(\cos 40^\circ + 1.25 \times 0.85 \times 0.81 \sin 40^\circ + 0.75 \times 0.81 \frac{50}{300} \sin 40^\circ \right) = 149 \text{ kN}$$

例题12 偏心受拉预埋件

〔已知〕

- (一) 构件混凝土强度等级为 C30;
- (二) 锚筋为 8 $\Phi 14$, 4 层;
- (三) 锚板厚度 $t = 10 \text{ mm}$, 锚板因受拉产生弯曲变形;
- (四) 锚筋锚固长度 $l_a = 30d$, 符合构造要求;
- (五) 法向拉力 N 偏离锚筋重心线的偏心距 $e = 90 \text{ mm}$;
- (六) 锚筋横向间距 $s = 8t = 80 \text{ mm}$;
- (七) 外层锚筋中心线之间的距离 $Z = 270 \text{ mm}$ (例图12)。

〔求〕



例图12 偏心受拉预埋件

预埋件受拉承载力 N_u 。

〔解〕

根据 $A_s = 1231.5 \text{ mm}^2$, $\alpha_b = 0.6 + 0.25 \frac{t}{d} = 0.631$, $\alpha_s = 0.85$, $e = 90 \text{ mm}$, $Z = 270 \text{ mm}$, $f_y = 310 \text{ N/mm}^2$, 由公式 (3—7) 得

$$\begin{aligned} N_u &= 0.8 \alpha_b A_s f_y / \left(1 + \frac{2e}{\alpha_s Z} \right) \\ &= 0.8 \times 0.631 \times 1231.5 \times 310 / \left(1 + \frac{2 \times 90}{0.85 \times 270} \right) \\ &= 107920 \text{ N} = 108 \text{ kN} \end{aligned}$$

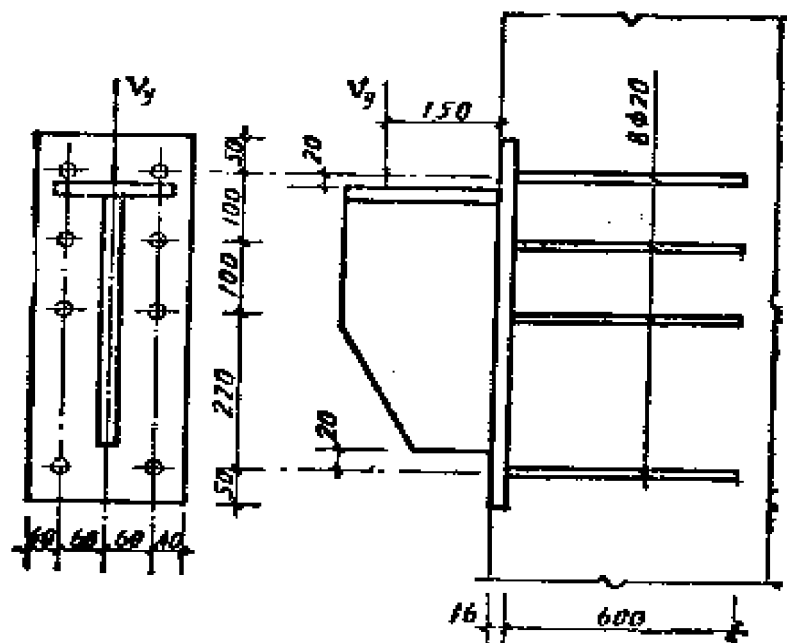
例题13 钢牛腿为T形的受剪弯预埋件

〔已知〕

- (一) 构件混凝土强度等级为C30;
 - (二) 锚筋为 $8 \Phi 20$, 4层;
 - (三) 锚筋锚固长度为 $l_a = 30d$, 符合构造要求;
 - (四) 锚板厚度 $t = 16 \text{ mm}$;
 - (五) 锚筋横向间距 $s = 120 \text{ mm} < 8t$, 符合构造要求;
- 求: 钢牛腿翼缘边缘至外层锚筋中心之距离 $a_1 = 20$, 符合图 3—9(a)的要求;

(六) 外层锚筋中心线之间的距离 $Z = 420\text{mm}$;

(七) 剪力作用线至锚板外表面的偏心距 $e = 150\text{mm}$
(例图13)。



例图13 钢牛腿为T形的受剪弯预埋件

〔求〕

预埋件受剪承载力 V_u 。

〔解〕

(一) 计算 $\frac{M}{VZ}$ 值及选用公式判别

$M = V \cdot e$, $e = 150\text{mm}$, $Z = 420\text{mm}$, 所以

$$\frac{M}{VZ} = \frac{e}{Z} = 0.36$$

考虑到锚板因受拉不产生弯曲变形, 所以 $\alpha_s = 1.0$ 。根据已知条件: C30和 $\phi 20$ 查附表3得 $\alpha_r = 0.53$ 。

所以
$$\frac{1}{1.75 \frac{\alpha_r}{\alpha_s}} = \frac{1}{1.75 \times 0.53} = 1.08$$

$$\text{则 } \frac{M}{VZ} < \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_v}{\alpha_b}}$$

因此应采用公式 (3—11) 进行受剪承载力计算。

(二) 预埋件受剪承载力 V_u 。

根据已知条件: C30, 4 层 8 $\Phi 20$, 从附表 2 查得 $V_{u1} = 43.7 \text{ kN}$, 并将其它已知条件代入公式 (3—11) 得

$$\begin{aligned} V_u &= nV_{u1} / \left(1 + 0.75 \frac{\alpha_v}{\alpha_b} \cdot \frac{e}{Z} \right) \\ &= 8 \times 43.7 / \left(1 + 0.75 \times 0.53 \times \frac{150}{420} \right) \\ &= 306 \text{ kN} \end{aligned}$$

例题 14 钢牛腿为倒 T 形受剪弯预埋件

[已知]

- (一) 构件混凝土强度等级为 C30;
 - (二) 锚筋为 6 $\Phi 14$, 3 层;
 - (三) 锚筋锚固长度为 $l_a = 30d$, 符合构造要求;
 - (四) 锚板厚度 $t = 14 \text{ mm}$;
 - (五) 锚筋横向间距 $s = 100 \text{ mm} < 8t$, 符合构造要求;
- 钢牛腿翼缘边缘至外层锚筋中心之距离 $a_3 = 20$, 符合图 3—9 (a) 的要求;
- (六) 外层锚筋中心线之间的距离 $Z = 240 \text{ mm}$;
 - (七) 剪力作用线至锚筋外表面的偏心距 $e = 120 \text{ mm}$
- (例图 14)。

[求]

预埋件受剪承载力 V_u 。

[解]

(一) 计算 $\frac{M}{VZ}$ 值及选用公式判别

$M = V e$, $e = 120\text{mm}$, $Z = 240\text{mm}$, 所以

$$\frac{M}{VZ} = \frac{e}{Z} = 0.5$$

$$\frac{M}{VZ} = 0.5 < \frac{1}{1.76 \times 0.75} = 0.76$$

(二) 预埋件受剪承载力 V_n

$$\begin{aligned} V_u &= nV_{u1} / \left(1 + 0.75 \frac{\alpha_r}{\alpha_b} \cdot \frac{e}{Z} \right) \\ &= 6 \times 27.21 / (1 + 0.75 \times 0.75 \times 0.5) \\ &= 127.40 \text{ kN} \end{aligned}$$

例题15 受压弯剪的直锚筋预埋件

〔已知〕

(一) 构件混凝土强度等级为 C30;

(二)压力设计值 $N=200\text{kN}$;弯矩设计值 $M=20\text{kN}\cdot\text{m}$;

剪力设计值 $V = 80 \text{ kN}$,

(三) 锚筋选用月牙纹 II 级钢筋;

(四) 平行剪力方向边距 $C_1 \geq 12d$,

〔求〕

锚筋的配置。

〔解〕

(一) 试选锚筋为 $4 \Phi 14$, 2 层。 $Z = 150 \text{ mm}$ 。

(二) 选用公式判别

与 $\Phi 14$ 相应的锚板厚度, $0.6 \times d = 0.6 \times 14 = 8.4 \text{ mm}$,

取 $t = 10 \text{ mm}$ 。查附表 3 得 $\alpha_s / \alpha_b = 0.81$ 。由判别式

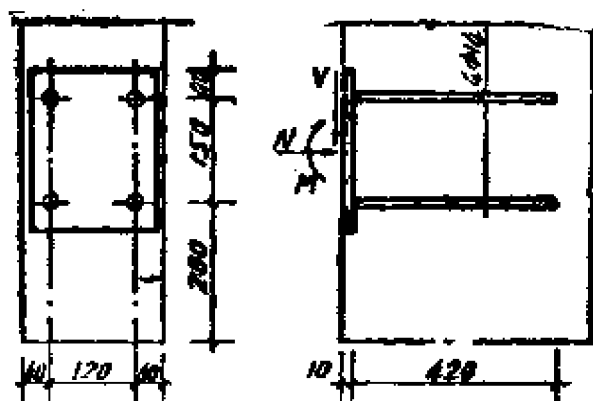
$$\frac{M - 0.4NZ}{(V - 0.3N)Z} = \frac{20 - 0.4 \times 200 \times 0.15}{(80 - 0.3 \times 200) \times 0.15} \\ = 2.67 > \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_s}{\alpha_b}} = 0.71$$

按公式 (3-16) 计算, $\alpha_s = 1.0$, $\alpha_b = 0.6 + 0.25 \times \frac{10}{14} = 0.78$

$$A_s = \frac{M - 0.4NZ}{0.4\alpha_s \cdot \alpha_b f_t Z} = \frac{20 - 0.4 \times 200 \times 0.15}{0.4 \times 1.0 \times 0.78 \times 0.310 \times 0.15} \\ = 551 \text{ mm}^2 = 5.51 \text{ cm}^2$$

所选的锚筋面积为 $6.16 \text{ cm}^2 > A_s = 5.51 \text{ cm}^2$, 可。

预埋件选用简图如例图 15 所示。



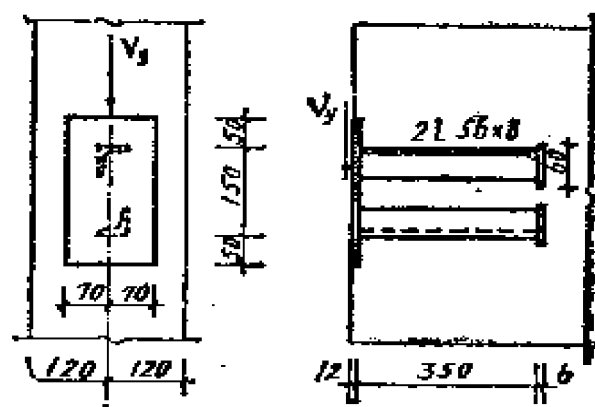
例图15 受压弯剪的直锚筋预埋件

例题16 采用角钢锚筋的受剪预埋件

〔已知〕

(一) 构件混凝土强度等级为C30;

(二) 角钢锚筋选用 $\angle 56 \times 8$, $f_y = 210 \text{ N/mm}^2$, 预埋件的配置如例图16。



例图16 配置角钢锚筋的受剪预埋件

〔求〕

角钢预埋件的受剪承载力 V_u 。

〔解〕

(一) 计算 α_v 值

按照公式 (3-1) 计算 α_v 。根据例图16中角钢的配置, $c = 120 \text{ mm}$, $b = 56 \text{ mm}$, 可知 $\sqrt{\frac{c}{2b}} = \sqrt{\frac{120}{2 \times 56}} = 1.03 > 1.0$, 取1.0。

据已知条件: 查表 2-3 得C30时 $f_c = 15 \text{ N/mm}^2$, 查表 2-1 角钢 $f_y = 210 \text{ N/mm}^2$

$$\text{于是 } \alpha_v = 2.4 \sqrt{\frac{c}{2b}} \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} = 2.4 \times 1.0 \sqrt{\frac{15}{210}} = 0.64$$

(二) 受剪承载力 V_u 。

按照公式 (3-1) 计算 V_u 。

根据例图16, 已知共配置 2 根 $\angle 56 \times 8$ 角钢, 查附表 4

得 $A_s = 2 \times 837 = 1674 \text{mm}^2$ 。角钢锚筋有两层, $\alpha_r = 1.0$ 。

得:

$$V_s = \alpha_r \alpha_s f_y A_s = 1.0 \times 0.64 \times 0.210 \times 1674 = 225 \text{kN}$$

例题17 受中心拉剪角钢预埋件

〔已知〕

(一) 构件混凝土强度等级为C30;

(二) 预埋件受斜拉力 $R = 210 \text{kN}$ 作用, R 与锚板表面夹角 $\theta = 45^\circ$;

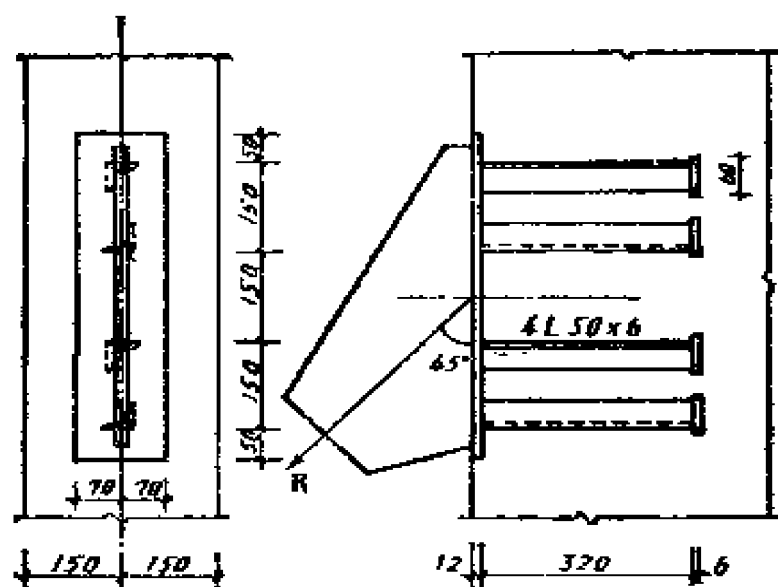
(三) R 作用点在锚板外表面上与全部角钢锚筋截面重心重合。

〔求〕

角钢预埋件的配置。

〔解〕

角钢层数预定为4层(如例图17)则取 $\alpha_r = 0.85$ 。



例图17 受中心拉剪角钢预埋件

(一) 计算 α_s 值

按照公式 (3—1) 计算 α_s 。根据例图17的预设计和已

知条件, $f_t = 210 \text{ N/mm}^2$, $f_c = 15 \text{ N/mm}^2$, 及规定 $\sqrt{\frac{c}{2b}} = 1.0$ 时, 得

$$\alpha_s = 2.4 \sqrt{\frac{c}{2b}} \sqrt{\frac{f_c}{f_t}} = 2.4 \times 1.0 \sqrt{\frac{15}{210}} = 0.64$$

(二) 角钢锚筋配置

角钢锚筋总截面面积按照公式 (3-8) 计算, 因 $R = 210 \text{ kN}$, $\theta = 45^\circ$, $\alpha_s = 0.85$, $\alpha_t = 0.64$, $\alpha_b = 1.0$, 得

$$\begin{aligned} A_s &= R \left(\frac{\cos \theta}{\alpha_s \alpha_t f_t} + \frac{\sin \theta}{0.8 \alpha_b f_t} \right) \\ &= \frac{210000}{210} \left(\frac{\cos 45^\circ}{0.85 \times 0.64} + \frac{\sin 45^\circ}{0.8 \times 1.0} \right) \\ &= 2184 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

查附表 3, 选用 4 $\angle 50 \times 6$, $A_s = 4 \times 569 = 2276 > 2184 \text{ mm}^2$, 可。

例题 18 受偏心拉剪的角钢预埋件

〔已知〕

(一) 构件混凝土强度等级为 C30;

(二) 预埋件受斜拉力 $R = 210 \text{ kN}$ 作用, R 与锚板表面夹角 $\theta = 45^\circ$;

(三) R 作用点在锚板外表面上与全部角钢锚筋截面重心的偏心距为 $e = 80 \text{ mm}$;

(四) 地震烈度为 7 度;

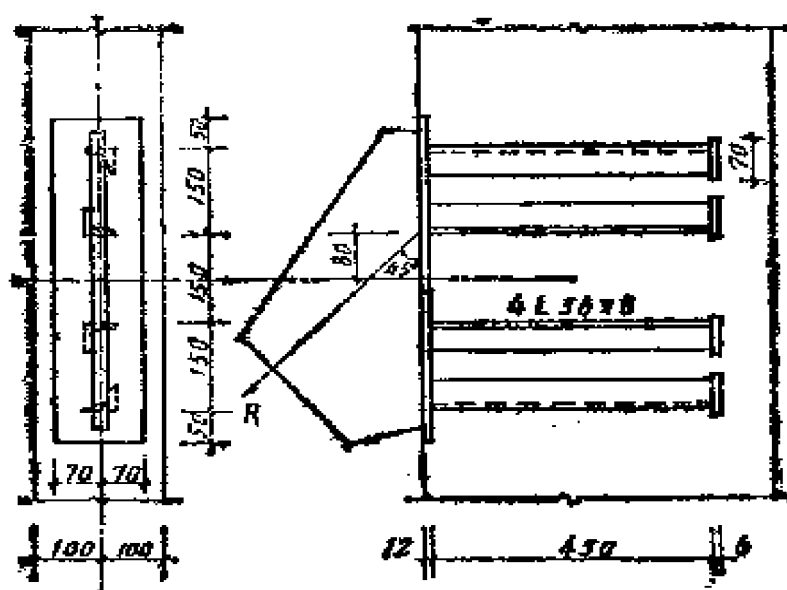
(五) 钢筋混凝土构件宽度为 200 mm , 长度无限制。

〔求〕

受偏心拉剪的角钢预埋件的设置。

〔解〕

按实际的构件尺寸, 试选角钢锚筋为 4 $\angle 56 \times 8$, 锚板厚度为 $t = 12 \text{ mm}$, 预埋件初步设计如例图 18。



例图18 受偏心拉剪角钢预埋件

(一) 计算 α_v 值

按照公式 (3—1) 计算 α_v 。

混凝土构件宽度为200mm，锚筋中心在垂直剪力方向至构件边缘距离 $c=100\text{mm}$ 。角钢肢宽 $b=56\text{mm}$ ， $f_c \approx 210\text{N/mm}^2$ ， $f_s \approx 15\text{N/mm}^2$ ，则

$$\alpha_v = 2.4 \sqrt{\frac{c}{2b}} \sqrt{\frac{f_c}{f_s}} = 0.61$$

(二) 计算 $\frac{M}{VZ}$ 及选用公式判别

由于连接板通过锚板中心线，锚板可按无弯曲变形考虑，取 $\alpha_b = 1$ 。又知 $Z=450\text{mm}$ ， $N=R \sin 45^\circ$ ， $M=Ne$ ， $e=80\text{mm}$ ， $V=R \cos 45^\circ$ ，得

$$\frac{M}{VZ} = \frac{R e \sin 45^\circ}{R Z \cos 45^\circ} = \frac{80}{450} = 0.18 < \frac{1}{1.75 \frac{\alpha_v}{\alpha_b}} = 0.94$$

(三) 角钢锚筋配置

按第三章第一节第十项，考虑地震时预埋件强度的影响

系数 $\alpha_c=0.8$, 4层锚筋时, $\alpha_r=0.85$, 根据已知条件按公式(3—10)计算角钢锚筋总截面面积,

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{V}{\alpha_c \alpha_r \alpha_b f_r} + \frac{N}{0.8 \alpha_c \alpha_b f_r} + \frac{M}{1.3 \alpha_c \alpha_r \alpha_b f_r Z} \\ &= \frac{210 \cos 45^\circ}{0.8 \times 0.85 \times 0.61 \times 0.21} \\ &\quad + \frac{210 \sin 45^\circ}{0.8 \times 0.8 \times 1.0 \times 0.21} \\ &\quad + \frac{210 \sin 45^\circ}{1.3 \times 0.8 \times 0.85 \times 1.0 \times 0.21 \times 450} \\ &= 2952 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

对比试选用角钢锚筋的 $A_s=3346 \text{mm}^2$ 略大于 2952mm^2 , 说明满足拉剪弯强度的要求。

(四) 抗拔验算

按照公式(3—13)计算。

角钢锚筋的混凝土剪力锥在构件表面上的投影面积总和为

$$A_{s,p} = (2 \times 450 + 450) \times 200 = 270000 \text{mm}^2$$

混凝土抗拉强度 $f_t=1.5 \text{N/mm}^2$, 由公式(3—13)得

$$0.6 f_t A_{s,p} = 0.6 \times 1.5 \times 270000 = 243 \text{kN}$$

$$N + \frac{M}{\alpha_r Z} = 210 \sin 45^\circ + \frac{210 \times 80 \sin 45^\circ}{0.85 \times 450} = 179.5 \text{kN}$$

$$N + \frac{M}{\alpha_r Z} < 0.6 f_t A_{s,p}$$

说明预埋件由锚筋受拉弯剪强度控制, 满足要求。