

# 地脚螺栓的设计与安装研究

黄永辉 朱鹏举 刘志超 车莹娟  
(空间物理重点实验室 北京 100076)

**摘要:** 本文简要介绍了地面设备地脚螺栓的种类, 给出了 L 型地脚螺栓的参数设计方法——通过分析其常见破坏形式, 提出了 L 型地脚螺栓的强化设计方法, 介绍了地脚螺栓的浇注和安装方法, 以及施工过程中常见问题的处理措施。

**关键词:** 地脚螺栓; 基础; 浇注; 矫正

## 0 引言

在设备安装工程中经常采用地脚螺栓将设备与基础连接起来, 使设备工作时保持稳定不产生位移或发生倾覆。地脚螺栓的设计、安装直接影响到设备安装后的使用安全。本文简要介绍了地面设备地脚螺栓的种类, 重点介绍了 L 型地脚螺栓的参数设计、强化设计、浇注安装注意事项、地脚螺栓施工常见问题及处理措施。

### 1 地脚螺栓的种类

工程上常采用的地脚螺栓有三种:

(1) L 形地脚螺栓

L 型地脚螺栓通常用于固定在工作时冲击力和振动较小的中小型设备;

(2) 活地脚螺栓

活地脚螺栓一般用于固定在工作时冲击力和振动强烈的重型设备;

(3) 膨胀螺栓

膨胀螺栓通常用于固定在工作时无冲击力和振动的轻型、小型设备。

本文以 L 型地脚螺栓为例展开讨论分析。

### 2 地脚螺栓参数设计

#### 2.1 直径设计

地脚螺栓的抗拉能力主要与地脚螺栓的埋置长度、螺栓自身的材料强度以及基础配筋方案有关。埋置长度是指螺栓埋入基础的总长度, 埋置长度范围内在螺栓和基础之间产生的连接强度, 可以抵抗作用于地脚螺栓上的拉拔荷载。

地脚螺栓设计要求连接力应大于或等于螺栓屈服点承载力, 一般在螺栓杆埋入段的端头设计一段长度  $L' = 4d$  ( $d$  为螺栓直径) 的  $90^\circ$  直角  $L$ , 以提高螺栓杆端基础的局部承载力, 在满足竖筋布置的条件下使得连接力大于或等于螺栓屈服点承载力, 即必须保证足够的连接强度条件。而地脚螺栓的抗拉承载力受其材料抗拉强度  $\sigma_b$  决定。

地脚螺栓受力如图 1 所示, 则螺栓直径:

$$d \geq 2(F/(\pi \sigma_b))^{1/2};$$

地脚螺栓直径对应的设备安装孔径设计参见表 1。

表 1 设备安装孔径对照表

螺栓直径	10	12	16	20	24	30	36	42	48
设备孔径	11-13	13-17	17-22	22-27	27-35	33-40	40-48	48-55	55-65

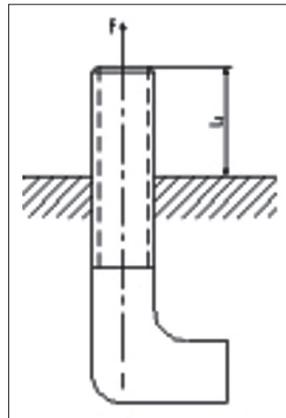


图 1 地脚螺栓受力示意图

#### 2.2 长度设计

地脚螺栓长度 [1] 设计如下:

$$L = L_1 + L_2;$$

$$L_1 = S + (d/3 \sim 2d/3);$$

$$L_2 \leq 25d;$$

$$L' \leq 4d;$$

其中  $d$  为螺栓直径,  $L$  为螺栓长度,  $L_1$  为基础上长度,  $L_2$  为埋置长度,  $L'$  为  $90^\circ$  弯头长度,  $d$  为螺栓直径,  $S$  为所安装设备的底座厚度以及固定所用的螺母、垫片的总厚度。

### 3 基础强化设计

#### 3.1 基础受拉破坏形式及强化设计

当地脚螺栓周围的基础中未设置用于传力的竖筋时, 地脚螺栓受拉时基础的破坏形式主要有 3 种, 如图 2 所示, 基础圆锥体面崩裂 a、栓杆端头局部基础承压破坏 b 以及基础劈裂破坏 c 等。

工程上常用的基础强化方法是在地脚螺栓埋入段周围的基础中预埋一些竖筋来传递载荷, 如图 3 所示, 主要包括 a 基础短柱纵筋、b 发卡筋、c 钢筋笼等 3 种常用方法, 可以使轴向拉力通过竖筋传至基础底部, 从而避免基础混凝土圆锥体面崩裂破坏。

竖筋布置范围  $D = 6d$ ; 深度  $H = 0.5L \sim L$ 。

#### 3.2 基础受剪破坏形式及强化设计

一般情况下地脚螺栓设计时不考虑剪切力。然而对于

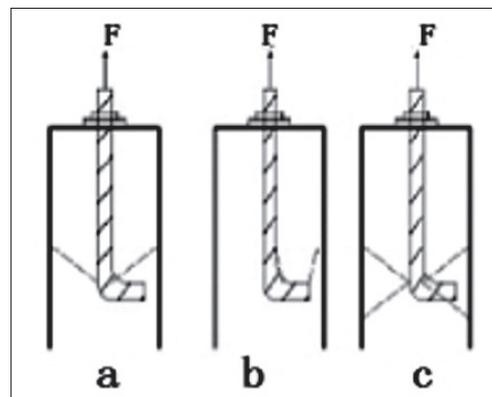


图 2 地脚螺栓基础受拉破坏的主要形式

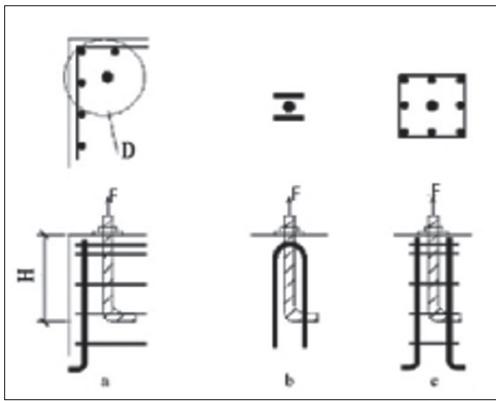


图 3 竖筋布置方法

一些未设置抗剪销的设备，受到横向载荷作用比如在较大的风载条件下，当其底板与基础之间的摩擦阻力小于横向载荷，剪切力就会通过地脚螺栓传递至基础，可能会造成基础破坏。

基础的剪切破坏形式如图 4 所示，主要有三角面崩裂 a、剪翘破坏 b 等 2 种形式。其中，基础三角面崩裂破坏形式是地脚螺栓抗剪设计的主要控制破坏形式，它受地脚螺栓在基础中的边距、间距以及埋置长度影响比较大。

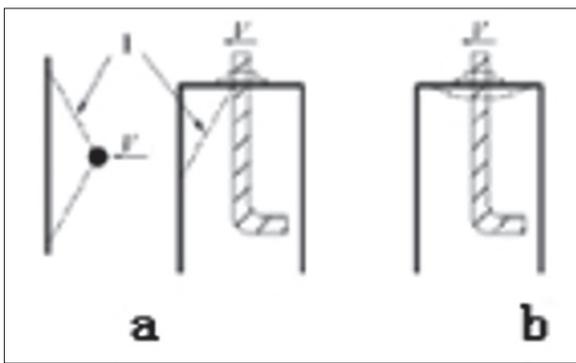


图 4 地脚螺栓基础受剪切破坏的主要形式

对于剪切破坏，工程上常用的基础强化方法是在基础内预埋横筋，通过横筋承担剪切力对基础挤压而产生的拉应力，从而避免了基础三角面崩裂破坏。

当地脚螺栓的埋置长度  $L_2$  较小时，在受剪切载荷作用下，基础容易发生剪翘破坏；当埋置长度  $L_2 > 12d$  时，可以避免此类破坏，根据设计要求  $L_2$  一般大于  $25d$ ，因此剪翘破坏可以不考虑。

因而对于存在剪切载荷的条件下，合理设置横筋能有效避免基础破坏。

#### 4 地脚螺栓浇注与安装

##### 4.1 地脚螺栓浇注方法

###### 4.1.1 二次灌浆浇注法

二次灌浆浇注法是指浇灌基础时，预先在基础上预留了地脚螺栓埋置孔洞，设备穿上地脚螺栓后用混凝土把预留的孔洞浇灌满，使地脚螺栓与设备基础连在一起。

二次灌浆浇注法的注意事项如下：

- (1) 螺栓与浇注孔壁径向间隙均不应小于 15mm，以

避免间隙太小导致灌浆不实；

- (2) 螺栓底部距离浇注孔底部间隙不应小于 100mm；

- (3) 浇注孔内不得有多余物。

###### 4.1.2 一次灌浆浇注法

将地脚螺栓直接固定在基础内预埋的钢筋上，在浇灌基础时一并将地脚螺栓浇灌在一起，这种工艺一般用于大型设备的基础浇注。一次灌浆浇注法的注意事项如下：

- (1) 必须保持地脚螺栓处于垂直状态；

(2) 模具一般选用型钢或板材，须根据设计图纸严格下料；

(3) 浇注基础时将地脚螺栓和基础加强筋一次浇注，浇注时不得使模具或地脚螺栓产生变形，产生浇注应力。

##### 4.2 地脚螺栓浇注垂直度的影响

地脚螺栓浇注时应保证垂直状态，如果发生倾斜会使螺栓的坐标位置产生误差，会给设备的安装造成困难，如果螺栓孔的底座厚度较大时甚至无法正常安装设备。

同时，螺栓浇注不垂直时，其承受外力的能力下降。

如图 5 所示：地脚螺栓垂直方向所受的拉力为  $F$ ，螺栓的截面面积为  $A$ 。则：螺栓垂直安装时所受拉力为  $F$ ，螺栓的拉应力  $\sigma = F/A$ ， $A$  为螺栓截面积。而当地脚螺栓浇注发生倾斜角度  $\alpha$  时，所受拉力为  $F_1 = F/\cos \alpha$ ，拉应力为  $\sigma_1 = F_1/A$ ，同时还产生一个水平分力

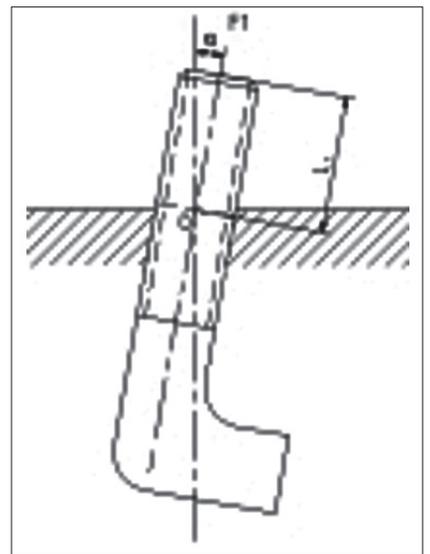


图 5 地脚螺栓倾斜状态受力示意图

$F_2 = F/\tan \alpha$ ，该力作用在 O 点产生的弯曲应力为  $\sigma_2 = F_2 L_1 / W$ ，（ $W$  为抗弯截面模量），则总应力为  $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$ 。

相对来说在这种情况下地脚螺栓比垂直安装时承受的应力增加，同时水平分力的作用会使设备底座产生沿水平方向移动的趋势，可能使设备产生不可忽略的安装误差。因此安装浇注地脚螺栓时必须保证垂直。

##### 4.3 地脚螺栓的拧紧力矩

安装设备时，地脚螺栓的拧紧力应均匀，并在基础混凝土达到设计强度 75% 以上方可拧紧。拧紧螺母后，螺栓露出螺母的长度为  $d/3 \sim 2d/3$ 。不同直径地脚螺栓的拧紧力矩选择可参照表 2。

#### 5 地脚螺栓施工常见问题及纠正措施

地脚螺栓的安装过程中常见的质量问题主要有位置偏差、标高偏差、松动等。

##### 5.1 位置偏差的纠正措施

对于直径  $d < 30\text{mm}$  的地脚螺栓，在预埋后偏差量小

表2 拧紧力矩—螺栓直径对应表

拧紧力矩 $N\cdot m$	螺栓直径 $mm$
1100	10
1900	12
3000	14
4800	16
6600	18
9500	20
13000	22
24000	27
32000	30
58000	36

于30mm时,通常采用火焰烘烤法矫正。即将基础混凝土凿开一定厚度露出地脚螺栓,用火焰将螺栓烤红后再使用千斤顶等工具将螺栓矫正,矫正后用采用钢板焊接加固。凿开的基础可在二次灌浆时浇注。

当 $d > 30mm$ 的地脚螺栓发生偏差且偏差值大于30mm时,纠偏方法一般是将螺栓切断并使用与螺栓同材质板材焊在螺栓中间进行调整,同时根据需要可加筋板以提高螺栓强度。

必须注意同一螺栓不能反复多次烘烤、焊接,以避免螺栓晶相变化影响材料强度。

#### 5.2 标高偏差的矫正

地脚螺栓偏高或偏低都属于标高偏差,当地脚螺栓偏高时可用机械切除高出部份;当螺栓偏低时采取搭接形式对螺栓进行接长,如图6所示。

可在适当的地方将地脚螺栓切断,(根据需要允许凿开一部分基础)采用同材质的新螺栓调整标高到符合要求,同时采用同规格圆钢套管进行补强,搭接长度 $L_3=4d \sim 6d$ 。

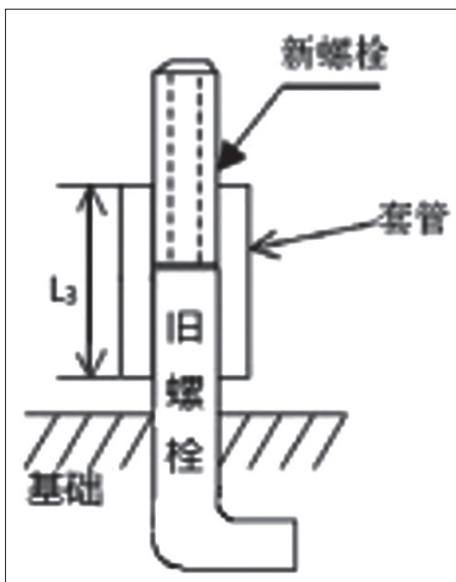


图6 地脚螺栓接长方法示意图

#### 5.3 地脚螺栓松动的处理

在安装设备过程中,拧紧螺母时可能将地脚螺栓拔活产生松动现象。常用的处理方法是将地脚螺栓周围的基础凿开一个矩形或圆柱形的孔,边长或直径为 $10d \sim 14d$ ,深度不小于 $L/2$ ;清理干净孔中的多余物后灌结构胶,并保持24小时不摇动螺栓以保证螺栓垂直,孔内可适当加U形钢筋强化基础。

#### 5.4 地脚螺栓的结构胶植筋处理

当地脚螺栓偏移问题比较严重,用上述方法难以矫正时,可采用植筋的办法纠偏,即将偏移的地脚螺栓切除平整,在正确的地脚螺栓位置上重新按照孔深要求打孔,孔径范围 $12d \sim 14d$ ,清理干净孔中多余物后将焊有加强筋的地脚螺栓垂直放入孔中,将螺栓调整到正确位置并灌入结构胶,保持24h不动摇螺栓以保证螺栓的垂直度。

### 6 结语

本文阐述了地脚螺栓的分类及应用范围,给出了L型地脚螺栓及其基础的设计、选型及安装浇注方法,明确了螺母拧紧力矩的选择范围,并针对施工过程中的常见问题给出了相应的处理措施,主要结论总结如下:

- (1) 地脚螺栓一般用于承受拉载荷;
- (2) 在地脚螺栓埋入段一定范围内的基础中合理设置竖筋可防止基础受拉破坏,合理设置横筋可以防止基础剪切破坏;在此条件下,地脚螺栓承载能力只与其自身材料力学性能有关;
- (3) 地脚螺栓浇注时须保持螺栓垂直,并避免浇注不实或因模具、螺栓变形产生应力;
- (4) 地脚螺栓矫正时不得反复烘烤或焊接同一螺栓以避免螺栓性能下降;
- (5) 地脚螺栓浇注或矫正后浇注时应确保浇注孔内无多余物,并采取适当措施保证螺栓垂直度。

#### 参考文献:

- [1] 钢结构设计手册(上册).第3版[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [2] GB50007-2011 建筑地基基础设计规范[S].2011.
- [3] GB50017-2003, 钢结构设计规范[S].2003.
- [4] 肖奇珍.轻钢结构柱脚锚栓计算方法[D].杭州:浙江大学,2002.
- [5] 陈延,张曦卉,刘宏伟,李立昌.地脚螺栓的设计[J].工业建筑,2013(43).
- [6] 林丁未.浅析工业设备地脚螺栓安装技术[J].科技信息,2007(25).
- [7] 黄位昌,马锦静.机械设备地脚螺栓安装时应注意的几个问题[J].沿海企业与科技,2005(69).
- [8] 徐铎,陈前,等.L型及J型地脚螺栓抗拔试验及理论分析[J].土木工程与管理学报,2018.
- [9] 刘璐.机械设备地脚螺栓安装工艺的研究与分析[J].中国机械,2015(21).