

## 拱形屋面空旷建筑基础的实用设计

梁宗敏 秦家利

(中国农业大学 水利与土木工程学院,北京 100083)

**摘要** 拱形屋面结构单层空旷建筑的基础偏心距较大,用常规设计方法基础面积过大,使这种结构在实际工程中的应用受到限制。分析了这种结构的受力特点,针对我国的工程实际,提出了改进基础设计的几种方法:1)加大基础自重,利用基础梁把墙体的重力传给基础;2)采用复合基础,将条形基础和独立基础浇筑成整体,使条形基础承担部分弯矩和剪力;3)风荷载较小且没有吊车时采用偏心基础,相当于预先给基础施加适当的反向弯矩。工程实例表明,与常规设计相比,采用复合基础设计的独立基础底面积较小,降低了基础高度,混凝土体积减小约30%。降低了工程造价,方便基础施工。

**关键词** 拱形屋面;基础;偏心距

中图分类号 TU 471.1

文章编号 1007-4333(2003)02-0069-04

文献标识码 A

### Optimum design and study of foundation of spacious buildings with arch corrugated roof

Liang Zongmin, Qin Jiali

(Water Conservancy and Civil Engineering College, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** Large eccentricity of foundation of the long span building with arch roof makes the bottom area of foundation so large that it cannot be unrestricted adopted in practice. This paper analyzed the characteristic of those structures with this type roof, aim at the fact of engineering in China, provides several methods to improved foundation. 1) Increasing deadweight of foundation, the foundation beam under the wall will transfer the weight of the wall to the foundation; 2) Using composite foundation, construct the foundations of wall and column as a whole, the foundations of the wall endures part of the moment and shear force from the column; 3) If the building endures little wind load and has no crane, eccentric foundation can be used, a proper reverse moment is given to the foundation. It was testified by engineering case that the composite foundation has smaller bottom and less volume than those foundation designed by general method. The improved foundation can save about 30% concrete. The cost was reduced and the construction will be convenient.

**Key words** arch roof; foundation; eccentricity

拱形波纹屋盖是板架合一的屋盖结构,集承载与围护功能于一体,不需要檩条和屋架,自重轻、用钢少,使单层空旷建筑摆脱了传统结构体系中沉重的钢筋混凝土屋盖体系。除此之外,该结构还具有造型美观、施工快速、造价低廉的优点,目前已经广泛应用于单层空旷建筑(工业厂房、大型超市、停车场、礼堂等),但由于其竖向荷载小,水平荷载大,故常规设计中基础偏心距较大,基础底面积过大,使这

种结构在实际工程中应用受到限制。

在国外,拱形波纹屋盖应用较早,目前多采用加大基础埋深或预制桩基础等方法来解决基础偏心距过大的问题。这些方法适合于施工机械化程度较高的国家,但不适用于我国的工程实际。

笔者基于拱形波纹屋盖工业厂房和大跨度畜禽舍结构设计经验,对这一问题及解决方法进行了探讨,提出了几种适合于我国现阶段工程水平的实

收稿日期:2002-09-02

作者简介:梁宗敏,硕士,副教授,研究方向为土木工程与农业建筑。

用方法,并进行了比较,供设计同行参考。

## 1 基础受力特点和基本要求

拱形波纹屋盖结构是空间拱结构,以竖向承重结构顶部的钢筋混凝土槽口梁作为铰接支座,形成两较拱。由于没有下弦拉杆,拱对支座产生较大的推力。同时,屋面拱较高,使檐口处水平风荷载较平屋顶建筑大,因此拱形屋盖结构体系中承重柱顶将承受相对较大的水平反力和相对较小的竖向反力。

与排架结构体系不同,拱形屋面檐口处平面刚度很小,在纵向和横向都不能作为柱的水平约束<sup>[1]</sup>,设计时,柱纵向采用有侧移框架计算模型,柱横向采用下端固定,上端自由的悬臂结构计算模型(图1)。柱根部轴力相对较小,而弯距和剪力相对较大,特别是当工业厂房有吊车时,吊车的水平刹车荷载将会导致更大的弯距和剪力。

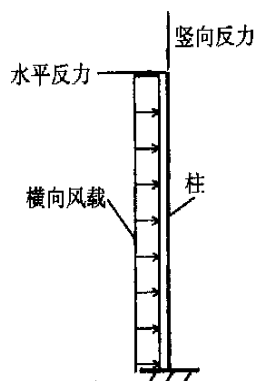


图1 柱计算模型  
Fig. 1 Model of column

柱基础一般采用柱下独立基础(图2),柱根部承受相对较大的弯距和剪力以及相对较小的轴力,基础偏心距  $e$  较大,一般在 1 m 左右,有时可达 1.5 m ~ 2.0 m。

$$e = (M + Vh) / (N + G) \quad (1)$$

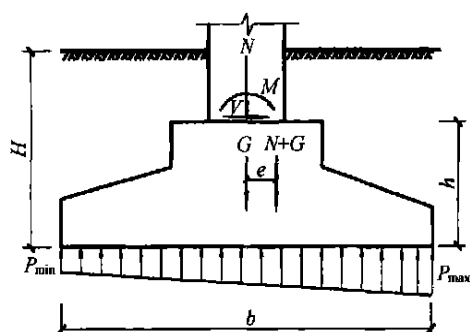


图2 基础受力图

Fig. 2 Force on foundation and pressure on foundation bottom  
式中:

$M$  —— 柱根弯距,  $\text{kN} \cdot \text{m}$ ;

$V$  —— 柱根剪力,  $\text{kN}$ ;

$N$  —— 柱根轴力,  $\text{kN}$ ;

$G$  —— 基础和基底以上土总重简称基础总重,  $\text{kN}$ ;

$h$  —— 基础高度,  $\text{m}$ 。

根据文献[2],偏心基础应遵循以下设计原则:

当  $e \leq b/6$  时

$$P_{\max} = (F + G) / A + M / W \quad (2)$$

$$P_{\min} = (F + G) / A - M / W \quad (3)$$

当  $e > b/6$  时

$$P_{\max} = (F + G) / (3la) \quad (4)$$

2 种情况都要满足

$$P_{\max} \leq 1.2f \quad (5)$$

式中:

$P_{\max}$  —— 基底反力的最大值,  $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$ ;

$P_{\min}$  —— 基底反力的最小值,  $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$ ;

$F$  —— 柱传来的压力,  $\text{kN}$ ;

$W$  —— 基础底面在弯矩方向的面积抵抗矩,  $\text{m}^3$ ;

$l$  —— 垂直力距作用方向的基底边长,  $\text{m}$ ;

$b$  —— 基底宽度,  $\text{m}$ ;

$a$  —— 合力作用点至基础地面最大压力边缘的距离,  $\text{m}$ ;

$f$  —— 地基土的承载力设计值(经过宽度和深度修正),  $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

对于仅有风荷载作用的空旷建筑独立基础,允许基础底面不完全与地基接触,但接触部分长度与基础长度之比  $l/l_0 \geq 0.75$ ,同时还要验算基础底板受拉一边在底板自重及上部土的自重作用下的抗弯强度。

由于结构竖向荷载较小,在基础设计中,承载力将不起控制作用,起控制作用的是基础的偏心距。如果采用常规的设计方法,基础的宽度(长向)将达到 6 ~ 8 m,甚至更大,这在实际工程中是难以接受的。

## 2 基础的改进设计

1) 增加基础总重  $G$ 。根据式(1),在柱根内力( $M, V, N$ )和基础尺寸( $b, l, h$ )已确定的情况下,增加基础总重是减小  $e$  的较好措施,实际工程中通常采用下面 2 种具体方法:

a. 采用下部加重墙。一般采用黏土砖墙,使其

重力通过基础梁传递到基础上。设下部墙(基础顶面至窗台)高 2 m, 厚 0.36 m, 柱距 6 m, 砖墙容重  $19 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ , 则每个柱基因此而增加重力 86.4 kN, 而  $N$  一般在 100 ~ 200 kN 之间, 可见利用纵墙的重力是一种较好的方法; 但此法往往受到建筑要求、墙体材料、墙体高度的限制<sup>[3]</sup>。

b. 加大埋深。加大埋深带来 3 个变化, 其一是地基承载力设计值  $f$  经过深度修正后会增大, 这不会影响到偏心距控制的基础设计; 其二是基础总重  $G$  增大, 这对降低基础偏心距有利; 其三是柱的计算长度增大, 这会使柱根部(基础顶面处)的弯矩  $M$  增大, 对降低偏心距不利。另外加大埋深还会增加钢筋混凝土柱和基础的工程量, 在浅层土地基承载力较大的情况下, 加大埋深是不经济的做法, 这种方法仅适于浅层土承载力较低的情况。在设计过程中, 应综合考虑地基土层的情况, 进行全面衡量。

2) 采用复合基础。非承重纵墙基础有 2 种形式: 一种是采用基础梁把荷载传给独立基础, 一种是采用墙下条形基础把荷载直接传给地基。当采用墙

下条形基础时, 其底面标高一般和独立基础一致, 故可以把条形基础和独立基础浇筑成一个整体, 按复合基础进行考虑, 让条形基础承担一部分弯矩和剪力。这时复合基础底面抵抗矩  $W$  和基础总重  $G$  分别为:

$$W = \frac{lb^2}{6} + \frac{(L-l)B^2}{6} \quad (6)$$

$$G = [(L-l)B + lb] \cdot dH \quad (7)$$

式中:

$L$  —— 柱距, m;

$d$  —— 基础上方土的加权容重,  $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ ;

$H$  —— 基础埋深, m。

这样就会使基础底面抵抗矩  $W$  和基础总重  $G$  加大, 减小了偏心矩的影响。需要考虑的是, 如何使条形基础参与共同工作。笔者参考柱下条形基础的做法(通过肋梁抗扭协调基础绕纵向轴转动变形), 把砌体以及其中所包含的 3 道钢筋混凝土基础梁视作复合基础中的复合肋梁(图 3), 通过复合肋梁抗扭来协调独立基础和条形基础之间的变形差。

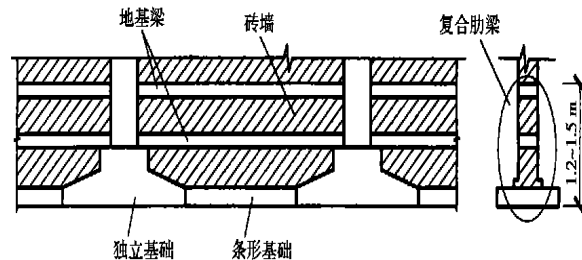


图 3 复合基础

Fig. 3 Composite foundation

3) 采用偏心基础。将承受偏心荷载的基础本身设计成偏心(图 4), 相当于把柱传来的  $N$  作用在原有偏心距的反方向, 从而给基础施加一个反向的弯矩  $M = Ne$ , 使基础满足设计要求。采用这种做法一定要慎重, 如果基础偏心距主要由风荷载(或吊车

制动力)引起, 则不适宜。因为风荷载和吊车荷载可能在左右 2 个方向作用于结构, 当某一个方向使基础产生偏心减小时, 另一个方向则会使基础偏心增大, 对基础反而不利。当风荷载较小, 且没有吊车时, 基础偏心主要由水平推力引起, 这时可以采用偏心基础的做法, 但要保证基础不过分倾斜, 基础底面不脱离地基土。除了要根据式(5)验算地基承载力外, 基础偏心距必须满足:

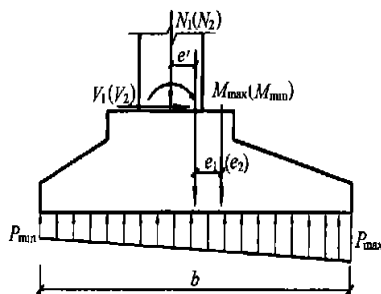


图 4 偏心基础

Fig. 4 Eccentric foundation

$$e_1 = \frac{M_{max} + V_1 h - N_1 e}{N_1 + G_1} \cdot \frac{b}{6} \quad (8)$$

$$e_2 = \frac{M_{min} + V_2 h - N_2 e}{N_2 + G_2} \cdot \frac{b}{6} \quad (9)$$

式中:  $M_{max}$ ,  $M_{min}$  分别表示单向计算水平荷载时, 边柱柱根处的最大和最小弯矩,  $N_1$ ,  $V_1$ ,  $G_1$  和  $N_2$ ,  $V_2$ ,  $G_2$  分别表示相应的轴力、剪力和基础总重。

笔者结合参加过的几个拱形屋盖结构空旷建筑的基础设计,分析了不同条件下这几种改进方法的有效性、合理性和经济性,得出以下结论:

1) 增加基础总重的方法通过基础梁传递荷载,为防止基础冻胀时基础梁上鼓导致墙体开裂,需在基础梁下方留空隙,基础梁两侧用砖壁隔离,且砖壁不能一次砌筑,施工较为复杂。此法适用于柱距较大,偏心距较大( $1.0 < e < 1.5$ )的情况。

2) 复合基础不仅可以解决基础偏心距过大的问题,还可以通过相连的条形基础协调独立基础之间的沉降差,防止墙体和柱之间出现裂缝,地基承载力较小,纵墙较高较厚,偏心距较小时( $0.5 < e < 1.0$ )此法较为有效。

3) 当屋面跨度较大,风荷载较小,且没有吊车( $e < 0.5$ )时,采用偏心基础较为有利。应当注意采用偏心基础对承受某一方向的水平荷载有利,对承受与其反向的水平荷载则不利,应当慎重。

4) 对于偏心距过大,上述方法不能解决时,可以考虑桩基础。常用桩有碎石桩、灌注桩和预制桩等,但采用桩基础不仅使设计和施工复杂化,而且造价往往较高,因此是最后的选择。

另外,在拱形屋面的檐口平面处增加水平拉杆,能很大程度地减小由于拱推力所导致的基础偏心距,在不影响使用和美观的前提下此法当为首选。

### 3 构造与施工

为了方便施工,保证质量,笔者对各种基础的构造也进行了改进设计。

1) 采用复合基础的关键问题是使条形基础参与共同工作,笔者在基础设计时采用 2 道钢筋混凝土拉梁及墙、柱之间的拉结筋,且加大条形基础纵向钢筋配筋量并使之穿过独立基础,加强了墙体和柱之间,条形基础和独立基础之间的拉结,施工时采用先砌墙后浇柱的方法,取得了较好的效果(图 3)。

2) 采用加大基础总重的方案时,通常基础梁采用简支梁,施工采用预制或现浇。若采用预制基础

梁,则需通过预埋件和基础及柱焊接连接,并浇灌 2 次混凝土,施工较为复杂;若采用现浇,则由于基础梁底部支模的要求,基础梁两侧的砖壁必须 2 次砌筑,施工也较复杂。笔者在设计中采用现浇方法,改进了支模方式,采用聚苯乙烯泡沫板作为基础梁的底模(图 5),浇筑后不拆模,泡沫板还可以防止基础冻胀对基础梁的影响,施工省时省工,取得了较好的效果。

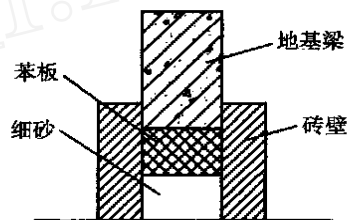


图 5 基础梁下部做法

Fig. 5 Construction of the part under foundation beam

### 4 工程实例

以北京望族净化技术有限公司换油车间结构为例,该车间跨度 15 m、柱距 6 m、檐高 6 m、拱高 3.5 m (建筑总高 9.5 m),地基承载力 150 kPa,基本雪压  $0.40 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ ,基本风压  $0.45 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ 。基础底面标高 - 2.0 m,若采用常规设计方法,独立柱基底面需  $2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ,基础高度需 0.9 m。经过方案比较,笔者采用了复合基础的方案,墙下条基宽度 0.8 m,使独立柱基底面减小到  $1.6 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ ,基础高度减小到 0.6 m,混凝土体积减小约 30%。降低了工程造价,同时使施工在很大程度上得到简化,缩短了基础工程的工期。

### 参 考 文 献

- [1] GB 50010—2002. 混凝土结构设计规范[S].
- [2] GB 50007—2002. 建筑地基基础设计规范[S].
- [3] 王元清,王春光,袁英战. 门式刚架轻钢结构工业厂房基础设计与研究[J]. 建筑结构, 2000, 30(4): 20~22