

Discussion on Type Selection of Chimney Infrastructure

Xin Wang

MCC Energy Conservation and Environmental Protection Co., Ltd., Beijing, 100088, China

Abstract

The chimney foundation supports the entire chimney cylinder and bears all the loads from the upper structure, the rationality of the chimney foundation design is related to whether the chimney can meet the needs of normal operation. Therefore, the design of the chimney foundation is particularly important, through the summarization and comparison of different foundation forms, the stress analysis, structure selection and construction difficulty of chimney foundation are introduced and discussed.

Keywords

chimney; foundation form; structure selection

浅谈烟囱基础结构选型

王欣

中冶节能环保有限责任公司, 中国·北京 100088

摘要

烟囱基础支撑着整个烟囱筒体, 承受着上部结构传来的全部荷载, 烟囱基础设计的合理与否关系到烟囱能否满足正常运行的需要。因此, 烟囱基础的设计显得特别重要。通过对不同基础形式的归纳总结和对比, 对烟囱基础的受力分析、结构选型和施工难易程度进行介绍和探讨。

关键词

烟囱; 基础形式; 结构选型

1 引言

烟囱属于土建特种结构, 且具有高柔、外露、无围护等特点, 和高层建筑一样, 烟囱的上部结构对基础的竖向承载力要求很高, 对基础的水平承载力也有着极高的要求, 同时对沉降和不均匀沉降的要求也较高, 因此, 基础设计需具有整体性好、竖向承载力高、沉降小以及调节不均匀沉降能力强等优点^[1]。

2 基础形式

在烟囱的基础设计中, 通常基础分为浅基础和深基础。

2.1 浅基础

常见的用于烟囱的浅基础形式有刚性基础、钢筋混凝土板式基础(平板式基础、肋板式基础)和钢筋混凝土壳体基础等。其中, 刚性基础一般都用于高度较小, 地基条件较好的烟囱, 其材料为砖、片石、片石混凝土和混凝土。目前使用最为广泛的烟囱基础形式是钢筋混凝土板式基础(包括环形及圆形), 适用于各种烟囱结构形式, 其特点是受力简

单, 施工方便, 耐久性好, 板内受力钢筋可施加预应力。

除此之外, 烟囱的基础形式还有钢筋混凝土壳体基础, 常用的形式有M形组合壳、正倒锥组合壳等, 其中M形组合壳基础的底面积展开面积较大, 多用于承载力较低的烟囱。正倒锥组合壳基础因其底部中空向外倾斜, 从而可有效避开烟气温度, 降低基础温度应力, 该形式基础空间刚度大, 抵抗力强, 能充分发挥材料性能, 薄壳基础的受力较合理, 混凝土用量少, 但对施工要求较高, 施工较复杂, 但结构耐久性稍差, 条件成熟时可优先考虑此基础类型。

2.2 深基础(桩基础)

当浅层地基土质不良, 采用浅基础不能满足承载力强度和地基变形要求时, 则可采用桩基础。在烟囱桩基础设计中, 常采用的桩的形式为钢筋混凝土灌注桩和预制桩。灌注桩主要采用沉管灌注桩和钻孔灌注桩, 预制桩主要采用混凝土方桩和预应力混凝土管桩。烟囱桩基设计过程中, 为便于桩的制作和施工, 应尽量选用形式统一的桩, 以达到更好的经济效益。

3 受力及设计分析

烟囱属于静定结构且为长柔悬臂结构, 在风荷载、地震作用及烟囱筒身的附加弯矩作用下, 作用于烟囱底部的弯

【作者简介】王欣(1987-), 女, 中国河北保定人, 硕士, 工程师, 从事土建结构设计研究。

矩值是相当大的，远大于作用于烟囱底部的竖向力，烟囱在水平作用下（主要为风荷载和地震作用）有较大的侧移，会引起很大的 $P-\Delta$ 效应，顶部水平位移较大，从而对截面破坏非常敏感，因此烟囱基础受力计算主要是由偏心荷载作用控制。

3.1 浅基础设计

3.1.1 基础尺寸的初步确定

根据 GB 50051—2013《烟囱设计规范》第 12.4.1 条规定，当板式基础为圆形基础时，基础半径应根据烟囱底部筒身半径和厚度确定。可得：

$$r_z = \frac{r_2 + r_3}{2}$$

$$\frac{r_1}{r_z} \approx 1.5$$

$$h \geq \frac{r_1 - r_2}{2.2}$$

$$h \geq \frac{r_3}{4.0}$$

$$h_1 \geq \frac{h}{2}$$

式中， r_z 为环壁底面中心处半径，其余符合如图 1 所示。

3.1.2 地基承载力验算

依据 GB 50051—2013《烟囱设计规范》第 12.2.1 条规定，具体如下。

轴心荷载作用时：

$$p_k = \frac{N_k + G_k}{A} \leq f_a$$

偏心荷载作用时，除应满足上式要求外，尚应满足下式要求：

$$p_{k\max} = \frac{N_k + G_k}{A} + \frac{M_k}{W} \leq 1.2f_a$$

同时，要求地基最小压力满足：

$$p_{k\min} = \frac{N_k + G_k}{A} - \frac{M_k}{W} \geq 0$$

其中， N_k ——相应荷载效应标准组合时，烟囱筒壁结构传至基础顶面的竖向力，kN；

G_k ——基础自重标准值和基础上土重标准值之和，kN；

f_a ——修正后的地基承载力特征值，kPa；

M_k ——相应于荷载效应标准组合时，传至基础底面的弯矩值，kN·m；

W ——基础底面的抵抗矩，m³；

A ——基础底面面积，m²。

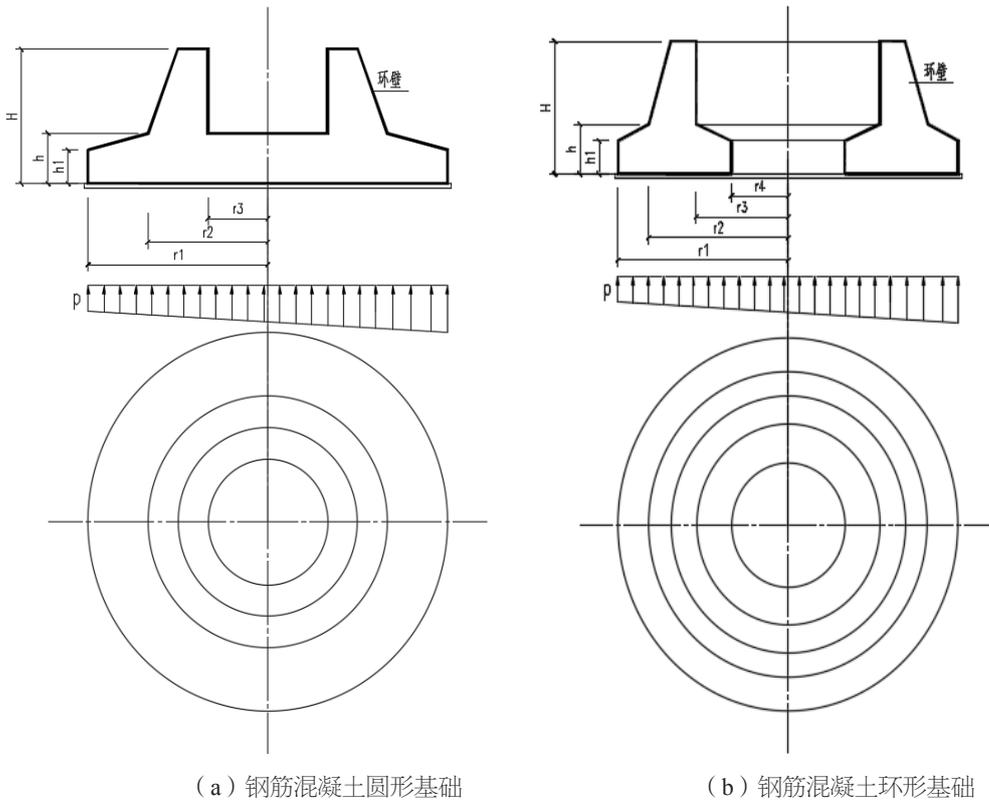


图 1 钢筋混凝土板式基础应力分布

3.1.3 基础底板内力

基础采用刚性构件假定，基底反力按均布荷载采用，基础底板内力计算时选取外悬挑中点处的最大压力，可得：

$$p = \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I} \cdot \frac{r_1+r_2}{2}$$

其中， M_z ——作用于基础底面的总弯矩设计值， $\text{kN} \cdot \text{m}$ ；

N ——作用于基础顶面的垂直荷载设计值（不含基础自重和土重）， kN ；

I ——基础底面惯性矩， m^4 。

同理，环形基础尺寸可依据 GB 50051—2013《烟囱设计规范》相关规定进行设计及验算。

钢筋混凝土板式基础适用于各种烟囱形式，当底面积相同时，环形基础抵抗矩要大于圆形板式基础；同时，环形基础可避开基础中部高温区域，从而减小温度应力作用，故应优先选用。但考虑到项目现场实际情况，通常在水位较高及周边存在建（构）筑物影响的情况下，也常选用圆形板式基础。

3.2 桩基础设计

3.2.1 竖向力

轴心受压单桩承载力设计值应满足：

$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n} \leq R_a$$

偏心竖向荷载作用下，单桩承载力除应满足上式外，还应满足：

$$N_{ik\max} \leq 1.2R_a$$

其中，可得知：

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_k}{W} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_k \sum_{i=1}^n R_i \cos \theta_i}{\sum_{i=1}^n (R_i \cos \theta_i)^2}$$

式中， F_k ——相应于荷载效应标准组合时，作用于桩基承台顶面的竖向力；

G_k ——桩基承台和承台上土自重标准值，对稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力；

N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

N_{ik} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第 i 基桩或复合基桩的平均竖向力；

M_k ——相应于荷载效应标准组合作用于承台底面通过群桩形心轴的力矩值；

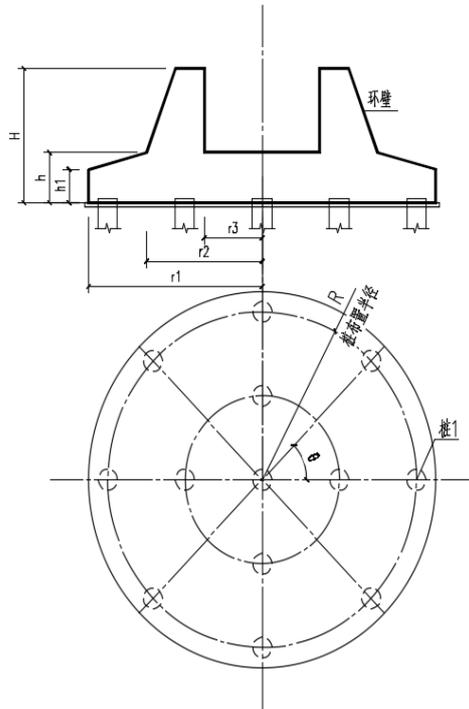
R_i ——第 i 根桩的定位半径；

θ_i ——第 i 根桩的定位角度；

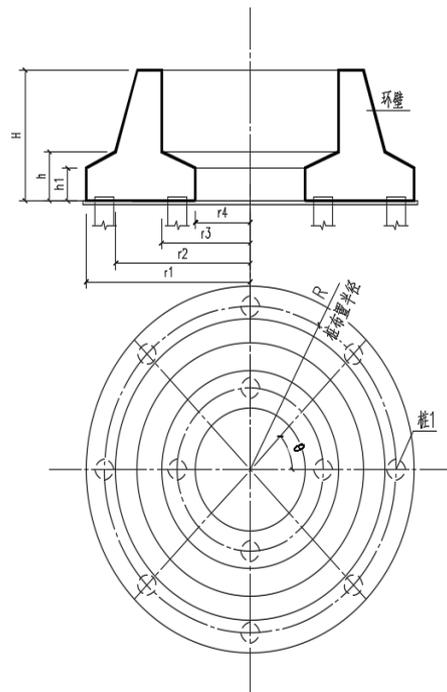
W ——桩基承台底面群桩对形心轴的抵抗矩；

R_a ——单桩竖向承载力特征值。

桩基础设计的具体情况如图 2 所示。



(a) 钢筋混凝土圆形承台



(b) 钢筋混凝土环形承台

图 2 烟囱桩基布置图

在桩间距满足规范要求的前提下，桩数量越多，则抵抗矩越大，桩承受的最大竖向力设计值则越小。同时，当桩位于圆心位置时，桩只承受竖向承载力，无法抵抗弯矩。因此，便于充分发挥桩基础的作用同时取得较好的经济效益，

桩要尽量远离烟囱的圆心，故优先考虑将桩基础布置成环形。设计中一般不允许出现桩基受拉，在各种工况组合下也仅允许桩产生较小的拉力，并进行桩的抗拔验算。

3.2.2 水平力

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n}$$

H_k ——荷载效应标准组合下，作用于桩基承台底面的水平力；

H_{ik} ——荷载效应标准组合下，作用于第*i*基桩或复合基桩的水平力；

n ——桩基中的桩数。

桩基水平承载力特征值取决于桩的材料强度、截面刚度、入土深度、土质条件、桩顶水平位移允许值和桩顶嵌固情况等因素，应通过现场水平载荷试验确定，必要时可进行带承台桩的载荷试验。

桩基设计要注重概念设计，要综合考虑桩型、成桩工艺、桩端持力层、桩径、桩长、单桩承载力、布桩、承台形式及是否设置后浇带等诸因素来确定烟囱工程桩基设计的总体构思^[2]。

3.3 基础埋深

基础埋深不应小于周围建筑物和构筑物基础的埋深，通常都在2~5m，在有地下烟道的情况以及对于高度超过150m的烟囱，尚需适当加深，烟囱基础应建于可靠的地基上。

在不良地基上建造烟囱时，须根据需求和土层具体情况采取必要的地基加固措施，有时还须采用桩基础。

4 结论

烟囱基础设计是一项很复杂的计算过程，论文通过对不同结构形式的烟囱基础进行分析和研究，从基础受力、截面尺寸及施工难易程度等方面探讨得到以下结论：

①烟囱高度较小时，地基优先选用结构受力简单、施工方便的刚性基础；

②烟囱基础荷载主要是由上部烟囱产生的偏心荷载作用控制，因此抵抗矩 W 对于基础大小起关键作用；

③钢筋混凝土环形板式基础比圆形板式基础更具一定优势，但水位较高时，应优先选用圆形基础；

④当浅层地基土质不良，则优先采用桩基础，以满足承载力强度和地基变形要求。桩要尽量远离烟囱的圆心，且环形布置，同时避免桩基出现拉应力；

⑤考虑到温度作用的影响，烟囱基础应尽量减小截面尺寸及埋深^[3]。

参考文献

- [1] JGJ94—2008 建筑桩基技术规范[S].
- [2] GB 50051—2013 烟囱设计规范[S].
- [3] 中国冶金建设集团包头钢铁设计研究总院. 烟囱工程手册(精)[M]. 北京: 中国计划出版社, 2004.