

实用供热外管网土建设计手册

王希杰 编著

中国建筑工业出版社

实用供热外管网土建设计手册

王希杰 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

实用供热外管网土建设计手册/王希杰编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2004
ISBN 7-112-06989-0

I. 实… II. 王… III. 建筑—供热管道—建筑
设计—技术手册 IV. TU833-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 113264 号

责任编辑: 姚荣华
责任设计: 刘向阳
责任校对: 刘梅 王莉

实用供热外管网土建设计手册

王希杰 编著

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
新华书店经销
北京市彩桥印刷厂印刷

开本: 787 × 1092 毫米 横 1/16 印张: 12 1/4 字数: 300 千字
2005 年 3 月第一版 2005 年 3 月第一次印刷
印数: 1—3,500 册 定价: 26.00 元

ISBN 7-112-06989-0
TU · 6230 (12943)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本手册是一部新型实用的供热外网土建设计手册, 它将土建所有的繁复计算均化为相关图, 用简洁的图解法去求解, 特别是在简化剪扭计算上, 有独创的新解法, 因而设计工效提高, 计算成果精确, 这是设计工作上的一大创新。以相关图取代计算表, 不仅使手册篇幅锐减, 且图形直观, 无需插补, 又可进行正 (设计)、逆 (复核) 运算, 使用极为方便。手册对支架、支墩的结构形式、尺寸均作了合理的选型与规定, 因此可以实现优化设计, 大大降低工程造价, 对支援祖国经济建设具有重大作用。本手册内容包括供热外管网常用的各种架空管道支架和直埋管道固定支墩两大类。

支架分为柱形、门形和桁架三类支架, 适用于柱长 10m、桁架高 6.7m 以下, 承受水平推力 600kN 以下的各类热力管道支架。

直埋热力管道固定支墩, 承受水平推力在 1000kN 以下, 基底埋深在 2.7m 以内。

本书有详细的计算公式和例题, 并附有支架和基础通用图供读者参考, 是土建设计、施工技术人员的得力工具书。

前 言

本设计手册内容包括供热外管网常用的架空管道支架（分柱架、门架、桁架）和直埋管道固定支墩两大部分。为简化供热外管网土建设计工作，实现优化设计，本手册大胆采用了图解法，取代传统的选用标准图、通用图的革新尝试。当已知供热外管网计算数据后，只需作些简单的辅助计算，无需进行结构力学、钢筋混凝土结构、地基基础和钢结构等全部土建繁复计算。利用查相关图、表，即可求得支架、支墩的全部设计数据，再参照本手册的通用图，便可绘制出支架、支墩设计图纸。通过我们多年设计工作实践证明，利用图解法进行供热外管网土建工程设计是一条简便、精确、高效的捷径，可降低工程造价 25% ~ 40%。

本手册简化计算的编制方法是：一、对支架、支墩设计中有关结构部分的各项可变因素进行了合理取值，使可变的因素定值化，将庞杂问题简单化。二、把所有繁复计算结果全部绘制成相关图、表以供查用。最终简化为两大类相关图即：①支架配筋量 A_s 与水平推力 f 的相关图，即 $A_s = f(f)$ 图和支墩受力板弯矩系数 M_u 图；②基础单位底面积 W 与水平推力 f 的相关图，即 $W = f(f)$ 图。有关钢筋混凝土结构的计算数据，均来自笔者自编的《钢筋混凝土结构简化计算图册》，篇幅庞大，仅将《基础梁板弯矩配筋图》编入本手册中，供设计支墩时查用。由于 $A_s = f(f)$ 与 $W = f(f)$ 相关图是相关曲线，因此它可以进行正（设计）、逆（复核）运算，对在适用范围内的任意值均可直接查得，无需插补，使用极为方便。

本设计手册的特点是：一、用图解法取代了土建设计工作中的全部繁复的计算，特别是在简化剪扭计算上，有独辟蹊径的新解法，快捷无比，因而设计工作效率极高，计算成果精确。这在设计工作上是一大创新；二、用相关图取代计算表，使手册篇幅减少一半多，且图形直观清晰，无需插补，极大地方便查阅使用；三、对支架、支墩的结构形式、尺寸均作了合理的选型与规定，因而可以实现优化设计，达到大大降低工程造价的目的。

我们利用本手册的设计方法，完成了大量供热外管网工程设计，经过多年运行考验，所有供热

外网运行情况良好，实现了工程造价低，便于施工和维护，受到用户和施工单位的普遍好评。

本手册适用范围：

1. 支架承受水平推力在 600kN 以下，支墩承受水平推力在 1000kN 以下，基底埋深在 2.7m 以内。

2. 支架柱长 10m、桁架高 6.7m 以下的各种管道支架。

为便于对本手册有全面了解，现将编制依据、方法及计算例题等分章介绍于后。由于本人水平、经验有限，谬误在所难免，特恳请读者批评指正。

参加本书校对人员：李怡、郭永林、寇荣春、王燕、杨新强、石宏、李哲堃、
张晚丽、熊伟、史维杰、姚家新、张喜珍。

王希杰

2004年9月

目 录

| | |
|---------------------|---|
| 本图册使用符号及单位 | 1 |
| 上篇 管道支架与支墩的计算 | |

| | |
|---|----|
| 第一章 支架的计算 | 3 |
| 第一节 支架计算数据的取值 | 3 |
| 一、荷载 | 3 |
| 二、地基允许承载力 $[f]$ | 3 |
| 三、基底埋深 h_0 | 4 |
| 四、柱根插入深度 H_1 | 4 |
| 五、支架高度计算系数 K_2 | 4 |
| 六、支架稳定安全系数 K | 4 |
| 第二节 支架的计算 | 4 |
| 一、支架柱〔肢〕配筋量 A_s 的计算 | 4 |
| 二、支架柱抗扭力 $T_{总}$ 的计算 | 5 |
| 三、支架柱抗剪力 $V_{总}$ 的计算 | 7 |
| 四、地震力及风荷载的计算 | 8 |
| 第三节 支架基础的计算 | 9 |
| 一、按稳定计算的基础单位底面积 ω | 9 |
| 二、按 P_{max} 计算的基础单位底面积 ω | 10 |
| 三、基础冲切强度的计算 | 11 |
| 四、基础底板配筋的计算 | 12 |
| 第二章 桁架的计算 | 13 |
| 第一节 桁架的计算 | 13 |
| 一、单层桁架计算公式 | 13 |
| 二、双层桁架计算公式 | 14 |
| 三、桁架构件的计算 | 14 |
| 第二节 桁架基础的计算 | 15 |
| 第三章 支墩的计算 | 18 |
| 第一节 板式型固定支墩结构 | 18 |
| 第二节 基础计算 | 19 |
| 一、设计数据取值 | 19 |
| 二、基础计算 | 19 |
| 第三节 挡板墙计算 | 19 |
| 第四章 计算例题 | 21 |
| 第一节 支架设计、施工总说明 | 21 |
| 一、基础 | 21 |
| 二、支架 | 21 |

| | | | |
|-----------------------|----|------------------------------------|----|
| 三、预埋件 | 21 | [例 9] 单层桁架 | 31 |
| 四、支架的运输和安装 | 22 | [例 10] 二层桁架例及设计图 | 33 |
| 五、对支架承受外力的规定 | 22 | 第五节 直埋支墩计算例 | 35 |
| 第二节 滑动、导向支架计算例题 | 22 | [例 11] 固定支墩例 | 35 |
| 几点说明 | 22 | 第六节 剪扭计算例题 | 36 |
| [例 1] 常用支架 | 22 | 关于剪扭计算的说明 | 36 |
| [例 2] 导向支架 | 23 | [例 12] 纯扭计算例 | 37 |
| 第三节 固定支架计算例题 | 24 | [例 13] 压扭计算例 | 37 |
| [例 3] $[f]$ 改正例 | 24 | [例 14] 剪扭计算例 | 38 |
| [例 4] h_0 改正例 | 25 | 用钢筋最大抗扭矩 $T_{筋max}$ 复核支架计算例题 | 38 |
| [例 5] 柱形支架受扭例 | 26 | [例 15] | 38 |
| [例 6] 门形支架 | 27 | [例 16] | 39 |
| [例 7] 大型侧推支架 | 29 | [例 17] | 40 |
| [例 8] 空腹高支架 | 30 | 一、大截面柱方案 | 40 |
| 第四节 桁架计算例题 | 31 | 二、小截面强配筋方案 | 41 |

下篇 管道支架与支墩计算用图表

| | | | |
|----------------|----|-----------------|-----|
| 总说明 | 43 | 5. 支墩计算用图 | 141 |
| 一、计算用图 | 43 | 6. 桁基配筋表 | 153 |
| 1. 支架计算图 | 43 | 二、通用图 | 156 |
| 2. 桁架计算图 | 65 | 三、设计资料表 | 174 |
| 3. 侧推计算图 | 90 | 参考文献 | 187 |
| 4. 剪扭计算图 | 96 | 编后话 | 188 |

本图册使用符号及单位

| | | | |
|-----------------------------------|--------------|----------------------------|----------|
| f ——水平推力 | kN | d ——管道内径 | mm |
| f_R ——水平推力的合力 | kN | H ——支架柱(肢)的总长度 | m |
| f_{EK} ——结构总水平地震作用标准值 | kN | H_1 ——支架柱(肢)插入杯口的深度 | m |
| F_1 ——冲切力 | kN | H_2 ——基础顶面以上的覆土厚度 | m |
| F_w ——风压力 | kN | H_3 ——地面以上的支架高度 | m |
| F ——支架、管道的重量 | kN | H_0 ——基础顶面以上的支架高度 | m |
| G ——支架基础的重量 | kN | H_j ——支架计算高度 | m |
| G_{eg} ——结构等效总重力荷载 | kN | h_0 ——基础底面埋深 | m |
| N ——垂直力、轴向力 | kN | ω ——基础单位底面积 | m^2 |
| w_0 ——基本风压值 | kN/m^2 | $\omega_{滑}$ ——滑动支架单位底面积 | m^2 |
| M ——弯矩、倾覆力矩 | $kN \cdot m$ | $\omega_{固}$ ——固定支架单位底面积 | m^2 |
| M_1 ——管道自重产生的抗倾覆力矩 | $kN \cdot m$ | $\omega_{实}$ ——改正后需要的单位底面积 | m^2 |
| M_A ——支座弯矩 | $kN \cdot m$ | $[f]$ ——地基允许承载力 | kPa |
| M_{max} ——梁跨中最大弯矩 | $kN \cdot m$ | A ——基础长度 | m |
| K ——支架稳定安全系数 | | B ——基础宽度 | m |
| K_1 ——地基承载力 $[f]$ 的改正系数 | | L ——基础边长 | m |
| K_2 ——支架高度计算系数 | | p ——基础底面压应力 | kPa |
| α_1 ——相应于结构基本自震周期的水平地震影响系数 | | p_{max} ——基础边缘最大压应力 | kPa |
| h ——每层桁架的高度 | m | q ——地基反力 | kPa |
| l ——桁架长度(沿管道轴向) | m | γ ——基础及其以上填土的平均重度 | kN/m^3 |
| b ——桁架宽度 | m | b ——柱(肢)的截面宽度 | mm |
| D ——管道外径 | mm | h ——柱(肢)的截面高度 | mm |

h_1 ——柱(肢)顶部的截面高度
 T ——扭矩
 $T_{\text{筋}}$ ——钢筋混凝土截面的钢筋抗扭力
 $T_{\text{混凝土}}$ ——钢筋混凝土截面的混凝土抗扭力
 $T_{\text{总}}$ ——钢筋混凝土截面的总抗扭力
 V ——剪力
 $V_{\text{筋}}$ ——钢筋混凝土截面的钢筋抗剪力
 $V_{\text{混凝土}}$ ——钢筋混凝土截面的混凝土抗剪力
 $V_{\text{总}}$ ——钢筋混凝土截面的总抗剪力
 A_s ——钢筋截面积
 s ——钢筋间距
 ρ ——钢筋混凝土截面的配筋百分率
 ξ ——柱的纵筋与箍筋的强度比
 $@$ ——钢筋间距
 W_p ——混凝土截面的塑性抵抗矩
 β_t ——混凝土截面受扭承载力降低系数

mm
 kN·m
 kN·m
 kN·m
 kN·m
 kN
 kN
 kN
 kN
 kN
 cm²
 mm
 %
 %
 mm
 mm³

e ——偏心距
 a ——偏心合力作用点至基础底面最大压力边缘的距离
 λ ——剪跨比
 β ——纵筋抗扭力改正系数
 i_f ——角钢焊缝长度
 h_f ——焊缝高度
 f_{ck} 、 f_c ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值
 f_{cm} 、 f_{cn} ——混凝土弯曲抗压强度标准值、设计值
 f_{tk} 、 f_t ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值
 f_y 、 f'_y ——普通钢筋的抗拉、抗压强度设计值
 A_{svl} 、 A_{sll} ——在受剪、受扭计算中单肢箍筋的截面积
 A_{sv} 、 A_{sh} ——在同一截面内各肢竖向、水平箍筋的全部截面积
 注：
 在本手册计算公式介绍中，引用各规范的符号，若与本手册相同而含义又不相同者，仍按各规范执行。

mm
 mm
 mm
 mm
 mm
 N/mm²
 N/mm²
 N/mm²
 N/mm²
 N/mm²
 mm²
 mm²
 mm²

上篇 管道支架与支墩的计算

第一章 支架的计算

本章所说的支架，系指柱型和门型支架两类。桁架的计算方法不同于支架，将在第二章中介绍。

管道支架按其受力状况的不同，分为滑（活）动、固定支架两大类。

滑动支架是管道置于支架之上，管道因温度变化而生之胀缩，使管道在支架上产生往复移动。此时管道作用在支架上的外力有：
一、管道自重产生的垂直荷载 N ；二、管道与支架之间的摩擦力 f ，即水平推力。

固定支架是管道焊牢于支架上，该支架是控制供热管网变形的不动的制约点。固定支架承受的外力有：垂直荷载 N 、管道轴向推力 f_x ，径向推力 f_r 和三轴向的扭矩 M_x 、 M_y 、 M_z 等，为空间三维受力状态。

固定支架的计算比较复杂，是支架设计的难点、重点。

第一节 支架计算数据的取值

一、荷载

1. 管道作用在支架上的垂直荷载、轴向、径向的水平推力和

扭矩等数值，按工艺专业提供值。

2. 风荷载：300N/m²。

3. 抗震烈度：7度。

4. 荷载组合：按管道作用诸力、风荷载和地震力同时出现的最不利荷载组合。

如果支架实际使用条件不是上述 2、3 两项数值时，可按图册介绍的地震力、风荷载的计算方法进行计算。

二、地基容许承载力 $[f]$

热力管道支架是以承受水平推力为主的支架，基础受力状况为大偏心受压。基础底面积的大小，受控于水平推力的水平大小，同时，基础底面积的大小还应满足《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)之要求，即：基础边缘最大压应力 $p_{\max} \leq 1.2[f]$ 的要求。

因供热管网多为沿墙边、路边一线布设，有时支架基础埋深受限，地质资料也难于全面提供，本图册按接近实际情况，采用的地基容许承载力 $[f]$ 值为：

滑动支架： $[f] \geq 100\text{kPa}$ 。

固定支架： $[f] = 130\text{kPa}$ 。

当固定支架的实际地基容许承载力小于 130kPa 时，本手册有修正计算方法。

三、基底埋深 h_0

支架基础底面的埋深 h_0 必须大于冰冻线深度。本手册的最小 $h_0 =$ 冰冻深度 + 200 = 800mm。

h_0 的大小是随支架高度和水平推力的增大而加深，也就是随倾覆力矩 M 的增大而增大。但设计采用之 h_0 必须 \geq 当地的冰冻深度。

本手册在各个基础单位底面积 ω 与水平推力 f 的相关图中，即各个 $\omega = f$ (f) 相关图中，均有按不同倾覆力矩大小的合理基底埋深 h_0 的取值。

四、柱根插入深度 H_1

为便于施工，本手册的支架采用预制钢筋混凝土支架，基础为现浇钢筋混凝土杯式基础。

支架柱〔肢〕插入杯口内的深度 H_1 采用了较大值。因热力管道支架是以承受水平推力为主的支架，其柱〔肢〕根锚固长度要长些，以确保支架在水平推力作用下的稳固安全。同时，也对杯口适当加强。

柱〔肢〕根插入杯口的深度 H_1 的取值为：

滑动支架： $400 \leq H_1 \leq 0.07H$

固定支架： $450 \leq H_1 \leq 0.08H$ 。

式中 H ——支架柱〔肢〕总长度。

五、支架高度计算系数 K_2

1. 滑动支架

按支架底端固接、上端自由计，支架高度计算系数 $K_2 = 1.5$ 。
滑动支架计算高度 $H_f = K_2 \cdot H_0 = 1.5H_0$
式中 H_0 ——基础顶面以上支架的高度。

2. 固定支架

支架高度计算系数 $K_2 = 1.3$ 。

固定支架虽与滑动支架相似，但对于焊牢在支架顶上管道的连续梁作用，予以适当考虑，故 K_2 取为 1.3。

六、支架稳定安全系数 K

支架的稳定取决于：一、抗倾覆安全度的大小；二、基础边缘最大压应力 p_{\max} 是否超过 1.2 [f] 两个因素。

对于承受大推力的固定支架，其稳定系数 K 值的大小，则完全取决于 p_{\max} 的大小。据大量计算结果，分析得出各类支架的稳定安全系数 K 的取值范围为：

1. 滑动支架： $K = 1.5 \sim 1.6$ 。

2. 固定支架： $K = 1.6 \sim 1.8$ 。

3. 桁架： $K = 1.75 \sim 1.85$ 。

由于本手册采用了较大的支架稳定安全系数，因此在对抗震设防烈度为 7 度区、风荷载又不太大的支架，在验算支架稳定时，对地震作用和风荷载可以不予考虑。

但在复核支架侧推配筋时，对地震作用和风荷载要一并计入，不得漏掉。

第二节 支架的计算

一、支架柱〔肢〕配筋量 A_s 的计算

当已知支架高度 H 和水平推力 f 后，即可查支架配筋量 A_s 与

水平推力 f 的相关图即: $A_s = f(f)$ 图, 从图 1-1 中可以查得:

1. 支架柱〔肢〕的经济断面的 b 、 h 值。

2. 支架柱〔肢〕所需的单面配筋量 A_s 值。

本手册所说的固定支架承受的水平推力是一个综合值 f_R , 它是将轴向、径向水平推力及扭矩等合成后的合力值, 计算方法见例题。

$A_s = f(f)$ 相关图的编制方法是:

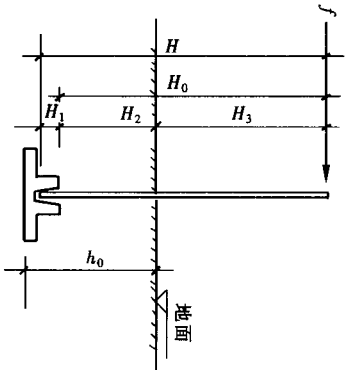


图 1-1 支架弯矩计算图

$$M = K_2(f(H_2 + H_3)) = K_2 f H_0 \quad (1-1)$$

式中 M ——柱根弯矩; $\text{kN}\cdot\text{m}$;

K_2 ——支架高度计算系数;

f ——水平推力设计值, kN ;

H_1 ——柱根插入杯口的深度, m ;

H_2 ——基础顶面以上覆土厚度, m ;

H_3 ——地面以上支架高度, m ;

H_0 ——基础顶面以上支架净高, m 。

对支架高度计算系数 K_2 的取值为:

滑动支架: $K_2 = 1.5$

固定支架: $K_2 = 1.3$

支架柱截面的宽度 b 、高度 h , 按经济断面确定, 一般 $h = 2b$, 最小 b 值不得小于 200mm 。

当 $h > 500\text{mm}$ 时, 支架柱〔肢〕采用下粗上细的矩形变截面柱,

即 b 不变, 而柱〔肢〕顶 h 变小。柱〔肢〕的长细比 $H_0/b \leq 50$ 。

支架混凝土 C20, 纵筋为 HRB335, 箍筋为 HPB235, 主筋保护层厚 25mm 。

$A_s = f(f)$ 相关图是按自编的《钢筋混凝土结构简化计算图册》中的梁、柱弯矩配筋图查得的。该弯矩配筋图的编制方法是:

1. 当弯矩 M 已知, 混凝土强度等级、柱截面尺寸 b 、 h 及钢筋品种已定时, 先求 $A = \frac{M}{10bh^2}$ 。

2. 利用 A 与 ρ (混凝土截面配筋百分率) 相关图, 查得 ρ 值。

3. 按 $A_s = bh_0\rho$ 式, 求得所需钢筋截面面积 A_s 值。

柱一般按单排筋计算, $a_s = 35$, $h_0 = h - 35$ 。

用上述方法求得的柱〔肢〕的截面及配筋量有较大的垂直承载能力, 故对管道自重垂直荷载可以不予考虑。

二、支架柱抗扭力 $T_{总}$ 的计算

固定支架是空间三维受力结构, 在 x 、 y 、 z 三轴方向均可能存在水平推力和扭矩的情况。它属于弯剪扭结构。

弯剪扭结构因它有不同的剪力 V 与扭矩 T 的不同组合。其抗扭能力又有所不同, 计算太复杂, 现将经过大量计算得出的成果及结论综述如下:

计算公式

支架为非预应力钢筋混凝土构件。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002) 之 7.6.8-3 式变为:

$$T \leq 0.35\beta_t f_t \omega_t + 1.2\sqrt{\zeta} \frac{f_{yw} A_{stl} A_{cor}}{s} \quad (1-2)$$

式中 T ——剪扭构件的受扭承载力;

β_t ——混凝土受扭承载力降低系数;

f_c ——混凝土轴心受拉强度设计值；

ω_1 ——混凝土截面受扭塑性抵抗矩；

ζ ——受扭构件纵向钢筋与箍筋的配筋强度比；

f_{yv} ——箍筋的抗拉强度设计值；

s ——箍筋的间距；

A_{stl} ——受扭计算中沿截面周边所配置箍筋的单肢截面积；

A_{cor} ——混凝土截面核心芯部分面积，它是从箍筋的内表面算起。

(1-2) 式的第一部分为混凝土的抗扭能力，第二部分为钢筋的抗扭能力。混凝土受扭承载力降低系数 β_t ，按规范的 7.6.8-5 式计算：

$$\beta_t = \frac{1.5}{1 + 0.2(\lambda + 1.5) \frac{VW_t}{7bh_0}} \quad (1-3)$$

式中 V ——剪力；

T ——扭矩；

W_t ——混凝土截面塑性抵抗矩；

b ——混凝土截面宽度；

h_0 ——混凝土截面有效高度；

λ ——3.0。

$$W_t = \frac{b^2(3h - b)}{6} \quad (1-4)$$

(1-4) 式为矩形混凝土截面的计算公式。

经采用不同的 V 、 T 组合，并与本手册之各 $A_s = f(f)$ 相关图相对照，进行大量计算，得出的结论是：

混凝土受扭承载力降低系数在一般情况下， β_t 均小于 1.0。规范规定， β_t 在 0.5~1.0 之间，取均值 $\beta_t = 0.8$ ，则不同截面下的混

凝土抗扭能力 $T_{混凝土}$ 为：

$$T_{混凝土} = 0.35 \times f_c \times W_t \times 0.8\beta_t = 0.28f_c W_t \beta_t \quad (1-5)$$

按 (1-5) 式的计算结果，可以绘出不同截面下混凝土抗扭能力图。

对非预应力钢筋混凝土支架的纵筋与箍筋的配筋强度比 ζ ，按 7.6.4-2 式计算，此时该公式变为：

$$\zeta = \frac{f_y A_{stl} s}{f_{yv} A_{stl} \mu_{cor}} \quad (1-6)$$

式中 f_y ——纵筋的设计强度；

f_{yv} ——箍筋的设计强度；

A_{stl} ——受扭计算中对称布置的全部纵筋截面积；

A_{stl} ——受扭计算中箍筋的单肢截面积；

μ_{cor} ——混凝土截面核心芯部分的周长，它是从箍筋的内表面计算的；

s ——箍筋的间距。

本手册采用的钢筋是：纵筋为 HRB335 钢筋，箍筋为 HPB235 钢筋， s 为常用的各种箍筋间距。

为方便使用，本手册采用纵筋为：4 Φ 12 $A_s = 4.52\text{cm}^2$ 、4 Φ 16 $A_s = 8.04\text{cm}^2$ 和 6 Φ 20 $A_s = 18.85\text{cm}^2$ 三种。箍筋为 $\phi 6$ 、 $\phi 8$ 、 $\phi 10$ 、 $\phi 12$ 四种，箍筋间距为 $s = 75 \sim 250\text{mm}$ 。据上述标准配筋量，求得在常用截面下的不同 ζ 值，当 $\zeta > 1.7$ 时，取 $\zeta = 1.7$ 。

求得 ζ 值后，再用下式求得纵筋为 4 Φ 12、4 Φ 16、6 Φ 20 而箍筋为 $\phi 6$ 、 $\phi 8$ 、 $\phi 10$ 、 $\phi 12$ 在不同柱截面下的钢筋抗扭能力 $T_{筋}$ 值：

$$T_{筋} = 1.2 \sqrt{\zeta} \frac{f_{yv} A_{stl} A_{cor}}{s} \quad (1-7)$$

据 (1-7) 式计算成果可以绘出：

纵筋为 4Φ12、4Φ16、6Φ20 箍筋为 φ6、φ8、φ10、φ12 箍筋间距 $s = 75 \sim 250\text{mm}$ 的常用的相关图，供计算时查用。还计算了钢筋最大抗扭力 $T_{\text{筋max}}$ ，供简化计算时查用。

因支架柱的纵筋是按弯矩 M 的大小配置的， A_s 为任意值。为此，本图册据计算结果，得出以下换算公式：

$$T_{\text{筋实}} = \frac{\text{实际纵筋的 } A_s}{4\Phi 16 \text{ 的 } A_s} \times T_{\text{筋}} \times \beta \quad (1-8)$$

式中 β ——纵筋抗扭改正系数。

用 (1-8) 式可以求得在任意配筋量 A_s 下的柱的钢筋抗扭能力 $T_{\text{筋实}}$ ，为复核柱的抗扭能力提供了条件。

$$\text{纵筋抗扭力改正系数 } \beta = \sqrt{\frac{4\Phi 12, 4\Phi 16, 6\Phi 20 \text{ 的 } A_s}{\text{实际纵筋的 } A_s}} \quad (1-9)$$

式中当求得支架柱的混凝土抗扭力 $T_{\text{混凝土}}$ 和钢筋的抗扭力 $T_{\text{筋}}$ 后，则柱的总抗扭力 $T_{\text{总}}$ 为：

$$T_{\text{总}} = T_{\text{混凝土}} + T_{\text{筋}} \quad (1-10)$$

本手册有了各种常用的箍筋直径、箍筋间距的 $T_{\text{筋}}$ 相关图，并可对纵筋为任意 A_s 值进行换算，便可免去了抗扭验算的繁重计算之苦。

当支架在 y 轴（柱轴）向有大扭矩作用时，支架必须采用门形支架。以将 y 轴扭矩变为对门形支架二肢的力偶弯矩，此为用合理的结构形式，去改变不利的受力状态的处理方法。

三、支架柱抗剪力 $V_{\text{总}}$ 的计算

本手册对承受小弯矩的柱形或门形支架，当查得的截面 $h < 500\text{mm}$ 时，采用等截面矩形截面。当 $h > 500\text{mm}$ 时，采用下粗上细的矩形变截面柱，但柱顶截面 $h_1 \geq b$ 。

矩形变截面柱（肢），柱（肢）顶截面最小，是支架抗剪验算

的截面位置。

支架柱（肢）的抗剪能力按 GB 50010—2002 的 7.6.8.4 式计算：对压应力 0.05MPa 不计，公式变为：

$$V \leq (1.5 - \beta_1) \left(\frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 \right) + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (1-11)$$

式中 λ ——剪跨比；

β_1 ——混凝土截面承载力降低系数；

f_t ——混凝土的轴心抗拉强度设计值；

f_{yv} ——箍筋的抗拉强度设计值；

A_{sv} ——箍筋的截面积；

b ——混凝土截面宽；

h_0 ——混凝土截面的有效高度。

(1-11) 式的第一部分为混凝土的抗剪能力 $V_{\text{混凝土}}$ ，第二部分为钢筋的抗剪能力 $V_{\text{筋}}$ 。

本手册采用 $\beta_1 = 0.8$ ， λ 取 3.0。

柱（肢）截面混凝土抗剪能力 $V_{\text{混凝土}}$ 为：

$$V_{\text{混凝土}} = (1.5 - \beta_1) \left(\frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 \right) \quad (1-12)$$

按 (1-12) 式，据不同柱截面的 b 、 h （柱的纵筋按单排筋计， $a_s = 35\text{mm}$ ， $h_0 = h - 35$ ），即可求得其不同的 $V_{\text{混凝土}}$ 值，将计算成果绘制成混凝土抗剪力 $V_{\text{混凝土}}$ 图。

(1-11) 式的第二部分为箍筋的抗剪能力 $V_{\text{筋}}$ ：

$$V_{\text{筋}} = f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (1-13)$$

箍筋抗剪能力与柱的截面宽 b 无关，规范的公式对纵筋的抗剪力亦未计入。

因本图册采用的柱(肢)截面一般为下粗上细,故危险的剪切破坏截面将发生在支架顶部。为保证支架的抗剪安全,据设计实践经验,特提出以下两点要求:

1. 柱顶截面高 $h_1 \leq 300\text{mm}$ 时,取 $h_1 = 1.5b \geq 300\text{mm}$ 。
式中 b ——柱不变的截面宽。

2. 固定支架或当水平推力 $f > 15\text{kN}$ 的滑动支架,自柱顶以下箍筋要加密。箍筋加密区长 $= \frac{H}{4}$,箍筋间距为 100mm 。

式中 H ——柱(肢)的总长度。

将箍筋抗剪能力 $V_{\text{箍}}$ 的计算成果,绘制成钢筋抗剪能力 $V_{\text{箍}}$ 的相关图,该图箍筋直径有 $\phi 6$ 、 $\phi 8$ 、 $\phi 10$ 、 $\phi 12$ 四种,箍筋间距为 $75 \sim 250\text{mm}$ 。

柱(肢)的总抗剪力 $V_{\text{总}}$ 为:

$$V_{\text{总}} = V_{\text{混凝土}} + V_{\text{箍}} \quad (1-14)$$

四、地震力及风荷载的计算

地震力及风荷载对支架结构及其稳定都有一定影响,是不能忽视的两项荷载。

由于本手册采用的支架稳定安全系数较大,故可免去支架的稳定验算。但在支架受有较大的径(侧)向推力时,在复核支架侧面配筋时,应将地震作用及风荷载一并计入。

1. 水平地震作用的计算

固定支架由于管道焊牢在支架上,当发生径向水平地震时,管道产生的径向水平地震作用完全作用在支架上,水平地震作用的大小,按《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)的 5.2.1-1 式计算:

$$F_{\text{EK}} = \alpha_1 G_{\text{eq}} \quad (1-15)$$

式中 F_{EK} ——结构总水平地震作用标准值;

α_1 ——相应于结构基本自震周期的水平地震影响系数;

G_{eq} ——结构等效总重力荷载,单质点取总重力荷载代表值,多质点可取总重力代表值的 85%。

热力管道支架可视为由管道和支架两个单质点所组成的构筑物,然后分别计算其水平地震作用所产生的弯矩,并将两个弯矩叠加作为地震所产生的总弯矩。

截面抗震验算的水平地震影响系数最大值表

| | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|
| 烈度 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| α_{max} | 0.04 | 0.08 | 0.16 | 0.32 |

管道的等效总重力荷载按附表 13-1 或附表 13-2 所列的垂直荷载值。

支架的等效总重力荷载按实际设计值。

2. 风荷载的计算

作用在滑动支架上的风荷载可以忽略不计,而作用在固定支架管道上的风荷载则应全部计入,计算公式如下:

$$f_w = \frac{\pi}{2} w_0 D l = 1.57 w_0 D l \quad (1-16)$$

式中 f_w ——风载所产生的水平压力, kN;

w_0 ——基本风压值, kN/m^2 ;

D ——管道保温后的外径, m;

l ——管道支架的间距, m。

一架多管的支架,且几根管道标高相同时,可只计算一根最大直径的管道所受到的风压力。

第三节 支架基础的计算

支架基础面积的大小取决于：(一) 支架稳定安全程度的大小；(二) 基础边缘应力的两个因素。

热力管道支架是以承受水平推力作用为主的支架，是由水平推力及支架高度的大小决定的，即由倾覆力矩 M 的大小来决定的，故《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 的基础面积计算公式已不适用了，因为它是以承受垂直荷载为主的计算公式。

本手册的基础单位底面积 ω 的计算公式，是以承受水平推力为主，又考虑了垂直荷载的作用，在满足基础边缘最大压应力 $p_{\max} \leq 1.2 [f]$ 的条件下，而推导出的计算公式。

此公式在小水平推力作用下，即倾覆力矩很小的情况下(如滑动支架， $f < 15\text{kN}$) 只满足支架稳定安全 ($K = 1.5$) 要求即可。而在大水平推力 ($f > 15\text{kN}$) 作用下，则 $p_{\max} = 1.2 [f]$ 则成了控制基础底面积大小的决定因素，即支架稳定无问题，而会出现基础边缘最大压应力 $p_{\max} > 1.2 [f]$ 的情况。因此，在固定支架和桁架的基础计算上，支架稳定安全系数 K 取 $1.6 \sim 1.85$ 。同时，对地基的容许承载力 $[f]$ ，又由滑动支架的 $[f] = 100\text{kPa}$ ，提高到了 $[f] = 130\text{kPa}$ 。

现将本手册的基础单位底面积 ω 计算公式的假定条件和推导介绍如下：

ω 计算的假定条件是：

1. 基础底面以上基础和回填土的平均重力密度 γ 按 20kN/m^3 计；
2. 因支架基坑回填土的重力密度难以控制，为支架的稳定安全计，对地面以上支架的重量不予考虑；

3. 对以按水平推力 f 的大小来反推而得的管道垂直荷载 N (指滑动支架)，考虑到蒸汽管道供热时无水这一情况，而采用了较小值，即取 $N = 2.5f$ 。

一、按稳定计算的基础单位底面积 ω

图 1-2 各符号的含义如下：

- N ——管道重量， kN ；
 - f ——水平推力， kN ；
 - h_0 ——基底埋深， m ；
 - H_1 ——柱根插入杯口的深度， m ；
 - H_2 ——基础顶面以上覆土厚度， m ；
 - H_3 ——地面以上柱高， m ；
 - H ——支架柱总长， m ；
 - A ——基础长度， m ；
 - B ——基础宽度， m 。
1. 水平推力 f 产生的倾覆力矩 M ：

$$M = f(h_0 + H_3) \quad (1-17)$$

2. 管道自重 N 产生的抗倾覆力矩 M_1 ：

$$M_1 = N \times \frac{A}{2} = 2.5f \frac{A}{2} \quad (1-18)$$

取： $\gamma = 20\text{kN/m}^3$

支架稳定安全系数 K ：

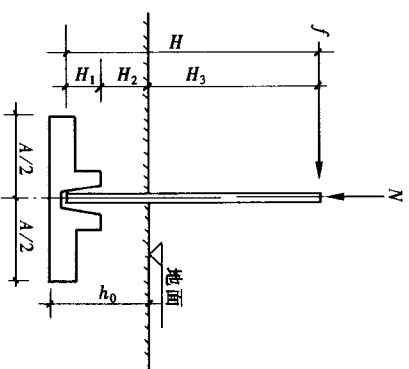


图 1-2 支架稳定计算图

滑动支架: $K=1.5\sim 1.6$

固定支架: $K=1.6\sim 1.8$

据力矩平衡原理, 可得下列方程式:

$$ABh_0\gamma \times \frac{A}{2} = KM - M_1 \quad (1-19)$$

令: $\frac{A}{2} = 1m$, $AB = \omega$ 。将 $\gamma = 20kN/m^3$ 代入 (1-19) 式后, 公式简化为:

$$\omega \times 20h_0 = KM - M_1$$

则滑动支架所需的单位基础底面积 $\omega_{滑}$ 为:

$$\omega_{滑} = \frac{KM - M_1}{20h_0} \quad (1-20)$$

由于作用在固定支架上的管道重量 N , 难以按水平推力 f 的大小来反算, 同时也为了固定支架更安全考虑, 对 N 值不予计算, 则固定支架所需的基础单位底面积 $\omega_{固}$ 为:

$$\omega_{固} = \frac{KM}{20h_0} \quad (1-21)$$

当基础单位底面积 ω 求得后, 即可计算基础的长 A 、宽 B 。计算方法: 先假定 A , 再求 B :

$$B = \frac{\omega}{A} \times \frac{2\omega}{A^2} = \frac{2\omega}{A \times 2} \quad (1-22)$$

为满足 $p_{max} \leq 1.2 [f]$ 之要求, 各类支架基础的长宽比 (A/B) 应控制在一定范围之内, 经大量计算, 本图册采用的基础适宜长宽为: 滑动支架: $A/B=1.1\sim 1.3$

固定支架: $A/B=1.0\sim 1.2$

当倾覆力矩已定后, 影响基础底面积大小的因素就是基底埋深 h_0 的大小。

本手册依据倾覆力矩的大小, 对适宜的基底埋深 h_0 均作了合理的取值。而实际施工现场有时又限制了基底埋深 h_0 。为此, 可按下式近似的对查得的 ω 值予以改正。

改正后所需单位基础底面积 $\omega_{实}$ 为:

$$\omega_{实} = \frac{h_0}{h_{0实}} \times \omega \quad (1-23)$$

式中 h_0 ——图注之基底埋深值;

$h_{0实}$ ——实际允许的基底埋深值。

二、按 p_{max} 计算的基础单位底面积 ω

按满足基底边缘最大压应力 $p_{max} \leq 1.2 [f]$ 的要求, 将 GB 50007—2002 之 5.2.2-4 式, 按图 1-3 所注符号改为:

$$p_{max} = \frac{2(G + F_1 + F_2)}{3Ba} \quad (1-24)$$

式中 G ——基础及其以上回填

土重, kN ;

F_1 ——地面上支柱的重

量, kN ;

F_2 ——作用在支架上的管

道重量, kN ;

a ——偏心荷载合力作用

点至基础外边缘的

距离, m 。

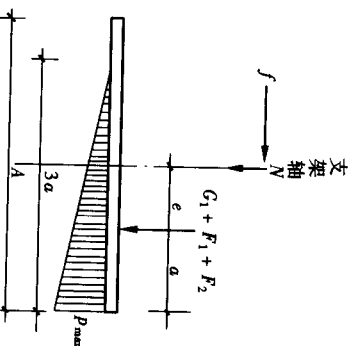


图 1-3 大偏心荷载 ($e > A/6$) 下基底压力计算图

A ——基础长度

$$a = \frac{A}{2} - e \quad (1-25)$$

$$e = \frac{M}{G + F_1 + F_2} \quad (1-26)$$