

TM621.7
4446

林其略 周美芳 编著

管道支吊技术

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书系统地分析了管道支吊架在管道系统中所起的承载、限位和防振三大功能;详细地介绍了变力弹簧支吊架、恒力支吊架、刚性支吊装置、减振器和阻尼器等功能件,以及管部结构、连接件和辅助钢结构的结构型式、工作原理、性能特点 and 设计选用要点;全面地论述了管道支吊架的制造设计、工程设计、制造、安装和运行监督维护等技术。附录提供了管道支吊架设计、制造、安装所需的大量技术数据、产品资料和国家标准。

本书可供电力、石油、化工、冶金、轻工、机械和核工业等部门从事管道技术研究、设计、制造、安装、运行的工程技术人员以及高等院校有关专业师生参考。

管 道 支 吊 技 术

林其略 周美芳 编著

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所经销 江苏如东印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 23.25 插页 4 字数 552,000

1994年2月第1版 1994年2月第1次印刷

印数 1—3,100

ISBN 7-5323-3269-1/TB·23

定价: 20.00元

(沪)新登字 108 号

前 言

管道是动力、石油、化工、冶金、轻工、机械等行业的工艺车间中不可缺少的组成部分。它连接工艺设备、传送工作介质，直接关系到工厂的长期经济运行和安全运行。

管道支吊架是管道系统中的一个重要组成部分，它对管道起着承受荷载、限制位移和控制振动等作用。在支吊架制造中，确保其优良的性能和质量；在设计中，合理布置和正确选择支吊架；在安装中，严格按照设计要求定位和装配，对于确保管道和设备安全运行及延长使用寿命有着很大的影响。

随着大容量、高参数工艺设备的不断发展，各类工厂的管道尺寸也相应增大，不少管件的几何形状日益复杂，这样就要求管道支吊架与之相适应。然而在过去相当长的时间里，管道及其支吊架很少受到工程技术人员应有的重视，但是随着管道部件的损坏事故不断发生，迫使专业人员开始重视管道及支吊架的可靠性问题，才广泛开展管道和支吊架的设计、计算、制造、安装及运行技术的研究。编著本书的目的，正是想在促进管道支吊架设计、制造、安装技术的研究和发展中贡献一份微薄的力量。

本书不可能涉及各工业部门的各种管道支吊技术的全部内容，而是以火力发电厂动力管道为主要对象论述其支吊技术，但它对其他工业部门的其他管道的支吊技术也有相当大的参考价值。本书力求理论和实用的统一，以期使读者对掌握管道支吊技术有所帮助，并能利用本书进行常规的管道支吊架设计和安装。

在本书的编著过程中，得到《热机设计技术》编辑委员会副主任委员潘锡良高级工程师的热忱支持与帮助，在此谨致感谢。

由于笔者水平所限，书中必有不足之处和错误，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1993年2月

目 录

1 总论	1
1.1 管道支吊架的功能	1
1.2 管道支吊架的类型	2
1.3 管道支吊架的构成	5
2 管道支吊架荷载	7
2.1 管道荷重及其分配	7
2.2 支吊架自重	23
2.3 管道挠性补偿器荷载	23
2.4 支吊架摩擦力	33
2.5 管道排放反力	34
2.6 风荷载	42
2.7 雪荷载	45
3 管道位移和限制	46
3.1 管道变形位移的因素	46
3.2 管道的状态线	47
3.3 管道热位移计算	49
3.4 管道位移对支吊架荷载的影响	52
3.5 支吊架的偏装	59
3.6 限位装置在管系中的作用	61
4 管道振动及对策	63
4.1 管道振动原因	63
4.2 管系振动分析	66
4.3 管道振动的对策	67
5 变力弹簧支吊架	71
5.1 支吊架弹簧的基本概念	71

5.2	变力弹簧支吊架的结构型式	80
5.3	变力弹簧支吊架的选用	83
6	恒力支吊架	92
6.1	恒力支吊架的特性参数	92
6.2	恒力支吊架的种类	94
6.3	恒力弹簧支吊架的选用	105
7	刚性支吊装置	116
7.1	刚性支吊装置的结构型式	116
7.2	刚性支吊装置的选用	125
8	减振器和阻尼器	133
8.1	弹簧式减振器	133
8.2	轮鼓式减振器	145
8.3	液压式阻尼器	148
8.4	机械式阻尼器	155
9	支吊架的管部结构	162
9.1	管部结构的分类	162
9.2	整体型管部结构	163
9.3	非整体型管部结构	165
9.4	隔热型支吊架管部结构	170
10	支吊架的连接件	172
10.1	建筑结构连接件	172
10.2	吊杆及其配件	175
10.3	拉撑杆及其配件	179
11	支吊架的辅助钢结构	180
11.1	建筑结构构件的基本型式	180
11.2	辅助钢结构的基本型式	182
11.3	辅助钢结构与承载结构的连接	185
11.4	辅助钢结构附件	193
12	管道支吊架的设计	196
12.1	支吊架的部件设计	196
12.2	支吊架的工程设计	206
12.3	计算机辅助支吊架设计	221

13 管道支吊架的制造	229
13.1 材料	229
13.2 尺寸公差	233
13.3 制造工艺	234
13.4 防护涂层	239
13.5 性能校准试验	241
13.6 检验	242
13.7 标志、包装、运输、贮存	246
14 管道支吊架的安装与运行监督	249
14.1 安装准备	249
14.2 支吊架定位	250
14.3 支吊架安装	250
14.4 支吊架调整	255
14.5 检验	257
14.6 运行监督与维护	259
附 录	260
附录 A 常用钢材特性	260
附录 B 螺纹的应力截面积和承载能力	262
附录 C 钢管尺寸及特性	263
附录 D 管道保温厚度及自重	265
附录 E 管道支吊架最大间距	267
附录 F 全国基本雪压和风压分布	269
附录 G 变力弹簧支吊架技术参数和尺寸	271
附录 H 恒力弹簧支吊架技术参数和尺寸	287
附录 I 液压阻尼器技术参数和尺寸	317
附录 J 弹簧减振器技术参数和尺寸	319
附录 K 型钢规格及截面特性	323
附录 L 辅助钢结构计算	339
附录 M MM 系列小孔消声器技术参数和尺寸	353
附录 N 弯管产品规格和结构尺寸	359
参考文献	361

1 总 论

管道支吊技术是管道技术的重要组成部分。它是专门研究和解决正确合理地对管道支承、悬吊、限位或固定的技术；是控制管系的应力水平及其对设备的推力和力矩，保证管道和设备长期安全运行的技术。它涉及管道支吊架的设计、选用、制造、安装、调整、维护等方面的内容。

1.1 管道支吊架的功能

管道支吊架的功能主要可概括为：承受管道荷载、限制管道位移和控制管道振动三个方面。其中以承受管道荷载为支吊架最主要、最普遍的功能。

1.1.1 承受管道荷载

作用于管道上的荷载通常包括介质运行压力、自重、风、雪、地震、流动瞬变引起的冲击或振动等机械荷载，还包括管道热胀冷缩和管道端点附加位移等位移荷载及由于温度梯度或热冲击引起的热荷载，它们都可以使管道产生内力和变形。上述荷载按其作用的性质，还可分为静荷载和动荷载两类。静荷载是缓慢地、毫无振动地作用于管道上的荷载，它可分为永久荷载（恒荷载）和变化荷载（活荷载）两种。永久荷载的大小和位置与时间无关，或者是极为缓慢地变化，因而可忽略不计。变化荷载则随时间变化，且变化值与平均值相比不可忽略。动荷载是指随时间有迅速变化的荷载，例如由于外部或内部条件引起的冲击力、地震以及热冲击等。这类荷载在管道运行期间不一定出现，也可能偶尔发生，故又可称为偶然荷载。上述管道荷载的主要类型如表 1-1 所示。

表 1-1 管道荷载的主要类型

荷载性质	荷载类型	引起荷载的原因
静荷载	机械荷载	管道自重(包括阀门、管件及绝热层) 管内介质重力 内压(或外压) 其他持续外载
	热荷载	热膨胀受约束 稳定的温度梯度
动荷载	机械荷载	压力波动或冲击 受扰动(地震、管道破裂及流体排放等)
	热荷载	不稳定和类稳定的温度梯度、或热冲击

管道荷载除去温度梯度、热冲击引起的热荷载、在管系中没有柔性管件情况下的介质运行压力引起的压力荷载外,其余荷载均可能传递给管道支吊架承受。

1.1.2 限制管道位移

管道在各种荷载作用下,都会产生不同程度的变形和位移。其中,有些荷载(如外力荷载),其大小与变形受约束与否有关,这类荷载属于非自限性荷载;另一些荷载(如热胀荷载),则是由于结构变形受约束所引起的荷载,这类荷载属于自限性荷载。

对于非自限性荷载作用下产生的管道变形位移,大都需要通过设置支吊装置加以约束限制,以防止管道因受非自限性荷载作用而被破坏。为减小自限性荷载,防止管道因疲劳而被破坏,要求管道能自由位移而不被约束限制。然而,要求管道完全不受约束,是不可能的,也是不必要的。事实上,管道在自限性荷载作用下产生的二次应力,只要控制在一定范围内,就可以保证管道的安全。对于复杂的管系,各管段的二次应力水平是各不相同的,有时其差异会相当大。此时,为了使整个管系的应力水平都在安全范围内,有必要对管道位移给以适当的约束和限制,以降低应力水平超限的管段的二次应力。

综上所述,在管系中的适当位置设置限位装置,不仅是可能的,而且是必要的。关键在于正确选定设置限位装置的位置和采用限位装置的型式(主要是约束模型)。

1.1.3 控制管道振动

管道在动荷载作用下,会产生程度不同的摆动、振动或冲击。由于管系中支吊架的设置,在一定程度上提高了管系的刚度,增加了管系的阻尼,一般说来,支吊架都或多或少地起到减小管道振动效应的作用。但当支吊架设置不当,也有可能加剧管道的振动,而且以承重为主要目的的支吊架,其减振效果往往不太明显。因此,对于在运行期间伴随发生有强迫振动和(或)冲击振动的地方,仍需增加合适的拉撑杆、支架、减振器或阻尼器等装置,以消除这些管道振动效应。

核电厂的管道设计还必须考虑冲击防护装置,以承受管道破裂而喷出蒸汽或汽水混合物所产生的反作用力,从而防止事故扩大和损坏附近的重要设备或构筑物。尤其是主冷却介质管道、主蒸汽管道、给水管道、停堆和事故冷却水管道系统以及快速停机系统的主要管道应装设冲击防护装置。这类防护装置所承受的冲击力可能高达2000kN,因此,必须精确地计算其荷载,并细致地考虑其荷载的传递方式和冲击防护装置的结构。这类防护装置的制造和安装应该非常精确,还应对其进行严格的检验,以保证其实际防护效果。

1.2 管道支吊架的类型

根据管道支吊装置承载、限位和防振三大功能,以及支吊装置各自的主要性能和用途;可将其分为承重支吊架、限位支吊装置和振动控制装置三大类(见表1-2和图1-1)。

1.2.1 承重支吊架

以承受管道自重(包括管件、绝热保温层和管内流体等重量)为目的的装置,统称为承重支吊架(简称支吊架)。

支吊架按其承载结构与管道在空间的相对位置可分为支架和吊架两类。通常将管道经可摆动吊杆悬吊在承载结构下方的装置称为吊架;管道经支承部件支承在承载结构上方的装置称为支架。也就是说,吊架的承重部件主要受拉伸荷载,支架的承重部件主要受压缩荷载。但也有例外,如双吊杆吊架的管部可能受压缩荷载;悬吊构架作为管道支架的承重部

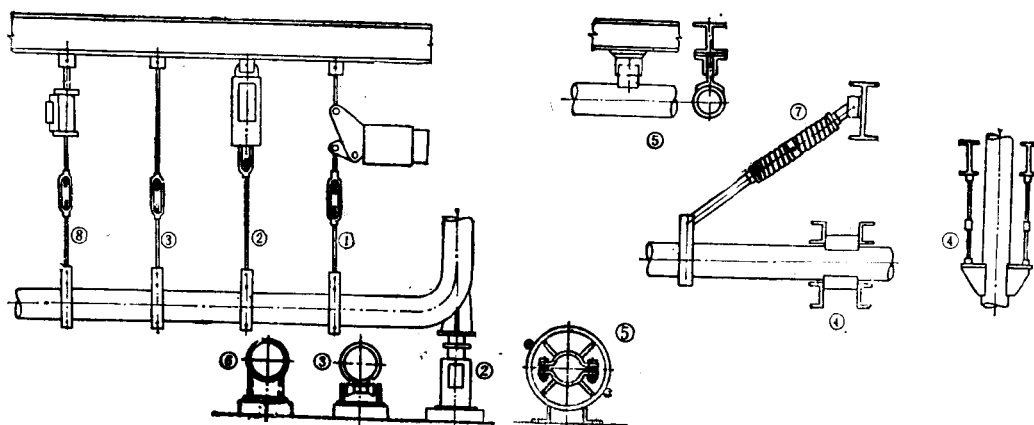


图 1-1 管道支吊装置的类型
(图中支吊装置类型编号与表 1-2 相同)

表 1-2 管道支吊装置的类型

编 号	分 类		型 式	
	名 称	用 途	名 称	用 途
1	承重支吊架	以承受管系重量为目的的装置	① 恒力支吊架	用于管道垂直位移较大或需要限制转移荷载的地方
			② 变力支吊架 (弹簧支吊架)	用于管道垂直位移不太大的地方
			③ 刚性支吊架	用于管道无垂直位移或垂直位移很小且允许约束的地方
2	限位支吊装置	以限制和约束因热胀引起管系自由位移为目的的装置	④ 限位装置	用于管系中需要限制某一(些)方向位移的地方
			⑤ 导向支架 (导向装置)	用于引导管道位移方向或需要控制管道沿轴线转动的地方
			⑥ 固定支架	用于管道上不允许有任何方向位移的地方
3	振动控制装置	用于制止管道摆动、振动或冲击的控制装置	⑦ 减振器	用于需要控制持续性的流体振动的地方
			⑧ 阻尼器	用于需要控制冲击性的流体振动和地震扰动地方

件,其吊杆受拉伸荷载,承载结构也在管道的上方。

承重支吊架按其管道垂直位移时其荷重的变化情况可大致分为恒力支吊架、变力支吊架和刚性支吊架三种。

(1) 恒力支吊架

恒力支吊架在理论上对管道的任何方向位移均不产生约束力和力矩。当支吊架的元件坐标系取成图 1-2 时,它相对于元件坐标系的刚度矩阵为:

$$K_c = \text{diag}[0, 0, 0, 0, 0, 0] \quad (1-1)$$

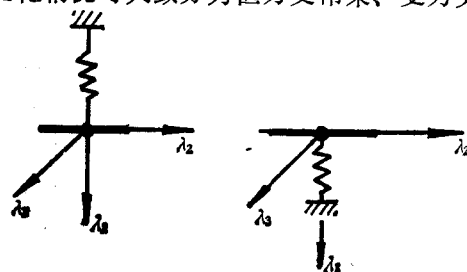


图 1-2 支吊架的元件坐标系

这样,管道在整个垂直位移范围内其支承点上具有近似不变的支承力。因此,它适用于管道垂直位移较大或需要限制转移荷载的地方。

(2) 变力支吊架

变力支吊架亦即弹簧支吊架。它相对于元件坐标系(图 1-2) 的刚度矩阵为:

$$K_r = \text{diag} \left[\frac{K_s n_p}{n_s}, 0, 0, 0, 0, 0 \right] \quad (1-2)$$

式中 K_s 为单个弹簧的刚度, n_p 为弹簧的并联数, n_s 为弹簧的串联数。这意味着, 弹簧支吊架对管道的支承力随着支承点管道垂直位移的变化而变化, 故称其为变力支吊架。

由于管道在运行过程中(冷态或热态), 会受到弹簧支吊架与其重量不平衡的附加力, 而且管道垂直位移愈大, 其荷载变化率也愈大。为了把荷载变化率控制在一定范围内, 弹簧支吊架只适用于管道垂直位移不太大的地方。

(3) 刚性支吊架

刚性支吊架相对于元件坐标系(图 1-2) 的刚度矩阵为:

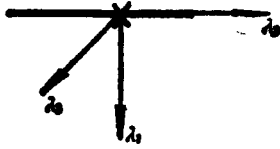
$$K_n = \text{diag} [K_1, 0, 0, 0, 0, 0] \quad (1-3)$$

式中 K_1 为垂直方向刚度。它意味着, 刚性支吊架对管道垂直方向位移呈刚性约束, 故只能用于管道没有垂直位移或垂直位移很小且允许约束的地方。

1.2.2 限位支吊装置

以限制和约束因热胀引起管系自由位移为目的的装置, 统称为限位支吊装置。

限位支吊装置按其是否承受管系荷重可分为限位支吊架和限位装置两类。在限制管道位移的同时也承受管系重量的装置, 称为限位支吊架。单纯限制管道位移而不承受管系重量的装置, 称为限位装置。



限位支吊装置按其限位特性可分为限位装置、导向支架(导向装置)和固定支架三种。其中, 前两种限位支吊装置没有明确的分界。

(1) 限位装置

图 1-3 限位装置的元件坐标系 限位装置用于管系中需要限制某一方向或某些方向位移的地方, 它不承受管系的重量。当限位装置的元件坐标系取成图 1-3 (即 λ_1 为承受管道重量的方向) 时, 则其相对于元件坐标系的刚度矩阵有以下几种:

$$K_{r,1} = \text{diag} [0, K_2, 0, 0, 0, 0] \quad (1-4)$$

$$K_{r,2} = \text{diag} [0, 0, K_3, 0, 0, 0] \quad (1-5)$$

$$K_{r,3} = \text{diag} [0, K_2, K_3, 0, 0, 0] \quad (1-6)$$

$$K_{r,4} = \text{diag} [0, K_2, 0, K_{\theta}, 0, 0] \quad (1-7)$$

$$K_{r,5} = \text{diag} [0, K_2, 0, 0, 0, K_{\theta}] \quad (1-8)$$

$$K_{r,6} = \text{diag} [0, K_2, 0, K_{\theta}, 0, K_{\theta}] \quad (1-9)$$

$$K_{r,7} = \text{diag} [0, 0, K_3, K_{\theta}, 0, 0] \quad (1-10)$$

$$K_{r,8} = \text{diag} [0, 0, K_3, 0, K_{\theta}, 0] \quad (1-11)$$

$$K_{r,9} = \text{diag} [0, 0, K_3, K_{\theta}, K_{\theta}, 0] \quad (1-12)$$

$$K_{r,10} = \text{diag} [0, K_2, K_3, K_{\theta}, 0, 0] \quad (1-13)$$

$$K_{r,11} = \text{diag} [0, K_2, K_3, 0, K_{\theta}, 0] \quad (1-14)$$

$$K_{r,12} = \text{diag}[0, K_2, K_3, 0, 0, K_{\theta_2}] \quad (1-15)$$

$$K_{r,13} = \text{diag}[0, K_2, K_3, K_{\theta_1}, K_{\theta_2}, 0] \quad (1-16)$$

$$K_{r,14} = \text{diag}[0, K_2, K_3, 0, K_{\theta_1}, K_{\theta_2}] \quad (1-17)$$

$$K_{r,15} = \text{diag}[0, K_2, K_3, K_{\theta_1}, 0, K_{\theta_2}] \quad (1-18)$$

$$K_{r,16} = \text{diag}[0, K_2, K_3, K_{\theta_1}, K_{\theta_2}, K_{\theta_3}] \quad (1-19)$$

即不同结构型式限位装置可限制管道某一方向或两个方向的线位移,也可同时限制某一、二个方向乃至三个方向的角位移。这需根据管系设计的具体要求选择合适的约束类型。

(2) 导向支架

导向支架用于引导管道位移方向或需要控制管道沿轴线转动的地方。对于水平管道的导向支架,一般都同时承受管系的荷重;对于垂直管道的导向支架,则不承受管系的荷重,因此应称为导向装置。实际上,不承重的导向装置就是限位装置的一种型式。从严格的定义出发,导向支架是引导管道按一定方向移动,必定有限制角位移的功能。当导向支架的元件坐标系取成图 1-3 时,则其相对于元件坐标系的理论刚度矩阵可以为:

$$K_{,1} = \text{diag}[K_1, 0, K_3, K_{\theta_1}, 0, K_{\theta_2}] \quad (1-20)$$

$$K_{,2} = \text{diag}[K_1, 0, K_3, K_{\theta_1}, K_{\theta_2}, K_{\theta_3}] \quad (1-21)$$

但习惯上,将具有限制管道沿轴线法向运动的支架也称为导向支架,这类支架的理论刚度矩阵为:

$$K_{,3} = \text{diag}[K_1, 0, K_3, 0, 0, 0] \quad (1-22)$$

由此可见,它允许管道有角位移,亦即对管道的运动方向并不限定。

(3) 固定支架

固定支架在其固定点不允许管道有任何方向的平移和转动。当固定支架的元件坐标系取成图 1-3 时,则其相对于元件坐标系的理论刚度矩阵为:

$$K_{,0} = \text{diag}[K_1, K_2, K_3, K_{\theta_1}, K_{\theta_2}, K_{\theta_3}] \quad (1-23)$$

1.2.3 控制振动装置

专门用来控制管道摆动、振动或冲击的装置统称为控制振动装置。

上述支吊架和限位装置中,除恒力吊架外,都有不同程度的减振作用。控制振动装置则不承受管系的重量,在正常情况下,不约束或较小约束管道自由地热位移。

控制振动装置通常分为减振装置和阻尼装置两类。

(1) 减振装置

减振装置在一定程度上限制了管道的正常热位移,但能有效地控制任何频率和任何振幅的摆动或振动。它适用于控制持续性的流体振动激励的管系振动。

(2) 阻尼装置

阻尼装置允许管道自由地热位移,但对低幅高频或高幅低频的振动不能有效地控制。它适用于控制冲击性的流体振动,如主汽门快速关闭、安全阀排放、水锤等冲击激励和地震激励的管系振动。

1.3 管道支吊架的构成

每个支吊架装置都是由装在管子上的部件和固定在承载结构(建筑结构或设备)上的部件以及与这两类部件相连的中间部件〔支吊架装置的功能部件和(或)中间连接件〕所组

成。

1.3.1 管部结构

直接安装在管子上的部件称为管部,它是管道支吊装置中唯一不可缺少的部件。

管部结构按其对接管道的支承方式可分为:悬吊式(用于吊架)、支承式(用于支架或带横担吊架)和拉撑式(用于限位装置和振动控制装置)三类,按其同管道的连接方式可分为:焊接式(一般用于介质参数不高的管道)和夹持式(推荐普遍采用的型式)两种;按其所连接管道的形状位置可分为:水平管道、垂直管道(立管)和弯头(管)三种。

1.3.2 功能件

用于实现管道支吊装置主要功能的核心部件称为功能件。承重支吊架中的恒力弹簧组件、变力弹簧组件;限位支吊装置中的拉撑杆;振动控制装置中的减振器、阻尼器等都属于功能件。

1.3.3 根部结构

将管道支吊装置固定到承载结构上的部件称为根部。通常情况下,尽量将管道支吊装置直接固定(生根)在承载结构上。这种生根部件也可看作根部结构的一部分,但通常将其归在中间连接件中,这样对于此类支吊装置就没有独立的根部结构。在多数情况下,尤其是混凝土建筑结构,管道支吊点偏离承载结构,需要添加辅助钢结构,才能实现支吊装置的生根固定。这种辅助钢结构就是支吊装置的根部结构。

辅助钢结构有梁、立柱和构架三类,其中最常用的有悬臂梁、简支梁和三角架三种。

1.3.4 连接件

用于连接管部结构与功能件;连接功能件与根部结构或连接管部结构与根部结构的部件均称为连接件。连接件大部分介于上述各类部件之间,故又称为中间连接件。这些连接件又都是刚性结构,也可称为刚性连接件。

中间连接件按其连接方式可分为夹持式、焊接式、螺纹连接式、销(轴)孔连接式、埋(嵌)入式、滚滑式等类型。

2 管道支吊架荷载

支吊架的荷载绝大部分是管道荷载传递给它的。但也有支吊架自身的重量、摩擦力等。支吊架荷载有静荷载和动荷载之分,本章主要涉及静荷载的计算。

2.1 管道荷重及其分配

2.1.1 管道荷重及其偏差

(1) 管子重量

对于普通碳钢管子的单位重量可按式(2-1)计算。

$$q = 0.02466ct_n(D - t_n) \quad (2-1)$$

式中: q ——管子单位重量(kg/m);

t_n ——管子公称壁厚(mm);

D ——管子外径(mm);

c ——相对重量系数(不同管子材料取值如下:碳钢1.00, 铸铁0.91, 熟(锻)铁0.98, 铁素体不锈钢0.95, 奥氏体不锈钢1.02, 铜1.14, 黄铜1.12, 铝0.35)。

钢管规格和重量参见附录C。

在计算管子重量时,一般以公称壁厚为计算基础。然而实际上一整批管子中,有时仅有少量超过要求的最小壁厚的管子,有时则大多管子都接近于最大壁厚。因此,计算的支吊架荷重,不是超过管子的实际重量就是小于管子实际重量,这样也就改变了原管系计算的剪力分布情况和各支吊点的反力。为此,文献[1]提出:在进行管道静力计算时,管子壁厚偏差可按+12.5%计算。还可采用一种补充方法:即在管道安装前将其进行称量,这样就有可能将实际重量与计算重量比较,并确定是否有必要进行修正计算以精确地算出恒力吊架和弹簧吊架的整定值。另一种补充方法是:要细致地安装管道,装好后将其支吊架锁定装置松开,测定管道的位移,并与计算值相比较,然后调整恒力吊架和弹簧吊架的荷载,使管道复原到事先计算的位置上。此时管道因重量引起的剪力分布和应力偏差,就同重量偏差的幅度相近。

假设管子的公称壁厚为计算最小壁厚 t_m 的1.125倍,且不考虑内径偏差,用图2-1所示的符号可求得管子重量关系为:

$$\frac{G_{pa}}{G_{pn}} = \frac{(d_n + Tt_m)Tt_m}{(d_n + 1.125t_m) \times 1.125t_m}$$

由此得:

$$\frac{G_{pa}}{G_{pn}} = \frac{\frac{d_n}{t_m} T + T^2}{\frac{d_n}{t_m} \times 1.125 + 1.125^2} \quad (2-2)$$

根据无缝钢管壁厚计算公式(设附加厚度为零):

$$t_m = \frac{d_n}{2 \frac{[\sigma]^t}{p} - 1} \quad (2-3)$$

得到比值:

$$\frac{d_n}{t_m} = 2 \frac{[\sigma]^t}{p} - 1 \quad (2-4)$$

将式(2-4)代入式(2-2), 得:

$$\frac{G_{pa}}{G_{pn}} = \frac{\left(2 \frac{[\sigma]^t}{p} - 1\right) T + T^2}{\left(2 \frac{[\sigma]^t}{p} - 1\right) \times 1.125 + 1.125^2}$$

$$G_{pa} = G_{pn} \frac{\frac{p}{[\sigma]^t} (T^2 - T) + 2T}{0.1406 \frac{p}{[\sigma]^t} + 2.25} \quad (2-5)$$

图 2-2 是根据式(2-5) 计算得到的管重偏差与计算强度比值 $\frac{p}{[\sigma]^t}$ 的关系曲线。由图

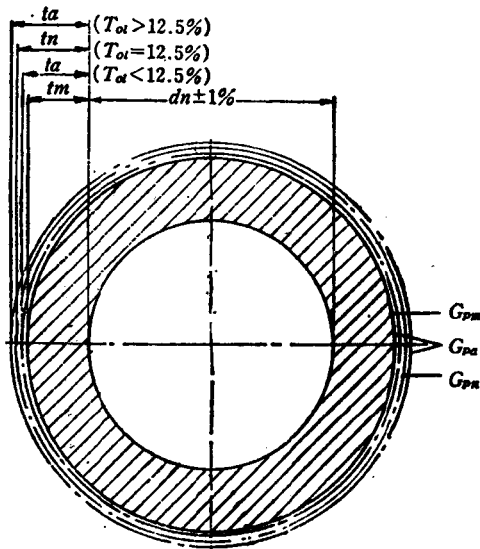


图 2-1 按规定内径的钢管壁厚偏差

T_{oi} —壁厚实际偏差 $(T=1+\frac{T_{oi}}{100})$ G_{pm} —根据最小壁厚 t_m 计算的管重; G_{pn} —根据公称壁厚 $t_n=1.125t_m$ 计算的管重; G_{pa} —根据实际壁厚 Tt_m 计算的管重

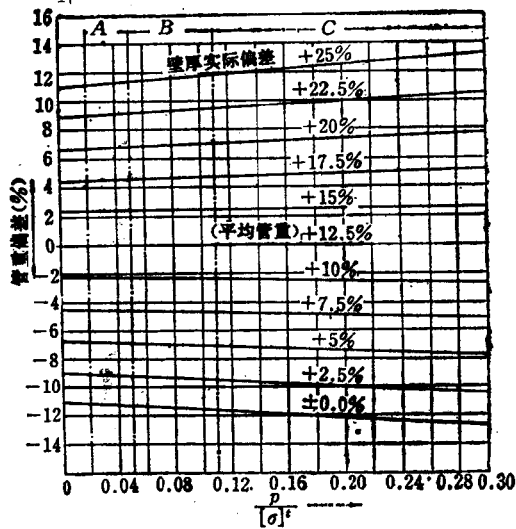


图 2-2 按规定内径的钢管管重偏差与 $\frac{p}{[\sigma]^t}$ 比值的关系曲线

A—低温再热蒸汽管道; B—高温再热蒸汽管道;
C—主蒸汽管道、主给水管

2-2 可看出, 随着 $\frac{p}{[\sigma]^t}$ 的增大, 壁厚实际偏差对管重偏差的影响也越大。也就是说, 壁厚实际偏差对主蒸汽管道和主给水管道的支吊架反力的影响要比再热蒸汽管道的影响大。

(2) 流体重量

管内流体重量 G_i 与管子理论重量 G_{pn} 的关系式为:

$$\frac{G_i}{G_{pn}} = \frac{\frac{d_n^2}{4} \gamma_i}{(d_n + 1.125 t_m) \times 1.125 t_m \gamma_p}$$

$$\frac{G_i}{G_{pn}} = \frac{\gamma_i}{\gamma_p} \frac{\left(\frac{d_n}{t_m}\right)^2}{4.5 \frac{d_n}{t_m} + 5.0625} \quad (2-6)$$

式中: γ_i ——管内流体密度;

γ_p ——钢管密度。

将式(2-4)代入式(2-6)得:

$$\frac{G_i}{G_{pn}} = \frac{\gamma_i}{\gamma_p} \frac{\left(2 \frac{[\sigma]^t}{p} - 1\right)^2}{4.5 \left(2 \frac{[\sigma]^t}{p} - 1\right) + 5.0625}$$

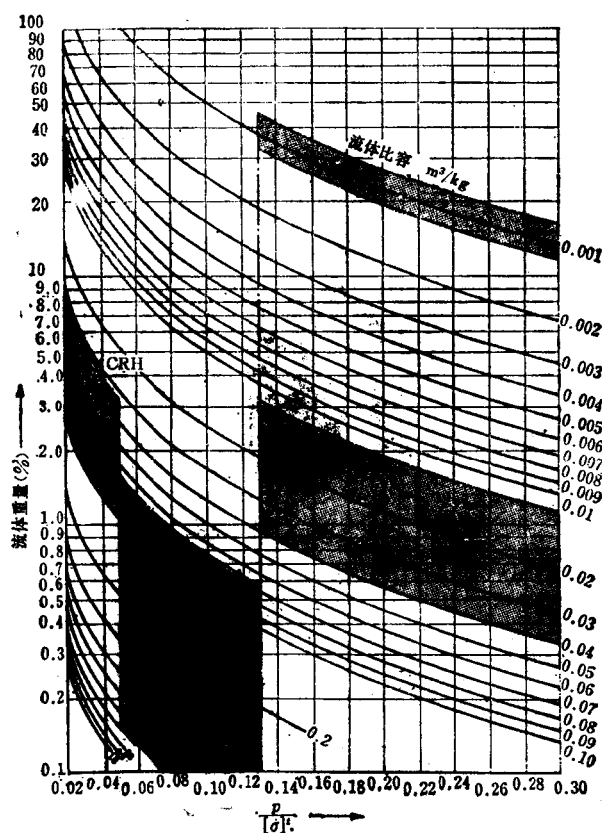


图 2-3 相对于理论管重的流体重量与 $\frac{p}{[\sigma]^t}$ 比值的关系曲线

CRH—低温再热蒸汽管道; HRH—高温再热蒸汽管道

$$G_l = 1.7778 G_{pn} \frac{\gamma_l}{\gamma_p} \frac{\left(\frac{p}{[\sigma]^t} - 2 \right)^2}{\left(\frac{p}{[\sigma]^t} + 8 \right)^2 - 64} \quad (2-7)$$

图 2-3 是按公式(2-7) 计算的管内流体相对重量与计算强度 $\frac{p}{[\sigma]^t}$ 比值的关系。从图中可看出, 蒸汽重量占管子理论重量一定的百分数, 因此计算荷载时应考虑蒸汽重量。

(3) 保温重量

保温重量在管道总重量中所占的份额随着管材强度的增高而增加。当采用 X20CrMo V121 的主蒸汽管道, 10CrMo910、14MoV63 的高温再热蒸汽管道, 15Mo3 的低温再热蒸汽管道, 15NiCuMoNb5 的高压给水管时, 它可以占到管重的 36%。在计算荷载时要考虑保温理论厚度与实论厚度之间及理论容重和实际容重之间的差值。

根据图 2-4 所示的符号, 得到的保温材料实际重量与理论重量的关系为:

$$\frac{G_{Ia}}{G_{In}} = \frac{\gamma_{Ia}}{\gamma_{In}} \frac{(D_w + t_{Ia}) t_{Ia}}{(D_w + t_{In}) t_{In}}$$

即得:

$$G_{Ia} = G_{In} \frac{\gamma_{Ia}}{\gamma_{In}} \frac{\frac{D_w}{t_{In}} + \frac{t_{Ia}}{t_{In}}}{\frac{D_w}{t_{In}} + 1} \frac{t_{Ia}}{t_{In}} \quad (2-8)$$

式中: G_{In} ——保温层理论重量(kg);

G_{Ia} ——保温层实际重量(kg);

γ_{In} ——保温材料理论容重(kg/m³);

γ_{Ia} ——保温材料实际容重(kg/m³);

t_{In} ——保温层理论厚度(m);

t_{Ia} ——保温层实际厚度(m)。

对于保温层外的罩壳

$$\frac{G_{Ma}}{G_{Mn}} = \frac{D_w + 2t_{Ia}}{D_w + 2t_{In}}$$

即得:

$$G_{Ma} = G_{Mn} \frac{\frac{D_w}{t_{In}} + 2 \frac{t_{Ia}}{t_{In}}}{\frac{D_w}{t_{In}} + 2} \quad (2-9)$$

式中: G_{Mn} ——罩壳理论重量(kg);

G_{Ma} ——罩壳实际重量(kg)。

图 2-4 是以式(2-8)和式(2-9)计算的保温和

保温层外铁皮罩壳的重量偏差与 $\frac{D_w}{t_{In}}$ 比值的关系。由此看出, 高温小口径管子(主要是主蒸汽管道)的保温层厚度或容重的偏差可以导致显著的重量偏差。

2.1.2 荷重分配方法

管道系统是一个超静定结构, 其自重荷载在各支吊架间的分配, 也是一个超静定结构的

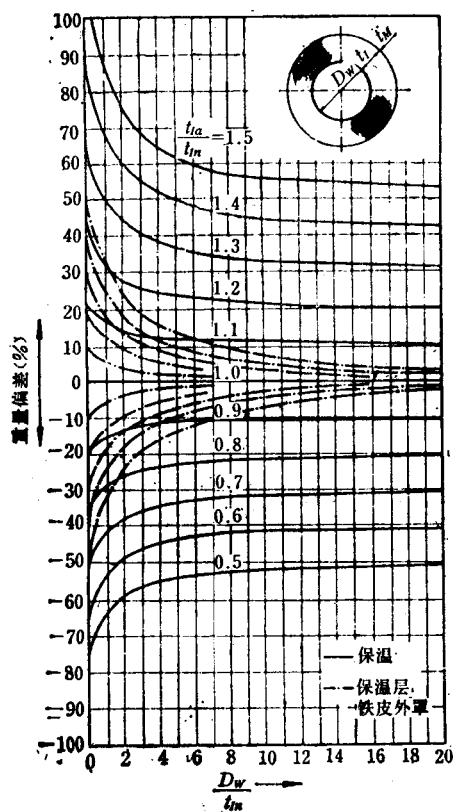


图 2-4 相对于理论值的保温层及罩壳的重量偏差与 $\frac{D_w}{t_{In}}$ 的关系曲线