

第八章 管道应力设计

第一节 管道应力分析基础知识

8.1.1 管道应力分析常用标准规范有哪些?

答: 管道应力分析常用标准规范有:

- (1) GB/T 12777—2019《金属波纹管膨胀节通用技术条件》;
- (2) GB/T 20801.1~6—2006《压力管道规范 工业管道》;
- (3) GB 50316—2000《工业金属管道设计规范》(2008年版);
- (4) GB 50709—2011《钢铁企业管道支架设计规范》;
- (5) GB/T 17116—2018《管道支吊架》
- (6) SH/T 3041—2016《石油化工管道柔性设计规范》;
- (7) SH/T 3039—2018《石油化工非埋地管道抗震设计规范》;
- (8) SH/T 3073—2016《石油化工管道支吊架设计规范》;
- (9) NB/T 47038—2013《恒力弹簧支吊架》;
- (10) NB/T 47039—2013《可变弹簧支吊架》;
- (11) ASME B31.1 Power Piping;
- (12) ASME B31.3 Process Piping;
- (13) API Std 610 Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries;
- (14) API Std 617 Axial and Centrifugal Compressors and Expander—Compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services;
- (15) API Std 618 Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services;
- (16) API Std 619 Rotary Type Positive Displacement Compressors for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries;
- (17) API Std 674 Positive Displacement Pumps—Reciprocating;
- (18) NEMA SM23 Steam Turbines for Mechanical Drive Service.

8.1.2 管道应力分析主要包括哪些内容? 各种分析的目的是什么?

答: 管道应力分析分为静力分析和动力分析。

静力分析包括:

- (1) 压力、重力等荷载作用下的管道一次应力计算——防止管道塑性变形破坏;
- (2) 热胀冷缩以及端点附加位移等位移荷载作用下的管道二次应力计算——防止管道疲劳破坏;
- (3) 管道对机器、设备作用力的计算——防止作用力过大, 保证机器、设备正常运行;

- (4) 管道支吊架的受力计算——为支吊架设计提供依据；
- (5) 管道上法兰的受力计算——防止法兰泄漏；
- (6) 管系位移计算——防止管道碰撞和支吊点位移过大。

动力分析包括：

- (1) 往复压缩机(泵)管道气(液)柱固有频率分析——防止气(液)柱共振；
- (2) 往复压缩机(泵)管道压力脉动分析——控制压力脉动数值；
- (3) 管道固有频率分析——防止管道系统共振；
- (4) 管道强迫振动响应分析——控制管道振动及应力；
- (5) 冲击荷载作用下管道应力分析——防止管道振动和应力过大；
- (6) 管道地震分析——防止管道地震应力过大。

8.1.3 管道上可能承受的荷载有哪些？

答：管道上可能承受的荷载有：

- (1) 持续荷载：持续作用于管道上的荷载，如静压力荷载和重力荷载(包括管道自重、保温重、介质重，但不包括冰荷载和雪荷载)；
- (2) 位移荷载：因管道热胀冷缩、端点位移和支承沉降引起的荷载；
- (3) 临时荷载：短时间作用于管道上的荷载，如风、地震、冰雪荷载以及阀门快速开关时引起的压力冲击；
- (4) 交变荷载：大小和方向随时间发生变化的荷载，如往复机泵管道中的压力脉动荷载和两相流脉动荷载。

8.1.4 管道设计中常见的振动有哪些？

答：在管道设计中常见的振动有：

- (1) 往复式压缩机及往复泵进出口管道的振动；
- (2) 两相流管道的振动；
- (3) 水锤、气锤；
- (4) 安全阀排气系统产生的振动；
- (5) 风荷载、地震荷载引起的振动。

8.1.5 何谓水锤？水锤产生的原因？

答：由于管道中介质的运动速度因外界原因(如阀门突然关闭或开启、突然停泵等)而发生急剧变化，引起管内介质压力急剧升高和降低的现象称为水锤或水击。水锤发生时，管道发生剧烈振动，水锤压力过大时管道还可能发生爆裂。

管道介质流速突然发生剧烈变化是水锤发生的原因。应避免阀门突然关闭或开启和突然停泵，必要时对重要管道还可采取其他防护措施。

8.1.6 工程项目管道应力分析技术统一规定一般应包括哪些内容？

答：工程项目的管道应力分析技术统一规定一般包括以下内容：

- (1) 技术统一规定的适用范围；
- (2) 项目执行中使用的标准规范及版本；

- (3) 温度、压力等计算条件的确定方法；
- (4) 分析中需要考虑的荷载及计算方法；
- (5) 管道应力分析所使用的软件；
- (6) 项目中需要进行详细应力分析的管道类别；
- (7) 管道应力的安全评定条件；
- (8) 机器、设备的允许受力条件或遵循的标准；
- (9) 防止法兰泄漏的条件；
- (10) 膨胀节、弹簧等特殊元件的选用要求；
- (11) 专门问题(如摩擦力、冷紧等)的处理方法；
- (12) 业主的特殊要求；
- (13) 不同专业之间的接口关系；
- (14) 其他要求。

8.1.7 配管专业向管道应力专业提交的应力分析资料应包括哪些内容？

答：配管专业应向管道应力专业提交应力分析轴测图，并应包括以下内容：

- (1) 管号、管道材料等级、管道类别、管道材质；
- (2) 管道走向、尺寸、标高、管内介质及流向；
- (3) 管径、壁厚、弯头的曲率半径；
- (4) 可以设置支吊架的位置及支吊架型式；
- (5) 阀门、法兰等刚性元件的重量、保温层的厚度和密度以及其他集中或均布荷载条件；
- (6) 管道计算温度、计算压力和管内介质密度；
- (7) 正常操作条件外的特殊工况，如开车、停车、除焦、再生等工况；
- (8) 机器制造商的允许受力要求；
- (9) 往复机泵的激振频率；
- (10) 管道端点约束条件或附加位移、管道所连接的机器设备。

8.1.8 什么叫节点？管系中哪些位置需要编制节点？

答：管道应力分析轴测图上感兴趣的点称为节点。在应力分析计算过程中必须通过这些点给计算软件提供信息和获得信息。

通常管系中下列各处应编制节点：

- (1) 管道端点；
- (2) 管道约束点、支吊点和给定位移处；
- (3) 管道方向改变点或分支点；
- (4) 管径、壁厚改变点；
- (5) 保温厚度、保温材料改变点；
- (6) 管道计算温度、计算压力改变点；
- (7) 管道外力荷载改变处；
- (8) 管道材料改变处(包括刚度改变处，例如刚性元件、膨胀节)；
- (9) 需要了解分析结果处(例如跨距较长时的跨中点处)；

(10) 动力分析须增设节点。

8.1.9 管道应力分析计算书应包括哪些内容？管道应力分析结果怎样才能满足要求？

答：管道应力分析计算书一般包括以下内容：

- (1) 主要输入数据；
- (2) 管道一次应力的校核结果；
- (3) 管道二次应力的校核结果；
- (4) 管道端点和各约束点、与机器设备的连接点、固定点、支吊点、限位点和导向点以及位移给定点处的安装状态和操作状态的受力；
- (5) 各节点处安装状态和操作状态的位移和转角；
- (6) 弹簧支吊架和膨胀节的型号等有关信息；
- (7) 离心压缩机、汽轮机、离心泵等转动机器的受力校核结果；
- (8) 往复压缩机、往复泵管系的固有频率；
- (9) 经分析计算最终得到的管道三维轴测图，包括支吊架的位置及型式、膨胀节位置等信息。

管道应力分析结果应能满足以下要求：

- (1) 管道上各点的一次应力值应满足标准规范的要求；
- (2) 管道上各点的二次应力值应满足标准规范的要求；
- (3) 管道对机器、设备管口的推力和力矩应在允许的范围之内；
- (4) 管道对支吊架和土建结构的作用力应在允许的范围之内；
- (5) 往复机泵管道的固有频率应避开共振区；
- (6) 管道的位移量应能满足管道布置的要求。

8.1.10 什么是一次应力和二次应力？分别由哪些载荷产生？这两种应力有何特点？

答：一次应力是由于压力、重力和其他外力荷载的作用所产生的应力。它是平衡外力荷载所需的应力，随外力荷载的增加而增加。一次应力的特点是没有自限性，即当管道内的塑性区扩展达到极限状态，使之变成几何可变的机构时，即使外力荷载不再增加，管道仍将产生不可限制的塑性流动，直至破坏。

二次应力是由于管道变形受到约束而产生的应力，它由管道热胀、冷缩、端点位移等位移荷载的作用而引起。它不直接与外力平衡，而是为满足位移约束条件或管道自身变形的连续要求所必需的应力。二次应力的特点是具有自限性，当位移约束条件或自身变形连续要求得到满足时，变形不再继续增大。二次应力引起的是疲劳破坏。在管道中，二次应力一般由热胀、冷缩和端点位移引起。

8.1.11 SH/T 3041—2016 中对管道一次应力和二次应力的校核条件做了哪些规定？

答：SH/T 3041—2016 中对管道一次应力和二次应力的校核条件做了以下规定：

- (1) 持续荷载作用下一次应力的校核条件：
 - 1) 管道组成件的厚度包括补强符合相关要求时，由内压产生的应力是安全的；
 - 2) 管道组成件的厚度及其刚度符合相关要求时，由外压产生的应力是安全的；
 - 3) 管道系统由于压力、重力等持续荷载所产生的应力之和 S_L ，不应超过材料在对应循

环工况最高金属温度下的许用应力 S_h ，应力应按下列公式计算和评定：

$$S_L \leq S_h \quad (8.1.11-1)$$

$$S_L = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad (8.1.11-2)$$

$$S_a = \frac{I_a F_a}{A_p} \quad (8.1.11-3)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z} \quad (8.1.11-4)$$

$$S_t = \frac{I_t M_t}{2Z} \quad (8.1.11-5)$$

式中 S_L ——持续荷载如压力和重力产生的应力，MPa；

S_h ——材料在对应循环工况最高金属温度下的许用应力，最大取 138MPa，MPa；

S_a ——持续纵向力产生的应力，MPa；

S_b ——持续弯矩产生的应力，MPa；

S_t ——持续扭矩产生的应力，MPa；

F_a ——持续荷载如压力和重力产生的纵向力，N；

I_a ——持续纵向力指标，在缺少更多应用数据时，取 1.0；

A_p ——名义壁厚减去壁厚裕量的管子横截面积；mm²；

I_i ——平面内持续力矩指数，在缺少更多应用数据时，取 0.75 倍平面内应力增大系数 i_i 和 1.0 两者中的较大值；

M_i ——由持续荷载如压力和重力产生的平面内的弯矩，N·mm；

I_o ——平面外持续力矩指数，在缺少更多应用数据时，取 0.75 倍平面外应力增大系数 i_o 和 1.0 两者中的较大值；

M_o ——由持续荷载如压力和重力产生的平面外的弯矩，N·mm；

Z ——名义壁厚减去壁厚裕量的管子截面模量，mm³；

I_t ——持续扭矩指标，在缺少更多应用数据时，取 1.0；

M_t ——由持续荷载如压力和重力产生的扭矩，N·mm。

(2) 偶然荷载与持续荷载共同作用下一次应力的校核条件应符合下列规定：

1) 管道在工作状态下，由内压和自重等持续荷载以及风或地震等偶然荷载所产生的纵向应力之和，当偶然荷载作用时间每次不超过 10h，且每年累计不超过 100h 时，可取材料许用应力的 1.33 倍，当偶然荷载作用时间每次不超过 50h，且每年累计不超过 500h 时，可取材料许用应力的 1.2 倍；

2) 管道地震验算应符合国家现行标准《石油化工非埋地管道抗震设计规范》SH/T 3039 的规定；

3) 风荷载和地震荷载不需同时计及。

(3) 位移应力范围的校核应符合下列规定：

1) 管道由于热胀、冷缩和其他位移受约束而产生的最大的计算位移应力范围 S_E 不得大于按式(8.1.11-11)计算的允许位移应力范围 S_A ：

$$S_E \leq S_A \quad (8.1.11-6)$$

$$S_E = \sqrt{(|S'_a| + S'_b)^2 + (2S'_t)^2} \quad (8.1.11-7)$$

$$S'_a = \frac{I_a F'_a}{A_p} \quad (8.1.11-8)$$

$$S'_b = \frac{\sqrt{(I_1 M'_i)^2 + (I_0 M'_o)^2}}{Z} \quad (8.1.11-9)$$

$$S'_t = \frac{I_t M'_t}{2Z} \quad (8.1.11-10)$$

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad (8.1.11-11)$$

式中 S_E ——最大的计算位移应力范围, MPa;

S_A ——允许位移应力范围, MPa;

S'_a ——由位移应变产生轴向应力的范围, MPa;

F'_a ——在任意两种工况之间, 由位移应变产生的轴向力的范围, N;

S'_b ——合成弯曲应力的范围, MPa;

M'_i ——在任意两种工况之间, 由位移应变产生的平面内弯矩的范围; N·mm;

M'_o ——在任意两种工况之间, 由位移应变产生的平面外弯矩的范围; N·mm;

S'_t ——扭转应力的范围, MPa;

M'_t ——在任意两种工况之间, 由位移应变产生的扭矩的范围, N·mm;

f ——应力范围系数;

S_c ——材料在对应循环工况最低金属温度下的许用应力, 最大取 138MPa, MPa。

2) 当 S_h 大于 S_L 时, 其差值可以加到式 (8.1.11-11) 中的 $0.25S_h$ 项上, 在此情况下, 许用应力范围可按式 (8.1.11-12) 计算:

$$S_A = f[1.25(S_c + S_h) - S_L] \quad (8.1.11-12)$$

3) 式 (8.1.11-11) 和式 (8.1.11-12) 中的应力范围系数 f 可按式 (8.1.11-13) ~ 式 (8.1.11-15) 计算或通过图 8.1.11 查得。

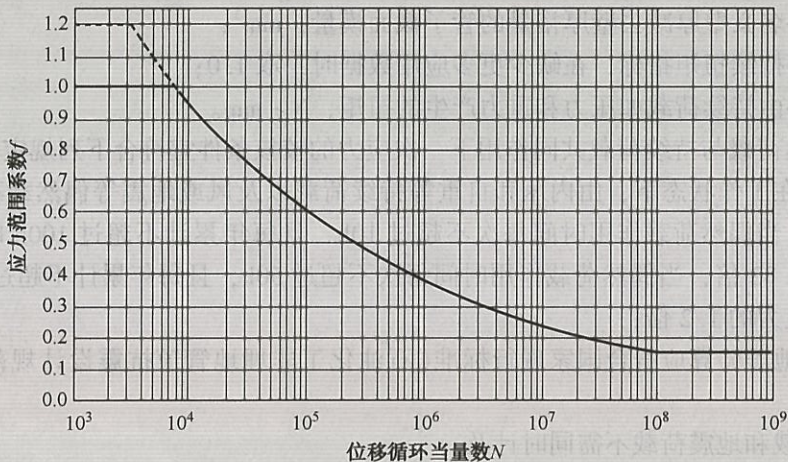


图 8.1.11 应力范围系数 f 与位移循环当量数 N 之间的关系

$$f = 6.0 [N]^{-0.2} \leq f_m \quad (8.1.11-13)$$

$$N = N_E + \sum_{i=1}^n (r_i^5 N_i) \quad (8.1.11-14)$$

$$r_i = S_i / S_E \quad (8.1.11-15)$$

式中 f_m ——应力范围系数的最大值。对于规定最小抗拉强度小于或等于 517MPa 且循环条件下最高金属温度小于或等于 371℃ 时，铁基材料应力范围系数的最大值为 1.2；其他情况应力范围系数的最大值为 1.0；

N ——管道系统在预期寿命期内全部位移循环当量数；

N_E ——最大位移应力范围 S_E 的循环次数；

N_i ——位移应力范围 S_i 的循环次数；

r_i ——应力范围的比值；

S_i ——小于最大位移应力范围 S_E 的第 i 次计算位移应力范围，MPa。

8.1.12 什么是弹性变形？什么是塑性变形？

答：构件或物体在外力作用下产生变形，当外力除去后能够完全恢复其原有形状，不遗留外力作用过的任何痕迹，这种变形称为弹性变形。

构件或物体在外力作用下产生变形，当外力除去后，构件或物体的形状不能复原，即遗留下了外力作用下的残余变形，这种变形称为塑性变形。

8.1.13 什么是蠕变，什么是应力松弛？二者有何异同？

答：蠕变和应力松弛是金属材料在高温下的机械性能。

蠕变是指金属在高温和应力同时作用下，应力保持不变，其非弹性变形随着时间的延长而缓慢增加的现象。高温、应力和时间是蠕变发生的三要素。应力越大、温度越高、且在高温下停留时间越长，则蠕变越甚。

应力松弛是指高温下工作的金属构件，在总变形量不变的条件下，其弹性变形随着时间的延长不断转变成非弹性变形，从而引起金属中应力逐步下降并趋于一个稳定值的现象。

蠕变和应力松弛两种现象的实质是相同的，都是高温下随时间发生的非弹性变形的积累过程。所不同的是应力松弛是在总变形量一定的特定条件下一部分弹性变形转化为非弹性变形；而蠕变则是在恒定应力长期作用下直接产生非弹性变形。

8.1.14 什么是疲劳破坏？疲劳破坏一般发生在什么地方？

答：疲劳破坏是指在循环荷载的作用下，发生在构件某点处局部的、永久性的损伤积累过程，经过足够多的循环后，损伤积累可使材料产生裂纹，或使裂纹进一步扩展至完全断裂。疲劳损伤一般发生在应力集中处，例如管道的支管连接处。

8.1.15 什么是高周疲劳？什么是低周疲劳？压力管道设计中主要防止的是什么疲劳破坏？

答：高周疲劳是指在荷载循环过程中材料中的应力始终保持在弹性范围之内，达到破坏时循环次数较高，转动机器的疲劳属于此类。

低周疲劳是指荷载循环过程中应力应变变化幅度较大，材料中反复出现正反两个方向的塑性变形，材料在循环次数较低的情况下便发生破坏。

在压力管道中发生的疲劳破坏，除往复机泵管道的振动外，主要是温度变化时管道的膨胀或收缩受到约束而产生的疲劳破坏。由于压力管道在其使用寿命内，荷载的循环次数通常均不很高，但却可能存在较大变形，使高应力部位达到屈服，所以要防止的主要是低周疲劳破坏。

8.1.16 什么是薄壁假设? 内压作用下薄壁管道中的应力如何计算?

答: 一般认为当管道外径与内径之比不大于 1.2 时, 可以采用薄壁假设。除高压管道外, 一般工业管道的分析计算采用了薄壁假设。

薄壁假设认为:

(1) 由于壁厚很薄, 应力沿壁厚均匀分布;

(2) 对薄壁圆筒, 径向应力与环向应力和纵向应力相比很小, 可以忽略不计, 即认为径向应力等于 0。

根据薄壁假设, 内压作用下管道的纵向应力 σ_L 和环向应力 σ_θ 可按下列二式计算:

$$\sigma_L = \frac{PD}{4S_0} \quad (8.1.16-1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{PD}{2S_0} \quad (8.1.16-2)$$

式中 P ——管道内压力, MPa;

D ——管道平均直径, 等于 $(D_0+D_i)/2$, mm;

S_0 ——管道壁厚, mm。

8.1.17 线弹性体的应力与应变服从什么关系?

答: 线弹性体的应力与应变服从广义虎克定律, 存在热应变的情况下, 其具体表达式如下:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] + \alpha\Delta T \quad (8.1.17-1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)] + \alpha\Delta T \quad (8.1.17-2)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] + \alpha\Delta T \quad (8.1.17-3)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad (8.1.17-4)$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \quad (8.1.17-5)$$

$$\gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G} \quad (8.1.17-6)$$

式中 ε_x 、 ε_y 、 ε_z —— x 、 y 、 z 三个方向的线应变;

σ_x 、 σ_y 、 σ_z —— x 、 y 、 z 三个方向的正应力, MPa;

γ_{xy} 、 γ_{yz} 、 γ_{zx} —— xy 、 yz 、 zx 三个平面内的剪应变;

τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} —— xy 、 yz 、 zx 三个平面内的剪应力, MPa;

E ——材料的弹性模量, MPa;

ν ——材料的泊松比, 表示材料受单向拉伸时横向应变与轴向应变之比, 压力管道金属材料一般取 0.3;

G ——材料的剪切弹性模量, MPa;

α ——材料的平均线膨胀系数, $\text{mm}/(\text{mm} \cdot ^\circ\text{C})$;

ΔT ——温度的变化, $^{\circ}\text{C}$ 。

G 与 E 和 ν 之间存在如下关系:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (8.1.17 - 7)$$

8.1.18 常用的材料强度理论有几种? 在管道强度设计中主要采用第几强度理论?

答: 常用的材料强度理论有四种, 分别是:

(1) 第一强度理论——最大拉应力理论, 其当量应力为 $S = \sigma_1$ 。它认为引起材料断裂破坏的主要因素是最大拉应力。亦即不论材料处于何种应力状态, 只要最大拉应力达到材料单向拉伸断裂时的最大应力值, 材料即发生断裂破坏。

(2) 第二强度理论——最大伸长线应变理论, 其当量应力为 $S = \sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)$ 。它认为引起材料断裂破坏的主要因素是最大伸长线应变。亦即不论材料处于何种应力状态, 只要最大伸长线应变达到材料单向拉伸断裂时的最大应变值, 材料即发生断裂破坏。

(3) 第三强度理论——最大剪应力理论, 其当量应力为 $S = \sigma_1 - \sigma_3$ 。它认为引起材料屈服破坏的主要因素是最大剪应力。亦即不论材料处于何种应力状态, 只要最大剪应力达到材料屈服时的最大剪应力值, 材料即发生屈服破坏。

(4) 第四强度理论——变形能理论, 其当量应力为

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (8.1.18)$$

它认为引起材料屈服破坏的主要因素是材料内的变形能。亦即不论材料处于何种应力状态, 只要其内部积累的变形能达到材料单向拉伸屈服时的变形能值, 材料即发生屈服破坏。在管道应力分析和强度设计中主要采用最大剪应力强度理论。

8.1.19 CAESAR II 软件的主要功能有哪些?

答: CAESAR II 是国际通行的管道应力分析软件, 该软件由美国 COADE 公司编制。它被广泛地应用于石油、石化、化工、电力、冶金等行业。CAESAR II 是以梁单元模型为基础的有限元分析程序, 具有在线帮助、图形显示以及纠错等功能, 可以用于分析大型管系、钢结构、或二者相结合的模式。CAESAR II 既能够进行静力分析也能够进行动力分析; 它不但可以根据 ASME B31 系列以及其他国际标准进行应力校核, 还可以按照 WRC、API、NEMA 标准进行静设备和动设备的受力校核; 它与多种 CAD 绘图软件具有数据接口。CAESAR II 具有丰富的材料库; 单元数据及边界条件的输入直观、方便。该程序既可用于架空管道的分析, 也可用于埋地管道的计算。

第二节 管道的柔性设计

8.2.1 何谓管道柔性? 如何进行管道柔性设计?

答: 管道柔性是反映管道变形难易程度的概念, 表示管道通过自身变形吸收热胀、冷缩和其他位移变形的能力。

进行管道设计时, 应在保证管道具有足够柔性来吸收位移应变的前提下, 使管道的长度尽可能短或投资尽可能少。在管道柔性设计中, 除考虑管道本身的热胀冷缩外, 还应考虑管

道端点的附加位移。设计时，一般采用下列一种或几种措施来增加管道的柔性：

- (1) 改变管道的走向；
- (2) 调整支吊架形式与位置；
- (3) 选用波形补偿器、套管式补偿器或球形补偿器。

8.2.2 管道柔性设计的目的是什么？

答：管道柔性设计的目的是保证管道系统在各种工况下应具有足够的柔性，防止管道因热胀冷缩、端点附加位移、管道支承设置不当等造成下列问题：

- (1) 管道应力过大或金属疲劳引起管道破坏；
- (2) 管道连接处发生泄漏；
- (3) 管道推力和/或力矩过大，使与其相连接的机器、设备产生过大的应力或变形，影响机器、设备正常运行；
- (4) 管道推力和/或力矩过大引起管道支吊架破坏。

8.2.3 按照 GB/T 20801 的规定，哪些管道应进行管道应力分析？

答：符合以下条件之一的管道系统应按照现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分：设计和计算》GB/T 20801.3—2006 的要求进行管道应力分析：

- (1) 设备管口有特殊的荷载要求；
- (2) 预期寿命内热循环次数超过 7000 的管道；
- (3) 操作温度大于或等于 400℃，或小于等于 -70℃ 的管道。

8.2.4 按照 SH/T 3041 的规定，哪些管道宜采用计算机分析方法进行柔性设计？

答：按照国家现行标准《石油化工管道柔性设计规范》SH/T 3041—2016 的规定，下列管道宜采用计算机分析方法进行柔性设计：

- (1) 操作温度大于 400℃ 或小于 -70℃ 的管道；
- (2) 进出加热炉及蒸汽发生器的高温管道；
- (3) 进出反应器的高温管道；
- (4) 进出汽轮机的蒸汽管道；
- (5) 进出离心压缩机、往复式压缩机的工艺管道；
- (6) 与离心泵连接的管道，可根据设计要求或按图 8.2.4 确定柔性设计方法；

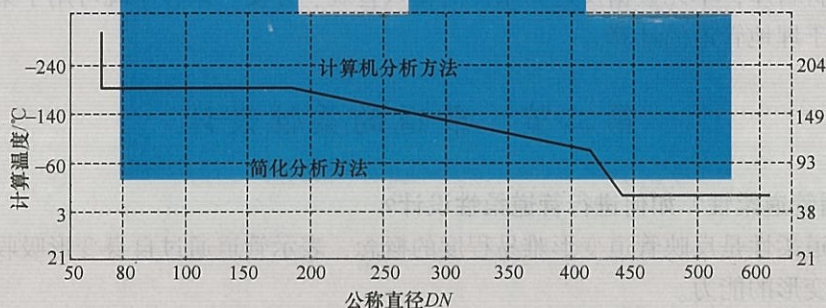


图 8.2.4 离心泵柔性设计方法的确定

- (7) 设备管口有特殊受力要求的管道；
- (8) 利用简化分析方法分析后，表明需要进一步详细分析的管道。

8.2.5 按照 SH/T 3041 的规定，哪些管道可以不采用计算机分析方法进行柔性设计？

答：按照国家现行标准《石油化工管道柔性设计规范》SH/T 3041—2016 的规定，下列管道可以不采用计算机分析方法进行柔性设计：

- (1) 与运行良好的管道柔性相同或基本相当的管道；
- (2) 和已分析的管道比较，确认有足够柔性的管道；
- (3) 对具有同一直径、同一壁厚、无支管、不多于两个固定点、无中间约束并能满足式(8.2.5-1)~式(8.2.5-3)要求的非极度危害或非高度危害介质管道，且不适用于下列管道：
 - 1) 在剧烈循环条件下运行，有疲劳危险的管道；
 - 2) 管件应力增强系数大于或等于 5 的大直径薄壁管道；
 - 3) 不在连接固定点方向的端点附加位移量占总位移量大部分的管道；
 - 4) 不等腿“U”形弯管，或近似直线的锯齿状管道。

$$\frac{D_o Y}{(L-U)^2} \leq K_1 \quad (8.2.5-1)$$

$$Y = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad (8.2.5-2)$$

$$K_1 = 208000 \frac{S_A}{E_a} \quad (8.2.5-3)$$

式中 D_o ——管道外径，mm；

Y ——管道总线位移全补偿值，mm；

L ——管道在两固定点间的展开长度，m；

U ——管道两固定点间的直线距离，m；

K_1 ——判断系数；

ΔX ——管道沿坐标轴 X 方向的线位移全补偿值，mm；

ΔY ——管道沿坐标轴 Y 方向的线位移全补偿值，mm；

ΔZ ——管道沿坐标轴 Z 方向的线位移全补偿值，mm；

S_A ——允许位移应力范围，MPa；

E_a ——冷态的弹性模量，MPa。

8.2.6 管道柔性设计方法判别式应如何使用？

答：本章第 8.2.5 条中的管道柔性分析判别式的使用方法如下：

- (1) 建立一个空间坐标系 XYZ 轴。一旦坐标系确定之后，下列计算均参照该坐标系进行；
- (2) 假设两固定端一端为 a 端，另一端为 b 端；
- (3) 计算 ΔX_1 、 ΔY_1 、 ΔZ_1 ，它们分别为 b 端沿 X 轴、 Y 轴和 Z 轴方向的附加位移值减去 a 端相应方向的附加位移值。附加位移与坐标方向相同时取正值，相反时取负值；
- (4) 计算 ΔX_2 、 ΔY_2 、 ΔZ_2 ，它们分别为假设 b 端放松后由于管道热膨胀引起的 b 端沿 X 轴、 Y 轴和 Z 轴方向的位移值。 ΔX_2 、 ΔY_2 、 ΔZ_2 按下式计算：

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_2 &= \alpha L_X \Delta T \\ \Delta Y_2 &= \alpha L_Y \Delta T \\ \Delta Z_2 &= \alpha L_Z \Delta T \end{aligned} \right\} \quad (8.2.6-1)$$

式中 ΔX_2 、 ΔY_2 、 ΔZ_2 ——假设 b 端放松后由于管道热膨胀引起的 b 端沿 X 轴、 Y 轴和 Z 轴方向的位移值, mm;

α ——管道材料从安装到操作温度变化的平均线膨胀系数, mm/(mm·°C);

L_X 、 L_Y 、 L_Z ——以 a 端为坐标原点时, b 端在 X 、 Y 、 Z 三个方向坐标值, mm;

ΔT ——管道从安装状态(一般取为 20°C)到操作状态的温度变化值, °C;

(5) 计算管段在 X 、 Y 、 Z 三个方向的变形 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ , 他们分别为:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= \Delta X_2 - \Delta X_1 \\ \Delta Y &= \Delta Y_2 - \Delta Y_1 \\ \Delta Z &= \Delta Z_2 - \Delta Z_1 \end{aligned} \right\} \quad (8.2.6-2)$$

(6) 计算管段总变形值:

$$Y = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad (8.2.6-3)$$

(7) 将计算得到的各值及 S_A 、 E_a 代入上题判断式, 进行最终判断。

8.2.7 按照 SH/T 3041 的规定, 管道柔性设计中计算温度应如何确定?

答: 按照国家现行标准《石油化工管道柔性设计规范》SH/T 3041—2016 的规定, 管道计算温度应根据工艺设计条件及下列要求确定:

- (1) 对于无绝热层管道, 介质温度低于 65°C 时, 计算温度应取介质温度; 介质温度等于或高于 65°C 时, 计算温度应取介质温度的 95%;
- (2) 对于有绝热层管道, 除另有计算或经验数据外, 计算温度应取介质温度;
- (3) 对于夹套管道, 计算温度应取内管或套管介质温度的较高者;
- (4) 对于外伴热管道, 计算温度应根据具体条件确定;
- (5) 对于衬里管道, 计算温度应根据计算或经验数据确定;
- (6) 对于安全泄压管道, 计算温度应取排放时可能出现的最高或最低温度;
- (7) 进行管道柔性设计时, 计算温度的选取应计及正常操作温度, 还应计及开车、停车、除焦、再生及蒸汽吹扫等工况的温度。

8.2.8 管道柔性设计中, 应考虑哪些管道端点的附加位移?

答: 在管道柔性设计中, 除考虑管道本身的热胀冷缩外, 还应考虑下列管道端点的附加位移:

- (1) 静设备热胀冷缩时对连接管道施加的附加位移;
- (2) 转动设备热胀冷缩时对连接管道施加的附加位移;
- (3) 加热炉管对连接的管道施加的附加位移;
- (4) 储罐等设备基础沉降对连接管道施加的附加位移;
- (5) 支管不与主管一起分析时, 主管对支管施加的附加位移。

8.2.9 何谓管件的柔性系数和应力增大系数，它们在管道柔性设计中有何用途？

答：柔性系数：将同一弯矩作用于管件和直管后，管件的位移与直管的位移之比。

应力增大系数：在疲劳破坏循环次数相同的情况下，作用于直管的弯曲应力与作用于管件的名义弯曲应力之比。

采用柔性系数和应力增大系数的目的，是在进行管道柔性设计时考虑弯管、三通等管件的柔性和应力增大的影响。管道中的弯管在弯矩作用下与直管相比较，其刚度降低柔性增大，同时应力也将增大。因此，在计算管件时就要考虑它的柔性系数和应力增大系数。而管道中的三通等管件，由于存在局部应力集中，在验算这些管件的应力时，采用了应力增大系数使问题简化。

8.2.10 一般来说，管道上哪些点的应力比较大，为什么？

答：一般来说，管道上三通和弯管处的应力比较大。因为，与直管相比，三通和弯管处的应力增大系数比较大。

8.2.11 管道热补偿的方法有几种？何谓自然补偿？自然补偿有何特点？

答：管道热补偿的方法有两种，即自然补偿和补偿器补偿。

管道的自然补偿就是管道的走向按具体情况呈各种弯曲形状，管道利用这种自然的弯曲形状所具有的柔性补偿其自身的热膨胀和端点位移。自然补偿的特点是构造简单、运行可靠、投资少。

8.2.12 如何增加管道的自然补偿能力？

答：可采用下列方法增加管道的自然补偿能力：

- (1) 改变管道走向，增加整个管道的柔性；
- (2) 调整支吊架的形式与位置；
- (3) 改变设备布置。

8.2.13 常用的补偿器有几种，各有何特点，适用范围如何？

答：压力管道设计中常用的补偿器有三种：II型补偿器、金属波纹管补偿器和套筒式补偿器或球形补偿器。

II型补偿器结构简单、运行可靠、投资少，在压力管道设计中广泛采用。

金属波纹管补偿器补偿能力大、占地小，但制造较为复杂，价格高，适用于低压大直径管道。

套筒式或球形补偿器因填料容易松弛，发生泄漏，因此很少采用。在有毒及可燃介质管道中严禁采用。

8.2.14 II型补偿器的设置有何要求？

答：II型补偿器宜设置在管道两固定点中部，为防止管道横向位移过大，应在II型补偿器两侧设置导向架。导向架应与弯头有一定距离，以防止弯头处弯曲应力过大。

8.2.15 选用无约束金属波纹管膨胀节时应注意什么问题？

答：应注意下列问题：

- (1) 2个固定支座之间的管道中仅能布置1个无约束波纹管膨胀节；
- (2) 2个固定支座之间的管道应具有同样的直径并成一条直线；
- (3) 固定支座必须具有足够的强度，以承受内压推力的作用；
- (4) 对管道必须进行严格地保护，尤其是靠近波纹管膨胀节应设置导向支架，第1个导向支架与膨胀节的距离应小于或等于 $4DN$ ，第2个导向支架与第1个导向支架的距离应小于或等于 $14DN$ ，以防止管道产生弯曲和径向偏移造成膨胀节的破坏；
- (5) 正确地进行预拉伸或预压缩量的计算。

8.2.16 带约束的金属波纹管膨胀节有哪几种型式，其共同特点是什么？

答：带约束的金属波纹管膨胀节有以下几种型式：

- (1) 单式轴向型膨胀节由一个波纹管及结构件组成，主要用于吸收轴向位移而不能承受波纹管压力推力；
- (2) 单式铰链型膨胀节由一个波纹管及销轴、铰链板和立板等结构件组成，只能吸收一个平面内的角位移并能承受波纹管压力推力；
- (3) 单式万向铰链型膨胀节由一个波纹管及销轴、铰链板、万向环和立板等结构件组成，能吸收任一平面内的角位移并能承受波纹管压力推力；
- (4) 复式拉杆型膨胀节由中间管所连接的两个波纹管及拉杆、端板和球面与锥面垫圈等结构件组成，能吸收任一平面内的横向位移并能承受波纹管压力推力；
- (5) 复式铰链型膨胀节由中间管所连接的两个波纹管及销轴、铰链板和立板等结构件组成，只能吸收一个平面内的横向位移并能承受波纹管压力推力；
- (6) 复式万向铰链型膨胀节由两个波纹管及十字销轴、铰链板和立板等结构件组成，能吸收任一平面内的横向位移并能承受波纹管压力推力；
- (7) 弯管压力平衡型膨胀节由一个工作波纹管或中间管所连接的两个工作波纹管和一个平衡波纹管及弯头或三通、封头、拉杆、端板和球面与锥面垫圈等结构件组成，主要用于吸收轴向与横向组合位移并能平衡波纹管压力推力；
- (8) 直管压力平衡型膨胀节由位于两端的两个工作波纹管和位于中间的一个平衡波纹管及拉杆和端板等结构件组成，主要用于吸收轴向位移并能平衡波纹管压力推力；
- (9) 外压单式轴向型膨胀节由承受外压的波纹管及外管和端环等结构件组成，只能吸收轴向位移而不能承受波纹管压力推力。一般来讲，外压单式轴向型膨胀节比单式轴向型膨胀节的补偿量要大。

带约束的金属波纹管膨胀节的共同特点是管道的内压推力(俗称盲板力)没有作用于固定点或限位点处，而是由约束波纹管膨胀节用的金属部件承受。

8.2.17 金属波纹管膨胀节在施工安装中应注意哪些问题？

答：金属波纹管膨胀节在施工安装中应注意以下问题：

- (1) 膨胀节的施工和安装应与设计要求相一致；
- (2) 膨胀节的安装使用应严格按照产品安装说明书进行；
- (3) 禁止采用使膨胀节变形的方法来调整或弥补管道的安装偏差；
- (4) 固定支架和导向支架等应严格按照设计图纸进行施工，需要改动时应经原分析设计人员认可；

- (5) 膨胀节上的箭头表示介质流向，应与实际介质流向相一致，不能装反；
- (6) 安装铰链型膨胀节时，应按照施工图进行，铰链板方向不能装错；
- (7) 在管道系统(包括管道、膨胀节和支架等)安装完毕，系统试压之前，应将膨胀的运输保护装置拆除或松开。按照现行国家标准《金属波纹管膨胀节通用技术条件》GB/T 12777 的规定，运输保护装置涂有黄色油漆，应注意不能将其他部件随意拆除；
- (8) 对于复式拉杆型膨胀节和弯管压力平衡型膨胀节，不得松动大拉杆上的螺母或拆除大拉杆，并应按照产品说明书的要求拆除或松开小拉杆；
- (9) 装有膨胀节的管道，做水压试验时，应考虑设置适当的临时支架以承受额外加到管道和膨胀节上的荷载。试验后应将临时支架拆除；
- (10) 膨胀节与管道一起试压时，管道系统的试验压力不应超过膨胀节的试验压力。

8.2.18 按照 GB/T 12777 的规定，内压波纹管膨胀节的水压试验压力应如何取值？

答：按照现行国家标准《金属波纹管膨胀节通用技术条件》GB/T 12777 的规定，内压波纹管膨胀节的水压试验压力应按式(8.2.18-1)和式(8.2.18-2)计算，取其中的较小值。

$$P_t = 1.5P [\sigma]_b / [\sigma]_b^t \quad (8.2.18-1)$$

$$P_t = 1.5P_{sc} E_b / E_b^t \quad (8.2.18-2)$$

式中 P_t ——试验压力，MPa；

P ——设计压力，MPa；

$[\sigma]_b$ ——室温下波纹管材料的许用应力，MPa；

$[\sigma]_b^t$ ——设计温度下波纹管材料的许用应力，MPa；

P_{sc} ——波纹管两端固支时柱失稳的极限设计内压，MPa；

E_b ——波纹管材料在室温下的弹性模量，MPa；

E_b^t ——波纹管材料在设计温度下的弹性模量，MPa。

8.2.19 按照 GB/T 12777 的规定，在什么情况下波纹管膨胀节应设导流筒？

答：按照现行国家标准《金属波纹管膨胀节通用技术条件》GB/T 12777 的规定，当有下列要求之一时，应设置导流筒：

- (1) 要求保持摩擦损失最小及流动平稳时；
- (2) 介质流速较高，可能引起波纹管共振；
- (3) 存在磨蚀可能时；
- (4) 介质温度高，需降低波纹管金属温度时。

8.2.20 对设置有金属波纹管膨胀节的管道，当输送危险介质或压力较高时，应对膨胀节采取什么措施防止人员受到损伤？

答：对于设置有金属波纹管膨胀节的管道，当输送危险介质或压力较高时，应对膨胀节采取以下安全措施防止人员受到损伤：

- (1) 波纹管膨胀节外部采用坚固的保护罩，在膨胀节损坏时对喷射的流体介质进行阻挡；但保护罩不得妨碍流体介质泄放到周围环境；
- (2) 设置动载限位拉杆，用于承受固定支架损坏时所产生的轴向内压推力。固定支架失效之前，该拉杆一般不起作用；

(3) 采用双层或两个同心波纹管套合的型式, 每层或每个波纹管均能承受管道的全部压力。层与层之间或两个波纹管之间的环隙可采用适当的仪表元件来监测流体的泄漏。

8.2.21 何谓冷紧和自冷紧, 冷紧的目的是什么? 冷紧如何实现?

答: 冷紧是指在安装时使管道产生一个预变形的一种方法。通过这种预变形使管道在安装状态对设备或固定点预先施加一个与操作状态时相反的作用力。

冷紧的目的是将管道热应变的一部分集中在安装状态, 从而减少管道在操作状态对设备或固定点的推力和力矩, 同时在安装状态下管道对设备或固定点的作用力也应限制在设备所能承受的范围之内。由于冷紧可以降低操作状态下的管道应力, 对于蠕变温度下工作的管道, 冷紧可以避免或减少蠕变的发生。冷紧也可防止法兰连接处弯矩过大而发生泄漏。但冷紧不能改善一次应力和二次应力的校核结果。

如果热膨胀产生的初应力较大时, 在运行初期, 初始应力超过材料的屈服极限而产生塑性变形, 或在高温和应力的持续作用下, 管道中产生蠕变或应力松弛, 在管道重新回到安装温度时, 将产生反方向的应力, 管道的固定点处也相应地作用了一个与操作温度下方向相反的作用力, 这种现象称为自冷紧。

冷紧通常是在安装时采用将管道割短(适用于操作温度高于安装温度情况)或加长(适用于操作温度低于安装温度情况)的方法来完成。

8.2.22 何谓冷紧比? 何谓冷紧有效系数?

答: 冷紧比为冷紧值与全补偿量(安装状态到操作状态的总变形值)的比值。冷紧比的数值在 0~1 之间, 冷紧比为 0 时表示没有冷紧, 冷紧比为 1 时表示 100%冷紧。

冷紧有效系数是指实际有效的冷紧值与理论冷紧值之比。考虑到在实际管道安装过程中理论冷紧值往往难以完全实现, 所以一般将冷紧有效系数取为 2/3。

8.2.23 与转动机器连接的管道能否采用冷紧? 为什么?

答: 与转动机器连接的管道不得采用冷紧。由于转动机器管道在安装时要求对机器的作用力尽可能小, 以满足标准规范对管道法兰与机器法兰间的同轴度和平行度要求, 如果采用冷紧这一要求将无法实现。

8.2.24 对转动机器管口的推力和力矩应如何限制? 可以参考引用的国外标准有哪些?

答: 管道对转动机器管口的推力和力矩应由制造厂提出, 当制造厂无数据时, 可按下列规定进行核算:

(1) 离心泵管道对泵管口的允许推力和力矩应符合《石油、化工和气体工业用离心泵》API std 610 的规定;

(2) 汽轮机的蒸汽管道对汽轮机管口的允许推力和力矩应符合《用于机械驱动的汽轮机》NEMA SM23 的规定;

(3) 离心压缩机的管道对压缩机管口的允许推力和力矩应符合《石油、化工和气体工业用轴流、离心压缩机及膨胀机-压缩机》API std 617 的规定, 其数值是《用于机械驱动的汽轮机》NEMA SM23 规定值的 1.85 倍;

(4) 螺杆式压缩机的管道对压缩机管口的允许推力和力矩应符合《石油、化工和气体工

业用旋转容积式压缩机》API std 619 的规定。

8.2.25 根据 NEMA SM23 的要求, 汽轮机管口受力应满足什么要求?

答: 《用于机械驱动的汽轮机》NEMA SM23 对汽轮机管口受力的限制如下:

定义机轴方向为 X 方向, 铅垂向上方向为 +Y, 汽轮机各管口受力必须满足下列各项要求:

(1) 作用于任一管口上的合力及合力矩应满足以下要求:

$$0.9144F_R + M_R \leq 26.689D_e \quad (8.2.25-1)$$

$$F_R = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2 + F_Z^2} \quad (8.2.25-2)$$

$$M_R = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2 + M_Z^2} \quad (8.2.25-3)$$

式中 D_e ——当量直径, mm; 当管口公称直径不大于 200 时, D_e = 管口公称直径; 当管口公称直径大于 200 时, D_e = (管口公称直径 + 400)/3;

F_R ——单个管口上的合力, 当接管采用无约束膨胀节时应包括压力产生的作用力 (凝汽式汽轮机垂直向下出口可不考虑膨胀节内压推力), N;

M_R ——单个管口上的合力矩, N·m;

F_X 、 F_Y 、 F_Z ——单个管口上 X、Y、Z 方向的作用力, N;

M_X 、 M_Y 、 M_Z ——单个管口上 X、Y、Z 方向的力矩, N·m。

(2) 进汽口、抽汽口和排汽口上的力和力矩合成到排汽口中心处的合力及合力矩应满足以下两个条件:

1) 合力和合力矩应满足式(8.2.25-4)的要求:

$$0.6096F_c + M_c \leq 13.345D_c \quad (8.2.25-4)$$

式中 F_c ——进汽口、抽汽口和排汽口的合力, N;

M_c ——进汽口、抽汽口和排汽口的力与力矩合成到排汽口中心处的合力矩, N·m;

D_c ——按公称直径计算得到的各管口面积之和的当量直径, mm。当各管口面积之和折合成圆形的折算直径不大于 230mm 时, D_c = 折算直径; 当各管口面积之和折合成圆形的折算直径大于 230mm 时, D_c = (折算直径 + 460)/3。

2) F_c 和 M_c 在 X、Y、Z 三个方向的分力和分力矩应满足式(8.2.25-5)和式(8.2.25-6)的要求:

$$\left. \begin{aligned} |F_{cx}| &\leq 8.756D_c \\ |F_{cy}| &\leq 21.891D_c \\ |F_{cz}| &\leq 17.513D_c \end{aligned} \right\} \quad (8.2.25-5)$$

$$\left. \begin{aligned} |M_{cx}| &\leq 13.345D_c \\ |M_{cy}| &\leq 6.672D_c \\ |M_{cz}| &\leq 6.672D_c \end{aligned} \right\} \quad (8.2.25-6)$$

式中 F_{cx} 、 F_{cy} 、 F_{cz} —— F_c 在 X、Y、Z 方向上的分力, N;

M_{cx} 、 M_{cy} 、 M_{cz} —— M_c 在 X、Y、Z 方向上的分力矩, N·m。

(3) 对于具有向下排汽口的凝汽式汽轮机, 其排汽口安装无约束膨胀节时, 允许存在由压力引起的附加力 (此附加力垂直于排出口法兰面并作用于中心)。对于此种汽轮机, 在进行(1)、(2)两项校核过程中, 计算排汽口上的垂直分力时不包括压力荷载。

对于具有向下排汽口的凝汽式汽轮机，还应进行如下校核：

同时考虑压力荷载和其他荷载时，如果作用于排汽口的垂直分力不超出排汽口面积的 0.1069 倍，则认为压力荷载在排汽口引起的作用力是允许的。力的单位为 N，面积单位为 mm^2 。

8.2.26 对高温管道，用较厚的管子代替较薄的管子时，应注意什么问题？

答：管子壁厚的增加提高了管道的刚度，增加了管壁截面积和自重，因而必须对管道的柔性进行分析，以校核固定点、设备管口和各支吊架的载荷，还应校核弹簧支吊架的型号是否合适。

8.2.27 塔顶部管口的热膨胀量(初位移)应如何确定？

答：塔顶部管口可分三类处理，即封头中心管口、封头斜插管口和上部筒体径向管口，管口的热膨胀量分别按下列方法确定：

(1) 封头中心管口热膨胀量的计算

封头中心管口只有一个方向的热膨胀，即垂直方向，考虑到从塔固定点至封头中心管口之间可能存在操作温度和材质的变化，故总膨胀量按下式计算：

$$\Delta Y = L_1 \alpha_1 (T_1 - T_0) + L_2 \alpha_2 (T_2 - T_0) + \cdots + L_i \alpha_i (T_i - T_0) \quad (8.2.27 - 1)$$

式中 ΔY ——塔顶管口总的热膨胀量，mm；

L_i ——塔固定点至封头中心管口之间因温度和材质变化的分段长度，mm；

α_i ——由安装温度至 T_i 的平均线膨胀系数， $\text{mm}/(\text{mm} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

T_i ——各段的操作温度， $^\circ\text{C}$ ；

T_0 ——安装温度，一般取 20°C 。

(2) 封头斜插管口热膨胀量的计算

封头斜插管口存在垂直和水平两个方向的热膨胀，垂直方向热膨胀量的计算与上式相同，水平方向的热膨胀量按下式计算：

$$\Delta X = L \alpha_1 (T - T_0) \quad (8.2.27 - 2)$$

式中 ΔX ——封头斜插管口水平方向的热膨胀量，mm；

L ——塔中心线距封头斜插管口法兰密封面中心的水平距离，mm；

α_1 ——由安装温度至 T 的平均线膨胀系数， $\text{mm}/(\text{mm} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

T ——塔顶部的操作温度， $^\circ\text{C}$ ；

T_0 ——安装温度，一般取 20°C 。

(3) 上部筒体径向管口热膨胀量的计算

上部筒体径向管口有两个方向的热膨胀，即垂直方向和水平方向的热膨胀，垂直方向热膨胀量的计算与上述第一式相同，水平方向的热膨胀量按下式计算：

$$\Delta X = L \alpha_1 (T - T_0) \quad (8.2.27 - 3)$$

式中 ΔX ——上部筒体径向管口水平方向的热膨胀量，mm；

L ——塔中心线距上部筒体径向管口法兰密封面的距离，mm；

α_1 ——由安装温度至 T 的平均线膨胀量， $\text{mm}/(\text{mm} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

T ——塔上部的操作温度， $^\circ\text{C}$ ；

T_0 ——安装温度，一般取 20°C 。

8.2.28 在管道柔性设计中, 计算温度取正常操作温度, 是否总是偏于安全?

答: 在管道柔性设计中, 计算温度取正常操作温度, 并非总是偏于安全的。因为, 在进行管道柔性设计时, 不仅应考虑正常操作条件下的温度, 还应考虑开车、停车、除焦、再生及蒸汽吹扫等工况。

第三节 石油化工管道支吊架的设计

一、基本要求

8.3.1 管道支吊架有哪些种类和型式?

答: 管道支吊架按其功能可分为承受管道荷载、限制管道位移和控制管道振动并将荷载传递至承载结构上的各类组件或装置, 详细分类如下:

(1) 承重支吊架的作用是承受管道荷载, 可进一步细分为:

- 1) 恒力弹簧支吊架;
- 2) 可变弹簧支吊架;
- 3) 刚性支吊架;
- 4) 滑动支架;
- 5) 滚动支架;

(2) 限制性支架的作用是限制管道位移, 可进一步细分为:

- 1) 导向支架;
- 2) 限位支架;
- 3) 固定支架;

(3) 防振支架的作用是控制管道振动, 可进一步细分为:

- 1) 减振装置;
- 2) 阻尼装置。

8.3.2 支吊架的作用是什么? 固定架、导向架和支托架(或单向止推架)都能限制哪些位移?

答: 管道支吊架的作用有三个: 第一, 承受管道的重量荷载(包括自重、介质重等); 第二, 起限位作用, 阻止管道发生非预期方向的位移; 第三, 控制振动, 用来控制摆动、振动或冲击。

固定架限制了三个方向的线位移和三个方向的角位移;

导向架限制了两个方向的线位移;

支托架(或单向止推架)限制了一个方向的线位移。

8.3.3 支吊架的间距应满足哪些要求?

答: 支吊架的间距应满足以下要求:

- (1) 支吊架的间距应小于或等于管道的允许跨距;
- (2) 管道上有阀门等集中荷载较大的管道组成件时, 应核算支吊架间距;
- (3) 对有压力脉动的管道, 确定支架间距时, 应核算管道固有频率, 防止管道产生共振。

8.3.4 管道支吊架的设置选用原则是什么？

答：管道支吊架的设置选用原则如下：

(1) 管道支吊架宜符合下列要求：

- 1) 靠近设备管口宜设置支吊架；
- 2) 直接与设备管口相接或靠近设备管口的公称直径等于或大于 150mm 的水平安装阀门，应在阀门附近的管道上设置支架；
- 3) 在靠近阀门等集中荷载处宜设置支吊架；
- 4) 弯管和大直径三通分支的附近宜设置支吊架；
- 5) 阀门、法兰、活接头等拆卸管件的附近宜设置支吊架；
- 6) 往复式压缩机的进出口管道以及其他有剧烈振动的管道宜单独设置支架；
- 7) 对于复杂管系，尤其是需要做详细应力计算的管系，应根据计算结果调整其支吊架的位置；
- 8) 支吊架的设置不应妨碍管道与设备的安装和检修；
- 9) 支吊架的设置应使支管连接点的应力和法兰接头处所承受的荷载，控制在允许范围内。

(2) 水平敷设在支架上的有绝热层的管道，应设置管托。垂直敷设的有绝热层的管道，在支架处应设置能保护绝热层的筋板或支耳等结构。

(3) 下列管道的支吊架不宜采用焊接型支吊架：

- 1) 管内介质温度等于或高于 400℃ 的碳素钢材质的管道；
- 2) 输送冷冻介质的管道；
- 3) 需要进行焊后热处理的管道；
- 4) 合金钢或不锈钢材质的管道；
- 5) 非金属衬里的管道；
- 6) 生产中需要经常拆卸检修的管道；
- 7) 不易焊接施工的管道和不宜与管托、管吊直接焊接的管道。

(4) 支吊架设计时，应优先选用标准的管卡、管托和管吊等。

(5) 对于设有膨胀节的管道，固定支架、导向支架和限位支架等的设置应符合产品特性及使用要求。

(6) 对管道位移有限制时，应选用导向支架或限位支架。

(7) 可能产生振动的管道应有减振措施。

(8) 安全阀出口放空管宜设置刚性支架。

(9) 往复式压缩机进出口管道的支架基础应与建筑物的基础分开。

(10) 对于执行机构较重的阀门应根据需要对执行机构设置支架。

(11) 有绝热层的管道，在管墩或管架处应设管托。无绝热层的管道，如无要求，可不设管托。当绝热层厚度小于或等于 80mm 时，宜选用高 100mm 的管托；绝热层厚度大于 80mm 时，宜选用高 150mm 的管托；绝热层厚度大于 130mm 时，宜选用高 200mm 的管托。保冷管道应选用保冷管托。

8.3.5 支吊架的生根应满足哪些要求？

答：支吊架的生根点设置宜符合下列规定：

- (1) 除振动管道外，宜利用建筑物、构筑物的梁柱作为支架的生根点；
- (2) 在衬里设备或管道上的生根件，应在衬里前完成其焊接工作；
- (3) 在砖混结构上生根，应采用预埋生根件的方式，较大的荷载宜在主梁或立柱上生根；
- (4) 支撑在地面上的支架，当荷载较大，特别是弯矩较大或有振动荷载时，应有支架的生根基础；
- (5) 管道的支吊架不得生根在高温介质管道、高压介质管道、低温介质管道和蒸汽管道上；
- (6) 在钢制设备上的生根件，应计及生根点的局部应力和允许荷载，所用垫板应按设备外形成形；
- (7) 对于整体热处理的设备需焊接支架垫板时，应在设备热处理前完成其焊接工作。

二、支吊架的设置

8.3.6 管道固定支架和限位支架的设置应考虑哪些问题？

答：管道固定点的设置应满足下列要求：

- (1) 当管道在支承点处不得有线位移和角变位时，应选用固定支架；
- (2) 固定支架的设置应满足管道柔性设计的要求，并有利于管道的自然补偿；
- (3) 对于复杂管系，在需要提高稳定性的场合，可在适当位置设置固定支架；
- (4) 需要承受管道振动或冲击荷载处宜设置固定支架；
- (5) 管道在支承点处需要限制管道多方向线位移的地方，应选用限位支架；
- (6) 介质温度等于或大于 100℃ 或需用蒸汽吹扫的进出装置管道，宜在装置边界的邻近管架上设置固定支架或限位支架，固定支架或限位支架的位置应与装置外的管道布置综合考虑；
- (7) II 型补偿器应设在两固定支架或轴向限位支架之间，距固定支架或轴向限位支架的距离不宜小于两固定支架或轴向限位支架间距的三分之一；
- (8) 设在管系中部的次固定支架承受的水平力为较大一侧水平力减去较小一侧水平力的 80%，常用结构固定支架的水平力的计算可参见国家现行标准《石油化工管道支吊架设计规范》SH/T 3073—2016 附录 A。

8.3.7 导向架的设置有哪些要求？

答：为防止管道横向位移过大和振动，一般在下列位置设置导向架，以保证管道只沿轴向位移：

- (1) 当管道在支承点处需限制径向位移时，应选用导向支架；
- (2) 导向支架的设置位置宜符合下列规定：
 - 1) 安全阀出口管道；
 - 2) 可能产生振动的两相流管道；
 - 3) 横向位移过大可能影响相邻管道的场合；
 - 4) 管道距离过长，可能产生横向不稳定的场合；
 - 5) II 型补偿器两侧的管道；
 - 6) 自然柔性过大的管道；

- (3) 导向支架的设置不应影响管道的自然补偿；
- (4) 补偿器两侧的导向支架设置宜符合下列规定：
- 1) 水平管道上 II 型补偿器与导向支架的间距可按图 8.3.7-1 确定；

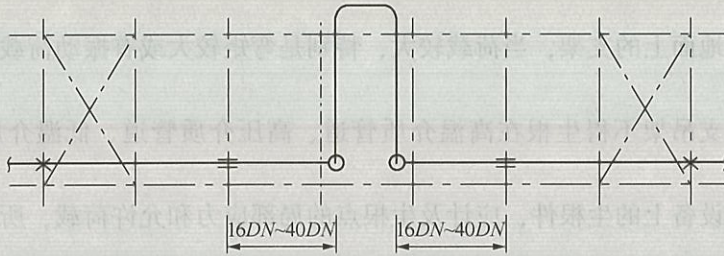


图 8.3.7-1 II 型补偿器与导向支架间距

2) 当波纹管膨胀节仅用于吸收轴向位移时，波纹管膨胀节宜靠近一端固定架设置，波纹管端部与第一个导向支架之间以及第二个导向支架与第一个导向架之间的距离应按图 8.3.7-2 确定；其他导向支架间的最大间距应按式(8.3.7)计算。操作中波纹管受压时，取 $+|K_x X|$ ；拉伸时，取 $-|K_x X|$ 。

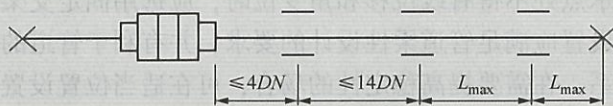


图 8.3.7-2 波纹管膨胀节与导向支架的最大间距

$$L_{\max} = 0.001572 \sqrt{\frac{E_t I_p}{P_d A_e \pm |K_x X|}} \quad (8.3.7)$$

式中 L_{\max} ——导向支架间最大间距，m；

E_t ——管道材料在设计温度下的弹性模量，MPa；

I_p ——管道截面惯性矩， mm^4 ；

P_d ——管道的设计压力，MPa；

A_e ——波纹管的有效截面积， mm^2 ；

K_x ——波纹管的轴向刚度，N/mm；

X ——波纹管的轴向位移，mm；

- (5) 沿立式设备敷设的管道宜设导向支架；
- (6) 导向支架不宜设在弯头和支管连接处；
- (7) 导向支架的间距应按管道特性、现场自然条件和应力分析结果确定；
- (8) 导向支架在预定约束方向的冷态间隙不宜超过 3mm，对于应力分析中有特殊要求的导向支架的间隙应符合应力分析的要求。对于在管道径向两侧约束的导向支架，其冷态间隙还应满足管道径向热膨胀的要求。

8.3.8 滑动支架和滚动支架设置有哪些要求？

答：(1) 滑动支架应允许管道在支撑面内自由位移，滚动支架应允许管道在水平方向上沿轴线方向自由位移，其管托或底板的尺寸应满足管道的预期位移。

(2) 用于滑动支架或滚动支架的材料和润滑剂不应超过该材料的允许使用温度。

(3) 带聚四氟乙烯板的滑动支架，与聚四氟乙烯板接触的底板宜采用镜面不锈钢板或不锈钢复合钢板，且底板的尺寸应不小于聚四氟乙烯板尺寸和预期位移之和。

8.3.9 减振装置的设置有什么要求？

答：(1) 管道用减振装置可选用弹簧减振器，其结构设计应承受管道振动力而不承受管道的重力，并设有可调结构。

(2) 控制管道不同方向的振动，可设置几个不同方向的弹簧减振器。

(3) 弹簧减振器应根据控制管道振动所需的防振力和最大行程来选择。

(4) 当采用减振器时，在应力分析的各个工况中应计及减振器对管道和设备的影响。

8.3.10 阻尼装置的设置有什么要求？

答：(1) 阻尼装置用在需要承受管道地震荷载或冲击荷载及控制管系振动的地方。

(2) 阻尼装置不应约束管道的热胀和冷缩，并不承受管道的重力。

(3) 阻尼装置应能够承受管道动力分析所要求的瞬态最大动力荷载。

(4) 阻尼装置的有效行程应大于因管道位移引起的阻尼装置的轴向位移值。

8.3.11 泵管道支吊架设置的要点是什么？

答：泵进出口管道的支吊架设置时应符合以下要求：

(1) 支吊架的位置应靠近泵进出口处；

(2) 泵的水平吸入管段宜布置可调支吊架或弹簧支架；

(3) 往复泵进出口管道应选用合适的支吊架型式和合理的跨距。第一个支架不应采用吊架；

(4) 泵出口管嘴垂直向上时，在距泵最近拐弯处，于泵基础以外的位置设置支架；也可在泵管口上方的拐弯处设置吊架；

(5) 对于大型机泵的高温进出口管道，为减轻泵管口受力而设置的支架应尽量使约束点和泵管口之间的相对热伸缩量最小；

(6) 泵附属小管道应尽量成组布置，以便安装支架；

(7) 未经泵制造厂许可，不得在泵底座上安装支架。

8.3.12 压缩机进出口管道支架设置的要点是什么？

答：压缩机进出口管道支架设置的要点如下：

(1) 往复式压缩机的管道支架，宜设在靠近集中荷载(如切断阀、安全阀、法兰等)、管道拐弯、分支以及标高有变化处；

(2) 往复式压缩机进出口管道支架的型式和位置宜符合下列要求：

1) 采用卡箍型支架；

2) 支架的间距宜通过计算确定，管道支架的位置和型式应满足柔性计算和/或振动分析的要求；

3) 第一个支架应靠近压缩机，但不得设置在机壳和底座上；

4) 宜设置限位支架，并控制管道位移方向和承受管道热胀时对压缩机管口的推力或力矩；

5) 往复式压缩机进出口管道上的支架宜与建、构筑物基础脱开, 不宜在楼板和平台上生根;

6) 往复式压缩机进出口管道支架的高度应尽可能低, 以便于管道的支承;

(3) 当离心式压缩机进出口均向下时, 靠近管口的进出口管道上宜设置弹簧支吊架;

(4) 大中型压缩机进出口管道支架的基础应与厂房的基础分开。

8.3.13 刚性支吊架和弹簧支吊架型式选择和位置确定有哪些要求?

答: (1) 刚性支吊架的设置要求如下:

1) 对于管道无垂直位移或垂直位移很小的部位, 宜设置刚性支吊架;

2) 靠近泵进出口的管道支架宜选用可调刚性支架;

3) 刚性支吊架应能承受按本章第 8.3.19 条~第 8.3.24 条计算的荷载。

(2) 弹簧支吊架的设置要求如下:

1) 对于支吊点处有垂直位移, 且支吊架承载力随着管道垂直位移允许一定程度变化的地方, 宜设置可变弹簧支吊架;

2) 可变弹簧支吊架的荷载变化率不宜大于 25%, 荷载变化率应按式(8.3.13)计算;

$$f_s = \frac{\Delta K_s}{F_H} \times 100\% \quad (8.3.13)$$

式中 f_s ——荷载变化率;

F_H ——工作荷载, N;

K_s ——弹簧刚度, N/mm;

Δ ——管道垂直位移, mm。

3) 可变弹簧支吊架的设置应采取防止弹簧发生偏移、偏心荷载或过载的措施;

4) 串联可变弹簧支吊架应选用最大允许荷载相同的弹簧, 热位移值应按弹簧的刚度来分配;

5) 当管道荷载超过一个可变弹簧支吊架的最大允许荷载时, 可选用 2 个或 2 个以上相同型号的可变弹簧并联安装。每个弹簧承受的荷载应按并联弹簧数平均分配;

6) 当管道支吊点处垂直位移较大或有特殊要求的地方, 宜选用恒力弹簧支吊架;

7) 选用恒力弹簧支吊架时, 其公称位移量应比计算位移量大 20%, 且应大于 20mm。计算位移量应满足由于水平位移引起的吊杆长度的增加;

8) 可变弹簧支吊架和恒力弹簧支吊架应设有荷载和行程指示器及位置锁定装置, 并应在行程指示器的范围内使用。处于锁定位置时, 弹簧支吊架应可承受 2 倍最大工作载荷。

8.3.14 恒力弹簧支吊架、可变弹簧支吊架和刚性支吊架的刚度各如何?

答: (1) 恒力弹簧支吊架的刚度理论上为零。

(2) 刚性支吊架的刚度理论上为无穷大。

(3) 可变弹簧支吊架的刚度等于弹簧产生单位变形所需要的力。

8.3.15 可变弹簧支吊架按安装方式不同共分为几种型式?

答: 可变弹簧支吊架按安装方式的不同分为七种型式, 分别用 A、B、C、D、E、F、G 表示:

- A 型——上螺纹悬吊型；
- B 型——单耳悬吊型；
- C 型——双耳悬吊型；
- D 型——上调节搁置型；
- E 型——下调节搁置型；
- F 型——支撑搁置型；
- G 型——并联悬吊型。

8.3.16 沿直立设备布置的立管上应如何设置支架？

答：沿直立设备布置的立管上应设置承重支架和导向架。承重支架应设置在靠近设备管口处，如管道荷载过大可增设可变弹簧支吊架。立管导向架的最大间距可参考表 8.3.16 的推荐值确定，表中数值按绝热层厚度 75mm 计算，超过此厚度应适当减少导向间距值。

表 8.3.16 立管导向架最大间距推荐值

管道公称直径 DN/mm	气体管间距/m		液体管间距/m	
	无绝热层	含绝热层	无绝热层	含绝热层
25	4.3	3.4	4.0	3.4
40	5.2	4.0	4.6	3.7
50	5.8	4.6	4.9	4.3
80	7.0	6.1	6.1	5.5
100	7.9	7.0	6.7	6.1
150	9.8	8.8	7.9	7.3
200	11.3	10.1	8.8	8.2
250	12.5	11.6	9.8	9.4
300	13.7	12.3	10.4	10.1
350	14.6	13.4	10.7	10.4
400	15.5	14.3	11.3	11.0
450	16.5	15.2	11.6	11.6
500	17.4	16.2	12.5	12.2
600	19.2	18.0	13.4	13.4

8.3.17 为什么在沿反应器布置的高温垂直管道上通常要设置弹簧支吊架？

答：沿反应器布置的高温管道与反应器之间，或高温管道与构架之间存在较大的位移差，所以通常要设弹簧支吊架来承受管道荷重。

三、支吊架的设计

8.3.18 支吊架应能承受的管道和相关设备的荷载组合准则是什么？

答：支吊架应能承受管道和相关设备在可能出现的各种工况下所施加的静荷载和规定的动荷载。支吊架零部件应按对其结构最不利的组合荷载进行选择和设计。

8.3.19 在管道支吊架设计时, 应包括哪些荷载?

答: 在管道支吊架设计时, 应包括下列荷载:

- (1) 管道组成件及绝热层的重力;
- (2) 支吊架零部件的重力;
- (3) 管道输送介质的重力;
- (4) 水压试验或管路清洗时的介质重力;
- (5) 管道中无约束型波纹管膨胀节、套筒式补偿器等柔性元件内部压力产生的作用力;
- (6) 支吊架约束管道位移所承受的约束反力和力矩;
- (7) 管道或管道绝热层外表面温度小于 20℃ 的室外管道受到的雪荷载;
- (8) 露天布置管道受到的风荷载;
- (9) 正常运行时, 由于各种原因引起的管道振动力;
- (10) 管内流体动量瞬时突变引起的瞬态作用力;
- (11) 流体排放产生的反力;
- (12) 地震引起的荷载。

8.3.20 支吊架结构上的荷载可分哪几类?

答: (1) 永久荷载(恒荷载)——在结构使用期间, 其值不随时间变化, 或其变化与平均值相比可以忽略不计, 或其变化是单调的并能趋于限值的荷载, 见本章第 8.3.19 条中的(1)和(2)项。

(2) 可变荷载(活荷载)——在结构使用期间, 其值随时间变化, 且其变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载, 见本章第 8.3.19 条中的(3)~(9)项, 其中(4)项仅在水压试验或管路清洗时可能出现, 又称为临时荷载。

(3) 偶然荷载——在结构使用年限内不一定出现, 而一旦出现其量值很大, 且持续时间很短的荷载。这类荷载通常是动荷载, 见本章第 8.3.19 条中的(10)~(12)项。

8.3.21 支吊架结构荷载组合应满足哪些要求?

答: (1) 支吊架结构设计应根据本章第 8.3.19 条的工况及结构上可能同时出现的荷载, 分别进行荷载组合, 并取各自最不利的组合进行设计。

(2) 支吊架结构荷载组合的工况宜满足表 8.3.21 的要求。

表 8.3.21 支吊架结构荷载组合的工况

序号	支吊架承受的荷载	荷载类型	运行初期冷态工况	运行初期热态工况	管道应变自均衡后冷态工况	管道应变自均衡后热态工况	异常(事故)工况			水压试验或管路清洗时
							管道系统阀门瞬间启闭时	安全阀或释放阀动作时	地震时	
1	管道组成件及绝热层的重力	永久	√	√	√	√	√	√	√	√
2	支吊架零部件的重力	永久	√	√	√	√	√	√	√	√
3	管道输送介质的重力	可变	—	√	—	√	√	√	√	—
4	水压试验或管路清洗时的介质重力	临时	—	—	—	—	—	—	—	√

续表

序号	支吊架承受的荷载	荷载类型	运行初期冷态工况	运行初期热态工况	管道应变自均衡后冷态工况	管道应变自均衡后热态工况	异常(事故)工况			水压试验或管路清洗时
							管道系统阀门瞬间启闭时	安全阀或释放阀动作时	地震时	
5	管道中无约束型波纹管膨胀节、套筒式补偿器等柔性元件内部压力产生的作用力	可变	—	√	—	√	√	√	√	√ ^①
6	支吊架约束管道位移所承受的约束反力和力矩	可变	√ ^②	√ ^③	√ ^④	√ ^④	√ ^③	√ ^③	√ ^③	√
7	管道或管道绝热层外表面温度小于 20℃ 的室外管道受到的雪荷载	可变	√	√	√	√	√	√	√	√
8	露天布置管道受到的风荷载	可变	√	√	√	√	—	—	—	√
9	正常运行时, 由于各种原因引起的管道振动力	可变	—	√	—	√	—	—	—	—
10	管内流体动量瞬时突变引起的瞬态作用力	偶然	—	—	—	—	√	—	—	—
11	流体排放产生的反力	偶然	—	—	—	—	—	√	—	—
12	地震引起的荷载	偶然	—	—	—	—	—	—	√	—

注: 确定荷载组合时, 表中打“√”表示对应工况下应考虑荷载, 打“—”表示对应工况下不必考虑荷载。

① 此工况下, 第 5 项应取水压试验或管路清洗时的介质内压产生的作用力。

② 此工况下, 第 6 项仅考虑管道冷紧位移的约束力。

③ 此工况下, 第 6 项的冷紧位移应乘以冷紧有效系数。

④ 此工况下, 第 6 项按管道应变自平衡后的位移约束反力组合。

(3) 对于装有可变弹簧支吊架的管系, 各个支吊架所承受的管系重力荷载应计及可变弹簧支吊架在冷态工况和热态工况下承载力的变化, 并由此引起荷载向邻近刚性支吊架的转移。

(4) 水平方向限位的支架在其约束方向的荷载还应计及管系中各活动支架因摩擦力约束管道位移所引起的荷载传递。

(5) 在荷载组合时, 当永久荷载对结构有利时, 永久荷载取其计算值; 当永久荷载对结构不利时, 取计算值的 1.2 倍。

(6) 当考虑荷载长期效应组合时, 基本雪压的取值应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 相关规定。作用于水平管道上的雪荷载标准值, 可按公式(8.3.21)计算。

$$S_k = \mu_r S_0 d \quad (8.3.21)$$

式中 S_k ——作用于水平管道上的雪荷载标准值, kN/m^2 ;

S_0 ——基本雪压, kN/m^2 ;

d ——管道外径(包括绝热层), m ;

μ_r ——管道积雪分布系数, 可取 0.7。

当考虑荷载长期效应组合时, 雪荷载也可按下列规定取值:

- 1) 东北地区取计算荷载的 0.2 倍;
- 2) 新疆北部地区取计算荷载的 0.15 倍;

3) 其他地区可不考虑。

(7) 动荷载可按等效静荷载的 2 倍计算。

8.3.22 管道的垂直荷载如何计算?

答: (1) 管道支吊架承受的垂直荷载, 除按本章第 8.3.19 条~第 8.3.21 条进行荷载组合外, 计算时, 尚应符合本条第(2)款~第(4)款的要求。

(2) 管内输送可凝气体时, 其介质重量应按管内冷凝液的实际重量计算。水平管道的冷凝液重量的估算应符合下列规定:

- 1) 管道公称直径小于 100mm 时, 可取满管液重的 50%;
- 2) 管道公称直径为 100~500mm 时, 可取满管液重的 15%;
- 3) 管道公称直径大于 500mm 时, 可取满管液重的 10%。

(3) 对于等截面连续直管道的支吊架承受的荷载, 应按式(8.3.22-1)或式(8.3.22-2)进行计算。

$$\text{等跨管道} \quad Q = \eta q L_m \quad (8.3.22-1)$$

$$\text{不等跨管道} \quad Q = \eta_1 q L_1 \quad (8.3.22-2)$$

式中 Q ——支吊架承受的荷载, N;

L_m ——两支点的跨距, m;

L_1 ——第一跨跨距, m;

q ——每米管道的基本荷载, N/m;

η ——等跨计算系数, 按国家现行标准《石油化工管道支吊架设计规范》SH/T 3073—2016 附录 B 选用;

η_1 ——不等跨计算系数, 应按国家现行标准《石油化工管道支吊架设计规范》SH/T 3073—2016 附录 B 选用。

(4) 管道支吊架承受荷载宜按国家现行标准《石油化工管道支吊架设计规范》SH/T 3073—2016 附录 C 计算。

8.3.23 管道的水平荷载如何计算?

答: (1) 滑动支架承受的水平荷载应为管道位移时的摩擦力, 水平荷载的计算应符合下列规定:

1) 支架上平行敷设直管道时, 滑动支架所承受的水平力应按式(8.3.23-1)计算; 当平行敷设 1~2 根管道时, 牵制系数 K 应取 1; 当平行敷设三根管道时, 牵制系数应按表 8.3.23-1 的规定选用; 平行敷设四根或四根以上管道时, 牵制系数应按图 8.3.23-1 选用, 质量比应按表 8.3.23-1 的规定计算。摩擦系数应按表 8.3.23-2 的规定选用;

$$P_s = K\mu \sum Q_i \quad (8.3.23-1)$$

式中 K ——牵制系数, 当平行敷设 1~2 根管道时, 牵制系数 K 取 1; 当平行敷设 3 根管道时, 应按表 8.3.23-1 选用; 平行敷设 4 根或 4 根以上管道时, 按图 8.3.23-1 选用(其中 γ 同表 8.3.23-1);

P_s ——滑动支架的水平力, N;

μ ——摩擦系数, 按表 8.3.23-2 选用;

Q_i ——第 i 根管道对该滑动支架的垂直荷载, N。

表 8.3.23-1 牵制系数

质量比 $\gamma^{\text{①}}$	$\gamma < 0.50$	$0.50 \leq \gamma \leq 0.70$	$\gamma > 0.7$
牵制系数 K	0.50	0.67	1.0

注：当采用计算机程序计算时，若程序中未计及牵制系数，计算中应予以考虑。

① γ 为热管道质量与全部管道质量的比值；热管道指管道内介质温度等于或高于 100℃ 且公称管径等于或大于 DN200 的管道。

表 8.3.23-2 摩擦系数

类型	接触情况	摩擦系数 μ
滑动摩擦	钢-钢	0.3
	钢-混凝土	0.6
	聚四氟乙烯-不锈钢	0.1
滚动摩擦	钢-钢	0.1

注：① 当采用计算机程序计算时，若程序中未计及摩擦系数，计算中应予以考虑。

② 当采用吊杆或弹簧吊架承受管道荷重时，可不计及摩擦力的影响。

2) 支架上水平敷设弯管时如图 8.3.23-2 所示，其滑动支架承受的水平力应按式 (8.3.23-2) 和式 (8.3.23-3) 计算，牵制系数的取值应符合本款第 1) 项的规定。

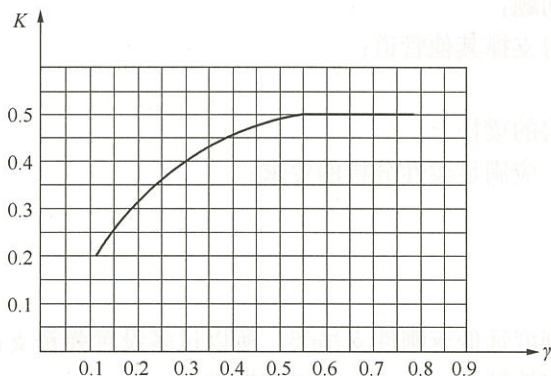


图 8.3.23-1 4根或4根以上管道的牵制系数

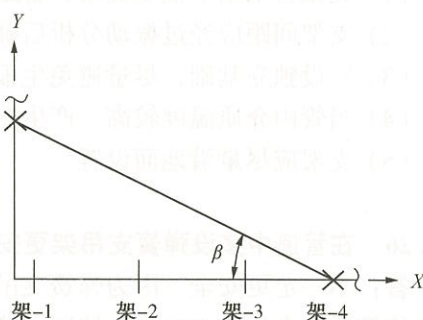


图 8.3.23-2 水平敷设弯管的支架

$$P_x = K\mu Q_i \cos\beta \quad (8.3.23-2)$$

$$P_y = K\mu Q_i \sin\beta \quad (8.3.23-3)$$

式中 K ——牵制系数，同式(8.3.23-1)；

P_x ——滑动支架(架 i)处沿 X 、 Y 轴的水平力，N；

P_y ——滑动支架(架 i)处沿 X 、 Y 轴的水平力，N；

Q_i ——第 i 个滑动支架处承受的垂直荷载，N；

β ——两固定点连线与 X 轴的夹角；

μ ——摩擦系数，应按表 8.3.23-2 选用。

(2) 固定支架水平荷载应包括补偿器的弹性力、管道自补偿的弹性力、滑动支架的摩擦力以及由内压产生的管道补偿器不平衡力等。

(3) 管道所承受的风荷载的计算应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定。

(4) 管道所承受的地震荷载计算应符合国家现行标准《石油化工非埋地管道抗震设计规

范》SH/T 3039 的规定。

8.3.24 安全阀出口管的动荷载如何计算?

答: (1) 安全阀出口放空管支架的动荷载, 可取安全阀出口放空管道反作用力的 2 倍。
(2) 安全阀出口放空管道的反作用力可按式(8.3.24)计算。

$$F_a = \frac{9.8W_a}{g}V_a + (P_n - P_a)A_n \times 10^6 \quad (8.3.24)$$

式中 A_n ——放空管出口的截面积, m^2 ;

F_a ——反作用力, N;

P_a ——放空管出口环境压力, MPa;

P_n ——放空管出口压力(当出口为亚临界流动时 P_n 等于 P_a), MPa;

V_a ——介质的出口流速, m/s;

W_a ——介质出口质量流速, kg/s;

g ——重力加速度, 取 9.8, m/s^2 。

8.3.25 设计振动管道支架时应注意什么问题?

答: 设计振动管道支架时, 应注意下列问题:

- (1) 支架宜采用卡箍型支架, 管道上不得支撑其他管道;
- (2) 支架间距应经过振动分析后确定;
- (3) 宜设独立基础, 尽量避免生根在厂房的梁柱上;
- (4) 当管内介质温度较高, 产生热胀时, 应满足柔性分析的要求;
- (5) 支架应尽量沿地面设置。

8.3.26 在管道中多设弹簧支吊架更安全吗?

答: 不一定更安全。因为弹簧支吊架的刚度远低于刚性支吊架, 所以过多设置弹簧支吊架会使管系各点位移方向失去控制, 管系稳定性较差, 易产生偏斜和振动。

8.3.27 弹簧支吊架在施工安装中应注意哪些问题?

答: 弹簧支吊架在施工安装中应注意以下问题:

- (1) 弹簧支吊架的施工和安装应与设计要求相一致;
- (2) 一般情况下, 弹簧定位装置在安装过程中应保持不动, 直到整个管系安装完毕且试压完成后, 在管道升温之前将定位装置取出, 使弹簧正常工作;
- (3) 对于转动机器, 在管道安装过程中允许将机器管口附近几组弹簧的定位装置取消, 并对弹簧荷载进行调节, 以满足机器管口的零应力安装要求。

8.3.28 当吊架的吊点存在水平位移时应注意哪些问题?

答: 当吊架的吊点存在水平位移时应满足以下要求:

- (1) 拉杆两端应为铰接, 两铰接点间应有足够长度。螺纹拉杆的最大承载力可根据其许用应力和螺纹根部截面计算, 吊杆直径不宜小于 10mm;
- (2) 对于刚性拉杆吊架, 可活动的拉杆长度不应小于吊点处水平位移的 20 倍, 吊杆与

垂直线夹角不应大于 3° ；

(3) 对于弹簧吊架，可活动的拉杆长度不应小于吊点处水平位移的15倍，吊杆与垂直线夹角不应大于 4° 。

8.3.29 低温介质管道的支架设置应注意哪些问题？

答：低温介质管道的支架设置，应有防止产生“冷桥”的措施，并应符合下列规定：

(1) 若水平管道敷设时，管道的底部或支架的底部应垫置木块或硬质绝热材料块；

(2) 若垂直管道敷设，且支架生根在低温介质设备上时，在设备和管道上应垫置木块或硬质保冷材料块。

8.3.30 塔上的管道支架位置有哪些设计要求？

答：(1) 配管工程师应与应力分析工程师一起确定塔上承重支架和导向支架的位置，向设备专业提出荷载条件。

(2) 沿塔敷设的两根或多根管道的承重支架，管径较大时其位置应错开。确定承重支架位置时，确保作用在管口上的荷载最小。

(3) 沿塔壁敷设自塔顶向下的垂直管道，若垂直荷载较大时，为降低最顶部承重支架生根点塔体的局部应力，可在垂直管中间设弹簧吊架分担垂直荷载。

8.3.31 管道跨距如何确定，试列出计算公式？

答：(1) 水平管道支吊架最大间距应满足强度和刚度条件。强度条件是控制管道自重弯曲应力不应大于设计温度下材料许用应力的一半。刚度条件是限制管道自重产生的弯曲挠度，装置内管道设计挠度不应大于15mm；装置外管道的挠度不应大于38mm；敷设无坡度的蒸汽管道的挠度不宜大于10mm。

(2) 连续水平敷设的管道，其允许跨距应按三跨连续梁承受均布荷载的刚度条件和强度条件计算，并取两者中的较小值。允许跨距的计算应符合下列规定：

1) 按刚度条件计算时，装置内的管道跨距应按式(8.3.31-1)计算，装置外的管道跨距应按式(8.3.31-2)计算；

$$L_r = 0.039 \sqrt[4]{\frac{E_t I'_p}{q}} \quad (8.3.31-1)$$

$$L'_r = 0.048 \sqrt[4]{\frac{E_t I'_p}{q}} \quad (8.3.31-2)$$

式中 L_r ——装置内由刚度条件计算的跨距，m；

L'_r ——装置外由刚度条件计算的跨距，m；

E_t ——管材在设计温度下的弹性模数，MPa；

I'_p ——管道扣除腐蚀裕量及负偏差后的截面惯性矩， mm^4 ；

q ——每米管道的重量，N/m。

2) 按强度条件计算时，不考虑内压的管道跨距应按式(8.3.31-3)计算，考虑内压的管道跨距应按式(8.3.31-4)计算。

$$L_s = 0.1 \sqrt{\frac{[\sigma] W_p}{q}} \quad (\text{不考虑内压}) \quad (8.3.31-3)$$

$$L_s = 0.071 \sqrt{\frac{[\sigma]^t W_p}{q}} \quad (\text{考虑内压}) \quad (8.3.31-4)$$

式中 L_s ——由强度条件计算的跨距, m;

$[\sigma]^t$ ——管材在设计温度下的许用应力, MPa;

W_p ——管道扣除腐蚀裕量及负偏差后的抗弯截面模量, mm^3 。

I'_p 和 W_p 分别按下式计算:

$$I'_p = \frac{\pi}{64} (D_o^4 - D_i^4) \quad (8.3.31-5)$$

$$W_p = \frac{\pi (D_o^4 - D_i^4)}{32 D_o} \quad (8.3.31-6)$$

式中 D_i ——管道内径, mm;

D_o ——管道外径, mm。

(3) 对于不允许积液并带有坡度的管道, 支吊架间距除满足本条第(2)款要求外, 它与挠度及坡度之间的关系还应符合式(8.3.31-7)的要求。

$$L'_s \leq 0.0288 \sqrt[3]{\frac{E_t I'_p i_s}{q}} \quad (8.3.31-7)$$

式中 L'_s ——不允许积液并带有坡度的管道最大间距, m;

i_s ——管道坡度;

E_t ——管材在设计温度下的弹性模量, MPa;

I'_p ——管道扣除腐蚀裕量及负偏差后的截面惯性矩, mm^4 ;

q ——每米管道的基本荷载, N/m。

(4) 水平管道的弯管部分, 其两支架间的管道展开长度, 应为水平直管跨距的 0.6~0.7 倍; 水平管道末端直管的允许跨距, 宜为水平直管允许跨距的 0.7~0.8 倍。

第四节 往复式机泵管道的防振设计

8.4.1 往复压缩机、往复泵的管道振动分析应包括哪些内容?

答: 振动分析应包括:

(1) 气(液)柱固有频率分析, 使其避开激振力的频率;

(2) 压力脉动不均匀度分析, 采用设置缓冲器或孔板等脉动抑制措施, 将压力不均匀度控制在允许范围内;

(3) 管系结构固有频率分析及振动分析, 包括计算各节点的振幅及动应力。通过设置防振支架, 优化管道布置, 防止管道振动过大。

8.4.2 何谓共振, 在往复式机泵管道设计中可能引发共振的因素有哪些? 可采用哪些措施避免发生共振?

答: 当作用在系统上的激振力频率等于或接近系统的固有频率时, 振动系统的振幅会急剧增大, 这种现象称为共振。

在往复机泵管道设计中可能引发共振的因素有: 管道布置出现共振管长; 缓冲器和管径

设计不当造成流体固有频率与激振频率重叠导致气(液)柱共振;支承型式设置不当等造成管系机械振动固有频率与激振力频率重叠。

要避免发生共振,应使气(液)柱固有频率、管系的结构固有频率与激振力频率错开。管道设计时应进行振动分析,合理设置缓冲器,避开共振管长,合理设置支架。

8.4.3 什么是气体的压力脉动?压力脉动用什么指标来衡量?

答:往复压缩机的活塞在气缸中进行周期性的往复运动,引起吸排气呈间歇性和周期性,管内气体压力不但随位置变化,而且随时间作周期性变化,这种现象称为气体压力脉动。压力脉动的大小通常用压力不均匀度来衡量。压力不均匀度 δ 的表达式如下:

$$\delta = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_0} \times 100\% \quad (8.4.3)$$

式中 P_{\max} ——不均匀压力的最大值(A), MPa;

P_{\min} ——不均匀压力的最小值(A), MPa;

P_0 ——平均压力(A), $P_0 = (P_{\max} + P_{\min})/2$, MPa。

8.4.4 管道柔性设计和防振设计有何关系?

答:管道的柔性设计是保证管道有足够的柔性以吸收由于热胀、冷缩及端点位移产生的变形。防振设计是保证管系有一定的刚度,以避免管道在干扰力作用下发生强烈振动。管道的布置及支架设置在满足柔性设计要求的同时还要满足防振设计的要求。

8.4.5 往复压缩机和往复泵进出口管道的压力脉动和振动分析应按哪些标准进行?

答:往复压缩机进出口管道的压力脉动和振动分析应按《石油、化工和气体工业用往复式压缩机》API 618 的要求进行。往复泵进出口管道的压力脉动和振动分析应按《往复式容积泵》API 674 的要求进行。

第五节 管道的抗震设计

8.5.1 为达到抗震的目的,应采取哪些抗震措施?

答:为达到抗震的目的,应采取以下措施:

- (1) 管件、阀门等管道组成件宜采用钢质制品;
- (2) 除安装、维护、检修需拆卸处外,管道应采用焊接连接;
- (3) 管道的补偿器宜采用非填料函式补偿器;在有毒及可燃介质管道中严禁采用填料函式补偿器;
- (4) 管道应具备必要的抗震承载能力、良好的变形能力和消耗地震能量的能力;对管道薄弱部位,应采取措施提高其抗震能力;
- (5) 管道与设备的连接应具有足够柔性,管道柔性符合国家现行标准《石油化工管道柔性设计》SH/T 3041 的要求;
- (6) 管道穿过建、构筑物构件时应加套管,管道与套管之间应填塞软质不可燃材料。管道与套管之间的净间隙除满足管道热膨胀的要求外,不得小于 25mm;
- (7) 自力跨越道路的拱形管道应有防止倾倒的措施。设防烈度为 8 度、9 度时,不应采

用自力跨越道路的拱形管道；

- (8) 管架上应设有防止管道侧向滑落的措施；
- (9) 沿立式设备布置的竖直管道和采用吊架吊挂的管道应合理设置导向支架。
- (10) 根据抗震验算结果可在管道适当位置设置阻尼器；
- (11) 管道的支吊架应计及地震作用，有足够的强度和刚度。
- (12) 铺设在港口码头、引桥上的管道应设有防止管道被水浮起、冲落的措施。

8.5.2 根据《石油化工非埋地管道抗震设计规范》SH/T 3039 哪些管道应进行抗震验算？

答：根据国家现行标准《石油化工非埋地管道抗震设计规范》SH/T 3039—2018，表 8.5.2 中所列管道应进行抗震验算：

表 8.5.2 管道抗震验算条件

管道级别	公称直径 DN/mm	计算温度 $T/^\circ C$	抗震设防烈度
SHA1 级	$80 \leq DN \leq 125$		9
	$DN > 125$		8、9
SHA2、SHA3、SHA4、SHB1、 SHB2、SHB3、SHB4 级	$DN200/DN250$	$T \geq 300$	9
	$DN \geq 300$	$T \geq 200$	
	$DN \geq 500$ 且 $DN \geq 0.8$ 倍相连 设备直径		8、9
	$DN \geq 800$		
SHC1、SHC2、SHC3、SHC4、SHC5 级	$DN \geq 300$	$T \geq 370$	9

注：管道级别按照国家现行标准《石油化工管道设计器材选用规范》SH/T 3059 进行划分。

8.5.3 根据《石油化工非埋地管道抗震设计规范》SH/T 3039 管道抗震验算应如何进行？

答：根据国家现行标准《石油化工非埋地管道抗震设计规范》SH/T 3039，管道的抗震验算，仅计及水平方向的地震作用，可不计及竖直方向的地震作用，并分别对水平面内两个主轴方向进行验算。

管道水平地震作用按下式计算：

$$f = Kmg \quad (8.5.3)$$

式中 f ——管道水平地震作用，N/m；

K ——地震系数，见表 8.5.3；

m ——管道每米长度的质量，kg/m；

g ——重力加速度， m/s^2 ，取 9.81。

水平地震作用与压力、重力和其他持续荷载所引起的管道纵向应力之和，不得大于管道在计算温度下许用应力的 1.33 倍。

进行抗震验算时，不应同时计及风荷载和其他偶然荷载的影响。

表 8.5.3 地震系数 K

设计基本地震加速度	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
地震系数 K	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40

8.5.4 按照 GB/T 20801 的规定,在什么条件下应计及地震荷载?

答:按照现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分:设计和计算》GB/T 20801.3—2006 第7.2.3条的规定,同时满足以下条件时,应计及地震荷载:

- (1) GC1 级管道、介质毒性为高度危害的 GC2 类管道或介质为可燃的 GC2 类管道;
- (2) 地震设防烈度大于或等于 8 度,且设计基本地震加速度大于或等于 0.3g。

第六节 管道支吊架

8.6.1 《管道支吊架》GB/T 17116 的目的和适用范围是什么?

答:现行国家标准《管道支吊架》GB/T 17116—2018 分为以下 3 个部分,目的和适用范围如下:

(1) 《管道支吊架 第1部分:技术规范》GB/T 17116.1—2018:本部分规定了管道支吊架的材料、设计、制造、安装、试验、检验和运行维修的基本要求。本部分适用于圆截面金属管道的支吊架装置;

(2) 《管道支吊架 第2部分:管道连接部件》GB/T 17116.2—2018:本部分规定了管道支吊架管道连接部件的公称尺寸系列、荷载系列、温度等级和匹配材料、类型及典型结构型式的主要尺寸。本部分适用于控制外径尺寸的圆形金属管道的各类支吊架管部结构;

(3) 《管道支吊架 第3部分:中间连接件和建筑结构连接件》GB/T 17116.3—2018:本部分规定了公称尺寸为 NS 10~NS 125 的管道支吊架连接件的典型结构型式和主要连接尺寸。本部分适用于管道支吊架装置的中间连接件和建筑结构连接件。

8.6.2 管道支吊架是怎么分类的?

答:管道支吊架用以承受管道荷载,限制管道位移,控制管道振动,并将荷载传递至承载结构上的各类组件或装置(可简称为“支吊架”)。支吊架包括从下面支承管道的“支架”,其构件主要受压;从上方悬吊管道的“吊架”,其构件主要受拉。在许多情况下,支架或吊架的构件同时承受拉伸和压缩荷载。

管道支吊架可按其主要功能进行分类。

(1) 按承受管道荷载可分为以下 5 种:

1) 恒力支吊架——用以承受管道垂直荷载,且其承载力不随支吊点处管道垂直位移的变化而变化,即荷载保持基本恒定的支吊架;

2) 变力弹簧支吊架——用以承受管道垂直荷载,其承载力随着支吊点处管道垂直位移的变化而变化的弹性支吊架;

3) 刚性吊架——用以承受管道垂直荷载并约束管系在支吊点处垂直位移的吊架;

4) 滑动支架——将管道支承在滑动底板上,用以承受管道垂直荷载并约束管系在支吊点处垂直位移的支架;

5) 滚动支吊架——将管道支承在滚动部件上,用以承受管道垂直荷载并约束管系在支吊点处垂直位移的支吊架。

(2) 按限制管道位移可分为以下 3 种:

1) 导向装置——用以引导管道沿预定方向位移而限制其他方向位移的装置。水平管道的导向装置也可承受管道的垂直荷载;

2) 限位装置——用以约束或部分限制管系在支吊点处某一个或某几个方向位移的装置。它通常不承受管道的垂直荷载；

3) 固定支架——用以将管系在支吊点处完全约束而不产生任何线位移和角位移的刚性装置。

(3) 按控制管道振动可分为以下 2 种：

1) 减振装置——用以控制管道低频大幅晃动或高频低幅振动，对管系的热胀或冷缩有一定约束的装置；

2) 阻尼装置——用以承受管道地震荷载或冲击荷载，控制管系高速振动位移，同时允许管系自由地热胀冷缩的装置。

8.6.3 管道支吊架的选用原则是什么？

答：(1) 管道支吊架的材料、设计、制造、安装、试验、检验和运行维修，除符合现行国家标准《管道支吊架 第 1 部分：技术规范》GB/T 17116.1—2018 的规定外，还应符合各类管道有关的国家现行规范的要求。

(2) 恒力支吊架、变力弹簧支吊架、刚性吊架、滑动支架和滚动支吊架等管道支吊架类型可用于承受管道荷载的场合。

(3) 导向装置、限位装置和固定支架等管道支吊架类型可用于限制管道位移的场合。

(4) 减振装置和阻尼装置可用于控制管道振动的场合。

(5) 在设计和选用管道支吊架时，可根据管道工作温度范围按表 8.6.3 对管道系统进行分级。

表 8.6.3 管道系统分级

管道系统	管道系统分级	工作温度范围
热管道	A-1	>50~300℃
	A-2	>300~425℃
	A-3	>425~550℃
	A-4	>550℃
常温管道	B	>20~50℃
冷管道	C-1	>0~20℃
	C-2	>-20~0℃
	C-3	>-40~-20℃
	C-4	≤-40℃(低温范围)

8.6.4 管道支吊架材料选用通则是什么？

答：(1) 材料的技术要求应符合相应的国家标准、行业标准或有关技术规定的规定。

(2) 管道支吊架用材料应附有材料生产厂商的材料质量证明文件，支吊架制造单位应按该质量证明文件对材料进行验收，必要时还应进行复验。

(3) 选择管道支吊架用材料应根据支吊架零部件的使用条件、材料的工艺性能以及经济合理性等因素综合确定，并应符合本标准关于材料的其他规定。

(4) 与管道直接接触的支吊架零部件，其材料应按管道设计温度选用，并应与管道材料

相容，防止相互损伤。

(5) 钢材的使用温度不应超过现行国家标准《管道支吊架 第1部分：技术规范》GB/T 17116.1—2018 附录 A 中列出的各钢号有许用应力值的最高温度。碳素钢和碳锰钢不宜在大于 425℃ 的温度下长期使用。铁素体不锈钢及马氏体不锈钢不宜在大于 370℃ 的温度下使用。奥氏体不锈钢的使用温度高于 525℃ 时，钢中含碳量不应小于 0.04%。

(6) 钢材的使用温度下限，除奥氏体不锈钢及现行国家标准《管道支吊架 第1部分：技术规范》GB/T 17116.1—2018 中第 5 章各条规定者外，均为高于 -20℃。奥氏体不锈钢使用温度高于或等于 -196℃，且材料含碳量不大于 0.10% 时，可免做冲击试验。碳素钢和低合金钢钢材的冲击试验要求应符合现行国家标准《压力容器 第2部分：材料》GB/T 150.2—2011 中第 3.8 节的要求。

(7) 不锈钢-钢复合板的使用温度范围应同时符合本标准对基材和覆材使用温度范围的规定。

(8) 含碳量大于 0.35% 的碳钢、合金钢不应用在焊接结构和采用热切割工艺成形的结构上。

(9) 用于承受拉伸荷载的支吊架零部件应采用相关材料标准中有冲击功值要求的钢材牌号。否则，应按现行国家标准《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229 的要求补做冲击韧性试验，其冲击功值符合相关国家标准的规定方可使用。

(10) 用于承受动荷载的支吊架零部件不应采用沸腾钢。

(11) 灰铸铁的使用温度不应低于 -10℃，且不应高于 230℃；可锻铸铁和球墨铸铁的使用温度不应低于 -20℃，且不应高于 300℃。灰铸铁材料不应用于承受拉伸荷载、剪切荷载或可能承受冲击荷载的零部件。可锻铸铁和球墨铸铁不应用于可能承受冲击荷载的零部件。

(12) 非金属材料的选用应考虑下列因素：

- 1) 发生火灾时的破坏情况；
- 2) 温度稍微升高对材料强度的减弱情况；
- 3) 长时间使用时性能变化情况；
- 4) 毒性作用。

(13) 承受腐蚀或电流作用的材料应按相关规定进行防护，防护涂层应符合现行国家标准《管道支吊架 第1部分：技术规范》GB/T 17116.1—2018 中第 7 章“7.8 防腐涂层”的规定。

8.6.5 管道支吊架由哪些零部件构成？

答：(1) 管道支吊架组件可由一个或几个零部件构成，典型的管道支吊架标准零部件型式如现行国家标准《管道支吊架 第1部分：技术规范》GB/T 17116.1—2018 中表 2 所示。支吊架部件型式可分为下列四类：

1) 管道连接部件(简称“管部”)：管部是与管道或其绝热层直接相连的部件，如现行国家标准《管道支吊架 第1部分：技术规范》GB/T 17116.1—2018 表 2 中的型式 1~45 所示，其典型结构的型式尺寸和荷载系列宜符合现行国家标准《管道支吊架 第2部分》GB/T 17116.2 的规定；

2) 功能件：功能件是实现各种类型支吊架功能的部(组)件，如现行国家标准《管道支吊架 第1部分》GB/T 17116.1—2018 表 2 中的型式 46~49 变力弹簧组件、型式 50~55 恒力弹簧组件，型式 79 弹簧减振器、型式 81 拉撑杆和型式 82 阻尼装置所示；

3) 中间连接部件(简称“连接件”):连接件是用以连接管部与功能件、管部与根部、功能件与根部以及自身相互连接的部件,如现行国家标准《管道支吊架 第1部分:技术规范》GB/T 17116.1—2018 表2中的型式56~68所示,其典型结构的型式尺寸宜符合现行国家标准《管道支吊架 第3部分:中间连接件和建筑结构连接件》GB/T 17116.3的规定;

4) 承载结构生根部件(简称“根部”):根部是与承载结构直接相连的部件,如现行国家标准《管道支吊架 第1部分:技术规范》GB/T 17116.1—2018 中表2中的型式69~78、型式80所示以及各种型式的辅助钢结构等,其典型结构的型式尺寸宜符合现行国家标准《管道支吊架 第3部分:中间连接件和建筑结构连接件》GB/T 17116.3的规定。

(2) 支吊架标准部件的参数(如荷载、行程、弹簧刚度等)及其系列宜采用现行国家标准《优先数和优先数系》GB/T 321 规定的优先数和优先数系。

(3) 支吊架标准部件有互换性或系列化要求的主要尺寸(如安装、连接尺寸,有公差要求的配合尺寸,决定产品系列的公称尺寸等)宜采用现行国家标准《标准尺寸》GB/T 2822 规定的标准尺寸和标准尺寸系列。其他结构尺寸也宜采用 GB/T 2822 规定的尺寸。对于下列情况的尺寸,可不受 GB/T 2822 的限制:

- 1) 对于由主要尺寸导出的因变量尺寸和工艺上工序间的尺寸;
- 2) 对已有相关标准规定的尺寸,可按相关标准选用。

(4) 支吊架零部件圆锥的锥度与锥角应符合现行国家标准《产品几何量技术规范(GPS)圆锥的锥度与锥角系列》GB/T 157 的规定。

(5) 支吊架零部件棱体的角度与斜度应符合现行国家标准《产品几何量技术规范(GPS)棱体的角度与斜度系列》GB/T 4096 的规定。

(6) 支吊架零部件在常温范围内最小设计荷载等级不应小于现行国家标准《管道支吊架 第1部分:技术规范》GB/T 17116.1—2018 中表3的规定。

(7) 支吊系统应保证管道自由地位移或控制管道按预期的要求位移,包括设备接口的端点位移,并为管道系统提供其运行特性所需要的控制度。

(8) 确定支吊架间距时,应使管道荷载合理分布,并应满足疏水及介质排放的要求。

(9) 支吊架结构型式应根据管道布置、周围的建筑结构以及邻近管道和设备布置情况选择。支吊架应支承在可靠的构筑物上,且不应影响设备检修以及其他管道的安装和胀缩。

(10) 支吊架零部件的选用应符合现行国家标准《管道支吊架 第1部分:技术规范》GB/T 17116.1—2018 中表4的要求。

(11) 支吊架结构和连接(包括螺纹连接和焊接)应满足强度和刚度要求,并应简单可靠。除非选用经验证的标准支吊架零部件,支吊架结构和连接应进行强度和/或刚度计算。

(12) 当需要在建筑结构上添加钢结构部件时,辅助钢结构的计算应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 或《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的规定,不允许按本章第8.6.10条的规定提高水压试验工况的许用应力值。

(13) 支吊架应具有安装过程中能调整管道垂直高度的措施。对于公称尺寸 $DN65$ 或最大管道的吊架,应具有在承载条件下直接调节垂直高度的能力。

(14) 支吊架部件不应用于设计之外的用途。

8.6.6 支吊架应能承受什么荷载?

答:支吊架应能承受管道和相关设备在各种工况下所施加的静力荷载和规定的动力荷

载。支吊架零部件应按对其结构最不利的组合荷载进行选择与设计。

8.6.7 在管道支吊架设计时,应考虑哪些荷载?

答:在管道支吊架设计时,应计入下列各项(但不限于)荷载:

- (1) 管子、阀门、管件及绝热层的重力;
- (2) 支吊架零部件的重力;
- (3) 管道输送介质的重力;
- (4) 若输送介质较轻,则计入水压试验或管路清洗时的介质重力;
- (5) 管道中柔性管件(如波形膨胀节、滑动伸缩节、柔性金属软管等)由于内部压力产生的作用力;
- (6) 支吊架约束管道位移(包括热胀、冷缩、冷紧、自拉和端点附加位移)所承受的约束反力和力矩;
- (7) 管道或管道绝热层外表面温度 $<20^{\circ}\text{C}$ 的室外管道受到的雪荷载;
- (8) 正常运行时,由于种种原因引起的管道振动力;
- (9) 室外管道受到的风荷载;
- (10) 管内流体动量瞬时突变(如水锤、气锤等)引起的瞬态作用力;
- (11) 流体排放产生的反力;
- (12) 地震引起的荷载。

8.6.8 支吊架结构上的荷载,可分为哪几类?

答:支吊架结构上的荷载,可分为下列3类:

- (1) 永久荷载:在支吊架结构使用期间,其值不随时间变化,或其变化值与平均值相比可以忽略不计的荷载。例如本章第8.6.7条中第(1)、(2)项重力荷载;
- (2) 变化荷载:在支吊架结构使用期间,其值随时间变化,且变化值与平均值相比不可忽略的荷载。例如本章第8.6.7条中第(3)~(8)项,其中第(4)项仅在水压试验或管路清洗时可能出现,又称为临时荷载;
- (3) 偶然荷载:在支吊架结构使用期间不一定出现,一旦出现,其值很大且持续时间较短的荷载。这类荷载通常是动荷载。例如本章第8.6.7条中第(9)~(12)项。

8.6.9 支吊架结构荷载效应组合的工况有哪些?

答:(1)支吊架结构设计应根据使用过程中各种可能的工况下在结构上可能同时出现的荷载分别进行荷载效应组合,并取其中最不利组合进行设计。

(2)支吊架结构荷载效应组合宜符合下列规定:

- 1) 运行初期冷态工况应考虑本章第8.6.7条中第(1)、(2)、(3)、(6)、(7)项的荷载效应组合,其中(6)项仅按管道冷紧位移的约束反力组合;
- 2) 运行初期热态工况应考虑本章第8.6.7条中的(1)、(2)、(3)、(5)、(6)、(7)、(8)项的荷载效应组合,其中(6)项的冷紧位移应乘以冷紧有效系数;
- 3) 管道应变自均衡后冷态工况应考虑本章第8.6.7条中第(1)、(2)、(3)、(6)、(7)项的荷载效应组合,其中(6)项按管道应变自均衡后的位移约束反力组合;
- 4) 管道应变自均衡后热态工况应考虑本章第8.6.7条中第(1)、(2)、(3)、(5)、

(6)、(7)、(8)项的荷载效应组合,其中(6)项按管道应变自均衡后的位移约束反力组合;

5) 水压试验或管路清洗工况应考虑本章第 8.6.7 条中第(1)、(2)、(4)、(5)、(6)、(7)项的荷载效应组合,其中(5)项应取水压试验或管路清洗时的介质压力;

(3) 偶然荷载工况应按各种偶然荷载作用情况分别进行组合:

1) 管道承受风荷载时,应考虑本章第 8.6.7 条中第(1)、(2)、(3)、(5)、(6)、(9)项的荷载效应组合;

2) 系统阀门瞬间启闭时,应考虑本章第 8.6.7 条中第(1)、(2)、(3)、(5)、(6)、(7)、(10)项的荷载效应组合;

3) 锅炉、压力容器或管道的安全阀或释放阀动作时,应考虑本章第 8.6.7 条中第(1)、(2)、(3)、(5)、(6)、(7)、(11)项的荷载效应组合;

4) 地震时,应考虑本章第 8.6.7 条中第(1)、(2)、(3)、(5)、(6)、(7)、(12)项的荷载效应组合。

上述各种偶然荷载作用情况的荷载效应组合中,f)项的冷紧位移应乘以冷紧有效系数。

(4) 对于装有变力弹簧支吊架的管系,各个支吊架所承受的管系重力荷载应计及变力弹簧支吊架在冷状态 and 热状态下承载力的变化,并由此引起荷载向邻近刚性支吊架的转移。

(5) 水平方向限位的支吊装置在其约束方向的荷载还应计及管系中各活动支吊架因摩擦力约束管道位移所引起的荷载传递。

(6) 在荷载效应组合时,当永久荷载效应对结构有利时,永久荷载取其计算值;当永久荷载效应对结构不利时,对由可变荷载效应控制的组合永久荷载应取其计算值的 1.2 倍,对由永久荷载效应控制的组合永久荷载应取其计算值的 1.35 倍。

(7) 室外管道受到的雪荷载和风荷载可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中规定的方法计算。

(8) 动力荷载应根据荷载的动力特性乘以相应的动载系数。

8.6.10 在什么情况下允许提高管道支吊架零部件的钢材的许用应力?

答:在下列情况下允许提高钢材的许用应力:

(1) 在运行期间短时超载,每次超出时间不超过 1h,连续 12 个月累计超出时间不超过 80h,则许用应力可提高 20%;

(2) 在水压试验期间,对于已知物理性能的钢材,其许用应力允许提高到室温下屈服强度的 80%;对于不知物理性能的钢材,其许用应力允许提高到由物理试验得出的下屈服强度的 80%,但最大许用应力值不应超过 110MPa;

(3) 由专用规范规定或设计工程师确定的荷载组合条件及使用的应力水平。

8.6.11 变力弹簧支吊架应用场合和使用要求有哪些?

答:(1) 变力弹簧支吊架可用于允许支吊点处有垂直位移和支吊架承载力随着管道垂直位移有一定程度变化的场合。

(2) 变力弹簧支吊架的工作荷载应包括支吊点处的管道永久荷载、管道输送介质的重力和支吊架弹簧所需承受的所有支吊架部件(如管夹、吊杆等)的重力之和。

(3) 变力弹簧支吊架应设计限制弹簧偏移、翘曲、偏心受载或过应力的设施。

(4) 变力弹簧支吊架可分为简易式弹簧支吊架和整定式弹簧支吊架两种。

(5) 简易式弹簧支吊架的弹簧全变形量不应超过 50mm，且不设荷载或位移指示牌以及行程锁定装置。简易式弹簧支吊架组件可用于垂直位移不大于 6.3mm 和无需作精确的荷载及位移计算的场合。

(6) 整定式弹簧支吊架组件应设有荷载和行程指示牌以及预先设定“热”和“冷”态位置的标志，弹簧组件应有防止弹簧过应力或脱载的限制位移设施。

(7) 整定式弹簧支吊架组件应有安装和水压试验用的锁定装置。变力弹簧支吊架应按支吊架冷态荷载整定并锁定。锁定时，整定式弹簧支吊架应能承受 2 倍支吊架最大工作荷载。

(8) 变力弹簧支吊架的荷载偏差度应按式(8.6.11-1)计算，变力弹簧支吊架的荷载偏差度不应大于 5%。

$$\lambda = \left| \frac{W_b - W_s}{W_b} \right| \times 100\% \quad (8.6.11-1)$$

式中 λ ——弹簧支吊架的荷载偏差度；

W_b ——弹簧支吊架的标准荷载，N；

W_s ——拔销时弹簧支吊架的实测荷载，N。

(9) 变力弹簧支吊架的荷载变化系数应按式(8.6.11-2)或式(8.6.11-3)计算，且不宜大于 25%。式(8.6.11-2)和式(8.6.11-3)中的设计荷载：当冷态调零时，应采用安装荷载；当热态调零时，应采用工作荷载。

$$\xi = \frac{kd}{W_d} \times 100\% \quad (8.6.11-2)$$

$$\xi = \left| \frac{W_o - W_l}{W_d} \right| \times 100\% \quad (8.6.11-3)$$

式中 ξ ——弹簧支吊架的荷载变化系数；

k ——弹簧刚度，N/mm；

d ——管道垂直位移，mm；

W_d ——弹簧支吊架的设计荷载，N；

W_o ——弹簧支吊架的工作荷载，N；

W_l ——弹簧支吊架的安装荷载，N。

8.6.12 恒力支吊架应用场合和使用要求有哪些？

答：(1) 恒力支吊架可用于允许支吊点处有垂直位移，但要求在整个行程范围内荷载基本保持不变或变力弹簧支吊架不能满足要求的场合。

(2) 恒力支吊架的工作荷载应包括支吊点处的管道永久荷载、管道输送介质的重力和支吊架所需承受的所有支吊架部件(如管夹、吊杆等)的重力之和。恒力支吊架应按规定的工作荷载进行标定试验。

(3) 恒力支吊架的荷载偏差度应按本章第 8.6.11 条的式(8.6.11-1)计算，恒力弹簧支吊架的荷载偏差度不应大于 2%。

(4) 恒力弹簧支吊架在上下位移的整个行程范围内的荷载恒定度(包括摩擦力)不应大于 6%。荷载恒定度应由专用的荷载试验机械测定，并按式(8.6.12)计算。向下位移时荷载的最大读数和向上位移时荷载的最小读数与规定荷载的离差也均不应大于 6%。

$$\Delta = \frac{W_{\max} - W_{\min}}{W_{\max} + W_{\min}} \times 100\% \quad (8.6.12)$$

式中 Δ ——恒力支吊架的荷载恒定性；

W_{\max} ——恒力支吊架向下位移时荷载的最大读数，N；

W_{\min} ——恒力支吊架向上位移时荷载的最小读数，N。

(5) 恒力支吊架应有供现场调整荷载的设施，其荷载调整量不应小于 $\pm 10\%$ 。

(6) 恒力支吊架组件应设有荷载和位移指示牌以及预先设定“热”和“冷”态位置的标志。支吊架应有防止行程过大或脱载的安全装置和制动装置。

(7) 恒力支吊架组件应有安装和水压试验用的锁定装置。锁定时，恒力支吊架应能承受 2 倍支吊架最大工作荷载。

(8) 恒力支吊架组件的公称位移量应比计算位移量大 20%，且至少大 20mm。计算位移量应计及由于水平位移引起吊杆长度的增加。

8.6.13 刚性支吊架装置应用场合和使用要求有哪些？

答：(1) 在支吊架装置选型中，应优先考虑采用合适的刚性支吊装置，以增加管系稳定性、限制管系位移、控制管道振动、合理分配管系补偿。

(2) 刚性支吊装置的设置应通过管系应力分析而确定。刚性支吊装置的位置或约束类型变更后，应重新进行管系应力分析。

(3) 当管道垂直位移可以忽略不计或限制管道垂直位移不会对连接设备和管道产生有害荷载时，悬吊管线可采用刚性吊杆吊架；对于从下部支承的管线，可采用刚性底板支架、托架或横梁结构。

(4) 固定支架的设计应保证管道在固定点处的任何方向都相对固定。刚性支吊装置的承载结构应充分牢固并具有足够刚度。

(5) 限位装置和导向装置的设计应保证管道在支吊点的预定约束方向相对固定，而在其他方向上能自由地膨胀，并能承受作用于该装置上的各种力、力矩和其他荷载。限位装置和导向装置在预定约束方向上的冷态间隙不宜超过 2mm。对于在管道径向两侧约束的限位装置和导向装置，其冷态间隙还应计及管道径向热膨胀量。

(6) 采用波形膨胀节、滑动伸缩节或柔性金属软管的管道，应在合适的位置设置固定支架和导向装置将热胀位移引导至膨胀节或软管组件，并满足下列要求：

1) 该固定支架应能承受制造厂家规定的膨胀节或软管组件在设计工况下的力。如果制造厂家未提供该力，则应取其最大内截面积与设计压力乘积再加上膨胀节或软管组件变形力的总和；

2) 若膨胀节或柔性金属软管组件受到轴向和侧向的合成位移作用，设计时应计及这两种位移的同时作用；

3) 金属软管组件应按制造厂家推荐的方式支吊，使其免受扭曲和过变形的影响。

(7) 滑动支架应允许管道水平方向自由位移，滚动支架应允许水平管道沿轴线方向自由位移，滚动支架的管部应满足管道的预期位移。用于活动支架的材料和润滑剂应适合于活动面处的温度。对于采用带聚四氟乙烯板的底板型支架，与聚四氟乙烯板接触的底板宜采用镜面不锈钢板或现行国家标准《不锈钢复合钢板或钢带》GB/T 8165 的不锈钢复合钢板，底板的尺寸不应小于聚四氟乙烯板尺寸和预期位移之和。

8.6.14 减振器和阻尼装置应用场合和使用要求有哪些？

答：(1) 弹簧减振器对管道产生一个使其回复到正常位置的作用力，可用于限制管道振动或晃动的场合。弹簧减振器可由一个弹簧或多个弹簧适当的连接组成。

(2) 为了控制管道不同方向的振动，可在减振装置装设点处装设几个不同方位的弹簧减振器。

(3) 弹簧减振器规格应根据控制管道振动所需的防振力选择。如果无法预先计算防振力，可根据制造厂家的推荐按管道直径选择适当的规格，但应选用可调节型弹簧减振器供现场调整防振力。

(4) 弹簧减振器的最大工作行程应比减振器防振力调节量与管道位移引起减振器轴向位移量之和大约 20%，且至少大 15mm。如果无法确定减振器防振力调节量时，弹簧减振器的最大工作行程应比管道位移引起减振器轴向位移量大 40%，且至少大 25mm。

(5) 管道应力分析应计算在所有规定的工况下减振器对管道和设备的影响。

(6) 阻尼装置可用于需要承受管道地震荷载或冲击荷载，控制管系高速振动位移的场合。阻尼装置应能允许管系自由地胀缩，但不承受管道的自重荷载。

(7) 阻尼装置可分为液压式阻尼器和机械式阻尼器两种。阻尼装置的设计应经工业实践验证，并应考虑下列各项因素：

- 1) 阻尼装置应承受的荷载工况、瞬态设计荷载以及荷载组合；
- 2) 要求的力、时间和位移之间的关系；
- 3) 阻尼装置所处的环境条件，如温度、放射性、腐蚀环境、湿度和空气中的悬浮颗粒等；
- 4) 材料的相容性、稳定性、耐火性、磨损、老化等特性，对于液压式阻尼器，宜使用抗燃油；
- 5) 安装前要求做的试验。
- (8) 阻尼器的型式应与管道动力荷载特性及阻尼要求相适应。
- (9) 阻尼器的规格应根据管道动力分析得出的动力荷载选用。
- (10) 阻尼器的有效行程应大于管道位移引起阻尼器的轴向位移量。

8.6.15 弹簧设计有哪些规定？

答：所有的变力、恒力支吊架和减振器中的弹簧设计应符合以下规定：

(1) 管道支吊架的弹簧，一般采用圆柱螺旋弹簧。除非有合适的导向件，压缩弹簧的自由高度与弹簧外径之比不应大于 4：1。特殊型式的弹簧，如板簧、碟簧、锥形螺旋弹簧、盘簧、扭簧及类似的弹簧也可采用。但当采用这类特殊型式弹簧时，应经过工业实践的验证；

(2) 圆柱螺旋弹簧的设计应符合现行国家标准《圆柱螺旋弹簧设计计算》GB/T 23935 的各项规定。变力、恒力支吊架弹簧许用切应力宜按动负荷有限疲劳寿命选取；弹簧减振器弹簧许用切应力应按动负荷无限疲劳寿命选取；

(3) 用于支吊架的弹簧材料应符合现行国家标准《弹簧钢》GB/T 1222 的规定；

(4) 热卷圆柱螺旋弹簧的检验方法应符合现行国家标准《热卷圆柱螺旋压缩弹簧 技术条件》GB/T 23934 的各项规定，按 2 级精度进行验收；

(5) 冷卷圆柱螺旋弹簧的检验方法应符合现行国家标准《冷卷圆柱螺旋弹簧技术条件

第2部分：压缩弹簧》GB/T 1239.2的各项规定，按2级精度进行验收；

(6) 弹簧表面应进行可靠的防腐蚀处理。如采用电镀防腐蚀方式，弹簧的最大许用工作应力应降低15%，且应采用适当的工艺防止脆裂。

8.6.16 吊杆及配件应用场合和使用要求有哪些？

答：(1) 对于公称尺寸小于或等于DN50的管子，吊架吊杆的直径不应小于10mm；对于公称尺寸大于DN50的管子，吊架吊杆的直径不应小于12mm。单吊杆刚性吊架的吊杆直径不应小于表8.6.16-1的规定。

表 8.6.16-1 单吊杆刚性吊架的最小吊杆直径

管道公称尺寸 DN	最小吊杆直径	管道公称尺寸 DN	最小吊杆直径
8	M10	100	M16
10	M10	125	M16
15	M10	150	M20
20	M10	200	M20
25	M10	250	M20
32	M10	300	M20
40	M10	350	M24
50	M10	400	M24
65	M12	450	M24
80	M12	500	M30
90	M12	600	M30

注：① 吊杆直径的最大使用荷载见表8.6.16-2。

② 对于双吊杆吊架，吊杆直径可以缩小一档，但最小为10mm。

表 8.6.16-2 螺纹吊杆最大使用荷载

螺纹吊杆 公称直径 ^①	螺距/ mm	螺纹根部 截面积/mm ²	最大使用 荷载 ^{②③} /kN	螺纹吊杆 公称直径 ^①	螺距/ mm	螺纹根部 截面积/mm ²	最大使用 荷载 ^{②③} /kN
M10	1.50	49.49	3.90	M56	4.00	2014	185
M12	1.75	72.40	5.71	M64	4.00	2701	248
M16	2.00	138.3	10.9	M68	4.00	3082	283
M20	2.50	217.0	17.1	M72	4.00	3488	320
M24	3.00	312.7	24.7	M80	4.00	4376	402
M30	3.50	503.0	39.7	M90	4.00	5627	517
M36	4.00	738.0	61.2	M100	4.00	7033	647
M42	4.50	1018	84.4	M110	4.00	8598	791
M48	5.00	1343	123	M125	4.00	11240	1033

注：① 螺纹吊杆材料可选用Q235B、Q235C、Q235D、Q345或20钢。Q235B用于螺纹吊杆的允许直径不应大于M30；Q235C和Q235D级用于螺纹吊杆的允许直径不应大于M42。

② 如果螺纹吊杆材料不是Q235B、Q235C、Q235D、Q345或20钢，应按现行国家标准《管道支吊架 第1部分：技术规范》GB/T 17116.1—2018中第6.3.6条和附录A的要求确定许用应力。

③ 本表中公称直径小于或等于30mm的螺纹拉杆最大使用荷载按许用拉伸应力为79MPa(该值已按现行国家标准《管道支吊架 第1部分：技术规范》GB/T 17116.1—2018中第6.3.6条的规定降低25%)计算；公称直径为36mm和42mm的螺纹拉杆最大使用荷载按许用拉伸应力为83MPa(该值已按第6.3.6条的规定降低25%)计算；公称直径大于42mm的螺纹拉杆最大使用荷载按许用拉伸应力为92MPa(该值已按第6.3.6条的规定降低25%)计算。

- (2) 滚轧螺纹的吊架吊杆应为全螺纹吊杆。
- (3) 环眼吊杆的环眼最小内径应比吊杆直径大 3mm。
- (4) 锻制环眼吊杆的环眼处金属截面积不应小于吊杆截面积的 1.25 倍。
- (5) 弯曲成形并焊牢的环眼吊杆，其焊缝周长不应小于吊杆直径的 2 倍。
- (6) 强度和有效截面积与吊架吊杆截面积相当的管子、带材或棒材可以用来代替吊架吊杆。

(7) 直径 $\geq 5\text{mm}$ 或截面积相当的焊接环链可用于管道吊架，其最大许用应力为 79MPa。

(8) 对于吊点处有水平位移的吊架，吊杆配件的选择应使吊杆能自由摆动而不妨碍管道水平位移，并应保证任何状态下吊杆与垂线之间夹角满足下列规定：

- 1) 刚性吊架吊杆与垂线之间夹角不超过 3° ；
- 2) 弹性吊架吊杆与垂线之间夹角不超过 4° ；
- 3) 如果吊杆与垂线之间夹角不能满足上述规定，可采用将管道吊点与承载结构受力点相对预偏装或采用滚动装置等措施，使吊杆与垂线之间夹角在规定范围内。

(9) 吊杆应有足够的螺纹长度，并配有调节垂直高度的部件，以满足必要的安装调节量（包括支吊架零部件制造偏差、施工安装偏差和管道冷拉量等）。可采用装设螺旋扣（也称“花篮螺母”）等措施调节垂直高度。

8.6.17 水平管道支吊架间距有什么规定？

答：(1) 近似水平布置的管道应控制一定的支吊架间距，以保证管道不产生过大的挠度、弯曲应力和剪切应力；垂直管道也应控制支吊架间距，防止管道由于各种荷载组合作用而产生过应力。水平直管道的支吊架间距应满足下列要求：

- 1) 强度条件：应控制管道自重产生的弯曲应力，使管道的持续外载当量应力在允许范围内；
- 2) 刚度条件：应控制管道自重产生的弯曲挠度，使管道在安全范围内使用并能满足疏水和介质排放的要求。对于可能产生振动或有抗地震要求的管道，还应根据其振因控制管道的挠度，使管道的固有频率值在适当的范围内。

各类管道应符合相关管道设计标准规定的强度条件、刚度条件和支吊架最大间距推荐值。

(2) 支吊点之间水平直管的最大自重弯曲应力，可按下列公式计算：

单跨简支梁跨中最大弯曲应力按式(8.6.17-1)计算：

$$\sigma_{\max} = \frac{(qL+2P)L}{8W} \quad (8.6.17-1)$$

式中 σ_{\max} ——弯曲应力，MPa；

q ——管道单位长度自重荷载，N/m；

P ——跨中集中荷载，N；

L ——支吊架间距，m；

W ——管子抗弯截面系数， cm^3 。

三等跨连续梁跨中最大弯曲应力按式(8.6.17-2)计算：

$$\sigma_{\max} = \frac{(qL+2P)L}{10W} \quad (8.6.17-2)$$

(3) 支吊点之间水平直管的最大弯曲挠度，可按下列公式计算：

1) 单跨简支梁跨中最大弯曲挠度按式(8.6.17-3)计算:

$$\delta_{\max} = \frac{L^3}{E_t I} \left(\frac{5}{384} qL + \frac{1}{48} P \right) \times 10^5 \quad (8.6.17-3)$$

式中 δ_{\max} ——最大弯曲挠度, mm;

E_t ——管道材料在工作温度下的弹性模量, MPa;

I ——管子截面惯性矩, cm^4 。

2) 三等跨连续梁跨中最大弯曲挠度按式(8.6.17-4)计算:

$$\delta_{\max} = \frac{L^3}{E_t I} \left(\frac{13}{192} qL + \frac{7}{48} P \right) \times 10^4 \quad (8.6.17-4)$$

(4) 水平直管的固有频率(不考虑支承系统刚度的影响), 可按下列公式计算:

1) 单跨简支梁一阶固有频率按式(8.6.17-5)计算:

$$f_n = 0.345 \sqrt{\frac{E_t I}{(0.5qL + P)L^3}} \quad (8.6.17-5)$$

2) 三等跨连续梁一阶固有频率按式(8.6.17-6)计算:

$$f_n = 0.413 \sqrt{\frac{E_t I}{(0.366qL + P)L^3}} \quad (8.6.17-6)$$

式中 f_n ——管道一阶固有频率, Hz。

(5) 水平直管的支吊架间距应取按强度条件和刚度条件求得的支吊架间距的较小值。当控制固有频率要求的支吊架间距远小于控制弯曲应力和挠度的支吊架间距时, 可在按后者间距设置承重支吊架的同时, 按前者间距增设不承重的侧向约束装置。

(6) 在水平管道方向改变处, 两支吊点之间的管子展开长度不应超过水平直管支吊架间距的 3/4, 其中一个支吊架宜尽量靠近弯管或弯头的起弯点。

(7) 为防止管道侧向振动, 垂直管道也宜设置适当数量的管道侧向约束装置。

(8) 当支吊架承载结构的承载能力受到限制时, 可采用较小的支吊架间距。

(9) 当预期清洗管路系统而需要定期拆卸管子时, 设计应考虑增加支吊架。