

团 体 标 准

T/SCEA XXXX—XXXX

城镇供热蒸汽管网设计规范

Design code for city steam heating network

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

上海市循环经济协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 符号 2

5 热负荷 4

6 热网参数和热媒参数 4

7 管网布置和管网形式 5

8 热补偿 9

9 水力计算 9

10 热力计算 10

11 强度计算 12

12 管网热工检测与控制 13

13 管网热效率 13

14 外护管防腐 14

附录 A（规范性） 管道保温结构设计及计算 15

附录 B（资料性） 干空气物理性质 17

附录 C（资料性） 钢管与保温材料摩擦系数 18

附录 D（资料性） 常用钢管最小壁厚 19

附录 E（资料性） 直埋敷设蒸汽保温管外套钢管推荐壁厚 20

附录 F（规范性） 蒸汽保温管道散热强度推荐表 21

附录 G（规范性） 蒸汽管网最小量长比 22

附录 H（规范性） 水和水蒸汽性质表 23

附：条文说明 39

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由上海科华热力管道有限公司提出。

本文件由上海市循环经济协会归口。

本文件起草单位：上海科华热力管道有限公司、上海燃气工程设计研究有限公司、华东理工设计研究院有限公司、武汉市燃气热力规划设计院有限公司、浙江阿斯克建材科技股份有限公司。

本文件主要起草人：

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

首批承诺执行本文件的单位：

上海科华热力管道有限公司、上海燃气工程设计研究有限公司、华东理工设计研究院有限公司、武汉市燃气热力规划设计院有限公司、浙江阿斯克建材科技股份有限公司。

城镇供热蒸汽管网设计规范

1 范围

为规范城镇供热蒸汽管网设计，保障蒸汽管网安全、可靠、高效、经济，特制定本规范。
本规范适用于蒸汽压力小于和等于2.5MPa，温度小于和等于350℃的城镇供热蒸汽管网。
城镇供热蒸汽管网设计除应遵守本规范之外，尚应遵守我国现行相关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 3087 低中压锅炉用无缝钢管
- GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管
- GB/T 4272 设备及管道绝热技术通则
- GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
- GB/T 8175 设备及管道绝热设计导则
- GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 9711 石油天然气工业管线输送系统用钢管
- GB 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB/T 12459 钢制对焊无缝管件
- GB/T 12605 无损检测 金属管道熔化焊环向对接接头射线照相检测方法
- GB/T 13401 钢制对焊管件
- GB/T 13793 直缝电焊钢管
- GB/T 23257 埋地钢质管道聚乙烯防腐层
- GB/T 28638 城镇供热管道保温结构散热损失测试与保温效果评定方法
- GB/T 29047 高密度聚乙烯外护管硬质聚氨酯泡沫塑料预制直埋保温管及管件
- GB/T 38942 压力管道规范 公用管道
- GB 50025 湿陷性黄土地区建筑规范
- GB 50032 室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范
- GB 50112 膨胀土地区建筑技术规范
- GB 50139 内河通航标准
- GB 50184 工业金属管道工程施工质量验收规范
- GB 50235 工业金属管道工程施工规范
- GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工规范
- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
- GB 50683 现场设备、工业管道焊接工程施工质量验收规范
- GB 50764 电厂动力管道设计规范
- CJJ 28 城镇供热管网工程施工及验收规范
- CJJ 34 城镇供热管网设计规范
- CJJ/T 104 城镇供热直埋蒸汽管道技术规程
- CJ/T 246 城镇供热预制直埋蒸汽保温管及管路附件
- CJJ/T 81 城镇供热直埋热水管道技术规程
- CJJ 88 城镇供热系统运行维护技术规程
- CJ/T 129 玻璃纤维增强塑料外护管聚氨酯泡沫塑料预制直埋保温管

CJ/T 200 城镇供热预制直埋蒸汽保温管技术条件
DL/T 5366 火力发电厂汽水管道应力计算技术规定
HS/T 3811 喷涂聚脲防护材料
JB/T 1611 锅炉管子制造技术条件
SY/T 0061 埋地钢质管道外壁有机防腐层技术规范
SY/T 0063 管道防腐层检漏试验方法
SY/T 0315 钢质管道单层熔结环氧粉末外涂层技术规范
SY/T 0447 埋地钢质管道环氧煤沥青防腐层技术标准
SY/T 5037 低压流体输送管道用螺旋缝埋弧焊钢管
T/CDHA 2 架空和综合管廊预制蒸汽保温管及管件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

量长比 volume/length ratio

管道中蒸汽流量与自该管道入口起算至下游各用户止管线总长度之和的比值。

3.2

比温降 specific temperature drop

单位长度蒸汽管道中温度下降的量值。

3.3

比压降 specific pressure drop

单位长度蒸汽管道中压力下降的量值。

3.4

公称压力 nominal pressure

与管道元件的机械强度有关的设计给定的压力。

3.5

操作压力 operating pressure

管道、管件、阀门在正常运行条件下承受的最高压力。

3.6

设计压力 design pressure

在相应设计温度下用以确定管道壁厚的压力，其值不得小于管道的最大工作压力。

3.7

操作温度 operating temperature

管道在正常工况下运行的最高温度。

3.8

设计温度 design temperature

管道在正常情况下，设定元件的温度。

注：设计温度与设计压力一起作为设计条件。

4 符号

A_2 ——管道壁厚负偏差系数；
 C ——保温材料偏离标准状况修正系数；
 C_1 ——腐蚀裕量；
 C_2 ——负偏差裕量；
 C_p ——管网设计压力安全裕量；
 C_t ——管网设计温度安全裕量；
 c_p ——蒸汽定压比热；
 d_i ——蒸汽管道内径；

d_o ——蒸汽管道外径；
 F_n ——总垂直载荷；
 F_i ——第 i 个集中载荷；
 F_f ——支吊架所受摩擦力；
 F_1 ——管段伸缩位移时受到的摩擦力；
 G ——管道中蒸汽流量；
 G_c ——管网排放的冷凝水量；
 G_d ——管网设计流量；
 G_e ——管网终点用户取得的蒸汽量；
 G_i ——计算管段下游各用户最大用汽量；
 G_m ——发生热位移的蒸汽管道和一起移动的保温层及附在管道上的其他负载的重量；
 G_0 ——管网总入口蒸汽流量；
 h ——蒸汽焓值；
 h_e ——热用户得到的蒸汽焓值；
 h_i ——用户设计参数下蒸汽焓值；
 h_s ——热网排出的冷凝水的焓值；
 h_0 ——管段入口蒸汽焓值；
 K_1 ——热网用户同时使用系数；
 K_2 ——热用户发展变化系数；
 K_3 ——流量系数；
 K_4 ——载荷系数；
 L ——自计算管段入口起算下游所有管段总长度；
 L_i ——计算管段及下游管段各自长度；
 L_m ——管网中管件产生流动阻力的当量长度；
 L_{max} ——管网入口到最不利用户距离；
 N ——热位移钢管受到固定不动的保温层的握裹力；
 P ——蒸汽压力；
 P_d ——蒸汽管网设计压力；
 P_e ——蒸汽管网中最不利用户压力；
 ΔP ——管道入口与出口蒸汽压力之差；
 Q ——蒸汽管网热负荷；
 q ——蒸汽管道基本热损失；
 q' ——管道单位长度计算载荷；
 q_i ——计算管段及下游管段各自散热强度；
 t ——蒸汽温度；
 t_d ——蒸汽管网设计温度；
 t_e ——蒸汽管网中最不利用户需要的蒸汽温度；
 t_f ——远离管道外表面的空气温度；
 t_m ——管道中蒸汽平均温度；
 t_w ——管道保温层外表面温度；
 t_0 ——计算管段入口蒸汽温度；
 Δt ——管道蒸汽入口与出口蒸汽温度之差；
 α ——蒸汽管网附加热损失系数；
 β ——蒸汽管网管件局部阻力当量长度系数；
 λ ——保温材料在保温层平均温度下的导热系数；
 μ ——摩擦系数；
 ξ ——管件局部阻力系数；
 δ ——工作钢管计算壁厚；
 τ ——管网运行时间；
 ρ ——蒸汽密度；

η ——蒸汽管网热效率；
 $[\sigma]^t$ ——最高工作温度下许用应力；
 φ ——焊缝修正系数；

5 热负荷

5.1 蒸汽管网的热负荷是指管网中各用户在单位时间内从热网获取的热量。根据各用户用汽的变化又分成最大热负荷、最小热负荷和平均热负荷。

5.2 现有热网热负荷通过逐时、逐日或逐月对各热用户用汽数量和热值的统计计算来获得。

5.3 蒸汽管网最大热负荷按下式计算：

$$Q_{max} = K_2 / \eta \sum K_1 G_i \cdot h_i \times 10^{-3} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_{max} ——蒸汽管网最大热负荷，GJ/h；
 G_i ——计算管段下游各用户最大用汽量，t/h；
 K_1 ——热网用户同时使用系数；
 h_i ——用户设计参数下蒸汽焓值，KJ/Kg；
 K_2 ——热用户发展变化系数，当 K_2 小于1时，取 K_2 等于1。
 η ——管网热效率，%。可取92%。

5.4 蒸汽管网最小热负荷取正常运行下全年最小用热量，用 Q_{min} 表示。当 Q_{min} 小于0.4倍 Q_{max} 时，设计中取 Q_{min} 等于0.4倍 Q_{max} 。

5.5 蒸汽管网平均热负荷为最大负荷与最小负荷的平均值。

5.6 蒸汽管网平均热负荷分别为日均热负荷，月均热负荷和年均热负荷。用 Q_m 表示，单位为GJ/h。

6 热网参数和热媒参数

6.1 热网参数

6.1.1 热网设计压力

蒸汽管网设计压力根据用户需要的蒸汽压力和蒸汽在管道中压力损失确定，可按下列公式计算：

$$P_d = P_e + L_{max} \times \Delta P / L + C_p \dots\dots\dots (2)$$

式中：

P_d ——蒸汽管网设计压力，MPa；
 P_e ——蒸汽管网中最不利用用户压力，MPa；
 L_{max} ——蒸汽管网入口到最不利用用户的距离，km；
 $\Delta P / L$ ——蒸汽管网比压降，MPa/km；
 C_p ——安全裕量，可取0.18MPa。当计算结果使设计压力跨越压力等级值时， C_p 取值可小于0.18，但 C_p 不得取负值。

6.1.2 热网压力等级分别为0.6MPa、1.0MPa、1.6MPa和2.5MPa。

6.1.3 热网设计温度

蒸汽管网设计温度根据用户需要的蒸汽温度和蒸汽在管道中沿程温度降低值确定。可按下列公式计算：

$$t_d = t_e + L_{max} \times \Delta t / L + C_t \dots\dots\dots (3)$$

式中：

t_d ——蒸汽管网设计温度，℃；
 t_e ——蒸汽管网中最不利用用户需要的蒸汽温度，℃；
 $\Delta t / L$ ——管网比温降，℃/km；
 L_{max} ——管网入口到最不利用用户距离，km；
 C_t ——安全裕量值，可取20℃。

6.1.4 蒸汽管网的平均热效率应不低于92%。

6.1.5 蒸汽管网在平均流量时，比温降不宜大于4℃/km。

6.1.6 蒸汽管网在设计流量时，比压降不宜大于 0.03MPa/km。

6.1.7 当热网不同用户要求的蒸汽参数有明显差异，可分别设置管线，并设定不同的供汽参数。

6.2 热媒参数

6.2.1 供热方式的选择应力求简单、可靠、先进、经济、节能，并在各种生产工况下都能满足用户要求。

6.2.2 热媒参数选择应兼顾热源情况、用户要求及供热距离。

7 管网布置和管网形式

7.1 管网路由选择应符合下列规定：

- 应避开重要的军事设施、易燃易爆仓库、国家重点文物保护单位等；
- 宜避开多年生经济作物区和重要的农田基本设施、水源地。
- 宜避开土质松软地区、地震断裂带、滑坡危险地带、高地下水位区、塌陷区、矿山采空区、山洪易发地带等不良工程地质段。

7.2 位于抗震设防烈度为 6 度及高于 6 度地区时，管网设计应符合现行国家标准《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》GB 50032 的有关规定。

7.3 管网在非城镇街道和居住区时宜采用地上敷设，但设计时应注意安全和美观。

7.4 根据《城镇供热管网设计规范》CJJ-34 中第 8.2.11 条规定，管网保温结构外表面与建筑物、构筑物、道路、铁路、电缆、架空电线和其他管线的最小水平净距、垂直净距应符合表 1 和表 2 的规定。

表1 地下敷设热力网管道与建筑物（构筑物）或其他管线的最小距离

单位为米

建筑物、构筑物或管线名称			最小水平净距	最小垂直净距
建筑物基础	管沟敷设热力网管道		0.5	—
	直埋闭式热力网管道	DN≤250	2.5	—
		DN≥300	3.0	—
铁路钢轨			钢轨外侧 3.0	轨底 1.2
电车钢轨			钢轨外侧 2.0	轨底 1.0
铁路、公路路基边坡底脚或边沟的边缘			1.0	—
通信、照明或 10kV 以下电力线路的电杆			1.0	—
桥墩（高架桥、栈桥）边缘			2.0	—
架空管道支架基础边缘			1.5	—
高压输电线铁塔基础边缘 35kV~220kV			3.0	—
通信电缆管块			1.0	0.15
直埋通信电缆（光缆）			1.0	0.15
电力电缆和控制电缆		35kV 以下	2.0	0.5
		110kV	2.0	1
燃气管道	管沟敷设热力网管道	燃气压力<0.01MPa	1.0	钢管 0.15 聚乙烯管在上 0.2 聚乙烯管在下 0.3
		燃气压力≤0.4MPa	1.5	
		燃气压力≤0.8MPa	2.0	
		燃气压力>0.8MPa	4.0	
		燃气压力≤0.4MPa	1.0	

建筑物、构筑物或管线名称			最小水平净距	最小垂直净距
	直埋敷设热力网管道	燃气压力≤0. 8MPa	1. 5	钢管 0. 15 聚乙烯管在上 0. 5 聚乙烯管在下 1. 0
		燃气压力>0. 8MPa	2. 0	
给水管道			1. 5	0. 15
排水管道			1. 5	0. 15
地铁			5. 0	0. 8
电气铁路接触网电杆基础			3. 0	—
乔木（中心）			1. 5	—
灌木（中心）			1. 5	—
车行道路面			—	0. 7

表2 地上敷设热力网管道与建筑物（构筑物）或其他管线的最小距离 单位为米

建筑物、构筑物或管线名称		最小水平净距	最小垂直净距
铁路钢轨		钢轨外侧 3.0	轨顶一般 5.5 电气铁路 6.55
电车钢轨		钢轨外侧 2.0	—
公路边缘		1.5	—
公路路面		—	4.5
架空输电线 （水平净距：导线最大风偏时；垂直净距：热力网管道在下面交叉通过导线最大垂度时）	$< 1\text{kV}$	1.5	1.0
	1kV~10kV	2.0	2.0
	35kV~110kV	4.0	4.0
	220kV	5.0	4.0
	330kV	6.0	6.0
	500kV	6.5	6.5
树冠		0.5（到树中不小于 2.0）	—

7.5 供热管道跨越水面、峡谷地段时应符合下列规定：

- 在桥梁主管部门同意的条件下，可在永久性的公路桥上架设。
- 供热管道架空跨越通航河流时，航道的净宽与净高应符合现行国家标准《内河通航标准》GB50139 的规定。
- 供热管道架空跨越不通航河流时，管道保温结构表面与 50 年一遇的最高水位的垂直净距不应小于 0.5m。跨越重要河流时，还应符合河道管理部门的有关规定。
- 河底敷设供热管道必须远离浅滩、锚地，并应选择在较深的稳定河段，埋设深度应按不妨碍河道整治和保证管道安全的原则确定。对于 1~5 级航道河流，管道（管沟）的覆土深度应在航道底设计标高 2m 以下；对于其他河流，管道（管沟）的覆土深度应在稳定河底 1m 以下。对于灌溉渠道，管道（管沟）的覆土深度应在渠底设计标高 0.5m 以下。
- 管道河底直埋敷设或管沟敷设时，应进行抗浮计算。

7.6 供热管道同河流、铁路、公路等交叉时应垂直相交。特殊情况下，管道与铁路或地下铁路交叉角度不得小于 60° ；管道与河流或公路交叉角度不得小于 45° 。

7.7 当热负荷有明显季节性差异，或者热网用户逐年增加（减少），可采用双管布置。

- 7.8 管网应采用枝状形式。新建项目不应采用环状布置形式，改、扩建项目应避免采用环状形式。
- 7.9 当两条管线之间设置联通管时，联通管不宜过长。且联通管两端均应设置切断阀。
- 7.10 管网支线应尽量将邻近用户联接成串，且宜将负荷大，连续用汽的热用户设置在管线末端。
- 7.11 轴向波纹补偿器不宜靠近弯头布置。
- 7.12 直埋敷设蒸汽管网工作钢管热补偿宜选用金属波纹管外压轴向型补偿器，也可采用旋转补偿器，旋转补偿器宜设置在井室内，管道与井室连接处，应考虑外套管的热补偿、外套管与井室的防水密封及保温层的防水密封措施。
- 7.13 埋地管段出地外套管的管口高度应考虑防止倒灌水，按出地位置 50 年一遇的暴雨强度设计。
- 7.14 热网管线的量长比应满足下式要求：

$$\frac{G_d}{L} \geq \frac{77.143 \sum q_i L_i}{h_0 \sum L_i} \dots\dots\dots (4)$$

式中：
G_d——计算管段中设计流量，t/h；
L——自计算管段入口起至下游所有管段总长度，km；
L_i——计算管段及下游管段各自长度，km；
q_i——计算管段及下游管段各自散热强度，W/m；
h₀——计算管段入口蒸汽焓值，KJ/kg。

- 7.14.1 蒸汽管网最小量长比参考附录 G。
- 7.15 管道支吊架
- 7.15.1 管道支吊架设计应计入下列载荷：
 - 1) 管道组成件及保温层的重力
 - 2) 支吊架的重力。
 - 3) 管道输送介质的重力。
 - 4) 对于蒸汽管道，应根据具体情况计入水压试验或管道清洗时的介质重力。
 - 5) 管道中柔性管件由于内压力产生的作用力。
 - 6) 支吊架约束管道位移所产生的约束反力和力矩。
 - 7) 管道位移时在活动支吊架上引起的摩擦力，摩擦系数 μ 可按表 3 取值。

表3 不同摩擦形式的摩擦系数

序号	摩擦形式	摩擦系数 μ
1	钢与钢滑动摩擦	μ=0.3
2	钢与聚四氟乙烯板	μ=0.2
3	聚四氟乙烯之间	μ=0.1
4	不锈钢（镜面）薄板之间	μ≤0.1
5	不锈钢（镜面）与聚四氟乙烯板间	μ=0.05~0.07
6	吊架	μ=0.1
7	钢表面的滚动摩擦	μ=0.1
8	钢与混凝土	μ=0.6
9	钢管与土壤	μ=0.6

- 8) 室外管道受到的雪载荷。
- 9) 室外管道受到的风载荷。
- 10) 正常运行时，由于各种原因引起的管道振动力。
- 11) 管内流体动量瞬时突变引起的瞬态作用力。
- 12) 流体排放产生的反力。

13) 地震引起的载荷, 但不计入地震载荷与风载荷同时出现的工况。

7.15.2 管道支吊架载荷计算

7.15.2.1 垂直载荷

垂直载荷可按下式计算:

$$F_n = K_4(q'L + \sum_{i=1}^n F_i) \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- F_n ——总垂直载荷, N;
- K_4 ——载荷系数, 取 1.2~1.5;
- L ——管道总长, m;
- F_i ——第*i*个集中载荷, N;
- q' ——管道单位长度计算载荷, N/m。包含管材重、保温结构重及冷凝水重(或充满水重)。

7.15.2.2 沿管道轴线方向的水平载荷

包括补偿器的反弹力、管道内的不平衡内压力及作用于活动支吊架的轴向水平推力(管道移动的摩擦力, 对固定支吊架为其相应的反作用力)。

摩擦力可按下式计算:

$$F_f = 1.5 \cdot \mu \cdot F_n \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- F_f ——支吊架所受摩擦力, N;
- μ ——摩擦系数, 按表 6-4 选取;
- F_n ——总垂直载荷, N。

7.15.2.3 与管道轴向交叉的侧向水平载荷

包括风载荷和其他载荷。其他载荷包括拐弯管道(或支管)传来的侧向水平推力(对于固定支吊架而言)或管道横向位移引起的侧向摩擦力(对活动支吊架而言)。

风载荷计算可按现行国家标准《电厂动力管道设计规范》GB50764中附录E的规定选取。

7.15.2.4 地震载荷的计算可按现行国家标准《电厂动力管道设计规范》GB50764 中附录 E 的规定选取。雪载荷的计算可按现行国家标准《电厂动力管道设计规范》GB50764 中第 10.3.2.8 条的规定计算。

7.16 对于常年过热的管段, 应只设置启动疏水。对于连续饱和及间歇饱和的管段应同时设启动疏水和经常疏水装置。

7.17 管网采用软质保温材料时应采用隔热管托。

7.18 阀门的选择及安装应符合下列规定:

- a) 直埋蒸汽管道使用的阀门宜为无盘根的截止阀或闸阀; 当选用蝶阀时, 应选用偏心硬质密封蝶阀。
- b) 所选阀门公称压力应比管道设计压力高一个等级;
- c) 阀门应进行保温, 其保温外表面温度应不比该处蒸汽管道保温外表面高 10℃, 并应做好防水和防腐处理;
- d) 井室内阀门与管道连接处的管道保温端部应采取防水密封措施;
- e) 蒸汽管网应采用钢制阀门;
- f) 工作管直径大于或等于 300mm 的关断阀门应设置旁通阀门, 旁通阀门公称直径可按表 4 选取。

表4 旁通阀门公称直径 单位为毫米

工作管公称直径	DN300~DN500	DN600~DN1200
旁通阀门公称直径	DN32~DN50	DN65~DN100

7.19 管网干线分出的支线三通处应设阀门。

7.20 管网干线起点宜设置减温减压阀及相应的自控装置。

7.21 管道竖向垂直爬升产生竖向位移时, 应考虑竖向位移对管道支吊架的影响。

7.22 直埋管排潮管宜设在波纹补偿器处, 排潮管管口应考虑防倒灌措施。

7.23 热网启动排潮管在热网正常运行后宜切除。

7.24 管网采用多热源联网形式，须考虑蒸汽流向、流量变化及汽水冲击。

8 热补偿

8.1 蒸汽管网的热补偿包括工作钢管热补偿、预制直埋保温管外套钢管热补偿、架空管道保温层外防护套热补偿以及蒸汽管道的保温层热补偿。

8.2 工作钢管热补偿

8.2.1 蒸汽管网不宜采用旁通直管压力平衡式波纹补偿器。

8.2.2 蒸汽管道补偿方式分为补偿器补偿、自然补偿、部分无补偿和无补偿。

8.2.3 直埋敷设蒸汽管过路、过门处地下不宜设置补偿器。

8.2.4 架空敷设蒸汽管网宜选择旋转补偿器，但补偿管段长度较短时不宜选用。

8.3 预制直埋保温管外套钢管热补偿

8.3.1 外套钢管应采用无补偿方法。

8.3.2 直埋保温管管路附件的外套管结构设计应避免出现应力集中。

8.4 架空管道保温层外防护套热补偿

8.4.1 采用外滑动式保温结构的架空敷设蒸汽管金属外防护套应有足够的轴向搭接量，防止蒸汽管热伸长造成外护套出现缝隙。当管网采用内滑动保温结构时，直管与旋转补偿器结合部、直管与补偿弯管结合部、直管与 π 型补偿器结合部、直管与铰链补偿器结合部，金属外护管都应留有足够长的搭接余量。

8.4.2 架空敷设蒸汽管采用镁钢作防护外壳且采用外滑动式保温结构时，镁钢外防护壳应防止因位移产生撕裂。

8.5 蒸汽管道的保温层热补偿

8.5.1 内滑动式保温结构的蒸汽保温管，采用旋转补偿器、弯管自然补偿、角向波纹补偿器、横向拉杆补偿器时，直管与补偿器及补偿弯管结合部均应设置保温（层）套筒，避免出现保温断裂。保温套筒在任何工况下，散热强度应不大于母管散热强度。

8.5.2 外滑动式保温结构的蒸汽保温管，相邻的管道、管件的保温层之间均应采取搭接或补偿，防止出现保温层断裂，直管与轴向补偿器结合部应设置保温层补偿套袖。

9 水力计算

9.1 水力计算

9.1.1 蒸汽管网管线压力损失可用下式计算：

$$\Delta P = \frac{0.000818(L+L_m) \times G^2 \times 10^{-6}}{\rho d_i^{5.25}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

ΔP ——计算管段中蒸汽压力损失量，MPa；

L ——管段长度，m；

L_m ——管网中管件产生流动阻力的当量长度，m；

G ——计算管段中蒸汽流量，t/h；

ρ ——管段中蒸汽平均密度，kg/m³；

d_i ——计算管段管道内径，m。

9.1.2 蒸汽管网中管件当量长度按下式计算

$$L_m = 76.445 d_i^{1.25} \xi \dots\dots\dots (8)$$

式中：

L_m ——管网中管件产生流动阻力的当量长度，m；

d_i ——计算管段管道内径，m；

ξ ——该种管件的局部阻力系数，无因次。

9.1.3 蒸汽管网管件局部阻力系数可按表 5 选取。

表5 蒸汽管网管件局部阻力系数

管件名称	局部阻力系数 ξ
套筒补偿器	0.4
波纹补偿器（轴向有内套）	0.2
波纹补偿器（轴向无内套）	2.0
弯头（90°，光滑），R=1d	0.5
弯头（90°，光滑），R=1.5d	0.5
弯头（90°，光滑），R=2d	0.5
弯头（90°，光滑），R=3d	0.4
弯头（90°，光滑），R=4d	0.3
弯头（45°，光滑）	0.3
分流三通（干线）	1.0
分流三通（支线）	1.5
截止阀	7
闸阀	0.5

10 热力计算

10.1 蒸汽管网热力计算按《设备及管道技术通则》GB/T4272 中 6.1.2 条规定，根据管网允许或指定的管中介质温度降，管道散热强度及相应的管道保温层厚度用热平衡方法计算。蒸汽管网的热损失由管道基本散热损失、管网附加散热损失和冷凝水排放热损失组成。蒸汽管网热平衡关系式如下：

$$G_0 h_0 - \sum(G_e h_e) = \sum[q(1 + \alpha)L] \times 3.6 \times 10^{-3} + \sum(G_c h_s) \dots\dots\dots (9)$$

式中：

G_0 ——管网总入口蒸汽流量，t/h；
 G_e ——管网终点用户取得的蒸汽量，t/h；
 G_c ——管网排放的冷凝水量，t/h；
 h_0 ——管网总入口蒸汽的焓值，KJ/kg；
 h_e ——热用户得到的蒸汽焓值，KJ/kg；
 h_s ——热网排出的冷凝水的焓值，KJ/kg；
 q ——热网管道基本散热强度，W/m；
 α ——热网附加散热系数，无因次。取 $\alpha = 0.1 \sim 0.2$ ；
 L ——热网管道长度，m。

10.2 过热蒸汽管网在平均流量下应保持过热状态，此时管网热平衡关系式如下：

$$0.7G_d h_0 - \sum(G_e h_e) = \sum[q(1 + \alpha)L] \times 3.6 \times 10^{-3} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

G_d ——热网设计流量，t/h。
 h_0 ——管网总入口蒸汽的焓值，KJ/kg；
 G_e ——管网终点用户取得的蒸汽量，t/h；
 h_e ——热用户得到的蒸汽焓值，KJ/kg；
 q ——热网管道基本散热强度，W/m；
 α ——热网附加散热系数，无因次。取 $\alpha = 0.1 \sim 0.2$ ；
 L ——热网管道长度，m。

10.3 管道散热强度计算

10.3.1 管道基本散热强度按下式计算：

$$q = \frac{2\pi\lambda(t_m - t_w)}{\ln \frac{d+2\delta}{d}} \dots\dots\dots (11)$$

式中：
 q ——计算管道在给定工况下平均的基本散热强度，W/m；
 λ ——计算管道保温层中保温材料在保温层平均温度下的导热系数，W/m℃；
 t_m ——计算管道中蒸汽平均温度，℃；
 t_w ——管道保温层外表面温度，℃；
 d ——管道外径，m；
 δ ——保温厚度，m。

10.3.2 对于复合保温结构，管道散热强度按下式计算：

$$q = \frac{2\pi(t_m - t_w)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_1} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{d_n}{d_{n-1}}} \dots\dots\dots (12)$$

式中：
 q ——计算管道在给定工况下平均的基本散热强度，W/m；
 t_m ——计算管道中蒸汽平均温度，℃；
 t_w ——管道保温层外表面温度，℃；
 $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ ——由管中心向外各层保温材料的导热系数，W/m℃；
 $d_1, d_2 \dots d_n$ ——各保温层外径，m。

10.3.3 保温材料的导热系数应考虑变形、变质、吸潮影响。管道保温层的保温材料的导热系数由下列公式得出：

$$\lambda = C(a + bt + ct^2 + dt^3) \dots\dots\dots (13)$$

式中：
 λ ——管道保温层中保温材料工作状态下的导热系数，W/m℃；
 C ——管道保温层中保温材料偏离标准状况修正系数，无因次；
 $a、b、c、d$ ——系数，无因次；
 t ——所计算保温层的平均温度，℃。

10.4 蒸汽管网中过热管道热工计算可按下列公式计算：

$$K_3 G c_p (t_o - t_e) = q(1 + \alpha) \cdot L \cdot 3.6 \times 10^{-3} \dots\dots\dots (14)$$

式中：
 G ——计算管段流量，t/h；
 K_3 ——流量系数，无因次；
 t_o ——计算管段进口蒸汽温度，℃；
 t_e ——计算管段出口蒸汽温度，℃；
 q ——在平均流量下计算管段平均散热强度，W/m；
 α ——计算管段附加散热系数，无因次；
 L ——计算管段长度，m；
 c_p ——计算管段中蒸汽的平均定压比热，KJ/kg℃。

10.5 管道保温结构设计

10.5.1 管道保温结构设计结果应满足管网热工设计要求。管道散热强度应不大于管网热工设计相应管道散热强度。管道保温结构设计还应符合《设备及管道绝热技术通则》GB/T4272 和《设备及管道绝热技术导则》GB/T8175 的相关规定。

10.5.2 管网保温结构设计应防止出现热桥。应控制管道附加散热系数 α 不超过表 6 数值。

表6 管道附加散热系数

管道敷设方式	附加散热系数
地上敷设	0.15~0.20
管道敷设方式	附加散热系数

表6 管道附加散热系数（续）

管道敷设方式	附加散热系数
管沟敷设	0.15~0.20
直埋敷设	0.10~0.15

注：当附件保温较好、管径较大时，取较小值；当附件保温较差、管径较小时，取较大值。

- 10.5.3 管段入口蒸汽在最高温度时且在最热月平均环境温度下，保温层界面温度应低于材料最高使用温度 20℃。
- 10.5.4 因保温工艺形成的空气层，当未采取防辐射措施时，不计入该空气层热阻。
- 10.5.5 当所计算管段过长时，可分段计算。结果应满足 9.5.1 和 9.5.3 条要求。
- 10.5.6 管道保温结构热工设计可参照附录 A。
- 10.5.7 管道保温宜采用工厂预制保温管及预制管网配件，接口宜采用保温模块。
- 10.5.8 蒸汽保温管道散热强度推荐值参考附录 F。

11 强度计算

- 11.1 蒸汽管网中蒸汽管道及外套钢管应进行应力验算。
- 11.1.1 直埋敷设蒸汽管网中工作钢管、外套钢管应力验算应按《城镇直埋热水管道技术规程》CJJ/T 81 的规定执行。
- 11.1.2 架空敷设的蒸汽管道应力验算按《火力发电厂汽水管道应力计算技术规程》DL/T5366 的规定执行。

11.2 蒸汽管网中主固定节承受单侧轴向作用力，分别是：

- 1) 蒸汽管道热伸缩受到的摩擦阻力

$$F_1 = \mu(G_m + N) \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- F_1 ——管道伸缩位移时受到的摩擦阻力，N；
- μ ——摩擦系数，无因次；
- G_m ——发生热位移的蒸汽管道和一起移动的保温层及附在管道上的其他负载的重量，N；
- N ——热位移钢管受到固定不动的保温层的握裹力，N。
- 2) 管道活动端波纹补偿器金属波纹管弹性反力；或者轴向、周向套筒补偿器的摩擦阻力；方形补偿器的弹性反力；
- 3) 蒸汽内压产生的盲板力；
- 4) 蒸汽钢管轴向限位装置的反力。

- 11.3 蒸汽管网副固定节承受双侧轴向作用力。当双侧作用力大小相等、方向相反时，取一侧作用力的 0.2 倍作为固定节轴向载荷；当固定节两侧作用力不相等时，取较小一侧作用力的 0.7 倍值作对冲量，剩余作用力为副固定节计算轴向作用力。

11.4 蒸汽管网工作钢管和外套钢管壁厚计算

11.4.1 工作钢管壁厚计算按如下公式：

$$\delta = \frac{P_d d_0}{2[\sigma]^t \varphi + P_d} + C_1 + C_2 \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- δ ——工作钢管计算壁厚，mm；
- d_0 ——工作管外径；
- P_d ——设计压力，MPa；
- $[\sigma]^t$ ——最高工作温度下许用应力，MPa；
- φ ——焊缝修正系数；
- C_1 ——腐蚀裕量（对于蒸汽管道， $C_1=0$ ）；
- C_2 ——负偏差裕量。

11.4.2 管道壁厚负偏差裕量 C_2 的确定

a) 对于无缝钢管，道壁厚负偏差的附加值按下式计算

$$C_2 = A_2 \delta \dots\dots\dots (17)$$

式中：

A_2 ——管道壁厚负偏差系数，取 0.235；

δ ——工作钢管计算壁厚，mm。

b) 对于纵缝、螺旋缝焊接钢管，壁厚负偏差的附加值按下列数值取用：

壁厚为 5.5mm 及以下时， $C_2=0.5\text{mm}$ ；

壁厚为 6~7mm 时， $C_2=0.6\text{mm}$ ；

壁厚为 8~25mm 时， $C_2=0.8\text{mm}$ ；

11.4.3 壁厚计算应校核水压试验时的壁厚验算。

11.4.4 工作弯管最小壁厚（背部）不得小于工作直管最小壁厚。

11.4.5 直埋敷设热网外套钢管壁厚取值：

外套管内侧无空气层保温管：径厚比不大于 140；外套管内侧有空气层的保温管：径厚比不大于 100。在此基础上尚应考虑管道腐蚀，留有腐蚀裕量，外套管内侧无空气层保温管腐蚀裕量取 1.6mm，外套管内侧有空气层的保温管腐蚀裕量取 3.2mm。

11.5 蒸汽管网工作钢管和外套钢管材料

11.5.1 标准直埋蒸汽保温管外套钢管可选用双面电弧螺旋焊缝钢管和双面电弧直焊缝钢管。可选用 Q235B 材质。应符合标准《低压流体输送用钢管》GB/T3091、《低压流体输送管道用螺旋缝埋弧焊钢管》SY/T5037 或《直缝电焊钢管》GB/T13793。

11.5.2 蒸汽管网工作钢管可选用螺旋缝双面埋弧焊钢管、直缝双面埋弧焊钢管，也可以选用无缝钢管。所选钢管应符合《石油天然气工业管线输送系统用钢管》GB/T9711 中的相关要求。当选用无缝钢管时可采用《输送流体用无缝钢管》GB/T8163 或《低中压锅炉用无缝钢管》GB/T3087。工作钢管材质可选用 Q235B 和 20。选用无缝钢管时，可采用 20。当对钢材有更高要求时，还可采用 20G，20R 以及 Q345。

表7 蒸汽管网用钢材

钢材牌号	使用温度℃	推荐使用范围
Q235B	<100	外护钢管
Q235B、20	≤300	工作钢管
20、20G、20R、Q345、16M	>300	工作钢管
20G、20R、25MnG、15CrMoG	≤180	无补偿敷设工作管

注：限定在本规范所列范围。

12 管网热工检测与控制

12.1 管网总入口应检测并记录蒸汽压力、温度和流量，并生成瞬时热量、累计热量、累计流量。

12.2 各支干管宜检测记录蒸汽压力、温度和流量。

12.3 应检测并记录各热用户的蒸汽压力、温度和流量，并生成瞬时热量、累计热量、累计流量。

12.4 应根据热用户压力变化调节管网分支干管入口压力和总干管入口压力，使热用户蒸汽压力等于或稍高于用户设计压力。

12.5 应根据热用户的蒸汽温度、调节热网总入口蒸汽温度，使热用户的蒸汽温度保持微过热。

13 管网热效率

13.1 管网热效率按下式计算：

$$\eta = \frac{\sum(G_i \cdot h_i \cdot \tau)}{\sum(G_o \cdot h_o \cdot \tau)} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

- η ——管网热效率，%（管网热效率有年、月、日热平均效率。不计算瞬时热效率）；
 G_i ——用户从热网取得的蒸汽量，t/h；
 G_o ——热网从热源取得的蒸汽量，t/h；
 h_i ——用户从热网取得蒸汽的焓值，kJ/kg；
 h_o ——热网从热源取得蒸汽的焓值，kJ/kg；
 τ ——管网运行时间，h。

14 外护管防腐

14.1 地上敷设和管沟敷设的管道、季节运行的蒸汽管道及附件，应涂刷耐热、耐湿、防腐性能良好的涂料。

14.2 常年运行的室内蒸汽管道及附件，可不涂刷防腐涂料。常年运行的室外蒸汽管道及附件，可涂刷耐常温的防腐涂料。

14.3 直埋敷设蒸汽管道外护钢管外表面防腐应符合下列规定：

- 外护管应进行外防腐，且应按重腐蚀环境考虑。防腐层与钢管表面应有良好的粘附性、电绝缘性、低吸水性 and 低水蒸汽渗透性，并应便于现场施工。防腐设计应符合现行行业标准《埋地钢制管道外壁有机防腐层技术规范》SY/T 0061 的有关规定。
- 防腐层的长期耐温不应小于 70℃。
- 外护管的防腐材料应符合现行行业标准《城镇供热预制直埋蒸汽保温管技术条件》CJ/T 200 和《城镇供热预制直埋蒸汽保温管管路附件技术条件》CJ/T 246 的有关规定。
- 常用防腐层材料应符合下列规定：
 - 聚乙烯防腐层应符合现行国家标准《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》GB/T 23257 的有关规定；
 - 纤维缠绕增强玻璃钢防腐层应符合现行行业标准《玻璃纤维增强塑料外护管聚氨酯泡沫塑料预制直埋保温管》CJ/T 129 的有关规定；
 - 熔结环氧粉末防腐层应符合现行行业标准《钢质管道单层熔结环氧粉末外涂层技术规范》SY/T 0315 的有关规定；
 - 环氧煤沥青防腐层应符合现行行业标准《埋地钢质管道环氧煤沥青防腐层技术标准》SY/T 0447 的有关规定；
 - 聚脲防腐层应符合现行行业标准《喷涂聚脲防护材料》HS/T 3811 的有关规定。
- 防腐层应进行电火花检漏，并应符合现行行业标准《管道防腐层检漏试验方法》SY/T 0063 的有关规定。检测电压应根据防腐层种类和防腐等级确定，以不打火花为合格。
- 外护管采用外防腐的同时，应采取阴极保护措施。

14.4 外护钢管内表面与空气接触的弯套管、变径套管等应采取阴极保护，或投放吸湿剂。当投放吸湿剂时不得设置排潮管。

14.5 直埋敷设蒸汽管道的排潮管内外表面都应采取防腐措施，等级等同于外护钢管。

14.6 直埋蒸汽管网疏水外护管埋地部分防腐与直埋外护钢管等同。

14.7 直埋敷设蒸汽管外护管接口管防腐宜采用聚乙烯电热熔套进行接口防腐。

附录 A
(规范性)
管道保温结构设计及计算

A.1 架空管道保温结构按下式计算：

$$q = \frac{2\pi(t_m - t_a)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{D_n}{D_{n-1}} + \frac{2}{\alpha D_w}} \quad (\text{A.1})$$

式中：

q ——管段计算散热量，W/m；

t_m ——管段中蒸汽平均温度，℃；

t_a ——管网环境空气计算温度。当无特别指定时可取 20℃；

λ_1 ——第一层保温材料导热系数，W/(m·℃)；

D_1 ——从管中心起算第一保温层外径，m；

D_0 ——管道外径，m；

λ_n ——第 n 层保温材料导热系数，W/(m·℃)；

α ——环境空气与保温管对流换热系数，W/m²·℃；

D_n ——从管中心起算第 n 保温层外径，m；

D_w ——最外层保温层外径，m。

A.1.1 环境空气与保温管对流换热系数按下式计算：

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_\gamma \quad (\text{A.2})$$

式中：

α ——环境空气与保温管对流换热系数，W/m²·℃；

α_c ——对流换热系数，W/m²·℃；

α_γ ——保温管对环境辐射放热的当量对流换热系数，W/m²·℃。

户外管网取 α 等于 α_c 。

$$\alpha_c = 11.63 + 7 \times \sqrt{v} \quad (\text{A.3})$$

式中：

α_c ——对流换热系数，W/m²·℃；

v ——平均风速，m/s。

管廊敷设及室内敷设管网 α_c ，水平管道由下列公式计算：

$$\alpha_c = 1.16 \times \left(\frac{t_w - t_f}{D_w} \right)^{0.25} \quad (\text{A.4})$$

式中：

α_c ——对流换热系数，W/m²·℃；

t_w ——管道保温层外表面温度，℃；

t_f ——远离管道外表面的空气温度，℃；

D_w ——最外层保温层外径，m。

$$\alpha_c = 1.27 \times \left(\frac{t_w - t_f}{D_w} \right)^{1/3} \quad (\text{A.5})$$

式中：

α_c ——对流换热系数，W/m²·℃；

t_w ——管道保温层外表面温度，℃；

t_f ——远离管道外表面的空气温度，℃；

D_w ——最外层保温层外径，m。

当环境空气与保温管对流换热气流为层流方式时，用公式 A.4，气流为紊流方式时用公式 A.5。

保温管外空气流动状态由格拉晓夫数和空气层的普朗特数来判定，当 $G_r \cdot P_r < 10^9$ 时，空气层为层流状态。当 $G_r \cdot P_r > 10^9$ 时，空气层为紊流状态。

$$G_r = \frac{\beta g \Delta t l^3}{\nu^2} \quad (\text{A.6})$$

式中：

G_r ——空气层的格拉晓夫数，无因次；
 β ——保温管外空气层空气的体积膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；
 g ——重力加速度，等于 9.81m/s^2 ；
 Δt ——蒸汽保温管保温层外表面温度与环境空气温度之差， $^{\circ}\text{C}$ ；
 l ——定型尺寸，取管道保温层外径， m ；
 ν ——保温管外空气层空气的运动粘度， m^2/s 。

$$\beta = (273 + t)^{-1} \dots\dots\dots (\text{A. 7})$$

式中：

β ——保温管外空气层空气的体积膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；
 t ——保温管外空气层的定性温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

$$t = \frac{t_w + t_f}{2} \dots\dots\dots (\text{A. 8})$$

式中：

t ——保温管外空气层的定性温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
 t_w ——管道保温层外表面温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
 t_f ——远离管道外表面的空气温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

公式中的空气运动粘度 ν 和普朗特数 Pr 根据空气层的定性温度，到附录 B《干空气物理性质表》中查找。

A.1.2 敷设在室内、管沟和管廊中管道与环境辐射换热当量对流换热系数由下列公式计算：

$$\alpha_r = \frac{\varepsilon \sigma ((273 + t_w)^4 - (273 + t_f)^4)}{t_w - t_f} \dots\dots\dots (\text{A. 9})$$

式中：

α_r ——保温管对环境辐射放热的当量对流换热系数， $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ；
 ε ——保温管外表面的黑度，无因次；
 σ ——黑体辐射常数，等于 $5.667 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$ 。
 t_w ——管道保温层外表面温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
 t_f ——远离管道外表面的空气温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

A.2 埋地管道保温结构计算

A.2.1 埋地管道保温结构按下式计算：

$$q = \frac{2\pi(t_m - t_g)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{D_n}{D_{n-1}} + \frac{1}{\lambda_g} \ln \frac{4H}{D_w}} \dots\dots\dots (\text{A. 10})$$

式中：

q ——管段计算散热量， W/m ；
 t_m ——管段中蒸汽平均温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
 t_g ——管道中心线深度土壤平均温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
 λ_1 ——第一层保温材料导热系数， $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；
 D_1 ——从管中心起算第一保温层外径， m ；
 D_0 ——管道外径， m ；
 λ_n ——第 n 层保温材料导热系数， $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；
 D_n ——从管中心起算第 n 保温层外径， m ；
 λ_g ——土壤导热系数， $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；
 H ——管道中心埋设深度， m ；
 D_w ——外套管外径， m 。

A.2.2 式中管段计算散热量 q 的取值满足9.3.2条计算得到的值，初设各保温层间的界面温度及外表面温度，计算得到各保温层厚度。

A.2.3 修正保温层厚度后，还应验算管网每公里温降，同时应校核保温层间的界面温度。

附录 B
(资料性)
干空气物理性质

t (℃)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda \times 10^2$ (W/m·℃)	$\alpha \times 10^6$ (m ² /s)	$\mu \times 10^6$ (kg/m·s)	$\nu \times 10^6$ (m ² /s)	Pr
0	1.293	1.005	2.44	18.8	17.2	13.28	0.707
10	1.247	1.005	2.51	20.0	17.6	14.16	0.705
20	1.205	1.005	2.59	21.4	18.1	15.06	0.703
30	1.165	1.005	2.67	22.9	18.6	16.00	0.701
40	1.128	1.005	2.76	24.3	19.1	16.96	0.699
50	1.093	1.005	2.83	25.7	19.6	17.95	0.698
60	1.060	1.005	2.90	27.2	20.1	18.97	0.696
70	1.029	1.009	2.96	28.6	20.6	20.02	0.694
80	1.000	1.009	3.05	30.2	21.1	21.09	0.692
90	0.972	1.009	3.13	31.9	21.5	22.10	0.690
100	0.946	1.009	3.21	33.6	21.9	23.13	0.688

注： $p = 1.01325 \times 10^5 \text{Pa} \approx 760 \text{mmHg}$

附 录 C
(资料性)
钢管与保温材料摩擦系数

序号	摩擦形式	摩擦系数 μ
1	钢管-微孔硅酸钙	0.6
2	钢管-硅酸铝棉毡	0.6
3	钢管-纳米气凝胶毡	0.6

附 录 D
(资料性)
常用钢管最小壁厚

单位为毫米

钢管外径	无缝钢管	直缝钢管	螺旋钢管
	壁厚	壁厚	壁厚
Φ89	3		
Φ108	3		
Φ133	3		
Φ159	3.5		
Φ219	6	6	3
Φ273	6.5	6	3
Φ325	7.5	8	3.5
Φ377	9	8	4
Φ426	9	8	4
Φ480 (有缝Φ478)	9	8	4
Φ530 (有缝Φ529)	9	8	5
Φ630	9	8	5
Φ720	10	8	6
Φ820	10	8	6
Φ920	10	9	6
Φ1020	10	10	6
Φ1220	10	10	7
Φ1420		10	7
Φ1620			7
Φ1820			10
Φ2020			10

附 录 E
(资料性)
直埋敷设蒸汽保温管外套钢管推荐壁厚

管径	软质保温			硬质保温			螺旋钢管 II 系列最小壁厚
	计算壁厚	附加壁厚	合计壁厚	计算壁厚	附加壁厚	合计壁厚	
DN300	3.25	3.2	7	2.32	1.6	4	3.5
DN350	3.77	3.2	7	2.69	1.6	5	4
DN400	4.26	3.2	8	3.04	1.6	5	4
DN450	4.80	3.2	8	3.43	1.6	6	4
DN500	5.30	3.2	9	3.79	1.6	6	5
DN600	6.30	3.2	10	4.50	1.6	7	5
DN700	7.20	3.2	11	5.14	1.6	7	6
DN800	8.20	3.2	12	5.86	1.6	8	6
DN900	9.20	3.2	13	6.57	1.6	9	6
DN1000	10.20	3.2	14	7.29	1.6	9	6
DN1100	11.20	3.2	15	8.00	1.6	10	7
DN1200	12.20	3.2	16	8.71	1.6	11	7
DN1300	13.20	3.2	17	9.43	1.6	12	7
DN1400	14.20	3.2	18	10.14	1.6	12	7
DN1500	15.20	3.2	19	10.86	1.6	13	7
DN1600	16.20	3.2	20	11.57	1.6	14	7

注：

- 1、软质保温径厚比100:1；硬质保温径厚比140: 1。
- 2、外套钢管壁厚应设置腐蚀余量。普通工况附加壁厚C=1.6mm，苛刻工况C=3.2mm。软质保温外套钢管双向腐蚀属于苛刻工况。硬质保温只有外表面腐蚀，属于普通工况。

附 录 F
(规范性)
蒸汽保温管道散热强度推荐表

单位为瓦/米

规格	温度 (℃)										
	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	350
DN100	29 (33)	35 (40)	41 (46)	47 (53)	53 (60)	60 (68)	67 (76)	75 (85)	82 (93)	90 (103)	96 (109)
DN125	32 (36)	38 (43)	44 (50)	51 (57)	58 (65)	65 (74)	73 (82)	81 (91)	89 (101)	98 (111)	104 (117)
DN150	34 (37)	41 (44)	47 (51)	54 (59)	62 (67)	70 (75)	78 (84)	87 (93)	96 (103)	105 (113)	112 (120)
DN200	38 (43)	45 (51)	52 (60)	60 (69)	68 (79)	77 (89)	86 (99)	95 (110)	105 (121)	116 (133)	123 (142)
DN250	42 (50)	50 (60)	58 (70)	67 (80)	76 (91)	86 (103)	96 (115)	106 (128)	117 (141)	129 (155)	139 (164)
DN300	44 (52)	53 (62)	61 (73)	71 (83)	80 (95)	90 (107)	101 (120)	112 (133)	124 (147)	136 (161)	146 (171)
DN350	46 (56)	55 (66)	64 (78)	74 (89)	84 (102)	94 (114)	106 (128)	117 (142)	129 (157)	142 (172)	150 (182)
DN400	50 (59)	60 (70)	70 (82)	80 (94)	91 (107)	103 (120)	115 (135)	128 (150)	141 (165)	155 (181)	164 (192)
DN450	53 (62)	63 (74)	74 (86)	85 (99)	96 (113)	109 (127)	122 (142)	135 (158)	149 (174)	164 (191)	174 (203)
DN500	53 (63)	63 (74)	73 (87)	84 (100)	96 (113)	108 (128)	121 (143)	134 (159)	148 (175)	162 (192)	172 (204)
DN600	58 (69)	69 (82)	81 (95)	93 (110)	106 (125)	119 (141)	133 (157)	148 (175)	163 (193)	179 (212)	190 (225)
DN700	61 (74)	73 (88)	85 (103)	98 (118)	111 (134)	125 (151)	140 (169)	156 (188)	172 (207)	189 (228)	200 (242)
DN800	66 (88)	78 (94)	92 (110)	105 (127)	120 (144)	135 (162)	151 (182)	168 (202)	185 (223)	203 (244)	215 (259)
DN900	69 (82)	82 (97)	96 (114)	110 (131)	125 (149)	141 (168)	158 (188)	175 (208)	193 (230)	212 (252)	225 (268)
DN1000	70 (84)	83 (100)	97 (117)	112 (134)	127 (153)	143 (172)	160 (193)	178 (214)	196 (236)	216 (259)	229 (276)

注：此表数据括号外为推荐值，括号内为容许值。

附 录 G
(规范性)
蒸汽管网最小量长比

单位为吨/（小时·千米）

管径 (mm)	压力 (MPa)													
	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6	1.6	2.0	2.0	2.0
	温度 (℃)													
	180	190	200	210	220	230	240	250	260	280	300	320	340	350
Ø108	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6
Ø133	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.8
Ø159	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	3.0
Ø219	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2	3.4
Ø273	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.7	2.9	3.2	3.4	3.6
Ø325	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.3	3.6	3.7
Ø377	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.8	3.1	3.4	3.7	3.8
Ø426	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6	2.9	3.1	3.4	3.7	3.8
Ø480	1.8	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.1	3.4	3.7	4.1	4.2
Ø530	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3.2	3.4	3.8	4.1	4.2
Ø630	2.0	2.1	2.3	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.6	3.9	4.3	4.6	4.8
Ø720			2.5	2.7	2.8	3.0	3.2	3.4	3.5	3.9	4.3	4.6	5.0	5.2
Ø820			2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.6
Ø920			2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	4.0	4.2	4.6	5.0	5.5	5.9	6.1
Ø1020			3.2	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.5	5.0	5.4	5.9	6.4	6.7
Ø1120			3.4	3.9	4.2	4.4	4.7	5.0	5.2	5.8	6.3	6.9	7.4	7.7
Ø1220			3.7	3.9	4.2	4.4	4.7	5.0	5.2	5.8	6.3	6.9	7.4	7.7

附 录 H
(规范性)
水和水蒸汽性质表

$P = 0.1\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	v (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001002	998.00	84.01	4.1848	598.46
50	0.001012	988.14	209.41	4.1796	643.61
液 99.61	0.001043	958.77	417.44	4.2161	678.97
汽 99.61	1.6940	0.59	2674.95	2.0759	25.05
110	1.7448	0.57	2696.32	2.0399	25.77
120	1.7932	0.56	2716.61	2.0187	26.49
130	1.8413	0.54	2736.72	2.0039	27.25
140	1.8891	0.53	2756.70	1.9933	28.04
150	1.9367	0.52	2776.59	1.9857	28.86
160	1.9841	0.50	2796.42	1.9805	29.70
170	2.0314	0.49	2816.21	1.9772	30.56
180	2.0785	0.48	2835.97	1.9755	31.45
190	2.1256	0.47	2855.72	1.9751	32.36
200	2.1725	0.46	2875.48	1.9757	33.28
210	2.2194	0.45	2895.24	1.9772	34.23
220	2.2661	0.44	2915.02	1.9793	35.19
230	2.3127	0.43	2934.83	1.9821	36.17
240	2.3596	0.42	2954.66	1.9854	37.17
250	2.4062	0.42	2974.54	1.9891	38.17
260	2.4528	0.41	2994.45	1.9932	39.20
270	2.4994	0.40	3014.40	1.9975	40.24
280	2.5459	0.39	3034.40	2.0022	41.29
290	2.5924	0.39	3054.45	2.0070	42.35
300	2.6389	0.39	3074.54	2.0121	43.42

$P = 0.2\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001002	998.00	84.11	4.1845	598.51
50	0.001012	988.14	209.50	4.1793	643.65
100	0.001043	958.77	419.17	4.2164	679.15
液 120.21	0.001061	942.51	504.68	4.2467	683.21
汽 120.21	0.8857	1.13	2706.24	2.1752	27.79
130	0.9104	1.10	2727.25	2.1232	28.12
140	0.9353	1.07	2748.31	2.0902	28.81
150	0.9599	1.04	2769.09	2.0667	29.54
160	0.9843	1.02	2789.66	2.0492	30.31
170	1.0085	0.99	2810.09	2.0359	31.11
180	1.0326	0.97	2830.39	2.0261	31.94
190	1.0566	0.95	2850.62	2.0189	32.80
200	1.0805	0.93	2870.78	2.0139	33.68
210	1.1043	0.91	2890.90	2.0106	34.59
220	1.1281	0.89	2911.00	2.0089	35.52
230	1.1517	0.87	2931.08	2.0083	36.47
240	1.1753	0.85	2951.17	2.0087	37.44
250	1.1989	0.83	2971.26	2.0100	38.42
260	1.2224	0.82	2991.37	2.0120	39.42
270	1.2459	0.80	3011.50	2.0145	40.44
280	1.2694	0.79	3031.66	2.0179	41.48
290	1.2928	0.77	3051.85	2.0211	42.53
300	1.3162	0.76	3072.08	2.0250	43.59

$P = 0.3\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001002	998.00	84.20	4.1842	598.55
50	0.001012	988.14	209.58	4.1791	643.70
100	0.001043	958.77	419.25	4.2162	679.21
液 133.53	0.001073	931.97	561.46	4.2720	683.66
汽 133.53	0.6058	1.65	2724.89	2.2168	29.24
140	0.6170	1.62	2739.36	2.2099	29.62
150	0.6340	1.58	2761.18	2.1593	30.26
160	0.6508	1.54	2782.60	2.1254	30.95
170	0.6674	1.50	2803.72	2.1002	31.68
180	0.6839	1.46	2824.62	2.0809	32.45
190	0.7002	1.43	2845.35	2.0661	33.25
200	0.7164	1.40	2865.55	2.0548	34.09
210	0.7326	1.37	2886.46	2.0463	34.96
220	0.7486	1.34	2906.89	2.0401	35.85
230	0.7646	1.31	2927.26	2.0359	36.77
240	0.7806	1.28	2947.61	2.0332	37.71
250	0.7965	1.26	2967.93	2.0318	38.67
260	0.8123	1.23	2988.25	2.0315	39.65
270	0.8281	1.21	3008.57	2.0322	40.65
280	0.8439	1.18	3028.89	2.0336	41.67
290	0.8596	1.16	3049.24	2.0356	42.71
300	0.8753	1.14	3069.61	2.0382	43.75

$P = 0.4\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001002	998.00	84.29	4.1839	598.60
50	0.001012	988.14	209.67	4.1789	643.75
100	0.001043	958.77	419.32	4.2160	679.26
液 143.61	0.001084	922.51	604.72	4.2944	682.94
汽 143.61	0.4624	2.16	2738.06	2.3403	30.66
150	0.4709	2.12	2752.78	2.7949	31.00
160	0.4839	2.07	2775.19	2.2121	31.60
170	0.4968	2.01	2797.09	2.1708	32.26
180	0.5094	1.96	2818.64	2.1403	32.97
190	0.5219	1.92	2839.92	2.1167	33.72
200	0.5343	1.87	2860.99	2.0984	34.51
210	0.5467	1.83	2881.90	2.0841	35.33
220	0.5589	1.79	2902.69	2.0732	36.19
230	0.5710	1.75	2923.37	2.0649	37.08
240	0.5831	1.71	2943.99	2.0588	37.99
250	0.5952	1.68	2964.56	2.0546	38.93
260	0.6072	1.65	2985.09	2.0519	39.89
270	0.6192	1.61	3005.60	2.0504	40.87
280	0.6311	1.58	3026.10	2.0500	41.87
290	0.6430	1.56	3046.60	2.0505	42.89
300	0.6549	1.53	3067.11	2.0518	43.92

$P = 0.5\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001002	998.00	84.39	4.1836	598.64
50	0.001012	988.14	209.76	4.1786	643.79
100	0.001043	958.77	419.40	4.2157	679.32
150	0.001090	917.43	632.27	4.3102	682.06
液 151.84	0.001093	914.91	640.19	4.3151	681.72
汽 151.84	0.3748	2.67	2748.11	2.4127	31.87
160	0.3837	2.61	2767.38	2.3176	32.29
170	0.3943	2.54	2790.19	2.2500	32.86
180	0.4047	2.47	2812.45	2.2048	33.50
190	0.4149	2.41	2834.32	2.1711	34.19
200	0.4250	2.35	2855.90	2.1448	34.93
210	0.4351	2.30	2877.24	2.1242	35.71
220	0.4450	2.25	2898.40	2.1080	36.53
230	0.4549	2.20	2919.41	2.0954	37.39
240	0.4647	2.15	2940.31	2.0856	38.27
250	0.4744	2.11	2961.13	2.0783	39.18
260	0.4841	2.07	2981.88	2.0730	40.12
270	0.4938	2.03	3002.59	2.0693	41.08
280	0.5034	1.99	3023.28	2.0670	42.06
290	0.5130	1.95	3043.94	2.0659	43.07
300	0.5226	1.91	3064.60	2.0657	44.09

$P = 0.6\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001002	998.00	84.48	4.1832	598.69
50	0.001012	988.14	209.84	4.1784	643.84
100	0.001043	958.77	419.47	4.2155	679.37
150	0.001090	917.43	632.33	4.3099	682.12
液 158.83	0.001101	908.27	670.50	4.3345	680.24
汽 158.83	0.3156	3.17	2756.14	2.4800	32.95
160	0.3167	3.16	2759.02	3.4597	33.00
170	0.3258	3.07	2785.97	2.3427	33.49
180	0.3347	2.99	2806.04	2.2759	34.05
190	0.3435	2.91	2828.55	2.2295	34.68
200	0.3521	2.84	2850.66	2.1942	35.37
210	0.3606	2.77	2872.46	2.1666	36.10
220	0.3690	2.71	2894.01	2.1446	36.88
230	0.3774	2.65	2915.37	2.1273	37.70
240	0.3857	2.59	2936.57	2.1136	38.56
250	0.3939	2.54	2957.65	2.1030	39.44
260	0.4021	2.49	2978.64	2.0949	40.36
270	0.4102	2.44	2999.56	2.0888	41.30
280	0.4183	2.39	3020.42	2.0845	42.26
290	0.4264	2.35	3041.25	2.0817	43.25
300	0.4344	3.30	3062.06	2.0800	44.26

$P = 0.7\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001002	998.00	84.58	4.1829	598.73
50	0.001012	988.14	209.93	4.1782	643.88
100	0.001043	958.77	419.55	4.2153	679.43
150	0.001090	917.43	632.39	4.3095	682.19
液 164.95	0.001108	902.53	697.14	4.3530	678.62
汽 164.95	0.2728	3.67	2762.75	2.5433	33.92
170	0.2769	3.61	2775.36	2.4582	34.13
180	0.2847	3.51	2799.38	2.3561	34.62
190	0.2924	3.42	2822.60	2.2927	35.18
200	0.3000	3.33	2845.29	2.2468	35.81
210	0.3074	3.25	2867.57	2.2113	36.50
220	0.3148	3.18	2889.54	2.1832	37.24
230	0.3220	3.11	2911.26	2.1607	38.02
240	0.3292	3.04	2932.77	2.1428	38.85
250	0.3364	2.97	2954.12	2.1287	39.71
260	0.3434	2.91	2975.35	2.1176	40.60
270	0.3505	2.85	2996.48	2.1090	41.52
280	0.3575	2.80	2017.54	2.1026	42.47
290	0.3645	2.74	3038.54	2.0979	43.44
300	0.3714	2.69	3059.50	2.0947	44.43

$P = 0.8\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001001	999.00	84.67	4.1826	598.78
50	0.001012	988.14	210.02	4.1779	643.93
100	0.001043	958.77	419.62	4.2150	679.48
150	0.001090	917.43	632.45	4.3092	682.26
液 170.41	0.001115	896.86	721.02	4.3709	676.92
汽 170.41	0.2403	4.16	2768.30	2.6032	34.82
180	0.2472	4.05	2792.44	2.4499	35.20
190	0.2541	3.94	2816.46	2.3621	35.70
200	0.2609	3.83	2839.77	2.3030	36.27
210	0.2675	3.74	2862.57	2.2586	36.91
220	0.2740	3.65	2884.97	2.2236	37.60
230	0.2805	3.57	2907.06	2.1956	38.35
240	0.2849	3.49	2928.90	2.1732	39.14
250	0.2932	3.41	2950.54	2.1553	39.97
260	0.2995	3.34	2972.02	2.1411	40.84
270	0.3057	3.27	2993.37	2.1298	41.74
280	0.3119	3.21	3014.63	2.1211	42.67
290	0.3180	3.14	3035.80	2.1145	43.63
300	0.3242	3.08	3056.92	2.1097	44.61
310	0.3302	3.03	3078.00	2.1063	45.61
320	0.3363	2.97	3099.05	2.1042	46.63
330	0.3424	2.92	3120.09	2.1031	47.68
340	0.3484	2.87	3141.12	2.1029	48.74
350	0.3544	2.82	3162.15	2.1035	49.82

$P = 0.9\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001001	999.00	84.76	4.1823	598.83
50	0.001012	988.14	210.10	4.1777	643.98
100	0.001043	958.77	419.70	4.2148	679.53
150	0.001090	917.43	632.51	4.3089	682.33
液 175.36	0.001121	892.06	742.72	4.3882	675.16
汽 175.36	0.2149	4.65	2773.04	2.6602	35.65
180	0.2179	4.59	2785.15	2.5646	35.81
190	0.1142	4.46	2810.11	2.4396	36.22
200	0.2304	4.34	2834.10	2.3634	36.73
210	0.2364	4.23	2857.45	2.3085	37.32
220	0.2423	4.13	2880.31	2.2660	37.97
230	0.2482	4.03	2902.79	2.2321	38.68
240	0.2539	3.94	2924.97	2.2049	39.44
250	0.2596	3.85	2946.91	2.1830	40.24
260	0.2653	3.77	2968.65	2.1645	41.08
270	0.2708	3.69	2990.23	2.1514	41.96
280	0.2764	6.62	3011.68	2.1403	42.87
290	0.2819	3.55	3033.04	2.1317	43.81
300	0.2874	3.48	3054.32	2.1251	44.78
310	0.2928	3.42	3075.55	2.1202	45.77
320	0.2983	3.35	3096.73	2.1168	46.78
330	0.3037	3.29	3117.89	2.1146	47.82
340	0.3091	3.24	3139.03	2.1135	48.87
350	0.1450	3.18	3160.16	2.1132	49.94

$P = 1.0\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001001	999.00	84.86	4.1820	598.87
50	0.001012	988.14	210.19	4.1775	644.02
100	0.001043	958.77	419.77	4.2146	679.59
150	0.001090	917.43	632.57	4.3086	682.40
液 179.89	0.001127	887.31	762.68	4.4051	673.38
汽 179.89	0.1943	5.15	2777.12	2.7150	36.43
180	0.1944	5.14	2777.43	2.7119	36.43
190	0.2003	4.99	2803.52	2.5285	36.77
200	0.2060	4.85	2828.27	2.4288	37.21
210	0.2115	4.73	2852.20	2.3614	37.74
220	0.2170	4.61	2875.55	2.3105	38.35
230	0.2223	4.50	2898.45	2.2702	39.02
240	0.2276	4.39	2920.98	2.2378	39.74
250	0.2327	4.30	2943.22	2.2116	40.52
260	0.2379	4.20	2965.23	2.1905	41.33
270	0.2430	4.12	2987.05	2.1735	42.19
280	0.2480	4.03	3008.71	2.1600	43.08
290	0.2530	3.95	3030.25	2.1492	44.01
300	0.2580	3.88	3051.70	2.1408	44.96
310	0.2629	3.80	3073.08	2.1344	45.94
320	0.2678	3.73	3094.40	2.1297	46.94
330	0.2727	3.67	3115.68	2.1263	47.96
340	0.2776	3.60	3136.93	2.1242	49.00
350	0.2825	3.54	3158.16	2.1231	50.07

$P = 1.25\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001001	999.00	85.09	4.1812	598.99
50	0.001012	988.14	210.40	4.1769	644.14
100	0.001043	958.77	419.96	4.2140	679.73
150	0.001090	917.43	632.73	4.3078	682.56
液 189.82	0.001141	876.42	806.75	4.4460	668.85
汽 189.82	0.1570	6.37	2785.71	2.8439	38.20
190	0.1570	6.37	2785.69	2.8382	38.20
200	0.1620	6.17	2812.88	2.6258	38.46
210	0.1667	6.00	2838.52	2.5102	38.84
220	0.1717	5.84	2863.21	2.4320	39.32
230	0.1757	5.69	2887.22	2.3728	39.88
240	0.1800	5.56	2910.70	2.3258	40.52
250	0.1843	5.43	2933.77	2.2879	41.22
260	0.1886	5.30	2956.49	2.2571	41.97
270	0.1927	5.19	2978.93	2.2320	42.77
280	0.1969	5.08	3001.14	2.2116	43.61
290	0.2010	4.98	3023.17	2.1952	44.49
300	0.2050	4.88	3045.05	2.1819	45.41
310	0.2091	4.78	3066.82	2.1713	46.35
320	0.2131	4.69	3088.49	2.1630	47.32
330	0.2170	4.61	3110.09	2.1566	48.32
340	0.2210	4.52	3131.63	2.1518	49.34
350	0.2249	4.45	3153.13	2.1483	50.38

$P = 1.5\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001001	999.00	85.33	4.1805	599.10
50	0.001011	989.12	210.62	4.1763	644.25
100	0.001043	958.77	420.15	4.2134	679.86
150	0.001090	917.43	632.88	4.3070	682.73
液 198.30	0.001154	866.55	844.72	4.4855	664.32
汽 198.30	0.1317	7.59	2791.01	2.9645	39.79
200	0.1324	7.55	2796.02	2.9088	39.80
210	0.1366	7.32	2823.91	2.6938	40.01
220	0.1406	7.11	2850.19	2.5718	40.35
230	0.1445	6.92	2875.46	2.4873	40.49
240	0.1483	6.74	2900.00	2.4226	41.33
250	0.1520	6.58	2923.96	2.3710	41.94
260	0.1556	6.43	2947.45	2.3291	42.63
270	0.1592	6.28	2970.57	2.2949	43.36
280	0.1628	6.14	2993.37	2.2669	44.15
290	0.1662	6.02	3015.92	2.4410	44.99
300	0.1697	5.89	3038.27	2.2254	45.86
310	0.1731	5.78	3060.44	2.2103	46.77
320	0.1765	5.67	3082.48	2.1980	47.72
330	0.1799	5.56	3104.41	2.1883	48.69
340	0.1832	5.46	3126.25	2.1806	49.69
350	0.1866	5.36	3148.03	2.1746	50.71

$P = 1.75\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001001	999.00	85.56	4.1797	599.22
50	0.001011	989.12	210.83	4.1758	644.37
100	0.001043	958.77	420.34	4.2129	680.00
150	0.001090	917.43	633.04	4.3062	682.90
200	0.001156	865.05	852.47	4.4929	663.50
液 205.73	0.001166	857.63	878.32	4.5242	659.80
汽 205.73	0.1134	8.82	2795.28	3.0794	41.23
210	0.1151	8.69	2808.11	2.9400	41.25
220	0.1187	8.42	2836.40	2.7386	41.43
230	0.1222	8.18	2863.14	2.6167	41.75
240	0.1256	7.96	2888.85	2.5294	42.18
250	0.1289	7.76	2913.79	2.4615	42.70
260	0.1321	7.57	2938.12	2.4069	43.30
270	0.1353	7.39	2961.96	2.3624	43.98
280	0.1384	7.23	2985.39	2.3260	44.71
290	0.1414	7.07	3008.50	2.2960	45.50
300	0.1445	6.92	3031.33	2.2715	46.33
310	0.1474	6.78	3053.94	2.2513	47.21
320	0.1504	6.65	3076.37	2.2348	48.12
330	0.1533	6.52	3098.65	2.2214	49.06
340	0.1563	6.40	3120.81	2.2105	50.04
350	0.1592	6.28	3142.87	2.2018	51.04

$P = 2.0\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001001	999.00	85.80	4.1789	599.33
50	0.001011	989.12	211.05	4.1752	644.49
100	0.001042	959.69	420.53	4.2123	680.14
150	0.001089	918.27	633.19	4.3053	683.07
200	0.001156	865.05	852.57	4.4914	663.72
液 212.38	0.001177	849.62	908.62	4.5626	655.32
汽 212.38	0.0996	10.04	2798.38	3.1904	42.57
220	0.1022	9.78	2821.67	2.9487	42.58
230	0.1054	9.49	2850.17	2.7665	42.75
240	0.1085	9.22	2877.21	2.6481	43.06
250	0.1115	8.97	2903.23	2.5602	43.49
260	0.1144	8.74	2928.47	2.4909	44.01
270	0.1173	8.53	2953.09	2.4349	44.61
280	0.1200	8.33	2977.21	2.3890	45.29
290	0.1228	8.14	3000.90	2.3512	46.02
300	0.1255	7.97	3024.25	2.3201	46.81
310	0.1282	7.80	3047.32	2.2944	47.65
320	0.1308	7.65	3070.16	2.2733	48.53
330	0.1334	7.50	3092.80	2.2559	49.45
340	0.1360	7.35	3115.28	2.2417	50.39
350	0.1386	7.22	3137.64	2.2301	51.37

$P = 2.5\text{MPa}$

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^3/kg)	ρ (kg/m^3)	h (kJ/kg)	c_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	$\lambda \times 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
20	0.001001	999.00	86.27	4.1774	599.56
50	0.001011	989.12	211.48	4.1740	644.72
100	0.001042	959.69	420.90	4.2112	680.41
150	0.001089	918.27	633.50	4.3037	683.41
200	0.001056	946.97	852.77	4.4885	664.15
液 223.96	0.001197	835.42	961.98	4.6380	646.48
汽 223.96	0.0799	12.52	2802.04	3.4044	45.03
230	0.0817	12.24	2821.86	3.1700	44.93
240	0.0844	11.85	2852.28	2.9367	44.96
250	0.0870	11.49	2880.86	2.7887	45.16
260	0.0896	11.16	2908.19	2.6806	45.50
270	0.0920	10.87	2934.55	2.5959	45.95
280	0.0944	10.59	2960.16	2.5276	46.49
290	0.0967	10.34	2985.15	2.4717	47.12
300	0.0989	10.11	3009.63	2.4256	47.82
310	0.1012	9.88	3033.69	2.3875	48.57
320	0.1034	9.67	3057.40	2.3559	49.38
330	0.1055	9.48	3080.82	2.3296	50.24
340	0.1077	9.29	3104.01	2.3078	51.13
350	0.1098	9.11	3126.99	2.2898	52.06

团 体 标 准

城镇供热蒸汽管网设计规范

T/SCEA XXXXX—XXXXX

条 文 说 明

1 范围

本规范为城镇供热蒸汽管网设计规范。城镇供热蒸汽管网是城市的基础设施之一，与人民的生活密切相关，由于城市建设的需要，城镇供热蒸汽管网日益普遍。因此，为了适应当前我国供热行业发展的需要，并将我国近年的发展经验转化到标准中，特编制本标准，建立适合市政蒸汽管网设计的指导指标。

本规范主要规定了城镇供热管网的设计计算、热工检测与控制要求等。在执行本规程时，要同时执行《城镇供热管网设计规范》CJJ 34 和《城镇供热直埋蒸汽管道技术规程》CJJ/T 104 的规定。另城镇供热蒸汽管网设计可能涉及其他的国家现行有关标准，都应遵守。

4 热负荷

4.2.1 在作城市规划和作供热管网规划时都需要所在区域当下需要的热量。每个用户在单位时间需要的热量各不相同。用户在不同的时间需要的热量也不相同。全体用户不会在同一时间都需要最大热量值。对此用同时使用系数来处理。用户中最大用汽户的同时使用系数 K ，可取 1。其余用户依用汽量大小分别取 K_1 等于 0.9、0.8、0.7。每个热网工程都有自身的特点。 K_1 取值由设计者判断、选取，没有一个绝对正确的唯一的值。

当以年为单位讨论时间，每年热用户是会变化的，热网建设应当从发展变化的视角预先有所安排。这就是公式中系数 K_2 的必要性。

5 热网参数和热媒参数

5.1.1 热网设计压力

蒸汽管网的用户对热网提供的蒸汽压力值是有要求的。这类用户通常因为生产工艺对饱和温度值有特定要求。热网提供给这些用户的蒸汽压力应等于或高于用户要求的压力值。距离热网热源较近的用户，热网可供给用户的蒸汽压力高于用户的需要值。距热源点越远，热网可资用的压头越小。因此，热网中最不利用户通常是距热源较远（不一定最远），且对蒸汽压力有严格要求的那一个。热网的设计压力取值满足了最不利用户的要求，其他用户的要求都可以得到保障。

5.1.3 热网设计温度

本条计算公式是针对热网入口为过热蒸汽工况给出的。热网用户要求的供汽温度人为地被拔高，在热网设计中是常见现象，对热网效率很有害。因此，在热网规划设计中获取合理的用户用汽温度十分重要。热网设计中常见的思维方法是根据热源可提供的最高温度与用户需要的温度之差，即热网资用温差作热网设计。根据热源可提供给热网的最大资用温差，作管道保温设计，这种思维方法是不对的，正确的思路是在满足用户对热品质（指蒸汽压力、温度）的要求前提下，对热网管道作最充分的保温设计。使管网的比温降尽量地小，以此来决定热网入口温度。当热源可提供的蒸汽温度高于设计得出的热网入口温度时，通过设置热网入口减温装置来使蒸汽符合热网设计要求。

5.1.4 蒸汽管网的输配作业过程中，热量损失是不可避免的。通常情况热网的热损失在有限的时间间隔内变化不会很大。但在相同的时间间隔内热网的负荷可以有较大幅度的改变。高负荷工况下，热网的热损失在总供热量中占比小。相反，低负荷时段热网热损失在总供热量中占比就高。前者热网热效率高，后者热网热效率低。因此瞬时热效率不反映热网的状况。热网负荷多呈现周期性变化，是有规律的。取热网的平均热效率才能较准确地反映热网的特性。

蒸汽管网作为集中供热市政设施，属于节能环保领域。热网除了必须保障能安全运行之外，还必须是高效节能的设施。根据热网热平衡关系式

$$G_0 h_0 - \sum G_e h_e = \sum q_i (1 + \alpha) L_i \times 3.6$$

$$1 - \frac{\sum G_e h_e}{G_0 h_0} = \frac{\sum q_i (1 + \alpha) L_i \times 3.6}{G_0 h_0}$$

式中

$$\frac{\sum G_e h_e}{G_0 h_0} = \eta$$

η 是管网热效率， η 应 $\geq 92\%$ （管网平均流量下）

前面等式交换一下，

$$\eta = \frac{G_0 h_0 - \sum q_i (1 + \alpha) L_i \times 3.6}{G_0 h_0}$$

式中

α ——管线附加散热系数，应不大于 0.2；

L_i ——各规格管线长度，km。

$G_0 h_0$ 是管网从热源获得的热量的平均值。可见决定管网热效率的参数只有管道基本散热量 q_i 一个参数。所以管道保温设计除应满足不大于附录 F 所列数值之外，还应保障管网热效率的要求。

5.1.5 比温降

蒸汽在管网中沿程散热，外在表现为蒸汽温度下降。热网比温降的指标目的在于控制热网流失热量的烈度，以便使热网保持较高的热效率。蒸汽在管道中流动得越快，则散热的时间就短，热损失就小，表现为比温降小，但流速越高，流动阻力就越高，且呈指数关系变化。管径越小反应越强烈。热网比温降和比压降是两个相背的指标，管径越小，情况越严重。

根据热平衡关系，对一条均匀一致的管道

$$G(h_0 - h_e) = q(1 + \alpha) \times 3.6 \times L$$

$$C G_d c_p (t_0 - t_e) = q(1 + \alpha) \times 3.6 \times L$$

$$C G_d c_p \Delta t = q(1 + \alpha) \times 3.6 \times L$$

$$\Delta t / L = \frac{q(1 + \alpha) \times 3.6}{C G_d c_p}$$

式中：

$\Delta t / L$ ——管线的比温降， $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ；

q ——管线全程平均散热强度， W/m ；

α ——管线附加散热系数，无因次，取 0.1~0.2；

G_d ——管线设计蒸汽流量， t/h ；

C ——管线负荷系数，此处可按平均状态，等于 0.7；

c_p ——管线中蒸汽平均定压比热， $\text{KJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

比温降指标主要针对热网的干管和针对热网整体。小口径管道应力求短小，以便降低其在热网中的权重。小口径管道比温降值可不受本条给出的量值限制。

5.1.6 比压降

本条给出的蒸汽管网中每公里长管道中蒸汽压力损失应不大于 0.03MPa/km 指的是自热网入口到最不利用户全线平均蒸汽压降。管网干线大口径管道中比压降应小于 0.03MPa/km。节省出来的资用压头用以补偿末端支线及入户线小口径管道压力损失。如果末端小口径管道也要求比压降小于 0.03MPa/km，末端管道中蒸汽流速将变得很低，使沿程散热充分，导致末端管段每公里温降大幅度上升，为避免末端蒸汽温度急剧下降，应允许管网末端小口径管道的比压降大于 0.03MPa/km。

对于管网近入口处及中部支线，资用压头较富裕，更无须受限于 0.03MPa/km 的指标限制。

6 管网布置和管网形式

6.8 根据在线热网调查分析,环状蒸汽管网管径较大,管中蒸汽流速低。因此引起管中蒸汽损失热量严重,在极端工况下,局部环管线中蒸汽流速可趋近零。但管道中充满蒸汽,管道散热并不因介质不流动而停止(这和冷、热水管网有重大区别)。蒸汽管网因此热效率低下,冷凝水量在热网供汽量中占比与枝状管网比较,环网明显居高。同时环网中发生汽水冲击的风险也因此升高。此外环网造价比枝状网也高。因此,蒸汽管网不适合采用环状管网。

6.9 蒸汽管网中两条管线之间设联通管,可以在两条管线之间调剂供汽流量。联通管还可以提高管网供汽保障能力。联通管上没有热用户。联通管中蒸汽流速可能不稳定,甚至流动缓慢。过长的联通管使管网散热面积明显增加,对管网效益不利。联通管有时可不工作。此时应当用阀门将联通管与管网隔离,避免无必要的额外热损失。此时联通管两端都需要设阀门,使联通管脱离蒸汽管网。

6.13 埋地蒸汽管出地弯头的外套管管口分敞开式和封闭式两种。对于开口式的出地弯头,如果管口距离地面高度较低,在暴雨中地上水位如果超过出地套管管口,将造成雨水倒灌。这将严重损坏管道保温层功能,后果严重。故对于开口式外套钢管,其管口位置应确保高出地面可能发生的积水高度。

6.14 热网管线量长比公式:

$$G_0 h_0 - \sum G_e h_e = \sum q_i (1 + \alpha) L_i \times 3.6$$

$$1 - \frac{\sum G_e h_e}{G_0 h_0} = \frac{\sum q_i (1 + \alpha) L_i \times 3.6}{G_0 h_0}$$

式中

$$\frac{\sum G_e h_e}{G_0 h_0} = \eta$$

η 是管网热效率,前面等式交换一下,

$$1 - \eta = \frac{\sum q_i (1 + \alpha) L_i \times 3.6}{G_0 h_0}$$

式中

α ——管线附加散热系数,应不大于0.2;

L_i ——各规格管线长度, km;

G_0 ——管线入口蒸汽流量, t/h。

取 $\alpha = 0.2$, 在 $G_0 = 0.7G_d$ 工况下, $\eta \geq 92\%$, 代入上述公式

$$1 - \frac{\sum q_i (1 + 0.2) L_i \times 3.6}{0.7 G_d h_0} \geq 92\%$$

$$\frac{4.32 \sum q_i L_i}{0.7 \frac{G_d}{L} h_0 \cdot L} \leq 0.08$$

$$\frac{G_d}{L} \geq \frac{77.143 \sum q_i L_i}{h_0 \cdot L}$$

$$L = \sum L_i$$

当 $G_m = K \cdot G_d \neq 0.7G_d$ 时, 量长比公式中系数取 $\frac{0.7}{K} \times 77.143$, 附录G表中温度为管网平均工况下计算管段及其下游管段介质加权平均温度 $t = \sum t_{mi} L_i / \sum L_i$ 。

7 热补偿

7.2.2 蒸汽管网用低碳钢材钢管输送蒸汽。热网建造时环境温度大约为 20℃。运行中的管网中蒸汽温度大约在 150℃~350℃ 区间。蒸汽钢管从安装状态到运行状态，温度升高了几百度。低碳钢的物理特性之一是热胀冷缩。反映此特性的公式如下：

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

公式中

Δt ——钢材温度变化，℃；

α ——钢材线性膨胀系数，m/(m℃)；

L ——钢管长度，m；

ΔL ——温度变化导致钢管长度变化的量，m。

低碳钢材另一个特性是，当钢材温度发生了变化，但钢构件受外界约束，构件尺寸不能变化，此时构件材料内部产生应力，反映钢材这一物理性质的公式如下：

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

公式中

Δt ——钢材温度变化，℃；

α ——钢材线性膨胀系数，m/(m℃)；

E ——钢材的弹性模量，MPa；

σ ——钢材中产生的应力，MPa。

同时可得

$$\frac{\sigma}{E} = \alpha \cdot \Delta t = \frac{\Delta L}{L} = \varepsilon$$

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

公式中

ε ——钢构件的应变，无因次。

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

显然热网蒸汽温度变化值越大，对钢管带来的变化越大。当钢管不受约束时，钢管尺寸变化越大；当钢管尺寸完全受约束，钢管材料中应力变化越大。介于中间状态，温度变化引起了钢管发生了一部（即不是全部）尺寸变化。温度变化的“作用”的另一部分，使钢管中应力发生变化。

蒸汽钢管的钢材可承受很高的应力。例如 Q235 钢在应力不超过 235MPa，钢材保持弹性状态。应力消失后钢材恢复原状。较低的温度变化范围（例如 $\Delta t < 50^\circ\text{C}$ ）引起钢材应力变化，即使反复作用，钢材仍然是安全的（即不发生疲劳破坏）。

蒸汽管网应对蒸汽温度变化，通常的作法是在管线中设置补偿器，吸收温度变化引起的钢管伸缩。

管网中的弯管，通过自身弹性变形，可以吸收少量热网管线的长度变化，称作自然补偿。

对蒸汽温度不超过 180℃~200℃ 的热网管段，采用较好材质钢管，例如 20、20G，采用无补偿直埋敷设技术也是可行的。

利用钢管的弹性范围吸收应力的能力，与热网补偿器组合，可以避免补偿器频繁动作，可以防止补偿器疲劳破坏。这种方法为部分无补偿，例如蒸汽 230℃，由 20℃ 到 200℃ 钢管热伸长量由补偿器吸收。由 200℃ 到 230℃，钢管承受 30℃ 温差作用引起的应力。

8 水力计算

8.1.1 蒸汽管网介质在管中流动沿程阻力

$$R = \frac{\lambda}{d} \times \frac{\rho v^2}{2} \quad \text{单位：(Pa/m)} \quad (8.1-1)$$

$$\text{或 } R = \frac{\lambda}{d} \times \frac{\rho v^2}{2} \times 10^{-6} \quad \text{单位：(MPa/m)} \quad (8.1-2)$$

式中

R ——比摩阻，MPa/m；

λ ——蒸汽对管道的摩擦系数，无因次；

d ——管道内径, m;
 ρ ——蒸汽密度, kg/m³;
 v ——蒸汽在管道内流速, m/s。
 对于市政蒸汽管网

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{K}{d} \right)^{0.25} \quad (8.1-3)$$

式中

K ——管壁粗糙度, 取 0.0002m;
 蒸汽流速

$$v = G \times (0.9\pi d^2 \rho)^{-1} \quad \text{单位: m/s} \quad (8.1-4)$$

式中

G ——蒸汽流量, t/h。
 管网中蒸汽流动受到沿程摩擦阻力和局部阻力

$$\Delta P = R(L + \sum L_d) \quad \text{单位: MPa} \quad (8.1-5)$$

式中

L ——管线长度, m;
 L_d ——管线中局部阻力当量长度, m。

将公式 8.1-2、8.1-3、8.1-4 代入公式 8.1-5, 得

$$\Delta P = \frac{0.000818(L + \sum L_d) \times G^2 \times 10^{-6}}{\rho d_i^{5.25}} \quad (8.1-6)$$

考虑到管道粗糙度 K 已留有余量, 本规范不另行加入安全系数。

9 热力计算

9.3.3 保温管道上使用的保温材料都可以从相关资料中查到在常温下材料的导热系数。各种材料的导热系数几乎都随温度升高而增大。因此, 常用保温材料都能找到导热系数与温度的关系式。材料的导热系数除了与温度有关系, 还与自身密度有关。材料含水量也对材料的导热系数有明显影响。资料中提供的材料导热系数以及与温度的关系式是在标准状况下通过实验得出的。在工程中不可能永远完全实现标准条件, 例如微孔硅酸钙和玻璃棉毡都是多孔材料, 而且是开孔状态, 很容易吸收空气中的水份。保温管保温层外侧部分总有一层其温度在 100℃ 以下。这一区域的玻璃棉无法保持干燥。其中的水份使材料的导热系数上升。此温度区间如果是硬质聚氨酯泡沫, 或泡沫玻璃, 材料中的泡孔大部分是封闭的, 水份很难进入。因此, 闭孔保温材料基本不受水份影响。相对于硬质保温材料, 玻璃棉、硅酸铝棉毡一类材料很难维持标准的密度。即使材料自重也会引起其密度的改变。玻璃棉毡密度 ρ 等于 50kg/m³ 其导热系数最低。离开 50kg/m³ 或轻或重, 玻璃棉导热系数都上升。工程中保温材料脱落、缺失也是难以完全避免的。对保温层热阻构成负面影响也是必然的。因此, 在热网管道保温计算中, 在保温材料导热系数前面加上修正系数 C 是完全必要的。否则管道保温计算结果将不可靠。

9.4 蒸汽管道热工计算的目的是在满足用户要求的蒸汽品质(压力、温度)的前提下热网在较高的热效率下运行。为此, 管网热工计算可按下列步骤进行:

- 1) 按 9.3.2 推荐的数据选择管道保温层厚度, 确定保温结构。
- 2) 选择管网比温降。从用户端起向热源端推进, 初步确定各管段入口和出口蒸汽温度及管段蒸汽平均温度。
- 3) 依据各管段蒸汽平均温度和管段保温结构计算各管段基本热损失 q 。
- 4) 根据管段中蒸汽平均流量下蒸汽平均压力和平均温度, 可从水蒸汽性质表中查找定压比热 c_p 。选择管段蒸汽流量系数 K_3 。普通热网 K_3 可取 0.7。
- 5) 上述选择的各项数据应使下列公式成立

$$K_3 G_d c_p (t_o - t_e) = q(1 + \alpha) \cdot L \cdot 3.6 \times 10^{-3}$$

可通过调整管道保温结构尺寸改变管道基本散热强度 q , 使等式成立。也可以微调管段中蒸汽温降 $(t_o - t_e)$ 使等式成立。

6) 由用户端依次向热源推进,并最终确定热网总入口蒸汽温度。当推算结果热网入口温度超过了热源可提供的温度值时,可依据可获得的热网总入口温度值从热网总入口起向用户端推进计算,直到在平均流量下蒸汽到达饱和状态为止。当下游饱和和管段长度可以被接受时,计算结束。

9.5.4 预制保温管道属于外滑动式保温结构,穿管工序需要在外套管与蒸汽管保温层最外层外表面之间留有 15mm~30mm 的空气夹层。补偿短管、补偿弯头中的夹层厚度更可达到 100mm~200mm。在夹层中热量通过对流和辐射两种方式传热:

$$q = q_1 + q_2$$

对流部分

$$q_1 = 0.18\lambda_a \cdot (G_r \cdot P_r)^{0.25} (t_1 - t_2) \cdot \ln^{-1} \left(\frac{d + 2\delta}{d} \right)$$

辐射部分

$$q_2 = \pi d \varepsilon \cdot \sigma [(273 + t_1)^4 - (273 + t_2)^4]$$

公式中:

t_1 ——保温层外表面温度,℃;

t_2 ——夹层外围表面温度,℃;

λ_a ——夹层中空气导热系数, W/m℃;

G_r ——夹层格拉晓夫数;

P_r ——夹层空气普朗特数;

d ——管道保温层外围直径, m;

δ ——空气夹层厚度, m;

ε ——夹层内、外表面材料黑度, 无因次;

σ ——辐射常数, 等于 $5.667 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ 。

经过对常见保温夹层热工计算,夹层温差($t_1 - t_2$)都很小,即夹层热阻可忽略不计。如果在空气夹层双面贴敷铝箔,可使辐射传热热阻明显上升。

10 强度计算

10.2 蒸汽管网在绝大多数场合都配置补偿器。运行中蒸汽管因管中蒸汽温度变化而伸长或收缩。这个过程产生摩擦阻力。对于外滑动式系统,计算摩擦力时的正压力 G 为工作钢管和管外保温层的重量、以及工作管上外加的垂直载荷。而对于硬质保温内滑动式系统,蒸汽管在保温材料形成的隧道中滑动。保温材料和钢管之间可能存在握裹力。握裹力可能远远大于工作钢管重量引起的重力。使得摩擦力很大,尤其是热网初运行时。为防止过大的摩擦阻力,应避免产生握裹力或事先消除握裹力。

蒸汽管网采用部分无补偿技术时,蒸汽钢管热伸缩受限位装置制约不能充分伸缩,并因此在蒸汽钢管中形成热应力。蒸汽管网上的固定节将承受由此产生的轴向力作用。热网未采用部分无补偿技术时,此项作用力不存在。

10.5.2 蒸汽管网在温度不超过 300℃、压力不超过 2.5MPa 范围内, Q235B (Q235A 不可) 钢材已完全可以满足强度计算要求,钢材的物理性能不会有明显改变(例如高温下蠕变)。双面埋弧焊螺旋缝钢管、直缝钢管都可满足本规范范围内的使用要求。只有在苛刻工况可能发生时有必要选择更好的材质,例如采用无补偿技术。Q235B、20、20G、20R、Q345 依次性能更优,但价格也更贵。无缝钢管之于焊缝钢管也是如此。过份的安全冗余没有必要。

11 管网热工检测与控制

11.3 检测热网上各用户的蒸汽流量、压力、温度和热量,是热网运行管理必不可少的环节。这不但是商务结算的需要,也是对热网评定的需要。热网管理者可依据获得的数据对热网进行调节和改造优化。因此用户端蒸汽流量、压力、温度等参数的计量仪表在热网设计中必须配置。有条件时应当实现测量和自动控制。