ICS 91.140.10
P 46

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

（报批稿）

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

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。

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。

本文件由上海市循环经济协会和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标准化专业技术委员会归口。

本文件起草单位：上海科华热力管道有限公司、华东理工大学工程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、上海燃气工程设计研究有限公司、浙江阿斯克建材科技股份有限公司、浙江省绿色产业发展促进会、江苏省循环经济协会。

本文件主要起草人：陈雷、吴晓菁、陈天养、周俊飞、罗旭光、潘泽刚、裘益奇。

首批承诺执行本文件的单位：上海科华热力管道有限公司、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、上海燃气工程设计研究有限公司、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

本文件规定了城镇供热蒸汽管网设计的术语和定义、符号、热负荷、热网参数、管网布置和管网形式、热补偿、水力计算、热力计算、强度计算、管网热工检测与控制、管网热效率、防腐等设计要求。

本文件适用于蒸汽设计压力不超过2.5MPa，设计温度不高于350℃的城镇供热蒸汽管网。

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 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 9711　石油天然气工业管线输送系统用钢管
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 38942　压力管道规范 公用管道
GB 50032　室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范
GB 50139　内河通航标准
GB 50764-2012　电厂动力管道设计规范
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
CJ/T 129　玻璃纤维增强塑料外护层聚氨酯泡沫塑料预制直埋保温管
DL/T 5366　发电厂汽水管道应力计算技术规定
HG/T 3831　喷涂聚脲防护材料
SY/T 0063　管道防腐层检漏试验方法
SY/T 0315　钢质管道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　普通流体输送管道用埋弧焊钢管

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（最小）壁厚的压力。

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

下列符号适用于本文件。

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——蒸汽管网设计压力安全裕量；
C_t——蒸汽管网设计温度安全裕量；
c_P——蒸汽定压比热；
D——蒸汽管道外径；
d——蒸汽管道内径；
E_t——管道材料在设计温度下的弹性模量；
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——第i个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——管网入口蒸汽焓值；
I ——管道截面惯性矩；
i_0——最大弯曲挠度；
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 ——管道总长度；
L_i——第i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；
L_{max}'——支、吊架最大允许间距；
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——蒸汽管网入口与出口蒸汽压力之差；
Q——蒸汽管网热负荷；
q ——蒸汽管道基本散热强度；
q'——管道单位长度计算载荷；
q_i——第i个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——管道入口蒸汽温度；
Δt——管道入口与出口蒸汽温度之差；
W——管道截面抗弯距；
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 ——工作状况下保温材料的导热系数；
μ ——摩擦系数；
ξ ——管件局部阻力系数；
δ ——保温层厚度；
δ_s——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；
$[\sigma]^t$——设计温度下钢材的许用应力；
φ——焊缝修正系数。

5 热负荷

5.1 蒸汽管网的热负荷根据各用户用汽的变化分成最大热负荷、最小热负荷和平均热负荷。

5.2 蒸汽管网最大热负荷按式（1）计算：

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

式中：
Q_{max}——蒸汽管网最大热负荷，单位为吉焦每小时（GJ/h）；
K_2——热用户发展变化系数，当K_2小于 1 时，取K_2等于 1。
K_1——热网用户同时使用系数；
G_i——第i管段下游各用户最大用汽量，单位为吨每小时（t/h）；
h_i——用户设计参数下蒸汽焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

η——蒸汽管网热效率。

5.3　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}。

5.4　蒸汽管网平均热负荷为一段时间内用热量与用热时间的比值，用Q_m表示，单位为 GJ/h。统计时段可按日、月、年分别统计。

6　热网参数

6.1　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的最高操作压力确定，可按式（2）计算：

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

式中：

P_d——蒸汽管网设计压力，单位为兆帕（MPa）；

P_e——蒸汽管网中最不利用户压力，单位为兆帕（MPa）；

L_{max}——蒸汽管网入口到最不利用户的距离，单位为千米（km）；

$\Delta P/L$——蒸汽管网比压降，单位为兆帕每千米（MPa/km）；

C_p——蒸汽管网设计压力安全裕量，单位为兆帕（MPa）。可取 0.18MPa。

6.2　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的最高操作温度确定，可按式（3）计算：

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

式中：

t_d——蒸汽管网设计温度，单位为摄氏度（℃）；

t_e——蒸汽管网中最不利用户需要的蒸汽温度，单位为摄氏度（℃）；

L_{max}——管网入口到最不利用户距离，单位为千米（km）；

$\Delta t/L$——管网比温降，单位为摄氏度每千米（℃/km）；

C_t——蒸汽管网设计温度安全裕量值，单位为摄氏度（℃）。可取 20℃。

6.3　蒸汽管网的平均热效率应不低于 92%。

6.4　蒸汽管网在平均流量(设计流量的 70%)时，比温降不宜大于 4℃/km。

6.5　蒸汽管网在设计流量时，比压降不宜大于 0.03MPa/km。

6.6　当热网用户要求的蒸汽参数有明显差异，可分别设置管线，并应设定不同的供汽参数。

7　管网布置和管网形式

7.1　管网路由选择应避开重要的军事设施、易燃易爆仓库、国家重点文物保护区等，宜避开：

1）　多年生经济作物区和重要的农田基本设施、水源地。

2）　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　管网位于抗震设防烈度为 6 度及以上地区时，管网设计应按照 GB 50032 的有关规定。

7.3　管网在非城镇街道和非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　蒸汽管道管沟的外表面、直埋敷设管道或地上敷设管道的保温结构表面与建筑物、构筑物、道路、铁路及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　地下敷设蒸汽管道与建筑物（构筑物）或其他管线的最小距离　　单位为米

<table>
<tr><th colspan="2">建筑物、构筑物或管线名称</th><th>供热管线形式</th><th>最小水平净距</th><th>最小垂直净距</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">建筑物基础</td><td>管沟</td><td>0.5</td><td>—</td></tr>
<tr><td>直埋管道</td><td>3.0</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">铁路钢轨（或坡脚）</td><td>管沟、直埋管道</td><td>5.0</td><td>轨底 1.2</td></tr>
<tr><td colspan="2">有轨电车钢轨</td><td>管沟、直埋管道</td><td>2.0</td><td>轨底 1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">道路侧石边缘</td><td>管沟、直埋管道</td><td>1.5</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">桥墩（高架桥、栈桥）边缘</td><td>管沟、直埋管道</td><td>2.0</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">架空管道支架基础边缘</td><td>管沟、直埋管道</td><td>1.5</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">通信、照明或 10kV 以下电力线路的电杆</td><td>管沟、直埋管道</td><td>1.0</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="3">高压输电线铁塔基础边缘</td><td>电压≤ 330kV</td><td>管沟、直埋管道</td><td>3.0</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="2">电压＞ 330kV</td><td>管沟</td><td>3.0</td><td rowspan="2">—</td></tr>
<tr><td>直埋管道</td><td>5.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">通信管线</td><td>管沟、直埋管道</td><td>1.0</td><td>0.25</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">电力管线</td><td>管沟</td><td>1.0</td><td rowspan="2">电力直埋 0.5
保护管或隔板 0.25</td></tr>
<tr><td>直埋管道</td><td>2.0</td></tr>
<tr><td rowspan="7">燃气管道</td><td>燃气压力＜ 0.01MPa</td><td rowspan="4">供热管沟</td><td>1.0</td><td rowspan="4">燃气钢管 0.15
聚乙烯管在上 0.2
聚乙烯管在下 0.3</td></tr>
<tr><td>燃气压力≤ 0.4MPa</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td>燃气压力≤ 0.8MPa</td><td>2.0</td></tr>
<tr><td>燃气压力＞ 0.8MPa</td><td>4.0</td></tr>
<tr><td>燃气压力≤ 0.4MPa</td><td rowspan="3">直埋管道</td><td>1.0</td><td rowspan="3">燃气钢管 0.15
聚乙烯管在上 0.5
聚乙烯管在下 1.0</td></tr>
<tr><td>燃气压力≤ 0.8MPa</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td>燃气压力＞ 0.8MPa</td><td>2.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">给水管道</td><td>管沟、直埋管道</td><td>1.5</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td colspan="2">雨、污排水管道</td><td>管沟、直埋管道</td><td>1.5</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">再生水管道</td><td>管沟</td><td>1.5</td><td rowspan="2">0.15</td></tr>
<tr><td>直埋管道</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">地铁隧道结构</td><td>管沟、直埋管道</td><td>5.0</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td colspan="2">电气铁路接触网电杆基础</td><td>管沟、直埋管道</td><td>3.0</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">乔木（中心）</td><td>管沟</td><td>1.5</td><td>—</td></tr>
<tr><td>直埋管道</td><td>2.0</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">灌木（中心）</td><td>管沟</td><td>1.0</td><td>—</td></tr>
<tr><td>直埋管道</td><td>1.5</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">机动车道路面</td><td>管沟</td><td>—</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>直埋管道</td><td>—</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">非机动车道路面</td><td>直埋管道</td><td>—</td><td>0.7</td></tr>
<tr><td colspan="5">注1：供热管道与电力电缆平行敷设时，电缆处的土壤温度与月平均土壤自然温度比较，全年任何时候对于电压10kV的电缆不高出10℃，对于电压35kV~110kV的电缆不高出5℃时，可减小表中所列距离。
注2：在条件不允许时，可采取有效技术措施，可以减小表中规定的距离，或采用埋深较大的非开挖法施工。</td></tr>
</table>

表2　地上敷设蒸汽管道与建筑物（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	轨顶标准 6.0 电气铁路 10.5
电车钢轨		钢轨外侧 2.0	路面 9.0
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）	＜3 kV	1.5	1.5
	3 kV~10 kV	2.0	2.0
	35 kV~110 kV	4.0	3.0
	220 kV	5.0	4.0
	330 kV	6.0	5.0
	500 kV	6.5	6.5
	750 kV	9.5	8.5
通信线		—	1.0
其他管线		—	2.5
树冠		0.5 （到树中不小于 2.0）	—

7.5　供热管道跨越水面、峡谷地段时应符合以下要求：
- a）供热管道可在永久性的公路桥上架设。
- b）供热管道跨越通航河流时，净宽与净高符合 GB 50139 的规定。
- c）供热管道跨越不通航河流时，管道保温结构下表面与 30 年一遇的最高水位的垂直净距不小于 0.5m。
- d）供热管道河底敷设时，选择远离滩险、港口和锚地的稳定河段，埋设深度不妨碍河道整治，并保证管道安全，包括：
  - ——　穿越Ⅰ级~Ⅴ级航道河流时，管道（管沟）的覆土深度在规定航道底设计标高 2m 以下；
  - ——　穿越其他河流时，管道（管沟）的覆土深度在稳定河床底 1m 以下；
  - ——　穿越灌溉渠道时，管道（管沟）的覆土深度在渠底设计标高 0.5m 以下。
- e）在河底敷设时，供热管道进行抗浮和防冲刷设计。

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应小于 60°。管道与河流或公路交叉角度不应小于 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　管网支线宜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式（4）要求，最小量长比参考附录B：

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

式中：

G_d——管网设计流量，单位为吨每小时（t/h）；

L——管道总长度，单位为千米（km）；

q_i——第i个管段及下游管段各自散热强度，单位为瓦每米（W/m）；

L_i——第i个管段及下游管段各自长度，单位为千米（km）；

h_0——管网入口蒸汽焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）。

7.15 管道支、吊架设计应计入下列载荷：

a) 管道组成件及保温层的重力

b) 支吊架的重力。

c) 管道输送介质的重力。

d) 对于蒸汽管道，根据具体情况计入水压试验或管道清洗时的介质重力。

e) 管道中柔性管件由于内压力产生的作用力。

f) 支吊架约束管道位移所产生的约束反力和力矩。

g) 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

h) 室外管道受到的雪载荷。

i) 室外管道受到的风载荷。

j) 正常运行时，由于各种原因引起的管道振动力。

k) 管内流体动量瞬时突变引起的瞬态作用力。

l) 流体排放产生的反力。

m) 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。

7.16 管道支、吊架载荷按以下要求计算：

a) 垂直载荷

垂直载荷可按式（5）计算：

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

式中：

F_n——总垂直载荷，单位为牛（N）；

K_4——载荷系数，取1.2~1.5；

q'——管道单位长度计算载荷，单位为牛每米（N/m）。包含管材重、保温结构重及冷凝水重（或充满水重）；

L——管道总长度，单位为米（m）；

F_i——第i个集中载荷，单位为牛（N）；

b） 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）。

摩擦力可按式（6）计算：

$$F_f = 1.5 \cdot \mu \cdot F_n \tag{6}$$

式中：

F_f——支吊架所受摩擦力，单位为牛（N）；

μ——摩擦系数，按表 3 选取；

F_n——总垂直载荷，单位为牛（N）。

c） 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GB 50764—2012中附录E给出的信息选取。。

d） 地震载荷的计算可按 GB 50764—2012 中附录 E 给出的信息选取。雪载荷的计算可按 GB 50764—2012 中第 10.3.2.8 条的规定计算。

7.17 管道支、吊架允许间距按以下要求计算：

a） 水平直管道支、吊架间距应满足下列要求：

1） 强度条件确定的支、吊架间距按式（7）和式（8）计算：

$$L_{max}' = 2.24\sqrt{\frac{W\varphi[\sigma]^t}{q'}} \tag{7}$$

$$W = \frac{\pi}{32}\frac{D^4-d^4}{D} \tag{8}$$

式中：

L_{max}'——支、吊架最大允许间距，单位为米（m）；

W ——管道截面抗弯距，单位为三次方厘米（cm^3）；

φ ——焊缝修正系数，一般φ=0.9，也可参考表 4 选取；

$[\sigma]^t$——设计温度下钢材的许用应力，单位为兆帕（MPa）；

q' ——管道单位长度计算载荷，单位为牛每米（N/m）；

D ——蒸汽管道外径，单位为厘米（cm）；

d ——蒸汽管道内径，单位为厘米（cm）。

表4 管道横向焊缝系数φ值

管道横向焊缝	φ值	管道横向焊缝	φ值
手工电弧焊	0.7	手工双面加强焊	0.95
有垫环对焊	0.9	自动双面焊	1.0
无垫环对焊	0.7	自动单面焊	0.8

2） 刚度条件确定的支、吊架间距按式（9）和式（10）计算：

$$L_{max}' = 0.19 \cdot \sqrt[3]{\frac{100E_tIi_0}{q'}} \tag{9}$$

$$I = \frac{\pi}{4}[(\frac{D}{2})^4 - (\frac{d}{2})^4] \tag{10}$$

式中：

L_{max}'——支、吊架最大允许间距，单位为米（m）；

E_t——管道材料在设计温度下的弹性模量，单位为兆帕（MPa）；

I ——管道截面惯性矩，单位为四次方厘米（cm^4）。

i_0 ——最大弯曲挠度，单位为毫米（mm），一般管道排水坡度，i_0≥0.002；

q' ——管道单位长度计算载荷，单位为牛每米（N/m）；

D ——蒸汽管道外径，单位为厘米（cm）；

d ——蒸汽管道内径，单位为厘米（cm）。

3) 水平直管支、吊架的允许间距，应取强度和刚度确定的间距最小值；在水平管道方向改变处，两支、吊点间的管道展开长度不超过水平直管支、吊架允许间距的四分之三。

b) 垂直管道支、吊架的间距可大于水平直管支、吊架的允许间距，在最不利荷载作用下不应使管壁应力超过允许值。为防止管道侧向振动，垂直管道宜设置适当数量的管道侧向约束装置。

7.18 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。

7.19 管网采用软质保温材料时应采用隔热管托。

7.20 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，选用偏心硬质密封蝶阀。
b) 所选阀门公称压力比管道设计压力高一个等级，温度按设计温度选择；
c) 阀门进行保温，其保温外表面温度比该处蒸汽管道保温外表面低 10℃，并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采取防水密封措施；
e) 蒸汽管网采用钢制阀门；
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 5 选取。

表5 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

7.21 管网干线分出的三通支线上应设阀门。

7.22 管网干线起点宜设置减温减压装置及相应的自控装置。

7.23 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。

7.24 直埋管排潮管宜设在靠近波纹补偿器的固定节处，排潮管宜加外套管引至地面，排潮管管口应考虑防倒灌措施。

7.25 热网临时排潮管在热网正常运行后宜切除。

7.26 管网采用多热源联网形式，应考虑蒸汽流向、流量变化及汽水冲击。

7.27 直埋疏水装置宜靠近固定墩且远离波纹补偿器引出。靠近出地端的疏水宜与弯管一起引出。

8 热补偿

8.1 工作钢管热补偿

8.1.1 蒸汽管网不宜采用旁通直管压力平衡式波纹补偿器。

8.1.2 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。

8.1.3 直埋敷设蒸汽管过路、过门处地下不宜设置补偿器。

8.1.4 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。

8.2 预制直埋保温管外套钢管热补偿

8.2.1 外套钢管应采用无补偿方法。

8.2.2 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。

8.3 架空管道保温层外防护套热补偿

8.3.1 采用外滑动式保温结构时，金属外防护套应留有足够的搭接长度；采用内滑动保温结构时，直管段与补偿器（轴向套筒补偿器和轴向波纹补偿器除外）结合部金属外护管应留有足够的搭接长度

8.3.2 外滑动式保温结构蒸汽管道采用镁钢外防护壳时，应采取防止钢管热位移过大破坏外防护壳的措施。

8.4 蒸汽管道的保温层热补偿

8.4.1 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。

8.4.2　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　蒸汽管网管线压力损失可按式（11）计算：

$$\Delta P=\frac{0.000818(L+L_m)\times G^2\times 10^{-6}}{\rho d^{5.25}} \quad (11)$$

式中：

ΔP——蒸汽管网入口与出口蒸汽压力之差，单位为兆帕（MPa）；

L——管道总长度，单位为米（m）；

L_m——管网中管件产生流动阻力的当量长度，单位为米（m）；

G——管道中蒸汽流量，单位为吨每小时（t/h）；

ρ——管道中蒸汽平均密度，单位为千克每立方米（kg/m^3）；

d——蒸汽管道内径，单位为米（m）。

9.2　蒸汽管网中管件当量长度按式（12）计算

$$L_m=76.445d^{1.25}\xi \quad (12)$$

式中：

L_m——管网中管件产生流动阻力的当量长度，单位为米（m）；

d——蒸汽管道内径，单位为米（m）；

ξ——管件局部阻力系数，无因次。可按表 6 选取。

表6　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
旋转补偿器	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
蝶阀	0.24
闸阀	0.5
注：表中旋转补偿器的局部阻力系数指单个旋转补偿器，例如由两个旋转补偿器套筒组对而成的旋转补偿器组的局部阻力系数包含6个弯头及2个旋转补偿器。	

10　热力计算

10.1　蒸汽管网热力计算根据管网允许或指定的管中介质温度降，用热平衡方法计算管道散热强度及相应的管道保温层厚度。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按式（13）计算：

$$G_0h_0-\sum(G_eh_e)=\sum[q(1+\alpha)L]\times3.6\times10^{-3}+\sum(G_ch_s) \tag{13}$$

式中：

G_0——管网总入口蒸汽流量，单位为吨每小时（t/h）；

h_0——管网总入口蒸汽的焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

G_e——管网终点用户取得的蒸汽量，单位为吨每小时（t/h）；

h_e——热用户得到的蒸汽焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

q——热网管道基本散热强度，单位为瓦每米（W/m）；

α——热网附加散热系数，无因次。取α =0.1~0.2；

L——热网管道长度，单位为米（m）；

G_c——管网排放的冷凝水量，单位为吨每小时（t/h）；

h_s——热网排出的冷凝水的焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）。

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按式（14）计算：

$$0.7G_dh_0-\sum(G_eh_e)=\sum[q(1+\alpha)L]\times3.6\times10^{-3} \tag{14}$$

式中：

G_d——热网设计流量，单位为吨每小时（t/h）。

h_0——管网总入口蒸汽的焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

G_e——管网终点用户取得的蒸汽量，单位为吨每小时（t/h）；

h_e—热用户得到的蒸汽焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

q——热网管道基本散热强度，单位为瓦每米（W/m）；

α——热网附加散热系数，无因次。取α =0.1~0.2；

L——热网管道长度，单位为米（m）。

10.3　管道基本散热强度按式（15）计算：

$$q=\frac{2\pi\lambda(t_m-t_w)}{\ln[(D+2\delta)/D]} \tag{15}$$

式中：

q——管道在给定工况下平均的基本散热强度，单位为瓦每米（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，单位为瓦每米摄氏度（W/m·℃）；

t_m——计算管道中蒸汽平均温度，单位为摄氏度（℃）；

t_w——管道保温层外表面温度，单位为摄氏度（℃）；

D——蒸汽管道外径，单位为米（m）；

δ——保温层厚度，单位为米（m）。

10.4　对于复合保温结构，管道散热强度按式（16）计算:

$$q=\frac{2\pi(t_m-t_w)}{\ln(D_1/D_0)/\lambda_1+\ln(D_2/D_1)/\lambda_2+\cdots+\ln(D_n/D_{n-1})/\lambda_n} \tag{16}$$

式中：

q——计算管道在给定工况下平均的基本散热强度，单位为瓦每米（W/m）；

t_m——计算管道中蒸汽平均温度，单位为摄氏度（℃）；

t_w——计算管道保温层外表面温度，单位为摄氏度（℃）；

$\lambda_1,\lambda_2\ldots\lambda_n$——由管中心向外各层保温材料的导热系数，单位为瓦每米摄氏度（W/m·℃）；

$D_1,D_2\ldots D_n$——各保温层外径，单位为米（m）。

10.5　保温材料的导热系数应考虑变形、变质、吸潮影响。保温材料的导热系数应按式（17）计算：

$$\lambda=C(a+bt+ct^2+dt^3) \tag{17}$$

式中：

λ——工作状况下保温材料的导热系数，单位为瓦每米摄氏度（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，单位为摄氏度（℃）。

10.6 蒸汽管网中过热管道热工计算可按式（18）计算：

$$K_3Gc_p(t_o-t_e)=q(1+\alpha)\cdot L\cdot 3.6\times 10^{-3} \tag{18}$$

式中：

K_3——流量系数，无因次；

G——管道中蒸汽流量，单位为吨每小时（t/h）；

c_p——蒸汽的平均定压比热，单位为千焦每千克摄氏度（kJ/kg·℃）；

t_o——管道进口蒸汽温度，单位为摄氏度（℃）；

t_e——管道出口蒸汽温度，单位为摄氏度（℃）；

q——在平均流量下管道平均散热强度，单位为瓦每米（W/m）；

α——管道附加散热系数，无因次；

L——管道长度，单位为米（m）。

10.7 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 GB/T 4272 和 GB/T 8175 的相关规定。

10.8 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 7 数值。

表7 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。	

10.9 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℃。

10.10 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。

10.11 当所计算管段过长时，可分段计算。结果应满足 10.5.1 和 10.5.3 条要求。

10.12 管道保温结构热工设计应按照附录 A 规定设计和计算。

10.13 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。

10.14 蒸汽保温管道散热强度推荐值参考附录 C。

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外套钢管应力验算应按 CJJ/T 81 的规定执行。

11.1.2 直埋敷设蒸汽管网中工作钢管和架空敷设的蒸汽管道应力验算应按 DL/T 5366 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：

a) 蒸汽管道热伸缩受到的摩擦阻力。

b) 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；自然补偿时，补偿弯管的弹性反力。

c) 蒸汽内压产生的盲板力。

d) 蒸汽钢管轴向限位装置的反力。

11.3 蒸汽管道热伸缩受到的摩擦阻力可按式（19）计算：

$$F_1=\mu_1G_m+\mu_2N \tag{19}$$

式中：
F_1——管道伸缩位移时受到的摩擦阻力，单位为牛（N）；
μ_1——支、吊架产生的摩擦系数，无因次。可参考表 3 选取 ；
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，单位为牛(N)；
μ_2——保温材料握裹力产生的摩擦系数，无因次。可参考表 8 选取；
N——热位移钢管受到固定不动的保温层的握裹力，单位为牛（N）。

表8　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

11.4　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。

11.5　蒸汽管网工作钢管壁厚应按式（20）计算：

$$\delta_s = \frac{P_d D}{2[\sigma]^t \varphi + P_d} + C_1 + C_2 \quad (20)$$

式中：
δ_s——工作钢管计算壁厚，单位为毫米（mm）；
P_d——设计压力，单位为兆帕（MPa）；
D——蒸汽管道外径，单位为毫米（mm）；
$[\sigma]^t$——设计温度下钢材的许用应力，单位为兆帕（MPa）；
φ——焊缝修正系数，可参考表 4 选取；
C_1——腐蚀裕量（对于蒸汽管道，C_1=0），单位为毫米（mm）；
C_2——负偏差裕量，单位为毫米（mm）。

11.6　管道壁厚负偏差裕量C_2按以下方式确定：

a）　对于无缝钢管，道壁厚负偏差的附加值应按式（21）计算

$$C_2 = A_2 \delta \quad (21)$$

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，单位为毫米（mm）。

b）　对于纵缝、螺旋缝焊接钢管，壁厚负偏差的附加值应按下列数值取用：
1）　壁厚为 5.5mm 及以下时，C_2=0.5mm;
2）　壁厚为 6~7mm 时，C_2=0.6mm;
3）　壁厚为 8~25mm 时，C_2=0.8mm;

11.7　管道壁厚计算应校核水压试验时的壁厚验算。

11.8　工作弯管最小壁厚（背部）不得小于工作直管最小壁厚。

11.9　直埋敷设热网外套钢管壁厚按以下方式取值：

外套管内侧无空气层采用硬质保温材料的保温管：径厚比不大于 140；外套管内侧有空气层采用软质保温材料的保温管：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。

11.10　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 GB/T 3091、SY/T　5037 或 GB/T 13793。

11.11　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 GB/T　9711 中的相关要求。当选用无缝钢管时可采用 GB/T　8163。工作钢管材质可选用 Q235B、L245、20、20G，20R 以及 Q345。

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

13 管网热效率

管网热效率按式（22）计算：

$$\eta = \frac{\sum(G_i \cdot h_i \cdot \tau)}{\sum(G_o \cdot h_o \cdot \tau)} \qquad (22)$$

式中：
η ——管网热效率（管网热效率有年、月、日平均热效率。不计算瞬时热效率）；
G_i——第i个管段下游各用户用汽量，单位为吨每小时（t/h）；
G_o——管网总入口蒸汽流量，单位为吨每小时（t/h）；
h_i——用户设计参数下蒸汽焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；
h_o——管网入口蒸汽焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；
τ——管网运行时间，单位为小时（h）。

14 防腐

14.1 季节性运行的地上敷设和管沟敷设的蒸汽管道及附件，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以下要求：
- a） 外护管进行外防腐，且按重腐蚀环境考虑。防腐层与钢管表面有良好的粘附性、电绝缘性、低吸水性和低水蒸汽穿透性，便于现场施工。
- b） 防腐层的长期耐温不小于 70℃。
- c） 外护管的防腐材料符合 CJ/T 246 的有关规定。
- d） 常用防腐层材料应符合以下要求：
  - 1） 聚乙烯防腐层应符合 GB/T 23257 的有关规定；
  - 2） 纤维缠绕增强玻璃钢防腐层应符合 CJ/T 129 的有关规定；
  - 3） 熔结环氧粉末防腐层应符合 SY/T 0315 的有关规定；
  - 4） 环氧煤沥青防腐层应符合 SY/T 0447 的有关规定；
  - 5） 聚脲防腐层应符合 HG/T 3831 的有关规定。
- e） 防腐层进行电火花检漏，并符合 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。
- f） 外护管采用外防腐的同时，采取阴极保护措施。

14.4 外护钢管内当投放吸湿剂时不准许设置排潮管。
14.5 直埋敷设蒸汽管道的排潮管内外表面均应采取防腐措施，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 架空管道保温结构计算

A.1.1 架空管道保温结构按式（A.1）计算：

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

式中：

q——管段计算散热量，单位为瓦每米（W/m）；

t_m——管段中蒸汽平均温度，单位为摄氏度（℃）；

t_a——管网环境空气计算温度，单位为摄氏度（℃）。当无特别指定时可取20℃；

D_1——从管中心起算第一保温层外径，单位为米（m）；

D_0——管道外径，单位为米（m）；

λ_1——第一层保温材料导热系数，单位为瓦每米摄氏度（W/m・℃）；

D_n——从管中心起算第n保温层外径，单位为米（m）；

λ_n——第n层保温材料导热系数，单位为瓦每米摄氏度（W/m・℃）；

α——环境空气与保温管对流换热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（W/m²・℃）；

D_w——最外层保温层外径，单位为米（m）。

A.1.2 环境空气与保温管对流换热系数按式（A.2）计算：

$$\alpha=\alpha_C+\alpha_\gamma \tag{A.2}$$

式中：

α——环境空气与保温管对流换热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（W/m²・℃）；

α_C——对流换热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（W/m²・℃）；

α_γ——保温管对环境辐射放热的当量对流换热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（W/m²・℃）。

户外管网取α等于α_C。

$$\alpha_C=11.63+7\times\sqrt{v} \tag{A.3}$$

式中：

α_C——对流换热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（W/m²・℃）；

v——平均风速，单位为米每秒（m/s）。

管廊敷设及室内敷设管网α_C，水平管道按（A.4）计算：

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

式中：

α_C——对流换热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（W/m²・℃）；

t_w——管道保温层外表面温度，单位为摄氏度（℃）；

t_f——远离管道外表面的空气温度，单位为摄氏度（℃）；

D_w——最外层保温层外径，单位为米（m）。

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

式中：

α_C——对流换热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（W/m²・℃）；

t_w——管道保温层外表面温度，单位为摄氏度（℃）；

t_f——远离管道外表面的空气温度，单位为摄氏度（℃）；

D_w——最外层保温层外径，单位为米（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。

$$G_r=\frac{\beta g\Delta t l^3}{\nu^2} \tag{A.6}$$

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，单位为每摄氏度（℃$^{-1}$）；
g——重力加速度，单位为米每二次方秒（m/s^2）。取值为 9.81；
Δt——蒸汽保温管保温层外表面温度与环境空气温度之差，单位为摄氏度（℃）；
l——定型尺寸，取管道保温层外径，单位为米（m）；
ν——保温管外空气层空气的运动粘度，单位为平方米每秒 m^2/s）。

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

式中：
β——保温管外空气层空气的体积膨胀系数，单位为每摄氏度（℃$^{-1}$）；
t——保温管外空气层的定性温度，单位为摄氏度（℃）。

$$t = \frac{t_w + t_f}{2} \tag{A.8}$$

式中：
t——保温管外空气层的定性温度，单位为摄氏度（℃）；
t_w——管道保温层外表面温度，单位为摄氏度（℃）；
t_f——远离管道外表面的空气温度，单位为摄氏度（℃）；
公式中的空气运动粘度ν和普朗特数P_r根据空气层的定性温度，到 B.1 中查找。

A.1.3　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按式（A.9）计算：

$$\alpha_\gamma = \frac{\varepsilon\sigma\left((273+t_w)^4 - \left(273+t_f\right)^4\right)}{t_w - t_f} \tag{A.9}$$

式中：
α_γ——保温管对环境辐射放热的当量对流换热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（W/m^2·℃）；
ε——保温管外表面的黑度，无因次；
σ——黑体辐射常数，单位为瓦每平方米四次方开[W/（m^2·K^4）]，按 5.667x10^{-8} 取值。
t_w——管道保温层外表面温度，单位为摄氏度（℃）；
t_f——远离管道外表面的空气温度，单位为瓦每米（W/m）；

A.2　埋地管道保温结构计算

A.2.1　埋地管道保温结构按式（A.10）计算：

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

式中：
q——管段计算散热量，单位为瓦每米（W/m）；
t_m——管段中蒸汽平均温度，单位为摄氏度（℃）；
t_g——管道中心线深度土壤平均温度，单位为摄氏度（℃）；
D_1——从管中心起算第一保温层外径，单位为米（m）；
D_0——管道外径，单位为米（m）；
λ_1——第一层保温材料导热系数，单位为瓦每米摄氏度（W/m·℃）；
D_n——从管中心起算第 n 保温层外径，单位为米（m）；
λ_n——第 n 层保温材料导热系数，单位为瓦每米摄氏度（W/m·℃）；
H——管道中心埋设深度，单位为米（m）；
D_w——外套管外径，单位为米（m）；
λ_g——土壤导热系数，单位为瓦每米摄氏度（W/m·℃）。

A.2.2　修正保温层厚度后，应验算管网每公里温降，并校核保温层间的界面温度。

附　录　B
（资料性）
蒸汽管网最小量长比参考表

表B. 1给出了蒸汽管网最小量长比的参考值。

表 B. 1 蒸汽管网最小量长比参考表

单位为吨每小时千米

管道公称尺寸DN/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	2. 5	2. 5	2. 5
	温度/℃																
	180	190	200	210	220	230	240	250	260	280	300	320	340	350	320	340	350
DN100	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	2. 1	2. 2	2. 4
DN125	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	2. 2	2. 4	2. 6
DN150	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	2. 4	2. 6	2. 8
DN200	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	2. 6	2. 9	3. 0
DN250	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	3. 0	3. 2	3. 4
DN300	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	3. 1	3. 4	3. 6
DN350	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	3. 3	3. 5	3. 7
DN400	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	3. 6	3. 9	4. 0
DN450	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	3. 8	4. 1	4. 3
DN500	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	3. 7	4. 0	4. 2
DN600	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	4. 1	4. 4	4. 7
DN700			2. 5	2. 7	2. 8	3. 0	3. 2	3. 4	3. 5	3. 9	4. 3	4. 6	5. 0	5. 2	4. 3	4. 7	4. 9
DN800			2. 7	2. 9	3. 1	3. 2	3. 4	3. 6	3. 8	4. 2	4. 6	5. 0	5. 4	5. 6	4. 7	5. 0	5. 3
DN900			2. 9	3. 1	3. 3	3. 5	3. 7	4. 0	4. 2	4. 6	5. 0	5. 5	5. 9	6. 1	4. 9	5. 3	5. 6
DN1000			3. 2	3. 4	3. 6	3. 8	4. 1	4. 3	4. 5	5. 0	5. 4	5. 9	6. 4	6. 7	4. 9	5. 4	5. 7

附 录 C
（资料性）
蒸汽保温管道散热强度推荐表

表C. 1给出了蒸汽保温管道散热强度推荐值。

表 C. 1 蒸汽保温管道散热强度推荐表

单位为瓦每米

管道公称尺寸DN/mm	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1：此表数据括号外为推荐值，括号内为容许值。 注2：此表数据取环境温度20℃计算											

附　录　D
（资料性）
干空气物理性质

表D. 1给出了干空气的物理性质表。

表 D. 1 干空气物理性质表

t (℃)	ρ （kg/m³）	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda\times10^2$ （W/m·℃）	$\alpha\times10^6$ (m²/s)	$\mu\times10^6$ (kg/m·s)	$\nu\times10^6$ (m²/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 =1.01325×10⁵ Pa ≈ 760mmHg							

附　录　E
（资料性）
常用钢管最小壁厚

表E.1给出了常用钢管的最小壁厚值。

表 E.1 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 F
（资料性）
直埋敷设蒸汽保温管外套钢管推荐壁厚

表F. 1给出了直埋敷设蒸汽保温管外套钢管推荐壁厚值。

表 F. 1 直埋敷设蒸汽保温管外套钢管推荐壁厚

单位为毫米

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：软质保温径厚比100:1；硬质保温径厚比140：1。							

附 录 G
（资料性）
水和水蒸汽性质表

表G.1给出了水和水蒸汽性质表。

表 G.1 水和水蒸汽性质表

t（℃）	ν（m^3/kg）	ρ（kg/m^3）	h (kJ/kg)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda \times 10^3$（W/m·℃）
P=0.1MP					
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=0.2MP					
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

表G.1（续）

t (℃)	ν （m^3/kg）	ρ （kg/m^3）	h (kJ/kg)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda\times10^3$ （W/m·℃）
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=0.3MP					
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

表G.1（续）

t （℃）	ν （m^3/kg）	ρ （kg/m^3）	h (kJ/kg)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda\times10^3$ （W/m·℃）
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=0.4MP					
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=0.5MP					
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

表G.1（续）

t （℃）	ν （m³/kg）	ρ （kg/m³）	h (kJ/kg)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda\times10^3$ （W/m·℃）
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=0.6MP					
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

表G.1（续）

t （℃）	ν （m^3/kg）	ρ （kg/m^3）	h (kJ/kg)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda\times10^3$ （W/m·℃）
P=0.7MP					
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=0.8MP					
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

表G.1（续）

t （℃）	ν （m^3/kg）	ρ （kg/m^3）	h (kJ/kg)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda \times 10^3$ （W/m·℃）
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=0.9MP					
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=1.0MP					

表G.1（续）

t （℃）	ν （m^3/kg）	ρ （kg/m^3）	h (kJ/kg)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda\times10^3$ （W/m·℃）
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=1.25MP					
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

表G.1（续）

t （℃）	ν （m^3/kg）	ρ （kg/m^3）	h (kJ/kg)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda\times10^3$ （W/m·℃）
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=1.5MP					
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=1.75MP					

表G.1（续）

t （℃）	ν （m³/kg）	ρ （kg/m³）	h (kJ/kg)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda\times10^3$ （W/m·℃）
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=2.0MP					
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

表G.1（续）

t （℃）	ν （m^3/kg）	ρ （kg/m^3）	h (kJ/kg)	c_p (kJ/kg·℃)	$\lambda\times10^3$ （W/m·℃）
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=2.5MP					
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