



中华人民共和国城镇建设行业标准

CJ/T 140—2001

供热管道保温结构散热损失测试 与保温效果评定方法

Methods measuring and evaluating
heat loss and thermal insulation efficiency
for thermal insulation construction of heating pipeline

2001-07-18 发布

2001-12-01 实施

中华人民共和国建设部 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 引用标准 1

3 术语 1

4 测试分级和要求 1

5 测试方法 2

6 主要测试仪器、仪表及准确度要求 6

7 测试工作程序 6

8 数据处理 7

9 测试误差 9

10 测试报告 9

附录 A(标准的附录) 供热管道保温后的允许最大散热损失值表 10

附录 B(标准的附录) 热流传感器表面热发射率与被测表面发射率不一致时的修正系数(f)表 10

附录 C(提示的附录) 外护壳材料表面热发射率(ϵ)表 11

附录 D(标准的附录) 供热管道保温结构外表面总放热系数的计算 12

附录 E(提示的附录) 供热管道沿线情况及气象资料调查表 14

附录 F(提示的附录) 供热管道保温结构散热损失测试数据表 15

前 言

本标准依据 GB/T 4272—1992《设备及管道保温技术通则》、GB/T 8174—1987《设备及管道保温效果的测试与评价》所规定的原则制定而成。制定过程中,吸取了国内外对于供热管道保温技术的相关研究成果,认真总结了各地实施保温效果测试的经验,确定了四种具体的测试方法,提出对测试传感器、仪表的选择、标定及安装,测点选取及布置,操作程序及数据处理方法等要求。

采用本标准对新建供热管道保温结构散热损失的现场测试与保温效果的评价,可提供对该供热管道保温结构设计和建设工程质量进行评定、验收的依据;对已投入运行多年的现有供热管道保温效果进行普查和定期监测,可提供是否要进行大修、改建、扩建的决策依据;保温结构试样的实验室模拟环境和运行条件的保温效果测试,可提供对保温结构设计、保温材料选择、预制保温管生产工艺和制造质量的评价依据。采用本标准对直埋供热管道进行现场测试与保温效果评价时,其允许最大散热损失值在无该类产品 and 工程标准前,可依据设计要求进行评定。

本标准的附录 A、附录 B、附录 D 是标准的附录,附录 C、附录 E、附录 F 是提示的附录。

本标准由建设部标准定额研究所提出。

本标准由建设部城镇建设标准技术归口单位建设部城市建设研究院归口。

本标准起草单位:北京市建设工程质量检测中心第四检测所、天津市管道工程集团有限公司保温管厂、北京蒙特耐集中供热设备有限公司、北京直埋保温管厂。

本标准主要起草人:杨金麟、赵玉军、杨帆、段文波、白冬君。

中华人民共和国城镇建设行业标准

供热管道保温结构散热损失测试 与保温效果评定方法

CJ/T 140—2001

Methods measuring and evaluating
heat loss and thermal insulation efficiency
for thermal insulation construction of heating pipeline

1 范围

- 1.1 本标准规定了城市供热管道保温结构散热损失的测试与保温效果的评定方法。
- 1.2 本标准规定的测试方法包含现场测试方法和实验室测试方法。
- 1.2.1 现场测试方法适用于地上、管沟、直埋等敷设方式的供热管道测试。
- 1.2.2 实验室测试方法适用于对供热管道建设工程采用的管道保温结构保温效果的模拟测试和对生产、施工单位保温管道产品的性能测试。
- 1.3 本标准规定的测试方法适用于不同供热介质及温度范围的单质单层保温结构和多层复合保温结构供热管道的散热损失测试。
- 1.4 本标准规定的测试方法适用于对供热管道的弯头、三通等管件以及预制保温管接口部位保温结构的散热损失测试。
- 1.5 视现场条件和保温结构情况,以及测试等级要求,可选择不同的测试方法,或者同时选用几种测试方法。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所有版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 4272—1992 设备及管道保温技术通则

GB/T 8174—1987 设备及管道保温效果的测试与评定

GB/T 10295—1988 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法

3 术语

- 3.1 热流传感器的准稳态 pseudo steady state of heat flux transducer
在两个连续的 10 min 周期内,热流传感器的读数平均值相差不超过 2%。
- 3.2 实验室模拟测试 simulating test in laboratory
模拟环境和运行条件的保温结构散热损失测试。

4 测试分级和要求

- 4.1 测试分级
供热管道保温结构散热损失测试分为三级。

4.1.1 一级测试适用于采用新技术、新材料、新结构的供热工程鉴定测试。

4.1.2 二级测试适用于新建、改建、扩建及大修后供热工程的验收测试。

4.1.3 三级测试适用于供热工程的普查和定期监测。

4.2 实验室模拟测试

4.2.1 预制保温管产品的生产鉴定,执行一级测试。

4.2.2 定型预制保温管产品的施工工程现场抽样检测,执行二级测试。

4.3 测试要求

4.3.1 一级测试必须采用不少于两种不同的测试方法对照、同步进行。

4.3.2 二级、三级测试可采用一种方法测试。

5 测试方法

5.1 热流计法

5.1.1 测试原理

用热阻式热流传感器(热流测头)和测量指示仪表直接测量保温结构的散热热流密度。热流传感器的输出电势(E)与通过传感器的热流密度(q)成正比, $q=cE$, c 值为测头系数。

热流传感器的标定按 GB/T 10295 中的方法进行,必要时绘制 q/E 系数 c 与被测表面温度(视作热流传感器的温度)的标定曲线,该曲线还应表示出工作温度和热流密度的范围。

5.1.2 使用范围应符合下列规定。

5.1.2.1 用于现场和实验室测试。

5.1.2.2 用于保温结构存在一定温差的工况,并要求环境条件变化对测试结果产生的影响小。

5.1.3 热流传感器的贴附应满足下列要求。

5.1.3.1 应保持热流传感器与被测表面的良好接触,保证附着系统的热阻在被测保温层热阻的 5% 以下。贴附表面应清除尘土,保证平整,无间隙和气泡。

5.1.3.2 热流传感器应与热流方向垂直,并保证热流传感器表面处于等温面中。

5.1.3.3 热接触材料可用双面胶纸、黄油、硅脂、导热脂、导热环氧树脂等。并可使用压敏胶带或弹性圈等材料压紧。

5.1.3.4 地上或管沟敷设的管道,保温结构外表面贴附的热流传感器应与被测表面的热发射率(表面黑度)保持一致。可在传感器外表面涂敷与被测表面热发射率相近的涂料或贴附热发射率相近的薄膜;否则应按本标准附录 B(标准的附录)对测试结果进行修正。保温结构外表面热发射率除有条件实际测试外,可参照本标准附录 C(提示的附录)确定。

5.1.3.5 直埋管道散热损失测试时,应做好传感器及其接线处的防水处理,宜将传感器设置在保温结构护壳内。对于地下水位较高的直埋管道,且必须在保温结构外表面贴附传感器时,必须保证热接触面间不得渗入地下水。

5.1.4 热流传感器的性能应按产品说明书给定的标定系数进行修正。当贴附部位的温度高于或低于传感器标定时温度的,应采用公式(1)进行仪表显示值的温度修正:

$$q = sq' \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: q ——实际的热流密度, W/m^2 ;

s ——产品说明书给定的修正系数;

q' ——仪表显示热流密度值, W/m^2 。

5.1.5 热流传感器输出电势(E)的测量指示仪表或计算机输入转换模块的准确度应与热流传感器的准确度相匹配。当测定热流密度因环境影响而波动性时,宜使用累积式仪表。

5.1.6 现场测定应满足下列条件。

5.1.6.1 应满足一维稳态传热条件,减少外部环境因素的影响。读取测定数据应在达到准稳态条件时

进行。

5.1.6.2 现场风速不应超过 0.5 m/s,不能满足时应设挡风装置。

5.1.6.3 应避免传感器受阳光直接辐射的影响,宜选择阴天或夜间进行测定,或加装遮阳装置。

5.1.6.4 应避免在雨雪天气时进行测定。

5.1.6.5 环境温度、湿度的测点应在距热流密度测定位置 1 m 远处,避免有其他热源的影响;地温的测点应在距热流密度测定位置 10 m 远处相同埋深的自然土壤中。

5.2 表面温度法

5.2.1 测试原理

对于地上、地沟敷设的热力管道,测定保温结构外表面温度、环境温度、风向和风速、表面热发射率及保温结构外形尺寸,按公式(2)计算其散热热流密度:

$$q = \alpha(t_w - t_f) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: q ——散热热流密度, W/m^2 ;

α ——总放热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;

t_w ——保温结构外表面温度, K ;

t_f ——环境温度, K 。

总放热系数 α 按附录 D(标准的附录)进行计算。

5.2.2 使用范围应符合下列规定。

5.2.2.1 用于现场和实验室测定。

5.2.2.2 用于地上、地沟热力管道保温结构的现场散热损失测试。

5.2.3 保温结构外表面温度测定可用下列方法。

5.2.3.1 表面温度计法

a) 选择的表面温度计传感器应是热容小,反应灵敏、快速,接触面积大,热阻小,时间常数小于 1 s。

b) 应减少对传感器周围被测表面温度场的干扰。

5.2.3.2 热电偶法

a) 保证热电偶与被测表面的良好接触,应采用以下贴附方式:

① 将热电偶焊接在导热性好的集热铜片上,再将其整体贴附在被测表面上,如图 1 所示。

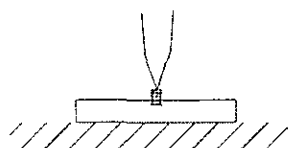


图 1

② 将热电偶沿被测表面紧密接触一定长度(10 mm~20 mm),如图 2 所示。

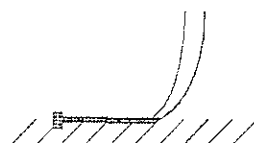


图 2

③ 将热电偶嵌入被测表面上开凿的槽或孔中,如图 3、图 4 所示。

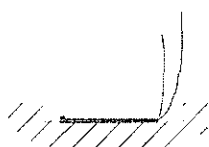


图 3

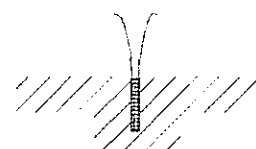


图 4

b) 用毫伏计、电位差计或计算机输入转换模块读取测定值,并应进行参比端温度补偿。

5.2.3.3 红外辐射测温仪法

- a) 被测表面反射的环境辐射与被测表面自身的辐射相比不可忽略时,应同时进行被测表面比辐射率修正及环境辐射修正。
- b) 按红外辐射测温仪使用要求,正确选择热发射率、距离和发射角。
- c) 红外辐射测温仪测定保温结构外表面温度 T_w ,比辐射率 ε ,环境辐射等效黑体温度 T_F ,则按公式(3)计算保温结构单位表面积净辐射热损失 q_r :

$$q_r = \varepsilon \sigma (t_w^4 - t_F^4) \quad \dots\dots\dots (3)$$

5.2.4 环境温度测定应使用符合精度等级要求的温度计,同步测定保温结构表面温度和环境温度。应按下列条件选择环境温度测点位置。

5.2.4.1 地面敷设的热力管道,环境温度测量应在距保温结构外表面 1 m 处测定空气温度。

5.2.4.2 地沟敷设的热力管道,环境温度应测定环地沟内壁附近的平均空气温度。

5.2.5 环境风速测定应使用符合精度等级要求的风速计,在测量保温结构外表面温度时,同步测量风向和风速。

5.3 温差法

5.3.1 测试原理

通过测定保温结构各层厚度、各层分界面上的温度、以及各层材料在使用温度下的导热系数,计算保温结构的散热热流密度。

5.3.1.1 供热管道单层保温结构的热流密度和单位长度线热流密度按公式(4)和公式(5)求得:

$$q = \frac{q_1}{\pi D} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$q_1 = \frac{2\pi \lambda (t - t_w)}{\ln \frac{D}{d}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中: q ——热流密度, W/m^2 ;

q_1 ——单位长度线热流密度, W/m ;

λ ——保温材料在使用温度下的导热系数, $W/(m \cdot K)$;

t ——保温材料内表面温度, K , (工程测试可认为是管中介质温度);

t_w ——保温结构外表面温度, K ;

d ——保温层内径, m , (可视为钢管外径);

D ——保温结构外径, m 。

5.3.1.2 供热管道多层保温结构的热流密度和单位长度线热流密度按公式(6)和公式(7)求得:

$$q = \frac{q_1}{\pi D} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$q_1 = \frac{t - t_w}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi \lambda_i} \ln \frac{d_i}{d_{i-1}}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中: q ——热流密度, W/m^2 ;

q_1 ——单位长度线热流密度, W/m ;

D ——保温结构外径, m ;

λ_i ——第 i 层保温材料在使用温度下的导热系数, $W/(m \cdot K)$;

t ——保温材料首层内表面温度, K ;

t_w ——保温结构外表面温度, K ;

d_i ——第 i 层保温材料外径, m ;

n ——保温层数。

5.3.1.3 直埋供热管道保温结构的热流密度和单位长度线热流密度按公式(8)和公式(9)求得:

$$q = \frac{q_1}{\pi D} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$q_1 = \frac{2\pi(t - t_g)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_i}{d_{i-1}} + \frac{1}{\lambda_r} \ln \frac{4h}{D}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中: t_g ——自然地温, K;

λ_r ——实测土壤导热系数, W/(m·K);

h ——管道中心至地表深度, m;

其余参数同 5.3.1.2。

5.3.1.4 稳态传热时, 保温材料首层内表面与工作钢管接触良好的条件下, 供热管道内的介质温度可视为保温材料首层内表面温度。

5.3.1.5 当保温结构外护壳较厚, 热阻不可忽视时, 应将外护壳作为保温结构中的一层来计算热流密度。

5.3.2 使用范围应符合下列规定。

5.3.2.1 用于现场和实验室测试。

5.3.2.2 用于供热管道保温结构预制时及现场施工时预埋测温传感器的测试; 对于未预埋测温传感器而必须在测试现场设置测温传感器时, 要严格使用相同材料和方法, 恢复保温结构的原始状态。

5.3.3 保温结构各层界面的温度可用埋入的热电偶或热电阻测量, 并应执行 5.2.3.2 的要求。

5.3.4 保温结构的各层外径, 应在测定截面处按实际结构尺寸测量。

5.3.5 保温结构各层保温材料的导热系数, 应在实际被测供热管道的保温结构中取样, 并分别按实际平均工作温度测定。

5.4 热平衡法

5.4.1 测试原理

在供热管道稳定运行工况下, 测定被测管段的介质流量、管段起点和终点的介质温度和(或)压力, 根据焓差法或能量平衡原理, 计算该管段的全程散热损失值。

5.4.1.1 对于蒸汽供热管道, 按公式(10)计算全程散热损失:

$$Q = 0.278 G (h_1 - h_2) \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中: Q ——管段的全程散热损失, W;

G ——蒸汽质量流量, kg/h;

h_1, h_2 ——据蒸汽参数查得的被测管段进出口蒸汽比焓, kJ/kg。

5.4.1.2 对于热水介质供热管道, 按公式(11)计算全程散热损失:

$$Q = 0.278 G (c_1 t_1 - c_2 t_2) \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中: Q ——管段的全程散热损失, W;

G ——热水质量流量, kg/h;

c_1, c_2 ——据热水温度查得的被测管段进出口热水比热容, kJ/(kg·K);

t_1, t_2 ——被测管段进出口热水温度, K。

5.4.2 被测管段进出口处应按测试等级精度要求设置流量、温度和(或)压力测量仪表; 若管段进出口处已安装有此类仪表, 应查验其精度及有效性。

5.4.3 使用范围应符合下列规定。

5.4.3.1 进行热平衡法测试的管段, 应是无旁路、无途中泄漏和排放的供热管线管段。

5.4.3.2 用于具有一定传输长度和一定介质温降的供热管道保温结构散热损失的现场测试。

5.4.3.3 用于地上、地下和直埋敷设的供热管道保温结构散热损失测试。

6 主要测试仪器、仪表及准确度要求

按照不同测试等级,选用的仪器、仪表准确度应符合表 1 的要求。

表 1

测试项目	测试仪器、仪表	单位	准确度要求		
			一级	二级	三级
外形尺寸	钢直尺、钢卷尺	mm	±0.5	±1.0	±1.0
介质温度	温度计	℃	±0.1	±0.2	±0.5
介质压力	压力表	%	0.4	1.0	1.0
热水流量	流量计	%	±0.5	±1.0	±1.5
蒸汽流量	流量计	%	±1.0	±1.5	±1.5
保温层厚度	游标卡尺	mm	0.02	0.02	0.02
保温层界面温度	热电偶、热电阻	℃	±1.0	±1.5	±1.5
保温材料导热系数	导热仪	%	±5	±7	±10
材料重量	天平,秤	g	±0.5	±1.0	±1.0
外表面温度	热电偶、热电阻	℃	±1.0	±1.5	±1.5
外表面温度	表面温度计	℃	±0.5	±1.0	±1.0
外表面温度	红外测温仪	℃	±0.5	±1.0	±1.0
外表面辐射率	红外辐射仪	%	±2.0	±2.0	±2.0
热流密度	热流计	%	±6	±10	±10
环境温度、地温	温度计	℃	±0.5	±1.0	±1.0
环境风速	风速仪	%	±5	±10	±10

7 测试工作程序

7.1 测试准备

7.1.1 按测试任务性质和要求,确定测试等级。

7.1.2 现场测定的供热管道概况调查,内容包括:敷设方式、保温结构类型与尺寸、管道总长度、施工及投产日期、沿线状况、沿线地区气象资料等。

7.1.3 结合测试任务及现场调查结果,制定测试方案。测试方案包括下列内容:

7.1.3.1 制定测试计划、确定测试人员。

7.1.3.2 确定测试方法及相应测定参数,制定测试记录表格。

7.1.3.3 确定测试截面位置和测点传感器布置方案:

- a) 对于较复杂的供热管网,应按管道直径、分支情况、保温结构类型,分成不同的测试管段。每一管段的测试截面设在管段的首末端,并按管段实际长度和保温结构状况,在其间再选择若干测试截面。每一管段不得少于三个测试截面。
- b) 地上敷设供热管道的水平和竖直管,应分别选取测试截面。
- c) 预制保温管道的每一管段,应分别设接口处和管件处的测试截面至少各一个。
- d) 每一测试截面上沿周向的测点布置为:
 - ① 地上敷设供热管道的测点布置如图 5 所示。

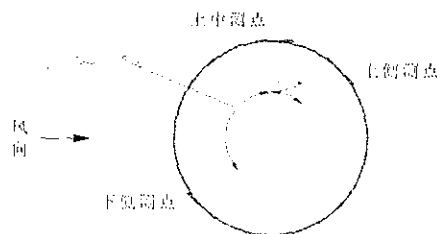


图 5

② 地沟敷设供热管道的测点布置可按图 5 或其垂直对称位置布置。

③ 直埋敷设双管供热管道的测点布置如图 6 所示。

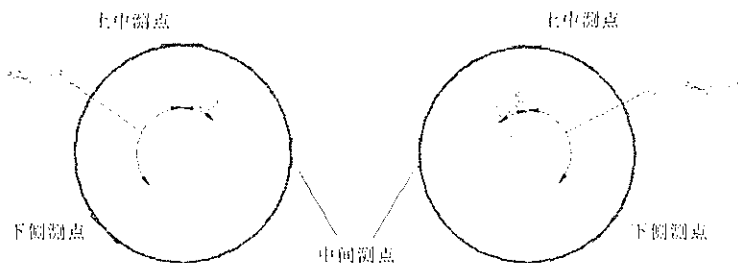


图 6

④ 地上和地沟敷设的双管供热管道、直埋敷设单管供热管道可参照以上方法进行测点布置；对于直径 $D_n > 500 \text{ mm}$ 的供热管道，可视情况在各测试截面上增加若干测点。

e) 实验室模拟测试的供热管段，其长度应 $\geq 2 \text{ m}$ ；管径 $D_n > 500 \text{ mm}$ 时，取管段长度 $\geq 3 \text{ m}$ 。在管段中间相距 100 mm 选取两个测试截面，按 d) 中①或②的要求布置测点。管径 $D_n > 500 \text{ mm}$ 时，应适当增加测点数量。

7.1.4 选配测试仪表，校核其计量检定有效性；对于无法安装测试仪表、传感器的测点，允许使用现场已有仪表，但必须查验和记录该仪表、传感器的有效证书和精度。

7.2 测试条件

7.2.1 供热管道的运行工况稳定，各测试截面处应达到稳定一维传热状态。

7.2.2 清理测点位置表面，按要求设置测试仪表、传感器，设置过程中应保持保温结构的原来状态；对于未预置传感器的直埋管道，进行现场开挖或剖开保温结构设置传感器时，必须严格按原始状态恢复保温结构、按填埋要求及时回填，稳定运行不少于 72 h 后，再查验是否达到稳态运行条件。

7.2.3 地上供热管道的测试，只能在风速小于 0.5 m/s 、不受阳光直接辐射影响的条件下进行。否则，应采取挡风措施、设置遮阳装置或在夜间、阴天进行测试。

7.2.4 必要时要进行预备测试，检查运行工况和测定的数据是否稳定。

7.3 开始正式测试，记录数据。

7.4 数据处理、整理测试结果。

7.5 编写测试报告。

8 数据处理

8.1 原始记录数据、表格整理。

8.2 数据计算

8.2.1 将采集的可疑数据列出，标明原因，可不参加计算。

8.2.2 所测数据均按算术平均值的方法处理。

8.2.3 按各相应测试方法的计算公式计算出各测试截面处的平均热流密度值。

8.3 结果整理

8.3.1 求各测试截面处热流密度值的算术平均值,作为被测管段全长的平均热流密度,并按公式(12)计算出平均线热流密度:

$$q_1 = \pi Dq \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中: q_1 ——管段全长的平均线热流密度, W/m;

D ——保温结构外径, m;

q ——管段全长的平均热流密度, W/m²。

8.3.2 热平衡法测试结果即为管段全长的散热损失,其平均线热流密度按公式(13)和公式(14)计算:

$$\bar{q}_1 = \frac{0.278 G(h_1 - h_2)}{L} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{或 } \bar{q}_1 = \frac{0.278 G(c_1 t_1 - c_2 t_2)}{L} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中: \bar{q}_1 ——全管段平均线热流密度, W/m;

L ——被测管段长度, m;

其余参数同本标准 5.4.1.1 和 5.4.1.2。

8.3.3 对管道接口处保温结构进行的散热损失测试,应按接口长度和接口数量采用公式(15)计算全管段接口处的总散热损失:

$$Q_n = \pi D \cdot q \cdot l \cdot s \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中: Q_n ——全管段接口处总散热损失, W;

D ——接口处保温结构外径, m;

q ——接口处实测热流密度, W/m²;

l ——一个接口处保温结构长度, m;

s ——接口数量。

8.3.4 对供热管道中阀门、管件设备进行的散热损失测试,当采用热流计法时直接测得了散热热流密度。当测得的是阀门、管件的表面温度时,对于地上和管沟敷设管道可用实测的表面温度算术平均值按表面温度法计算热流密度;对于直埋的管件可用实测的表面温度算术平均值和实测的土壤温度、导热系数值,按温差法计算出热流密度。还要按阀门、管件设备的实际表面积折算出相对于该管道的当量长度,并按实际数量计算出所有阀门、管件设备的总散热损失 Q_2 (W)。

8.3.5 供热管道保温结构局部破损处的散热损失,应按破损面积和实测表面温度的算术平均值,按表面温度法计算出热流密度和散热损失 Q_3 (W)。

8.3.6 将测试结果按公式(16)换算成当地年或供热季平均温度下的热流密度:

$$q_m = q \cdot \frac{t - t_m}{t' - t_n} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中: q_m ——年或供热季平均温度下的热流密度, W/m²;

q ——实测热流密度, W/m²;

t ——当地年或供热季平均介质温度, K;

t' ——测试时的介质温度, K;

t_m ——当地年或供热季平均环境温度(空气温度或地温), K;

t_n ——测试时的环境温度(空气温度或地温), K。

8.3.7 计算被测管段或管网的总散热损失。

8.3.7.1 管段总散热损失按公式(17)进行计算:

$$Q_b = q_1 \cdot L + Q_n + Q_2 + Q_3 \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中： Q_b ——被测管段总散热损失，W；
 q_l ——被测管段平均线热流密度，W/m；
 L ——被测管段全长，m；
 Q_n ——被测管段上全部接口处散热损失，W；
 Q_z ——被测管段上全部阀门、管件设备的散热损失，W；
 Q_a ——被测管段保温结构破损处的散热损失，W。

8.3.7.2 管网总散热损失

管网总散热损失为各管段散热损失之和，按公式(18)进行计算：

$$Q_m = \sum_{i=1}^n Q_{bi} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中： Q_m ——管网总散热损失，W；
 Q_{bi} ——第 i 管段的散热损失，W；
 n ——管网中的被测管段数。

9 测试误差

9.1 测试误差来源于仪表误差、测试方法误差、测试操作及读数误差、运行工况不稳定及环境条件变化形成的误差等。

若出现的误差较大，又较难作出分析时，应采用多种测试方法对比测试，或一种测试方法的重复性测试，以确定测试误差和重复性误差。

9.2 一级测试应对测定各参数作出误差分析，并对测试结果进行综合误差分析。综合误差不应超过 15%，重复性测试误差不应超过 5%。

9.3 二级测试应作出误差估计，测试结果的综合误差不应超过 20%，重复性测试误差不应超过 8%。

9.4 三级测试可不作误差分析和误差估计，但重复性测试误差不应超过 10%。

10 测试报告

10.1 测试报告的内容：

- a) 概况说明，项目及任务来源，测试目的及测试等级。
- b) 测试日期，测试项目状况，测试现场及气象条件调查。
- c) 测试方案，主要测试仪器、仪表及精度。
- d) 测试工作安排及主要技术措施。
- e) 测试的主要参数记录数据：测试项目的设计运行参数。
- f) 测试数据处理，计算公式，测试结果及误差分析。

g) 测试结果分析，按照附录 A(标准的附录)中表 A1、表 A2 和相关标准中允许最大散热损失值或设计要求，对被测项目的保温效果进行评价、提出建议。

10.2 原始记录、数据处理资料及测试报告存档备查。

附录 A
(标准的附录)

供热管道保温后的允许最大散热损失值表

A1 表 A1 给出季节运行工况允许最大散热损失值。

表 A1 季节运行工况允许最大散热损失值

管道外 表面温度	K	323	373	423	473	523	573
	℃	(50)	(100)	(150)	(200)	(250)	(300)
允许最大 散热损失	W/m ²	116	163	203	244	279	308
	kcal(m ² ·h)	(100)	(140)	(175)	(210)	(240)	(265)

A2 表 A2 给出常年运行工况允许最大散热损失值。

表 A2 常年运行工况允许最大散热损失值

管道外 表面温度	K	323	373	423	473	523	573	623	673	723	773
	℃	(50)	(100)	(150)	(200)	(250)	(300)	(350)	(400)	(450)	(500)
允许最大 散热损失	W/m ²	58	93	116	140	163	186	209	227	244	262
	kcal(m ² ·h)	(50)	(80)	(100)	(120)	(140)	(160)	(180)	(195)	(210)	(225)

附录 B
(标准的附录)

热流传感器表面热发射率
与被测表面发射率不一致时的修正系数(f)表

B1 热流传感器表面热发射率与被测表面发射率不一致时的修正系数(f)应按表 B1 选取。

表 B1 表面热发射率修正系数(f)表

被测表面 发射率	被测表面温度,℃							适用条件
	50	100	150	200	300	400	500	
0.4	0.73	0.725	0.72					适用于硅橡胶 热流传感器 (表面热发射 率 0.9)
0.5	0.78	0.78	0.78					
0.6	0.845	0.845	0.84					
0.7	0.89	0.89	0.885					
0.8	0.96	0.96	0.95					
0.9	1.0	1.0	1.0					

表 B1 (完)

被测表面 发射率	被测表面温度,℃							适用条件
	50	100	150	200	300	400	500	
0.9	1.41	1.41	1.45	1.50	1.58	1.68	1.76	适用于金属热 流传感器(表 面热发射率 0.4)
0.8	1.33	1.33	1.35	1.40	1.48	1.53	1.60	
0.7	1.25	1.25	1.275	1.30	1.34	1.40	1.47	
0.6	1.17	1.17	1.18	1.20	1.24	1.28	1.295	
0.5	1.09	1.09	1.10	1.11	1.115	1.13	1.16	
0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

B2 热流计测试结果应按公式(B1)进行修正:

$$q_s = f \cdot q \quad \text{W/m}^2 \quad \dots\dots\dots (B1)$$

式中: q_s ——热流密度修正值, W/m^2 ;

q ——热流计实测值, W/m^2 ;

f ——热发射率修正系数。

附 录 C

(提示的附录)

外护壳材料表面热发射率(ϵ)表

C1 常用外护壳材料的表面热发射率(ϵ)按表 C1 选取。

表 C1 常用外护壳材料的表面热发射率(ϵ)表

材料和表面状况	$t, ^\circ\text{C}$	ϵ
粗制铝板	40	0.07
工业用铝薄板	100	0.09
严重氧化的铝	94~505	0.20~0.31
铝粉涂料	100	0.20~0.40
轧制钢板	40	0.66
极粗氧化面钢板	40	0.80
有光泽的镀锌铁皮	28	0.228
有光泽的黑漆	25	0.875
无光泽的黑漆	40~95	0.90~0.98
色薄油漆涂层	37.8	0.85
砂浆、灰泥、红砖	20	0.93
石棉板	40	0.96
胶结石棉	40	0.96
沥青油毡纸	20	0.93
粗混凝土	40	0.94
石灰浆粉刷层	10~38	0.91
油纸	21	0.91
硬质橡胶	40	0.94

附录 D

(标准的附录)

供热管道保温结构外表面总放热系数的计算

供热管道保温结构外表面向大气空间的放热过程包括对流和辐射,对流放热包括自然对流和强制对流。应根据测试等级的要求,分别进行总放热系数的计算。

D1 二、三级测试供热管道保温结构外表面总放热系数的计算

D1.1 室内和管沟敷设的供热管道,按公式(D1)计算总放热系数:

$$\alpha = 9.42 + 0.052(t_w - t_f) \quad \text{..... (D1)}$$

式中: α ——总放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

t_w ——保温结构外表面温度, K ;

t_f ——环境空气温度, K 。

D1.2 室外地上敷设的供热管道,按公式(D2)计算总放热系数:

$$\alpha = 11.63 + 7.0 \sqrt{W} \quad \text{..... (D2)}$$

式中: α ——总放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

W ——风速, m/s 。

D2 一级测试供热管道保温结构外表面总放热系数的计算

一级测试时,应按辐射放热系数 α_r ,自然对流放热系数 α_n 和强制对流放热系数 α_f 来计算总放热系数 α 。

D2.1 辐射放热系数

辐射放热系数按公式(D3)计算:

$$\alpha_r = \varepsilon \delta \left[\frac{t_w^4 - t_f^4}{t_w - t_f} \right] \quad \text{..... (D3)}$$

式中: α_r ——辐射放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

ε ——保温结构外壳表面热发射率,参照附录 C(提示的附录)表 C1 选取;

δ ——斯蒂芬·玻尔兹曼常数,取 $5.7 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

t_w ——保温结构外表面温度, K ;

t_f ——环境空气温度, K 。

D2.2 自然对流放热系数

根据格拉晓夫数(G_r)与普朗特数(P_r)的乘积、壁面状况和定性尺寸,从表 D1 中选择相应的公式,计算自然对流放热系数 α_n 。

表 D1 自然对流放热系数计算公式

供热管道敷设方式	$G_r \cdot P_r$ 范围		定性尺寸 m
	$10^4 \sim 10^9$ (层流)	$10^9 \sim 10^{13}$ (紊流)	
竖直敷设	$\alpha_n = 1.42 \left[\frac{t_w - t_f}{H} \right]^{1/4}$	$\alpha_n = 1.31 (t_w - t_f)^{1/3}$	高度 H m
水平敷设	$\alpha_n = 1.32 \left[\frac{t_w - t_f}{D} \right]^{1/4}$	$\alpha_n = 1.24 (t_w - t_f)^{1/3}$	直径 D m

a) 格拉晓夫数(G_r)按公式(D4)~(D7)计算:

$$G_r = \frac{g D^3}{\nu^2} \beta \Delta t \quad \text{..... (D4)}$$

$$\beta = \frac{1}{T} \quad \dots\dots\dots (D5)$$

$$T = \frac{1}{2} (t_w + t_f) \quad \dots\dots\dots (D6)$$

$$\Delta t = t_w - t_f \quad \dots\dots\dots (D7)$$

式中: g ——重力加速度,取 9.81 m/s^2 ;

β ——空气体积膨胀系数, K^{-1} ;

T ——外壳表面温度 t_w 与空气温度 t_f 的平均值, K ;

Δt ——外壳表面温度与空气温度之差, K ;

ν ——空气的运动粘度, m^2/s , 可从空气物性参数表查得。

b) 普朗特数 (Pr) 从空气物性参数表查得。

D2.3 强制对流放热系数

强制对流放热系数按公式(D8)计算:

$$\alpha_f = \frac{N_u \cdot \lambda_a}{D} \quad \dots\dots\dots (D8)$$

式中: α_f ——强制对流放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

N_u ——努谢尔特数;

λ_a ——空气的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 按外壳表面温度和空气温度的平均值 T , 可从空气热物性参数表查得;

D ——定性尺寸, 保温结构外壳直径, m 。

a) 风垂直吹向水平单管时, 可按公式(D9)和公式(D10)计算 N_u :

$$N_u = 1.11 A \cdot R_e^n \cdot Pr^{0.31} \quad \dots\dots\dots (D9)$$

$$R_e = \frac{W \cdot D}{\nu} \quad \dots\dots\dots (D10)$$

式中: R_e ——雷诺数;


Pr ——普朗特数, 可从空气热物性参数表查得;

W ——风速, m/s ;

A, n ——系数, 可从表 D2 中查得;

其余参数意义同前。

表 D2 A 和 n 系数值

管道截面与风向	R_e	A	n
	0.4~4	0.891	0.330
	4~4×10	0.821	0.385
	4×10~4×10 ³	0.615	0.466
	4×10 ³ ~4×10 ⁴	0.174	0.618
	4×10 ⁴ ~4×10 ⁵	0.023 9	0.805

b) 风向与管道轴线成不同的夹角时, 可将由公式(D9)计算得的 N_u 值乘以表 D3 给出的修正系数, 再代入公式(D8)中计算强制对流放热系数。

表 D3 风向与管轴成不同夹角时 N_u 值的修正系数

风向与管轴夹角	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°
修正系数 ϕ	1.0	1.0	0.99	0.95	0.86	0.75	0.63	0.5

D2.4 总放热系数

$$\alpha = \alpha_r + \alpha_n \dots \dots \dots (D11)$$
$$\alpha = \alpha_r + \alpha_n + \alpha_f \dots\dots\dots (D12)$$

(提示的附录)

供热管道沿线情况及气象资料调查表

表 E1 供热管道沿线情况调查表

调查日期:_____年__月__日 调查人:_____ 审核人:_____

[illegible]

表 E2 供热管道沿线年或供热季历年气象资料调查表

调查日期:_____年__月__日 调查人:_____ 审核人:_____

[illegible]

(提示的附录)

供热管道保温结构散热损失测试数据表

表 F1 供热管道保温结构各层温度和散热热流密度测试数据表

测试人员:_____ 测试日期:_____

环境风速:_____m/s 环境空气温度:_____℃ 白然地温:_____℃

[illegible]

表 F2 供热管道热平衡法散热损失测试数据表

测试人员:_____ 测试日期:_____

[illegible]

F3 供热管道保温结构散热损失测试报告数据表可按表 F3 的样式制定。

表 F3 供热管道保温结构散热损失测试报告 数据表。

管道名称: _____

测试人员: _____ 测试日期: _____

结构层各外径	mm	钢管 d_0	保温一层 d_1	保温二层 d_2	保温三层 d_3	外护层 d_w
各界面温度	℃	钢管外表或介质 t_0	一层外表 t_1	二层外表 t_2	三层外表 t_3	护壳外表 t_b
各层导热系数	W/(m·K)	保温一层 λ_1	保温二层 λ_2	保温三层 λ_3	外护层 λ_w	土壤层 λ_t
热流密度	W/m ²					
管道长度	m					
折算当地年或供热季 平均温度下的热流密度	W/m ²					
线热流密度	W/m					
接口处散热损失	W					
阀门、管件设备处 散热损失	W					
保温结构破损处 散热损失	W					
环境空气温度	℃					
自然地温	℃					
全程散热损失	W					