

ICS 27.100

F 23

备案号: 15332-2005

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 934 — 2005

---

## 火力发电厂保温工程热态考核 测试与评价规程

The rule for measuring and evaluating thermal insulation  
of thermal power plant

2005-02-14 发布

2005-06-01 实施

---

中华人民共和国国家发展和改革委员会 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	1
4 测试的人员和准备工作	2
5 测试要求	3
6 测试方法	5
7 数据处理	8
8 误差	10
9 保温效果评价	10
10 测试报告	11
附录 A (资料性附录) 部分城市室外气象参数	12
附录 B (资料性附录) 常用材料发射率参考值	16
附录 C (资料性附录) 保温测试记录表	17

## 前 言

本标准是根据原国家经济贸易委员会电力司《关于下达 2001 年度电力行业标准制、修订计划项目的通知》（电力〔2001〕44 号文）的安排制订的。

GB/T 8174《设备及管道保温效果的测试与评价》是保温效果测试与评价的通用标准，对设备及管道保温效果的测试与评价方法作了原则性规定。本标准是在参照 GB/T 8174 的基础上，结合我国火力发电厂保温工程效果的现场测试与评价的实际经验制订的。

本标准旨在对我国火力发电厂保温工程热态考核测试与评价进行统一的规范，以便更好地实施 GB/T 4272《设备及管道保温技术通则》等系列保温工程标准，改善火力发电厂设备及管道的保温状况，达到节能降耗、提高经济效益的目的。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站汽轮机标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：西安热工研究院有限公司。

本标准主要起草人：苏萍、戴自祝。

# 火力发电厂保温工程热态考核 测试与评价规程

## 1 范围

本标准规定了火力发电厂机组投入运行后的保温工程热态考核测试与评价的方法及要求。

本标准适用于火力发电厂热力设备及架空敷设热力管道，敷设在地沟中的管道和埋入地下的管道可参照本标准。

本标准也适用于为了其他目的（如火电机组保温施工验收、保温技术改造、保温日常维护等）而进行的测试。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 2588 设备热效率计算通则

GB/T 4132 绝热材料名词术语

GB/T 8174 设备及管道保温效果的测试与评价

GB/T 10295 绝热材料稳态热阻及其有关特性的测定 热流计法

GB/T 18021—2000 设备及管道绝热层表面热损失现场测定 表面温度法

DL/T 5072 火力发电厂保温油漆设计规程

电安生[1994]227号 电业安全工作规程（热力和机械部分） 电力工业部 1994年

## 3 术语和定义

GB/T 4132 和 GB/T 10295 规定的术语以及下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

#### 保温 insulation

覆盖在热力设备、管道及其附件上，以达到减少向周围环境散热或降低其外表面温度的目的而采取的措施。

### 3.2

#### 稳定传热 steady-state heat transfer

物体内各点温度不随时间而改变的传热过程。

### 3.3

#### 热流量 heat flow rate

单位时间内自某物体传出或传入的热量。

### 3.4

#### 热流密度 areal density of heat flow rate

垂直于热流方向的单位面积热流量，其表达式如下：

$$q=dQ/dA \text{ (W/m}^2\text{)}$$

(1)

3.5

**线热流密度 lineal density of heat flow rate**

单位管长的热流量，其表达式如下：

$$q=dQ/dL \text{ (W/m)} \quad (2)$$

3.6

**发射率 emissivity**

在同温度条件下，物体发射的辐射力与黑体发射的辐射力的比值，习惯上也称黑度。

3.7

**散热损失 areal density of heat loss**

保温结构外表面向周围环境散失的热量，通常以热流密度或线热流密度表示。

3.8

**热流计 heat flux meter**

用于直接测量保温结构表面热流密度值的仪表，通常由热流传感器（或称热流测头）、测量指示仪表及连接导线等组成。

3.9

**热流传感器 heat flux transducer (HFT)**

用于测量热流密度的一次传感元件，它是由芯板、表面温差监测器和起保护及热阻尼作用的差板等组成的，可成长方形、正方形、圆形或其他形状。

3.10

**热流传感器的亚稳态 pseudo steady state of HFT**

指在两个连续的 5min 周期内热流传感器的读数平均值相差不超过 2%。

3.11

**表面温度计（表面温度测头） surface thermometer**

用于测量表面温度的测温仪表，通常以热电偶或其他类型温度传感器作为敏感元件，如热电偶式表面温度计、电阻式表面温度计。

3.12

**红外热成像 infrared thermography; thermography infrared**

通过测量红外辐射亮度的变化来显示物体表面视在温度变化（温度或发射率的变化，或此两者）的成像方法。

3.13

**热谱图 thermogram**

具有相对应比度或色彩图样且能反映温度场分布的可视图像。

3.14

**表观导热系数 apparent thermal conductivity; equivalent thermal conductivity; effective thermal conductivity**

表征保温材料在传导和辐射等复杂传热情况下的特性，单位为“W / (m · K)”。

同义词有等效导热系数和当量导热系数。

4 测试的人员和准备工作

4.1 测试人员

4.1.1 测试负责人

测试负责人应由熟悉火力发电厂热力系统以及在保温测试方面有丰富经验的技术人员担任。负责组织 and 实施测试工作，通报测试情况和评价结果，并对测试报告负责。

#### 4.1.2 测试工作人员

执行测试任务的测试工作人员应经过有关的培训和考核。

#### 4.2 测试准备工作

##### 4.2.1 收集测试现场有关资料

- a) 掌握机组热力设备、管道及其附件保温工程的设计、施工和运行状况。如保温材料的种类、性能及厚度，保护层材料的性能，保温材料生产厂家及保温工程的施工单位和施工工艺等。
- b) 掌握机组热力设备、管道及其附件的分布及有关工艺参数。如设备尺寸、管道的直径和长度、介质及其温度和压力等。
- c) 了解当地的气象参数资料，如环境温度、风速等，也可参见附录 A。

##### 4.2.2 勘查现场

- a) 勘查被测热力设备、管道及其附件保温结构的外观状况（特别是破损情况），勘查实际保温材料并核实保温层厚度。根据现场勘查的结果，初步确定测试的重点部位及管段。
- b) 检查被测热力设备、管道及其附件的运行情况，避开影响测试工作的缺陷，确定测点的位置。

##### 4.2.3 编制测试大纲

在测试前必须编制符合现场实际条件的测试大纲，测试大纲由测试负责人编写，并经测试各方认可。

内容包括：

- a) 测试目的；
- b) 测试等级及测试标准；
- c) 测试项目及参数；
- d) 测试方法及仪器；
- e) 测试工况及测试条件；
- f) 测试范围及主要测点布置；
- g) 测试人员及测试工作日程安排；
- h) 安全注意事项及措施；
- i) 现场配合工作。

#### 4.3 安全工作

火力发电厂保温工程测试经常需高空、高温或夜间作业，应配备安全帽、安全带、工作服、手套、工作鞋、手电筒、工具袋等和适当的登高工具（如梯子等），并符合《电业安全工作规程》。必要时测试工作应办理热力机械工作票和必要的工作联系单，并由电厂工作人员担任安全监护人。

#### 5 测试要求

##### 5.1 测试分级

5.1.1 按 GB/T 8174 的规定，保温工程的保温效果测试分为三级：

- a) 一级测试，适用于采用新工艺、新材料、新结构的保温工程的鉴定测试；
- b) 二级测试，适用于新建及改造的保温工程的验收或考核测试；
- c) 三级测试，适用于保温工程的普查和定期测试。

5.1.2 一、二级测试应由具有该项测试资质的单位承担。

5.1.3 一级测试原则上应采用两种不同的方法对照进行，若无法采用两种方法时，允许用一种方法作多次测试，重复次数应根据测试数值的偏差范围决定，一般不低于 3 次。

##### 5.2 测试参数

- a) 保温结构外表面温度。
- b) 保温结构外表面的散热损失。
- c) 测点周围的环境温度。

- d) 测点周围的风速。  
 e) 设备、管道及其附件外表面温度。对于无内衬金属壁面的设备、管道和附件外表面温度可以测试其介质温度，并视为外表面温度。  
 f) 保温结构及保温材料热物性等其他参数。  
 以上参数应根据所用的测试计算方法选择测量。

### 5.3 仪器要求

- a) 根据测试等级和测试方法，合理选用适当量程和相应准确度的仪器仪表，见表 1。  
 b) 测试仪器应便于携带、操作简便。  
 c) 测试仪器应进行定期的校验、标定和检查。

表 1 测量仪器准确度

序号	测试参数	测试仪器		准确度		
				一级测试	二级测试	三级测试
1	表面温度	热电偶		$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
2		表面温度计		$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
3		红外辐射温度计		—	—	$\pm 1\%$
4		红外热像仪		—	$\pm 2.0^{\circ}\text{C}$	$\pm 2.0^{\circ}\text{C}$
5	表面散热损失	热流计	热流传感器	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
			测量指示仪表	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$
6	风速	热球式风速计		$\pm 2\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$
7	环境温度	水银温度计/数字式温度计		$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

### 5.4 测试段的选取及测点的布置

#### 5.4.1 测试段的选取

- a) 应根据测试目的、工况和保温结构选择有代表性的区域作为测试段。通常应避免接缝处、结构破损处或其他不连续处，必要时可另设测试段。  
 b) 应符合测试仪器仪表的使用条件。  
 c) 有条件时可用表面温度计或红外扫描方法进行较大范围的预测，了解保温结构表面的均匀状态，以便确定有代表性的区域。

#### 5.4.2 测点的布置

##### 5.4.2.1 设备

- a) 对圆筒形设备，应分别在筒体、封头或顶盖布置测点。  
 b) 对平壁设备，应在壁面上划分若干正交网络，在网络上布置测点。通常纵横间隔取为 1.5m~2m，对于高温部分可适当增加测点数量。

##### 5.4.2.2 管道

- a) 在热力管道上选择具有代表性的管段作为测试区，每个测试区段根据其长度及管道走向选择一定数量的测试截面，测试截面间隔 1m~2m 均匀布置，其中 1 个测试截面应布置在弯头处。当测试区段外表面温度较高时，应适当增加测试截面的数量。  
 b) 在每个测试截面上应根据管道直径大小沿管道外表周长均匀布置一定数量的测点，通常在测试截面上布置 3~4 个测点，对于外径较大的管道或外表面温度较高的管道可适当增加测点数量。

##### 5.4.2.3 其他

三级测试可根据需要适当减少测点。

## 5.5 现场测试条件

### 5.5.1 工况条件如下：

- a) 新建或改造保温工程竣工后的热态考核测试应在机组稳定运行 360h 后进行；
- b) 应在机组负荷为额定负荷的 85% 以上，且运行基本稳定 1h 后进行测试。

### 5.5.2 应排除或减少外界因素对测试的影响，原则上测试应满足一维稳定传热条件：

- a) 室外测试应选择在阴天或夜间进行，应避免日光直接照射或周围其他热源的辐射影响，如不能满足时，必须加遮阳装置，且稳定 0.5h 后再测试；
- b) 室外测试应避免在雨、雪天气条件下进行；
- c) 应在风速不大于 0.5m/s 的条件下进行测试，如不能满足时，必须增加避风装置，且稳定 1h 后再测试；
- d) 室内测试应避免照明灯光直射，如不能满足时，应采取关灯或加遮挡装置，且稳定 0.5h 后再测试。

5.5.3 环境温度、风速应在距离被测位置 1m 处测得，应避免其他热源的影响。

5.5.4 其他条件应满足所用测试方法的要求。

## 5.6 同步测试

一种方法中的各参数测试必须同步进行，必要时应进行预备测试。

## 6 测试方法

### 6.1 表面温度的测试方法

#### 6.1.1 热电偶法

6.1.1.1 将热电偶直接紧密地贴敷在保温结构外表面进行测量，热电偶丝直径应不大于 0.4mm，并应有漆、丝或塑料绝缘。这是测试保温结构外表面温度的基本方法。

6.1.1.2 测量时，热电偶与被测表面必须保持良好的热接触。可按以下两种方法进行贴敷：

- a) 先将热电偶丝焊在一块导热性能良好的金属集热块或片上，再整体贴敷到被测表面上，以减少被测表面与热电偶结点之间的热阻，见图 1 (a)；
  - b) 将热电偶焊在或埋在专门开的小槽里，以减少外部气流对热电偶的影响，见图 1 (b)。
- 热电偶丝沿等温面紧密接触的长度应不小于 100mm。



图 1 热电偶测表面温度时的安装示意

#### 6.1.2 表面温度计法

6.1.2.1 将热电偶式、热电阻式等各类表面温度计的传感器直接与保温结构外表面接触进行测量。这是测试保温结构外表面温度的常用方法。

6.1.2.2 测量时，必须保证传感器与被测表面紧密接触。

6.1.2.3 为了保证测试的准确度，减少对保温结构表面温度场的干扰，必要时应与 6.1.1 的方法进行对比。

#### 6.1.3 红外辐射温度计法

6.1.3.1 用红外辐射温度计瞄准被测保温结构外表面以测量其表面温度。这是测试无法接触到的远距离的保温结构外表面温度的一种方法，这种方法容易受到物体表面热发射率和周围环境温度的影响，测量

误差较大。在一、二级测试中只能作为 6.1.1、6.1.2 方法的补充和参考。

6.1.3.2 测试时，应正确确定被测物体表面的发射率，并选择合适的距离和发射角，一般发射角不宜大于 45°。对于外护层反射力强的被测物体表面，应选择能避开反射的最佳方向测试。

6.1.3.3 在测试现场正确获得被测表面的发射率，常用以下两种方法：

- a) 测试之前，首先从有关说明书或参见附录 B 查出被测表面的发射率值；
- b) 用 6.1.2 的方法测出表面的真实温度，调节红外辐射温度计上的发射率修正机构，使指示值与真实温度相符，此时发射率修正值即为该表面的发射率。

#### 6.1.4 红外热像法

6.1.4.1 用红外热像仪对被测保温结构外表面进行扫描，获取热谱图，以反映出保温结构外表面温度场的分布。这种方法一般用于对被测保温结构外表面温度场分布的分析，宜在普查或远距离测量时使用。其优点是快速、直观和方便，但与 6.1.3 方法一样，其测量值易受到物体表面的发射率和周围环境温度的影响。

6.1.4.2 在现场测试时，应注意对于外护层反射力强的被测物体，用红外热像仪测出的温度不仅反映了被测物体本身的温度，还包括该物体反射的其他热量。

### 6.2 表面散热损失的测试方法

#### 6.2.1 热流计法

##### 6.2.1.1 方法

将热流计的传感器埋设在保温结构内或贴敷在保温结构外表面，可直接测量得到散热损失数值。这种方法是测试保温结构表面散热损失最常用的方法。

##### 6.2.1.2 测试仪器

- a) 热流传感器：见 3.9，它是利用在具有确定热阻的板材上产生温差来测量通过它本身的热流密度的装置，其输出电势与通过传感器的热流密度成正比。热流传感器的标定应按 GB/T 10295 的方法进行。
- b) 测量指示仪表：用于读取热流传感器的输出，其准确度应与所选用热流传感器的准确度相匹配，必要时可选用累积式仪表、记录式仪表或数据采集仪。

##### 6.2.1.3 材料

- a) 附着材料：如压敏胶带、凡士林等材料，可将热流传感器固定在被测表面。
- b) 热接触材料：如双面胶纸、导热硅脂等材料，可使被测表面和所用热流传感器之间保持良好的接触。
- c) 表面材料：如涂料、薄膜或箔等材料，可用于调整热流传感器表面的发射率，并与被测表面的热辐射性能相匹配。

##### 6.2.1.4 热流传感器的安装

- a) 安装前应清洁被测表面，保证热流传感器与其附着的保温结构外表面有良好的热接触。
- b) 安装热流传感器时，可用双面胶纸、导热硅脂或其他适当的方法使其附着于保温结构外表面，应选择外表面平滑处贴紧、贴平。同时应避免热流传感器过分弯曲，以免损坏内部的测温元件。
- c) 为了避免辐射的影响，应在传感器表面贴附涂料、薄膜或箔等表面材料，尽可能使热流传感器表面的发射率与被测表面的发射率一致。
- d) 应注意风向的影响，避免把热流传感器贴在迎风面。

##### 6.2.1.5 测定步骤

- a) 在保温设备及管道上选择适当的测量区域，并按 6.2.1.4 所述的方法正确安装热流传感器。如果条件许可，更理想的测试方法是与热流计配合使用：先用红外热像仪对被测保温结构外表面进行扫描，获取热谱图，找出等温区域（热谱图上同一颜色的区域），然后在每一区域中找适当的点安装热流传感器。

- b) 将热流传感器连接到测量指示仪表或累积式仪表上, 当达到亚稳态时读取数据。  
c) 测量靠近热流传感器的气象参数, 如环境温度、风速等, 以便于测试结果的综合分析。

#### 6.2.1.6 数据读取

- a) 采用适当的测量指示仪表显示热流传感器的输出, 按 3.10 给出的要求判定是否达到亚稳态, 然后读取数据。  
b) 由于测试工况和环境条件的变化, 输出的数据会有波动, 则应取波动范围内的平均值。必要时可使用累积式仪表、记录式仪表或数据采集仪, 分析数据变化状况, 取累积平均值。  
c) 热流密度分布不均匀时, 应取多个位置读取数据, 以全面反映保温结构的散热损失状况。

### 6.2.2 表面温度法

#### 6.2.2.1 方法

测试保温结构的表面温度, 并根据环境温度、风速、保温结构的表面发射率以及保温结构的外形尺寸等参数, 按照传热学理论计算出散热损失数值。

#### 6.2.2.2 测定步骤

- a) 在保温设备和管道上选择适当的测试段及测点, 用热电偶或表面温度计测试保温层的表面温度。  
b) 用温度计在被测物 1m 以外测试环境温度, 必要时可在温度计的感温部位包覆通风的铝箔屏蔽套, 以防止其他热辐射源的影响。环境温度的测试应与表面温度测试同步进行。  
c) 在进行表面温度测量的同时, 用风速计测量风速, 并确定风向。  
d) 测量保温设备及管道的外形尺寸。

#### 6.2.2.3 表面温度的数据读取

- a) 每个测点应稳定 3min~5min, 即达到热平衡后读取数据。  
b) 每个测点应测量记录 3 次, 按算术平均法求取平均值。

#### 6.2.2.4 散热热流密度的计算

根据被测物的表面温度、环境温度及表面换热系数, 按式 (3) 计算散热热流密度  $q$ :

$$q = \alpha(T_w - T_F) \quad (3)$$

式中:

$q$ ——热流密度,  $W/m^2$ ;

$T_w$ ——表面温度, K;

$T_F$ ——环境温度, K;

$\alpha$ ——表面换热系数, 见 6.2.2.5,  $W/(m^2 \cdot K)$ 。

#### 6.2.2.5 表面换热系数的计算

对于二、三级测试, 可用下列方法计算表面换热系数。

- a) 对于室内布置的热力设备及管道, 在没有外界风力影响时, 可按式 (4)、式 (5) 计算表面换热系数  $\alpha$ :

$$1) \text{ 对平壁为: } \alpha = 9.77 + 0.07(T_w - T_F) \quad (4)$$

$$2) \text{ 对圆筒壁为: } \alpha = 9.42 + 0.05(T_w - T_F) \quad (5)$$

- b) 对于露天布置的热力设备及管道, 可按式 (6) 计算表面换热系数  $\alpha$ :

$$\alpha = 11.63 + 7.0\sqrt{w} \quad (6)$$

式中:

$w$ ——风速, m/s。

对于一级测试, 表面换热系数  $\alpha$  的计算见 GB/T 18021—2000 的附录 A。

### 6.2.3 热平衡 (焓差) 法

#### 6.2.3.1 设备散热损失

可参照 GB/T 2588 用热平衡方法通过测量和计算得到保温结构表面散热损失值。按式 (7) 计算:

$$Q_{ss}=Q_{gl}(100-\eta)/100 \quad (7)$$

式中:

$Q_{ss}$ ——损失能量, J;

$Q_{gl}$ ——供给能量, J;

$\eta$ ——设备热效率, 对于连续工作的设备, 设备热效率是指热稳定工况下的热效率, %。

### 6.2.3.2 管道散热损失

可用焓差法通过测量和计算得到保温结构的表面散热损失数值。焓差法是测量管道散热损失方法中最直接可靠的方法, 这种方法要求管道具有一定的长度, 且无旁路、无泄漏, 同时须在管道上装有测定温度、压力和流量的仪表。可按式(8)计算:

$$q_1 = \frac{q_m}{L} (h_1 - h_2) \quad (8)$$

式中:

$q_1$ ——单位管长的散热损失, W/m;

$q_m$ ——质量流量, kg/s;

$L$ ——管道长度, m;

$h_1$ ——入口处介质的比焓值, J/kg;

$h_2$ ——出口处介质的比焓值, J/kg。

通常可由测得的进出口介质的温度和压力查得比焓值。

### 6.2.4 温差法

通过测试保温结构内、外表面温度、保温结构厚度以及保温结构在使用温度下的传热性能, 按照传热学理论计算出散热损失数值的方法。

a) 对单层平壁按式(9)计算:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) \quad (9)$$

b) 对单层圆筒按式(10)计算:

$$q = \frac{2\lambda}{d_2} \times \frac{(t_1 - t_2)}{\ln(d_2/d_1)} \quad (10)$$

式中:

$q$ ——热流密度, W/m<sup>2</sup>;

$\lambda$ ——保温材料的导热系数, W/(m·K);

$t_1$ ——保温结构内表面温度, K;

$t_2$ ——保温结构外表面温度, K;

$\delta$ ——平壁保温结构厚度, m;

$d_1$ ——圆筒保温结构内径, m;

$d_2$ ——圆筒保温结构外径, m。

对于多层复合材料保温, 可推导出相应的计算公式。

计算时需要知道保温材料在热态运行工况下的实际导热系数以及保温层内壁面的温度, 因此限制了温差法的应用。

## 7 数据处理

### 7.1 测试数据处理

#### 7.1.1 管道

管道保温结构的表面温度和散热损失均按求算术平均值的方法处理, 即按式(11)计算:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_{n-1} + x_n}{n} \quad (11)$$

式中:

$\bar{X}$ ——管道保温结构的表面温度或管道保温结构的散热损失,  $^{\circ}\text{C}$ 或  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$n$ ——测点数, 个;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ ——管道各段的表面温度值或管道各段的表面散热流密度,  $^{\circ}\text{C}$ 或  $\text{W}/\text{m}^2$ 。

当用表面温度法测试散热损失时, 可从平均表面温度计算出表面散热损失值。

### 7.1.2 设备

设备保温结构的表面温度和散热损失均按求表面积加权平均值的方法处理, 即按式(12)计算:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{x_1 A_1 + x_2 A_2 + \cdots + x_{n-1} A_{n-1} + x_n A_n}{A_1 + A_2 + \cdots + A_{n-1} + A_n} \quad (12)$$

式中:

$A_1, A_2, \dots, A_n$ ——各区域面积,  $\text{m}^2$ 。

### 7.2 不同环境温度下测试值的换算

对于常年或季节运行的设备、管道及其附件, 应将测试环境温度下的测试值换算到常年或季节运行时平均环境温度下的对应值。按式(13)换算:

$$q' = q \left( \frac{T'_1 - T'_m}{T_1 - T_m} \right) \quad (13)$$

式中:

$q'$ ——换算后的散热损失,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$q$ ——测试的散热损失,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$T'_1$ ——常年运行、季节运行或设计所取的保温结构外表面平均温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_1$ ——测试时保温结构的外表面温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T'_m$ ——常年运行、季节运行或设计所取的平均环境温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_m$ ——测试时当地的环境温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

### 7.3 单位长度散热损失的换算

对于管道可将单位面积散热损失换算成单位长度的散热损失值, 按式(14)换算:

$$q_l = q_s \pi D \quad (14)$$

式中:

$q_l$ ——单位管长的散热损失,  $\text{W}/\text{m}$ ;

$q_s$ ——单位面积的散热损失,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$D$ ——保温结构外径,  $\text{m}$ 。

### 7.4 当量长度的计算

带有接头法兰、阀门、支架和吊架等附件的管道, 应按式(15)采用当量长度来确定热损失:

$$L_d = K_n L + l \quad (15)$$

式中:

$L_d$ ——计算热损失时管道的当量长度,  $\text{m}$ ;

$L$ ——管道的实际长度,  $\text{m}$ ;

$l$ ——管道附件的当量长度, 一般一个法兰相当于  $1\text{m} \sim 1.5\text{m}$ , 阀门当量长度见表 2,  $\text{m}$ ;

$K_n$ ——支吊架修正系数, 见表 3。

现场测试中，如果对这些附件和支吊架缺乏统计数字，则当量长度可按下列原则考虑，室内管道为实际长度的1.2倍，室外管道为1.2倍~1.25倍。

表2 每个阀门当量长度

管径 DN mm	室 内		室 外	
	管内流体温度, $t_f=100$ ℃	管内流体温度, $t_f=400$ ℃	管内流体温度, $t_f=100$ ℃	管内流体温度, $t_f=400$ ℃
100	2.3m	4.8m	4.5m	6.2m
500	3m	7.5m	5.5m	8.5m

注：对于中间值可用内插法求取

表3 支吊架修正系数  $K_a$ 

型 式	室 内	室 外
吊架	1.10	1.15
支架	1.15	1.20

## 8 误差

### 8.1 测试误差的来源

#### 8.1.1 测试方法引起的误差

- a) 按表面温度法测试产生误差的主要因素有：
- 1) 实际测试条件与本标准规定条件的偏差；
  - 2) 计算散热损失时，表面换热系数 $\alpha$ 值的计算误差。
- b) 按热流计法测试产生误差的主要因素有：
- 1) 实际测试时传热状况与一维稳定传热有差别；
  - 2) 热流传感器原始标定条件与测试条件不一致。

#### 8.1.2 仪器引起的误差

本标准采用的表面温度计、热流计、风速计等仪器有不同的尺寸、形状、灵敏度和结构，应根据已有的经验、制造厂商的推荐和其他信息来仔细选择测试仪器。测试误差在很大程度上取决于仪器的正确选择、准确度、校验标定、安装技术和数据采集技术。

## 8.2 测试误差要求

8.2.1 一级测试应对所测的各项参数做出误差分析，对测试结果作综合误差分析；要求测试结果综合误差不超过15%，重复测试误差不超过5%。

8.2.2 二级测试应作误差估计；要求测试结果的综合误差不超过20%，重复测试误差不超过8%。

8.2.3 三级测试可以不作误差分析或误差估计，但重复测试误差不超过10%。

## 9 保温效果评价

### 9.1 验收指标

#### 9.1.1 热力设备、管道及其附件保温结构的外表面温度

当环境温度不高于25℃时，热力设备、管道及其附件的保温结构外表面温度不应超过50℃；当环境温度高于25℃时，保温结构外表面温度与环境温度的温差应不大于25℃。

#### 9.1.2 热力设备、管道及其附件保温结构的散热损失

热力设备、管道及其附件保温后的允许最大散热损失见表4。

表 4 保温结构外表面允许最大散热损失值

设备、管道及其附件内介质温度 ℃	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
常年运行工况允许最大散热损失 W/m <sup>2</sup>	58	93	116	140	163	186	209	215	244	262	279	296	314
季节运行工况允许最大散热损失 W/m <sup>2</sup>	116	163	203	244	279	302	—	—	—	—	—	—	—

## 9.2 保温效果的分析评价

### 9.2.1 评价依据

同时满足 9.1.1 和 9.1.2 的规定，其保温工程方可视为验收合格。

### 9.2.2 保温工程质量评价

保温工程质量评价包括下列内容：

- a) 保温材料使用的合理性；
- b) 保温层的计算经济厚度与实际厚度的差异；
- c) 保温层厚度的均匀性；
- d) 保温材料制品缝隙处理的严密性；
- e) 保护层形式的可靠性以及外观质量；
- f) 保温结构膨胀缝的处理情况；
- g) 保温结构对热力设备、管道及其附件安全、可靠运行的影响；
- h) 保温工程施工的综合质量评价。

### 9.2.3 机组节能降耗评价

- a) 保温工程的散热损失和外表面温度的测试结果与分析。
- b) 计算保温工程的总散热量，分析评价节能降耗的建议与措施。

### 9.2.4 工程投资经济性评价

- a) 按 DL/T 5072 规定的方法，计算保温工程的经济厚度，与实际使用值相比较，分析工程设计的合理性和经济性。
- b) 按实测得到的散热损失值按式 (9) 和式 (10) 推算出保温材料的表观导热系数值，与保温材料制造厂家提供的数据对比，分析工程选材的合理性、施工质量的好坏和运行维护措施是否得当。

### 9.2.5 其他

三级测试可根据需要适当选择评价项目。

## 10 测试报告

测试报告一般包括下列内容：

- a) 保温工程概况。
- b) 测试概况：主要包括测试目的、测试体系、测试标准及测试对象等。
- c) 测试参数、方法与测点布置（必要时应附图）。
- d) 测试数据处理及计算（测试数据记录表可参见附录 C）。
- e) 测试误差分析（必要时分析）。
- f) 保温效果的分析与评价。
- g) 结论及建议。
- h) 其他。

附录 A  
(资料性附录)  
部分城市室外气象参数

部分城市室外气象参数见表 A.1。

表 A.1 部分城市室外气象参数

地名	年平均大气压力 hPa	年平均温度 ℃	最热月平均温度 ℃	极端温度平均值 ℃		室外风速平均值 m/s		最热月平均相对湿度 %	
				最低	最高	冬季	夏季		
北京	1009.5	11.4	25.8	-17.1	37.1	2.8	1.9	78	
天津	1015.7	12.2	26.4	-14.7	37.1	3.1	2.6	78	
上海	1015.2	15.7	27.8	-6.7	36.6	3.1	3.2	83	
重庆	982.2	18.3	28.6	0.2	39.1	1.2	1.4	75	
河北省	承德	971.4	8.9	24.4	-21.3	36.0	1.4	1.1	72
	唐山	1012.8	11.1	25.5	-17.8	36.3	2.6	2.3	79
	保定	1013.7	12.3	26.6	-16.8	38.9	2.1	2.1	76
	石家庄	1006.3	12.9	26.6	-16.6	39.2	1.8	1.5	75
山西省	大同	893.9	6.5	21.8	-25.1	34.5	3.0	3.4	66
	阳泉	929.5	10.8	24.0	-15.3	36.2	2.4	1.5	71
	太原	926.1	9.5	23.5	-21.4	35.2	2.6	2.1	72
	运城	972.5	13.6	27.3	-14.7	39.2	2.6	3.4	69
内蒙古	海拉尔	941.4	-2.1	19.6	-41.2	33.2	2.6	3.2	71
	通辽	993.6	6.0	23.9	-27.7	35.8	3.4	3.1	73
	赤峰	947.9	6.8	23.5	-25.9	36.1	2.4	2.1	65
	呼和浩特	895.2	5.8	21.9	-27	34.1	1.6	1.5	64
辽宁省	阜新	998.6	7.5	24.2	-24.6	35.3	2.3	2.1	59
	抚顺	1001.5	6.6	23.7	-30.7	34.3	2.8	2.6	80
	沈阳	1010.8	7.8	24.6	-26.8	34.0	3.1	2.9	78
	锦州	1007.8	9.0	24.3	-21.4	34.6	3.9	3.8	80
	丹东	1014.5	8.5	23.2	-21.4	32.2	3.8	2.5	86
	大连	1004.3	10.2	23.9	-16.2	31.5	5.8	4.3	83
吉林省	吉林	993.4	4.4	22.9	-35.0	33.7	3.0	2.5	79
	长春	986.0	4.9	23.0	-30.2	33.8	4.2	3.5	78
	四平	995.2	5.9	23.6	-29.3	33.5	3.1	2.9	78
	通化	967.6	4.9	22.2	-32.8	32.5	1.3	1.7	80

表 A.1 (续)

地 名	年平均大气 压力 hPa	年平均 温度 ℃	最热月平均 温度 ℃	极端温度平均值 ℃		室外风速平均值 m/s		最热月 平均相 对湿度 %	
				最低	最高	冬季	夏季		
黑龙 江省	齐齐哈尔	996.2	3.2	22.8	-32.6	35.2	2.8	3.2	73
	佳木斯	1003.5	2.9	22.0	-34.6	33.8	3.4	3.0	78
	哈尔滨	993.3	3.6	22.8	-33.4	34.2	3.8	3.5	77
	牡丹江	985.4	3.5	22.0	-33.1	34.3	2.3	2.1	76
江 苏 省	连云港	1015.7	14.0	26.8	-12.3	36.9	3.0	3.0	81
	徐州	1011.3	14.2	27.0	-11.7	37.8	2.8	2.9	81
	淮阴	1014.0	14.0	26.9	-12.4	36.7	3.6	3.2	85
	南通	1015.3	15.0	27.3	-7.5	35.5	3.3	3.1	86
	南京	1014.6	15.3	28.0	-8.6	37.4	2.6	2.6	81
浙 江 省	杭州	1010.7	16.2	28.6	-6.0	37.8	2.3	2.2	80
	宁波	1015.6	16.2	28.1	-6.2	36.9	2.9	2.9	83
	金华	1008.3	17.3	29.4	-5.8	38.4	3.0	2.4	74
	温州	1014.5	17.9	27.9	-2.4	36.4	2.2	2.1	84
安 徽 省	蚌埠	1013.2	15.1	28.1	-10.7	38.3	2.6	2.3	80
	合肥	1011.6	15.7	28.3	-9.4	37.6	2.5	2.6	81
	芜湖	1013.4	16.0	28.7	-7.8	37.4	2.4	2.3	80
	安庆	1013.3	16.5	28.8	-6.9	37.6	3.5	2.8	79
福 建 省	福州	1004.5	19.6	28.8	0.9	37.7	2.7	2.9	78
	上杭	990.6	19.9	27.9	-2.0	37.6	2.8	2.0	77
	漳州	1010.3	21.0	28.7	1.3	37.6	1.6	1.6	80
	厦门	1006.5	20.9	28.4	4.1	36.4	3.5	3.0	81
江 西 省	九江	1011.4	17.0	29.4	-5.6	38.2	3.0	2.4	76
	景德镇	1007.9	17.0	28.7	-7.4	38.5	2.0	2.0	79
	南昌	1009.0	17.5	29.6	-5.0	38.1	3.8	2.7	75
	赣州	999.6	19.4	29.5	-2.5	38.2	2.1	2.0	70
山 东 省	烟台	1011.0	12.4	25.2	-10.4	35.2	3.3	4.8	80
	德州	1013.5	12.9	26.9	-16.5	38.9	2.8	2.0	76
	潍坊	1010.2	12.3	25.0	-15.4	38.0	3.5	3.2	81
	济南	1009.4	14.2	27.4	-13.7	38.6	3.2	2.8	73
	青岛	1007.1	12.2	25.1	-10.2	32.6	5.7	4.9	85
	菏泽	1009.8	13.6	27.0	-13.1	38.5	2.8	2.4	79

表 A.1 (续)

地 名	年平均大气 压力 hPa	年平均 温度 ℃	最热月平均 温度 ℃	极端温度平均值 ℃		室外风速平均值 m/s		最热月 平均相 对湿度 %	
				最低	最高	冬季	夏季		
河南省	安阳	1006.6	13.6	26.9	-14.3	39.5	2.4	2.3	78
	新乡	1006.8	14.0	27.1	-12.4	39.0	2.7	2.3	78
	郑州	1002.3	14.2	27.3	-12.5	39.7	3.4	2.6	76
	洛阳	998.2	14.6	27.5	-11.3	40.2	2.5	2.1	75
	平顶山	1005.6	14.9	27.7	-10.7	39.6	3.3	2.5	78
	信阳	1001.7	15.1	27.7	-10.9	37.6	2.1	2.1	80
湖北省	宜昌	999.6	16.8	28.2	-4.3	38.6	1.6	1.7	80
	武汉	1012.5	16.3	28.8	-9.1	37.4	2.7	2.6	79
	江陵	1011.0	16.1	28.1	-6.8	36.7	2.5	2.3	83
	黄石	1012.5	17.0	29.2	-6.4	38.3	2.1	2.2	78
湖南省	岳阳	1007.0	17.0	29.2	-6.0	36.6	2.8	3.1	75
	长沙	1009.7	17.2	29.3	-5.4	38.2	2.8	2.6	75
	邵阳	985.8	17.1	28.5	-4.5	37.4	1.5	1.6	75
	衡阳	1002.6	17.9	29.8	-3.8	38.8	1.7	2.3	71
广东省	郴州	993.2	17.8	29.2	-4.7	38.3	1.5	1.9	70
	韶关	1005.5	20.3	29.1	-1.2	38.3	1.8	1.5	75
	汕头	1012.7	21.3	28.2	2.9	35.4	2.9	2.5	84
	广州	1012.0	21.8	28.4	1.9	36.3	2.4	1.8	83
海南省	湛江	1008.2	23.1	28.9	5.2	36.2	3.5	2.9	81
广西省	海口	1009.2	23.8	28.4	7.0	36.4	3.4	2.8	83
	桂林	994.5	18.8	28.3	-1.8	37.0	3.2	1.5	78
	柳州	1001.6	20.4	28.8	0.1	37.6	1.7	1.4	78
	南宁	1003.7	21.6	28.3	2.0	37.3	1.8	1.6	82
四川省	北海	1009.8	22.6	28.7	4.3	34.9	3.6	2.8	83
	南充	978.3	17.6	27.9	-0.9	38.2	0.8	1.1	74
	成都	955.5	16.2	25.6	-3.1	34.7	0.9	1.1	85
	宜宾	973.5	18.0	26.9	0.6	37.1	0.8	1.3	82
贵州省	西昌	836.5	17.0	22.6	-2.0	33.8	1.7	1.2	75
	遵义	917.5	15.2	25.3	-4.3	35.3	1.0	1.1	77
	毕节	847.4	12.8	21.8	-5.7	32.4	0.9	1.1	78
	贵阳	892.7	15.3	24.0	-4.6	33.2	2.2	2.0	77
	安顺	859.1	14.0	21.9	-5.1	30.9	2.4	2.2	82

表 A.1 (续)

地 名		年平均大气 压力 hPa	年平均 温度 ℃	最热月平均 温度 ℃	极端温度平均值 ℃		室外风速平均值 m/s		最热月 平均相 对湿度 %
					最低	最高	冬季	夏季	
云 南 省	昭通	803.4	11.6	19.8	-8.2	31.0	2.9	1.9	78
	丽江	761.9	12.6	18.0	-6.0	28.7	3.9	2.2	81
	昆明	809.8	14.7	19.8	-2.9	29.5	2.5	1.8	83
	景洪	947.2	21.8	25.6	5.8	38.0	0.4	0.7	76
西 藏	那曲	586.5	-1.9	8.8	-32.2	19.8	3.3	2.4	71
	拉萨	651.2	7.5	15.1	-14.8	26.0	2.2	1.8	54
	日喀则	644.7	6.3	14.1	-19.0	26.0	1.9	1.5	53
陕 西 省	延安	906.8	9.4	22.9	-20.3	36.0	2.1	1.6	72
	宝鸡	944.6	12.9	25.5	-10.6	37.8	1.0	1.4	70
	西安	969.0	13.3	26.6	-11.8	39.4	1.8	2.2	72
	汉中	955.8	14.3	25.6	-6.7	35.9	0.9	1.1	81
甘 肃 省	敦煌	886.5	9.3	24.7	-22.9	38.6	2.1	2.2	43
	兰州	847.3	9.1	22.2	-18.0	35.2	0.5	1.3	61
	天水	886.4	10.7	22.6	-13.4	34.1	1.3	1.2	72
青 海 省	西宁	774.3	5.7	17.2	-20.5	30.6	1.7	1.9	65
	格尔木	723.8	4.2	17.6	-25.7	31.4	2.6	3.5	36
	玉树	649.0	2.9	12.5	-23.4	25.6	1.2	0.9	69
宁 夏	银川	889.6	8.5	23.4	-22.5	35.1	1.7	1.7	64
	吴忠	887.8	8.8	22.9	-21.0	35.1	3.2	2.3	65
	固原	823.8	6.2	18.9	-23.1	31.1	2.8	2.7	71
新 疆	克拉玛依	969.8	8.0	27.4	-30.0	40.4	1.5	5.1	32
	乌鲁木齐	913.3	5.7	23.5	-29.7	38.4	1.7	3.1	44
	吐鲁番	1013.1	13.9	32.7	-20.1	45.5	1.0	2.3	31
	和田	861.8	12.2	25.5	-16.3	38.5	1.6	2.3	40
台北		1012.5	22.1	28.6	4.8	36.9	3.7	2.8	77
香港		1012.6	22.8	28.6	5.6	34.4	6.5	5.3	81

注：本表摘自 GB 50264—1997《工业设备及管道绝热工程设计规范》

**附录 B**  
(资料性附录)  
**常用材料发射率参考值**

常用材料发射率参考值见表 B.1。

**表 B.1 常用材料发射率参考值**

材料类别和表面状态	温 度 ℃	发射率近似值	材料类别和表面状态	温 度 ℃	发射率近似值
抛光的铝	50~500	0.04~0.06	玻璃(面)	23	0.94
严重氧化的铝	50~500	0.20~0.30	白色漆	100	0.92
轻度氧化的铝	25~600	0.10~0.20	本色黑漆	100	0.97
磨光的铜	20	0.03	各种颜色的油漆	100	0.92~0.96
氧化的铜	50	0.6~0.7	白色涂料	0~100	0.95~0.925
磨光的黄铜	38	0.05	黑色涂料	80~100	0.95~0.97
无光泽的黄铜	38~350	0.22	灰色涂料	0~100	0.95
抛光生铁	0~38	0.16	碳化硅涂料	1010~1400	0.82~0.92
生铁铸件	50	0.81	油毛毡	20	0.93
轧制后被氧化的钢板	0~50	0.56~0.66	石棉板	25~30	0.94~0.96
镀锌的铁皮	38	0.23	水泥	20~30	0.92~0.93
粗钢板	0~38	0.94	混凝土	20	0.92
粗钢板	121~538	0.95~0.98	沥青	25~30	0.95
有光滑氧化层表皮的钢板	20	0.82	粗糙红砖	20	0.88~0.93
有粗糙氧化层的钢板	20~40	0.80	抹灰的墙	20	0.94
磨光的铁	400~1000	0.14~0.38	锅炉炉渣	0~1000	0.97~0.70
磨光的铬	150	0.058	耐火砖	500~1000	0.8~0.9
镍铬合金	52~1034	0.64~0.76	纤维	93	0.93
灰色、氧化的铅	38	0.28	水(厚度大于0.1mm)	0~100	0.95~0.96
磨光的金	200~600	0.02~0.03	人的皮肤	32	0.98
磨光的银	200~600	0.02~0.03	纸	0~100	0.80~0.95

**附录 C**  
(资料性附录)  
**保温测试记录表**

保温测试记录表见表 C.1。

**表 C.1 保温测试记录表**

电厂名称: \_\_\_\_\_

机组名称: \_\_\_\_\_

序号	被测设备名称及测点位置	散热损失 W/m <sup>2</sup>	表面温度 ℃	环境温度 ℃	风速/风向 m/s	热谱图 编号	可见光照 片编号	等温区域 尺寸	测试 时间	气象 条件
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

测试日期:

测试人员:

校核人员:

\_\_\_\_\_