

中华人民共和国国家标准

GB/T xxxxx. 1—XXXX

制冷基本参数标准测量方法 第1部分 温度测量

Standard measurement method of refrigeration basic parameters

Part 1: temperature measurement

(报批稿)

20241028

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

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 通则	2
5 要求	3
6 仪器	7
7 温度的测量方法	7
8 不确定度分析	7
9 试验报告	8
附录 A (资料性) 温度的测量方法	9
附录 B (资料性) 铂电阻温度测量不确定度评估的例子	13
附录 C (资料性) 热电偶温度测量不确定度评估的例子	16

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。

GB/T XXXXX 是制冷基本参数标准测量方法的系列标准，拟分为以下11个部分：

- 第1部分：温度测量；
- 第2部分：风速和气流测量
- 第3部分：压力测量
- 第4部分：液体制冷剂含油量测量
- 第5部分：实验数据工程分析
- 第6部分：湿度测量
- 第7部分：气体流量测量
- 第8部分：液体流量测量
- 第9部分：制冷剂质量流量测量的量热计法
- 第10部分：制冷剂流量测量的流量计法
- 第11部分：功率测量

本文件是GB/T XXXXX的第1部分。GB/T XXXXX已经发布了以下部分：

- 第1部分：温度测量。

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这些专利的责任。

本文件由中国轻工业联合会提出。

本文件由全国制冷标准化技术委员会（SAC/TC119）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

制冷基本参数标准测量方法 第1部分 温度测量

1 范围

本文件规定了制冷基本参数中温度标准测量方法的通则、要求、仪器、温度的测量方法、不确定度分析和试验报告。

本文件适用于制冷、热泵、空调设备和部件试验的温度测量。

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 6379.1 测量方法与结果的准确度（正确度与精确度）第1部分：总则与定义

GB/T 18517 制冷术语

GB/T 16839.1-2018 热电偶 第1部分：电动势规范和允差

GB/T 27418 测量不确定度评定和表示

3 术语和定义

GB/T 6379.1 和 GB/T 18517 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

真值 true value

测试结果中未知的、无误差的值。

3.2

准确度（精度） accuracy

测试结果（用规定的测试方法所确定的特性值）与真值的一致程度。

注1：术语准确度（精度），当用于一组测试结果时，由随机误差分量和系统误差即偏倚分量组成。

3.3

误差 error

测试结果与真值的差值。

注：实验数据中的所有误差被归类为两种类型：系统误差（固定误差）或随机误差（精确度误差）。准确度和精确度这两个术语经常被用来区分系统误差和随机误差。系统误差小，则测量的准确度高。随机误差小，则测量精确度高。系统误差和随机误差都小，则认为测量是精确的。

3.4

固定误差 fixed error

同系统误差，见3.10。

3.5

精确度 precision

在规定条件下，独立测试结果间的一致程度。

注1：精确度仅仅依赖于随机误差的分布而与真值或规定值无关。

注2：精确度的度量通常以不精确度表达，其量值用测试结果的标准差来表示，精确度越低，标准差越大。

注3：“独立测试结果”指的是对相同或相似的测试对象所得的结果不受以前任何结果的影响。精确度的定量的测量严格依赖于规定的条件，重复性和再现性条件为其中两种极端情况。

3.6

精确度误差 precision error

同随机误差。

3.7

随机误差 random error

在相同的测量条件下，对一个恒定的被测量进行多次重复测量时，误差的大小和正负无规律地变化且无法预知，其读数在平均值的正负方向随机出现的误差。校准不能纠正随机误差。

3.8

灵敏度 sensitivity

仪表对微小变化所显示出的敏感程度，即仪表的指针或指示器的变化与被测量值变化量之间的关系。如果规定了仪表的单个测量单位和该仪表测量的区间，则灵敏度也可表示为这两个量之比。灵敏度高，则意味着仪表对被测量极小变化做出反应的能力相应更强。

3.9

稳态工况 steady-state conditions

包括环境在内的一个系统的运行状态，其中所有重要参数随时间的变化趋势小到规定的程度，对所观察或测量的性能无重要影响（相对于瞬变工况）。

3.10

系统误差 systematic error

持续出现而非完全由偶然因素所引起的误差。系统误差可通过校准进行修正。

3.11

绝热饱和温度 adiabatic saturation temperature

空气的一个状态参数，绝热增湿过程中空气降温的极限。液态或固态水通过蒸发进入空气中，从而使空气达到绝热饱和时的空气温度。

3.12

干球温度 dry-bulb temperature

由无辐射影响的准确的温度计所指示的气体温度。

3.13

湿球温度 wet-bulb temperature

由构造和使用方法均符合规范的湿球温度计所指示的温度。

3.14

传感器 transducer

将一种形式的物理量转变为另一种形式的物理量的装置。在测量领域，传感器能检测不同形式的参量，如电压、电流、功率、压力、温度，把它们转化为常用的输出信号，并为执行控制和记录工作的仪器所用。

3.15

瞬态工况 transient condition

相对于稳态工况而言，系统正在经历变化的状态。例如，恒温器工作的周期性变化过程以及融霜控制启动时系统的状态。

3.16

不确定度 uncertainty

系统误差和随机误差引起的测量误差的估算值。随机误差由统计方法进行处理，系统误差通过校准进行修正，不确定度使用校准结果和通过随机误差来进行计算。

4 通则

4.1 测温仪

温度应采用仪器或仪器系统来测量，该仪器应具有读数装置，其准确度和精确度要求应满足测试方案的要求。热电偶的允差应满足GB/T 16839.1-2018 表12的规定。在一般应用中可使用但不限于下列仪器和方法，使用方法参见附录A。

- a) 玻璃液体温度计
- b) 热电偶
- c) 电阻式温度传感器（铂电阻）
- d) 热敏电阻
- e) 红外测温仪
- f) 半导体温度传感器
- g) 双金属温度计
- h) 压力式温度计
- i) 电机绕组温升测量方法

4.2 响应时间

玻璃液体温度计的响应时间较长，不宜用于瞬态测量。

4.3 分度

在任何情况下，仪器的最小分度不应大于规定精确度的两倍。例如，如果规定的精确度为 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ ，最小分度不应超过 0.1°C 。

4.4 校准

仪器应通过符合国家标准的检定或校准，并能溯源到国家主基准或副基准。应使用修正值以得到所需的准确度。当明确要求准确度优于 $\pm 0.30^\circ\text{C}$ 时，仪器应与按国家标准校准的原级标准器或次级标准器进行比较，或者该仪器本身按相似方法进行校准。应使用所指示的修正值来得到所要求的准确度。在此准确度范围内，宜采用铂电阻温度计或经过单独校准的热电偶或热敏电阻。

4.5 温差准确度

用两个仪器测量小于 5°C 的温差时，应确认各仪器准确度对计算所得温差准确度的影响。例如，在进行 5°C 温差的测量时，如果要求该温差的测量误差不大于1%，则所采用的测温仪的准确度至少应达到 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 。

5 要求

5.1 测量方案

测量方案是一个文档或其他形式的信息文件，应指定所要进行的测量内容和精度。测量方案的来源包括，但不限于：

- (a) 授权进行测量的人或组织；
- (b) 测量方法的标准；
- (c) 评定标准；
- (d) 相关规则或规范。

5.2 需确定的数值

5.2.1 温度， $^\circ\text{C}$

5.2.2 各温度测量的不确定度， $^\circ\text{C}$ ，应采用本部分第8章的方法。

5.3 气流温度的测量

5.3.1 平均温度的测量

测量气流的平均温度时应注意以下情况：

- a) 气流横截面上的温度不均匀性；
- b) 空气速度的不均匀性；
- c) 仪表传感元件周围各表面的温度与周围的空气温度不同时，传感元件发出或接收的热辐射影响；
- d) 仪表的传感元件所处的温度与该环境的空气温度不同时，传感元件与仪表的杆部或引出线之间所传导的热量；

- e) 在增湿或减湿过程正在进行的情况下，空气含湿量的不均匀性；
- f) 对于测量湿球温度的特殊要求，参见本文件第 6 部分《湿空气特性测量》标准的要求。

5.3.2 温度、湿度和速度的不均匀性

可采用适当的混合装置和取样装置减小温度、湿度和速度的不均匀性。典型的混合装置和取样装置如图 1 和图 2 所示。可采用由百叶或导向板所构成的圆形或矩形混合装置，该混合装置的百叶或导向板可对相邻区域的气流产生剪切和相对位移的综合作用。

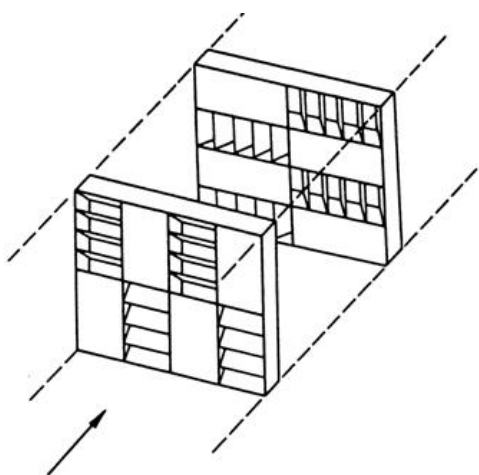


图 1 空气混合装置示意图

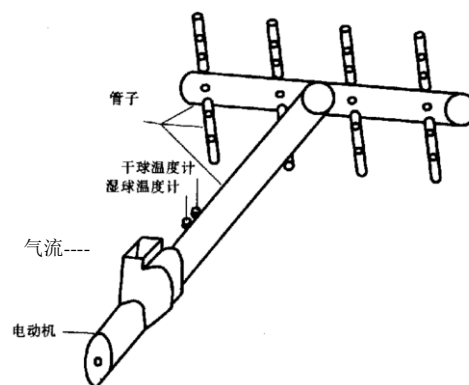


图 2 空气取样装置示意图

5.3.3 孔板式和叶片式混合装置

可采用孔板或插入风道的由气流驱动的螺旋桨式风扇叶片实现气流混合。所有的孔板和风扇叶片型混合器的大小应满足所需的空气流量范围。当螺旋桨式风扇叶片用作空气混合器时，风扇叶片不应由电源驱动，除非风扇的输入功率是可调的。

5.3.4 非瞬态测量取样装置

如果气流存在非均匀速度分布时，取样装置并非混合器的替代装置。若气流速度是均匀的，当使用取样装置测量平均温度时，相较于主气流混合器，采样器的所需空间和风机功率更小。可使用一个小风机吸入空气，使之流过测温仪器。此风机应位于测温仪的下游，防止风机的热量影响温度读数。当在被测设备和气流流量测量装置之间进行空气取样时，有必要把空气样品返还到主气流中，以防止从气流流量测量装置转移出未知数量的空气。

5.3.5 网格小断面中心测量

当气流具有均匀的速度时，应在风管内位于同一横断面上的几个面积相等的小段面的中心测量温度，应采用不少于 4 个这样的小断面。对于矩形风管，应至少采用 9 个小断面，该 9 个小断面应将同一横截面按水平方向 3 等分，按垂直方向 3 等分进行划分。在仅需要测量干球温度的场合，可通过并联或串联连接的热电偶来进行测量。

5.3.6 速度不均小段面的测量中心

仅当各面积相等的小段面的风速相等时，对各中心点测得的温度进行算数平均，方可得出空气温度的正确平均值。速度不均将引入误差。此时应在风管的横截面上，对速度和温度均进行横向分布测量，以确定温度读数的算术平均值是否正确。

5.3.7 辐射误差

当感温元件直接暴露于与气流温度不同的表面时，气流中的温度测量结果由于热辐射而引起误差。在这种情况下，感温元件应进行防辐射屏蔽避免直接暴露。宜采用低辐射率、内表面抛光的金属制作屏蔽罩。屏蔽罩的线性尺寸应至少是传感元件线性尺寸的两倍。用屏蔽和非屏蔽传感元件检查温度，以确定传感元件是否需要屏蔽。宜使用尽可能小的传感元件以减少辐射误差，同时也可改善传感元件的对流传热响应速度。

5.4 液体温度的测量

5.4.1 液体、水、盐水和在使用条件下非挥发性的制冷剂温度宜由插入流体内的传感器来测量，插入的位置宜在弯头、三通连接件或其它混合装置的下游（见图3）。感温元件应直接插入流体中，或嵌入测温套管内再插进管道内。浸没深度应不小于测温套管直径或球部直径的10倍。对于玻璃温度计，仅在为补偿压力的影响而进行校准修正时，才准许其直接插入流体中。

5.4.2 当传感元件插入测温套管时，除非能确保较好地接触，否则应以导热油脂填充测温套管或用焊料把热电偶焊接在测温套管内侧，以获得良好的热接触。为了保证快速的温度响应，测温套管尺寸不应过大，以刚好容许传感元件插入为宜。对需要按照特定浸没深度使用的温度计，测温套管的深度应符合浸没深度的要求。

5.4.3 对于小于5℃的液体温差，应使用经校准的温差热电偶对，或使用精密的铂电阻温度变送器。

5.4.4 在流体中插入两个或两个以上温度仪表来测量流体平均温度，且在同一测量点的任意两个传感器之间的差值大于测量方案的精度要求时，应在上游采取混合措施。

5.5 制冷剂温度的测量

5.5.1 制冷剂气体的温度宜采用将感温元件直接插入到制冷剂气体中、或将感温元件插入测温套管而测温套管再插入气流中的方法来测量。当感温元件插入测温套管内时，除非能确保较好地接触，如用焊料把热电偶焊接在测温套管内侧等，否则应以导热油脂填充测温套管，以获得良好的热接触。应采用直径较小测温套管以减小流体阻力损失。宜将测温套管插入管道中的三通内，且制冷剂在三通内作90°的转向流动。测温套管的深度应考符合感温元件的正常浸没深度要求。

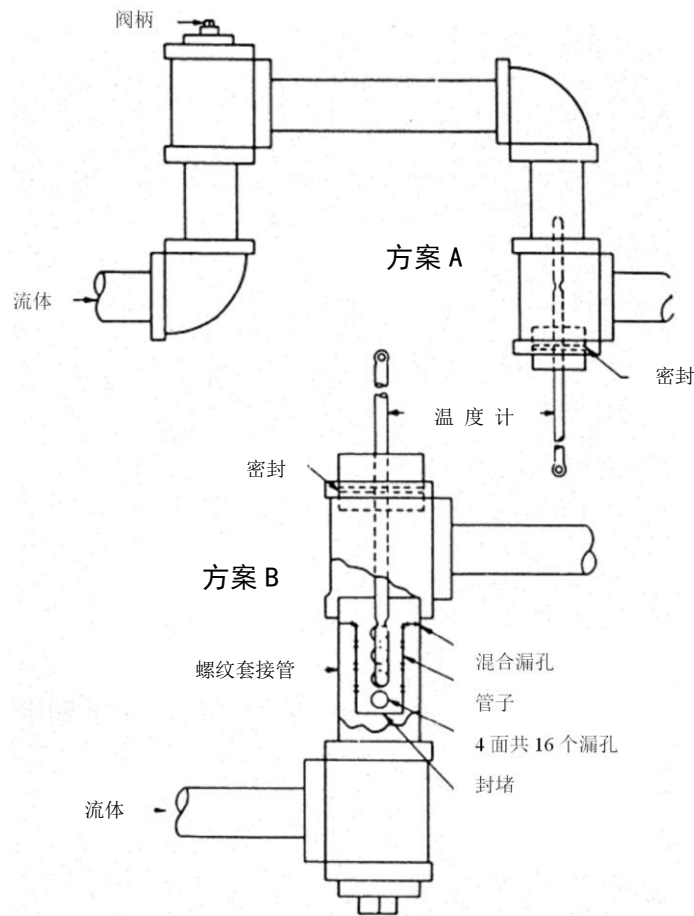


图3 确保液体充分混合的方法示意图

5.5.2 对于测量现场不能插入管道内测量温度、或插入管道会妨碍现场装配部件正常运行的场合，可采用测量金属管道表面温度而非插入管道的方式来测量液体或蒸汽的温度。此时应将温度测量元件的每侧都包覆一层至少延伸 150mm 的绝热材料。

注：此种方法的测量误差可能会大于5.5.1的方法。

5.5.3 应在制冷剂预计处于饱和状态的位置，对照测得制冷剂压力所对应的饱和温度来查验所测量的制冷剂温度。

5.5.4 压力和温度读数应同时读取，以确定制冷剂是处于饱和状态，还是处于过热或过冷状态。

5.5.5 为确保准确使用制冷剂热力参数，应使制冷剂蒸汽的过热度和制冷剂液体的过冷度达到规定的数值。规定这些过热度和过冷度的最小值不属于本文件的范围。

6 仪器

6.1 间接测量

测量分为直接测量和间接测量。直接测量是直接从测量传感器获得数值（例如，液体玻璃温度计）。

间接测量结果是由计算得到的，或者是利用一种或者多种仪器或装置确定的。这种计算可通过数据自动测定或记录装置，在传感器（如温度变送器）层面进行，或者在数据处理时进行。间接测量可以使用直接测量值和其他间接测量值。

6.2 校准

6.2.1 仪表、传感器、记录仪、指示仪和数据采集系统应满足下文各条款中所规定的误差极限。

6.2.2 所有仪器设备的校准应可追溯到国家基准。仪器应按其所适用的规范定期进行重新校准，并保留相关校准记录。所有仪器应以能确保符合其规定误差极限的方式使用。

6.3 电测量

当采用电测量方法进行温度测量时，电测结果（电阻、电压和电流）误差应小于0.1%。当测量方案或者标准测量方法未做规定时，测温结果中由电测装置所产生的总不确定度的占比应小于25%。

6.4 压力测量

压力测量误差应小于 $\pm 1\%$ 。若未使用绝对压力传感器，则压力测量不确定度的计算应计入大气压力修正，以确保获得准确的绝对压力值。

6.5 时间测量

时间测量的误差应不超过所测时间段的0.5%。此准确度应包括与启动和停止测量相关联的任何不确定性误差。

7 温度的测量方法

参见附录A。

8 不确定度分析

8.1

温度测量之后，应进行测量不确定度评定，这也被称为误差分析。可参考GB/T 27418。

8.2

温度测量中的随机误差与仪器读数的解析能力有关。应参考仪器读数的最小分度来评估测量中的随机误差。随机误差的取值应不小于最小分度的一半。

8.3

对于任何间接温度测量的误差传播，均应采用如8.2和8.3所述而确定的仪器不确定度评价的较大者。另一种方法是采用GB/T 27418 中所述更严密的统计学方法来进行随机误差评定。

8.4

两种类型温度测量不确定度评定的举例参见附录 B 和附录 C。

9 测试报告

9.1 测试标识

包括：

- a) 测试的日期，地点，时间和持续时间；
- b) 测试人员。

9.2 被测设备描述

包括:

- a) 项目描述 (如设备名称、型号, 系列号);
- b) 流体类型或制冷剂编号。

9.3 仪器说明

包括:

- a) 仪器类型, 型号或零部件号, 系列号;
- b) 仪器的测量范围;
- c) 说明书给出的、或经校准的准确度 (随机误差);
- d) 校准日期和校准源。

9.4 环境条件

包括:

- a) 环境温度, °C
- b) 大气压, kPa

9.5 测试条件

包括:

- a) 流体压力 (若非环境压力), kPa
- b) 仪器安装说明
- c) 混合装置和取样装置的说明

9.6 测试结果

包括:

- a) 温度值, °C
- b) 温度测量的不确定度, °C

附 录 A

(资料性附录)

温度的测量方法

A. 1 玻璃液体温度计

- A. 1.1 玻璃液体温度计是一种直读式温度仪表。它应放置在能够测量指定位置温度的地方，同时应便于读数。玻璃液体温度计的典型精度等于最小分度的一半。
- A. 1.2 应采取必要预防措施，确保读者者的身体、电灯或其他外来热源的热量不会影响读数。
- A. 1.3 玻璃温度计不应直接插入输送流体的管道内，除非采用了校准修正值以补偿压力的影响。在进行此类测量时，应将玻璃温度计嵌入测温套管内再插入管路中进行测量。
- A. 1.4 玻璃温度计应对浸没深度和玻璃棒周围的环境温度进行修正。即对外露的玻璃棒部分进行修正。
- A. 1.5 玻璃温度计需要有方向校正。例如，倒置在风道中的玻璃温度计的读数可偏高 0.05°C 。
- A. 1.6 同一玻璃温度计宜在两个不同位置交换测温读数，以获取平均温差，且不受温度计校准的影响。
- A. 1.7 玻璃温度计不宜用于瞬态温度测量。

A. 2 热电偶

- A. 2.1 测温热电偶通常为两种不同成分的导线组成的闭合回路。当两端存在温度梯度时，回路中就会有电流通过，此时两端之间就存在电动势——热电动势，这一般称为塞贝克效应 (Seebeck effect)。两种不同成份的均质导线的结合点为热电极，其中一端为工作端，用于温度测量；另一端为参考端，通常处于某个恒定的温度下。根据热电动势与温度的函数关系，制成热电偶分度表；分度表是参考端温度在 0°C 时的条件下得到的，不同的热电偶具有不同的分度表。
- A. 2.2 热电偶在使用中具有很大的灵活性，可远程读数、快速响应和连接电子仪器，适用于连续快速测量多点温度。
- A. 2.3 热电偶应正确地与测量仪表直接连接，或者使用热电偶补偿导线和测量仪表连接。应用合适的电压测量仪表，如电位差计、数字电压表或热电偶多路巡检仪，测量含有一个参考端（或冷端）的热电偶所产生的电压。温度测量的准确度受到包括热电偶各接点、各个开关和补偿导线在内的热电偶回路中的每一个部件的误差的影响。

除非采取措施以消除外加的热偶效应，否则应避免在转换电路中使用不同的金属。可用等温联接接点消除转换线路中的热偶效应。

热电偶的温度测量还要受到电压测量装置所测量的电动势误差的影响。为了得到最高的精度，测量端和参考端之间的热电偶导线不应有接头。由于相同标称成分的导线之间存在制造公差，就有可能在接头处产生测量误差。

A. 2.4 在单独使用热电偶的测试场合，应对照已知参考温度点校核一个或多个有代表性的热电偶来确定测量的准确度。例如，将热电偶置于热水瓶的水浴槽中，其温度设定在有代表性的温度点上，并根据测试方案用铂电阻检查热电偶测量的准确度和精确度是否符合要求。在 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 或更高精度的情况下使用时，热电偶应分别单独校准。另外，宜使用由蒸馏水及其冰块组成的冰水混合物或电子恒温槽在 0°C 下进行校准。冰块应充足并保持搅动，以防止水浴槽底部高于 0°C 的水导致温度分层。

A. 2.5 为获得 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 或更高的准确度，热电偶应与高精度的温度计或标准（如液体恒温槽中的电阻温度计）或与二等标准仪表（如带有观察镜和精密分格的玻璃温度计）单独进行比对。对于整卷的铜-康铜（T型）热电偶线，通常标定线轴上的几个点即可。但是二根偶丝在整个线轴长度上应是均质的。可采用不超过 93°C 的微热源沿着热电偶的长度方向移动，来检查其均匀性。检查时，每次测量一根偶丝，如果在偶丝两端能测量到变化的电动势，则说明偶丝材质不均匀，应废弃不用。

A. 2.6 使用热电偶测量湿球温度，参见本文件的第6部分。

A. 2.7 热电偶由于金属的冷加工和形成结点之后会引入误差，当用于精密测量时，应在热电偶成型后进行校准。

A. 2.8 可用多结点热电偶串联组成的热电堆来测量温度差值。可用其它串联、并联、或串-并联组合方式的热电偶解决各种不同的测量问题（详见第A.3.1）。

A. 2.9 制作热电偶时，两根偶丝应在一端牢固地连接以形成测量接点。对于本文件所涉及的温度范围，接点可以是熔焊的或是钎焊。对于T型（铜-康铜）热电偶，可以用软焊料制作接点。对于K型（镍铬合金-镍铝合金）或J型（铁-康铜）热电偶，可以用银焊料制作接点。当接点贴附于金属表面时，应使用在制作接点时所使用的同样的连接合金。

A. 2.10 熔焊可采用气焊、电弧焊和电阻焊等方法。

A. 2.11 用于检测表面温度的热电偶，其测量端应通过热电偶线和延长线直接连接到被测表面上，且热电偶线和延长线应进行电气绝缘。将热电偶连接到被测表面可采用嵌入、粘贴、点焊、软钎焊和磁夹等的方法。

A. 2.12 应避免热电偶线传入或传出的热量对所测量的温度产生过多的影响。特别是测量表面温度的热电偶接点暴露于流动的空气流中时，由表面温度和环境温度之间的温差可引起约为10%或更大的误差。为了最大程度地减少这一误差，应至少有25mm长的热电偶偶丝与金属表面粘牢，以使临近接点的那部分偶丝保持在表面温度上。

尽管有必要保持热电偶线的电绝缘，但热电偶接点与被测表面之间不应有热绝缘。

如果热电偶在测量点电气接地，应采取措施消除测量点与测量仪器之间的电位差。

在温差很大或环境风速很高的情况下，如有必要，可在热电偶接点及其邻近偶丝上覆盖隔绝水汽的热绝缘。

A. 2.13 在气流中的热电偶线应具有合适的浸没长度，以使暴露于气流中的热电偶线与测温节点在相同的温度下，此时热电偶在风道中的测量能得出较好的结果。

A. 3 热电偶电路

A. 3.1 多个串联起来的热电偶称为热电堆。热电堆可用于测量两个温度之间的温差。因热电偶的温差热电势（EMF）随着热电偶对数的增加而增大，所以热电堆的好处是可用于测量非常小的温差。应使用特定的测量仪器、参考端和校准，来准确测得温差。

A. 3.2 另一个常用的热电偶电路是一个并联的热电偶阵列。并联的偶对结点提供了平均温度的热电势。并联的热电偶不叫热电堆。由于所有高（正）和低（负）引线连接在一起，可使用标准的电子温度指示器、显示器、或记录仪，通过内置的（或外部）冷端参考（补偿），直接显示平均温度。但应注意，并联的各热电偶的内阻及时间常数应接近或相等。

A. 3.3 上述热电偶电路的构造应使用相同长度且相同制造批次的热电偶线和补偿导线来完成，宜使用同一个线轴上的热电偶线。所有的热电偶应具有相同的电阻。

A. 4 电阻式温度传感器（铂电阻）

A. 4.1 铂电阻由国际温标（ITS-90）定义。铂金具有熔点高，可提炼出高纯度（高于99.999%）产品的特性，常被用来制造测温元件铂电阻。铂具有出色的延展性、线性、耐腐蚀性和灵敏度，可生产出准确稳定的温度敏感元件。铂电阻元件一般制造成绕线式或薄膜式。

A. 4.2 铂电阻具有正温度系数(PTC)，其电阻温度系数标准值有两个系列：0.00385和0.003925 $\Omega / \Omega ^\circ\text{C}$ 。“385”是最常用的系数。通常与铂电阻元件的连接有两线、三线和四线等几种形式。在精度要求优于或等于 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 时，所有的铂电阻温度测量都应使用三线或四线制引线。

A. 4.3 最常用的铂电阻元件在 0°C 时的阻值为 $100\ \Omega$ 。其他的标准阻值还有 $200\ \Omega$ 、 $500\ \Omega$ 和 $1000\ \Omega$ 等。薄膜铂电阻元件通常制造成在 0°C 时的阻值为 $100\ \Omega$ 或 $1000\ \Omega$ ，用于小直径和快速响应时间的应用。较高阻值的铂电阻元件通常有较高的自热，可能会对测量精度产生影响。但其自热对测量精度的影响，还取决于所用的温度测量仪。

A. 4.4 铂电阻探头通常带有不锈钢护套。直径范围从0.5mm到9.5mm，长度从25mm到500mm。响应时间或时间常数的定义是温度突变时其阻值变化为最终变化阻值的63%时所经过的时间，例如，从 0°C 至 10°C ，或 25°C 至 80°C ，将低温的探头突然浸入高温的流动液体中。

A. 4.5 在温度测量装置中，铂电阻还需要电子仪器，记录仪，指示器，仪表或数据记录仪配套才能完成温度测量。铂电阻测量仪器应根据铂电阻类型进行配置和校准，并通过误差来确定测量的不确定度（见第8章）。

A. 4.6 铂电阻温度测量范围是 -200°C 至 600°C 。绕线铂电阻的精度取决于制造技术，精度范围通常为 0.005°C 至 0.30°C 。相对于较低和较高温度的范围，其最佳精度为 0°C 附近。薄膜式铂电阻的精度通常为 0.05°C 至 0.5°C 。

A. 5 热敏电阻

A. 5.1 热敏电阻由陶瓷氧化物半导体制成。与铂电阻不同，测温用热敏电阻一般为负温度系数（NTC）。

由几种精密成分的热敏材料构成，主要有：锰、镍和钴的金属氧化物。热敏电阻具有比铂电阻更高的电阻灵敏度，这使得它们对铜导线的长度不敏感。

A. 5.2 热敏电阻可做成珠状、棒状和圆盘状，尺寸可小至0.13mm，需要老化数月以消除不稳定性。热敏元件整体烧结而成，然后用玻璃、聚四氟乙烯或环氧树脂等材料将热敏电阻与引线封装。与铂电阻相比，这种配置提供了更好的耐用性，更小的尺寸和更快的响应速度。

A. 5.3 在-73℃至290℃的热敏电阻可测温度范围内，热敏电阻的高灵敏度范围一般限制在约55℃的小范围内。低温用热敏电阻的阻值范围一般为2000 Ω到10000 Ω，高温用热敏电阻的阻值范围一般为10,000 Ω到50,000 Ω。热敏电阻具有很大的非线性，没有统一的国际标准分度，由于制造工艺造成的不一致性，每批制造的热敏电阻均需单独确定电阻-温度曲线。曲线通常以下式表示：

$$1/T = a + b(\ln(R)) + c(\ln(R))^3$$

该方程被称为Steinhart-Hart方程，在实际使用时，需要把方程中的系数用于温度测量装置中。

A. 5.4 使用电子指示或监测仪器，通过匹配和校准所制造出的窄温区热敏电阻，其测温精度可达到±0.002℃或更高。对于相同测温范围和类型的热敏电阻的互换精度通常为±0.2℃。

A. 6 红外测温仪

A. 6.1 红外（IR）热成像测温仪或温度计是一种光学辐射测温仪。温度高于绝对零度的材料在一个较宽的光谱范围内均会发射电磁辐射，并具有在某一区域出现辐射峰值的特征。这个辐射峰值的波长与其温度成反比。这种关系被称为维恩位移定律，是光学温度测量的主要基础（Steinhart和Hart）。红外热温度计使用一种光电电子探测器来测量温度。

A. 6.2 红外测温仪可用作平面表面的非接触式温度测量装置。红外IR温度计或传感器对材料表面的发射率、传感器与被测表面之间的距离以及仪器的光斑（测量斑）大小敏感。距离系数是从被测材料到传感器的距离D与光斑（测量斑）直径S的比值（D : S），从3: 1到60: 1不等。由于红外测温仪读到的温度是以S为直径的光斑（测量斑）上的平均温度，所以被测目标尺寸应大于焦点处光斑（测量斑）的尺寸。应通过调节仪器的发射率参数来校准待测物质。大多数的红外测温仪均基于普通材料发射率制造，通常为0.95。

A. 6.3 红外测温仪的可测温度范围一般为-40℃至3300℃，但是典型的器件可在较小范围内测温（例如-15℃至540℃）可提供更好的精度。手持式红外测温仪的精度一般为读数的±1%到满量程的±3%或1℃到3℃。带有远程校准电子传感器或指示器的固定式红外测温传感器的精度可达到读数的±1%或1℃或更好。

A. 7 半导体温度传感器。

半导体温度传感器通常为具有电压与温度固定特性的二极管或电压参考器件，以及信号处理电子器件组成，以产生与温度成比例的电压或电流输出。应遵循所选半导体温度传感器供应商提供的特定安装和操作说明使用。

注：固态传感器通常被封装在电子设备中，这些设备包含信号调节和其他测量电路。

A. 8 双金属温度计

将具有不同热膨胀系数 α_A 和 α_B 但处于相同温度的两条金属条A和B粘合在一起，温度变化会导致不同的膨胀，如果不受约束，金属条会弯曲成均匀的圆弧。利用这一原理的双金属传感器被制成螺旋形、U形等各种形状，用来测量和显示温度。

A.9 压力式温度计

是基于密闭测温系统内蒸发液体的饱和蒸气压力和温度之间的变化关系，而进行温度测量的温度计。

注：压力式温度计通常由一个冲注了蒸发液体的感温球体、一个相互连接的毛细管和一个压力测量装置组成，压力测量装置包括波登管、波纹管压力计和膜片压力计。

A.10 电机绕组温升测量方法

通过测量电机绕组电阻，来测量交流或直流电机绕组平均温度的方法。

附录 B

(资料性附录)

铂电阻温度测量不确定度评定的例子

B.1 铂电阻传感器的电阻与温度的关系

铂电阻传感器的电阻与温度的关系见 (B-1) :

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T) \quad (\text{B-1})$$

其中:

T= 电阻 R_t 对应的温度

R_0 = 0℃时的电阻

α = 铂电阻系数, 单位为 $\Omega/\Omega \cdot ^\circ\text{C}$

对于T变换公式 (B-1), 有:

$$T = (R_t - R_0)/(\alpha \cdot R_0) \quad (\text{B-2})$$

计算T相对于每个变量的偏微分:

$$\frac{\partial T}{\partial R_t} = \frac{1}{(\alpha \cdot R_0)} \quad (\text{B-3})$$

$$\frac{\partial T}{\partial R_0} = \frac{-R_t}{(\alpha \cdot R_0^2)} \quad (\text{B-4})$$

$$\frac{\partial T}{\partial \alpha} = \frac{(R_0 - R_t)}{(\alpha^2 \cdot R_0)} \quad (\text{B-5})$$

对所有分量误差进行均方计算:

$$\Delta T = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial R_t} \cdot \Delta R_t\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial R_0} \cdot \Delta R_0\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial \alpha} \cdot \Delta \alpha\right)^2} \quad (\text{B-6})$$

$$\Delta T = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{(\alpha \cdot R_0)} \cdot \Delta R_t\right)^2 + \left(\frac{-R_t}{(\alpha \cdot R_0^2)} \cdot \Delta R_0\right)^2 + \left(\frac{(R_0 - R_t)}{(\alpha^2 \cdot R_0)} \cdot \Delta \alpha\right)^2} \quad (\text{B-7})$$

B.2 应用例 1:

对于 R_0 为100 Ω , 系数为0.00385 $\Omega/\Omega \cdot ^\circ\text{C}$ 的铂电阻及测量仪器的精度规格如下:

$$\Delta R_o = \pm 0.05^\circ\text{C} \text{ or } \pm 0.0001925 \text{ ohm}$$

$$\Delta\alpha = \pm 0.000001 \text{ ohm/ohm}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\Delta R_t = \pm 0.004 \text{ ohm}$$

对在 0°C 时, $R_t = 100 \Omega$ 的情况进行评估:

$$\Delta T = \sqrt{\left(\frac{1}{(0.00385 \cdot 100)} \cdot 0.004\right)^2 + \left(\frac{-100}{(0.00385 \cdot 100^2)} \cdot 0.0001925\right)^2 + \left(\frac{100 - 100}{0.00385^2 \cdot 100} \cdot 0.000001\right)^2}$$

$$\Delta T = \pm 0.010402^\circ\text{C}$$

对在 35°C 时, $R_t = 113.7375 \Omega$ 的情况进行评估:

$$\Delta T = \sqrt{\left(\frac{1}{(0.00385 \cdot 100)} \cdot 0.004\right)^2 + \left(\frac{-113.7375}{(0.00385 \cdot 100^2)} \cdot 0.0001925\right)^2 + \left(\frac{(100 - 113.7375)}{(0.00385^2 \cdot 100)} \cdot 0.000001\right)^2}$$

$$\Delta T = \pm 0.013934^\circ\text{C}$$

B.3 应用例 2:

本例与B.2的区别是, 所采用的新型号铂电阻测量仪器的误差比仪器B.2中的误差大一些, 铂电阻元件相同。新型号的铂电阻测量仪在 375Ω 测量范围内的精度为满量程的 $\pm 0.1\%$ 或 $\pm 0.375 \Omega$ 。

$$\Delta R_t = \pm 0.375 \text{ ohm}$$

对在 0°C 时, $R_t = 100 \Omega$ 的情况进行评估:

$$\Delta T = \sqrt{\left(\frac{1}{(0.00385 \cdot 100)} \cdot 0.375\right)^2 + \left(\frac{-100}{(0.00385 \cdot 100^2)} \cdot 0.0001925\right)^2 + \left(\frac{100 - 100}{0.00385^2 \cdot 100} \cdot 0.000001\right)^2} \Delta$$

$$\Delta T = \pm 0.974026^\circ\text{C}$$

对在35°C时， $R_t = 113.7375 \Omega$ 的情况进行评估：

$$\Delta T = \sqrt{\left(\frac{1}{(0.00385 \cdot 100)} \cdot 0.375\right)^2 + \left(\frac{-113.7375}{(0.00385 \cdot 100^2)} \cdot 0.0001925\right)^2 + \left(\frac{100 - 113.7375}{0.00385^2 \cdot 100} \cdot 0.000001\right)^2} \Delta$$

$$\Delta T = \pm 0.97407^\circ\text{C}$$

附录 C

(资料性附录)

热电偶温度测量不确定度评定的例子

C.1 热电偶电动势与温度的关系

热电偶上的电动势与温度的关系见公式 (C-1)：

$$T_j = c_0 + c_1 \cdot E_j + c_2 \cdot E_j^2 + c_3 \cdot E_j^3 + c_4 \cdot E_j^4 + c_5 \cdot E_j^5 + c_6 \cdot E_j^6 + c_7 \cdot E_j^7 \quad (\text{C-1})$$

其中：

T_j =测量的温度，单位℃

$$E_j = E_m + E_{cjc} \quad (\text{C-2})$$

其中：

E_m =热电偶两端的电动势

E_{cjc} =当冷端温度不为0℃时，冷端温度的对应电压计算值。

对所有分量和误差进行均方计算：

$$\Delta T = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial \text{volts}} \cdot \Delta \text{volts}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial \text{wire}} \cdot \Delta \text{wire}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial \text{cond}} \cdot \Delta \text{cond}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial c_{jc}} \cdot \Delta c_{jc}\right)^2} \quad (\text{C-3})$$

其中：

volts 为测温用电压表所测电压精度的影响；

wire 为热电偶导线合金材料特性变化对温度测量的影响；

cond 为连接到测量仪器上的冷端等温体温度不均匀性的影响；

c_{jc} 为连接到测量仪器上的冷端温度测量误差的影响。

由于方程是高阶的，宜通过解析求出下列导数：

$$\frac{\partial T}{\partial \text{voltage}}, \frac{\partial T}{\partial \text{wire}}, \frac{\partial T}{\partial \text{cond}}, \frac{\partial T}{\partial c_{jc}}$$

其中， $\frac{\partial T}{\partial \text{wire}}, \frac{\partial T}{\partial \text{cond}}, \frac{\partial T}{\partial c_{jc}}$ 的解析结果都近似为1。

C.2 应用例 1:

T型热电偶, 仪表连接端温度为20°C, 传感端温度为55°C, 相关参数误差及不确定度计算如下:

$$\Delta wire = \pm 0.8^\circ\text{C},$$

$$\Delta c_{jc} = \pm 0.5^\circ\text{C},$$

$$\Delta cond = \pm 0.5^\circ\text{C}, \text{ and}$$

$$\Delta volts = \text{电压读数的} 0.1\%, \quad \frac{\partial T}{\partial volts} \cdot \Delta volts = \pm 0.033^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \pm \sqrt{(0.033)^2 + (0.8)^2 + (0.5)^2 + (0.5)^2}$$

$$\Delta T = 1.068^\circ\text{C}$$

对于温差测量, 不确定度变为:

$$\Delta T_{\Delta} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial T_{\Delta}}{\partial T_1} \cdot \Delta T_1\right)^2 + \left(\frac{\partial T_{\Delta}}{\partial T_2} \cdot \Delta T_2\right)^2} \quad (\text{C-4})$$

其中:

$$T_{\Delta} = T_1 - T_2 \quad (\text{C-5})$$

$$\Delta T_{\Delta} = 1.51^\circ\text{C}$$

如热电偶线是从线轴的相邻部分取下的, 温差计算可忽略B.2中的导线误差 $\Delta wire$, 结果为:

$$\Delta T_{\Delta} = 1.001^\circ\text{C}$$

C.3 应用例 2:

本例相对于C.2, 测量热电偶电动势的电压表、冷端温度的测量和不均匀性有变化, 其余参数与C.2相同。

$$\Delta wire = \pm 0.8^\circ\text{C},$$

$$\Delta c_{jc} = \pm 0.065^\circ\text{C},$$

$$\Delta cond = \pm 0.065^\circ\text{C}, \text{ and}$$

$$\Delta volts = \text{电压读数的} 0.15\%, \quad \frac{\partial T}{\partial volts} \cdot \Delta volts = \pm 0.05^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \pm \sqrt{(0.05)^2 + (0.8)^2 + (0.065)^2 + (0.065)^2}$$

$$\Delta T = 0.8^\circ\text{C}$$

对于温差测量, 不确定度变为:

$$\Delta T_{\Delta} = 1.14^{\circ}\text{C}$$

如热电偶线是从线轴的相邻部分取下的，温差计算可忽略C.2中的导线误差 Δ_{wire} ，结果为：

$$\Delta T_{\Delta} = 0.8^{\circ}\text{C}$$
