



中华人民共和国国家标准

GB/T 3410.1—2008
代替 GB/T 3410—1994

大坝监测仪器 测缝计 第 1 部分：差动电阻式测缝计

Instrument for dam monitoring—Joint meter—
Part 1: Unbonded elastic wire resistance joint meter

2008-02-15 发布

2008-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 Ⅲ

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义、符号和单位 1

4 产品结构、主要参数 2

5 技术要求 3

6 试验方法 4

7 检验规则 7

8 标志和使用说明书 7

9 包装、运输、贮存 8

附录 A（规范性附录） 差动电阻式测缝计测量温度的参数 10

A.1 差动电阻式测缝计(以下简称传感器)电阻值与温度之间的校准曲线 10

A.2 校准曲线的拟合折线 10

A.3 差动电阻式测缝计的温度计算 11



前 言

GB/T 3410《大坝监测仪器 测缝计》分为五个部分：

- 第1部分：差动电阻式测缝计；
- 第2部分：振弦式测缝计；
- 第3部分：电容式测缝计；
- 第4部分：电位器式测缝计；
- 第5部分：差动变压器式测缝计。

本部分为 GB/T 3410 的第 1 部分，是对 GB/T 3410—1994《差动电阻式测缝计》的修订。与 GB/T 3410—1994 相比主要变化如下：

- 增加了前言、术语、定义、符号和单位，可靠性要求等的相关内容；
- 修订了适用范围；
- 修订了“绝缘电阻”、“稳定性要求”、“耐运输颠振性能”等内容；
- 在“主要参数”中，增补了新的规格尺寸及测量范围；
- 删除了 GB/T 3410—1994 中的纵向刚度 K 、抗剪切能力、变形过范围限；
- 在“试验方法”中，修改了“参比试验条件”、“正常试验大气条件”等环境试验条件限定内容；
- 对“检验规则”中，“出厂检验”和“型式检验”规定的有关合格性判定内容进行了调整；
- 修改并补充了“标志”、“使用说明书”、“包装”、“运输”及“贮存”等相关内容。

本部分与 GB/T 15406《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》等标准在技术内容上相互协调一致。

本部分中的附录 A 为规范性附录。

本部分由中华人民共和国水利部提出。

本部分由中华人民共和国水利部归口。

本部分主要起草单位：水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心、国家电力公司南京电力自动化设备总厂、国网南京自动化研究院、水利部南京水利水电自动化研究所。

本部分参加起草单位：全国工业产品生产许可证办公室水文仪器及岩土工程仪器审查部。

本部分主要起草人：张德康、林薇、章一新、卢有清、石明华。

本部分参加起草人：陆旭。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB 3410—1982, GB/T 3410—1994。

大坝监测仪器 测缝计

第1部分：差动电阻式测缝计

1 范围

GB/T 3410 的本部分规定了差动电阻式测缝计的产品结构、规格及主要参数、技术要求、试验方法、检验规则、标志和使用说明书,以及包装、运输、贮存等。

本部分适用于埋设在各种岩土工程中监测结构物位移或伸缩缝开合度(变形)的差动电阻式测缝计。

2 规范性引用文件



下列文件中的条款通过 GB/T 3410 的本部分的引用而成为本部分的条款。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部分,然而,鼓励根据本部分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部分。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 5080.7 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案

GB/T 6388 运输包装收发货标志

GB 9969.1 工业产品使用说明书 总则

GB/T 15406 岩土工程仪器基本参数及通用技术条件

GB/T 15464 仪器仪表包装通用技术条件

GB/T 50279 岩土工程基本术语标准

3 术语、定义、符号和单位

GB/T 50279 确立的以及下列术语、定义、符号和单位适用于 GB/T 3410 的本部分。

3.1

测缝计 joint meter

能够长期测量结构物位移或伸缩缝的开合度(变形)的传感器。

3.2

差动电阻式测缝计 unbonded elastic wire resistance type joint meter

以一对差动变化的金属丝作为敏感元件测量变形的测缝计。

3.3

电阻比(Z) resistance ratio

敏感元件中两个差动变化的金属丝电阻值 R_1 和 R_2 之比。

$$Z = \frac{R_1}{R_2}$$

3.4

自由状态电阻比(Z_0) free state resistance ratio

差动电阻式测缝计在与电阻比变化量相对应的输入量为零时的电阻比测值。

3.5

0℃ 电阻值(R_0) 0℃ resistance value

差动电阻式测缝计在 0℃ 时的实测电阻值。

3.6

0℃ 计算电阻值(R'_0) 0℃ calculated resistance value

对差动电阻式测缝计 0℃ 以上部分的电阻值与温度之间的校准曲线,用独立线性度方法拟合的直线在电阻值轴上的截距表示,单位为欧姆(Ω)。

3.7

0℃ 以上的温度常数(K') temperature constant above 0℃

对差动电阻式测缝计 0℃ 以上部分的电阻与温度之间的校准曲线,用独立线性度方法拟合的直线的斜率表示,单位为摄氏度每欧姆($^{\circ}\text{C}/\Omega$)。

3.8

0℃ 以下的温度常数(K'') temperature constant under 0℃

用于计算差动电阻式测缝计 0℃ 以下温度用的温度常数,单位为摄氏度每欧姆($^{\circ}\text{C}/\Omega$)。

3.9

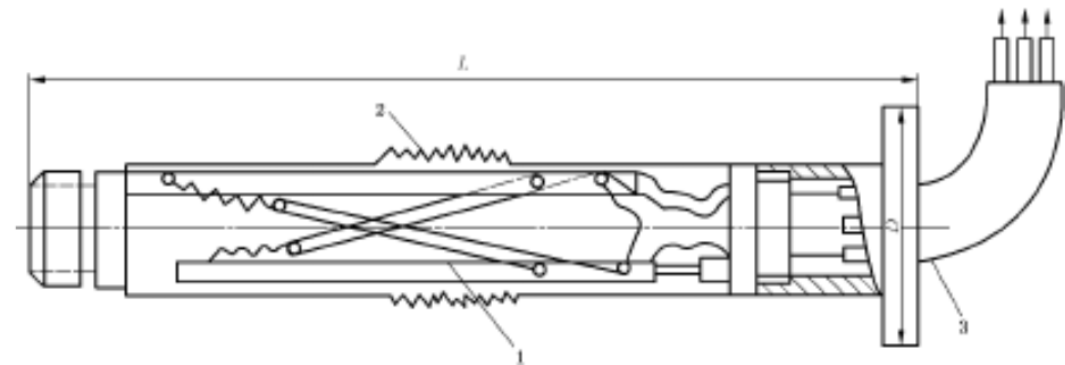
最小读数(f) minimum reading

差动电阻式测缝计在全量程内相应于输出电阻比变化 0.01% 时的被测量的值。

4 产品结构、主要参数

4.1 结构

测缝计由带波纹管的变形敏感元件、密封壳体 and 引出电缆三个主要部分组成(见图 1)。

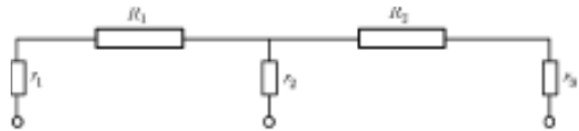


- 1——变形敏感元件;
2——密封壳体;
3——引出电缆。

图 1 差动电阻式测缝计结构示意图

4.2 电路简图

测缝计电路简图如图 2 所示。



- 元件:
 R_1 ——与测缝计变形同向的钢丝电阻,单位为欧姆(Ω);
 R_2 ——与测缝计变形反向的钢丝电阻,单位为欧姆(Ω);
 r_1 、 r_2 、 r_3 ——引出电缆芯线电阻,单位为欧姆(Ω)。

图 2 差动电阻式测缝计电路简图

4.3 主要参数

测缝计的规格及其主要参数应符合表 1 的规定。

表 1 主要参数

尺寸参数	长度 L/mm	260				
	端部直径 D/mm	37、40				
性能参数	测量范围	拉伸(+)	5	12	25	40
		压缩(-)	1	1	0	0
	最小读数 $f/(\text{mm}/0.01\%)$		≤ 0.012	≤ 0.022	≤ 0.05	≤ 0.08
	0℃时自由状态电阻比 Z_0		0.900 0~1.100 0			
	温度测量范围/℃		-25~60			

5 技术要求

5.1 工作环境条件

测缝计应能在以下气候环境中正常工作：

- a) 温度：-25℃~60℃；
- b) 大气压力：86 kPa~106 kPa；
- c) 在规定的水压力下。

5.2 外观要求

测缝计的外观应符合下列要求：

- a) 仪器密封壳体不应有锈斑、明显划痕及凹陷损伤；
- b) 仪器两端部表面应光洁，引出电缆橡胶套应无损伤；
- c) 各类标志、标识应齐全，清晰无误。

5.3 变形性能

5.3.1 最小读数 f

最小读数应符合表 1 中的规定。

5.3.2 0℃时自由状态电阻比 Z_0

测缝计在 0℃时自由状态电阻比 Z_0 应在 0.900 0~1.100 0 范围内。

5.3.3 端基线性度误差 a

测缝计的端基线性度误差 a 应不超过满量程的±2%。

5.3.4 滞后 a'

测缝计的滞后 a' 应不超过满量程的 1.0%。

5.3.5 不重复度 a''

测缝计的不重复度 a'' 应不超过满量程的 1.0%。

5.4 温度测量误差

测缝计的测量温度误差应不超过±0.5℃。

5.5 绝缘性能

在下列条件下测缝计的绝缘电阻均应大于 50 MΩ：

- a) 在温度为 0℃冰水中；
- b) 在温度为 60℃水中；
- c) 在 0.5 MPa 或规定的压力水中。

5.6 温度过范围限

测缝计应具有承受-30℃及 70℃的温度过范围限能力。当环境温度自然恢复至常温后，其性能仍

应满足 5.3、5.4、5.5 的要求。

5.7 稳定性要求

5.7.1 高温稳定性

测缝计在经受环境温度为 60℃ 历时 48 h 的高温试验后,其性能应满足如下要求:

- a) 实测的 0℃ 电阻值变化量不应超过 $\pm 0.1 \Omega$;
- b) 最小读数 f 值的相对变化量不应超过 $\pm 2\%$;
- c) 在 0.5 MPa 或规定的压力水中绝缘电阻应符合 5.5 的规定。

5.7.2 长期稳定性

在正常试验大气条件下,测缝计在经受拉伸至测量范围上限值恒定 8 h,再压缩至测量范围下限值恒定 8 h 的 7 次反复循环试验后,其性能应满足如下要求:

- a) 实测的 0℃ 电阻值变化量不应超过 $\pm 0.1 \Omega$;
- b) 最小读数 f 值相对变化量不应超过 $\pm 2\%$;
- c) 在 0.5 MPa 或规定的压力水中绝缘电阻仍应符合 5.5 的规定。

5.8 机械环境适应性

在包装状态下,测缝计应能承受运输、装卸、搬运过程中可能出现的振动、跌落等意外情况,其各项性能及功能应正常。

经机械环境适应性试验后,其性能仍应满足如下要求:

- a) 实测的 0℃ 电阻值变化量不应超过 $\pm 0.1 \Omega$;
- b) 最小读数 f 值相对变化量不应超过 $\pm 2\%$;
- c) 在 0.5 MPa 或规定的压力水中绝缘电阻仍应符合 5.5 的规定。

5.9 可靠性要求

测缝计的可靠性要求用平均寿命(MTTF)来描述,其 MTTF 值应不小于 40 000 h。

6 试验方法

6.1 试验设备

主要试验设备如下:

- a) 测缝计校准仪;
- b) 高低温湿热试验箱;
- c) 0 级百分表;
- d) 二等标准水银温度计;
- e) 差阻式读数仪;
- f) 恒温水浴;
- g) 冰点试验槽;
- h) 压力容器、压力表及加压设备;
- i) 绝缘电阻测试仪或 100 V 兆欧表;
- j) 振动试验台;
- k) 跌落试验台;
- l) 冲击试验台;
- m) 碰撞试验台。

6.2 试验条件

6.2.1 参比测试条件

测缝计的参比性能试验应在以下大气条件下进行:

- a) 温度:18℃~22℃;

- b) 相对湿度:60%~75%;
- c) 大气压力:86 kPa~106 kPa。

6.2.2 正常试验大气条件

正常试验的大气条件如下:

- a) 温度:15℃~35℃(在每项试验期间,允许的温度变化每小时不大于1℃);
- b) 相对湿度:不大于85%;
- c) 大气压力:86 kPa~106 kPa。

6.3 试验要求

除条文中另有规定外,测缝计进行试验时应满足下列条件:

- a) 测缝计应在正常试验大气条件下预先置放24 h以上;
- b) 测缝计安装在校准仪上之后的电阻比与安装之前的自由状态电阻比之间,相差不应超过 $\pm 20 \times 0.01\%$;
- c) 校准点通常应包括基点和满量程点,并均匀取布6~11点;校准循环不少于3次。

6.4 试验方法

6.4.1 工作环境条件

必要时,在5.1规定环境下,测缝计的气候环境适应性按GB/T 15406相关条款进行试验,结果应工作正常,表面无锈蚀、剥落等。

6.4.2 外观

用卡尺检验标距,其他用目测检查。结果应符合5.2的要求。

6.4.3 变形性能

6.4.3.1 端基线性度误差 a

先将测缝计压至下限值,测量其电阻比 Z_0 之后,逐渐拉伸测缝计(上行),每到一测试点测读一个电阻比,全量程共测得 n 个电阻比。然后,反向(下行)重复上述过程,同样测得 n 个电阻比,共完成三次循环。分别计算上行及下行各测试点电阻比测值的平均值 $(Z_u)_i$;及 $(Z_d)_i$ 。而后,按下式计算各点总平均值:

$$(Z_a)_i = \frac{(Z_u)_i + (Z_d)_i}{2}$$

式中:

$(Z_a)_i$ ——上、下行第 i 测试点电阻比测值的总平均值;

$(Z_u)_i$ ——上行第 i 测试点电阻比测值的平均值;

$(Z_d)_i$ ——下行第 i 测试点电阻比测值的平均值。

各测试点的理论值 Z_t 由下式确定:

$$(Z_t)_i = \frac{\Delta Z \times i}{n-1} + (Z_a)_0$$

式中:

i ——测试点序数($i=0,1,\dots,n$);

ΔZ ——测量范围上限值及下限值各自的三次电阻比测值的平均值之差。

各测试点电阻比测值的偏差 σ_i 由下式确定:

$$\sigma_i = (Z_a)_i - (Z_t)_i$$

偏差值 δ_i 中最大者令为 Δ_1 ,则测缝计的端基线性度误差 a 由下式确定。

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta Z} \times 100\%$$

测缝计的端基线性度误差应符合5.3.3的要求。

6.4.3.2 滞后 a'

滞后可结合 6.4.3.1 (端基线性度误差 a) 同时进行。

计算出端基线性度误差检验时的每一次循环中各测试点上行及下行两个电阻比测值之间的差值, 其中最大差值令为 Δ_2 , 则滞后 a' 由下式确定。

$$a' = \frac{\Delta_2}{\Delta Z} \times 100\%$$

测缝计的滞后误差应符合 5.3.4 的要求。

6.4.3.3 不重复度 a''

不重复度可结合 6.4.3.1 (端基线性度误差 a) 同时进行。

计算出端基线性度误差检验时的三次循环中各测试点上行及下行各自的三个电阻比测值之间的最大差值; 令最大差值为 Δ_3 , 则不重复度 a'' 由下式确定。

$$a'' = \frac{\Delta_3}{\Delta Z} \times 100\%$$

测缝计的不重复度应符合 5.3.5 的要求。

6.4.3.4 最小读数 f

最小读数 f 值由下式确定, 结果应符合 5.3.1 的要求。

$$f = \frac{\Delta L}{\Delta Z}$$

式中:

ΔL ——相应于全量程的变形量, 单位为毫米(mm)。

测缝计的最小读数应符合表 1 的要求。

6.4.4 温度测量误差

测缝计在 -25°C 、 0°C 、 30°C 、 60°C 4 个温度点附近的任一测试点的实际温度与通过实测电阻比和电阻值所计算的温度(测量温度的参数见附录 A)之间的最大差值应符合 5.4 的要求。

6.4.5 0°C 时自由状态电阻比 Z_0

在温度测量误差检验时, 实测的测缝计 0°C 时自由状态电阻比 Z_0 应符合 5.3.2 的要求。

6.4.6 绝缘性能

测缝计在 5.5 规定的各项试验条件下, 分别进行历时 0.5 h 的试验(试验时引出电缆端部应防止进水), 然后用绝缘电阻测试仪或 100 V 兆欧表测量引线及密封壳体之间的绝缘电阻, 结果应符合 5.5 的要求。

6.4.7 温度过范围限

将测缝计先后置于 -30°C 及 70°C 两种环境温度下, 各恒温 6 h, 当环境温度自然恢复至常温后, 检测其性能应符合 5.6 的要求。

6.4.8 稳定性

6.4.8.1 高温稳定性

将测缝计置于高低温湿热箱内, 逐渐升温至 60°C , 恒温 48 h 后随箱恢复至常温, 其性能应符合 5.7.1 的要求。

6.4.8.2 长期稳定性

将测缝计安装在校准仪上, 在正常试验大气条件下拉伸至测量范围上限值后恒定 8 h, 再压缩至测量范围下限值后恒定 8 h, 如此循环 7 个周期。试验后, 其性能应符合 5.7.2 的要求。

6.4.9 机械环境适应性

6.4.9.1 振动

在运输包装状态下, 设置振动系统的扫频振动频率为 $10\text{ Hz} \sim 150\text{ Hz} \sim 10\text{ Hz}$, 扫频速度为 1 个倍

频程/min,加速度为 2 g,对测缝计每单轴进行循环 3 个周期振动试验。试验后测试其性能,应能符合 5.8 的要求。

6.4.9.2 自由跌落(选做)

在运输包装状态下,设置自由跌落机的跌落高度为 300 mm,将测缝计自由跌落在平滑、坚硬的混凝土面或钢质面上,共进行三次跌落试验。试验后测试其性能,应能符合 5.8 的要求。

6.4.10 可靠性

可靠性试验参照 GB/T 5080.7 规定执行。

7 检验规则

7.1 出厂检验

7.1.1 测缝计应逐台进行出厂检验。

7.1.2 出厂检验由制造厂的质量检验部门按本部分 6.4.2、6.4.3、6.4.5、6.4.6 的规定分别进行检验,检验结果应完整保存、备查。

7.1.3 每台测缝计检验合格后,应有合格证方能出厂。

7.2 型式检验

7.2.1 型式检验条件

测缝计有下列情况之一时,应进行型式检验:

- a) 新产品提交技术(定型)鉴定或产品科技成果(项目)鉴定前;
- b) 新产品试生产或老产品转厂生产后;
- c) 产品结构、材料、工艺有重大改变,可能影响产品性能时;
- d) 正常生产时,定期或积累一定产量后;
- e) 产品长期停产(3 年以上)后,需要恢复生产时;
- f) 出厂检验结果与上一次型式检验有较大差异时;
- g) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时;
- h) 根据合同规定双方有约定时。

7.2.2 型式检验内容

型式检验由制造厂质量检验部门按 6.4 规定的全部试验项目(可靠性试验除外)进行全性能检验。

可靠性试验为非型式检验项目,可通过专项试验进行,也可以在运行或鉴定移交时进行统计。

7.2.3 抽样规则

型式检验的样品应从经出厂检验中随机抽样,产品抽样不少于 3 台。若样品总数不足 3 台,则应全部检验。

7.2.4 判定规则

在型式检验中有 2 台或 2 台以上不合格时,则判该批产品型式检验不合格。有一台不合格时,则应加倍抽样进行不合格项目复检,其后仍有不合格时,则判该批产品型式检验不合格。若全部检验合格,则除去第一批抽样不合格的产品,该批产品应判为合格。

7.2.5 易损件更换

经过型式检验的仪器,需要更换易损件,在更换后应再经出厂检验合格后方能出厂。

8 标志和使用说明书

8.1 标志

8.1.1 产品标志

测缝计产品标志的内容有:

- a) 产品型号和名称;

- b) 制造单位和商标;
- c) 制造日期及编(批)号;
- d) 其他。

8.1.2 包装标志

8.1.2.1 外包装

测缝计外包装标志的内容有:

- a) 产品型号、名称及数量;
- b) 箱体尺寸:长×宽×高,mm 或 cm;
- c) 净重及毛重: kg;
- d) 装箱日期;
- e) 到站(港)及收货单位;
- f) 发站(港)及发货单位;
- g) 国家工业产品生产许可证标志及编号。

8.1.2.2 内包装

测缝计内包装标志的内容有:

- a) 产品型号及名称;
- b) 制造单位或商标;
- c) 其他。

8.1.3 图示标志

包装储运图示标志应按 GB/T 191 和 GB/T 6388 的有关规定正确选用。

8.1.4 国家工业产品生产许可证标识

对于获得国家生产许可证的差动电阻式测缝计,其产品随机文件及包装箱上应明确标注产品生产许可证编号。

8.1.5 文字标识

产品标志中所使用的各种文字、符号、计量单位等,应符合有关标准的规定。

8.2 使用说明书

测缝计使用说明书的内容按 GB 9969.1 的规定。

9 包装、运输、贮存

9.1 包装

9.1.1 要求

测缝计的包装应符合下列要求:

- a) 包装箱应牢固可靠,美观和经济的要求,应做到结构合理、紧凑、防护可靠,在正常储运、装卸条件下,应保证设备不致因包装不善而引起产品损坏、结构松动、散失和降低准确度等;
- b) 包装箱应有措施保证产品在运输或携带使用途中不发生窜动、碰撞、摩擦;
- c) 包装箱防震、防潮、防尘等防护措施,应符合 GB/T 15464 的有关规定。

9.1.2 随机文件

产品随机文件应装入专用包装袋中,并放置在产品包装箱内。产品随机文件应齐全,应有如下内容:

- a) 装箱清单;
- b) 产品出厂合格证;
- c) 产品使用说明书;
- d) 产品检验卡片,卡上应填有如下数据:



- 1) 产品型号、规格、出厂编号及制造日期；
- 2) 测量范围上限值、下限值及其相应的电阻比值；
- 3) 最小读数 f ；
- 4) 安装埋设电阻比 Z ；
- 5) 温度测量范围；
- 6) 0°C 时实测电阻值 R_0 , 0°C 时计算电阻值 R'_0 ；
- 7) 0°C 以上的温度常数 K' , 0°C 以下的温度常数 K'' ；
- 8) 绝缘电阻。

9.2 运输

包装好的测缝计应能适应各种运输方式。

9.3 贮存

测缝计应能适应下列贮存要求：

- a) 温度： $-30^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：不大于 85%；
- c) 测缝计应不受日光直接照射，附近不应有酸性、碱性及其他腐蚀性物质；
- d) 在存放半年内，测缝计不应出现锈蚀、长霉或其他妨碍功能的现象。

附录 A
(规范性附录)

差动电阻式测缝计测量温度的参数

A. 1 差动电阻式测缝计(以下简称传感器)电阻值与温度之间的校准曲线

当传感器的电阻不变时,传感器的电阻值与温度之间的校准曲线在其温度测量范围内用下式的二次方程拟合时,可以得到小于 0.1℃ 的一致性误差。

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$$

式中:

R_t ——传感器在 t ℃ 时的电阻值,单位为欧姆(Ω);

R_0 ——传感器在 0℃ 时的实测电阻值,单位为欧姆(Ω);

α ——一次项电阻温度系数,单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

t ——被测温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

β ——二次项电阻温度系数,单位为每摄氏度二次方($^{\circ}\text{C}^{-2}$)。

同一种规格的传感器,一次及二次项的电阻温度系数 α 和 β 值取决于所用钢丝及传感器内部引线材料的性质,同一批材料做成的同一种规格的传感器具有相同的系数 α 和 β 值。

A. 2 校准曲线的拟合折线

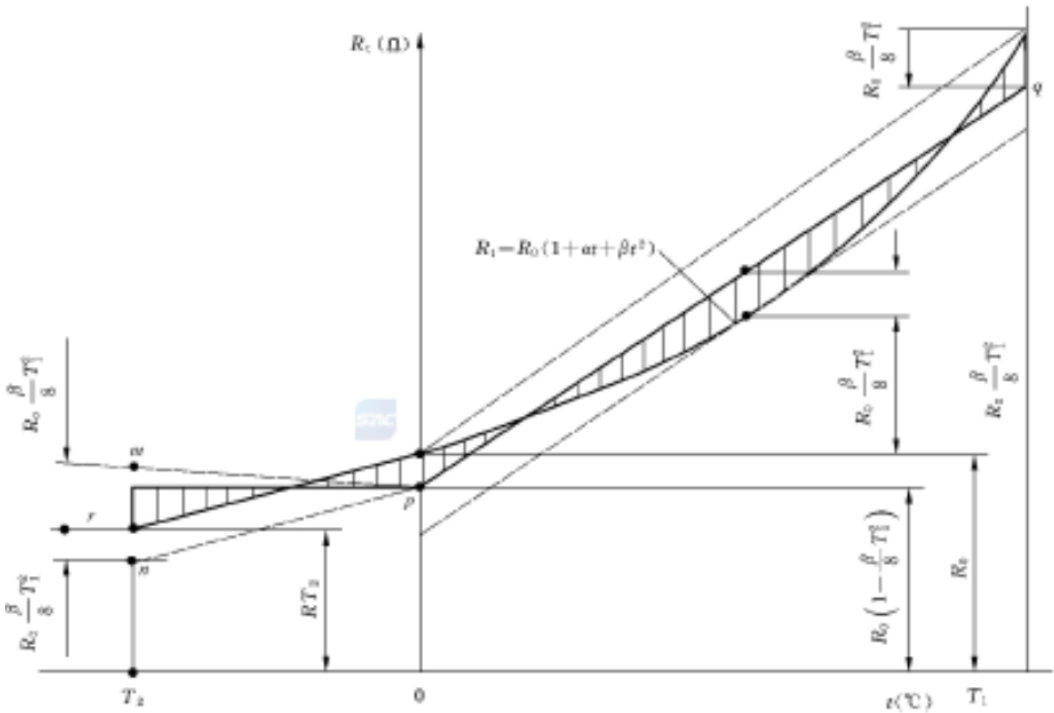


图 A. 1

二次的拟合曲线在使用上很不方便,而采用直线拟合在整个温度测量范围内误差太大。因此,根据温度测量精度的要求,并考虑到应用上的方便,对差动电阻式测缝计系列产品的电阻温度校准曲线的拟合作如下规定:

- a) 在零上温度测量范围内,以独立线性度方法作拟合直线,如图 A. 1 中直线 pq ,其方程式为:

$$R_t = R_0 \left[1 - \frac{\beta}{8} T_1^2 \right] + R_0 (\alpha + \beta T_1)$$

式中:

T_1 ——温度测量范围的上限值,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

t ——被测温度, $t \geq 0^{\circ}\text{C}$ 。

这样,在零上温度范围内,最大误差出现在 0 、 $\frac{T_1}{2}$ 及 T_1 三处,误差的绝对值均为 $R_0 \frac{\beta}{8} T_1^2 \Omega$ 。

b) 从等精度的原则出发,将温度量程下限值 T_2 处的实测电阻值 RT_2 分别加上及减去 $R_0 \frac{\beta}{8} T_1^2 \Omega$,

得到 m 及 n 两点(见图 A.1)。于是,射线 pm 及 pn 所界限的锐角范围内的任一条射线,例如

图 A.1 中 pr ,在整个零下温度测量范围内与校准曲线之间在同一温度下的电阻差值均不大

于 $R_0 \frac{\beta}{8} T_1^2 \Omega$ 。射线 pm 的方程式为:

$$R_t = R_0 \left[1 - \frac{\beta}{8} T_1^2 \right] + R_0 \left[\alpha + \beta T_2 + \frac{\beta T_1^2}{4 T_2} \right] t$$

式中:

T_2 ——温度测量范围的下限值(负值),单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

t ——被测温度, $t \leq 0^{\circ}\text{C}$ 。

射线 pn 的方程式为:

$$R_t = R_0 \left[1 - \frac{\beta}{8} T_1^2 \right] + R_0 (\alpha + \beta T_2) t$$

射线 pm 的斜率 K_{pm} 与零上拟合直线的斜率 K_{pq} 之比为:

$$K_{pm}/K_{pq} = \left[\alpha + \beta T_2 + \frac{\beta T_1^2}{4 T_2} \right] / (\alpha + \beta T_1)$$

同样可得射线 pn 的斜率 K_{pn} 与零上拟合直线的斜率 K_{pq} 之比为:

$$K_{pn}/K_{pq} = (\alpha + \beta T_2) / (\alpha + \beta T_1)$$

式中:

$T_2 = -25^{\circ}\text{C}$;

$T_1 = 60^{\circ}\text{C}$;

α 和 β 值根据不同材料获得。

A.3 差动电阻式测缝计的温度计算

根据 A.2 的原则。本部分规定差动电阻式测缝计的温度测量参数及测量温度的计算式如下:

a) 传感器的温度测量参数:

1) 0°C 时计算电阻值 R'_0 由下式决定:

$$R'_0 = R_0 \left[1 - \frac{\beta}{8} T_1^2 \right]$$

2) 0°C 以上的温度常数 K' 由下式决定:

$$K' = \frac{1}{R_0 (\alpha + \beta T_1)}$$

3) 0°C 以下的温度常数 K'' 由下式决定:

$$K'' = (K_{pq}/K_{pn} \sim K_{pq}/K_{pm}) K'$$

b) 传感器测量温度的计算公式:

1) 当温度 $t \geq 0^{\circ}\text{C}$ 时:

$$t = K'(R_t - R'_0)$$

2) 当温度 $t \leq 0^{\circ}\text{C}$ 时:

$$t = K''(R_t - R'_0)$$

