

电力工业标准汇编

水电卷

1995

中国电力企业联合会标准化部 编



中国电力出版社

电 力 工 业 标 准 汇 编

水 电 卷

1995

中国电力企业联合会标准化部 编

中国电力出版社

图书在版编目(CIP)数据

电力工业标准汇编:水电卷:1995/中国电力企业联合会标准化部编. —北京:中国电力出版社,1996

ISBN 7-80125-271-3

I. 电… I. 中… III. ①电力工业-工业技术-标准-中国-汇编-1995 ②水利电力工业-工业技术-标准-中国-汇编-1995 N. TM-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 18730 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京市地矿局印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1996 年 12 月第一版 1996 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 501 千字

印数 0001—2410 册 定价 66.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

汇 编 说 明

为使已出版的《电力工业标准汇编》具有连续性,中国电力企业联合会标准化部从1996年起,按综合、电气、火电、水电四卷每年将编辑、出版一次上年度标准汇编,以满足当前电力建设和电力系统广大技术人员的需要。本卷为《电力工业标准汇编·水电卷1995》。

本标准汇编内容包括1994年和1995年颁布的水电专业方面的有关国家标准和行业标准以及相应标准的条文说明。

本标准汇编中所有的标准都是最新颁布的,其名称和编号均采用已颁布标准最新版本的用名和编号,并按顺序号列出,以方便查检、使用。但是,在有的标准内容中引用的标准,其编号可能不是最新的,请读者在使用时注意。凡本年度标准汇编中收入的标准与在此以前出版的《电力工业标准汇编》中的标准重复时,以本年度标准为最新有效版本,并替代原标准,被修订或被替代的标准即废止。此外,在汇编各标准时,对原标准内容中的编校、印刷方面的疏漏、错误也尽可能地进行了改正。

此卷的编辑、出版工作,是在电力工业部标准化领导小组的指导下进行的,在此表示衷心的感谢。

中国电力企业联合会标准化部

1996年11月

目 录

汇编说明

GB/T 3408—94	差动电阻式应变计	1
GB/T 3409—94	差动电阻式钢筋计	15
GB/T 3410—94	差动电阻式测缝计	25
GB/T 3411—94	差动电阻式孔隙压力计	35
GB/T 3412—94	电阻比电桥	45
GB/T 3413—94	埋入式铜电阻温度计	55
GB 50199—94	水利水电工程结构可靠度设计统一标准	63
DL/T 563—95	水轮机电液调节系统及装置技术规程	111
DL/T 578—95	水电厂计算机监控系统基本技术条件	133
DL/T 583—1995	大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置技术条件	161
DL/T 5039—95	水利水电工程钢闸门设计规范	177
DL/T 5042—95	河流水电规划编制规范	297

差动电阻式应变计

Differential elastic wire resistance type strain meter

GB/T 3405—94

目 次

1	主题内容与适用范围	3
2	引用标准	3
3	术语	3
4	产品品种、规格	4
5	技术要求	5
6	试验方法	7
7	检验规则	10
8	标志、包装、运输、贮存	10
	附录 A 差动电阻式传感器测量温度的参数(补充件)	12
	附加说明	14

中华人民共和国国家标准

GB/T 3408—94

差动电阻式应变计

代替 GB 3408—82

Unbonded elastic wire resistance type strain meter

1 主题内容与适用范围

本标准规定了埋设在混凝土建筑物内的差动电阻式应变计(以下简称应变计)的设计、生产、试验方法及检验规则等的统一要求。

本标准适用于埋设在混凝土建筑物内的应变计。应变计是一种供长期测量混凝土建筑物内部应变并能兼测温度用的传感器。

2 引用标准

GB 5603~5604 负荷传感器术语和试验方法

GB 191 包装储运图示标志

JJG 130 工作玻璃温度计检定规程

3 术语

3.1 差动电阻式

将两根钢丝的变形设计成能差动变化的结构作为敏感元件的传感器型式。

3.2 电阻比 Z

敏感元件中两个差动变比的钢丝电阻值 R_1 和 R_2 之比,以 Z 表示。

$$Z = \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

3.3 自由状态电阻比

差动电阻式传感器在与电阻比变化量相对应的输入量为零时的电阻比测值。

3.4 0°C 的计算电阻值 R'_0

对差动电阻式传感器 0°C 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,以 R'_0 表示,单位为 Ω 。

3.5 0°C 以上的温度常数 K'

对差动电阻式传感器 0°C 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,以 K' 表示,单位为 $^\circ\text{C}/\Omega$ 。

3.6 0°C 以下的温度常数 K''

用于计算差动电阻式传感器 0°C 以下温度用的温度常数,以 K'' 表示,单位为 $^\circ\text{C}/\Omega$ 。

3.7 最小读数 f

差动电阻式传感器在全量程内相应于输出电阻比变化0.01%时的被测量的值,以 f 表示。

注:本条及3.8条中所指的被测量为与电阻比变化量相对应的输入量,即对应变计系指混凝土应变,钢筋计为钢筋应力,测缝计为混凝土结构物伸缩缝的开合度(变形),孔隙压力计为水压力。

3.8 温度修正系数 b

用于修正差动电阻式传感器的电阻比测值中因温度变化所引起的系统误差,按每1℃需修正的被测量计,以 b 表示。

3.9 应变计的弹性模数 E_g

在轴向受力情况下,应变计横断面上的应力与应变之比,以 E_g 表示,单位为MPa。

$$E_g = \frac{P}{\frac{\pi}{4}d^2\epsilon} \quad (2)$$

式中 P ——应变计所受轴向力, N;

ϵ ——在力 P 作用下应变计所产生的应变值;

d ——应变计外直径, mm。

4 产品品种、规格

4.1 结构型式

应变计由敏感元件、密封壳体及引出电缆三个主要部分组成,如图1所示。

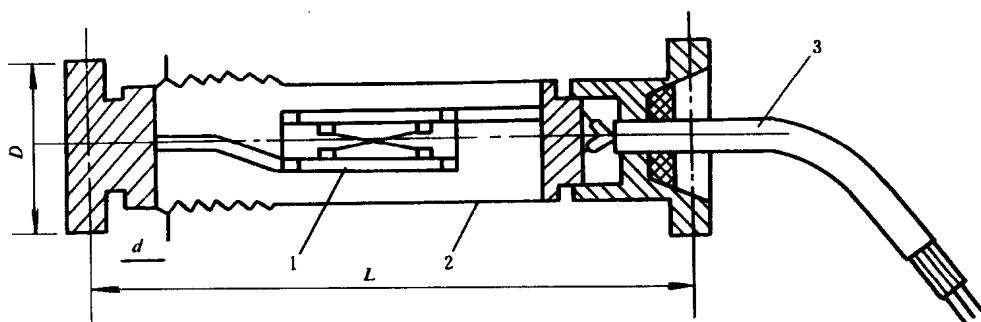


图 1

1—敏感元件; 2—密封壳体; 3—引出电缆

4.2 电路型式

应变计的电路原理图如图2所示。

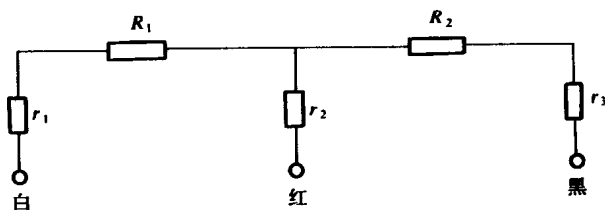


图 2

R_1 —与应变计变形同向的钢丝的电阻值, Ω ; R_2 —与应变计变形反向的钢丝的电阻值, Ω ; r_1 、 r_2 、 r_3 —引出电缆三芯线的电阻值, Ω

4.3 规格及主要参数

应变计的规格代号如表 1 所示,其主要参数应符合表 1 的规定。

表 1

规格代号			S—100	S—150a	S—150b	S—250
尺寸参数	标距 L (mm)		100	150	150	250
	有效直径 d (mm)		21			29
	端部直径 D (mm)		27			37
性能参数	应变测量范围	拉伸 (10^{-6})	1000	400	1200	600
		压缩 (10^{-6})	-1500	-2000	-1200	-1000
	最小读数 f ($10^{-6}/0.01\%$)		<6	<4	<4	<4
	0℃时自由状态电阻比 Z_0		0.9400~1.0400			
	弹性模数 E_g (MPa)		150~250	150~200	150~250	300~500
	温度测量范围 (℃)		-25~+60			

5 技术要求

5.1 正常工作条件

- 应变计应能在 $-25\sim+60^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下正常工作;
- 应变计应能埋设在混凝土内长期正常工作;
- 应变计应能经受 0.5MPa 水压力。

5.2 对应变性能参数的要求

5.2.1 最小读数 f

应变计最小读数 f 值应符合表 1 中有关规定。

5.2.2 0℃时自由状态电阻比 Z_0

应变计在 0℃时自由状态电阻比 Z_0 应符合表 1 中有关规定。

5.2.3 端基线性度误差 α

应变计的端基线性度误差不应超过全量程输出量的 $\pm 2\%$ 。

5.2.4 滞后 α'

应变计的滞后 α' 不应超过全量程输出量的 1.0%。

5.2.5 不重复度 α''

应变计的不重复度不应超过全量程输出量的 1.0%。

5.3 温度测量误差

应变计的温度测值经电阻比变化量修正后,其误差不应超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

5.4 绝缘电阻

在下列条件下应变计的绝缘电阻均应大于 $50\text{M}\Omega$:

- 在温度为 0℃冰水中;

- b. 在温度为 60℃ 水中；
- c. 在压力为 0.5MPa 水中。

5.5 过范围限

5.5.1 应变过范围限

应变计应具有承受测量范围上限值及下限值的 1.2 倍的应变能力。在此范围内，应变计的性能仍应满足 5.2.3、5.2.4、5.2.5 条的要求。

5.5.2 温度过范围限

应变计应具有能承受 -30℃ 及 +70℃ 的温度过范围限能力。当环境条件恢复至参比工作条件后，其性能仍应满足 5.2、5.3、5.4 条的要求。

5.6 温度修正系数 b

应变计温度修正的校准曲线（因温度变化所引起的应变测值的系统误差与温度之间关系的曲线）。其端基线性度误差以电阻比值计，不应超过 $\pm 0.02\%$ 。

5.7 电阻比变化量对电阻值的影响

应变计全量程电阻比变化量与电阻值之间的校准曲线。其线性度误差经电阻值计，不应超过 $\pm 0.04\Omega$ 。

5.8 应变计的弹性模数 E_s

应变计的弹性模数应符合表 1 中的有关规定。

5.9 稳定性要求

5.9.1 高温稳定性

应变计在经受环境温度为 60℃ 历时 20 天的高温试验后，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. 绝缘电阻仍应符合 5.4 条的规定。

5.9.2 长期稳定性

应变计在经受拉伸至测量范围上限值恒定 8h，再压缩至测量范围下限值恒定 8h 的 20 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 值的相对变化量不应超过 $\pm 2\%$ ；
- c. 绝缘电阻仍应符合 5.4 条的规定。

5.10 耐运输颠簸性能

应变计在运输包装的情况下，应能承受最大加速度为 30m/s^2 、频率为 80~120 次/min 历时 2h 的运输颠簸试验。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. 绝缘电阻仍应符合 5.4 条的规定。

5.11 外观要求

应变计的密封壳体不应有锈斑、明显划痕及凹陷损伤；两端部表面应光洁，并目测同心；标距 L 的允许公差为 $\pm 1\text{mm}$ ；引出电缆橡胶套应无损伤。

6 试验方法

6.1 应变性能检验

6.1.1 试验条件、设备及注意事项

6.1.1.1 参比工作条件

- a. 环境温度为 10~30℃。试验时, 环境温度应保持稳定;
- b. 环境相对湿度不大于 80%。

6.1.1.2 主要设备

- a. 应变计校准仪;
- b. 0 级千分表;
- c. 电阻比电桥。

6.1.1.3 注意事项

- a. 应变计应在参比工作条件下预先置放 24h 以上;
- b. 应变计安装于校准仪后的电阻比与安装前的自由状态电阻比之间相差不应超过 $\pm 20 \times 0.01\%$;

c. 校准试验前, 应在测量范围上、下限值的 1.2 倍应变范围内, 将应变计预先拉压 2~3 次循环;

d. 校准试验时, 测试点数及相邻两测试点的应变间距可采用表 2 所列数据。

表 2

规 格	S-100	S-150	S-250
测试点数 n	11	7	9
测试点应变间距 (10^{-6})	250	400	200

6.1.2 端基线性度误差 α 检验

先将应变计压至下限值, 并测量其电阻比。之后, 逐渐拉伸应变计 (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。

$$(Z_a)_i = \frac{(Z_u)_i + (Z_d)_i}{2} \quad (3)$$

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_i 由下式确定:

$$(Z_i)_i = \frac{\Delta Z i}{n-1} + (Z_a)_0 \quad (4)$$

式中 i ——测试点序号 ($i=0, 1, \dots, n$);

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。

计算各测试点电阻比测值的偏差 δ_i :

$$\delta_i = (Z_a)_i - (Z_i)_i \quad (5)$$

偏差值中最大者令为 Δ_1 , 则应变计的端基线性度误差 α :

$$\alpha = \frac{\Delta_1}{\Delta Z} \times 100\% \quad (6)$$

应变计的端基线性度误差应满足 5.2.3 款的要求。

6.1.3 滞后 α'

滞后检验可结合 6.1.2 款（端基线性度误差 α 检验）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 ，则应变计的滞后 α' ：

$$\alpha' = \frac{\Delta_2}{\Delta Z} \times 100\% \quad (7)$$

应变计的滞后应满足 5.2.4 款的要求。

6.1.4 不重复度 α''

不重复度误差检验可结合 6.1.2 款（端基线性度误差 α 检验）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，其中最大者令为 Δ_3 ，则应变计的不重复度 α'' ：

$$\alpha'' = \frac{\Delta_3}{\Delta Z} \times 100\% \quad (8)$$

应变计的不重复度误差应满足 5.2.5 款的要求。

6.1.5 最小读数 f 值的计算

最小读数 f 值由下式确定：

$$f = \frac{\Delta L}{L \Delta Z} \quad (9)$$

式中 ΔL ——相应于全量程的变形量，mm；

L ——应变计标距。

应变计的最小读数应满足 5.2.1 款的要求。

6.2 温度性能检验

6.2.1 试验条件、设备及注意事项

6.2.1.1 参比工作条件

- 环境温度为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ；
- 环境相对湿度不大于 80%。

6.2.1.2 主要设备

- 二等标准水银温度计；
- 电阻比电桥（应采用电压常数小于 $2\mu\text{V}/\text{mm}$ ，阻尼时间不大于 5s 的外接检流计）；
- 恒温水槽（工作区域最大，温差不应超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ）；
- 冰点槽；
- 酒精低温槽（工作区域最大温差不应超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ）。

6.2.1.3 注意事项

- 在 -25 、 0 、 $+30$ 、 $+60^\circ\text{C}$ 四个温度点附近各选择一个测试点；
- 检验方法可参照 JJG 130 中第 11 条（5）、（6）两款中的有关规定；
- 测量时通入应变计敏感元件的电流应小于 5mA。

6.2.2 温度测量误差检验

应变计在 -25 、 0 、 $+30$ 、 $+60^\circ\text{C}$ 四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¹⁾之间的最大差值应满足 5.3 条的要求。

注：1) 见附录 A。

6.2.3 0℃时自由状态电阻比 Z_0 检验

在温度测量误差检验 (5.2.2 款) 时, 实测的应变计 0℃时自由状态电阻比 Z_0 应符合表 1 的要求。

6.3 绝缘电阻检验

应变计在 5.4 条规定的各项试验条件下, 分别进行历时半小时的试验 (试验时引出电缆端部应防止进水)。然后用额定直流电压为 100V 的兆欧表量测电路与密封壳体之间的绝缘电阻。其值应满足 5.4 条的要求。

6.4 过范围限检验

6.4.1 应变过范围限检验

将应变性能检验合格的应变计在测量范围上限值及下限值的 1.2 倍的应变范围内进行应变性能检验, 检验结果应满足 5.5.1 条的要求。

6.4.2 温度过范围限检验

将应变计先后置于 -30℃ 及 +70℃ 两种环境温度下, 各恒温 6h, 当环境条件恢复至参比工作条件后, 其性能应满足 5.5.2 条的要求。

6.5 温度修正系数 b 检验

将应变计固定在一已知温度线膨胀系数的试验器上, 然后将它放入冰点槽及恒温水槽中。在 0℃ 以及 20、40、60℃ 三个温度点附近各选择一个测试点, 测量各测试点稳定温度下的电阻比应变计的温度修正系数 b 由下式算出:

$$b = b_0 - \frac{f(Z_2 - Z_1)}{T} \quad (10)$$

式中 b_0 ——试验器的线膨胀系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

T ——最高温度, $^{\circ}\text{C}$;

Z_2 ——最高温度时实测电阻比;

Z_1 ——0℃时实测电阻比。

应变计的温度修正系数 b 应满足 5.6 条的要求。

6.6 电阻比变化量对电阻值影响的检验

将应变计安装于校准仪上, 在 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下恒温, 待温度稳定后, 采用表 2 中有关测试点及测试点间距的数据, 自测量范围下限值依次拉伸应变计直至测量范围上限值为止, 每到一测试点测读其电阻比与电阻值。电阻比变化量与电阻值之间的校准曲线应满足 5.7 条的要求。

6.7 应变计的弹性模数 E_s 检验

将应变计一端固定, 另一端施加轴向力, 直至电阻比变化量达到 $100 \times 0.01\%$ 左右时, 按式 (2) 计算应变计的弹性模数, 其值应满足 5.8 条的要求。

6.8 稳定性检验

6.8.1 高温稳定性

将应变计置于恒温箱内, 逐渐升温至 60℃ 后恒温 20 天。当环境条件恢复至参比工作条件后, 其性能应满足 5.9.1 条的要求。

6.8.2 长期稳定性

将应变计安装在校准仪上,在 10~30℃ 的环境温度下拉伸至测量范围上限值后恒定 8h,再压缩至测量范围下限值后恒定 8h,如此循环 20 个周期。试验后,其性能应满足 5.9.2 条的要求。

6.9 耐运输颠簸性能检验

应变计按运输要求包装好后,直接固定在运输颠簸试验台上。

按 5.10 条规定的频率、加速度和时间进行运输颠簸试验。试验后,其性能应满足 5.10 条的要求。

6.10 外观检验

用游标卡尺检验标距,其他用肉眼检验。

7 检验规则

7.1 应变计须经制造厂技术检验部门按照出厂试验内容进行检验,并附有产品质量合格证书后才能出厂。

7.2 出厂试验包括下列三项内容:

a. 外观检验;

b. 按 5.2 条(对应变性能参数的要求)、5.3 条(温度测量误差)、5.4 条(绝缘电阻)的要求对每支应变计进行试验;

c. 对于材料及工艺相同的同批应变计,允许抽样按 5.5 条(过范围限)、5.6 条(温度修正系数 b)、5.7 条(电阻比变化量对电阻值的影响)、5.8 条(应变计的弹性模数 E_s)的要求进行试验。抽样数量应为该批总数的 3% 且不得少于五支。

7.3 型式试验系全面验证产品质量性能是否符合本标准第 5 章全部技术要求的试验。在下列情况下应进行型式试验:

a. 在新产品定型时;

b. 应变计在设计、工艺或使用材料上有重大改变时;

c. 同类型产品对比时;

d. 停止生产一年以上的产品再次生产时;

e. 正常生产的产品,每年应进行一次。

进行型式试验的样品数量应为该批总数的 3% 且不得少于五支。经试验,如发现有不合格者,应加倍抽样进行复试。复试如仍有不合格者,则本批产品的型式试验为不合格。

进行过型式试验的产品,如符合本标准要求,仍可出厂。

7.4 用户有权检查产品质量是否符合本标准全部技术要求。

应变计自出厂之日起两年内,如性能低于本标准要求且系属生产质量问题时,应由厂方负责更换。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 应变计引出电缆端部应挂有厂牌,厂牌上应印有应变计的型号及工厂编号。

8.2 每支应变计应带有产品检验卡片,卡片上应填有如下数据:

a. 型号、规格及工厂编号;

b. 测量范围的上限值、下限值;

- c. 最小读数 f ;
- d. 0°C 时自由状态电阻比 Z_0 ;
- e. 温度测量范围;
- f. 0°C 时实测电阻值 R_0 , 0°C 时计算电阻值 R'_0 ;
- g. 0°C 以上的温度常数 K' , 0°C 以下的温度常数 K'' ;
- h. 温度修正系数 b ;
- i. 绝缘电阻;
- j. 制造日期。

8.3 包装应包括内包装及外包装:

- a. 内包装为入库贮存的包装。将应变计和产品检验卡片一起进行内包装;
- b. 外包装是为出厂运输而进行的包装, 将带有内包装的应变计放入外包装箱内。箱外表面标志应符合 GB 191, 除应标明取货单位的名称地址和生产厂家等字样外, 还应有“精密仪器、轻拿轻放”“防止受潮”“向上”等标志。

8.4 随同产品供应的技术文件

- a. 装箱清单;
- b. 产品检验卡片;
- c. 产品技术说明书。

8.5 拆箱后的应变计应贮存在不受日光的直接照射, 周围空气不含有腐蚀性气体的房间内。贮存的环境应在应变计的温度测量范围内, 环境的相对湿度不应大于 85%。

附录 A
差动电阻式传感器测量温度的参数
(补充件)

A1 差动电阻式传感器 (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二次方程拟合时, 可以得到小于 0.1°C 的一致性误差。

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad (\text{A1})$$

式中 t ——被测温度, $^{\circ}\text{C}$;

R_t ——传感器在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的电阻值, Ω ;

R_0 ——传感器在 0°C 时的实测电阻值, Ω ;

α ——一次项电阻温度系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

β ——二次项电阻温度系数, $^{\circ}\text{C}^{-2}$ 。

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, 同一批材料制成的同一种规格的传感器具有相同的系数 α 和 β 值。一般 α 约为 $2.89 \times 10^{-3} ^{\circ}\text{C}^{-1}$, β 约为 $2.2 \times 10^{-6} ^{\circ}\text{C}^{-2}$ 。

A2 校准曲线的拟合折线

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, 对差动电阻式传感器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 中直线 pq, 其方程式为:

$$R_t = R_0 \left(1 - \frac{\beta}{8} T_1^2 \right) + R_0 (\alpha + \beta T_1) t \quad (\text{A2})$$

式中 T_1 ——温度测量范围的上限值, $^{\circ}\text{C}$;

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 $T_1 (^{\circ}\text{C})$ 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)。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 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 $R_0 \frac{\beta}{8} T_1^2$ 。

射线 pm 的方程式如下: