

# 工业热电阻测量结果的不确定度分析

滕绍祥 张健 聂爽

工业热电阻在工业过程测量和控制系统中得到了极其广泛的应用。为保证工业热电阻在使用中的准确性,必须对热电阻定期检测。如何正确分析和计算工业热电阻测量结果的不确定度,在测量检测环节中是非常重要的。本文将 Pt100 在 0℃ 处的测量结果的不确定度分析为例,其它热电阻在不同的温度点测量结果的不确定度分析方法与此方法相同,这里因篇幅有限不再赘述,下面从几个方面对工业热电阻测量结果的不确定度进行分析。

## 一、数学模型的建立

根据 JJG229-98《工业热电阻计量检定规程》中工业热电阻计算公式推导出工业热电阻的数学模型:

$$f(x)=R(0^{\circ}\text{C})=R_1-K_1R_1^*+K_2\cdots\cdots\cdots(1)$$

式中:  $R(0^{\circ}\text{C})$ ——被检工业热电阻的电阻实际值 ( $\Omega$ );  $R_1$ ——被检热电阻的测量值 ( $\Omega$ );  $R_1^*$ ——二等标准铂电阻的测量值 ( $\Omega$ );  $K_1=0.00391R(0^{\circ}\text{C})/0.00399R_1^*$ ;  $K_2=0.00391R(0^{\circ}\text{C})/1.0000398\times 0.00399$ ; 其中  $R(0^{\circ}\text{C})$  为被检热电阻在 0℃ 的标称电阻值 ( $\Omega$ );  $R_1^*$  标准铂电阻温度计在水三相点的电阻值 ( $\Omega$ )

## 二、根据数学模型求方差和传播系数

2.1 因各输入分量互相对立,测量结果的不确定度的方差为:

$$u^2(y)=\sum_{i=1}^n(\frac{\partial f}{\partial x_i})^2u^2(x_i)=\sum_{i=1}^nc_i^2u^2(x_i)=c_1^2u_1^2+c_2^2u_2^2$$

式中  $c_1$ 、 $u_1$ 、 $c_2$ 、 $u_2$  分别为被检热电阻和标准装置的传播系数和不确定度。

## 2.2 求传播系数 $c_1$ 、 $c_2$

由公式得:  $c_1=\frac{\partial f}{\partial R_1}=\frac{\partial R_1}{\partial R_1}=1$ ;  $c_2=\frac{\partial f}{\partial R_1^*}=\frac{\partial R_1}{\partial R_1^*}=-K_1$  通过查所用二等标准铂电阻检定证书得到:  $R_1^*=26.2063\Omega$ ,  $W^*(100^{\circ}\text{C})=1.39264$  计算出  $c_2=-K_1/3.73937$

## 三、计算分量标准不确定度

### 3.1 被检热电阻引入的不确定度 $u_1$

在 0℃ 处对被检热电阻测量十次,得到十次测量结果单位 ( $\Omega$ ): 100.0260, 100.0242, 100.0209, 100.0217, 100.0183, 100.0168, 100.0230, 100.0187, 100.0145, 100.0170。采用贝塞尔公式计算出单次测量的标准偏差  $u_{\text{单}}=s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})^2}{(n-1)}}$

$1/2=0.00036(\Omega)$ , 被检热电阻平均值的标准偏差即: 被检热电阻的标准不确定度  $u_1=u_{\text{单}}/n^{1/2}=0.0011(\Omega)$ , 各测量值为随机量,属 A 类分量,自由度  $V_1=n-1=9$

### 3.2 标准装置带来的不确定度 $u_{21}$

标准装置带来的不确定度主要由标准器、电测设备及恒温槽三个部分组成,分别计算如下:

#### 3.2.1 二等标准铂电阻带来的不确定度 $u_{21}$

根据国家量传系统表得到 0℃ 处二等标准铂电阻的扩展不确定度为 10mk, 其分布为正态分布,完全可靠。标准铂电阻带来的不确定度:  $u_{21}(0^{\circ}\text{C})=(10\times 10^{-3}/3)\times (dR/dt)^*_{t=0}=0.34\times 10^{-3}\Omega$

式中  $(dR/dt)^*_{t=0}$ ——标准铂电阻的电阻变化率,取自由度  $V_{21}=8$

#### 3.2.2 电测设备的不确定度分量 $u_{22}$

因电测设备 QJ18a 的精度  $A=0.02\%$ 。根据公式  $|\Delta|\leq K(A^*R_0+0.00003)$  其中  $K=1$ ,  $R_0=26.2063\Omega$ ,

得到  $|\Delta|_{0.02\%}=0.00527\Omega$ , 其分布为均匀分布,属 B 类分量取其不可靠性为 10%,则:  $u_{22}(0^{\circ}\text{C})=|\Delta|_{0.02\%}/\sqrt{3}=0.00304\Omega$

其自由度  $V_{22}=1/2(10\%)^2=50$

#### 3.2.3 温场温度波动带来的不确定度 $u_{23}$

冰点槽水平最大温度波动为 0.01℃,取其半宽为  $a=0.01/2=0.005^{\circ}\text{C}$ ,分布为均匀分布,属 B 类分量,取其不可靠性为 10%,则:  $u_{23}(0^{\circ}\text{C})=(a/\sqrt{3})(dR/dt)^*_{t=0}=0.302\times 10^{-3}\Omega$ , 其自由度为  $V_{23}=1/2(10\%)^2=50$

#### 3.2.4 标准装置不确定度的合成

由上面各分量的分析和计算得到标准装置合成不确定度为:

$$u_2(0^{\circ}\text{C})=\sqrt{u_{21}^2(0^{\circ}\text{C})+u_{22}^2(0^{\circ}\text{C})+u_{23}^2(0^{\circ}\text{C})}=3.07\times 10^{-3}(\Omega)$$

## 四、测量结果的不确定度 $u_c(y)$

根据不确定度的计算公式得:

$$u_c(y)=\left[\sum_{i=1}^2c_i^2u^2(x_i)\right]^{1/2}=0.012\Omega=0.0290^{\circ}\text{C}$$

自由度公式:

$$V_{\text{eff}}=u_c^4(y)/\sum_{i=1}^2(c_i^4u_i^4/V_i)=u_c^4(y)/(c_1^4u_1^4/V_1+c_2^4u_2^4/V_2)=52$$

## 五、扩展不确定度 $U$

根据公式  $U=t_p(V_{\text{eff}})u_c(y)$ , 取  $P=95\%$ , 根据  $V_{\text{eff}}$  查  $t$  分布表得到  $t_p(V_{\text{eff}})=2.009$ , 则被检热电阻 Pt100 在 0℃ 处的测量结果的扩展不确定度为  $U=t_p(V_{\text{eff}})u_c(y)=0.023\Omega=0.058^{\circ}\text{C}$  (作者单位: 黑龙江省计量检定测试所)

# 浅析水泥地面出现质量通病的原因

王伟峰 史建东

在工程建设中,我们会经常发现水泥地面均有不同程度的裂缝、空鼓、起砂,甚至表面脱皮等现象,产生上述质量通病的原因主要有以下几方面。

## 1、地面裂缝

在地面出现不规则的发丝裂缝,其原因有以下几点:

①沿楼板顺板缝长度方向裂缝。主要是施工时嵌缝质量粗糙;板缝清理不净;混凝土浇灌不实;养护不好;板缝混凝土强度不够就增加施工荷载,使楼板受荷后产生变形,灌缝混凝土和楼板间产生缝隙,抹面后出现裂缝。

②顺楼板支座搁置方向裂缝。预制楼板受荷载后产生挠度,跨中挠度最大,而板端则上翘,容易在板端头出现裂缝;安装楼板时支座外座浆不实或不座浆,接头灌缝不严;另一方面,由于横隔墙承受荷载较大,沉降量也大,如果面层施工较早,横隔墙受荷后沉降,使楼板搁置端自由转动,使地表面出现较大拉应力而产生裂缝。

③地面面层不规则裂缝。由于水泥安定性不好,强度不够,或采用不同品种标号的水泥混杂使用,由于凝结硬化时间及收缩量不同造成面层裂缝;砂子粒度过细,含泥量过大,拌合物强度低,容易引起收缩裂缝;操作时灰比过大,配合比不准确,造成砂浆离析,强度低,削弱了砂浆的粘聚力,使收缩率增大;而层养护不及时或不养护,产生收缩裂缝;基层不平整,使面层厚薄不均匀,或是面积较大而设分格缝,在表面产生收缩裂缝;结构变形使用外加剂过量及空鼓也容易引起裂缝。

## 2、地面空鼓

面层没有与基层结合,敲击有空声,产生空鼓现象其原因是:

①基层表面清理不干净,有浮灰、浆膜和其他污物。

②面层施工时,基层表面不浇水湿润或浇水不足,由于垫层吸收水分,影响了砂浆强度,面层与垫层结合不牢;另外,基层表面有积水,增大了积水部分砂浆的水灰比,使面层不能与基层粘结好,容易产生空鼓。

③垫层质量不好引起空鼓。混凝土或浮石混凝土垫层结合比掌握不严,灰渣过多,拍振不实,使垫层强度低,收缩大,与面层形成两张皮;电线暗管埋设不牢,抹灰过程中松动,影响面层与基层结合,产生顺电线管空鼓。

## 3、地面起砂

表面不光滑,地表面出现一层水混和砂子的粉末。其原因是:

(1)原材料不合乎要求。水泥标号和品种选择不当,或用过期受潮水泥,影响地面强度及耐磨性;砂子粒度过细,拌合时用水量,水灰比加大,强度降低;砂子含泥量过大,影响水泥和砂子的粘结。

(2)拌合物稠度过大,造成骨料沉淀和析水,降低了表面强度和耐磨性。

(3)工序安排不当,造成地面压光时间过早或过迟,也会降低面层砂浆强度和耐磨能力;养护过早或不养护、过早上人,早期受冻等都将影响水泥地面质量。严重时间生起砂掉皮。

## 4、地面脱皮

硬化后的地面脱落现象为脱皮,其原因是:

水泥地面产生部分表面脱落现象,大都是基层清理不净或施工时垫层表面有各水,使面层与基层没有很好的结合;施工时,地面面层时期受冻都能引起地表面脱落的现象;压光时撒干灰面,在使用一定时间后,地面而会象“剥皮的馒头”一样。

(作者单位: 呼兰县第一建筑工程公司、呼兰县建设监理公司)