

# EJ

## 中华人民共和国核行业标准

EJ 660—92

---

### 核级铠装热电偶

1992-07-24 发布

1992-12-01 实施

---

中国核工业总公司 发布

## 核级铠装热电偶

### 1 主题内容与适用范围

本标准规定了反应堆或环境条件超过一般要求的其他场合使用的铠装热电偶的技术要求和检验方法。

本标准适用于奥氏体不锈钢管作套管、氧化铝或氧化镁作绝缘材料、K 型或其他适用的热电偶丝作热电极的铠装热电偶。

### 2 引用标准

- GB 1031 表面粗糙度 参数及其数值
- GB 2270 不锈钢无缝钢管
- GB 3090 不锈钢小直径钢管
- GB 3323 钢焊缝射线照相及底片等级分类法
- GB 4334.1 不锈钢 10%草酸浸蚀试验方法
- GB 6394 金属平均晶粒度测定法
- GB 7668 铠装热电偶材料
- GB 7669 铠装热电偶材料试验方法
- GB 10561 钢中非金属夹杂物显微评定方法

### 3 术语

GB 7668 及 GB 7669 中规定的术语适用于本标准。

### 4 热电偶的类型及尺寸

#### 4.1 热电偶的类型

本标准适用的铠装热电偶,按测量端的结构形式分为两类:

- a. 1 型——接地型,测量端与外套管相焊接,如图 1 所示;
- b. 2 型——绝缘型,测量端与外套管相绝缘,如图 2 所示。

#### 4.2 热电偶的尺寸

成品热电偶的名义直径及各尺寸的偏差必须符合表 1 的规定。

### 5 原材料及成品热电偶的处理

#### 5.1 铠装热电偶用主要原材料的要求

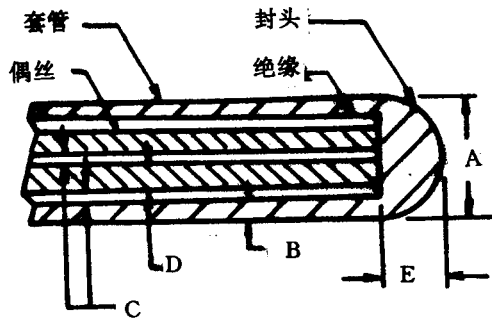


图1 接地型测量端,1型

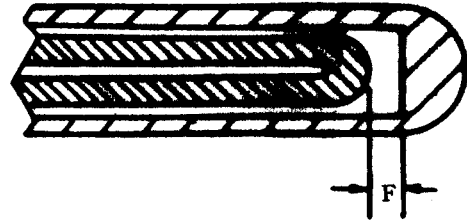


图2 绝缘型测量端,2型

表1 铠装热电偶尺寸

mm

外径,A		最小壁厚 B	最小绝缘厚度 C	最小丝径 D	封头高度,E		绝缘高度,F	
名义直径	偏差				最小	最大	最小	最大
1.0	±0.03	0.15	0.10	0.15	0.15	0.50	0.10	0.50
1.5	±0.03	0.20	0.15	0.23	0.20	0.75	0.15	0.75
2.0	±0.03	0.25	0.20	0.30	0.25	1.00	0.20	1.00
3.0	±0.03	0.30	0.30	0.45	0.30	1.50	0.30	1.50
4.0	±0.03	0.40	0.40	0.55	0.40	2.00	0.40	2.00
4.5	±0.03	0.45	0.45	0.68	0.45	2.25	0.45	2.25
5.0	±0.03	0.50	0.50	0.70	0.50	2.50	0.50	2.50
6.0	±0.05	0.60	0.60	0.90	0.60	3.00	0.60	3.00

### 5.1.1 套管材料

用作套管的奥氏体不锈钢管必须符合 GB 2270 或 GB 3090 的要求。此外,还必须满足下列要求:

5.1.1.1 管材的非金属夹杂物等级应在管子轴向至少为 25mm 长的试样上,用 GB 10561 规定的 A 法,根据 JK 图来评定。夹杂物的等级,无论是细系或粗系,均不得次于 3 级。

5.1.1.2 管材的晶粒度由 GB 6394 规定的比较法来测定。晶粒度不得超过该标准规定的最大值。

5.1.1.3 所采用的每批管子的晶间腐蚀倾向应由 GB 4334.1 规定的方法进行筛选试验。可接受的水平应取得厂家和用户双方认可。

### 5.1.2 热电偶丝

对 K 型热电偶丝,其初次分度值不得超过标准分度表的允差值。对用户指定的其他热电偶丝,其分度值、偏差和分散度由用户和厂方协商确定。

### 5.1.3 绝缘材料

绝缘材料应是氧化镁或氧化铝,它们的成分必须分别满足下列要求:

5.1.3.1 氧化镁应是纯度不低于 99.4% 的电熔氧化镁。杂质中硼和镉的含量之和不得超过 30ppm,硫的含量必须低于 50ppm,碳的含量必须低于 300ppm。

5.1.3.2 氧化铝应是纯度不低于 99.5% 的  $\alpha$  氧化铝。杂质中硼和镉的含量之和不得超过 30ppm,硫的含量必须低于 50ppm,碳的含量必须低于 300ppm。

5.1.3.3 热电偶制造厂家必须保证铠装热电偶成品中绝缘材料的纯度在上述规定限值之内。

### 5.1.4 焊丝

用来焊接铠装热电偶套管封头的焊丝材料,应满足相应套管材料的焊接要求。

## 5.2 成品热电偶的处理

### 5.2.1 清洗

热电偶交货时,其表面必须没有如硼或镉的化合物等核毒物。也不得有如氯化物、强酸、碱、油类、油脂或灰尘等杂质。因为,它们在反应堆冷却剂中或传热介质中可能成为腐蚀或化学变化的根源。最后清洗可以使用酒精或甲基异丁基酮,但不得使用卤素。

### 5.2.2 退火

成品热电偶必须经固溶退火,但不得敏化。

## 6 检验和测试方法

### 6.1 一般要求

必须按 6.1.2 条规定的取样程序及本标准规定的检验要求来检查和验收热电偶。

6.1.1 热电偶验收时,必须具备本标准所要求的合格结果,以及选定样品的两个附加试验(见 6.7 条和 6.9.2 条)的合格结果。

6.1.2 把用相同的材料、由同一工艺流程制造的热电偶分成若干“组”,每“组”不超过 15 支。从每“组”中任选一支热电偶作样品。从每支样品中截取一段,按 6.7 条和 6.9.2 条的要求进行试验。

### 6.2 绝缘电阻试验

6.2.1 热电偶丝之间及每根热电偶丝与套管之间的绝缘电阻必须满足表 2 的要求。测试时按正反两个极性施加规定的直流电压。不论是 1 型热电偶还是 2 型热电偶,测试工作均在测量端焊接之前进行。被测热电偶的长度不超过 15m。

6.2.2 对 1 型成品热电偶,用户可从该种热电偶的每“组”中任选一支样品,割去测量端来进行测试,但操作时必须防止湿气浸入。如果这支样品热电偶的绝缘不合格,就应拒收这“组”的全部热电偶。

6.2.3 对 2 型成品热电偶,用户可以逐支检查热电偶丝与套管之间的绝缘电阻以确定接收

与否。

表 2 绝缘电阻

铠装热电偶外径 mm	外加直流电压 V	绝缘电阻 MΩ
1.0, 1.5	≥50	≥1000
2.0~6.0	500	≥5000

### 6.3 射线照相检查

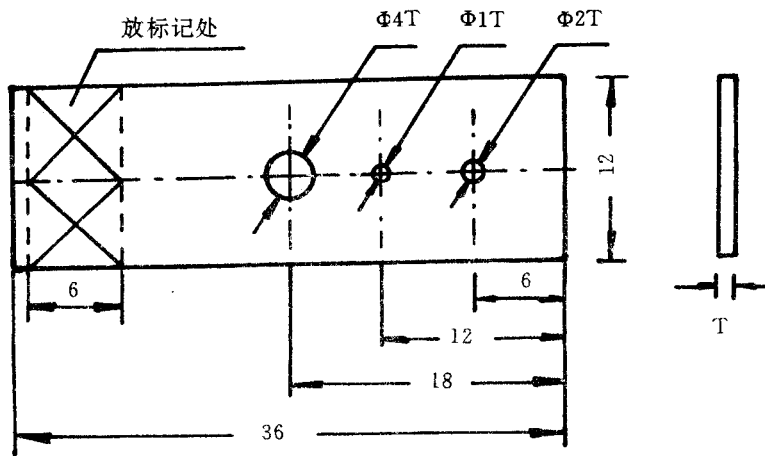
6.3.1 用射线照相来检查每支成品热电偶的尺寸和缺陷。成品热电偶的尺寸必须满足表 1 的规定,任何缺陷不得超过 6.3.1.1 条和 6.3.1.2 条的允许值。检查长度从成品热电偶的测量端起(包括测量端在内)至少 100mm。

6.3.1.1 套管壁上的裂纹、气隙或夹杂等的允许值为下列两者中的大者:套管壁厚的 15% 或 0.05mm。

6.3.1.2 测量端或测量端附近的裂纹、气隙、夹杂,不连续性或热电偶丝、绝缘、套管直径的局部缩减等的允许值为 0.05mm。

6.3.2 射线照相应垂直于热电偶轴线的相隔 90°的两个方向上进行。

6.3.3 射线照相可参照 GB 3323 中有关规定进行,但须采用图 3 所示的透度计(象质计)。透度计用射线照相特性与热电偶套管相似的材料制造,其厚度 T 为 0.13mm。其上的三个小孔应垂直于透度计的表面且不得倒角。它们的直径必须分别不大于 1T(0.13mm)、2T(0.26mm)和 4T(0.52mm)。射线相片上,透度计和它的 1T 孔必须清晰可见。



孔径和厚度的公差应小于±10%

图 3 透度计设计

6.3.4 射线照相时,透度计放在与热电偶套管材料化学成分相同、厚度等于套管名义壁厚2倍的一块金属片上。该金属片放在一块塑料垫片上,使透度计的上表面与热电偶套管的上表面在同一高度上。金属片或垫片的宽度和长度至少比透度计大6mm。透度计安放在金属片的中部。透度计和金属片应垂直于射线并放置在底片的射线源侧。金属片与最近一支热电偶的距离应不小于13mm。

6.3.5 提供给用户的射线照片上应有合适的标记,使用户能根据照片来识别每支热电偶。

#### 6.4 热电偶套管的完整性

6.4.1 用质谱仪法检查所有成品热电偶套管和测量端的完整性,其方法如下:用焊接或其他方法密封套管的另一端。用浸透酒精的绸布将套管擦拭干净。在套管的外部用氦气加压到至少6.7MPa,保持5~10min。再次用浸透酒精的绸布把热电偶套管擦拭一遍,并在2h之内把它们插到试验容器中。把试验容器抽到6.7Pa或更高的真空,用氦质谱检漏仪检测有无氦气存在。检测时间至少为“系统响应时间”(见6.4.3条)的3倍。如果氦漏率指示值(以标准状态计,下同)不小于 $6 \times 10^{-9} \text{cm}^3/\text{s}$ 就应认为有明显的泄漏。这种热电偶必须淘汰。

6.4.2 应在同一天内的每次检查或每批检查的前后,用一个标准漏孔或一个标定过的已知漏率的漏孔来测定检漏仪及与之相连的真空容器(以下简称为系统)的灵敏度。如果后一次的灵敏度试验表明该系统的灵敏度低于6.4.3条规定的最低值,则必须重做该次检漏试验。

6.4.3 系统的最低灵敏度应为 $3 \times 10^{-9} \text{cm}^3/\text{s}$ (即检漏仪的最小分度值)。 $6 \times 10^{-9} \text{cm}^3/\text{s}$ 的泄漏率将使检漏仪的指针产生一个附加的偏移,该偏移值至少等于本底信号和检漏仪自身产生的噪声信号综合引起的偏移量。系统灵敏度的测定方法如下:在离检漏仪的最远处以标准漏率或标定过的已知漏率向系统注入氦气,测定检漏仪达到稳定指示值所需的时间,用这个稳定指示值来确定系统的灵敏度。检漏仪达到这个稳定示值所需的时间定义为“系统的响应时间”。

#### 6.5 表面粗糙度

所有成品热电偶均应有光泽的表面,其粗糙度数值(Ra)不得大于GB 1031所规定的 $0.8 \mu\text{m}$ 。

#### 6.6 表面缺陷

表面缺陷用后乳化性荧光渗透探伤法或溶剂去除性着色渗透探伤法进行检查。成品热电偶套管的表面必须无可见的裂纹、伤痕、气孔或其他缺陷,否则可以拒收。

#### 6.7 套管的金相结构

6.7.1 根据6.1.2条所述的方法选择样品热电偶,对奥氏体不锈钢套管进行金相试验。把所选的一段套管在直径为套管直径2倍的芯轴上绕3整圈,切下中间的一圈镶样作金相试验。在放大倍数为200~500倍的金相显微镜上,用一般的金相照相方法进行纵向切片检查时,不应有裂纹或壁厚局部变薄的迹象。

6.7.2 从未经弯曲的样品热电偶上取一横向切片作晶粒度、缺陷和晶界浸蚀的测定。用GB 6394规定的比较法来确定晶粒度,其值不得超过该标准所规定的最大值。缺陷和晶界浸蚀不得超过壁厚的10%或0.05mm(取两者中的小者)。

6.7.3 从未经弯曲的样品热电偶上取一纵向切片。用GB 10561规定的A法,根据JK图来

评定夹杂物的等级。无论是细系还是粗系,该等级均不得次于3级。缺陷和晶界浸蚀不得超过壁厚的10%或0.05mm(取两者中的小者)。

**6.7.4** 如果用户有特殊要求,可根据GB 4334.1的筛选法对样品热电偶进行晶间腐蚀检验或超量碳化物析出检验。其允许值由用户和厂方协商确定。

## **6.8 测量端的热循环试验**

**6.8.1** 作热循环试验的试验介质应没有腐蚀性,并在试验过程中保持在 $400\pm 10^{\circ}\text{C}$ 范围内。

**6.8.2** 热循环试验的方法:把热电偶的测量端插到试验介质中,插入深度至少为100mm,历时2~5min。然后从试验介质中取出,在5s之内用冷水淬火冷却到室温。在下次热循环之前,在室温下经历的总时间不得小于1min。必须对所有成品热电偶进行连续5次热循环试验。

**6.8.3** 热循环试验后,必须测试每支成品热电偶丝的电连续性。测试电压不超过交流6V(有效值)或直流6V。偶丝断路的热电偶必须淘汰。

**6.8.4** 2型热电偶在热循环试验后,须重新测量其绝缘电阻,并且必须满足表2的要求。

## **6.9 分度**

**6.9.1** 成品热电偶在热循环试验后必须按GB 7669的方法进行分度试验。检验温度点为 $100^{\circ}\text{C}$ 、 $300^{\circ}\text{C}$ 和 $400^{\circ}\text{C}$ 。对K型热电偶,其初次分度值不得超过分度表的允差值。对用户指定的其他铠装热电偶,其允差和分散度不得超过合同规定的允许值。

**6.9.2** 必须对样品热电偶进行高温分度。为此,应截取一段带测量端的热电偶。检验温度点为 $500^{\circ}\text{C}$ 、 $700^{\circ}\text{C}$ 和 $900^{\circ}\text{C}$ 。检验方法及允差要求同6.9.1条。

## **6.10 绝缘材料最小压实密度**

绝缘材料的最小压实密度:氧化镁应为 $2500\text{mg}/\text{cm}^3$ 、 $\alpha$ 氧化铝应为 $2780\text{mg}/\text{cm}^3$ 。

## **7 文件**

**7.1** 向用户提供关于材料的下列文件:

- a. 套管材料的化学分析报告及合格证(见5.1.1条);
- b. 热电偶丝的合格证(见5.1.2条);
- c. 绝缘材料成分测试报告及合格证(见5.1.3条)。

**7.2** 向用户提供每支成品热电偶的下列文件:

- a. 绝缘电阻测试结果(见6.2条);
- b. 射线照相检查结果(见6.3条);
- c. 套管完整性检查结果(见6.4条);
- d. 液体渗透法检查结果(见6.6条);
- e. 热循环试验结果(见6.8条);
- f. 分度结果(见6.9.1条)。

**7.3** 向用户提供样品热电偶的下列文件:

- a. 金相组织测试结果(见6.7条);

b. 分度结果(见 6.9.2 条)。

## 8 包装与标志

### 8.1 密封

包装以前封焊热电偶的开口端。为了区分热电偶的密封端和测量端,密封端的外形和尺寸应明显不同于测量端。

### 8.2 标志

将 2 条耐腐蚀的金属片制的标签牢固地绑在热电偶的两端。建议标签的尺寸为 20mm×50mm。标签上应标明制造厂名、订货单号、热电偶的编号和出厂年、月、日。

### 8.3 包装

包装以前必须清除热电偶套管外表面的润滑脂、油类、指印、污垢、水垢及其他外来杂质。当热电偶直径不小于 4mm 且长度小于 3m 时,拉直后成捆运输,否则绕成直径不小于套管直径 200 倍或 400mm(取大者)的圈状成卷运输。每支热电偶应分别封装在聚乙烯塑料袋中,然后把这些塑料袋装入坚固的木箱内以防运输和装卸过程中损伤热电偶。

每个运货箱上应清楚地标明用户的地址、订货单号和制造厂家的名称等。

---

### 附加说明:

本标准由全国核仪器仪表标准化技术委员会提出。

本标准由中国核动力研究设计院负责起草。

本标准主要起草人:江兴英。

本标准参照采用 ASTM E235-88《核场或其他要求高可靠性场合使用的 K 型铠装热电偶》。



