



# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1019 — 2019  
代替 DL/T 1019 — 2006

---

## 电容式垂线坐标仪

Capacitance type pendulum telecoordinometer

2019-11-04 发布

2020-05-01 实施

---

国家能源局 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 产品原理与规格 ..... 1

5 技术要求 ..... 2

6 试验方法 ..... 3

7 检验规则 ..... 5

8 标志、说明书、包装、运输、贮存 ..... 6

附录 A（规范性附录） 电容式垂线坐标仪位移计算方法 ..... 7

附录 B（规范性附录） 电容式垂线坐标仪指标与参数计算方法 ..... 8

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准代替 DL/T 1019—2006《电容式垂线坐标仪》，除编辑性修订外，主要技术变化如下：

- 增加了“仪器系数”的术语和定义（见 3.1）；
- 修改了“耐运输颠簸性能”的条款内容（见 5.8，2006 年版的 4.8）；
- 主要试验设备增加了光栅尺标定设备（见 6.1）；
- 修改了“温度附加误差试验”的试验条件（见 6.5，2006 年版的 5.4）；
- 修改了“湿度附加误差试验”的试验条件（见 6.6，2006 年版的 5.5）；
- 修改了出厂检验资料要求（见 7.2.2，2006 年版的 6.2.2）；
- 增加了合格证内容要求（见 7.2.3）；
- 增加了说明书要求（见 8.2）；
- 修改了包装要求，分为“内包装”要求和“外包装”要求（见 8.3，2006 年版的 7.2）；
- 修改了贮存要求（见 8.5，2006 年版的 7.4）；
- 修改了“附录 A”，将“附录 A”分为“附录 A”和“附录 B”；
- 修改了“不重复度”“滞后”计算方法（见附录 B，2006 年版的附录 A）；
- 删除了“稳定性试验”中重复的条件（见 2006 年版的 5.7）；
- 删除了“综合误差”（见 2006 年版的 4.3.2）。

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。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业大坝安全监测标准化技术委员会（DL/TC 32）归口并负责解释。

本标准主要起草单位：国网电力科学研究院有限公司。

本标准主要起草人：郑水华、刘果、崔岗、王梅枝、凌骐、韩世栋、胡波、陈俊生、周旭飞、马文锋、夏明。

本标准的历次版本发布情况为：

- DL/T 1019—2006。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 电容式垂线坐标仪

## 1 范围

本标准规定了电容式垂线坐标仪的产品原理与规格、技术要求、试验方法、检验规则，以及标志、说明书、包装、运输、贮存的要求。

本标准适用于大坝及岩土工程安全监测中测量位移的电容式垂线坐标仪。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 191 包装储运图示标志

GB/T 6388 运输包装收发货标志

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**仪器系数 instrument coefficient**

电容式垂线坐标仪在全量程范围内变化 1 个电容比时被测量的变化值。

## 4 产品原理与规格

### 4.1 产品原理

电容式垂线坐标仪根据变间隙型电容感应原理设计，用于测量水平面内互相垂直的  $X$ 、 $Y$  两个方向位移的变化，其原理及结构示意图 1。当测点相对于垂线的位置变化时，引起固定在垂线上的中间极与平行极板间电容量发生变化，通过测量电容比，计算得到测点相对于垂线的位移。位移计算见附录 A。

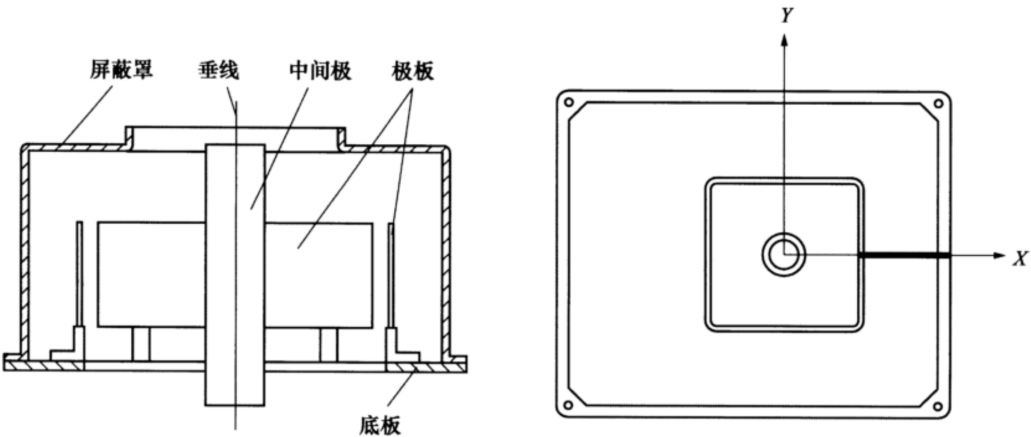


图 1 电容式垂线坐标仪原理及结构示意图



4.2 产品规格

电容式垂线坐标仪的基本规格见表 1。

表 1 电容式垂线坐标仪的基本规格

| 仪 器 名 称  | 测 量 范 围<br>mm |       |
|----------|---------------|-------|
|          | X 向           | Y 向   |
| 电容式垂线坐标仪 | 0~10          | 0~10  |
|          | 0~25          | 0~25  |
|          | 0~50          | 0~50  |
|          | 0~100         | 0~100 |

5 技术要求

5.1 环境条件

5.1.1 正常工作条件

- a) 环境温度：-20℃~+60℃；
- b) 相对湿度：≤95%；
- c) 大气压力：53 kPa~106 kPa。

5.1.2 仲裁试验条件

- a) 环境温度：20℃±2℃；
- b) 相对湿度：60%~70%；
- c) 大气压力：86 kPa~106 kPa。

5.1.3 正常试验条件

- a) 环境温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：25%~75%；
- c) 大气压力：86 kPa~106 kPa。

5.2 外观

电容式垂线坐标仪外观应无变形，表面无明显划痕；商标、型号等标志清晰；紧固件无松动。

5.3 主要技术指标

电容式垂线坐标仪的主要技术指标应满足下列要求：

- a) 分辨力  $k$  不大于满量程的 0.1%；
- b) 非线性度  $\delta_1$  不大于满量程的 0.6%；对测量范围大于 50 mm 的仪器采用非线性多项式拟合曲线校准，拟合误差不大于满量程的 0.5%；
- c) 不重复度  $\delta_2$  不大于满量程的 0.25%；
- d) 滞后  $\delta_3$  不大于满量程的 0.25%。

#### 5.4 绝缘性能

电容式垂线坐标仪感应极引线 with 屏蔽线之间的绝缘电阻应不小于 10 M $\Omega$ 。

#### 5.5 温度附加误差

电容式垂线坐标仪的温度附加误差 $\delta_t$ 不大于满量程的 0.04%/℃。

#### 5.6 湿度附加误差

电容式垂线坐标仪在 95%的相对湿度条件下应能正常工作，其湿度附加误差 $\delta_h$ 不大于满量程的 0.5%，且绝缘性能应满足 5.4 的要求。

#### 5.7 稳定性

电容式垂线坐标仪的漂移量 $\delta_d$ 不大于满量程的 0.5%，且性能应满足 5.3 和 5.4 的要求。

#### 5.8 耐运输颠簸性能

在运输包装状态下，设置振动系统的扫频振动频率为 10 Hz~150 Hz~10 Hz，扫频速度为每分钟 1 倍频程，加速度为 2g，对电容式垂线坐标仪进行循环 3 个周期的单轴振动试验。试验后测试其性能参数仍应满足 5.3 要求，且外观符合 5.2 的要求。

### 6 试验方法

#### 6.1 主要试验设备

- a) 标定设备、固定夹具；
- b) 光栅尺（游标卡尺）：测量范围 0 mm~30 mm、0 mm~50 mm、0 mm~100 mm、0 mm~150 mm，精度 0.05 mm；
- c) 百分表：测量范围 0 mm~30 mm、0 mm~50 mm、0 mm~100 mm，分度值 0.01 mm；
- d) 电容式仪器数据采集装置或测量仪表；
- e) 100 V 绝缘电阻表；
- f) 环境试验箱：温度偏差不超过 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度偏差不超过 $\pm 2\%$ ；
- g) 振动试验台：最大加速度 20g，频率范围 2 Hz~600 Hz。

#### 6.2 外观检查

在正常试验条件下，目测检验，应符合 5.2 要求。

#### 6.3 性能参数试验

在正常试验条件下，将电容式垂线坐标仪安放在标定设备上性能参数标定试验，标准位移由百分表（游标卡尺或光栅尺）给出，其输出通过电容式仪器数据采集装置或测量仪表测量。将电容式垂线坐标仪的测量范围位移值分成 4 挡~10 挡进给位移，首先每个方向先调整零位，再从满量程的下限开始，逐级将进给位移加至满量程上限，并记录每个挡位的输出，如此共进行 3 个正、反行程的测量。按附录 B 公式计算其各方向的分辨力、非线性度（或拟合误差）、不重复度、滞后等参数。试验结果应符合 5.3 的要求。

#### 6.4 绝缘性能试验

在正常试验条件下，用 100 V 绝缘电阻表测量电容式垂线坐标仪感应极引线电缆与屏蔽线之间的绝

缘电阻，应满足 5.4 的要求。

### 6.5 温度附加误差试验

电容式垂线坐标仪放入环境试验箱内，分别在 $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $60^{\circ}\text{C}$ 三挡进行试验。试验箱以不超过 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的变化率升降温，到达每挡温度并稳定后保温2 h，再测出仪器相应的输出值，按公式（1）计算其温度附加误差：

$$\delta_t = \frac{|U_{60} - U_{20}| + |U_{20} - U_{-20}|}{2 \times 40 \times U} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$U_{60}$ 、 $U_{20}$ 、 $U_{-20}$  ——  $60^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ 温度条件下仪器的输出值；

$U$  —— 正常试验条件下仪器的满量程输出值。

试验结果应符合 5.5 的要求。

### 6.6 湿度附加误差试验

电容式垂线坐标仪放在环境试验箱内，其各表面与相应箱内壁之间的最小距离不小于 150 mm，凝结水不得滴落到试验样品上。试验箱以不超过 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的变化率升降温，待温度达到 $20^{\circ}\text{C}$ 并稳定后加湿到60%~70%保持2 h，测量该仪器的输出值 $U_0$ ；然后试验箱再加湿到93%~95%，稳定后保持2 h，同样测出该仪器的输出值 $U_h$ ，按公式（2）计算湿度影响的误差：

$$\delta_h = \frac{|U_h - U_0|}{U} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$U_0$  —— 温度 $20^{\circ}\text{C}$ 、湿度60%~70%条件下仪器的输出值；

$U_h$  —— 温度 $20^{\circ}\text{C}$ 、湿度93%~95%条件下仪器的输出值；

$U$  —— 正常试验条件下仪器的满量程输出值。

试验结果应满足 5.6 的要求。

试验结束后，先把试验箱相对湿度降到75%，然后在1 h内将试验箱内温度恢复到正常试验条件温度并稳定后，将电容式垂线坐标仪取出，进行外观和绝缘性能检查，应满足 5.2 和 5.4 的要求。

### 6.7 稳定性试验

电容式垂线坐标仪用固定夹具固定后在正常试验条件下静置1个月，测量其静置前后的输出值，按公式（3）计算其漂移量：

$$\delta_d = \frac{|U_d - U_{0j}|}{U_j} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$U_{0j}$ 、 $U_d$  —— 分别为正常试验条件下静置前后仪器的输出值；

$U_j$  —— 静置前仪器的满量程输出值。

试验结果应满足 5.7 的要求。

### 6.8 耐运输颠簸性能试验

电容式垂线坐标仪按包装要求包装好后直接固定在振动试验台上，按 5.8 规定的要求进行试验，结束后先进行外观检查，应满足 5.2 的要求；然后按 6.3 的要求进行仪器性能参数试验，应满足 5.8 的要求。

## 7 检验规则

### 7.1 检验分类

电容式垂线坐标仪检验分为出厂检验和型式试验两种，检验项目见表 2。

表 2 电容式垂线坐标仪出厂检验和型式试验项目

| 序号 | 检验项目    | 技术要求 | 试验方法 | 出厂检验 | 型式试验 |
|----|---------|------|------|------|------|
| 1  | 外观      | 5.2  | 6.2  | √    | √    |
| 2  | 性能参数    | 5.3  | 6.3  | √    | √    |
| 3  | 绝缘性能    | 5.4  | 6.4  | √    | √    |
| 4  | 温度附加误差  | 5.5  | 6.5  | —    | √    |
| 5  | 湿度附加误差  | 5.6  | 6.6  | —    | √    |
| 6  | 稳定性     | 5.7  | 6.7  | —    | √    |
| 7  | 耐运输颠簸性能 | 5.8  | 6.8  | —    | √    |

注：“√”为必检项目，“—”为不检项目。

### 7.2 出厂检验

7.2.1 电容式垂线坐标仪应逐台进行出厂检验，检验项目见表 2。

7.2.2 电容式垂线坐标仪经质量检验部门检验合格并附合格证及出厂检验资料后，方可出厂。

7.2.3 合格证内容应包括厂商名称、产品名称、型号规格、产品编号、检验员、检验日期。

7.2.4 出厂检验资料至少应包括：

- 产品名称、型号规格、产品编号；
- 测量范围上、下限及零位相应的电容比值；
- 仪器系数（或拟合参数）；
- 非线性度或拟合误差、不重复度、滞后等性能参数试验结果；
- 绝缘电阻；
- 制造时间、检验员标志。

### 7.3 型式试验

7.3.1 凡遇下列情况之一，需进行型式试验：

- 新产品定型或老产品转厂生产或停产 1 年后又恢复生产时；
- 连续批量生产时，每 5 年 1 次；
- 设计、工艺、材料、元件有较大改变，可能影响产品性能时；
- 出厂检验结果与上次型式试验有较大差异时；
- 国家质量技术监督机构提出要求时。

7.3.2 型式试验应从出厂检验合格产品中随机抽取 3 台样品，若总数少于 3 台，则应全检。

7.3.3 型式试验项目见表 2。

7.3.4 判定规则：型式试验未发现不合格项，则判定该批产品合格。如发现有不合格项，则进行加倍抽样，重复进行型式试验，如未发现不合格项，仍判定该批产品合格；如第二次抽取的样品仍存在不合格项，则判定该批产品不合格。

## 8 标志、说明书、包装、运输、贮存

### 8.1 标志

8.1.1 每台电容式垂线坐标仪上的标志内容至少应包含商标、产品名称、型号规格、出厂编号及制造厂名等内容。

8.1.2 产品包装箱外壁应使用防水标志，包装标志包括：

- a) 到站、收货单位和地址；
- b) 发站、供货单位和地址；
- c) 产品名称、型号和数量；
- d) 标明“精密仪器”“小心轻放”“防震”及放置标志“↑”。

8.1.3 产品的包装、运输、贮存标志和收发货标志应按照 GB/T 191 和 GB/T 6388 的有关规定执行。

### 8.2 说明书

产品使用说明书应参照 GB/T 9969 执行。

### 8.3 包装

8.3.1 产品的内包装为入库包装，宜用纸盒及隔震泡沫组合包装。

8.3.2 产品的外包装是为出厂运输进行的包装。可多台仪器组合包装，宜采用木箱及隔震泡沫组合包装。防震、防潮、防尘等包装防护按 GB/T 13384 中的有关规定进行。

8.3.3 外包装箱内随产品提供的技术文件应包括：

- a) 装箱清单；
- b) 使用说明书；
- c) 产品合格证；
- d) 出厂检验资料；
- e) 产品技术条件规定的其他文件。

随带技术文件应装入塑料袋中并放置在外包装箱内表层。

### 8.4 运输

按有关包装标准及本标准的规定进行包装的产品应能适应各种运输方式。

### 8.5 贮存

包装状态下的电容式垂线坐标仪应能适应以下贮存环境条件：

- a) 温度：-40℃～+60℃；
- b) 湿度不大于 85%；
- c) 长期贮存状态下的电容式垂线坐标仪，其贮存场所应选择通风、干燥的室内，附近应无酸性、碱性及其他腐蚀性物质存在。

附 录 A  
(规范性附录)  
电容式垂线坐标仪位移计算方法

### A.1 线性拟合

电容式垂线坐标仪采用线性拟合时，其位移值按公式 (A.1) 计算：

$$L=f(R_i-R_0) \cdots \cdots \cdots (A.1)$$

式中：

$f$  ——仪器系数，计算见公式 (B.5)，mm/电容比；

$R_i$  ——某方向第  $i$  次电容比测量值；

$R_0$  ——同方向初始电容比测量值。

### A.2 多项式拟合

电容式垂线坐标仪采用多项式拟合时，其位移值按公式 (A.2) 计算。

$$L=a(R_i^3-R_0^3)+b(R_i-R_0) \cdots \cdots \cdots (A.2)$$

式中：

$a$ 、 $b$  ——系数，采用最小二乘法拟合求得。

## 附录 B (规范性附录)

### 电容式垂线坐标仪指标与参数计算方法

**B.1** 分辨力  $k$  按公式 (B.1) 计算:

$$k = \frac{1}{\bar{U} \times 10\,000} \times 100\% \quad \text{..... (B.1)}$$

式中:

$\bar{U}$ ——满量程输出值的均值。

**B.2** 非线性度  $\delta_1$  按公式 (B.2) 计算:

$$\delta_1 = \frac{|A_{fi} - \bar{A}_i|_{\max}}{\bar{U}} \times 100\% \quad \text{..... (B.2)}$$

式中:

$A_{fi}$ ——同挡位校准直线 (或曲线) 拟合值 ( $i=0, 1, 2, 3, \dots, n$ ,  $n$  为分挡数量);

$\bar{A}_i$ ——同挡位对应的正、反 3 个行程 6 个测值的均值;

$|A_{fi} - \bar{A}_i|_{\max}$ ——测点校准直线 (或曲线) 拟合值与该点测值平均值的最大偏差值。

**B.3** 不重复度  $\delta_2$  按公式 (B.3) 计算:

$$\delta_2 = \frac{A_{\max}}{\bar{U}} \times 100\% \quad \text{..... (B.3)}$$

式中:

$A_{\max}$ ——3 次循环中各测点正程和反程的各自 3 个测值之间的差值的最大。

**B.4** 滞后  $\delta_3$  按公式 (B.4) 计算:

$$\delta_3 = \frac{|A_{pi} - A_{ri}|_{\max}}{\bar{U}} \times 100\% \quad \text{..... (B.4)}$$

式中:

$A_{pi}$ ——正程各挡位测值;

$A_{ri}$ ——反程各挡位测值;

$|A_{pi} - A_{ri}|_{\max}$ ——每一循环中各测点正程与反程两个测值之间的差值的最大。

**B.5** 仪器系数  $f$  按公式 (B.5) 计算:

$$f = \frac{L}{\bar{U}} \quad \text{..... (B.5)}$$

式中:

$L$ ——满程位移值, mm。

**B.6** 满量程输出值的均值  $\bar{U}$  按公式 (B.6) 计算:

$$\bar{U} = \bar{A}_n - \bar{A}_0 \quad \text{..... (B.6)}$$