

ICS 07.000
P 10



中华人民共和国国家标准

GB/T 3410.2—2008

大坝监测仪器 测缝计 第 2 部分：振弦式测缝计

**Instrument for dam monitoring—Joint meter—
Part 2: Vibrating wire joint meter**

2008-06-17 发布

2008-10-01 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

https://www.sljzjxx.com
水利造价信息网

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 2 部分。

本部分的附录 A 是规范性附录。

本部分由中华人民共和国水利部提出并归口。

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、国网南京自动化研究院、南京水利科学研究所、水利部南京水利水文自动化研究所。

本部分参加起草单位：基康仪器(北京)有限公司、常州金土木工程仪器有限公司、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：卢有清、林薇、李泽崇、石明华、关秉洪、陆旭。

本部分参加起草人：沈省三、杨志余、袁普生。

大坝监测仪器 测缝计

第2部分：振弦式测缝计

1 范围

GB/T 3410 的本部分规定了振弦式测缝计的规格、技术要求、试验方法、检验规则、标志和使用说明书、包装、运输、贮存。

本部分适用于大坝及其他岩土工程安全监测中用于监测结构物的位移或接缝的开合度(变形)并能兼测温度的测缝计。

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 191—2008,ISO 780,1997,MOD)

GB/T 5080.7—1986 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/T 7665 传感器通用术语

GB 9969.1 工业产品使用说明书 总则

GB/T 15406—2007 岩土工程仪器基本参数及通用技术条件

GB/T 15464—1995 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 术语和定义

GB/T 7665、GB/T 50279 确立的以及下列术语和定义适用于 GB/T 3410 的本部分。

3.1

振弦式测缝计 **vibrating wire type joint meter**

利用振弦的固有频率变化来感测变形量的振弦式传感器。

3.2

分辨力 **resolution**

在测量范围内,振弦式测缝计所能感测的被测量的最小变化值,以满量程输出百分比表示。

3.3

满量程输出(FS) **full scale output**

振弦式测缝计工作特性所决定的最大输出频率的平方和最小输出频率的平方的代数差。

注,以频率模数(输出频率的平方除以1000)为输出量的振弦式测缝计,其满量程输出可表征为其最大输出频率模数和最小输出频率模数的代数差。

3.4

额定频率输出(f.s) **rated frequency output**

振弦式测缝计工作特性所决定的最大输出频率和最小输出频率的代数差。

3.5**滞后 hysteresis**

振弦式测缝计在输入量作满量程变化时,对于同一输入量,传感器的正、反行程输出量的最大偏差,以满量程输出百分比表示。

3.6**不重复度 repeatability**

振弦式测缝计在一段时间间隔内,在相同的工作条件下,输入量从同一方向作满量程变化,多次趋近并到达同一校准点时所测量的一组输出量之间的分散程度,以满量程输出百分比表示。

3.7**非线性度 non-linearity**

振弦式测缝计正、反行程实际平均特性曲线相对于参比直线的最大偏差,用满量程输出的百分比来表示。

3.8**不符合度 non-conformity**

振弦式测缝计正、反行程实际平均特性曲线相对于参比曲线的最大偏差,用满量程输出的百分比来表示。

3.9**综合误差 combined error**

振弦式测缝计进程平均校准曲线和回程平均校准曲线二者与工作直线的最大偏差,用满量程输出的百分比来表示,该误差是反映振弦式测缝计的综合性能指标。

4 规格

振弦式测缝计(以下简称测缝计)的规格参数见表 1。

表 1 测缝计规格参数表

测量范围/mm	直径/mm	防水密封性/MPa
0~5,0~10,0~15,0~20,0~25,0~50,0~100,0~150	不大于 60	0.01,0.1,0.5,1.0,2.0,3.0, 可选

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: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度,不大于 95%;
- c) 大气压力, $86\text{ kPa}\sim 106\text{ kPa}$ 。

5.2 外观要求

测缝计的外观应符合下列要求:

- a) 仪器各部分连接牢固,无锈斑及裂痕;
- b) 仪器引出的电缆、护套应无损伤;
- c) 各类标志、标识应齐全,清晰无误。

5.3 主要性能

测缝计的分辨力、滞后、不重复度、非线性度/不符合度、综合误差均应符合表 2 的规定。

表 2 主要性能参数

分辨力	≤0.1% FS
滞后	≤1.0% FS
不重复度	≤0.5% FS
非线性度/不符合度 ^a	≤2.0% FS
综合误差	≤2.5% FS
^a 不符合度只适用于变形特性用曲线来表示的测缝计。	

5.4 绝缘性能

测缝计绝缘电阻应大于 50 MΩ。

5.5 稳定性

5.5.1 测缝计按额定值加、卸荷 10 次,其性能应满足如下要求:

- a) 零点漂移应不超过 ±0.5 % f.s ;
- b) 绝缘电阻仍应符合 5.4 的要求。

5.5.2 测缝计静置 30 d,扣除环境因素变化对零点漂移的影响,其性能应满足如下要求:

- a) 零点漂移应不超过 ±0.5 % f.s ;
- b) 绝缘电阻仍应符合 5.4 的要求。

5.6 温度影响

温度为 0 ℃~40 ℃ 的使用范围内,温度修正后影响不应超过 ±0.04 % f.s/℃。

5.7 温度测量误差

测缝计温度测值误差不应超过 ±0.5 ℃。

5.8 防水密封性

测缝计在表 1 规定的压力水中连续工作 2 h 应无渗漏,其绝缘性能应符合 5.4 的要求。

5.9 机械环境适应性

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

5.10 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 000h。

6 试验方法

6.1 试验设备

主要试验设备包括:

- a) 高低温湿热试验箱;
- b) 测缝计校准仪;
- c) 振弦式读数仪(精度 0.01%FS);
- d) 100 V 兆欧表;
- e) 恒温水槽;
- f) 压力容器;
- g) 冰点槽;
- h) 振动试验台;
- i) 跌落试验台;
- j) 冲击试验台;
- k) 碰撞试验台。

6.2 试验环境条件

6.2.1 参比试验大气条件

6.2.1.1 温度： $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.1.2 相对湿度： $60\%\sim 75\%$ 。

6.2.1.3 大气压力： $86\text{ kPa}\sim 106\text{ kPa}$ 。

6.2.2 正常试验大气条件

6.2.2.1 温度： $+15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim +35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (在每项试验期间,允许的温度变化每小时不大于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

6.2.2.2 相对湿度:不大于 85% 。

6.2.2.3 大气压力: $86\text{ kPa}\sim 106\text{ kPa}$ 。

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) 测缝计应在参比工作条件下预先放置 24 h 以上;
- b) 在试验前,在测量变形范围内,应将测缝计预先拉压不少于 3 次循环;
- c) 测缝计校验试验时,校准点应包括基点和满量程点,并在全量程范围内均布取 $6\sim 11$ 点,校准循环应不少于 3 次。

注:如不能实现均布安排校准点,可允许在一个端点处不均布,具体校准点数可由相应的产品标准规定。

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,按GB/T 15406—2007的 $7.2.1$ 进行试验,受试测缝计应工作正常,表面无锈蚀、剥落等。

6.4.2 外观

目测检查,应符合 5.2 要求。

6.4.3 主要性能

将仪器固定在专用校准仪上,试验前将仪器在满量程范围内测量其输出。将仪器满量程位移量按 20% 分挡,进行 3 个行程的测量,记下各档位的标称值(S_i)及对应的读数值(R_i)。

通过上述试验获得的数据,按附录A的计算方法确定测缝计的分辨力、滞后、不重复度、非线性度(不符合度)、综合误差等,结果应符合 5.3 的要求。

6.4.4 绝缘性能

测缝计在正常试验大气条件下,在规定环境下用 100 V 兆欧表测量芯线与外壳之间电阻,应分别满足 5.4 的要求。

6.4.5 稳定性

6.4.5.1 测缝计在正常试验大气条件下,按额定值加、卸荷 10 次,每次保持 30 s ,然后,让其恢复自然状态 2 h ,其零点变化及绝缘电阻应满足 $5.5.1$ 的要求。

6.4.5.2 测缝计在正常试验大气条件下,在规定的稳定性检定周期内,进行 3 次或 3 次以上的零点测量,扣除环境因素影响后的零点漂移值及绝缘电阻应符合 $5.5.2$ 的要求。

6.4.6 温度影响

将测缝计放入高低温箱中,从常温开始降温至测缝计最低正常工作温度,保持 2 h ,读取输出值,然后升温至测缝计最高正常工作温度,保持 2 h ,读取输出值。进行修正后的测量误差值应符合 5.6 要求。

6.4.7 温度测量误差

测缝计在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 三个温度点附近任一测试点的实际温度与实测温度之间的最大差值应符合 5.7 的要求。

6.4.8 防水密封性

将测缝计放置在压力容器中,加水压至表1规定的压力下,按规定压力值保持 2 h ,用额定直流电压

为 100 V 兆欧表对测缝计测量芯线与外壳之间的绝缘电阻,结果应符合 5.4 的要求,且输出读数应稳定。

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 Hz~150 Hz~10 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,结果应符合 5.9 的要求。

6.4.9.2 自由跌落

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 3 次跌落试验。试验后测试其性能,结果应符合 5.9 的要求。

6.4.9.3 冲击(选做)

在运输包装状态下,设置冲击试验台的加速度为 30 g,脉冲持续时间为 6 ms,对测缝计按每个面 3 次,6 个面共进行 18 次的冲击试验。试验后测试其性能,结果应符合 5.9 的要求。

6.4.9.4 碰撞(选做)

在运输包装状态下,设置碰撞试验台的峰值加速度为 25 g,脉冲持续时间为 6 ms,速度变化量为 0.95 m/s,将测缝计按非工作状态、正常工作位置上进行 3 000 次的碰撞试验。试验后测试其性能,结果应符合 5.9 的要求。

6.4.10 可靠性

可靠性试验参照 GB/T 5080.7—1986 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、6.4.8 的规定分别进行检验,检验结果应完整保存、备查。

7.1.3 每台测缝计经检验合格后,应有合格证方可出厂。

7.2 型式检验

7.2.1 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 型式检验应由制造厂质量部门或专业质检机构按产品标准规定的全部试验项目(设备可靠性试验除外)进行全性能检验。

7.2.3 型式检验的样品应从经出厂检验合格的产品中随机抽取,一般单机台数不应少于 3 台,若产品总数少于 3 台,则应全检。

7.2.4 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。

7.2.5 试验结果的评定:型式检验中有一台及以上单机产品不合格时,应加倍抽取该产品进行试验。若仍有不合格时,则判该批产品为不合格;若全部检验合格,则除去第一批抽样不合格的单机产品,该批

产品应判为合格。

7.2.6 型式检验的产品需要更换易损件时,应在更换后再经出厂检验合格后方可出厂。

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(mm或cm);长×宽×高;
- 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振弦式测缝计,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,均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过程中不发生窜动、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 中的有关规定。

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,产品检验卡片应填有如下数据:
 - 1) 产品型号、规格、出厂编号及制造日期;
 - 2) 测量范围;
 - 3) 传感器系数。

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) 贮存环境温度: $-30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) 贮存环境相对湿度:不大于 85%;
- c) 贮存状态的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,测缝计不应有锈蚀、长霉或其他妨碍功能的现象。

附录 A
(规范性附录)

测缝计主要性能参数计算方法

A.1 测缝计变形量的特性

A.1.1 变形特性用线性拟合表征的测缝计,一般采用最小二乘直线[见式(A.1)]:

$$P_i = bN + C + b(T_i - T_0) \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- P_i ——第 i 个测试点作用在测缝计的变形量;
- b ——测缝计系数;
- N ——输出频率的平方差, $N = f_i^2 - f_0^2$, 单位为二次方赫兹(Hz^2);
- C ——测缝计自由状态输出;
- b ——测缝计温度补偿系数;
- T_i ——测缝计测试点温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- T_0 ——测缝计基准温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- f_i ——测缝计测量点输出频率平方,单位为二次方赫兹(Hz^2);
- f_0 ——测缝计基准点输出频率平方,单位为二次方赫兹(Hz^2).

注:温度补偿系数 b 确定方法可由相应的产品标准规定。

A.1.2 变形特性用非线性拟合的测缝计,其数据处理宜采用最小二乘法[见式(A.2)],其方程可包含温度补偿项:

$$P_i = a_0 + a_1\xi + a_2\xi^2 + \dots + a_n\xi^n \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- P_i ——第 i 个测试点作用在测缝计的变形量;
- $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ ——测缝计系数;
- ξ ——测缝计测量点输出量。

A.2 测缝计主要性能

A.2.1 加荷上限输出频率 f_w 用式(A.3)计算:

$$f_w = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{wj} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- f_w ——加荷上限输出频率,单位为赫兹(Hz);
- f_{wj} ——第 j 次加荷上限输出频率,单位为赫兹(Hz);
- m ——试验循环的遍数 ($m = 1, 2, \dots, m$).

A.2.2 额定频率输出下限输出 f_b 用式(A.4)计算:

$$f_b = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{bj} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

- f_b ——加荷下限输出频率,单位为赫兹(Hz);
- f_{bj} ——第 j 次加荷下限输出频率,单位为赫兹(Hz).

A.2.3 额定频率输出 f_n 用式(A.5) 计算:

$$f_n = |f_w - f_{wj}| \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

f_n ——额定频率输出,单位为赫兹(Hz)。

A.2.4 零点输出 F_0 用式(A.6) 计算:

$$F_0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{0j} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

F_0 ——零点输出,单位为二次方赫兹(Hz²);

f_{0j} ——第 j 次加荷和退荷测量时零载荷下频率输出,单位为赫兹(Hz)。

A.2.5 满量程输出上限输出 F_w 用式(A.7) 计算:

$$F_w = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{wj} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

F_w ——满量程输出上限输出,单位为二次方赫兹(Hz²);

f_{wj} ——第 j 次加荷至额定输入值时的测量值,单位为赫兹(Hz)。

A.2.6 满量程输出下限输出 F_d 用式(A.8) 计算:

$$F_d = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{dj} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

f_{dj} ——第 j 次加荷至额定输入值时的测量值,单位为赫兹(Hz)。

A.2.7 满量程输出 F_s 用式(A.9) 计算:

$$F_s = |F_w - F_d| \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

式中:

F_s ——满量程输出,单位为二次方赫兹(Hz²)。

A.2.8 非线性度(不符合度) L 用式(A.10) 计算,数值以满量程的百分比(%FS)计:

$$L = \frac{\Delta F_L}{F_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

式中:

ΔF_L ——正、反行程实际平均特性曲线与工作直线(曲线)偏差的最大值,单位为二次方赫兹(Hz²)。

测缝计的非线性度 L 应符合表 2 的要求。

A.2.9 滞后 H 用式(A.11) 计算,数值以满量程的百分比(%FS)计:

$$H = \frac{\Delta F_H}{F_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

式中:

ΔF_H ——正行程实际平均特性曲线与反行程实际平均特性曲线,相同应变测试点输出偏差最大值,单位为二次方赫兹(Hz²)。

测缝计的滞后 H 应符合表 2 要求。

A.2.10 不重复度 R 用式(A.12) 计算,数值以满量程的百分比(%FS)计:

$$R = \frac{\Delta F_R}{F_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

式中:

ΔF_R ——正行程和反行程重复校准时,各测试点输出偏差的最大值,单位为二次方赫兹(Hz²)。

测缝计的不重复度 R 应符合表 2 的要求。

A.2.11 综合误差 E_s 用式(A.13)计算,数值以满量程的百分比(%FS)计:

$$E_s = \frac{\Delta F_s}{F_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

ΔF_s ——正行程实际平均特性曲线和反行程实际平均特性曲线二者与工作直线偏差的最大值,单位为二次方赫兹(Hz²)。

测缝计的综合误差 E_s 应符合表 2 的要求。

A.2.12 分辨力 r 用式(A.14)计算,数值以满量程的百分比(%FS)计:

$$r = \frac{\Delta F_r}{F_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

式中:

ΔF_r ——可引起输出变化的最小增量,单位为二次方赫兹(Hz²)。

测缝计的分辨力 r 应符合表 2 的要求。

A.3 测缝计温度影响的计算

$$\tau = \left| \frac{f_{t_{max}} - f_{t_{min}}}{(T_{t_{max}} - T_{t_{min}}) \times f_s} \right| \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

式中:

τ ——测缝计温度影响,数值以每摄氏度下额定频率的百分比(%f.s/°C)计;

$T_{t_{max}}$ ——测缝计最高正常工作温度,单位为摄氏度(°C);

$T_{t_{min}}$ ——测缝计最低正常工作温度,单位为摄氏度(°C);

$f_{t_{max}}$ ——经温度修正后测缝计在 $T_{t_{max}}$ 环境的输出频率,单位为赫兹(Hz)(或频率模数);

$f_{t_{min}}$ ——经温度修正后测缝计在 $T_{t_{min}}$ 环境的输出频率,单位为赫兹(Hz)(或频率模数);

f_s ——频率或频率模数的满量程输出。