

智能水表环境影响量试验的原理和方法

王宗辉, 姚 灵

(宁波水表股份有限公司 浙江 宁波 315032)

[摘要] 环境影响量试验是电子水表和带电子装置水表型式试验和型式评价的重要组成部分。本文介绍了影响量试验(即环境试验)的条件和严酷度等概念,对机械环境中的振动和冲击试验、电磁环境中的静电放电试验、电磁敏感性试验、浪涌抗扰度和电脉冲群等试验的原理和方法作了较为详细的分析和描述。

[关键词] 智能水表 气候环境 电磁环境 机械环境 环境影响量试验

[中图分类号] TH814

[文献标识码] B

[文章编号]

The Principle and Method of Environment Influence Quantity Test on Smart Water Meter

Wang Zong-hui, Yao Ling

(Ningbo Water Meter Co.,Ltd, Ningbo 315032 China)

Abstract: Environment influence quantity test is the important part of the pattern evaluation and pattern test for electronic water meter and the mechanical water meter with electronic device. This paper introduces the concept of influence quantity test condition and severe degree, and detailed analysis and description the vibration and impact test of the mechanical environment, the electrostatic discharge test of electromagnetic environment, the electromagnetic susceptibility test, the surge immunity and electrical group test, etc.

Key words: smart water meter; climatic environment; electromagnetic environment; mechanical environment; environment influence quantity test

1 概述

智能水表是电子水表和带电子装置水表的一种习惯称呼。封闭管道中饮用冷水和热水水表的国家标准(GB/T778.1~3-2007)对水表型式批准试验分为适用于所有水表的通用试验项目和仅适用于电子水表和带电子装置水表的环境影响量试验项目两大类。其中通用试验项目主要有:静压、示值误差、水温、水压、逆流、压力损失、流速场不规则性、断续流量耐久性、 Q_3 下的连续流量耐久性等九项;环境影响量试验项目主要有:高温(无冷凝)、低温、交变湿热、振动(随机)、机械冲击、静电放电、电磁敏感性、静磁场、电源电压变化、短时功率降低、浪涌抗扰度、电脉冲群等十二项。

本文对环境影响量试验中的严酷度等级以及相关试验项目的原理、方法、依据等内容作出分析和描述,便于大家在理解基础上准确开展这些试验项目,达到预期目的。

2 环境试验条件

施加影响量试验是一种“环境试验”。环境试验条件可分为气候和机械环境、电磁环境、

电源等三类试验条件。对电子水表和带电子装置水表而言，将其在“气候和机械环境”条件下的环境分为三个等级，即：B级—安装在室内的固定水表，C级—安装在室外的固定水表，I级—移动式水表；将其在“电磁环境”条件下的环境分为两个等级，即：E1级—住宅、商业和轻工业电磁环境，E2级—工业电磁环境。

确定环境试验的目的是旨在验证水表在规定条件下工作性能是否符合预定的要求。相对于其他仪表，水表产品通常工作在比较恶劣环境中，其外部温（湿）度变化、机械振动与冲击、各类电磁骚扰等都会对其正常工作带来不利影响和干扰，因此在产品设计阶段就应考虑环境条件因素等对其性能及工作可靠性的影响。目前已能选择多种技术方案（措施）来保障水表产品正常工作，并可通过模拟环境条件的试验方法来验证水表产品的抗干扰性能。

在评定一种环境影响量的影响时，其他影响量需保持在参比条件状态。某些环境影响量对水表的影响是不会与被测水的体积发生比例关系的（如电源电压变化）；而在其他一些试验中，环境影响量对水表的影响则与被测水的体积有关，在这种情况下，为了使不同实验室取得的试验结果具有可比性，测量水表示值误差的试验体积应相当于在过载流量 Q_4 下排放 1min 的体积。

3 严酷度及相关名词术语

所谓严酷度，一般是指环境参数的严酷度。GB/T4796-2001 定义了“环境参数严酷（程）度”，即：表征每个环境参数特征量的值，如正弦振动的严酷（程）度用加速度和频率的量值表征。与“严酷度”相关的名词术语主要有

1) 环境参数：描述环境因素的一个或多个物理、化学、或生物的特征，如温度、加速度等；

2) 环境因素：单独或者组合地形成一种环境条件（如热、振动）的一种物理、化学或生物的影响；

3) 环境条件：在一定时间内，产品所经受其周围的物理、化学和生物条件。

水表产品工作时的实际环境条件通常是复杂的，且由若干环境因素及相应环境参数所组成。因此当确定某一产品使用的环境条件时必须考虑以下两点：列出所涉及的环境因素；对每一环境参数选择合适的严酷（程）度。

对以上名词术语的含义可以“气候环境条件”为例作进一步详细说明，见表 1。

表 1 气候环境条件举例

| | |
|-------|------------------------------------------------------------------------|
| 环境条件 | 气候 |
| 环境等级 | B (室内固定安装水表); C (室外固定安装水表); I (移动式水表) |
| 环境因素 | 高温 (无冷凝) |
| 环境参数 | 空气温度、持续时间、试验循环次数 |
| 严酷度等级 | 3 |
| 严酷度 | 空气温度: $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; 持续时间: 1h; 试验循环次数: 1 |

4 振动和机械冲击试验

“振动 (随机)” 和 “机械冲击” 是机械环境条件下的试验项目, 仅适用于环境等级为 I 级 (移动式水表) 的电子水表或带电子装置水表。移动式水表 (如便携式水表校验仪中用作标准表的水表) 工作在非固定状态, 因此更易受到随机振动和机械冲击的影响。本试验适用于在运输或工作环境中可能遭受随机振动和机械冲击的产品, 试验时样品应处于无包装物状态。

1) 振动 (随机) 试验

振动 (随机) 试验的严酷度等级选用了 OIML D11 中的 2 级严酷度, 其振动频率范围为: 10Hz ~ 150Hz; 总均方根加速度 (RMS) 等级为: 7m/s^2 ; 加速度谱密度 (ASD) 等级:

10Hz ~ 20Hz 时为 $1\text{m}^2/\text{s}^3$

20Hz ~ 150Hz 时为 -3dB/倍频程

试验轴向数量为: 3

每个轴向的试验持续时间为: 2min

本项目是一种扰动影响量试验, 其目的是检验施加随机振动后被试水表是否符合国家标准 GB/T778.1-2007 的 6.7.5 的要求。

试验装置一般采用电动或电液振动台, 并施以宽带随机激励信号。试验配置应符合国标《电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 Fh: 宽带随机振动 (数字控制) 和导则》(GB/T2423.56) 和《电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 元件、设备和其他产品在冲击 (Ea)、碰撞 (Eb)、振动 (Fc 和 Fd) 和静态加速度 (Ga) 等动力学试验中的安装要求和导则》(GB/T2423.43) 的要求。

应当指出, 随机振动试验是一个复杂的过程, 它要求对试验的基本原理和技术有相当程度的理解, 在试验中还需要具备相应的工程判断经验。与大多数其他试验相比, 试验 Fh 不

是以确定性技术而是以统计技术为基础,因而宽带随机振动试验是以概率和统计平均的形式描述的。与试验相关的几个主要名词术语的定义为

a. 随机振动: 在未来任一给定时刻, 其瞬时值不能精确预知的振动。

b. 宽带随机振动: 频率分量分布在宽带内的随机振动(注: 宽频带的带宽与所研究的问题有关, 但通常等于或大于一个倍频程)。

c. 倍频程: 频率比为 2 的两频率之间的区间。

d. 加速度谱密度 (ASD): 当在带宽 B 趋于零和平均时间 T 趋于无穷的极限状态下, 各单位带宽上通过中心频率 f 窄带滤波器的加速度信号 $x(t)$ 的方均值即为加速度谱密度 $G(f)$ 。其计算公式为:

$$G(f) = \lim_{\substack{B \rightarrow 0 \\ T \rightarrow \infty}} \frac{1}{BT} \int_0^T x^2(f, t, B) dt \quad (f \geq 0) \quad (1)$$

e. 总均方根加速度 (RMS): 在一个周期 T 内, 取加速度信号 $x(t)$ 平方的均方根, 即为有效值 X_{RMS} ,

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} x(t)^2 dt} \quad (2)$$

f. 窄带滤波器: 通带相当窄的带通滤波器。对于冲击和振动来说窄带通常意味着小于等于 1/3 倍频程。

2) 机械冲击试验

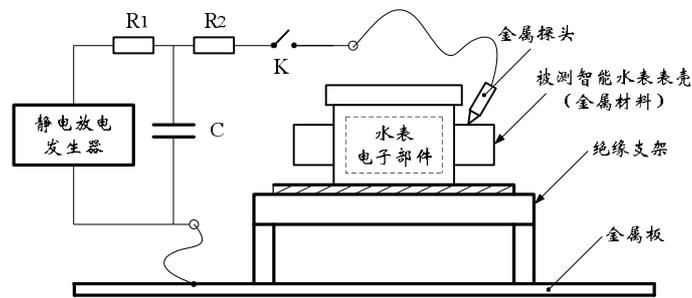
机械冲击试验的严酷度等级同样选用 OIML D11 中的 2 级严酷度, 其试验跌落高度为: 50mm; 试验跌落次数为: 1 次 (每个底边)。本项目也是一种扰动影响量试验, 其目的是检验施加机械冲击后被试水表是否符合国家标准 GB/T778.1-2007 的 6.7.5 的要求。

试验配置应符合国标《电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 Ec 和导则: 倾跌与翻倒》(GB/T2434.7) 和《电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 元件、设备和其他产品在冲击 (Ea)、碰撞 (Eb)、振动 (Fc 和 Fd) 和静态加速度 (Ga) 等动力学试验中的安装要求和导则》(GB/T2423.43) 的要求。

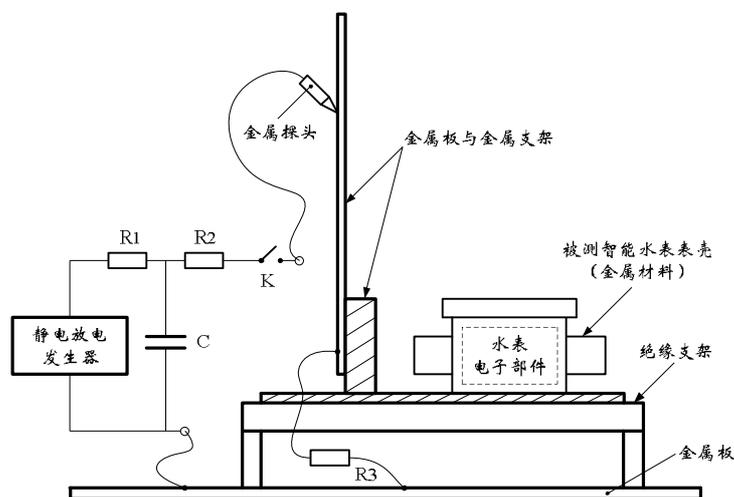
5 静电放电试验

在低湿度环境下, 人体可通过摩擦带电并在与被试设备的接触过程中对其产生放电。静电放电可能会引起设备中某些电子器件的损坏, 从而造成设备的永久性破坏; 也可能引起附近电磁场变化, 造成被试设备的误动作。静电放电抗扰度试验有“直接放电”和“间接放电”

两种方式，见图1。所谓直接放电，即模拟设备操作人员直接触摸设备时对设备的放电；所谓间接放电（或空气放电），即模拟设备操作人员触摸邻近设备放电时对被试设备的影响。



(a) 直接放电



(b) 间接放电

图1 静电放电抗扰度试验

静电放电试验是通过放电发生器产生放电电流波形施加到被试设备上，见图2所示。

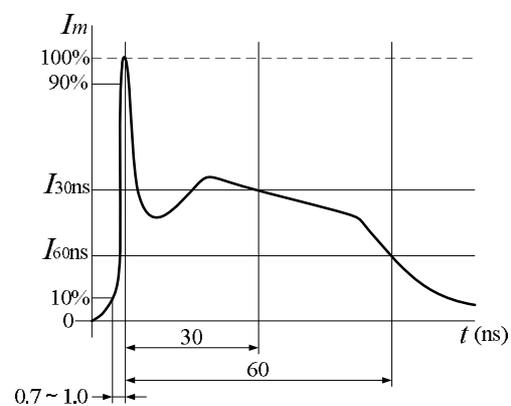


图2 静电放电试验的放电电流

静电放电试验是一种“扰动”性质的影响量环境试验。其目的是检验在施加直接和间接静电放电期间水表是否符合 GB/T 778.1 的 6.7.5 的要求。试验配置应符合《电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验》(GB/T17626.2) 的要求。在电磁环境等级为 E1、E2 时,接触放电试验电压为: 6kV; 空气放电试验电压为: 8kV。在同一次试验期间, 每一试验点至少施加 10 次直接放电, 放电间隔时间至少为 1s; 对于间接放电, 在水平耦合平面上总计应施加 10 次放电, 在垂直耦合平面上, 每一位置总计施加 10 次放电。

GB/T778-2007 标准要求, 从静电放电期间测得的水表示值误差减去施加静电放电之前测得的基本误差, 两者之差应不超过“高区”最大允许误差的二分之一。

6 电磁敏感性试验

电磁敏感性试验(即“电磁辐射”试验)是一种扰动性质的影响量试验。其目的是检验被试水表在受到电磁辐射影响时是否符合国家标准 GB/T778.1-2007 的 6.7.5 的要求。试验配置应符合《电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验》(GB/T 17626.3) 和 ENV50205 的要求。

电磁敏感性试验是把被测水表(EUT)置于某一电磁试验环境中, 考核其抵抗环境电磁场影响的能力。电磁辐射试验的常用方法是“发射天线法”, 见图 3。

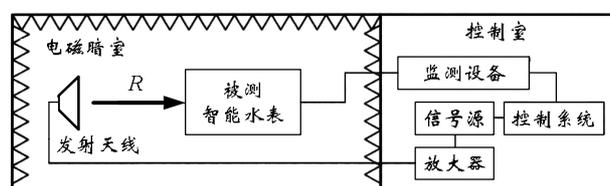


图 3 电磁敏感性试验原理框图

试验时被试水表及其至少 1.2m 长的外接电缆应置于辐射射频场下。施加电磁场前在参比条件下测量被试水表的基本误差, 然后根据要求的严酷度等级(电磁场载波频率: 26MHz ~ 1000MHz; 场强: E1 级为 3V/m, E2 级为 10V/m; 调制: 80%AM, 1kHz, 正弦波)逐一从载波的起始频率至终止频率分 20 个频率段施加电磁场辐射, 同时分别测量相应频率段被试水表的示值。在每频率段结束施加电磁场辐射的间隙中, 计算被试水表对应频率段的示值误差, 其基本误差与各频率段结束施加电磁场辐射的间隙中算得的示值误差之差(即差错)应不超过“高区”最大允许误差的二分之一。

每次扫描时, 应以实际频率 1% 的增幅逐步增加频率值, 直至达到下一个频率段的起始点(每频率段扫描增幅的驻留时间必须相同)。

7 浪涌抗扰度和电脉冲群试验

1) 浪涌抗扰度试验

当雷电直接击中户外线路和邻近物体时，会在线路上产生巨大的浪涌电压和电流；变电站开关启闭瞬间，也会在线路上感应出很大的浪涌电压和电流。这两种浪涌的共同特点是能量巨大，波形较缓，重复频率低。做浪涌试验时一般采用综合波形发生器通过耦合/去耦网络施加到被测设备上，其波形见图 4。

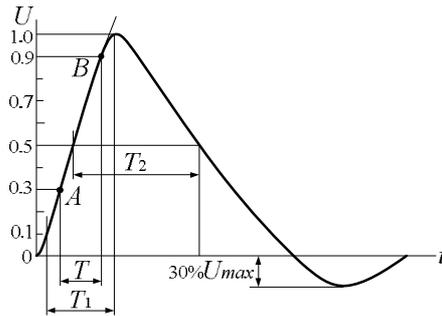


图 4 浪涌抗扰度试验的波形

浪涌抗扰度试验（即“浪涌瞬变”试验）也是一种扰动性质的影响量试验。本试验的目的是检验在水表连接的若干条长度超过 10m 的线路上叠加浪涌瞬变时，水表是否符合 GB/T778.1-2007 的 6.7.5 的要求。试验配置应符合《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验》（GB/T17626.5）的要求。

施加浪涌瞬变电压期间，在实际或模拟参比流量下测量被试水表的示值误差。其与试验前取得的基本误差的差值应不超过“高区”最大允许误差的二分之一。

2) 电快速瞬变/脉冲群试验

在感性负载电路中，机械开关启闭往往会对同一电路的其他设备产生干扰，其特点是脉冲成群出现，重复频率高，波形上升时间短。电快速瞬变/脉冲群抗扰度试验是利用脉冲发生器产生图 5 所示波形，通过耦合/去耦网络施加到被试设备的电源线或信号线，见图 6。

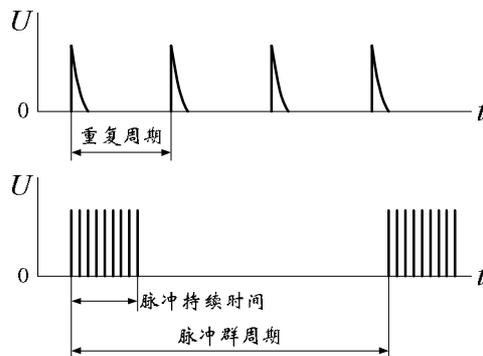


图 5 电快速瞬变/脉冲群试验的波形

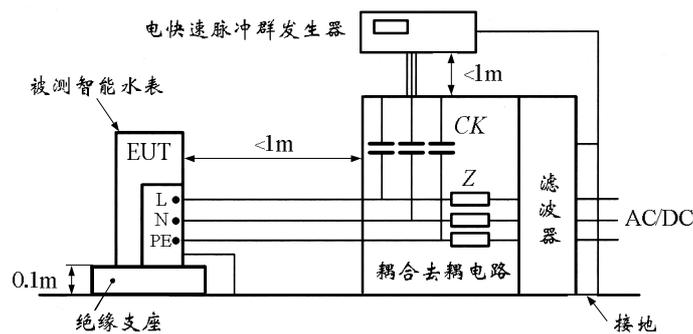


图6 电快速瞬变/脉冲群试验的原理框图

电快速瞬变/脉冲群试验也是一种扰动性质的影响量试验。本试验的目的是检验被试水表在主电源电压上叠加电脉冲群情况下是否符合 GB/T778.1-2007 的 6.7.5 的要求。试验配置应符合《电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》(GB/T17626.4) 的要求。

水表在施加脉冲群期间取得的示值误差与试验前取得的基本误差之差应不超过“高区”最大允许误差的二分之一。

8. 结语

环境影响量试验对智能水表而言是一项非常重要的工作，它是构成电子水表和带电子装置水表型式试验和型式评价的重要组成部分。由于水表工作环境比较恶劣，环境影响量的影响因素比较复杂，因此水表设计、制造、出厂时必须考虑包括气候环境、电磁环境和机械环境等在内的各类影响因素和扰动的影响，同时也必须经过严格的施加影响量试验的验证，这样才能保证每个出厂水表在一定的严酷度条件下的正常工作。

主要参考资料

1. 姚灵编著. 电子水表传感与信号处理技术. 北京: 中国质检出版社, 2012.
2. 梁振光编. 电磁兼容原理、技术及应用. 北京: 机械工业出版社, 2007
3. 国家质量监督检验检疫局. GB/T 778.3-2007 封闭满管道中水流量的测量 饮用冷水水表和热水水表 第3部分: 试验方法和试验设备. 北京: 中国质检出版社, 2007

第一作者简介: 王宗辉 (1972—), 男, 工程师, 研究方向为流量仪表设计与检测技术。

注: 本文曾在《仪表技术》2014年第2期上刊出