

ICS 97.030  
Y 60

QB

# 中华人民共和国轻工行业标准

QB/T 5509-20XX

## 家用和类似用途电热水器可靠性加速 试验方法及评价要求

Accelerated test methods and evaluation requirements for reliability of  
electric water heaters for household and similar use

(报批稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由中国轻工业联合会提出。

本标准由全国家用电器标准化技术委员会（SAC/TC46）归口。

本标准起草单位：青岛经济技术开发区海尔热水器有限公司、广东万和新电气股份有限公司、中国家用电器研究院、中家院（北京）检测认证有限公司、青岛海尔智能技术研发有限公司、海信（广东）厨卫系统有限公司、杭州康泉热水器有限公司。

本标准主要起草人：黄逊青、王圣贤、唐雪瑾、秦英哲、魏明然、徐丰、高平。

本标准为首次发布。

# 家用和类似用途电热水器可靠性加速试验方法及评价要求

## 1 范围

本标准规定了家用和类似用途电热水器(以下简称“器具”)的可靠性加速试验一般规定、试验程序、试验数据处理。

本标准适用于器具的可靠性鉴定试验,也可以在其他可靠性评价过程中参考应用。

## 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 2900.99-2016 电工术语 可信性 GB/T 3512-2014 硫化橡胶或热塑性橡胶热空气加速老化和耐热试验

GB 4706.11-2008 家用和类似用途电器的安全 快热式热水器的特殊要求 GB 4706.12-2006 家用和类似用途电器的安全 储水式热水器的特殊要求 (IEC 60335-2-21:1997 MOD)

GB/T 5080.1-2012 可靠性试验 第1部分:试验条件和统计检验原理

GB/T 7826-2012 系统可靠性分析技术 失效模式和影响分析 (FMEA) 程序 GB 20044-2012 电气附件 家用和类似用途的不带过电流保护的移动式剩余电流装置 (PRCD) GB/T 20289 储水式电热水器

GB/T 21384 电热水器用安全阀

GB 21519 储水式电热水器能效限定值及能效等级

GB/T 24986.1 家用和类似用途电器可靠性评价方法 第1部分:通用要求

GB/T 26185 快热式热水器

GB/T 34434 家用和类似用途电器 可靠性加速试验方法

JB/T 4088 日用管状电热元件

JB/T 12719 日用管状电热元件加速寿命试验方法

QB/T 4142 家用和类似用途电器可靠性试验及评价方法 电热水器的特殊要求

## 3 术语和定义

GB/T 5080.1、GB/T 2900.99、GB/T 24986.1和GB/T 34434界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 一般规定

### 4.1 一般要求

可靠性评价是在产品技术状态满足市场准入条件下,即符合 GB 4706.11、GB 4706.12、GB/T 20289、GB/T 26185 和 GB 21519 等标准的要求,对产品可靠性进行评价的过程。相应地,整机产品中配套的零部件均符合相关的安全标准和性能标准等要求。

## 4.2 评价基于的假设

可靠性评价基于以下假设：

a) 整机的寿命分布按指数分布计算，零部件如电子控制器、漏电保护器等寿命视其失效模式，分别按指数分布和按两参数威布尔分布计算其寿命分布，部件的形状参数 $m$ 为已知，其中， $m=4$ 的两参数威布尔分布可以作为正态分布的近似表达；

b) 应进行风险识别，利用适宜的定量分析方法，例如，GB/T 7826《系统可靠性分析技术 失效模式和影响分析（FMEA）程序》等，对导致器具失效的各种因素进行分析，并对各种部件的失效率由高至低依次进行排序，排序后前5~8种部件的失效导致整机80%的失效率，之后的部件与其他零部件失效合并；其余类型的失效，包括其他部件以及整机系统部件等，导致整机20%的失效率；

c) 可能导致人员伤亡、重要物件损坏或其他不可容忍后果的失效，不允许在评价过程中出现，若在试验过程中出现1台、项此类失效，即判产品不合格；

d) 整机的可靠性指标可以通过整机及零部件加速试验结果综合获得。整机验证试验是定性判定失效分析模式合理性的依据，在整机产品可靠性鉴定试验项目中，整机验证试验定性通过后，整机可靠性指标结合零部件试验数据综合判定。

## 4.3 失效模式和加速试验方法

4.3.1 整机的失效是由一个或多个部件失效造成，导致这些部件失效的原因是不同的，失效模式的危害性通过失效模式分析进行识别，可靠性评价针对较高风险的失效模式进行测试。

4.3.2 多数部件的加速试验过程，通常无法同时实现全部失效模式的加速，即使在同时两种应力的加速条件下，也难以实现两种应力的同步加速，有时不同失效模式的加速效应可能出现相互影响的现象，因此，通常即使是一个部件也可能要分别进行多个加速试验项目才能较准确反映该部件的可靠性特性。

4.3.3 加速试验是针对特定的失效机理实施的，加速方法通常只能针对一种失效机理，同时针对两种或多种失效机理的实现加速试验的方案，较为少见而且适用的范围有限。所以本标准的以单一模式失效作为基本的试验方法，同时，也采纳成熟的多模式加速试验方法。

4.3.4 加速试验的参照正常运行条件为产品预期的不利工作条件，加速因子的计算工作条件，按整机和零部件的预期不利工作条件，整机的不利工作条件依据产品技术标准和产品说明等确定，其中，零部件的不利工作条件通常需要在整机运行状态下测量确定。

## 4.4 器具可靠性评价基础数据

零部件的寿命特征和失效机理，由于受到设计、材料、元器件、工艺等因素影响，不同来源的零部件寿命特征和失效机理存在差异，因此，通常需要利用零部件供应商提供的数据、历史数据以及试验手段等获得零部件的寿命特征以及失效机理等数据，在缺乏准确数据的情况下，推荐采用表1的数据作为器具的可靠性评价基础数据。

表1 器具可靠性评价失效模式和机理

整机和部件	寿命特征	失效模式	失效机理
整机	指数分布	部件失效	多样
内胆和承压部件	威布尔分布， $m=4$	结构破损	机械疲劳
电热器	威布尔分布， $m=4$	部件烧毁	材料老化
密封件	威布尔分布， $m=4$	密封失效	材料老化
限温器	威布尔分布， $m=4$	功能异常	机械疲劳
电子控制器	威布尔分布， $m=4$	电路失效	电化反应
	指数分布	功能异常	器件失效
控温器	威布尔分布， $m=4$	功能异常	机械疲劳

漏电保护器	威布尔分布, m=4	电路失效	电化反应
	指数分布	功能异常	器件失效
安全阀	威布尔分布, m=4	功能异常	机械疲劳
其它	指数分布	多样	多样

注：家电产品的零部件寿命特征对应的威布尔分布形状参数通常取值为 1~4 之间的常数。

5 试验程序

5.1 试验方案编制

生产方规定整机在t时刻的可靠度为R，确定整机的寿命参数见式（1）。

$$\theta_0 = - \frac{t_D}{\ln R_D} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\theta_0$ —检验上限，生产方规定的产品无故障工作时间；

$t_D$ —规定时间；

$R_D$ —产品在规定时间末的可靠度。

5.2 按试验方案规定的，可计算整机试验的寿命参数下限

整机试验的寿命参数下限见式（2）。

$$\theta_1 = \frac{\chi^2_{\beta}(2r+2)}{\chi^2_{1-\alpha}(2r+2)} \cdot \theta_0 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\theta_1$ —检验下限，使用方规定的产品无故障工作时间下限；

$\alpha$ —制造方风险水平；

$\beta$ —使用方风险水平；

$r$ —失效数；

$\chi^2_{\beta}(2r+2)$ — $\chi^2$  分布函数；

$\chi^2_{1-\alpha}(2r+2)$ — $\chi^2$  分布函数。

若无另行约定，推荐 $\alpha = \beta$ 。

5.3 计算整机的失效率限值

在本标准中假设，在满足4.2b) 要求的前提下，存在以下关系，见式（3）、式（4）、式（5）：

$$F_{DU} = F_{PU} \dots\dots\dots (3)$$

其中：

$$F_{DU} = 1 - R_{DL} = 1 - R_D^{\frac{\theta_0}{\theta_1}} \dots\dots\dots (4)$$

$$F_{PU}^2 = \sum_{i=1}^2 F_{iPU}^2 + (0.2F_{PU})^2 \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$F_{DU}$ —产品设计失效率上限;

$R_{DU}$ —产品设计可靠度下限;

$F_{PU}$ —部件综合失效率上限;

$F_{iPU}$ —部件*i*失效率上限,  $i \leq 8$ ;

$\theta_0$ —检验上限, 生产方规定的产品无故障工作时间;

$\theta_1$ —检验下限, 使用方规定的产品无故障工作时间下限。

5.4 部件的失效率分配

试验方案中, 各种零部件的失效率分配见表2。

表 2 各种零部件失效数预分配

项目	符号	部件 1-3	部件 4-6	部件 7-8
失效率	$F_{DU}$	$0.6F_{DU}$	$0.4F_{DU}$	$0.2F_{DU}$
注: 1 允许失效数 $r \leq 1$ ; 2 $\chi_{0.9}^2(4) = 7.7794$				

5.5 试验样品数量和试验时间

5.5.1 零部件的试验样品数量和运行时间, 对于寿命服从威布尔分布的零部件, 按式(6)、式(7)计算:

$$T_i = n_i t_i^{m_i} = -\frac{t_D^{m_i}}{2 \ln(1 - F_{iPU})} \cdot \chi_{1-\alpha}^2(2r_i + 2) \dots\dots\dots (6)$$

$$t_i^{m_i} = -\frac{1}{n_i} \cdot \frac{t_D^{m_i}}{2 \ln(1 - F_{iPU})} \cdot \chi_{1-\alpha}^2(2r_i + 2) \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$T_i$ —累计总试验时间, 单位为小时/(h)

$m_i$ —部件*i*寿命服从威布尔分布的形状参数;

$t_i$ —平均单台试验时间, 单位为小时/(h);

$t_D$ —规定时间, 单位为小时/(h);

$n_i$ —试验样品数量, 单位为个;

$F_{iPU}$ —部件*i*失效率上限;

$\chi_{1-\alpha}^2(2r_i + 2)$ —失效数为 $r_i$ 的  $\chi^2$  分布函数。

当零部件寿命服从指数分布时, 可按 $m=1$ 的两参数威布尔分布计算。

5.5.2 整机验证试验方案

5.5.2.1 整机验证试验数据用于定性验证失效模式分析的准确性, 是判定零部件试验数据可接受程度的依据。

5.5.2.2 整机累计试验时间为整机工作寿命时间的 1.5 倍, 样机数量不少于 3 台, 试验时间不少于表 3 或表 4 规定的试验时间。在试验过程中若无 4.2b) 条所述的其余类型的失效, 包括其他部件以及整机系统部件等失效出现, 且主要零部件失效数不超过 1 个, 判定零部件试验数据可以接受; 若在整机试验期间出现主要零部件失效, 允许将更换或修复该失效部件后继续试验。

5.5.2.3 在第一次试验不能通过时，第二次试验累计试验时间需重新计算，且累计试验时间需增加1倍，样机数量不少于6台，试验时间不少于表3或表4规定的试验时间，单台器具试验时间不低于总试验时间的10%。在试验过程中若无4.2.2条所述的其余类型的失效，包括其他部件以及整机系统部件等失效出现，且主要零部件失效数不超过1个，判定零部件试验数据可以接受；若在第二次整机试验仍然不能判定零部件试验数据可以接受，则判定该产品试验不合格。

5.5.2.4 在整机验证试验不合格的情况下，不论零部件试验结果如何，均判定该产品可靠性试验项目不合格。

## 5.6 数据识别和利用

5.6.1 可靠性评价可利用多数据源对评价结果进行完善，整机和零部件均可以利用历史数据。

5.6.2 整机评价的多数据源信息定量评定方法按附录C规定。

5.6.2.1 整机历史数据，具有类似技术状态，包括相同的设计方案和失效模式，以及零部件配置基本相同特征的产品售后历史数据。

5.6.2.2 小批试用数据，具有相同技术状态，通常为产品开发过程中，批量投产前进行现场试用的小批产品的运行数据。

5.6.2.3 试制样机数据，具有基本相同的技术状态，与批量生产的产品存在由于技术改进造成的差异，通常为产品开发过程中，用于技术验证的样机运行数据。

5.6.3 零部件历史数据的利用，按5.6.3.1、5.6.3.2、5.6.3.3的规定。

5.6.3.1 不同型号、规格整机若采用相同的部件，该部件的试验数据可以直接用于新型号、规格整机的可靠性评价，除非经过风险识别，确认该部件在新的数据型号、规格整机应用时，其应力水平、失效率等技术状态已发生显著变化。

5.6.3.2 同型号、规格的部件若有历史数据  $R(T, r)$ ，在确认其数据有效的情况下，允许将新的试验结果与历史数据进行合并，从而更新该部件的数据  $R_N(T+T_N, r+r_N)$ ，可改善数据的准确性。

5.6.3.3 同型号、规格的部件若在其他项目（例如，安全性或性能测试等）进行同类测试，其结果经过评估后，符合要求的可以直接引用；供应商提供的可靠性数据需经过评估，符合要求的也可以直接引用。

表3 储水式器具试验方案数据示例

整机和部件	失效机理	寿命要求		试验要求		加速方法
		h	循环	h	循环	
整机	多样	6 000		750		事件压缩
内胆和承压部件	机械疲劳		80 000		10 000	提高压力，事件压缩
电热管	材料老化	6 000		750		提高电压，事件压缩
密封件	机械疲劳	70 000		8 760		提高温度，
限温器	机械疲劳		1 000	120		事件压缩
电子控制器	电化反应	70 000		8 760		提高温度、湿度
	器件失效		12 000		1 500	时间压缩
控温器	机械疲劳		12 000		1 500	事件压缩
漏电保护器	电化反应	6 000		750		提高温度、湿度
	器件失效		4 000		500	事件压缩
安全阀	机械疲劳		30 000		3 750	事件压缩
其它	多样					

注：1 寿命要求为8年正常使用，即70000h，其中运行时间6000h，其余为待机时间；  
2 电子控制器和漏电保护器的寿命和试验要求采用时间压缩后，分别按工作时间和动作循环周期数考核。

表4 快热式器具试验方案数据示例

整机和部件	失效机理	寿命要求		试验要求		加速方法
		h	循环	h	循环	
整机	多样	3 000		375		事件压缩
承压部件	机械疲劳		80 000		10 000	提高压力, 事件压缩
电热管	材料老化	3 000		375		提高电压, 事件压缩
密封件	机械疲劳	70 000		8 760		提高温度,
限温器	机械疲劳		1 000	120		事件压缩
电子控制器	电化反应	70 000		8760		提高温、湿度
	器件失效		12 000		1 500	时间压缩
控温器	机械疲劳		12 000		1 500	事件压缩
漏电保护器	电化反应	3 000		375		提高温、湿度
	器件失效		4 000		500	事件压缩
其它	多样					

注: 1 寿命要求为8年正常使用, 即70 000h, 其中运行时间3 000h, 其余为待机时间;  
2 电子控制器和漏电保护器的寿命和试验要求采用时间压缩后, 分别按工作时间和动作循环周期数考核。

## 6 试验过程和数据处理

### 6.1 试验规则

6.1.1 所有测试项目, 应按试验方案规定的试验时间进行, 不允许由于失效数少于预期就提前结束试验。

6.1.2 一个部件通常也存在多种失效模式, 所以部件的综合失效率限值按式(8)计算:

$$F_{PiU}^2 = \sum_{j=1}^{n_i} f_{PijU}^2 \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$F_{PiU}^2$  一部件i的失效率上限;

$f_{PijU}^2$  一部件i的失效模式j导致的失效率上限。

若按失效率排序, 其他失效机理产生的失效率与排序第一的失效机理处于相同数量级, 需该失效机理的影响, 若两者相差一个数量级, 则可考虑忽略。在存在2种失效模式时, 考虑试验方案时, 假设失效的分配为: 排序第1的失效模式为该部件的失效数60%, 排序第2的失效模式为该部件的失效数40%。

注: 在器具部件中, 同一种部件中具有相同数量级的失效模式一般不超过2种。

6.1.3 原则上, 在整机试验过程中, 不允许出现属于致命失效类型的失效, 若出现这类失效, 应终止该组样品试验, 查明失效原因并进行适当处置, 在预期不会在试验过程中再次出现同类失效后, 重新进行试验。

### 6.2 试验过程

6.2.1 整机试验方案应符合5.5.3的要求, 整机的试验方法按QB/T 4142-2010第8.2.2条规定。

6.2.2 零部件的试验方法按附录A要求。

### 6.3 失效的判据和统计



6.3.1 在零部件试验结果，需考虑时间压缩等措施的影响，失效数据的应统一按使用时间进行换算。

6.3.2 在零部件试验过程中，失效的判据和统计应符合 GB/T 24986.1-2010 第 9 章的要求。

6.4 试验数据处理

6.4.1 零部件

6.4.1.1 寿命分布符合两参数威布尔分布的零部件，试验数据按式（9）、式（10）计算：

$$\eta_{iL}^{m_i} = \frac{2 \sum_{j=1}^{n_j} t_{ij}^{m_i}}{\chi_{1-\alpha}^2 (2r_i + 2)} \dots\dots\dots (9)$$

$$F_{iPU} = 1 - e^{-\left(\frac{t_0}{\eta_{iL}}\right)^{m_i}} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$\eta_{iL}$ —部件i的尺度参数下限；

$m_i$ —部件i的的形状参数；

$t_{ij}$ —部件i的第j样品的试验时间；

$t_0$ —试验规定的考核时间,单位为小时/(h)；

$\chi_{1-\alpha}^2 (2r_i + 2)$ —失效数为 $r_i$ 的  $\chi^2$  分布函数；

$F_{iPU}$ —部件i失效率上限。

6.4.1.2 寿命分布符合指数分布的零部件，试验数据按式（11）、式（12）计算：

$$\theta_{i1} = \frac{2 \sum_{j=1}^{n_j} t_{ij}}{\chi_{1-\alpha}^2 (2r_i + 2)} \dots\dots\dots (11)$$

$$F_{iPU} = 1 - e^{-\frac{t_0}{\theta_{i1}}} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$\theta_{i1}$ —部件i的无故障工作时间下限；

$t_{ij}$ —部件i的第j样品的试验时间；

$t_0$ —试验规定的考核时间；

$\chi^2_{1-\alpha}(2r_i + 2)$ —失效数为 $r_i$ 的 $\chi^2$ 分布函数；

$F_{iPU}$ —部件 $i$ 失效率上限。

#### 6.4.1.3 零部件综合失效率

零部件综合失效率按式(13)计算：

$$F_{PU}^2 = \frac{1}{1-0.2^2} \sum_{i=1}^n F_{iPU}^2 \quad \dots\dots\dots (13)$$

部件综合可靠度下限按式(14)计算：

$$R_{PL} = 1 - F_{PU} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$F_{PU}$ —部件综合失效率上限；

$F_{iPU}$ —部件 $i$ 失效率上限；

$R_{PL}$ —部件综合可靠度下限。

#### 6.4.2 产品鉴定试验合格判定

在整机验证试验结果满足5.5.3要求的前提下，产品鉴定试验合格判定依据零部件试验结构，合格条件见式(15)：

$$R_{PL} = R_L \geq R_D^{\frac{\theta_0}{\theta_1}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$R_{PL}$ —部件综合可靠度下限；

$R_L$ —整机可靠度下限；

$R_D$ —产品在规定时间末的可靠度；

$\theta_0$ —制造方规定的产品无故障工作时间；

$\theta_1$ —使用方规定的产品无故障工作时间下限。

附录 A  
(规范性附录)  
零部件加速试验

## A.1 范围

本附录规定了部分零部件加速试验方法，适用于器具的可靠性评价。

零部件的寿命特征和失效机理，由于受到设计、材料、元器件、工艺等因素影响，不同来源的零部件寿命特征和失效机理存在差异，此外，不同整机设计要求也可能导致零部件的运行状态差异较大，因此，零部件加速试验方法通常需要按整机和零部件的实际状态确定。在缺乏准确数据的情况下，推荐本附录提供的试验方法。

## A.2 零部件加速试验

### A.2.1 电子控制器

#### A.2.1.1 失效模式和工作时间

A.2.1.1.1 电子控制器的寿命特征服从指数分布，其主要失效模式为电化学反应导致电路失效和器件失效，由于这两种失效模式导致的失效在整机中占有较高的份额，所以，需要考虑以两种失效模式考核来评价电子控制器的可靠性。

A.2.1.1.2 当整机寿命要求为8年正常使用，即70 000 h，其中快热式器具工作时间为3 000 h，储水式器具工作时间为6 000 h，其余为待机时间的条件下，采用时间压缩后，快热式器具工作时间为3 000 h，储水式器具工作时间为6 000 h。

#### A.2.1.2 试验方法

##### A.2.1.2.1 设计运行条件

电源电压为1.10倍额定电压，快热式器具电子控制器的工作温度为40℃，储水式器具相应为60℃，相对湿度为50%RH。

##### A.2.1.2.2 湿热试验

湿热试验按以下要求进行：

- 总试验时间不得少于规定的寿命要求，为6 000h；
- 单件样品的工作时间不得少于规定试验要求时间，为750h；
- 样品数不少于10件；
- 控制器电源输入端为额定电压，输出端为空载。

##### A.2.1.2.3 运行试验

运行试验按以下要求进行：

- 总试验时间不得少于规定的寿命要求，为6 000h；
- 单件样品的工作时间不得少于规定试验要求时间，为750h；
- 样品数不少于10件；
- 控制器输出端连接1.10倍额定电流，快热式器具每次工作周期为20min，每次待机5min，通电15min；储水式器具每次工作周期为35min，每次待机5min，通电30min。

### A.2.1.3 加速方式

#### A.2.1.3.1 湿热试验加速方法

湿热试验加速方法为提高试验温度和湿度，加速因子计算推荐采用式 (A.1)：

$$AF_{TH} = \left( \frac{RH_u}{RH_t} \right)^n \times e^{\left[ \frac{E_a}{K_B} \times \left( \frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_t} \right) \right]} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$AF_{TH}$ ——湿热试验加速因子

$RH_u$ ——工作相对湿度，%RH

$RH_t$ ——试验相对湿度，%RH

$E_a$ ——激活能，eV

$K_B$ ——玻尔兹曼常数， $8.617385 \times 10^{-5} eV/K$ ；

$n$ ——与湿热应力相关的参数，

$T_u$ ——实际运行时绝对工作温度，K

$T_t$ ——试验温度，K

对于家用快热式热水器电子控制器和储水式器具，推荐  $E_a = 0.7 eV$ ,  $p = 2.66$ ,  $T_t \leq 353.15 K (85^\circ C)$ ,  $RH_t \leq 85\%$ ,  $RH_u = 50\% RH$ ，对于快热式器具， $T_u = 313.15 K (40^\circ C)$ ，对于储水式器具， $T_u = 333.15 (60^\circ C)$ 。

#### A.2.1.3.2 运行试验加速方法

本附录对电子控制器的运行试验，采用时间压缩方式实现加速。

#### A.2.1.4 判定规则

试验结束后，合格样品均应能够通过电子控制器的功能检验，而且未出现其他异常。

### A.2.2 漏电保护器

#### A.2.2.1 失效模式和工作时间

A.2.2.1.1 漏电保护器的寿命特征服从指数分布，其主要失效模式为电化学反应导致电路失效和器件失效。由于这两种失效模式导致的失效在整机中占有较高的份额，所以，需要考虑以两种失效模式考核来评价漏电保护器的可靠性。

A.2.2.1.2 当整机寿命要求为8年正常使用，即70 000h，其中快热式器具工作时间为3 000h，储水式器具工作时间为6 000h，其余为待机时间的条件下，采用时间压缩后，快热式器具工作时间为3 000h，储水式器具工作时间为6 000h。

#### A.2.2.2 试验方法

##### A.2.2.2.1 设计运行条件

电源电压为额定电压，漏电保护器的工作温度为40℃，相对湿度为50%RH。

##### A.2.2.2.2 湿热试验

湿热试验按以下要求进行：

- aa) 总试验时间不得少于规定的寿命要求，为6 000h；
- 1) 单b) 件样品的工作时间不得少于规定试验要求时间，为750h；
- c) 样品数不少于10件；

- d) 电源输入端为额定电压，输出端为空载；
- e) 全部样品外壳需打开，便于试验时施加湿度应力。

#### A. 2. 2. 2. 3 运行试验

- 运行试验按以下要求进行：a) 按GB 20044-2012第9.10.2进行PRCD的RCD部分试验；
- b) 试验以4 000次操作循环为1个基本试验单元，其中负载试验和空载试验各占50%；
  - c) 每个样品应至少完成0.5个基本试验单元；
  - d) 样品数不少于10件；
  - e) 负载试验按GB 20044-2012第9.10.2.1条进行2 000次操作循环，按0.5个周期试验的样品，每个项目的操作循环数按规定操作循环数的50%确定；
  - f) 空载试验按GB 20044-2012第9.10.2.2条进行2 000次操作循环，按0.5个周期试验的样品，每个项目的操作循环数按规定操作循环数的50%确定；
  - g) 若漏电保护器按GB 20044-2012第4.3.2.1条分类为，与电源电压有关，则这是负载试验中，应按GB 20044-2012第9.10.2.1条c)要求，在每1个基本试验单元中，包含断开电源电压250次的操作。按0.5个周期试验的样品，该类循环为125次；

在空载试验中应按GB 20044-2012第9.10.2.2条要求，在每1个基本试验单元中，增加1 000次以切断和恢复电源电压对PRCD进行断开和闭合的操作循环。按0.5个周期试验的样品，该类循环增加500次。

#### A. 2. 2. 3 加速方式

##### A. 2. 2. 3. 1 湿热试验加速方法

漏电保护器湿热试验加速方法按A. 2. 1. 3. 1，其中，对于漏电保护器， $T_0 = 313.15\text{K}$ （40℃）。

##### A. 2. 2. 3. 2 运行试验加速方法

本附录对漏电保护器的运行试验测试，采用事件压缩方式实现加速。

#### A. 2. 2. 4 判定规则

试验结束后，合格样品均应能够通过GB 20044-2012第9.10.3条规定的符合性检验。

#### A. 2. 3 控温器

##### A. 2. 3. 1 失效模式

控温器的寿命特征服从威布尔分布，形状参数 $m=4$ ，其主要失效模式为机械结构零件疲劳失效。

##### A. 2. 3. 2 试验方法

- 试验按以下要求进行：a) 电源电压为1.10倍额定电压，试验温度按工作温度，为65℃。
- b) 总试验时间不得少于规定的寿命要求30 000次循环；
  - c) 单件样品的工作时间不得少于规定试验时间1 500次循环；
  - d) 样品数不少于10件；
  - e) 将测试样品置于专用耐久性测试设备上，样品输出端连接1.10倍额定电流，进行闭合—断开循环，每闭合10min后，断开10min为1次循环。

##### A. 2. 3. 3 加速方式

本附录对控温器的测试，采用事件压缩方式实现加速。

##### A. 2. 3. 4 判定规则

试验结束后，合格样品均应能够通过控温器的功能检验，而且未出现其他异常。

#### A.2.4 限温器

##### A.2.4.1 失效模式

限温器的寿命特征服从威布尔分布，形状参数 $m=4$ ，其主要失效模式为机械结构零件疲劳失效。

##### A.2.4.2 试验方法

试验按以下要求进行：a) 电源电压为1.10倍额定电压，工作温度为65℃；

b) 总试验时间不得少于规定的寿命要求1 000次循环；

c) 单件样品的工作时间不得少于规定试验时间120次循环；

d) 样品数不少于10件；

e) 将测试样品置于专用耐久性测试设备上，样品输出端连接1.10倍额定电流，进行闭合—断开循环，每闭合10min后，断开10min为1次循环。

##### A.2.4.3 加速方式

本附录对限温器的测试，采用事件压缩方式实现加速。

##### A.2.4.4 判定规则

试验结束后，合格样品均应能够通过限温器的功能检验，而且未出现其他异常。

#### A.2.5 安全阀

##### A.2.5.1 失效模式

安全阀的寿命特征服从威布尔分布，形状参数 $m=4$ ，其主要失效模式为机械结构零件疲劳失效。

##### A.2.5.2 试验方法

试验按以下要求进行：a) 按GB/T 21384-2008第7.3.8条实施；

b) 总试验时间不得少于规定的寿命要求30 000次循环；

c) 单件样品的工作时间不得少于规定试验时间3 750次循环；

d) 样品数不少于10件。

##### A.2.5.3 加速方式

本附录对安全阀的测试，采用事件压缩方式实现加速。

##### A.2.5.4 判定规则

试验结束后，合格样品均应能够通过按GB/T 21384-2008第7.3.1~7.3.7条试验。

#### A.2.6 电热管

##### A.2.6.1 失效模式

电热管的寿命特征服从威布尔分布，形状参数 $m=4$ ，其主要失效模式为结构材料老化失效。

##### A.2.6.2 试验方法

试验按以下要求进行：1) 按JB/T 4088-2012第6.11条实施；

2) 总试验时间不得少于规定的最低寿命时间3 000 h；

- 3) 单件样品的工作时间不得少于规定试验时间750 h;  
4) 样品数不少于10件。

#### A.2.6.3 加速方式

本附录对电热管的测试,采用时间压缩方式实现加速。也可以按JB/T 12719-2016确定加速方法。

#### A.2.6.4 判定规则

试验结束后,合格样品均应能够通过按JB/T 4088-2012第7.2条规定的功率偏差测量、水压试验和冷态下电气强度试验。

#### A.2.7 内胆及承压部件

##### A.2.7.1 失效模式

内胆的寿命特征服从威布尔分布,形状参数 $m=4$ ,其主要失效模式为机械结构零件疲劳失效。

##### A.2.7.2 试验方法

试验按以下要求进行:a) 储水式器具按GB/T 20289-2006第7.10条实施;快热式器具按GB/T 26185-2010第7.6条实施;

- b) 总试验时间不得少于规定的最少循环周期80 000次;  
c) 单件样品的工作时间不得少于规定循环周期10 000次;  
d) 样品数不少于2件。

##### A.2.7.3 加速方式

采用提高试验压力方式实现加速,加速因子计算推荐见式(A.2):

$$AF_N = \frac{N_S}{N_A} = \left( \frac{P_A}{P_S} \right)^4 \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$AF_N$ —交变压力循环试验加速因子;

$N_S$ —标准试验循环周期数,次;

$N_A$ —加速试验循环周期数,次;

$P_S$ —标准试验压力,MPa;

$P_A$ —加速试验压力,MPa。

其中:

——对于采用搪瓷涂层的承压部件,  $P_A/P_S \leq 1.3$ ;

——对于采用不锈钢、铜等材料的承压部件,  $P_A/P_S \leq 1.7$ 。

##### A.2.7.4 判定规则

试验结束后,储水式器具的合格样品均应能够通过按GB 4706.12-2006第22.102条试验;快热式器具的合格样品均应能够通过按GB 4706.11-2008第22.102条试验。

##### A.2.7.5 试验说明

本项目试验可采用正常配套的密封件进行密封,所用密封件的数量可纳入密封件试验的统计。

#### A.2.8 密封件

### A.2.8.1 失效模式

密封件的寿命特征服从威布尔分布，形状参数 $m=4$ ，其主要失效模式为结构材料性能退化。

### A.2.8.2 试验方法

试验按以下要求进行：a) 将密封件置于工作温度下，达到规定时间后进行密封性能测试；  
b) 总试验时间不得少于规定的工作寿命70 000h；  
c) 单件样品的工作时间不得少于规定试验时间8 760h；  
d) 每种样品数不少于10件。

### A.2.8.3 加速方式

按GB/T 3512-2014确定加速方法，在对于常用的橡胶材料制成密封件，加速因子计算推荐见式(A.3)：

$$AF_t = e^{\left[ \frac{E_a}{K_B} \times \left( \frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_t} \right) \right]} AF_N = \frac{N_S}{N_A} = \left( \frac{P_A}{P_S} \right)^4 \dots\dots\dots (A.3)$$

式中

$AF_t$ —加速因子；

$E_a$ —激活能，eV；

$K_B$ —玻尔兹曼常数， $8.617385 \times 10^{-5} \text{eV/K}$ ；

$T_u$ —工作温度，单位为开尔文，K；

$T_t$ —试验温度，单位为开尔文，K。

对于本标准适用的硅橡胶材料，推荐 $E_a=0.80\text{eV}$ ， $T_u=338.15\text{K}$  ( $65^\circ\text{C}$ )，建议 $T_t \leq 398.15\text{K}$  ( $125^\circ\text{C}$ )。

### A.2.8.4 判定规则

试验结束后，储水式器具的合格样品均应能够通过按GB 4706.12-2006第22.102条试验；快热式器具的合格样品均应能够通过按GB 4706.11-2008第22.102条试验。

### A.2.8.5 试验说明

内胆及承压部件项目试验若按正常配套的密封件进行密封，所用密封件的数量可纳入密封件试验的统计。



附录 B  
(资料性附录)  
器具主要失效类型

## B.1 主要失效类型及分类

## B.1.1 主要失效类型及分类见表B.1

表 B.1 器具主要失效类型及分类

序号	失效类型	失效分类	可靠性试验方案
1	导致漏电、火灾危险、机械危险的失效	致命失效	安全性检查和试验
2	电气强度、泄漏电流、接地电阻不合格	致命失效	安全性检查和试验
3	安装挂架变形	致命失效	过载试验
4	整机基本功能失效, 如不能加热等	A	
5	不出水	A	
6	内胆漏水	A	
7	加热不到预期温度	A	
8	安全阀失效	A	
9	电子控制器失效	A	
10	功能部件, 如温控器、限温器、水流量传感器等失效	A	
11	开关类元件失灵, 比如电源开关、功能按键等	A	
12	水量调节失灵	A	
13	各类按键旋钮卡滞, 导致无法正常操作	A	
14	指示灯不亮	B	
15	产品说明书中规定的其它功能不能实现的失效	B	
16	除上述失效外的能影响产品实现规定功能的失效	B	
注 1: 失效分类说明: 致命失效: 可能导致人员伤亡、重要物件损坏或其他不可容忍后果的失效; A 类失效: 引起产品丧失主要功能的失效; B 类失效: 影响产品主要功能以外的失效。 注 2: 此附录作为统计失效数使用。			

附录 C  
(资料性附录)  
多数据源信息的综合评价

C.1 多数据源信息处理

本附录采用加权平均融合模型对多数据源信息进行处理。

C.2 多数据源信息

综合评价所采用的整机数据来源及其置信度，可按以下规则：

- a) 整机历史数据，置信度为 0.50，数据预处理的结果为  $\theta_{L1}$ ；
- b) 零部件试验综合数据，置信度为 0.80，数据预处理的结果为  $\theta_{L2}$ ；
- c) 整机验证试验数据，置信度为 0.50，数据预处理的结果为  $\theta_{L3}$ ；
- d) 小批试用数据，置信度为 0.70，数据预处理的结果为  $\theta_{L4}$ ；
- e) 试制样机数据，置信度为 0.70，数据预处理的结果为  $\theta_{L5}$ 。

C.3 数据处理

- a) 数据预处理的结果均按使用时间为基数，即工作时间和待机时间均需要计入；
- b) 数据源支持向量按式 (C.1)、式 (C.2) 计算：

$$S_{li} = \ln \theta_{Li} - \ln \theta_{L1} - \frac{\theta_{Li} - \theta_{L1}}{\theta_{L1}} \dots \dots \dots (C.1)$$

$$A_i = \frac{S_{li}}{\sum_{i=1}^m S_{li}} \dots \dots \dots (C.2)$$

式中：

$$S_{ii} = 0, \quad A_i = 0。$$

- c) 信息源权重按式 (C3)、式 (C4) 计算：

若：
$$w_1 = \frac{\chi_{1-\alpha_1}^2(2)}{\chi_{1-\alpha_2}^2(2)} \dots \dots \dots (C.3)$$

$$\chi_{1-\alpha_1}^2(2) = \chi_{0.5}^2(2) = 1.386$$

$$\chi_{1-\alpha_2}^2(2) = \chi_{0.8}^2(2) = 3.219$$

有：

$$w_1 = 0.4306$$

$$w_i = \frac{1/A_i}{\sum_{i=1}^m 1/A_i} \dots\dots\dots (C.4)$$

$i=2, \dots, m$

d) 综合评估值按式 (C5) 计算:

$$\theta_{Lm} = \sum_{i=1}^n w_i \theta_{Li} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

$\theta_{Lm}$  — 产品使用方规定的产品无故障工作时间下限综合评估值;

$w_i$  — 产品使用方规定的产品无故障工作时间下限第*i*类数据预处理结果信息源权重;

$\theta_{Li}$  — 产品使用方规定的产品无故障工作时间下限第*i*类数据预处理结果。