

# 华龙一号安全重要压力变送器设备鉴定研究

高鹏<sup>✉</sup>

(中核集团中原运维海外工程有限公司, 上海 200233)

**摘要:** [目的] 核电站安全重要压力变送器需通过设备鉴定, 确定其在事故条件下可执行安全功能, 而目前的相关标准并未对该类设备鉴定的逻辑与机理进行说明, 合理性不够充分。[方法] 基于对国内外安全重要电气设备鉴定体系的理解, 结合华龙一号安全重要压力变送器实际鉴定过程, 详细研究了安全重要压力变送器的鉴定理论。[结果] 对其安全性能的重要运行环境因素进行了分析, 识别了其显著老化机理, 基于加速老化数学模型对加速老化试验进行了阐述, 推荐了华龙一号安全重要压力变送器典型的加速老化顺序和鉴定流程。[结论] 该鉴定流程可作为国内后续安全重要压力变送器的鉴定实施参考。

**关键词:** 华龙一号; 安全重要; 压力变送器; 设备鉴定; 老化机理

中图分类号: TL4; TM623.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)02-0107-06

开放科学(资源服务)二维码:



## Research on Equipment Qualification for Pressure Transmitter Important to Safety of HPR1000

GAO Peng<sup>✉</sup>

(CNNC CZEC Operation and Maintenance Engineering Co., Ltd., Shanghai 200233, China)

**Abstract:** [Introduction] The pressure transmitter important to safety of nuclear power plant needs to pass the equipment qualification to confirm that it can perform the safety function under the accident condition. However, the current relevant standards do not explain the logic and mechanism of such equipment qualification, the rationality is not sufficient. [Methods] Based on the understanding of the identification system of electrical equipment important to safety at home and abroad, combined with the actual identification process of pressure transmitter important to safety of HPR1000, the identification theory of pressure transmitter important to safety was studied in detail. [Results] The important operating environment factors affecting its safety performance were analyzed, the significant aging mechanism was identified, the accelerated aging test was described based on the accelerated aging mathematical model, and the typical accelerated aging sequence and identification process of the safety-important pressure transmitter of HPR1000 was recommended. [Conclusion] The identification process can be used as a reference for the identification of safety-important pressure transmitters in China.

**Key words:** HPR1000; important to safety; pressure transmitter; equipment qualification; aging mechanism

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

近年来,我国核电技术不断发展,由中核集团自主研发具备完全自主知识产权的先进压水堆华龙一号(HPR1000)在成熟性、安全性和经济性满足三代核电技术要求<sup>[1]</sup>,在海内外稳步推进建设。HPR1000在设计上的创新,安全性能上的大幅提高<sup>[2]</sup>,对于设

备,尤其是安全重要设备的可靠性也提出了更高的要求。

安全重要压力变送器是核电厂常用的仪表设备,用于测量压力、流量和液位等过程参数,为保护系统或事故后监测系统提供信号<sup>[3]</sup>,对核电厂的安全运行

收稿日期: 2021-09-10 修回日期: 2022-03-18

基金项目: 中国中原对外工程有限公司科研项目“华龙一号安全重要压力、差压变送器研发”(S0KK15PIN0023-ORG)

起到重要作用。

根据 HAF 102 的规定<sup>[4]</sup>,安全重要设备应进行设备鉴定。对于安全重要压力变送器,设备鉴定是确定其能消除共因故障(CCF),在设计基准事故时或超设计基准事故时能执行安全功能的重要佐证。

针对应用于 HPR1000 的安全重要压力变送器,其设备鉴定的实施通常参考 RCC-E 标准和 NB/T 20149, RCC-E 对安全重要电气设备的通用鉴定流程给出了规定<sup>[5]</sup>,而 NB/T 20149 则推荐了安全重要压力变送器的鉴定规程<sup>[6]</sup>,RCC-E 及 NB/T 20149 具备很好的实操性,但对于安全重要压力变送器设备鉴定的逻辑与机理并未进行探讨,合理性上不够充分。

## 1 研究方法与研究目的

依托于 HPR1000 的建设,我司联合国内相关方进行了 HPR1000 用安全重要压力变送器的自主研发,在国内首次通过了设备鉴定试验。本文将基于对国内外安全重要电气设备鉴定标准体系的理解,结合压力变送器自身技术特点,同时参考实际鉴定实施过程,详细研究安全重要压力变送器的鉴定理论,分析影响其安全性能的环境因素,识别其显著老化机理,说明基于数学模型的加速老化过程,对安全重要压力变送器的鉴定实施提供合理的阐述,并提供鉴定实施流程,为国内后续安全重要压力变送器的鉴定实施提供参考。

## 2 安全重要设备鉴定体系及鉴定理论简述

设备鉴定是形成并保存证据以证明设备能在正常、异常运行条件下及假设的设计基准事件发生时满足系统运行要求的过程<sup>[7]</sup>,其作为一项专业的核安全相关的技术管理活动,经过不断的发展,在实际实施过程中通常认为形成了美国和法国两大体系。

美国的设备鉴定体系是一个由法律,法规标准和工业标准组成的金字塔结构。美国核管会(NRC)发布并经美国联邦发布的法律 10 CFR 50.49 对安全重要电气设备在严酷环境下鉴定的通用要求做出了顶层规定,其发布的系列导则(Regulation Guideline)对鉴定的通用实施给出了指导,而国际电气和电子工程师协会(IEEE)发布的以 IEEE Std 323 为基础的多项工业标准针对不同设备的鉴定提供方法。

法国自从美国西屋公司引进压水堆技术起,积

极推进压水堆的标准化建设,在安全重要电气设备鉴定上统一执行由法国核岛设备设计和建造规则协会(AFCEN)编制的 RCC-E 标准,该标准对设备鉴定进行分类并规定了标准的实施程序<sup>[5]</sup>,RCC-E 中也引用了大量国际电工委员会(IEC)标准和法国国内标准。

美国的设备鉴定标准体系理论完善,方法清晰,而法国的体系则简洁明了,易于操作;我国由于核电技术路线的多样性,在设备鉴定上对美国和法国的体系均有参考。

IEEE 和 IEC 联合发布的 IEC/IEEE 60780-323<sup>[8]</sup>可认为是核电厂安全重要电气设备鉴定的理论基础,其基本的逻辑在于基于安全重要设备需执行的安全功能和运行条件,将具备显著老化机理的设备加速至鉴定寿命的末期,然后将其置于设计基准事件(DBE)带来的事故中或事故后,要求其仍能执行设计要求的安全功能。

设备鉴定的方法包括型式试验,运行经验,分析法及综合法,型式试验是普遍推荐的方法,本文讨论的设备鉴定方法也将限于型式试验法。

## 3 压力变送器的基本原理与性能指标

对设备的基本原理和性能指标的充分理解是实施设备鉴定的基础。压力变送器根据其测量压力的方式,分为压阻式,电感式以及电容式,其中电容式压力变送器在 HPR1000 中应用最为广泛,通过将压力值的变化转换为电容值的变化,再将电容值的变化转换为标准的电压或者电流信号实现压力值的测量<sup>[9]</sup>。图 1 为典型的电容式压力变送器结构示意图。

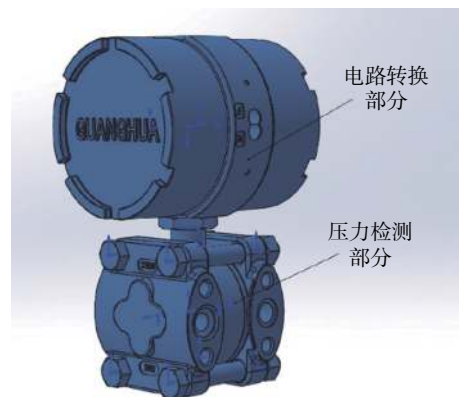


图 1 典型压力变送器结构示意图

Fig. 1 Typical pressure transmitter structure

压力变送器的基本性能指标包括功能精度、响应时间和绝缘电阻值<sup>[10]</sup>,其性能的劣化与否便体现在其基本性能指标的变化上。

#### 4 HPR 1000 安全重要压力变送器的环境条件

HPR 1000 中安全重要压力变送器大量应用于执行安全功能的系统以及在事故后参与保护公众的系统,如反应堆冷却剂系统,专设安全设施,主蒸汽系统等,用于对系统正常运行时、严重事故时、事故后的压力,差压,液位,流量的监测,其所置于的环境可分为和缓环境和严酷环境<sup>[11]</sup>。

在和缓环境下,安全重要压力变送器需在安装期间、运行前、正常运行时确保其结构完整、性能不劣化。表1为安装在 HPR1000 的典型和缓环境条件。

表 1 环境条件

Tab. 1 Environment conditions

安装期间和运行前	正常运行
温度: -25 ~ 40℃	设计温度: 1.8 ~ 60℃
最大湿度: 100%	最大湿度: 95%
喷溅水	设计压力: 86 ~ 106 kPa
含盐空气	辐照剂量: 50 ~ 250 kGy
大量灰尘	振动: 振幅0 ~ 30 μm, 10 ~ 2 000 Hz, 0.2 g

而位于严酷环境下的安全重要压力变送器,则需在设计基准事件条件下或严重事故条件下仍然能执行其安全功能,表2为 HPR1000 的典型事故环境条件。

表 2 事故环境条件

Tab. 2 Accident environment conditions

项目	数值
最高温度/℃	145
最大压力/MPa	0.52
最大湿度/%	100
辐照剂量/Gy	6.0×10 <sup>5</sup> (事故后1 000 h内)
化学喷淋	硼酸1.5%, 氢氧化钠0.6%, pH值9.2

#### 5 环境因素对安全重要压力变送器性能指标的影响分析

H.M.Hashemian 指出温度,辐照,压力,湿度,振动,电压,电磁干扰等环境因素均可能导致压力变送

器性能的劣化<sup>[12]</sup>。

温度是影响核电厂安全重要压力变送器性能的主要环境因素<sup>[13]</sup>。温度变化会导致压力变送器的检测部件如测量膜片初始张力发生变化,充液体积改变<sup>[14]</sup>,此外其电子部件的性能也会受到影响,如绝缘性能下降,进而导致精度的下降。根据实际的试验数据,温度每变化 10℃,对安全重要差压变送器精度影响绝对值约为 0.3% F.S。

辐照对安全重要压力变送器的性能影响则仅次于温度<sup>[12]</sup>,辐照会对其电子部件,有机材料(如密封垫)产生电离作用,影响其物理、化学、电气、机械特性。

压力是另外一个可能导致安全重要压力变送器性能劣化的重要环境因素,持续的压力波动会加速其检测部件的磨损,异常的压力冲击可能使内部充液泄漏。

而安全重要压力变送器安装位置附件的长期机械振动,地震事件带来的随机低频振动也不可忽视,其可能带来压力变送器的疲劳损坏或部件脱落。

#### 6 安全重要压力变送器的显著老化机理分析

导致安全重要压力变送器性能劣化的因素很多,但设备鉴定需要确定导致其显著老化的环境因素。IEEE Std 627-1980 提出了符合显著老化机理必须满足的 4 条准则<sup>[8]</sup>,但在 2019 年进行了升版,与 IEC/IEEE 60780-323 2016 中对显著老化机理的判断准则进行了统一:即设备完成生产后,在存储和/或正常或异常的运行环境下,使设备在安装寿命期内性能劣化趋势明显而无法在事故条件下执行其安全功能的老化机理<sup>[15-16]</sup>,基于这样的判断准则,可得出以下:

安装位于和缓环境的安全重要压力变送器,地震是其唯一考虑的设计基准事件,振动及压力循环带来的部件松脱与疲劳可能造成与地震一致的相关故障模式,影响压力变送器的精度与响应时间,但该故障可通过定期的检查维护,标定予以识别和消除,因此认为其不存在显著老化机理。

而安装位于严酷环境的安全重要压力变送器,其需考虑设计基准事件如地震,LOCA,MSLB 及超设计基准事件所带来的环境工况,温度,辐照,压力,振动及湿度对压力变送器作用的老化机理属于显著老化机理。

## 7 安全重要压力变送器的鉴定寿命与加速老化分析

### 7.1 鉴定寿命

对于存在显著老化机理的安全重要压力变送器,应通过老化评价确定其鉴定寿命<sup>[16]</sup>。基于华龙一号本身的设计寿期(60年),另结合核电厂换料大修周期和经济性,同时考虑安全重要压力变送器本身为电子类设备,其鉴定寿命通常确定为不超过20年。

### 7.2 加速老化

显然我们无法等待安全重要变送器自然老化至鉴定寿命的末期,因此需要采用加速老化的方法。Carfagno, S.P.基于对设备故障模式的研究,指出代表环境激励的应力函数对表征设备物理状态的资源分布函数和故障密度函数起到放大作用<sup>[17]</sup>,因此可通过增大环境因素的激励来提前使设备到达寿命末期,即加速老化。

阿伦纽斯模型(The Arrhenius Model)是最常用的加速热老化模型,阿伦纽斯模型有多种表达形式,式(1)是实际工程应用中最为广泛的公式<sup>[17]</sup>。

$$\tau/\tau^* = \exp\left\{E/k\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T^*}\right]\right\} \quad (1)$$

式中:

$E$  ——活化能值(eV);

$k$  ——玻尔兹曼常数(eV·K<sup>-1</sup>);

$\tau$  ——鉴定寿命(s);

$T$  ——正常运行温度(K);

$\tau^*$  ——加速寿命(s);

$T^*$  ——加速运行温度(K)。

对于压力变送器,因其组成含多种有机材料,活化能值 $E$ 的选取应基于影响压力变送器安全功能的活化能值最小的材料,表3为国内外部分型号变送器的 $E$ 值参考。

表3 部分压力变送器活化能取值列表

Tab. 3 EV lists of partial types of transmitters

变送器品牌及型号	变送器类型	活化能值 $E$ /eV
WEED DTN2010	电容式	0.8 <sup>[18]</sup>
AMETEK PG3200	压阻式	0.9 <sup>[19]</sup>
ROSEMOUNT 3050N	电容式	0.78
国内某公司	电容式	0.78

由于阿伦纽斯模型体现的是材料的化学反应速率,而同一材料在不同温度下的反应速率是变化的,因此加速运行温度值的选择应趋于保守。

加速辐照老化采用的模型通常是同剂量/同破坏(Equal dose/Equal damage)模型<sup>[17]</sup>,即在进行实际辐照试验时,不考虑辐照类型和辐照率,只考虑设备吸收的总的能量(辐照剂量),从而简化了辐照老化试验的操作。在实际试验中,辐照源通常选用Co 60,辐照率则取0.5~1.0 Mrad/h。

湿度通常与温度共同作用来加速变送器电路部分的老化,Eyring提出温度与其他环境因素共同作用的通用公式<sup>[20]</sup>,如式(2)所示;而Peck基于对环氧树脂的包装的研究在式(2)基础上提出了Peck关系式(Peck's relationship)<sup>[21]</sup>,如式(3)所示,尽管其并不具备普适性,但为加速湿热老化提供了理论支持。IEC 60068-2-30则为湿热老化试验提供了具体的操作流程<sup>[22]</sup>。

$$\tau = \left(\frac{A}{T}\right) \exp\left[\frac{B}{kT}\right] \times \exp\left\{\frac{V}{\left[C + \frac{D}{kT}\right]}\right\} \quad (2)$$

式中:

$\tau$  ——寿命(s);

$T$  ——温度(K);

$k$  ——玻尔兹曼常数(eV·K<sup>-1</sup>), A, B, C, D为基于数据的常数;

$V$  ——环境因素变量。

$$\tau = A(\text{RH})^{-n} \exp\left[\frac{E}{kT}\right] \quad (3)$$

式中:

$E$  ——活化能值(eV);

$K$  ——玻尔兹曼常数(eV·K<sup>-1</sup>);

$A$  ——常数;

$T$  ——温度(K);

RH ——相对湿度(%)。

循环运行(压力)老化暂无通用的数学模型,在实际试验中,通常对其鉴定寿命期间的循环次数进行估算,同时考虑一定的裕量进行实施;对于安全重要压力变送器,其循环运行(压力循环)次数通常不少于10万次。

而对于振动,由于安全重要压力变送器所承受的实际水平难以估计或确认,因此振动老化中的振



动水平并无统一规定,需根据设备具体的运行环境而选择不同的严酷等级。具体的振动老化试验则通常可参考工业标准如 IEC 60068-2-6 来实施<sup>[23]</sup>。

### 7.3 加速老化试验顺序

对于存在显著老化机理的安全重要压力变送器,加速老化试验是期望能最为合理地模拟实际老化过程,使设备达到寿命末期,同时处于性能最劣化状态。典型的安全重要压力变送器老化试验及顺序如图 2<sup>[24]</sup>。

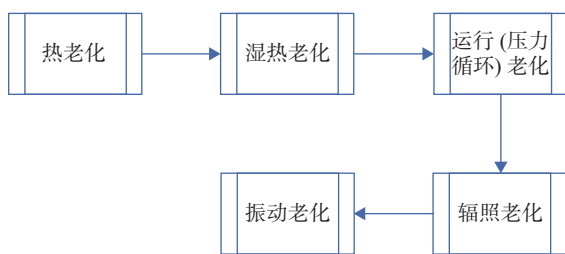


图 2 典型老化试验与顺序

Fig. 2 Typical aging test sequence

## 8 HPR1000 安全重要压力变送器设备鉴定流程概述

基于对 IEC/IEEE 60780-323 2016 和 RCC-E 2005 鉴定理论的分析,我们可以更好地去理解 NB/T 20149—2012 的安全重要压力变送器的鉴定实施逻辑,从而可基于其运行环境针对性地给出鉴定实施的流程。

### 8.1 功能试验

工业领域对压力变送器功能的性能评价建立了标准的试验程序与注意事项,包括精度,动态性能,电气性能,环境影响量等试验<sup>[25]</sup>。安全重要压力变送器可参考工业领域标准,进行精度,动态性能,电气性能等功能试验。

在功能试验完成后的后续鉴定试验间隔中,均需通过对压力变送器的基本功能进行测试,以决定是否进入下一阶段。

### 8.2 极限运行工况试验

对于正常运行和异常运行的极限工况,包括温度,湿度,电压,压力,电磁环境等,安全重要压力变送器应证明其可正常工作,可通过试验也可提供其他证明文件。

### 8.3 安装于和缓环境的安全重要压力变送器

安装于和缓环境的安全重要压力变送器,因其不存在显著老化机理,故无需进行加速老化试验,在

完成 8.1、8.2 节试验后即可基于安装位置的楼层反应谱进行模拟地震事故试验。

### 8.4 安装于严酷环境的安全重要压力变送器

安装于严酷环境的安全重要压力变送器,应参考图 2 进行加速老化试验,然后进行模拟设计基准事故试验(包括地震,LOCA 或 MSLB 等)或超设计基准事故试验(如严重事故工况)。

由于试验条件限制以及经济性考虑,LOCA 或 MSLB 试验和超设计基准事故试验通常无法同时模拟高温高压喷淋及辐照环境,因此在实际操作中,往往将事故环境的辐照剂量累计至辐照老化试验中。

事实上不难看出,RCC-E 中所提出的 K1 类, K2 类, K3 类鉴定流程<sup>[5]</sup>,正是基于 IEC/IEEE 60780-323 鉴定理论<sup>[16]</sup>所总结的操作流程,如 8.1 至 8.2 至 8.3 对应的便是 K3 类鉴定流程,而 8.1 至 8.2 至 8.4 对应的是实际的 K1 类鉴定流程。设备鉴定的核心与难点便在于对具体设备在具体运行环境下老化机理的充分理解。

## 9 结论

核电站安全重要变送器的设备鉴定的实施可参考本文提出的鉴定流程,但需注意的是:其并非简单的试验累加,要避免出现过鉴定或鉴定不足的情况,应基于科学的分析尽量真实地还原实际运行情况。

设备鉴定不应只是一个独立的技术管理过程,应与核电站的安全设计理念,设备本身的故障机理和试验检验技术紧密结合,只有这样才能真正做到为核电厂的安全奠定基础。

### 参考文献:

- [1] XING J, SONG D Y, WU Y X, et al. HPR1000: advanced pressurized water reactor with active and passive safety [J]. *Engineering*, 2016, 2(1): 79-97. DOI: 10.1016/J.ENG.2016.01.017.
- [2] 刘昌文,李庆,李兰,等.“华龙一号”反应堆及一回路系统研发与设计[J]. *中国核电*, 2017, 10(4): 472-477+512. DOI: 10.12058/zghd.2017.04.472.  
LIU C W, LI Q, LI L, et al. Research and design of "Hualong No One" reactor and primary loop system [J]. *China Nuclear*, 2017, 10(4): 472-477+512. DOI: 10.12058/zghd.2017.04.472.
- [3] 国家能源局. 核电厂安全重要仪表压力变送器: NB/T 20318—2014 [S]. 北京: 原子能出版社, 2014.  
National Energy Administration. Pressure transmitter important to safety in nuclear power plants: NB/T 20318—2014 [S]. Beijing:

- Atomic Energy Press, 2014.
- [4] 国家核安全局. 核动力厂设计安全规定: HAF 102—2016 [S]. 北京: 国家核安全局, 2016.  
National Nuclear Safety Bureau. Nuclear power plant design safety regulations: HAF 102 —2016 [S]. Beijing: National Nuclear Safety Bureau, 2016.
- [5] AREVA T. Design and construction rules for electrical components of nuclear island [S]. Paris: AFCEN, 2005.
- [6] 国家能源局. 核电厂安全重要压力变送器鉴定规程: NB/T 20149—2012 [S]. 北京: 原子能出版社, 2012.  
National Energy Administration. Qualification procedure for pressure transmitter important to safety of nuclear power plant: NB/T 20149—2012 [S]. Beijing: Atomic Energy Press, 2012.
- [7] IAEA. IAEA safety glossary: terminology used in nuclear safety and radiation protection [M]. Vienna: IAEA, 2007.
- [8] LIPTAK B G. Instrument calibration in: process measurement & analysis 4<sup>th</sup> ed instrument engineer's handbook [M]. Washington D. C. : CRC Press, 2003.
- [9] HASHEMIAN H, JIANG J. Pressure transmitter accuracy [J]. *ISA Trans*, 2009, 48(4): 383-388. DOI: [10.1016/j.isatra.2009.04.008](https://doi.org/10.1016/j.isatra.2009.04.008).
- [10] IAEA. Design of instrumentation and control systems for nuclear power plants: NO SSG-39 [S]. Vienna: IAEA, 2016.
- [11] HASHEMIAN H M. Sensor performance and reliability [M]. NC: ISA, 2005.
- [12] FURGAL D T, CRAFT C M. Performance assessment of class 1E pressure transmitters subjected to environmental stresses [J]. *Nuclear Engineering and Design*, 1985, 89(1): 61-79. DOI: [10.1016/0029-5493\(85\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0029-5493(85)90143-8).
- [13] 邱嗣鑫. 电容式差压变送器检测部件温度稳定性分析 [J]. *自动化与仪表*, 1988(3): 27-30+56. DOI: [10.19557/j.cnki.1001-9944.1988.03.015](https://doi.org/10.19557/j.cnki.1001-9944.1988.03.015).  
QIU S X. Stability analysis of detection component of capacity differential pressure transmitter [J]. *Automation and Instrument*, 1988(3): 27-30+56. DOI: [10.19557/j.cnki.1001-9944.1988.03.015](https://doi.org/10.19557/j.cnki.1001-9944.1988.03.015).
- [14] IEEE Power and Energy Society. IEEE standard for design qualification of safety systems equipment used in nuclear power generating station: IEEE Std 627 [S]. Piscataway, NJ: IEEE, 1980.
- [15] IEEE Power and Energy Society. IEEE standard for qualification of equipment used in nuclear facilities: IEEE Std 627 [S]. Piscataway, NJ: IEEE 2019.
- [16] IEC/IEEE. Nuclear facilities-electrical equipment important to safety-qualification: 60780-323 [S]. Piscataway, NJ: IEEE/IEC, 2016.
- [17] CARFAGNO S P, GIBSON R J. Review of equipment aging theory and technology final report [R]. United States: N. P. , 1980: 341.
- [18] ANDERSON R. Qualification test report for enviromental and seismic qualification of weed instrument model DTN2010 pressure transmitters [R]. Tennessee: Weed Instrument, 2011.
- [19] GRADIN L P. Qualification documentation review package for ametek aerospace gulton-statham products [R]. NY: Ametek Inc, 2012.
- [20] NELSON W B. Accelerated testing: statistical models, test plans, and data analysis [M]. USA: John Wiley & Sons Inc, 2004: 100.
- [21] PECK D S. Comprehensive model for humidity testing correlation [C]//IEEE. 24th International Reliability Physics Symposium, Anaheim, CA, USA, 1986. Anaheim: IEEE, 1986: 44-50.
- [22] IEC. Environmental testing - part 2-30: tests - test db: damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle): 60068-2-30 [S]. Geneva: IEC, 2005.
- [23] IEC. Environmental testing - part 2-6: tests - test fc: vibration (sinusoidal): 60068-2-6 [S]. Geneva: IEC, 2007.
- [24] Plant Support Engineering. Nuclear power plant equipment qualification reference manual, revision 1 [M]. California: EPRI, 2010.
- [25] IEC. Transmitters for use in industrial-process control systems - part 1 methods for performance evaluation: 60770-1 [S]. Geneva: IEC, 2010.

---

作者简介:



高鹏

高鹏 (通信作者)

1986-, 男, 湖北洪湖人, 高级工程师, 天津大学测试计量技术与仪器硕士, 主要从事核电站仪控设备采购管理工作(e-mail)gaopeng@czec.com.cn。

(责任编辑 李辉)