

ICS 27.120.99
F 82
备案号: 38339-2013

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20149—2012

核电厂安全重要压力变送器鉴定规程

Qualification procedure for pressure transmitter important to safety of nuclear
power plants

2012-10-19 发布

2013-03-01 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 鉴定试验要求.....	3
4.1 一般要求.....	3
4.2 鉴定试验的基本要求.....	3
4.3 鉴定试验文件.....	4
5 鉴定试验大纲.....	4
5.1 基本要求.....	4
5.2 鉴定设备描述.....	4
5.3 鉴定试验条件.....	4
5.4 鉴定寿命目标.....	5
5.5 鉴定裕度.....	5
5.6 试验期间的功能特性量监测.....	5
5.7 试验样本的选择.....	5
5.8 老化效应评估.....	5
5.9 试验期间的维护.....	5
5.10 试验顺序.....	6
5.11 验收准则.....	7
5.12 试验过程评价.....	7
6 鉴定试验.....	7
6.1 符合性检查和试验准备.....	7
6.2 基准试验.....	8
6.3 影响量限值试验.....	10
6.4 评价设备性能随时间变化试验.....	19
6.5 设计基准事故模拟试验.....	23
7 记录及报告.....	27
7.1 鉴定试验记录.....	27
7.2 鉴定试验报告.....	27
附录 A (资料性附录) 压力变送器特性说明.....	28
附录 B (资料性附录) 准确度计算.....	29
附录 C (资料性附录) 典型 LOCA 试验曲线.....	31

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准主要起草单位：中科华核电技术研究院有限公司北京分公司。

本标准主要起草人：李蕊、孔海志、邱建文、李美儒、于宏伟。

核电厂安全重要压力变送器鉴定规程

1 范围

本标准规定了压水堆核电厂安全重要压力（包括正、负表压力、差压和绝对压力）变送器鉴定的试验方法、试验项目和顺序、试验期间的测试和验收准则。

本标准适用于压水堆核电厂压力变送器的鉴定，不适用于智能型压力变送器的软件鉴定，其他类型核电厂的压力变送器鉴定时可参照使用。

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，仅所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 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.3 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db：交变湿热（12 h+12 h循环）
- GB/T 2423.5 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击
- GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）
- GB/T 29308 核电厂安全重要仪表和控制系统老化管理要求
- GB/T 12727 核电厂安全系统电气设备鉴定
- GB/T 13625 核电厂安全系统电气设备抗震鉴定
- GB/T 15478 压力传感器性能试验方法
- GB/T 17626.3 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 18271.2 过程测量和控制装置 通用性能评定方法和程序 第2部分：参比条件下的试验
- GB/T 26168.2 电气绝缘材料 确定电离辐射的影响 第2部分 辐照和试验程序
- NB/T 20040 核电厂安全级电气设备抗震鉴定试验规则
- JJG 882 压力变送器

3 术语和定义

GB/T 12727 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

压力变送器 **pressure transmitter**

将工艺过程变量（压力、压差、液位、流量）转换成4 mA～20 mA标准电信号的仪表。

3.2

表压（或绝对压力）变送器 **gauge pressure (or absolute pressure) transmitter**

输出电信号正比于施加到取压口的表压（或绝对压力）的变送器。

3.3

差压变送器 differential pressure transmitter

输出电信号正比于施加到其两个取压口压差的变送器。

3.4

静压（对于差压变送器） static pressure; differential pressure transmitter

施加到变送器一个取压口的表压或绝对压力。

3.5

表压（或绝对压力） gauge pressure; absolute pressure

施加到表压（或绝对压力）变送器取压口的压力。

3.6

影响量 influence quantities

不是被测量却能影响测量结果的量。

3.7

参考条件 reference condition

为进行比较试验或标定试验而确定的带有容差的、影响量缩小范围的一系列数值。

3.8

准确度 accuracy

仪器仪表的示值与被测量（约定）真值的一致程度。

3.9

响应时间 response time

从被测变量发生阶跃变化到输出信号第一次达到其最终值的某一给定百分数（通常取90%）时所经历的时间。

3.10

灵敏度 sensitivity

仪表由输入量的增量引起输出量在达到稳定状态后的增量的比值，即公式（1）：

$$s = \frac{\Delta y}{\Delta x} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

S ——灵敏度；

Δy ——输出量增量；

Δx ——输入量增量。

3.11

通频带 pass band

当被测设备或器件在以相同的幅度但不同的频率的正弦信号变化时，其输出信号的幅值和相位处于规定限值内的频率范围。

3.12

和缓环境 mild environment

严酷性不超过在电厂正常运行和预计运行事件期间的环境。

3.13

严酷环境 harsh environment

由设计基准事件[包括反应堆冷却剂丧失（LOCA）、高能管道破裂（HELB）和主蒸汽管道破裂（MSLB）]导致的环境。

3.14

漂移 drift

在一段时间内,并非由于外界影响的作用于装置引起的装置输入—输出关系发生不希望有的逐渐变化。

3.15**调整 adjustment**

使装置或仪表输出曲线与期望的规定特性曲线尽可能一致的操作。

4 鉴定试验要求**4.1 一般要求**

压力变送器的鉴定应证明在鉴定寿期内,在设计基准事故环境条件下,安全重要压力变送器具有实施技术规格书规定的安全功能的特性(包括绝缘电阻、准确度和响应时间)。

鉴定试验还应确定需在严酷环境中实施安全功能的压力变送器的鉴定寿命和寿期末的状态指标,以及压力变送器在现场的安装方式和接口配置。

4.2 鉴定试验的基本要求

压力变送器的各项鉴定试验应在同种类型压力变送器上进行。试验样本应在设计、采用材料和制造工艺等方面与实际使用的变送器保持一致。试验条件应符合或超过实际可能经受的最严酷的环境条件和运行条件。

4.3 鉴定试验文件

压力变送器的鉴定试验结果应形成文件,作为证明该类压力变送器鉴定寿期内和设计基准事故期间能够实施其安全功能的证据。

5 鉴定试验大纲**5.1 基本要求**

压力变送器的鉴定应首先编制适用的鉴定试验大纲,详细说明试验样本鉴定试验所要完成的证明压力变送器实施其安全功能所需的各项检查、试验,及性能指标、验收准则和要求的分析。

鉴定试验大纲至少应包括5.2~5.12的要求。

5.2 鉴定设备描述**5.2.1 设备标识**

应详细说明待鉴定压力变送器的类型、制造商、采购技术规格书和制造相关文件(包括功能特性和结构特性的说明、图纸、运行和维修手册、采用材料说明、相关标准、规范)。

5.2.2 设备功能特性

应详细说明压力变送器依据实施安全功能要求而具有的电气性能和功能特性量(绝缘电阻、准确度和响应时间)和实施安全功能所需的持续时间。

5.2.3 接口

应详细说明压力变送器的现场实际安装方式、动力源、输入和输出信号、连接件、密封材料、与介质接触的部件材料等与鉴定相关的接口要求。

5.3 鉴定试验条件

5.3.1 正常和异常运行时的试验条件

压力变送器鉴定试验大纲应确定电厂正常运行和异常运行期间试验条件的量值(包括额定值和极限值)以及它们预计的持续时间。这些条件至少包括下述各项:

- a) 环境温度和压力;
- b) 相对湿度;
- c) 辐照水平;
- d) 环境振动水平;
- e) 运行基准地震(OBE);
- f) 运行周期;
- g) 供电电源;
- h) 输入、输出信号额定值和运行限值;
- i) 电磁干扰(EMI)、射频干扰(RFI)和电源浪涌;
- j) 软件通信逻辑(仅对智能型变送器)。

5.3.2 设计基准事故时的试验条件

压力变送器鉴定试验大纲应确定下列设计基准事故期间和之后的模拟试验条件,以及实施安全功能所需的持续时间。这些条件包括温度、压力、辐照剂量随时间的变化、化学条件、地震荷载以及供电电源浪涌:

- a) 主冷却剂管道破裂(LOCA);
- b) 安全壳内主蒸汽管道破裂(MSLB);
- c) 其他高能管道破裂(HELB);
- d) 安全停堆地震(SSE)。

5.4 鉴定寿命目标

鉴定试验大纲应依据电厂管理要求和压力变送器的技术规格书要求确定压力变送器的鉴定寿命目标值。如果设备技术规格书没有确定鉴定寿命目标,则鉴定试验大纲应按照GB/T 12727确定压力变送器的鉴定寿命目标。

对于在和缓环境中的压力变送器,不要求确定鉴定寿命目标。

5.5 鉴定裕度

为了保证压力变送器在严酷的环境条件和运行条件下具有满意的性能,鉴定试验应考虑鉴定裕度。

如果鉴定裕度是采用提高试验条件严酷程度的方式,则鉴定裕度仅加在设计基准事故试验条件上。鉴定试验大纲应给出鉴定裕度量值。如果设备技术规格书没有给出鉴定裕度,则宜采用下列裕度值:

- a) 峰值温度: +8℃;
- b) 峰值压力: +10%表压;
- c) 辐照剂量: +10%事故累积剂量;
- d) 电源电压: ±10%, 但不应超过设备设计限值;
- e) 设备运行时间: +10%从设计基准事故发生后要求设备运行时间;

- f) 地震荷载: +10%设备安装处的要求响应谱 (RRS);
- g) 电源频率: ±5%额定值。

鉴定裕度选择正或负值, 应依据对试验增加严酷性确定。

5.6 试验期间的功能特性量监测

鉴定试验大纲应确定压力变送器每项试验期间和试验结束、设备恢复后要测量的电气性能和功能特性量 (绝缘电阻、准确度和 (或) 响应时间)。

5.7 试验样本的选择

压力变送器鉴定试验的某些试验项目可以不在同一个试验样本上进行。试验应依据压力变送器安装场所 (安全壳内、设备隔间内、安全壳环形空间或安全壳外) 和试验项目的配置确定试验样本的数量。

注: 电磁兼容试验可以在另外一个试验样本上单独进行。和缓环境中无显著老化机理的设备, 地震试验也可以在另外一个试验样本上单独进行。

5.8 老化效应评估

鉴定试验应按照压力变送器的安装场所和功能要求进行老化效应评估, 以确定压力变送器的显著老化机理和老化试验项目, 并为运行期间压力变送器的老化管理提供参考。老化效应评估方法和要求见 GB/T 12727和GB/T 29308。

5.9 试验期间的维护

试验大纲应确定压力变送器在运行期间需要定期更换的部件 (由技术规格书建议或设备运行和维护手册中规定) 和更换周期, 以便在压力变送器老化处理期间适时更换, 使试验样本鉴定更接近实际。

5.10 试验顺序

压力变送器的鉴定试验应按照GB/T 12727规定的试验顺序要求进行。试验大纲应对不同类别鉴定要求的变送器制定详细试验步骤和顺序; 试验顺序配置应使得试验样本在鉴定寿期末处在性能降质最严重的状态, 表1列出可供参考的试验顺序。

表1 鉴定试验顺序

试验项目	样本设备	
	严酷环境	和缓环境
基准试验		
符合性检查 (6.1)	1 2 3	1 2 3
介电强度测量 (6.2.1)	1 2 3	1 2 3
绝缘电阻测量 (6.2.2)	1 2 3	1 2 3
准确度测量 (6.2.3.1)	1 2 3	1 2 3
响应时间测量 (6.2.3.3)	1 2 3	1 2 3
影响量限值试验		
干热试验 (6.3.1)	1 3	1 3
低温试验 (6.3.2)	1 3	1 3

表1 鉴定试验顺序(续)

试验项目	样本设备	
	严酷环境	和缓环境
恒定湿热试验(6.3.3)	1 3	1 3
交变湿热试验(6.3.4)	1 3	1 3
抗机械冲击试验(6.3.5)	1 3	1 3
拆卸—连接试验(6.3.12)	2	2
环境温度、供电电压、负载电阻的组合影响试验(6.3.6)	1 3	1 3
静压、环境温度和供电电压的组合影响试验(6.3.7)	1 3	1 3
超量程试验(6.3.8)	1 3	1 3
超静压试验(6.3.9)	1 3	1 3
电磁兼容试验(6.3.10)	2	2
环境压力试验(6.3.11)	1 3	1 3
评价设备性能随时间变化试验		
热老化试验(6.4.1)	1 3	1 3
长期运行试验(6.4.2)	1 3	1 3
辐照老化试验(6.4.3)	1 3	—
机械振动试验(6.4.4)	1 3	1 3
设计基准事故模拟试验		
地震试验(6.5.1)	1 3	1 3
事故辐照试验(6.5.2)	1 3	1 ^a 3 ^a
在事故热动力和化学条件下的性能试验(6.5.3)	1 3	—
事故后热动力条件下的性能试验(6.5.4)	1 3	1 ^a 3 ^a
试验后的检查和功能特性测量(6.5.5)	1 3	1 3
注：每个类型鉴定试样至少3个。		
^a 可能经受事故辐照或饱和蒸汽环境的鉴定试验。		

5.11 验收准则

试验大纲应依据设备采购技术规格书中规定的性能要求确定试验样本在鉴定试验各阶段的电气性能和功能特性量验收准则。

5.12 试验过程评价

鉴定试验过程中每项试验所监测的功能特性量应与验收准则进行比较。如果发生了偏离，应依据验收准则分析、评价来决定试验继续下去或中止。

6 鉴定试验

6.1 符合性检查和试验准备

6.1.1 符合性检查

鉴定试验开始前，应对试验样本与相关文件（包括材料合格证、强度计算书等）进行符合性检查，确认待试验样本代表需要现场安装的压力变送器（参见附录A）。

6.1.2 试验准备

6.1.2.1 压力变送器调整

压力变送器鉴定试验的每项试验应在零点和灵敏度按照压力变送器的运行说明书调整后进行。

零点和灵敏度按如下方式调整：

——将输出信号的零值对应于待测压力的最小值，或调整到额定测量范围的下限值，并使得在测量范围内具有相同的特性（外部调零）；

——将灵敏度调整到技术规格书给出的最小值。

这些调整在下述情况下进行：

——在每次初始试验和影响量限值试验之前；

——在评价设备性能随时间变化的试验开始之前；

——在用来评价设备性能随时间变化的两次试验之间以及在模拟 DBE 的两次试验之间，如果压力变送器被搬运之后；

——在热动力事故条件下的性能试验之前。

6.1.2.2 供电电源和负载电阻

用于试验和测量的供电电压等于技术规格书给出的额定值，电源的波纹系数小于供电电压的0.1%，压力变送器的负载电阻值等于标识文件中指明的额定值。

6.1.2.3 测量装置

压力变送器输出信号所用测量装置的最大准确度小于或等于被测试压力变送器准确度额定值的1/3。

使用的测量装置不应受带有被测信号的脉动电信号的干扰，在被测信号上的纹波系数大于0.1%的情况下，测量装置应指示出信号的平均值（直流成分）。

6.1.2.4 试验压力源

压力变送器鉴定试验的压力源应采用标准压力源（见GB/T 15478），其最大准确度应小于或等于被试验压力变送器的1/4。

6.1.2.5 安装方式

对于所有的试验和测量，试验时采用的安装位置按技术规格书规定的参考位置安装和接地。

在机械振动和地震试验中，压力变送器的安装支架应尽可能与现场安装方式相同（包括压力变送器在支架上的紧固力矩，压力变送器与连接件接头的紧固力矩等）。

压力变送器与鉴定合格的连接件连接后一起进行试验。

6.2 基准试验

6.2.1 介电强度测量

6.2.1.1 试验条件

用额定频率50Hz的交流正弦波电压进行试验，试验电压如表2所示。

试验应在正常大气条件下进行，见JJG 882。

压力变送器连同电气连接件一起按下述方式接地：

- 在装置处于带有导电外壳的单个盒子中的情况下，通过外壳接地；
- 在装置处于带有导电外壳的多个盒子中的情况下，通过电气上相互连接的外壳接地；
- 在装置带有绝缘外壳，而外壳包含有与电路绝缘的金属部件的情况下，通过这些电气上的相互连接的金属部件接地；
- 在装置带有绝缘外壳，而外壳没有接地的金属部件的情况下，通过正常使用时起固定作用的最接近的金属部件接地。

在试验过程中，所有电路在电气上应绝缘，而且都连接到装置的端子上（电源端子及输出端子）。

表2 试验电压

压力变送器端子标称电压 U V	试验电压 V
$0 < U < 60$	500
$60 \leq U < 250$	1000

6.2.1.2 试验

断开压力变送器电源，将电源端子和输出端子分别短接。在耐电压试验仪上分别测量电源端子与接地端子（外壳），电源端子与输出端子，输出端子与接地端子（外壳）之间的介电强度。

测量时，试验电压应从零开始增加，在5s~10s内平滑均匀地升至规定值（误差不大于10%），保持1min后，平滑地降低电压至零，并切断试验电源。

6.2.1.3 验收准则

历时1min应无击穿和飞弧现象。

6.2.2 绝缘电阻测量

6.2.2.1 试验条件

绝缘电阻测量的试验条件：

- 在正常大气条件下对冷态压力变送器进行试验；
- 在事故辐照试验前，在500V直流电压通电1min后进行测量；
- 在事故辐照试验后，在100V电压下进行测量。

6.2.2.2 试验

电压施加点与介电强度试验时相同。二线制的变送器只进行输出端子对外壳的试验。

6.2.2.3 验收准则

测量时应稳定5s后读数，最小绝缘电阻应大于100MΩ。

6.2.3 功能特性测量

6.2.3.1 准确度测量

6.2.3.1.1 概述

压力变送器在电厂正常运行、异常运行和设计基准事故条件下的准确度应满足技术规格书的规定。

6.2.3.1.2 测量

准确度测量应按照技术规格书的要求进行测量。如果技术规格书没有给出测量方法，可参考附录B的方法计算。

6.2.3.1.3 验收准则

压力变送器在不同试验后的验收准则由技术规格书给出，如某核电厂压力变送器验收准则为：

- 在参考条件下，最大准确度误差应小于或等于 0.5%；
- 在影响量限值条件下，最大准确度误差应小于或等于 2%；
- 在评价设备性能随时间变化的所有试验之后，最大准确度误差应小于或等于 1.5%；
- 在地震试验期间，最大准确度误差应小于或等于 2%；
- 在 DBE 试验之后，最大准确度误差应小于或等于 8%。

6.2.3.2 准确度的简化检查

某些试验由于它们的持续时间限制，不能完全地确定最大的准确度。在这种情况下，只对试验的压力变送器施加等于95%量程的恒定压力，并在试验的整个期限内记录压力变送器的输出信号，变送器输出信号的偏移应满足验收准则。

6.2.3.3 响应时间

6.2.3.3.1 试验条件

所有响应时间的测量是参考条件下进行的。

试验装置在热态下进行试验。

试验前需要进行的调整：

- 零点调整和灵敏度调整，见 6.1.2.1；
- 响应时间调整到技术规格书给出的额定值。

将一系列阶跃变化施加到压力变送器的输入上，阶跃输入的上升时间值应相对小于压力变送器的响应时间值。

需记录的量：

- 输入压力；
- 压力变送器的输出信号。

6.2.3.3.2 测量

按下述方式进行测量：

- 施加到相当于输出量程 80% 的阶跃信号，从 10%~90%，然后从 90%~10%；
- 施加相当于输出量程 10% 的阶跃信号，按下列顺序上升和下降：5%~15%、45%~55%、85%~95%。

对每种试验记录响应时间或时间常数，如果有时滞和过冲，应列入报告，见 GB/T 18271.2 和 JJG 882。

6.2.3.3.3 验收准则

在初始测量和评价设备性能随时间变化的试验之后，压力变送器响应时间应满足技术规格书的规定。

6.3 影响量限值试验

6.3.1 干热试验

6.3.1.1 概述

本试验的目的是验证压力变送器在运输和贮存期间干热效应的适应性。

6.3.1.2 试验条件

本项试验应按照GB/T 2423.2（试验B）的规定进行。

将压力变送器所处的容器的温度逐渐从环境温度上升到最高温度 T 。在达到热平衡后使温度在 τ 保持恒定。然后逐渐使温度降低，直至恢复初始值。

温度的变化速度始终小于 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

绝对湿度应保持小于 $20\text{g}/\text{m}^3$ 水蒸气。

如果技术规格书没有给出温度限值，则取 T 为 $70^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ， τ 为96h。

6.3.1.3 测量

4h恢复后应进行下述测量：

——绝缘电阻（见6.2.2）；

——准确度（见6.2.3.1）。

6.3.1.4 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

试验期间：

——绝缘电阻（ $\geq 100\text{M}\Omega$ ）；

——准确度（不大于 $\pm 2\%$ ）。

试验结束后，压力变送器恢复到正常状态，其功能特性不应受到影响。

6.3.2 低温试验

6.3.2.1 概述

本试验的目的是验证压力变送器在运输和贮存期间的低温适应性。

6.3.2.2 试验条件

本项试验应按照GB/T 2423.1（试验A）的规定进行。

压力变送器所处的容器的温度从环境温度逐渐下降到试验选取的低温数值。在达到热平衡后，在试验所选取的持续时间内温度保持恒定，然后温度逐渐回升到环境温度，温度的变化速度始终小于 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

如果技术规格书没有给出温度限值，则取低温为 $-40^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，持续时间为96h。

6.3.2.3 测量

4h恢复后，应进行下述测量：

- 绝缘电阻（见 6.2.2）；
- 准确度（见 6.2.3.1）。

6.3.2.4 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

试验期间：

- 绝缘电阻（ $\geq 100\text{ M}\Omega$ ）；
- 准确度（不大于 $\pm 2\%$ ）。

试验结束，压力变送器恢复到正常状态，其功能特性不应受到影响。

6.3.3 恒定湿热试验

6.3.3.1 概述

本项试验是要验证压力变送器在湿热而不凝结的条件下贮存或运行的适应性。

6.3.3.2 试验条件

本项试验应按照GB/T 2423.3的规定进行。

试验条件如下：

- 温度： $40\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- 相对湿度： $(93\pm 3)\%$ 。

试验严格程度用试验时间表示，本项试验持续时间至少4d。

6.3.3.3 测量

试验后应测量：

- 绝缘电阻（见 6.2.2）；
- 准确度（见 6.2.3.1）。

6.3.3.4 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

- 绝缘电阻不小于 $10\text{ M}\Omega$ ；
- 准确度不大于 $\pm 2\%$ 。

6.3.4 交变湿热试验

6.3.4.1 概述

本项试验验证压力变送器在相对湿度大、可能有温度变化和结露的情况下贮存的适应性。

6.3.4.2 试验条件

本项试验应按照GB/T 2423.4的规定进行。

本项试验按下述规定进行两次循环：

- a) 试验样本在试验箱内的温度应达到 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 然后在该温度下，使相对湿度达到 95%；

- c) 一旦相对湿度达到 95%，应在 (3 ± 0.5) h 内将试验箱的温度平稳地提高到 $55^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度至少应保持在 95%，在最后 15 min 可降到 90%。
- d) 在相对湿度为 $(93 \pm 3)\%$ ，温度为 $55^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，应保持 (9 ± 0.5) h，然后开始冷却。在开始的 1.5 h 内，冷却速率 $10^\circ\text{C}/\text{h}$ ，其后 3 h 温度应降至 $25^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 。
- e) 冷却过程中，相对湿度应不小于 85%，在开始 15 min 内允许降至 70%。
- f) 冷却完成后，相对湿度提高到 95%，温度保持在 $25^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ ，直到 24 h 一个循环结束，开始第二个循环。

6.3.4.3 测量

2h 恢复后进行的测量：

- 绝缘电阻（见 6.2.2）；
- 准确度（见 6.2.3.1）。

6.3.4.4 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

- 绝缘电阻不小于 $10\text{M}\Omega$ ；
- 准确度不大于 $\pm 2\%$ 。

6.3.5 抗机械冲击试验

6.3.5.1 概述

本试验的目的是模拟压力变送器在使用或运输过程中可能受到的随机性的冲击适应性。

6.3.5.2 试验条件

本项试验应符合 GB/T 2423.5 的规定。

试验在正常的大气条件下进行，设备不通电，按照压力变送器现场固定方式固定在一个刚性的支架上。冲击力应垂直地施加在压力变送器三个参考轴的每个面上。

试验严格程度用峰值加速度和冲击的持续时间的组合表示，如果技术规格书没有规定，则按下述规定：

- a) 加速度：30 g；
- b) 冲击持续时间：18 ms；
- c) 每个方向冲击次数：3；
- d) 试验用正弦波、锯齿波或梯形波冲击。

6.3.5.3 测量

试验后应进行如下测量：

- 绝缘电阻（见 6.2.2）；
- 准确度（见 6.2.3.1）。

6.3.5.4 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

试验期间：

- 绝缘电阻不小于 $100\text{M}\Omega$ ；

——准确度不大于 $\pm 2\%$ 。

试验结束，压力变送器恢复到正常状态，其功能特性不应受到影响。

6.3.6 环境温度、供电电压、负载电阻的组合影响试验

6.3.6.1 概述

本项试验的目的是要确定由于环境温度、供电电压、负载电阻的组合变化引起绝对压力变送器和表压变送器的功能特性偏离。

本试验仅对绝对压力变送器和表压变送器进行。

6.3.6.2 试验条件

使压力变送器经受下述影响量的组合变化：

- 环境温度；
- 供电电压；
- 输出电路的等效负载电阻值。

6.3.6.3 环境温度

试验的环境温度要求如下：

- a) t_0 ：参考环境温度：23℃；
- b) t_1 ：额定范围下限：10℃；
- c) t_2 ：额定范围上限：50℃；
- d) t_3 ：限制范围上限：60℃。

6.3.6.4 供电电压

至少应对下述供电电压值检查压力变送器的性能：

- a) U_0 ：额定电压；
- b) U_M ：额定范围最大值；
- c) U_m ：额定范围最小值。

供电电压应采用表3中的数值：

表3 供电电压

电压类型	直流 V
额定电压 U_0	U_0
最大电压 U_M	$1.1 U_0$
最小电压 U_m	$0.8 U_0$

6.3.6.5 输出电路的等效负载电阻

至少应对下述的等效负载值检查压力变送器的性能：

- a) C_0 ：额定电压下对应的负载电阻值；
- b) C_M ：额定负载电阻上限；
- c) C_m ：额定负载电阻下限。

6.3.6.6 试验

将装置放在一个容器中，并按照表4依次进行温度、电压、负载组合影响试验。

表4 温度、电压和负载的组合影响试验

组合编号	温度 ℃	电压 V	负载 Ω
1	t_0	U_0	C_0
2	t_2	U_M	C_m
3	t_0	U_M	C_0
4	t_1	U_m	C_M
5	t_0	U_0	C_0
6	t_3	U_M	C_m
7	t_2	U_M	C_M
8	t_0	U_m	C_0
9	t_1	U_m	C_m
10	t_0	U_0	C_0

测量前每一组状态的持续时间至少为6h。试验箱温度的变化速度小于2℃/min。

6.3.6.7 测量

对表5给出的每一组合进行绝缘电阻和准确度测量。

6.3.6.8 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用验收准则为绝缘电阻不小于100MΩ，并作下述补充：

- 当在组合变化过程中环境温度影响量处于其额定范围内时，准确度应不大于±2%；
- 当在组合变化过程中环境温度影响量处于其极限范围内时，对准确度没有规定。

当温度恢复到额定范围时（但要在足够长的时间间隔后，以便达到热平衡），压力变送器应恢复其正常运行状态。尤其是功能特性的测量值应处于6.2.3.1规定的限制值以内。

6.3.7 静压、环境温度和供电电压的组合影响试验

6.3.7.1 概述

本试验的目的是确定由于静压、温度和供电电压最不利的组合引起差压变送器功能特性的偏离；各个量的组合如表5所示。

本项试验仅对差压变送器进行。

表5 静压、环境温度和供电电压的组合影响试验

组合编号	环境温度 ℃	静压 MPa	供电电压 V
1	t_1	P_1	V_1
2			
3		P_2	V_2
4			
5	t_2	P_1	V_1
6			
7		P_2	V_2
8			
9	t_3	P_1	V_1
10			
11		P_2	V_2
12			
注1：测量前每个组合条件下持续时间至少6 h； 注2： t_1 、 t_2 分别是环境温度的下限和上限， t_3 是限制温度的上限值； 注3： P_1 、 P_2 分别是静压额定范围的下限和上限； 注4： V_1 、 V_2 分别是供电电压下限和上限。			

6.3.7.2 试验

试验依照表5进行。
使压力变送器经受下列影响量的组合变化：
——静压；
——环境温度；
——供电电压。

6.3.7.3 测量

每组试验应测量：
——绝缘电阻（见 6.2.2）；
——准确度（见 6.2.3.1）。

6.3.7.4 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：
试验期间：
——绝缘电阻不小于 100MΩ；
——准确度不大于±2%。
试验结束，压力变送器恢复到正常状态，其功能特性不应受到影响。

6.3.8 超量程试验

6.3.8.1 概述

本试验的目的是确定限制范围的待测压力对准确度可能具有的影响。

6.3.8.2 试验条件

影响量具有各自的参考值。

零点和灵敏度调整到可以获得最大运行压力。

注：最大运行压力定义为在考虑额定的零点和灵敏度调整后压力变送器可以运行的最大压力。

6.3.8.3 试验和测量

根据压力变送器的不同类型，分别进行下述试验：

——表压和绝对压力变送器：不通电的变送器在 1.5 倍最大运行压力下保持 1h；

——差压变送器：不通电的变送器在规定的最大差压下（1.5 倍最大运行差压）保持 1h；
返回参考条件，检查零点漂移，在重新调整零位后，测量准确度。

6.3.8.4 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

——零点漂移应小于 $\pm 2\%$ ；

——准确度不大于 $\pm 1\%$ 。

6.3.9 超静压试验

6.3.9.1 概述

本试验的目的是确定压力变送器受到超静压对零点漂移的影响。

本项试验仅对差压变送器进行。

6.3.9.2 试验条件

超静压试验的试验条件：

——压力变送器处于参考条件下；

——调整零点和灵敏度（见 6.1.2.1）。

6.3.9.3 试验

不通电的变送器在 20℃ 时温度下施加 1.5 倍额定压力的静压保持 1h，在此期间差压保持为零。

6.3.9.4 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用的验收准则为零点漂移不大于 $\pm 0.5\%$ 。

6.3.10 电磁兼容试验

6.3.10.1 概述

本项试验主要通过电源畸变、射频干扰、磁场干扰影响来检查压力变送器和电气连接件在运行时的电磁兼容性（EMC）（见 JJG 882），此项试验不适用气动压力变送器。

6.3.10.2 电源畸变影响

6.3.10.2.1 主电源变化

压力变送器在规定的负载电阻下，电源作下列组合变化（即交流电源的9组测量和直流电源的3组测量），测量由此引起的下限值和量程的变化如下：

- a) 电压：
 - 1) 标称值；
 - 2) +10%（或技术规格书规定的较小极限值）；
 - 3) -15%（或技术规格书规定的较小极限值）。
- b) 频率：
 - 1) 标称值；
 - 2) +2%、-10%（或技术规格书规定的较小极限值）。

在低电压和（或）低频率条件下，应进行一次检查，并在输入为范围上限值时，输出不低于其范围上限值的情况下加以确定。

6.3.10.2.2 电源中断

本试验的目的是确定由规定电源切换到备用电源时，压力变送器的性能。输入应保持在量程的50%。直流电源应中断5ms, 20ms, 100ms, 200ms, 500ms；交流电源应在交越点上中断1周, 5周, 10周, 25周。应记录下列数值：

- a) 输出的最大正、负瞬时变化；
- b) 重新接通电后，输出达到其稳态值的99%所需的时间；
- c) 输出的任何永久变化。

如果切换发生在随机相位上，此试验应重复10次；如果切换发生在交越点上，只需进行三次试验。两次试验的间隔时间至少应等于试验持续时间的10倍。

6.3.10.2.3 电源低降

压力变送器的输出设定在范围的上限值，电源电压降低到标称值的75%，历时5s。记录输出变化与瞬态的幅值和持续时间。

6.3.10.2.4 主电源瞬时过电压

尖峰电压应叠加在主电源上。峰值能量为0.1 J，尖峰幅值为100%、200%和500%过电压（标称主电源均方根电压的百分数）。尖峰电压可以通过电容放电或利用能给出等效波形的任何装置产生。

电源线应采用适合的抑制滤波器保护，它至少应包含一个能承载线电源的500μH的扼流圈。

应施加与主电源峰值电压相同的每种幅值的两个脉冲，或者施加至少10个相对于主电源为随机相位的脉冲。应记录变送器输出上出现的任何瞬变或直流输出变化。

6.3.10.3 射频干扰影响

压力变送器以一个相当于量程的90%的稳定输入信号，然后按GB/T 17626.3中的要求进行试验。选择严酷度等级，一般为2级（频率80 MHz~1 GHz，电场强度3 V/m）。观察并记录射频干扰对输出的影响。

6.3.10.4 磁场干扰影响

本试验的目的是确定主电源频率的交变磁场对压力变送器输出的影响。

压力变送器应暴露在400 A/m（均方根）磁场中，磁场对准变送器的主要轴向。确定输出信号量程的10%和90%时，磁场对直流电平和输出纹波含量的影响。本试验还应在磁场对准与第一个轴相互垂直的另外两个轴向上重复进行。

注：在一个直径为1m、承载5A电流、80匝的环形线圈的中心或附近可获得近似400 A/m的磁场。

6.3.10.5 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

试验期间：

——绝缘电阻不小于 100M Ω ；

——准确度不大于 $\pm 2\%$ 。

试验结束后，压力变送器恢复到正常状态，其功能特性不应受到影响。

6.3.11 环境压力试验

6.3.11.1 试验条件

使设备按下述次序依次置于环境压力的不同水平：

a) P_A （正常的大气压力值）；

b) P_1 [安全壳耐压试验时的绝对压力（0.56 MPa）]；

c) P_A 。

测量之前在每个压力水平的持续时间等于1 h，环境压力的变化速度小于0.02 MPa/min。

在每一个环境压力水平上测量准确度。

6.3.11.2 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

试验期间：

——绝缘电阻不小于 100M Ω ；

——准确度不大于 $\pm 2\%$ 。

试验结束后，压力变送器恢复到正常状态，其功能特性不应受到影响。

6.3.12 拆卸—连接试验

6.3.12.1 试验要求

压力变送器与电气连接件应进行拆卸—连接的循环操作。操作次数不应少于寿期内预计拆卸—连接次数（正常不少于10次），紧固力矩按技术规格书的规定界定。

6.3.12.2 测量

应测量信号线路电气连续性和屏蔽接地连续性。

6.3.12.3 验收准则

应满足技术规格书的要求。

6.4 评价设备性能随时间变化试验

6.4.1 热老化试验

6.4.1.1 试验要求

6.4.1.1.1 一般要求

本项试验应按照GB/T 2423.2的规定进行。

试验可采用6.4.1.1.2和6.4.1.1.3两种方法中的一种。

6.4.1.1.2 方法一

按照阿伦纽斯定律计算试验温度和试验持续时间,见公式(2):

$$\frac{t_1}{t_2} = \exp \left[\frac{\phi}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right] \dots\dots\dots (2)$$

式中:

t_1 ——鉴定寿命目标值,单位为小时(h);

t_2 ——加速老化时间,单位为小时(h);

ϕ ——材料活化能,对压力变送器取0.78 eV(参考罗斯蒙特变送器的活化能);

k ——玻尔兹曼常数(0.8617×10^{-4} eV/K);

T_1 ——正常使用环境温度的数值,单位为开尔文(K);

T_2 ——老化试验温度的数值,单位为开尔文(K)。

6.4.1.1.3 方法二

试验要求如下:

- 安置有样机的容器温度逐渐地从参考值上升到 θ 值,在达到热平衡后,使温度保持恒定,持续 τ h。然后逐渐降低,直至恢复到初始值;
- 温度变化速度应始终小于1℃/min;
- 绝对湿度应保持每立方米空气中水蒸气量小于20g;
- 试验过程中对样机不通电。

在老化时间 $\tau/4$ 、 $\tau/2$ 、和 τ 之后,在基准条件下测量功能特性。

可采用“10℃”定律简化计算。该定律规定老化试验的基准温度为135℃,试验时间为950 h,对任何不同于135℃的试验温度,试验时间遵循“10℃”定律。试验温度和时间应遵守公式(3):

$$\tau = 950 \times 2^{\left(\frac{135 - \theta}{10} \right)} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

τ ——用小时表示的试验时间;

θ ——用℃表示的试验温度。

6.4.1.2 测量

试验结束后,设备处在正常大气条件下至少保持1 h,达到热平衡后进行电气性能和功能特性测量:

- 绝缘电阻(见6.2.2);
- 准确度(见6.2.3.1);
- 响应时间(见6.2.3.3)。

6.4.1.3 验收准则

如技术规格书无明确规定,可采用以下验收准则:

- 绝缘电阻不小于 100 M Ω ;
- 准确度不大于 $\pm 1.5\%$;
- 响应时间不大于 1.2 s (在第一次达到 90%所需时间)。

6.4.2 长期运行试验

6.4.2.1 概述

本试验的目的是检查当施加的被测压力出现大幅度的循环变化时,验证测量元件的疲劳、动态密封的磨损等多方面的功能特性。

6.4.2.2 试验条件

长期运行试验的试验条件是:

- 调整零点和灵敏度:见 6.1.2.1;
- 对差压变送器,静压是大气压力。

对于供电电压和负载电阻的组合,在额定范围内选择。这一组合对应于压力变送器输出电路中功率的最大消耗,试验温度为额定温度的上限值。

输入压力以恒定频率和量程 $\pm 10\%$ 的幅度的正弦波,应达到 10^6 个,试验持续时间为45 d。

6.4.2.3 测量

试验结束时应进行下述试验:

- 绝缘电阻(见 6.2.2);
- 准确度(见 6.2.3.1);
- 响应时间(见 6.2.3.3)。

6.4.2.4 验收准则

如技术规格书无明确规定,可采用以下验收准则:

- 绝缘电阻不小于 100 M Ω ;
- 准确度不大于 $\pm 1.5\%$;
- 响应时间不大于 1.2 s (在第一次达到 90%所需时间)。

6.4.3 辐照老化试验

6.4.3.1 概述

该项试验应验证在正常运行期间安全壳内压力变送器在整个寿命期内的电离辐射效应。

6.4.3.2 试验条件

该项试验应按照GB/T 26168.2的规定进行。

辐照老化的严格程度是以辐照试验剂量率和累计剂量表示。

通常,压力变送器辐照老化试验的剂量率如技术规格书中无特殊规定,可按以下规定执行:

$$0.280 \text{ Gy}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0.140 \text{ Gy}\cdot\text{s}^{-1} (0.1 \text{ Mrad}\cdot\text{h}^{-1} \pm 0.05 \text{ Mrad}\cdot\text{h}^{-1})$$

压力变送器辐照老化试验累积剂量应不小于鉴定寿期内的累积吸收剂量,即累积吸收剂量 $=N \cdot Y$,

其中, N 为吸收剂量率 (Gy/h), Y 为鉴定寿命 (h)。

6.4.3.3 测量

试验结束时应进行如下测量:

- 绝缘电阻 (见 6.2.2);
- 准确度 (见 6.2.3.1)。

6.4.3.4 验收准则

验收准则为:

- 绝缘电阻不小于 100M Ω ;
- 准确度不大于 $\pm 1.5\%$;
- 响应时间不大于 1.2s (在第一次达到 90%所需时间)。

6.4.4 机械振动试验

6.4.4.1 概述

压力变送器在正常或异常运行期间, 由振动环境引起的振动可引起性能显著的降质, 应在地震试验前进行振动模拟试验。

6.4.4.2 试验要求

本项试验包括对三个特定轴 (OX-OY-OZ) 的每一个轴向相继进行下述三个阶段的试验:

- a) 阶段 1: 探查关键频率 (共振频率或者标识压力变送器故障的频率)。按照下面规定的全部试验条件对频率范围进行扫描。有时为了更准确的确定关键频率, 可以降低扫描速度。扫描期间, 应当关注以下几点:
 - 1) 常闭触点的电气连续性;
 - 2) 常开触点的误闭合;
 - 3) 压力变送器不正确运行;
 - 4) 其他共振现象。
- b) 阶段 2: 用频率扫描进行耐久试验。按照下述规定的试验条件改变频率。每个规定方向持续 2 h, 总持续时间为 6h;
- c) 阶段 3: 在固定频率处的耐久试验。在初始阶段发现的每一个关键频率进行试验, 如果初始阶段没有发现关键频率, 则在 100 Hz 处进行固定频率试验。振幅和加速度采用与频率扫描耐久性试验时相同的数值。每个规定方向持续 1.5h, 总持续时间为 4.5h。

6.4.4.3 试验条件

本项试验应按照 GB/T 2423.10 的规定进行:

- a) 在正常大气条件下进行试验;
- b) 只在探查共振频率期间压力变送器不通电;
- c) 在振动台上的固定用一个不会影响试验的刚性部件来实现, 这些部件再用通常的固定系统对变送器进行固定。在使用插拔式设备和子设备的情况下, 其连接只用其正常使用时规定的方法来保证 (在标识文件中说明);
- d) 待测压力在整个试验期间保持在量程 20%左右的数值;

- e) 试验样本承受沿三个直角方向分别施加正弦波振动,扫描是连续的(按规定的频率范围每个方向一次),扫描频率随时间按指数规律以每分钟1倍频程进行变化;
- f) 扫描频率:5 Hz~100 Hz;
- g) 按照下述规定的特性振动:
 - 1) 在交越频率(57 Hz)以下,位移不变;
 - 2) 在交越频率以上,加速度不变。
- h) 应采取预防措施以使电气连接件在此试验时不会经受异常的机械应力;
- i) 试验严酷程度:
 - 1) 振幅为0.075 mm,最大位移为2倍振幅;
 - 2) 加速度度为1 g。

6.4.4.4 测量

在至少1 h恢复后应进行如下测量:

- 绝缘电阻(见6.2.2);
- 准确度(见6.2.3.1)。

6.4.4.5 验收准则

如技术规格书无明确规定,可采用以下验收准则:

- 绝缘电阻不小于100 M Ω ;
- 准确度不大于 $\pm 1.5\%$;
- 响应时间不大于1.2 s(在第一次达到90%所需时间)。

6.5 设计基准事故模拟试验

6.5.1 地震试验

6.5.1.1 试验目的

本项试验应验证压力变送器在安全停堆地震载荷作用下具有实施其规定的功能特性并验证其运行情况。

6.5.1.2 试验要求

本项试验应按GB/T 13625和NB/T 20040的规定进行。安装在严酷环境中、具有显著老化机理的压力变送器,试验应在老化处理过的样本设备上进行。安装在和缓环境中、又无显著老化机理的压力变送器,抗震试验可以在另一个新试验样本上进行。试验样本在振动台上安装和固定,应模拟现场实际安装和紧固要求。

试验期间和试验后,应对压力变送器的功能特性量监测。各项试验参数和功能特性量监测数据应详细记录。

试验反应谱(TRS)应包络设备安装处的要求反应谱(RRS),且具有相似形状。

试验应对样本设备进行下列三个阶段的试验:

- 自振频率探查试验;
- 运行基准地震模拟试验;
- 安全停堆地震模拟试验。

6.5.1.3 试验程序

压力变送器地震试验应按下列程序进行：

- 试验前的检查（试验样本、试验装置、固定方式、测量装置等）；
- 功能特性检测；
- 运行基准地震模拟试验及功能特性量检测；
- 安全停堆地震模拟试验及功能特性量检测。

6.5.1.4 试验条件

6.5.1.4.1 自振频率探查

自振频率探查试验可采用正弦波信号或白噪声随机波信号的单轴试验，以恒定加速度（不大于0.2g），扫描速率为2倍频程/每分钟（或更低）进行5 Hz-100 Hz-5 Hz一次扫描循环。

如在机械振动试验时已进行自振频率探查，此项试验可不作。

6.5.1.4.2 运行基准地震（OBE）模拟试验

运行基准地震模拟试验采用双轴独立加速度时程曲线。试验沿着每一对轴（先是OX-OZ，然后是OY-OZ）相继施加两个同时生成的加速度时程曲线，其中每一个时程曲线的特性应符合下述规定：

- 强信号部分（最大值的25%以上）维持10s~15s；
- 信号总持续时间至少30s；
- 信号至少应包含8个（正或负）超过其70%最大值的波峰。

OBE模拟试验在两对轴上分别进行5次。OBE模拟试验也可同时在三轴向激振进行5次。

6.5.1.4.3 安全停堆地震（SSE）模拟试验

按照OBE试验方法，完成5次OBE试验后，接着做1次SSE试验。

6.5.1.5 测量

试验期间进行准确度的简化检查（见6.2.3.2）。

试验后进行如下测量：

- 准确度（6.2.3.1）；
- 响应时间（6.2.3.3）。

6.5.1.6 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

- 输出信号偏移量不大于±2%；
- 其他功能特性量不受影响。

6.5.2 事故辐照试验

6.5.2.1 概述

本项试验是验证压力变送器在设计基准事故期间高辐照环境中电离辐射的累积效应和功能特性。

6.5.2.2 试验条件

本项试验条件见6.4.3.2。

试验期间设备不通电。

吸收剂量率的值见6.4.3.2。

累积吸收剂量应不小于600 KGy+60 KGy（裕度）。

6.5.2.3 测量

事故辐照试验期间应在事故开始后的第24 h和72 h可能受到的累积剂量点进行下列功能特性测量：

- 绝缘电阻（见 6.2.2）；
- 准确度（见 6.2.3.1）；
- 响应时间（见 6.2.3.3）。

6.5.2.4 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

- 绝缘电阻不小于 100 MΩ；
- 准确度不大于±2%；
- 响应时间不大于 60 s(在第一次达到 90%所需时间)。

6.5.3 在事故热动力和化学条件下的性能试验

6.5.3.1 试验目的

DBE模拟试验应证明试验样本在评价其性能随时间变化的试验后，在安全壳内的设计基准事故环境温度、压力、湿度和喷淋条件下具有实施安全功能的特性。

6.5.3.2 试验方法

6.5.3.2.1 一般要求

试验按照设计给出的安全壳内反应堆冷却剂管道或主蒸汽管道破裂事故的环境温度和压力随时间变化曲线进行模拟。

6.5.3.2.2 方法一

如图1所示，考虑鉴定裕度，进行一次冲击。

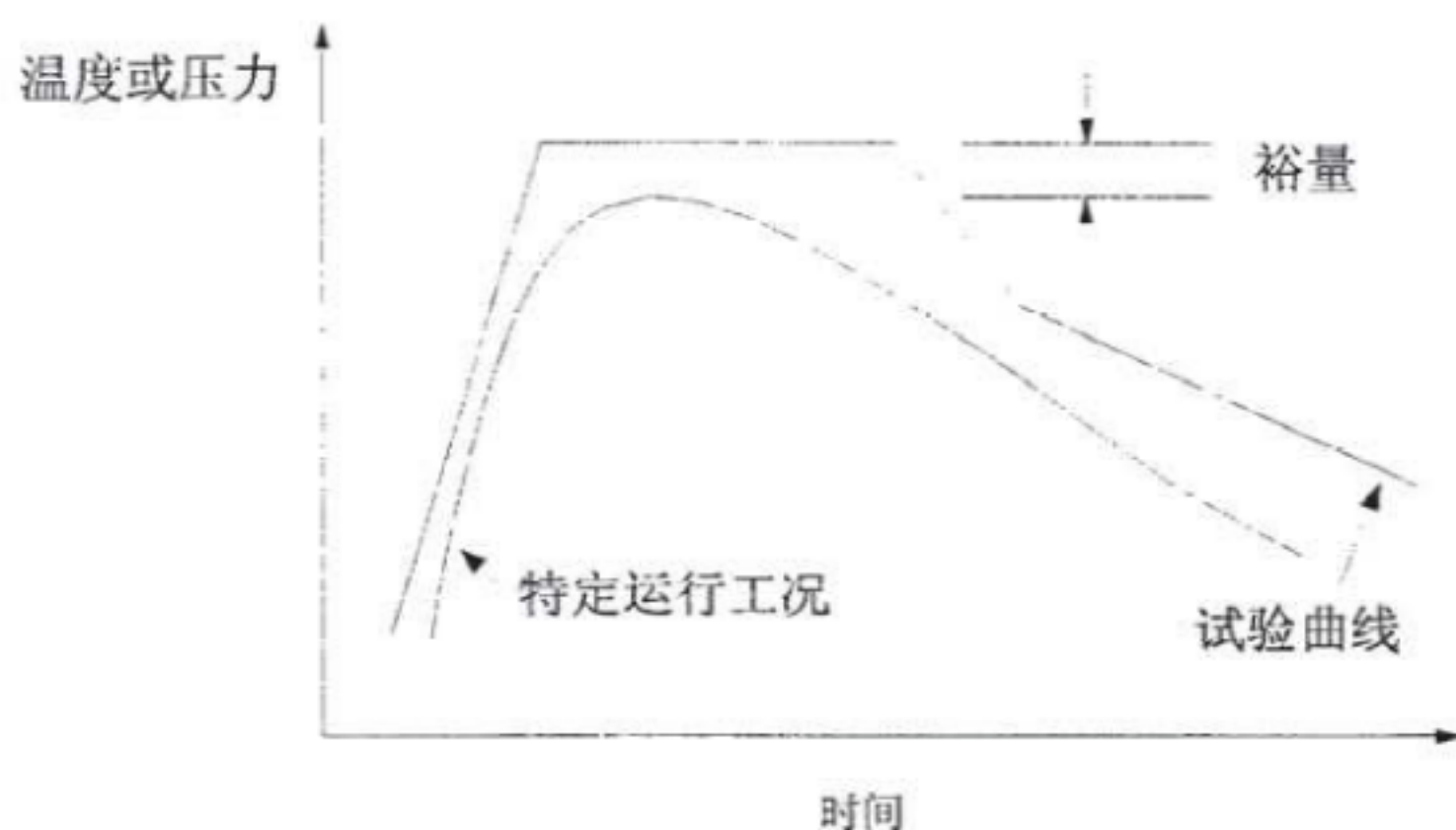


图1 DBE 模拟试验曲线

6.5.3.2.3 方法二

将压力变送器放在一个承压的容器中。压力变送器在容器中的位置应尽可能与现场安装方式相同。容器内的露点温度和压力按照相应核电厂的失水事故(LOCA)试验曲线进行(如技术规格书没有规定,可参考图C.1~图C.3指示的曲线,并按以下方法进行)。

温度和压力的上升通过将水蒸汽注射到容器中达到。

按照图C.1曲线标出的不同试验阶段如下:

- a) 阶段 0: 对应于安装结束和容器关闭, 温度和压力符合正常大气条件;
- b) 阶段 1 和阶段 2: 对应于通过升温对设备作预处理(阶段 1), 然后使容器内温度稳定在 $(50 \pm 10)^\circ\text{C}$ (阶段 2), 压力保持在正常大气条件的容差范围内。阶段 2 的持续时间大于或等于 24h, 技术规格书可以规定更长的持续时间;
- c) 阶段 3: 对应于施加到设备的热动力“第一个冲击”, 图 C.2 作了更完整的描述, 确定了承压容器中温度和压力的限值。冲击起始点的要求条件(露点温度 156°C 和绝对压力 0.56 MPa) 在小于 30s 内达到。阶段 3 的持续时间为 12min, 从上述条件达到的时刻开始起算, 容器内的温度和压力按照图 C.2 中的曲线;
- d) 阶段 4 和阶段 5: 对应于把容器与大气连通所得到的自然冷却(阶段 4), 直至容器内温度达到 $(50 \pm 10)^\circ\text{C}$ 。然后将温度稳定在这一数值(阶段 5), 而压力仍保持在正常大气条件的容差范围内。阶段 5 的持续时间大于或等于 24h, 技术规格书可以规定更长的持续时间;
- e) 阶段 6: 对应于施加到设备的热动力“第 2 个冲击”。图 C.3 作了更完整的描述, 确定了容器中温度和压力的限值。冲击起始点的要求条件(露点温度 156°C 和绝对压力 0.56 MPa) 在小于 30s 内达到。阶段 6 的持续时间为 96h, 从上述条件达到的时刻开始计算, 容器内的温度和压力按照图 C.3 中的曲线。规定的总压力通过注入空气达到, 空气最早在 $\tau=120\text{ s}$, 最晚在 30min 以前注入。
 - 1) 在 $\tau=200\text{ s}$ 时, 将化学溶液喷雾到设备上, 直至阶段 6 结束。这种溶液的初始成分如下:
 - ◆ 硼酸的重量含量: 1.5%;
 - ◆ 氢氧化钠的重量含量: 0.6%;
 - ◆ 20°C 时的 pH 值: 9.25。
 - 2) 喷淋流量为 $1.02 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ (面积), 面积是指投影到水平面上的容器可用面积。
 - 3) 当试验设备故障影响到阶段 3 或阶段 6 的实施并使温度和压力低于规定的曲线时, 则按下述过程进行故障分析:
 - ◆ 对于在阶段 3 中或阶段 6 前 12 min 内发生的故障, 可按情况在阶段 2 或阶段 5 重新开始试验;
 - ◆ 对于在阶段 6 的 12 min 后发生的故障, 如果在规定的最小温度曲线与试验实际曲线之间的面积(等效于温度—时间的积 $\Delta\theta \times \tau$) 小于 $20^\circ\text{C} \times \text{时间}$ (单位 min), 而且这两条曲线之间的最大温度差值 $\Delta\theta$ 小于 10°C , 则试验继续, 并在阶段 6 结束时在温度为 $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下延长试验时间, 长度为前期的故障持续时间 (τ); 在相反情况下, 则在阶段 6 中在对应于故障出现时刻重作试验; 如果在规定的最小压力曲线与试验实际曲线之间的面积(等效于压力—时间的积 $\Delta P \times \tau$) 小于 $0.2\text{ MPa} \times \text{时间}$ (单位 min), 而且这两条曲线之间的最大压差值 Δp 小于 0.1 MPa , 则试验继续; 在相反情况下, 则在阶段 6 中在对应于故障出现时重作试验。

6.5.3.3 试验期间的测量

依据事故期间的温度和压力的变化曲线, 在温度和压力达到峰值后的第 12 min 和第 5h, 按照 6.2.3.2 进行准确度的简化检查。

6.5.3.4 试验后进行的测量

在试验接近96h时进行下述测量：

- 绝缘电阻（见 6.2.2）；
- 准确度（见 6.2.3.1）。

6.5.3.5 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

- 输出信号偏移量在第 1min 内测量不大于±2%，在 30min 内测量不大于±6%；
- 绝缘电阻不小于 10MΩ；
- 准确度不大于±8%。

6.5.4 事故后热动力条件下的性能试验

6.5.4.1 概述

该项试验是验证压力变送器在设计基准事故后长期运行的功能特性。

6.5.4.2 试验条件

该项试验是在事故热动力条件下的性能试验结束后紧接着进行的试验，使容器内温度达到 100℃±5℃，压力达到 0.2MPa±0.050MPa（绝对压力），相对湿度 100%，试验持续时间 10d。

对于不同于上述试验温度和试验持续时间的，可按照公式（4）调整：

$$\tau = 240 \times 2^{\left(\frac{100-Q}{10}\right)} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

τ ——试验时间，单位为小时（h），最小值为 100h；

Q ——试验温度，单位为摄氏度（℃）。

试验结束后将容器与大气连通，自然冷却到大气条件。

试验中，压力变送器应通电操作。

6.5.4.3 测量

试验后并经 1h 恢复后测量：

- 介电强度（见 6.2.1）；
- 绝缘电阻（见 6.2.2）；
- 准确度（见 6.2.3.1）；
- 响应时间（见 6.2.3.3）。

6.5.4.4 验收准则

如技术规格书无明确规定，可采用以下验收准则：

- 绝缘电阻不小于 10MΩ；
- 准确度不大于±8%；
- 响应时间不大于 1.2s（在第一次达到 90%所需时间）。

6.5.5 试验后的检查和功能特性测量

鉴定试验完成后，应对试验样本进行目视检查，当需要时可拆开检查，并在鉴定文件中说明压力变送器及其连接件各部分的物理状态。

7 记录及报告

7.1 鉴定试验记录

鉴定试验记录至少应包括：

- a) 被试样本设备的型号、标识和编号；
- b) 所用试验装置、设备和仪器的名称、型号和编号；
- c) 试验条件的详细数据和记录曲线；
- d) 每项试验的记录（或记录表格）；
- e) 试验期间所发生的异常情况；
- f) 试验者签字和日期。

7.2 鉴定试验报告

鉴定试验报告至少应包括：

- a) 被试样本设备的详细说明；
- b) 采用的标准、规范；
- c) 鉴定试验计划；
- d) 安装、连接和其他接口设备的说明；
- e) 试验结果及分析说明；
- f) 鉴定寿命及鉴定寿期末状态指标的说明；
- g) 不符合项的说明及处理；
- h) 要求定期维护、监督和试验的说明；
- i) 编写、审核、批准签名和日期。

附 录 A
(资料性附录)
压力变送器特性说明

压力变送器的下述特性应在制造商提交的产品说明书中列出:

a) 功能特性:

- 1) 在参考条件下的最大准确度(基本精度);
- 2) 在额定运行范围内的最大准确度(功能精度);
- 3) 绝对压力、表压或差压的测量范围;
- 4) 供电电压和频率的额定范围;
- 5) 至 90%的响应时间(在响应时间可调整的情况下,给出额定响应时间及限制值);
- 6) 输出信号的种类及变化范围;
- 7) 灵敏度调整范围;
- 8) 初始偏置的调整范围;
- 9) 输出信号的波纹系数;
- 10) 通频带在截止频率处限制为 3 dB,在调整情况下为额定通频带及限制值;
- 11) 负载阻抗和耐压强度的额定值及额定范围;
- 12) 预热时间;
- 13) 参考运行位置;
- 14) 对智能型压力变送器,应提交实现自监视处理的响应动作的说明;
- 15) 额定的静压和限制值;
- 16) 允许的最大差压(不引起功能特性下降);
- 17) 按照测量单元结构表示的使用静压(曲线)。

注: 15) ~ 17) 针对差压变送器。

b) 结构特性:

- 1) 使用的材料(特别是压力腔的弹性材料);
- 2) 绝缘材料的温度等级;
- 3) 压力变送器的防护等级;
- 4) 压力变送器信号连接件;
- 5) 有关安装和调整说明;
- 6) 制造过程的应用文件。

附录 B (资料性附录) 准确度计算

B.1 概述

压力变送器的准确度误差包括系统误差 (j) 和再现性误差 (f), 即公式 B.1:

$$\pm [|j| + |f|] \dots\dots\dots (B.1)$$

系统误差是在相同条件下, 对同一个给定量值进行多次测量的过程中, 绝对值和符号保持不变, 或者在条件变化时按固定规律变化的误差, 按公式 B.2 计算:

$$j = \frac{1}{2} \left(\overline{P_1} + \overline{P_2} \right) - P \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

P ——输出信号的约定真值。

再现性误差, 它考虑了在上升变化与下降变化所得数值之间的偏差, 以及在一个变化方向上所得的测量离散性, 按公式 B.3 计算, 系数 5.6/2 对应于具有 95% 置信水平时包含 90% 总数的置信区间:

$$f = \frac{1}{2} \left(\left| \overline{P_1} - \overline{P_2} \right| + 5.6S \right) \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

$\overline{P_1}$ ——上升变化测量的平均值;

$\overline{P_2}$ ——下降变化测量的平均值;

S ——输出信号值的线性度误差估算值。

B.2 试验条件

准确度测量的试验条件:

- 将装置处于参考条件下;
- 在测量前给装置通电足够长时间 (不少于 0.5 h 或按技术规格书指明的预加热时间), 以使装置达到热平衡条件;
- 调整好零点和灵敏度 (见 6.1.2.1);
- 在待测压力两次相继的变化循环之间, 影响量的任何变化不应超出额定范围。

B.3 确定系统误差和再现性误差

逐渐地改变被测压力值，首先使之等于测量范围的下限值，以防止超出限值，直至在测量装置上获得输出电信号的第一个选择值，并记录标定装置上读出的对应压力值。

然后在同一方向上改变被测压力值，直至得到第二个选择值；当达到测量范围的上限时，逐渐地减小被测参数，并按照相同的测量条件进行读数。当被测压力值等于测量范围下限值时，便完成了一个循环。

在压力测量范围的限值内进行10次被测压力的变化循环。

对于一个输出信号的选择值 S ，对应有被测压力值 P ，在上升方向得到10个变化的压力值，在下降方向得到10个变化的压力值。

对上升方向相应值是 P_1 、 P_3 、…… P_{2i+1} ，对下降方向则是 P_2 、 P_4 、…… P_{2j} 。

每一组的平均值为：

$$\bar{P}_1 = \frac{1}{10} \sum P_{2i+1}, \quad \bar{P}_2 = \frac{1}{10} \sum P_{2j} \quad \left(\begin{array}{l} i=0 \sim 9 \\ j=1 \sim 10 \end{array} \right)$$

在压力变送器额定压力范围的5%、25%、50%、75%、95%处测量线性度 S 值。

不论哪个变化方向和对于所有的 P 值，在平均值 \bar{P}_1 或 \bar{P}_2 附近得到的数值分布是相同的。在这些条件下，根据测量范围的数值估算线性度或依据公式B.4计算线性度：

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

S ——线性度（线性度通常用线性度误差表示）；

x_i ——对一个变化方向和一个 P 值读得的单个压力值；

\bar{x} ——对应的平均值；

n ——测量次数。

B.4 确定准确度

按照公式B.1计算准确度误差。

附录 C
(资料性附录)
典型 LOCA 试验曲线

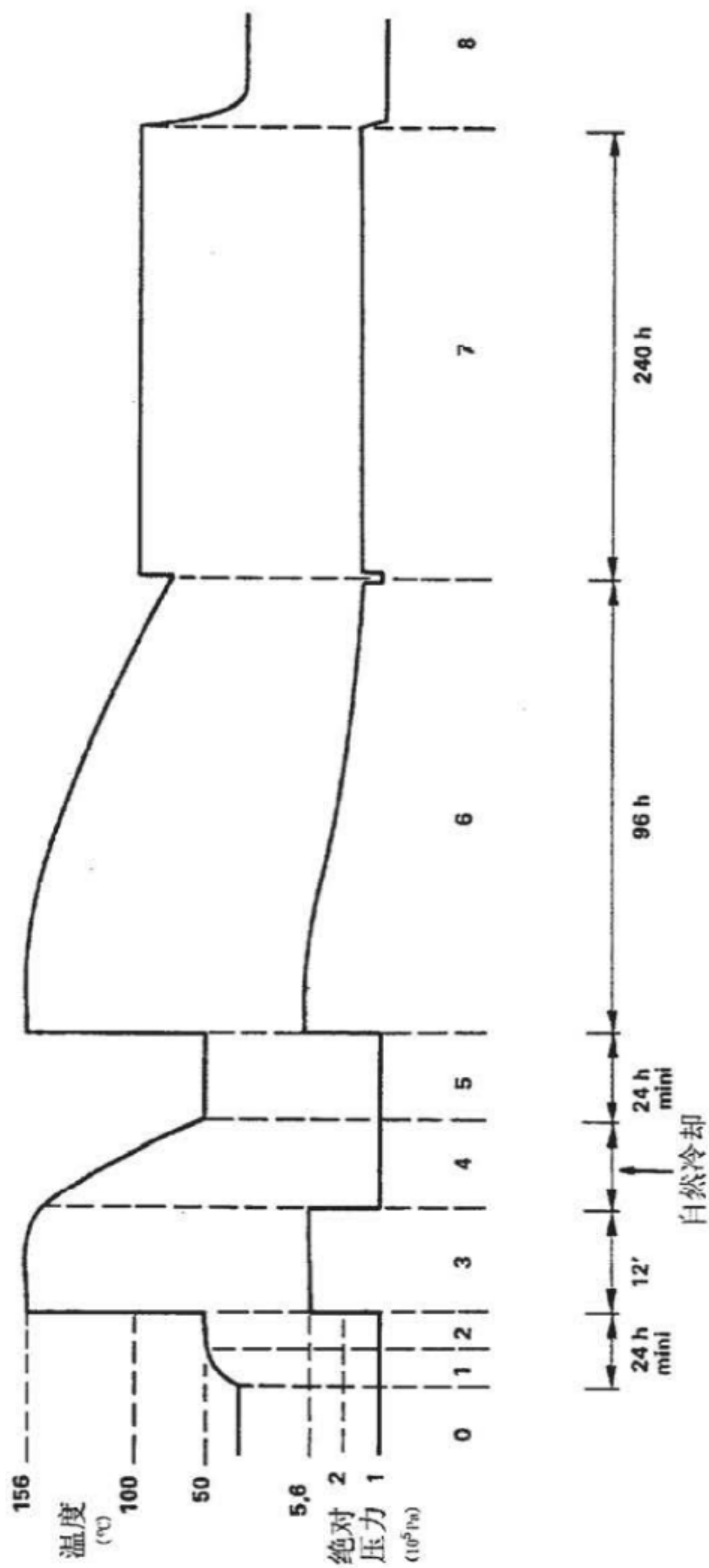


图 C.1 试验的各个阶段

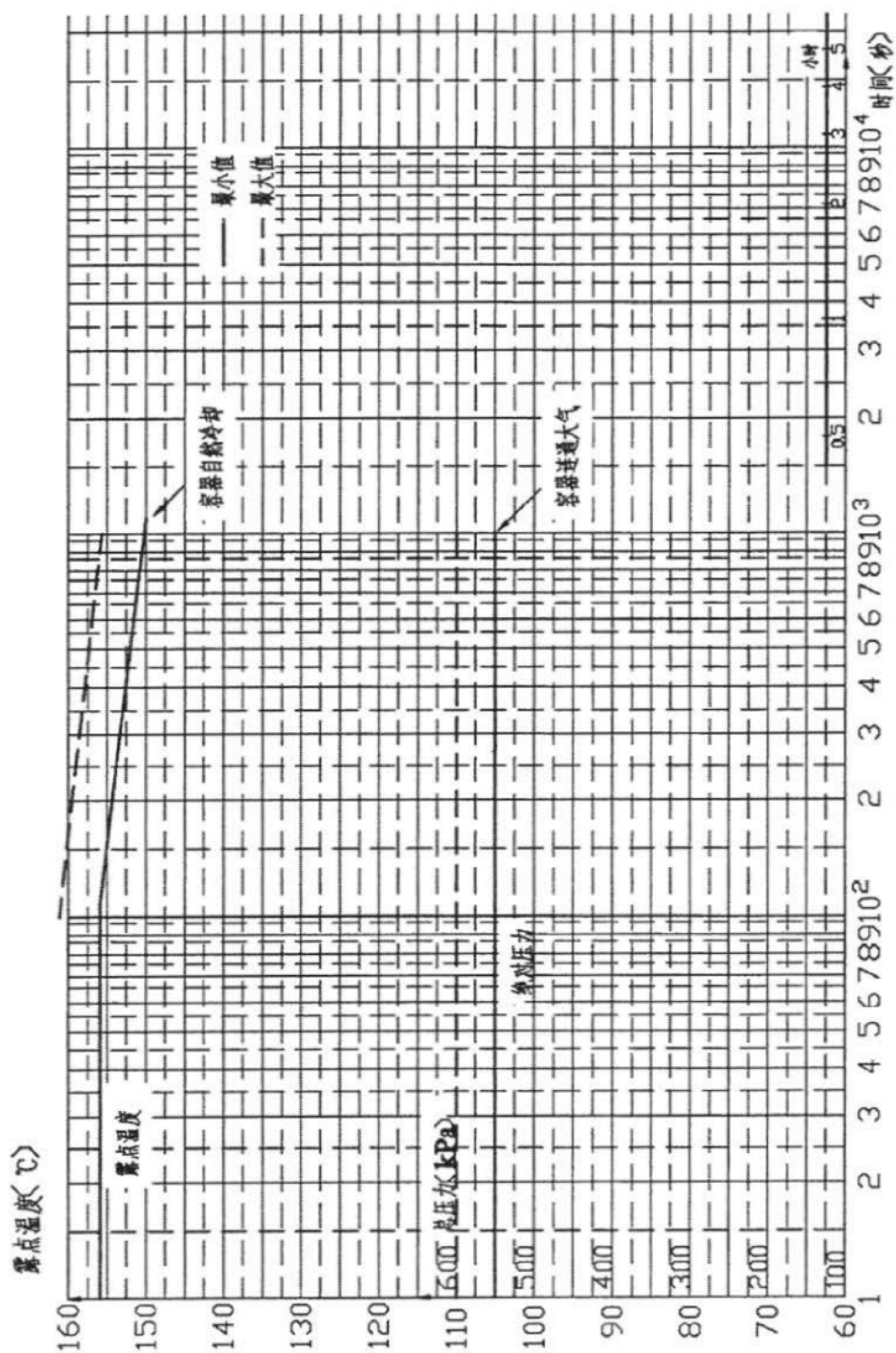


图 C.2 进行第一个热动力冲击时安全壳内温度和压力变化曲线

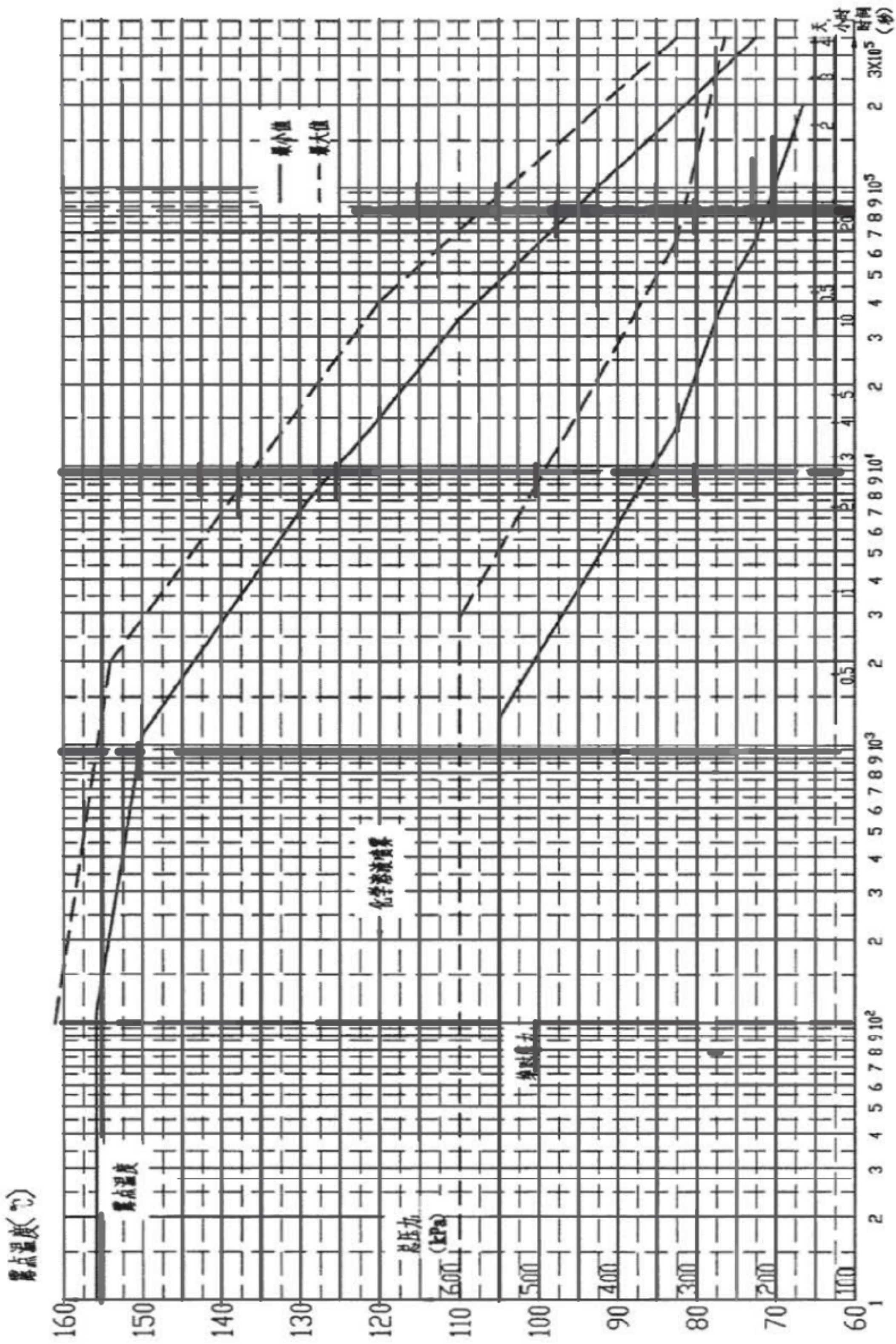


图 C.3 进行第二个热动力冲击时安全壳内温度和压力变化曲线

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
核电厂安全重要压力变送器鉴定规程
NB/T 20149—2012

*

原子能出版社出版
核工业标准化研究所发行
北京海淀区骚子营 1 号院
邮政编码：100091

电话：010-62863505

总装备部军标出版发行部印刷车间印刷
版权专有 不得翻印

*

2013 年 3 月第 1 版 2013 年 3 月第 1 次印刷
印数 1—200