

ICS

点击此处添加中国标准文献分类号

团 体 标 准

T/CNEA ××××-××××

进口核安全 1 级反应堆冷却剂泵安全检验 文件审查指南

Review Guidelines for Safety Inspection Application Documents of Import Reactor
Coolant Pump

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

（本稿完成日期：2020-8-28）

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国核能行业协会 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般审查要求 2

5 出厂检验试验报告审查要求 2

 5.1 轴封式主泵 2

 5.2 屏蔽电机式主泵 6

6 记录 8

附录 A（资料性附录） 轴封式主泵鉴定试验和产品试验技术要点 9

附录 B（资料性附录） 屏蔽电机式主泵产品试验要求 20

参考文献 21

T/××× ××××—××××

前 言

本指南按照GB/T 1.1-2020的规定起草。

请注意本指南的某些内容可能涉及专利，本指南的发布机构不承担识别专利的责任。

本指南由中国核能行业协会提出并归口，技术支持单位为生态环境部核与辐射安全中心、中国核电工程有限公司、中广核工程有限公司、中核能源科技有限公司。

本指南起草单位：生态环境部核与辐射安全中心、中国核电工程有限公司、中广核工程有限公司、上海核工程研究设计院有限公司、中核能源科技有限公司。

本指南起草人：金刚、杨承刚、严峰鹤、浦承皓、张文广、张林、孔令杰、宋云鹏、宋立、雒晓辉、宫文斌、徐跃进。

本指南为首次发布。

引 言

进口民用核安全设备的安全检验工作是国务院核安全监管部门按照《中华人民共和国核安全法》的要求依法对进口的民用核安全设备进行安全检验。安全检验工作分为文件记录检查、开箱检查、安装和装料前调试阶段涉及安全性能的试验检查。在文件记录检查阶段，国务院核安全监管部门及其所属的检验机构按照法规要求对进口民用核安全设备的安全检验文件进行审查。其中，设备的检验试验报告是审查重点内容。安全检验的设备范围由《民用核安全设备监督管理条例》所规定的。

核安全1级设备——反应堆冷却剂泵，结构复杂，其泵组由泵和电机组件构成。泵主要由泵壳、主法兰等承压边界部件，转子、轴承、轴封及冷却系统等部件组成；电机主要由定子、转子、电机支座、飞轮、轴承和冷却系统等部件组成。本审查指南分类介绍CPR1000、CNP1000、EPR、ACP1000（ACPR1000+）、VVER1000、AP1000堆型的进口轴封式主泵、屏蔽电机式主泵的审查要求，包括主要承压部件、泵和泵组。

本审查指南通过确立明确的安全检验文件审查规范，让审查者在审查进口反应堆冷却剂泵的安全检验文件时有据可依，从而明晰审查边界、统一审查深度，提高审查工作质量的可靠性和稳定性。同时，让进口核安全设备采购单位合理合法规划其设备的质量管理活动，从而保证进口核安全设备的质量，提高采购效率。

进口核安全 1 级反应堆冷却剂泵安全检验文件审查指南

1 范围

本文件规定了进口民用核安全1级反应堆冷却剂泵（包括轴封式主泵、屏蔽电机式主泵）安全检验文件审查工作的一般审查要求、出厂检验试验报告审查要求以及技术要点。

本文件适用于进口民用核安全1级反应堆冷却剂泵安全检验文件的审查工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本指南必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本指南；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本指南。

RCC-M压水堆核岛机械设备设计和建造规则（Design and Construction Rules for Mechanical Components of PWR Nuclear Islands）

RCC-E压水堆核岛电气设备设计和建造规则（Design and Construction Rules for Electrical Components of PWR Nuclear Islands）

ASME BPVC SECTION III 美国机械工程师协会锅炉压力容器规范第三部分：核设施部件建造规则（ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section III: Rules for Construction of Nuclear Facility Components）

US NRC NUREG-0800 美国核管会标准审查大纲5.4.1.1节泵飞轮完整性（Standard review plan section 5.4.1.1: Pump flywheel integrity）

GB/T 3216-2016 回转动力泵水力性能验收试验1级、2级和3级（ISO 9906:2012, IDT）

ISO 10816-8:2014 机械振动在非旋转部件上测量和评定机器振动 第8部分 往复式压缩机系统（Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts-Part 8: Reciprocating compressor systems）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 反应堆冷却剂泵（主泵） reactor coolant pump

位于反应堆厂房内，驱动反应堆冷却剂循环流过反应堆堆芯，把反应堆的热能输送至蒸汽发生器，以使其产生蒸汽驱动汽轮机做功的设备。目前核电机组用主泵按防泄漏结构分为轴封式主泵和屏蔽电机式主泵。

轴封式主泵，由立式单级感应电动机带动离心式叶轮的主泵，电机轴与叶轮轴由刚性或挠性联轴器相连。在轴封壳内动、静环两端面之间引入的高压轴封水，流经典型的三级非接触密封组合，形成一层几微米厚的液膜，起到润滑、冷却和防外漏作用。

T/××× ××××—××××

屏蔽电机式主泵,用定子屏蔽套和转子屏蔽套使定子绕组和转子绕组均与冷却剂隔离的屏蔽电机驱动水泵叶轮,泵壳与电机外壳用法兰密封相连的主泵。省去了复杂的泵轴动密封,同时可避免失电引起轴封处冷却剂泄漏事故,但泵效率降低。目前该泵在AP1000反应堆中作为主泵使用。

3.2 安全检验 safety inspection

国务院核安全监管部门及其所属的检验机构对进口民用核安全设备安全性能进行检查或者验证的监管活动。

3.3 安全检验文件 safety inspection application documents

安全检验过程中,进口民用核安全设备采购单位向国务院核安全监管部门及其所属的检验机构申报的相关文件。

4 一般审查要求

对进口反应堆冷却剂泵安全检验文件的设备审查范围应符合国务院第500号令(2007)和第666号令(2016)的要求,具体应包括泵组、泵和主要承压部件。所有安全检验文件应完整、有效,且文件内容应覆盖上述设备审查范围。

安全检验文件具体包括上报函、口岸报检申请表、报检说明表、产品质量证明文件、设备装箱清单、对外贸易合同摘要及信息表、开箱文件报检申请表、完工文件自查报告、质量计划、装配总图、监造报告、装运前检验报告、监装和验收结果报告、检验试验报告、不符合项情况以及较大和重大不符合项记录、技术文件、安全检验工作管理程序、核安全监管部门监督检查发现问题的处理和关闭情况报告和其他资料。其中,上报函、口岸报检申请表、报检说明表、开箱文件报检申请表、完工文件自查报告属于填报类文件,其格式和内容应符合HAF604(2007)及其下游规章制度的要求。其他文件为泵的设计和制造活动产生的记录和报告,其内容应符合HAF003(1991)的要求。

5 出厂检验试验报告审查要求

5.1 轴封式主泵

5.1.1 泵组

泵组(泵-电机组装完成后)涉及的检验试验包括泵的鉴定试验和产品试验,这部分检验试验报告的审查要求见表1和表2。本指南在附录A详细给出了这些试验项目的参考资料。

表1 泵组检验试验报告审查要求(CPR1000、EPR、ACPR1000+) ¹⁾

序号	审查内容	审查依据						
		验收 准则	试验项目要求					
			CPR1000		ACPR1000+		EPR	
			鉴定试 验	产品 试验	鉴定试 验	产品试 验	鉴定试 验	产品试 验
1	启动力矩测量	符合 设备	NA	√	√	√	NA	√
2	不同回路压力下油顶试验		NA	NA	√	NA	NA	NA

1) 本指南*为设备关键工序的检验或试验报告;-为没有参考规范章节;NA为无内容;√为需要进行该项检验或试验。

T/XXXX XXXX—XXXX

序号	审查内容	审查依据						
		验收 准则	试验项目要求					
			CPR1000		ACPR1000+		EPR	
			鉴定试 验	产品 试验	鉴定试 验	产品试 验	鉴定试 验	产品试 验
3	不同压力下轴密封试验 （停止状态）	技术 规格 书要 求	NA	√	√	√	√	√
4	不同压力下轴密封试验 （运行状态）		NA	√	√	√	√	√
5	冷态下水力性能试验		NA	NA	√	NA	√	NA
6	冷态下的主泵启动试验		NA	NA	√	NA	√	NA
7	热态下水力性能试验		NA	NA	√	NA	√	NA
8	热态下失去设备冷却水试验		NA	√	√	√	NA	√
9	热态下失去密封注入水试验		NA	√	√	√	NA	√
10	热态下主泵惰转试验		NA	NA	√	NA	NA	NA
11	热态下主泵启动试验		NA	NA	√	NA	NA	NA
12	NPSH-3%汽蚀余量曲线测定		NA	NA	√	NA	√	NA
13	热态运行试验		NA	√	√ (200h)	√ (50h)	NA	√
14	热态下失去设备冷却水及密封 注入水试验		NA	NA	√	NA	NA	NA
15	电机油冷却水失水试验		NA	NA	√	NA	NA	NA
16	停车密封测试		NA	NA	√	√	√	√
17	落座密封泄漏率测试	NA	√	√	√	NA	√	
注：CPR1000、EPR 、ACPR1000+主泵试验要求的参考标准见设计文件和试验大纲。								

表2 泵组检验试验报告审查要求（CNP1000、ACP1000，VVER1000）

序号	审查内容	审查依据				
		验收准则	试验项目要求			
			VVER1000		CNP1000、ACP1000	
			产品试验	鉴定试验	产品试验	鉴定试验
1	水静压试验（一般含 2 个独立试验）报告	符合设备技术规格书要求	√	√	√	√
2	冷态运行试验（一般含 2 个独立试验）报告		√	√	NA	√
3	热态运行试验（一般含 2 个独立试验）报告		√	√	NA	√
4	启动、停止试验（一般共计 6 个独立试验）报告		√	√	√	√
5	热态连续运行试验报告		—	√	50h	200h

序号	审查内容	审查依据				
		验收准则	试验项目要求			
			VVER1000		CNP1000、ACP1000	
			产品试验	鉴定试验	产品试验	鉴定试验
6	密封注入水断失试验（一般共计1个独立试验）报告		√	√	√	√
7	轴密封试验（一般共计4个独立试验）报告		√	√	√	√
8	主泵无顶油泵惰转停机试验（一般共计2个独立试验）报告		√	√	√	√
9	设冷水断失试验（一般共计3个独立试验）报告		√	√	√（不开展电机设冷水断失试验）	√
10	断电试验（一般共计2个独立试验）报告		—	√	√	√
11	主泵运行时，注入水及冷却水断失试验报告		—	√	√	√
12	轴位移、振动试验报告		√	√	√	√
13	高压冷却器试验报告		—	—	√	√
14	底座密封试验报告		—	—	√	√
注：遵循的标准应参照技术规格书、ISO 9906:1999-MOD、RCC-M、ASME QME-1-2017、ISO 10816-8:2014等。						

5.1.2 泵

本指南所指泵为主泵泵组不包含电机的泵体部分，其制造完成后所涉及的检验试验报告的审查要求详见表3。

表3 泵的检验试验报告审查要求（轴封式主泵）

序号	审查内容	审查依据					
		VVER1000		CPR1000、EPR、ACP1000+		CNP1000、ACP1000	
		检验试验方法和要求	验收准则	检验试验方法和要求	验收准则	检验试验方法和要求	验收准则
1	最终尺寸检查报告	图纸文件	尺寸在公差范围内	图纸文件	尺寸在公差范围内	图纸文件	尺寸在公差范围内
2	水压试验报告	H II-089-15 Section V	无破损、无超标泄漏	RCCM B 5000	无破损、无超标泄漏	RCCM B 5000； ASME III NB6200	无破损、无超标泄漏

5.1.3 主要承压部件

轴封式主泵主要应于CNP1000、CPR1000、EPR、ACP1000（ACPR1000+）、VVER1000等堆型上。由于堆型和结构型式不同，轴封式主泵的主要承压部件主要有泵壳、主法兰、热屏法兰、密封室和密封室盖、内室组件等。这些承压部件检验试验报告的审查要求详见表4。

表4 主要承压部件检验试验报告审查要求(轴封式主泵)

序号	部件名称	审查内容	审查依据（参考标准规范）			
			验收准则	CPR1000、EPR、ACPR1000+	CNP1000、ACP1000	VVER1000
1	泵壳	1) 化学成分分析报告 2) 热处理报告、曲线及记录 3) 水压试验报告 4) 力学性能报告 5) 无损检测报告* 6) 尺寸检查报告 7) 返修图，返修焊接工艺评定报告及记录，焊材检验报告（如果有）	符合设备技术规格书要求	RCC-M M3401（铸件）	ASME SA-508M grade3 class1(锻件)	H II-089-15; P Б-089-14 ; OCT108. 109. 01-92; P Б-090-14; 06X12H3 Д 10 Г H M Φ A
2	主法兰	1) 化学成分分析报告 2) 热处理报告、曲线及记录 3) 力学性能报告 4) 无损检测报告* 5) 尺寸检查报告		RCC-M M2117（锻件）	ASME SA-508M grade3 class1(锻件)	OCT108. 109. 01-92; H II-089-15 ; P Б-089-14 ; P Б-090-14; 06X12H3 Д
3	热屏法兰	1) 化学成分分析报告 2) 晶间腐蚀试验报告 3) 热处理报告、曲线及记录 4) 力学性能报告 5) 无损检测报告* 6) 尺寸检查报告		RCC-M M3301（锻件）	NA	NA
4	密封室、密封室盖	1) 化学成分分析报告 2) 热处理报告、曲线及记录 3) 力学性能报告 4) 无损检测报告* 5) 尺寸检查报告		NA	ASME SA-705M Type 630 Condition H1150（锻件）	NA
5	内室组件	1) 化学成分分析报告 2) 热处理报告、曲线及记录 3) 力学性能报告 4) 水压试验 5) 无损检测报告* 6) 尺寸检查报告 7) 水压试验报告		NA	NA	OCT108. 109. 01-92; H II-089-15 ; P Б-089-14 ; P Б-090-14; 12X18H10T

5.2 屏蔽电机式主泵

5.2.1 泵组

泵组（泵-电机组装完成后）涉及的检验试验包括泵性能试验、运行试验（即产品试验）和鉴定试验，这部分试验报告的审查内容和验收准则见表5。本指南在附录B给出了屏蔽电机式主泵产品试验要求的参考资料。

表5 泵组检验试验报告审查要求

序号	审查内容	审查依据		
		验收准则	试验项目要求	
			产品试验	鉴定试验
1	正转空载推力试验报告	符合设备技术规格书要求	NA	√
2	反转空载推力试验报告		NA	√
3	空载饱和试验报告		NA	√
4	正转有荷载推力试验报告		NA	√
5	反转有荷载推力试验报告		NA	√
6	冷态性能特征测试报告		NA	√
7	热态性能特征测试报告		√	√
8	温升和电气平衡试验（热态停机）报告		√	√
9	热绝缘电阻测试报告		√	√
10	载荷滑差试验报告		NA	√
11	循环试验报告		√（2次）	√（50次）
12	压力脉冲（动）测量试验报告		NA	√
13	电机力矩曲线试验报告		NA	√
14	电源丧失试验报告		NA	√
15	外部冷却水丧失试验报告		NA	√
16	运行试验报告		√（50h）	√（500h）
17	反转运行试验报告		√	√
18	RCP 反转情况下正转重启试验报告		NA	√
19	净正吸入扬程（NPSH）试验报告		NA	√
20	惰转试验报告		√	√
注：遵循的标准应参照技术规格书相关要求。				

5.2.2 泵

泵制造完成后所涉及检验试验报告的审查要求详见表6。

表6 泵检验试验报告审查要求

序号	审查内容	审查依据	
		检验试验方法和要求	验收准则
1	最终尺寸检查报告	图纸文件	尺寸在公差范围内
2	水压试验报告*	定子腔室、热交换器上/下管段、热交换器排气组件：3150psig，维持 10 分钟以上。 转子：3150psig 维持 30 分钟以上。 盲法兰：3125psig 维持 10 分钟以上。 冷却水夹套、排气堵头：255psig，维持 10 分钟以上	不泄露

5.2.3 主要承压部件

屏蔽电机式主泵主要应用于AP1000堆型，其主要承压部件为泵壳、定子主法兰、定子壳体、定子下法兰、定子下端盖、定子主封头、定子主封头环。这些主要承压部件的检验试验报告审查要求详见表7。

表7 主要承压部件检验试验报告审查要求(屏蔽电机式主泵)

序号	部件名称	审查内容	审查依据	
			技术文件	标准规范
1	泵壳	1)化学成分分析报告(包括熔炼分析和产品分析) 2)热处理(固溶热处理)报告、曲线及记录 3)水压试验报告* 4)力学性能报告(包括拉伸、冲击试验) 5)无损检测报告(包括VT、PT、RT等)* 6)尺寸检查报告 7)返修图,返修焊接工艺评定报告及记录,焊材检验报告(如果有)	符合设备技术规格书要求	ASME 第II 卷 SA351 CF8A (98 版 2000 年增补); ASME 第V卷 Article 6; ASME 第V卷 Article 2; ASME 第III卷 NB5100 (98 版 2000 年增补); NB6200(98 版 2000 年增补)
2	定子主法兰、定子壳体	1)化学成分分析报告(包括熔炼分析和产品分析) 2)热处理报告、曲线及记录 3)力学性能报告(包括拉伸、冲击、RTNDT 试验) 4)无损检测报告(包括VT、MT、UT等)* 5)尺寸检查报告 6)返修图,返修焊接工艺评定报告及记录,焊材检验报告(如果有)		ASME 第II 卷 SA508.Gr.1 (98 版 2000 年增补); UT, NB2542; MT, NB2545 (98 版 2000 年增补); NB 6114.2 (98 版 2000 年增补)
3	定子下法兰、定子下端盖	1)化学成分分析报告(包括熔炼分析和产品分析) 2)热处理报告、曲线及记录 3)力学性能报告(包括拉伸、冲击试验) 4)无损检测报告(包括VT、PT、UT等)* 5)尺寸检查报告 6)返修图,返修焊接工艺评定报告及记录,焊材		ASME 第II 卷 SA336, F304 (98 版 2000 年增补); UT, NB2542; PT, NB2546(98 版 2000 年增补); NB-6114.2 (98 版 2000 年增补)

序号	部件名称	审查内容	审查依据	
			技术文件	标准规范
		检验报告（如果有）		
4	定子主封头、定子主封头环	1) 化学成分分析报告（包括熔炼分析和产品分析） 2) 热处理（固溶热处理）报告、曲线及记录 3) 力学性能报告（包括拉伸、硬度试验） 4) 无损检测报告（包括 VT、PT、UT 等）* 5) 晶粒尺寸和晶间腐蚀报告 6) 尺寸检查报告 7) 返修图，返修焊接工艺评定报告及记录，焊材检验报告（如果有）		ASME SA-182 Gr. F304（锻件）；UT，NB2540； PT，NB2546（98 版 2000 年增补）；NB-6114.2（98 版 2000 年增补）

6 记录

审查完成后，应对审查情况进行记录。记录应包含以下方面：

- 1) 泵的物资编码/功能位置码；
- 2) 相应的试验记录和报告编号；
- 3) 试验项目、试验参数和条件、试验结果的符合情况；
- 4) 审查发现的问题；
- 5) 审查结论。

附录 A (资料性附录)

轴封式主泵鉴定试验和产品试验技术要点

A.1 轴封式主泵鉴定试验 (CPR1000、EPR、ACPR1000+)

CPR1000、EPR、ACPR1000+堆型轴封式主泵鉴定试验时间约为200h，主要包括以下试验项目：

a) 水静压试验，包含 2 个独立试验。

- 1) 试验 1：在第一次试验启动时进行，试验压力为 1.5 倍设计压力，保压时间至少 60min，主要测试承压部件；
- 2) 试验 2：在每次启动时进行，试验压力为设计压力，保压时间至少 60min，主要测试承压部件。

试验验收准则：主回路压力能够达到试验压力，并且试验系统压降小于0.5MPa/h。

b) 三级密封试验，通过测量高压节流泄漏量、低压密封泄漏量和试验压力来测试密封系统的功能，包含 5 个独立试验，详见表 A.1。

表A.1 三级密封试验条件及验收准则

	系统温度 (°C)	系统压力 (MPa)	记录频率 (秒)	记录时间 (分)
试验条件 1	≈50	>2	2	15
试验条件 2	≈100	>2	2	15
试验条件 3	≈120	>4.5	2	15
试验条件 4	≈250	>8	2	15
试验条件 5	≈293	≈15.16	2	15

试验验收准则：高压节流泄漏量在正常值（1920L/h）的±20%范围内波动。

c) 轴承跑和试验，主要测试轴承在冷态和热态工况下的性能，包含 2 个试验。

- 1) 试验 1：总试验时间约为 90min，试验温度约为 50°C，试验压力为 2~15.16MPa，在 15.16MPa 下保压 30min；
- 2) 试验 2：试验温度约为 293°C，试验压力约为 15.16MPa，每 15min 启动排油泵和注油泵运行 5min，试验总时间约为 90min 或 6 个启停循环。

试验验收准则：轴承温度在规定的限值内。

d) 高压冷却器试验，主要测试高压冷却器冷却注入水的性能，包括 4 个试验，详见表 A.2。

表A.2 高压冷却器试验条件及验收准则

	注入水流量 (L/h)	冷却水温度 (°C)	系统压力 (MPa)	系统温度 (°C)
试验条件 1	≈1920	<35	>2	≈70
试验条件 2	≈1920	<35	>2	≈100
试验条件 3	≈1920	<35	>7	≈200
试验条件 4	≈1920	<35	>8	≈250

试验验收准则：高压冷却器后密封注入水温度低于57°C。

T/××× ××××—××××

- e) 启动、停止试验，包含 6 个试验（试验开始前泵运行大于 40min，注入水流量≈1920L/h），详见表 A. 3。

表A. 3 启动、停止试验条件及验收准则

	系统压力（MPa）	系统温度（℃）
试验条件 1	>2	≈100
试验条件 2	>4. 5	≈150
试验条件 3	>7	≈200
试验条件 4~6	>15. 16	≈293
试验验收准则：电机的未触发连锁停机信号。		

- f) 轴位移、振动试验，包括 5 个试验（试验开始前泵运行大于 10min，注入水流量约为 6. 608 m³/s ±2. 5%，每个试验运行时间大于 15min），详见表 A. 4。

表A. 4 轴位移、振动试验条件及验收准则

	系统压力（MPa）	系统温度（℃）
试验条件 1	>2	≈30
试验条件 2	>2	≈100
试验条件 3	>4. 5	≈150
试验条件 4	>8	≈250
试验条件 5	>15. 16	≈293
试验验收准则：泵轴的位移（峰-峰）小于 250 μm，台架的振动位移（峰-峰）小于 35 μm。		

- g) 冷热态连续运行试验，试验分两个阶段进行。

- 1) 第一阶段：测试泵的流量和扬程，绘制性能曲线。这一阶段包括 6 个试验，详见表 A. 5。

表A. 5 第一阶段试验条件、步骤及验收准则

	系统压力（MPa）	系统温度（℃）
试验条件 1	>2	≈100
试验条件 2	>4. 5	≈150
试验条件 3	>7	≈200
试验条件 4	>8	≈250
试验条件 5	>15. 16	≈293
具体测试步骤如下： 1) 泵运行>10min，调整泵流量至额定流量的 100%（6. 608m ³ /s）后测量主流量，时间>15min； 2) 降低主流量，调整泵流量至额定流量的 80%（5. 2864m ³ /s）后测量主流量，时间>15min； 3) 增大主流量，调整泵流量分别至额定流量的 85%（5. 6168m ³ /s）、90%（5. 947 m ³ /s）、95%（6. 2776m ³ /s）、105%（6. 9384m ³ /s）、110%（7. 2688m ³ /s）、115%（7. 5992m ³ /s）和 115%（7. 9296m ³ /s）后测量主流量，时间各>15min。		
试验验收准则：泵性能能够满足额定运行要求，在当前扬程下公差范围为±2. 5%Q。		

- 2) 第二阶段：测量 NPSH。

这一阶段由 4 个试验循环组成（试验开始前泵运行大于 30min，注入水流量≈1920L/h，注入水温度 20~53℃，每项试验运行时间大于 15min），详见表 A. 6。

表A.6 第二阶段试验条件及验收准则

	系统压力 (MPa)	系统温度 (°C)	吸入侧系统压力下降达到值 (MPa)
试验条件 1	>2	≈100	≈1.5 (NPSH 150m)
试验条件 2	>2	≈140	≈1.8 (NPSH 150m)
试验条件 3	>15.16	≈250	≈5.2 (NPSH 150m)
试验条件 4	>15.16	≈293	≈8.6 (NPSH 150m)
试验验收准则：正常流量下、泵吸入侧降压过程中，泵的扬程不降低。			

h) 冷却水断失试验，主要为了测定冷却水丧失的允许时间限值，包括 4 种情况，详见表 A.7。

表A.7 冷却水断失试验条件及验收准则

	系统压力 (MPa)	系统温度 (°C)	冷却水温度 (°C)	冷却水流量 (m³/h)	轴承温度 (°C)	轴承箱内油温 (°C)	验收准则
油冷却器冷却水断失	>15.16	≈293	15~40	40~117	70~90	<65	冷却水断失 10min 后停泵信号未启用，如轴承温度超过限值。
高压冷却器冷却水断失	>15.16	≈293	15~40	27~117	70~90	<65	无
电机空气冷却器冷却水断失	>15.16	≈293	15~40	50~117	70~90	<65	无。对于电机温度达到 135°C 的时间有规定。
整个冷却水完全断失	>15.16	≈293	15~40	117	70~90	<65	在整个试验过程中停泵信号不启动（未达到停泵标准）。
注：试验之前泵正常运行 15min。							
高压冷却器冷却水断失试验中，注入水温度：20~50°C，注入水流量：1920 L/h。							

i) 注入水断失试验，包括 2 个试验，详见表 A.8。

表A.8 注入水断失试验条件及验收准则

	系统压力 (MPa)	系统温度 (°C)	注入水温度 (°C)	注入水流量 (L/h)	冷却水温度 (°C)	冷却水流量 (m³/h)	验收准则
在泵运行情况下，再循环密封水保持供应，注入水断失	>15.16	≈293	15.5~65	1400	15~40	27~117	试验启动后 60min 内，密封注入水温度<65°C。
在泵停止运行情况下，再循环	>15.16	≈293	15.5~65	1400	15~40	27~117	计时开始 2min 内，密封注入水温度<150°C；或者泵

T/××× ××××—××××

密封水保持供应,注入水断失							停止运行后10min内,密封注入水温度<150℃。
注: 试验之前泵正常运行 30min。							

j) 冷却水和密封水同时断失试验, 包括 2 个试验, 详见表 A. 9。

表A. 9 冷却水和密封水同时断失试验条件及验收准则

	系统压力 (MPa)	系统温度 (℃)	注入水温度 (℃)	注入水流量 (L/h)	冷却水温度 (℃)	冷却水流量 (m³/h)	验收准则
注入水和冷却水同时断失, 泵停止运行, 停止供应再循环密封注入水	>15.16	≈293	20~60	1920	15~40	27~117	计时开始 2min 内, 密封室指向冷却剂一侧的温度 <150℃; 或者泵停止运行后 10min 内, 密封室指向冷却剂一侧的温度 <150℃。
注入水和冷却水同时断失, 泵保持运行, 保持供应再循环密封注入水	>15.16	≈293	15.5~65	1400	15~40	27~117	计时开始 2min 内, 密封注入水温度 <150℃。
注: 试验之前泵正常运行 30min。							

k) 电源断失试验 (试验之前泵正常运行 40min)。

- 1) 系统压力: >15.16MPa;
- 2) 系统温度: ≈293℃;
- 3) 注入水温度: 20~60℃;
- 4) 注入水流量: 1920 L/h;
- 5) 冷却水温度: 15~40℃;
- 6) 冷却水流量: 27~117m³/h。

试验验收准则: 在热备用 (hot standby) 30min后, 泵能够正常启动。

1) 泄漏试验 (对联轴器、静密封和 3 级密封系统解体)。

试验验收准则: 在 0.15MPa 下, 通过高压节流管道的泄漏量小于 25L/h。

A. 2 轴封式主泵产品试验 (CPR1000、EPR、ACPR1000+)

CPR1000、EPR、ACPR1000+堆型轴封式主泵出厂试验时间约为 50h, 主要包括以下试验项目:

- a) 水静压试验, 同鉴定试验。
- b) 三级密封试验, 同鉴定试验。
- c) 轴承跑和试验, 主要测试轴承在冷态和热态工况下的性能, 包含 2 个试验:
 - 1) 试验 1: 试验温度约为 50℃, 试验压力为 2~8MPa, 在 8MPa 下保压 30min;

T/××× ××××—××××

- 2) 试验 2: 试验温度约为 250℃, 试验压力约为 8MPa, 每 15min 启动排油泵和注油泵运行 5min, 试验总时间约为 90min 或 6 个开关循环。

试验验收准则: 同鉴定试验。

d) 高压冷却器试验, 同鉴定试验。

e) 启动、停止试验, 包含 6 个试验 (试验开始前泵运行大于 40min, 注入水流量≈1920L/h):

- 1) 试验 1~3 条件同鉴定试验;
- 2) 试验 4~6 条件为:
 - 系统压力: ≈12.8MPa;
 - 系统温度: ≈293℃。

试验验收准则: 无。

f) 轴位移、振动试验, 包括 5 个试验 (试验开始前泵运行大于 10min, 注入水流量约为 6.608 m³/s ± 2.5%, 每个试验运行时间大于 15min):

- 1) 试验 1~4 条件同鉴定试验;
- 2) 试验 5 条件为:
 - 系统压力: ≈12.8MPa;
 - 系统温度: ≈293℃。

试验验收准则: 泵轴的位移 (峰-峰) 小于 250 μm。

g) 冷热态连续运行试验, 包括 6 个试验:

- 1) 试验 1~4 条件同鉴定试验;
- 2) 试验 5~6 条件为:
 - 系统压力: ≈12.8MPa;
 - 系统温度: ≈293℃。

试验验收准则: 无。

h) 冷却水断失试验, 主要为了测定冷却水断失的允许时间限值, 包括 3 种情况, 详见表 A.10。

表A.10 冷却水断失试验条件及验收准则

	系统压力 (MPa)	系统温度 (℃)	冷却水温度 (℃)	冷却水流量 (m ³ /h)	轴承温度 (℃)	轴承箱内油温 (℃)	验收准则
油冷却器冷却水断失	8	≈250	15~40	40~67	<90	<60	同鉴定试验。
高压冷却器冷却水断失	≈12.8	≈293	15~40	27~67	—	—	无
整个冷却水完全断失	8	≈250	15~40	67	—	—	同鉴定试验。
注: 试验之前泵正常运行 15min。 高压冷却器冷却水断失试验, 注入水温度 20~50℃, 注入水流量 1920 L/h。							

i) 注入水断失试验, 包括 3 个试验, 详见表 A.11。

表A.11 注入水断失试验条件及验收准则

	系统压力 (MPa)	系统温度 (°C)	注入水温度 (°C)	注入水流量 (L/h)	冷却水温度 (°C)	冷却水流量 (m³/h)	验收准则
在泵运行情况下,再循环密封水保持供应,注入水断失	≈12.8	≈293	15.5~65	1920	15~40	27~67	同鉴定试验。
在泵停止运行情况下,再循环密封水保持供应,注入水断失	≈12.8	≈293	15.5~65	1400	15~40	27~67	同鉴定试验。
在泵停止运行情况下,停止供应再循环密封水,注入水断失	≈12.8	≈293	15.5~65	1400	15~40	27~67	计时开始 2min 内,无注入水供应,密封注入水温度<180°C。
注: 试验之前泵正常运行 30min。							

j) 冷却水和密封水同时断失试验,包括 2 个试验,详见表 A.12。

表A.12 冷却水和密封水同时断失试验条件及验收准则

	系统压力 (MPa)	系统温度 (°C)	注入水温度 (°C)	注入水流量 (L/h)	冷却水温度 (°C)	冷却水流量 (m³/h)	验收准则
注入水和冷却水同时断失,泵停止运行,停止供应再循环密封注入水	≈12.8	≈293	20~60	1920	15~40	27~67	同鉴定试验。
注入水和冷却水同时断失,泵保持运行,保持供应再循环密封注入水	≈12.8	≈293	20~60	1920	15~40	27~67	同鉴定试验。
注: 试验之前泵正常运行 30min。							

T/××× ××××—××××

- k) 断电试验（试验之前泵正常运行 40min）：
- 1) 系统压力： $\approx 8\text{MPa}$ ；
 - 2) 系统温度： $\approx 250^\circ\text{C}$ ；
 - 3) 注入水温度： $20\sim 60^\circ\text{C}$ ；
 - 4) 注入水流量： 1920 L/h ；
 - 5) 冷却水温度： $15\sim 40^\circ\text{C}$ ；
 - 6) 冷却水流量： $27\sim 67\text{m}^3/\text{h}$ 。

试验验收准则：同鉴定试验。

A.3 轴封式主泵鉴定试验（ACP1000）

ACP1000堆型轴封式主泵鉴定试验时间约为500h，主要包括以下试验项目：

- a) 水静压试验，包含 2 个独立试验：
- 1) 试验 1：在第一次试验启动时进行，试验压力为 1.5 倍设计压力，保压时间至少 60min，主要测试承压部件；
 - 2) 试验 2：在每次启动时进行，试验压力为设计压力，保压时间至少 60min，主要测试承压部件。

试验验收准则：主回路压力能够达到试验压力，并且试验系统压降小于 0.5MPa/h 。

- b) 冷热态运行试验，测试泵的流量和扬程，绘制性能曲线，包括 4 个试验，详见表 A.13。

表A.13 冷热态运行试验条件、步骤及验收准则

	系统压力（MPa）	系统温度（ $^\circ\text{C}$ ）
试验条件 1	≈ 2.4	≈ 55
试验条件 2	≈ 8	≈ 200
试验条件 3	≈ 15.16	≈ 200
试验条件 4	≈ 15.5	≈ 293
试验条件 5	≈ 15.5	≈ 291.7
具体测试步骤如下：		
1) 泵运行 $>30\text{min}$ ，调整泵流量至额定流量的 100%（ $6.608\text{m}^3/\text{s}$ ）；		
2) 降低主流量，调整泵流量至额定流量的 85%（ $5.2864\text{m}^3/\text{s}$ ）后测量主流量，时间 $>15\text{min}$ ；		
3) 增大主流量，调整泵流量分别至额定流量的 92.5%（ $6.112\text{m}^3/\text{s}$ ）、100%（ $6.608\text{m}^3/\text{s}$ ）、105.8%（ $6.990\text{m}^3/\text{s}$ ）、111.7%（ $7.380\text{m}^3/\text{s}$ ）和 115%（ $7.929\text{m}^3/\text{s}$ ）后测量主流量，时间各 15min。		
试验验收准则：泵性能满足要求，在额定流量时扬程波动范围为 $\pm 1.5\%$ 。		

- c) 三级密封试验，通过测量主泵在不同工况下高压节流泄漏量、低压密封泄漏量来测试密封系统的功能，包含 4 个独立试验，详见表 A.14。

表A.14 三级密封试验条件及验收准则

	系统温度（ $^\circ\text{C}$ ）	系统压力（MPa）	记录时间（分）
试验条件 1	≈ 100	≈ 2.4	15
试验条件 2	≈ 200	≈ 8	15
试验条件 3	≈ 250	≈ 12	15
试验条件 4	≈ 293	≈ 15.16	15

试验验收准则：高压节流泄漏量在相应工况额定值的 $\pm 20\%$ 范围内波动。

d) NPSH 试验，验证泵的 NPSH 极限，包括 2 个试验，详见表 A. 15。

表A. 15 NPSH 试验条件、步骤及验收准则

	系统压力 (MPa)	系统温度 (°C)	吸入侧系统压力下降达到值 (MPa)
试验条件 1	≈ 6	≈ 100	≈ 2.4
试验条件 2	≈ 6	≈ 204	≈ 3
具体测试步骤如下： 1) 泵运行 $>20\text{min}$ ，调整泵流量至额定流量的 100% ($6.608\text{m}^3/\text{s}$)； 2) 降低系统压力至 2.4MPa (试验 2 降至 3MPa)，稳定运行 15 分钟，恢复系统至起始压力。			
试验验收准则：泵流量扬程不发生突变。			

e) 轴移位、振动、噪声试验，包括 5 个试验记录（在试验 2、试验 4 中各工况稳定运行时选取记录），详见表 A. 16。

表A. 16 轴移位、振动、噪声试验条件及验收准则

	系统压力 (MPa)	系统温度 (°C)
试验条件 1	≈ 6	≈ 100
试验条件 2	≈ 2.4	≈ 55 和 100
试验条件 3	≈ 15.16	≈ 293
试验条件 4	≈ 6	≈ 204
试验条件 5	≈ 3	≈ 204
试验验收准则：泵轴的振动（峰-峰）小于 $250\mu\text{m}$ ，结构的振动（峰-峰）小于 $70\mu\text{m}$ ，噪声小于 105 分贝。		

f) 启动、停止试验，包含 3 个试验（试验开始前泵运行大于 30min），详见表 A. 17。

表A. 17 启动、停止试验条件及验收准则

	系统温度 (°C)	系统压力 (MPa)	设冷水温度 (°C)
试验条件 1	≈ 100	≈ 2.4	≈ 35
试验条件 2	≈ 204	≈ 3	≈ 40
试验条件 3	≈ 293	≈ 15.16	≈ 35
试验条件 4	≈ 293	≈ 15.16	15
试验验收准则：泵的连锁报警系统未触发。			

g) 主泵运行时，高压冷却水断失试验，测定高压冷却器冷却水断失 15 分钟内密封注入水温度。

高压冷却器冷却水断失：试验条件为（试验之前泵正常运行 30min）：

- 1) 系统压力： $\approx 15.16\text{MPa}$ ；
- 2) 系统温度： $\approx 293^\circ\text{C}$ ；
- 3) 注入水温度： $<40^\circ\text{C}$ ；
- 4) 注入水流量： 1920 L/h ；
- 5) 冷却水温度： 25°C ；
- 6) 冷却水流量： $27\sim 117\text{ m}^3/\text{h}$ ；

试验验收准则：冷却水断失 15 分钟内密封注入水温度低于 55°C 。

T/××× ××××—××××

- h) 油冷却器冷却水断失惰转停机试验，测定油冷却器冷却水断失对主泵运行及停机的影响，详见表 A. 18。

表A. 18 油冷却器冷却水断失惰转停机试验条件及验收准则

	系统温度（℃）	系统压力（MPa）	设冷水温度（℃）	验收准则
系统热态油冷却器冷却水丧失	≈293	≈15.16	35	轴承温度不触发报警且不损坏。
系统停堆过程中油冷却水完全丧失	≈204	≈3	40	轴承温度不触发报警且不损坏。

- i) 主泵运行时，电机空气冷却器冷却水断失试验（试验之前泵正常运行 30min）：

- 1) 系统压力：≈15.16MPa；
- 2) 系统温度：≈293℃；
- 3) 冷却水温度：15~40℃；
- 4) 试验持续时间：60 分钟

试验验收准则：电机绕组温度未达到报警值。

- j) 主泵运行时，密封注入水断失试验（试验之前泵正常运行 30min）：

- 1) 系统压力：≈15.16MPa；
- 2) 系统温度：≈293℃；
- 3) 冷却水温度：15~40℃；
- 4) 试验持续时间：24 小时

试验验收准则：密封注入水温度低于55℃且不触发连锁报警。

- k) 主泵运行时，冷却水和密封水同时丧失试验（试验之前泵正常运行 30min）：

- 1) 系统压力：≈15.16MPa；
- 2) 系统温度：≈293℃；

试验验收准则：计时开始2min内，主泵正常运行，无连锁报警触发。

- l) 断电试验（试验之前泵正常运行 30min），包含 2 个试验：

- 1) 试验 1 条件为：
 - 系统压力：≈2.4MPa；
 - 系统温度：≈100℃；
- 2) 试验 2 条件为：
 - 系统压力：≈15.16MP；
 - 系统温度：≈293℃。

试验验收准则：停稳20min后，泵能正常启动，试验不应造成损伤。

- m) 冷却水工况变换验证试验（试验之前泵正常运行 30min）。

- 1) 试验条件：
 - 系统压力：≈15.16MPa；
 - 系统温度：≈293℃；
 - 冷却水温度：10~40℃；
 - 冷却水流量：100~171m³/h。
- 2) 具体测试步骤如下：
 - 调整为最小设冷水流量（100 m³/h），运行 40 分钟；
 - 调整设冷水温度至 10℃，运行 90 分钟；
 - 调整设冷水温度至 15℃、20℃、25℃、30℃、35℃，各运行 40 分钟；

T/××× ××××—××××

- 调整设冷水温度至 40℃，运行 70 分钟；
- 调整为最大设冷水流量（171 m³/h），运行 90 分钟；
- 调整设冷水温度至 35℃、30℃、25℃、20℃、15℃，各运行 40 分钟；
- 调整设冷水温度至 10℃，运行 70 分钟；
- 调整设冷水温度至 25℃，运行 30 分钟；
- 调整为正常设冷水流量（127m³/h），运行 80 分钟。

试验验收准则：泵稳定运行，不触发报警信号。

n) 热态连续运行试验（系列主泵鉴定试验 50 小时）：

- 1) -系统压力：≈15.16MPa；
- 2) -系统温度：≈293℃；
- 3) -试验时间：200 小时。

试验验收准则：主泵正常运行，无连锁报警触发。

o) 泄漏试验（拆除联轴器、停车密封和 3 级密封）：

试验验收准则：在 0.1MPa 下，通过高压节流管道的泄漏量小于 240L/h。

A.4 轴封式主泵产品试验（ACP1000）

ACP1000堆型轴封式主泵产品试验时间约为120小时，除不开展冷热态运行试验、NPSH以及主泵运行时电机空气冷却水断失试验外，其余试验项目及验收条件与鉴定试验相同，热态连续运行试验为50小时。

A.5 轴封式主泵可抽出部件性能验证试验（VVER1000）

VVER1000堆型主泵可抽出部件性能验证试验时间约为40h，主要包括以下试验项目：

a) 水静压试验，包含 1 个独立试验：

试验1：试验回路升温至88℃后，升高压力至19.6MPa，保压时间至少10min，主要测试承压部件；

试验验收准则：主回路压力能够达到试验压力，并且试验系统主密封面无泄漏。

b) 电磁铁提升力试验：

- 1) 系统压力：≈6.7MPa；
- 2) 系统温度：≈90℃；
- 3) 主泵停机状态。

试验验收准则：电磁铁提升力满足设计要求。

c) 冷热态运行试验，测试泵的流量和扬程，绘制性能曲线，包括 4 个试验，详见表 A. 19。

表A. 19 冷热态运行试验条件及验收准则

	系统温度（℃）	系统压力（MPa）	流量（m³）	运行时间（h）
试验 1（冷态）条件	≈80~140	≈15.3	≈22000	>4
试验 2（冷态）条件	≈20~140	≈1.47	≈22000	>4
试验 3（热态）条件	≈290	≈15.3	≈22000	>24
试验 4（热态）条件	≈290	≈15.3	≈27000	>1
试验验收准则：泵性能（Q-H、效率）满足设计要求。				

d) 启动、停止试验，包含 4 个试验（与试验 2 配合开展），详见表 A. 20。

表A.20 启动、停止试验条件及验收准则

	系统温度 (°C)	系统压力 (MPa)	流量 (m³)
试验 1 (冷态) 条件	≈130	≈15.3	≈22000
试验 2 (冷态) 条件	≈80	≈1.47	≈22000
试验 3 (热态) 条件	≈290	≈15.3	≈22000
试验 4 (热态) 条件	≈290	≈15.3	≈27000
试验验收准则：泵在冷态停机时间、热态惰转曲线满足设计要求。			

e) 主泵运行时，密封注入水断失试验：

- 1) 系统压力：≈15.3MPa；
- 2) 系统温度：≈290°C；
- 3) 流量：≈22000m³；
- 4) 密封水断失：60 分钟。

试验验收准则：主泵正常运行，密封泄漏流量满足设计要求。

f) 泵运行及停机时，中间回路冷却水断失试验，包含 2 个试验：

- 1) 系统压力：≈15.3MPa；
- 2) 系统温度：≈290°C；
- 3) 流量：≈22000m³；
- 4) 中间回路冷却水断失：3 分钟。

试验验收准则：泵运行及停机时失去中间冷却水3分钟，泵出口处独立回路水温不超过120°C。

g) 泵运行时，轴承润滑冷却泵电源断失试验：

- 1) 系统压力：≈15.3MPa；
- 2) 系统温度：≈290°C；
- 3) 流量：≈22000m³；
- 4) 轴承润滑冷却泵电源断失：45 分钟。

试验验收准则：泵运行时，轴承润滑冷却泵电源断失45分钟，轴承各项参数满足设计要求。

h) 停机惰转时间测定试验，包含 2 个试验：

- 1) 试验 1 条件为：
 - 系统压力：≈15.3MPa；
 - 系统温度：≈290°C；
 - 流量：≈22000m³。
- 2) 试验 2 条件为：
 - 系统压力：≈15.3MPa；
 - 系统温度：≈290°C；
 - 流量：≈27000m³。

试验验收准则：泵停机惰转过程中，转速-流量降低速度满足设计要求。

附 录 B
（资料性附录）
屏蔽电机式主泵产品试验要求

AP1000堆型屏蔽电机式主泵产品试验要求详见表A. 21。

表A. 21 屏蔽电机式主泵产品试验要求

序号	试验名称	试验要求
1	热态性能试验	正常运行工况下的扬程= 365 +/- 7.3 ft。
2	温升和电气平衡试验	每相电流必须在平均值 2.5%以内； 最大定子绕组 RTD 温度不超过 392°F； 6.9kV 电压、60Hz 频率下的最大输入电流<850 安； 四台主泵最大功率<34,400 千瓦； 最大轴承水温 167°F。
3	热绝缘电阻试验	25 兆欧； 试验要求对于水力部件试验不适用。
4	循环试验	2 个循环； 验证性能特征。
5	运行试验	依据 QS10143 试验后检查； 60Hz 热运行 50 小时； 验证性能特征。
6	反转运行试验	验证性能特征。
7	惰转试验	前 12 秒惰转过程中的最小流量要求。

参 考 文 献

- [1] 国务院. 民用核安全设备监督管理条例: 国务院第 500 号令[S]. 北京: 国务院, 2007.
 - [2] 国家核安全局. 进口民用核安全设备监督管理规定: HAF 604-2007[S]. 北京: 国家核安全局, 2007.
 - [3] 国家核安全局. 核电厂质量保证安全规定: HAF 003-1991[S]. 北京: 国家核安全局, 1991.
 - [4] 国家核安全局. 民用核安全设备目录(2016 年修订)-2016[S]. 北京: 国家核安全局, 2016.
-