

密级： 非密

定密责任人： 刘诗文

本文知识产权属于中国核动力院，未经我院书面同意，不得复制、传播、发表和用于其他方面

编 号： YTDS-420600-GG1

页 数： 共 41 页

版 本： C

保 管 期 限： 永 久



医用同位素试验堆

项 目 代 号： YTD

子 项 号 或 名 称：

项 目 阶 段： S

专 业： 泵阀

文件（图册）名称： 一次冷却水泵技术规格书

外部编号： Y T D 1 0 2 1 S - 0 5 3 0 1 0 5 - G G 0 0 1

中国核动力研究设计院

一次冷却水泵技术规格书

C	20250322	CFC	夏国生 2025.3.22 李响 2025.3.22	邵峰 2025.3.23 王劲松 2025.3.13	王劲松 2025.3.23	张玉龙 2025.3.23 张玉龙 2025.3.23	孙启彬 2025.3.24
B	20240524	CFC	邵峰 20240524	蒋小毛 20240525	王劲松 20240527	张玉龙 20240618	陈冠宇 20240619
A	20220805	CFC	邵峰 20220805	蒋小毛 20220816	王劲松 20220817	张玉龙 20220829	陈冠宇 20220829
版本	日期	状态	编写/日期	校对/日期	审核/日期	审定/日期	批准/日期
会签：李响 2025.3.23 李启彬 2025.3.23							
升版说明： 增加变频器相关技术要求、更新楼层反应谱。							
<div><div>QA核 查</div><div>签字 日期 2025.3.24</div></div> <div>编写/日期：夏国生 2025.3.22 李响 2025.3.22</div>							

文件修改记录

版本	日期	章节号	页码	修改内容		
A	20220805			初版		
B	20240524	2	5	增加 HAF003、HAF 602、HAF 603、GB 10869、GB/T 21209、RCC-M、RSE-M、ANSI/FCI 70.2 等标准；GB/T 16907 改为 2014 版。		
		3.1	5	设备组成补充回流调节系统、底盘及紧固件等。		
		4.1.2	6-7	修改设备分级。		
		4.1.3	7-8	补充泵运行流量范围、调速方式、流量调节要求、工况点；变更启动方式。		
		4.1.4	8	修改机组尺寸、重量要求。		
		4.1.5	8	修改机组维修空间要求。		
		4.2.1	8	补充输送介质含气率。		
		4.2.3	9	修改事故工况最高环境温度、湿度；补充辐照剂量；补充地震条件。		
		4.3.1-4.3.5	9	补充机组流量调节相关特性和系统的总体要求、调节方式等。		
		4.3.14-4.3.16	10	补充承压边界力学分析及抗震分析要求。		
		4.3.24-4.3.27	10-11	补充回流调节系统的具体要求。		
		4.4.1	11	修改进出口接管尺寸。		
		4.4.2	11-12	修改电气接口描述。		
		5.5-5.6	12	补充按 RCC-M 进行承压边界选材的要求。		
		6.1.1	12	修改为按 RCC-M 执行承压边界制造的要求。		
		6.1.4	13	补充焊接人员资格要求。		
		6.2.1	13	修改为按 RCC-M 进行检验的要求。		
		6.2.7	13	补充无损检验人员资格要求。		
		7.3	14	细化机组性能试验要求，针对运行流量范围进行测量和试验验证。		
		附录	17-23	补充楼层反应谱。		
C	20250322	1-3、8-11	5-7、15-27	增加变频器相关技术要求。		
		附录	29-41	更新楼层反应谱。		
参考设计文件编号				分 类	A	
					B	
					C	√

目 录

1	适用范围	5
2	引用标准及文件	5
3	供货范围	6
4	泵机组设计要求	7
5	泵机组材料要求	13
6	泵机组制造、装配和相关检验要求	13
7	泵机组试验及验收要求	14
8	配套变频器相关要求	15
9	质量保证	27
10	包装、运输及贮存	27
11	提交文件	27
	附录 楼层反应谱	29

1 适用范围

本规格书规定了医用同位素试验堆一次冷却水系统（RPC）一次冷却水泵及其变频器（柜）的供货、设计、材料、制造、检验、试验等方面的基本要求。

2 引用标准及文件

2.1 规范和标准

HAF003	核电厂质量保证安全规定
HAF 602-2019	民用核安全设备无损检验人员资格管理规定
HAF 603-2019	民用核安全设备焊工焊接操作工资格管理规定
GB/T 755-2019	旋转电机 定额和性能
GB/T 1032-2012	三相异步电动机试验方法
GB/T 3214-2007	水泵流量的测定方法
GB/T 3216-2005	回转动力泵 水力性能验收试验 1级和2级
GB/T4208-2017	外壳防护等级（IP 代码）
GB/T 7251.1-2023	低压成套开关设备和控制设备第1部分：总则
GB/T 9239.1-2006	机械振动 恒态（刚性）转子平衡品质要求 第1部分：规范与平衡允差的检验
GB/T 10869-2008	电站调节阀
GB/T 12668.2-2002	调速电气传动系统第2部分：一般要求低压交流变频电气传动系统额定值的规定
GB 12668.3-2012	调速电气传动系统第3部分：电磁兼容性要求及其特定的试验方法
GB/T 12668.5-2013	调速电气传动系统第5部分：安全要求
GB/T 13539.2-2015	低压熔断器第2部分：专职人员使用的熔断器的补充要求（主要用于工业的熔断器）标准化熔断器系统示例 A 至 K
GB/T 14048.2-2020	低压开关设备和控制设备第2部分：断路器
GB/T 16907-2014	离心泵技术条件（I类）
GB/T 17626（系列）	电磁兼容试验和测量技术
GB/T 21209-2017	用于电力传动系统的交流电机应用导则
GB/T 29529-2013	泵的噪声测量与评价方法
GB/T 29531-2013	泵的振动测量与评价方法
GB/T 34123-2017	电力系统变频器保护技术规范

GB 50267-2019	核电厂抗震设计标准
NB/T 20408-2017	核电厂物项包装、运输、装卸、接收、贮存和维护要求
IEC 60050-2001	国际电工词汇
RCC-M（2007 版）	压水堆核岛机械设备设计和建造规则
RSE-M（2010 版）	压水堆核电厂核岛机械部件的在役检查规则
RCC-E（2005 版）	核岛电气设备的设计和建造规则
ANSI/FCI 70.2-2013	控制阀阀座泄漏率

2.2 技术文件

YTD0000S-002002-QD-001(B 版)	物项分级原则及清单
YTD-WP-JS03	设备编码规则
YTD-WP-JS13	设备和管道的常用颜色
YTD-WP-JS14	电气设备和电缆路径的设计原则
YTD-WP-JS15	接线端、导线、电缆及电缆桥架的现场标识
YTD-WP-JS34	设备标牌管理

3 供货范围

3.1 设备说明

一次冷却水泵为变频多级电动离心泵，主要由叶轮、泵壳、轴承、机械密封（若有）、联轴器（若有）、电机、回流调节系统和机组底盘及地脚螺栓/螺母/垫片等组成。

一次冷却水泵回流调节系统主要由回流管线、阀门和相关控制系统组成，用于一次冷却水泵流量调节时对泵工况进行辅助调节，保证一次冷却水泵满足系统工况要求。

一次冷却水泵变频器应满足系统对一次冷却水泵多种工况下的启停、调速、切换等控制要求。

3.2 供货范围

3.2.1 供货方应提供两台一次冷却水泵，一次冷却水泵的设备边界为泵进出口法兰（含配对法兰、紧固件及密封件）、电机及回流调节系统阀门接线盒（含除电缆外的所有电气安装部件）、测量仪表（若有）的一次测量仪表、机组底盘及地脚螺栓/螺母/垫片等。供货范围还应包括回流调节阀与变频器，变频器供货范围详见 8.1 节。

3.2.2 供货方应根据一次冷却水泵的结构特点提出备品备件和专用工具的品种、数量，购买方根据实际需求情况在订购合同中明确。

3.3 服务范围

供货方应对设备做的所有服务负责，如果需要，供货方应该提供现场服务。这些服务

- 包括：
- a. 设备的设计和制造；
 - b. 材料和焊材（若有）的供应和验收；
 - c. 焊接/堆焊（若有）工艺评定和焊工资格审查；
 - d. 设备的最终检验和验收；
 - e. 设备的清洁；
 - f. 预先包装；
 - g. 设备在运输工具上的装载和固定；
 - h. 设备运输到安装现场；
 - i. 供货方应派人到泵安装现场进行技术服务，包括泵的安装、调试、维修等技术服务和咨询等；
 - j. 协助回答监管部门的提问等；
 - k. 配套变频器的相关服务详见第 8.1 节；
 - l. 供货方提供的文件清单见本规格书第 11 章。

4 泵机组设计要求

4.1 性能要求

4.1.1 设备概述

一次冷却水泵是一次冷却水系统的重要设备之一，功能是提供一次冷却水流量，以将堆芯产生的热量可靠、稳定地导出。系统共设置两台一次冷却水泵，一台运行，一台备用，设备位号分别为 RPC001PO、RPC002PO。

一次冷却水泵为变频多级电动离心泵。

4.1.2 设备分级

根据《物项分级原则及清单》（YTD0000S-002002-QD-001），一次冷却水泵分级如下：

安全等级	SR
规范等级	RCC-M 3 级
质量保证要求等级	QA2
抗震类别	I 类
电气部件安全等级	NS

4.1.3 技术性能指标

型式	变频多级电动离心泵
----	-----------

设计压力*	2.8 MPa
设计温度	100 °C
设计使用寿命	
承压部件	≥50 a
轴承	≥20000 h
机械密封（若有）	≥20000 h
泵入口压力	≦0.5MPa
额定运行温度	~35℃
额定流量	7.2 m³/h
额定扬程	203mH ₂ O
运行流量范围	0.72 m³/h ~7.2 m³/h（见表 1）
泵效率	≥25%（额定流量点）
电机额定功率	≤18.5kW
电机效率	≥90%
额定功率因数	≥0.85
运行方式	连续运行（S1）
启动方式	变频启动
调速方式	变频器调速
启停次数	4000 次
泵体材料	不锈钢

一次冷却水泵的运行工况点（回流调节后）如表 1 所示。

表 1 一次冷却水泵运行工况点**

工况	泵输出流量（m³/h）	扬程（mH ₂ O）
工况 1（额定工况）	7.2	203
工况 2	5	98.3
工况 3	3	35.7
工况 4	1	5.5
工况 5（最小流量）	0.72	\

注*：如无特殊说明，本规格书均采用绝对压力。

**：一次冷却水泵机组应具备在表 1 中最小流量到最大流量间所有工况的长期稳定

运行能力，并能实现各工况点之间的调节。

4.1.4 物理特性要求

机组外形尺寸	≤800mm×800mm×1500mm
机组干重/湿重	≤800kg/850kg

4.1.5 可靠性和维修性要求

机组平均无故障工作时间	≥20000h
维修空间需求	≤1200mm×1200mm×2000mm

4.2 环境条件及运行工况

4.2.1 输送介质

一次冷却水泵输送介质为除盐水，其初始运行水质指标如下：

pH 值	6.0~7.0
Cl ⁻	≤0.1mg/kg
电导率	≤200μs/m
不溶解固体杂质	≤5mg/L
含气率	≤2%

4.2.2 运行工况

一次冷却水系统设置两台一次冷却水泵，一台运行，一台备用，当运行泵故障时切换到备用泵。

对于非运行泵，每月试运转一次，每次转动时间不少于 5 分钟。

4.2.3 环境条件

一次冷却水泵位于一次冷却水房间，环境条件如下：

正常环境温度	5℃~40℃
正常环境相对湿度	100%
正常环境压力	-10 Pa g. ~ -30 Pa g.
事故工况最高环境温度	60℃
事故工况最高环境相对湿度	100%
事故工况最高环境压力	0.12 MPa
辐照剂量	≤2.5×10 ⁵ Gy（50 年累积）
地震	见附录

4.3 详细设计要求

4.3.1 为了保证泵机组安全、有效、连续地运行，供货方应提供相关的计算分析报告以证

明其设计的合理性，包括机组设计说明书、机组应力分析报告、转子动力学计算等。

4.3.2 一次冷却水泵的流量、扬程特性通过水力设计、变频调速以及设置旁通管线来实现，如不能仅通过变频调速的方式满足运行流量要求，则应考虑通过旁通阀等措施实现所有工况的要求，并完成回流管道、阀门及相关设备的配套供货。

4.3.3 一次冷却水泵输送介质含有一定量的不凝结气体（含量见 4.2.1 节），应能在该条件下运行并保证泵输出水力特性，并尽量提高可靠性。

4.3.4 一次冷却水泵应设置轴向力平衡装置，整套平衡装置应能防止泵在任何工况下转子异常轴向窜动。

4.3.5 一次冷却水泵如采用机械密封，机械密封型式应能保证其安全连续运行；机械密封（若有）应采用泵内介质进行冷却，机械密封应采用快装型密封。

4.3.6 一次冷却水泵在回流调节系统参与调节运行时，泵出口流量、扬程和水温应平稳，无汽蚀现象。

4.3.7 机组的性能应满足 4.1.3 节规定的相关要求，流量、扬程应满足 GB/T 3216 中 1 级泵的有关规定。在 4.2 节规定的环境条件及运行工况和 4.4.2 节规定的电源条件（事故除外）下，泵机组应能在规定的性能条件下可靠地运行而无发生汽蚀的危险。

4.3.8 泵的流量、扬程特性曲线（Q—H 曲线）在运行流量范围内应是单调变化的，不应出现驼峰和畸变点。

4.3.9 电机的设计、制造、试验应符合 GB 755、GB/T 1032、GB/T 21209 的要求。

4.3.10 电机的设计必须与一次冷却水泵的运行条件和维护要求一致，电机的特性曲线（特别是负载特性曲线）应完全满足一次冷却水泵机组的要求。

4.3.11 电机应具有 F 级及以上的绝缘，温升按 B 级绝缘考核，同时须满足变频电机变频方面的相关设计要求。电机的使用寿命在现场规定的工作制下不小于 50 年。

4.3.12 电机在热态和逐渐增加转矩的情况下，应能承受 160%额定转矩的过转矩，历时 2min 而不发生转速突变、停转以及有害变形。

4.3.13 电机各绕组冷态、热态绝缘电阻修正到 25℃时不小于 50MΩ。

4.3.14 一次冷却水泵机组设计应满足 RCC-M 第 I 卷 D3400 及符合 GB/T 16907 的规定。

4.3.15 泵机组及其部件应设计成在 4.2.3 节规定的地震条件下，能在运行基准地震动（SL-1）载荷条件下可正常运行，在极限安全地震动（SL-2）载荷条件下保证结构完整性。

4.3.16 泵机组的设计及应力分析应满足 RCC-M 第 I 卷 D 篇 3 级部件的要求，并按 GB 50267 和 RCC-M 第 I 卷 D3000 的规定进行抗震分析，楼层反应谱见附录。

4.3.17 应采取一切必要的预防措施，防止各种危险的、影响设备运行的振动产生。泵机组

正常运行时振动应满足 GB/T 29531 的 A 级要求。泵机组正常运行时噪声不应超过 85dB(A)，噪声测量应符 GB/T 29529 的规定。

4.3.18 转动部件应有足够的强度和刚度，并进行稳定分析。若采用刚性轴设计，第一临界横向转速应不低于 1.2 倍工作转速；若采用柔性轴设计，第一临界横向转速应不高于 0.37 倍工作转速，第二临界横向转速应不低于 1.2 倍工作转速。第一临界扭转转速应远离（至少 10%）工作转速的第一激振频率。

4.3.19 叶轮应是整体结构，它们应锁紧并用键固定，防止在使用中松动。设计时应考虑尽量减少叶轮腐蚀。

4.3.20 泵机组不配置冷却水，应保证机组在任何工况下能够稳定可靠运行。

4.3.21 设计上应考虑设置防止机组运行时转动件外露的保护罩。保护罩应足够结实以承受外部冲击，并能限制转动部件在破碎事故中飞射出。

4.3.22 泵的设计应满足 RSE-M 中关于在役检查的要求，并综合考虑在役检查和防腐相关要求确定设计方案。

4.3.23 设计中应考虑相应的传感器，以实现对其实时监控。需至少监控下列参数：

- 驱动电机绕组温度；
- 轴承温度；
- 振动；
- 泵机组转速；
- 回流调节阀开度。

4.3.24 回流调节系统中调节阀的设计应满足介质温度、压力、流量、流向、调节范围以及严密封要求，阀体及阀内件应无汽蚀、闪蒸；应选用质量可靠、性能优良的调节阀产品，调节方式为连续调节，具有等百分比调节特性；严密性等级为 ANSI/FCI 70.2V 级，基本误差、死区、回差等应符合 GB 10869 的规定；阀前与阀后应设置电动隔离阀。

4.3.25 回流调节系统的控制由 DCS 系统实现，供货方应提供相应控制逻辑。

4.3.26 回流调节阀应有足够的降压级数，以在各种工况下彻底的避免磨损、腐蚀和振动及汽蚀现象的发生，并明确所供产品的降压级数（最少采用 3 级降压笼套）。

4.3.27 回流调节系统的开关时间由供货方提供，开启时应考虑打开足够快，以避免泵有损坏的风险；关闭时应缓慢，以避免水力冲击。供货方应明确控制调节阀开启或关闭的流量设定。

4.4 接口

供货方应按规定的接口进行一次冷却水泵设计、制造。供货方需提交接口设计结果，

由购买方认可。

4.4.1 与一次冷却水管线的接口

泵从侧向或轴向向上（具体在采购阶段确定）吸入，侧向排出。

接管设计压力	2.8 MPa
与管道连接型式	法兰连接
进、出口接管尺寸	Φ48mm×4mm
进、出口接管材料	Z2CN18-10

4.4.2 与电力系统的接口

一次冷却水泵由变频器供电，应适应变频器输出的电源品质。

回流调节阀由正常交流电源系统供电，供电频率变化范围见表 2，压变化范围如表 3。

表 2 正常交流电源系统频率变化范围

运行方式		变换范围（Hz）	时间或最大概率	
			持续时间	累积时间或最大概率
正常状态		49.5~50.5	持续运行	
异常	No.1	49~49.5 50.5~52	1 小时	20 小时
	No.2	47~49（低频）	1~3 分钟	每 10 年 1 次
	No.3	52~53.5（高频）	1 分钟	每年 1~2 次
事故		正常电源：53.5~55 备用电源：53.5~57.5	几秒	寿期内 1 次

表 3 正常交流电源系统电压变化范围

系统	正常运行方式	异常运行方式	事故（低压）	事故（高压）
低压系统 Un=380V	0.95~1.05	0.85~0.9	0.65~0.85	1.1~1.4
		1.05~1.10		

在非正常情况下电压和频率变化值： $(U/U_n)/(f/f_n) \leq 1.13$

电压处于异常或事故运行方式的时间或最大概率：

- a) 异常：10 小时 累积 500 小时
- b) 事故（低压）：几分钟 10 年 1 次
- c) 事故（高压）：几秒钟^注 10 年 1 次

注：超过 1.25Un 小于 3 秒钟。

4.4.3 与土建的接口

一次冷却水泵机组底盘与泵房间基础焊接，再通过地脚螺栓安装在机组底盘上。

接管载荷后续根据供货方提供的一次冷却水泵结构计算后提供。

5 泵机组材料要求

5.1 材料的选用应与环境及使用条件相适应。

5.2 与输送介质接触的部件材料应能承受所输送介质的腐蚀与冲蚀，并且不将任何污染传给所输送介质而影响系统工艺使用的适用性。

5.3 所选用材料应具有检验合格证明，否则应按相应标准进行化学分析和机械性能试验，证明材料合格后方可使用。

5.4 泵壳应采用不锈钢材料。

5.5 承压边界零部件选材应满足 RCC-M 第 I 卷 D2000 中的相关要求。

5.6 对于非承压边界材料，供货方可自行选材，但应尽量选用 RCC-M 给出的材料牌号，或采用相应的国家标准材料（如若 RCC-M 不适用时），对不遵从 RCC-M 的材料应提供验收合格证。

6 泵机组制造、装配和相关检验要求

6.1 制造、装配

6.1.1 一次冷却水泵承压部件的制造应按照 RCC-M 第 I 卷 D4000、RCC-M 第 II 卷 M3000、RCC-M 第 III 卷 S 册、RCC-M 第 IV 卷 F 册等进行，应编制机组及其关键零部件的制造、焊接、清洗、装配、检验等制造技术文件，并按照制造技术文件开展产品的制造。

6.1.2 应在重要零部件的非工作面上进行编号标示，保证其具有可追溯性。

6.1.3 零部件的性质、尺寸、尺寸公差、形状和位置公差以及表面粗糙度应符合设计图样的要求。

6.1.4 供货方必须按评定合格的焊接工艺施焊，焊接必须由经考试合格的焊工承担，焊工的考试规则参照 HAF 603 的规定执行。

6.1.5 焊接前应对坡口表面及其邻近区域进行渗透检查。

6.1.6 装配前应记录所有零件的实际尺寸，装配应符合设计图样规定的要求。装配时应保持各零部件的清洁度。

6.2 检验

6.2.1 供货方应参照 RCC-M 第 I 卷 D4000、RCC-M 第 II 卷 M3000 及 RCC-M 第 III 卷 MC 册、RCC-M 第 IV 卷 S 册编制材料的检验和复验及各项无损检验的技术文件，并根据技术文件和本技术要求的规定进行材料的检验和复验及各项无损检验。

6.2.2 转动部件应做动平衡试验，动平衡的精度不低于 GB/T 9239.1 的 G1 级。

6.2.3 承压件、转轴、叶轮等重要零件材料的化学成分和力学性能均需进行检验，检验结果应满足本规格书和相关材料标准的规定。

6.2.4 焊接材料应对其熔敷金属的化学成分、力学性能进行检验。

6.2.5 非金属材料的化学成分和物理性能应满足相关标准的规定。

6.2.6 承压件应按相关要求进行 100% 体积检查，以确保其内部质量。

6.2.7 从事无损检验的人员应具有相应类别的资格证书，无损检验人员的资格应参照 HAF 602 执行。

6.3 清洁

6.3.1 供货方在泵制造完工和试验后出厂包装前均应按本节的规定进行全面的清洁，并保持到安装阶段。

6.3.2 一次冷却水泵的清洗和清洁度检查应按 RCC-M 第 V 卷 F6000 的要求执行。

6.3.3 目视检查泵的内外可达表面应无腐蚀产物及杂物，流道内不允许有任何污物和杂物。

6.3.4 对已清洁的泵应用密封堵塞件封闭进出口，包装所用的各种材料（包括临时性覆盖物）应干净。

6.3.5 清洁检查后必须填写检查报告，记录各阶段所进行的检查内容及检查结果。

6.4 标识

泵应设有供货方的铭牌标志，铭牌应注明以下内容：

- a. 泵名称；
- b. 泵编号；
- c. 设计压力；
- d. 设计温度；
- e. 制造厂名；
- f. 制造日期。

7 泵机组试验及验收要求

泵出厂前应至少完成下列试验并提供相应报告。

- a. 水压试验；
- b. 驱动电机试验；
- c. 泵机组试验。

在进行上述试验之前，供货方应完成制定相应的试验程序，并提交购买方审查。

7.1 水压试验

泵承压部件应进行强度水压试验，试验压力为 4.1.3 节规定的设计压力的 1.5 倍，保压时间 30min，保压期间不应有压力降，工件表面不得有渗漏、冒汗等现象。

7.2 驱动电机试验

驱动电机电气性能试验按 GB/T1032 执行，试验项目至少包括：

- a. 绕组绝缘电阻的测量；
- b. 绕组冷态直流电阻的测量；
- c. 空载特性测定；
- d. 堵转电流及堵转转矩的测定；
- e. 效率、功率因数及转差率的测定；
- f. 最大转矩测定。

7.3 泵机组试验

试验项目包括：

- a. 启停试验；
- b. 性能试验；
- c. 振动、噪声测定；
- d. 机械密封（若有）泄漏率监测；
- e. 运行试验。

泵机组性能试验按 GB/T 3216 规定进行，泵的流量测量按 GB/T 3214 执行，应通过性能试验确定各运行工况的泵机组转速和回流调节系统调节阀开度。

在这些试验期间，应验证整个泵机组运转是否正常。记录轴承温度，轴承温度不应该超出规定限值。

应测量轴承和支架的振动水平，在工厂试验期间，与振动要求值的任何大的偏差都应仔细进行分析，应采取必要措施，将其降低到要求值。

首台机组试验过程应累计运行至少 200 小时，包括 20 次启停。第二台机组试验过程应累计运行至少 50 小时，包括 5 次启停。

在完成这些试验后，应该拆解、检查所有部件，检查结果应合格。

8 配套变频器相关要求

一次冷却水泵为变频多级电动离心泵，供货方应配套提供匹配的变频器柜。变频器柜应满足系统对一次冷却水泵多种工况下的启停、调速、切换等控制要求。

8.1 配套变频器柜的供货和服务范围

8.1.1 供货范围

供货商应提供 2 套变频器柜（RPC001TB、RPC002TB）。

变频器每套变频器柜具体包括但不限于：

- 主电源开关及其组件（包含过电流保护及过电压保护装置）；
- 变频器（包含但不限于整流单元、输入输出滤波单元、逆变单元、其他中间电路单元等）；
- 控制与检测电子单元及其组件；
- 适用于各种截面的电缆连接件；
- 变频器成套机柜；
- 变频器柜与地面之间的固定件（螺栓和簧片）。

8.1.2 服务范围

供货商应提供变频器柜需要的各种服务，包括现场安装、调试的技术支持。

工厂交付的设备应按照有关规范的运输方法进行包装和装运。

供货商的服务范围具体包括：

- （1）变频器柜的详细设计；
- （2）材料和元器件的采购、审查和验收；
- （3）按照本规格书的要求在工厂制造、试验和检查设备；
- （4）按照本规格书的验收原则和标准进行工厂试验和制造完工检查；
- （5）变频器柜的现场安装、调试、试运行等。
- （6）提供下列文件，这些文件（包括但不限于）：
 - 接线图；
 - 端子连接图；
 - 设定值和报警手册；
 - 电气接口文件；
 - 土建需求文件；
 - 出厂验收大纲；
 - 出厂验收报告；
 - 运行和维护手册。

8.2 技术要求

8.2.1 原则和功能要求

变频器柜是负责一次冷却水泵启停、调速的控制与保护设备。每台变频器柜负责一台一次冷却水泵。系统内主用水泵与备用水泵的切换由 DCS 负责。其主要功能如下。

8.2.1.1 供电功能

为一次冷却水泵提供动力电源，其电源容量、输出电压、电流、频率等参数可满足泵变频启动、额定运行、高低速变频运行切换等工况下的供电需求。变频器采用交直交（AC-DC-AC）结构，具备良好的调速性能和能量转换效率，以提高系统的稳定性和可靠性。

8.2.1.2 控制功能

变频器柜根据外部控制信号，输出满足要求的变频电压，实现一次冷却水泵电机在启动、停止、额定运行、变频调速、本地/远程控制切换、主用/备用电机切换等不同工况下的控制。

8.2.1.3 保护报警功能

变频器柜提供过欠压、过流、过载、超温、缺相、短路、三相电流不平衡、接地故障、IGBT 运行异常、IGBT 驱动异常等保护报警功能；提供通讯异常、控制电源异常等保护报警功能，同时提供相应的故障信号指示。

变频器柜保护开关均应具有隔离功能，包括主回路、风扇电源回路其他控制回路保护开关。开关处于隔离位置应通过肉眼就可以观察。

8.2.1.4 信息采集、显示与信号传输功能

变频器柜提供对设备运行状态信息的实时采集，可及时向本地数显装置及远程控制屏提供相应的自检、运行及故障信号。

8.2.1.5 其他功能

变频器柜设置数字化操作显示界面，用于变频器参数配置。

变频器柜设置就地/远程、工频/变频两种运行控制的切换装置：

a) 变频器柜处于就地控制模式时，不响应任何外部控制信号，但可通过柜体面板操作显示界面设置变频参数实现相应的变频电压输出，满足调试需求；

b) 变频器柜处于远程控制模式时，水泵变频器的运行方式，运行频率、主用/备用状态、加减速时间、运行时间等各种工况参数均可由远程人机界面操作。仅有事故紧急停机功能可通过就地柜体面板紧急停机按钮操作；

c) 变频器柜处于变频运行模式时，可接收就地或远程控制信号，输出满足要求的变

频电压，实现泵的变频控制。变频器柜处于工频运行模式时，变频器不接受任何变频指令。

8.2.2 负载特性

变频器柜的负载为一次冷却水泵，其技术性能指标详见本规格书第 4.1.3 条。

8.2.3 电气技术特性

每台变频器柜中变频控制线路电气特性见表 4 所示。

表 4 变频器柜电气特性参数表

项目 \ 参数		技术数据
输出	额定容量	$\leq 18.5\text{kW}$
	额定电流	$\leq 38\text{A}$ （计算值，以真实负载为准）
	过载能力	额定电流的 150%，每 10 分钟持续 1 分钟
	额定电压、频率、线制	三相 380V 交流、50Hz、三线制
	电源品质 （额定运行状态下）	输出电压范围：0V~380V 输出频率范围：0Hz~50Hz 输出频率精度： $\geq 0.5\%$ （相对于最高输出频率） 功率因数： $\cos\phi \geq 0.97$ 输出电压三相不平衡度： $\leq \pm 5\%$ 输出电流总正弦性畸变率： $\leq 5\%$ 输出电流最大单次谐波含量： $\leq 3\%$
输入	电压、频率	供电电源电压及频率的变化范围：详见 8.2.4.1 条 控制电源电压及频率的变化范围：详见 8.2.4.2 条
其它参数	运行方式设定	就地/远程、工频/变频运行可设、调节运行频率可设、调节运行时间可设、调节加速时间可设、调节减速时间可设等
	调速范围	额定转速 5%~100%
	变频器效率	自身不小于 98%，在额定负载条件下不小于 96%
	响应时间	5Hz~50Hz， $\geq 10\text{s}$ （加速与减速需同时满足）
	输出频率分辨率	数字设定：0.01 Hz
	时间分辨率	数字设定：0.1 s
	控制方式	多极正弦 PWM 控制
	运行电流限制	额定电流的 200%

参数		技术数据
项目	冷却方式	强制风冷
	噪声	额定运行噪声不超过 65dB (A 计权)
	分合闸控制电源	单相 220V 交流
其他要求	测量显示要求	具备输入输出电压、电流、频率等必要参数的就地实时显示功能
	数据波形记录	具备输入输出电压、电流等数据波形的记录存储功能
	记录与存储	具备操作日志与故障报警记录、储存功能

8.2.4 接口要求

8.2.4.1 供电电源接口

变频器柜由正常交流电源系统供电，供电频率变化范围见表 2，供电电压变化范围如表 3，其余要求详见 4.4.2 节。

变频器柜对供电系统电压的波动应有较强的适应能力，在异常情况下应能满载输出。

8.2.4.2 控制电源接口

- 额定电压 : 220VAC
- 电压正常范围 : 200V 到 231VAC
- 电压异常范围 : 187V 到 242VAC
- 频率正常范围 : 49.5Hz 到 50.5Hz
- 频率异常范围 : 47Hz~49.5Hz、50.5Hz~52Hz

8.2.4.3 信号接口

变频器柜的接口信号包含但不限于：

- 硬接线接口输入信号

启动/停止：控制变频器的启动和停止；

就地/远程切换：用于切换变频器的控制模式；

工频/变频切换：用于切换变频器的运行模式；

主用/备用切换：一次冷却水泵系统内主用泵和备用泵的切换信号；

变频控制信号：通过（4~20）mA 的模拟信号设定电机的运行频率；

复位：用于复位变频器的故障状态；

急停：用于紧急情况下停止变频器。

- 硬接线接口输出信号

运行状态: 反馈变频器当前的运行状态, 如运行、停止、故障等;

速度反馈信号: 通过 (4~20) mA 模拟信号提供电动机的实际运行速度。

故障报警信号: 当变频器检测到故障时, 输出报警信号。

- 网络接口输出信号

主电源状态: 变频器主电源状态, 包含主电源的电压、频率、电流状态等;

控制电源状态: 变频器控制电源的状态, 包含控制电源的电压、频率状态等;

就地/远程状态反馈: 用于显示变频器的控制模式;

工频/变频状态反馈: 用于显示变频器的运行模式;

变频器输出电源状态反馈: 变频器提供给负载的实际电压、频率、电流状态等;

电机保护故障报警: 通过预设值实现过载、过热、短路等保护动作前预警, 确保设备安全运行;

电气保护故障报警: 包含变频器控制单元、整流单元、逆变单元、滤波单元异常报警, 及强制风冷系统故障、温度异常报警。

变频器柜的网络接口协议应满足本项目 DCS 的接口要求。

8.2.5 物理特性

8.2.5.1 外形尺寸

RPC001TB 与 RPC002TB 最大尺寸不超过:

- 高度 1800mm
- 宽度 600mm
- 深度 600mm

8.2.5.2 防护等级

RPC001TB 与 RPC002TB 最低防护等级为 IP32。

8.2.5.3 元件布置

变频器柜内元件布置应确保:

- 1) 在必要时, 能方便快速地更换各种元件;
- 2) 容易接近各个测量点;
- 3) 遵守带电部分和地之间所要求的距离, 以便确保有良好的绝缘;
- 4) 为了使进出线电缆的连接方便, 应根据电缆的截面来正确地确定连接件的尺寸;
- 5) 确保所有元件处于良好的自然通风状态。

所有的设备应经过相应检验或入厂复验, 以满足长期运行情况下出现的各种工况。

8.2.6 制造要求

变频器柜由顶部或底部进、出线。

变频器柜的门应装设锁和钥匙。

变频器柜外壳和门采用镀层钢板经数控机床加工和折弯之后在专用夹具上组装栓接而成。变频器柜为固定安装式结构, 柜体构架、面板、盖板等应平整坚固, 构架四边由结构型钢或型钢结构件制成。电气柜底部需向内折边, 便于电气柜固定在基础上。柜子的顶部设置四个吊装装置。

变频器柜的外壳盖板和门必须具有足够的强度, 正常操作和维护不需打开的盖板应不使用工具则不能打开、拆下或移动, 而正常操作和维护需要打开的盖板和门应不需要工具能打开或移动。

变频器柜的内部布置应满足正面检修的需求, 确保所有需要定期检查和维护的部件都能方便地从正面接近和操作。所有关键电气部件和控制元件应布置在柜门的正面, 以便于维护人员进行检查和操作。高频和高热部件应布置在柜内通风良好的区域, 以确保散热效果。柜内应留有足够的操作空间, 确保维护人员在打开柜门后能够轻松进行检修和更换部件。柜门打开后, 内部部件不应阻碍维护人员的进出路径。

变频器柜必须配备强制风冷系统并安装温度传感器, 实时监测内部温度。风扇的总风量应根据变频器的功率和环境温度进行装配, 以确保内部电子元件在高温环境下能够正常工作。风冷系统应能适应不同的环境温度, 确保在第 8.2.12 条要求的环境下均能正常工作。风冷系统应设计为易于维护, 风扇和过滤装置应方便拆卸和更换。柜内应设计合理的气流路径, 确保空气从进风口到出风口的流动顺畅。变频器柜进风口应安装过滤装置, 防止灰尘、杂质进入柜内, 影响设备的正常运行。

柜内的一根接地铜排将确保整个柜体的接地。

门和接地线之间用截面不小于 2.5mm^2 的跨接线进行连接。

柜体的颜色为和种类应符合 YTD-WP-JS13 技术文件相关要求。

配线导线和电缆应遵守 YTD-WP-JS14 技术文件相关要求。

导线按两种方式进行识别: 下游设备用标签的方式识别; 功能识别利用颜色-编码套管, 相关规定应满足 YTD-WP-JS15 技术文件相关要求。

与设备的连接应采用预先绝缘的接头。

导线和电缆必须引到端子排。

电缆和导线应是低烟、无卤和阻燃的。

每个机柜的正面固定一块铭牌, 每个机柜由一块按要求刻字的金属板来识别, 相关规定应满足 YTD-WP-JS34 技术文件相关要求。

机柜及其子部件应满足电磁兼容要求。

8.2.7 绝缘电阻和介电强度

在正常运行范围内, 对各种环境条件 (详第 8.2.12 条) 的绝缘电阻和介电强度进行测量:

- 1) 在回路和地之间, 或者在两个独立的回路之间测量绝缘电阻值;
- 2) 对于 380V 交流回路, 在回路和地之间, 或者在两个独立回路之间, 用交流 50Hz、2500V 的介电试验电压, 施加试验电压的时间为一分钟;
- 3) 对于 220V 交流及 220V 直流回路, 在回路和地之间用交流 50Hz、2000V 的介电试验电压, 施加试验电压的时间为一分钟。

8.2.8 接地

机柜的金属壳体或可能带电的金属件与接地端子之间, 必须具有可靠的电气连接。

用黄绿双色软线将可移动的面板和门与固定部分相连, 以确保其金属接地。当可移动的面板和门被打开时, 这些软线不承受机械力。

接地母线应接到接地系统, 接地系统的特性应满足 RCC-E D 4000 的要求。

8.2.9 导线、电缆和有关的配件

机柜内的导线和电缆的截面按其流过的电流大小来确定。电缆截面为:

- 1) 对于测量、控制和信号回路, 不小于 0.75mm^2 ;
- 2) 对于电压测量回路, 不小于 2.5mm^2 ;
- 3) 对于极性配电系统和柜内元件的接地, 不小于 4mm^2 。

对于导线和母线必须遵循的颜色规范是:

- 1) 红色: 正极导线;
- 2) 蓝色: 负极导线;
- 3) 灰色: 其它用途导线;
- 4) 绿色-黄色: 接地线;
- 5) 2 芯导体(单相): 相线为红色, 中性线为蓝色;
- 6) 3 芯导体(三相): U 相黄色, V 相绿色, W 相红色。

如果柜内不能提供上述颜色的导线, 应尽可能提供相同颜色的热缩管。

专用电路、印刷电路等所用导线的截面可以与上述规定不同。

电缆和导线必须用线夹、电缆槽支撑, 或者使用由供货商所规定的其它方式支撑。

电缆和导线的敷设, 应易于接近和方便更换每个元件。

所有连接都应进行正确地机械固定。

端子必须使用隔板分隔, 以免发生短路。

应根据连接电缆的规格, 确定端子和端子排。供货商应正确选择这些元件的型号和连接容量。

电源端子应和相应回路的控制端子, 进行实体分隔 (见 RCC-E E 3412 要求)。

在 RCC-E E 4000 中给出了机柜布线用的导线和接到导线上的曲折形连接片的要求。线槽的尺寸要能承接额外的导线。在确定控制端子的数量时应考虑大约 20% 的裕量。

8.2.10 标志、标记及机柜颜色

柜内的电气元件, 均应标上永久性的文字符号。在接线座和导线上, 应明显地标出标号。

在接地端子旁, 需明显地标出接地符号。

机柜颜色: RAL 5024。

8.2.11 变频器柜的分级

设备安全等级: NS

质保等级: QAN

抗震等级: NE

鉴定等级: NO

8.2.12 环境条件

8.2.12.1 设备未运行时的环境条件

- 温度 : $-10^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$
- 相对湿度 : 100%
- 水 : 喷洒

这些条件将用于在运输、贮藏和安装期间的设备。

8.2.12.2 运行条件

设备正常运行时

- 温度 : $-5^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$
- 大气压 : 95kPa~100kPa

-相对湿度 : 70%

8.3 元器件采购和有关的验收

8.3.1 一般采购要求

8.3.1.1 材料

机柜所有材料的质量应适用于相应的使用条件，不应有任何缺陷。

8.3.1.2 元器件

供货商在采购元器件之前应向购买方提交下列文件：

- 计划采购的设备和分包商清单；
- 采购规格书；
- 试验和检查程序。

这些文件需根据 RCC-E 中 A3310 和 A3500 的要求进行制定。

8.3.2 材料验收标准

供货商应将试验报告、检查结果以及所有合格证书提交给购买方。

8.3.3 元器件验收标准

机柜中使用的元器件必须符合本规格书要求的技术性能。

供货商应向购买方提交下列文件：

- 1) 一份包括元器件检查、元器件标志和标记的文件；
- 2) 一份包括下列内容的文件：
 - a) 介电强度试验；
 - b) 绝缘电阻测量；
 - c) 标定和整定值。

这些文件应按照 RCC-E A3520 的要求进行制定。

8.4 制造和有关的检查

8.4.1 一般要求

详见本规格书第 2 章内适用标准和文件。

8.4.1.1 出入制造厂的车间

在设计、制造和设备试验期间，购买方和它的代表以及代理商可以自由的出入制造厂的车间。

8.4.1.2 质量计划

供货商应提供一份包括所有分包商名称的详细设备元件清单。

在制造、装配、试验和检验期间，应提供一份完成工作的质量计划表。

8.4.1.3 制造文件

在供货商的技术要求中, 应规定制作、制造工艺、工具、检验和试验所用的法规。

在供货商的规格书中, 应规定制作、制造工艺、工具、检验和试验所用的规则。

供货商除了执行设备规格书的所有规定外, 还应完成各种分析、检验、试验或者自己认为为保证质量所必需的其它工作。

根据质量计划的要求, 供货商还必须编制一份制造技术程序, 以保证制造的产品符合技术规格书的要求。

制造结束后, 供货商应根据试验大纲的要求, 完成所需的各项试验, 并编制一份制造完工报告。

8.4.2 特殊要求

供货商应保证在制造期间采取必要的预防措施, 以防止使用的材料和元件的质量受不利因素的影响。

8.4.3 制造检查

供货商将核实设备的加工尺寸和设备的装配尺寸的偏差最终保持在设计的容许范围内, 并且应按互换性标准进行校验。

8.5 工厂验收试验和检查

在供货商的职责范围内, 在有购买方代表的情况下, 在供货商的工厂内对设备进行验收试验。

8.5.1 型式试验

变频器柜的型式试验内容主要包括:

电气性能、交变湿热、温升、环境温度、额定电流、纹波和谐波、组件和设备功率损耗、功率因数、电磁兼容等试验。

变频器柜的电磁兼容性能及其试验方法应符合 GB/T 12668.3-2012《调速电气传动系统 第3部分: 电磁兼容性要求及其特定的试验方法》规范中第5章及第6.1~6.4节的强制性要求。电磁兼容试验项目应包含但不限于以下内容:

- 谐波和换相缺口/电压畸变抗扰度、电压偏差、电压跌落和短时中断抗扰度、电压不平衡和频率变化抗扰度等低频骚扰抗扰度试验(试验条件、试验方法及性能验收准则均满足 GB/T 12668.3-2012 规范内第 5.2.2.1 条表 2、第 5.2.3.1 条表 5、第 5.2.4.1 条表 8 对第二类环境 C3 类设备的要求);

- 静电放电抗扰度、射频电磁场辐射抗扰度、电快速瞬变脉冲群抗扰度、浪涌(冲击)抗扰度、射频场感应的传导骚扰抗扰度等高频骚扰抗扰度试验(试验条件、试验方法及性

能验收准则均应满足 GB/T 12668.3-2012 规范内 5.3.3 条表 12 对第二类环境 C3 类设备的要求)。

- 低频发射、骚扰电压、辐射性发射等发射类试验(试验条件、试验方法及性能验收准则均应满足 GB/T 12668.3-2012 规范内 6.1 条表 13 对第二类环境 C3 类设备的要求)。

如果各设备的样机已完成并通过上述试验,则无需再次进行试验。

8.5.2 出厂试验

出厂试验应根据双方确认的验收大纲要求进行。出厂试验至少应包括(但不限于)如下内容。

8.5.2.1 外观和机械检查

外观和机械检查应按照 RCC-E MC 2000 的规定来执行。检查内容包括:尺寸、标志、油漆、门锁、接线、实体隔离等。

8.5.2.2 介电强度

应按照 RCC-E MC 3100 的规定,以及 8.2.7 条的要求进行介电强度检查。

验收标准:不应出现放电、击穿和飞弧。在用交流电做试验时泄漏电流低于 10mA,在用直流电做试验时泄漏电流低于 1mA。

8.5.2.3 绝缘电阻测量

按照 RCC-E MC 3200 的规定,以及 8.2.7 条的要求进行测量绝缘电阻。

验收标准:绝缘电阻不应小于 100M Ω 。

8.5.2.4 机械接地的电气连续性检查

按照 RCC-E MC 3300 规定的条件进行检查。

验收标准:当测量的电阻值低于 0.1 Ω 时,试验合格。

8.5.2.5 功能试验

变频器柜的功能试验包括:

- 1) 对变频器柜的控制和保护设备等进行检查;
- 2) 变频器柜空载试验,其指示、通讯、动作以及输出电压等应正确;
- 3) 单个变频器柜带载(模拟负载)试验,包括稳定和动态带载试验,其输出电压、电流、变频调速、噪声等应满足 8.2.3 条的要求;

8.5.2.6 负载验证试验

变频器柜带一次冷却水泵真实负载试验,包括稳定、动态运行,启停、调速等,应满足本技术规格书要求。

9 质量保证

在一次冷却水泵及其变频器柜的设计以及生产制造中,供货方应按合同规定的质量管理要求建立质量管理体系,并严格执行 HAF003 的要求。

10 包装、运输及贮存

供货方应按合同和相关技术文件要求制定泵机组和变频器柜的包装、贮存和运输程序,并按这些程序要求进行包装、贮存和运输,应符合 NB/T 20408-2017 的要求。

11 提交文件

供货方应提供经审核的、满足设计内容和设计要求的说明书、计算书、图纸等技术文件。所有技术文件应提供纸质文档和电子文档(含三维设计电子版)。

- a. 泵机组设计说明书;
- b. 泵机组转子动力学计算报告;
- c. 泵机组应力分析报告;
- d. 机组抗震分析报告;
- e. 电机主接线盒接线图;
- f. 泵机组外形图(含电机、泵外形尺寸、重量、重心、接线盒位置及尺寸和所有外部接口信息);
- g. 泵机组总装图(含零部件清单及材料清单);
- h. 仪表接线图和接线盒的端子接线图;
- i. 泵性能曲线(包括扬程、轴功率、效率、NPSHr 随流量的变化曲线,并注明泵机组的转速及回流调节系统调节阀开度);
- j. 电机工作特性曲线(输入功率、电流、功率因数、效率和转差率与输出功率关系曲线);
- k. 泵机组数据表(包括泵机组散热、泵和电机技术参数、设备数据、消耗品数据等);
- l. 仪表清单(包括仪表名称、编号、型号、输出信号类型、精度、信号处理要求、仪表测量范围、测量参数的正常值、报警值等);
- m. 试验程序及报告(含动平衡试验、水压试验、电机试验、机组试验等);
- n. 包装、吊装、贮存和运输程序;
- o. 泵机组安装、调试技术要求;
- p. 泵机组运行维护手册;
- q. 配套变频器(柜)需提交文件详见 8.1.2 节;
- r. 竣工图;

- s. 铭牌图；
- t. 制造完工报告

附录 楼层反应谱

根据《试验堆主厂房楼层反应谱楼层反应谱》（编号：HB2126-MA-JGB001-C），反应谱见下表。

一次冷却水泵基座所在楼层标高为-6.6 米，运行安全地震动（SL-1）取阻尼比为 2%的反应谱，极限安全地震动（SL-2）取阻尼比为 3%的反应谱。

标高在两个楼层标高之间的设备，楼层反应谱可包络取上一楼层标高反应谱。

SL-1: 试验堆主厂房标高-6.70M X 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 2%
0.1	0.063224
0.17	0.28399
0.2125	0.40333
0.25503	0.48766
0.34	0.64587
0.425	0.84783
0.5099	1.0029
0.59482	1.1945
0.68	1.4238
0.76508	1.5571
0.85	1.7268
0.93509	1.9936
1.0204	2.1685
1.1053	2.3562
1.1905	2.4445
1.2744	2.6566
1.36	3.0165
1.4456	3.2085
1.5288	3.3471
1.616	3.5729
1.7	3.8409
1.7857	3.9426
1.8681	4.2441
1.954	4.4271
2.0384	4.6315
2.125	4.8733
2.2078	4.9087
2.4638	4.9776
2.5526	5.0582
2.6814	5.2569
2.8053	5.3474
2.931	5.3972
3.0576	5.5904
3.5714	5.6177
3.7445	5.7212
3.9171	5.882
4.0865	6.1735
4.25	6.3109
4.4737	6.9188
4.6703	7.1605

频率 Hz	阻尼比 2%
4.8851	7.754
5.3125	8.3977
5.7432	8.6038
7.1875	8.6038
7.2034	8.7051
9.7458	8.7051
10.3604	7.6668
11.5	7.5254
12.1053	7.177
12.6374	6.7834
13.2184	5.5279
13.8554	4.8751
14.375	4.5739
14.9351	3.9274
15.5405	3.8794
16.1972	3.5564
16.6667	3.032
17.1642	3.0236
20.5357	2.6445
23	2.2493
25	2.1045
28.75	2.0634
31.9444	1.8359
35.9375	1.8067
41.8182	1.7712
46	1.7282
54.7619	1.7282
56.6667	1.7292
76.6667	1.7292
85	1.7238
100	1.7238

SL-1： 试验堆主厂房标高-6.70M Y 向包络谱值（单位： m/s^2 ）

频率 Hz	阻尼比 2%	频率 Hz	阻尼比 2%
0.1	0.089599	5.7432	8.0513
0.17	0.42854	5.9441	8.2858
0.23	0.42854	6.8	8.3579
0.25	0.38203	7.6577	8.425
0.25503	0.5001	8.5	9.3007
0.34	0.6515	11.5	9.3007
0.425	0.83494	12.1053	8.7261
0.5099	1.0093	12.6374	6.9788
0.59482	1.1672	13.8554	5.3532
0.68	1.3272	14.375	4.6158
0.76508	1.5405	14.9351	4.0312
0.85	1.7556	15.5405	3.7512
0.93509	1.9167	16.1972	3.5759
1.0204	2.1876	16.6667	3.128
1.1053	2.3727	18.254	3.1258
1.1905	2.5272	19.4915	2.9912
1.2744	2.7562	20.5357	2.7964
1.36	2.9254	21.25	2.2195
1.4456	3.1658	26.1364	2.2195
1.5288	3.279	28.75	1.9307
1.616	3.6109	31.9444	1.8789
1.7	3.6451	38.3333	1.7594
1.7857	4.1667	40	1.7417
1.954	4.4475	46	1.7417
2.0384	4.6149	54.7619	1.7258
2.125	4.8059	56.6667	1.7126
2.2078	4.8863	76.6667	1.7126
2.2973	4.9225	85	1.7006
2.381	5.0829	100	1.7006
2.8011	5.0829		
2.8053	5.4116		
3.2319	5.4845		
3.4	5.6712		
3.5714	6.0628		
4.2017	6.0628		
4.25	6.2828		
4.4737	6.697		
4.8851	6.8027		
5.0898	7.2681		
5.3125	8.0391		

SL-1: 试验堆主厂房标高-6.70M Z 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 2%
0.1	0.078491
0.17	0.23863
0.2125	0.26419
0.25503	0.31834
0.34	0.44629
0.425	0.55322
0.5099	0.68526
0.59482	0.77571
0.68	0.92081
0.76508	1.0599
0.85	1.1685
0.93509	1.2891
1.0204	1.4047
1.1053	1.5649
1.1905	1.6376
1.2744	1.7975
1.36	1.9371
1.4456	2.0388
1.5288	2.2315
1.616	2.3087
1.7857	2.4327
1.8681	2.73
1.954	2.7392
2.0384	2.8668
2.125	3.0951
2.2078	3.1998
2.2973	3.227
2.381	3.546
2.4638	3.5901
2.6814	4.0303
2.8053	4.3165
3.2319	4.3858
3.5714	4.5704
3.7445	4.7336
4.0865	4.7715
4.4737	4.8428
4.6703	4.8573
4.8851	5.0047
5.0898	5.062
5.3125	5.4135

频率 Hz	阻尼比 2%
5.7432	5.6705
6.5891	5.6941
7.2034	5.7249
8.0952	5.8145
8.5	6.3971
11.5	6.3971
12.6374	5.8957
12.6866	5.5251
14.9351	5.5251
15.5405	5.297
17.1642	5.2508
19.4915	4.2666
20	3.0677
23	3.0677
26.1364	2.4951
28.75	1.922
31.9444	1.743
35.9375	1.6788
41.8182	1.6348
46	1.5753
54.7619	1.5052
56.6667	1.5013
76.6667	1.5013
85	1.486
100	1.486

SL-2: 试验堆主厂房标高-6.70M X 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 3%
0.1	0.12488
0.17	0.54992
0.2125	0.76466
0.25503	0.92205
0.34	1.2329
0.425	1.569
0.5099	1.9097
0.59482	2.1829
0.68	2.6369
0.76508	2.9345
0.85	3.2596
0.93509	3.7203
1.0204	4.0209
1.1053	4.4071
1.1905	4.5827
1.2744	4.9368
1.36	5.4876
1.4456	5.9108
1.5288	6.0783
1.616	6.5067
1.7	6.7112
1.7857	6.8216
1.8681	7.6275
1.954	8.0043
2.0384	8.3276
2.125	8.7542
2.2078	8.7542
2.4638	8.9031
2.5526	9.1919
2.6814	9.1919
2.8053	9.2793
2.931	9.3545
3.0576	9.7987
3.5714	9.9955
3.7445	10.1332
3.9171	10.4526
4.0865	10.7435
4.25	11.4035
4.4737	12.1603
4.6703	12.306

频率 Hz	阻尼比 3%
4.8851	12.7539
5.3125	13.7165
5.7432	13.7842
7.7703	13.7842
8.3333	13.7287
9.7458	13.0812
10.3604	13.0538
11.5	12.8209
12.1053	11.5175
12.6374	10.6332
13.2184	9.8117
13.8554	8.6564
14.375	8.3758
14.9351	7.001
15.5405	6.5684
16.1972	6.0981
16.6667	5.5354
17.1642	5.3954
20.5357	4.8687
23	4.3324
25	4.1436
26.1364	4.0916
28.75	4.0541
31.9444	3.6144
35.9375	3.4895
41.8182	3.4302
46	3.3744
54.7619	3.3744
56.6667	3.3529
76.6667	3.3529
85	3.3419
100	3.3419

SL-2: 试验堆主厂房标高-6.70M Y 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 3%
0.1	0.16308
0.17	0.75693
0.23	0.75693
0.25	0.73404
0.25503	0.94143
0.34	1.2445
0.425	1.5741
0.5099	1.9194
0.59482	2.1957
0.68	2.4522
0.76508	2.8981
0.85	3.1543
0.93509	3.4203
1.0204	4.078
1.1053	4.3803
1.1905	4.6909
1.2744	4.9997
1.36	5.2557
1.4456	5.776
1.5288	6.1421
1.616	6.5985
1.7	6.5985
1.7857	7.3239
1.954	8.1
2.0384	8.1
2.125	8.6425
2.2078	8.8424
2.2973	8.8424
2.381	9.1544
2.8011	9.1544
2.8053	9.403
3.2319	9.8806
3.4	9.8806
3.5714	10.6405
4.2017	10.6405
4.25	10.8153
4.4737	11.4431
4.8851	11.5457
5.0898	12.3006
5.3125	13.126

频率 Hz	阻尼比 3%
5.7432	13.5174
5.9441	13.8428
8.042	13.8428
8.5	14.4253
11.5	14.4253
12.1053	13.2945
12.6374	11.5741
13.2184	9.931
13.8554	8.9482
14.375	8.122
14.9351	7.0831
15.5405	6.9551
16.1972	6.3953
16.6667	5.9567
18.254	5.5118
19.4915	5.354
20.5357	5.217
21.25	4.23
26.1364	4.23
28.75	3.7311
31.9444	3.595
38.3333	3.4393
40	3.4051
46	3.4051
54.7619	3.3867
56.6667	3.3605
76.6667	3.3605
85	3.3366
100	3.3366

SL-2: 试验堆主厂房标高-6.70M Z 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 3%	频率 Hz	阻尼比 3%
0.1	0.15172	5.7432	9.6651
0.17	0.45826	7.7703	9.6651
0.2125	0.50421	8.0952	10.1787
0.25503	0.61611	8.5	11.3384
0.34	0.85472	11.5	11.3384
0.425	1.0529	12.1053	9.5865
0.5099	1.3034	12.6374	9.5865
0.59482	1.4402	12.6866	9.0827
0.68	1.687	14.9351	9.0827
0.76508	1.9316	15.5405	9.0827
0.85	2.1751	17.1642	8.808
0.93509	2.3335	18.254	7.5115
1.0204	2.5763	19.4915	7.5115
1.1053	2.7653	20	5.8783
1.1905	2.9442	23	5.8783
1.2744	3.3032	26.1364	4.7038
1.36	3.5673	28.75	3.82
1.4456	3.5901	31.9444	3.3856
1.5288	3.905	35.9375	3.1744
1.616	4.0869	41.8182	3.1744
1.7857	4.5151	46	3.0904
1.8681	4.9835	54.7619	2.9876
1.954	4.9835	56.6667	2.9624
2.0384	5.1954	76.6667	2.9624
2.125	5.4213	85	2.934
2.2078	5.7872	100	2.934
2.2973	5.7872		
2.381	6.3937		
2.4638	6.5589		
2.6814	7.2106		
2.8053	7.3906		
3.2319	7.9003		
3.5714	8.0508		
3.7445	8.1984		
4.0865	8.1984		
4.4737	8.4268		
4.6703	8.7089		
4.8851	8.7089		
5.0898	8.7424		
5.3125	9.1843		

SL-1: 试验堆主厂房标高-2.80M X 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 2%
0.1	0.063248
0.17	0.28401
0.2125	0.40341
0.25503	0.48775
0.34	0.64598
0.425	0.84808
0.5099	1.0031
0.59482	1.1954
0.68	1.4251
0.76508	1.5578
0.85	1.7278
0.93509	1.9964
1.0204	2.1724
1.1053	2.3593
1.1905	2.4517
1.2744	2.6617
1.36	3.0243
1.4456	3.2145
1.5288	3.3594
1.616	3.5782
1.7	3.851
1.7857	3.9543
1.8681	4.261
1.954	4.4423
2.0384	4.6578
2.125	4.8975
2.2078	4.9436
2.4638	5.021
2.5526	5.1101
2.6814	5.3206
2.8053	5.4069
2.931	5.4461
3.0576	5.6453
3.2319	5.6485
3.5714	5.7056
3.7445	5.8357
3.9171	5.9903
4.0865	6.257
4.25	6.4061
4.4737	7.0659

频率 Hz	阻尼比 2%
4.6703	7.3066
4.8851	8.0116
5.3125	8.5989
5.7432	8.9581
7.1875	8.9581
7.2034	9.4316
9.7458	9.4316
10.3604	8.3248
11.5	7.8717
12.1053	7.6294
12.6374	7.2881
13.2184	5.8609
13.8554	5.1263
14.375	4.8835
15.5405	4.6631
16.1972	4.3572
16.6667	3.7697
17.1642	3.6842
18.254	3.2359
19.4915	2.6389
20.5357	2.4794
21.25	2.0845
25	2.0845
28.75	2.0056
31.9444	1.7563
35.9375	1.6978
40.4762	1.6828
54.7619	1.6828
56.6667	1.6589
76.6667	1.6589
85	1.6554
100	1.6554

SL-1: 试验堆主厂房标高-2.80M Y 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 2%
0.1	0.089607
0.17	0.42855
0.23	0.42855
0.25	0.38206
0.25503	0.50016
0.34	0.65169
0.425	0.83504
0.5099	1.01
0.59482	1.1679
0.68	1.3277
0.76508	1.5408
0.85	1.7571
0.93509	1.9185
1.0204	2.1912
1.1053	2.3771
1.1905	2.5313
1.2744	2.7604
1.36	2.9312
1.4456	3.1753
1.5288	3.2907
1.616	3.6224
1.7	3.6522
1.7857	4.1823
1.954	4.4697
2.0384	4.6374
2.125	4.8274
2.2078	4.9036
2.2973	4.9503
2.381	5.1164
2.8011	5.1164
2.8053	5.4682
3.2319	5.5653
3.4	5.7534
3.5714	6.169
4.2017	6.169
4.25	6.3898
4.4737	6.8323
4.8851	6.9916
5.0898	7.4187
5.3125	8.352

频率 Hz	阻尼比 2%
5.9441	8.5065
6.8	8.8028
7.6577	8.922
8.5	10.1322
11.5	10.1322
12.1053	9.3542
12.6374	7.8015
13.2184	6.14
13.8554	6.0841
14.375	5.4931
14.9351	4.8413
15.5405	4.3813
16.1972	3.8663
16.6667	3.6142
17.1642	3.4572
20.5357	3.0316
23	2.2541
25	2.0839
26.1364	2.0162
28.75	1.8951
31.9444	1.8573
33.3333	1.8258
34	1.833
46	1.833
54.7619	1.8175
56.6667	1.8005
76.6667	1.8005
85	1.7831
100	1.7831

SL-1: 试验堆主厂房标高-2.80M Z 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 2%
0.1	0.078488
0.17	0.23859
0.2125	0.26414
0.25503	0.31836
0.34	0.44621
0.425	0.55303
0.5099	0.68506
0.59482	0.77543
0.68	0.91968
0.76508	1.0595
0.85	1.1673
0.93509	1.2898
1.0204	1.405
1.1053	1.5665
1.1905	1.6393
1.2744	1.7967
1.36	1.9373
1.4456	2.0366
1.5288	2.2273
1.616	2.3027
1.7857	2.4335
1.8681	2.7145
1.954	2.7394
2.0384	2.8554
2.125	3.0921
2.2078	3.2005
2.2973	3.2315
2.381	3.5537
2.4638	3.591
2.6814	4.0382
2.8053	4.2587
3.2319	4.3945
3.5714	4.5873
3.7445	4.7611
4.6083	4.7611
4.6703	4.7878
4.8851	4.8978
5.0898	4.9715
5.3125	5.5034
5.7432	5.5052

频率 Hz	阻尼比 2%
6.391	5.6913
6.5891	5.8211
8.4746	5.8211
8.5	6.2977
11.5	6.2977
11.9718	5.3991
14.9351	5.3991
15.5405	5.1388
16.1972	5.044
17.1642	4.9975
18.254	3.8738
19.4915	3.5854
20.5357	2.9235
23	2.9021
26.1364	2.3971
28.75	1.9209
31.9444	1.7455
35.9375	1.693
41.8182	1.5465
46	1.5361
54.7619	1.4589
56.6667	1.4159
76.6667	1.4159
85	1.4064
100	1.4064

SL-2: 试验堆主厂房标高-2.80M X 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 3%
0.1	0.12488
0.17	0.54983
0.2125	0.76486
0.25503	0.92229
0.34	1.2332
0.425	1.5697
0.5099	1.9106
0.59482	2.1847
0.68	2.6397
0.76508	2.9357
0.85	3.2615
0.93509	3.7256
1.0204	4.0285
1.1053	4.4127
1.1905	4.5943
1.2744	4.9495
1.36	5.5011
1.4456	5.9236
1.5288	6.0979
1.616	6.5172
1.7	6.7361
1.7857	6.8418
1.8681	7.6445
1.954	8.0297
2.0384	8.3669
2.125	8.7937
2.2078	8.7937
2.4638	8.9797
2.5526	9.285
2.6814	9.285
2.8053	9.3849
2.931	9.4508
3.0576	9.8956
3.5714	10.1394
3.7445	10.3046
3.9171	10.645
4.0865	10.8769
4.25	11.5736
4.4737	12.3903
4.6703	12.5289

频率 Hz	阻尼比 3%
4.8851	13.1804
5.3125	14.1287
5.7432	14.3843
7.1875	14.3843
7.2034	14.3843
9.7458	14.3843
10.3604	14.0335
11.5	13.5131
12.1053	12.4496
12.6374	11.4999
13.2184	10.5107
13.8554	9.2391
14.375	8.8452
14.9351	8.0644
15.5405	7.669
16.1972	7.3675
16.6667	6.5039
17.1642	6.4581
18.254	5.8326
19.4915	5.011
20.5357	4.5628
21.25	3.9503
25	3.9503
28.75	3.8653
31.9444	3.4879
33.3333	3.3124
34	3.3134
46	3.3134
54.7619	3.2989
56.6667	3.2402
76.6667	3.2402
85	3.2331
100	3.2331

SL-2: 试验堆主厂房标高-2.80MY 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 3%
0.1	0.16307
0.17	0.75697
0.23	0.75697
0.25	0.73412
0.25503	0.94183
0.34	1.2448
0.425	1.5742
0.5099	1.9207
0.59482	2.1974
0.68	2.4529
0.76508	2.8995
0.85	3.1584
0.93509	3.4241
1.0204	4.0845
1.1053	4.389
1.1905	4.6983
1.2744	5.0115
1.36	5.2649
1.4456	5.7938
1.5288	6.1636
1.616	6.6192
1.7	6.6192
1.7857	7.352
1.954	8.1406
2.0384	8.1406
2.125	8.6792
2.2078	8.8742
2.2973	8.875
2.381	9.212
2.8011	9.212
2.8053	9.5054
3.2319	10.0231
3.4	10.0231
3.5714	10.7919
4.2017	10.7919
4.25	11.0009
4.4737	11.6573
4.8851	11.823
5.0898	12.6267
5.3125	13.6019

频率 Hz	阻尼比 3%
5.7432	14.0318
5.9441	14.3925
6.8	14.3925
7.6577	14.8958
8.5	15.7795
11.5	15.7795
12.1053	14.6123
12.6374	12.8484
13.2184	11.0098
13.8554	10.2032
14.375	9.26
14.9351	8.2124
15.5405	7.8625
16.1972	7.1412
16.6667	6.7271
17.1642	6.1621
20.5357	5.4278
23	4.5238
25	4.1045
26.1364	3.8488
28.75	3.6763
31.9444	3.5815
33.3333	3.5687
34	3.5687
46	3.5687
54.7619	3.543
56.6667	3.5103
76.6667	3.5103
85	3.4849
100	3.4849

SL-2: 试验堆主厂房标高-2.80M Z 向包络谱值 (单位: m/s^2)

频率 Hz	阻尼比 3%
0.1	0.15172
0.17	0.45819
0.2125	0.50367
0.25503	0.6161
0.34	0.85437
0.425	1.0526
0.5099	1.3022
0.59482	1.439
0.68	1.6828
0.76508	1.9276
0.85	2.1715
0.93509	2.3328
1.0204	2.5765
1.1053	2.7574
1.1905	2.9465
1.2744	3.3012
1.36	3.5673
1.4456	3.5909
1.5288	3.8954
1.616	4.0732
1.7857	4.5172
1.8681	4.9582
1.954	4.9582
2.0384	5.1779
2.125	5.4075
2.2078	5.7797
2.2973	5.7905
2.381	6.4121
2.4638	6.5712
2.6814	7.2248
2.8053	7.2821
3.2319	7.9092
3.5714	8.0434
3.7445	8.2866
4.6083	8.2866
4.6703	8.5953
4.8851	8.5953
5.0898	8.7648
5.3125	9.1734
5.7432	9.1862

频率 Hz	阻尼比 3%
6.391	9.8248
6.5891	10.1703
8.4746	10.1703
8.5	11.1663
11.5	11.1663
11.9718	8.9711
14.9351	8.9711
15.5405	8.9155
16.1972	8.7397
17.1642	8.0791
18.254	6.3359
19.4915	6.1531
20.5357	5.3345
23	5.3345
25	4.8126
26.1364	4.2937
28.75	3.5815
30.9091	3.4346
35.9375	3.4346
41.8182	3.1188
46	3.0704
54.7619	2.8738
56.6667	2.8025
76.6667	2.8025
85	2.7724
100	2.7724