

中国核工业勘察设计协会

《压水堆核电厂无轴封反应堆冷却剂泵设计制造规范

第 2 部分：湿绕组主泵》团体标准编制说明

一、工作简况

反应堆冷却剂泵(以下简称“主泵”)是大型先进压水堆反应堆冷却剂系统(以下简称“一回路”)中唯一的旋转设备,其主要功能是驱动高温高压冷却剂在一回路内循环流动以带走堆芯热量,并在事故工况下通过非能动惰转避免堆芯过热,其稳定可靠运行对核电站安全性、经济性至关重要。主泵是大型先进压水堆技术难度最高的设备之一,其自主设计和制造是我国推进核电自主化的重点和难点。

为彻底消除轴封 LOCA 的潜在风险,国和一号采用无轴封主泵方案。同时,为突破净功率 1350MWe 以上、实现完全自主知识产权,国和一号主泵设计流量大幅提升(较 AP1000 高 21%),相应需采用全球最大功率的无轴封主泵。考虑到主泵研制的技术难度和进度风险,在压水堆核电站国家科技重大专项支持下,国和一号采取了屏蔽主泵、湿绕组主泵两种技术路线,每台泵同时配备 1 台主泵变频器。

国和一号湿绕组主泵 2012 年 3 月通过初步设计评审,2014 年 3 月通过最终设计评审,2014 年 10 月完成样机零部件制造和装配,2014 年 12 月至 2019 年初完成样机调试,2019 年 6 月至 7 月顺利完成工程及耐久试验,2019 年 7 月通过中国机械工业联合会组织的鉴定。

国和一号湿绕组主泵研制取得的关键技术主要包括全球最大功率湿

绕组主泵总体设计与应用技术、全球首台超大功率核电主泵湿绕组电机、大尺寸水润滑推力轴承及轴系分段连接设计、大功率湿绕组主泵试验验证技术等。

本标准基于“国和一号”示范项目湿绕组主泵设计制造相关技术文件进行编制，该项目湿绕组主泵已于 2019 年 7 月完成工程耐久试验，并顺利完成鉴定。随着湿绕组主泵的研制成功，业内各界尤其各核电厂业主对无轴封型湿绕组主泵倍加关注，因此有必要制定一份适用于湿绕组主泵的标准，一方面有利于完善核电站反应堆冷却剂泵选型设计，另一方面为主泵制造厂开展该类型主泵的详细设计和制造工作提供指导依据。

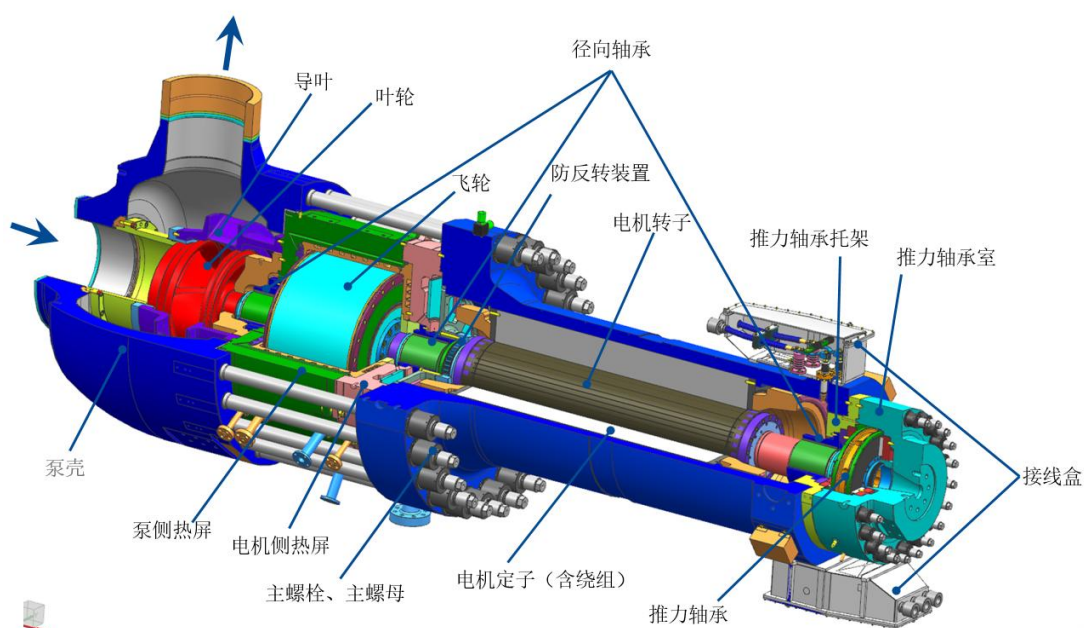


图 1 湿绕组主泵结构示意图

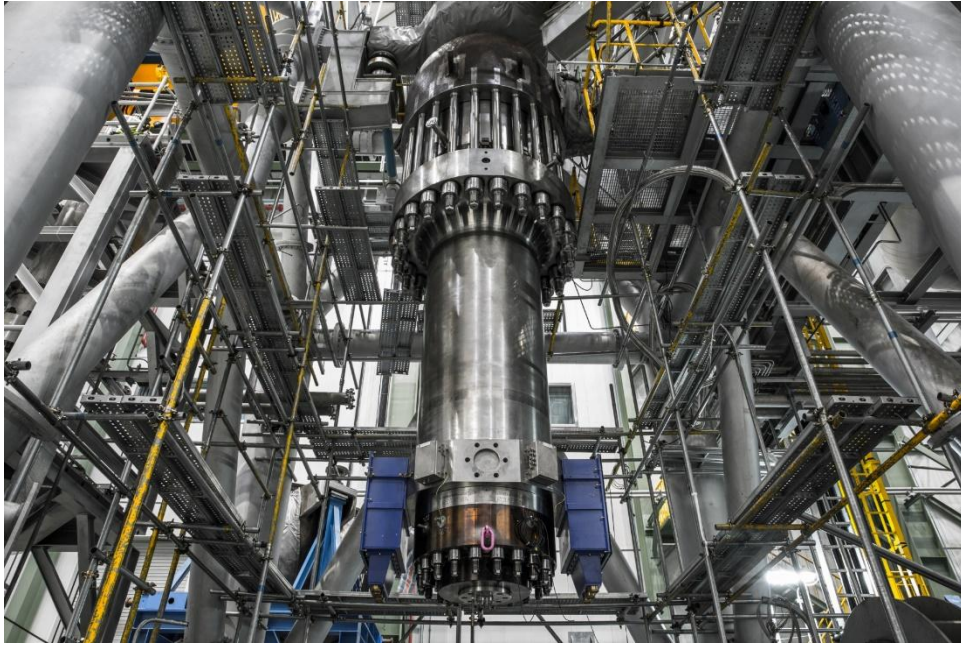


图 2 湿绕组主泵样机在试验台架上

2023 年 3 月 27 日,中国核工业勘察设计协会下达团标立项通知,上海核工程研究设计院股份有限公司(以下简称“上海核工院”)牵头,上海电气凯士比核电泵阀有限公司(以下简称“凯士比”)、国核示范电站有限责任公司(以下简称“国核示范电站”)参与,共同编制《压水堆核电厂无轴封反应堆冷却剂泵设计制造规范 第 2 部分:湿绕组主泵》团体标准。

上海核工程研究设计院股份有限公司前期对压水堆核电厂无轴封反应堆冷却剂泵设计制造的国内外发展状况进行了初步调研,并牵头制定了标准编制大纲。

2023 年 11 月 24 日,中国核工业勘察设计协会组织行业内专家进行标准编制大纲进行了评审,会议同意大纲通过评审。并提出了相关意见和建议。

主要起草人如下表 1 所示。

表 1 主要起草人

序号	姓名	编写组职务及分担的任务	所在单位
1.	钟云	负责人、主要编制人	上海核工程研究设计院股份有限公司
2.	邱健	技术顾问	上海核工程研究设计院股份有限公司
3.	周文霞	参与编写	上海核工程研究设计院股份有限公司
4.	李天斌	参与编写	上海电气凯士比核电泵阀有限公司
5.	夏迪	技术顾问	上海核工程研究设计院股份有限公司
6.	杨永华	参与编写	上海核工程研究设计院股份有限公司
7.	卢熙宁	参与编写	上海电气凯士比核电泵阀有限公司
8.	马林	参与编写	上海电气凯士比核电泵阀有限公司
9.	张龙源	参与编写	上海核工程研究设计院股份有限公司
10.	廖娟	参与编写	上海核工程研究设计院股份有限公司
11.	陆于衡	参与编写	上海核工程研究设计院股份有限公司
12.	王亚松	参与编写	国核示范电站有限责任公司
13.	刘原君	参与编写	国核示范电站有限责任公司

二、标准编制原则和主要内容

本标准编制的依据是国家现行的法规和国际、国内的标准规范和相关的科研课题成果及工程实践经验反馈等。主要参考的标准规范如下：

GB/T 1.1—2020 标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则

HAF601 民用核安全设备设计制造安装和无损检验监督管理规定

HAF602 民用核安全设备无损检验人员资格管理规定

HAF603 民用核安全设备焊接人员资格管理规定

HAF604 进口民用核安全设备监督管理规定

ASME B&PVC 核电厂部件建造规则（2007 版+2008 补遗）

规范案例 N-774 重量超过 10000lb（4540kg）并满足 SA-336/SA-336M 中第 III 卷第 1 篇核 1、2、3 级建造要求的 13Cr-4Ni

(S41500) F6NM 级锻件的使用

ASME B16.5-2009 管道法兰和法兰配件

ASME B31.1-2010 动力管道

RG 1.14-1975 反应堆冷却剂泵飞轮的完整性

RG 1.31-1978 不锈钢焊缝金属中铁素体含量的控制

RG 1.44-2011 敏化不锈钢使用的控制

RG 1.61-2007 核电厂抗震设计的阻尼值

RG 1.92-2006 地震响应分析中模态响应和空间分量的组合

RG 1.29-2007 抗震设计分级

RG 1.43-2011 低合金钢部件不锈钢堆焊层的控制

RG 1.54-2010 核电厂 I、II 和 III 级防护涂层

RG 8.8-1978 保证核电厂职业照射在合理可行尽量低的相关资料

RG 8.19-1979 轻水堆核电厂设计阶段职业辐照剂量评价一人-雷姆估算

NUREG-0800-2007 标准审查大纲 5.4.1.1 节泵飞轮完整性 (PWR)

NUREG-0612-1980 核电站重载的控制

NUREG-0800-2007 标准审查大纲 3.6.2 节假设管道破裂后破裂位置和动态效应的确定

TEMA-2007 管式换热器制造商协会标准

ASTM B 777 钨基高密度金属的技术条件

ASTM C 1055 加热系统表面产生接触烧伤条件的标准导则

ASTM A20/A20M 压力容器用钢板一般要求的标准技术条件

ASTM A516/A516M 中温及低温压力容器用碳素钢板标准技术条件

ASTM A350/A350M-2004a 要求冲击韧性试验的管件用碳钢及低合金钢锻件标准技术条件

ASTM A105/A105M-2011a 管道用碳钢锻件标准技术条件

ASTM A564/A564M-2013 热轧及冷精轧时效硬化处理过的不锈钢棒材和型材标准技术条件

ASTM A693 沉淀硬化不锈钢和耐热钢板、薄板和钢带标准技术条件

ASTM A705/A705M 时效硬化的不锈钢锻件标准技术条件

IEC 60034-1-2010 旋转电机一定额和性能

IEEE 323-2003 核电厂 1E 级电气设备的鉴定

IEEE 344-2004 核电厂 1E 级设备抗震鉴定的推荐实施方法

IEEE 334-2006 核电厂连续运行的 1E 级电机鉴定

IEEE 383-1974 核电厂安全级电缆、现场接头和连接件的型式试验

HI 美国水力学会标准-离心泵部分

本标准主要内容包括如下章节。

(1) 范围

规定了本标准的适用范围。

(2) 规范性引用文件

规定了引用的规范及标准。尽量采用国内标准。

（3）术语和定义

规定了标准中的相关专业名词及术语。

（4）总体设计要求

规定了部件分级、设计要求、环境条件和瞬态、载荷和抗震要求、电气设计要求、关键部件要求（如：绕组、推力轴承）、接口要求（包括设计边界、保温要求、外形尺寸要求等）。

（5）材料

规定了承压边界、非承压边界、飞轮材料以及与反应堆冷却剂接触的材料等要求。

（6）制造

规定了制造、焊接、涂漆、清洗、无损检验和标记要求。

（7）试验/鉴定

规定了部件试验（如水力试验、水压试验等）、样机（型式）试验（包括性能试验、耐久试验）、产品试验的要求。明确试验验收准则。包括试验台架要求。

（8）质量保证和文件

规定了质量保证要求，以及需要正式发布的文件、图纸和设计报告的要求。

（9）包装、运输和维护

规定了包装、运输、清洁、拆卸和维护要求（包括水质和保养等）。

三、主要试验（或验证）情况

标准在编制过程中依托了上海核工院的基于“国和一号”示范项目湿绕组主泵设计制造工作，该项目湿绕组主泵已于 2019 年 7 月完成工程耐久试验，并顺利完成鉴定，相关工艺研究及数据为本标准的编制提供了依据及支撑。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及压水堆核电厂无轴封反应堆冷却剂泵相关专利的权利要求和具体内容。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

目前我国在反应堆冷却剂泵方面已有轴密封型主泵机组可执行的设计制造规范（NB/T 20269-2014），但无轴封主泵机组设计制造尚无可执行的相关标准。本标准批准发布后，经宣贯、实施，预期将支撑我国压水堆核电厂无轴封反应堆冷却剂泵设计及制造，填补我国在核电领域关键设备标准的空白，为指导和规范我国压水堆核电厂无轴封反应堆冷却剂泵的设计、制造提供了技术支持。

六、与国际、国外标准对比情况

目前国际上尚无适用压水堆核电厂无轴封反应堆冷却剂泵标准。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的

协调性

本标准是核工业材料标准的一部分，标准均引用了国内相关检验和检测标准，做到了与国内现行相关法律、法规、规章及相关标准的兼容性和一致性。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准编制过程中未出现重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

标准为自愿性标准。经实施效果良好，且符合国家标准、行业标准制订要求的情况下可申请转化为国家标准或行业标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

标准经批准后，由团标办公室统一编号、协会发布，并在协会网站和全国团体标准信息平台上公布。标准为自愿性标准，协会会员单位及其他有关单位可自愿采用。

十一、废止现行相关标准的建议

标准为首次制订，故没有需要废止的现行标准。

十二、必要专利信息披露情况说明

标准中不存在涉及必要专利信息。

十三、其他应予说明的事项

无其他应予以说明的事项。

《压水堆核电站无轴封反应堆冷却剂泵设计制造规范 第2部分：

湿绕组主泵》编写组

2024年1月22日