



防城港3号机组热试准备与执行经验交流

中广核工程有限公司

2022.09



CONTENTS

01 热试实施
总体情况

02 首堆试验
风险管控

03 技术准备

04 试验过程管控

05 结语





01

热试实施
总体情况



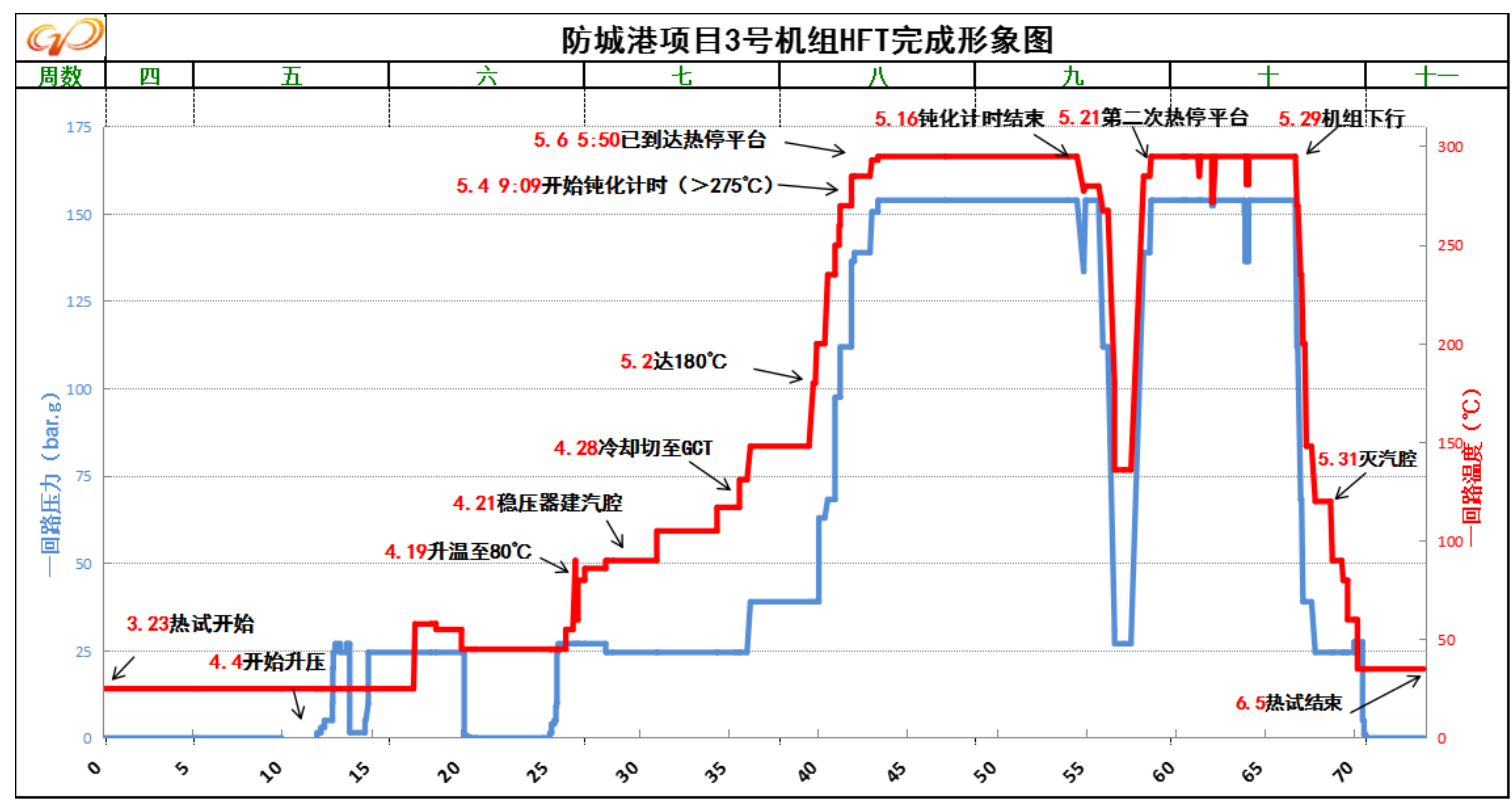
01 热试实施总体情况

总体情况

防城港3号机组热态功能试验于2022年3月23日开始，3月28日一回路进水，4月4日开始升压，5月6日首次到达标准热停堆工况，5月29日开始降温降压，6月5日热试结束。

计划总工期57天，**实际工期74天**。机组调试大纲要求的**104项试验全部合格，无甩项漏项**。

| 序号 | 热试主要过程 | 完成时间 |
|----|----------------------|-----------|
| 1 | 一回路充水排气 | 3.23-4.4 |
| 2 | 一回路升压至24.5bar.g及试验 | 4.4-4.18 |
| 3 | RIS/RHR冷却工况下一回路升温升压 | 4.18-4.28 |
| 4 | SG冷却工况下一回路升温升压至热停堆工况 | 4.28-5.6 |
| 5 | 热停堆工况稳态试验 | 5.6-5.16 |
| 6 | 瞬态试验、第二次热停堆工况试验 | 5.17-5.29 |
| 7 | 机组下行阶段及试验 | 5.29-6.5 |

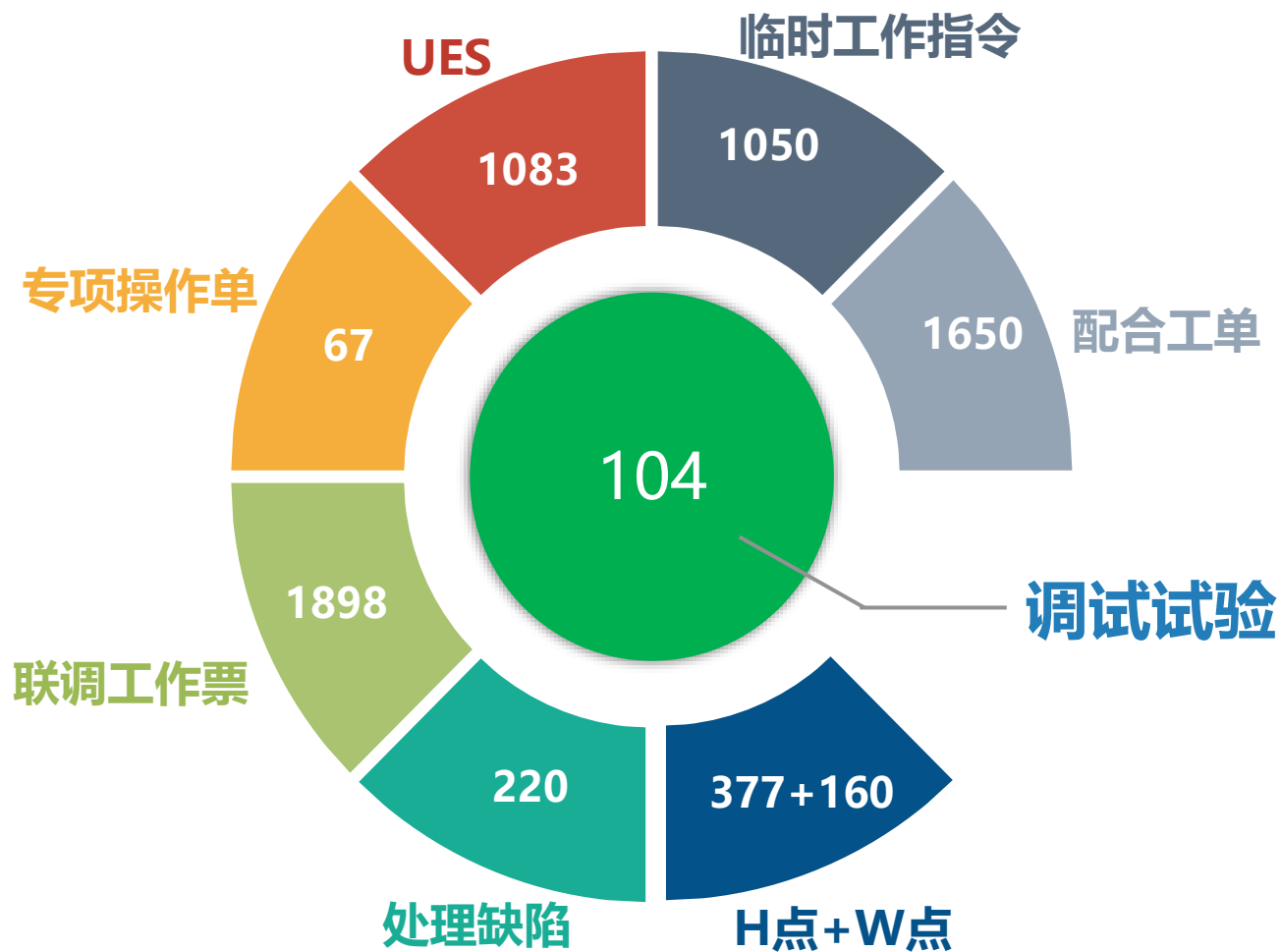


01

热试实施总体情况

热试主要活动

- 执行**104项**调试试验，包括**4项**首堆试验
- 执行**67份**专项操作单
- 签发**1898张**联调工作票
- 处理**220项**缺陷
- 发起**1083项**UES流程
- 完成**1650项**配合工单
- 执行**1050项**临时工作指令
- 签点放行**377个**H点、**160个**W点



01 热试实施总体情况

首堆试验情况

防城港3号机组共计5项首堆试验，其中4项在热试期间已完成，剩余1项在装料后执行。

热试期间的4项首堆试验均顺利完成，结果合格。

堆内构件流致振动测量试验共涉及**45个试验工况**，覆盖热试全部过程，测量堆内构件在不同工况下的振动参数。基于采集数据分析，**试验结果合格。**

01

TP-RCP-90

堆内构件流致振动测量试验

稳压器波动管热分层试验包括两部分：传感器单体调试和通道试验已于热试前完成；热分层数据采集在热试上行、热停及下行**共计7个平台进行。试验结果合格。**

02

TP-KIF-91

稳压器波动管热分层试验

中压快速冷却功能试验在主泵运行和主泵停运两种工况下，试验列主蒸汽释放控制阀的响应调节能力，同时测量试验列主蒸汽释放隔离阀的关闭时间。**试验结果合格。**

03

TP-VDA-90

中压快速冷却功能试验

二次侧非能动余热排出热态功能试验在热停平台选取1列ASP系统，通过模拟ASP启动信号，触发ASP启动，验证ASP系统的导热能力满足要求。**试验结果合格。**

04

TP-ASP-90

二次侧非能动余热排出热态功能试验

完成非核冲转

- 从方案制定-理论计算-限值选取-操作单编写-风险预案制定-模拟机演练等各个流程进行全方位闭环管理，总计编写各类方案11份，风险预案21份。
- 2022年5月24日23时00分，防城港3号机汽轮机组首次冲转至1500rpm并稳定运行。
- 23时10分，主控手动打闸汽轮机，防城港3号机汽轮发电机组**非核蒸汽冲转一次成功**。





02 首堆试验 风险管控



02 首堆试验风险管控

管理方法 概述

针对华龙首堆在**新设计、新设备、新集成、新试验方法以及关键敏感设备**等方面的风险，中广核工程有限公司秉持“**严谨细实**”的工作态度，着重从防范重大风险、前置风险管理、做实做细调试准备与执行等方面发力，创新管理方式、管理工具，逐渐摸索出一套“**首台套风险识别+风险分级管控+问题迭代暴露**”的首堆调试经验。



02 首堆试验风险管控

1. 首台套 风险识别

结合对设计设备文件的分析、其它项目经验反馈以及现场实际已发生的问题，持续对华龙一号从新设计、新设备、新集成和新试验方法等方面进行首台套风险分析。

除首堆试验项目外，还甄别出**具有首堆特征的试验项目**以及**存在首台套特征的试验项目**。



02 首堆试验风险管控

2. 风险分级管控

建立调试风险台账，确定统一判定标准，着重对“概率、安全、质量、进度、成本”风险进行动态甄别，按照“项目层—分部层—队办层—系统层”分级管控。针对分部层及以上风险，逐项制定重大专项计划方案；队办层及以下风险，由专项组推动制定应对措施、持续跟踪、定期反馈。



3. 问题迭代暴露

首堆试验项目、具有首堆特征的标准试验项目、存在首台套特征的试验项目以及系统综合联调试验，按照**静态检查→模拟验证→预试验→正式试验**的方式，逐一消除不确定性，提高调试试验成功率。以热试准备阶段应急柴油发电机带卸载逻辑试验为例，**专项小组历时近两年不断迭代**，才得以保证试验一次成功。

静态检查

82

- 负荷匹配性比对（发现543项问题）
- 缺省值审查（发现422项问题）
- 文件及设备缺陷排查（发现4226项问题）

模拟验证

10

- 模拟机仿真（发现723项问题）
- 逻辑功能验证（发现953项问题）

预试验

32

- 电机拆分子系统移交，排查缺陷（RIS、AAD、APA、CEX等系统）
- 提前发现、解决问题（系统综合试验、外部监督试验等）

正式试验

1

- 一次成功



03 技术准备



技术准备 概述

调试人员在试验准备期间，主动介入上游，提前发现问题，通过“上游文件审查+专项前置分析”提前发现缺陷。

通过编制完善的技术和管理方案进行全方位的技术管控。



上游文件
审查

调试人员通过文件协审，对上游**设备、设计**文件进行准确性分析，对于发现问题或澄清通过线下沟通、设计变更与澄清申请流程、设计调试协调会等形式跟踪处理。

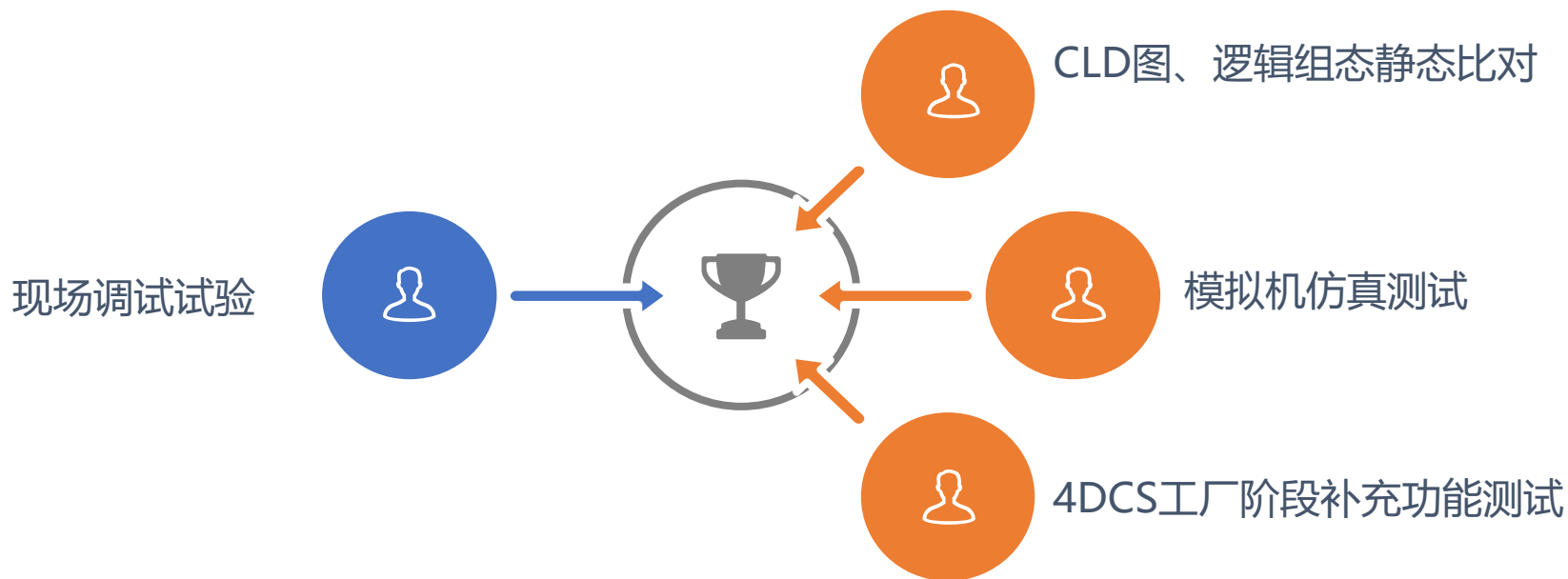
| 文件大类 | 文件类型 | 文件大类 | 文件类型 |
|------|---------|------|-----------|
| 设计文件 | 系统安全准则 | 设备文件 | 设备电气单线图 |
| | 系统设计手册 | | 设备典型二次图 |
| | 系统调试大纲 | | 设备运行与维修手册 |
| | 试验导则 | | 出厂试验报告 |
| | 试验规程 | | 设备装备图 |
| | 系统定值手册 | | 文件清单及对应性 |
| | 设计变更通知单 | | |
| | 设备布置图 | | |

实施效果

调试人员共计发现问题或澄清**4239项**，并对安全准则进行优化，联合设计院制定安全准则判定标准，在不降低要求的前提下**将216份带安全准则的程序优化为110份**。

DCS逻辑 组态测试

相比于CPR，防城港3号机组逻辑控制量大，且使用了大量新开发的宏算法模块、成组控制等功能，功能实现方面存在一定的不确定性。调试人员分别在全范围模拟机、设计院模拟机以及4DCS工厂测试阶段提前开展仿真验证工作，提前发现并处理缺陷。



实施效果

利用模拟机开展仿真测试，完成了362份程序、12403页的组态模拟验证，**累计发现问题1255项**。对31个重要系统进行了4DCS工厂阶段功能测试，**累计发现问题1008项**。

03 技术准备

DCS缺省 值审查

为提高DCS平台故障运行能力，降低设备失效引入的系统运行和机组控制风险，调试人员开展了DCS缺省值专项分析审查工作。

0-1层

进行仪表通道故障失效分析

1-1层

针对DCS跨列、跨安全级的柜间信号进行缺省值分析

实施效果

0-1层完成160个系统，共计4600余个信号缺省值逐项分析和审查，推动解决或澄清不一致项**250项**。1-1层完成45个重点系统，共计5700余个信号的逐项分析和审查，推动解决或澄清不一致项**155项**。

电气负荷 匹配性 分析

厂用配电系统的参数与负荷侧工艺参数在设计上往往需要进行多次迭代，现场改造往往需要占用较长关键路径。为避免配电盘调试及下游用户用电开始后的停盘改造，调试人员牵头全范围梳理全厂负荷，以尽早**暴露负荷不匹配问题**。



第一轮

来自设计
文件的负
荷参数



第二轮

设备供应
提供文件
中负荷参
数



专项梳理

阀门专项梳理，
电气开关与下
游负荷的控制
回路匹配性梳
理

实施效果

累计梳理负荷2691个，其中低压负荷2632个，中压负荷59个，累计发现存疑负荷**566个**。不匹配的负荷通过定值升版、更换开关/热继、改造抽屉类型提前进行处理。

重大技术方案

为消除重大试验技术薄弱项，共编制**42份**重大调试技术方案并组织开展多轮评审。

| 序号 | 技术方案 |
|----|--------------------------|
| 1 | 堆内构件流致振动试验实施方案 |
| 2 | 自然循环试验实施方案 |
| 3 | 中压快速冷却试验实施方案 |
| 4 | 二次侧非能动余热排出试验实施方案 |
| 5 | 三废系统国产化后调试技术方案 |
| 6 | N厂房部分系统不可用冷试方案 |
| 7 | NCC与CFTRVO-I耦合执行方案 |
| 8 | 基于LabVIEW安全壳泄漏率测量系统开发与应用 |
| 9 | 一回路热试期间钝化方案 |
| 10 | VDA与GCT备用方案 |
| 11 | PTR、EHR、ECS换热器试验实施方案 |
| 12 | 核岛控制功能验证方法 |
| 13 | 核岛管道振动测量方案 |
| 14 | PMC调试技术与进度方案 |
| 15 | 核岛厂房孔洞封堵逻辑及检查方案 |
| 16 | 防火分区联动试验专项方案 |
| 17 | 核岛厂房压力梯度试验方案试验方案 |
| 18 | 热试二回路冲洗及水质控制方案 |
| 19 | APA给水泵快速甩负荷试验方案 |
| 20 | APA/AAD供水控制与SG匹配分析专项方案 |
| 21 | 一二回路接口信号分析专项方案 |

| 序号 | 技术方案 |
|----|-------------------------------|
| 22 | 机组大瞬态专项试验及风险管控方案 |
| 23 | 汽轮机组非核蒸汽冲转方案 |
| 24 | 循环水泵配合BAS试验风险及对策 |
| 25 | 无DCS的柴油机临时控制方案 |
| 26 | 冷试电源方案及保电策略 |
| 27 | SBO柴油机黑启动技术方案 |
| 28 | 热停平台相关BAS试验机组控制策略及堆-机-BAS匹配策略 |
| 29 | 500kV倒送电及主变厂变启动技术方案 |
| 30 | 主变厂变带负荷试验技术方案 |
| 31 | 机组并网专项技术分析 |
| 32 | 华龙柴油机高效调试可用推进策略 |
| 33 | SBO柴油机性能方案 |
| 34 | 反应堆保护系统隔离及投用方案 |
| 35 | DCS变更控制及实施方案 |
| 36 | DCS功能块、宏算法有效性分析 |
| 37 | 基于RRC试验的机组瞬态控制策略 |
| 38 | OIC试验机组状态及风险控制 |
| 39 | 动态刻棒原理及实施方案研究 |
| 40 | 堆内外中子测量接口匹配性及校刻方案 |
| 41 | DCS缺省值设置合理性分析 |
| 42 | 二次源燃料装载及二次源启动实施方案 |



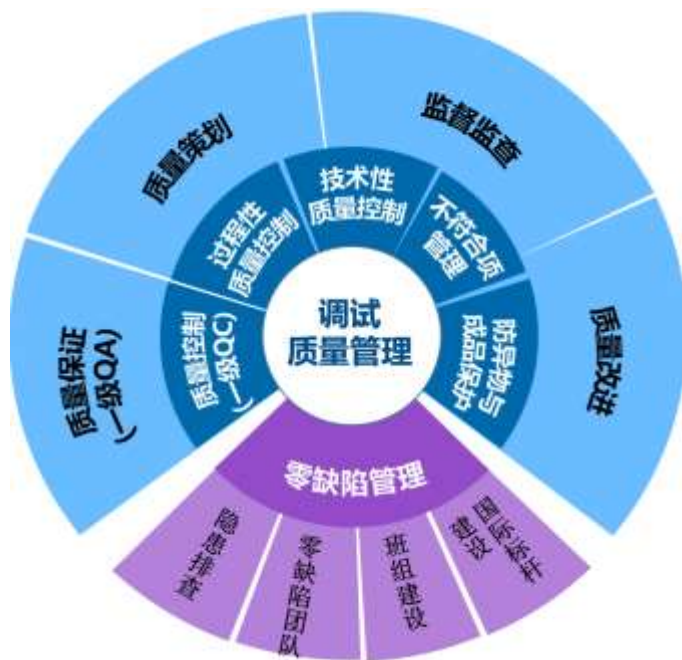
04

试验过程管控



制度建设

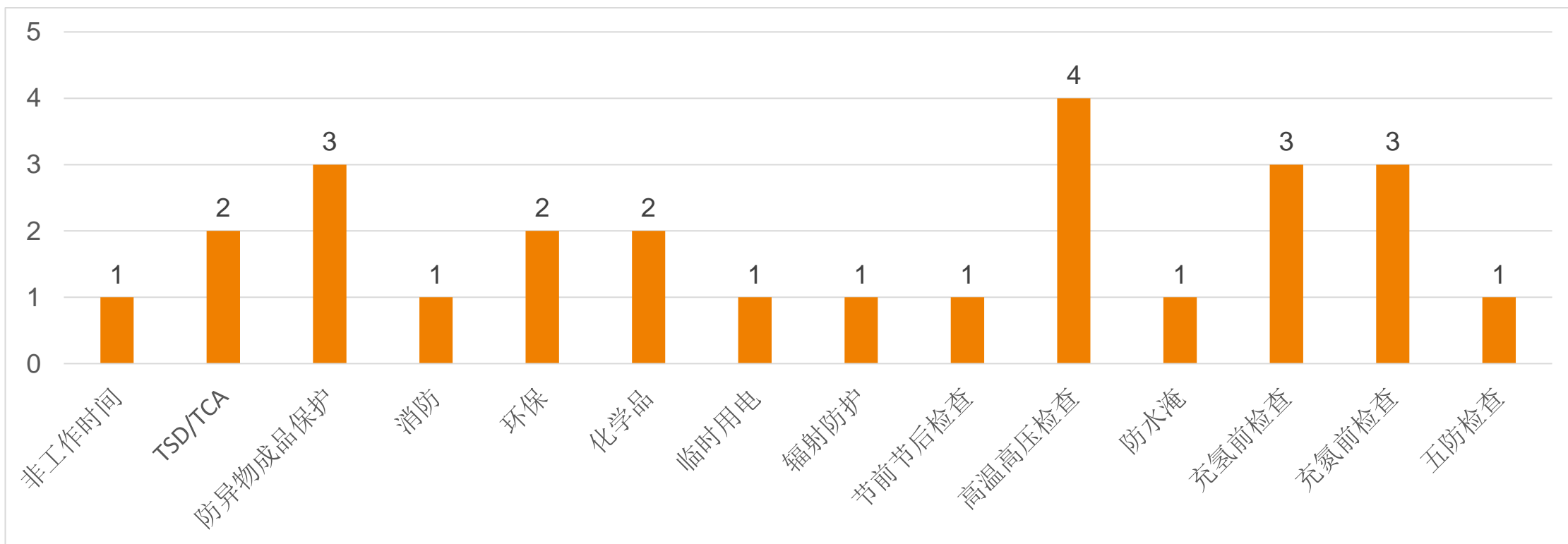
经过多项目、多机组调试实践，已形成核电项目调试安质环标准管理制度。安全方面共5大类17小类管理领域，质量方面共6大类8小类管理领域，经验反馈方面共4大类10小类，**均有相关管理程序或管理细则规范相关工作。**



04 试验过程管控-安全质量环境管理

日常监督

安质环人员跟专业队**一起倒班**，开展夜班安全巡查和甲醛监测工作，对氮气、氢气、高温等高风险区域进行重点检查，发现问题及时跟踪整改。热试期间，**跟踪完成签点高风险试验共22项，组织开展各项专项检查共26次，发现具体问题共计241项。**



信息化工具的应用

热试期间氮气窒息风险、甲醛中毒风险等安全质量管控方面，人员手持仪表监测、纸质记录等方式也存在氮气窒息风险及甲醛中毒风险，因此开发了多种在线监测装置，实现了远程监测。

在线氧表监测应用于氮气窒息区域

- 氧气浓度低于限值，在线氧表**声光报警**
- 氧气浓度低于限值，**系统电话、短信自动通知调试责任人**
- 在线氧表监测数据实时在**移动端APP**反映。

在线甲醛表监测应用于BRX/BMX厂房

- 甲醛浓度超过0.13ppm，在线甲醛表**声光报警**
- 24小时实时监测，控制区保安根据浓度变化及时调整防护等级及要求

防跑水智能模块

- 实时监测地坑液位
- 液位超过设定值，实时报警
- 可实现**远程监控、远程启停**

防重大设备损坏

通过完善管理机制、应用先进管理工具，从CCM设备管理、调试前预检查、高风险试验管控、重大设备首次启动保驾以及防人因失误等方面，持续提升设备风险管理水平，确保不发生重大设备损坏事件。

CCM管理

- 针对CCM设备设置质量计划W/H点，严禁越点
- 动态维护清单，张贴警示标识

预检查

- 电机提前拆检
- 承压边界阀门预研磨
- 阀门电动头预校验
- 阀门盘根力矩检查

高风险管控

- 识别高风险作业，制定专项管控方案
- 重要设备参数，制定监视、报警方案
- 管理层下沉，现场监督指导

首次启动保驾

- 重大设备首次启动，落实厂家保驾机制
- 国外供代国内兜底（如VVP安全阀等）
- 敏锐捕捉设备缺陷，审慎决策

防人因失误

- 落实监护制
- 推广单独验证等防人因工具
- 早班会、工前会持续关注人员精神状态

调试废水 管理

为解决机组联调期间核岛及常规岛部分管网需添加磷酸三钠、联氨等化学药剂进行设备保养及水质调节产生的废水问题，在防城港二期首次建立一座**调试污水处理站**，对调试期间产生的化学污水进行处理，确保项目建设期间调试期间的化学污水处理达标后排放，其中**3号机组热试期间累计处理加药废水约2万余方**。



04 试验过程管控-技术管控

专项控制 方案

对于重要支持性系统、保护系统以及存在单一故障潜在风险的因素，制定专项控制方案，提高相关支持系统、保护系统的稳定可靠性，有效保证热试实施的连续性。



04 试验过程管控-技术管控

技术决策 机制

面对热试期间发现的问题，工程、业主高效协同，坚持“**小问题不过夜、大问题连夜办**”，及时推动问题处理，集中优势资源全力保障热试。

组织保障

- 公司总经理部领导、各业务中心经理带队到现场驻场办公、集中优势资源全力保障热试。热试期间各业务中心**后台支持人员高峰期达到140人左右，约为平时的4.5倍。**
- 对13大关键制约专项实行“**领导挂牌督办**”方式，精准施策，集中有限资源重点攻坚突出问题。

团队协同

- 工程、生产双方高效协同，坚持“**小问题不过夜、大问题连夜办**”的原则，保障热试的顺利开展；
- 调试、设计、设备厂家协同，及时处理现场异常、评价试验结果，保障热试稳步推进。

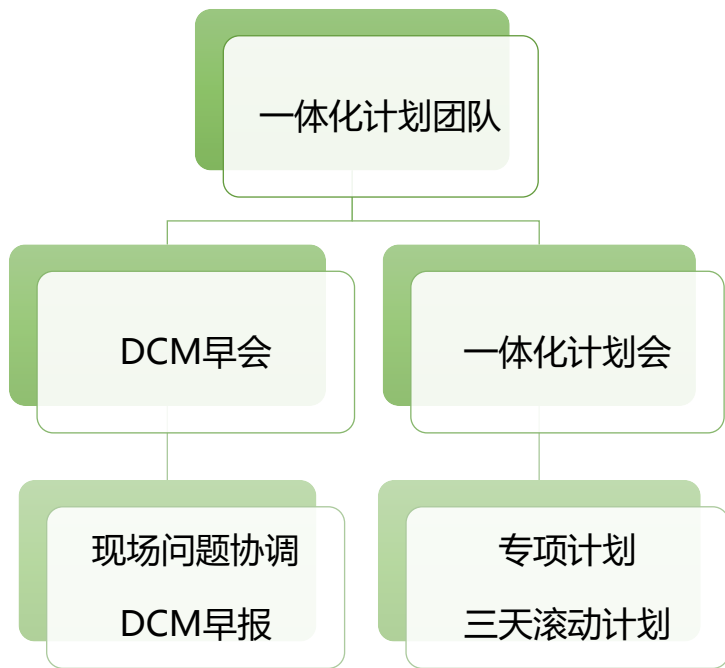
现场指挥

- 每月召开工程生产协调会，每周召开工程业主高层碰头会、热试委员会、生产调度会，**每日召开启动指挥部会**、DCM会、一体化计划会，分层分级部署现场工作、决策重要事项，保障热试工作有序开展。

04 试验过程管控-进度管理

一体化计划管理

加强工程生产一体化计划管理，工程公司与业主公司共同成立了**工程生产一体化计划团队**，并于NCC前启动运作，通过DCM早会和一体化计划会统筹协调现场施工、调试及生产活动。



04 试验过程管控-进度管理

计划模式

按照“一份总体计划+多份专项计划”的模式，对重点工作专项推动，同时加强各个专项计划之间的横向联动，把控总体计划，及时纠偏。

UP TO HFT总体计划

- 堆腔环吊专项计划
- 制冷系统专项计划
- 三废系统专项计划
- 蒸发器二次侧专项计划
- 柴油机及BAS试验计划
- 常规岛供水专项计划
- UP TO CTT专项计划



HFT母本计划

结合ENS23和过程控制文件FUD进行编制，包括了各专业104份试验程序执行，PSV 63bar.g平台附加工况验证，以及非核冲转



05 结语



面对集团内华龙首堆的风险与挑战，中广核工程有限公司组织协调各方，通过**严格**的首堆风险分析机制、**审慎**的技术决策体系、**细致**的技术方案准备、**务实**的执行过程管控，顺利完成中广核华龙首堆热试，高质量完成4项首堆试验、非核冲转等重大试验，实现了“安全零伤害、重大设备零损坏、行为零违规、环境零处罚”的目标，验证了机组性能，为中广核华龙首堆投产奠定了坚实的基础！



谢谢
THANK YOU

