



# 卡拉奇项目典型案例经验反馈

报告单位：中国中原对外工程有限公司

2022年7月·浙江宁波





# CONTENTS

**01** 卡拉奇项目总体进展

**02** 项目经验反馈总体情况

**03** 典型案例介绍



# 01

## 卡拉奇 项目总体进展

- 卡拉奇（K-2/K-3）项目位于巴基斯坦卡拉奇市，南临阿拉伯海，东距K-1电厂（CANDU）1.2Km。
- 项目规划建设两台百万千瓦压水堆机组，采用我国具有完全自主知识产权的三代核电技术——华龙一号堆型。
- K-2/K-3项目主合同于：

2013年2月18日签订

2014年2月28日生效





- K-2/K-3项目于2015年8月20日正式开工建设，克服了施工用水/用电不足、人力资源不足、物资运输困难、大量国产首台套设备应用、疫情等不利条件。
- 2021年5月20日，K-2机组投入商运，打破了国外同行三代核电海外首堆工期必拖的“魔咒”，创造了最佳的建设业绩。
- 2022年4月18日，K-3机组完成临时验收。至此，海外华龙一号双机组完成建设任务，全面转入运维阶段。

	开工日期	临时验收日期	总工期
K-2机组	2015/8/20	2021/5/20	<b>69个月</b> (2101日历天)
K-3机组	2016/5/31	2022/4/18	<b>70.6个月</b> (2149日历天)



- K-2/K-3项目是中国中原继成功出口巴基斯坦四台300MWe机组（C-1~C-4项目）基础上的又一重大突破，对践行国家“一带一路”倡议和传承发展中巴两国友谊具有重大战略意义。双机组年发电量逾180亿度，可支撑起巴方近三分之一的电力缺口，为巴方在2030年清洁能源使用占比达到60%的目标贡献力量，助力巴方构建清洁、低碳、安全高效的能源体系。



# 02

经验反馈  
总体情况





## 闭环管理 注重实效

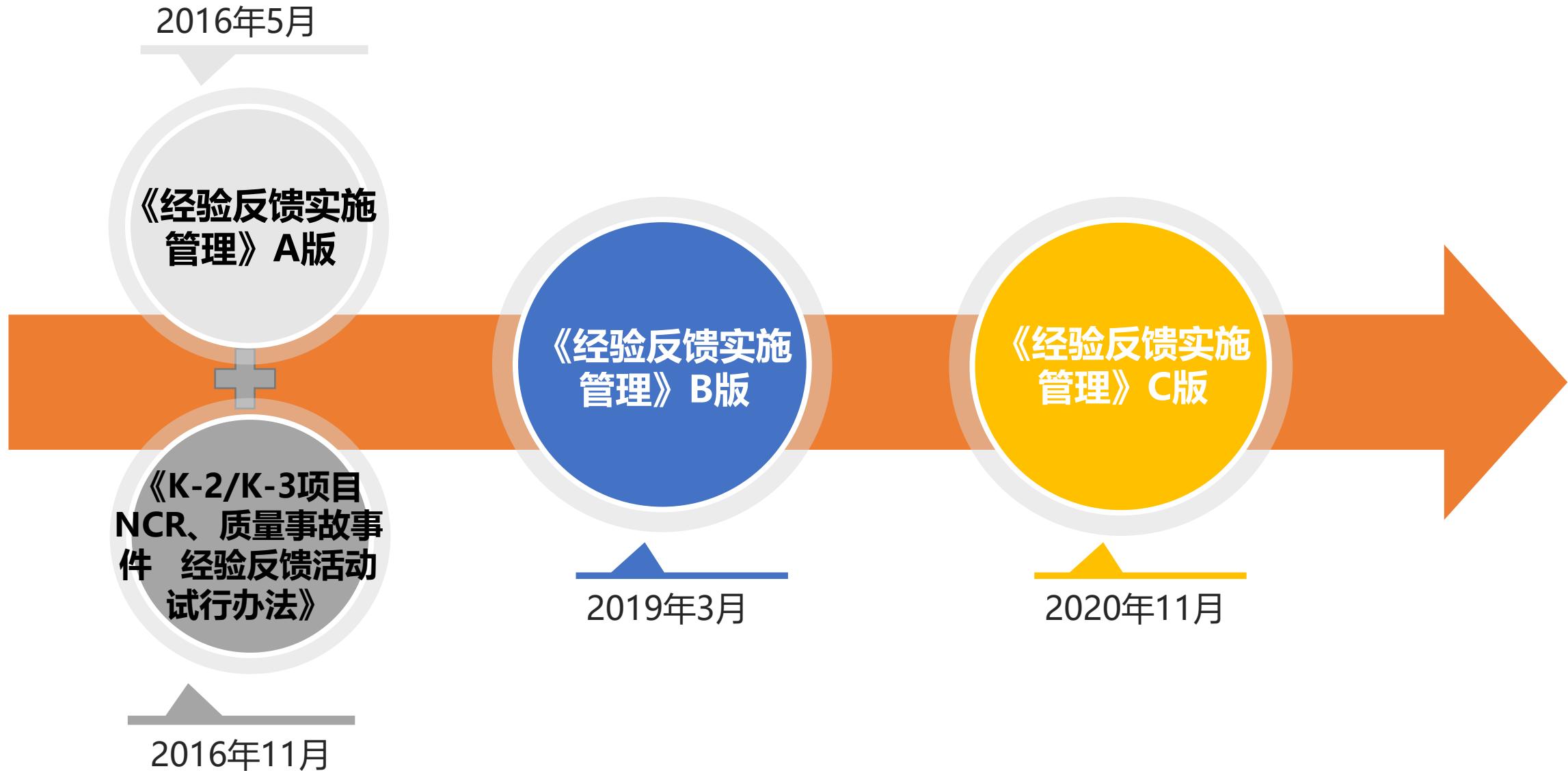
预防项目内部的问题重复发生

预防参考电站发生的典型问题在K-2/K-3项目再次发生、或者降低发生的概率。

将CZEC获知的重要信息快速传递至相关承包商，以便其采取后续行动，避免类似问题在K-2/K-3项目发生、或者降低发生的概率。

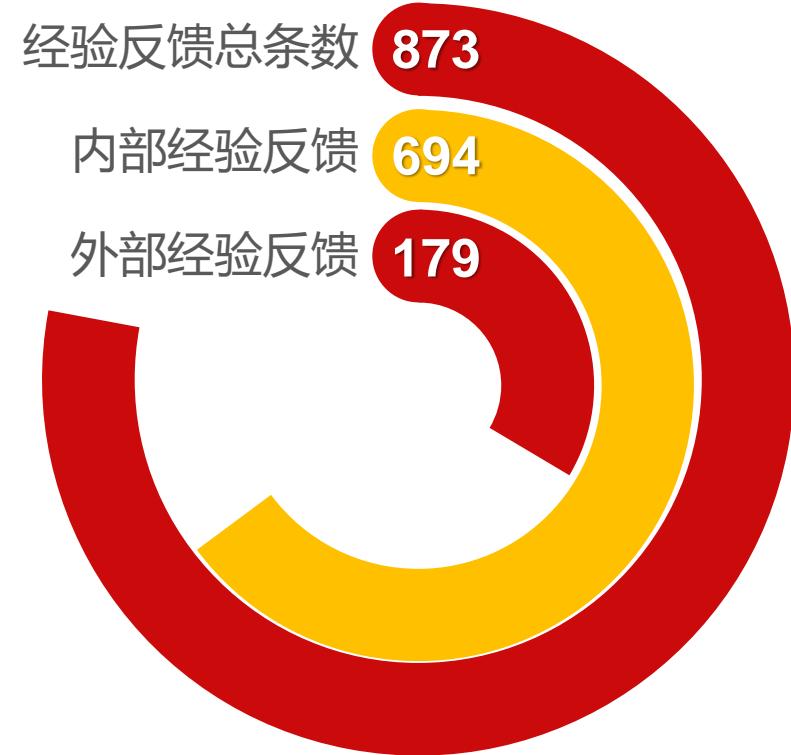
总结K-2/K-3项目全周期内的管理经验和良好实践，为公司及其他项目部提供经验反馈信息。

基于以上考虑，所有项目级“经验反馈信息”均形成《经验反馈要求表》，并进行闭环管理，统一由项目质量保证部汇总、整理和分析。对于公司级经验反馈信息的管理按照公司程序执行；对于巴方发送的经验反馈信息，通过信函传递至责任单位，并建立好台账。



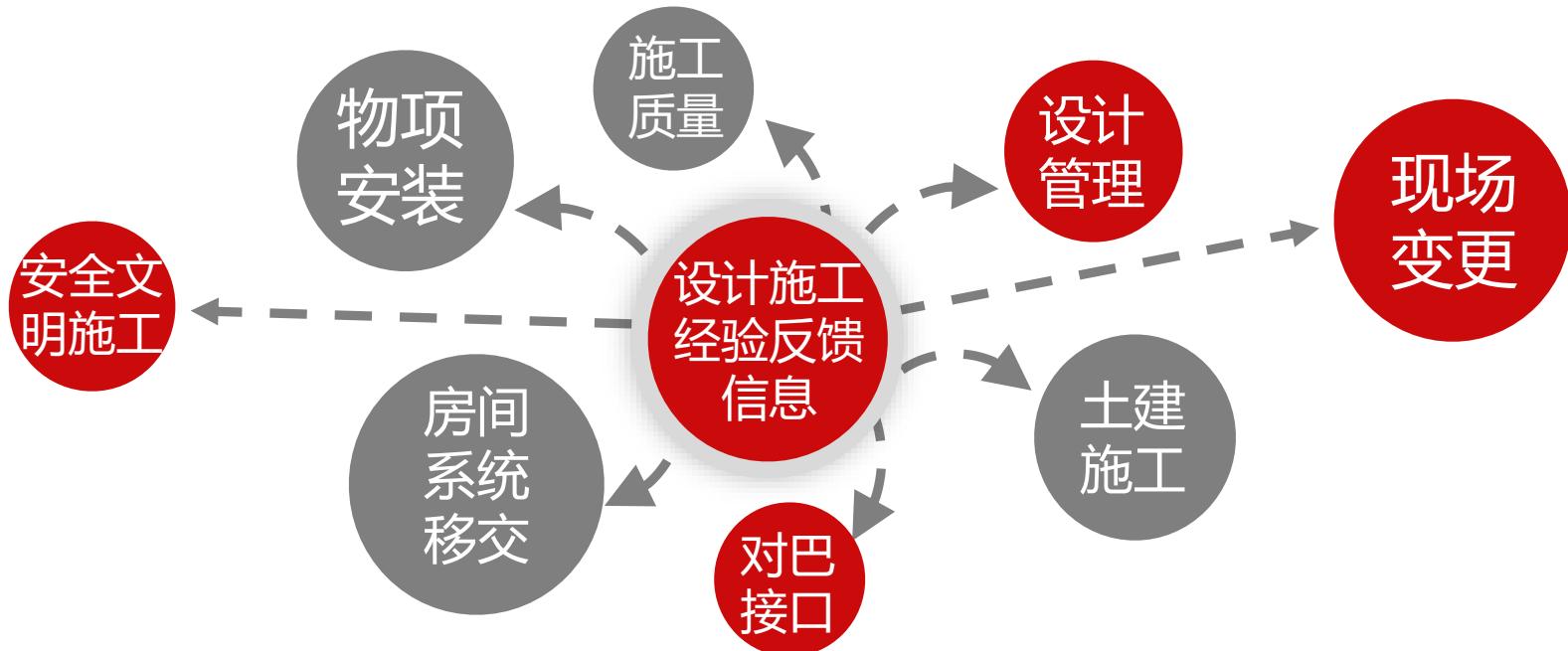


- K-2/K-3项目秉持“一次就把事情做对，共因事件为零”的质量理念，规范经验反馈管理。自2021/3/11至2022/4/18，项目部共组织经验反馈会25次。经验反馈流程运行流畅，截至项目临时验收，共收集到质量、安全、进度、费用等各个领域的反馈信息873条，其中源于内部的经验反馈694条，外部经验反馈179条。





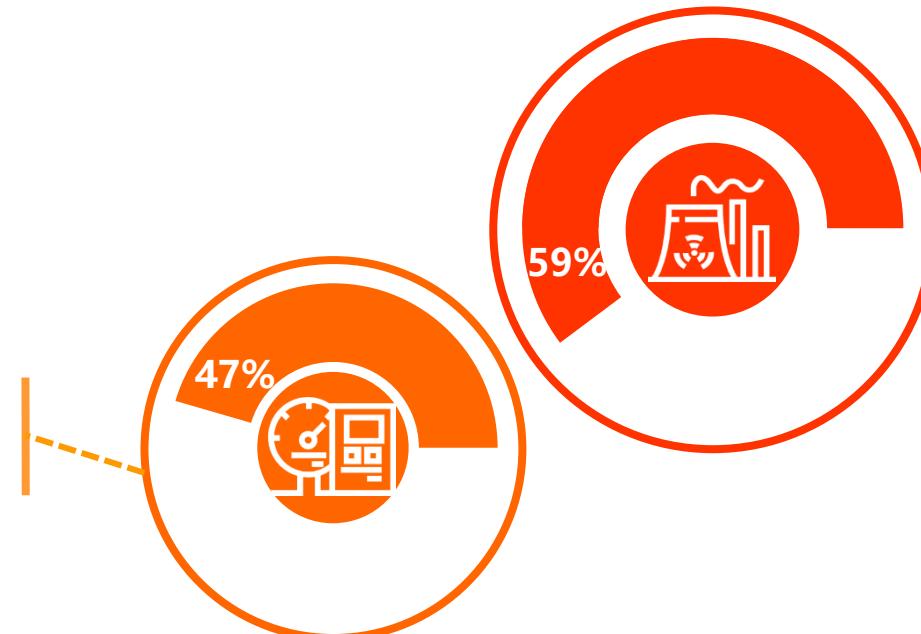
- 依据自身和国内参考电站的经验，为做好冷试后的工作，K-2/K-3项目设计施工领域2019年至2022年4月共收集424项有效经验反馈。每条经验反馈均制订行动项、明确责任部门或分包单位，做到闭环，有效提升了设计施工管理，确保工程质量进度，按计划实现各项工程节点。
- 将K-2经验反馈应用于K-3机组，共涉及127项。所有潜在问题得到提前处置，确保不发生同类问题，为K-3热试、装料及后续功率平台试验奠定良好基础。



- 在整个调试过程中，K-2/K-3项目持续搜集内外经验反馈项总计达593项。从来源来看，经验反馈主要来自项目部内部，达352项，占总量59.4%，其次是参考电站，达151项。从所属阶段来看，主要是热试阶段，达276项，而综合性能试验的经验反馈为机组后续功率阶段起到重要作用。

## 所属阶段：

热态功能试验	276	47%
综合性能试验	72	12%
首次装料	48	8%
发电机整组启动	28	5%
冷态功能试验	27	5%
安全壳打压试验	22	4%
500kV倒送电	14	2%
常规岛整组启动	11	2%
其他	95	16%

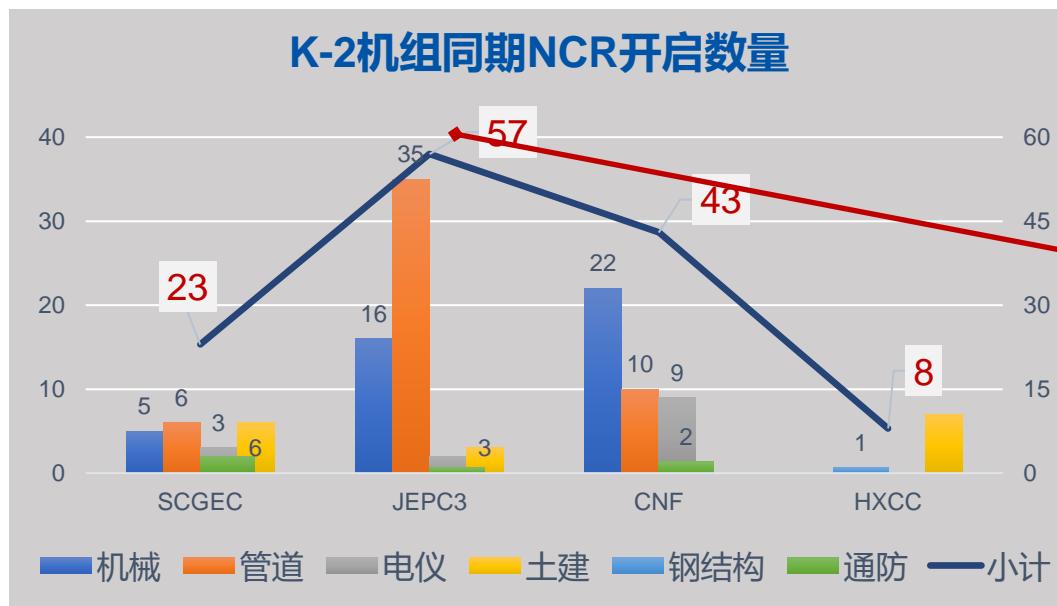


## 经验反馈来源：

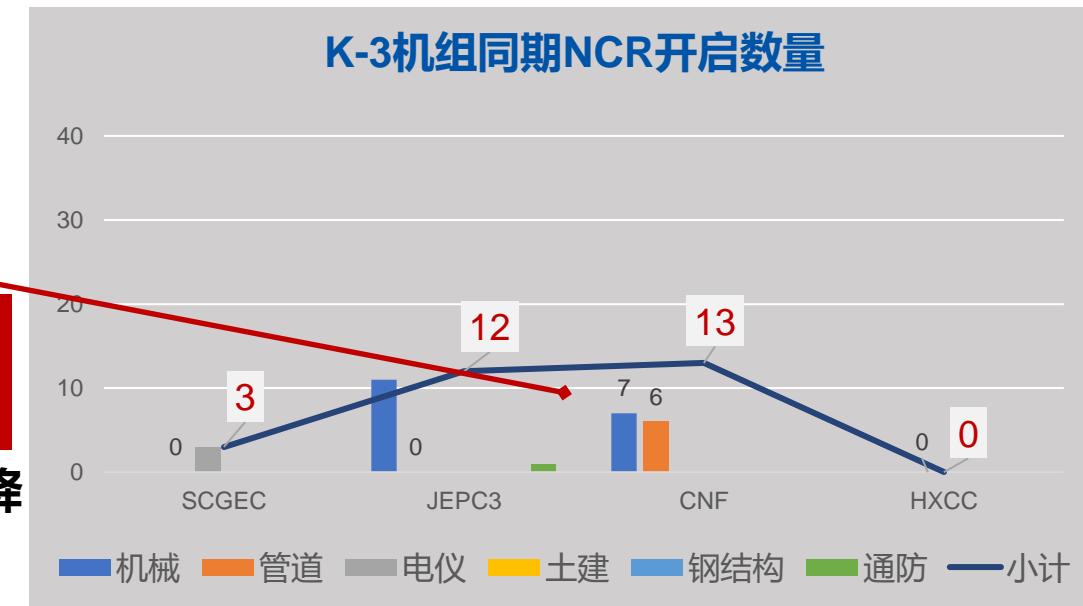
K-2/K-3项目	352项	59%
福清5/6机组	151项	25%
福清1-4机组	28项	5%
其他核电机组	62项	10%



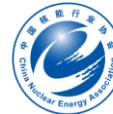
- 经统计，K-3机组从热试到装料结束，开启的NCR数量总计28项，较同时期K-2机组NCR开启数量（131项）总体下降78%，机械、电仪、通防、土建、钢结构等各项NCR数量均有明显下降，经验反馈工作取得良好效果。



统计区间：2020/5/5~2020/12/3

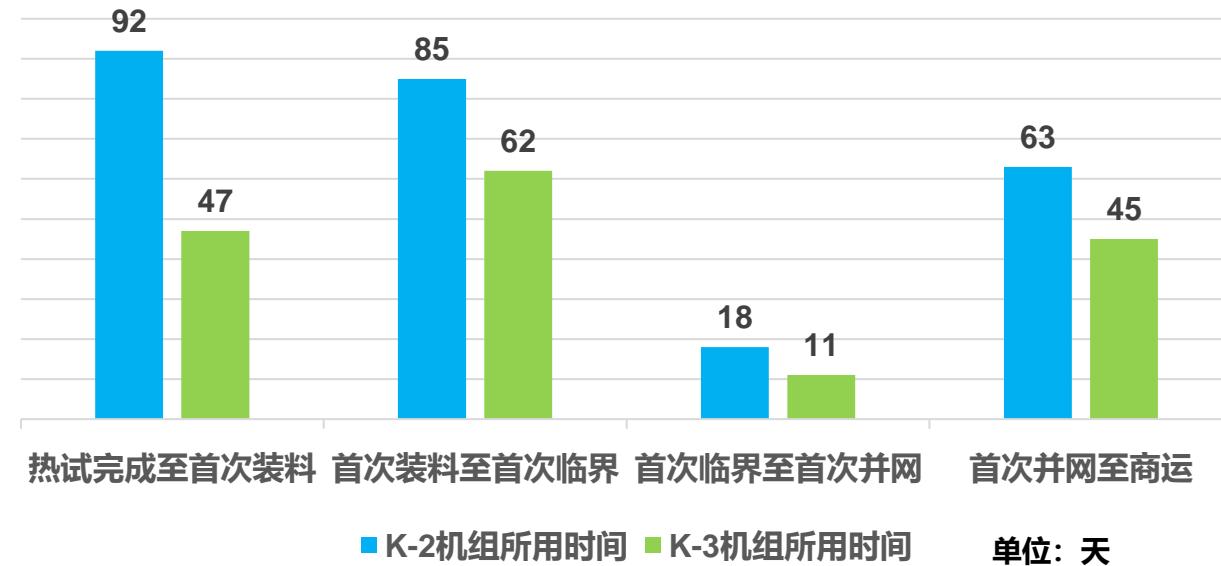


统计区间：2021/9/25~2021/12/21



- 从K2与K3项目的调试工期对比可看出，经验反馈为项目顺利进行起到至关重要的作用，特别是K2机组的经验在K3机组调试过程中的应用，使得K3机组调试期间在各个阶段的调试工期均优于K2机组，且部分阶极其显著。

阶段	K-2机组(天)	K-3机组(天)
冷试	6	5
热试准备	156	157
热试	121	41
装料准备	84	43
装料	8	4
功率试验	166	117
临时验收	/	/
总耗时	541	368





# 03

## 典型案例 介绍



面对全球疫情的严峻挑战，中国中原全力承担总承包主体责任，运用系统思维，合理统筹国内外资源，为实现工程建设与疫情防控“两手抓、两不误”，特制定了多项工作策略和长效机制：

## ● 建立快速响应机制

建立现场值班队伍和应急响应机制，及时将出现的问题反馈给各相关负责人，确保问题的及时传递和跟踪落实；

## ● 形成跨组织界限的协作机制

整合现场各施工单位、厂家、技术外委单位资源，建立快速抢修机制，及时处理机组缺陷。在处理K-2三废系统安装调试、K-3核清洁、K-2主给水泵维修等工作时发挥重要作用，保障主线进度；



## ● 专项协调会议制度

通过生产早会、协调晚会，跟踪协调工作过程中出现的问题，确保各项工作有人跟踪、有人负责、有人落实。对于重大技术问题，通过专项技术会议，组织技术力量讨论并报总指挥批准，确保问题不过夜；

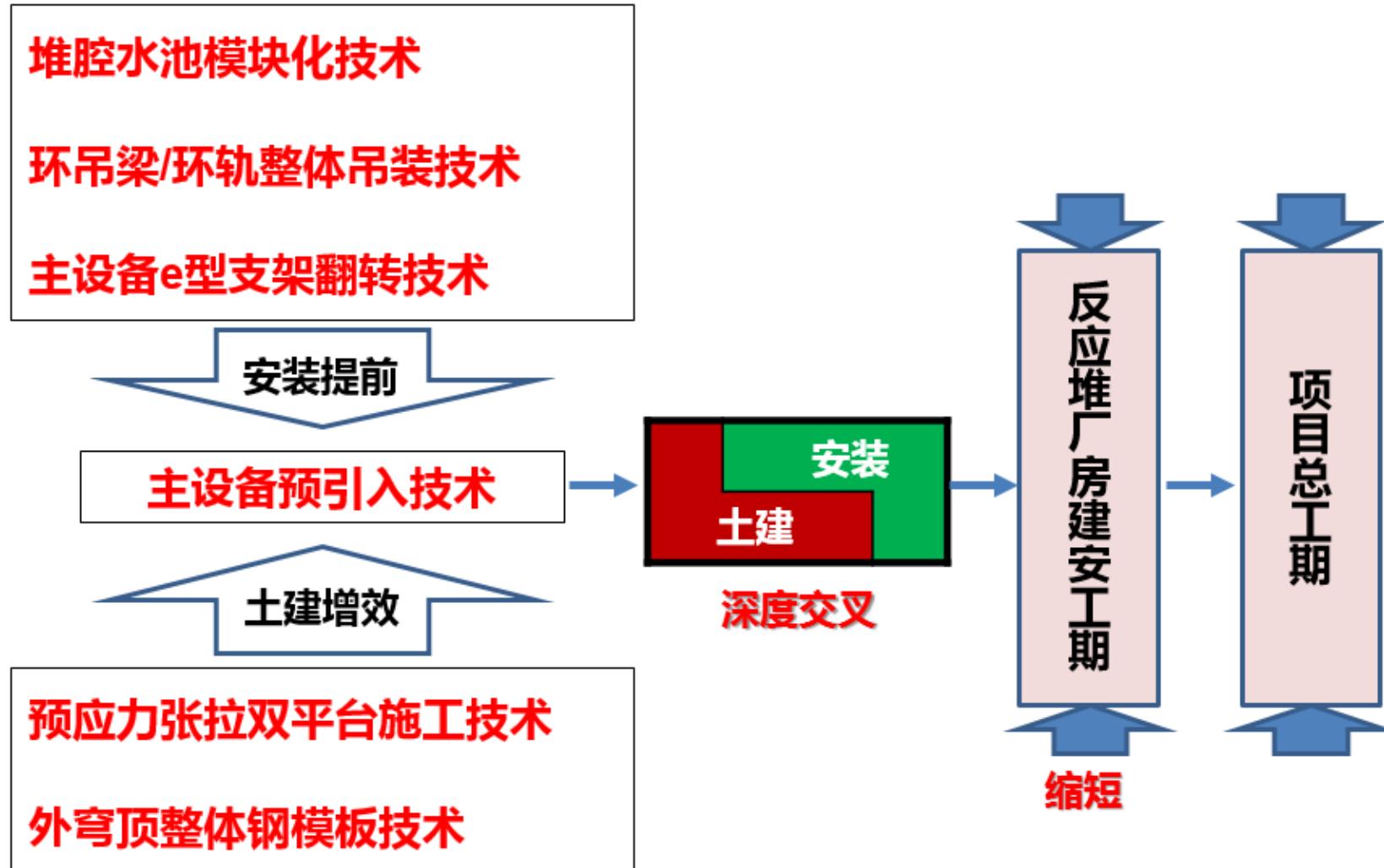
## ● 提高效率，缩短试验空窗期

提前组织人员进行调试准备和仪控模拟，确保运行状态和调试试验实现无缝链接，缩短各试验等待窗口，提高工作效率，缩短调试时间；

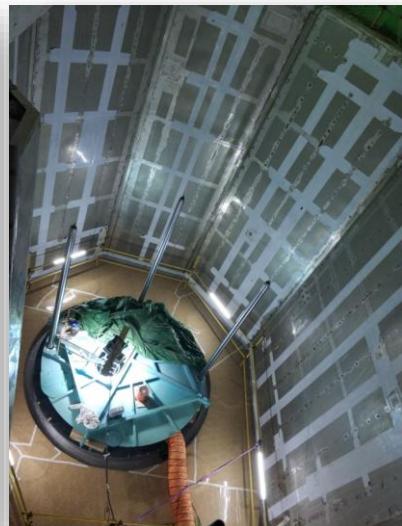
## ● 经验反馈，提前排除隐患

收集后续各功率平台其他机组的经验反馈，提前发现解决问题，消除试验隐患。





- 采用先贴法，完成堆腔水池模块化施工，钢覆面充当模板并与土建施工同步进行，在安装质量提升的同时工期缩短近2.5个月，为提前建立堆腔清洁区创造条件。
- 实现环承梁/轨道、环吊大梁整体吊装技术，地面组装有效规避干涉，降低高空安全质量风险。环承梁/轨道吊装工期节约20天，环吊大梁吊装后仅12天即完成调试。



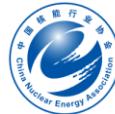
堆腔水池模块化



环承梁/轨道、环吊大梁整体吊装



## 典型案例介绍——2) 施工工法创新



2022年度  
核电工程建设经验交流会议

- 环吊吊装后，利用3000吨吊车完成主设备垂直吊装就位，过程更加安全高效，提前7个月开始主设备安装和主管道焊接，将传统方法中的主设备安装关键路径转为非关键路径。



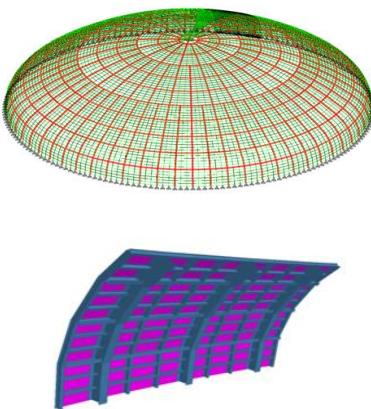
- 施工场地开阔，易于操作
- 机械化程度高，提高了大型吊装设备使用率
- 主系统和辅助系统的安装工作可提前开展
- 主设备施工不受环吊限制，安装工期得以优化
- 提前7个月启动主管道焊接，将主系统施工从主关键路径上释放



- 主设备预引入后，安全壳预应力施工转为关键路径，中国中原提出并实施了预应力施工双平台技术，增加作业面，水平预应力钢束施工加速开展。在确保安全和质量的基础上，带来工期释放效应约3个月。
- 首创实施了外穹顶整体式免拆钢模板，自主攻克了设计、施工等诸多难题，一次拼装成型、整体吊装就位，外穹顶施工质量高，同时克服了外壳施工条件恶劣、风险高、与安全壳打压试验干涉的不利影响，节省工期2个月以上。



预应力施工双平台



外穹顶钢模板整体吊装

- 采用核电厂压缩空气系统成功完成安全壳打压试验，充分考虑利用现场资源，设计以厂用主压缩机为主气源，应急空压机为补充气源的联合打压方案，最大限度提高安全壳升压速率。相比“华龙一号”国内首堆，在未租赁空压机的情况下，试验总工期增加仅数小时，超出计划预期。
- 基于调试期间的成功经验，K2项目首次大修的安全壳试验依然采用核电厂空压机组作为打压气源，在计划时间内完成试验，为巴方业主节省数百万租赁费用。

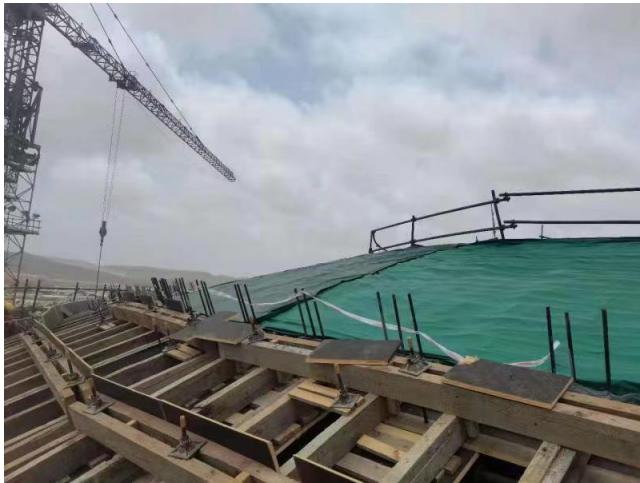


主空压机组

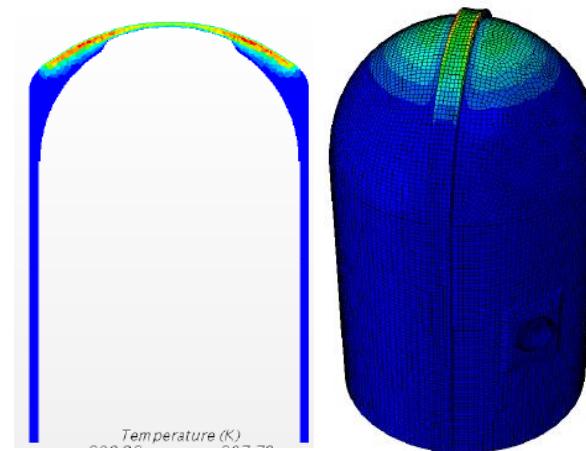


安全壳升降压曲线

- 在外层安全壳施工未完成的情况下，创新提出创新性地提出“内穹顶竖向变位测量补偿”的方案。通过仿真软件建模模拟分析，并通过搭建一套临时温度补偿测试系统，成功消除温度变化对安全壳结构测量的影响。
- 首次实现“华龙一号”在热态试验前完成安全壳打压试验，优化关键路径，节省主线工期约25天，在工程建设中具有重大推广意义。



外层安全壳混凝土未浇筑



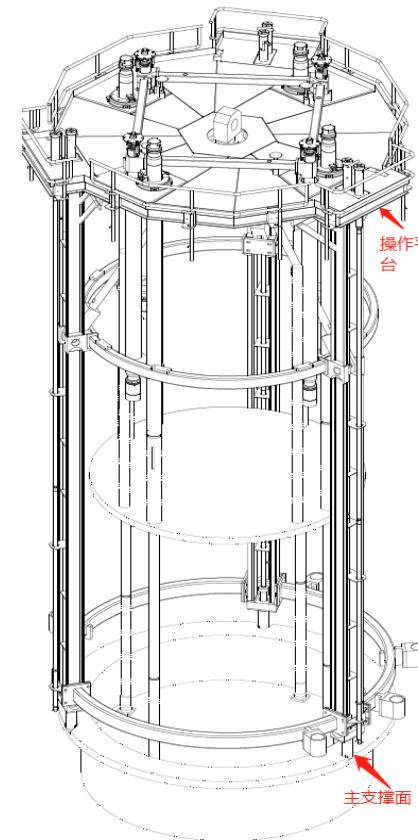
内穹顶竖向变位测量补偿试验





- 中国中原在开展技术出口的同时，带动国内装备制造、产业供应链整体走出去，积极推动了核电设备国产化研发工作。K-2/K-3项目设备国产化比例达到96%，其中关键成套设备国产化比例达到100%，妥善解决了设备供应链风险大的“卡脖子”问题，为“华龙一号”的出海奠定了坚实的基础。
- K-2/K-3项目中，中国中原在集团公司龙腾计划指导下，协同设计院、各设备制造厂，开展了主蒸汽/主给水隔离阀、稳压器快速泄压阀、主泵转速处理装置和核安全级控制系统等设备的研发工作。除此之外，中国中原还结合海外核电建设的实际，自主组织开展了水泥固化线系统设备、除气及蒸发单元设备、稳压器安全阀、辅助给水电动泵等设备的国产化，打破了国外供货商的垄断、填补了我国多项技术空白，提升了国内装备制造水平、打造了核电设备供应链体系，为“华龙一号”的国家名片贡献了自己的智慧和力量。

- 在对K-2机组堆内构件长导向柱进行图纸尺寸核实时发现，长导向柱长度大于堆内构件吊具的高度，使用线坠进行现场核实，确认0°和270°方向的长导向柱顶部与堆内构件吊具上方操作平台干涉，干涉量为XXmm。
- 此长导向杆在安装阶段不使用，换料期间水下使用，若未提前发现，可能造成下部堆内构件与压力容器碰撞，导向柱装弯，螺纹孔损伤等严重事件。



上图显示的是短导向柱，箭头指示为长导向柱安装后的高度，红圈为碰撞部位

## 原因分析



1. 吊具和长导向杆尺寸不匹配。
2. 设计时未仔细校核匹配数据，同时堆内构件吊具和导向杆分别为两个厂家生产，制造完成后也未进行匹配验证。

## 采取措施



1. 将干涉具体量值进行详细核实和反馈，出具DEN对堆内构件吊具操作平台作局部切割处理。
2. 对吊具进行处理后，具备条件时安装长导向柱进行实况验证。
3. 反馈至K-3机组，并在冷试前完成修改和实况验证。
4. 举一反三，针对压力容器假顶盖、堆芯探测器拆除装置等在建安调试阶段都不使用而运行阶段使用设备，安装过程中进行实况验证。



- TSA131/231/232/132/133/233VV大气排放阀为首次科研国产化设备，且供货商也是首次制造大气排放阀，无类似产品在其它电站验证。K-2机组热试期间在执行TP2TSA52试验时，大气释放阀在开度90%左右时出现抖动和振荡，就地检查发现阀门在带载全开时，阀杆上下窜动无法稳定，无法触发全开限位。
- 空载状态下，阀门调节性能正常。

### 原因分析

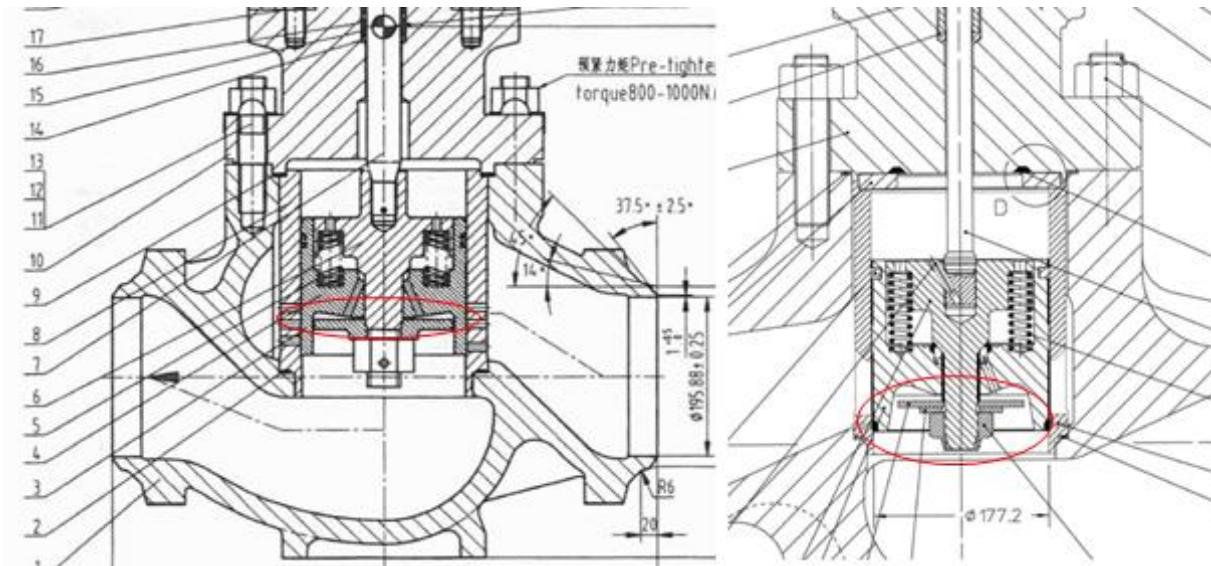


1. 阀芯部件不平衡力过大，即阀芯部件平衡孔布置不合理，造成阀芯带载存在较大不平衡力。
2. 定位器输出不稳定、放大器排气不及时。

## 采取措施



- 修改阀芯底部底板结构，增加阀芯部件平衡孔的进气量和排气量，保证平衡孔功能实现，以期降低阀芯不平衡力。经验证，在0.4MPa蒸汽压力下，阀门仍然无法全开。



- 将分体式定位器改为一体式定位器，排除定位器输出不稳定这一因素。经验证，给全开信号时，可达到XX%开度,满足设计要求。

## 采取措施



3. 向放大器输入稳定信号气源，保持在0.35MPa，观察放大器动作和阀门动作情况，经验证阀门可以稳定全开。**由此判断原因为阀体高频率的振动幅度，传到定位器致使阀门控制气路和定位器输出气源受到影响，无法精确控制继送放大器，进而影响气动执行机构正常工作。**
4. 利用支架将定位器和电气转换器脱离阀体安装，经带载验证，阀门可以全开。

## 改造效果





- TSC系统12台旁路排放阀台排放阀在K-2/K-3项目首次实现了纯国产化。阀门在单体调试（空载）过程中发现开关时间（调开调关及快开快关）不满足设计要求，并且阀门无法在某一开度上达到稳定。



### 原因分析



1. 现场环境较差，气源、异物、漏气等因素对阀门动作时间造成影响。
2. 阀门部分部件或阀门本身气路设计不能满足快开快关要求。

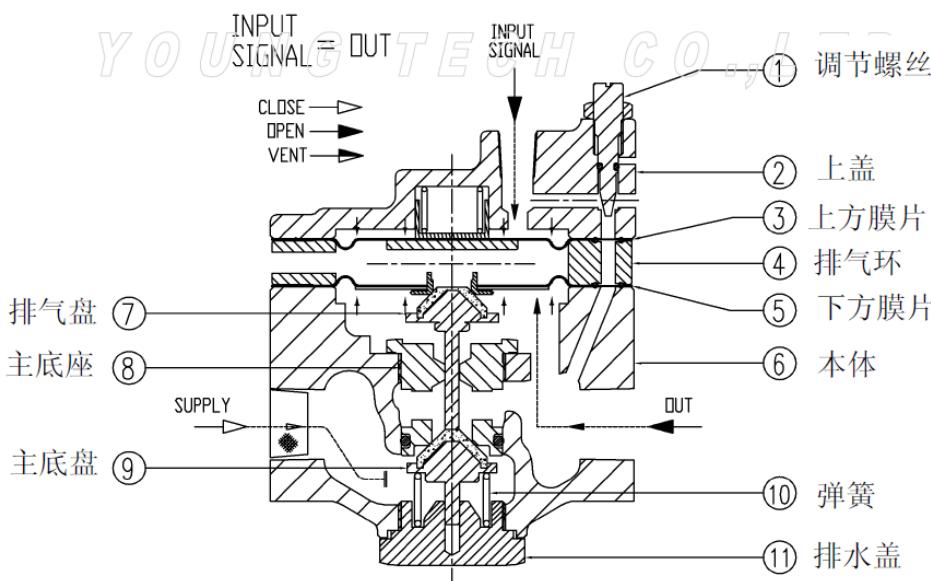


## 采取措施



1. 在进行查漏、清洁、更换部件等多次尝试后，在不同工况下进行反复试验，并比对出厂试验结果，判断为阀门自身设计存在缺陷。
2. 分析阀门气路图，并结合就地发现的阀门开阀气路上的放大器在阀门未收到动作信号时存在排气现象，**判断阀门内部存在串气现象，从而导致阀门无法稳定。**

旁排阀控制气路图



放大器结构原理图



## 采取措施



3. 通过对放大器工作原理的进一步研究，判断问题的具体位置。现场加工临时堵头，隔离问题部位后测试阀门快开快关时间均符合设计要求，且在各开度保持稳定。**至此锁定为三通气控阀的选型问题，无法挡住该气路上的气流，导致阀门内部出现串气现象。**
4. 改造期间，受新冠疫情影响，为保障工程整体进度，在未采购到合适三通气控阀的情况下，K-2/K-3项目选取三个新型三通气控阀并联的方式进行改造。
5. 在后续调试过程中，通过在气缸上部增加排气口的方式，解决了12台旁排阀成组动作时，快开快关时间过长的问题。从而通过全部调试试验，完成阀门改造。



- K-2、K-3机组NB厂房内+13.5m层和+16.5m层CCV、CSV系统风管占用人员/设备通道空间，影响消防疏散及设备维修转运，需设计从系统层面对管道布置方案进行优化。

### 采取措施



1. 16.5m层穹顶搅混风管，在外环廊钢平台上方架高2.68m。
2. 13.5m层CSV排风管，由原来的上翻至16.5m层，改为下翻至7.5m层。
3. 7.5m层增加CSV系统排风管。
4. K-2/K-3项目综合考虑现场实际情况、改造难度、施工工期等，对改造方案提出优化建议，在实现改造效果的基础上，将工期影响降到最低。

### NB内风管堵路现象



谢谢  
THANK YOU

