



中国核工业第五建设有限公司
China Nuclear Industry Fifth Construction CO., LTD.

中核集团
CNNC

窄间隙TIG焊接机器人

中国核工业第五建设有限公司
2022年7月





中国核工业第五建设有限公司
China Nuclear Industry Fifth Construction CO., LTD.

公司主管道焊接技术发展

巴基斯坦核电



神华煤直接制油项目 (2007)



卡拉奇核电



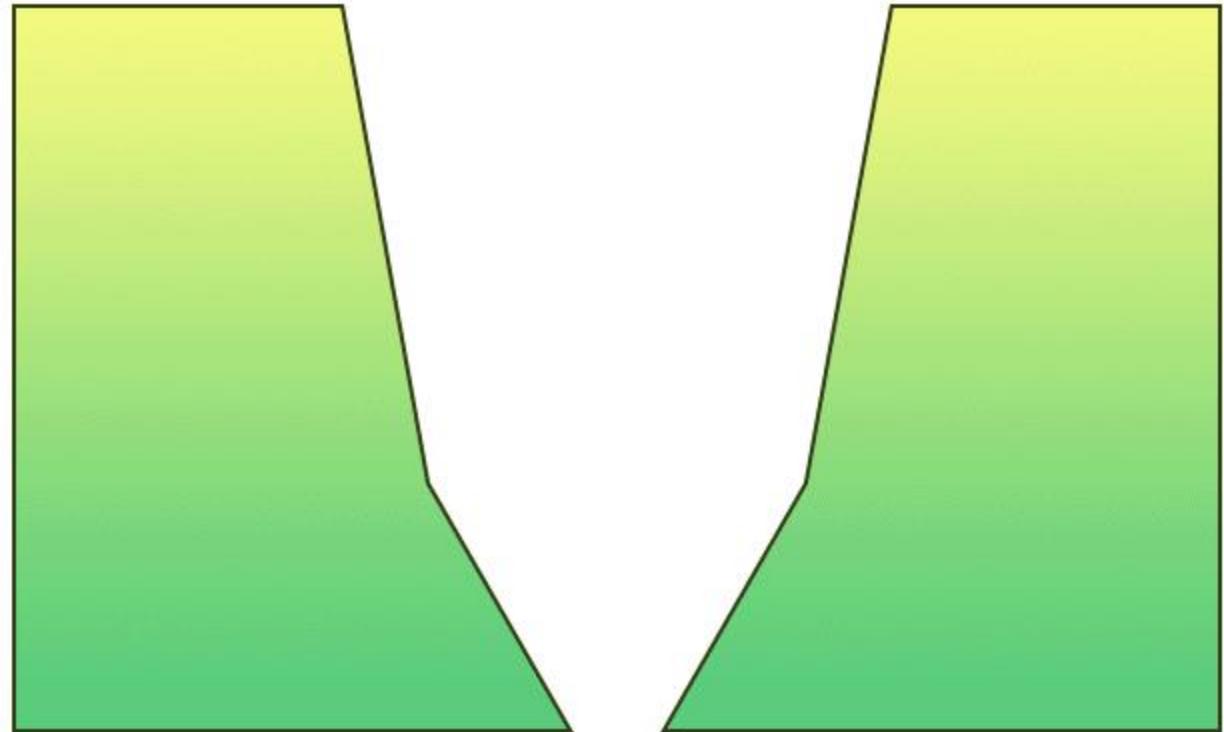
泰山核电 (二期扩建)

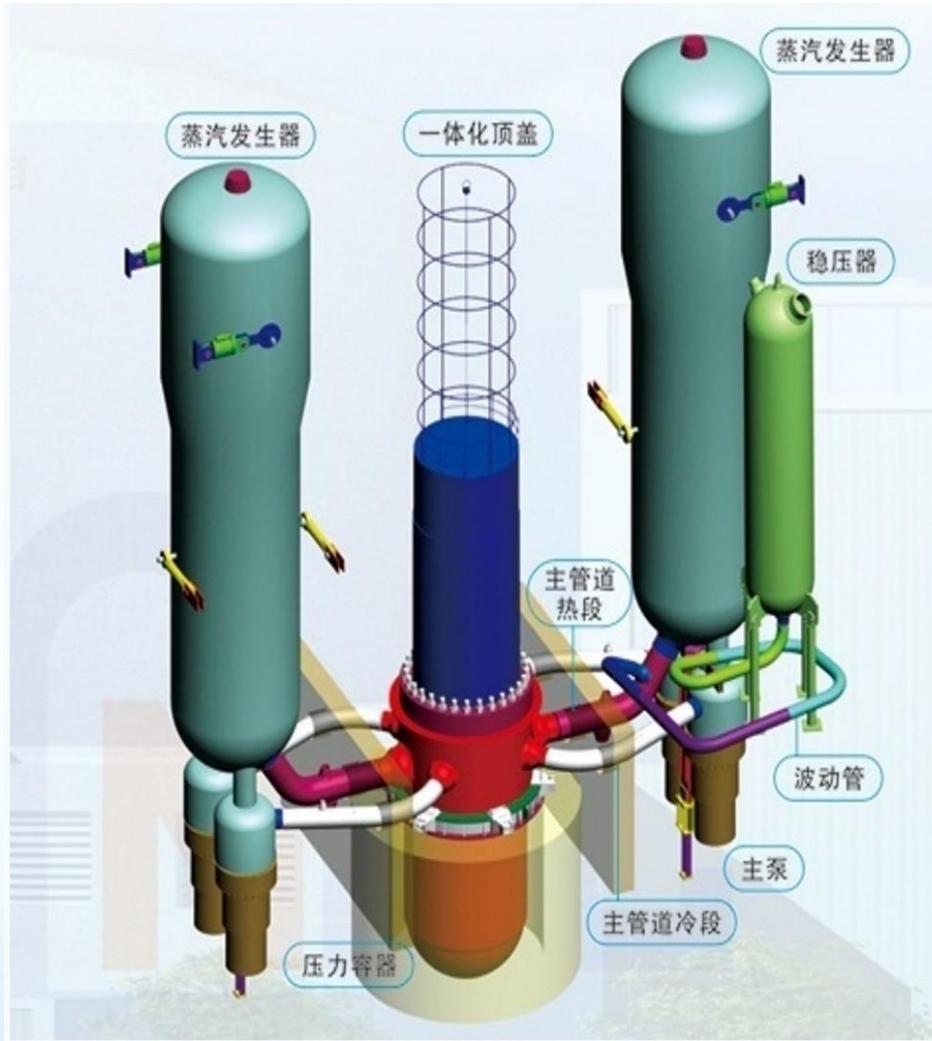


三门海阳AP1000核电

窄间隙焊与手工焊对比

- 坡口更小，减少50~80%填充量；
- 总焊热输入量和热循环次数更小；
- 焊接收缩更少，更容易控制焊接变形；
- 焊接残余应力更小；
- 全过程使用自动氩弧焊，质量更均匀；
- 远程焊接，大幅改善作业环境，降低劳动强度。





**窄间隙自动焊工艺
已成为核电主管道焊接的首选工艺**

工艺依赖于稳定的自动焊接装备



出口国外核电建造，使用进口装备
受诸多采购、服务限制；



设备成本居高不下，维护成本高、
维修周期长，设备使用综合成本高；



致力于实现主管道窄间隙焊接装备
自主化





适用成熟工艺



焊接厚度 ≥120mm

适用单边坡口角度≤5°

双向焊接功能

可靠的弧压跟踪功能

准确的脉动送丝

摆动同步模式

长钨极稳定脉冲输出

精准的焊接、摆动等速率控制

适用于狭小空间作业

热丝功能



远程自动焊接



≥2km远程操作

清晰的熔池图像

实时获取机头位置

数据准确交互

低延时控制

操作端与焊接端的人员通讯

.....



过程数据存储



焊接过程熔池图像存储

焊接过程参数自动记录

焊接记录自动生成报表

焊接数据的复用

.....



双机头协同焊接

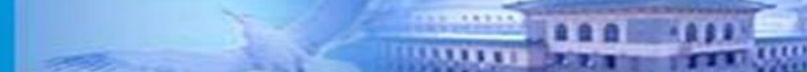


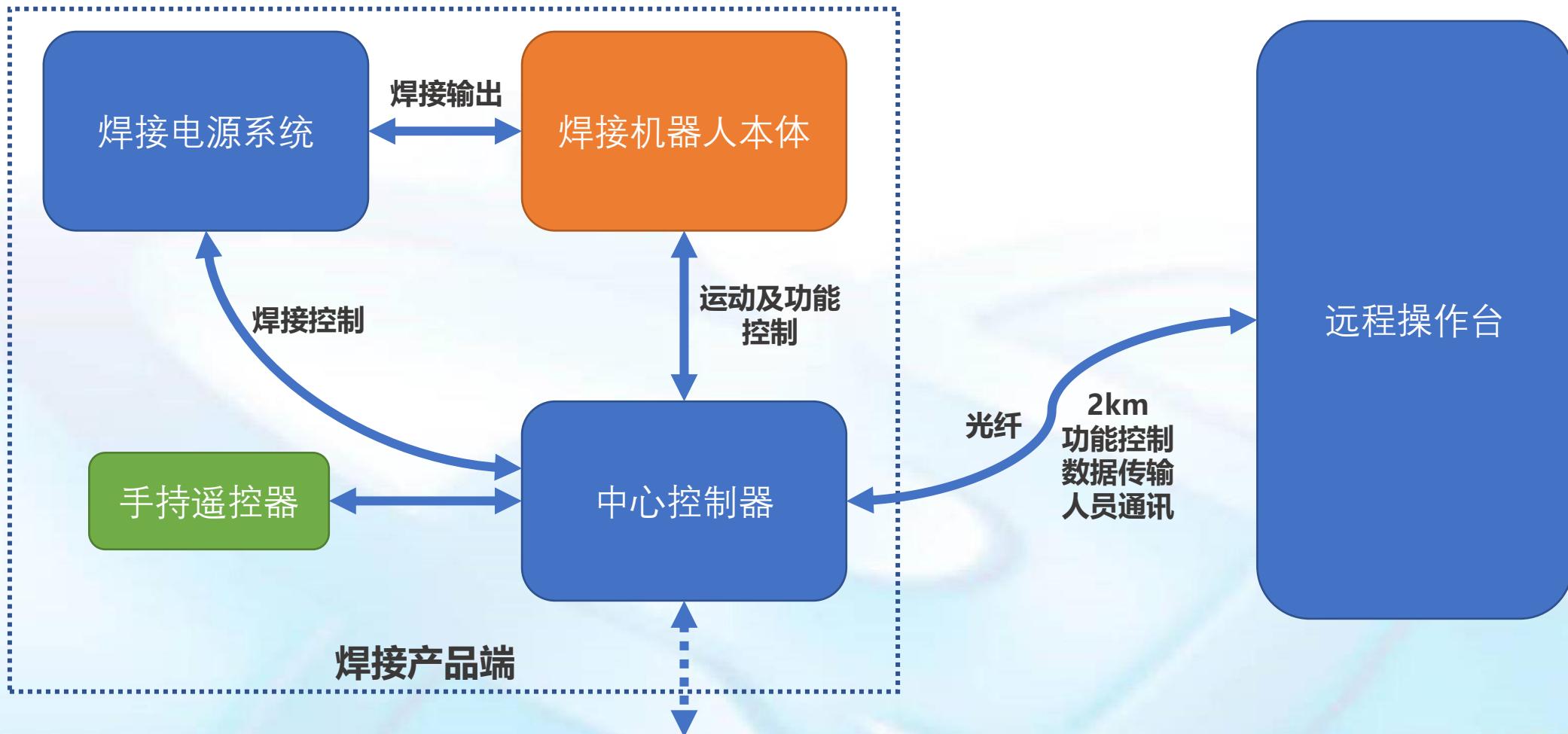
双机头自动焊接逻辑

双机头防碰优先逻辑

正常焊接不中断逻辑

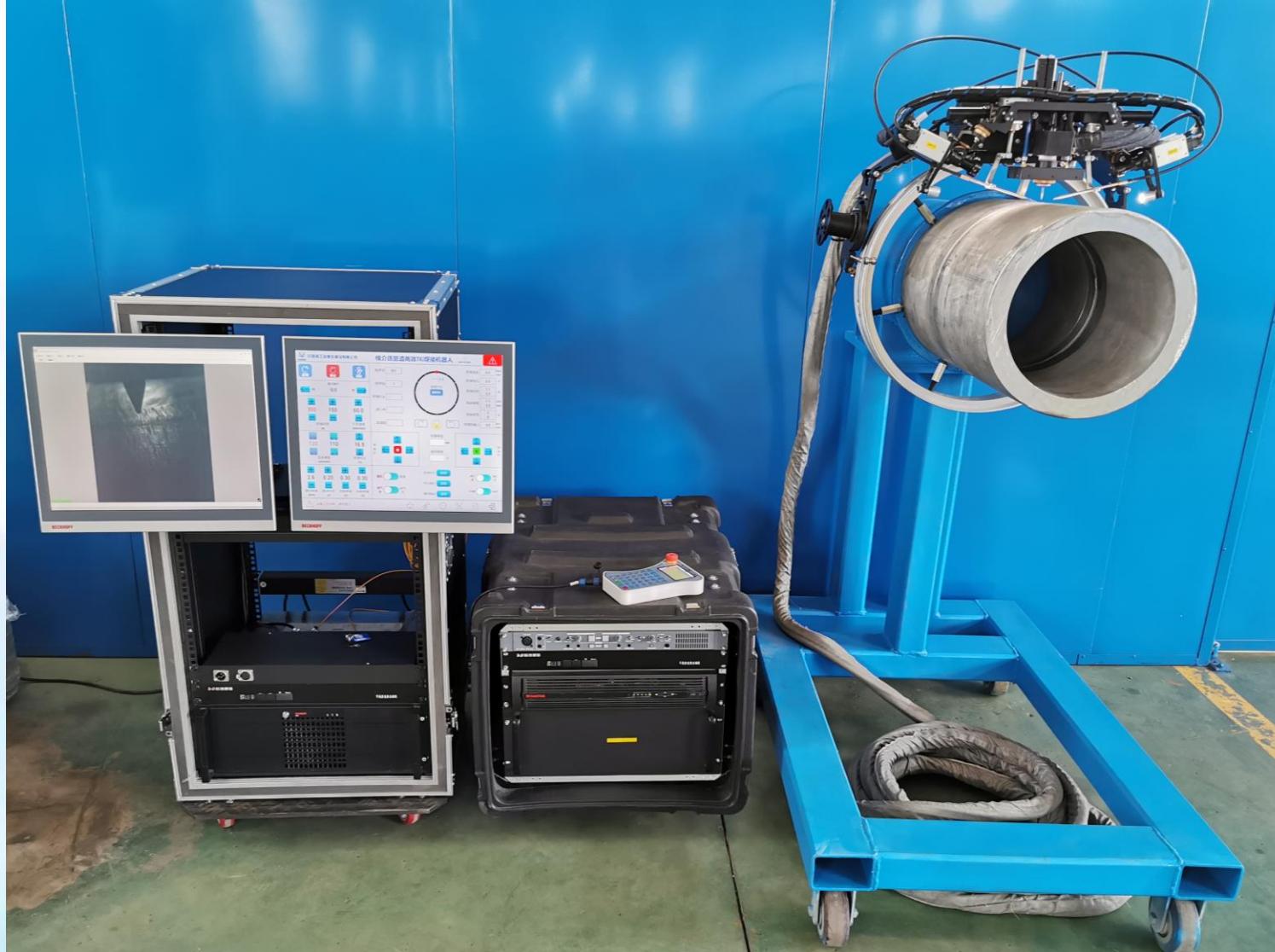
.....







中国核工业第五建设有限公司
China Nuclear Industry Fifth Construction CO., LTD.

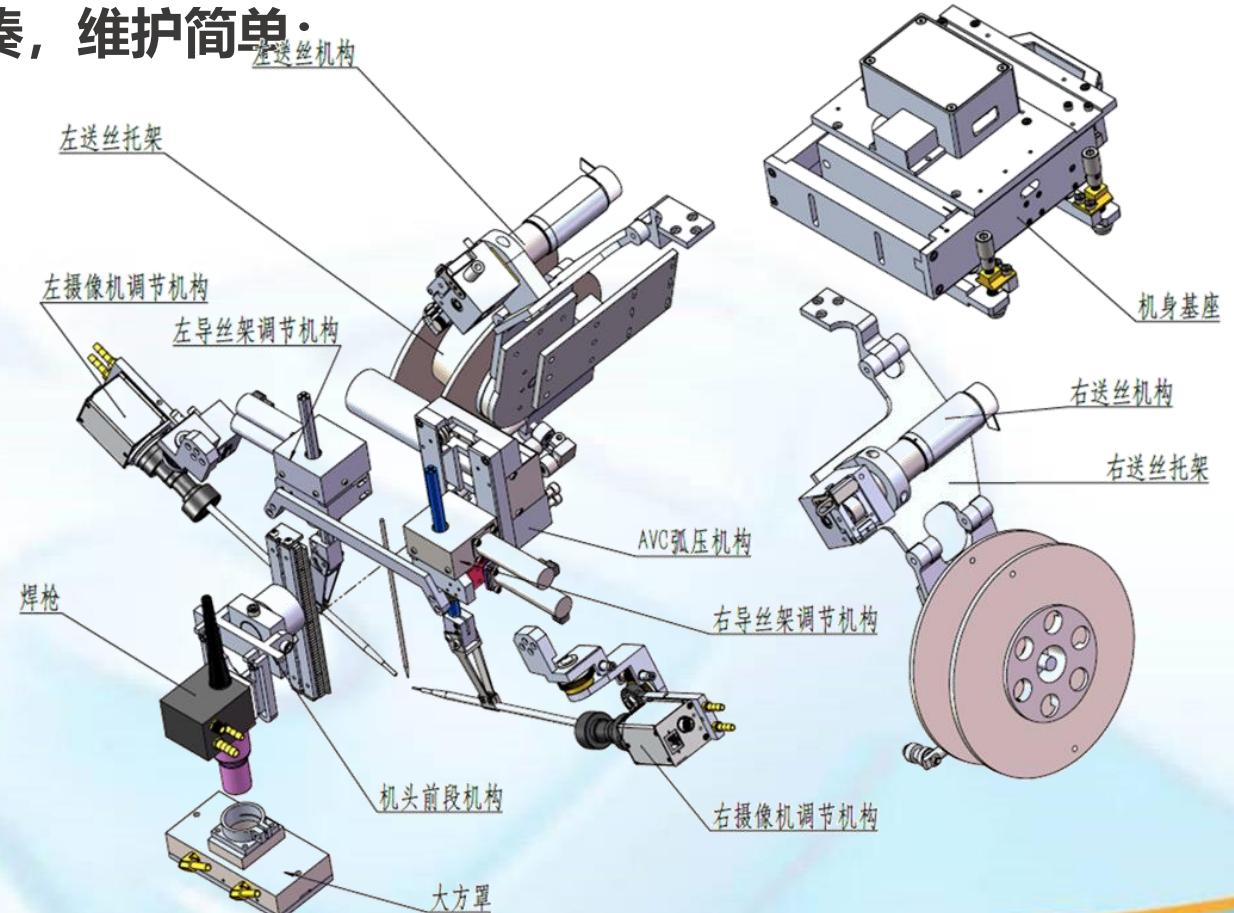
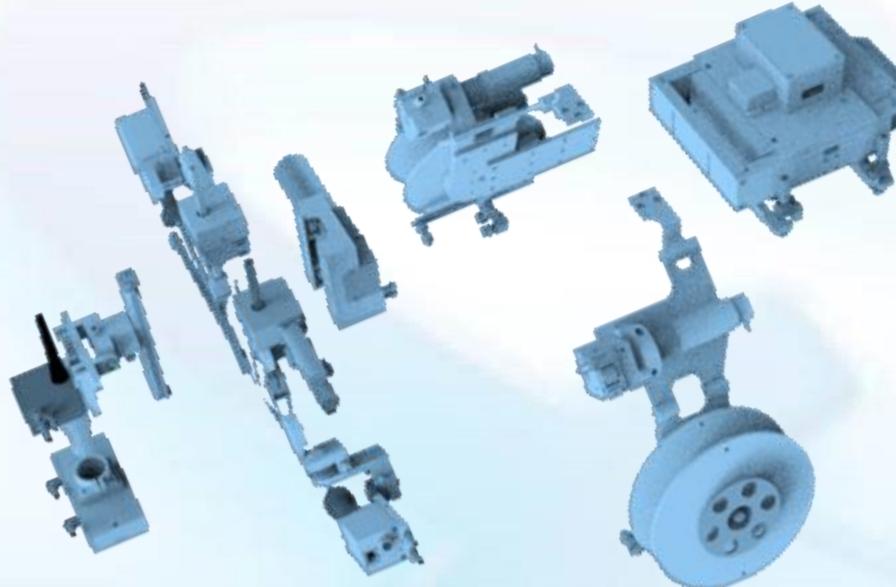


CNNC

China National Nuclear Corporation

焊接机器人本体

轨道焊接执行机构，模块化设计，结构紧凑，维护简单：



焊接机器人本体

适用于小空间,可焊管厚120mm

- 管壁外230mm, 可焊厚度120mm
- 专用焊枪设计, 特殊的焊接保护气路
- 焊接不同深度, 分级问题, AVC自动控制,

运动精度保证

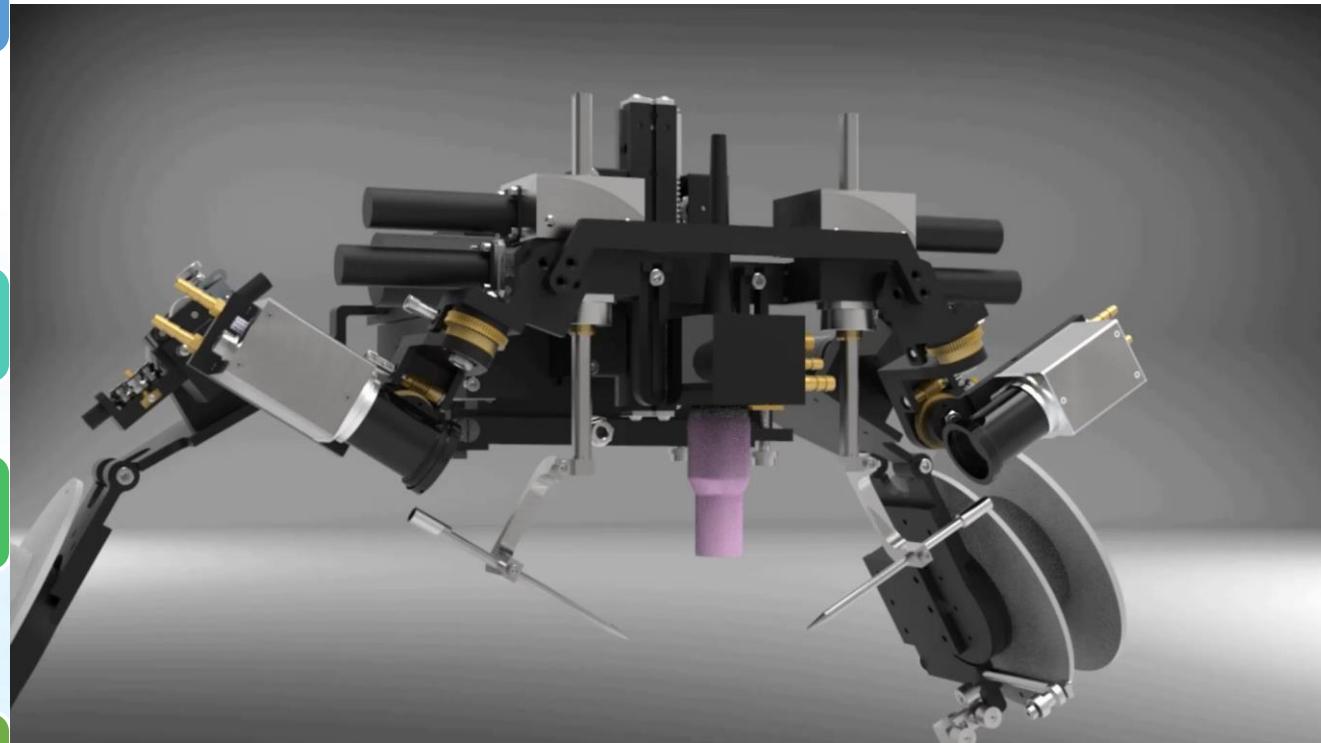
- 机械传动结构精度设计, 位置限位传感, 电机闭环控制

单侧坡口5°

- 焊丝架自动实现上下、左右调节, 实现不同深度的焊丝送入
- 焊机相机预留足够的光路空间

双向焊接

- 双独立送丝机构



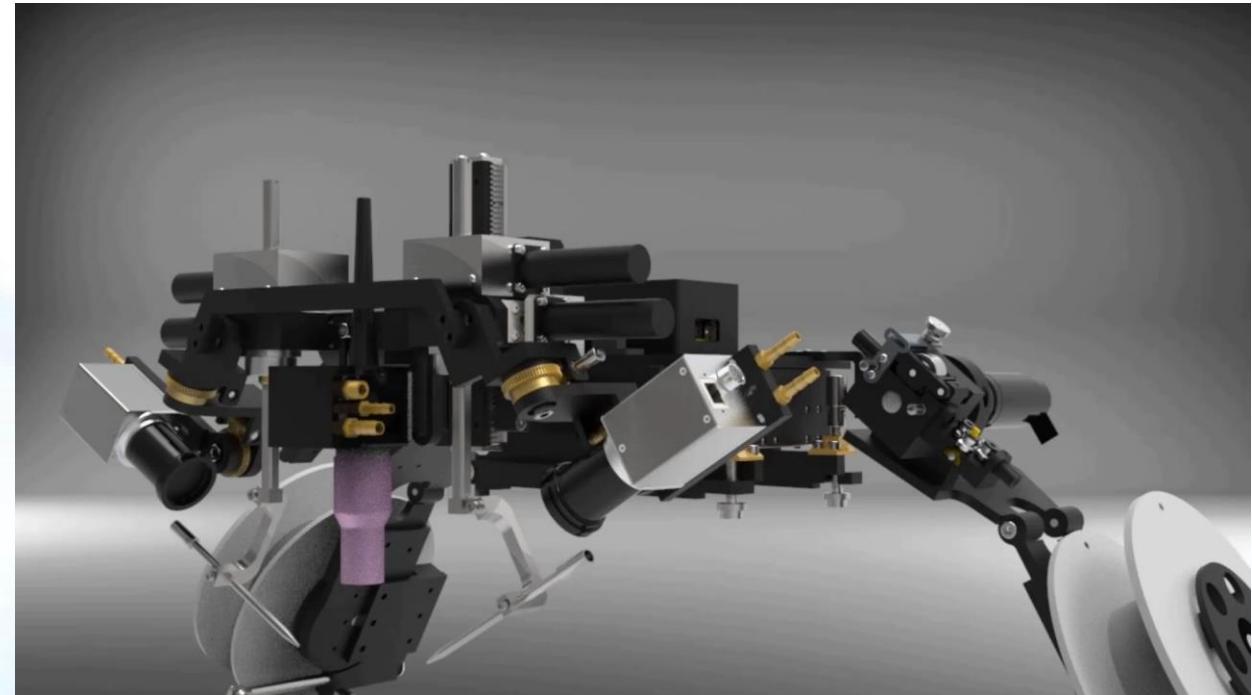
精
准
的
弧
压
控
制

高品质伺服电机

可靠的算法，响应准确

AVC行程大，达45mm

全过程保持弧长一致



可焊接管厚120mm

- 钨极伸出长度120mm时仍能保持电弧稳定输出，
选择稳定输出的电源；
- 配置高性能电源

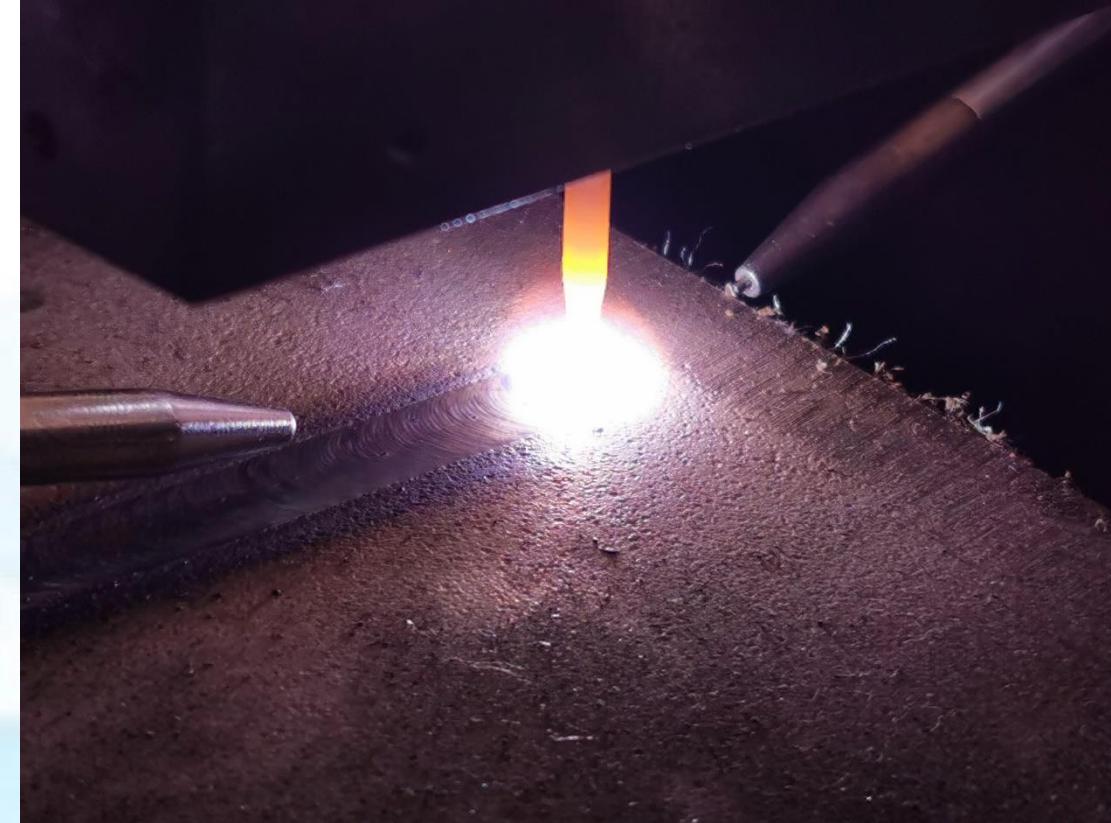


高清焊接图像系统

焊机相机做为自动焊的眼睛，实时获取高清焊接熔池是保证远程焊接质量的必要条件。

本设备对焊接相机需求特点：

- 相机本身体积要求小；
- 电弧中心与周围亮度差极大；
- 物距小（100-200mm），
- 光学放大倍数要求，以保证图像在显示器上有合适的放大倍数（ $\times 10$ 左右）
- 持续稳定的焊接图像质量

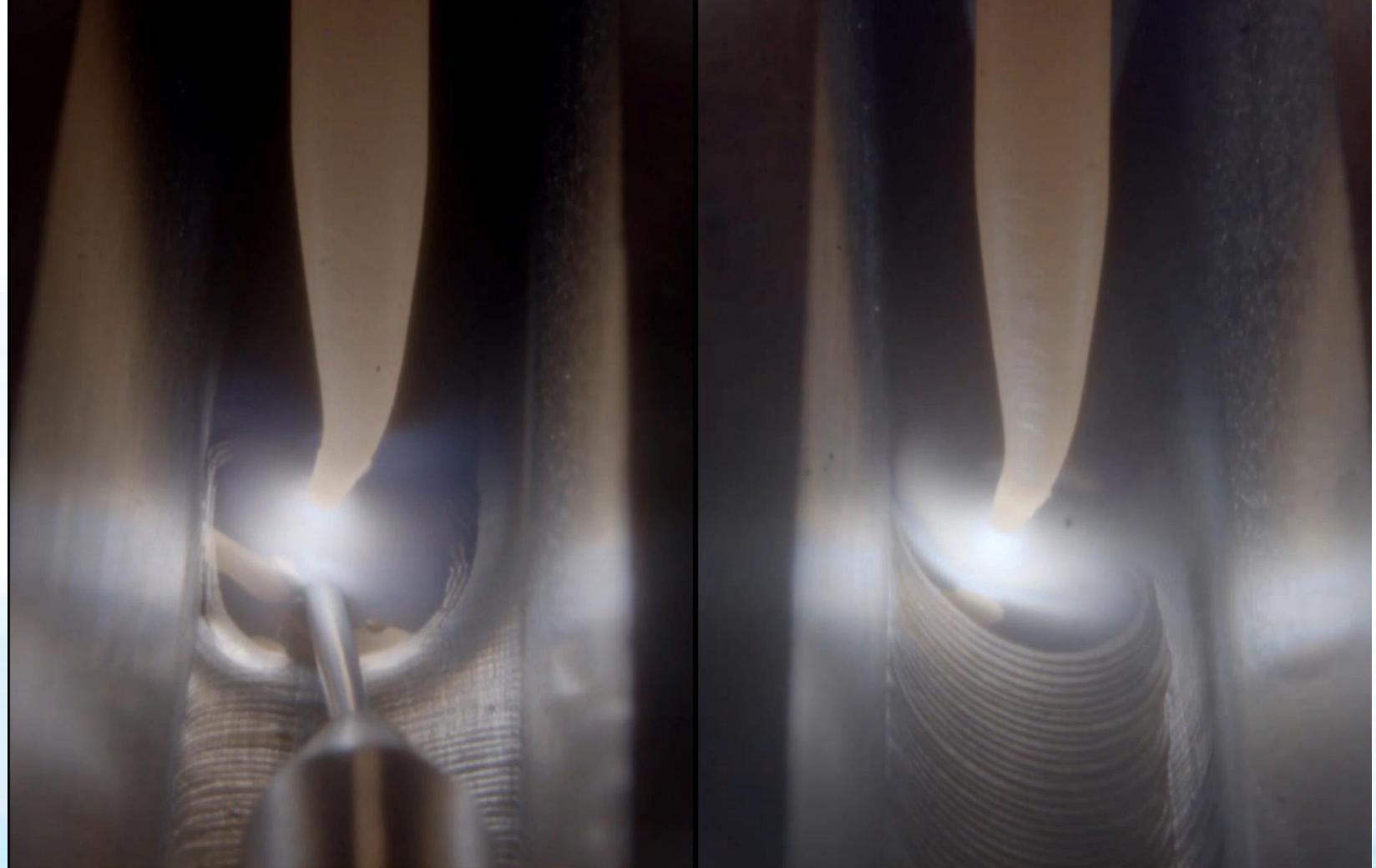


一般焊接相机效果



集成高清焊接图像系统

- 焊接前、后双图像同时观察；
- 同时观察电弧、熔池、熔合情况、焊丝送入等特征；
- 同步存储焊接过程视频；
- 长距离稳定传输；



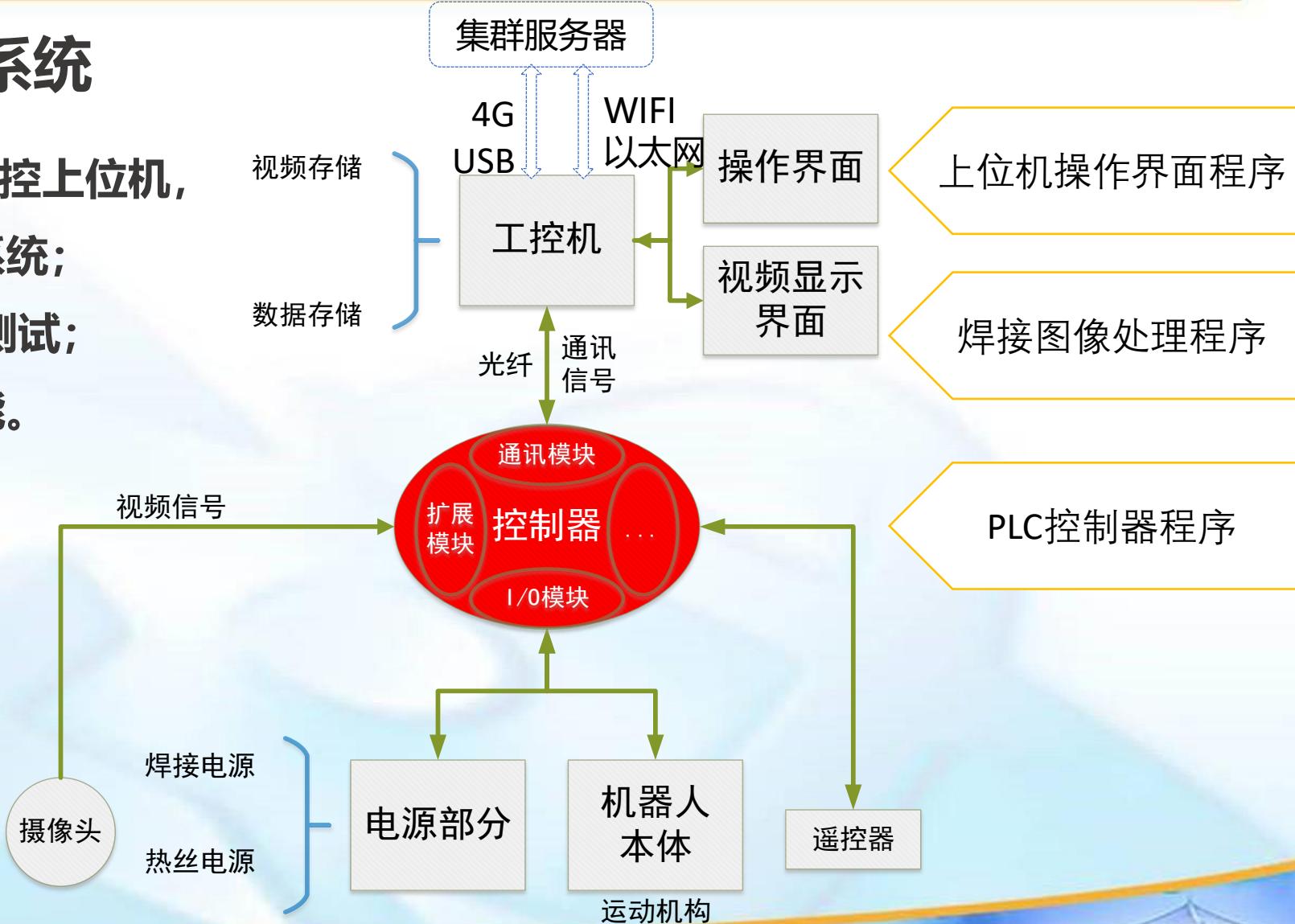
中心控制器与远程操作台（2019年）

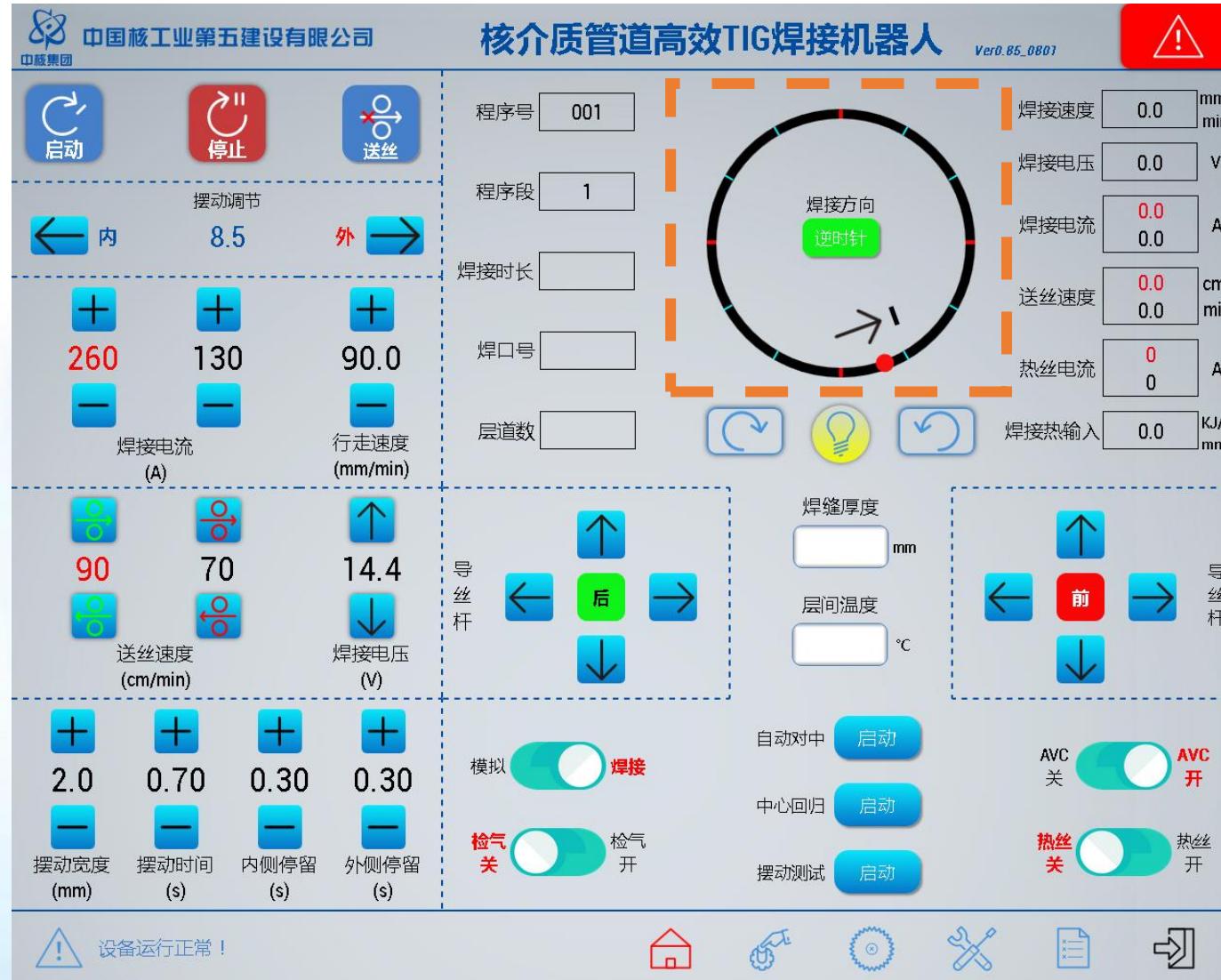


- 核心逻辑及功能控制集中在中心控制器中；
- 控制器中配置UPS稳定电源，保证系统电压稳定，断电后正常的数据存储等功能；
- 集成内部通话系统，实现操作端与操作台的语音通讯；
- 中心控制器与远程操作台通过光纤连接，2km远程操作，延时小；
- 操作台配置工控机，实现焊接熔池图像及焊接数据处理、记录等功能。

全自主研发装备控制系统

- 使用PLC硬件开发平台加工控上位机，自主开发全部的装备控制系统；
- 整套机头与系统通过EMC测试；
- 具备焊接信息数据集群功能。





控制台操作系统

控制界面，操作功能直观、易懂

准确的时间焊接位置显示

焊接电参数、摆动参数、送丝速率、位置自动调节

焊接工艺专家库、全过程参数记录、自动生成定制模板焊接记录；

中国核工业第五建设有限公司
中核集团

轨道式窄间隙TIG智能焊接机器人 V1.0.101_1007

焊接工艺设置

工艺选择 003

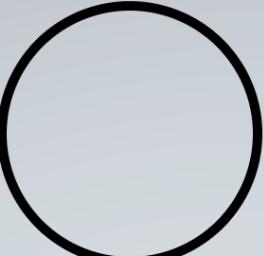
提前送气 7 s 滞后停气 7 s

缓升时间 0.0 s 缓降时间 0.0 s

起弧电流 30 A 熄弧电流 50 A

脉冲模式 同步焊接

送丝方式 前侧送丝



参数分段 1

第一段 0h --- 0h

当前段数 1

焊接电压 12.6 V 行走速度 78 mm/min

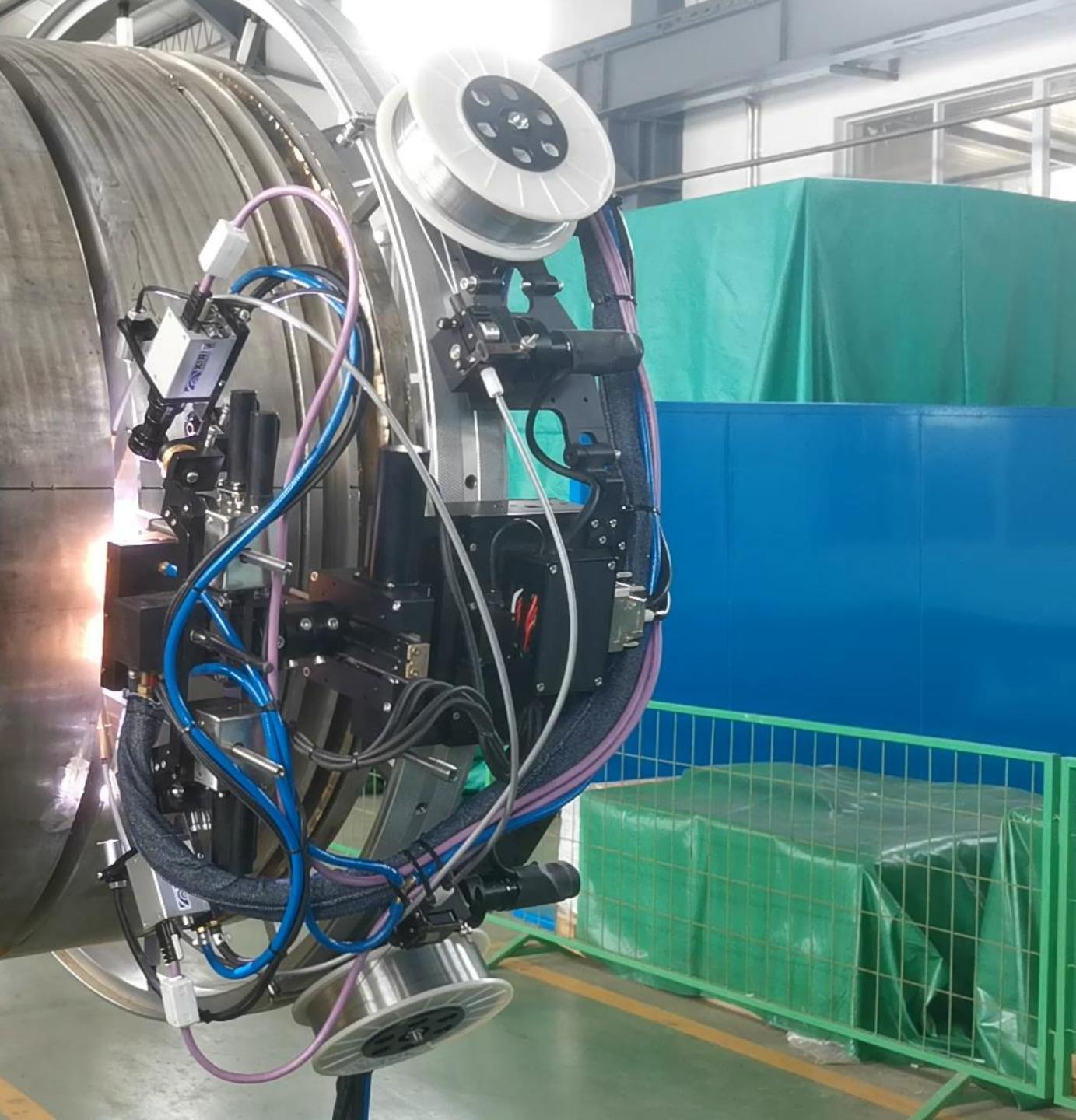
摆动幅度 4.0 mm 摆动时间 0.50 s

内侧停留 0.20 s 外侧停留 0.20 s

峰值	基值
焊接电流 280	140 A
送丝速度 80	60 s
脉冲时间 0.30	0.30 s
热丝电流	

应用 另存 保存 删除

主管道模拟试件焊接一次合格





双机头协同焊接

大管径双机头协同焊焊接，提升整体效率

- 自动识别相对位置
- 未焊接机头自动运动，避免碰撞；
- 自动判定能否起动焊接
- 可同向、反向同时焊接；



中国核工业第五建设有限公司
China Nuclear Industry Fifth Construction CO., LTD.

化工超大管径安装施工应用

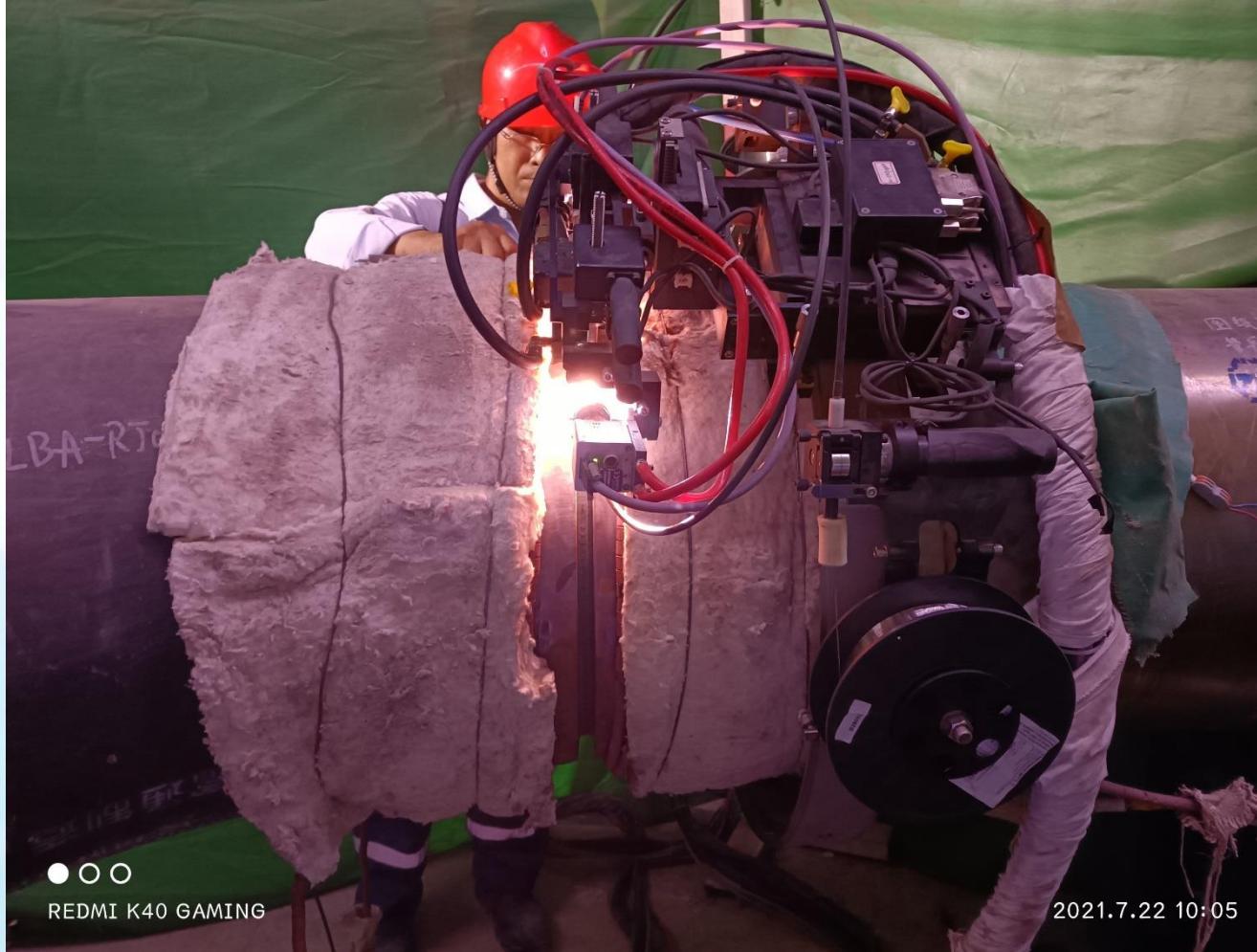




中国核工业第五建设有限公司
China Nuclear Industry Fifth Construction CO., LTD.

中核集团
CNNC

核电工程二回路施工应用





结束语

通过先后4年的研究、设计、开发、集成、试验测试等工作，形成了窄间隙自动焊接成套设备，已具备工程使用条件；

- 实现机头全结构的自主设计、加工、组装、调试和制造；
- 实现装备全部控制系统的自主开发，具备自主知识产权；
- 降低窄间隙焊接设备成本2/3以上，为继续扩大窄间隙自动焊技术应用范围提供基础；





中国核工业第五建设有限公司
China Nuclear Industry Fifth Construction CO., LTD.

中核集团
CNNC



感谢聆听，感谢关注！