

兰州重离子医疗装置 回旋控制系统中的连锁设计

报告人：张建川
中科院近代物理研究所

报告内容提纲

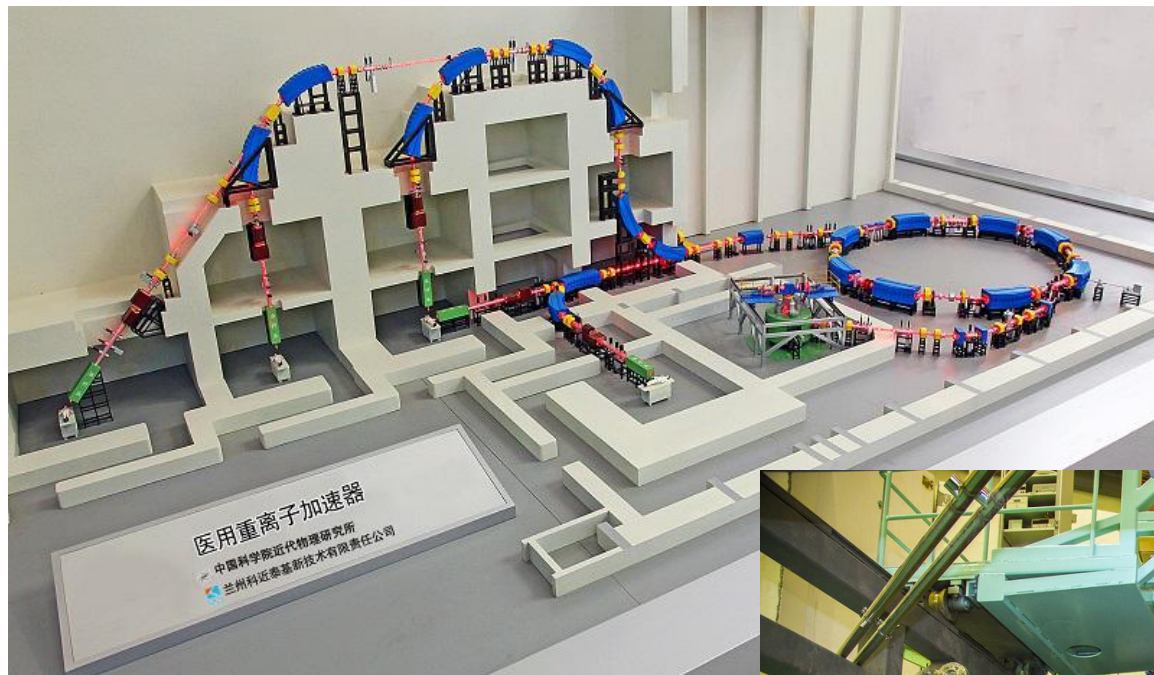
- ❖ 项目背景介绍
- ❖ 相关设备连锁要求
- ❖ 分立元件接线
- ❖ 软硬件连锁设计
- ❖ 总结

项目背景介绍

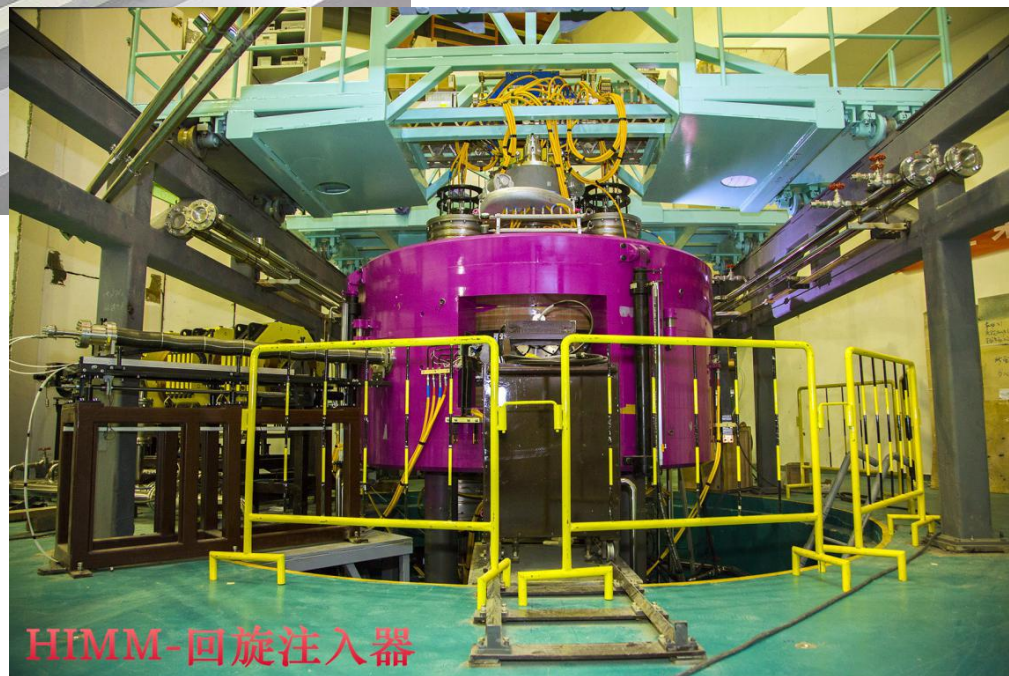


兰州重离子医疗装置/兰州重离子医院 位置

项目背景介绍

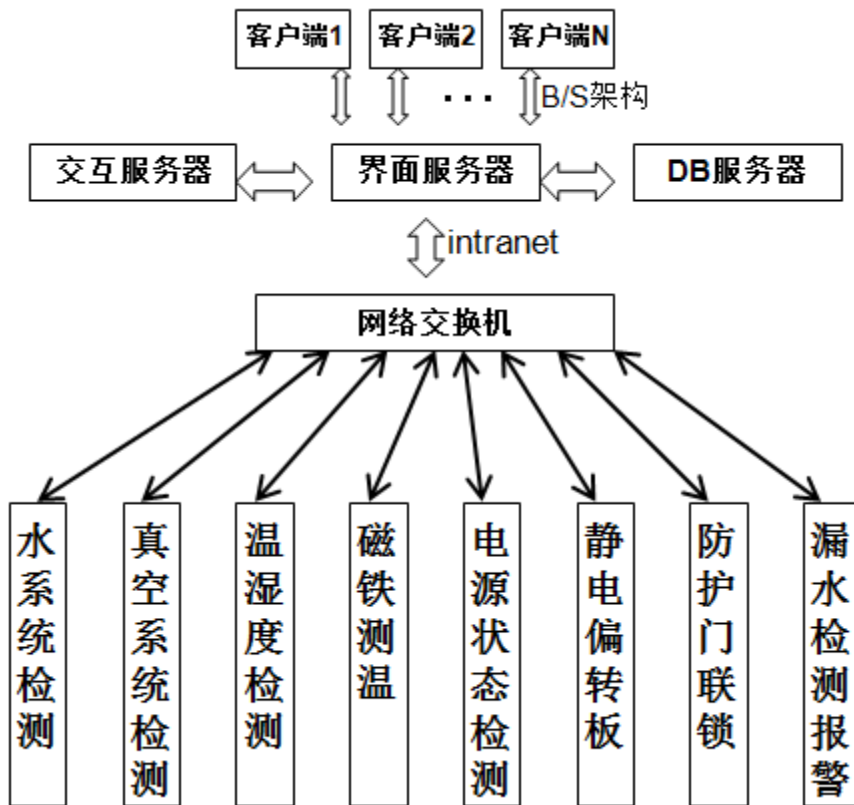


HIMM 重离子医疗装置 模型



HIMM-回旋注入器

项目背景介绍



回旋控制系统 结构图



回旋控制系统 调试界面

报告内容提纲

- ❖ 项目背景介绍
- ❖ 相关设备连锁要求
- ❖ 分立元件接线
- ❖ 软硬件连锁设计
- ❖ 总结

离子源设备连锁要求

序号	连锁条件	连锁动作	备注
1	注入端和引出高真空 $>1.0 \times 10^{-4}$ mbar (阈值可调)	封闭微波机	机器保护
2	弧腔水流状态异常 (断水)	封闭微波机	机器保护
3	高压负载电流过大 (阈值可调)	封闭微波机, 同时报警提示	机器保护
4	弧腔水压过低 (可设定动作点阈值)	报警提示	机器保护
5	弧腔水温过高 (可设定阈值, 如 $>40^{\circ}\text{C}$)	封闭微波机, 同时报警提示	机器保护
6	门禁信号为真 (防护门打开)	封闭微波机	人身安全

微波机连锁要求

序号	连锁条件	连锁动作	备注
1	引出高真空 $>1.0 \times 10^{-4}$ mbar (阈值可调)	封闭高压	机器保护
2	弧腔水流状态异常 (断水)	封闭高压	机器保护
3	高压负载电流过大 (阈值可调)	封闭高压, 同时报警提示	机器保护
4	门禁信号为真 (防护门打开)	封闭高压	人身安全

高压电源连锁要求

序号	连锁条件	连锁动作
1	引出高真空 $>1.0 \times 10^{-4}$ mbar (阈值可调)	关闭阀门 (气动摆阀)

阀门连锁要求

回旋高频设备连锁要求

序号	连锁条件	连锁动作
1	主磁场电源电流 < 1000A	触点断开（不输出功率）
2	回旋真空 > $5.0 * 10^{-5}$ mbar	触点断开（不输出功率）
3	水流继电器处于无水状态	触点断开（不输出功率）

高频发射机低电平柜连锁要求

序号	连锁条件	连锁动作
1	注入线真空 > $1.0 * 10^{-6}$ mbar	触点断开（不输出功率）
2	水流继电器处于无水状态	触点断开（不输出功率）

高频聚束器低电平柜连锁要求

其他设备连锁要求

设备	连锁条件	连锁动作
回旋注入、引出插板阀	阀门两端的真空度不正常（阈值可调）	阀门自动关闭，再给出开阀门的命令也不反应
回旋注入引出的三台高压电源	回旋真空 $> 5.0 * 10^{-5}$ mbar	禁止高压输出
离子源进气驱动器	离子源真空 $> 5.0 * 10^{-5}$ mbar	驱动器断电

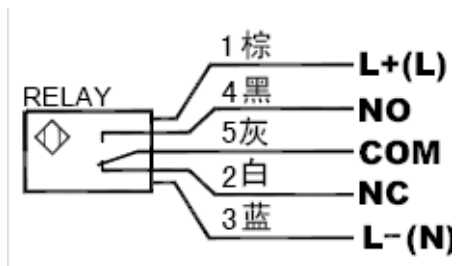
分享一点工程经验：

1. 三台同类型高压电源，**interlock**管脚不能串接
2. 进气驱动器 禁止输出 **VS** 断电

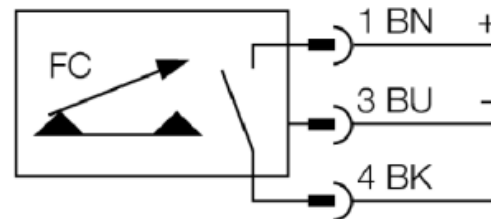
报告内容提纲

- ❖ 项目背景介绍
- ❖ 相关设备连锁要求
- ❖ 分立元件接线
- ❖ 软硬件连锁设计
- ❖ 总结

分立元件接线



水流继电器 1

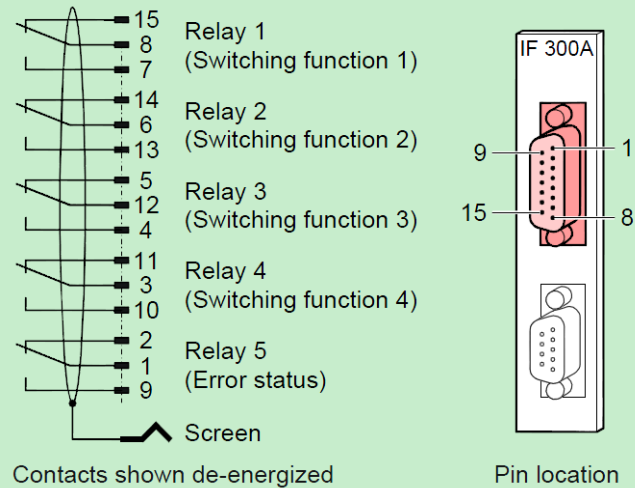


水流继电器 2

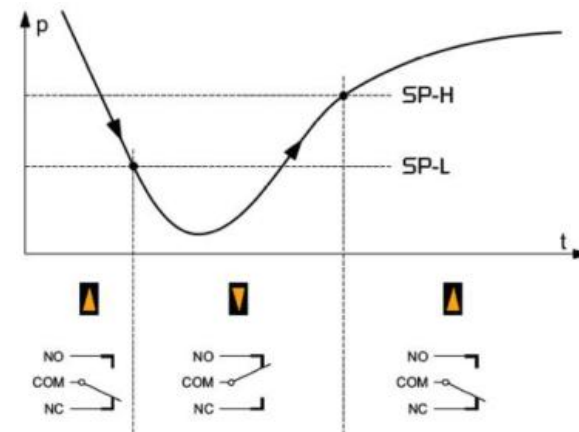
水流继电器：
干触点—湿触点（回读）—
干触点（连锁）

分立元件接线

The relay connector on the rear of the IF 300A has the following pin assignment:



真空计 触点输出接口，独立4路



上下阈值10%的差距，防止真空度在临界值时，输出触点的抖动

二次仪表、门禁等按照同样原则接入

报告内容提纲

- ❖ 项目背景介绍
- ❖ 相关设备连锁要求
- ❖ 分立元件接线
- ❖ **软硬件连锁设计**
- ❖ 总结

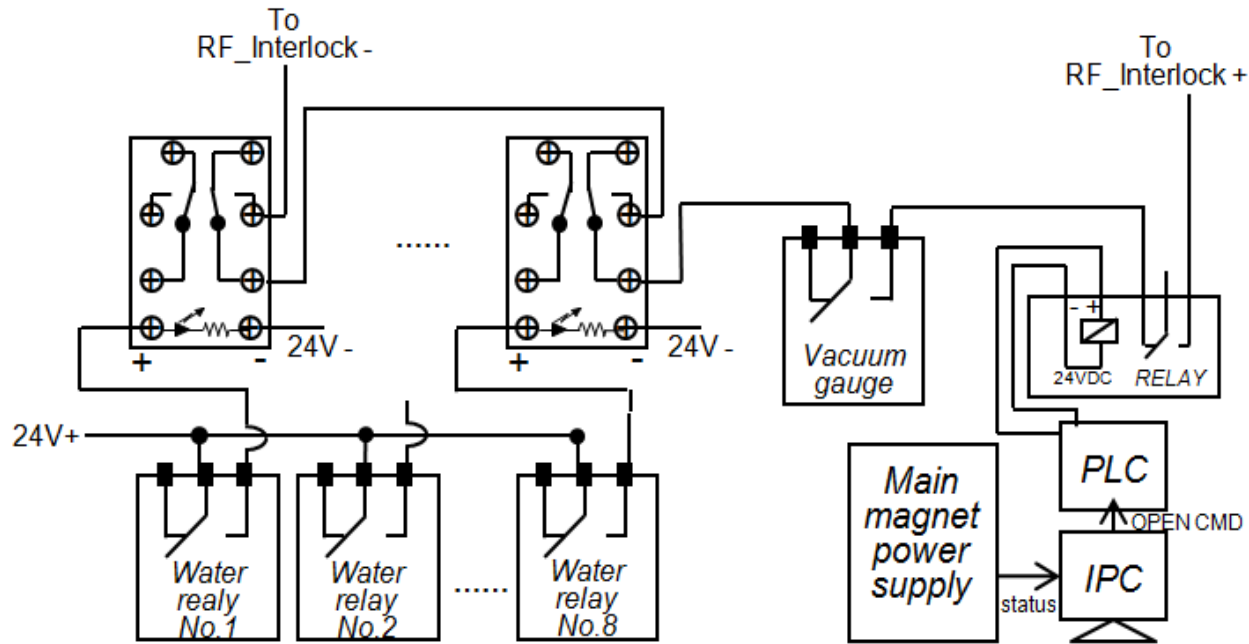
连锁条件的组合逻辑

- ❖ 需要将不同设备的连锁信号进行“与”、“或”逻辑组合，以完成最终的连锁功能。

逻辑组合方式	优点	缺点
FPGA内部逻辑	灵活，容易更改逻辑	定制电路板，价格高
专用芯片	可靠	灵活性差，额外做电路板
二极管组合	价格便宜，灵活	不适合做复杂逻辑，不易现场集成
继电器组合	适合柜内组装，灵活，可靠	接线稍复杂

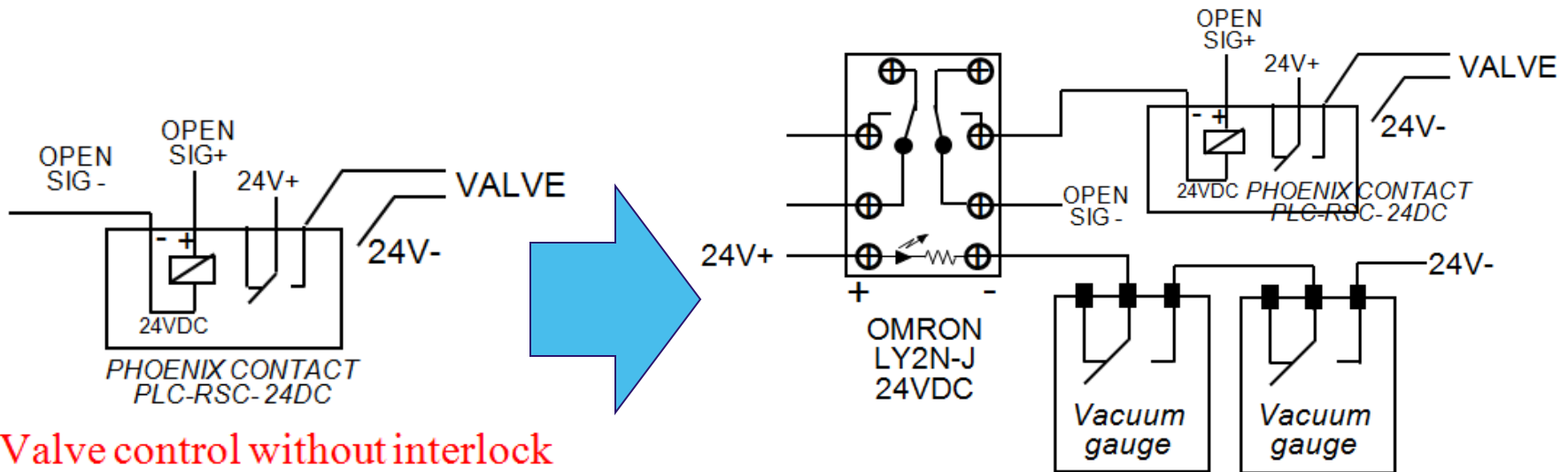
- ❖ 本设计中选用继电器组合的方式实现不同设备连锁信号的逻辑组合功能

软硬件连锁设计



软硬件结合实现高频发射机连锁功能

软硬件连锁设计



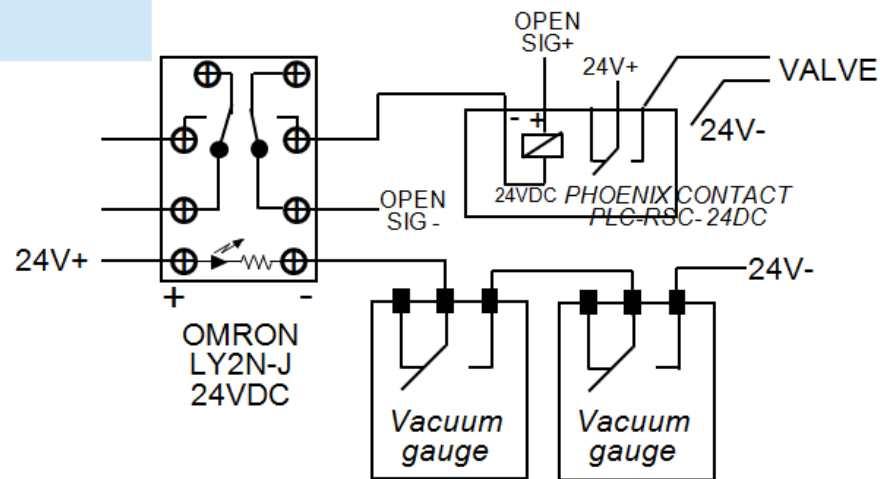
Valve control without interlock

Valve control interlock to vacuum gauge

纯硬件结合实现阀门连锁功能

软硬件连锁设计

序号	非正常状态	保证连锁有效的办法
1	设备断电	接NO触点
2	信号线断开	“与”逻辑
3	数据传输异常、 中断	输出使能要苛刻



连锁功能在异常情况下保证其功能正常

经验教训

- 1. 多个设备连锁同一触点，干触点变为湿触点，考虑不同设备的电平兼容，尽量单独处理。
- 2. 尽量将连锁功能“下放”，越底层越可靠。（例如注引高压由软件连锁改为硬件连锁）。
- 3. 考虑初始状态及极限状态。
- 4. 软件/硬件连锁中“抖动”处理。

总结

- 通过分析不同设备的**连锁要求**和**触点信号接入办法**，结合**中间继电器组合逻辑**的搭建，最终实现了回旋控制系统中离子源、高频、真空等子系统设备的连锁要求。
- 为保障连锁功能的稳定可靠，设计原则为**尽量使用硬件连锁**，无法实现硬件连锁时使用软件连锁，且保证这些连锁功能在设备断电、断水等**不正常情况**下保证**设备安全**。
- 硬件连锁反应时间在**毫秒量级**，软件连锁反应时间在秒量级。
- 所有连锁功能已完成测试，正在接受进一步的验证



谢谢!