

核电站 RRI 电磁阀电气盘柜跳闸原因分析及处理

Analysis and Treatment of Tripping Cause of Electrical Disk Cabinet of RRI Solenoid Valve in Nuclear Power Plant

刘丰 敬通明

Feng Liu Tongming Jing

中广核工程有限公司 调试中心 中国·广东 深圳 518172

Commissioning Center of CGN Nuclear Engineering Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518172, China

摘要: 核电站设备冷却水是核岛最重要的冷源,设备冷却水系统(RRI)电磁阀电气盘柜频繁跳闸将可能导致核岛失去冷源,最终将可能导致严重核事故的发生。论文深入分析电磁阀电气盘柜频繁跳闸的原因,最终找到解决方案,并完成了某机组热态功能试验(简称热试),为某机组首次装料打下了坚实的基础。

Abstract: The equipment cooling water of nuclear power plant is the most important cold source of nuclear island. Frequent tripping of solenoid valve electrical panel and cabinet of equipment cooling water system (RRI) may lead to the loss of cold source of nuclear island and eventually lead to serious nuclear accident. This paper deeply analyzes the causes of frequent tripping of solenoid valve electrical panel and cabinet, finally finds the solution, and completes the hot function test of a unit (referred to as hot test), which lays a solid foundation for the first loading of a unit.

关键词: 电磁阀; 电气盘柜跳闸; 二极管

Keywords: solenoid valve; electrical cabinet tripping; diode

DOI: 10.12346/etr.v3i11.4655

1 引言

设备冷却水系统(RRI)能在机组运行的各种工况下对核辅助系统(包括安全系统)进行冷却,且向其他相关系统提供冷却水,以保证它们在各种工况下正常运行。RRI是处于核岛设备与重要厂用水系统(SEC)之间的封闭回路,包括4个与核安全相关的独立系列及2个公共回路(公共回路1和公共回路2)。4个独立系列分别布置在安全厂房4个独立分区,以实现物理上的分隔。

4列RRI分别给其对应的独立用户提供冷却水,并通过相应的公共用户切换阀保持列间隔离从而防止串水。公共回路1由RRI第1列或第2列冷却,公共回路2由RRI第3列或第4列冷却,这2个公共回路相互独立,除主泵热屏冷却水有2条连接管线外,没有其他连接管线。RRI的公共用户分别布置在公共回路1和公共回路2,而公共用户按功能又可分为A类和B类公共用户。

2 背景介绍

某核电厂1号机组RRI系统进行热态功能试验(简称热试)前在线,为了满足系统切换功能,RRI气动阀需切换至自动模式开启,以便为核岛用户安注系统(RIS)、化学和容积控制系统(RCV)、反应堆冷却剂系统(RCP)、反应堆硼和水补给系统(REA)等系统设备提供冷却水。RRI有24个电磁阀,分为O3和O5两类,O3型功率为16W,O5型功率为44W^[1]。

与中国改进型三环路压水堆(CPR1000)机组电磁阀采用48V直流供电相比,某机组的电磁阀均由125V直流供电。通电时,电磁线圈产生电磁力把关闭件从阀座上提起,阀门打开;断电时,电磁力消失,弹簧把关闭件压在阀座上,阀门关闭。

当回路断开的时候,电磁阀内会产生一个极高的反向自感电势,根据电感量的大小不同,这个电压会高出输入电压

【作者简介】刘丰(1986-),男,中国广西桂林人,本科,高级工程师,从事核电站调试研究。

的数倍。反向并联了这个二极管，就将这个自感电势“短路”掉了，给它一个合理的回路。如果不这样做，反向电压会摧毁无触点的控制电路，使控制部分被击穿，导致系统瘫痪或误动作。如果是有触点的继电器控制，也能产生极大的电弧烧蚀触点，迅速降低电路寿命，直至损坏。

3 故障描述

主控室操作开启 RRI5220VNX/5217VNX/5110VNX/5210VNX 电磁阀时（见图 1）^[2]，阀门出现电气盘柜瞬间跳闸现象，故障灯亮，阀门自动关闭。由于阀门自动关闭，核岛公共用户 B 用户被隔离，导致核岛主要设备停运，电气盘柜房间及核岛通风冷冻机停运。

核岛主要设备停运，电气盘柜房间及核岛通风冷冻机停运，某核电厂 1 号机组面临极大挑战，如何保证冷源持续不间断成为当前难题。

电磁阀铭牌及电气盘柜故障灯，当故障灯亮时，电磁阀自动关闭，产生故障报警，无法进行任何操作。此时，核岛相关用户的冷却水将自动中断。调试人员现场对这 24 个电磁阀进行检查，排除了电气盘柜故障导致阀门故障的可能。

4 原因分析

4.1 电磁阀瞬间跳闸原因

查询厂家文件相关说明书^[3]，发现阀门内部并联安装有保护二极管。由于电磁阀是电感式电磁阀，二极管的作用是消耗电磁阀在开关合闸分闸瞬间产生的反向电压。当回路断

开的时候，电磁阀内会产生一个极高的反向自感电势，根据电感量的大小不同，这个电压会高出输入电压的数倍。反向并联二极管，就将自感电势短路了，给它一个合理的回路。否则，这个电压会摧毁无触点的控制回路，使控制部分被击穿，导致系统瘫痪或者误动作，也有可能产生极大的电弧烧蚀触点，迅速降低电路寿命，直至损坏。

调试人员对瞬间跳闸的电磁阀测量直流电阻值发现，电磁阀直流电阻接近零。由于电磁阀已相当于短路，所以电气盘柜合闸瞬间跳闸，电气盘柜的电流远大于保护定值电流。

对电磁阀的二极管及电磁阀分别测量直流电阻，发现二极管已被击穿，电磁阀本体正常。被击穿的二极管相当于短路，并联在电磁阀本体上也相当于短路。所以，当电磁阀开关闭合时出现瞬间跳闸。

4.2 二极管击穿的原因

调试人员首先怀疑电气盘柜输出电压有问题，将动力电缆插头与电磁阀解开，主控室提供合闸信号，电气盘柜合闸后，测量电气盘柜侧的电压是 135V，测量电磁阀侧的电压是 177V，远远高于电磁阀的额定电压 125V。

电气抽屉内部整流桥在合闸前电压输出无法恒压，输出电压随着距离负荷的电缆的长度的增加而增加，怀疑高电压致使电磁阀内部保护二极管击穿导致电源回路短路，进而过电流跳闸。

然而，调试人员把测量数据反馈给设计方，设计方答复即便输入电压 177V 也不会击穿二极管，二极管可承受的电压是 700V。

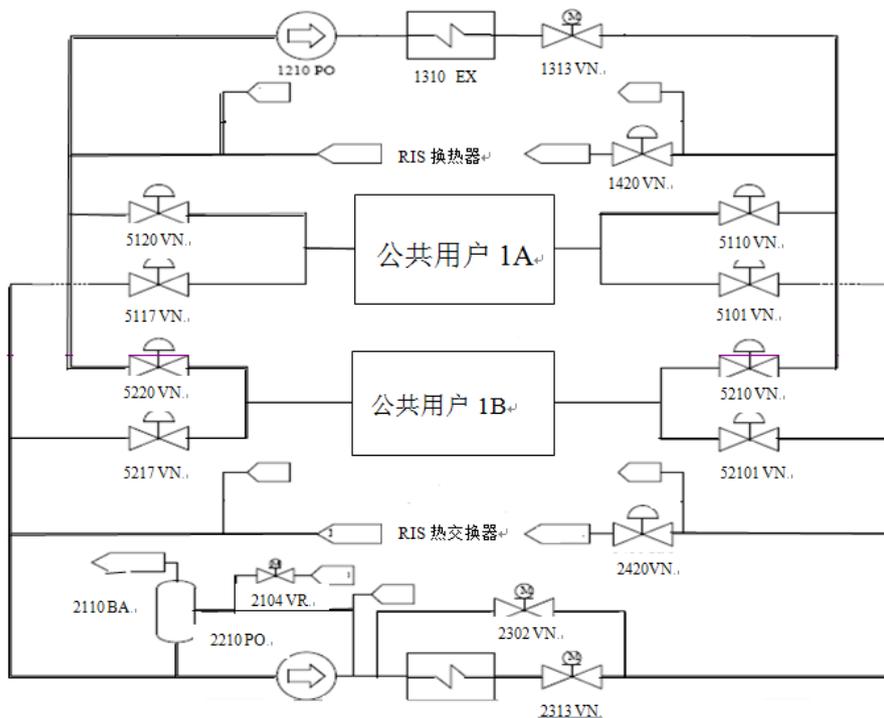


图 1 RRI1/2 系统流程简图

为了找到事件的真正原因，将电气盘柜下游接移动电阻箱，拆除阀门 1RRI5210VNX 侧的动力电缆连接，不断开配电盘侧的动力电缆连接，在配电盘输出侧并联 1 个 $100\text{k}\Omega$ 的电阻，该电阻采用 10、45、 $45\text{k}\Omega$ 3 个电阻箱串联的方式接入，录取电阻的电压。发现在合闸瞬间产生 1000V 的高电压。

RRI 电磁阀供电的 NVWW 及 NVWY 型抽屉无法恒压，在接上动力电缆后，电缆充当了电容的作用，测量的 178V 的电压其实是输出电压的峰值，而电磁阀内部二极管无法承受合闸瞬间的 1000V 的高电压，瞬间击穿后，导致电源正极及负极之间短路，最终导致配电盘过电流跳闸。但整体更换 NVWW 及 NVWY 型抽屉将额外花费大量资金。需找到其他方案，尽量节约成本。

5 处理过程

与中国核电其他机组直流整流过程不一样，某核电厂采用的是电气开关 001JA 在直流整流器 005TU、006II、001RD 的上游（见图 2），二极管形成的反向高压不会破坏

电器开关，可将二极管拆除。整流器能吸收电感式电磁阀在电磁感应过程中产生的反向高压，保证开关不受高压冲击，不会影响开关的使用寿命。

为了验证这个观点，在负荷输出侧并联 1 个 $100\text{k}\Omega$ 的电阻以稳定电压输出。针对电气盘柜进行了如下试验：

试验 1：拆除 RRI5210VNX 阀门内部二极管，在配电盘输出侧并联 1 个 $100\text{k}\Omega$ 的电阻，该电阻采用 10、45、 $45\text{k}\Omega$ 3 个电阻箱串联的方式接入，在阀门开启过程中录取 $10\text{k}\Omega$ 电阻的电压及配电盘内部 001JS 输出侧交流电流以及电压。

试验 2：拆除 1RRI5201VNX 阀门内部二极管，不外接电阻箱情况下在阀门开启过程中录取配电盘内部 001JS 输出侧交流电流以及电压。

以上试验均未发现在合闸瞬间产生 1000V 的高电压，不会对开关 001JA 造成损坏，说明拆除二极管方法可行并获得成功验证。调试人员根据设计答复拆除了 RRI 所有电磁阀二极管，并多次操作阀门，阀门动作正常，无电气盘柜跳闸现象，机组热试顺利进行。

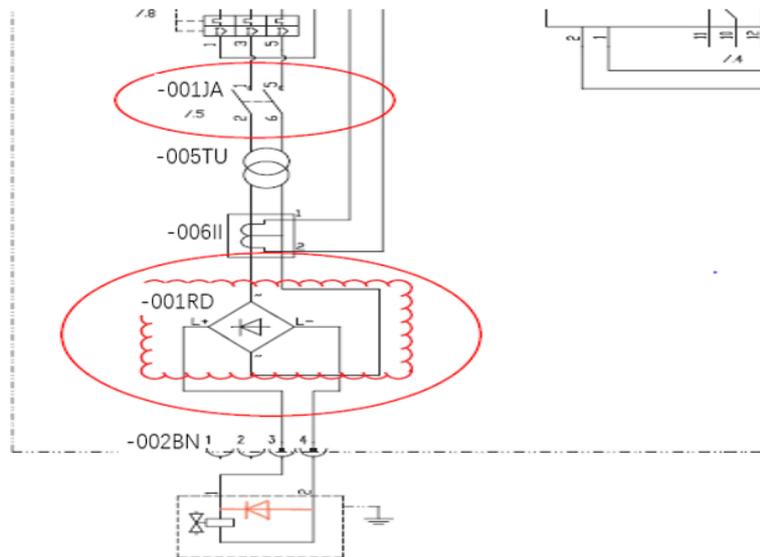


图 2 电气抽屉内部整流桥

6 结语

基于某电站电磁阀电器开关的特殊性，结合现场实际情况，深入分析电磁阀电气盘柜频繁跳闸的原因，创造性地提出取消二极管设计的解决方案，并完成了某机组热试，为某机组首次装料打下了坚实的基础。经验证，该方案具有可行性，在核电机组上属于首次运用。由于拆除二极管后无监测到反向高压，对于电磁阀电缆的寿命没有影响，经过数年观察，电缆和电磁阀仍正常。此分析及处理方法可为法国与芬

兰机组及中广核华龙一号机组提供参考。

参考文献

- [1] Equipment Operating and maintenance Manual[R].TS -X-NIEP-OAMI-SS-N431,2011.
- [2] GUISLAIN D. List of valves for all ni systems[R].TS -X-NIEP-NETC-DC-20014,2014.
- [3] Actuators technical sheets (Electrical actuators only)-J018[R].TS-X-NIEP-0AMI-DS-N431-ADS,2014.