

某电站快关型电动阀门的配电设计分析与研究

白琳琳, 胡 鑫

(中国核电工程有限公司, 北京 100840)

摘要: 基于快关型电动隔离阀在某电站工程应用中遇到的问题, 分析了快关型电动隔离阀门的功能、原理和供电特点。基于厂用电系统电源配置, 从电源切换、阀门使用工况等角度分析快关型电动隔离阀的初始配电设计方案存在的问题。对此类阀门的配电设计方案加以改进, 给出配电及二次控制设计的要点, 改进后的设计方案满足阀门的运行需求。最后针对配电设计中潜在的设计风险, 提出通过数字化手段进行设计风险识别的可行方案, 为配电可靠性的保证提供思路。

关键词: 快关型电动隔离阀; 方案分析; 设计改进; 风险识别; 数字化

Analysis and research on the distribution design of fast closing electric valves in a certain power station

BAI Linlin, HU Xin

(China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100840, China)

Abstract: Based on the problems encountered in the application of fast closing electric isolation valves in a certain power station engineering, this paper analyzes the functions, principles, and power supply characteristics of fast closing electric isolation valves. Based on the power configuration of the plant power system, analyze the problems in the initial distribution design scheme of the quick closing electric isolation valve from the perspectives of power switching and valve usage conditions. Improve the power distribution design scheme of this type of valve, provide the design points of power distribution and secondary control design, and the improved design scheme meets the operational requirements of the valve. Finally, a feasible solution for identifying design risks through digital means is proposed to address potential design risks in distribution design, providing ideas for ensuring distribution reliability.

Key words: quick closing electric isolation valve; plan analysis; design improvement; risk identification; digitization

0 引言

电厂通风系统原采用气动隔离阀, 气动阀门存在结构及控制较复杂、体积大、布置不灵活等问题。在某电站的设计中, 采用快关型电动隔离阀(简称快关阀)取代了气动隔离阀, 但在电厂调试阶段进行全厂断电(SBO), 柴油发电机组加卸载功能验证工作时, 出现了主控室通风系统风机无法自启动问题。初步分析为快关型电动隔

离阀失电自动关闭, 触发了与其逻辑联锁的风机的自动停运信号, 使风机无法自启动, 进而影响主控室的可居留性。因此有必要对快关型电动隔离阀门的配电设计加以分析和改进。

1 快关型电动隔离阀门的原理与供电特点

电动隔离阀门的主要功能是采用电源控制的方式, 对阀门连接的两侧管道等机械设备起到接通和隔离的作用, 在电厂中可用于通风系统, 常

与风机联锁使用,保证通风系统的正常运行。

快关阀与普通的电动隔离阀门相比,区别主要体现在执行开阀和关阀的原理和操作方式上。普通的电动隔离阀门的开阀和关阀操作均是由电动机驱动完成的,其供电示意图如图1所示。阀门动力电源为一路380 V交流电源,配置熔断器(断路器)+热继电器+双接触器供电方案,当远方数字化控制系统(DCS)向配电装置发送开阀和关阀的有源控制指令时,配电装置接收控制指令并通过内部二次控制逻辑控制双接触器的通断,当接触器001JA接通、002JA断开时,电动机正转,阀门打开;当接触器001JA断开、002JA接通时,电动机反转,阀门关闭。通常会在15~20 s的时间内完成阀门的全关和全开。

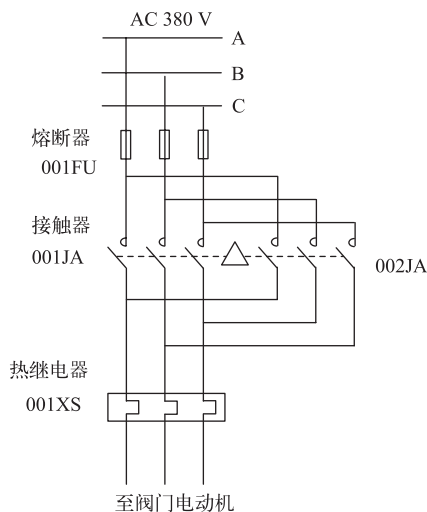


图1 普通电动隔离阀供电示意图

Fig. 1 Power supply schematic diagram of ordinary electric isolation valve

对于快关型电动隔离阀门,其开阀是通过电动机驱动的,电动机由380 V交流电源供电。但是关阀是通过内部的弹簧线圈制动器实现的,弹簧线圈制动器由220 V交流电源供电。当制动器带电时,会使弹簧处于储能状态,对弹簧起到制动作用。220 V交流电源一旦失去,弹簧就失去制动力,会在弹力的作用下快速释放,可使阀门在5 s内快速关闭,起到快速隔离两侧介质的作用。其供电示意图如图2所示。此时配电回路拆

分为380 V开阀回路和220 V关阀回路,同样由远方DCS控制开阀和关阀。

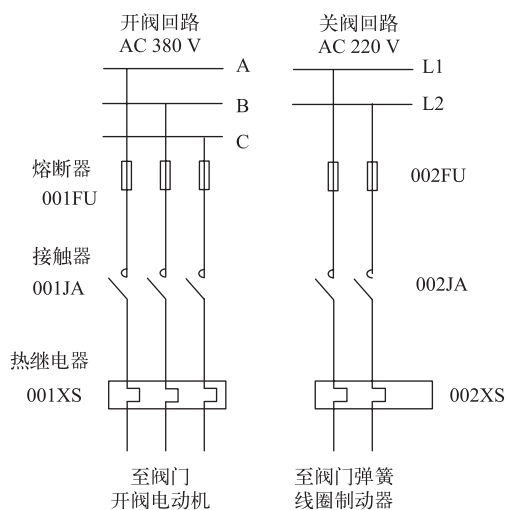


图2 快关阀供电示意图

Fig. 2 Power supply schematic diagram of quick closing valve

下面针对快关阀在某电站实际应用中出现的联锁风机起动失败的问题,从厂用电系统电源配置、电源切换、配电方案几个方面开展分析与研究。

2 厂用电系统电源配置

某电站厂用电系统设置了多种电源类型,包括厂外电源、厂内电源和SBO柴油发电机组等,其厂用电接线示意图如图3所示。

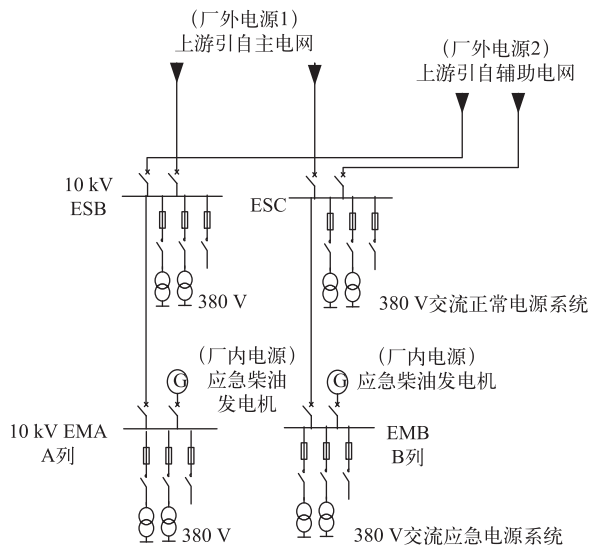


图3 厂用电接线示意图

Fig. 3 Schematic diagram of factory power wiring

厂用电10 kV和380 V交流电源系统由两个实体独立的厂外电源供电,由两个独立的A/B列10 kV中压应急柴油发电机作为厂内备用电源。此外,380 V交流电源系统下游还配置了220 V交流、220 V直流、110 V直流和48 V直流系统^[1]。厂用电系统整体通过多重性、独立性的系统设计和保护配合,应对电厂不同的运行工况^[2]。

厂用电系统设置了一些专门措施应对SBO工况。通过设置互为备用的两组400 V SBO柴油发电机组,在厂外电源和厂内电源全部丧失时,即A/B列中压应急配电盘EMA、EMB均失电,自动起动一组SBO柴油发电机组,通过专设的EES010AR配电控制柜向水压试验泵等用电负荷提供SBO电源。完成上述过程的关键环节就是将SBO工况用电负荷的电源由原380 V交流应急电源系统切换至SBO电源系统,其电源切换方案如图4所示。

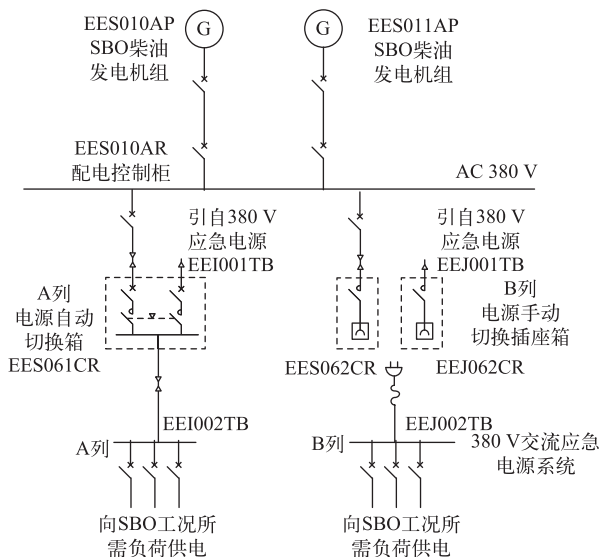


图4 380 V交流应急电源与SBO电源切换方案接线图

Fig.4 Wiring diagram of AC 380 V emergency power supply and SBO power supply switching scheme

在电厂正常运行工况下,SBO工况用电负荷分别由A/B列380 V交流应急电源分配电盘供电,其中A列分配电盘EEI002TB上游引自一台双电源自动切换箱,平时由主配电盘EEI001TB供电。B列分配电盘EEJ002TB上游设置两台插座箱,平时接入EEJ062CR插座箱,由主配电盘

EEJ001TB供电。

在SBO工况下,A/B列380 V交流应急电源系统均失电,当一组SBO柴油发电机组起动成功后,EES010AR配电控制柜带电,此时A列的电源自动切换箱EES061CR将电源自动切换到SBO电源。B列通过手动操作将插头接入插座箱EES062CR转为SBO电源。

上述SBO电源接入方案中,A/B列电源切换方式是不同的,这种不同的切换方式由电厂事故规程决定,具体不在此阐述。从中可以看出,厂用电电源系统在应对不同运行工况时,会采用合理的电源切换方案实现不同电源的接入,以保证为重要的厂用负荷提供可靠的电源^[3]。

3 快关阀初始配电设计方案分析

3.1 快关阀工况需求分析

厂用电系统运行工况可分为正常运行工况、中压应急柴油机加载工况和SBO工况。其中正常运行工况表示厂外电源可用;中压应急柴油机加载工况表示失去厂外电源,使用厂内备用电源;SBO工况表示同时失去厂外电源、厂内电源。

快关阀在工程应用中主要用于通风系统,下面就从工况的角度给出快关阀的三种不同的使用需求。

1) 工况1。在正常运行工况、中压应急柴油机加载工况及SBO工况下均须操作阀门,且在厂用电电源切换过程中不允许快关阀关闭。

2) 工况2。在三种运行工况下均须操作阀门,但在切换SBO电源过程中,允许快关阀关闭,待电源切换成功后,手动开阀。

3) 工况3。仅在正常运行工况及中压应急柴油机加载工况下使用,SBO工况下可关闭,不操作阀门。

3.2 快关阀初始配电方案

快关阀的初始配电方案如图5所示。A/B列快关阀的开阀电源分别来自A/B列380 V交流应急电源分配电盘EEI002TB、EEJ002TB,快关阀220 V交流关阀电源来自A/B列就地控制箱,就

地控制箱内设380 V/220 V变压器，其上游同样来自EEI002TB、EEJ002TB。

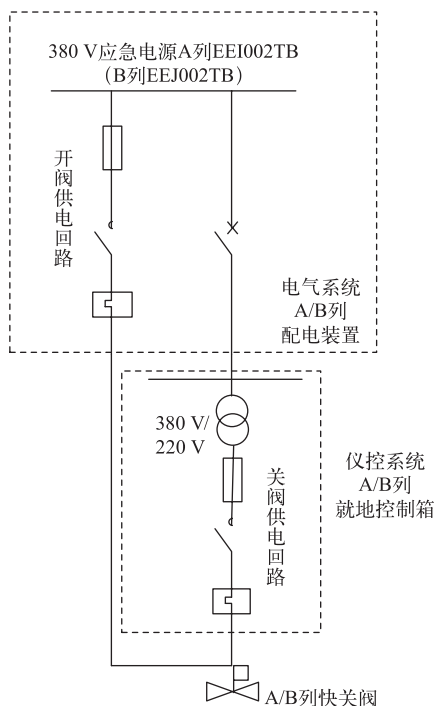


图5 快关阀初始配电方案原理图

Fig. 5 Schematic diagram of initial power distribution scheme for quick closing valve

3.3 失电分析

发生全厂断电事故后，380 V交流应急电源失电到SBO电源可用的时间约60 s，这期间下游的用电负荷均处于失电状态，导致就地控制箱内的关阀回路失电，阀门内的储能弹簧迅速释放使阀门快速关闭。

在电源切换结束接入SBO电源后，阀门联锁的风机需在0 s进行自动加载，即实现风机自启动。但一方面对于0 s加载的设备，仪控系统不做重启逻辑，且阀门没有其他自动打开的命令信号，故阀门不会再自动打开。另一方面，在电站实际运行中，B列阀门接入SBO电源为操作人员手动切换，接入时间存在不确定性，且A/B列快关阀需要同时打开，风机才具备起动条件，因此主控室通风在B列快关阀电源手动接入前，存在长时间无法起动的问题。该问题直接影响运行在工况1下的快关阀。

综合以上分析，总结设计问题如下：

1) 统一的快关阀配电设计方案与阀门的多种工况需求不匹配，供电方案不满足快关阀工况1的需求。

2) 配电设计未考虑电厂各工况转换过程中电源切换带来的短时失电对用电设备的影响。

4 快关阀配电设计方案改进

4.1 配电改进方案

基于上述分析，对快关阀配电设计方案进行优化改进，充分考虑阀门不同运行工况的需求。设计A/B列就地配电箱，由就地配电箱向快关阀提供开阀和关阀动力电源并完成二次回路控制设计，其工作原理图如图6所示。

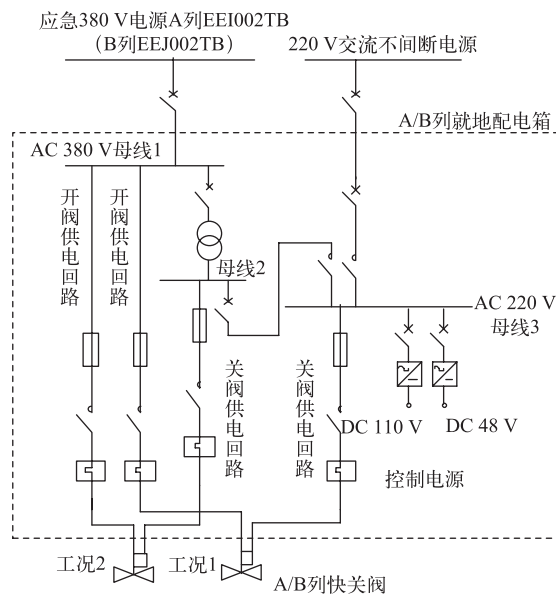


图6 快关阀配电设计改进原理图

Fig. 6 Improvement schematic diagram of fast closing valve power distribution design

针对在工况1、工况2需要加载SBO电源的快关阀，在就地配电箱内设置三段母线：母线1电源取自A/B列380 V交流应急电源母线EEI002TB、EEJ002TB，可为所有阀门提供开阀电源；母线2取自母线1经380 V/220 V变压器转为220 V交流电源，为工况2下的快关阀提供关阀电源；母线3取自220 V交流不间断电源母线与母线2两路，为工况1下的快关阀提供关阀电源。其中220 V交流不间断电源为主电源，母线2作为备

用电源，通过继电器建立自动切换逻辑。母线3经整流器变为DC 110 V、48 V直流电作为阀门的二次控制电源。

对于工况1下运行的快关阀，其关阀电源来自220 V交流不间断电源系统，设有蓄电池组，蓄电池容量可保证2 h的电源供应，因此在电源切换过程中，阀门的关阀供电回路不会因380 V交流应急电源母线失电而使阀门关闭。在转SBO电源成功后，母线1和母线2电源恢复，若220 V交流不间断电源蓄电池放电结束，则母线3将上游电源自动切至母线2，此时快关阀短时断电约2 s，可在远方DCS终端手动打开阀门。

对于工况2下运行的快关阀，因其在电源切换过程中允许失电关闭，故其关阀电源直接取自母线2即可。

对于工况3下不需要加载SBO电源的快关阀，就地配电箱内的380 V开阀电源直接取自EEI002TB、EEJ002TB以外的380 V交流应急电源母线。关阀电源取自开阀电源经变压器变为220 V的交流电源即可。

4.2 二次控制回路设计要点

快关阀就地配电箱的二次控制设计逻辑主要包括接收DCS的开阀和关阀指令，控制开阀、关阀回路接触器的通断，从而实现阀门的打开与关闭，同时可将阀门的位置状态信号反馈给DCS。总结二次设计中需要注意的关键点如下：

1) 快关阀实现关阀操作的前提是阀门的储弹簧储能完成，因此须遵循关阀优先的原则。即在执行开阀操作前，须确保关阀回路带电且弹簧储能完成，控制电路中具体可通过增加延时继电器来实现该逻辑。另一方面，在执行关阀期间，不允许执行开阀。因此须注意关阀回路的继电器要闭锁开阀回路。

2) 对于安全级快关阀，为了保证阀门可靠执行其安全功能，须将过载保护旁路，即保证阀门执行安全功能为第一位。

改进后的配电方案已成功应用于其他电站中，运行效果良好。

5 设计风险识别的数字化手段

本文所述的配电设计问题产生的原因不乏有人为因素在内，不同专业间常缺少充分的沟通，尤其对于新的改进项，设计人员不了解其他专业设备特点和运行工况，无法识别出可能的设计风险^[4]。这不得不让我们思考如何去避免设计过程中的设计风险问题。

随着数字化转型理念逐渐深入到各行各业，核电领域也已初步完成了各专业的数字化转型工作，如电气专业建立了电气设计平台，工艺专业建立了工艺设计平台，不同设计平台间完成了多平台间不同类型接口的数据打通交互工作，并根据接收的数据完成本专业数字化图样交付任务。此外，电气领域的软件仿真工具应用较成熟，如ETAP、PSCAD、PSASP等多种仿真分析软件。因此我们不妨借助数字化的手段进行设计风险的识别，下面给出具体的风险识别思路。

1) 工艺设计平台中建立不同用电设备的数据模型，同时将用电设备用电数据、起停条件数据、运行工况等数据推送给电气设计平台。

2) 电气设计平台接收工艺平台数据，完成对用电设备的配电设计方案，同时在ETAP软件中建立厂用电系统的接线图。

3) 完成电气平台与ETAP软件间的数据打通。将电气设计平台中的设计方案和参数数据推送给ETAP软件后，ETAP软件根据接收的设计方案和数据，自动将用电负荷建立在对应的母线下，同时自动匹配设计参数。ETAP软件通过模拟电厂电力系统的各种运行工况，可及时发现用电负荷的配电设计问题，便于及时调整设计方案。

随着数字化发展的逐渐成熟以及各行业安全意识的不断提升，上述风险识别的数字化手段也为未来数字化发展方向提供了思路。

6 结束语

通过改进快关阀的配电设计方案，将配电方案与设备运行工况很好地匹配起来，解决了现场

实际问题，并应用于后续项目中。从中可总结两点结论：

1) 配电设计方案的确定应与用电设备的实际运行工况紧密结合。

2) 设计中应充分考虑厂用电系统中不同运行方式及工况转换过程对用电设备的影响，对于不允许中断供电的设备应特殊设计。

随着行业内对安全性的要求不断提高，针对设计过程中可能潜在的设计风险问题，可借助数字化手段来识别。

参考文献

[1] 纪秀艳. 核电厂核岛应急母线配电方案分析与优

化[J]. 内蒙古电力技术, 2022, 40(6): 24-28.

[2] 堵树宏. 核电厂设计扩展工况供电要求分析[J]. 核科学与工程, 2020, 40(4): 652-658.

[3] 宋成洋. 海外“华龙一号”(HPR1000)核电厂电源切换装置的原理及应用[J]. 电工技术, 2021, 19: 179-181.

[4] 柳志刚. 工业企业供配电设计问题探讨[J]. 现代工业经济和信息化, 2020(1): 27-30.

作者简介

白琳琳(1991—), 女, 工程师, 从事核电厂电气系统设计。

(收稿日期: 2024-02-18)