

秦山核电厂安全电源可靠性分析

The Reliability Analysis of Safety Power Source in Qinshan Nuclear Power Plant

吴舜华

(秦山核电公司, 浙江海盐, 314300)

摘要 介绍秦山核电厂安全电源、安全电源的3个上级电源的关系, 根据实际运行分别分析了影响3个电源可靠性的因素, 并分别提出了改进措施, 有的已经实施, 有的准备实施, 有的还需进一步研究。

关键词 安全电源 应急电源 快速切换

Abstract: This paper introduces the safety power source, the 3 upper level power sources of safety power sources of Qinshan Nuclear Power Plant and their relationships, analyzes factors affecting the reliability of three power sources based on the practical operation experiences, and puts forward improvement measures, of which, some have been implemented, some are ready for implementation, and the others still need further studies.

Key words: Safety power source Emergency power source Rapid switch over

1 安全电源的现状

核电厂的安全电源是给反应堆专设安全设施等1E级负荷供电, 为停堆、安全壳隔离、堆芯冷却、安全壳和反应堆热量导出以及防止放射性物质泄漏的系统设备提供所需的电力。安全电源是非常重要的电源, 要求它非常可靠。运行安全技术规格书对其运行作了严格的规定, 如: 交流电源中有一路厂外电和一套柴油发电机组不可运行时, 在1小时内执行监测要求(检查断路器控制回路状态指示等)以证实剩余的交流电源的可运行性, 并且以后每8小时监测验证一次; 须在12小时内至少使不可运行的电源中的一个恢复到可运行状态, 否则在此后的6小时内至少处于中间停堆A阶段并且在随后的30小时内降到冷停堆状态。

秦山核电厂的安全电源由6 kV安全I、II段和380 V安全I-IV段组成, 它们的上级电源有3个(如图1): 第一电源, 启/备变, 220 kV秦石2271线路经启/备变给6 kV公用段供电, 由6 kV公用段再给安全段供电; 第二电源, 高压厂变, 220 kV秦双2424线路、220 kV秦跃2428线路、本厂发电机经高压厂变供6 kV工作段, 6 kV工作段供6 kV公用段, 再供6 kV安全段; 第三电源(应急电源), 应急柴油发电机, 1号、3号柴油发电机分别供6 kV安全I、II段, 2号柴油发电机通过切换可给6 kV安全I、II段供电。其安全电源供电顺序为: 正常运行由第一电源供电; 当第一电源不可用时, 通过6 kV工作段和公用段的联络开关, 把6 kV公用段自动切换到6 kV工作段供电, 即转到第二电源供电; 当第二电源也同时不可用时, 启动应急柴油发电机, 自动合闸到6 kV安全母线, 按程序自动带载。

由于安全电源设置了3道电源, 具有足够的独立性、多重性和可试验性, 相互之间切换逻辑清楚, 比较可靠, 运行十多年来, 在反应堆运行期间还未发生过安全电源全部丧失的事故。但也发生过第一、第二电源丧失, 第三电源(应急电源)启动的事件, 说明我厂的安全电源存在着薄弱环节。

3个电源中应急电源的级别最高, 是1E级, 其他两个电源是非1E级, 在电网事故或其他事故中, 第一、第二电源有可能失去, 在此时应急电源是反应堆停堆后能继续得到冷却的最后保证, 所以应急电源必须保证非常高的可靠性, 在核电厂的生产活动中诸如运行、检修、试验、设备管理、更新改造等要特别关注, 要严格按照技术规范书的要求进行生产活动。但是我们也不能轻视其他两个电源, 只有提高了这两个电源的可靠性, 才能减轻应急电源的压力, 才能从整体上确保核电厂安全。另从经济性来考虑, 第

综 述
核 电 设 计
工 程 管 理
工 程 建 造
运 行 维 护
核 安 全
核 电 前 期
核 电 论 坛
核 电 经 济
核 电 国 产 化
核 电 质 量 保 证
核 电 信 息

一、第二电源可靠性不高，后果是停堆停机次数的增加，所以在生产活动中也要对它们予以高度重视。本文根据秦山核电厂的实际状况，对3个电源进行分析，从更新改造的角度提出一些对策。

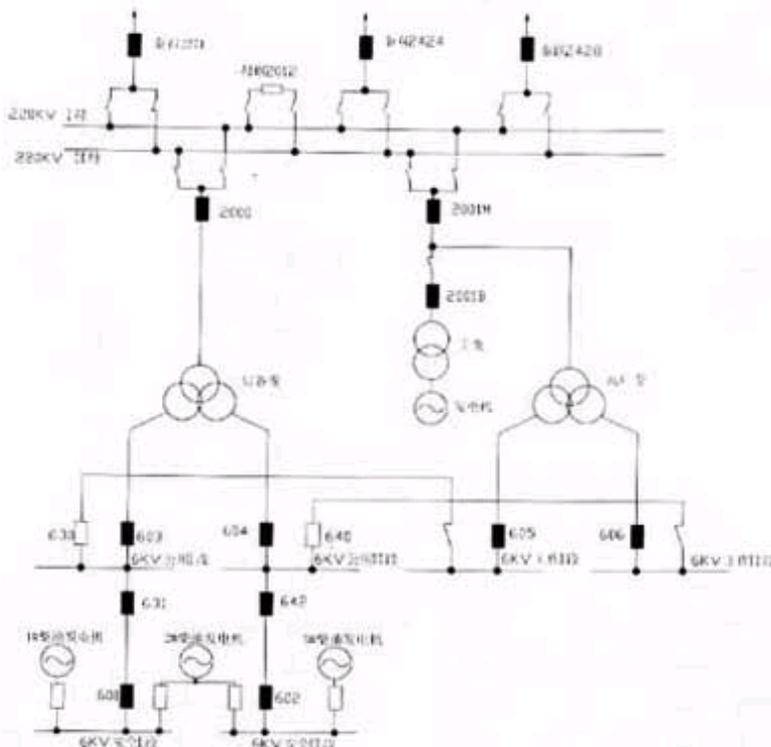


图1 秦山核电厂一次系统图

2 第一电源的可靠性分析和对策

第一电源是220 kV秦石2271线路、启/备变和6 kV公用段，2271线路从上海金山石化西区变电站引接，经57 km的架空线路接入我厂。由于实体隔离的需要，220 kV母联开关断开运行，所以此路电源是单线路单变压器运行，无论从理论分析和实际情况，这种供电方式是最不可靠的一种方式。特别是57 km的架空线路，可靠性最低，运行以来，曾发生过一起大雾绝缘子污闪跳闸、一起雷击线路跳闸、一起对侧开关故障紧急检修而停运。启/备变和6 kV公用段由于在厂内，故障停运率较低，事故有：安装施工时启/备变差动保护接线错误，在区外短路时误跳变压器；6 kV公用段和安全段发生谐振，电压互感器一次熔丝熔断，低电压保护动作跳闸，针对这两起事件已采取措施。

所以要提高第一电源的可靠性，主要是提高220 kV电源的可靠性。可能的改造方案有两个。

方案一：把2271线路就近改接到浙江电网（南湖变电所或嘉兴发电厂），架空线路的距离可减少一半，遭雷击等故障的可能性减小，线路本身的可靠性增加。投资也不大，原架空线路在南湖变电所和嘉兴发电厂之间穿过，大部分原线路还可利用，需要增加一台开关和相应的保护。从电源可靠性分析，原从上海电网引接安全电源，考虑到当时浙江北部电网相对比较弱，220 kV变电所少，没有发电厂，安全电源需要独立可靠，所以从上海接。但近几年浙北电网大大加强了，秦山周围增加了220 kV跃新变电所，嘉兴电厂、秦山二期、三期相继投入运行，550 kV王店变电所也投入运行，浙北电网全网失电可能性几乎没有，所以可以从南湖变电所或嘉兴发电厂引接安全电源。这样，浙北电网非常可靠，新线路比原线路可靠，因此，整体可靠性就提高了。

方案二：可在方案一的基础上，从秦山三期接一路220 kV电源，实现两路电源并联运行（如图2），克服单电源的缺点。秦山三期距离我厂1 km，所以线路投资少，再增加两台开关和一套保护，投资也不大。此方案使一、二、三期安全电源相互备用，因为二、三期的启动/备用电源也是单电源结构（从220 kV跃新变接），可大大增加一、二、三期安全电源可靠性。但此方案要在方案一的基础上才成立，因为上海、浙江电网220 kV开环运行，不允许并列运行。如果我们接在上海电网，即使把三期的220 kV拉过来，但不能并联运行，就起不到增加可靠性的作用。

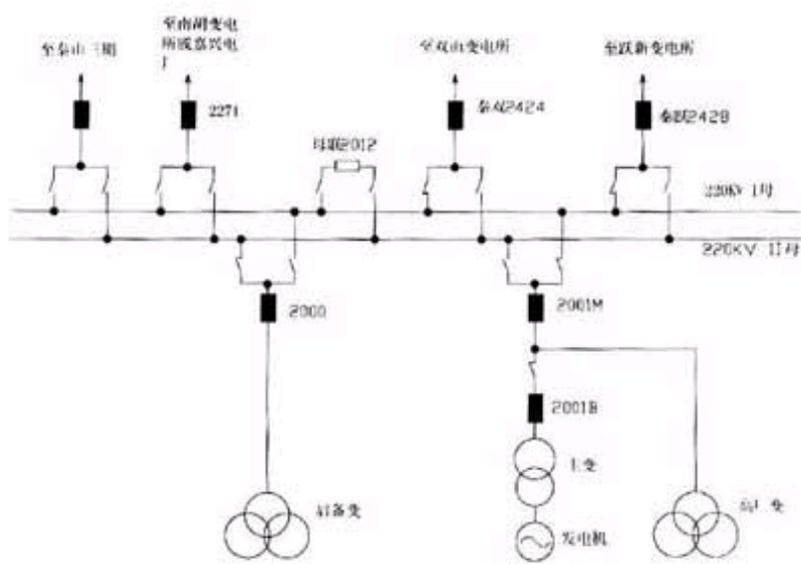


图2 220 kV 线路改造方案

3 第二电源的可靠性分析和对策

我厂安全电源的第二电源为：高压厂变和6 kV工作段。正常运行时启/备变带6 kV公用段运行，高压厂变带6 kV工作段运行，6 kV工作和公用段的联络开关断开，当启/备变失电时，6 kV工作和公用段的联络开关自动合上，由6 kV工作段向公用段供电。对安全电源实现了从第一电源到第二电源的切换。

高压厂变上级有3个电源（2424线路、2428线路、发电机），失电的可能性较小，变压器本身和6 kV工作段配电装置也比较可靠，第二电源的最薄弱点在自动切换上。由于当时技术条件的限制，我厂采用的是慢速切换，切换时间2.2 s，当启/备变失电时，低电压保护0.5 s跳开负荷，应急柴油机0.5 s启动，对正常运行的电厂是一个很大的扰动，电源切换成功后，跳开的负荷需手动恢复。发生这种情况，设计上是不停堆的，但由于电厂瞬间受到很大的扰动，运行人员如果应对失误，还是有可能停堆的。1997年8月大台风时，发生此种情况，由于恶劣的天气，压空负荷和水厂负荷跳开后未能及时送电造成停堆。所以慢速切换是最大的不可靠点，即使切换成功，还会对电厂的安全性、经济性产生很大的影响。

目前厂用电源快速切换装置技术已成熟，在发电厂、变电所广泛运用，巴基斯坦恰希玛核电厂也采用了快速切换装置。所以要提高第二电源的可靠性，首先要把慢速切换改为快速切换，现在的快速切换装置可在几十毫秒内完成切换，如果发生启/备变失电，6 kV公用段、安全段可在几十毫秒内恢复供电，低电压保护来不及动作，柴油机也来不及启动，切换过程对电厂没有任何扰动，可大大提高电厂的安全性和可靠性。

有了快速切换装置，我们就有更全面更好的改造方案。前面已分析了220 kV秦石2271线路失电可能性高，改造要投资、要和各方协调，我厂暂时无计划。秦石2271线路失电后，由快速切换装置无扰动切换以弥补，但如果切换不成功，就得启动应急电源。能不能尽量少地启动切换？把第一和第二电源调换一下，就可解决此问题。如图3，正常运行6 kV工作、公用段联络开关合上，启/备变6 kV侧开关断开热备用，高压厂变带电厂所有的负荷，这样高压厂变成为安全电源的第一电源，启/备变空充热备用作为第二电源；当高压厂变失电时，把安全电源（或全部电源）快速切换到启/备变运行；启/备变失电，对电厂无任何扰动，尽快恢复即可；高压厂变和启/备变同时失电再启动应急柴油发电机。由于高压厂变比启/备变可靠，所以自动切换的次数大大减少。此改造方案不需对一次设备进行投资，只在二次系统设备上改造，具有投资省、见效快的优点，是我们目前提高安全电源可靠性的首选方案。

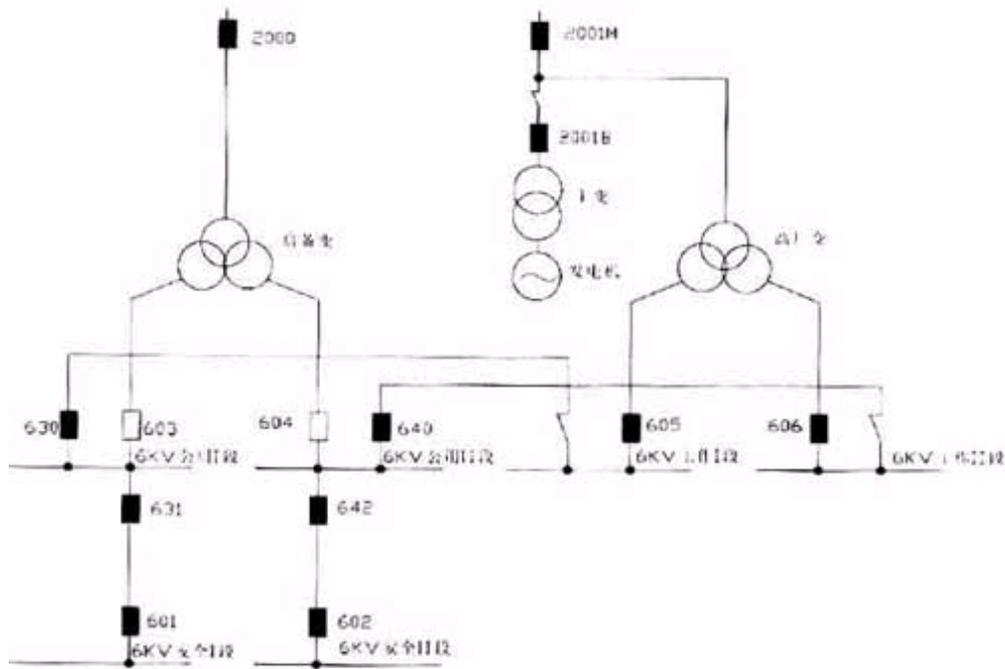


图3 第一、第二电源交换的运行方式

4 应急柴油发电机的可靠性分析和改进

应急柴油发电机组作为最后的应急电源，当6 kV安全段失电后立即启动，在12 s内达到额定电压和额定频率，如果6 kV安全段在失电4 s内还未恢复供电，则柴油发电机根据程序自动合到安全母线上，自动带载。整个应急柴油发电机电系统（包括自动带载程序）是一个机电仪一体的综合系统，影响它的可靠性因素太多。单从电气系统来分析，有发电机本体、启动控制回路、启动蓄电池、启动电机、励磁系统、出口开关及控制回路、继电保护系统等，任何一个环节出故障就影响其可靠性，要保证其高的可靠性，确实需要电厂各部门加倍努力。

我厂柴油发电机电系统运行以来为提高可靠性作了不少的变更，分述如下：

一增加安全段与公用段的同期装置：原安全段与公用段之间没有同期装置，公用段失电，柴油发电机启动带载稳定运行，这时公用段恢复供电，想把安全段也恢复到公用段供电时，由于二者之间没有同期装置，只能停柴油机，再恢复安全段，造成安全段第二次失电。所以在安全段与公用段之间增加了同期装置，避免此情况的发生。

一增加控制电源报警：原设计中机房内的控制电源（如：启动控制电源、励磁控制电源、仪表电源等）只在就地机房内设置失电报警，在主控室没有报警。就地机房又没有24小时值班，就会发生控制电源失去、柴油机不可利用而无人发现的情况。所以增加控制电源报警到主控室，能及时发现控制电源失去的缺陷。

一增加出口开关不可利用信号：柴油发电机电系统正常投入热备用时，其出口开关也投入热备用，随时准备应急合闸。但如果此时开关不在正确的位置，需要应急备用时开关就不能合闸，所以增加在热备用状态下开关不可利用的信号，实时监测。

一蓄电池充电器改造：我厂柴油机是由蓄电池启动，蓄电池要有充电器来维持电力。原充电器无限流措施，为防止柴油机启动时充电器电流过大而损坏，采用定期充电方式，这样常常引起电池充电不足，使电池放电电量减少，寿命缩短。所以把蓄电池充电器改造为带限流功能的新型充电器，可以采用浮充方式运行，保证蓄电池有充足的电量。

一增加同期旁通回路：原设计中发电机出口开关合闸有两种方式，一是应急合闸，有于安全段失电，柴油机启动后判断安全段无电时，自动合闸；二是同期合闸，用于定期试验，安全段有电，柴油机启动，同期合闸、带载，验证柴油机的功能。在电厂换料大修时，控制出口开关自动合闸的两套专设屏都停电检修，而此时还需一台柴油机作备用。就会出现安全段失电，柴油机启动，但专设屏在检修不能自动合闸；安全段无电又不能同期合闸，柴油机起不到真正的备用作用。所以增设同期旁通回路，在专设屏停电期间，投入旁通回路，在安全段失电柴油机启动后，能手动合闸，保证柴油机能真正起到备用作用。

通过上述不断改造，应急柴油发电机的可靠性也在不断地提高，目前从实际运行情况分析，在电气系统上还存在一些可能导致应急柴油机失效的环节，需要在下列方面再进行改进：

—蓄电池运行环境差：蓄电池房间通风条件差，降温措施不够，运行中发生电池爆裂事件，需要对蓄电池的环境进行改进，增加通风、降温措施。

—2号柴油机控制电源切换不同时：2号机可作为A、B通道的备用，投入A通道时，相应的直流、交流控制电源也要投到A通道；投入B通道时，相应的直流、交流控制电源也要投到B通道。现在交流、直流用两把双头闸刀进行切换，会引起不同时切换，或引起交、直流投入不同的通道，违反相互隔离的原则。所以须改为交、直流同时切换，或者不同时切换时，向主控室发出报警。

—试验状态下柴油机转为应急：柴油机按技术规格书要定期进行试验，在现在的控制回路中，柴油机在试验状态下，如果发生“安注”或“失电”，柴油机不能自动复位到应急状态。所以要对控制回路进行改进，以适应这种运行工况。

—继电保护的设置：柴油发电机设置了一些直接跳闸的继电保护，如果柴油发电机在应急状态下保护误动，直接影响应急电源的可靠性。可以进一步改进，对主保护（差动保护）可直接跳闸，其他保护应经三取二逻辑后跳闸，保证某个继电器误动时不会使柴油发电机跳闸。

—继电保护定值：安全系统正常由第一或第二电源带，即由大系统带，其继电保护定值根据大系统来计算并整定。但在应急状态下，由柴油发电机带，即小系统带，两者的短路容量相差很大，保护定值还按大系统来整定，会引起末端短路时保护达不到定值而不能及时切除故障。所以应采用两套定值，随一次设备自动切换。

以上对秦山核电厂安全电源的可靠性进行了分析，并提出了一些改进方法，有的已经实施，经实践证明确实提高了安全电源的可靠性；有的我们正在准备实施；有的只是个设想。鉴于安全电源的重要性，我们要不断发现安全电源可靠性方面的不足，不断地进行改进。