

发电机组小岛运行分析及对策

任天鸿¹, 袁铁江¹, 晁勤¹, 常喜强²

(1. 新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047; 2. 新疆电力调度通信中心, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 发电厂厂用电在发电厂正常运行中起着至关重要的作用, 它确保着主设备(锅炉、汽轮机或水轮机、发电机、核电站堆芯控制)和辅助设备的运行, 厂用电一旦失电进入小岛运行状态, 将对主辅设备的安全造成严重影响, 甚至发生严重后果。结合电厂的实际情况及有可能遇到的各种事故, 甚至灾难对发电厂小岛运行的影响进行分析讨论, 提出需要注意的事项及解决方法, 进而提高厂用电的安全可靠性, 以期减少对设备及工作人员造成的影响与危害。

关键词: 厂用电; 可靠性; 分析讨论

Abstract: The auxiliary power in power plant plays a crucial role in normal operation of power plant, which ensures the operation of main equipment (boiler, steam turbine or hydro turbine, generator, control of nuclear reactor core) and other auxiliary equipment. If the auxiliary power has lost the power, the power plant will come to an island operation and the security of main and auxiliary equipment will be severely affected, even resulting in a serious consequence. The actual situation of power plant, the kinds of potential accidents, even the influence of disasters on the island operation of power plant are discussed, and the remarkable matters and resolution methods are proposed so as to enhance the security and reliability of auxiliary power, which will reduce the effects and hazards on the staff and equipment.

Key words: auxiliary power; reliability; analysis and discussion

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0005-05

0 引言

电力在现代生活中扮演的角色日益重要, 而作为整个电力系统的电源, 发电厂的安全可靠运行需要安全、可靠运行的厂用电的支持。通常, 厂用电由发电机经变压器对厂用负荷供电, 根据发电厂的不同规模, 有相应的设计接线方式, 通常考虑了电源可靠性及经济性原则。但在进行设计时, 通常对于极端气候条件及灾难的考虑会有所不足, 如突发性洪水、海啸、地震等。这里将针对现有厂用电接线形式、设计思想, 进行分析讨论, 提出注意事项及相应的解决方案, 具有一定的实际意义。

1 常见厂用电的供电方式及可靠性

发电厂的厂用工作电源是保证电厂正常运行的基本电源, 该电源需满足供电可靠, 而且应满足各种厂用负荷容量的需求, 工作电源不少于两个。通常,

厂用电含有不同类型的负荷, 这里, 按照最严重情况考虑, 讨论可靠性均为 I 类负荷的可靠性。

1.1 火电厂厂用电供电方式与可靠性

一般情况下, 对火电厂厂用电有如下情况: 对于小功率机组, 通常取自发电机汇流母线, 通过厂用变压器或者厂用电抗器引出, 提供给厂用电负荷; 而对发电功率大于 200 MW 的机组, 发电机组通常采用分相封闭母线, 此时, 厂用电通常经由断路器取自配套变压器的低压侧, 再经过厂用变压器或厂用电抗器提供给厂用电负荷。如图 1 所示。

火电厂还装设有备用电源和启动电源, 该电源具有独立性及足够的容量, 可以通过联络变压器或备用厂用电变压器从厂外专用线路引入, 本厂厂用电出现故障的时候, 可从外部电网获取厂用电。当增加外部电源引入时, 电源的可靠性将得到显著提高。

厂用电的重要设备, 通常还设有事故保安电源, 用于发电机安全停机。此机组一般快速启动柴油发电机, 当发电机不小于 300 MW 时, 应设 110 kV 及以上专用线路, 从外部引入, 同时配置柴油发电机。

由图 1 所示接线方式, 分别根据发电机组容量大小, 将厂用电分别以不同电压等级提供给相应的负荷。

基金项目: 国家自然科学基金(51067009)

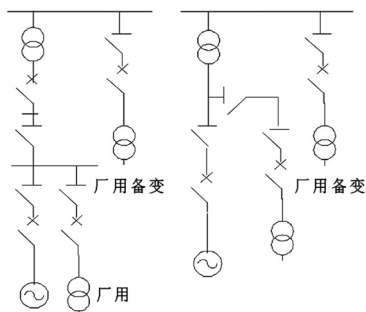


图1 火电厂厂用电常见接线方式

当出现厂用电内电源与外电源的切换时,应根据发电厂的不同情况进行切换。串联切换不产生电磁环网,但是存在着对厂用电的冲击,为减小对厂用电系统影响,应装设快速切换装置,根据电源电压与负荷电压之间的压差、频差、相角差及断路器的分、合闸时间,对快切装置的动作时间进行合理的整定;并联切换对负荷的影响很小,但会产生电磁环网,对厂用电电网产生冲击,在此情况下,应当尽量缩短操作时间,将冲击缩减到最小。

上述说明,发电厂厂用电在供电方式上具有较高可靠性,且相关的设计、标准、布置、工艺,均已考虑建筑安全、通风需求、防火控制等方面问题,已在发电厂大量使用。在一般情况下,足以应对可能发生的事故及相关影响。

1.2 水电厂厂用电供电方式与可靠性

水电厂的厂用电负荷在同样装机容量情况下,其厂用电容量及复杂程度均小于火电厂。但其可靠性及重要性依然不容忽视。因为其厂用电与其运行方式休戚相关,闸门控制、不同的运行方式,均对厂用电有不同的需求,尤其是当水电厂比较大,装设有船闸等较大负荷时,其可靠性尤显重要。

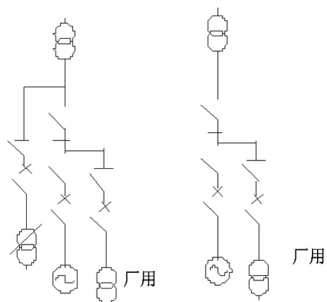


图2 水电厂厂用电常见接线方式

水电厂厂用电基本负荷包含水轮机调速系统、润滑系统、空气压缩机、发电机冷却及滑油系统泵、闸门启闭设备、照明设备等。厂用电的接线方式为单母线,分段供电,每段均由单独的厂用变压器供电。在变压器容量选择上,采用暗备用方式,来应对可能发

生的变压器故障。

在图2所示情况下,厂用电的电源具有较高可靠性,当其中一台厂用变压器发生故障时,整个系统中,变压器容量依然可以支持系统正常运转,其厂用电母线一般采用分段供电的方式进行布置,对于大容量水电站,一般采用每台机组一个分段来对厂用负荷进行供电。负荷侧可通过倒闸操作完成负荷转移,进而保障厂用电的连续性与可靠性。在水电厂中,除了要求保障机组控制系统及一般厂用电负荷之外,同时需要保障跟水电厂大坝休戚相关的防洪闸门的用电,即使在水电厂全厂停电的情况下,也应保障此类负荷的供电,以确保行洪保坝等操作的进行。因此,水电厂应当充分保障厂用电变压器的安全,在其选址、容量选择上给予充分考虑。从设计角度考虑,该方案在满足各种设计要求的情况下,可靠性、安全性可以满足水电厂的要求。

1.3 核电厂厂用电供电方式与可靠性

核电厂的电源系统和配电系统一起,共同构成厂用电系统,为厂内所有的用电设备提供可靠而安全的供电。

与常规电厂不同,核电厂的生产过程中使用可裂变及放射性的核燃料,核电厂的安全性尤为重要,并会产生一些特殊的安全问题:①有可能发生比设计功率高得多的超功率事故;②反应堆在运行中或停闭以后,都有很强的放射性;③反应堆在停堆以后有很强的剩余发热;④核电站在运行过程中,会产生气态、液态及固态放射性废物,存在处理和储存问题。

由于核电厂的特殊性,在核电厂厂用电系统设计上,应有多重保证,足够的安全冗余。

如图3所示核电机组,厂用电的简图满足以下原则:①采用独立的双重电力及其配电系统,使得其中一路电力及其配电系统故障不会波及到另一路,并使波及到厂外电网的可能性降低到最低程度;②对核安全至关重要的设备多重配置,并由独立的应急安全母线通过实体上分开的通道供电,使单项故障不影响应急安全系统和部件的运行能力;③紧急电源具有足够的独立性,同一机组的冗余安全系列之间,或者两个机组的任何两个系列之间不存在任何相互连接;④在发生设计基准事故时能承受自然灾害的影响,保证使执行电厂安全功能或维持安全停堆的主要设备不失去电源。

在此情况下,厂内柴油动力应急电源应满足在厂

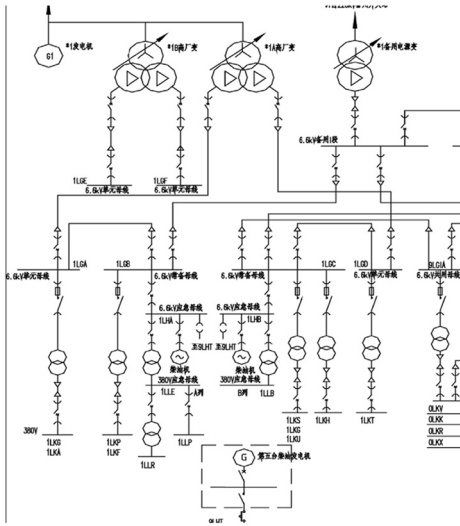


图 3 核电厂厂用电常见接线方式

内主电源、辅电源均失电时,厂内应急柴油发电机组应能快速启动,向保证核电厂处于安全状态的厂用设备供电。而厂内配备的蓄电池组应保证在规定时间内向全厂和紧急停堆控制的设备提供可靠的直流电源。除此之外,还应在这些电源的基础上,设置厂区附加电源:①在一个核电单元机组失去全部厂外和厂内电源时,给所需的核辅助设备供电;②当一个核电单元机组中任何一台应急柴油发电机组不可用时,可由此柴油发电机组替代,执行应急柴油发电机组的功能。附加电源可以是多堆共用的。

以上论述及《核电厂设计安全规定》,是中国核电现行的标准与要求,是根据已有经验及核技术先进国家的经验进行的综合、相对完备合理。

综上所述,关系发电厂厂用电的关键设备均为:厂用电变压器及备用变压器,并采用柴油发电机组作为应急电源。其中核电厂采用了提高冗余的方法提高厂用电的可靠性。作为外引电源来说,线路安全与厂用变压器是关键。现行的输电线路较多地采用了同杆双回路,此类做法,在输电线路遭遇破坏时将导致双回线同时失电。故在厂用电的设计与施工时,应尽量做到不同回路在地理位置上尽量分开,从地理位置上较远的电源分别引入,加强塔杆抗灾能力,保证不同回路的安全。厂用变压器及备用变压器的配置应当充分考虑冗余容量及变压器本身的安全,在安装位置和灾害防护上做好防护,以抵抗灾害影响。

2 发电厂厂用电可能遭遇极端气候及破坏

中国将自然灾害分为 6 大类:气象灾害、海洋灾

害、洪水灾害、地质灾害、农作物生物灾害和森林火灾。

对于发电厂来说,可对其造成破坏与影响的灾害分别如下所示。

(1) 气象灾害

特大暴雨、热带气旋、雷暴、低温冰冻雨雪、雾霾天气是能够对电力设施运行产生严重影响的一系列因素。强降雨有助于清洁厂用电设施上的灰尘,有利于降低电晕及闪络的危险。但热带气旋所带来的强风可以将线路摧毁,从而造成外来厂用电源的中断或接地短路故障,与此类似,雷暴对线路的影响可以造成瞬间跳闸或绝缘子损害,对于前者,可以通过自动重合闸恢复供电,而对于后者,将不可避免地造成永久停电。低温冰冻雨雪灾害是近年来中国南方地区所遭遇的极端气候影响之一。在这样的灾害面前,输电线路与电力设施首先遭遇接地短路及绝缘破坏,随之而来的是由于挂凌而造成的线路与设施的负重超过设计指标,进一步发展成线路垮塌、设备损害等严重事故,而相应的修复在灾害天气下,更显艰难。2008 年的冰冻雨雪灾害中,很多设备及所用工具,需要由工作人员人工移动,至施工地点。在重污染地区,小雨及雾霾天气极有可能造成线路的闪络故障,此类故障只能通过对污染物清洁来消除故障。

(2) 海洋灾害

海洋灾害中可对电力设施造成损害的灾害分别有风暴潮与海啸。海水可严重地破坏设备的绝缘性,甚至造成变压器、断路器报废,严重时甚至可以直接摧毁相关的建筑物及线路的彻底损毁。日本福岛核电厂在遭遇了由地震引发的海啸,将福岛核电厂最后一根救命稻草——柴油应急发电机彻底摧毁,从而造成了不可挽救的后果。

(3) 洪水灾害

如上述影响,洪水灾害造成的影响与海洋灾害相似,造成的影响短期内难以消除,在这种灾害面前,电力设施尤显脆弱。在这种影响下,线路与电力设施的建造强度及高度将影响建筑受损情况。对于水电厂来说,其库容量及泄洪能力对水电厂的安全休戚相关,在极端情况下,洪水灾害可造成漫坝溃堤的严重事故。

(4) 地质灾害

可对电力设施与线路造成影响及损害的地质灾害有:崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝、水土流失、地震。此类灾害对电力设施造成的损害为杆塔的损毁,建筑及相关设施的倒塌,甚至是泥石流过后淤泥的清理将

是十分繁重的任务。

(5) 森林火灾

森林火灾可对输电线路及选址靠近森林的发电厂造成影响。不论塔杆还是发电厂,都无法抵抗火灾,势必造成电力设施的损坏甚至威胁工作人员的生命安全。

3 提高厂用电系统抗灾能力及分布式电源的应用

在一般的设计及施工中,对发电厂的基础设施的抗震能力、防护等级、厂址的选择等条件通常根据当地气候、地质及可能的极端条件进行考虑。

上述的种种灾害都可以对在正常运行状态的发电厂造成严重影响,甚至与电网解列运行,影响系统的可靠运行。这样,就对发电厂厂用电的安全可靠造成了严重影响。针对以上种种可能,与其在遭受损失以后进行补救,不如在设计施工之初就将可能遭遇的情况考虑,将设计及防护工作提高,从根本上减小受损可能。

3.1 提高外接电源的可靠性

对于外接电源,应该尽量做到从不同的电源引入,加大引入线的地理间距,将同时遭受损失的可能减小,同时,在线路选址的时候,优化设计,根据可查资料中的最严重情况作为评估依据,根据电厂规模及重要程度,对总投资及可能扰动系统的程度综合考虑,尽可能地强化输电线路的保护,保障厂用电外来电源的可靠性。

加装除雪融冰装置,增加厂用电外接电源冗余。针对2008年的冰冻雨雪灾害,南方电网在遭受重大损失之后,引入了电热融冰除雪装置,经在线装置传回的实时线路情况,分别对线路进行负荷转移和除雪作业,将冰冻雨雪对线路的影响降低。

3.2 提高发电厂自身的抗灾能力

优化发电厂厂房及关键设施的选址,增强其防护及抗灾能力。

通常火电厂的磨煤机等辅助设备装设在发电厂厂房的底层,当发电厂遭遇重大气候或不可预知灾害影响,已经与外界电网完全断开成为小岛时,发电厂厂房底层的辅助设备就成为维持发电厂汽轮机继续运行,直至完全安全停机的重要保障。从设计角度对厂房安全进行多方面考虑,保障发电机组及相应设备的安全。

发电厂电气设备根据当地情况,适度地加入防震措施,如采用单自由度悬臂梁、多自由度悬臂梁,根据设备本身的自振频率、阻尼比、振型等固有特性进行精确计算,采取相应措施如加装阻尼器等措施提高抗灾能力。

当火电厂遭遇重大灾难影响,发电机组紧急停机,且厂房底层的辅助设备也遭损坏,无法维持蒸汽轮机的运行时,应急柴油机组必须迅速启动,并根据电厂的装机容量与机组要求,持续工作,提供可靠的电力给保安负荷如汽轮机盘车机和顶轴油泵、交流润滑油泵等重要设备,保证机组安全停机。这就要求发电厂在设计时,就应当充分考虑可能遇到的突发性灾害及地质情况,做到防患于未然。

水电厂发电机组通常安装在大坝内部,水库大坝的安全不仅关系着发电机、变压器、相应的控制设备安全,同时,更关系着大坝周边地区及下游地区的安全。当发电厂厂用电完全失电,失去对大坝闸门的控制时,突发性的降雨或洪水就可能超越库区有效库容,溢坝甚至冲毁大坝,对库区周边造成重大灾难。

突发暴雨与洪水易引发泥石流、山体滑坡等次生灾害,外引电源的线路必然受到牵连,故水电厂的外引电源线路也应如前火电厂所述,尽量提高电源及线路的可靠性。

大坝库区保安电源应有充足的容量,且应具有相对独立的配电系统,在主厂用电失电情况下,应能完全保障大坝闸门的操控与调节。

对于核电厂来说,该装置尤显重要。当遭遇重大灾害为保证安全而紧急停机时,若一切厂用电外接电源全部失电,无法短时恢复时,应急柴油发电机组应能迅速启动,并能够工作足够的时间,除了确保反应堆停止链式反应,还应能确保堆芯应急冷却系统(安注泵)、反应堆安全壳冷却系统(安全壳喷淋泵)、反应堆停堆冷却系统(余热导出泵)、设备冷却水系统(设备冷却水泵)、重要厂用水系统(重要厂用水泵)等系统工作至安全停机要求,应急柴油发电机被布置在特定的厂房内,这些厂房可以抵御洪水、地震、台风等自然灾害,可以经受飞机坠落,并受到安全保卫。同时电源设备本身也要求是抗震的1E级设备,并且其出线、电缆沟、电缆的选择都应当具有极高可靠性,如电缆沟遭遇洪水侵袭,电缆应具有相当的防护等级,保障供电可靠性,以确保机组安全,同时,在厂内应存放适当数量的电缆,用于应付因灾害而造成的电

缆损毁。积极采用新一代核电技术。福岛核电危机爆发以来,核电的安全性遭到了广泛质疑,作为第二代核电厂,反应堆的冷却需要外部电源提供,其应急柴油发电机的安装位置位于反应堆下方的厂房内,但其设计建造过程中未考虑遭遇10 m以上海啸时,核电厂所面临的问题与最后一道安全保障:应急柴油发电机的安全。从而在遭遇地震、海啸的双重打击之后,厂用电彻底失效,反应堆无法冷却,虽然已经停堆,但由于余热无法导出,一步步导致危机逐渐恶化,进而失控。

中国正在沿海建设并将向内陆推广的第三代AP1000核电技术采用了“非能动”安全系统,在反应堆上方装设多个千吨级水箱,一旦遭遇紧急情况,在交流电源和应急发电机损毁、完全失电情况下,能够进行自我冷却,确保堆芯及安全壳的安全与顺利冷却。将灾害造成的损失降至最小,并避免次生灾害的产生。对于水电厂,厂用电同样重要,其厂房布置与输电线路同样应该避免遭遇洪水、地质灾害的侵袭。

3.3 适当引入分布式电源

适当引入分布式电源,作为后备电源的补充。当出现超越设计设想的情况,厂用电线路或应急柴油发电机损坏时,该电源应能随时启动,可以设成固定式发电机,布置在重要设备周边,该发电机应具有极高的防护与可靠性,并配备简单配电装置,也可以应急发电车的方式灵活地布置在发电厂内安全地点,一旦有紧急情况发生,随时可以向重要设备供电。

上述几种方式分别从发电厂厂用电电源、电力设施本身及分布式电源的角度做了分析比较。电力设施本身的加固、线路加大安全冗余度等措施相对来说代价较高,但容易实现,有较高的可靠性;分布式电源做后备电源补充投资相对较低,但是发电厂小岛运行情况下,小岛电网的频率、电压等控制的难度增加,操作难度较大。当出现突发性灾害时,厂用电的任何一个环节出现问题都将对发电厂造成较大影响,故应当全面考虑,避免由其中的薄弱环节造成连锁反应,将故障扩大。电力系统的正常运行需要系统中各个环节的有效支持,每个环节的有效运行最终保障整个系统的有效运行。

发电厂在进行运行机制与体系的制定时,除了考虑正常运行,应当制定结合本厂实际情况的应急体系,作出应急方案,以应对可能发生的不测。并对所制定的方案进行可行性评估与演练,明确与落实相关

责任,形成定期检查制度,做到迅速响应,应对突发事件,尽量将损失减至最小。

在进行因灾损失评估时,应当全面考虑各种情况,而不仅限于发电厂本身,如:水电厂大坝发生意外时可能引发的次生洪灾、山体滑坡等;核电厂意外失电以后,核反应堆未能安全停堆而引爆安全壳,引起核泄漏造成的损失。以此为据,在发电厂设计、建造、运行时充分考虑各种因素,谨慎操作,避免发生日本福岛核电危机那样的灾难性事故。

4 结 语

居安思危,防患未然,电力设施的投入,在施工与建造过程中,也许部分标准、防护等级、相关设备的配置的提高会导致施工成本的大幅提高,但是相对于由于厂用电失电而造成的影响、损失,甚至是次生灾难的避免来说,该类方案的实施具有相当的实用性。在进行发电厂的方案评估时,应全面考虑发电厂小岛运行时可能遭遇的种种情况,并把对周边环境的影响也引入评估体系,将对灾害的设防放置在一个新的高度,避免连锁反应,将可能的灾害损失限制在最小的范围内。

参考文献

- [1] 范锡普. 发电厂电气部分[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [2] 陈茂生. 电力工程电气设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1989.
- [3] 冉慧敏. 核电厂电源系统高可靠性的实现[J]. 电气应用, 2006, 25(8): 124-127.
- [4] 马晓静. 核电站厂用电系统设计[J]. 电气技术, 2009(8): 151-156.
- [5] 张海雯, 曾祥辉. 岭澳核电站低压厂用电系统设计[J]. 东北电力技术, 2008, 29(7): 37-40.

作者简介:

任天鸿(1981),男,河南安阳人,硕士研究生,研究方向:电力系统稳定与控制;

袁铁江(1976),男,博士,研究方向为风力发电及其并网技术;

晁勤(1959),女,教授,博士生导师,主要从事电力系统综合自动化和并网风力发电系统稳定性等方面的研究和教学工作;

常喜强(1978),男,高级工程师,从事电力系统安全稳定分析工作。

(收稿日期:2011-07-18)