

压水堆核电站应急柴油机冷却水回路设计分析

黄敏

大亚湾核电运营管理有限责任公司

DOI:10.12238/pe.v2i5.9875

[摘要] 本文基于典型M310压水堆核电站应急柴油机发电机组子系统之一的冷却和预热回路系统,通过对应急柴油机冷却和预热回路的重要性 and 作用、设计理念、正常运行参数的分析,并结合机组实际运行工况,根据典型M310机组所处的地理位置和所处的自然环境的不同,探讨应急柴油发电机组冷却和预热系统回路当前运行方式的合理性、必要性,以及当前运行方式存在的不足的地方,分析对应急柴油发电机组冷却和预热系统回路改造的必要性,和如何进行改造可以发挥出最好的效果。

[关键词] 压水堆核电站; 应急柴油发电机组; 冷却水回路

中图分类号: TB857+.3 文献标识码: A

Design analysis of cooling water circuit of emergency diesel engine in water reactor nuclear power plant

Min Huang

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD

[Abstract] Based on the cooling and preheating circuit system of one of the subsystems of emergency diesel generator set of typical M310 pressurized water reactor nuclear power plant, this paper analyzes the importance and function, design concept and normal operation parameters of the cooling and preheating circuit of emergency diesel engine, combined with the actual operating conditions of the unit, and according to the geographical location and natural environment of the typical M310 unit. This paper discusses the rationality and necessity of the current operation mode of the cooling and preheating system loop of the emergency diesel generator set, as well as the shortcomings of the current operation mode, analyzes the necessity of reforming the cooling and preheating system loop of the emergency diesel generator set, and how to make the best effect.

[Key words] Pressurized water reactor nuclear power plant; Emergency diesel generator set; Cooling water circuit

引言

M310机组压水堆核电站的应急柴油发电机组是核电站安全系统中的关键设备之一。它们在紧急情况下提供备用电源,确保核反应堆的安全停堆和冷却。应急柴油机通常在电网故障、内部电力系统故障或内部测试时启动。应急柴油发电机组的设计和维修需要高度重视,以确保其在任何紧急情况下都能迅速启动并稳定运行。应急柴油发电机组由多个关键系统组成,包括燃油系统、润滑油系统、冷却和预热系统、空气启动系统、燃烧空气和排气系统等。这些系统在最佳工况下的共同作用,可以确保应急柴油发电机组随时处于良好状态。然而,根据M310压水堆核电机组所处的地理位置不同,其所在的环境温度也不尽相同,因此应急柴油发电机组的冷却和预热系统的设计也需要量身定制。

1 背景

M310机组压水堆核电站应急柴油发电机组,是核电站安全系统中的关键设备之一。它们在紧急情况下提供备用电源,确保核反应堆的安全停堆和冷却。应急柴油机通常在电网故障(当外部电网失电时,应急柴油发电机组会自动启动,为电厂内部提供电力支持)、内部电力系统故障、内部测试(定期启动测试,以检查应急柴油发电机组能正常启动,并具有良好的性能和可靠性)等情况下启动。应急柴油发电机组的设计和维修需要高度重视,以确保其在任何紧急情况下都能迅速启动并稳定运行。

应急柴油发电机组由多个关键系统组成,包括燃油系统(提供柴油机运行所需的燃料)、润滑油系统(减少柴油机内部各部件之间的摩擦,提高柴油机运行寿命)、冷却和预热系统(控制柴油机备用以及运行时的最佳温度)、空气启动系统(快速启动柴

油机)、燃烧空气和排气系统(提供柴油机运转所需的空气并排出废气)等。这些系统在最佳工况下的共同作用,可以确保应急柴油发电机组随时处于良好状态,在备用和启动时都能处于稳定安全的区间^[1]。

然而,根据M310压水堆核电站所处的地理位置不同,其所在的环境温度也不尽相同,因此应急柴油发电机组的冷却和预热系统的设计也需要量身定制。

根据实际运行经验,在冬天天气寒冷时(气温约10℃),M310压水堆核电站应急柴油发电机组可能会出现预热水温度低的情况,可能影响柴油机的启动性能。因此,有必要通过对其预热和冷却水回路进行热工水力分析,并结合实际运行环境,寻找更好的运行方式或进行更合理的改造。

2 系统介绍

2.1 系统简介

应急柴油机系统为6.6kV交流应急配电系统-柴油机系列。本系统所用的柴油发电机组能为M310压水堆核电站安全停堆所需的中低压核辅助设备供电,以确保设备安全和人身安全。它作为6.6KV应急母线供电的后备电源,确保了应急母线电源的可靠性。

为了使应急柴油发电机组在接到启动信号后能够迅速启动并在最短的时间内达到满功率,应急柴油发电机组设置了一个冷却和预热回路。该回路包括润滑油冷却器、涡轮增压空气冷却器、冷却水循环泵、冷却水空气冷却器、冷却水电加热器、预热回路水泵、冷却水高位水箱等设备。

在柴油机停机期间,冷却水通过电动泵经过电加热器加热后进入应急柴油发电机本体,从而形成一个自循环,对柴油机和柴油机本体所需的润滑油进行预热,避免应急柴油发电机组从冷态突然启动带载时产生过大热应力,从而造成应急柴油发电机组的寿命降低,同时保证应急柴油发电机组启动和加载过程中润滑油能够具有足够的流动性。当应急柴油发电机组启动时,电加热器不起作用,冷却水回路通过热交换器对润滑油进行冷却。即油水热交换器执行双重功能:当引擎处于备用状态时,交换器使润滑油加热,当柴油发电机处于运行状态时,交换器确保将润滑油冷却^[2]。

2.2 预热/冷却水温度控制逻辑

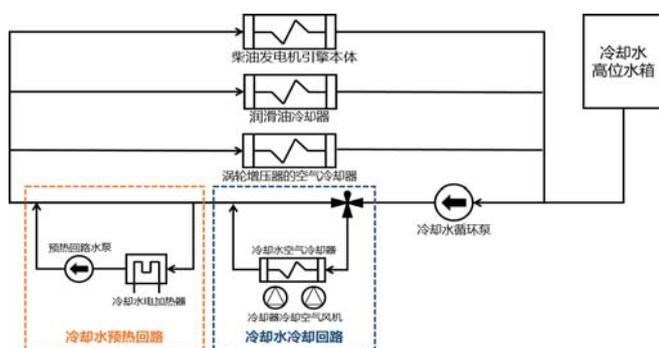


图1 柴油机热备状态冷却和预热系统运行示意图

冷却回路的冷却风机与预热回路的冷却水电加热器的控制逻辑:

当应急柴油发电机组有启动信号且冷却水温度达80℃时,启动冷却回路的冷却风机。当预热回路水泵运行且冷却水温度低于60℃,预热回路的冷却水电加热器自动启动;当预热回路水泵停运或水温高于85℃,预热回路的冷却水电加热器自动停运。

温控阀能够根据冷却水温度调节流经空气冷却器的流量从而实现控制冷却水温度,以保证对润滑油和机体的预热和冷却功能。

3 改造必要性分析

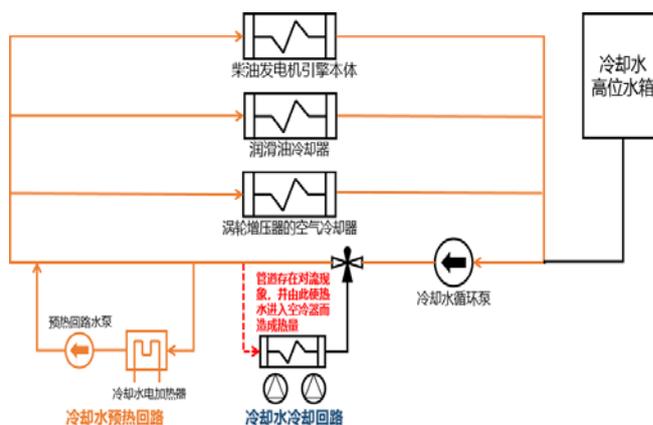


图2 预热水回路和水冷回路的交叉处的管线内存在对流现象示意图

对流是流体的一个主要传热方式,是由于流体内部温度不同而造成的相对流动,从而实现热交换的过程。对流分为自然对流和强迫对流。自然对流是由于温度差引起的密度差而产生的对流,而强迫对流是由于外力的推动而产生的对流。而在应急柴油发电机组预热和冷却水回路中,这两种对流方式均存在,且对换热效果有比较大的影响。

根据管道布置图可以看出应急柴油机备用时预热回路的循环水泵带动预热回路的水流动并对柴油机本体进行预热。在预热水回路和水冷回路的交叉处,由于预热水的流动,促使管线中的水产生漩涡而形成强迫对流,并且冷却水回路管线中的水比预热回路的水温度要低,因而形成自然对流,这便是在循环水泵的强迫动力下的单管空冷器内产生对流现象的根本原因。这一现象使得水的热量沿管线和空冷器散发。如图2所示

空冷器表面的温度分布情况可以有力说明预热水的热量沿管线和空冷器散发的现象。实际测量发现该管线靠近空冷器的温度和管线入口端的温度差别不大,这进一步佐证了管内存在水的对流换热现象,这种对流换热使部分热水进入空冷器和冷水混合并通过散热片和外界接触而把热量散失,当外界温度越低,热量损失会越多。

空冷器的总散热面积高达近2000m²,由此而形成强大的散热效果,实测表明,当外界环境温度较低时(10℃),由空冷器形成的散热强度将近预热水回路电加热器功率的60%,从而导致低

温天气易出现预热水温度低报警。

综上所述,原设计在低温天气易导致应急柴油机预热水和润滑油温度太低,其后果是:达不到设计要求,润滑油的黏度会随着温度的降低而增大,从而使柴油机的内摩擦增大,缩短了应急柴油发电机组机的寿命。由于应急柴油发电机组采用低压缩比技术,应急柴油发电机组整体温度的降低不利于点火,从而影响柴油机的启动性能,另外启动空气的温度由预热水得到保证,如果启动空气的温度也降低,那么应急柴油发电机组启动性能同样也会降低。

此外,M310压水堆应急柴油机调速器内部装有大量调节用油调节器。调速器是确保柴油发电机组在不同负载下稳定运行的关键部件,调速器紧靠柴油发动机装设,在应急柴油机长时间运行时,调节器内油被加热,从而影响调节油性质,进一步影响调节性能。

4 冷却回路的改造优化设置

应急柴油机发电机组热备用时,冷却水用于加热引擎和润滑油的,而冷却水是用加热器来加热的(冷却水冷却回路应被隔断)。原设计上冷却水会因为对流而进入空气冷却器内,致使冷却水因自然冷却传热而热能散失,使引擎加热不够,出现引擎温度低报警,在水冷回路出口处加装逆止阀可以避免对流现象,减少热量损失^[3]。

调速器内部装有大量调节油,同时紧靠柴油发动机,在应急柴油机运行时,调节器内油被加热,会直接影响调节性能,通过在应急柴油发电机的冷却水回路增加阀门和配套管道将冷却水引入调节器内,冷却后再引回冷却水回路。

针对以上分析的情况,目前部分M310机组应急柴油发电机的冷却水回路已安装有逆止阀以减弱加热回路与冷却水回路的对流换热;柴油机调速器配置有冷却水回路以降低调节机构内调节油温度保证良好调节性能。如图3、图4所示:

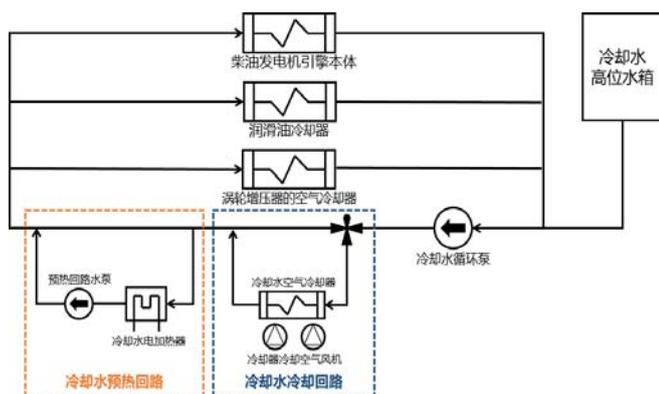


图3冷却和预热系统改造前

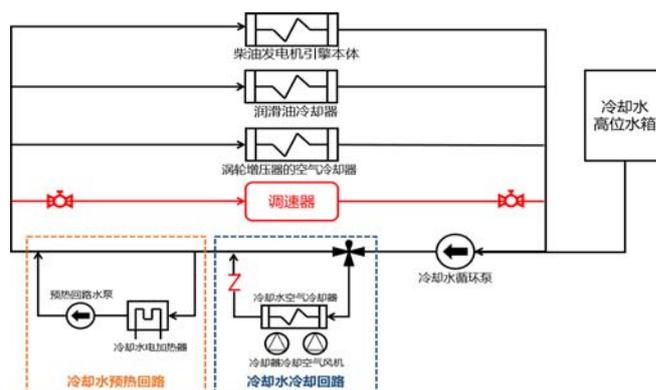


图4冷却和预热系统改造前后对比示意图

5 结语

本文通过对典型M310压水堆核电站应急柴油发电机组冷却和预热回路系统的分析,探讨了其在不同地理位置和自然环境下的运行合理性和必要性。研究表明,现有的冷却和预热系统在低温环境下存在一定的不足,可能影响应急柴油发电机组的启动性能和运行寿命。通过对冷却和预热回路进行热工水力分析,并结合实际运行环境,提出了改进建议,如在水冷回路出口处加装逆止阀和在调速器内增加冷却水回路等。这些改进措施有助于减少热量损失,确保应急柴油发电机组在各种环境条件下都能稳定、高效地运行,从而进一步提高核电站的安全性和可靠性。未来的研究可以继续关注不同环境条件下的系统优化,以确保应急柴油发电机组的最佳性能。

【参考文献】

- [1]林裕明,骆巧珍.冷却水回路过热的防止[J].国外内燃机车,1987,(01):37-43.
- [2]赖斌生,李志辉,闵济东.柴油机冷却水回路用丁腈橡胶膨胀节寿命预测与评估[J].特种橡胶制品,2023,44(05):43-47.
- [3]王永,丁立军.大亚湾核电厂常规岛闭路冷却水回路流量平衡能力测量与分析[J].中国科技信息,2015,(05):73-74.

作者简介:

黄敏(1991--),男,汉族,四川省自贡市人,大亚湾核电运营管理有限责任公司,工程师,本科,核反应堆运行。