

文章编号: 1671-6612 (2019) 06-609-04

高温缺水地区调相机外冷却系统研究

徐大坤 甘 露

(山东电力工程咨询院有限公司 济南 250000)

【摘 要】 调相机运行过程中发热量巨大, 选取可靠高效的外冷却系统对于保障机组的正常运行具有重要的作用。探讨了调相机外冷却系统的多种冷却方案, 结合工程所在地高温缺水的环境特点, 选取了空冷塔联合蒸发冷却塔的干湿联合蒸发冷却系统, 该系统不仅保证调相机可靠运行, 而且节约水源, 降低了全寿命周期成本。

【关键词】 调相机; 外冷却; 空冷塔; 蒸发冷却塔

中图分类号 TU86 文献标识码 B

Research on Model Selection and Optimization for External Cooling System of Rotary Phase Modifier in High Temperature and Lack of Water Area

Xu Dakun Gan Lu

(Shandong electric power engineering consulting institute Co., Ltd, Jinan, 250000)

【Abstract】 The heat generated during the operation of the rotary phase modifier is huge. The selection of a reliable and efficient external cooling system plays an important role in ensuring the normal operation of the unit. In this paper, a variety of cooling schemes for external cooling system with the rotary phase modifier is discussed, and combined with the environmental characteristics of high temperature difference and lack of water in the project site, the combined evaporative cooling system of air cooling tower and evaporative cooler is selected. The system not only ensures the reliable operation of the rotary phase modifier, but also saves water and reduces the life cycle cost.

【Keywords】 Rotary Phase Modifier; External Cooling; Air Cooling Tower; Evaporative Cooler

0 引言

随着新能源尤其是风电容量的不断增大, 其发电的不连续性对电网造成较大的冲击^[1]。调相机设备可快速吸收无功能力, 降低风机脱网概率, 可保证电网运行的安全稳定^[2-6]。调相机在运行过程中, 其定子与转子会产生大量的热, 该热量首先传递至调相机自带的冷却器, 并最终通过与冷却器相连的外冷却系统排至室外, 因此外冷却系统对于保证调相机设备的正常运行, 具有非常重要的作用。本文介绍的调相机工程所在地位于新疆哈密市, 该地区夏季温度极高, 且属于严重缺水地区, 对外冷却系

统的设计选型带来一定的困难。

本文对调相机外冷却系统的不同方案进行了研究, 结合设备运行要求及室外环境状况, 最终采用空冷塔+蒸发冷却塔的干湿联合冷却方案, 保证调相机设备可靠运行。

1 工程概况

该工程位于新疆哈密市南偏西方向, 与哈密天山±800kV 换流站贴建, 位于换流站西南侧, 紧贴换流站南侧围墙建设。

调相机站本期装设 2 台 300Mvar 调相机, 每台

调相机通过 1 台 360MVA 变压器接入天山换流站 500kV 侧不同的交流滤波器大组母线，每台调相机具备长期稳定运行工况下无功出力 -200Mvar~300Mvar 的能力。两台调相机在厂房内纵向对称布置，调相机房总长度为 69m、跨度 15m、屋面标高 20.6m。

本工程地处新疆哈密市，干旱少雨，夏季极端最高温度为 43.9℃，极端最高湿球温度为 23.7℃，且夏季高温时间持续较长。其缺水、高温差高寒的环境条件为外冷却系统的设计选型提出了较高的要求。

2 外冷却系统方案对比分析

调相机冷却系统分为内冷却系统与外冷却系统。内冷却系统换热器集成在调相机设备本体内部，其作用是吸收调相机内热量并传递给换热管束，换热管束内冷却介质为去离子水，内冷却水经循环水泵加压后通过冷却管道进入调相机内换热器，将热量吸收后进入外冷却系统进行降温，降温后的冷却水再次进入调相机换热器进行下一个冷却循环，见图 1。

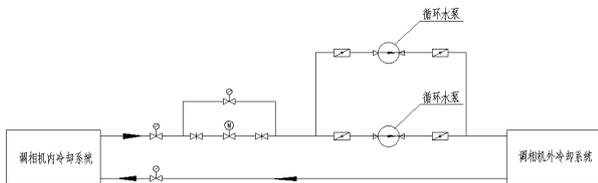


图 1 调相机内外冷却系统流程图

Fig.1 Flow chart of internal and external cooling system of rotary phase modifier

外冷却水系统是调相机重要的系统之一，关系到调相机站的安全和经济运行。调相机外冷却系统按照其冷却方式不同可分为空冷系统、水冷系统、干湿联合冷却系统三种不同形式。根据调相机设备运行要求，每台调相机冷却系统额定冷却容量为 7200kW，进入调相机内换热器的内循环冷却水温度不得高于 38℃。

2.1 空冷系统

调相机采用的空冷系统，散热器垂直布置在塔外，高温冷却水在管内流动，空气在管束外吹过，以达到换热的目的。由于换热所需的通风量很大，而风压不高，一般采用在空冷塔屋顶设轴流式通风

机，以提供风量和散热器管束外侧空气阻力等其它所需的空气阻力。见图 2、图 3。

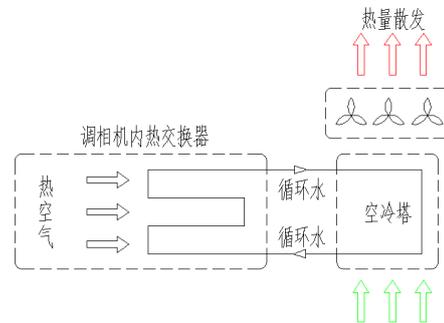


图 2 空冷系统流程图

Fig.2 Flow chart of air cooling system

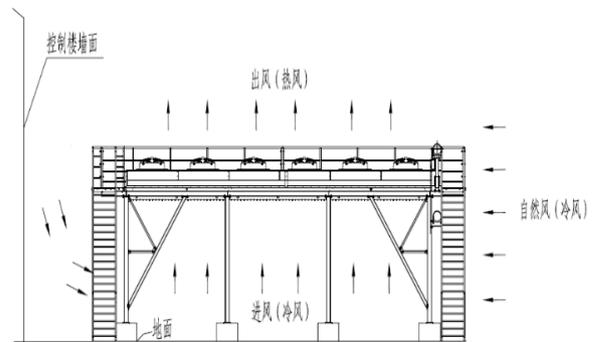


图 3 空冷塔气流组织图

Fig.3 Air distribution of air cooling tower

空冷系统最大的优点是节水，但夏季气温在 30℃ 以上时需辅助喷雾（除盐水）强化冷却^[8]，且只能将辅机循环水冷却至 38℃。当环境温度高过 36℃ 时，喷淋降温的方法冷却效率下降的速度很快，特别是当环境温度高过 38℃ 时，冷却效率下降的速度更快，38℃ 为采用此种冷却方式的极限最高室外温度。当室外温度较低时，外冷却自动控制系统根据换热管束内外温差自动关闭部分风机，内冷循环水在室外管道内流动即可满足降温要求。

2.2 水冷系统

调相机采用的水冷系统，其外冷却设备为蒸发冷却塔。高温冷却水经过密闭式蒸发冷却塔的盘管内部，其热量经过盘管散入流过盘管外部的喷淋水中，同时冷却塔外四周的常温空气从底盘上的进风格栅进入，与喷淋水的流动相反，向上经过盘管外部，一小部分喷淋水蒸发而带走热量，饱和的热湿空气由冷却塔的风机排出到大气中，其余的水落入底部水盘，汇至冷却塔调节水池，再由喷淋泵循环

至水分布系统又喷淋到盘管。在环境温度较低时, 风机可停止运行, 闭式循环水的热量由喷淋水蒸发带入大气中。风机的启停、喷淋泵的减速等均由外冷却的温度要求控制, 保证内循环冷却水的温度在规定的范围内, 见图 4、图 5。

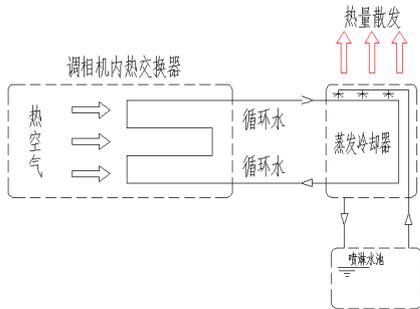


图 4 水冷系统流程图

Fig.4 Flow chart of water cooling system



图 5 蒸发冷却塔外形图

Fig.5 Outline drawing of evaporative cooling tower

将哈密地区极端最高湿球温度 23.7°C , 出现此温度时的气压 911.6hpa 、相对湿度 15% , 作为蒸发冷却器最高冷却水温的气象条件^[9], 选择单台换热量约为 3600kW 的冷却塔 3 台, 50% 冗余, 该方案可满足调相机外冷系统在极端最高温度下的冷却要求。当室外温度较低时, 外冷却自动控制系统根据换热管束内外温差, 自动开启或关闭冷却塔内风机与喷淋水泵, 当室外温度达到极端最低温度 -32.0°C 时, 所有冷却塔内风机与喷淋水泵均关闭, 内冷循环水在室外管道内流动即可满足降温要求。

2.3 干湿联合冷却系统

干湿联合冷却系统由空冷塔与蒸发冷却塔组成, 兼具空冷与水冷的优点。该系统以空气冷却为主, 当气温较高时, 辅以部分蒸发冷却。空冷塔以临界喷水温度点 (29°C) 作为设计边界条件进行选型, 然后校核满足夏季设计工况下内冷循环水的流

量与降温要求, 需要辅以蒸发冷却的换热面积、喷淋水量、冷却风量与蒸发冷却塔台数。一般空冷塔与蒸发冷却塔并联运行, 在环境气温低于干湿联合临界喷水温度 (29°C) 时, 纯空冷运行; 当气温高于临界喷水温度 (29°C) 时, 在节水优先的控制策略下, 逐步开启若干台蒸发空冷器的喷淋水泵, 在湿冷段空冷与蒸发空冷串联运行, 满足在环境气温较高的条件下内冷循环水降温要求。见图 6、图 7。

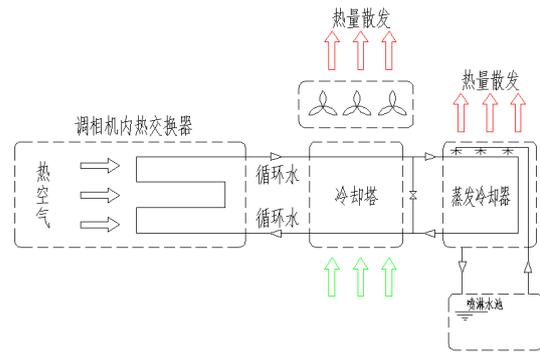


图 6 干湿联合冷却系统流程图

Fig.6 Flow chart of combined dry and wet cooling system

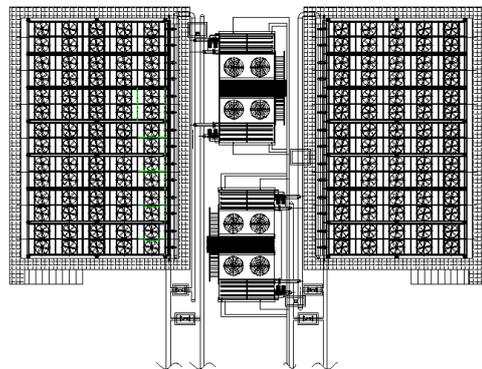


图 7 干湿联合冷却布置示意图

Fig.7 Layout of combined dry and wet cooling

调相机外冷却系统采用单元制, 每台调相机对应一套独立的外冷系统。每套外冷系统空冷单元设置 7 格空冷塔, 每格冷却塔配置 10 台轴流风机, 每个空冷单元有 2 格空冷塔采用变频风机, 其他 5 格空冷塔采用定频风机; 每套外冷系统水冷单元设置 3 格蒸发冷却塔。该方案可满足调相机外冷系统在极端最高温度下的冷却要求。当室外温度较低时, 系统纯空冷运行, 外冷却自动控制系统根据换热管束内外温差自动关闭部分风机, 当室外温度达到极端最低温度 -32.0°C 时, 所有风机均关闭, 内冷循环水在室外管道内流动即可满足降温要求。

2.4 各系统对比分析

根据气象资料，哈密地区极端最高温度为43.9℃，依据最近5年夏季（三个月）逐时气温累积所统计的温度分布显示，哈密地区在典型年（2014年）超过38℃的累积数为40h。如果采用空冷系统，每年将有40h的时间，冷却系统无法保

证循环水的正常温度，调相机设备不能正常运行，因此空冷系统不适合本工程高温的环境条件。

水冷系统与干湿联合冷却系统均满足调相机设备对外冷却系统的技术要求，两种冷却方式单套系统的运行参数比较见表1。

表1 水冷与干湿联合冷却系统运行参数对比表

外冷却方式	主要设备	占地面积 (m ²)	年用水量 (t)	年耗电量 (kWh)
水冷	蒸发冷却塔	65	107520	1536000
干湿联合冷却系统	空冷塔+蒸发冷却塔	380	28800	2203200

本调相机工程外冷却系统设计使用年限为40年，哈密地区由于水资源紧张，水费为7.9元/m³，

工业用电费用为0.52元/kWh，两种系统的运行使用费用及全寿命周期费用对比见表2。

表2 水冷与干湿联合冷却系统运行费用对比表

外冷却方式	外冷却系统价格 (万元)	年水费 (万元)	年电费 (万元)	年检维护费用 (万元)	全寿命周期成本 (万元)
水冷	1500	84.94	79.87	80	11292.51
干湿联合冷却系统	2400	22.75	114.57	50	9892.8

注：外冷却系统价格中，包含其配电及自动控制系统

从表中可以看出，水冷系统占地面积较小，但其耗水量大，运行维护复杂，全寿命周期费用比干湿联合冷却系统高1399.71万元，且本工程所在地为荒漠，无植被，占地面积指标并不是工程重大影响因素。综上所述，本工程外冷却系统采用干湿联合蒸发冷却系统。

3 结语

通过对比分析，空冷系统、水冷系统、干湿联合冷却系统所适用的室外环境条件各不相同。本工程所在地新疆哈密市属于高温差高寒缺水地区，干湿联合冷却系统可满足该地区环境条件下的冷却要求，且其耗水量小，全寿命周期成本低，该系统可在类似环境条件地区推广应用。

参考文献：

[1] 杨东俊,丁坚勇,李继升,等.同步发电机非同期并网引起强迫功率振荡分析[J].电力系统自动化,2011,35(10):99-103.

[2] 刘振亚,张启平,王雅婷,等.提高西北新甘青750kV送端电网安全稳定水平的无功补偿措施研究[J].中国电机工程学报,2015,35(5):1015-1022.

[3] 覃琴,郭强,周勤勇,等.国网“十三五”规划电网面临的安全稳定问题及对策[J].中国电力,2015,48(1):25-32.

[4] 高超,郭强,周勤勇,等.“十三五”电力规划中新能源大规模外送的安全稳定问题[J].中国电力,2017,50(1):37-42.

[5] 康世崮,沙志成,刘之华.关于临沂换流站调相机接入系统关键问题的研究[J].国网技术学院学报,2016,19(4):45-48.

[6] 郭一兵,凌在汛,崔一铂,等.特高压交直流系统动态无功支撑用大型调相机运行需求分析[J].湖北电力,2016,40(5):1-4.

[7] 符星辰.哈电机造出世界首台全空冷300兆乏调相机[N].中国能源报,2017-12-04(第12版).

[8] 王松岭,刘阳,赵文升,等.喷雾增湿降温法提高空冷机组出力的研究[J].热力发电,2008,37(8):5-8.

[9] GB/T 50789-2012,±800kV直流换流站设计规范[S].北京:中国计划出版社,2012.