

# Design and Application of DCS Control Scheme for Synchronous Condensers External Cooling Fan System

Jiping Li Yuhuang Chen Yanlong Li Xiaoran Zhang Yutong Liu

Nanjing NR Electric Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211100, China

## Abstract

During the operation of the phase-shifting camera, the external air cooler system can actively force the heat dissipation belt to dissipate most of the heat from the phase-shifting camera, maintaining its thermal balance and playing a key role in the stable operation of the phase-shifting camera. In order to improve the heat dissipation performance and energy saving of the external air cooler, this paper divides the fan groups and designs control strategies such as single operation, group operation, and overall control for the fans. This enables the external air cooler to automatically start and stop the fans and adjust the frequency of the variable frequency fans based on the cooling water temperature. This scheme has been implemented on multiple phase-shifting camera engineering sites, runs stably, and provides important reference for the control scheme of the external cooling fan system in subsequent phase-shifting camera engineering.

## Keywords

synchronous condenser; external cooling fan system; automatic control; group control

## 调相机外冷风机 DCS 控制方案设计与应用

李继平 陈宇皇 李彦龙 张晓然 刘雨桐

南京南瑞继保电气有限公司, 中国·江苏 南京 211100

## 摘要

外冷风机系统在调相机运行过程中, 能够进行主动强迫散热带走调相机的大部分热量, 使调相机保持热平衡状态, 对调相机的稳定运行起到关键作用。为了使外冷风机的散热性能更高效节能, 论文通过将风机编组划分, 设计风机的单操、组操、总控等控制策略, 实现外冷风机根据冷却水温度自启停风机、自调节变频风机频率。该方案已在多个调相机工程现场实施, 运行稳定, 同时为后续调相机工程外冷风机系统控制方案提供重要参考。

## 关键词

调相机; 外冷风机; 自动启停; 组群控制

## 1 引言

随着国家明确提出 2030 年“碳达峰”与 2060 年“碳中和”目标, 中国新能源电力系统建设明显加快, 为了新能源电力系统跨区域远距离输送, 中国的特高压输电系统项目也在不断增加。调相机作为无功调节设备暂态、次暂态特性优越, 能够快速抑制暂态过电压<sup>[1,2]</sup>, 同时调相机具有较高的转动惯量、过负荷能力远高于 SVG 等无功补偿设备, 有效支撑特高压输电和新能源建设。调相机组在运行过程中发生能量损耗, 损耗转化成热量致使调相机本体温度升高, 因此需要配备良好的冷却系统。目前主流冷却方案有水冷和空冷, 在干旱缺水地区, 以空冷方案尤为常见<sup>[3]</sup>。空气冷却方案具有

系统造价费用低, 系统构成较为简单、运行维护量小且可靠性高的优点, 并且空冷系统在小型汽轮发电机中也得到广泛应用<sup>[4]</sup>。论文基于某站调相机外冷风机系统, 设计开发了一套的外冷风机冷却系统 DCS 控制策略, 实现外冷风机系统高效有序的自动控制。

## 2 工艺流程

本套外冷系统选用干湿联合冷却系统, 由外冷散热系统和闭式冷却塔系统组成。外冷散热系统设有 108 台风机, 36 台变频风机, 72 台工频风机。循环水泵把冷却水加压后通过换热器进行热量交换, 被加热的冷却水进入到空气冷却器的换热盘管, 风机直接对换热盘管表面鼓风来进行空冷散热, 经过空气冷却器散热的冷却水汇集后再进入闭式冷却塔系统, 闭式冷却塔喷淋水泵从喷淋池抽水喷洒在母管表面, 喷淋水吸收热量后变成水蒸气后通过闭式冷却风机排至大气, 如图 1 所示。

【作者简介】李继平(1982-), 男, 中国江苏人, 工程师, 从事发电厂控制保护、特高压直流输电、柔性交直流输电研究。

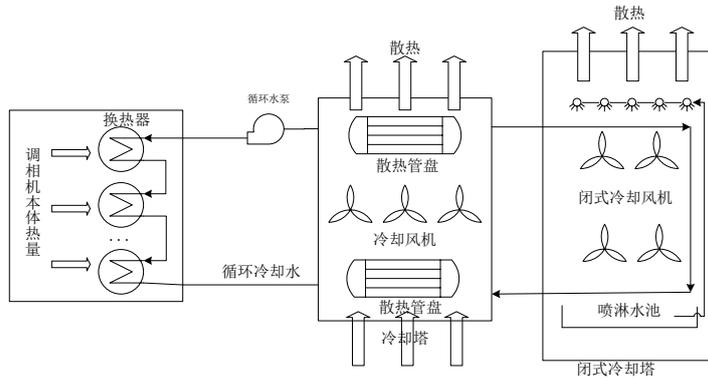


图 1 外冷散热系统示意图

在本控制策略方案中，优先启动变频风机，两组变频风机采取先启后停、后启后停的原则，变频风机的频率设定可以进行总控、组控、单控。若两组变频风机满频率运行时还不满足调相机的散热需求，则根据四组工频风机的启动温度来启动工频风机。

### 3 外冷系统空气冷却器操控方式

#### 3.1 风机编组划分

空气冷却器共 108 台风机（共 36 台为变频、72 台为工频），其中每 2 台组成一组控制单元。例如，A1-1 风机与 A1-2 风机编为 A1 组变频冷却风机控制单元，以此类推。36 台变频风机分为 2 个组群，72 台工频风机分为 4 个组群，每个组群均为 9 个控制单元，如表 1 所示。

表 1 风机编排划分

第一组变频风机	第二组变频风机	第三组工频风机	第四组工频风机	第五组工频风机	第六组工频风机
A1 组	A2 组	A3 组	A4 组	A5 组	A6 组
B1 组	B2 组	B3 组	B4 组	B5 组	B6 组
C1 组	C2 组	C3 组	C4 组	C5 组	C6 组
D1 组	D2 组	D3 组	D4 组	D5 组	D6 组
E1 组	E2 组	E3 组	E4 组	E5 组	E6 组
F1 组	F2 组	F3 组	F4 组	F5 组	F6 组
G1 组	G2 组	G3 组	G4 组	G5 组	G6 组
H1 组	H2 组	H3 组	H4 组	H5 组	H6 组
I1 组	I2 组	I3 组	I4 组	I5 组	I6 组

#### 3.2 风机单操

风机单操以两台风机为基本。变频风机的变频单操控制台可控制变频风机变频启动、停止，变频风机的工频单操控制台可控制变频风机工频启动、停止。变频风机频率单操控制台可控制处于手动模式下变频风机频率及手自动调节模式切换。工频风机的单操控制台可控制工频风机工频启动、停止。

#### 3.3 风机组操

六个组群的风机可通过各个组群的组操按钮，来控制整组群风机启停，变频风机可通过组操频率调节器来控制整

组风机频率。

##### 3.3.1 组操启停控制

组操启群组风机时，控制逻辑间隔 3 秒钟给组群风机发送启动命令。以第五群组风机为例，第 1 秒给 A5 组工频冷却风机发送启动命令，第 4 秒给 B5 组工频冷却风机发送启动命令，依此类推完成本组风机的全部启动。

##### 3.3.2 变频风机频率组操控制

当本组变频风机（18 台风机）均无故障情况下，可将变频组操投入。9 个变频风机都处于自动控制状态下，此时组操频率调节器给本组群的 9 个风机频率下频率指令，完成变频风机的组操控制。

##### 3.3.3 变频风机频率总操控制

在两组变频风机（36 台风机）均无故障情况下，可将空气冷却器组操自动控制投入，再投入空气冷却器变频总操，此时频率总操调节器通过下指令给 2 组频率组操控制器，2 组频率组操控制器再分别给各自组群的 9 个风机频率指令，来完成变频风机频率总操控制。当频率总操控制器处于手动模式，可直接设置输出频率 32.5Hz，来改变两组变频风机频率给定。当频率总操控制器投入自动控制时，频率的给定根据目标温度与环境温度变送器反馈温度的差值来进行 PID 调整。

### 4 自启停控制

#### 4.1 风机运行模式

外冷风机根据目标温度（冷却器出水温度）进行启停控制。风机的启停顺序为先启变频风机后启工频风机。风机以组为单位共有 6 种运行工况如下：①一组风机运行：投第一组或第二组变频风机；②二组风机运行：投另一组变频风机；③三组风机运行：投第三组或第四组中的一组工频风机；④四组风机运行：投第三组或第四组中的另一组工频风机；⑤五组风机运行：投第五组或第六组中的一组工频风机；⑥六组风机运行：投第五组或第六组中的另一组工频风机。变频风机组之间、工频风机组之间均先启后停。

#### 4.2 启动启停控制

变频风机目标温度根据启动的工频风机组数变换，大

组变频启动时取启动温度+补偿量(0.5℃)作为变频目标温度,大组变频在停止时取停止温度为变频目标温度。

以第一组风机(变频)启动温度=23℃,第二组风机(变频)启动温度=27℃,第三组风机(工频)启动温度=30℃,第四组风机(工频)启动温度=32℃,第五组风机(工频)启动温度=34℃,第六组风机(工频)启动温度=36℃,停一组变频风机温度=25℃,停二组变频风机温度=21℃,停四组工频风机温度=29℃,停三组工频风机温度=31℃,停两组工频风机温度=33℃,停一组工频风机温度=35℃为例。

当 $T \geq 23^\circ\text{C}$ ,延时2s启动第一组变频风机,以3s间隔启动组群风机。整组风机以最低频率20Hz运行,80s后根据空冷器风机测量温度与目标温度偏差进行PID频率控制调节,当 $T < 21^\circ\text{C}$ ,风机最低频率20Hz运行15min后停止变频风机。

当 $T \geq 27^\circ\text{C}$ ,延时75s启动第二组变频风机,以3s间隔启动第二组变频风机。变频风机启动成功后,以固定25Hz运行,30s后投入风机自动控制调节,两组风机根据变频风机总操控制器的频率指令来调整频率。随着温度 $T > 27.5^\circ\text{C}$ ,PID控制器升高组群空冷风机频率, $T < 27.5^\circ\text{C}$ ,PID控制器降低组群空冷风机频率。当 $T < 25^\circ\text{C}$ ,两组风机以最低频率20Hz运行15min后,停止一组变频风机。

当 $T \geq 30^\circ\text{C}$ ,延时75s启动第一组工频风机,以3s间隔启动第一组工频风机。第一组工频风机投入时,两组变频风机以固定25Hz运行,30s后变频风机总操PID调节器根据启动一组工频风机的目标温度与空冷器风机测量温度差值调节两台变频风机频率。温度 $T > 30.5^\circ\text{C}$ ,PID控制器升高组群空冷风机频率, $T < 30.5^\circ\text{C}$ ,降低变频空冷风机群频率。 $T < 29^\circ\text{C}$ 延时20s停止本群组工频风机,每间隔3s退出2台工频风机。工频风机退出时变频风机频率固定50Hz运行40s,40s后PID控制调节投入,按2组变频风机目标温度来调节变频风机频率。

当 $T \geq 32^\circ\text{C}$ ,延时75s启动第二组工频风机,以3s间隔启动第二组工频风机。第二组工频风机投入时,两组变频风机以固定25Hz运行,30s后变频风机总操PID调节器根据启动二组工频风机的目标温度与空冷器风机测量温度差值来调节两台变频风机频率。随着温度 $T > 32.5^\circ\text{C}$ ,PID控制器升高组群空冷风机频率, $T < 32.5^\circ\text{C}$ ,PID控制器降低变频空冷风机群频率。 $T < 31^\circ\text{C}$ ,每间隔3s退出2台工频风机。工频风机退出时变频风机频率固定50Hz运行,40s后PID控制调节投入,以停3组工频风机目标温度来调

节变频风机频率。

当 $T \geq 34^\circ\text{C}$ ,延时75s启动第三组工频风机,以3s间隔启动第三组工频风机。第三组工频风机投入时,两组变频风机以固定25Hz运行30s,30s后变频风机总操PID调节器根据启动三组工频风机的目标温度与空冷器风机测量温度差值来调节两台变频风机频率。随着温度 $T > 34.5^\circ\text{C}$ ,PID控制器升高组群空冷风机频率。 $T < 34.5^\circ\text{C}$ ,降低变频空冷风机群频率。 $T < 33^\circ\text{C}$ ,每间隔3s退出2台工频风机。工频风机退出时变频风机频率固定50Hz运行40s,40s后PID控制调节投入,以停2组工频风机目标温度来调节变频风机频率。

当 $T \geq 36^\circ\text{C}$ ,延时75s启动第四组工频风机,以3秒间隔启动第四组工频风机。第四组工频风机投入时,两组变频风机以固定25Hz运行30s,30s后变频风机总操PID调节器根据启动四组工频风机的目标温度与空冷器风机测量温度差值来调节两台变频风机频率。随着温度 $T > 36.5^\circ\text{C}$ ,PID控制器升高组群空冷风机频率, $T < 36.5^\circ\text{C}$ ,降低变频空冷风机群频率。 $T < 35^\circ\text{C}$ ,每间隔3s退出2台工频风机。工频风机退出时变频风机频率固定50Hz运行,40s后PID控制调节投入,以停1组工频风机目标温度来调节变频风机频率。

## 5 结语

论文设计的调相机外冷风机控制策略,实现了风机的单操、组操、总操等功能。在多个调相机工程成功实施应用,可行性得到验证,本控制方案的特点及意义如下:

①将风机进行有序编组划分,实现风机的单操、组操、总操等控制方式,为运行人员提供多种操作风机的方式,设备正常时可根据目标温度调节变频风机率,减轻运行人员监盘压力。

②组群外冷风机根据所设定的启停温度,依次有序地启停变频风机、工频风机,实现了冷却水温度的精准高效控制。

## 参考文献

- [1] 赵文强,周军,王正伟,等.特高压输电系统用同步调相机故障诊断方法[J].科学技术与工程,2024,24(9):3683-3690.
- [2] 闫桂红,李丹丹,刘小恺,等.分布式调相机对大规模新能源直流送端系统的稳定特性影响[J].内蒙古电力技术,2024(1).
- [3] 成诚,张明,凌在汛,等.直流特高压工程大型调相机组冷却系统选型分析[J].湖北电力,2016,40(5):9-12.
- [4] 王震.空气冷却器浅谈[J].科技视界,2014(20):120-121.