

分布式调相机在新能源项目中应用及设计方案探讨

邓宇

上海电力设计院, 上海 200023

DOI:10.61369/EPTSM.2026060015

摘 要 : 近年来我国以风电、光伏为代表的新能源发展飞速,我国新能源新增装机容量和累计光伏装机容量均排名世界第一。但同时随着大容量风电、光伏接入电网,电网开始频繁出现电压支撑能力、无功调节容量不足,给电网安全稳定运行带来了挑战。本文结合我院在河北地区的新能源增配调相机项目,结合项目实际情况给出了分布式调相机配置方案。最后对分布式调相机的应用前景提出了个人的看法。

关 键 词 : 新能源; 分布式; 调相机

Application and Design Scheme Discussion of Distributed Phase Shifters in New Energy Projects

Deng Yu

Shanghai Electric Power Design Institute, Shanghai 200023

Abstract : In recent years, the development of new energy in China, represented by wind and photovoltaic power, has been rapid. China's newly installed capacity and cumulative photovoltaic installed capacity both rank first in the world. However, with the access of large-capacity wind power and photovoltaic power to the grid, the grid has begun to frequently experience insufficient voltage support capability and reactive power regulation capacity, posing challenges to the safe and stable operation of the grid. Based on our institute's project on new energy phase shifter enhancement in Hebei Province and considering the actual project situation, this paper presents a configuration scheme for distributed phase shifters. Finally, personal views on the application prospects of distributed phase shifters are proposed.

Keywords : new energy; distributed; phase shifter

一、采用分布式调相机的缘由

最近年来我国以风电、光伏为代表的新能源发展飞速,我国新能源新增装机容量和累计光伏装机容量均排名世界第一。但同时随着大容量风电、光伏接入电网,多地电网,尤其是三北地区电网,出现了汇集新能源场站装机容量大,送端区域缺乏支撑性电源,抗系统故障扰动冲击能力差的现象。电网故障后新能源机端暂态过电压过高,可能造成机组脱网,甚至发生大规模连锁脱网事故。接入大容量新能源场站短路比偏低、电网故障后暂态过电压、低电压问题突出成为制约新能源送出的主要因素。

调相机具有过载能力强且无功输出受系统电压影响小、提高系统短路容量、设备成熟运行稳定性好、使用寿命长等特点。在新能源场站配置分布式调相机是目前提升新能源场站短路比最为有效的措施。

相对于传统主网侧大型调相机,新能源侧分布式调相机具有集成度高、系统简单、建设周期短、调节性能好等优点,既能发挥系统动态无功储备的作用,又能为新能源电站提供次暂态、暂态、稳态全过程电压支撑。

二、分布式调相机的优势和劣势

调相机作为一种最早采用的无功补偿设备,一种专门的无功功率发电机,其无功补偿能力优势显著,主要体现在以下几点:

- 1.跟踪速度快:一旦电网运行出现故障,调相机可第一时间吸收或发出无功,避免出现工频过电压、闪变或冲击等问题,保证电网电压的稳定性、调整电压平滑。
- 2.电网系统电压的波动对调相机输出无功能力影响小。当电网电压降低时,调相机仍可过载快速发出无功,数值可大于额定功率的2倍。相比SVG、电容器组等设备,调相机更能在电网电压降低时支撑电网电压。
- 3.进相能力好。补偿范围广(容性、感性均可),调相机的最大进相能力(吸收无功功率能力)可达到额定容量的2/3。
- 4.运行稳定可靠。调相机抗干扰能力强,技术成熟、故障率低,可长期安全稳定运行。
- 5.寿命长。调相机的使用寿命可达30年,在新能源项目运行周期内无需更换。

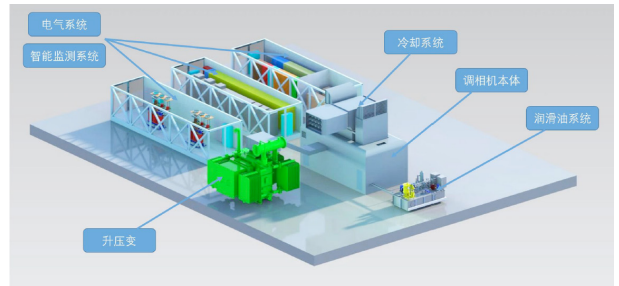
但是,调相机也存在一定的缺点,需要在实践运行时做好预

防措施。技术缺点包括：运行维护比较复杂、有功功率损耗较大、运行噪声较高、小容量调相机单位容量投入费用较高等缺点。因此，同步调相机宜作为大容量集中补偿装置，通常容量大于10 MVA，多装设在枢纽变电站、换流站以及新能源升压站或汇集站。

三、分布式调相机的结构和原理

调相机属于一种作用于电动机状态的同步机，不具备调速系统与机械负载，不可自行启动。其通过从交流电网吸收有功功率驱动转子旋转，定子绕组切割转子磁力线产生感应电动势，向系统供电。由于调相机的功率因数为0，因此它只提供无功功率。它可以在过励和欠励状态下工作，分别向电网输出感性无功或吸收感性无功。当电压偏低时以过励磁状态输出无功功率，电压偏高时则以欠励磁状态吸收无功功率。

调相机系统主要由调相机主机、升压变、润滑油系统、冷却系统、启动系统、励磁系统、保护系统等组成，如下图所示。



1. 调相机本体：转子和定子是调相机的核心部分，转子通过电动机驱动，定子则负责产生感应电动势。调相机的转子有凸极和隐极两种构造形式。

2. 升压变：升压变压器将调相机出口电压升高，以便接入变电站。

3. 润滑油系统：用于冷却和润滑，确保设备在高负荷下的稳定性和可靠性。

4. 冷却系统：分为空气冷却和水冷却，中大型调相机多采用水冷却方式。

5. 启动系统：包括自启动、静止变频器启动、拖动启动和液压启动等几种方式。自启动方式运用较为广泛，又分为阻尼绕组和变压器降压启动；静止变频器启动电流较小，启动运行较为平稳；拖动启动需配置启动电机；液压耦合需配置耦合器。

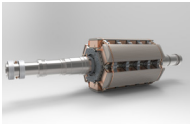
6. 励磁系统：包括静止励磁和无刷励磁，负责提供必要的励磁电流以维持设备的正常运行。

7. 保护系统：包括多种保护装置，如过流保护、失磁保护等，确保设备在异常情况下的安全运行。

四、分布式调相机的实践运用

以我院在河北的某风电设计项目为例，风电场220kV升压站内现有升压变压器2台，容量2×150兆伏安，35千伏母线2段，单母线分段运行。考虑在220kV升压站内建设分布式调相机，建设两台20Mvar调相机分别接入220kV升压站两段35kV母线上。

调相机根据转子结构不同，可以分为凸极和隐极调相机两大类，具体比较如下：



凸极调相机转子结构



隐极调相机转子结构

项 目	隐极调相机	
极数与转速	6极，1000rpm	2极，3000rpm
转子结构	转子表面有明显的磁极，直径大，刚性转子，运行更平稳，起动无需盘车	转子表面上无明显磁极；直径小、较轻；扰性转子，长时间停放起动时一般需盘车（利用变频器低速盘车）
体积和重量	凸极的体积较大，较重，重量比隐极的大约20~30%；	
转动惯量	凸极的转动惯量大，约为是隐极的8~10倍；	
振动、噪声	因转速越低，凸极的振动、噪声更低，运行稳定性更高。隐极需加装隔音罩来降噪。	
机械损耗	因凸极转速低，机械损耗相对更低。	
转子可靠性	转子绕组的匝间电压很低，对空气的洁净度要求不高，抗污能力强，可靠性高；不需要配转子匝间短路监测。	转子绕组嵌在槽内，采用空内冷，对空气的洁净度要求较高，有匝间短路风险，需要配转子匝间短路监测。
维护性	无隔音罩，维护空间大	受隔音罩影响，本体的维护空间小

考虑到本项目为在原有升压站内扩建、场地有限，同时考虑节约工程造价，故本项目选用隐极调相机。

本项目在升压站内空地上建设2套调相机系统：在升压站配电楼内扩建2面35kV开关柜，调相机扩建相关设备布置于站区东南侧，10kV及一二次预制舱、2台站用变压器、2台10kV励磁变压器、2台10kV SFC隔离变、2台35kV升压变布置于升压站原东南

侧篮球场场地，依次由北向南布置；调相机布置于预制舱内，位于进站大门南侧。10kV及一二次预制舱内设置有两段10kV母线开关柜等电气一次、二次屏柜。

调相机系统电气接线图详见下图（下图为单套调相机系统电气主接线图，两套调相机系统电气主接线相同）：

