

## 聚焦碳排放

# 跟踪式光伏电站智能跟踪控制系统 稳定运行关键因素分析

韦永兰

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 某大型追日跟踪光伏电站采用智能化跟踪控制系统,多年来稳定运行。本文介绍了追日跟踪系统的组成,从其机械特点、控制逻辑、控制模式等方面进行总结分析,认为跟踪控制系统稳定运行得益于先进的管理理念、周全的硬件系统以及安全的控制逻辑。最后从发电量对比跟踪式光伏电站与固定式光伏电站,分析跟踪式光伏电站的优势。分析表明:智能追日跟踪控制系统采用时序间隔控制方式,追踪误差小于3%;不依赖于外部传感器,不受外界扰动;结构简单,运行稳定;无需频繁启动电机,可减少大量电机启停对电网的冲击。

[关键词] 光伏发电系统;智能化;追日跟踪;PLC;微倾角跟踪支架;固定式支架;碳排放;碳中和

[中图分类号] TP18

[文献标志码] B

[文章编号] 1008-5122(2021)06-0001-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.06.001

## Analysis of Key Factors in Stable Operation of Intelligent Solar Tracking Control System of a PV Power Station

WEI Yong-lan

**Abstract:** A large photovoltaic power station using intelligent solar tracking control system enjoys stable operation for years. This article introduced the composition of the sun tracking system, summarized and analyzed its mechanical characteristics, control logic, control mode and other aspects. It is believed that the stable operation of the tracking control system benefits from advanced management concepts, complete hardware systems and safe control logic. Finally, the advantages of tracking photovoltaic power station were analyzed by comparing the power generation of tracking photovoltaic power station and fixed photovoltaic power station. The analysis shows that the intelligent tracking control system adopts the timing interval control mode, and the tracking error is less than 3%; tracking does not depend on external sensors and is not subject to external disturbances; the structure is simple and stable; it doesn't start motor frequently, reducing the impact of a large number of motor start and stop on the grid.

**Key words:** photovoltaic power generation system; intelligence; sun tracking; PLC; micro-inclination tracking support; fixed support; carbon emission; carbon neutralization

[收稿日期] 2021-05-09

[作者简介] 韦永兰(1982—),女,广西玉林人,硕士,高级工程师,主要从事光伏发电及矿山自动化、信息化规划设计工作。

[引文格式] 韦永兰.跟踪式光伏电站智能跟踪控制系统稳定运行关键因素分析[J].有色冶金节能,2021,37(6):1-5.

## 0 前言

目前,“碳中和”口号已经唱响全球,绿色能源发展日趋重要。大型地面光伏电站将取之不尽用之不竭的太阳能转换为电能,并将其源源不断地输送至千家万户,大大减少了碳排放,取得了显著的经济效益以及环境效益,预计将在“碳交易”中获得较大

的收益。

光伏发电发展之初,人们对光伏支架的不同安装方式进行了预测评价:采用固定式支架安装,电站占地面积小、易维护、投资较小,但发电量较小,回收期较长;而采用跟踪式支架,则占地面积大,维护量较高,投资也相对较大,但发电量较大,回收期较短。而为数不多的大型光伏跟踪电站因其软硬件的配置不一,控制方式和控制逻辑多样化,存在的问题也各不相同,因此业内人士对跟踪式光伏电站多持怀疑、谨慎的态度。

光伏发电项目生命周期长、一次性投资大、品质形成链式环节复杂、不确定因素多,有关跟踪式光伏电站的控制系统的工程实践总结更是空白,这也是人们质疑跟踪式光伏电站综合效益及阻碍跟踪技术发展的主要原因之一<sup>[1]</sup>。本文以宁夏某 30 MW 大型地面跟踪式光伏电站为例,对智能化跟踪控制系统技术进行工程实践总结研究,具有重要的

理论价值和现实意义。

### 1 跟踪式光伏电站的控制系统构成

#### 1.1 工程概述

项目地点位于宁夏中卫市某荒滩地,基本无植被生长,地面开阔,属于太阳辐射资源丰富的地区。全站太阳能电池组件为全跟踪式支架安装,共分为 28 个光伏阵列,平均单个光伏阵列装机容量为 1.071 4 MW,每个光伏阵列设 2 个逆变子单元,即每个光伏阵列配置 2 台 500 kW 的逆变器,实际装机容量为 30 MW。

项目于 2012 年 1 月 1 日并网成功,于 2012 年 5 月正式完成跟踪控制系统的整体试车并投入使用。

#### 1.2 跟踪控制系统的构成

在电站中心控制室内设全站跟踪系统中心控制系统,每个光伏阵列逆变器室内设置子阵控制系统,系统结构如图 1 所示。

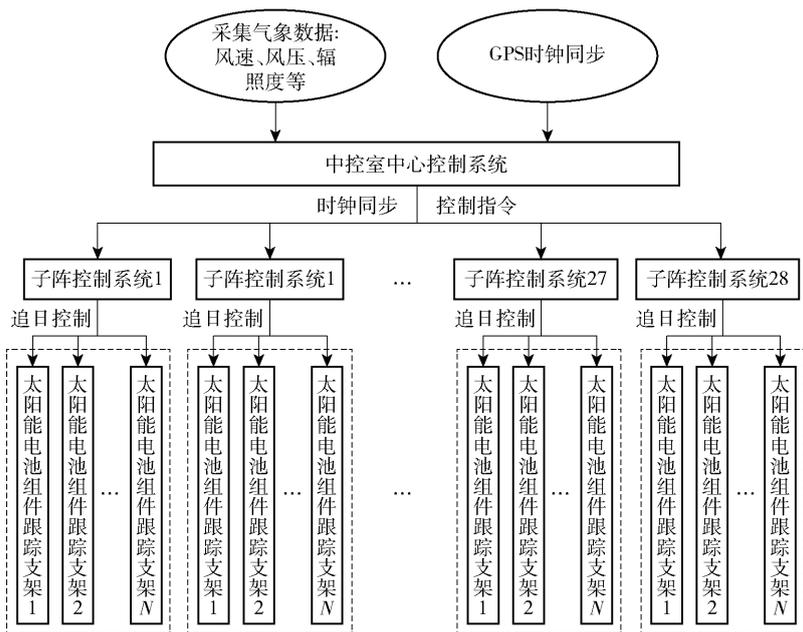


图 1 全站智能化追日跟踪系统结构

中心控制系统与各子阵控制系统既相对独立又互相统一。中心控制系统主要起到采集气象数据、同步各子阵控制系统的控制器时钟,以及对各子阵控制系统下发“一键式”整体指令,确保所有跟踪支架安全性等作用,是全站各跟踪分控系统的智能“中心大脑”。

全站分为 28 个跟踪控制阵列单元,形成 28 个分控系统,每个分控系统既可以单独对各自阵列跟踪支

架进行追日跟踪控制,又可以控制跟踪支架面板在雪天进行自清洁维护,也可接收中心控制器下发的指令对所有光伏支架进行统一的安全保护控制。

### 2 跟踪式光伏电站的控制系统技术特点

#### 2.1 机械特点

本工程采用中国恩菲自主设计的跟踪支架——8°微倾角单轴柔性联动跟踪支架技术,由一台交流

异步电机驱动机构驱动一组并排设置并通过柔性联动结构连接的 $8^\circ$ 倾角单轴跟踪支架(6~8个),每个跟踪支架安装4行 $\times$ 10列太阳能电池组件,如图2所示。



图2 跟踪支架结构

### 2.1.1 技术优点

从性能上看,采用 $8^\circ$ 倾角跟踪支架可以获得更好的季节性发电收益,并减少占地面积,且通过柔性联动结构连接,降低了刚性联结结构因大风天气导致的共振带来的整组帆板承受力;从成本上看,采用 $8^\circ$ 倾角跟踪支架大大节省了刚性联接所需的钢材量,从而节省了投资成本。

### 2.1.2 技术缺点

采用 $8^\circ$ 倾角跟踪支架,每年需增加定期紧固柔性装置的人工维护费,但是这一部分费用远远低于由此节省下来的投资成本以及大风天气造成的损失的和。

## 2.2 控制特点

### 2.2.1 控制阵列布置

本工程采用基于PLC控制器的用户程序跟踪控制方法,每个1 MW光伏阵列单元为一个子阵控制单元,并配置一套PLC控制系统,整套PLC控制柜布置于相应的单元逆变器室中,每套PLC子阵控制系统根据单元装机容量控制13~18组太阳能电池组件跟踪支架。

采用以上配置,一方面可进行同步跟踪,使得单元光伏逆变器每个回路的输入电压因辐照度及辐照角度造成的微小偏差值最小,从而获得最佳输入电压,减少电能的损耗,提高发电量;另一方面便于维护,以光伏阵列单元作为子阵控制系统单元便于维护人员辨识,在逆变器配套的监控系统不够充足的条件下更容易在光伏跟踪系统智能监控平台上查找故障原因,例如因跟踪支架故障导致的逆变器输出功率降低。

### 2.2.2 控制逻辑

每组太阳能电池组件跟踪支架采用 $8^\circ$ 微倾角

单轴智能联动控制方式,即一个电机拖动多个 $8^\circ$ 微倾角的太阳能电池组件支架。采用此种方式,是追求经济与实用性能相结合,经过理论计算得到的产出与投入比最高的途径<sup>[2]</sup>。

本案例电站工程控制采用的是中国恩菲自主研发的用户程序跟踪方式,其控制逻辑如图3所示。

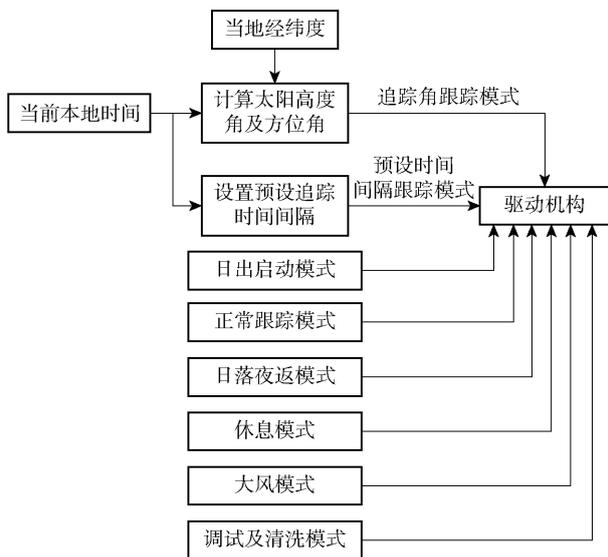


图3 控制逻辑

本案例电站采用自主研发的创新时控跟踪逻辑:基于天文公式,通过自主研发的逻辑算法自动计算电站每天的日照时长,按照最优综合收益比,舍弃日出后及日落前两小时的弱光照强度的发电量,将最佳跟踪日照时长划分为 $N$ 个跟踪间隔,结合电机跟踪行程的固定时间参数,计算得出每台电机的每日跟踪时间间隔以及相应的运行时长,从而控制太阳能电池组件帆板的转动角度。

### 2.2.3 控制模式

本案例电站采用的控制方法由多条件下不同跟踪模式的算法设定。

1) 东启模式:跟踪支架的跟踪以水平位置为起点,在日出后预设的时间段内采用相同时间间隔启动电机至设定的跟踪角度(正常跟踪模式的启动位置)。

2) 正常跟踪模式:当东启模式结束后,支架将启动正常的追日跟踪模式——根据计算结果控制电机的运转,使得跟踪太阳入射光线始终落于微倾角法向平面内,直到转至西向跟踪角度的极限位置。

3) 夜返模式:在日落前的预设时间段内,系统启动返回水平位置的控制程序,以避免太阳落下前

的光影遮挡,以此获得最大的余光收益,提高电站的日发电量。

4)大风模式:整个控制系统通过追日跟踪智能监控平台实时监测电站风速。当电站环境风速高于设定安全阈值时,调平支架,以确保安全;当风速小于一定值时,可通过控制算法使跟踪支架重新进入跟踪状态。

5)保护模式:同时,程序中加入了双重角度限位保护,使执行机构的动作得到充分的保护,保障执行机构的寿命;利用角度传感器实时监控跟踪支架的运行方位角,以确保位于中控室的运维人员通过追日跟踪光伏系统智能监控平台进行远程实时监控,及时发现问题。

### 3 跟踪控制系统稳定运行设计分析

#### 3.1 先进的电站管理理念

在电站设计之初,就以“少人值守”智能化跟踪式光伏电站为目标进行设计。

在电站建设之初,便考虑了追日跟踪控制系统的智能监控平台的设计,使得电站值班人员可以通过操作工作站实时监控环境条件,如风速以及太阳辐照度等,每组跟踪支架的运行状态、启停、旋转的方位角度、故障报警等,使追日跟踪控制系统易于维护。

同时,电站值班人员可通过智能监控平台远程操作任意一组跟踪支架,使其在需要维修、清洗以及故障修复调平时无需人工就地操作,大大节省了人力支出。

#### 3.2 设计周全的硬件系统

电站设计之初为节约用地以及投资,不单独设PLC控制室,PLC控制柜需整体布置到逆变器室中。为避免强电信号干扰及强电冲击导致控制器的损坏,在PLC的供电电源输入端配置了小型电气隔离装置。

经过10年的运行实践,截至目前,装机容量30MW的电站28个逆变器室中的28套PLC控制系统供电电源稳定,信号输入清晰,极大减少了电网的冲击以及电磁干扰。

#### 3.3 创新安全的控制逻辑

本电站的设计运营年限为至少25年,因此设计安全稳定的控制逻辑是必要的。

1)设计合理的电机启动间隔,确保电网稳定运行。本电站采用了近500台跟踪支架驱动电机,如果每次跟踪启动都同时进行,有可能对电网造成冲击,降低电网的质量,也影响发电量从而导致经济效益的减少。为降低这种可能性,设计之初便将子阵单元的所有电机启动分成了5组,每组启动设置了合理的启动间隔,确保每次跟踪启动分组分步启动到位。实践证明,这样的考虑保障了电站电网的稳定运行,至目前尚未发生任何因电机启停冲击造成电网扰动的现象。

2)不依赖角度传感器或光照度传感器的高精度控制逻辑。整个追日跟踪控制逻辑依赖电机特性及地理位置计算跟踪角度,定位误差在3%以内。一组跟踪支架仅配置一个角度传感器,而角度传感器仅仅起到监控支架旋转角度的作用,不作为跟踪角度的闭环反馈。不采用光照传感器,是因为光照强度不稳定,容易造成系统频繁启动或者跟踪误差增大,所以设计的追日跟踪控制逻辑不依赖角度传感器或光照度传感器,可最大程度确保跟踪系统在任何天气下都能追随太阳方位角,达到稳定运行的效果。

实践证明,不依赖外部传感器,追日跟踪控制系统的运行更加稳定可靠,尽管牺牲了一定的跟踪精度,但是却节省了大量的传感器,也减少传感器带来的不确定性以及电机频繁启动导致的损耗。

### 4 跟踪式光伏电站与固定式光伏电站的对比

在案例跟踪式光伏电站的一墙之隔安装了相同装机容量的固定式地面光伏电站,其支架安装倾角为站点地理位置最佳倾角,两个电站2019年月发电量如图4所示。

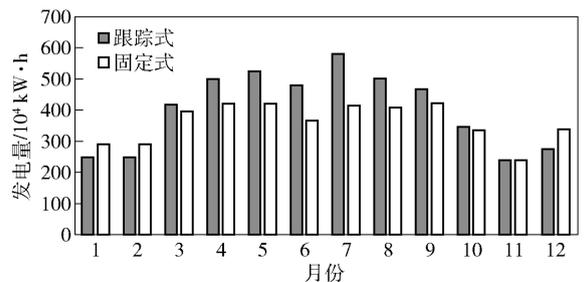


图4 跟踪式光伏电站与固定式地面光伏电站2019年发电量对比

为了获得允许上网的最大装机容量,跟踪式光伏电站的跟踪支架的布置因场地限制,设计的时候牺牲掉一部分发电量,因此整体电站设计的南北间距并未按照最佳距离进行布置,但是通过图4的对比分析可知,跟踪式光伏电站仍然比相同装机容量的固定式光伏电站获得更大的发电量,从而获得更大的经济效益。

究其原因为:1)宁夏的夏秋两季为用电高峰期,限电较少,而跟踪式光伏电站恰恰在春秋两季的发电量远大于固定式光伏电站,相反,固定式发电量较高的冬春两季为宁夏用电低峰期,限电率较高;2)太阳能电池组件表面积灰或积雪会造成发电量的损失,长期运行后,固定式支架落灰积雪量往往比跟踪式支架大(支架旋转可以减少积灰积雪),只能依赖于人工清洗。

相对于固定式光伏电站,跟踪式光伏电站有着不可替代的优势:

1)由于跟踪方式下的太阳能电池面板始终与太阳光线形成最佳入射角,因此该模式下的光伏发电曲线更为稳定平和<sup>[2]</sup>,更适应电网的入网要求,对电网的冲击影响小于固定式光伏发电系统,发电效率更高。

2)跟踪支架太阳能电池组件不易积灰积雪,减少人工清洗量,发电量更高,维护更容易。

3)跟踪支架减少了荒滩地的蒸发量,同时使牧草获得充分的光照和适量的遮挡,有效地改良了土地植被,同时支架底部空间充裕,为牧羊提供了天然的优势基地,同时获得良好的光-农互补的经济效益。

## 5 结束语

太阳能是人类取之不尽用之不竭的可再生能源,具有充分的清洁性、绝对的安全性、相对的广泛性、确实的长寿命和免维护性、资源的充足性及潜在的经济性等优点,在“双碳”目标战略中具有重要地位。

中国恩菲自主研发的应用于太阳能光伏发电系统的智能追日跟踪控制系统无论跟踪性能、可靠性、稳定性方面都颇具优势:一是控制程序采用时序间隔控制方式,可以控制追日跟踪误差小于3%;二是由于跟踪控制方式并不依赖于外部传感器,因此控制系统几乎不受外界条件扰动,跟踪性能可靠;三是跟踪控制系统结构简单,运行更稳定;四是无需频繁启动跟踪电机,从根本上延长电机的使用寿命;五是整体控制逻辑合理,减少了大量电机启停对电网的冲击。

该系统在宁夏大型跟踪光伏电站的成功应用以及近10年的稳定运行经验表明,智能化追日跟踪控制系统构建方便可靠,真正实现了低碳效应,显著提高了生产可靠性和新能源发电企业综合自动化水平,获得显著的经济效益和社会效益。

### [参考文献]

- [1] 安文,赵伟伟.光伏电站项目后评价实证研究——以中节能射阳光伏电站为例[J]. 工程管理学报,2013,27(1):53-57.
- [2] 韦永兰,马海宁,张学栋.基于PLC的追日控制系统设计与效率分析[J]. 控制工程,2016,23(5):773-776.