

# 光伏发电系统调频专利技术分析

曹 玮

(国家知识产权局专利局专利审查协作江苏中心, 江苏 苏州 215163)

**摘 要** 以新能源为主体的新型电力系统构建已成为我国能源领域的核心任务, 其中, 光伏发电作为清洁、可再生的能源形式, 在我国电源结构中的比重逐年上升。但是由于光伏发电出力的不确定性, 当光伏并网达到一定规模时则会造成电网频率波动, 造成电网安全存在巨大隐患, 因而光伏发电系统对电网频率的调节成为当前研究的热门问题。本文从专利文献的视角对光伏发电系统调频技术的发展进行了全面的统计分析, 总结了与光伏发电系统调频技术相关的国内专利的研究现状以及申请趋势、主要申请人分布, 并对该技术的发展趋势与研发重点进行了研究, 旨在对今后相关技术领域专利的发展有所提示。

**关键词** 光伏发电; 调频; 专利技术

**中图分类号**: G306; TM61

**文献标志码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)08-0001-03

科学技术的不断进步, 使分布式光伏系统的装机规模呈现出迅猛的增长态势, 然而这种快速增长的趋势也带来了一系列挑战。首先, 分布式光伏系统的发电具有间断性和不稳定性, 这使得电网频率可能产生波动, 对电网的稳定运行构成威胁。其次, 随着分布式光伏并网容量的不断增加, 其对电网供电负荷的增加有明显的抵消作用, 这可能导致系统局部区域的电压显著上升, 甚至超过限值, 严重时可能导致光伏电源断开。现有研究中可以通过研究分布式光伏参与调频的方式, 以此改善电网的频率调节能力来保障电网的稳定运行。在分布式光伏并网规模越来越大、上网频率更加复杂多变的形势下, 其参与调频的方式也成为当前研究的热点<sup>[1]</sup>。

## 1 中国专利申请状况

为研究光伏发电系统调频专利技术情况, 通过在专利检索系统设定关键词组合, 如“光伏发电”“调频技术”“频率稳定”等, 以捕捉与光伏发电系统调频技术相关的专利, 通过逐条阅读浏览标引, 筛选出与光伏发电调频技术直接相关的专利, 去除明显的噪声数据后再结合不同分析维度的图表, 从多个方面对我国在该技术领域的专利申请进行统计, 统计申请日的时间节点为 2024 年 3 月 31 日, 需要注意的是, 由于专利申请公开有一定的周期, 2022—2024 年的实际统计数据可能并不完整。因此, 在分析数据时, 需要注意数据的回落可能并不代表相应的技术不再发展。相反, 这可能意味着新技术正在不断涌现, 但尚未全部公开为专利。

图 1 是光伏发电系统调频技术中国专利申请数量历年趋势图, 从图中可以看出, 2010—2014 年, 申请量呈平稳趋势, 而 2016 年后, 申请量呈现小幅增长趋势, 这与光伏装机总量的快速增长对于该产业相关技术的刺激发展以及光伏发电系统并网的普及不无关系, 其今后的发展仍存在较大的空间, 因而随着光伏发电并网的进一步发展和普及, 未来该技术的专利申请量必然也会处于迅速增长期。

图 2 为光伏发电系统调频技术中国专利申请重要申请人分布, 从图中可以看出, 该领域的申请人主要是国家电网相关单位(如国家电网、电科院、国电南瑞等)、高校(华北电力大学、东南大学等)。电科院与国家电网的申请量遥遥领先, 而其他申请人的申请量相当, 总体而言都比较少。该领域目前仍旧以我国申请人为主, 其主要原因是由于各个国家配电网配置标准的要求不同, 因而相关技术都具备一定的地域性。

## 2 发展趋势与研发重点

本节针对光伏发电系统调频技术近年来的主要发展趋势进行进一步的分析, 并进一步确定今后该技术领域的研发重点。

随着新能源并网供电的发展, 电力系统的稳定运行面临着新的挑战。为了维持电网频率的稳定, 需要光伏电站积极参与一次和二次调频, 并采取一些措施来降低电压波动的影响。同时, 也需要不断研究和开发新的技术, 以克服光伏发电并网所带来的冲击, 为电力系统的稳定运行提供更好的支持。本节根据所检索到的专利文献, 当前针对光伏发电系统参与电网调

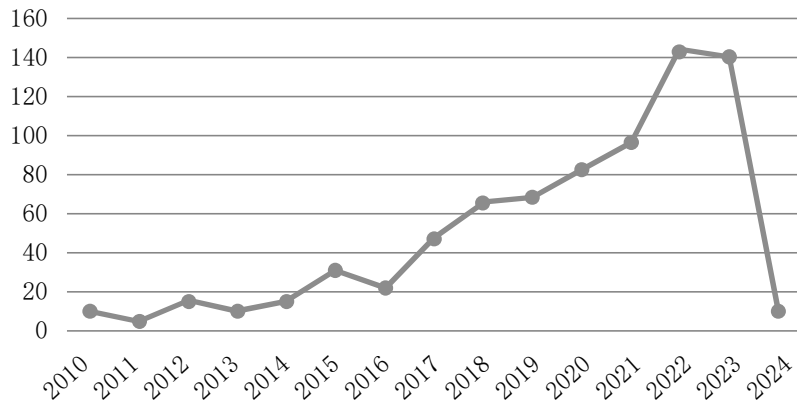


图1 光伏发电系统调频技术中国专利申请数量历年趋势图

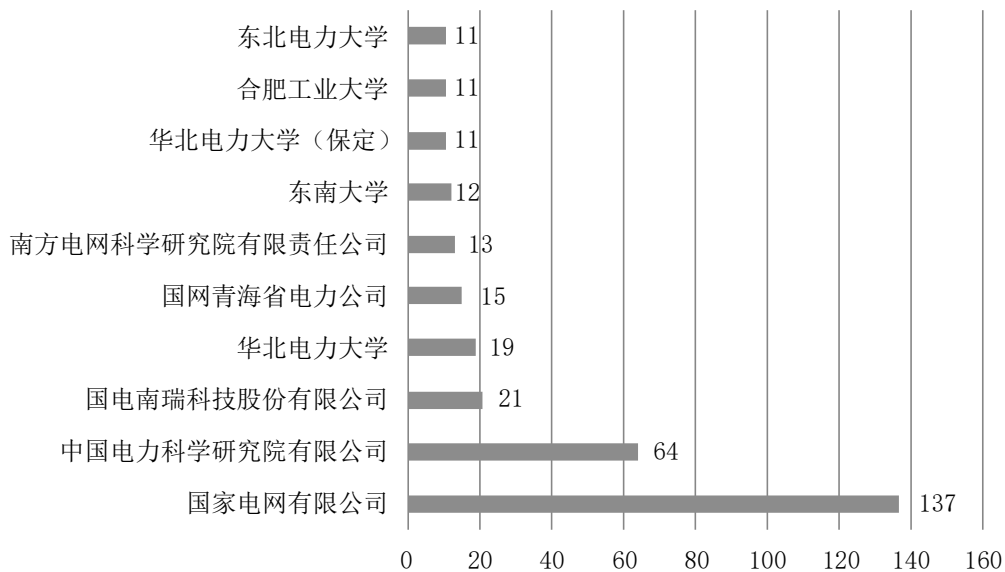


图2 光伏发电系统调频技术中国专利申请重要申请人分布以及趋势变化图

频的研究方向，主要分为一次调频、光储联合调频、VSG（虚拟同步发电机）调频三个方面，以下对上述三种调配方式，通过相应的专利文献做进一步的技术详解。

### 2.1 一次调频

当电量供应无法匹配电网的正常运行时，将会导致出现小幅度、短周期的微小电网频率分量，通常可与通过发电机组调节系统自身频率波动进行校正，即为发电机组的一次调频。光伏发电机组一次调频是电力系统中的一种调节方式，主要用于维持电网的频率稳定。当电网的频率偏离额定值时，一次调频控制系统会迅速调整光伏发电机组的输出功率，以使得电网频率恢复到额定值。

CN109687481A<sup>[2]</sup>公开了一种光伏电站参与一次调

频实现方法，以主从协调控制为基础，参考常规机组一次调频特性，运行在功率控制差值模式中，为调频留出有功备用。通过建立主从协调控制策略，综合分析计算多种输入信号的总有功功率调节量，并基于光伏电站运行状态，从主站协调控制层进行分配，从属本地控制层实现平稳控制，将光伏逆变器给定的有功调节量平稳消纳于每一个光伏组件中。

由此可知，目前光伏发电系统参与一次调频的主要方式都是通过对当前电网频率的监测，输出有功功率以对其进行反馈调节。

### 2.2 光储联合调频

通过储能电池与光伏发电机组配合参与电网调频，可以避免光伏发电机组单独参与电网调频时需要预留

出相应的光伏出力,造成一定的能源浪费,同时,基于储能电池能源利用的可控性和稳定性,光储联合调频相较于光伏发电机组单独调频也具有更高的可靠性。与光储联合调频相比,直接控制光伏减载成本较低,可用于抑制频率的常规波动变化,但当出现光照强度较低使得本身出力不够或系统频率波动较长的情况时,则抑制效果有限;增加储能设备后提高了基础成本,同时在应对较小幅度的波动时也会由于反复充放电使得其使用成本提升。因此,在实际应用中,采用光储联合调频需要综合考虑经济效益、技术可行性和电网稳定性等因素,选择合适的储能技术和控制策略。

CN109347120A<sup>[3]</sup>公开了一种光储联合系统参与电网频率响应的决策方法和系统,根据实时电价数据、电网频率数据、储能系统数据以及预设的电网频率响应判据,确定光储联合系统是否参与电网频率响应;当光储联合系统参与电网频率响应时,基于光伏发电机组数据和预设的储能动作判据,确定储能系统是否动作;根据光储联合系统是否参与电网频率响应以及储能系统是否动作,进行电网频率响应。

由此可知,目前光储联合发电系统参与调频的方式一种是采用优先投入光伏进行调频,当容量不够时则采用储能设备进行进一步的调节;另一种则是储能装置的供电来源为光伏,但由其独自承担调频功能。

### 2.3 VSG 调频

在光伏发电系统中,VSG 的应用主要是结合储能系统来平衡光伏发电系统的输出功率波动,使其更加稳定。VSG 系统通过引入储能系统,使光伏阵列和储能系统相互协作,通过共享功率来实现光伏发电系统的输出功率的调节,进一步提高了光伏发电的可靠性和稳定性。在光伏 VSG 系统中,逆变器具有与虚拟同步发电机类似的功能,即模拟同步发电机的行为。为了实现光伏 VSG 系统的控制,需要考虑两个关键方面:电压控制和频率控制。电压控制主要是通过控制逆变器的输出电压来实现与电网的电压匹配,以确保逆变器注入电网的电压与电网本身的电压保持一致,从而维持电网的稳定运行。频率控制则是通过控制逆变器的输出频率,使光伏 VSG 系统与电网保持同步,确保光伏发电系统有效地注入电网,并参与电网的频率调节<sup>[4]</sup>。

CN208062809U<sup>[5]</sup>公开了一种光伏虚拟同步机光储协调控制系统,本申请中的光伏虚拟同步机光储协调控制系统,在进行光储协调控制时,通过功率控制器控制光伏虚拟同步机交流出口侧所需的输出功率,然

后由电压、电流、脉宽产生脉宽调制信号,驱动光伏逆变器发出功率,可使光伏侧功率响应加快,由于 DC/AC 不是交流侧功率,因此本申请中的控制系统在频率恢复过程中不会出现功率反向的现象。

由此可知,目前虚拟同步发电机调频主要应用于光储联合发电系统中,由储能系统实现功率输出。

### 3 结束语

电网频率的稳定性和控制是保障电网安全、经济、可靠运行的关键问题之一,频率的波动不仅会影响电力设备的正常运行和使用寿命,还可能导致电力系统的崩溃和电力供应的中断。因此,研究电网频率控制技术,提高电网的频率稳定性和可靠性,对于保障我国电力系统的安全、经济、可靠运行具有十分重要的现实意义。本文研究的目的主要是针对当前日益发展的光伏发电系统实现电网频率控制的各研究方向,为今后相关技术的研究与发展提供一定的参考。对于光伏发电参与系统调频,仍旧还有以下亟须解决的问题:首先,光伏调频实现过程中对于所测量的数据精准度要求较高,因而可靠的测量与通信是首当其冲的研究重点;其次,对于所设置的参数的误差要求同样较高,不合适的参数必定会带来适得其反的效果,当前仅靠理论分析并未给出较为准确合适的参数选择,更需要通过实践应用中来探索配置参数的不断优化。我国电网网架与能源结构与国外有诸多不同,故亟待进一步深入地探索研究符合我国实情、具有鲜明特色的电网控制技术。

### 参考文献:

- [1] 丁明,等.光储系统参与电网调频及调峰的综合控制策略[J].中国电力,2021,54(01):116-123,174.
- [2] 国网青海省电力公司电力科学研究院,等.基于主从协调控制的光伏电站参与一次调频实现方法:CN201811611642.X[P].2019-04-26.
- [3] 中国电力科学研究院有限公司,等.一种面向电网频率响应的决策方法和系统:CN201811115267.X[P].2019-02-15.
- [4] 张波,等.基于惯量支撑和一次调频需求的VSG储能单元配置方法[J].电力系统自动化,2019,43(23):202-209.
- [5] 华北电力科学研究院有限责任公司,等.光伏虚拟同步机光储协调控制系统:CN201820577669.0[P].2018-11-06.