

# 新能源发电系统中电气一次设计的研究

李海林

中国联合工程有限公司 浙江 杭州 310052

**摘要:** 新能源发电系统快速发展, 电气一次设计面临新挑战。本文聚焦新能源发电系统电气一次设计, 阐述其核心概念与特殊要求, 剖析不同类型新能源发电系统电气一次设计特殊性, 提出基于新能源特性、技术迭代及全生命周期视角的优化方向, 通过合理设计提升系统性能与可靠性, 推动新能源发电系统高效稳定运行。

**关键词:** 新能源发电系统; 电气一次设计; 设计优化

引言: 在全球能源转型背景下, 新能源发电成为重要发展方向。电气一次设计作为新能源发电系统建设的关键环节, 直接影响系统性能与可靠性。不同类型新能源发电系统特性各异, 对电气一次设计提出特殊要求。深入研究新能源发电系统电气一次设计, 对提升系统运行效率、保障能源供应具有重要意义。

## 1 新能源发电系统与电气一次设计核心概念

### 1.1 新能源发电系统的构成与特性

主流新能源发电系统涵盖多种类型, 每种类型都有独特核心组成部分。以太阳能发电系统为例, 主要由太阳能电池板、控制器、逆变器及储能装置等构成<sup>[1]</sup>。太阳能电池板负责将太阳能转化为电能, 是能量转换的源头; 控制器调节控制电池板输出, 保障系统稳定运行; 逆变器把直流电转换为交流电, 满足不同用电需求; 储能装置储存多余电能, 光照不足时释放。风力发电系统中, 叶片、齿轮箱、发电机等部件协同工作, 叶片捕获风能, 经齿轮箱增速后驱动发电机发电。新能源发电系统电气运行具备基础特性, 能量转换上, 将可再生能源直接或间接转化为电能, 与传统化石能源发电路径不同; 运行稳定性受自然条件影响大, 输出功率具波动性和间歇性。在环保性方面, 新能源发电过程几乎不产生温室气体排放和污染物, 对环境友好。

### 1.2 电气一次设计的定义与核心范畴

电气一次设计聚焦于电力系统中直接参与电能生产、传输和分配的电气部分。它涵盖发电、输电、变电、配电等环节中与电能直接相关的设备和线路设计, 如发电机、变压器、断路器、输电线路等。这些设备和线路是电力系统物理基础, 直接承担电能转换、传输与分配任务, 设计质量直接影响系统性能与可靠性, 是电气设计关键环节。电气一次设计与二次设计有明显区别且紧密关联, 二次设计主要涉及一次设备的监测、控制、保护和信号系统设计, 通过控制回路、信号回路实

现对一次设备的操作管理。一次设计为二次设计提供物理基础, 二次设计保障一次设备安全高效运行, 二者相辅相成, 共同构建完整可靠的电力系统。

### 1.3 新能源发电对电气一次设计的特殊要求

新能源发电特性对电气一次设计提出适配需求。鉴于新能源发电功率的波动性, 电气一次设计需增强系统调节能力, 采用灵活的接线方式和先进的设备, 以适应功率变化。同时, 要考虑新能源发电的分散性, 合理规划输电线路和变电站布局, 降低电能损耗。电气一次设计在新能源发电场景下需兼顾多个核心目标。既要保障电能质量, 减少电压波动和频率偏差, 满足用户用电需求; 又要提高系统可靠性, 降低故障发生概率, 确保新能源发电持续稳定供应; 还要注重经济性, 优化设备选型和设计方案, 降低建设和运行成本。

## 2 新能源发电系统电气一次设计的核心内容

### 2.1 主接线设计

主接线作为新能源发电系统电气架构的核心, 其基本形式涵盖单母线、双母线、桥形接线及多角形接线等类型。选择逻辑需综合考量系统容量、电压等级、设备可靠性及运维便捷性, 例如大型光伏电站多采用双母线分段接线以提升供电冗余度。设计要点包括明确进出线回路数、预留扩建接口、优化短路电流水平, 同时需兼顾新能源出力的间歇性特征。主接线设计是电气一次设计的关键, 合理的主接线形式能够提高系统的供电可靠性和运行灵活性, 降低运行成本和维护工作量, 为新能源发电系统的稳定运行奠定基础。主接线结构对系统稳定性影响显著, 合理的分段设计可限制故障扩散范围; 灵活性则体现在负荷调整能力与检修便利性, 如采用3/2接线可实现不停电检修。

### 2.2 主要电气设备选型

新能源专用发电机选型需重点评估功率特性、效率曲线及并网适应性, 直驱永磁同步发电机因低转速高效

率特性在风电领域广泛应用<sup>[2]</sup>。变压器选型需匹配系统电压变换需求，参数设计涵盖容量、阻抗电压及调压方式，光伏升压变压器多采用强制油循环冷却以应对高温环境。主要电气设备的选型直接影响新能源发电系统的性能和运行效率，需根据系统特点和运行要求，选择合适的设备类型和参数，确保设备能够安全、可靠、高效地运行。开关设备选型遵循额定电流、短路开断能力及机械寿命指标，六氟化硫断路器因其优异绝缘性能成为高压领域主流。互感器选型需满足测量精度与抗饱和要求，电子式互感器在数字化变电站中逐步替代传统电磁式设备。

### 2.3 配电装置设计

配电装置布置形式包含屋内、屋外及混合式三种类型，设计规范明确安全净距、通道宽度及防火间距等参数。新能源场景下优化方向侧重模块化设计、智能监测集成及环境适应性提升，例如采用预制舱式布置可缩短建设周期。配电装置设计需满足新能源发电系统的特殊需求，通过优化布置形式和采用先进技术，提高装置的可靠性、灵活性和智能化水平，降低建设和运行成本。协同设计要点包括与主接线拓扑的匹配性、与二次系统的数据交互接口预留，以及与辅助系统的空间布局协调。

### 2.4 输电线路设计

路径规划需综合地形地貌、气象条件及生态保护要求，采用地理信息系统（GIS）技术可提升选址科学性。导体选型依据经济电流密度、电晕损失及机械强度，铝合金导线在沿海高腐蚀区域具有优势。输电线路设计是新能源发电系统电能外送的关键环节，合理的路径规划和导体选型能够降低线路损耗，提高输电效率，减少对环境的影响，确保电能安全、可靠地输送到用户端。绝缘子设计需匹配污染等级，复合绝缘子在重污秽地区应用广泛。新能源线路特殊性体现在需考虑动态无功补偿、电压波动抑制及故障穿越能力。

### 2.5 防雷与接地设计

防雷保护系统采用分层设防策略，直击雷防护通过避雷针或避雷线实现，侵入波保护依赖金属氧化物避雷器。接地系统设计遵循等电位联结原则，核心要求包括接地电阻值、跨步电压及接触电压控制。防雷与接地是保障新能源发电系统安全运行的重要措施，能够有效防止雷击和过电压对设备和人员的危害，提高系统的可靠性和稳定性，减少因雷击事故造成的损失。设计逻辑需统筹考虑雷击概率、设备耐雷水平及防护范围，风电场集电线路防雷需特别关注叶片引雷效应，光伏电站则需强化逆变器、汇流箱的过电压防护。有效的接地网设计

需结合土壤电阻率优化敷设方案，采用水平接地体与垂直接地极组合结构，确保接地性能长期稳定。

## 3 不同类型新能源发电系统电气一次设计的特殊性

### 3.1 光伏电站电气一次设计特殊性

光伏电站电气架构设计需紧密围绕组件特性展开。组件布局遵循“就近汇流、减少损耗”原则，方位角与倾角设计需结合当地太阳辐射数据优化，南北向坡屋面安装可提升发电效率5%-8%。汇流系统采用多级串联结构，直流侧电压等级选择需平衡线路损耗与设备绝缘成本，1500V系统较1000V可降低直流线损0.3%-0.5%。光伏电站电气一次设计需充分考虑光伏组件的特点和运行要求，通过合理的布局和电压等级选择，提高发电效率，降低线路损耗，确保电站的安全、稳定运行<sup>[3]</sup>。电气设计对光照特性的适配体现在动态响应能力，需配置最大功率点跟踪（MPPT）装置以应对瞬时光强变化，双轴跟踪支架系统可提升年发电量15%-20%。直流侧过电压保护需采用专用直流断路器，其分断能力需满足IEC60947-2标准中DC23B类要求。

### 3.2 风电场电气一次设计特殊性

风机并网设计需解决电压波动与频率偏移问题。全功率变流器采用矢量控制策略，可实现单位功率因数运行，并网切换时间需控制在100ms以内以满足GB/T19963标准。集电系统呈现“长链式”拓扑特征，35kV集电线路长度通常超过5km，需采用动态无功补偿装置（SVG）维持电压稳定，补偿容量按风机额定容量的20%-30%配置。风电场电气一次设计需针对风力发电的特点，解决风机并网和集电系统运行中的问题，通过合理的控制策略和设备配置，确保风机稳定并网，提高集电系统的电压稳定性和供电可靠性。中压电缆选型需考虑机械强度与载流量平衡，铝芯电缆在海上风电场应用广泛，其防腐处理需满足IEC60502-2标准C类环境要求。集电环网设计需预留检修隔离点，分段开关配置数量按风机数量的1/3-1/2设置。

### 3.3 其他新能源发电系统电气一次设计要点

生物质能发电系统需解决燃料成分波动问题，锅炉-汽轮机-发电机组控制采用前馈-反馈复合策略，电气主接线采用扩大单元接线以提升运行灵活性。地热能发电系统需处理低温腐蚀问题，蒸发器出口蒸汽参数控制在120-150℃范围，汽轮机末级叶片采用抗冲蚀涂层处理。不同类型的新能源发电系统都有其独特的运行特点和问题，电气一次设计需根据这些特点，采用针对性的设计策略和技术措施，确保系统安全、稳定、高效运行。光热发电系统光的精准聚集-储热的稳定控温环节设计是关键，

熔盐储罐容量按满负荷运行8-12小时配置,熔盐管道需设置电伴热系统维持290-550℃工作温度。多能互补系统协同设计需建立能量管理平台,通过功率预测模型实现风光水储联合调度,电气主接线采用双母线分段带旁路结构,各子系统通过专用联络变压器接入,功率交换通道按最大出力的1.2倍预留容量。

#### 4 新能源发电系统电气一次设计的优化方向

##### 4.1 基于新能源特性的设计方案优化

针对新能源出力波动特性,电气一次系统需构建动态响应机制。光伏发电系统应优化直流侧电压调节范围,通过配置多电平换流器将电压波动幅度控制在±5%以内,提升与电网的相位同步能力。风电场需强化集电系统功率平衡设计,采用分区域动态无功补偿策略,使电压波动率满足GB/T19964标准要求。系统适配性提升需从拓扑结构创新入手,光伏电站可探索“组串式+集中式”混合架构,通过智能汇流箱实现组件级监控与功率优化<sup>[4]</sup>。风电场宜采用环形集电网络替代传统放射式结构,将故障隔离时间缩短至200ms以内,增强系统抗扰动能力。光热项目全场电伴热系统采用放射式供电,并明确回路、电缆编号及敷设方式和要求。增加其可靠性,缩短故障处理时间。

##### 4.2 技术迭代驱动下的设计创新

新型电气设备应用正重塑设计范式。碳化硅功率器件在光伏逆变器中的渗透率已超40%,其开关频率较传统IGBT提升3倍,可使电感体积缩小60%。智能断路器集成微处理器与传感器,实现故障预判与自适应保护,分断时间缩短至2ms级。设计理念创新体现在数字化孪生技术的应用,通过构建电气系统数字模型,可在设计阶段完成电磁暂态仿真,将设备选型误差控制在±3%以内。方法论创新聚焦模块化设计,光伏升压站采用预制舱式布

置,使建设周期压缩40%,占地面积减少25%。

##### 4.3 全生命周期视角下的设计优化

在全生命周期视角下,设计阶段就要充分考虑运行维护需求。对于光伏支架系统,要提前预留智能清扫机器人的轨道接口,方便后续清扫维护;电缆敷设路径规划时,也要预留红外检测窗口,便于检测线路状况。设备选型同样关键,需建立全生命周期成本模型,合理设定变压器损耗费用占比的优化目标,以控制成本。节能降耗策略要从多方面入手,光伏电站采用高反射率背板材料,可降低组件工作温度、提升发电量;风电场集电线路用铝合金导体替代钢芯铝绞线,可降低线路损耗。无功补偿装置配置要兼顾谐波治理,采用SVG+FC混合方案,稳定功率因数、提高系统综合效率。

##### 结束语

新能源发电系统电气一次设计需紧跟技术发展,不断优化设计方案。通过基于新能源特性的设计优化、技术迭代驱动的设计创新以及全生命周期视角下的综合考量,能够有效提升电气一次设计质量,增强新能源发电系统的适应性与稳定性,为新能源发电的广泛应用提供坚实保障。

##### 参考文献

- [1]丁灿涛.基于PLC的新能源电力工程电气一次系统设计研究[J].科技创新与应用,2025,15(32):136-139.
- [2]林梓涛.红外成像技术在新能源电力工程电气一次设计中的应用[J].中国高新科技,2025(18):73-75.
- [3]李华,李献伟,张鹏,等.考虑负荷频率特性的新能源场站一次调频控制方法[J].供用电,2022,39(1):81-87.
- [4]卜晓坤,王冰玉.新能源场站一次调频装置的改造研究[J].光源与照明,2022(9):226-228.