

基于光伏直流配电柜防反二极管的研究

虞学鹏 永 胜 孙学昌 冯小川 刘 洋

华能新能源股份有限公司蒙东分公司 内蒙古 通辽 028000

摘 要: 随着全球能源转型的加速,可再生能源,特别是太阳能光伏,因其清洁、可持续的特性,已经成为解决能源危机和环境保护问题的重要途径。在光伏系统中,直流配电柜作为关键的电力分配设备,其性能直接影响着整个系统的效率和稳定性。防反二极管,作为光伏直流配电柜中的核心组件,其功能在于防止直流系统中的反向电流流动,从而避免组件间的环流、组件损坏以及潜在的火灾风险。防反二极管的选择、配置和设计,不仅关乎系统安全,还直接关系到能源的损耗和系统的整体效率。传统的硅基防反二极管,在满足高耐压和大电流要求的同时,面临着成本较高、响应速度较慢的挑战。因此,探索新型、高效、低成本的防反二极管技术,对于推动光伏行业向更高水平发展具有重要意义。

关键词: 光伏直流配电柜; 防反二极管; 技术研究; 可再生能源

1 研究背景与意义

随某光伏电站总装机容量为30MW,采用多晶硅电池组件、分散逆变、二级升压、集中并网方案。多晶硅电池组件选用300Wp和310Wp规格,组件数量共计99612块。逆变器选用500kW逆变器,共计60台。防反二极管设计位置为直流配电柜内而非汇流箱内,汇流箱单个支路电流约为8.53A,每个汇流箱含16个支路,汇总后输出至直流配电柜,每个直流配电柜汇集6路汇流箱电流,每路电流约为136.48A,参数为额定电流250A,最大280A,断态重复峰值电压/反向重复峰值电压为600-2400V,典型值为1600V,结温150℃。

在运行的五年内陆续出现直流配电柜烧损事件,初步分析为直流配电柜内防反二极管炸裂造成,直流电弧未能熄灭,正极板对柜体放电,飞弧造成其他部位过热起火,最终柜内电气元器件烧损。

经检查发现,直流配电柜内的短路故障电流因光伏板内阻较大,单板短路电流仅为8.99A,配电柜内的短路电流未达到汇流箱内和配电柜内直流断路器脱扣电流,故障电流未能及时切除,导致设备损坏严重。防反二极管散热器上温度开关用于启动风扇的功能,而非过温停机功能,在散热器发生过温的情况下不能及时停机,可能会造成二极管过温持续运行,加速二极管的老化,易造成二极管损坏。进一步拆解二极管发现绝缘片与底座散热焊接不牢靠,出现脱落(为拍照明显,手动离开一段距离示意),如图1所示;二极管绝缘片与底座散热焊接不牢靠,焊接层有较多气隙,不光影响散热,还会造成冷热交替后脱落,拆解的6个中有2个此处脱落。焊接层有较多气隙,如图2所示;左侧有颜色变深的,由于PN

结处发热较大,散热板处焊接不良散热不好,已经出现过热现象。

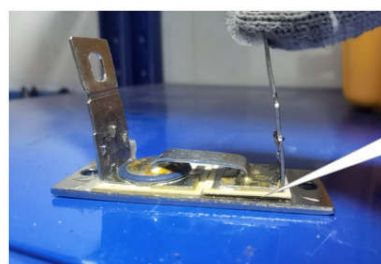


图1 绝缘片与底座散热焊接不牢靠,出现脱落

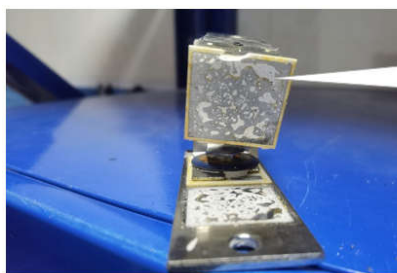


图2 焊接层有较多气隙

本研究旨在研究和讨论基于光伏直流配电柜的防反二极管技术,通过深入剖析其工作原理、性能分析和应用策略,为提升光伏系统的稳定性和经济性提供理论支持和实际指导。

2 光伏直流配电柜概述

2.1 光伏直流配电柜的构成与功能

光伏直流配电柜,作为光伏系统的核心组件,主要负责将光伏阵列产生的直流电进行汇集、分配,并确保其安全、高效地输送到电网或储能系统。其构成通常包括输入元^[1]。

输入单元是配单元、输出单元、保护单元、监控单元和控制单元的第一道防线，负责接收来自光伏阵列的直流电，并通过防反二极管阻止反向电流。防反二极管的配置位置和选择，直接影响输入单元的可靠性和效率。依据遮挡条件，防反二极管可能位于组件串回路或汇流箱的输出回路，其耐压和电流参数需与系统需求匹配，以减少功率损失和提升系统安全性。

输出单元则连接至电网或储能系统，通过转换和调整电压、电流，确保电力能稳定、合规地接入。这部分可能包含升压或降压变换器，以及用于提高电能质量的滤波器。此外，为了进一步保护系统，输出单元通常会集成过压、过流保护装置，以及隔离和接地功能。

保护单元是配电柜的“心脏”，它包含各种保护设备，如熔断器、断路器和过载保护装置，用于在系统异常情况下快速切断电流，防止设备损坏和火灾。这些保护设备需根据电力系统的规模、配置和所在区域的电气规范来选择和配置。

监控单元负责实时监控配电柜的运行状态，包括电压、电流、温度等关键参数，以及防反二极管的工作状态。通过数据采集和处理，这些单元为系统的维护和故障诊断提供依据，有助于实现远程监控和智能管理。

控制单元则是整个系统的“大脑”，它通过各种控制算法，实现对配电柜各部分的协调管理。控制单元可能集成先进的电力电子技术和通信技术，如微处理器或嵌入式系统，它们根据设定的策略，调整电力分配，优化系统效率，甚至与电网互动，参与电网的频率和电压控制。

了解光伏直流配电柜的构成与功能，有助于深入研究防反二极管在其中的作用，并评估不同防反二极管方案对整体系统性能的影响。防反二极管的选择不仅影响输入单元的性能，还可能通过优化保护单元的策略，降低系统故障风险。同时，通过监控和控制单元，可以更好地评估和调整防反二极管的性能，以适应各种运行工况，从而实现系统效率的持续提升。

2.2 防反二极管在光伏直流配电柜中的作用

防反二极管作为光伏直流配电柜内的核心元件，其作用至关重要。它们的主要功能是防止光伏阵列在非理想条件下产生的反向电流，如阴影遮挡、极端天气或系统故障。这些反向电流可能导致组件间的环流，增加温度，加速组件老化，甚至引发火灾。防反二极管通过单向导电特性，确保电流只能从高电压端流向低电压端，从而保护整个系统免受潜在损害。

防反二极管的性能对系统效率有直接影响。高效的

防反二极管能够显著降低电压降，减少功率损耗，从而提高整个系统的输出效率。特别是在大型光伏阵列中，即使微小的电压降也可能导致显著的功率损失。因此，选择具有低正向压降的防反二极管，对于实现高效率的光伏系统至关重要。

防反二极管的散热设计也是影响系统稳定性的关键因素。在高负荷或高温环境下，防反二极管的温度会升高，这可能会导致其性能下降，增加热损耗，甚至可能引发故障。因此，优化防反二极管的散热设计，如采用高效的散热器或热管理技术，可以确保其在极端条件下的稳定运行，进一步提高系统的可靠性。

在系统设计中，防反二极管的配置位置同样具有策略性意义。在组件串回路中安装防反二极管，可以防止因遮挡导致的单个组件逆流，降低整体系统的影响^[2]；而在汇流箱的输出回路中安装则能保护整个阵列，防止高电压支路的电流流向低电压支路。设计者需根据遮挡条件、系统规模和成本效益等因素，合理选择防反二极管的安装位置。

3 防反二极管技术研究

3.1 防反二极管的种类与性能比较

防反二极管作为光伏直流配电柜中的关键部件，其种类繁多，性能各异，选择合适的防反二极管对于系统的稳定运行和效率至关重要。本文将对几种常见的防反二极管进行深入探讨和比较，以便为实际应用提供参考。

传统的硅基防反二极管（Silicon Diodes）因其在光伏领域已有数十年的应用历史，技术成熟，成本较低，仍是当前最广泛应用的防反二极管类型。然而，硅基二极管的正向压降较高，尤其是在高电流条件下，这会导致额外的功率损耗，影响系统效率。此外，硅的禁带宽度较小，使其在高温和高频环境下性能下降，限制了其在高效能系统中的应用。

碳化硅基肖特基二极管（Silicon Carbide Schottky Diodes）凭借其较低的正向压降和优越的高温性能，逐渐受到业界关注。碳化硅的禁带宽度大于硅，使肖特基二极管在高温和高频下仍能保持低损耗，这不仅有助于提高系统效率，还能延长二极管的使用寿命。然而，SiC二极管的制造成本相对较高，这在一定程度上限制了其在大规模应用中的普及程度。

氮化镓基肖特基二极管（Gallium Nitride Schottky Diodes）作为最新一代的高性能防反二极管，其禁带宽度远超硅和碳化硅，正向压降低到几乎可以忽略，能够在极端条件下保持高效运行。然而，GaN二极管的制造技术尚不成熟，生产成本高昂，目前主要应用于高端市场或

对效率有极高要求的系统中。

除了上述二极管类型,还有其他种类的防反二极管,如集成型防反二极管(Integrated Diodes),它们将多个防反二极管集成在一个封装内,减小了体积,降低了系统复杂性,但可能在散热和电流处理能力上有所牺牲。此外,还有模块化设计的防反二极管,这类防反二极管可以根据系统需求进行灵活配置,以适应不同规模和复杂度的光伏系统。

在性能比较中,除了关注二极管的正向压降、耐压和电流参数,还需要考虑其温度特性、响应速度、可靠性以及成本因素。在实际应用中,设计者通常会根据系统的特定需求、预期运行环境和经济效益来选择最合适的防反二极管。例如,在追求高效率 and 稳定性,且成本允许的项目中,可能倾向于选择SiC或GaN二极管^[3];而在考虑成本效益,对效率要求相对较低的项目中,硅基二极管可能是更为经济的选择。

3.2 防反二极管在实际应用中的选择

防反二极管的配置位置往往需要根据遮挡条件进行优化。在组件串回路中,防反二极管能够有效防止遮挡引起的部分组件反向电流,但可能会增加系统复杂性,导致成本上升。而在汇流箱输出回路中安装,虽然可以保护整个阵列,但可能无法解决单个组件的反向电流问题。因此,设计者需要通过精确的遮挡分析,结合系统的规模 and 成本限制,来确定防反二极管的最佳安装位置^[3]。

针对本光伏电站的实际应用环境,考虑新型二极管的成熟度、成本和兼容性问题,决定使用柳晶LJ-MD55A3000V-H型二极管,主要参数如图3。

符号	参数	测试条件	结温	参数值			单位
			T _J (℃)	最小	典型	最大	
I _{RM}	通态平均电流	180° 正弦半波,50Hz,单面散热,T _a =85℃	160			55	A
I _{FRMS}	方均根电流		160			112	A
V _{DRM}	断态重复峰值电压	V _{DRM} &V _{RRM} tp=10ms,	160		3000		V
V _{RRM}	反向重复峰值电压	V _{DRM} &V _{RRM} =V _{DRM} &V _{RRM} +200V					
I _{DRM}	断态重复峰值电流	V _{DRM} =V _{RRM}	160			3	mA
I _{RRM}	反向重复峰值电流	V _{DRM} =V _{RRM}					
I _{DSM}	通态不重复浪涌电流	10ms底宽,正弦半波	160			2.60	KA
t _{rr}	浪涌电流平方时间积	V _{RR} =0.6V _{RRM}	160			34.4	10 ⁴ A ² s
V _{FO}	门槛电压					0.75	V
r _r	斜率电阻		160			1.70	mΩ
V _{RM}	通态峰值电压	I(PV)=25A	25		0.50	0.60	V
R _{DS(on)}	热阻抗(结至壳)	180° 正弦半波,单面散热				0.35	℃/W
R _{DS(amb)}	热阻抗(结至散)	180° 正弦半波,单面散热				0.16	℃/W
V _{iso}	绝缘电压	50Hz,R.M.S,t=1min,I _{iso} =1mA(max)		4500			V
F ₀₁	安装扭矩(M5)				2.0		N·m
	安装扭矩(M6)				3.0		N·m
T _{stg}	贮存温度			-40		125	℃
W _i	质量						g
Size	包装盒尺寸						mm

图3 新选型的防反二极管

将自带公母头的防反二极管串接入光伏支路子阵回

路中,安装于子阵出口正极。

使用不锈钢扎带将防反二极管固定于光伏组件支架上,应避免电缆集中处(因需要测量运行温度,测试期间安装方位未固定,批量安装时应使用不锈钢扎带固定于光伏板空余支架上,注意不要固定于电缆的槽钢上)。将直流配电柜内防反二极管输入电缆改接至原二极管出口铜排处,原二极管不做拆除,作为绝缘底座使用^[4]。

在安装施工前应将逆变器停机,汇流箱、直流配电柜处开关全部断开,正确穿戴劳动防护用品;二极管捆扎安装应注意避免用力过大造成二极管形变;二极管安装完成后应将组件电缆整理整齐并固定。为防止直流配电柜内直流电缆脱落接触柜体导致直流接地问题,在柜门内侧安装树脂绝缘挡板进行加强防护。

4 结论与展望

防反二极管在光伏直流配电柜中的关键作用及其技术研究,无疑为提升整个光伏系统的效率、稳定性和经济性提供了重要依据。本文通过深入分析防反二极管的种类、性能、配置策略,以及它们在实际应用中的问题与改进策略,为设计者和工程师提供了实用的指导。研究结论表明,防反二极管的选择不仅影响输入单元的性能,还可能通过优化保护单元策略降低系统故障风险,同时监控和控制单元的智能化可以更好地评估和调整防反二极管的性能,适应各种运行工况。

在当前全球能源转型的背景下,防反二极管技术的革新对于推动光伏电力技术的进步至关重要,这不仅体现在效率提升上,更在于其对系统安全性和环境友好性的贡献。新型半导体材料如碳化硅、氮化镓等的引入,使得防反二极管的性能得到显著改善,为光伏直流配电柜的设计提供了更多可能性。然而,这些新型材料的成本和成熟度仍是制约其广泛应用的关键因素,未来的研究应注重降低生产成本,提高产品的稳定性和可靠性。

参考文献

- [1]张刚.局部遮挡条件下的光伏阵列防逆流措施选择[J].《内蒙古电力技术》,2014年第5期83-86,共4页
- [2]梁新田.基于DSP的多功能测控仪表的设计[J].《电气技术》,2017年第7期93-96,共4页
- [3]袁臣虎.融合光伏的直流配电网光伏线路极间故障暂态分析[J].《现代电子技术》,2022年第15期164-168,共5页
- [4]陈兴.低压光伏智能防反送电系统的研发及应用[J].《电工技术》,2019年第8期122-123,126,共3页