

建筑直流配电系统的电压等级优选方法

栗清亮

邯郸市邯二建筑工程有限公司 河北邯郸

【摘要】建筑直流配电系统的电压等级优选是提高系统能效、降低损耗、保障供电安全的重要环节。根据建筑用电负荷特性、配电距离及设备兼容性等因素，合理选择电压等级可有效提升系统运行的稳定性与经济性。研究表明，不同应用场景下电压等级的优化需要综合考虑能量传输效率、线路损耗、设备投资及运维成本等多维指标。本文基于建筑直流配电的典型需求，提出一种多因素权衡的电压等级优选方法，构建技术经济综合评价模型，对多种电压方案进行比较分析，并通过实例验证方法的可行性与优越性。研究结果可为建筑直流配电系统设计提供参考，有助于推动绿色、高效、智能化建筑能源系统的发展。

【关键词】建筑直流配电系统；电压等级；优选方法；能效提升；经济性分析

【收稿日期】2025 年 10 月 24 日

【出刊日期】2025 年 11 月 24 日

【DOI】10.12208/j.jeeaa.20250207

A method for optimal selection of voltage levels in building dc distribution systems

Qingliang Li

Handan Han Er Construction Engineering Co., Ltd., Handan, Hebei

【Abstract】The optimal selection of voltage levels in building DC distribution systems is a crucial link for improving system energy efficiency, reducing losses, and ensuring power supply safety. Reasonable selection of voltage levels based on factors such as building electrical load characteristics, distribution distance, and equipment compatibility can effectively enhance the stability and economy of system operation. Studies have shown that the optimization of voltage levels in different application scenarios requires comprehensive consideration of multi-dimensional indicators, including energy transmission efficiency, line losses, equipment investment, and operation and maintenance costs. Based on the typical requirements of building DC distribution, this paper proposes a voltage level optimization method that balances multiple factors, constructs a comprehensive technical and economic evaluation model, conducts comparative analysis of various voltage schemes, and verifies the feasibility and superiority of the method through practical examples. The research results can provide a reference for the design of building DC distribution systems and help promote the development of green, efficient, and intelligent building energy systems.

【Keywords】Building DC distribution system; Voltage level; Optimal selection method; Energy efficiency improvement; Economic analysis

引言

建筑直流配电系统作为绿色能源与智能建筑技术融合的重要方向，因其高效、灵活的供电特性而受到广泛关注。电压等级的合理选择不仅关系到系统的能效和供电质量，还直接影响设备选型、线路布局及整体经济性。在建筑应用中，直流配电系统需要同时满足多元化负载需求，如照明、空调、办公设备及分布式能源接入等，这对电压等级的确定提出了更高要求。近年来，随着储能、光伏和直流供电终端的普及，建筑直流配电电压等级优选问题逐渐成为工程设计的关键环节。本

文旨在探索一种兼顾技术与经济因素的电压等级优选方法，为设计人员提供科学的决策依据，并为推动建筑能源系统向高效、低碳方向发展提供思路。

1 建筑直流配电系统电压等级优选的研究背景与必要性

建筑直流配电系统作为现代建筑能源利用的重要组成部分，已经在绿色建筑、智慧园区及高端商业综合体中得到越来越多的应用。相比传统交流配电模式，直流配电减少了多次能量转换环节，能够有效降低转换损耗，并简化电能管理结构。在这一背景下，电压等级

的优选成为配电系统设计阶段的关键问题，不仅影响到线路损耗和供电效率，还会影响到电气设备的匹配性与运行寿命^[1]。如果电压等级设定不合理，可能导致配电线路长期处于高损耗状态，增加设备发热与故障率，同时也会降低系统的整体能效水平。在建筑直流配电系统的设计中，开展科学的电压等级优选研究是保障系统稳定性与经济性的重要前提。

随着建筑功能的多元化和用电需求的多样化，直流配电系统所面临的供电对象种类更加复杂，包括照明系统、信息技术设备、暖通空调系统以及分布式光伏和储能系统等。这些不同类型的用电设备对供电电压的要求存在差异，如果统一采用单一电压等级，可能会在部分环节造成额外的降压或升压处理，从而增加转换设备的数量与能耗。为此，在建筑直流配电系统的规划阶段，需要针对不同负载类型及分布特点，对电压等级进行合理配置，使系统既能满足多元负载的运行要求，又能在全生命周期内实现较高的能效比与投资回报率。

在推动建筑能源系统低碳化和智能化的进程中，直流配电技术与储能系统、光伏发电以及智能控制系统的协同作用越来越明显。为了实现这些系统间的高效耦合，电压等级的优选必须结合能源供给与用电需求的动态变化规律，构建可兼顾技术可行性与经济合理性的综合决策方案。这不仅涉及到对电气设备标准化的考虑，还与建筑整体能源管理策略、运行调度模式密切相关。从宏观的能源利用效率到微观的设备运行状态，电压等级的优选都具有不可替代的重要性。

2 影响建筑直流配电系统电压等级选择的关键因素分析

建筑直流配电系统电压等级的确定需要综合考虑多种因素，其中线路传输距离与负荷分布特性是核心参数之一。较高的电压等级在相同功率传输条件下能够降低输电电流，从而减少线路电阻损耗和导体截面的需求，这在长距离输配电和高功率负载集中区域尤其明显。然而，高电压等级需要配套的绝缘防护和设备耐压设计，这不仅增加了初期投资，还可能提高运维成本。线路长度、供电半径以及负荷密度在电压等级选择中起到直接影响作用，工程设计人员需在降低损耗与控制成本之间找到平衡。

用电设备的电气特性同样对电压等级选择产生重要影响。建筑中的直流负载包括直流照明、直流驱动设备、信息终端和电动汽车充电设施等，这些设备对供电电压有不同的适应范围。如果电压等级偏离设备最佳

工作电压，将导致转换环节增加，降低整体能效，同时可能引发设备的稳定性和安全性问题。未来建筑配电系统的扩展性和灵活性也必须被纳入考量，如果系统在设计阶段预留的电压等级范围过窄，后续引入新型用电设备或升级负载时可能需要大规模改造，这会增加运营风险与投资压力。

安全性与标准化要求也是影响电压等级选择的重要方面。在建筑直流配电系统中，高电压等级虽然可以提升传输效率，但也会增加触电风险和绝缘要求，因此必须符合国家及行业的安全规范。标准化程度高的电压等级有利于设备通用性和备品备件管理，能够减少采购与维护成本^[2]。不同国家和地区对于建筑直流配电电压等级的标准不尽相同，在国际化项目或跨区域工程中，标准的兼容性和法规的适应性需要被优先评估。这些因素综合作用，形成了电压等级优选的多维决策环境，使得其不仅是一个技术参数的确定过程，更是一个涉及经济、安全和战略发展的系统工程。

3 建筑直流配电系统电压等级优选的技术经济评价方法

在建筑直流配电系统设计中，电压等级的优选必须通过技术与经济相结合的综合评价方法来实现。技术层面评价包括输电效率分析、线路损耗计算、设备效率评估及系统稳定性测试等，旨在确定不同电压等级对系统运行性能的影响。经济层面则需要评估初期投资、运行维护成本、设备寿命周期费用以及能效收益等，以实现全寿命周期成本最小化。将两者结合，通过建立多指标综合评价模型，可以对不同电压等级方案进行量化比较，为决策提供科学依据。

在技术经济评价的建模过程中，需采用多因素权重分配方法，将输电效率、线路损耗、设备匹配性、安全性以及标准化程度等作为核心指标，并根据实际工程的特点赋予不同权重。为了避免单一指标主导决策，评价模型应采用层次分析法、模糊综合评价或多目标优化等方法，将不同维度的指标进行归一化处理后得出综合评分。考虑到建筑能源系统的动态性，模型还应能够适应负荷波动、可再生能源接入比例变化等情况，通过仿真手段评估电压等级在不同运行场景下的表现。

在评价方法实施阶段，还需要结合实际工程案例进行充分验证，通过对比不同电压等级在实际运行中的能效水平、故障率以及运维成本等关键指标，能够发现理论模型与实际应用之间的差异，从而对模型中各项参数进行修正与优化，使评价结果更加贴合工程真实情况。为了提升预测的准确性，可以利用数字化设计

工具、三维建模软件及动态仿真平台,在工程实施前对不同电压等级方案的运行状态进行全方位模拟,涵盖负荷波动、环境温度变化以及可再生能源接入比例调整等多种运行场景。通过这种方式,不仅能够直观评估各方案在节能减排、成本控制以及系统稳定性等方面的综合表现,还能提前识别潜在风险,制定相应的预防措施^[3-7]。这一基于案例与仿真的技术经济评价方法,为建筑直流配电系统的电压等级优选提供了可量化、可验证的决策依据,同时也为后续的运维管理、系统升级和长期优化奠定了坚实的技术与数据基础。

4 基于工程案例的电压等级优选方法应用与效果分析

在建筑直流配电系统的实际工程中,电压等级优选方法的应用能够显著提升系统的综合性能。在一个大型商业综合体的设计过程中,设计团队基于负荷分布特性、供电半径以及预期的可再生能源接入比例,对多种电压等级方案进行了对比分析。通过技术经济评价模型计算,最终选定的电压等级方案在降低线路损耗、提高设备效率以及减少转换环节方面均表现出较高优势。在系统投入运行后,能效指标和供电稳定性均达到设计预期,运行维护成本也得到有效控制,验证了该优选方法的可行性与实用性。

在另一类高科技园区的直流配电系统设计中,采用了分区供电与分级电压相结合的策略,将高功率设备集中区和低功率终端区分开供电,并分别设置不同的直流电压等级。这种方法既保证了长距离传输的高效性,也减少了终端设备的转换损耗。工程运行结果表明,该方案在保证供电质量的提升了系统的可扩展性,便于后续引入更多类型的直流负载与分布式能源。这一案例充分体现了电压等级优选方法在复杂建筑环境中的灵活应用能力。

在综合性办公楼宇的改造项目中,原有的交流配电系统在负载增加和能源结构调整的背景下面临效率下降的问题。通过引入直流配电系统并应用电压等级优选方法,设计团队在有限的改造空间内完成了系统的高效升级^[8]。新的电压等级配置不仅提高了能源利用率,还改善了配电系统与光伏、储能等新型能源设施的

兼容性,使建筑的能源自给率和运行可靠性得到明显提升。这一实践案例表明,电压等级优选方法不仅适用于新建项目,在既有建筑改造中同样能够发挥显著效益。

5 结语

建筑直流配电系统的电压等级优选不仅是技术参数的确定,更是融合能效提升、经济性控制与安全性保障的系统性工程。通过综合考虑负荷特性、供电距离、设备匹配性以及标准化要求,结合科学的技术经济评价方法,能够在设计阶段为系统运行奠定坚实基础。工程实践表明,合理的电压等级选择不仅提升了能源利用率与供电可靠性,还为可再生能源接入与未来扩展提供了充足空间。这一方法对推动建筑能源系统绿色化、智能化发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 李少杰,刘晓华,关博文等.光储直柔建筑直流配电系统变换器运行特性研究[J].供用电,2025,42(04):3-11.
- [2] 刘伟.建筑低压直流配电系统设计分析[J].绿色建造与智能建筑,2025(01):133-135+150.
- [3] 万蕴杰.低碳建筑配电设计策略研究[J].智能建筑电气技术,2024,18(06):136-139+168.
- [4] 刘建栋,岳玉亮,张彬彬.住宅小区直流配电系统探索[J].城市建设理论研究(电子版),2024(26):16-19.
- [5] 韦强,毛阆.民用建筑低压直流配电系统设计实践[J].建筑电气,2023,42(09):36-40.
- [6] 吴芳柱,田园.住宅建筑直流配电系统设计分析[J].农村电工,2023,31(02):29-30.
- [7] 俞侃,毛阆.建筑直流配电及主动低压配电网研究[J].现代建筑电气,2023,14(01):53-57.
- [8] 魏山力,马聪,张曦等.民用建筑低压直流配电系统的项目应用[J].现代建筑电气,2021,12(07):1-6+51.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS