

[配电站]

低压配电站系统的优化分析

文/史思岩
世源科技工程有限公司

伴随城市的现代化建设与工业的快速发展，人们对用电的需求不断增加。在电力系统中，低压配电站是其重要组成部分，负责将高压输电系统转化为低电压供电的重任。当前，电力设备越来越复杂，需要对低压配电站系统进行优化，才能满足人们日益增长的用电需求。文章阐述配电站的发展历史，介绍低压配电系统组成，并对低压配电站系统的优化策略进行探讨。

配电站将电力系统与低电压网络相连，为工业用户和普通用户提供电力供应。随着城市规模的不断扩大，需要连接更多的电力线路。因为人们对公众安全与环境的更多关注，需要设置更多的地下电缆网络。现今的低压配电站需要更加安全、智能与紧凑。此外，伴随技术的进步、设计工具的使用、各种功能的集成与环保的设计需求，需要不断缩短配电站的设计期限。

配电站的发展历史

早期在架空线路铁塔上端安装配电变压器，最大容量为1 000 kV·A。这种圆柱形的配电站是连接高架线路和地下光缆网的关键接口，内部配有空气绝缘的开关设备、液体绝缘变压器和低压配电盘，整个建筑都是用砖瓦建造的。由于技术的发展，第二代配电站开始出现，其主要目的是为了进行内部故障试验，保护操作人员及人们的生命安全。在这一阶段，为了提高供电可靠性与效率，在配电系统中逐步采用工厂预装配的理念，使供电企业批量生产电力设备，确保项目的性能获得实验室的验证。在我国，随着第三代配电站建设的不断深入，对各项要求也更加严格，使得配电站的布局更加紧凑、更加环保。第三代配电站在外墙的材料上，有多种材料得到了广泛应用，如玻璃纤维混凝土、金属、

增强加固混凝土与钢纤维加固混凝土。其中，增强混凝土由于具有优异的力学性能、抗辐照能力，可以减少凝水的风险，提高了防火性能，具有较好的美观性。第四代配电站意味着配电技术的进一步飞跃，技术规范已经逐渐取代功能规范，提升了配电站的效果与功能要求。伴随技术的发展与进步，未来配电站的自动化与智能化程度将越来越高，已成为电力系统的重要部分^[1]。

低压配电系统组成

低压配电系统包括诸多关键组件。配电站作为整个电力系统的重要组成部分，作用是使整个电力系统的传输电压降至适宜的电压水平。高压配电线路将电能由变电站输送至各区域，电压等级一般在1 kV以上。配电变压器扮演了关键的角色，需要把高压电转变为低压电，方便终端用户的使用，电压等级一般不超过1 kV。通过低压配电线路将变换后的电能传输给特定的用电装置或用户。另外，为了保证该系统的稳定性与安全性，系统还设置了控制及防护设备，能够对当前的电力系统中的电流、电压等状态进行实时监测，一旦出现故障，进行及时处理，保证电力供应的可靠。

(1) 低电压开关

低压断路器又叫自动开关，是一种具有手动切

换功能的综合电力设备，并能对失电压、过载和短路等多种故障进行自动保护。该系统可以广泛应用于电力系统的配电与管理，尤其适用于不频繁开启电动机的情况，对供电线路和电动机等装置起到较好的保护作用。该装置在发生过载、欠电压等情况下，可快速断开短路，保护装置不受损害。它的工作原理类似于熔断器和热继电器，但是，一旦出现故障，一般不需要更换零件，因此，应用十分广泛。

在低压断路器的配件中，常见以下类型。在电气终端配电装置中，微型断路器（MCB）是应用最为广泛的一种保护装置，其作用是实现对过载、短路等进行保护的功能。而在电流大于设定值时，塑壳断路器电流可以自行切断电流，壳体的材料采用塑料绝缘材料，可以将导体和接地金属部分进行有效的隔离。塑壳断路器一般配有热磁跳脱单元，一些较大的设备安装有固态跳脱传感器，增强其可靠性与准确性。另外，框架式断路器与智能型万能断路器可满足各种场合的需要，为用户提供更加高效与灵活的电力保护^[2]。

（2）智能配电

在现代电力管理中，智能配电系统是其重要组成部分，其中包含一些关键的技术与设备。低压无功补偿成套装置可以提升电力系统的效率，减少能耗，提升电力传输质量。采用组合交换机可以实现功率分布的柔性 and 效率，满足负荷变化的需要。操作手柄为技术人员提供更加方便的操控方法，使装置的使用变得更为简便与直接。同时，对电力系统进行了智能化的监控与调整，保证了电力系统运行的最佳状态。

（3）低压配电开关

负荷开关的命名与其功能有直接的关系，可以对负荷电流进行切断。和高压断路器对比，负荷开关不具有灭弧功能，所以不能对故障电流进行切断。在正常情况下，可以进行负荷电流的切断。高压开关设备中，隔离开关的使用最多。虽然它的工作机理及构造较为简单，但因其频繁的应用，对配电站电力系统的设计与运行安全有着严格的要求。由于刀开关不具有灭弧性能，所以，需要在无负荷电流条件下完成分合电路操作。

低压配电站系统的优化策略

（1）自动化原则优化措施

在进行低压配电系统的设计时，必须进行综合的功能分析。此环节的重点是要充分认识被控对象的具体情况，从而有效实施自动化控制。通过对各种低电压配电站系统的调研，发现70%左右的配电站在实施时，没有对现场的具体情况进行充分考虑，从而导致电力运行中出现了诸多问题。所以，进行全面的调查是优化设计的先决条件。比如，某城市低压配电站中，技术人员在开工之前，对项目进行了一个多月的实地勘察，发现原来的用电负荷与现实存在较大的差距，最后对设计方案进行了优化，使其投入使用后，电力荷载适应性提高了30%，且故障发生率明显下降。强化对设计人员的管理十分必要。在进行设计前，技术人员必须保证现场勘查及相应信息的搜集已就位。数据显示，在设计前期进行精心策划，可以减少20%~30%项目后期的修改成本^[3]。这样既缩短了工期，又提高了整个项目的经济利益。另外，现场技术人员的配合也非常关键。通过定期的交流和反馈，使技术人员可以随时掌握项目实施过程中遇到的问题，以便更好地进行项目策划。比如，某低压配电站的项目中，设计人员与技术人员进行反复探讨，最终优化了设计布局，从而将维修工期缩短40%，见表1。

表1 不同优化措施实施前后，能耗与故障率的变化情况

优化措施	故障率（%）	能耗/（kW·h）
设计前不调研	15	1 200
设计前调研	10	1 100
现场配合优化	5	1 000

（2）确保自动化控制系统的可靠性与安全性

在当今的电力系统中，对电力系统中的低压配电装置进行优化十分重要。技术人员要从多个角度对其进行深层次的探讨与优化，以保证其安全性与可靠性。使低压配电站系统在复杂多变的工作条件下，具有良好的适应性。比如，在某些情况下，低压配电站系统会突然增加电力负荷，这就需要控制系统对其进行迅速的响应与调节。据有关信息显示，电力系统发生的故障中，大约有30%是由于电力系统运行不稳定引起的。为此，必须建立有效的监控与报警系统，使其可以在负荷发生变化时，对系统进行实时报警，从而实现对电力系统的动态调

节。比如，通过对某城市低压配电站进行的综合监控，使其故障发生率下降了15%。当电力负荷到达预定的临界值后，通过对其进行实时监测，实现了对后备电源的启动，从而保证电力供应的持续性与安全性。在确保控制目标的前提下，优化方案还需要关注项目效益的增加。调查表明，在进行适当的成本管理后，电力企业的利润率将增加20%左右^[4]。这就需要设计人员在选择控制器时，不仅要考虑其性能的完整性，还要考虑其总体使用成本。该方法既能简化控制系统，又能实现模块化的设计。例如，某电力企业在简化控制系统后，使其总体成本下降了25%。各功能模块均可以单独进行更新与维修，大大增加了系统运动的灵活性，同时也降低了设备的长期维修成本。实施前、后控制系统的指标变化见表2。将执行前后的响应时间、失效率以及成本等重要的参数进行比较可知，采用了最优的方法，使低压配电站系统的操作效率和经济性能得到了明显的提高。

表2 实施前后的故障率、响应时间和成本等关键指标对比

指标	实施前	实施后	改进幅度 (%)
故障率 (%)	15	12.75	-15
响应时间 /s	30	20	-33
应用成本 /万元	100	75	-25

(3) 顺应发展的需要

伴随社会经济的快速发展，对低压配电站系统进行优化顺应时代发展的需要。当前，控制系统的要求也在不断演化，配电技术的升级也提升了对系统适应性与灵活性的要求。所以，对其发展趋势进行进一步的剖析尤为重要。比如，某电力企业，在对低压配电站系统进行优化过程中，发现原来的自动控制系统已不能适应当前的发展需要，特别是在负荷高峰时段，反应速度与负荷调控能力均存在明显的缺陷。在进行详尽的需求分析后，电力企业新的系统中进行技术更新与升级。尤其是在分配方案进行优化时，运用模块化的理念，实现了各功能部件的灵活拼接。另外，在选用控制器时，采用智能监测技术，对负荷进行动态监测，对负荷的变动进行准确的预测，以达到更好的节能效果。该方法既能增强系统的可靠度，又能为以后的技术更新提供足够的空间。另外，通过对配电站系统进行定期的评价和反馈，保证配电站系统的运行能跟上时代

发展的步伐，适时地对其进行优化，以满足新的市场要求和技术发展。由此可见，对低压配电站系统进行合理的设计，对于提升整个电力系统的运行效率具有重要意义。

(4) 适配功能分析与优化措施

在智能电力系统建设中，配电站系统的运行方式日趋多样化，尤其是采用分布式、智能化的供电方式，为配电站系统的高效运行开辟了新的途径。自动控制系统是低压配电站系统的重要组成部分，它的功能是实现电力系统数据的即时传输与处理。通过分析，配电站在应用该系统后，其故障检测与修复速度可提升30%左右。利用馈电线将信号传送到主站，协助主站进行采集与处理。该系统通过智能终端来监测馈线状态，并将其信息反馈给主站，从而对整个电力系统进行有效的调度。在实际应用中，馈线的工作量虽不多，但其在传输信息方面所起的作用不容忽视。通过对馈线的适当利用，既可以减轻主站的运行负荷，又可以提高电力系统整体的反应能力。比如，某城市配电站系统引进智能分布式馈线自动化技术，配电系统故障响应时间由原来的60 min减少到30 min，并使其故障恢复率提升了15%^[5]。但是，这种智能分布式馈线自动化技术还存在许多问题，特别是供电可靠性问题。在一些区域，因设施老化、电力系统不稳等原因，容易发生用电中断故障。数据显示，目前我国低压配电站系统中，电力故障发生率在5%左右，说明我国电力行业的技术水平还有待提高。因此，需要针对当前的问题，制定针对性的优化方案。利用先进的传感技术及信息处理方法，进一步提升信息收集的实时性与准确性。强化对系统的维修与管理，保证系统在高电力负荷状态下仍能正常运行；另外，在电力系统中，健全电力系统的故障预警机制与迅速反应机制，能够减少电力系统故障对用户带来的影响。

(5) 系统主站与通信技术

在低压配电站系统中，系统主站起着非常重要的作用。作为电力系统中重要的数据采集与分析中心，其作用是保证电力系统正常运转。通过通信技术的运用，可以使主站对电力系统中的各种数据进行结构化处理，进而进行实时的数据转化，达到对低压配电站系统的准确调控。比如，某城市低压

配电站系统采用以物联网为核心的通信方式，大大提高了主站的实时信息处理能力。通过该技术的应用，使整个电力系统的运行速度提升了30%左右，提高了用户供电的可靠性。通过优化低压配电站系统，不仅减少了维修成本，而且提高了用户的满意度。在通信技术运用中，对系统结构进行灵活的优化非常重要。数据表明，选择合理通信协议，可以将信息传送效率提升25%。比如，使用效率更高的MQTT来代替HTTP，能有效地减少数据传送时延。实践证明，采用MQTT技术后，对低压配电站系统进行监控数据传送时，由500 ms降低到100 ms，大大改善了系统的反应时间。在某城市低压配电站系统中，通过引入现代通信技术，对主站进行功能结构的优化，对电力系统电流等关键参数进行实时监测，并对其进行分析，达到对设备故障进行预警的目的。数据表明，故障发生率降低40%。利用现场实测的信息，可以使管理人员快速掌握电力系统的运行状况。通过对通信链路进行优化，使主站与各配电网点的通信可靠性达到50%以上。利用手机软件对电力需求进行实时监测，并对其进行优化，可以提升用户的满意度。

(6) 预留改造平台优化措施

面对新能源用电的日益增加，电力系统结构日趋复杂，对低压配电站系统进行优化设计具有重要的意义。在这种情况下，对配电站系统进行优化，可以提高系统的性能。为了更好地提升低压配电站系统的经济性与可靠性，可以应用智能分布式馈线自动化技术。数据表明，应用该技术可以使故障恢复时间缩短30%，提高了15%的系统适用性。比如，以某城市低压配电站系统，采用智能化供电方式，使供电系统的故障发生率下降20%，使用户的停电周期大幅缩短。虽然智能分布式馈线自动化技术在应用中取得了较好的效果，但是在实际应用中，还需要对该技术进行不断的完善。调研表明，40%的电力企业在故障排查方面还存在一定的问题，从而造成了电能的损耗^[6]。所以，对其进行更深入的规范化管理非常必要。电力企业可以通过配置智能传感与监测装置，对配电系统运行状态进行实时采集；还可以应用大数据的配电系统故障诊断方法。比如，某电力企业利用大数据的配电系统故障诊断方法，对低压配电站系统设备故障进行

预测和排除，提升了企业的经济效益。还可以采用人工智能方法，对其进行快速的诊断和定位。利用机器学习方法，使检测过程缩短至十几分钟，并对负荷分布进行最优配置，可以减少电能损耗。信息表明，通过对负荷进行适当的负荷管理，减少了10%~15%的电能损耗。以某电力企业为例，应用智能化配电系统后，电能损耗由8%下降到5%。通过对负荷进行动态负荷管理，使电力设备的故障发生率降低了25%，总体运行效率得到明显提高。通过构建用户信息反馈机制，增强与用户之间的交流，了解用户对用电情况的反馈，使其为用户提供优质的服务。

结束语

综上所述，对低压配电站系统进行优化是一项系统性的工程，需要技术人员对配电站系统有一个全面的认识。通过自动化原则优化措施、系统主站与通信技术等优化策略，利用新技术、新方法，对低压配电系统进行优化设计，使其满足时代发展的需要。通过综合的优化设计与实现，确保低压配电站系统的可靠性与安全性。EA

(收稿日期：2024-08-23)

参考文献

- [1] 左震. 考虑可再生能源波动性的储能电站系统容量配置策略[J]. 工程建设与设计, 2024, (12): 42-44.
- [2] 黄谋, 王智超. 基于分级管理架构的储能电站监控系统研究[J]. 工业控制计算机, 2024, 37(6): 111-113+149.
- [3] 张俊君, 汪伟. 多模式多路并网集装箱机组电站系统的设计[J]. 移动电源与车辆, 2024, 56(2): 12-16.
- [4] 郭新星, 张丙海, 宁毕忠. 某型弹炮结合武器电站系统故障分析与排除[J]. 移动电源与车辆, 2023, 54(4): 50-53.
- [5] 龚成林. PLC技术在船舶电站仿真系统中的教学应用[J]. 船电技术, 2023, 43(12): 62-66.
- [6] 洪增元, 钟福春, 杨春颖. 塔式光热电站系统保温和电伴热设计及选型[J]. 汽轮机技术, 2023, 65(4): 262-264.