

市政工程电气低压配电设计及应用

黄海

中誉设计有限公司西安分公司

摘要：在城市现代化进程中，市政工程项目对城市发展的层次起着决定性作用。特别是市政工程中的电气低压配电系统，其设计质量直接影响工程的顺利实施。本文旨在分析市政工程电气低压配电设计的基本原则，并探讨如何通过科学的方法提高其应用。

关键词：市政工程；电气设计；低压配电

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.100

引言：为提升配电系统的安全性与可靠性，必须对低压配电线路进行全面设计与升级。通过建立一个完整且具有针对性的配电线路系统，并对现有配电结构进行合理优化，可以有效提高市政工程电气系统的性能，从而显著增强其在社会和经济方面的综合效益。

一、市政工程电气低压配电设计常见问题

（一）局部等电位联结

局部等电位联结（LEB）的不当跨区域互联及其与结构钢筋的非正确连接，削弱了等电位联结系统的整体功能。这种做法容易导致故障电压在各区域间传播，从而增加了系统的安全风险。例如，在配电系统的某一区域发生接地故障时，故障电压可能通过互联的LEB系统传播至其他区域，甚至经由导电性的水管等传至更远的位置。此外，即便配电线路本身未发生故障，外露金属体带电时，人体若接触这些金属体，同样存在遭受电击的风险。另一方面，如果LEB未与结构钢筋正确连接，其防护效能将大为折损。一些设计误区在于仅将LEB与接地母排连接，然而这种方式在实际应用中往往无法在接地故障发生时保持稳定的零对地电位，实际电位可能远高于50V，带来严重的安全隐患。这种设计不足导致LEB的防雷接地功能未能达到预期效果，无法有效排除故障电流。

（二）特低电压照明线路保护

在处理特低电压照明线路（SELV）的设计时，设计师需要格外谨慎。通常，这些线路安置在特殊且空间受限的环境中，如电缆夹层，主要用于照明设备的配电。在SELV线路的设计中，为了增强系统的安全性，常在配电箱内部安装安全隔离变压器等设备。然而，实际设计中常见的问题是保护套管选择不当，这可能严重危害系统的安全。例如，一些设计人员错误地选用镀锌钢管或其他导电性金属套管来安装SELV线路。由于金属套管的导电性，一旦电气故障发生，可能导致电流泄漏，增加触电风险。此外，在通常空间有限且施工条件复杂的安装区域，SELV线路在施工过程中容易与其他管线发生接触，这不仅提升了施工难度，还增加了潜在的安全风险^[1]。

（三）配电箱进线开关电器选型

在配电箱进线开关电器的选型中，设计人员往往依赖于以往项目的经验进行选择，而忽视了针对具体项目的详细分析。例如，在低压配电系统设计中采用放射性架构时，继续使用传统的断路器可能会不适用。放射性架构要求电流能够从中心点向各个方向均匀分配，而传统断路器的使用可能导致系统保护层级和配电电缆截面积不必要地增加，同时，由于保护灵敏度不足，可能引发误动作或拒动现象。此外，断路器不正确的极数选择不仅可能干扰系统的正常运作，还可能增加发生断零故障的风险。例如，在地面配电箱进线段使用3P型断路器，或在双电源切换箱中使用4P型断路器，都可能在操作中产生潜在的安全风险。

（四）电涌保护器应用

在电涌保护器的设计阶段，通常会面临一些挑战，尤其是在试验波形的选择和脱离器型号的选定方面。首先，为确保电涌保护器的性能，需进行多种试验，如脉冲电流试验、额定放电电流试验和最大放电电流试验等。每项试验都需要使用恰当的波形来模拟特定的电涌场景。如果试验波形选取不合适，将无法准确评估电涌保护器在实际环境中的表现，也就无法确保其满足预定的保护标准。其次，关于脱离器型号的选择，错误的决策也是常见的问题。在许多早期的市政工程项目中，经常使用4P型断路器作为电涌保护器的脱离装置。这种类型的断路器由于受电压波动、环境温度变化等因素的影响，可靠性较低，有时可能会误动作，导致低压配电系统在遭遇电涌时缺乏有效保护，从而带来安全风险。此外，由于断路器内部含有电感线圈，当它们并联在电路中时，会提高系统的有效电压保护阈值，进一步减少断路器的可靠性和安全性。

（五）谐波污染

在低压配电系统中，广泛使用的非线性电气设备，例如节能灯具、变频器、电脑及打印机等，在运行过程中会产生谐波电流。这些电流或电压的频率为基波频率的整数倍，从而引发了所谓的谐波污染。谐波污染不仅对电力系统的稳定性和电气设备的安全运行构成影响，还可能缩短设备与配电线路的使用寿命、导致继电保护装置拒动或误动作，以及降低电能计量的精度。这些问题将增加系统的维护成本，并带来潜在的安全风险。谐波污染的主要来源包括但不限于节能荧光灯具、检修电源、软启动器以及弱电系统中的UPS电源。特别是节能荧光灯具，由于其电路内的电弧具有负阻特性，能够持续产生谐波电流，对电网造成污染。谐波的存在不仅降低了电能的质量，还可能导致电气设备过热、绝

缘材料老化，并可能引发保护装置的误操作。此外，谐波还可能对通信设备产生干扰，影响数据传输的稳定性和可靠性。

二、市政工程电气低压配电设计

（一）低压配电线路设计

在低压配电线路的设计初期，首要任务是确定线路的起止点。这一步骤不仅涉及技术层面的决策，还需综合考虑地区的地理环境、社会经济状态及未来的发展趋势。通过实地勘察，可以获得关于地形、周边建筑布局及主要交通路线的详细信息。确立了线路的起止位置后，接下来的任务是进行精细的路线规划。设计师需根据当地的实际电力需求和预测负荷进行线路的合理规划。在设计过程中，应特别注意线路是否会穿越高密度居民区或商业集中区，因为这些区域的特殊性可能带来安全隐患，并增加系统干扰的风险。对于低压配电线路而言，还需考虑环保因素，力求减少对环境的负面影响。在设计时，应避免生态敏感区域，并尽可能利用现有道路或设施来布置线路，以最小化对自然景观和生态系统的破坏。鉴于城市和技术的持续发展，电力系统设计还应具备一定的灵活性和扩展性。设计初期应预留未来可能的升级和改造空间，确保在未来可以便捷地对系统进行调整和升级，以适应持续变化的技术和市场需求。

（二）备用电源设计

在选择合适的备用电源时，确保控制机组的容量不超过1500kV是一个关键考虑因素，这有助于防止机组容量过大给系统带来额外的负担。设计备用电源的切换系统时必须确保其高效且可靠，以保证在主电源失效的情况下，能够在10秒内迅速启动备用电源。这种快速的响应时间可以显著减少停电的持续时间，确保市政服务和居民生活的连续性不受影响。此外，当电力从备用电源切换回主电源时，应设定30至60秒的延迟关闭时间。此设计意在避免电源切换过程中可能出现的负荷突变，从而平滑负荷变换过程，保护备用电源免受突发变化的影响，并增强整个电力系统的稳定性。对于备用电源的维护和测试，这也是确保其可靠性的一个重要方面。应定期进行系统维护和功能测试，以确保在紧急情况下备用电源能够顺利启动。这包括制定详细的维护计划和定期检查备用电源的性能，确保其始终处于最佳工作状态。

（三）接地系统设计

接地系统根据不同的需求和应用场景，主要可以分为IT系统、TT系统和TN系统，每种系统都具有其独特的应用优势和特定的设计要求。IT系统特别适用于对电力供应连续性要求极高的关键设施，如医院和数据中心。该系统采用高阻抗接地，使得在初次绝缘故障发生时，系统能够继续运行而不触发立即断电保护。这种设计虽然极大地提高了供电的可靠性，但相应地也要求较高级别的监控和维护，包括定期进行系统完整性检查和绝缘监测，以保证系统的安全稳定运行。TT系统则通过将每

个用电设备单独接地，并将公共中性点独立接地的方式来实现。这种设计简化了系统的设计和维护复杂性，使得故障电流可以直接流向地面，迅速触发保护设备来切断电源，有效地防止了电气故障可能引起的人身安全事故。TT系统更适用于对电力连续供应要求不高的环境，如普通住宅或小型办公场所。TN系统将保护导体（PE）和中性导体（N）合并或分开使用，形成了TN-C系统或TN-S系统。这种系统设计通过提供低接地阻抗和快速故障诊断能力，增强了整个电力系统的安全性。然而，TN系统的规划和实施需要进行精确的计算和高质量的施工控制，以确保系统的稳定性和安全性^[2]。

（四）漏电保护设计

首先，在挑选漏电断路器时，确保其符合国际及国内的电气安全标准是基本要求。为了保证在发生漏电时能够立即断开电源，防止事故发生，需要准确计算漏电断路器的安全阈值。在选择过程中，还应根据实际应用环境和设备需求，仔细考虑漏电断路器的额定电流和漏电动作电流等技术参数。此外，设计时应充分考量系统内的正常泄漏电流。由于所有电气设备在正常运行时都会产生一定的泄漏电流，设计需确保这些泄漏电流低于漏电保护器的触发电流，以避免因误操作而导致不必要的电源切断。这要求设计者对设备的泄漏电流特性有深入的理解，并在设计阶段进行充分考虑。在市政项目的低压配电系统中，应广泛安装漏电断路器，涵盖从常规的照明和插座电路到空调、电梯等关键设备。对于医院手术室、计算机房等需要更高安全级别的特殊环境，可能需要选择动作电流更低的专用漏电断路器，以提供额外的安全保护。安装漏电保护措施后，应立即执行全面的功能测试，确保每个漏电断路器都能在设定的漏电流值范围内有效地工作。

三、市政工程电气低压配电应用

（一）低压配电线路的安装

1. 保护设备的安装

保护装置的基本功能是在电路出现异常情况，如短路或过载等电气故障时，能够迅速中断电路，避免对电网及其连接设备造成损害。熔断器是低压配电线路中常用的一种保护设备，其主要作用是在检测到电路异常时迅速切断电源，防止故障的进一步扩散。熔断器的类型包括空气断路器等，它们通常具备塑料或金属外壳，能有效抵御物理冲击和环境影响，确保设备的长期稳定性。在电力系统中，空气断路器通常安装在主电路中，起着核心的保护作用。空气断路器在主路和分路上承担不同的保护职责。在主路上，其主要目的是防止整个系统的过载和短路；而在分路上，则主要用于保护连接至该线路的具体设备，例如电动机和变压器等，防止由于电流过大而导致设备损坏或引发火灾。此外，选择合适的保护设备应根据电路的具体需求和负载特性来决定，例如对于高负载的电路，可能需要选择断流能力更强的熔断器。最后，应定期对保护设备进行检测，确保它们

在关键时刻能够可靠地执行保护功能。

2. 母线槽的安装

母线槽优势在于其能够高效地将电力分配至系统的多个节点，显著提升了系统的性能与可靠性。在母线槽的安装过程中，工作人员需对母线槽的设计与安装要求有深入的理解，以选择最适合的设计方案并予以实施。这涉及对母线槽的结构、尺寸和连接方式的精确把握。安装前进行全面的母线槽组件检查是必要的步骤，确保组件无任何缺陷或损伤，以保障安装工作的顺利进行。为确保安装的精确性，必须精确标记母线槽的安装位置，此举有助于避免在连接过程中出现的对接错误。安装时应严格按照设计规范操作，特别是母线槽经过交叉或设计较复杂区域时，应选用适当的桥架方案以防电磁干扰，确保电力系统的稳定运行。桥架的安装是电力系统构建中的关键步骤。安装前，应进行详细的放线和位置标记，确保桥架的各部分能准确安装。施工人员需根据现场具体条件和空间布局选择最合适的安装方式。对于垂直安装的桥架，选择高质量的型钢并进行加固。这可以增强桥架的整体稳定性和耐用性。同时，允许桥架适度弯曲以适应复杂或不规则的建筑结构，但弯曲程度应根据现场实际情况和设计要求进行精确调整。

3. 变压器的安装

在安装变压器之前，工作人员需执行严格的数据核对，确保所选变压器满足特定项目的需求。关键是验证变压器的种类、容量、电压等级以及其他重要性能参数，以确保系统匹配并防止因设备选型不当导致的效率降低或安全隐患。同时，对变压器的外观也应进行细致的检查。安装团队必须检验变压器是否存在漏油、裂纹或其他物理损伤，这些损害可能影响变压器的性能和内部结构，从而影响整个配电系统的运行效率。发现的任何问题都应立即报告并得到及时解决。设备检查阶段还应特别注意基础的准确位置和环境适应性。这包括确保电线布置在预定位置，以及变压器的放置位置是否有利于其温度控制。这些细节是保证变压器长期稳定运行的关键因素。在确认所有这些条件均已满足后，便可开始进行变压器的实际安装。安装过程中，必须严格遵守操作程序和安全标准，使用适当的工具和设备以确保安装工作进行顺利。安装完成后，还需执行一系列的测试，如电压测试和负载测试，以验证变压器的功能是否完全符合设计规格。这一系列周密的准备和检查步骤，极大地提高了低压配电系统的可靠性和效率，确保了电力系统能够安全、稳定地为终端用户提供服务^[3]。

(二) 低压配电线路的调试

1. 二次回路的调试

首先，确保所有接线连接处的螺丝经过仔细检查并紧固，是预防在调试过程中螺丝松动或脱落的关键措施。这直接关系到调试效果和系统的稳定性。同时也确保了电气连接的连续性。其次，确保电路的电阻值不低于 $0.6\text{M}\Omega$ ，可以保证电路具有足够的绝缘性能，避免未

来可能出现的短路或漏电问题。通常使用万用表等专业工具来进行电阻测量，这为技术人员提供了关于电路状态的准确数据。使用万用表对二次回路中的各种模块及子组件进行检测，可以有效地识别并解决潜在的问题，例如故障组件或电路板问题，并及时进行修复或更换，从而提高系统的整体性能和可靠性。为确保调试结果的准确性，模拟系统运行时的环境条件，如温度、湿度和电气负载等，确保系统在实际运行环境中的表现符合预期，同时预测并解决可能的问题。最后，整个调试过程应详细记录，包括执行的步骤、遇到的问题、采取的解决措施以及调试的最终结果。这些详尽的记录不仅有助于未来的系统维护和修理，也为问题追踪提供了重要依据。

2. 继电器的调试

电力企业在维护其系统的持续安全运行中，必须确保继电器的调试与运行达到最高标准。继电器的调试流程应从外部检查开始。首先，确保继电器表面干净无灰尘或杂质，以防这些外部因素影响其性能。其次，检查继电器的外部玻璃和其他材质部件是否完整无损，因为损坏可能会导致内部元件暴露，从而影响功能。此外，所有连接螺栓必须紧固，以防止因振动或外力作用导致的内部结构损坏。在调试过程中，一旦发现问题，应立即执行全面和系统的检测，包括但不限于电气性能测试、绝缘抵抗测试及操作响应时间测试。这些测试能够确保继电器的各项功能正常运作，从而保障系统的可靠性。此外，调试继电器的目的不仅是解决现有的问题，更重要的是预防未来可能出现的故障。因此，调试过程中遇到的每一个问题都应进行详细记录和总结。这种做法不仅有助于未来对类似问题的迅速响应，也是优化维护流程和提升系统可靠性的关键环节。

结语：在中国经济迅速发展的大背景下，各种市政工程纷纷兴起，其中低压配电线路作为基础设施的重要组成部分，确保配电系统的整体稳定性。因此，加强低压配电线路的设计与应用，不仅对提升配电系统的运行效率具有重要意义，同时也对提高电力服务的整体质量起到了关键作用。

参考文献

- [1] 张振宇, 林菁. 智慧城轨建设中的低压配电系统设计[J]. 现代建筑电气, 2022, 13(6): 23-28.
- [2] 谢荣斌, 杜帆, 程湘, 等. 三相不平衡及谐波对三相四线低压配电网线损的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(21): 22-30.
- [3] 牛小东, 谢晓斌, 谢晓玲, 等. 熔断器预热转换装置的设计及其分断能力验证[J]. 中国测试, 2019, 45(5): 116-120.

作者简介: 黄海(1985年08月07日), 性别: 男, 籍贯(陕西省西安市), 民族(汉), 学历: 本科, 职称: 电气设计工程师, 研究方向: 电气工程。