

电气工程中接地系统设计的基本原则与常见误区

张宝杰

中国铁路哈尔滨局集团有限公司牡丹江供电段 黑龙江 牡丹江 157000

摘要: 本文旨在系统阐述电气工程中接地系统设计的基本原则,深入剖析常见的认知与实践误区,并结合现代技术发展趋势,提出优化设计策略。文章首先厘清接地的概念与核心功能,继而详细论述安全性、功能性、等电位联结、低阻抗路径、防腐性及可维护性六大基本原则。随后,重点剖析“接地电阻越小越好”、“零线可替代地线”、“共用接地即简单连接”等十大典型误区,揭示其潜在风险。最后,结合智能建筑与新能源接入等新场景,探讨接地系统设计的未来发展方向,为工程技术人员提供理论参考与实践指导。

关键词: 接地系统; 电气安全; 等电位联结; 接地电阻; 雷电防护

引言

在电气工程领域,接地系统虽不显眼,却如灯塔般守护着电力系统安全、稳定、高效运行。从家庭插座到超高压变电站,再到数据中心服务器机柜,都依赖科学、合理的接地网络。接地蕴含深刻物理原理、严谨工程逻辑和丰富实践经验,但常因“基础性”和“普遍性”被轻视或误解。部分设计人员仅满足于规范最低要求,施工人员可能敷衍了事,运维阶段也常被忽视,直至故障发生。这些认知偏差与操作失误是电气安全事故的重要诱因。随着智能电网、新能源发电、5G通信及物联网技术发展,电气系统复杂性和敏感性提升,对接地系统提出更高、更精细要求,传统设计理念与方法面临新挑战。因此,重新审视并深刻理解接地系统设计原则,规避常见误区,是当代电气工程师必备素养,本文将就此展开论述。

1 接地系统的基本概念与核心功能

1.1 基本定义

在电气工程中,“接地”(Grounding/Earthing)是指将电气装置的某一部分通过导体与大地(Earth)进行有意的、低阻抗的电气连接。这里的“大地”被视为一个具有无限吸收或提供电荷能力的公共参考点,其电位通常被定义为零电位。

1.2 核心功能

接地系统是集多种关键作用于一体的综合保障体系。其最根本功能是保障人身安全,电气设备绝缘损坏形成危险接触电压时,良好接地系统能提供低阻抗返回路径,让保护装置迅速动作切断电源,避免人员伤亡。同时,它可保护设备与系统,为雷电、操作过电压及故障电流提供泄放通道,防止设备绝缘被击穿,维持电力系统稳定。此外,接地系统提供系统参考电位,功能性接地为

电子、通信等系统提供统一零电位参考点,确保信号完整准确、系统可靠运行。它还能保障电磁兼容性,优良的接地系统尤其是等电位联结网络,可抑制共模噪声、减少电位差,为屏蔽层提供泄放路径,构建“干净”电磁环境,保证系统协同工作。

2 接地系统设计的基本原则

2.1 安全性优先原则

一切接地设计的出发点和落脚点都必须是保障人身安全。这意味着设计必须严格遵循国家及行业相关安全规范(如中国的GB 50057《建筑物防雷设计规范》、GB/T 50065《交流电气装置的接地设计规范》等)。设计需确保在任何可预见的故障情况下,接触电压和跨步电压均不超过安全限值,并能可靠驱动保护装置动作。安全裕度应被充分考虑,不能仅仅满足于理论计算的临界值。

2.2 功能性与安全性分离与协同原则

在复杂的现代建筑(尤其是信息机房、医疗场所、工业控制中心)中,往往同时存在保护性接地(PE)和功能性接地(FE)的需求。两者的目标不同:前者关注大电流故障下的安全,后者关注微弱信号的稳定。理想的设计是在物理上或电气上对二者进行适当分离,以避免大故障电流干扰敏感的信号回路^[1]。但在同一建筑物内,为防止危险的电位差,所有接地系统(包括防雷接地、保护接地、工作接地)最终必须在一点或多点进行等电位联结,实现“分而治之,合而为一”的协同效应。

2.3 等电位联结原则

这是现代接地设计中最核心、也最容易被忽视的原则。等电位联结是指将建筑物内所有可导电部分(包括金属管道、结构钢筋、设备外壳、电缆屏蔽层等)通过导体相互连接,并最终与接地装置相连,使它们在故障或雷击等瞬态事件下保持相近的电位。其目的不是为了

将电流导入大地，而是为了消除或极大减小不同导体之间的危险电位差，从而防止电击和内部电弧。一个低接地电阻的接地极，若缺乏完善的等电位联结，依然无法保证安全。可以说，等电位联结是接地系统的“神经网络”，而接地极只是其“终端”。

2.4 低阻抗、短路径原则

无论是用于泄放故障电流还是雷电流，接地路径都必须具备足够低的阻抗（不仅包括电阻，还包括感抗）。对于高频的雷电流而言，感抗（ $X_L = 2\pi fL$ ）的影响尤为显著。因此，接地导体应尽可能短、直、粗，并避免锐角弯折，以减小电感。多根并联的垂直接地极比单根长接地极更能有效降低高频阻抗。此外，接地干线应形成网格状或环形结构，以提供多条并联的低阻抗路径。

2.5 耐久性与防腐蚀原则

接地装置深埋地下或暴露于潮湿环境中，长期承受电化学腐蚀。一旦腐蚀导致截面积减小或连接点断开，接地系统将失效。因此，必须根据土壤的电阻率、酸碱度（pH值）、含盐量等特性，选择合适的接地材料（如镀锌钢、铜包钢、纯铜、石墨等）和防腐措施^[2]。焊接或可靠的机械连接（如放热焊）是保证连接点长期低阻抗的关键。设计时应考虑接地装置的预期使用寿命，并预留一定的腐蚀裕量。

2.6 可检验与可维护性原则

一个无法被有效检测和维持的接地系统，其可靠性是存疑的。设计时应在关键位置（如接地干线引出点、主要设备接地点）设置测试端子或断接卡，以便定期测量接地电阻、检查连接状况。接地网络的布局应清晰、有标识，便于未来的检修、改造和扩容。

3 接地系统设计中的常见误区剖析

3.1 误区一：“接地电阻越小越好”

这是一个流传甚广但极具误导性的观点。诚然，较低的接地电阻有助于故障电流的快速泄放，但“越小越好”忽略了成本效益和实际需求。例如，一个普通的居民楼，将接地电阻从 4Ω 降到 1Ω ，其安全边际的提升微乎其微，但施工成本和材料消耗却可能成倍增加。更重要的是，对于雷电防护和信息系统而言，单纯的低工频接地电阻并不能解决高频下的电位差问题，此时等电位联结的有效性远比接地电阻值重要。设计应追求“足够好”而非“绝对小”，即满足规范要求 and 具体应用场景的安全裕度即可。

3.2 误区二：“零线（N）可以替代地线（PE）”

这是最危险的误区之一。在TN-C系统中，PEN线（保护中性线）确实兼具零线和地线的功能，但这是一种

已被逐步淘汰的高风险系统。在现代普遍采用的TN-S或TN-C-S系统中，零线（N）在正常工作时是流过不平衡电流的，其对地电位并非绝对为零，尤其是在三相负载不平衡或线路较长的情况下，零线上会产生压降。如果用零线代替地线，一旦零线在前端断开，所有接“地”设备的外壳将直接带上相电压，造成灾难性后果。保护地线（PE）在正常情况下是不流过电流的，其唯一使命就是在故障时提供安全通路。

3.3 误区三：“共用接地就是把所有地线简单接到一个点上”

共用接地的理念是正确的，旨在消除电位差。但其精髓在于“等电位联结”，而非简单的物理汇聚。如果只是将防雷地、保护地、工作地的引下线胡乱拧在一起接到同一个接地棒上，这非但不能实现等电位，反而可能在雷击时将数万伏的高压引入室内，通过工作地线摧毁所有电子设备^[3]。正确的做法是建立一个共用的接地基准点（如MEB总等电位端子箱），所有外部接地系统（如防雷）通过SPD（电涌保护器）隔离后，再与内部的等电位网络连接，确保内部系统只感受到一个被钳位后的安全电位。

3.4 误区四：“利用建筑基础钢筋做接地体就万事大吉”

利用建筑物基础内的钢筋作为自然接地体是一种经济高效的办法，也被规范所推荐。但这绝不意味着可以高枕无忧。必须确保基础钢筋形成了有效的电气贯通，并通过焊接或专用连接件与引下线可靠连接。许多工程中，基础钢筋之间仅靠绑扎丝连接，其接触电阻极高，在大电流冲击下极易熔断，导致接地失效。此外，还需考虑混凝土的电阻率、钢筋的防腐涂层等因素，并进行必要的测试验证。

3.5 误区五：“接地线越长越好，可以绕着走”

此观点完全违背了低阻抗、短路径原则。长而弯曲的接地线会引入巨大的电感。对于陡度极大的雷电流（ di/dt 可达数十 $kA/\mu s$ ），即使是很小的电感也会产生极高的感应电压（ $V = L \cdot di/dt$ ），足以击穿设备绝缘。接地线应遵循“最短直线距离”原则，任何不必要的盘绕都是对安全的亵渎。

3.6 误区六：“接地做完就一劳永逸，无需维护”

接地系统是动态变化的。土壤湿度、化学成分的变化会影响接地电阻；腐蚀会削弱导体；施工活动可能无意中断开接地连接。定期（如每年雷雨季节前）使用专业仪器（如钳形接地电阻测试仪）进行检测，是确保接地系统长期有效的必要手段。许多重大事故的根源，正是源于对接地系统“建而不管”的态度。

3.7 误区七：“独立接地是最好的”

在过去，为防止干扰，常为计算机、通信设备设置独立的“干净地”。然而，这种做法在雷电或附近有大功率设备启停时，会在不同接地系统间产生数千伏的电位差，极易通过信号线造成设备损坏^[4]。现代标准（如IEC62305）已明确反对独立接地，强力推行共用接地网下的等电位联结策略。通过合理的布线、屏蔽和SPD配合，完全可以解决干扰问题，同时获得更高的安全性。

3.8 误区八：“接地电阻合格，系统就安全”

接地电阻测试通常使用低频（如128Hz）信号，反映的是工频下的性能。但对于雷电（高频）或信息系统（高频噪声）而言，接地系统的高频阻抗才是关键。一个工频电阻合格的接地网，若结构松散、连接不良，其高频性能可能极差。因此，除了测电阻，还应关注接地网的整体结构、连接质量和等电位联结的完整性。

3.9 误区九：“接地扁钢/圆钢的截面越大越好”

导体截面的选择需根据其需要承载的最大故障电流或雷电流的热稳定性和动稳定性来计算确定。盲目增大截面不仅浪费材料，增加成本，而且在某些情况下（如高频下），由于趋肤效应，大截面实心导体的效果可能还不如多股绞线或空心管。设计应依据规范进行精确计算，做到恰到好处。

3.10 误区十：“农村或偏远地区可以简化接地”

无论地域，人身安全的标准是统一的。农村地区的TT系统（设备外壳单独接地）对本地接地电阻的要求甚至更为严格（通常要求 $\leq 4\Omega$ ），因为其故障电流较小，更依赖于低接地电阻来保证保护装置的动作灵敏度。简化接地等于放弃安全底线，是绝对不可接受的。

4 现代工程背景下接地系统设计的新挑战与展望

面对日新月异的技术发展，接地系统设计也在不断演进。（1）智能建筑与数据中心：这类场所集成了大量高灵敏度的IT、OT设备，对接地的EMC性能要求极高。设计趋向于采用网格型（MESH）基准接地平面（BEP），将所有设备机柜、线槽、屏蔽层都连接到这个低阻抗平面上，实现卓越的等电位和噪声抑制效果。（2）新能源接入：

分布式光伏、风电等新能源系统引入了新的接地点和复杂的电流路径。逆变器的高频开关噪声、直流侧的接地方式（如是否接地）都给传统接地设计带来挑战。需要特别关注直流接地与交流接地的协调，以及逆变器机壳接地的可靠性。（3）材料与技术的创新：新型降阻材料（如膨润土、导电水泥、非金属接地模块）的应用，可以在高土壤电阻率地区有效降低接地电阻。放热焊接技术因其分子结合、永不松脱、耐大电流冲击的特性，正逐渐取代传统的螺栓连接和普通电焊。（4）数字化与智能化：未来，接地系统有望集成传感器，实现对接地电阻、连接点温度、腐蚀状态的在线实时监测，变被动维护为主动预警，极大提升系统的可靠性和运维效率。

5 结语

电气工程中的接地系统设计，是一项融合了物理学、材料学、安全工程和系统工程综合性技术。它绝非简单的“打个地桩、接根线”那般粗浅。深刻理解并恪守安全性、功能性、等电位联结、低阻抗路径等基本原则，是设计成功的前提。同时，必须时刻警惕并坚决摒弃那些根深蒂固的工程误区，因为每一个误区背后都可能潜藏着致命的风险。随着技术的进步，接地系统的内涵和外延都在不断丰富。未来的接地设计将更加注重系统性、智能化和全生命周期管理。唯有秉持严谨的科学态度，紧跟技术前沿，才能构建起真正坚实、可靠、智能的“大地之锚”，为现代社会的电气化、信息化和智能化进程保驾护航。电气工程师们应当铭记：在安全面前，任何对接地的轻视与妥协，都是不可饶恕的失职。

参考文献

- [1]周正桂.建筑电气设计中的接地技术分析[J].低碳世界,2025,15(06):96-98.
- [2]鞠永杰.电气设备防雷接地系统的优化设计与应用研究[J].仪器仪表用户,2024,31(12):28-30.
- [3]韩海宁.试论电气设计中保护接地与等电位连接[J].电气技术与经济,2023,(01):168-171.
- [4]周彬,丁杰,郝鹏超.建筑电气工程设计及施工中的接地问题思考[J].建筑电气,2022,41(02):27-32.