

Optimization of lightning protection and grounding technology for coal mine power supply system

Li'e Li

Shaanxi Zhongneng Coalfield Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract

The power supply system in coal mines serves as the “lifeline” of mining operations, providing stable electricity for critical underground equipment such as mining, ventilation, and drainage. Its operational reliability directly impacts production safety, efficiency, and personnel safety. Coal mining environments are inherently challenging, with most mining areas located in open terrain. Underground spaces are confined, damp, and dusty, often containing flammable and explosive gases. Power lines must traverse complex terrains and endure prolonged exposure to harsh natural conditions. Lightning, a powerful natural discharge phenomenon, can invade the power system through direct strikes or induced currents, damaging electrical equipment and causing power outages. In severe cases, it may ignite gas or coal dust, potentially triggering major safety accidents.

Keywords

Coal mine power supply system; Lightning protection grounding; Grounding resistance; Technical optimization; Surge protector

煤矿供电系统防雷接地技术优化

李利娥

陕西中能煤田有限公司, 中国·陕西 榆林 719000

摘要

煤矿供电系统是煤矿生产的“生命线”，承担着为井下采掘、通风、排水等核心设备提供稳定电力的职责，其运行可靠性直接关系到生产安全、效率及人员人身安全。煤矿生产环境特殊，多数矿区地处开阔地带，井下空间密闭、潮湿多尘且存在易燃易爆气体，供电线路需跨越复杂地形，长期承受恶劣自然环境侵蚀。雷电作为强烈自然放电现象，会通过直击、感应等方式侵入供电系统，损坏电气设备、引发供电中断，严重时还会引燃瓦斯煤尘，诱发重特大安全事故。

关键词

煤矿供电系统；防雷接地；接地电阻；技术优化；浪涌保护器

1 引言

接地系统是防雷保护的核心，与防雷装置协同将雷电电流导入大地，降低过电压冲击并保障设备安全电位。随着煤矿智能化升级，大量耐压低、抗干扰弱的电子设备广泛应用，对防雷接地可靠性提出更高要求。但部分矿区沿用传统技术，存在接地电阻超标、装置配置不合理、接地体腐蚀、维护不到位等问题，防护效能不足，给供电安全埋下重大隐患。

2 煤矿供电系统防雷接地现状及存在的问题

2.1 煤矿供电系统结构及防雷接地核心需求

煤矿供电系统由地面变电所、井下中央变电所、采区变电所及各类配电线路、用电设备组成，形成“地面-井下”

一体化网络。地面变电所作为枢纽，负责电能接收、变换与分配；井下中央变电所转换电压后，通过采区变电所分配至各用电设备；配电线路涵盖架空线与电缆线，是电能传输核心载体。

防雷接地核心需求体现在两方面：一方面是防雷保护，抵御各类雷电灾害，防止设备损坏与供电中断；另一方面是接地保护，将设备金属部分接地，降低外壳对地电压，防止触电并为继电保护提供可靠信号。此外，瓦斯抽放站等易燃易爆区域，防雷接地需满足防火防爆要求；井下潮湿腐蚀环境，需保证接地系统长期导电良好，符合接地电阻标准。

2.2 防雷接地现状

目前，煤矿防雷接地主要采用“直击雷防护+感应雷防护+接地网”模式：地面建筑物安装避雷针、避雷带；架空线路架设避雷线、安装避雷器；井下通过电缆屏蔽层接地、主辅接地极连接实现防护；接地网采用扁钢、圆钢与垂直接地极组合敷设。

部分大型矿区已引入智能化监测设备，实现动态监测

【作者简介】李利娥（1985—），中国陕西榆林人，工程师，从事煤矿机电研究。

与故障预警，但多数矿区仍停留在传统水平，尤其是中小型矿区受资金技术限制，设计、施工、维护存在诸多不足，难以适应智能化生产与复杂雷电环境需求。

2.3 存在的主要问题

2.3.1 防雷装置配置不合理，防护存在盲区

部分煤矿防雷装置设计未结合矿区雷电规律、地形设备特点，存在防护盲区。例如，瓦斯抽放站采用独立避雷针，引雷时产生的电弧高温易引燃瓦斯，且部分避雷针与排气筒距离过近，隐患突出；架空线路避雷线间距过大、高度不足，终端分支处未装避雷器，雷电波易侵入变电所；井下电缆屏蔽层接地不规范，接头处屏蔽层断裂，无法抑制感应雷过电压。

此外，智能化电子设备未配置专用浪涌保护器（SPD）或型号不匹配，雷电感应产生的浪涌电流无法有效泄放，易导致设备死机、烧毁，影响生产连续性。

2.3.2 接地系统设计不完善，接地电阻超标

接地电阻是核心指标，不同设备有明确标准，但多数矿区存在超标问题：第一点是接地网设计未结合土壤电阻率，高电阻率区域仍采用传统扁钢接地网，未采取降阻措施；第二点是接地体选用普通钢材，在潮湿腐蚀环境中易老化，截面减小、导电下降，加剧电阻超标；第三点是施工不规范，水平接地体埋深不足、垂直接地极插入不够，焊接质量差，接地网导电性能不佳、电阻不稳定。

2.3.3 接地体腐蚀老化严重，使用寿命短

井下环境潮湿多尘，含有大量腐蚀性气体，地面接地体长期埋地受土壤因素影响，易发生电化学与物理腐蚀。部分矿区未采用耐腐蚀材料，普通接地体使用3-5年即严重腐蚀甚至断裂；镀锌钢材在井下强腐蚀环境中，镀锌层快速脱落，防腐失效。同时，接地体维护不到位，未定期除锈防腐、更换损坏部件，导致接地系统性能持续下降^[1]。

3 煤矿供电系统防雷接地技术优化原则

防雷接地技术优化需结合煤矿生产特殊性与供电需求，遵循“安全性优先、可靠性适配、经济性合理、适用性贴合、系统性统筹”原则，确保防护有效、运行稳定，兼顾施工可行性与成本控制。

3.1 安全性优先原则

将安全性放在首位，充分考虑雷电灾害危害，尤其是易燃易爆区域，避免采用易引发电弧高温的防护方式，防止安全事故；确保设备外壳对地电压在安全范围，保障人员安全与系统防护效能。

3.2 可靠性适配原则

优化系统需与供电运行模式、设备配置适配，抵御雷电与环境影响。智能化设备配置专用SPD，井下接地系统选用耐腐蚀材料，防雷装置结合雷电规律配置，确保防护无盲区。

3.3 经济性合理原则

兼顾技术与经济性，避免盲目追求高端方案。结合矿区实际选择高性价比材料设备，优先采用成熟低成本措施；中小型矿区可分阶段改造，优先解决突出问题，降低投资与维护成本。

3.4 适用性贴合原则

因地制宜制定优化方案，高土壤电阻率矿区重点采取降阻措施，高瓦斯矿区用防雷构架替代独立避雷针，架空线路多的矿区优化避雷线与避雷器配置，适配不同矿区特点^[2]。

4 煤矿供电系统防雷接地技术具体优化措施

4.1 直击雷防护技术优化

直击雷防护核心是避免雷电直接击中设备与建筑物，结合不同区域特点采取针对性措施，消除盲区、提升效能。

4.1.1 地面建筑物直击雷防护优化

普通建筑物优化避雷针、避雷带配置：根据建筑高度体型确定避雷针位置高度，确保防护全覆盖；避雷带采用镀锌钢材沿屋顶敷设，与避雷针可靠连接形成防护网，引下线间距控制在20-30米，与接地网有效连接。

易燃易爆场所摒弃独立避雷针，采用防雷构架+上层避雷网，设置侧向防绕击避雷线；接地装置外引至站外安全区域，避免电弧引燃易燃易爆物质。矿井口、抽风口设置8-12米高避雷针，引下线选用耐腐蚀材料，确保接地电阻达标。

4.1.2 地面架空线路直击雷防护优化

35kV及以上高压线路全线架设双避雷线，合理确定高度间距，确保屏蔽导线；10kV及以下线路根据雷电频率，在主干线、终端等关键部位架设避雷线或安装金属氧化物避雷器，其参数与线路电压匹配，接地电阻控制在10Ω以内，定期检查更换。同时优化线路路径，避开雷电频发区域，加强巡检修复破损部件。

4.2 感应雷防护技术优化

4.2.1 电源线路感应雷防护优化

煤矿电源线路多采用TT制，需选用定制SPD适配系统特性。地面与井下变电所配电装置均安装对应等级SPD，高压侧装金属氧化物避雷器，低压侧装低压SPD，形成多级防护。SPD安装于进线端及靠近用电设备处，接地端与接地网可靠连接，电阻达标。同时优化布线，避免线路过长弯曲，高压与低压线路分开敷设，间距不小于1米。

4.2.2 信号线路感应雷防护优化

信号线路选用适配的信号SPD，安装于进出线端，参数与信号频率强度匹配，避免影响传输质量，接地端可靠接地。采用屏蔽电缆传输，屏蔽层两端接地电阻控制在1Ω以内；信号与电源线路分开敷设，设备安装于屏蔽罩内，提升抗干扰能力。

4.2.3 电缆线路感应雷防护优化

井下电缆防护重点：一是优化屏蔽层接地，确保两端及接头处连接良好；二是电缆沟内敷设接地扁钢，将支架、

屏蔽层与之连接形成等电位体；三是电缆进线端安装避雷器与SPD，抑制雷电波侵入。定期检查修复电缆及接头，更换老化腐蚀部件，避开强腐蚀区域或采取防腐措施^[3]。

4.3 接地系统技术优化

接地系统优化重点是降低电阻、提升耐腐蚀性能、完善设计，确保长期稳定运行。

4.3.1 接地网设计优化

结合土壤电阻率设计：低电阻率区域采用水平与垂直接地极组合接地网，水平接地体埋深不小于0.8米；高电阻率区域换填降阻材料；极高电阻率区域采用深井接地，确保电阻达标。构建“主接地极+局部接地极”联合网，主接地极采用耐腐蚀钢板设于井底水仓，局部接地极设于关键区域，定期检测更换，两者可靠连接形成统一接地网。优化接地网布置，确保焊接质量，避免碰撞损坏。

4.3.2 接地体材料优化

摒弃普通钢材，地面选用镀锌钢、铜包钢等耐腐蚀材料，使用寿命可达10-15年；井下选用不锈钢等适配潮湿腐蚀环境的材料；易燃易爆区域选用铜质接地体，降低安全隐患。合理确定截面尺寸，表面涂抹防腐涂层，定期除锈防腐、更换损坏部件，确保导电稳定。

4.3.3 降阻措施优化

采用多种降阻措施结合：安装电解离子接地极，定期补充离子确保效果；采用多极接地增加接地面积；利用自然接地体与人工接地网连接，降低成本。定期检测电阻，根据结果调整措施，土壤干燥区域可浇水保湿辅助降阻。

4.4 等电位连接优化

将地面变电所、井下硐室等区域所有金属设备、构架、电缆屏蔽层等通过接地导体可靠连接，形成等电位体，消除雷击时电位差；易燃易爆区域重点做好金属管道、设备接地；电源与信号线路金属保护管与设备、接地网连接，提升抗感应雷能力。确保连接可靠，定期检查修复连接部位^[4]。

4.5 智能化监测与维护管理优化

4.5.1 智能化监测系统优化

构建“无线传感网络+边缘计算”监测系统，在关键部位安装传感节点，实时采集接地电阻、设备绝缘等参数，传输至监控中心分析预警。引入先进检测设备，采用光纤或4G/5G传输数据，建立共享机制，实现与供电系统监控数据一体化管理。

4.5.2 维护管理体系优化

建立完善维护体系，明确专人负责，制定定期检查检测制度，建立维护档案，实现全生命周期管理。加强员工培训，建立应急处置机制，定期开展演练。加强与专业机构合作，引进先进技术设备，加大防雷安全宣传，提升全员安全意识。

5 工程应用案例

5.1 工程概况

某高瓦斯矿区设计产能120万吨/年，井田面积18平

方公里，地处山区，年平均雷电日45天，采用三级供电模式，配备2台12500kVA主变压器，供电线路含35kV架空线8km、10kV架空线15km、井下电缆30km^[5]。

该矿区原有防雷接地系统隐患突出：瓦斯抽放站用独立避雷针，接地电阻普遍超标（地面15Ω、井下8Ω），接地体腐蚀断裂，防雷装置配置不合理，监测维护落后，每年因雷电引发供电中断不少于3次，损失较大。

5.2 优化方案实施

结合矿区实际，按本文优化原则与措施，开展6个月全面改造，核心内容包括：

（1）直击雷防护：拆除瓦斯抽放站独立避雷针，采用防雷构架+避雷网，接地外引50米；优化建筑物与线路防雷装置配置，矿井口设置10米高避雷针。

（2）感应雷防护：各变电所安装定制SPD，信号线路配置适配SPD，优化电缆屏蔽层接地与进线端防护。

（3）接地系统：构建联合接地网，地面变电所换填降阻材料、安装电解离子接地极，井下采用耐腐蚀主辅接地极，更换腐蚀接地体，优化焊接与埋深。

（4）等电位连接：将各区域金属构件可靠连接，形成等电位体。

5.3 优化效果验证

优化后跟踪监测1年，效果显著：（1）接地电阻达标，地面降至4Ω、井下≤1Ω、易燃易爆区域≤10Ω；（2）雷电灾害发生率降至0，无供电中断事故，易燃易爆区域隐患消除；（3）供电设备故障率下降85%以上，电子设备运行稳定；（4）维护管理效率提升60%，维护成本降低。实践证明，优化方案可行有效，具有良好应用推广价值。

6 结语

当前煤矿防雷接地存在装置配置不合理、电阻超标、接地体腐蚀、维护不健全、规范执行不到位等问题，隐患突出；优化需遵循五项原则，从直击雷、感应雷、接地系统、等电位连接、监测维护五方面全面推进；针对性优化措施可有效提升防护效能；工程案例验证了优化方案的可行性与有效性，能满足煤矿安全生产需求。

参考文献

- [1] 贺立强.煤矿供电系统防越级跳闸与漏电保护方法研究[J].煤炭新视界,2025,(02):259-261.
- [2] 刘亮亮.煤矿供电系统防越级跳闸保护系统开发实践研究[J].西部探矿工程,2025,37(09):66-68.
- [3] 辛磊.煤矿供电系统变压器低压侧防雷优化设计研究[J].能源与节能,2025,(08):73-75.
- [4] 许祥贇.煤矿供电系统防越级跳闸系统设计[J].凿岩机械气动工具,2025,51(04):14-16.
- [5] 史昱龙.煤矿供电系统防越级跳闸的设计与研究[J].能源与节能,2024,(08):51-53+275.