

# 高海拔重雷区配电网综合防雷研究

尼 平, 张永华, 达娃伦珠, 董智华, 石成仁

(国网西藏电力有限公司拉萨供电公司, 西藏 拉萨 850000)

**摘要:** 为解决西藏地区配电网防雷困难的问题, 开展了重雷区配电网综合防雷的研究。首先分析了当前防雷技术措施存在的问题以及整治方法, 设计了一套综合防雷的技术方案。通过选取合适的避雷器、加装雷击计数器以及并连接地体的一系列手段进行防雷, 降低配电网雷击故障率。其次, 开展试点防雷工作, 验证所提方案的有效性, 并根据现场应用过程中存在的问题进行了防雷方案的改进, 研发了接地开关与跌落式避雷器二合一装置, 有效提升了西藏地区配电网防雷性能。

**关键词:** 配电网防雷; 避雷器; 并连接地体

## Research on comprehensive lightning protection of distribution network in high altitude heavy mine area

NI Ping, ZHANG Yonghua, DA Walunzhu, DONG Zhihua, SHI Chengren

(Lhasa Power Supply Company of State Grid Tibet Electric Power CO., Ltd., Lhasa 850000, China)

**Abstract:** To solve the problem of the difficulty of lightning protection for the distribution network in Tibet, the research on comprehensive lightning protection for the distribution network in heavy mine areas has been carried out. First the existing problems of current lightning protection technical measures and rectification methods is analyzed, and a set of comprehensive lightning protection technical solutions is designed. A series of measures such as selecting appropriate lightning arresters, installing lightning strike counters and parallel grounding bodies are used for lightning protection and reduce the lightning failure rate of the distribution network. Second, carry out pilot lightning protection work to verify the effectiveness of the proposed scheme, and improve the lightning protection scheme based on the problems in the field application process, and develop a grounding knife and drop arrester two-in-one device, which effectively improves the Tibet area Lightning protection performance of distribution network.

**Key words:** lightning protection of distribution network; lightning arrester; parallel grounding body

## 0 引言

随着居民生活水平的提高, 电力供应可靠性对于人们来说显得越来越重要, 因此保障配电网线路可靠性具有十分重要的意义。除去设备运行老化因素导致设备故障外, 外界自然条件对电力供应可靠性也具有重要的影响, 雷电就是最常见的原因之一<sup>[1-4]</sup>, 配电网的防雷一直是电网公司研究的重点之一。由于配电网分布较广, 线路较

长, 极易遭受雷击, 从而引起雷击短路事故, 导致线路停电, 给居民和电网公司带来了较大的经济损失, 本文就我国高海拔地区的配电网防雷进行了研究。

目前配电网防雷主要采取以下几种技术手段: 安装避雷装置, 当配电网遭受雷击时, 将雷电流通过接地线传入地下或者杆塔, 避免雷电对配电设备造成危害; 使用新型绝缘子, 积极采用玻璃

钢型绝缘子,克服了瓷柱式绝缘子零值问题,有效减少闪络事故的频率;降低配电设备的接地电阻,增强雷电流泄流速度,保障配电设备安全。

本文对西藏地区配电网防雷技术措施进行了总结分析,提出了几种防雷手段,通过现场应用,证实了所提方法能有效降低雷击故障率。最后结合现场应用实际情况,改善了防雷措施,研发了接地开关与跌落式避雷器二合一装置,明显提高了试点地区配电网耐雷水平。

## 1 配电网防雷措施的原理

### 1.1 避雷器

目前电力系统中使用的避雷器大多为氧化锌式避雷器,氧化锌避雷器主要由氧化锌压敏电阻构成,每一块压敏电阻从制成时就有一定开关电压(叫压敏电压)。在正常的工作电压下(即小于压敏电压)压敏电阻值很大,相当于绝缘状态,但在冲击电压作用下(大于压敏电压),压敏电阻呈低值被击穿;当高于压敏电压的电压撤销后,又恢复了高阻状态。因此在电力线路上安装氧化锌避雷器,当发生雷击时,雷电波的高电压使压敏电阻击穿,雷电流通过压敏电阻流入大地,可以将电源线上的电压控制在安全范围内,从而保护了电气设备的安全。但如果雷电流过大超过其承受值或避雷器老化,则存在避雷器炸裂的风险。

### 1.2 接地装置

接地装置是接地体和接地线的总称,其作用是将雷电流导入地下,防雷系统的保护在很大程度上与此有关。接地体是与土壤直接接触的导体或导体群,分为人工接地体与自然接地体。接地体作为与大地土壤密切接触并提供与大地之间电气连接的导体,安全散流雷能量使其泄入大地。

各种土壤对电流流通都存在电阻,其大小与其本身的电阻率成反比。土壤的电阻率、接地网面积、接地体腐蚀程度以及接地体与土壤接触电阻等因素都会影响接地电阻的变化。电流通过土壤时,由于接地电阻而产生高于正常地电位的电

位升。升高的电位用欧姆定律计算。泄流不畅对设备和人身安全都产生重大隐患。

## 2 现有技术措施的问题分析

### 2.1 接地电阻不合格

当前配电网中普遍使用角钢直插式接地体,接地网面积太小,随着运行时间的增加,接地体表面会有腐蚀现象,加之土壤电阻率又高,导致接地电阻严重超标。

为了解决接地电阻不合格问题,目前主要采取的方式是加大接地网面积,采用耐腐蚀接地体。

### 2.2 避雷器更换困难

当配电网线路遭受雷击时,雷电流超过避雷器承受限值或多次雷电冲击造成避雷器老化损坏,当线路再次遭受雷击时导致线路故障。由于避雷器的功能及位置,更换避雷器主要依靠停电作业,降低配电网的可靠性。

针对避雷器更换困难的难题,目前高海拔地区主要采用跌落式避雷器,便于更换避雷器本体。

### 2.3 线路其他设备烧损较多

由于土壤电阻率高、接地电阻不合格和避雷器导通后泄流不畅等因素,线路遭受雷击后,雷电沿线路传导,在薄弱点击穿设备,造成设备及电网故障。

针对雷电流泄流不畅的问题,当前主要使用降低接地电阻的方式达到泄流的目的。如果降低接地电阻后,雷电流依旧较大,则采取增加泄流点位措施泄流。

## 3 综合防雷技术研究的方案

### 3.1 设计目标

根据当前现有防雷措施存在的问题以及困难,本文设定了研究防雷技术的预期目标。

1) 进一步降低雷击区台区接地电阻;排查区域内接地体现状;总结接地电阻与设备运行之间的关系;推算在本区接地体的使用方法及用量的规律。

2) 减少避雷器更换时造成的停电时间和工作量;提高雷击后线路的重合闸成功率;避免出现二段母线PT保险烧毁的情况。

3) 使运维人员能及时查看避雷器健康状态;减少运维人员登杆工作量,避免出现高处坠落的风险。

### 3.2 实施方案

根据前文防雷技术措施的各类问题分析,本文结合高海拔地区气候、土壤等因素设计了三种配电网防雷措施。

#### (1) 更换避雷器

更换原有固定式避雷器为跌落式避雷器,如图2所示。

1) 正常泄雷电流时与传统避雷器功能相同,在避雷器击穿损坏后自动脱扣,形成明显断点,易于发现失效的避雷器。

2) 在更换时不用停电,操作方便,及时发现,及时更换,保证避雷器平常在线时长。

3) 减少传统避雷器炸裂时带来的其他短路隐患。

#### (2) 安装计数器

在避雷器旁加装雷击计数器(避雷器监测器),用于统计当地雷击次数、雷击分布及避雷器在受雷击后的耐受次数和损坏临界点,以便在雷电时节提前做好应对预案。

#### (3) 交联接地体

1) 在原有金属接地体基础上,增加并联石

墨基接地体,设计石墨复合引下线3 m,环型石墨地网30 m,柔性石墨模块4块。

2) 融合金属接地体和石墨接地体的两种优势,进一步降低设备的接地电阻,便于避雷器受到雷击时快速泄流,雷击电流就近入地,减少在线路上的传递。

## 4 现场应用

### 4.1 实施概况

为验证本文设计的配电网线路综合防雷方案的有效性,对某地区的配电网进行了改造,改造前对原有现场的角钢直插式接地体的接地电阻进行了测量,247处原接地电阻全部超过100  $\Omega$ 。

改造后对10 kV乌华143、当龙144、当厂142、宁堆141和宁麦1435条配电线路现场抽查20余处台区的接地电阻,实际测得避雷器改造后抽查的接地电阻值在2.7~100  $\Omega$ 之间;发现抽查的几处未进行改造的台区接地电阻值及线路避雷器接地电阻值在156.9~4 260  $\Omega$ 之间。

自部分台区改造完成后,日常及故障巡线中发现避雷器监测器有放电次数计数动作的达90%以上,其中较高为10 kV宁堆141线堆灵十组变台73次,10 kV措湖143线126号杆处34次,10 kV措岛141线扎西岛变台32次,10 kV宁麦143线路曲才五组变台21次以及10 kV当厂141线曲登5组变台35次。部分台区雷击台账见表1。

表1 部分台区雷击台账

Tab. 1 Lightning strike account in part of the station area

| 序号 | 位置/容量                               | 所属线路         | 性质    | 接地电阻/<br>$\Omega$ | 避雷器<br>击穿次<br>数/次 | 是否进<br>行过防<br>雷改造 | 是否自<br>行掉落 | 变压器<br>是否损<br>毁过 |
|----|-------------------------------------|--------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|------------------|
| 1  | 曲登羊阁1组2 <sup>#</sup> 公用变压器/100 kV·A | 10 kV 乌华 143 | 公用变压器 | 22.7              | 2                 | 是                 | 是          | 否                |
| 2  | 赫如3组公用变压器/100 kV·A                  | 10 kV 乌华 143 | 公用变压器 | 20.1              | 3                 | 是                 | 是          | 否                |
| 3  | 纳龙一组单相变/10 kV·A                     | 10 kV 乌华 143 | 公用变压器 | 97.2              | 0                 | 是                 | 否          | 否                |
| 4  | 纳龙一组1 <sup>#</sup> 公用变压器/50 kV·A    | 10 kV 乌华 143 | 公用变压器 | 20.3              | 1                 | 是                 | 是          | 否                |
| 5  | 纳龙一组2 <sup>#</sup> 公用变压器/50 kV·A    | 10 kV 乌华 143 | 公用变压器 | 35.2              | 2                 | 是                 | 是          | 否                |
| 6  | 纳龙村委会旁公用变压器/50 kV·A                 | 10 kV 乌华 143 | 公用变压器 | 3.59              | 0                 | 是                 | 否          | 否                |
| 7  | 赫如2组公用变压器/30 kV·A                   | 10 kV 乌华 143 | 公用变压器 | 14.25             | 4                 | 是                 | 是          | 否                |
| 8  | 甲根二组公用变压器/160 kV·A                  | 10 kV 当龙 144 | 公用变压器 | 14.96             | 0                 | 是                 | 否          | 否                |

(续)

| 序号 | 位置 / 容量                             | 所属线路         | 性质    | 接地电阻 / $\Omega$ | 避雷器<br>击穿次数 / 次 | 是否进<br>行过防<br>雷改造 | 是否自<br>行掉落 | 变压器<br>是否损<br>毁过 |
|----|-------------------------------------|--------------|-------|-----------------|-----------------|-------------------|------------|------------------|
| 9  | 曲登一组 3 <sup>#</sup> 公用变压器 /50 kV·A  | 10 kV 当厂 142 | 公用变压器 | 40.7            | 0               | 是                 | 否          | 否                |
| 10 | 曲登一组 2 <sup>#</sup> 公用变压器 /200 kV·A | 10 kV 当厂 142 | 公用变压器 | 15.92           | 0               | 是                 | 否          | 否                |
| 11 | 曲登村村委会旁公用变压器 /50 kV·A               | 10 kV 当厂 142 | 公用变压器 | 97.2            | 0               | 是                 | 否          | 否                |
| 12 | 曲登三组公用变压器 /200 kV·A                 | 10 kV 当厂 142 | 公用变压器 | 2.7             | 0               | 是                 | 否          | 否                |
| 13 | 税务局旁公用变压器 /200 kV·A                 | 10 kV 当厂 142 | 公用变压器 | 12.3            | 0               | 是                 | 否          | 否                |
| 14 | 堆灵七组公用变压器 /50 kV·A                  | 10 kV 宁堆 141 | 公用变压器 | 6               | 2               | 是                 | 否          | 否                |
| 15 | 堆灵八组 1 <sup>#</sup> 公用变压器 /10 kV·A  | 10 kV 宁堆 141 | 公用变压器 | 11.95           | 3               | 是                 | 否          | 否                |
| 16 | 堆灵八组 2 <sup>#</sup> 公用变压器 /50 kV·A  | 10 kV 宁堆 141 | 公用变压器 | 83.7            | 2               | 是                 | 否          | 否                |
| 17 | 堆灵十组公用变压器 /100 kV·A                 | 10 kV 宁堆 141 | 公用变压器 | 12.71           | 2               | 是                 | 否          | 否                |
| 18 | 龙仁三组 2 <sup>#</sup> 公用变压器 /50 kV·A  | 10 kV 当龙 144 | 公用变压器 | 68.2            | 2               | 是                 | 否          | 是                |
| 19 | 乌玛检查站旁通信专用变压器 /30 kV·A              | 10 kV 乌华 143 | 专用变压器 | 4 260           | 0               | 否                 | 否          | 是                |
| 20 | 纳龙二组公用变压器 /50 kV·A                  | 10 kV 乌华 143 | 公用变压器 | 1 564           | 0               | 否                 | 否          | 否                |
| 21 | 乌玛加由站专用变压器 /50 kV·A                 | 10 kV 乌华 143 | 专用变压器 | 29.7            | 4               | 否                 | 否          | 否                |
| 22 | 麦灵村村委会旁公用变压器 /100 kV·A              | 10 kV 宁麦 143 | 公用变压器 | 45.9            | 0               | 否                 | 否          | 否                |
| 23 | 线路带避雷器的杆塔                           | 10 kV 乌华 143 | 杆塔    | 180.1           | 0               | 否                 | 否          | 否                |
| 24 | 线路带避雷器的杆塔                           | 10 kV 乌华 143 | 杆塔    | 156.9           | 0               | 否                 | 否          | 否                |
| 25 | 主线 2 <sup>#</sup> 柱上开关              | 10 kV 乌华 143 | 柱上开关  | 194             | 0               | 否                 | 否          | 否                |

## 4.2 实施效果

根据本文设计的三种防雷措施,改造台区防雷取得了显著效果。

1) 避免了2020年110 kV当雄变电站10 kV二段母线PT保险经常烧损的情况出现,减少了因站内10 kV二段母线PT保险烧损造成的停电时间,约20 h,同时减少停电6次。

2) 减少变压器故障9次,挽回直接经济损失接近10万元。

防雷效果统计见表2。

表2 防雷效果统计

Tab. 2 Lightning protection effect statistics

| 数据对比科目        | 2020年7~<br>9月 | 2021年7~<br>9月 | 差<br>值 |
|---------------|---------------|---------------|--------|
| 雷击造成变压器故障数量/台 | 19            | 10            | -9     |
| 线路雷击停电次数/次    | 22            | 30            | 8      |
| 线路雷击重合次数/次    | 19            | 25            | 6      |

## 5 应用总结

### 5.1 问题分析

自本设计方案实施以来,现场运维人员在日

常巡视和应用过程中发现问题,并提出建议。

1) 电网台区靠近居民用户,接地电阻过高而不能及时、就近泄放雷电流,对居民人身安全、家用电器和设备安全都存在极大隐患,望尽快解决全区内接地电阻超高的隐患。

2) 因高原地区地形原因,要将接地电阻降低至国家要求标准,投入应是内地的数倍。应当全面普改,不求一次性达标,可分多批次降低,直至全面达标。

3) 避雷器脱扣器需要导通一定的时间,达到一定的热量才能脱扣,应调度适当调整三段保护定值及定时,提高脱扣成功率。

4) 对跌落式避雷器增加投入应用,在提高重合闸成功率的同时,减少人员更换时的工作量,但同时也应考虑区域的雷电能量问题,须研发一种高原专用的跌落式避雷器,或者设计一种高原专用的避雷器配置方案,减少避雷器的损坏。

### 5.2 防雷措施改进

根据现场应用人员使用情况反馈,本文继续

改进了防雷设计方案,在重雷区、雷电流大、土壤电阻率高和难以降阻地段的设备,采取多点式泄雷方法。

1) 在设备相临杆塔区加装跌落式避雷器和接地装置,在雷电流通过时及时分流,减小通过设备处的雷电流,更好地保护设备安全。

2) 相临两基杆塔同时也是设备维护维修时的接地线挂接处,用跌落式避雷器与接地开关结合,得到比插针式接地线更好的接地效果,同时减少人员维护时上杆挂接地线的登高风险,提高工作效率,降低人员工作时雷电、误送电和反送电带来的人身安全风险。

设计的二合一分流避雷器工作原理如下图所示。应用价值分析见表3。

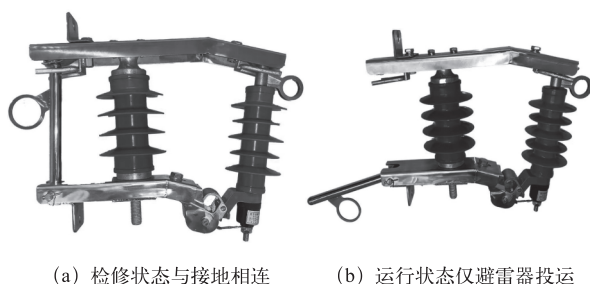


图 设计的二合一分流避雷器工作原理

Fig. The working principle of the designed two-in-one shunt arrester

表 3 应用价值分析

Tab. 3 Lightning protection effect statistics

| 改造项目           | 价值效果                                                            | 投资预算<br>(含安装费用) |
|----------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|
| 设备避雷器<br>更换    | 提高雷击跳闸重合成功率,<br>提高人员工作效率,减少更换<br>避雷工作带来的停电时间,减<br>少人员登高工作的风险    | 2 000 元/组       |
| 加装避雷器<br>测器    | 方便工作人员查看,了解当<br>地落雷状况,及时发现避雷器<br>隐患                             | 1 000 元/组       |
| 并联柔性石<br>墨接地装置 | 与原金属接地体配合更好地<br>降阻,同时导通工频接地电流,<br>提高设备和人员安全性                    | 5 000 元/套       |
| 增加二合一<br>分流装置  | 在重雷区、雷电流大和接地<br>降阻难地区使用,更有效地保<br>护设备安全,提高运行可靠性,<br>提升人员工作效率和安全性 | 8 000 元/套       |

## 6 结束语

本文基于西藏地区防雷技术的研究现状,提出了几种防雷措施,通过试点应用,有效提升了高海拔地区配电网防雷效果。根据现场应用人员使用过程中提出的建议和问题,改善了防雷措施,设计了接地开关与跌落式避雷器二合一装置,进一步提升了重雷区的防雷效果,保障了配电网运行可靠性,同时保障了人员安全。

### 参考文献

- [1] 蔡振海. 电力配电网的防雷接地设计相关问题[J]. 自动化应用, 2021(7): 123-125.
- [2] 崔桂兴, 郭欣, 侯元红, 等. 高原农牧区配电网防雷研究[J]. 农村电气化, 2021(6): 18-21.
- [3] 刘志强. 基于10 kV配电线路防雷技术仿真的研究[J]. 电工技术, 2021(4): 50-51, 54.
- [4] 张运龙, 刘海, 于振国. 10 kV架空配电线路常用防雷措施的性能对比[J]. 电子技术, 2021, 50(2): 156-157.
- [5] 赵力. 配电网防雷保护的分析和研究[J]. 中国高新科技, 2020(20): 21-22.
- [6] 刘素芳, 陈康, 刘思贤. 10 kV串联间隙金属氧化物避雷器在配电网防雷中的优化配置[J]. 电瓷避雷器, 2020(1): 76-81.
- [7] 高辉. 基于边缘计算的配电网雷电过电压在线监测系统研究[D]. 济南: 山东大学, 2019.
- [8] 单林森, 黄建杨. 新型配电网智能防雷绝缘子的研制[J]. 浙江电力, 2019, 38(4): 69-74.

### 作者简介

尼平(1974—), 男, 高级工程师, 研究方向为配电网运行与管理。

(收稿日期: 2022-01-12)