

架空地线 节能接地技术

JIAKONG DIXIAN JIENENG JIEDI JISHU

主 编 彭向阳

副主编 张 博 王建国



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

架空地线 节能接地技术

JIAKONG DIXIAN JIENENG JIEDI JISHU

主 编 彭向阳

副主编 张 博 王建国



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

我国电网输电线路架空地线主要有普通地线和光纤复合地线(OPGW)两种,架空地线广泛采取逐塔接地方式,导线电流在地线上感应出较大电磁感应电流,运行中电量损耗巨大,架空地线电能损耗问题长期未引起足够重视。本书基于中国南方电网公司重点科技项目——输电线路架空地线节能技术研究及应用,经系统梳理后编写而成。本书对于实施电网输电线路节能设计和技术改造、降低输配电线损具有重要作用,对于推动电力行业节能降耗和实现主要节能指标具有重要意义。

本书共分七章,包含输电线路架空地线、架空地线感应电流及电能损耗、架空地线节能与感应电压控制、架空地线绝缘子电气性能试验、架空地线绝缘对零序参数及防雷影响分析、架空地线节能工程实施技术和架空地线节能技术应用与效益。

本书可供从事电力安全生产和电力线路工程设计、施工、运行、维护等工作的专业技术人员和管理人员使用,也可作为高等院校相关专业师生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

架空地线节能接地技术 / 彭向阳主编. —北京: 中国电力出版社, 2016.9

ISBN 978-7-5123-9533-6

I. ①架… II. ①彭… III. ①架空线路—节电
IV. ①TM726.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 156973 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

百盛印装有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 9 月第一版 2016 年 9 月北京第一次印刷

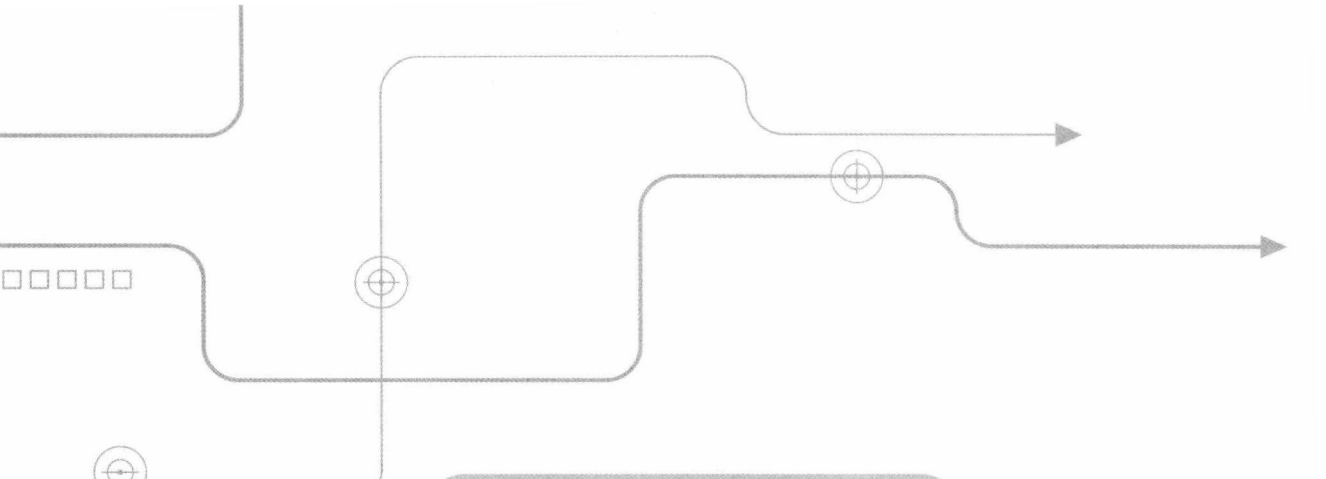
787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 296 千字

印数 0001—1000 册 定价 49.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



本书编委会

主 编 彭向阳

副主编 张 博 王建国

编 委 胡泰山 毛先胤 徐晓刚 鲁铁成

王 宇 王 锐 李显强

我国 110kV 及以上输电线路架空地线主要有普通地线 (CGW) 和光纤复合地线 (OPGW) 两种, 基于防雷和通信考虑, 架空地线大多采取逐塔接地方式, 由于架空地线与导线间存在电磁感应, 架空地线中产生较大的感应电流。对广东电网部分交流线路架空地线感应电流实测发现, 500kV 线路两条地线逐基接地时, 典型感应电流达 70A, 电能损耗达 $2.84 \times 104 \text{ kWh} / (\text{a} \cdot \text{km})$ 。可见, 架空地线电能损耗不容忽视, 但传统输配电线路计算只考虑导线电能损耗, 其大小基于负荷电流和导线电阻, 对架空地线电能损耗未足够重视。

为减小架空地线逐塔接地或多点接地引起的电磁感应电流及电能损耗, 实现架空地线节能, 并综合考虑架空地线防雷、通信性能, 架空地线可采用绝缘单点接地方式, 且地线端部电磁感应电压宜限制在 1000V 以下, 以保证架空地线带电作业安全。

当输电线路长度较短 (如不超过 5km) 时, 若架空地线全线电磁感应电压未超过 1000V, 架空地线应采用绝缘单点接地方式, 接地点可设置在绝缘架空地线端部或中部; 当输电线路较长时, 若架空地线全线电磁感应电压超过 1000V, 可采取地线分段、地线换位、导线换位、导地线配合换位等措施降低绝缘架空地线单点接地时端部电磁感应电压。

单回线路和同塔多回 (或双回) 线路架空地线感应电压沿线分布规律是不同的, 可根据其不同特性总结出单回线路、多回线路架空地线典型接地方式, 既能实现架空地线的节能降耗, 又能限制架空地线感应电压低于 1000V。

为保证输电线路架空地线基本的防雷和通信功能, 实现地线节能运行, 并兼顾冰区地线融冰需求, 确保带电作业安全, 本书对架空地线节能设计及工程实施若干关键技术进行系统研究和总结, 相关技术已在广东电网部分 110kV 及以上冰区、非冰区线路实际应用, 效果良好。

本书共分七章, 绪论提出了架空地线电能损耗问题, 分析了开展节能设计的必要性, 阐述了本书主要内容; 第一章介绍了国内外架空地线发展和应用情况, 架空地线的作用、类型和结构、性能特点以及架空地线接地技术; 第二章研究了架空地线感应电流及电能损耗, 分析了影响架空地线感应电流及电能损耗的主要因素; 第三章分析了架空地线感应电压形成原理以及影响感应电压的主要因素, 分析了各种架空地线感应电压限制措施及作用; 第四章提出了对架空地线绝缘子电气特性的基本要求, 介绍了地线绝缘子电气特性试验方法和各种影响因素; 第五章介绍了不同土壤电阻率、架空地线型号和接地方式下输电线路零序阻抗特性, 分析了架空地线绝缘对沿线地线绝缘子动作情况及零序参数的影响, 分析了绝缘地线的防雷可靠性; 第六章介绍了架空地线节能接地方式、光纤复合架空地线金具选型及绝缘接续、地线绝缘子及保护间隙选择以及其他工程实施关键

技术；第七章提出了架空地线绝缘改造技术要求、冰区绝缘架空地线直流融冰技术，具体分析架空地线电能损耗及节能效益，介绍了架空地线节能试点工程。

本书内容新颖、指导性强，对于实施电网输电线路节能设计和技术改造、降低输配电线路损具有重要作用，对于推动电力行业节能降耗和实现主要节能指标具有重要意义。

限于编者的水平、时间以及本书的篇幅，书中难免存有不妥之处，恳请读者进行批评指正。

编者

2016年5月

前言

绪论	1
----------	---

第一章 输电线路架空地线	3
---------------------------	----------

第一节 架空地线的发展和应用	3
第二节 架空地线的作用和结构性能	8
第三节 架空地线接地技术	14

第二章 架空地线感应电流及电能损耗	17
--------------------------------	-----------

第一节 架空地线逐塔接地与感应电流	17
第二节 架空地线感应电流仿真计算	20
第三节 架空地线感应电流分布规律	22
第四节 杆塔入地电流及 OPGW 残流防护	28
第五节 感应电流及电能损耗影响因素	32
第六节 架空地线电能损耗计算	48
第七节 架空地线感应电流实测	51

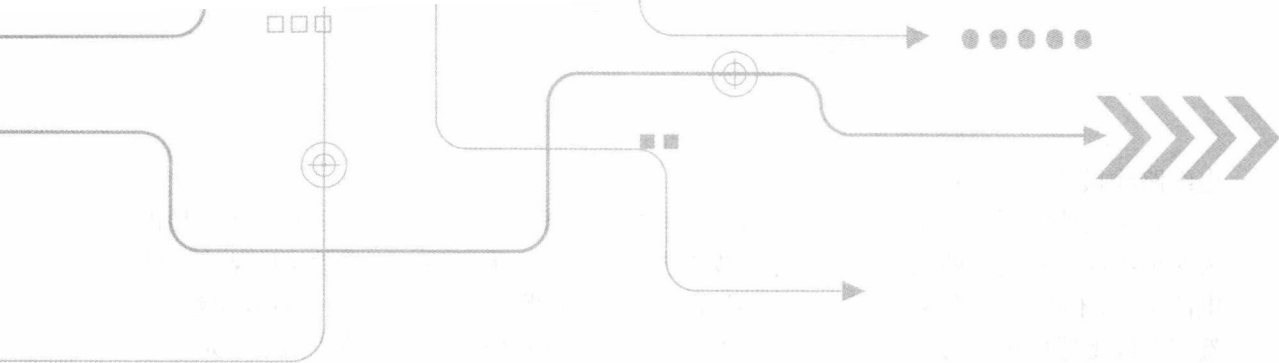
第三章 架空地线节能与感应电压控制	60
--------------------------------	-----------

第一节 电网节能概况	60
第二节 架空地线单点接地条件下的感应电压	61
第三节 导线换位限制感应电压	64
第四节 地线换位限制感应电压	66
第五节 地线分段限制感应电压	75
第六节 架空地线感应电压限制措施的实施	78
第七节 地线分段换位节距计算	82

第四章 架空地线绝缘子电气性能试验	92
--------------------------------	-----------

第一节 地线绝缘子	92
第二节 地线绝缘子工频干放电试验	96
第三节 地线绝缘子工频湿放电试验	103
第四节 地线绝缘子雷电冲击放电试验	109
第五节 覆冰地线绝缘子直流放电试验	111

第六节	地线绝缘子工频电弧试验	113
第五章	架空地线绝缘对零序参数及防雷影响分析	116
第一节	输电线路零序参数与零序保护	116
第二节	典型线路零序参数计算	121
第三节	单相短路故障时地线绝缘子动作特性	126
第四节	单相短路故障时零序参数计算分析	138
第五节	架空地线单点接地线路的雷击选择性	140
第六章	架空地线节能工程实施技术	144
第一节	架空地线节能接地方式	144
第二节	OPGW 金具选型及绝缘接续	151
第三节	地线绝缘子及并联间隙选择	160
第七章	架空地线节能技术应用与效益	164
第一节	架空地线绝缘改造技术要求	164
第二节	冰区绝缘架空地线直流融冰技术	165
第三节	架空地线节能降损效益分析	187
第四节	架空地线节能试点工程	194
参考文献		196



绪 论

架空地线是架设在输电线路上方,为避免输电线路遭受直接雷击而铺设的线路,可称为避雷线或地线。随着架空输电线路覆盖范围不断扩大,导致输电线路遭受雷击的概率也越来越大。自古以来,雷电不相融,架空地线就是处于雷云与输电导线之间的一道屏障。输电线路跨越广阔的地域,在雷雨季节容易遭受雷击而引起送电中断,成为电力系统发生停电事故的主要原因之一。输电线路安装架空地线,可以减少雷害事故,提高线路运行的安全性。架空地线是高压输电线路结构的重要组成部分。高压及超高压变电站占地面积大,要求防直击雷的区域大,除安装避雷针保护外,也会采用架空地线保护。架空地线都是架设在被保护的导线和设备的上方,当线路上方出现雷云对地面放电时,雷闪通道容易击中架空地线,然后通过架空地线的接地线或金属杆塔本体将雷电流引入大地,以保护输电线路正常送电。同时,架空地线还有电磁屏蔽作用,当线路附近雷云对地面放电时,可以降低在输电导线上引起的雷电感应过电压。架空地线必须与杆塔接地装置牢固相连,以保证遭受雷击后能将雷电流可靠地导入大地,以避免雷击点电位突然升高而造成反击。

1. 架空地线的重要性

据统计数据显示,生活用电及工农业用电中,电力系统断电跳闸事故主要因素分别为雷击、人为或是自然灾害等,而其中雷电导致停电的概率高达 60%以上。天气变化是不可控因素,所以只能在人力可控范围内,提高输电系统的安全性及防灾性。架空地线就是电力系统减灾防灾的一项重要技术措施。

输电线路架空地线运用实践表明,架空地线能有效防止雷电直击输电导线;当雷击输电线路杆塔时,架空地线能起到分流作用,减小杆塔塔顶电位,防止雷电反击;当雷击输电线路附近大地时,架空地线能起到屏蔽作用,降低输电导线上的感应雷过电压。

2. 架空地线接地方式及存在的问题

我国输电线路架空地线一般采用逐塔接地方式,当输电导线带电正常运行时,输电线路架空地线与导线间存在有电磁感应,且因导线和地线空间位置排列的局限,各相导线在架空地线上的感应电动势无法相互抵消,从而在架空地线上形成纵向感应电动势。当架空地线采用逐基杆塔接地时,架空地线与杆塔接地体间就会形成导电回路,从而产生感应电流,该持续的感应电流将引起输电线路架空地线的电能损耗。长期以来由于缺乏架空地线电能损耗的系统认识,传统的输电线路线损计算方法,仅考虑了输电导线的电能损耗,其大小基于导线电流和导线电阻,而未考虑架空地线的电能损耗,引起了输

电线路损计算的损耗值偏小。

输电线路若采用架空地线绝缘的方式，即架空地线的接地方式，由逐基杆塔接地改为对地绝缘，这将切断地线与地线和地线与大地的电流通路，可有效消除架空地线电能损耗，但会产生绝缘架空地线上感应电压较大的问题。尤其是对于较长的输电线路，架空地线上感应电压可达数十千伏，这不仅不利于地线绝缘子并联间隙距离的整定，也不利于输电线路塔上带电作业。

目前，针对架空地线感应电流及电能损耗开展全面、系统的研究工作偏少，导致电力系统对架空地线节能问题普遍认识不足。因此，降低架空地线感应电流并控制架空地线感应电压的措施需要系统研究，明确提出架空地线节能接地技术要求，以实现架空地线节能并兼具架空地线防雷功能。开展架空地线节能接地技术研究，具有重要的理论和工程应用意义。

3. 完善架空地线节能接地技术

架空地线节能接地技术应用，可实现架空地线无损或低损运行，但必须保证架空地线防雷效果不受影响，地线绝缘子并联间隙距离选择及其动作特性至关重要。地线绝缘子并联间隙距离不能过大，否则并联间隙不放电而影响架空地线防雷效果；并联间隙距离也不能过小，否则地线绝缘子常常会发生误放电，导致节能效果变差。

随着科技的不断发展，工业用电以及生活用电量在不断地增加，这说明我国的电器化设备也在不断地增多，随之对节能环保的重视程度也会越来越高。地球上众多资源是不可再生资源，节能降耗将在未来任何一个时间段都占有非常重要的位置。本书所介绍的输电线路架空地线的节能接地技术，是近期电力研究人员研究所取得的重要科研成果，并形成了 DL/T 1519—2016《交流输电线路架空地线接地技术导则》。架空地线节能接地技术的推广应用，必将大大降低输电线路的电能损耗，并仍具有防雷保护的功能。

输电线路架空地线

架空地线是高压、超高压和特高压输电线路最基本的防雷设施,架设架空地线可以防止雷电直击输电线路,还可通过对雷电流的分流作用来减小流入杆塔的雷电流,从而使塔顶电位下降,防止雷电反击导线。此外,架空地线可通过对导线的耦合作用来减小绝缘子串承受的雷电过电压,同时还可降低不对称短路引起的工频过电压和减小潜供电流,并作为屏蔽线以降低电力线对通信线的干扰。架空地线一般也称作避雷线。

我国 220kV 及以上交直流架空输电线路均采用 2 根架空地线,主要采用的是普通地线(Common Ground Wires, CGW)和光纤复合架空地线(Optical Fiber Composite Overhead Ground Wires, OPGW)。其中普通地线包括钢芯铝绞线、铝包钢绞线和镀锌钢绞线等,而 OPGW 兼具地线和通信双重功能,有效地提高了杆塔和走廊资源的利用率,在电力系统中得到广泛应用。

第一节 架空地线的发展和应用

随着电力系统的不断扩充,发电厂自动控制系统的迅速发展,以及对供、发电可靠性和经济性的要求愈来愈高。通过初步估算,仅广东地区输电线路架空地线年电能损耗达 3 亿 kWh,整个南方电网输电线路架空地线年电能损耗达 15 亿 kWh,其数值不容忽视。因此,通过降低架空地线电能损耗,对降低电力系统生产成本和建设资源节约型电网意义重大,对架空地线节能技术的研究迫在眉睫。

在架空地线的发展和应用中,国内外对架空地线电能损耗特性以及绝缘架空地线感应电压的控制等问题进行了研究。下面就国内外架空地线的发展和应用情况作简要介绍。

一、架空地线的发展

(一) 国内架空地线

对于普通架空地线,1987 年 5 月,水利电力部武汉高压研究所组织召开了架空地线应用技术座谈会,起草了架空地线规范。随后研究试制了聚乙烯绝缘架空地线、聚氯乙烯绝缘架空地线、黑色非交联聚乙烯架空地线等。目前我国普遍采用镀锌钢绞线作为普通架空地线,其具有柔软性好、稳定性高、可靠性强、强度高等特点。

对于光纤复合架空地线,我国自 1985 年葛洲坝工程从英国 BICC 引进首条光纤复合架空地线线路(2.7km)以来,太原、武汉和洛阳等地也相继引进了 OPGW。上海电缆研究所率先在国内开展光缆复合架空地线的研制工作,先后研制了有缝铝管式、多模光

纤松套结构的 OPGW。随着技术进步，光纤复合架空地线采用了包括高强度单模光纤、无缝铝管连续挤压和高强度、高模量铝包钢线生产技术，使 OPGW 制造技术上上了一个新的台阶，研制成功各种新型结构的 OPGW，制成了与 OPGW-75/45（见图 1-1）相同尺寸的滑动型 OPGW，其铝管为无缝的；关键技术突破后，又研究世界上先进国家的 OPGW，吸取了各家公司产品的优点，独创了中心管式 OPGW 结构，并形成系列化，在国内电力系统中推广应用。

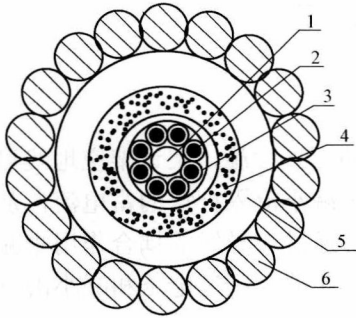


图 1-1 OPGW-75/45 截面图

1—加强元件；2—松套光纤；3—聚酯带；
4—油膏；5—无缝铝管；6—铝包钢线

“十二五”期间，随着我国西电东送、超特高压电网建设以及输电线路规模显著增长，全国电网 OPGW 应用总量更是稳定增长。

（二）国外架空地线

对于普通架空地线，从 20 世纪 60 年代开始，世界各国的导体就主要以铝代替铜使用。铝及铝合金导体的使用范围已从架空地线扩大到了电磁线、绝缘电线、通信电缆、电力电缆和配电母线等方面。由于铝合金改进了铝的机械性能和耐热性比较低的缺点，并不断向耐热、高导电和高强度的方向发展。

耐热铝合金线于 1957 年试制成功、1960 年正式使用以来，20 世纪 90 年代以来日本又实现了第二次革新，生产了 60% IACS 的高导电耐热铝合金线，使用在 500kV 以下的线路上。随着架空线路向大容量和超高压发展，对高强度铝合金线的抗张强度不断提高，日本和美国等国相继开发了各种高强度、耐热性铝合金线，品种类型日趋齐全。

对于光纤复合架空地线，日本和西欧国家大约在 20 世纪 70 年代开始研究，当时首先考虑的是：①光缆即使在架空地线中流过感应电流而引起温升，或在雷击而产生电弧的场合，仍能保持预定的性能；②光缆即使在受到放线时的冲击负荷，或者因强风或打雷时张力的上升，而使架空地线产生伸长的场合，仍能保持预定的性能；③特别就 OPGW 而言，考虑到要更替现有的架空地线，为了能利用原有的铁塔，外径及重量要与已有架空地线大体相同。经过研制和试验，1974 年日本东京和关西电力公司首先将 OPGW 应用于电力系统，1978 年开始进入实用阶段。美国通用电气公司则在 1978 年首次一条 5km 长的 230kV 电力线上进行光纤系统现场试验。

早期的 OPGW，是将钢芯铝绞线中的一根或数根铝线换成以金属管保护的、直径与铝线相同的光纤，按传统工艺绞合而成，如图 1-2 所示。这种结构的缺点是：在生产、架设和运行中光纤容易受到挤压。但它基本上保持了传统地线的结构和性能，可沿用原有传统技术来架设及使用。经改进的类似于这种结构的 OPGW，在一些国家中仍被采用，并

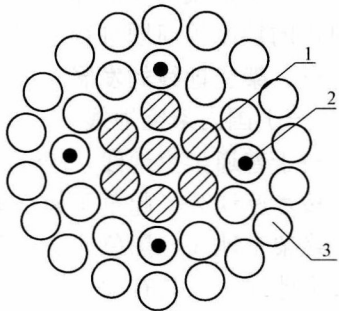


图 1-2 早期的 OPGW

1—钢线；2—光纤；3—铝线

有效地运行。

第二阶段在积累 OPGW 实用化经验的基础上，为适应建造信息传输量大、高质量的数字化电网形势，开始了多芯化的研究，以增加 OPGW 的容量。其考虑的出发点是：①与初期开发的产品一样，外径和重量与已有架空地线差不多相同；②在有限的收容空间内，收容尽可能多的光纤。

多芯化 OPGW 的开发于 1985 年完成。其结果是，在固定型结构中，小规格品种为 9 芯，大规格品种为 12~15 芯，在非固定型结构中，最多收容 12 芯。同时，光纤开始采用单模光纤。这时的 OPGW，已起到供实用的基于传输线路的作用。

例如德国 F&G 公司生产的一种 OPGW（见图 1-3），它是将传统地线的一根钢线以相同直径的光纤单元代替，光纤单元为包含 6、8、10 或更多数量光纤（单模或多模）的不锈钢管，在管内填充有油膏。这种 OPGW 在构和性能方面与相应的传统地线几乎没有什么差别。为保证 OPGW 在制造和架设过程中不受扭力和挤压，在绞合时不锈钢管应不受扭力，并在制造过程中对每根光纤进行监测，在架设时应采用螺旋形夹具或其他无压力夹具。按通常对地线的要求，对 OPGW 进行拉伸、振动、滑动、紧固等机械性能试验，以及大电流和雷击试验，要求光纤损耗均无变化。

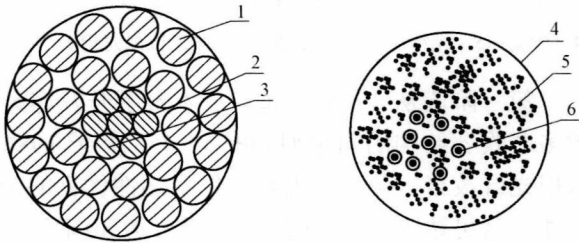


图 1-3 德国 F&G 公司的 OPGW（LES）

1—铝线（ $\phi 3.74\text{mm}$ ）；2—钢线（ $\phi 2.49\text{mm}$ ）；3—光纤单元；
4—不锈钢管；5—油膏填充物；6—光纤

图 1-4、图 1-5 分别为英国 BICC 公司和日本日立公司产品。地线部分由铝管和铝包钢组成。铝包钢线与镀锌钢线相比，耐腐蚀性好，其钢线部分承受拉力，包覆的铝层主要起防腐作用，也可作为地线导体部分。铝管既作地线导体部分，也作光纤的保护部分。图 1-6 是澳大利亚 OLEX 公司生产的 OPGW，由于中心增加了光纤单元，为保持 OPGW 与相应的传统地线有相同或相近的外径和机械、电气性能，采用了超高强度镀锌钢线和高性能的铝合金线。这种 OPGW 与相应的传统地线相比，外径相同，直流电阻相近，而重量轻，拉断力大。法国里昂电缆厂生产的 OPGW 的地线部分与 OLEX 公司的产品相近（见图 1-7）。

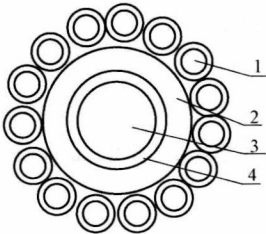


图 1-4 英国 BICC 公司的 OPGW

1—铝包钢线；2—铝管；3—光纤单元；4—油膏填充物

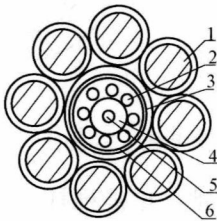


图 1-5 日本日立公司的 OPGW

1—铝包钢线；2—包有耐热层的光纤；3—铝管；
4—发泡硅橡胶；5—FRP；6—热屏蔽玻璃丝带

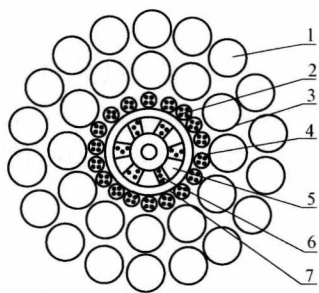


图 1-6 澳大利亚 OLEX 公司的 OPGW

1—铝合金线；2—超高强度镀锌钢线；3—油膏填充；
4—骨架；5—光纤；6—耐油包带；7—聚酯或尼龙护套

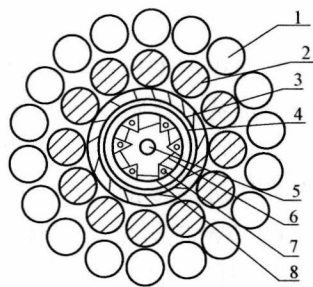


图 1-7 法国里昂电缆厂的 OPGW

1—铝合金线；2—镀锌钢线；3—铝合金管；4—护套；
5—FRP；6—骨架；7—光纤；8—衬垫层

第三阶段从 1985 年起，日本着手开发容量更大的多芯型 OPGW，重点放在具有有效多芯收容结构的固定型 OPGW 上，并于 1986 年 1 月用于实际线路。这种 OPGW，将六根光纤绞合，在其上压紧绕包耐热性优良的带子，这样的单元可收容 3~5 个，因此小尺寸规格可达 18 芯，大尺寸规格可达 30 芯。

例如，日本的一些公司生产的 OPGW 即采用光纤绞合的方式（见图 1-8~图 1-10）。这种结构的优点在于 OPGW 结构坚固、紧凑，可在相同截面的条件下，使其外径减小，但制造工艺较复杂。

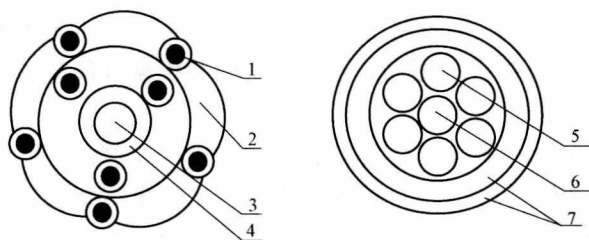


图 1-8 日本藤仓公司的 OPGW

1—铝包钢线；2—铝合金型线；3—光纤单元；4—铝管；5—光纤；6—加强芯；7—隔热层

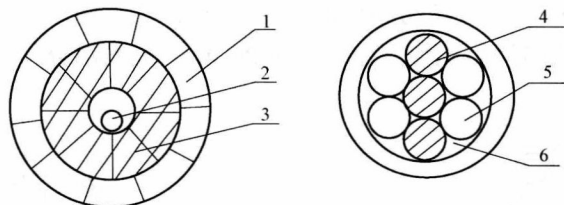


图 1-9 日本古河公司的 OPGW

1—硬铝线；2—光纤单元；3—扇形镀锌钢线；4—假线（垫芯）；5—光纤；6—FRP

二、架空地线电能损耗

过去由于系统电压等级不高，架空地线损耗在电力系统总损耗中所占的比例不大，因此很少受关注。但随着电压等级升高，架空地线损耗所占的比例越来越大。目前，国内应用 OPGW 的范围越来越广，OPGW 均采用逐塔接地方式，感应电流和电能损耗问题突出。

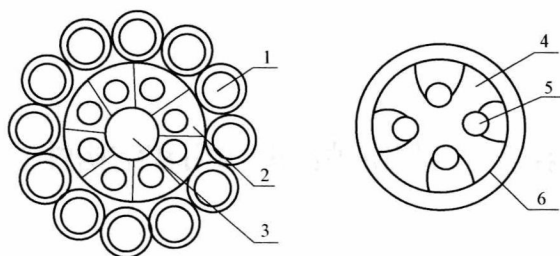


图 1-10 日本住友公司的 OPGW

1—铝包钢线；2—扇形铝包钢线；3—光纤单元；4—铝骨架；5—耐热光纤；6—铝管

输电线路电压等级越高、输送容量越大，架空地线感应电流和电能损耗问题更为严重。刘凯等计算了 750kV 单回输电线路，OPGW 上的感应电压和电流，研究了不同接地方式下的地线环流及损耗。周响凌解析了敷设 OPGW 复合地线光缆，对电力输电线路的损耗带来的影响。1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程的《地线电量及地线绝缘方式研究》报告中，研究分析了“常规地线分段绝缘，OPGW 逐塔接地”、“常规地线和 OPGW 均逐塔接地”和“常规地线和 OPGW 均分段绝缘”三种运行方式。

国外学者对架空地线感应电流和电能损耗以及节能接地技术研究较少，但对 OPGW 应用时的试验技术要求有明确指导。美国电力部门研究出几种有效地降低架空地线损耗的方法，如地线换位、地线分段和地线开环等，这些方法对降低地线损耗都收到较好效果，尤其是地线开环法，A.J.F.Keri 简要计算了某 765kV 输电线路的地线电能损耗，可使损耗减少 90%以上，对降低地线能耗非常有效，但接线方式有些复杂，安装费用也大大提高，很少采用该方法。Nourai.A 等在 1988 年研究了双回输电线路导线相序排列方式，对架空地线损耗的影响，提出双回导线采用低电抗排列方式降低地线损耗。部分学者对雷击时架空地线的感应电压变化和零序参数进行了探讨。

三、架空地线感应电压

国外在 20 世纪 50 年代初，就开始对地线绝缘问题进行研究，并在 220kV 及以上的高压系统中迅速推广。我国对绝缘地线的研究起步比较晚，目前在设计、运行上还存在一些问题有待研究和解决。

部分学者结合架空地线绝缘运行的经验，对绝缘地线高感应电压引起的安全运行问题，提出了各种限制和预防措施，主要包括绝缘地线触电事故及预防、耐张杆塔处绝缘地线跳线的接地故障及预防等。为了降低架空地线的感应电压，更多诉诸于采用架空地线逐塔接地的方式，但这又会引起架空地线感应电流和电能损耗的问题。

四、架空地线绝缘子

架空输电线路绝缘地线使用的地线绝缘子，是使地线与杆塔绝缘。地线绝缘子一般由绝缘子和并联的保护间隙组成，采用羊角形保护间隙且间隙的距离可调，分悬垂地线绝缘子和耐张地线绝缘子两类，主要有 XDP-70C、XDP-70CN、XDP-100C、XDP-100CN 等型号。

实现架空地线节能接地，需要统筹考虑架空地线感应电压控制、地线绝缘子选型以

及地线绝缘子保护间隙距离匹配。在系统研究地线绝缘子工频和冲击放电特性的基础上,进行保护间隙距离的合理整定。

第二节 架空地线的作用和结构性能

一、架空地线的作用

架空地线的作用概括起来有以下4点:

(1) 减少了雷电直击导线的机会,降低了线路绝缘承受的雷电过电压幅值。当雷击于塔顶或地线上时,塔身电位很高,加在绝缘子串上的电压等于塔身电位与导线电位之差,这个电压一般远比雷电直接击中导线时绝缘子串上的电压低,不会导致闪络放电。但是,如果接地电阻很大,则塔身电位将会很高,这时就会发生逆闪络,也就是通常说的“反击”。

(2) 对导线有耦合作用。当雷击塔顶或地线时,由于耦合,导线电位将抬高,所以耦合可使绝缘子串上的电压降低。因此,为了减少“反击”,在接地电阻很难降低时,可以利用架空地线的分流、耦合性质,在导线下面再增加一条耦合地线。

(3) 降低感应雷过电压。由于架空地线接地,所以可以起到屏蔽感应雷对导线的作用。

(4) 架空地线经过适当改装还可兼用作通信通道,如已研制出的光纤复合架空地线(OPGW)具有避雷、通信等多种功能。OPGW的优点为:①传输信号损耗小,通信质量高,光缆的芯数可以较多;②安全性好,不易被盗割,也不易遭到破坏性枪击;③适应用于多种电压等级的输电线路;④光缆与地线同为一体,避免了重复建设和维护的巨大费用。

二、架空地线的类型

架空地线由于不负担输送电流的功能,所以不要求具有与导线相同的电导率和导线截面,通常多采用钢绞线组成。线路正常送电时,架空地线中会受到三相电流的电磁感应而出现电流,因而增加线路功率损耗并且影响输电性能。有些输电线路还使用良导体地线,即用铝合金或铝包钢导线制成的架空地线。这种地线导电性能较好,可以改善线路输电性能,减轻对邻近通信线的干扰。

随着电力工业的迅速发展,电力系统现代化管理水平的提高,在电力系统内部需要传递的信息形式和信息容量日益增多。综合光纤通信的传输容量大、速度快、适于远距离传输、能抗电磁感应和串音干扰等优点,以及铝包钢线的高机械性能、高导电性和良好的抗腐蚀性,光纤复合架空地线(OPGW)通信系统,具有架空地线和通信光缆两方面性能。

光纤复合架空地线是把光纤放置在架空高压输电线的地线中,用以构成输电线路上的光纤通信网,由于光纤具有抗电磁干扰、自重轻等特点,它可以安装在输电线路杆塔顶部而不必考虑最佳架挂位置和电磁腐蚀等问题。因而,OPGW具有较高的可靠性、优越的机械性能、成本也较低等显著特点。这种技术在新敷设或更换现有地线时尤其合适和经济。因此受到电力系统行业的重视,并逐步推广使用。

目前常用架空地线的种类如表1-1所示。

表 1-1

常用架空地线的种类

类型	品种	型号	用途及选用原则
硬铝线	硬圆铝单线	LY	输电线路不许使用
	铝绞线	LJ	对于 35kV 架空线路截面不得小于 35mm ² , 对于 35kV 以下线路不小于 25mm ²
钢芯铝绞线	铝钢截面比 $m=1.7\sim 21$	LGJ	m 在 1.72 以下的常称特强型, 多作为良导体架空地线使用
防腐型钢芯 铝绞线	轻防腐 中防腐 重防腐	LGJF	用于沿海及由腐蚀性气体的地区
镀锌钢线	硬镀锌钢单线	GY	一般均做架空地线用
	镀锌钢绞线	GJ	
铝包钢绞线	铝包钢绞线	LBJ	线路的大跨越、地线通信、良导体地线等
铝包钢芯 铝绞线			用于轻腐蚀地带及良导体地线
压缩型钢芯 铝绞线	普通型 加强型	LGJY LGJJY	与普通钢芯铝线比较, 同截面时强度高; 同强度时外径小, 空气动力系数低, 故承受风压荷载、冰雪荷载小
光缆复合 架空地线	光纤、铝包 钢线和铝线	OPGW	用于兼做系统通信、远动保护、遥测、遥控等通信传输的线路架空地线

三、架空地线的结构

目前常用架空地线的结构特点如表 1-2 所示。

表 1-2

常用架空地线的结构特点

类型	品种	型号	结 构 特 点
硬铝线	硬圆铝单线	LY	用硬拉铝制成的单股线
	铝绞线	LJ	用圆铝单线多股绞制的绞线
钢芯铝绞线	铝钢截面比 $m=1.7\sim 21$	LGJ	内层(或芯线)为单股或多股镀锌钢绞线, 主要承担张力; 外层为单层或多层硬铝绞线, 为导电部分
防腐型钢 芯铝绞线	轻防腐 中防腐 重防腐	LGJF	结构型式及机械、电气性能与普通钢芯铝绞线相同 轻防腐型——仅在钢芯上涂防腐剂 中防腐型——仅在钢芯及内层铝线上涂防腐剂 重防腐型——在钢芯和内、外层铝线均涂防腐剂
镀锌钢线	硬镀锌钢单线	GY	以碳素钢拉制成的单股线, 外表镀锌
	镀锌钢绞线	GJ	用多股镀锌钢线绞制成绞线
铝包钢绞线	铝包钢绞线	LBJ	以单股钢线为芯, 外面包以铝层, 作为单股及多股绞线
铝包钢芯 铝绞线			芯线为铝包钢绞线, 外层为单层或多层铝绞线
压缩型钢芯 铝绞线	普通型 加强型	LGJY LGJJY	将一般钢芯铝绞线, 进行径向压缩, 外层线变成扇形, 表面光滑
光纤复合 架空地线	光纤、铝包 钢线和铝线	OPGW	芯线为光导纤维的光缆, 外层绞绕承受张力的铝包钢线和导电用的铝线或铝合金线