

ICS 29.240.01

K 40

备案号: 53940-2016

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1519 — 2016

交流输电线路架空地线接地技术导则

Grounding technical guide for overhead ground wires
of AC transmission line

2016-01-07 发布

2016-06-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般规定	2
5 架空地线逐塔接地要求	2
6 架空地线单点接地要求	3
7 架空地线绝缘技术要求	4
8 OPGW 绝缘接续技术要求	4
9 架空地线维护检测	4
附录 A (资料性附录) 架空地线感应电压限值 U_0 选取依据	6
附录 B (规范性附录) 架空地线接地方式示意图	7
附录 C (资料性附录) 导、地线耦合参数 k_2 取值依据及应用示例	10
附录 D (资料性附录) 基于电磁感应电动势的架空地线分段节距计算方法	11
附录 E (资料性附录) OPGW 单点接地时绝缘接续示意图	13
附录 F (资料性附录) OPGW 绝缘接续盒	15
附录 G (资料性附录) 架空地线单点接地及 OPGW 接续位置记录表	16

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业过电压与绝缘配合标准化技术委员会归口。

本标准负责起草单位：广东电网有限责任公司电力科学研究院。

本标准参加起草单位：武汉大学、中国能源建设集团广东省电力设计研究院、贵州电力试验研究院、中国电力科学研究院、国网陕西省电力公司、成都桑莱特科技股份有限公司。

本标准主要起草人：彭向阳、潘春平、张博、毛先胤、廖民传、王建国、王锐、胡泰山、饶章权、徐晓刚、张翠霞、陈秀娟、葛栋、朱跃、何华林、李显强、鲁铁成。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

交流输电线路架空地线接地技术导则

1 范围

本标准规定了交流输电线路架空地线的接地方式、绝缘技术要求、光纤复合架空地线（OPGW）绝缘接续以及架空地线维护检测要求。

本标准适用于交流 110kV～750kV 输电线路架空地线，包括普通架空地线和 OPGW。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2900.51 电工术语 架空线路
GB 26859 电力安全工作规程 电力线路部分
GB/T 50065 交流电气装置的接地设计规范
GB 50545 110kV～750kV 架空输电线路设计规范
DL/T 741 架空输电线路运行规程
DL/T 887 杆塔工频接地电阻测量
DL/T 5224 高压直流输电大地返回系统设计技术规范
JB/T 9680 高压架空输电线路地线用绝缘子

3 术语和定义

GB/T 2900.51、GB/T 50065 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

架空地线绝缘子 insulators for overhead ground wires

架空地线绝缘和支持用的绝缘子，通常由绝缘子和放电间隙两部分组成，放电间隙由通过螺栓固定在绝缘子上的电极构成。

3.2

架空地线电磁感应电压 electromagnetic induction voltage of overhead ground wires

因导、地线间电磁耦合，架空地线上产生的电压。

3.3

架空地线电磁感应电流 electromagnetic induction current of overhead ground wires

由于电磁感应在架空地线回路或架空地线与大地回路产生的电流。

3.4

架空地线逐塔接地 overhead ground wires grounding at each tower

架空地线在线路每一基杆塔都进行接地的方式。

3.5

架空地线单点接地 overhead ground wires grounding at one tower

为降低架空地线感应电压和电能损耗，将地线对地绝缘，仅在线路某基杆塔接地。

3.6

架空地线分段 section of overhead ground wires

将架空地线全线分割成电气隔离的若干段，每段地线仅在某基杆塔单点接地，在其余杆塔保持对地绝缘。

3.7

架空地线换位 transposition of overhead ground wires

每隔一定距离对两根架空地线空间位置进行变换，以降低地线感应电压。

3.8

OPGW 隔离型绝缘接续盒 isolated insulated joint case of OPGW

用于 OPGW 分段点两端地线电气隔离、光纤通信连续以及接续盒对地绝缘的接续装置。

3.9

OPGW 连续型绝缘接续盒 continuous insulated joint case of OPGW

用于 OPGW 接头处两端地线电气连续、光纤通信连续以及接续盒对地绝缘的接续装置。

3.10

OPGW 终端型绝缘接续盒 terminal insulated joint case of OPGW

用于 OPGW 终端与站内管道光缆电气隔离、光纤通信连续以及接续盒对地绝缘的接续装置。

4 一般规定

4.1 架空地线的接地方式应综合考虑防雷、通信、节能以及融冰技术要求。

4.2 架空地线可采用逐塔接地、单点接地或分段单点接地方式，并通过技术经济比较确定。

4.3 为降低架空地线逐塔接地引起的电磁感应电流及电能损耗，宜采用单点接地方式，接地点可设置在架空地线端部或中部。线路正常运行时（对应经济电流密度），地线端部电磁感应电压宜限制在 1000V 及以下，架空地线感应电压限值 U_0 选取依据参见附录 A。

4.4 当地线电磁感应电压未超过 1000V 时，宜采用单点接地方式。当电磁感应电压超过 1000V 时，为降低地线端部感应电压，宜采用地线分段或地线换位、导地线配合换位等方式。

4.5 架空线路杆塔工频接地电阻应满足 GB/T 50065 的相关规定。

4.6 架空地线可选用镀锌钢绞线、铝包钢绞线、OPGW 或其他复合型绞线，其电气和机械使用条件应满足 GB 50545 的相关规定。

4.7 OPGW 的结构选型应考虑耐雷击性能，短路电流值和相应计算时间应根据系统情况确定。OPGW 外层绞线 110kV 线路应选取单丝直径 2.8mm 及以上的铝包钢线，220kV 及以上线路应选取单丝直径 3.0mm 及以上的铝包钢线。

4.8 对需要考虑地线融冰的线路，应结合融冰方案合理确定地线分段，分段点宜选择在地形良好和交通便利的杆塔，地线绝缘子放电间隙应满足融冰技术要求。

4.9 经过直流接地极附近的线路，当杆塔与接地极距离小于 5km 时地线（包括 OPGW）应有效绝缘，大于或等于 5km 时地线宜通过计算或实测确定是否需要绝缘，杆塔及基础的接地应满足 DL/T 5224 的要求。

4.10 架空地线接地的其他技术要求应满足 GB 50545、GB/T 50065 的相关规定。

5 架空地线逐塔接地要求

5.1 架空地线与每基杆塔应可靠电气连接，接地连接及引流线应满足雷电流、故障短路电流及运行感应电流的热稳定要求。

5.2 为减小地线电能损耗，应控制线路相间、回路间电流不平衡度；同塔双回及多回线路相序排列宜优先考虑逆相序、异相序，不宜采用同相序。

5.3 对于线路终端、地线根数变化或导线空间位置变换的杆塔处，因地线连接金具及接地引下线长期通过较大感应电流，可适当加强金具及接地连接的通流性能（如采用面接触、增加引流线等）。

5.4 为防止受感应电流损伤, OPGW 在变电站构架耐张线夹引下处及接续盒处应可靠接地, 其余非接地点宜对地绝缘。

6 架空地线单点接地要求

6.1 架空地线单点接地时, 接地点所在杆塔应确保地线与杆塔可靠电气连接, 其余杆塔地线有效绝缘, 同时应满足防雷、通信等技术要求。

6.2 架空地线典型单点接地方式见附录 B。

6.3 架空地线分段时, 为便于在耐张塔进行地线接地, 接地点宜设置在各分段地线的端部; 若感应电压不满足要求, 接地点可设置在各分段地线的中部。

6.4 架空地线换位时, 接地点可设置在换位地线端部或中部, 换位应在耐张塔进行, 换位地线应采用绝缘子对杆塔绝缘, 两根地线间的绝缘距离不宜小于 100mm。

6.5 架空线路导线若已进行换位, 在该换位点附近地线不应进行换位。

6.6 对单回及同塔双回线路, 宜采取地线分段方式。单回双地线线路导线水平排列时, 也可采用地线换位或导线配合换位方式; 同塔双回线路逆相序排列时, 也可采用地线换位方式。

6.7 对于一般单回及同塔双回线路, 地线分段(换位)节距 l 可按式(1)确定:

$$l = k_1 k_2 k_3 \frac{U_0}{I} \quad (1)$$

式中:

l ——地线分段(换位)节距, km;

U_0 ——地线感应电压限值(正常运行时取 1000V), V;

I ——线路经济输送电流, A;

k_1 ——接地点位置系数, 接地点在各段端部时 k_1 取 1, 在各段中部时 k_1 取 2;

k_2 ——导、地线耦合参数(按表 1 确定), km/ Ω , k_2 取值依据及应用示例参见附录 C;

k_3 ——电流不平衡影响系数, 导线换位线路取 1; 导线不换位线路长度 0~40km 取 1, 40km~80km 取 0.95, 80km~100km 取 0.9。

6.8 对于同塔三回及以上线路, 架空地线单点接地宜采用地线分段的方式, 分段节距由设计单位结合工程实际情况计算确定, 计算方法参见附录 D。

表 1 导、地线耦合参数 k_2 取值表

单位: km/ Ω

线路回数		不同电压等级下耦合参数 k_2				
		110kV	220kV	330kV	500kV	750kV
单回		24~27	20~25	19~23	19~24	19~22
双回同相序		10~12	11~12	—	—	—
双回逆相序		32~38	28~33	27~29	22~27	22~25
双回异相序	I 类	11~14	12~15	11~13	10~12	10~13
	II 类	18~22	19~23	17~19	14~17	15~18
注 1: 表中数据为各电压等级典型杆塔计算值, 当实际设计塔头尺寸较紧凑、导线间距离较近时, 取表中的较小值, 否则取较大值。						
注 2: 双回异相序中, I 类指只有一层横担为同名相的布置方式, 例如 ABC/ACB 或 ABC/BAC; II 类指三层横担均为非同名相的布置方式, 例如 ABC/CAB 或 ABC/BCA。						

7 架空地线绝缘技术要求

- 7.1 地线绝缘时宜使用双联绝缘子串，地线绝缘子可使用瓷绝缘子、玻璃绝缘子和复合绝缘子。
- 7.2 地线绝缘子应能耐受地线电磁感应电压，雷电过电压超过整定值时放电间隙应可靠击穿，绝缘子放电间隙距离应满足以下要求：
- a) 放电间隙工频放电电压应低于不带放电间隙地线绝缘子工频耐受电压。
 - b) 放电间隙雷电冲击放电电压应低于不带放电间隙地线绝缘子雷电冲击耐受电压。
 - c) 融冰地线绝缘子放电间隙覆冰耐受电压应高于地线最高融冰电压。
- 7.3 地线绝缘子耐张串放电间隙宜向上布置，悬垂串放电间隙宜向线路外侧布置，以减少工频及雷电电弧对绝缘子灼伤。
- 7.4 地线绝缘子的机械强度安全系数应满足 GB 50545 的规定，双联及多联绝缘子串应验算断一联后的机械强度。
- 7.5 对无地线融冰需求的地线绝缘子，其放电间隙距离宜取 20mm~30mm；有地线融冰需求的地线绝缘子，应根据实际融冰需求确定绝缘子型式、结构尺寸及放电间隙距离，一般情况下放电间隙距离可取 50mm~100mm。
- 7.6 地线绝缘子其他技术条件应满足 JB/T 9680 的规定。

8 OPGW 绝缘接续技术要求

- 8.1 OPGW 采用单点接地或地线分段方式时，利用绝缘接续盒实现 OPGW 对地绝缘和光纤接续，并在地线分段点实现电气隔离。OPGW 单点接地时绝缘接续工程示意图参见附录 E。
- 8.2 OPGW 绝缘接续盒分为隔离型、连续型和终端型三种（参见附录 F）。分段点采用隔离型绝缘接续盒，实现电气隔离和光纤连续；非分段点的接头采用连续型绝缘接续盒，实现电气连续和光纤连续；OPGW 终端采用终端型绝缘接续盒，实现电气隔离和光纤连续。
- 8.3 OPGW 绝缘接续宜选择在线路耐张塔，接续盒应选择在便于运行维护的位置安装，可设置在杆塔离地 6m~9m 处。
- 8.4 OPGW 引下线及余缆架应与杆塔保持足够的绝缘距离，且不宜安装在有脚钉的塔身主材上，避免人员上下塔时接触。
- 8.5 OPGW 引下线及余缆架支撑绝缘子安装距离：水平布置时不宜大于 1m，垂直布置时不宜大于 1.5m，两个支撑绝缘子间的引下线应拉直。OPGW 由横担转向塔身处应安装一个支撑绝缘子，穿越横隔面时应与塔材保持足够的绝缘距离。
- 8.6 无论 OPGW 有无融冰需求，OPGW 引下线及余缆架支撑绝缘子的绝缘水平均应与不带放电间隙地线绝缘子绝缘水平相匹配。

9 架空地线维护检测

- 9.1 架空地线逐塔接地时，应注意电磁感应电流可能引起的地线通流回路异常发热、烧蚀及杆塔地电位升高，并采取相应的防护措施。
- 9.2 架空地线单点接地时，为避免地线电磁感应电压和静电感应电压引起人身伤害，塔上作业应按带电作业要求采取安全措施，必要时进行地线临时接地。
- 9.3 应加强对绝缘地线的运行巡视，巡视内容包括地线绝缘子及放电间隙有无异常，地线分段点、换位点以及 OPGW 引下线、绝缘接续盒安装及连接是否良好。
- 9.4 应按 DL/T 741 的要求定期检测线路杆塔接地电阻，检查杆塔接地连接状态，对接地电阻不合格或接地引下线脱焊、松动、严重锈蚀等缺陷应及时处理。
- 9.5 架空地线单点接地时，线路工频正序、负序阻抗与架空地线逐塔接地时基本相同，测量方法与逐

塔接地时相同。

9.6 架空地线单点接地时工频零序参数测量，宜先测量单点接地时的零序阻抗，再测量地线两侧终端处临时接地时的零序阻抗（地线分段时需将各分段点两侧地线在杆塔临时接地），测量结果分别作为架空地线单点接地和地线绝缘子间隙放电时的零序阻抗值。

9.7 架空地线与杆塔绝缘时，杆塔接地电阻测量不应采用钳表法，宜采用三极法测量，测量时可不断开杆塔塔脚与接地装置的电气连接。三极法测量方法按照 DL/T 887 的规定。

9.8 为便于运行维护，应建立架空地线单点接地及 OPGW 接续位置档案（参见附录 G），包括地线分段、换位的首末端位置及各段长度，接地点位置，OPGW 接续盒类型及安装位置，设计、施工、验收、检修、测试记录等。

附 录 A (资料性附录)

架空地线感应电压限值 U_0 选取依据

A.1 架空地线单点接地时的感应电压

架空地线单点接地，线路运行时，绝缘地线上会由于电磁感应产生感应电压，当感应电压较大，超过正常范围时，会影响线路安全运行。理论计算和运行经验表明，110kV 及以上线路架空地线单点接地时，每千米绝缘地线可产生几十伏到上百伏感应电压，长线路绝缘地线端部感应电压可达几万伏。地线上较高的感应电压不仅威胁带电作业人员安全，还会导致正常运行时地线绝缘子放电、击穿，并引起地线绝缘子工频续流熄弧困难。GB 50545 规定，输电线路采用绝缘地线时，应限制地线电磁感应电压和感应电流，以保证地线安全运行。

A.2 架空地线感应电压限值 U_0 的选取

架空地线单点接地方式下，线路正常运行时（对应经济电流密度）地线电磁感应电压宜限制在 1000V 及以下，主要基于以下考虑：

- a) GB 26859 规定，1000V 及其以下电压为低压，1000V 以上为高压，因此，将正常运行时地线感应电压限制在低电压等级是合适的，有利于作业安全。GB 26859 同时规定，在绝缘地线附近作业时，作业人员与绝缘地线间距离应不小于 0.4m；在绝缘地线上作业时，应将绝缘地线可靠接地或采用等电位作业方式。
- b) 110kV~750kV 线路典型长度为几千米至几百千米，理论计算和运行经验表明，采取地线单点接地方式时，通过控制地线分段长度和接地点位置，将地线非接地端最大感应电压限制在 1000V 及以下是可能的，线路设计上也是可行、合理的。
- c) 我国第一条 750kV 线路官东 I 线的普通地线采取分段单点接地，计算表明，当线路输送正常功率和最大允许功率时，地线感应电压分别限制在 500V 和 1000V 以下；我国第一条 1000kV 特高压线路“1000kV 晋东南-南阳-荆门特高压交流试验示范工程”线路普通地线采取分段单点接地，实测正常运行时地线感应电压在 500V 以下；我国 500kV 线路地线单点接地时感应电压基本限制在 1000V 及以下。
- d) 架空地线单点接地时，地线感应电压近似与导线电流成正比，线路正常运行时输送电流一般可按经济电流密度计算，据此可确定正常运行时地线感应电压值，此外，还需确认“N-1”运行条件下感应电压满足地线绝缘子间隙工频熄弧要求。

线路正常运行与“N-1”运行时地线感应电压近似对应关系见表 A.1，根据 JB/T 9680 规定，地线绝缘子放电间隙为 15mm 时，在 2500V 工频感应电压下应可靠熄灭 35A 电感性或 20A 电容性电流。一般情况下流经绝缘子的工频续流不会超过这一数值，因此线路正常运行和“N-1”运行时将地线感应电压分别限制在 1000V 和 2000V 及以下，能够满足故障时间隙工频熄弧要求。

表 A.1 线路正常运行与“N-1”运行时近似对应关系

线路运行方式	导线电流	地线感应电压	工频熄弧电压 V	感应电压限值 V	计算裕度
正常运行	I	U_0	≤ 1250	1000	25%
“N-1”	$2I$	$2U_0$	≤ 2500	2000	

附录 B
(规范性附录)
架空地线接地方式示意图

B.1 单回输电线路

B.1.1 地线分段

接地点在各分段地线端部、中部的地线分段如图 B.1 和图 B.2 所示。

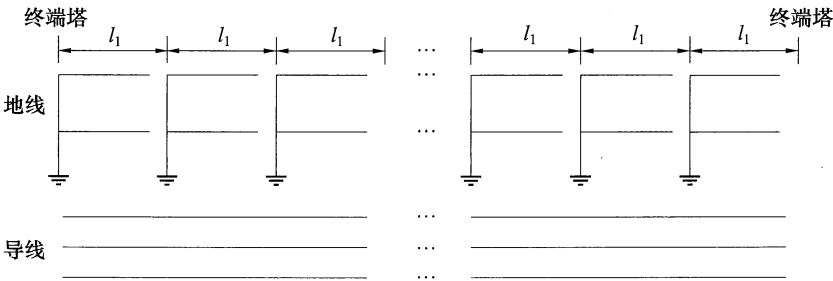


图 B.1 地线分段（接地点在各分段地线端部）

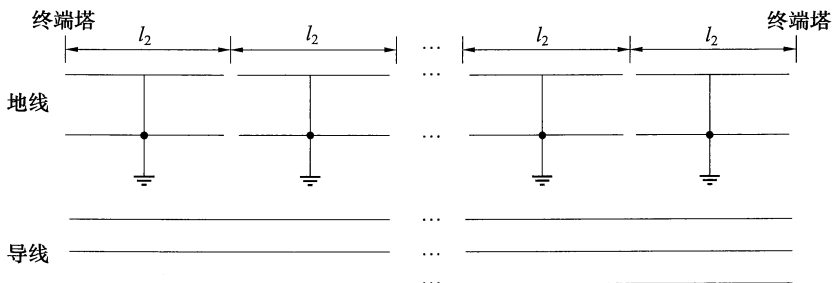


图 B.2 地线分段（接地点在各分段地线中部）

B.1.2 地线换位

接地点在换位地线节距端部、中部的地线换位如图 B.3 和图 B.4 所示。

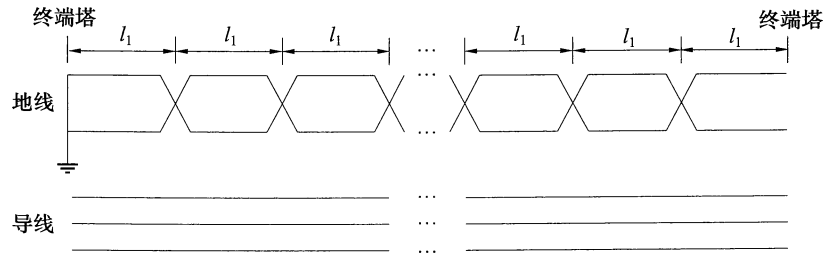


图 B.3 地线换位（接地点在换位地线节距端部）

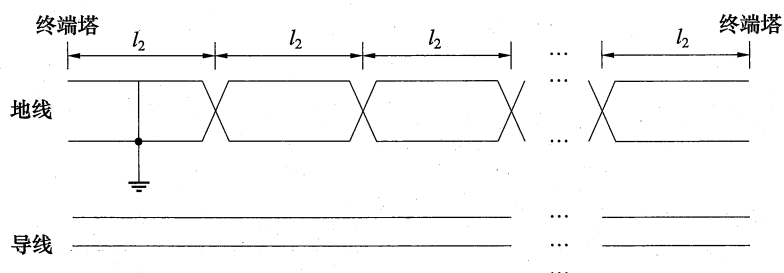


图 B.4 地线换位（接地点在换位地线节距中部）

B.1.3 导、地线配合换位

接地点在换位地线节距端部、中部的导、地线配合换位如图 B.5 和图 B.6 所示。

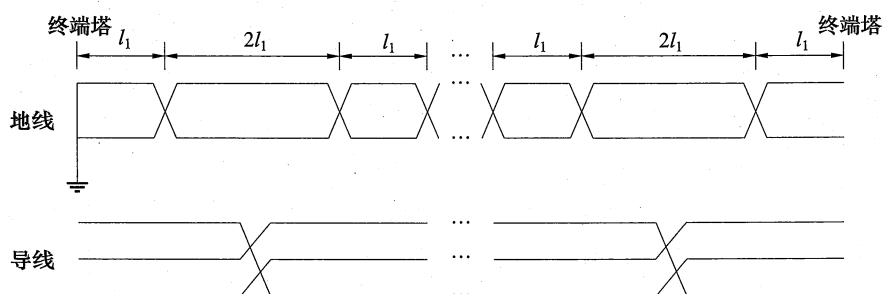


图 B.5 导、地线配合换位（接地点在换位地线节距端部）

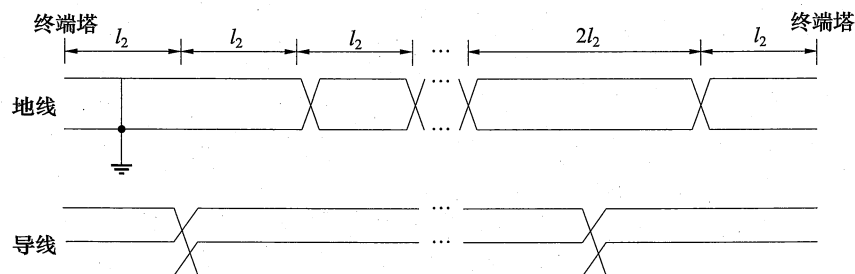


图 B.6 导、地线配合换位（接地点在换位地线节距中部）

B.2 同塔双回输电线路

接地点在各分段地线端部、中部的地线分段如图 B.7 和图 B.8 所示。

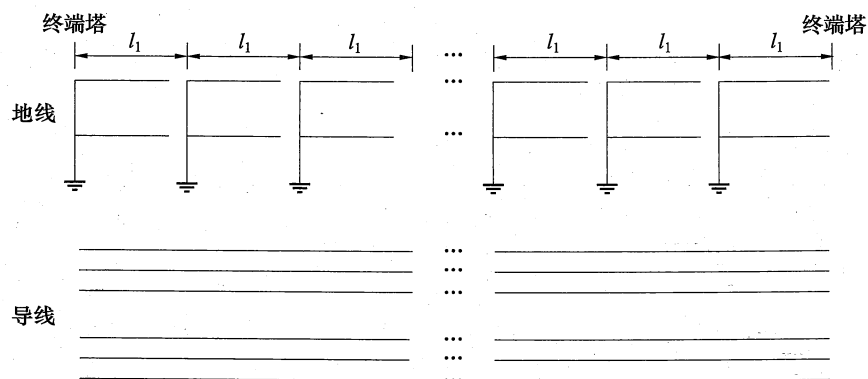


图 B.7 地线分段（接地点在各分段地线端部）

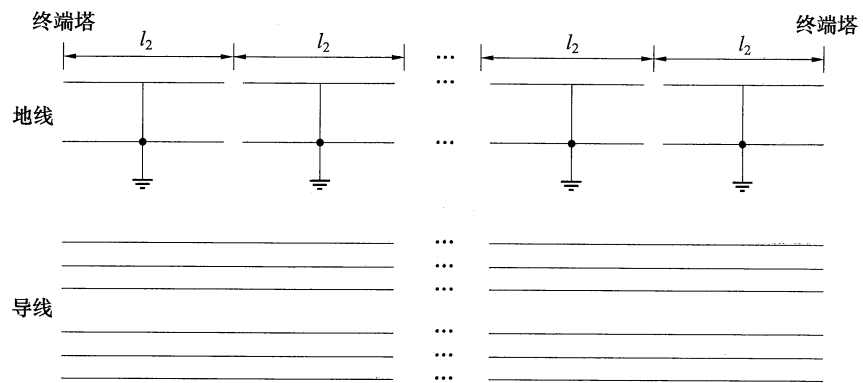


图 B.8 地线分段（接地点在各分段地线中部）

附录 C

(资料性附录)

导、地线耦合参数 k_2 取值依据及应用示例

C.1 导、地线耦合参数 k_2

架空地线采用分段单点接地方式，分段节距可按本标准 6.7 条公式 (1) 计算，式中导、地线耦合参数 k_2 由导线与地线间电磁耦合程度决定。当杆塔塔型变化时，导、地线相对空间位置亦变化，则耦合程度不同， k_2 值随之变化。

通过 EMTP 仿真计算，得到各电压等级下各对应塔型的架空地线感应电压，由此推算出对应的 k_2 值，可归纳得到各电压等级下单、双回路（分逆相序、异相序和同相序） k_2 取值范围。仿真计算所用塔型采用国家电网公司输变电工程通用设计，同时参照南方电网公司 110kV~500kV 输电线路杆塔标准设计。

本标准 6.7 条表 1 给出了各电压等级单、双回线路 k_2 的取值范围（变化幅度基本在 20% 以内），架空地线采用分段单点接地方式时，可根据实际情况在此范围内取值。

C.2 典型线路 k_2 取值范围计算示例

实际线路杆塔型号很多，以下根据 220kV 及 750kV 线路部分典型杆塔给出计算示例，见表 C.1 和表 C.2，由此可得出供工程应用的 k_2 值。

表 C.1 220kV 双回逆相序排列线路 k_2 计算值

塔型	2D1-SZ3	2E1-SZ1	2D1-SZ3	2E8-SZ3	2F1-SZ2	2J1-SZ2
k_2 km/ Ω	32.80	33.05	31.56	28.08	31.91	30.58

由仿真结果得出典型杆塔 k_2 取值范围为 28.08~33.05，实际可取 28~33。

表 C.2 750kV 单回输电线路 k_2 计算值

塔型	7A1-ZB1	7A1-ZB3	7A2-ZB1	7A2-ZB2	7B1-ZB1	7B2-ZB2
k_2 km/ Ω	22.13	20.47	21.53	20.93	20.31	19.54

由仿真结果得出典型杆塔 k_2 取值范围为 19.54~22.13，实际可取 19~22。

C.3 导、地线耦合参数 k_2 应用示例

例 C.1：某 220kV 单回线路经济输送电流为 800A，架空地线采用分段单点接地方式，导线换位，将正常运行时地线感应电压限制在 1000V 及以下。

查本标准表 1 可知 220kV 单回线路 k_2 值为 20~25，若设定架空地线接地点在各分段地线端点，由式 (1) 可知 $k_1=1$ 、 $k_3=1$ ，计算地线分段节距 $l=25\text{km}\sim 31.25\text{km}$ ；若接地点在各分段地线中点，由式 (1) 可知 $k_1=2$ 、 $k_3=1$ ，计算地线分段节距 $l=50\text{km}\sim 62.5\text{km}$ 。

例 C.2：某 500kV 同塔双回线路相序排列为 ABC/CBA（逆相序），经济输送电流为 2592A，架空地线采用分段单点接地方式，导线换位，将正常运行时地线感应电压限制在 1000V 及以下。

查表 1 可知 500kV 双回线路逆相序 k_2 值为 22~27，若设定架空地线接地点在各分段地线端点，由式 (1) 可知 $k_1=1$ 、 $k_3=1$ ，计算地线分段节距 $l=8.49\text{km}\sim 10.42\text{km}$ ；若接地点在各分段地线中点，由式 (1) 可知 $k_1=2$ 、 $k_3=1$ ，计算地线分段节距 $l=16.98\text{km}\sim 20.83\text{km}$ 。

附录 D

(资料性附录)

基于电磁感应电动势的架空地线分段节距计算方法

D.1 架空地线分段节距

架空地线分段节距可按式(1)计算：

$$l = k_1 \frac{U_0}{|\vec{E}_0|} \quad (\text{D.1})$$

式中：

l ——地线分段（换位）节距，km；

U_0 ——地线感应电压限值（正常运行时取 1000V），V；

$\vec{E}_0$ ——地线每千米电磁感应电动势（三相平衡和不平衡时分别按 D.2、D.3 计算），V/km；

k_1 ——接地点位置系数，接地点在各段端部时 k_1 取 1，在各段中部时 k_1 取 2。

D.2 三相平衡时架空地线电磁感应电动势

《电力工程高压送电线路设计手册》（第二版）中给出了单回线路三相平衡时架空地线电磁感应电动势计算公式，以此类推，若双回路及多回路的各回路三相平衡时，不含导、地线换位的地线电磁感应电动势可按式(2)计算：

$$\vec{E}_b = j0.1447 \sum_{k=1}^n \left[\vec{I}_{k,A} \left(\alpha \lg \frac{d_{k,A}}{d_{k,B}} + \alpha^2 \lg \frac{d_{k,A}}{d_{k,C}} \right) \right] \quad (\text{D.2})$$

式中：

$\vec{E}_b$ ——三相平衡时架空地线每千米电磁感应电动势，V/km；

n ——线路总回路数；

k ——回路序号；

$\vec{I}_{k,A}$ ——第 k 回 A 相导线电流，A；

$d_{k,A}$ ——地线与第 k 回 A 相导线几何中心间的距离，m；

$d_{k,B}$ ——地线与第 k 回 B 相导线几何中心间的距离，m；

$d_{k,C}$ ——地线与第 k 回 C 相导线几何中心间的距离，m；

α ——旋转因子， $\alpha = e^{j120^\circ}$ 。

D.3 三相不平衡时架空地线电磁感应电动势

对全线无导线换位的线路，考虑三相不平衡的影响，地线电磁感应电动势可近似按下式计算：

$$\vec{E}_{\text{unb}} \cong \mu \vec{E}_b \quad (\text{D.3})$$

式中：

$\vec{E}_{\text{unb}}$ ——三相不平衡时架空地线每千米电磁感应电动势，V/km。

μ ——电流不平衡修正系数。对换位线路 μ 取 1；对未换位的单回和同塔双回线路 μ 可参照表 D.1 取值；同塔三回及以上线路 μ 根据运行经验确定。

表 D.1 电流不平衡修正系数 μ 参考值

电压等级 kV \ 线路长度 km	$L < 20$	$20 \leq L < 40$	$40 \leq L < 60$	$60 \leq L < 80$	$80 \leq L < 100$
110	1.0	1.0	1.05	1.05~1.1	1.1~1.2
220~330	1.0	1.0~1.1	1.05~1.15	1.1~1.2	1.15~1.3
500~750	1.0~1.05	1.05~1.15	1.1~1.25	1.2~1.3	1.25~1.4

附录 E
(资料性附录)

OPGW 单点接地时绝缘接续示意图

OPGW 采用单点接地方式时，其绝缘接续典型工程示意图如图 E.1～图 E.4 所示。

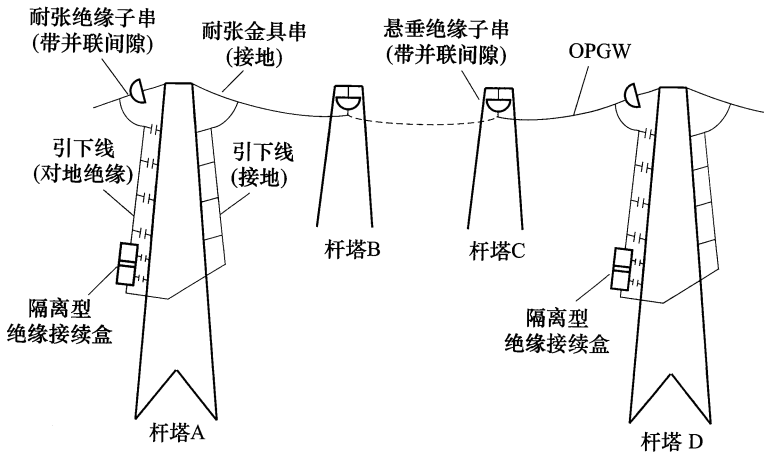


图 E.1 单点接地方式 1 (接地点位于分段端部耐张塔)

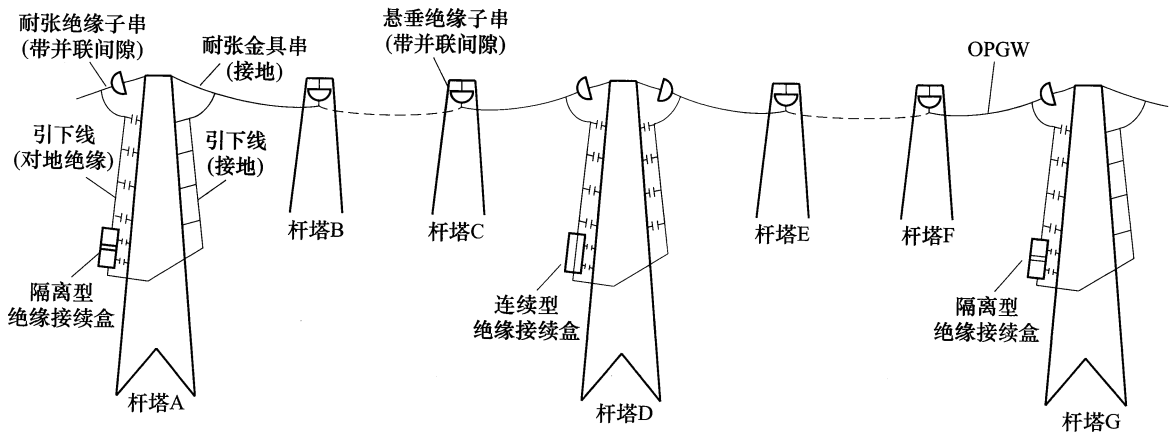


图 E.2 单点接地方式 2 (接地点位于分段端部耐张塔，分段中部绝缘接续)

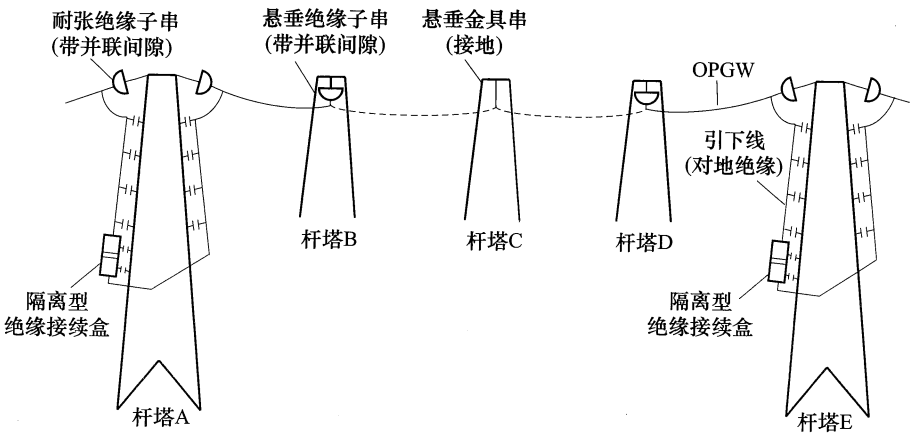


图 E.3 单点接地方式 3 (接地点位于分段中部直线塔)

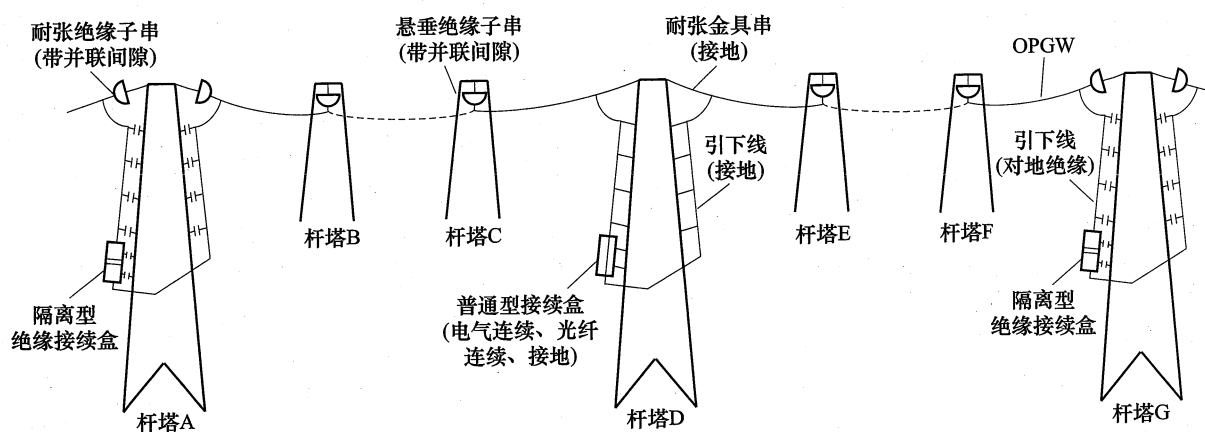


图 E.4 单点接地方式 4 (接地点位于中部接续盒所在杆塔)

附 录 F
(资料性附录)
OPGW 绝缘接续盒

OPGW 隔离型、连续型、终端型绝缘接续盒分别如图 F.1～图 F.3 所示。

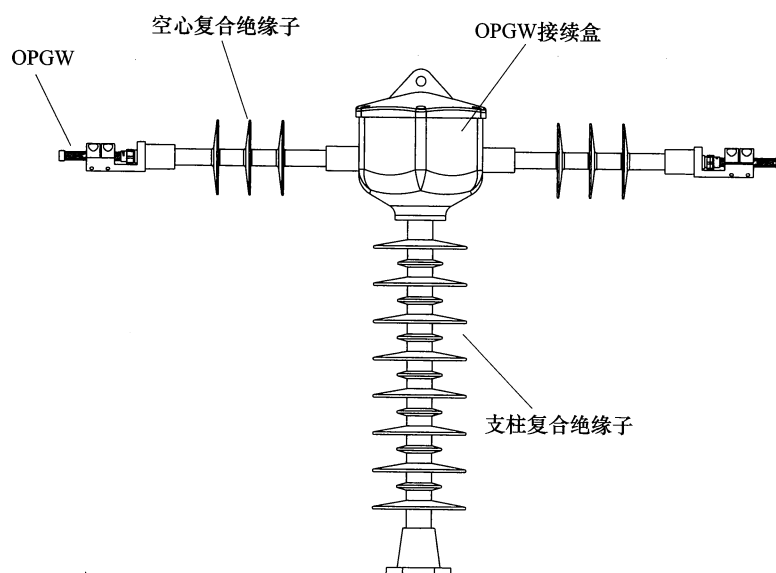


图 F.1 OPGW 隔离型绝缘接续盒

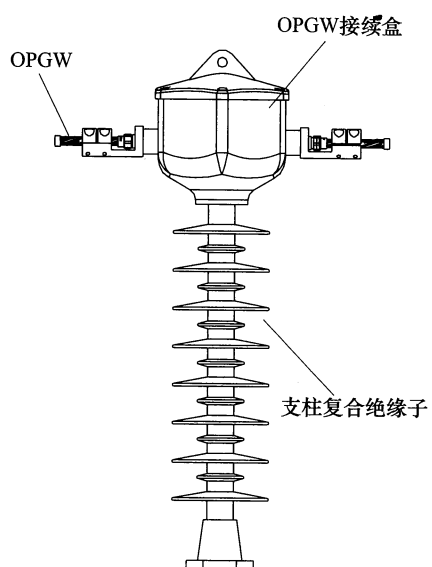


图 F.2 OPGW 连续型绝缘接续盒

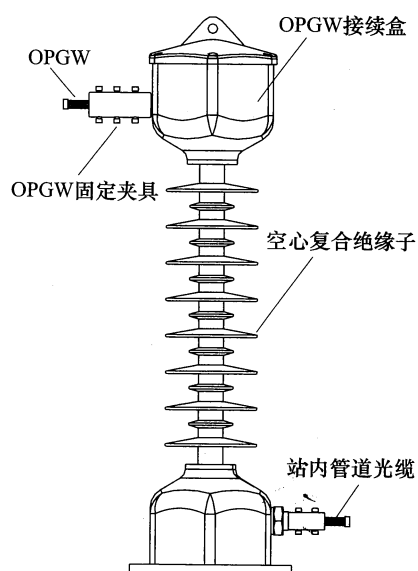


图 F.3 OPGW 终端型绝缘接续盒

附 录 G
(资料性附录)

架空地线单点接地及 OPGW 接续位置记录表

架空地线分段记录、架空地线换位记录、OPGW 接续记录分别见表 G.1~表 G.3。

表 G.1 架空地线分段记录表

序号	电压等级 kV	线路名称	分段首端	分段末端	分段长度 km	分段接地点	投运时间	备注

表 G.2 架空地线换位记录表

序号	电压等级 kV	线路名称	换位段首端	换位段末端	换位段长度 km	接地点位置	投运时间	备注

表 G.3 OPGW 接续记录表

序号	电压等级 kV	线路名称	接续位置	接续盒类型	安装高度 m	检测时间	投运时间	备注