

# 浅谈接地降阻材料的分类及应用

何静文 李驭

中国能源建设集团陕西省电力设计院有限公司

**摘要:** 本文针对工程设计中常用的接地降阻材料进行了对比分析,通过对各种接地降阻材料的工作原理、物理化学性能、使用寿命及环保性等几个方面的归纳总结,为实际工程应用接地网材料及降阻措施的设计及选型提供参考和借鉴。

**关键词:** 接地电阻; 接地降阻材料; 降阻剂; 接地模块

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-6288.2023.08.209

## 引言

在电力、通信、石化、建筑等领域,接地网是保障设备安全和人身安全的重要设施。然而,实际工程中,由于地质条件、土壤电阻率过高、场地面积有限、短路电流过大等原因,设计接地网的接地电阻值往往无法满足要求,导致设备无法正常运行或者存在安全隐患。在此情况下,应用合适接地网降阻材料和降阻方案可以有效地降低接地网的接地电阻,提高设备的安全性和稳定性。

### 一、接地降阻材料的定义

接地降阻材料是指可以用来降低接地装置的接地电阻,敷设(浇筑)在接地装置中的接地体周围的降阻材料。接地降阻材料在常温(25±10)°C下的标称电阻率不大于5Ω。在土壤电阻率较高的地区,工程中常采用的接地降阻材料有以下几种:铝铜稀土合金接地材料、石墨接地模块、复合接地模块、离子接地系统、物理降阻剂、柔性接地体等。

### 二、接地降阻材料的分类

目前,工程中常用的、技术较成熟的接地降阻材料可分为以下几类:

- (1) 铝铜稀土合金接地材料
- (2) 接地模块,包括石墨接地模块、全寿命复合接地模块等
- (3) 离子接地体
- (4) 物理降阻剂
- (5) 柔性接地体

#### (一) 铝铜稀土合金接地材料

##### (1) 工作原理

铝铜稀土合金接地材料,是指对满足成分、组织和性能要求的铝合金材料通过表面喷丸和预氧化处理后,满足接地和耐土壤腐蚀性能要求,用于电气工程接地的铝铜合金材料。铝铜稀土合金接地材料,具有良好接地电气性能和耐土壤腐蚀性能,可有效替代镀锌钢或纯铜作为接地材料使用。

##### (2) 机械性能

铝铜稀土合金接地材料在施工过程中更易加工成所需形状,铜覆钢等材料在弯折过程中易破坏覆铜层或导致铜与铜层剥离,相比镀锌钢、铜覆钢等材料延展性、可塑性更好。且铝铜稀土合金接地材料密度仅为镀锌钢和铜覆钢的38%,为铜的33%,运输和施工方便,能够大大降低运输和施工成本。

##### (3) 导电性及耐腐蚀性

铝铜稀土合金接地材料的导电性能良好,是镀锌钢的5倍。铜覆钢的电导率与截面积与覆钢相关,电导率为 $1.14 \times 10^{-7} \sim 4.3 \times 10^{-8}$ ,石墨接地极电阻率是稀土合金接地极的750倍。

铝铜稀土合金接地材料的耐腐蚀性强,稀土合金接地材料,作为一种新型接地材料,通过添加铜、稀土和其他元素,使用特殊的工艺处理,使接地合金表面的腐蚀产物全为铝铜氧化物,导电性能好,具有耐土壤腐蚀性能。

##### (4) 使用寿命

稀土合金接地材料耐腐蚀性强,适用于一般环境,盐碱性非潮湿环境,盐水湖、海洋、滩涂、海滨等高盐潮湿环境,在各种环境下均可以满足项目全生命周期的使用。

##### (5) 环保性

对埋相同体积的铜、镀锌钢、稀土合金材料的土壤进线测试,埋稀土合金材料的土壤含铜量为埋纯铜土壤的1/7,土壤重金属含量是埋镀锌钢的1/163。稀土合金接地材料属于环境友好型材料,不会对环境造成污染。

#### (二) 石墨接地模块

##### (1) 工作原理

石墨降阻模块的主体为导电非金属材料,该导电材料包括导电性、稳定性好的非金属材料、防腐金属电极、吸湿剂和电解质。模块外层的石墨降阻模块增加了防腐金属电极与土壤的接触面积,大大降低的接地电阻。

##### (2) 机械性能

石墨降阻模块体积较大,且石墨脆性较大,抗拉伸

能力差,实际运输及施工存在困难。

### (3) 导电性及耐腐蚀性

石墨的导电性比一般非金属矿高一倍,常温下石墨的电阻率可达到级别,接近金属的导电性能。石墨接地模块的电阻率为 $3 \times 10^{-5} \Omega \cdot m$ ,石墨接地模块自身有很强的吸湿保湿能力,使它周围的土壤保持湿润,保证接地模块有效发挥导电作用。

### (4) 使用寿命

石墨接地模块本身的材质和表面涂层都是经过防腐处理的,表面包裹的是金属电极,其材质具有稳定的抗氧化,防潮防湿等特别,使用寿命三十年以上。

### (5) 环保性

石墨接地模块主体采用非金属材料及石墨材料,材质本身稳定性较好,对环境无污染。

## (三) 全寿命复合接地模块

### (1) 工作原理

全寿命复合接地模块采用的是双导电机理,即电子导电机理和离子导电机理。干燥状态下模块内含有大量碳分子、未水化的熟料颗粒及一次水化后的电解质离子,在电场的作用下碳分子及电解质离子形成传导电流;潮湿状态下模块在潮湿状态下发生二次水化,二次水化后产生大量导电离子,形成电子与离子的双重导电,大大提高了全寿命复合接地模块的导电性能。

### (2) 机械性能

全寿命接地模块的实验强度达到20MPa,便于长途运输,且在施工过程中不破摔碎,在接地网回填夯实土壤时不易破碎。且全寿命接地模块特别适合野外高山、高土壤电阻率环境,体积小重量轻,便于搬运,根据接地网土壤开挖情况可采用立式埋设和平铺埋设。

### (3) 导电性及耐腐蚀性

全寿命复合接地模块电阻率为 $4.3 \times 10^{-4} \Omega \cdot m$ ,全寿命复合接地模块本体的电阻率很低。

全寿命复合接地模块室内腐蚀率试验中的腐蚀速率为0.0012mm/年,埋入土壤腐蚀率试验中的腐蚀速率为0.008mm/年。相比于镀锌钢、铜等材料更耐腐蚀。

### (4) 使用寿命

全寿命接地模块中掺入的高纯纳米碳、稀土元素及导电矿物质,对金属材料的腐蚀性于硅酸盐水泥等效,而模块本身内部的电极芯材骨架为316不锈钢材质,因此其使用寿命优于混凝土的使用寿命(100年以上),产品寿命和建筑物寿命同期。

### (5) 环保性

全寿命接地模块主要由纳米高纯碳粉及粘接材料组成,内部为不锈钢骨架材料,不会对环境造成污染。

## (四) 离子接地体

### (1) 工作原理

离子接地体由电极单元、增效电解离子填充剂和防护罩三部分组成。电极外表通常是由铜合金、高纯度钢材或者特殊钢材制成,电极内部填充材料含有特制的电离子化合物,具有非常好的吸水性和渗透性,同时向周围的土壤释放导电离子,增大土壤周围的离子浓度,以确保最高导电性能及较长使用寿命。

### (2) 结构特征

离子接地体占地面积小,施工工程量小,节约材料;其防护罩采用高强度塑料制成,可以承受的重量 $\geq 2000N$ 。

### (3) 导电性及耐腐蚀性

离子接地极能够通过顶部的呼吸孔吸收空气和土壤中的水分,通过潮解作用,将活性电解离子有效释放到周围的土壤中,使接地极成为一个离子发生装置,从而改善周边土质使之达到降低接地电阻要求。

电极单元采用耐腐蚀材料,并进行特殊防腐材料,可根据不同地区的土壤构成及腐蚀性采用不同材质,耐腐蚀性强。回填料通常经过特殊加工处理,在与金属电极长期配合作用中,在离子生成及对电极防止腐蚀两方面都达到了较好的效果,也具有极高的防腐能力。

### (4) 使用寿命

离子接地体的使用寿命根据电极单元材质和适用环境不同,使用年限也不同,最短使用年限30年,最长使用年限可达50年。

### (5) 环保性

离子接地体通过电极单元与增效电解离子填充剂的共同作用,形成了一个壳层内环境,这一内环境内外融合渐向四周扩散,共同完成了壳层土壤化学处理作用。填充料本身无毒、无危险污染物质,不会对环境造成危害。

## (五) 物理降阻剂

### (1) 工作原理

物理降阻剂由多种成份组成,其中含有细石墨、膨润土、固化剂、润滑剂、导电水泥等,一般为灰黑色。物理降阻剂是一种良好的导体,并且其导电性不受酸、碱、盐、高低温及干湿度所限,将它使用于接地体和土壤之间,一方面能够与金属接地体紧密接触,形成足够大的电流流通面;另一方面它能向周围土壤渗透,降低周围土壤电阻率,在接地体周围形成一个变化平缓的低电阻区域。

### (2) 性能特点

土壤降阻剂的主要成分为导电性物质如盐类或固体导电粉末等,在实际施工时,将降阻剂填充在接地极周围,加水调成浆状物质,再回填土压实。

### (3) 导电性及耐腐蚀性

物理降阻剂试验中测量电阻率 $\leq 2\Omega \cdot m$ ,其导电性稳定,电极石墨存在于物理性降阻剂中,凝固后不会发生物理和化学变化,组成不因季节二流失。因此其导电性不受高低温、干湿度和环境介质的影响。

物理降阻剂具有较好的防腐性,降阻剂以高导电性和化学性能稳定的物质为主要材料,与金属不发生化学反应。胶凝物机器添加剂均为强碱弱酸盐,对金属无腐蚀性。

### (4) 使用寿命

物理降阻剂具有较强的吸水性能和保湿性能,能承受雨水、地下水的冲刷,同时防腐性能好,不受环境介质影响,理论使用寿命可达30年以上。

### (5) 环保性

降阻剂虽然可以起到降阻效果,但同时其也含有诸如重金属等有毒物质,当其被埋入地下时,可能会造成地下水资源的污染,对动植物及人类健康造成严重威胁。

## (六) 柔性接地体

### (1) 工作原理

柔性接地体是一种由导电非金属材料、电解质材料、防腐材料、结构材料组成,可以通过现场制作,液态接地体进入土壤后,以胶体形式在岩石表面形成导电膜,能明显降低工频接地电阻和土壤中水分、盐、酸、碱等因素侵蚀的新型接地体。

### (2) 导电性及耐腐蚀性

柔性接地体导电性好,吸水性强,保水性好,可以依据地理条件以任意形状快速成型。与金属及介质形成最大的包裹面积。

柔性接地体能够与金属紧密结合,防腐效果好。柔性接地体完全包裹金属接地极隔绝空气中的氧气,杜绝氧化反应,隔绝酸性土壤,减少酸蚀。

### (3) 使用寿命

柔性接地体本身是均匀物质,避免电化学反应的发生,且保水性好,能够最大限度延长接地网的使用寿命,理论上可以延长至常规情况下6倍的使用时间。

### (4) 环保性

柔性接地材料是一次性成型反应不可逆,产品不溶于水,环保性好,不会对环境造成二次污染。

### (5) 施工简便

柔性接地体具有便捷性和广泛适用性,可以减少施工费用和施工周期,减少无谓的浪费。

## 三、各接地降阻材料的降阻效果及应用

铝铜稀土合金接地材料主要用于水平接地体和垂直接地极,其优点是导电性强,耐腐蚀性好,主要应用于腐蚀性高地质环境的接地网敷设,在土壤腐蚀性高的地

区其耐腐蚀性能及使用寿命等都明显优于镀锌钢、铜等普通接地材料;但该材料降阻效果并不明显,在高土壤电阻率地区,无法起到降低接地电阻的作用。

石墨接地模块及全寿命复合接地模块均属于接地模块,两者都主要用于垂直接地极。石墨接地模块的主要材料为石墨,其本身脆性较大,抗拉伸能力差。全寿命复合模块,导电性更强,表面积更大,更有利于降低接地电阻,且施工更加简便。

离子接地体主要利用电极单元、增效电解离子填充剂的离子导电性能,向周围的土壤释放导电离子,增大土壤周围的离子浓度,扩大土壤的导电范围。离子接地体使用后可以降低垂直接地极的接地电阻,从而降低整个接地网的接地电阻。

物理降阻剂与柔性接地体导电性都不受酸、碱、盐、高低温及干湿度所限,两者都能长期保持稳定的接地电阻,稳定降低接地电阻;柔性接地体降阻系数0.16,低于国家标准0.7~0.8,也明显低于物理降阻剂0.65~0.75的降阻系数,降阻效果更显著,尤其是对山区岩石地貌、土壤电阻率极高的地区具有非常明显的效果。

## 结语

(1) 接地降阻材料在防雷接地工程中应用广泛,并且具有降低电网的接地电阻、增强防雷效果、延长接地寿命等优点。

(2) 不同的接地降阻材料在导电性、防腐性、施工难度、降阻效果等各有优缺点,实际工程应根据项目的具体情况和要求进行综合评估和分析,以确定最合适的方案。

## 参考文献

- [1] 曹秀军. 接地技术与接地产品的介绍及其应用[J]. 移动电源与车辆. 2023(03).
- [2] 李传东. 变电站接地系统解析及设计案例[J]. 电世界. 2023(03).
- [3] 鞠海涛. 接地系统腐蚀防护技术研究进展[J]. 天津化工. 2023(03).
- [4] GB 50065-2011. 交流电气装置的接地设计规范[S]. 中国标准出版社, 2016.
- [5] GB/T 50057-2010. 建筑物防雷设计规范[S]. 中国计划出版社, 2011.
- [6] GB 50169-2016. 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范. [S]. 中国计划出版社, 2017.
- [7] 陈四甫. 接地材料与土壤接触电阻测定方法研究[J]. 电气技术. 2023(03).
- [8] 许井峰. 电站接地极换土法的接地降阻效率研究[J]. 电力学报. 2023(02).