

# 变电站几种接地材料的探讨

谢 靖

(徐州华电电力勘察设计有限公司, 江苏 徐州 221005)

**摘 要:** 文章叙述了变电站接地材料方面的一些认识以及连接工艺。结合以往工程经验,对接地材料进行了分析和探讨,提出了一些安全、可靠、切实可行的做法,以利于变电站的安全运行,控制工程投资。

**关键词:** 变电站; 接地; 材料

## 1 总述

随着电力工业的发展,接地网在变电站运行中的安全问题越来越重要,它不仅影响各种电气设备的安全运行,更直接关系到变电站内工作人员的人身安全。随着城市建设与经济的发展,变电站的用地越来越受到限制,占地面积越来越小,城市边角用地、山脚高土壤用地等不利因素给变电站的接地带来一定的困难。采用传统的热镀锌扁钢很难降低接地网的接地电阻,满足不了跨步电压及接触电势的要求,于是市场上出现了铜覆钢产品,按照其生产工艺诞生出常见的几种新材料和连接工艺,如连铸铜包钢接地材料、镀铜钢接地材料、铜包钢接地材料、铜铸钢接地材料、电解离子接地体等。本文就以上几种材料及连接工艺做一比较,谈谈自己的想法。

### 1.1 镀铜材料

生产工艺: 采用电镀工艺,利用电解原理在处理干净的钢材表面上镀上铜层的加工工艺。需将钢芯外表面前期先镀镍,以增强铜分子的电镀紧密性。目前较先进的接地材料电镀工艺采用的是四维电镀法,它优于传统的堆镀法,该工艺中钢芯本身自转,同时以一定的速度向前运动,以确保钢芯表面铜层厚度均匀。而传统的堆镀法钢芯本体不旋转,也不向前运动,因此铜层厚度有可能不均匀,上薄下厚。但四维电镀法让导体自身产生水平和垂直上的运动,避免了厚度不均匀的问题。

所以镀铜材料铜与钢的结合是否紧密,是否为分子渗透,随意弯折刮擦铜层是否剥落是我们关注的问题。另外镀铜材料的厚度往往是最重要而又被忽视的参数。这种材料在我国市场上近几年才开

始,而在国外市场开始于九十年代初。美国国家标准局围绕铜层的腐蚀情况做了长达 40 多年的研究,得出结论: 30 年铜层腐蚀厚度为 0.13mm。国家电力公司企业标准 Q/GDW466-2010《电气工程接地用铜覆钢技术条件》中,规定了各类型的铜覆钢铜层厚度不应低于 0.25mm。

### 1.2 连铸铜包钢材料

生产工艺: 采用水平连铸(无氧热镀)工艺,将处理干净的钢丝(钢棒)在氮气保护下加热到较高温度,同时利用工频炉将电解铜加热熔化,将钢丝(钢棒)快速通过铜液并在出口处结晶成铜包钢棒,再拉制成铜包钢导体。该工艺是将电解铜加热至 1200℃ 熔化液态后,再次结晶在钢芯上,在 1200℃ 时铜钢结合面形成合金化过渡层,双金属界面完全牢固结合,从而实现铜与钢之间可延性冶金熔接,成为单一复合体,可像拉拔单一金属一样任意拉拔,不出现脱节、翘皮、开裂现象。

所以它的优点是: ①铜与钢实现了冶金分子结合、成为单一复合体、②可任意调节铜层厚度(常规 1mm)③防腐特性更优,使用寿命较长;④表层为无氧铜,导电性更好;它的主要缺点是: 工艺较复杂、相比之下成本较高。

### 1.3 铜包钢材料

生产工艺: 采用包覆(冷拉)工艺,将铜管包覆在钢芯外表面,铜管与钢芯之间为物理压接。因而存在①接合面在非纯平的表面存在空隙,电气传导性有安全隐患。②若与岩石或建筑垃圾等硬块刮擦的话,铜皮易破损起卷,水汽进入接合面将导致材料的双金属反应,加速内部钢芯的腐蚀速度③直径太小的钢芯无法采取这种工艺生产,包裹过程中铜层易破裂。

这种材料在国内市场出现时间不到有十年。在台钳模拟安装中①易出现了铜层剥落的状况,②接地材料在安装时,出现过接地钢芯已入地,铜管确还留在地面的情况。③由于市场上铜管生产厂家生产能力的问题,铜管长度有限(最长不超过 6m),铜管直径有限(最小约 8mm)。因此铜包钢接地材料也无法突破这个局限,相应的绞线均没有这种材料生产的(绞线长度上千米,单股线径小于 4mm,还需要弯折成卷),能提供的只有接地棒这种形状。

#### 1.4 铜铸钢(电铸)材料

生产工艺:该材料在生产中,先将铜材通过电流熔解,然后让钢芯穿过熔解的铜液,利用铜液液态的特性让其附着在钢芯表面,冷却后包覆住钢芯,因此也有的厂家称这种工艺为电铸铜接地材料,实际上和早前市场上出现的铜铸钢原理一样,称呼不同而已。由于铜液在加工中温度很高,钢芯表面的杂质在高温中碳化,形成中空的气孔,铜钢接触面积小于钢芯表面,电阻过大。另外因重力的影响,铜层附着在钢芯表面也不均匀,上薄下厚。铜液在加工过程中并未熔解钢芯(否则就变成铜、钢混合液了),因此钢芯和铜的结合也是物理面的结合,要满足厚度不小于 0.25mm 的企业标准有些困难。

这种材料的出现晚于国内的铜包钢接地材料,由于其早期加工工艺的局限性(需要大量电熔解铜)导致成本过高,因此销量不大。后期部分厂家把电镀生产的接地产品(厚度不达标)改称为电铸或铜铸钢接地材料,混淆了生产工艺,以达到避免用户关注厚度的目的。

#### 1.5 电解离子接地棒

原理:电解离子接地棒做为一种特殊接地极,使用在山区等高土壤电阻率的场合,通过管壁的呼吸孔和释放孔,潮解铜管内部的电解质,让游离态的离子通过潮气等方式在管体下部形成树根状的导电通道,本质上是加大地网的导流面积以降阻。游离态的离子在雨水的长期冲刷下易流失,在这种情况下需要再次往管内添加电解质。多雨或地下水脉的临时增加会直接影响离子接地棒的使用寿命。

材料背景及市场情况:①有的厂家为了节约成本,扩大利润空间,在电解质的使用上多数选用工业盐这种材料,但工业盐溶于水,保持性非常差,同时分解的重金属容易污染环境,所以这种电解离子接地极使用效果一般 1~2 年左右,过了时间接地

电阻会大幅度反弹。②有的厂家为每根电解离子接地棒采用了先进的缓释技术配有接地观测井,用以标识其安装位置,及检测观察离子棒的使用情况。从而保证了接地棒的持续降阻效果,且分解物不污染环境。

#### 1.6 降阻剂

生产原料:降阻剂一般采用导电率远低于土壤的物质组成,是一种改良土壤导电性的辅助降阻材料。按其成份划分有物理降阻剂和化学降阻剂,物理降阻剂使用大自然自然存在的物质加工而成,其特点是导电率低,环境的改变也不会导致材料发生化学分解,不污染环境,不溶于水保持性好。化学降阻剂采用化工生产出来的原料,多为工业盐,其特点是前期降阻效果良好,后期接地电阻反弹厉害,保持性差,污染环境。通常这类降阻剂进行 PH 测试呈酸性,酸性对地网中的金属材料特别是钢材腐蚀严重。因此使用这类降阻剂的地网接地电阻反弹主要有两个原因:一,降阻剂遇水熔解流失;二,降阻剂呈酸性加快了地网的腐蚀速度,地网导体截面缩小,部分断裂。

材料背景及市场情况:就目前市场上存在二类降阻剂,物理降阻剂和化工降阻剂。物理降阻剂主要原料为碳化电石和一定比例的水泥。碳化电石俗称火山灰,是火山喷发产生的天然物质,这种物质导电性优异(电阻率  $0.12 \Omega \cdot m$ ),而且几百年都不分解(含碳结构),成本低廉,使用效果优异。化工降阻剂采用的主材料都是化工原料,使用后,地网腐蚀情况严重,周边农作物大面积枯死。国内有的省份电力公司明文规定严禁使用任何降阻剂,其实指的是化工降阻剂,同时也导致了物理成份的降阻材料深受其累,蒙受不白之冤。降阻剂这个说法是国内厂家提出,其实国际统一称呼为接地改良材料,其均为物理性的,即不分解,无污染,低电阻,呈碱性。如果不满足以上的要求,则不能叫接地改良材料,更不能使用。

## 2 接地材料的连接

变电所的接地网金属导体存在着大量的连接,只有可靠的、牢固的连接才能保证接地网的运行可靠性。

### 2.1 钢接地体的连接方式

目前,钢接地体之间的连接均为传统的电弧焊接方式,在做接头施工时,有可能存在以下问题:

①电弧产生的高温和电离子有可能破坏接头部位的镀锌层或发生化学反应,因而降低材料的导电性并加速接头的腐蚀,严重影响接地体的寿命;②电弧焊接连接不是真正的分子性连接,焊接点对于接地体的导电性能也有影响。

对于钢接地体能否采用放热焊接接法,设计也作过研究与尝试,由于钢接地体设计截面过大,未能被采用,主要有以下原因:

①大型、非标模具制造困难,造价高;

②焊粉用量大;

③由于钢接地体本身防腐性能差,焊接质量的提高意义不大;

④焊接点较多,费用太高。

## 2.2 铜镀钢接地体的连接方式

目前铜接地体和铜镀钢接地体主要有以下四种连接方式:

### 2.2.1 铜银焊接法

扁铜条与扁铜条之间、扁铜条与裸铜绞线之间、裸铜绞线与裸铜绞线之间的连接都可以使用铜银焊接法,常用的铜银焊接有乙炔焊、电弧焊等,但焊接都只是表面搭接,内部并没有熔合,接头不致密,性能只比压接和螺栓连接略好,焊接接头的性能还要取决于操作技术工的熟练程度,特别是铜焊,即使是持有特殊工种上岗证,也容易出现一些焊接缺陷,无法从表面观察合格与否。并且,这种焊接是应用于纯铜接地体之间的连接,不适合于镀铜接地体的连接。基于以上原因,铜银焊接法在电力工程接地系统实际施工中很少应用。

### 2.2.2 压接线夹连接法

绞线与绞线之间的连接大多使用压接线夹连接法。但这种方法比较适用于两条绞线一对一连接,无法做好十字交叉连接。如要十字交叉,则要求有特殊十字接线线夹,或者要先形成接地铜排和接地线夹,处理好两者之间的接触面后,再使用螺栓连接法。

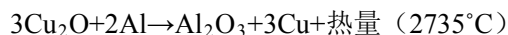
### 2.2.3 螺栓连接法

扁铜条与扁铜条之间、扁铜条与绞线之间、绞线与绞线之间的连接还可用螺栓连接,该方法与压接线夹连接法互为补充。但螺栓连接处的接触标准应按现行国家标准《电气装置工程母线装置施工及

验收规范》的规定处理。目前,压接线夹法和螺栓连接法在施工现场应用最为广泛,这和我国的电力施工技术工人的认识和训练程度有着密切的关系。

### 2.2.4 放热焊接连接法

放热焊接利用活性较强的铝把氧化铜还原,整个过程需时仅数秒,反应所放出的热量足以使被焊接的导线端部融化形成永久性的分子合成。铜基放热反应的一般公式是:



放热焊接接头的特性:

①外形美观一致;

②连接点为分子结合,没有接触面,更没有机械压力,因此,不会松弛和腐蚀;

③具有较大的散热面积,通电流能力与导体相同;

④熔点与导体相同,能承受故障大电流冲击,不至熔断。

放热焊接连接法可以完成各种导线间不同方式的连接,如直通型、丁字型、十字型等;还可以完成不同材质导线的连接,如普通钢铁、铜、镀锌钢、铜镀钢等之间的连接;甚至可以实现导体间不同形状的连接,如铜导线与铜镀钢接地棒的连接、铜导线与铜板的连接、铜导线与接地镀锌钢管的连接、导线与钢筋的连接以及导线与槽钢的连接。这种方法接头有着广泛的连接方式,而且耐腐蚀性好并接触电阻低,已逐步得到推广应用。

放热焊接的优点:

①焊接方法简单,容易掌握;

②无需外接电源或热源;

③供焊接用的材料、工具很轻、携带方便;

④焊接点的载流能力与导线的载流能力相等;

⑤焊接是一种永久性的分子结合,不会松脱;

⑥焊接点像铜一样,耐腐蚀性能强。

⑦焊接速度快捷,节省人工;

⑧从焊口的外观上便能鉴定焊接的质量;

⑨可用于焊接铜、铜合金、镀铜钢、各种合金钢,包括不锈钢及高阻加热热源材料。

放热焊接技术已通过国家电力公司武汉高压研究所、浙江电力试验研究所等部门产品质量监督检验中心地检验,并已应用在电力系统的重点工程。

应该注意即便是采用放热焊接连接法,还应注意以下地方:

①焊药主要成份为铜粉，铜的氧化物，铝粉。其纯度需符合 GB/T5246 标准的相关规定要求。不少国内厂家为了节约成本，大量添加价格便宜的锡，导致接头外表面光滑整洁，但导电性降低，热稳定性不达标。

②放热焊接所用的模具部分厂家加工精度不够，模具结合部空隙较大，空隙处流出铜液，导致接头缺焊，焊接部位不牢固。见图 1、2。



图 1 某厂家生产的模具开口空隙很大

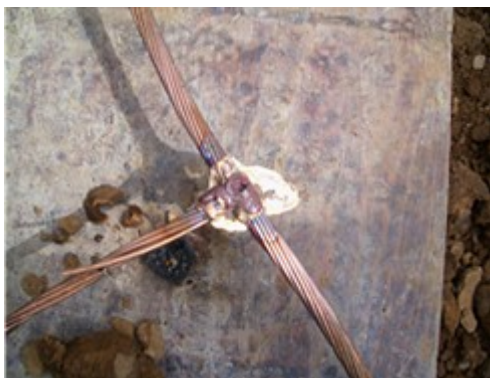


图 2 焊接接头漏液，接头不牢固，导电性不达标

③药粉纯度不够，杂质较多，焊接完毕后接头内部存有大量气孔，切开接头即可见内部有许多空腔。见图 3。



图 3 好的放热焊接做的接头，接合面无任何空隙

④有的厂家为了降低焊药的起燃点，加入磷。导致了高温环境下（如夏季阳光直晒）容易自然，存在严重安全隐患。

所以值得注意是所有的放热焊接模具及焊药均应有相应的检测报告和试验报告。放热焊接尚应满足地方标准和国家标准。

### 3 结论

综上所述，合格的铜覆钢接地体产品，在导电性能、热稳定性能、耐腐蚀性方面将给变电站安全可靠运行带来益处。所以应根据各个工程的不同情况，如地质和环境条件等，选择适合的接地材料及其连接方式。以达到既满足接地电阻的要求，又经济合理，便于施工。从而保障了运行人员和电气设备的安全运行。

#### 参考文献：

- [1] 国家电网公司. 电气工程接地用铜覆钢技术条件 -Q/GDW466-2010[Z].
- [2] GB50169—2006, 接地装置施工与验收规范[S].
- [3] DL/T 5161.6—2002, 接地装置施工质量检验[S].

#### 作者简介：

谢 靖（1970-），女，毕业于东南大学，高级工程师，长期从事变电站设计工作。