



国家电网公司
电力科技著作出版项目

电气工程接地材料

陈新韩 钰 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
电力科技著作出版项目

电气工程接地材料

陈 新 韩 钰 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书较全面地介绍了各种接地材料,全书共分7章,包括概述、接地材料及防护措施、电气性能与腐蚀性能、接地材料连接技术、接地产品检测技术、技术经济性分析、应用与展望等内容。

本书可供电气工程设计、建设、施工等专业技术及管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程接地材料/陈新,韩钰主编. —北京:中国电力出版社,2015.2

ISBN 978-7-5123-6368-7

I. ①电… II. ①陈…②韩… III. ①电气设备-接地极 IV. ①TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 194310 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>)

三河市万龙印装有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年2月第一版 2015年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 10.25印张 175千字

印数 0001—2000册 定价 43.00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

编委会名单

主 编 陈 新 韩 钰

副主编 马 光 聂京凯 祝志祥

委 员 杜澍春 卢云深 孙 亮 王晓芳

前 言

智能电网规划的开展以及超、特高压交流输电工程的发展建设，对变电站接地网的安全可靠性提出了更高的要求。作为智能输电网的基础和安全保障的隐蔽工程，接地网的腐蚀问题一直困扰着电网设计和运行人员。近年随着材料加工技术的兴起及设计理念的变化，铜覆钢等新型接地材料已在国内电气工程接地领域有一定范围的工程应用。

为深入了解交流和直流输变电工程用接地材料的各项物理化学性能，以对其设计应用提供依据，本书较全面地对各种接地材料的基本性能、应用，新型材料的构成与性能的关系，尤其是接地材料的土壤腐蚀特性、连接技术及接地材料检测应用技术等进行了较详细的介绍。

参加本书编写工作有（按章顺序）：陈新（第1章）；韩钰、杜澍春（第2章和第3章）；聂京凯（第4章）；马光（第5章）；祝志祥（第6章和第7章）。

本书在编写过程中得到了中国电力出版社领导和责任编辑陈雷的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2014年12月

目 录

前言

第①章 概述	1
第②章 接地材料及防护措施	5
2.1 交流接地工程用导体材料	5
2.2 直流接地工程用导体材料	11
2.3 接地工程防护措施	16
第③章 电气性能与腐蚀性能	19
3.1 电气性能	19
3.2 接地材料土壤腐蚀性能	28
3.3 直流接地材料电腐蚀性能	61
第④章 接地材料连接技术	65
4.1 机械连接	66
4.2 焊接连接	69
4.3 其他连接方式	89
4.4 工程应用	89
第⑤章 接地产品检测技术	92
5.1 接地产品检测技术	92
5.2 连接部件检测技术	101
5.3 接地产品及连接部件的电气腐蚀性能循环试验	104
5.4 接地产品土壤腐蚀试验	107

5.5 接地产品检测示例——铜覆钢接地产品	117
第⑥章 技术经济性分析	123
6.1 交流接地	123
6.2 直直接地	133
第⑦章 应用与展望	142
7.1 电力系统接地方面的应用	142
7.2 石油石化系统接地方面的应用	147
7.3 机场、轨道交通接地方面的应用	148
7.4 展望	149
参考文献	151

第1章

概 述

1. 接地材料的定义

接地装置本体选用的材料及其表面防腐材料、降阻材料及其他用于接地工程建设材料统称为接地材料。

埋入地中并直接与大地接触的金属导体，称为接地极。

电气设备、杆塔的接地端子与接地极或零线连接用的在正常情况下不载流的金属导体，称为接地线。接地极和接地线的总和，称为接地装置。本书着重讲述接地装置本体选用的材料。

2. 接地材料对电气工程的作用

电气工程建设伊始，电气装置的接地系统就与电气装置的一、二次回路和电气设备不可分割地相互依存。随着大容量、远距离的高压、超高压和特高压电网的相继出现，系统接地短路电流越来越大，发、变电站接地网上的电压变得越来越高。无疑，这对保障人身、一次设备和抗干扰能力弱的电子监控装置安全的发、变电站的接地系统提出了更高和更新的要求。长期、可靠、稳定的接地系统是维持设备稳定运行、保证设备和人员安全的根本保障。接地系统长期安全可靠运行的关键在于高品质的接地材料及其可靠的连接。

接地系统是信息网络系统不可或缺的基础。变电站的信息网络系统设备众多，设备昂贵，若没有完善的防雷与接地保护，就有可能在雷击、意外的电气系统故障发生时损毁，而接地网材料腐蚀又是导致变电站事故发生的重要因素。据全国各省统计，因接地网损坏引发过大量事故，例如，由于接地装置的腐蚀，1991年××电网一个110kV变电所发生了35kV开关站接地短路，造成全厂停电13h，一、二次设备大量损坏。因此，如何提高接地网材料的耐腐蚀性能已在电力行业内引起广泛重视。

接地网导体材料除了要受到土壤自然腐蚀作用外，还要受到变电站接地网泄流时的电流电解腐蚀。因此，在电力系统中，为了降低电力设备的绝缘水平，通常采用中性点接地的运行方式。对于交流系统而言，不平衡电流较小，只有在系统发生故障时，才会产生几十千安的短路电流，而且持续时间很短（通常不超过0.5s）。对于高压及特高压直流系统而言，正常运行状态下直流线路工作于双极运行方式，直流电流通过两极的输电线构成回路。但在系统调试、检修或发生故障时采用单极运行（构成单极——大地回路）的情况下，会有数千安电流长时间通过接地电极，因此存在接地极自身安全运行和对周围环境影响等诸多问题。所以，根据交/直流输电方式及土壤条件科学合理地选择接地极形式及接地材料对电力系统的安全运行至关重要。

3. 接地材料国内外应用现状

随着人们对土壤特性研究的深入，“因地制宜”的选择接地材料尤为重要。钢铁材料具有机械强度高、价格便宜及容易购买等优点，同时考虑我国有色金属材料比较缺乏，因此目前我国接地设计仍大量选用钢材并通过热浸镀锌层进行防腐。表 1-1 为我国部分变电站钢质接地网开挖检修情况总结，可以看出钢质接地网普遍存在一定的腐蚀问题，严重地区 3~5 年即出现了腐蚀严重的情况。对于北京、天津、上海、浙江、山东、广东等经济发达地区部分变电站目前已逐步采用热稳定性能好、导电性能强、耐腐蚀性强的铜材作为接地材料。

表 1-1 我国部分变电站钢质接地网开挖检修情况总结

开挖检查单位	开挖时间	检查区域	变电站规格 (kV)	使用时间 (年)	腐蚀状况
桂林供电公司	2005	挡村变电站	220	17	部分腐蚀严重，需加焊
		侯寨变电站	220	14	部分腐蚀严重，需加焊
		北门变电站	110	18	部分腐蚀严重，需加焊
		七星变电站	110	14	主网部分腐蚀严重，需重铺
芜湖供电公司	2004	火龙岗变电站	220	20	开挖检查 36 处 断裂共 3 处开脱共 5 处 严重腐蚀共 15 处， 一般腐蚀共 13 处
保定供电公司	—	南郊、高碑店、雄县、上陈驿、定县等变电站	—	—	部分接地网腐蚀严重

续表

开挖检查单位	开挖时间	检查区域	变电站规格 (kV)	使用时间 (年)	腐蚀状况
湖北襄樊公司	2002	姚双线等 4 条输电线路	500	—	102 基中严重腐蚀 42 基
山东滨州公司	—	郭集变电所	220	4	腐蚀严重 全部更换
北京供电公司	—	房山变电所	500	10	腐蚀严重 全部更换
湖南娄底	—	民丰变电站	110	3	腐蚀严重
广西电网	2005	月山变电所	220	8	腐蚀严重
天津电网	—	变电站	220	5~7	腐蚀严重
湖南电网	2000	长沙变电站	110	20	31 处腐蚀严重
福建寿宁县	2000	车岭二级变电站		6	腐蚀严重
吉林热电厂	1997	变电站	220	8	8 年后逐渐开始腐蚀
内蒙古丰镇发电厂	2002	变电站	220	—	腐蚀严重

在接地材料标准建设方面,我国已在接地工程接地设计及施工方面形成了较为完善的标准体系,如 GB 50065—2011《交流电气装置的接地设计规范》、GB 50169—2006《电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范》、DL/T 437—2012《高压直流接地极技术导则》、DL/T 5231—2010《±800kV 及以下直流输电接地极施工及验收规程》,对交直流接地工程的设计、施工及验收均进行了较为详尽的规定。

国外接地材料目前仍主要以铜材为主。考虑到铜资源日益短缺的情况,国外对铜覆钢材料及其在接地装置中的应用技术开展了大量研究,美国科普威公司、美国艾力高公司等生产的铜覆钢接地装置已形成系列化、标准化的产品,包括标准型接地棒、组装式接地棒、引线接地棒和线杆接地极。相关产品已被国外应用于建筑、铁路、电力及石油化工等各行业领域,并在国外公司承建的我国接地工程中也进行了使用,如瑞士 BBC 公司承建的广东江门 500kV 变电站,防雷接地系统中接地极采用了 $\phi 24\text{mm}$ 铜覆钢。在标准方面,国外已建立比较完善的标准体系,如 IEEE Std 80—2000《交流变电站接地安全指南》,美国消防协会标准 NFPA No. 78,法国 NFC 17—100《建筑防雷保护标准》,英国 BS 6651《建筑防雷保护标准》,德国 DIN 57185《建筑防雷保护标准》等都对铜、铜覆钢等接地材料的使用进行了规定。

随着新材料的技术进步,国内外接地材料企业相继研发了一些新型接地装置材料。水平连铸铜覆钢、锌覆钢、不锈钢及不锈钢包钢接地装置逐渐出现。水平

连铸铜覆钢的铜层较电镀工艺产品的铜层厚，且铜层连续、基体与铜层之间无电解液残留，生产工艺符合环保要求。锌覆钢是用挤压包覆的工艺将较厚的锌层包覆在钢表面，主要是克服了热浸镀锌钢镀层太薄的弊端，从而起到防腐的目的，这种材料在实际工程中应用不多，目前仍缺乏相关标准来规范其产品质量。不锈钢的防腐性能是显而易见的，但目前在接地工程中很少采用。对于新材料的应用，接地设计时有关部门应对该材料的电阻率温度系数、热容系数等参数进行测量，据此进行材料的热稳定性校验。

第2章

接地材料及防护措施

对于接地材料的防腐措施一般有以下两条途径：改变腐蚀环境，降低环境的腐蚀性；改变腐蚀主体，提高材料的耐蚀性。对变电站而言，一旦其地点确定，接地网所处的土壤环境就随之确定，难以改变。解决接地网腐蚀问题主要从增强接地网本身的耐蚀性方面着手。

目前常用的方法主要有：选择耐蚀性能好的接地材料，传统材料如铜，新型材料如铜覆钢、不锈钢、锌覆钢；采用涂覆层、用阴极保护技术、降阻剂及接地模块等防护措施。

2.1 交流接地工程用导体材料

2.1.1 交流接地腐蚀原理

埋入地中的交流接地装置，既存在无外加电流时的土壤腐蚀，又有在电流作用下的电解腐蚀。埋入土壤中的接地网，其表面的不同部位因接触介质的理化性质不同而形成了不同的电极电位。这种接地网金属构件的不同电位及电位差异是引起接地网土壤腐蚀的根本原因，其腐蚀机理在本质上是电化学腐蚀。接地网的电化学腐蚀形式包括点腐蚀、局部腐蚀、宏观腐蚀、电解腐蚀及微弱的交流腐蚀。交流腐蚀比直流腐蚀的机理复杂，但腐蚀程度却小很多。由于交流大电流通过接地装置时持续时间较短，故交流腐蚀一般可不予考虑。对交流腐蚀而言，低频交流比高频交流的腐蚀程度严重，超低频谐波电流则会加速接地装置的腐蚀，对此应该加以限制。

对交流接地网来说腐蚀的危害在于一些未考虑防腐措施的交流接地网在运行多年后由于腐蚀严重，不能满足热稳定要求，当发生短路事故时，接地网烧断，导致地电位升高，高压窜入二次回路，造成人身和设备事故。

2.1.2 传统接地材料

2.1.2.1 铜

铜的电导率很高、热稳定性较好：熔点 1083°C ，密度 $8.92\text{g}/\text{cm}^3$ ， 20°C 时电阻率 $1.724\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 。美国等很多国家都用铜做接地装置，我国近年也逐渐在采用铜做接地，如青海公伯峡水电站、内蒙古托克托电厂、江苏泰州电厂、广东台山电厂、秦山核电厂、大亚湾核电厂、岭奥核电厂、海南炼化厂等。采用铜做接地材料其重要原因是其防腐性能高，导电性远高于钢材，如上海杨树浦电站、天津塘沽 110kV 变电站的接地网用的是铜材，至今仍合格。

据 1924 年美国国家标准局 (NBS) 在 6 个试验站进行的铜及铜合金的土壤腐蚀试验结果表明，只有在土壤含有高量的有机硫化物和高酸性时，铜及其合金才产生点蚀。在酸性土壤中，铜接地装置的耐蚀性几乎降至与钢质材料相当。其他土壤环境中，铜的腐蚀速率是钢材的 $1/10\sim 1/5$ 。

尽管欧美国家的接地极材料通常采用铜材，但由于铜作为腐蚀原电池的阴极会加速地下其他金属材料的腐蚀，因此近年来有使用钢材的趋势。但由于铜有钢无法比拟的优势，如防腐性能好等，所以用铜还是用钢作接地极要根据实际情况具体分析。在重要的发电厂、变电站，经费充足或腐蚀性强的地区，宜采用铜接地极或铜覆钢接地极，但要采取措施防止铜对地下其他金属材料的腐蚀。

2.1.2.2 钢

钢的熔点 1515°C ， 20°C 时电阻率 $20.1\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 。在以往的接地装置中，垂直接地极大都采用角钢或钢管制作；水平接地极及接地引线则大多数采用圆钢筋或扁钢制作；与设备及建筑设施的连接则采用螺栓连接。

虽然钢的耐腐寿命低于铜，但钢材价格便宜，一直是我国交流接地装置的首选材料之一。采用钢接地极时必须注意防腐蚀措施，典型的做法是采用热镀锌钢、铅包钢或耐腐蚀钢，再与阴极保护相结合。采用镀锌角钢（圆钢）做接地极，虽然减慢了钢的腐蚀，但因锌比钢活泼，锌的腐蚀速率比钢更快，由于镀层锌与土壤接触，而它却在不断的腐蚀不断地变化，稳定性差，使用寿命较短（一般均在 10 年以下），每年还需检测电阻阻值，而且镀锌钢表面的镀层脱落后会加速钢材的腐蚀。

在碱性土壤地区，广泛采用的热镀锌钢耐蚀性和可靠性较差，一般 10 年左右就必须开挖检修，我国每年因接地网腐蚀严重需重新铺设的变电站众多，不仅造

成巨大的经济损失,而且严重影响电网的安全性和可靠性。

2.1.2.3 铝

铝一般很少用作接地材料,其熔点 660.4°C , 20°C 时电阻率 $2.83\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 。铝在一些土壤中被腐蚀后形成的腐蚀层是非导体,而且在交流电流的作用下会逐渐发生腐蚀。铝的标准电位仅为 -1.662V ,在强酸强碱中,尤其是在强碱性土壤中铝容易活化,电位剧烈地变负。它与电位较正的金属 (Cu、Fe、Ni 等) 及其合金接触,腐蚀就相当严重。但由于铝可以消除对地中其他金属结构的加速腐蚀、可以与不同金属之间进行可靠的连接以及具有与铜一样的短路容量,因此在对各方面问题进行全面考虑后,英国国家标准 BS 7430:1997 指出:铝接地不能用于与土壤接触的场合、不能用于潮湿的环境中、不能用作与在土壤中接地极的最终连接。我国国家标准 GB 50169—2006《电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范》要求不得采用铝导体作为接地极或接地线。

2.1.3 新型接地材料

2.1.3.1 铜覆钢

为了使金属材料最大限度地发挥出其所具有的性能,其方法之一就是把性能不同的材料加以组合制成复合材料。铜覆钢复合材料既利用了铜的抗腐蚀性,还能提供较高的机械强度,是一种较好的接地材料。铜覆钢表面可覆纯铜或铜合金,具有防腐蚀、抗磨损、导电导热性优良、美观、成本低等优点,在军工、电子、建筑、石油化工等领域有着广阔的应用前景,其研究也越来越引起国内外的关注。铜覆钢主要生产工艺包括:

(1) 电镀法。利用电镀法生产铜覆钢线材的生产工艺是利用电沉积原理,在铜盐溶液中将钢丝表面镀上铜层。用电镀法生产铜覆钢线材的工艺比较成熟,产品质量比较稳定,是目前国内普遍采用的一种生产方法。但用电镀法生产的铜覆钢线材仍存在铜镀层较薄、性能较脆、铜层中混有杂质、导电性差、生产过程中环境污染大等缺点。

(2) 冷拉法。将除油、除锈后的钢棒引入铜管,利用拉丝机及拉丝模的共同作用,通过铜管的塑性变形束紧在钢棒上。此工艺简单,生产成本低,但此工艺制备的铜覆钢铜层与钢基体连接不紧密、易分层,分层后若混入腐蚀介质将加速钢芯腐蚀。

(3) 水平连铸法。此方法的生产工艺与热浸镀法生产钢材的生产工艺的原理

和生产工艺十分相似，但区别是它为卧式连铸，它把熔炼、铸造建成连续作业线。用水平连铸法生产铜覆钢线材具有节省人力、自动化程度高、生产效率高等优点。此工艺生产的铜覆钢产品铜层较厚（0.5~1.2mm），钢基体表面不会残留电解液，但由于工艺参数匹配要求较高，国内仅有几家企业可以生产合格产品。

国内铜覆钢的生产历史较短，且生产厂家所用的生产工艺不同，不同厂家制备的铜覆钢其产品质量、结构形式、产品规格都有所不同，由于缺乏相应的标准，产品质量和性能有待考核和规范。因此，为推进这种新材料在电网建设中的应用，有必要对铜覆钢的性能、加工工艺及焊接工艺等进行系统研究，规范产品质量并形成标准。

美国海军工程实验室（NCEL）曾对热镀锌钢和铜覆钢接地棒进行了土壤埋置试验，经 10 年埋置后观察形貌，所得结论如下：热镀锌钢的大部分镀锌层被腐蚀掉，钢生锈严重，部分腐蚀严重区域只剩原钢材直径的大约 1/4；而铜覆钢接地棒基本未被腐蚀，仅顶部端面有少量腐蚀。报告分析总结两种接地材料的腐蚀性能，归纳如下：镀层厚度为 0.1mm 的热镀锌钢做接地材料仅可以使用 10~15 年，不能用于深埋。镀层厚度 0.254mm 的铜覆钢接地材料可在任何条件下的土壤中使用至少 40 年，可用于深埋。镀层厚度为 0.33mm 的铜覆钢接地材料可在任何条件下的土壤中使用至少 50 年，可用于深埋。国内方面，铜覆钢在电网系统还没有得到广泛采用，但已在部分石化系统变电站、电厂等进行了尝试性应用，见表 2-1。

表 2-1 铜覆钢接地网在电力工程的部分应用实例

应用实例	铜覆钢工艺/类型
宁波电业局招宝山变电站	冷拉铜覆钢
台州电业局路桥汽摩变电站	冷拉铜覆钢
荆门电业局葛洲坝水泥厂变电站	冷拉铜覆钢
茂名石化公司炼油厂厂西、厂南、厂北变电站	冷拉铜覆钢
本溪电业局南芬变电站	冷拉铜覆钢
北京首钢搬迁曹妃甸项目四个 110kV 变电站	水平连铸铜覆钢
江苏大丰风电项目 110kV 变电站	水平连铸铜覆钢
陕西神木化学工业有限公司 60 万 t/a 甲醇项目 110kV 变电站	水平连铸铜覆钢
中国石油大港油田 PP 项目 110kV 变电站	水平连铸铜覆钢

续表

应用实例	所用铜覆钢
中石化广州石化自备变电站	水平连铸铜覆钢
上海老港风电项目的 110kV 变电站	水平连铸铜覆钢
110kV 鼎美—东孚双回 T 接天竺线路	电镀和水平连铸铜覆钢
内蒙古大唐托克托发电有限责任公司 2×600MW 火电厂	电镀铜覆钢
田湾核电站	电镀铜覆钢
绵阳市城区兴绵二回 110kV 线路	电镀铜覆钢

应该注意的是,铜或铜覆钢组成的接地网与地下的钢结构、钢管和电缆的铅护套形成腐蚀原电池,铜作为腐蚀原电池的阴极会加速地下其他金属材料的腐蚀。为了解决这个问题,常用的有以下几种解决方法:

(1) 许多变电站采取在铜导体上镀锡的方法,这种方法的优点在于降低其相对于钢和锌的电极电位 50%,且可以消除其相对于铅的电极电位。这种方法的缺点是在小范围内金属的自然腐蚀较为集中且较快。

(2) 在铜导体的表面覆盖一层铅皮,如大港电厂的接地材料就是铅包铜。

(3) 在牺牲阳极的金属表面用塑料带或(和)沥青混合涂料绝缘。

(4) 规划地下金属管道的走向,使铜或铜覆钢接地极尽量成直角穿过金属管道,且在靠近铜导体的金属管道上采用绝缘护套。

(5) 在牺牲阳极金属的区域内采用阴极保护,若有可能,使用非金属管道和非金属导管。

2.1.3.2 不锈钢

不锈钢一般系不锈钢和耐酸钢的总称,通常把不锈钢与耐酸钢统称为不锈钢耐酸钢,或简称为不锈钢。不锈钢指耐大气、蒸汽和水等弱介质腐蚀的钢,而耐酸钢则指酸、碱、盐等化学侵蚀性介质腐蚀的钢。不锈钢和耐酸钢在合金化程度上有较大差异。目前不锈钢按照化学成分特点以及两者相结合的方法来分类,可分为铬不锈钢和铬镍不锈钢两大类。不锈钢的不锈钢耐蚀性主要是由于钢的表面上富铬氧化膜(钝化膜)的形成。当铬含量大于等于 12%时,钢材具有不锈钢性。因此,不锈钢的铬含量一般均在 12%以上。这是不锈钢的一个共同特点。为了满足现代工业发展的需要,已研制了许多种类的不锈钢。随着精炼工艺的进步,不锈钢正在向高纯、超纯方向发展,生产出了一批高纯、超纯不锈钢。

世界各国采用不同方法标示各种金属材料。按我国国标可从牌号了解其主要

成分及大致含量，如 0Cr18Ni9Ti。美国钢铁学会（AISI）用三位数字标示不锈钢牌号，其中 200 系列和 300 系列的三位数字标示奥氏体不锈钢，如 AISI304；而双相不锈钢、沉淀硬化不锈钢以及铁含量小于 50% 的高合金通常采用专利名或商标名。美国后来制定有五位数字的统一编号系统（UNS）。耐热钢和耐蚀钢的数字前冠以 S，如 AISI304 标作 UNS S30400。

304 不锈钢的熔点为 1400℃，导电率 2.4% IACS，20℃ 时电阻率 $72\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 。20 世纪 80 年代初，国外开始系统地进行不锈钢的土壤腐蚀试验研究工作，研究了两类不锈钢。一类是 AISI400 不锈钢，铁素体类型；另一类是 AISI300 不锈钢，奥氏体类型。美国国家标准局（NBS）土壤腐蚀试验结果表明，含铬不锈钢（铁素体型）在多种土壤中易产生点蚀，410 型（12%Cr）和 430 型（17%Cr）不锈钢只有在 1/3 试验站（NBS）中具有较好的耐蚀性。说明铁素体不锈钢在腐蚀性的土壤中耐蚀性不强。

304 型和 316 型不锈钢，是奥氏体型，前者含镍，后者含镍和钼。304 型不锈钢只有在少数腐蚀性极强的土壤中产生点蚀；316 型不锈钢则具有很好的耐蚀性。在高温条件下，当硫酸的浓度低于 15% 和高于 85% 时，316 不锈钢还具有良好的耐氯化物侵蚀性能。

20 世纪 90 年代初，我国开始进行了不锈钢材料的土壤腐蚀试验研究工作。在 3 个酸性土壤站（鹰潭站、深圳站和广州站），5 个中心土壤腐蚀试验站（大庆中心站、沈阳中心站、大港中心站、成都中心站、新疆中心站），埋设 1Cr13 和 1Cr18Ni9Ti（304）两类不锈钢试件。1Cr13 属马氏体型，1Cr18Ni9Ti 属奥氏体型。取得 1 年、3 年、5 年的土壤腐蚀数据。试验结果表明：1Cr13 不锈钢在少数试验站，表面有明显点蚀；1Cr18Ni9Ti（304）不锈钢在 8 个土壤腐蚀试验站，试件光亮，没有产生肉眼可见的点蚀。说明这种不锈钢在我国土壤环境中应用具有较好的耐蚀性。

不锈钢的耐土壤腐蚀性比一般碳钢优越得多，其主要原因是不锈钢中含有较高量的铬。在不锈钢的组分中最容易钝化的是铬。铬和铁形成固溶体时可在相当程度上提高钢的钝态稳定性。合金中铬含量越高，越容易进入钝态。当然，不锈钢的耐蚀性和它们所处的介质条件有关，如果介质环境有利于保持钝态，材料就表现出较好的耐蚀性，而如果介质环境是破坏钝态的，则表现出较差的耐蚀性。

2.1.3.3 锌覆钢

锌覆钢制品是优秀的防腐材料，这是由于其不但具有良好的物理性能（强度高、导电性能好、热稳定性强等），并且还具有优异的耐腐蚀性，因而在防雷避雷电