

多元合金渗锌工艺在制备输电线路铁塔螺栓中的应用

刘明慧¹ 张国锋^{2*} 李 林¹ 李晨明¹ 姚 铮¹ 刘 阳¹

(1. 国网辽宁省电力有限公司丹东供电公司, 丹东 118000;

2. 河南四达电力设备股份有限公司, 长葛 461503)

摘 要 采用先进的渗锌工艺制备输电线路铁塔用新型螺栓, 该工艺锌层附着强度高, 抗高、低温性能好, 具有极强的耐酸碱腐蚀性、抗磨损与抗冲击等特性, 金属标准件在中性盐雾中能够耐受 600h 而不出现红锈, 延长了其使用寿命, 因而在输电线路钢铁材料防腐工程领域的应用前景广泛。它以无可比拟的绝对优势出现在世人面前, 再一次解除了铁塔行业防腐的危机, 为电力系统、通讯系统及高速公路等领域在野外设施中紧固件和钢构架的防腐又增加了一道安全锁。

关键词 新型螺栓, 防腐蚀, 热扩散, 抗高温氧化性, 电力系统

Application of multi-element alloy zinc penetration process in bolt of transmission line tower

Liu Minghui¹ Zhang Guofeng² Li Lin¹ Li Chenming¹ Yao Zheng¹ Liu Yang¹

(1. Dandong Power Supply Co., Ltd., Guowang Liaoning Electric Power Co., Ltd.,

Dandong 118000; 2. Henan Sida Electric Equipment Co., Ltd., Changge 461503)

Abstract Used advanced metal surface thermal diffusion coating corrosion proof technology the new bolts of transmission tower were developed. The zinc coating by this process had high adhesion strength, excellent oxidation resistance, good corrosion and abrasion resistance, the impact resistance and other characteristics, greatly improved the metal corrosion of bolts, prolonged the service life. The process had a wide application prospects in the steel corrosion engineering field. It taken the absolute advantage which there was nothing comparable to this in the world, once again lifted the crisis of anti-corrosion in tower industry. the anti-corrosion of fasteners and steel frame were added a safety lock in the field of power and communication systems, and highway facilities.

Key words new bolt, corrosion resistance, thermal diffusion, high-temperature oxidation resistance, power system

随着现代社会的经济快速发展, 工业和群众的日常生活已经严重依赖电力的生产、输送和安全运行。近年来, 我国电网以 50 万伏为架网主骨干的网络布局已基本形成, 22 万伏为基本网络, 超高压、特高压为龙头四纵四横的电网布局, 总装机量及电网规模均居世界前列, 电力建设也获得了长足的发展^[1-2]。当今社会, 智能电网的迅速发展已成为国家经济发展的重要基石。电力已成为人们生活、出行、办公不可或缺的一部分, 同时也是企业正常运转的动力来源, 架空输电线路的安全运行直接关系到所在地区的经济发展。随着我国经济的高速发展, 其重要和安全程度已成为人们不得不关注的重中之

重。架空输电线路大多架设在野外空旷地区, 环境恶劣, 强风、暴雨雪、舞动、异温和冰灾等异常天气造成输电线路铁塔倒塔现象时有发生, 经调查及研究发现, 造成部分铁塔倒塔的主要原因之一是螺栓松动^[3]。

由于架空输电线路长期在旷野中运行, 受地形、地貌和自然环境的制约, 其不可避免的会遭到自然因素的破坏^[4]。据相关报道, 无数铁塔长期被各种各样的腐蚀破坏, 铁塔表面会出现部分白色锈锈, 个别塔身有锈蚀现象, 甚至会出现变黑、发黄等现象, 随着锈蚀程度的增加, 角钢材料的延展损失率会大大增加, 其强度大大下降, 直接影响铁塔的安全, 同

作者简介: 刘明慧(1966-), 男, 本科, 高级工程师, 长期从事输电线路运行、管理工作。

联系人: 张国锋(1987-), 男, 本科, 从事材料性能研究。

时不仅影响铁塔周围的环境,还会使铁塔的整体使用寿命大大缩短,增加了更换维修成本,造成资源浪费。螺栓是确保输电线路安全牢靠的基石,是钢结构的通用连接件,在高压架空输电铁塔中大量使用螺栓的腐蚀是造成铁塔倒塌等重大事故的原因之一,因此严格把关好输电线路铁塔螺栓防腐、防松工艺和安装也是电力安全可靠运行的又一保障^[5-7]。

查阅相关文献和报道得知,目前钢铁构件主要采用热浸镀锌作为防腐的技术之一,广泛应用于铁路、通信、建筑、机电和家电等领域,新建输电线路铁塔工程主要采用热浸镀锌的办法进行防腐处理^[8]。而热镀锌工艺存在许多问题,比如:(1)现有国内镀锌的设备组成属于低水平传统技术机组,镀锌工艺自动化水平低,生产效率低,耗能高,环境污染大,镀锌质量差^[9]。(2)在沿海地区有大量的盐类颗粒,很容易附着在钢铁构件表面,使钢铁的腐蚀速率加快,但现有的热镀锌构件在该地区的使用寿命无法满足设计要求,镀层耐蚀性差,使用寿命短,工人后续维护工作量加大,运行成本高。(3)热浸镀锌层厚度不可控制,必须加大丝扣,才能满足使用要求。

本研究主要考察了日伪时期辽宁地区输电线路铁塔用螺栓防腐工艺,在此研究基础上结合现代工程技术研制了一种新型防腐螺栓。

1 实验部分

渗锌工艺制备螺栓流程为除油→除锈→装炉敷金属粉末→加热→出炉→电解抛光→钝化。

1.1 多元合金共渗处理

将已攻丝螺栓标准构件、蒸馏锌粉及硅砂惰性冲击介质混合填充在密封的共渗炉容器中,并将容器放置在热处理炉中不断旋转,工件加热到 260~380℃(现在国内外传统的粉末渗锌温度在 420℃以上)并保温一段时间,利用温度梯度及应力梯度造成的自由能差、表面自由能差以及电场和磁场的作用推动金属原子进行扩散。在螺栓标准件基体内外界面形成锌和铁合金保护涂层。通过不断旋转滚动共渗炉容器,螺栓构件与多种粉体混合物相互冲击摩擦;通过化学试剂与容器内的氧气反应,形成真空条件,并严格控制加热温度,在此条件下,新鲜扩散渗剂与被处理界面紧密接触,形成犬牙交错的结构特性,同时使得被加热介质温度场均匀化,并有效促进冶金扩散化学反应。

1.2 钝化

将多元合金共渗处理后的螺栓构件表面清理干净,在自制的钝化液中浸泡 10~30s,取出工件,立即用 30~50℃ 的蒸馏水清洗 10s,在 60℃ 烘箱中恒温烘干 20~30min。

2 结果与讨论

2.1 中性盐雾实验

新型螺栓防腐层主要采用多元合金共渗技术,合金共渗层主要为 Fe/Zn、Fe/Ni 等合金组织,合金共渗层与钢铁的电势差低于锌与铁的电势差,因而作为阳极性保护层,它既可保护钢铁,又不像纯锌那样失去电子被快速氧化,所以渗层能够很好地保护基体,延缓其腐蚀。

用金相显微镜检验,其多元合金共渗层厚度为 10~15μm,如图 1 所示。根据 GB/T6461—2002《金属基体上金属和其他无机覆盖层经腐蚀试验后的试样和试件的评级》,螺栓 600h 盐雾实验后各样保护级均 10 级,如图 2 所示,图 2(a)为多元合金渗锌试样,图 2(b)为热镀锌试样,多元合金渗锌螺栓无红锈,热镀锌螺杆、螺母已生红锈。

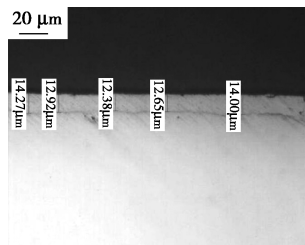


图 1 多元合金试样金相显微图

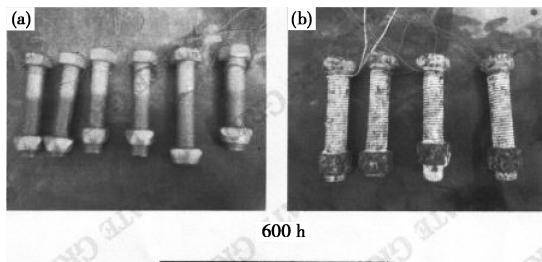


图 2 经 600h 中性盐雾实验后多元合金试样外观示意图
[(a)实验前;(b)实验后]

2.2 渗层与基体金属的结合

螺栓镀层结合面情况见图 3。由图可知,合金层已渗入基体内部,形成犬牙交错的界面,渗层与基体结合紧密,很难被剥离掉,只有用化学酸洗方法才能除掉,通过 ASTM B571—97(2013)热振法测量其附着力发现,其表面没有出现鼓泡、起皮、剥落、开裂等现象;其涂层与基体界面拉伸强度为 600~

700kg/mm²;涂层表面层拉伸强度为 300~350kg/mm²。

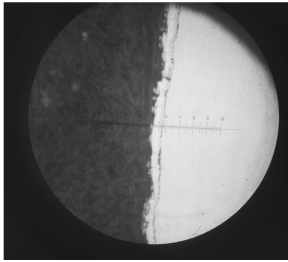


图3 螺栓镀层结合面示意图

2.3 螺栓的力学性能分析

由于合金共渗温度为 260~380℃,零部件常用的调质结构钢为 45、40Cr、35CrMo 和 65、65Mn 等,这些钢的回火温度都在 340℃ 以上。标准 GB 3098.1 中要求的 10.9 级最低回火温度的低碳合金钢的最低回火温度为 340℃,多数碳钢的回火温度也要在 425℃ 以上,即当温度达到 340℃ 及以上合金钢就可能出现回火,多元合金的处理温度(260~380℃)低于碳钢的回火温度,多元合金后的钢构件不会出现回火现象。因此多元合金不会影响这类钢的力学性能,在合金的同时,钢基体的组织更加均匀化,表面镀层也更加均匀化,因此钢的性能还会有所提高。

共渗炉内温度和保温时间的长短是合金共渗层性能好坏的决定因素,与构件形状和在炉内不同位置基本无关,其合金镀层厚度均匀分布且其厚度可以准确控制。对含有螺纹、盲孔、内壁或凹槽等形状结构复杂的构件,通过规范控制工艺参数都可制备出 8~15μm 均匀变化分布的合金层。

2.4 能谱分析

利用扫描电子显微镜(Quanta600 型)和 X 射线能谱仪(Genesis XM₂ 型)对螺栓构件表面镀层进行能谱分析,结果见图 4 和表 1。由图可见,构件表面主要有 C、O、Si、Fe、Zn 和 Ni 元素存在。C 和 O 的信号较弱,而 Zn 的信号很强。这一结果表明形

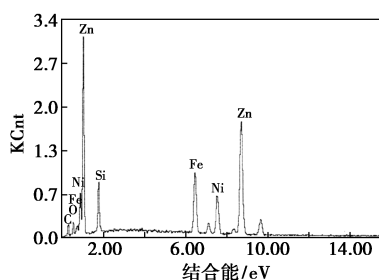


图4 共渗层的能谱图

表1 元素占比

元素	C K	O K	Si K	Fe K	Zn K	Ni K	总量
质量百分比/%	2.69	3.33	9.61	13.03	59.34	11.99	100.00
原子百分比/%	10.57	9.82	16.15	11.01	42.83	9.64	100.00

成的渗层主要是 Fe-Zn、Fe-Ni 等合金组织,没有形成氧化物薄膜。

2.5 氢脆现象分析

氢脆的产生通常是对其表面处理时伴随有 $H^+ \rightarrow H^-$ 反应发生。反应析出的 H 原子进入钢基体造成氢脆。电镀锌的酸洗和电镀过程均会发生这种反应。热镀锌和渗锌的前处理,如果采用酸洗,也会发生这种反应。其中以电镀锌工艺产生氢脆的趋势最大,所以一般高强度构件电镀锌以后都要进行除氢热处理,这样才能避免因氢脆而造成机械性能下降的缺陷。但是,由于要考虑电镀锌层及其钝化层的耐腐蚀性能,高温会加速锌层氧化,故处理温度不可过高,一般控制在 180℃ 左右,此温度下,去氢效用不佳。同时,标准构件在进行电镀时,虽然通过热处理进行除氢,依然会有氢脆发生。输电线路螺栓标准件在热镀锌的酸洗过程虽然也会吸氢,但热镀锌的工艺温度较高,一般为 470℃ 左右,紧固件、铸件和一些零部件的热镀锌温度可达 600℃ 以上,除氢效果优于电镀锌的除氢热处理。由于热镀锌的时间很短,很难完全避免氢脆的产生。曾经发生过 8.8、10.9、12.9 级高强度螺栓热镀锌以后产生氢脆断裂的事故。多元合金共渗热处理温度控制在 260~380℃ 之间,在此温度区间,进入钢基体的 H 原子通过高温逸出,再合金共渗 2h,可将残余的 H 原子完全去除掉又不会产生回火现象。因此,合金共渗后没有氢脆现象,也不会出现高强度构件因处理温度高造成其机械性能严重下降的危害。

3 结论

本研究主要对辽宁地区输电线路铁塔螺栓耐腐蚀技术和松动情况进行了调研,并分析了发生机理,借鉴辽宁日伪时期的螺栓防腐工艺并结合多元合金共渗技术,研制了一种新型螺栓,能够很好地保护钢铁基体表面。该新型螺栓通过多元合金共渗技术将一种或多种金属元素(如 Zn、Ni)通过金属原子热扩散进入钢铁构件表面,制备 Fe-Zn、Fe-Ni 等合金保护层。螺纹紧固件经渗锌后,不需要附加间隙,不需

(下转第 258 页)