

复合材料杆塔技术和应用现状

柳伟钧, 张锦南, 王强华*

(上海玻璃钢研究院有限公司, 上海 201404)

摘要: 本文论述了玻璃钢/复合材料在输电线路杆塔中的应用及技术优势,介绍了当前国内外公司和研发机构对复合材料杆塔的研发情况,国内复合材料杆塔目前还处于开发和中试生产阶段,在应用上还处于挂线试用阶段。国内杆塔产品主要使用聚氨酯、环氧树脂,增强材料使用E玻璃纤维,通过缠绕工艺进行生产。复合材料杆塔的性能测试包括基本材料性能、电气性能、老化性能的测试以及真型试验。

关键词: 输电线路; 复合材料杆塔; 技术优势; 应用现状; 性能要求

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0999(2014)06-0076-07

1 输电线路杆塔介绍

输电线路杆塔(Supporting structure of transmission line; pole&tower)是支承架空输电线路导线和架空地线并使它们之间以及与大地之间保持一定距离的杆形或塔形构筑物。世界各国输电线路杆塔一般采用钢结构、木结构和钢筋混凝土结构。通常对木和钢筋混凝土的杆形结构称为杆,对塔形的钢结构和钢筋混凝土烟囱形结构称为塔。不带拉线的杆塔称为自立式杆塔,带拉线的杆塔称为拉线杆塔。

在城市及城郊的220kV及以下电压的线路中,考虑到外形美观与环境协调以及施工和维护简便,广泛采用断面为等多边形(有8边、12边及16边等)的单柱钢管电杆,这类杆型由每节长8~12m的数节杆段组成,杆段之间一般采用插入式连接,也有一些采用法兰盘连接,整个结构采用镀锌防腐,图1所示是一种较为典型的110kV双回路钢管电杆。单柱型塔用单个柱体来支持导线及架空地线的杆塔,常用于单根架空地线及导线呈三角形排列的情况,如图2所示。它适用于110kV及以下电压级的电力线路,常采用打拉线方式维持其稳定,具有较好的经济指标。

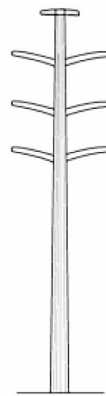


图1 110kV
双回路钢管单杆

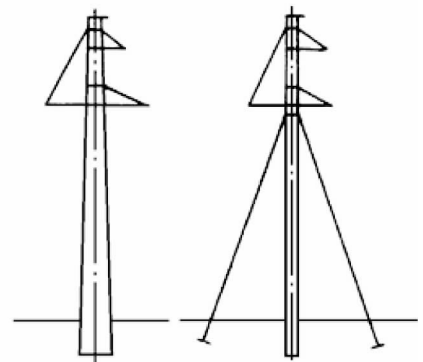


图2 单柱型塔

对于220kV及以上电压等级输电线路,常用塔型有酒杯型塔、猫头型塔、干字型塔等,有较好的经济指标,如图3、图4和图5所示。干字型塔在中国通常是220kV及以上电压等级输电线路的常规型塔。其他形状的塔杆还包括克里米亚型、上字型、门型、悬链型等,它们具有不同的特点和功能,适用于不同的实际输电应用。

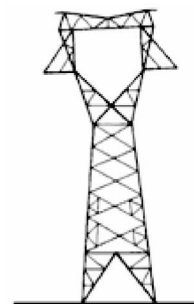


图3 酒杯型塔

收稿日期: 2013-11-28

作者简介: 柳伟钧(1955-),男,MBA,高级工程师,主要从事玻璃钢复合材料技术研发、管理和产业化工作。

通讯作者: 王强华(1969-),男,硕士,高级工程师,主要从事玻璃钢复合材料技术开发、研究和情报工作, wangqh@shfrp.com。

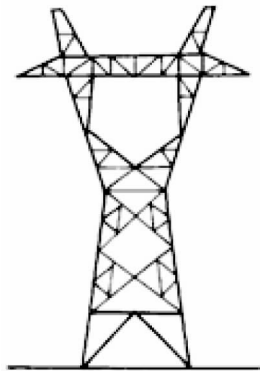


图4 猫头型塔

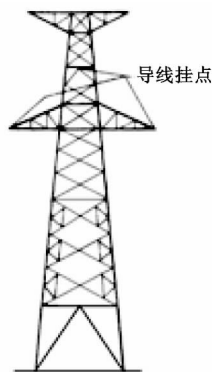


图5 干字型塔

国内外架空输电线路中使用较为广泛的杆塔主要有木质杆、钢管杆和铁塔等几类。占有世界大半电杆市场的美加地区,现有电杆采用的主要是木材,在美国只有俄勒冈州使用混凝土杆。混凝土或预应力混凝土杆主要应用于南美洲、欧洲、非洲、亚洲等森林资源较为贫乏的地区或发展中国家。铁塔是世界各国超高压输电线路中常用的杆塔型式。

我国基本不再使用木质杆。混凝土杆以前在35~110kV线路上大量使用,在新建及330kV以下线路运输和施工条件较好的平原和丘陵地区也有一定应用。近年来,钢管杆和钢管混凝土杆在城市电网建设和改造中应用较多,而在220kV及以上的线路中,多采用格架式铁塔。

2 传统杆塔存在的问题

传统的输电线路杆塔普遍存在质量大、易腐烂、锈蚀或开裂等缺陷,使用寿命较短,并且施工运输和运行维护困难,容易出现各种安全隐患。归纳起来主要有以下几个问题^[1,2]。

(1) 腐蚀:木杆受腐蚀因素影响,平均寿命为30年。木杆维修费用约为每杆每5年35美元,并且一旦腐蚀开始就会持续进行直至失去强度。木杆的维护主要用杂酚油类的防腐剂,这种防腐剂被认为是

一种危险的废料,极大影响了环境。在美国,每1根电杆造成污染的环保复原费用达1万美元。金属电杆存在生锈腐蚀问题,腐蚀减少了服役期,增加了全寿命周期内的维修成本。

(2) 安装成本:传统电杆的安装费用问题在于偏远地区缺少运力和运输设备来搬运沉重的钢杆、木杆,水泥杆重量太大,造成运输与安装费用比其他材料高一筹。有时为了安装到位甚至还需要铺设专门的道路来运输,这使得费用进一步提高。

(3) 事故与其他问题:长期运行经验表明不同电压等级交、直流输电线路皆存在雷击事故和污闪事故,雷击事故和污闪事故在每年的输电线路跳闸事故中几乎各占50%。大量使用复合绝缘子仍不能彻底解决雷击和污闪事故。

高寒地区混凝土杆常发生冻融循环破坏,而铁塔常发生低温冷脆破坏。钢材还易被人为偷盗破坏。

除一般类型电杆外,还有以下一些改进型电杆,这些电杆在使用中也存在一些问题:

(1) 无覆层耐侵蚀的钢材。保持了钢的优点,且无须防腐层。

(2) 电弧炉回收钢。一些钢材的最初费用可以通过这种回收来得到补偿。钢材的运输费用仍然极其昂贵,特别是运到边远地区,电杆或镀锌或用密封剂涂覆,会增加维修费用。

(3) 钢筋混凝土也是替代木材的一种材料。但水泥杆重量太大,造成运输与安装费用比其他材料都要高。

(4) 玻纤混凝土杆具有和复合材料一样的非电导性和无腐蚀性。但由于应用得少,目前在使用可靠性方面还存在疑问。

3 复合材料杆塔的技术优势

复合材料杆塔是以玻璃纤维等为增强材料,以环氧、聚氨酯等树脂为基体材料,通过缠绕或拉挤成型工艺,制成复合材料杆塔。其优势主要集中在以下几方面^[1]:

(1) 安装、维护成本低

复合材料电杆的质量约为木质杆的1/3、混凝土杆的1/10、钢质杆的1/2,可大幅度降低运输和施工安装成本,尤其是在人难以到达的山林和偏远地区。复合材料电杆的轻质特点使其可用直升机运载,轻质还意味着安装速度加快和节省人力。复合

材料电杆具有免维护或低维护结构,这对保障线路安全和降低输电线路的维护成本很有意义。

(2) 环境适应性好

复合材料杆塔对酸、碱、盐及有机溶剂等腐蚀介质的耐腐蚀性能和耐候性能优良,因此特别适合沿海地区、内陆盐渍土以及工业区和酸雨多发地区等对混凝土和钢质杆塔有特殊防腐要求的环境。

(3) 电绝缘性能好

利用复合材料杆塔代替传统铁塔新技术不但在重量上可以减轻一半,易于安装和施工,而且还可以解决闪络事故率居高不下的问题。复合材料杆塔电气绝缘性能优良,可避免铁塔易出现的雷击事故发生,还可以设计减少导线与塔身间隙,使输电线路结构更为紧凑,可减少线路走廊宽度,这在土地资源稀缺的情况下尤其重要。

(4) 防盗防损

在特殊地区,复合材料杆塔还可以有效地防止塔材盗窃等人为破坏。

总之,复合材料杆塔比传统的杆塔具有更好的综合性能,通过合理的设计,复合材料杆塔可以满足输电线路对杆塔结构的各项性能要求。

随着我国经济的高速发展,电力需求愈来愈大,电力供应日趋紧张。为解决我国的电力能源配置问题,我国正在实施一系列特高压输电、电网改造等重大工程,这些工程迫切需要研究开发低成本、高性能的输电杆塔结构。因此,复合材料杆塔在输电工程中将有广阔的应用前景。

4 国内外复合材料杆塔的应用情况

4.1 国外复合材料杆塔应用研究概况^[3,4]

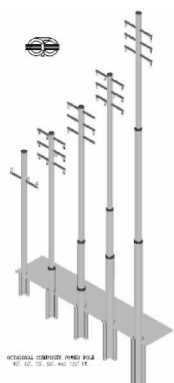


图6 CTC公司研究设计的复合电杆示意图

输电线路复合材料杆塔由于其优良的综合性能已经在欧美获得应用,其中研究开发和应用最为成熟的是美国。美国各大输、配电公司对复合材料杆

塔表现出浓厚的兴趣,各制造企业也积极研制开发出各种复合材料杆塔。美国的 Ebert Composites 公司、Powertrusion Composites 公司、Shakespear 公司、North Pacific 公司和 CTC 公司等制品厂家都开发了自己的复合材料杆产品,并申请专利,获得了比较广泛的应用。

加拿大的 RS 公司是一家先进复合材料的开发商,它研究开发的独特设计的复合材料杆塔,具有重量轻和安装方便的特点,被南加州爱迪生公司的“未来电路”项目选中,该项目是美国最先进的近傍电力线路。采用的聚氨酯树脂体系具有创新性,比常规不饱和聚酯树脂加工的复合材料有更大的强度、耐冲击力和比强度等优势。

1996年,美国公司和圣地亚哥煤气电力公司(SDGE)以及南加利福尼亚爱迪生公司(SCE)合作,针对南加利福尼亚海滨奥德比奇的一条22kV万线路,开发了三基复合材料格构式输电塔,但是否真正通电运行有待考证。



图7 美国220kV复合材料格构式输电塔

荷兰 Movares 工程咨询公司2005年完成了荷兰电网一条1.5公里380/150kV试验线路的方案设计,该方案旨在利用复合材料杆塔的电气绝缘性能以改善输电线路电磁场对环境的影响。该项目曾一度受到欧盟重视。Exel Composites 国际集团(分部主要在澳大利亚、奥地利、比利时、芬兰、德国、英国)针对电网应用实际情况研制了复合材料杆塔,集团成立了专门的部门进行市场运作。意大利 Topglass Composites 公司也生产了复合材料杆结构,并且已经实现了商品产业化应用于路灯。

从 Shakespear 公司的综述报道来看,1954年就有复合材料电杆的制造,同时也进行了安装使用,至今仍在服务中。在高度盐雾腐蚀并经常经受飓风的夏威夷岛上,已有使用了40多年的电杆,仍在继续工作。

美国 EbertComposites 公司 1996 年研制复合材料输电杆塔,并在加利福尼亚奥蒙德比奇发电站安装了三基试验杆塔,试验环境位于高盐污染地区的南加利福尼亚海滨。运行资料表明,这些杆塔直至 2000 年都能保持稳定的性能。观察报告表明,投运最初 7 个月以后运行正常,没有发现明显放电痕迹,也没发现机械损伤和电气损伤。Shakespeare 玻纤公司 1993 ~ 1995 年相继研制成功复合材料配电杆及输电杆,符合公用电工业的所有机械和电气标准,首批架设的 5000 根用于美国山区的主配电协同,该地区冬季雪量可能超过 3m 厚,积雪期达 6 周,风速可达 33m/s。

Ebert Composites 公司的复合电杆与图 6 中展示的 FRP 杆最长可达 27.84m,底部直径为 619cm,重量为 611.5kg,适用于 110kV 及以下电压等级的输电线路。另外,由于复合材料的轻质特性,对于复杂的地形条件,还可采用直升机运输的方式将其送抵指定塔位。

从成本方面来看,国外针对电杆全寿命过程成本(LCC)进行分析,显示了复合材料杆塔虽然初期投入成本较高,但使用寿命超过其他类型的杆塔,并且不需要维护成本,所以复合材料杆塔的全寿命成本占有优势。

表 1 不同材料电杆的全寿命过程成本(LCC)比较^[1]

材料类别	使用寿命/年	建设成本/美元	维护成本/美元	年平均成本/美元
木质杆	30	250	210	15
钢管杆	35	260	245	14
混凝土杆	35	350	245	17
复合材料杆	80	900	0	11

随着应用范围的加大,目前,美国已制定了相关的产品标准。欧美等国的成功经验证实了复合材料在输电杆塔领域应用的可行性,同时也为其在我国的应用奠定了基础。

4.2 国内复合材料杆塔研发和应用概况

我国的复合材料杆塔研究属于刚刚起步。在 20 世纪 50 年代曾对玻璃钢复合材料杆进行过研究,但由于当时的材料性能和制造工艺的限制,还不能满足输电杆塔所要求的一些性能指标,因此,未能得到推广使用。近些年,由于传统混凝土电杆耐久性差的缺陷逐步显露出来,电力行业对复合材料杆塔也表现出了一定的兴趣。输电杆塔制造厂家开始了在我国输电工程中应用复合材料杆塔的探索性研究。

温岭市电力绝缘器材有限公司自 1995 年开始

研究复合材料,研制成功了 220kV 及以下抢修塔(门形、带拉线)、110kV 复合材料横担和杆头,其中抢修塔已经进行了多项电气和物理性能试验,并在工程中得到应用。

2006 年鞍山铁塔开发研制中心与鞍山铁塔厂合作,在辽宁省电力公司立项研制高强度复合材料杆塔。采用了两段插接八边形 20m 长杆,端部加载 3t 情况下,杆顶挠度为 2m。

2007 年,国网武汉高压研究院研制成功了 10kV 线路防雷击及污闪的绝缘塔头和横担。

南方电网的广东电网公司于 2007 年针对复合材料杆塔的应用研究进行了立项,项目选用了加拿大 RS 公司的复合材料杆塔,其力学真型试验在中国电力科学研究院进行。同时,项目开展了包括电气性能、机械性能、老化性能等关键性问题在内的研究。

常熟市铁塔有限公司(现为风范股份)曾与加拿大 RS 公司洽谈合作复合材料杆塔项目,但因为 RS 公司要求过高而未能达成一致意见。

江苏南通神马电力科技有限公司研制的复合绝缘横担,已于 2009 年 12 月在连云港 220kV 茅菁线投入试运行,其各项性能指标有待进一步的观察。

北京玻璃钢研究设计院也对玻璃钢杆塔进行了研发,并开发出杆塔样品在几条线上进行试用。

2009 年 6 月,国家电网公司基建部组织了“复合材料杆塔项目启动会”,中国电力科学研究院、国网电力科学研究院与各省电力公司与设计院、材料厂家密切配合,选取了典型环境的试点工程,全面开展了复合材料杆塔的基本材料性能、老化性能(酸、碱、盐、紫外老化特性等)、电性能、淋雨、防覆冰材料、真型结构试验与构件连接技术试验、防雷接地试验等,并在部分试点工程线路上进行复合材料杆塔/复合材料绝缘横担构件运行试验,如图 8 所示^[4]。



图 8 复合材料绝缘横担应用

通过国网试点工程的应用试验,可以清楚地认识到,输电线路跨越距离长,长期处于各种复杂的自然环境和气象条件下,输电杆塔必须满足强度、刚度、抗疲劳、耐久性等性能要求。同时,输电杆塔作为输电导线的支撑结构,必须满足必要的电气性能要求。因此,将其应用于输电杆塔中还存在以下瓶颈及制约,需要给予极大的关注:①材料刚度/杆体挠度问题;②节点连接问题/防雷接地与疲劳、可靠性;③热稳定性问题/自然老化问题;④回收/环境问题;⑤成本问题。国家电网公司拟进一步开展复合材料在输电杆塔上的应用研究,解决应用瓶颈问题^[4]。

2011年9月,国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司和襄樊国网合成绝缘子股份有限公司聚氨酯复合杆塔合作项目生产中试在湖北襄阳正式启动,此项目为国内首个复合材料杆塔项目。

该项目前期研发、宣传、推广进展顺利,成功启动生产中试后,于2012年年初形成10~110kV复合材料杆塔批量生产能力,在“十二五”末,将建成成熟的复合材料杆塔产业系统,建成全国复合材料杆塔产业中心和研发中心。

2011年10月,南瑞公司自主研制的110kV同塔双回聚氨酯复合材料塔头力学真型试验在中国电科院良乡杆塔试验站顺利完成。真型试验结果表明,当超载试验所施加载荷为30m/s、0度大风载荷的345%时,杆塔状况依然良好,聚氨酯复合材料杆塔完全满足设计要求。真型测试的成功从力学性能上充分验证了聚氨酯复合材料杆塔应用在输电线路中的可行性、合理性和安全性,为优化和改进各电压等级聚氨酯复合材料杆塔设计研究和工业生产提供了数据参考。

2012年5月,武汉南瑞自主研制的“220kV及以下电力输送用新型复合材料杆塔”通过中国电力企业联合会组织的产品技术鉴定。鉴定委员会一致认为该复合材料杆塔综合技术性能达国际先进水平,其中基体材料和大尺寸产品的制造技术达国际领先水平,建议产品挂网运行。

复合材料杆塔的成功应用将有望解决传统输电线路杆塔闪络事故率高、运维困难、耐腐蚀性能较弱等诸多问题,同时节约土地资源,减少电网系统钢材用量,降低输电线路综合运行与维护成本,为我国输配电线路建设改造提供有力技术支撑,具有重要的应用价值。武汉南瑞在国内首次采用小角度缠绕以

及拉缠工艺技术,以改性聚氨酯树脂作为基体材料研制了电力输送用新型复合材料杆塔和横担样品。

2011年,国家能源局还组织了国家电网、中国电科院、清华大学、中国电力工程顾问集团公司等多领域专家对风范股份公司(601700)的“复合材料杆塔老化试验方法及装置”项目举行了专家评审会,认为上述试验方案和装置具有创新性,项目可行。据悉,这是行业内首家经能源局专家组认可的公司的复合材料杆塔老化试验方法,为复合材料未来广泛应用于输电杆塔奠定了基础。

输电杆塔的性能直接影响线路的安全性、经济性和可靠性。角钢塔、钢管塔、混凝土杆是我国输电线路中常用的杆塔形式。这些材料在长期运行中逐步暴露出抗腐蚀性差、运行成本高、线路损耗大、易发运行事故等缺陷。

国家电网基建部相关负责人认为,复合材料质量轻、耐腐蚀、温度适应性强、电绝缘性能好,应用于输电杆塔可以减少投资,降低输配电成本。

目前,风范股份研发的绝缘复合材料钢塔已在国家电网示范工程,江苏连云港供电公司220kV茅蓄线改造工程中投运。如果复合材料杆塔老化试验方法及装置项目在一年后通过专家验收,则从实验室走出的复合材料杆塔可以广泛应用于输电网络,公司复合材料杆塔有望实现量产。

江苏远东集团在2006年成立远东复合技术有限公司,与美国CTC公司合作开发高强度碳纤维导线系列产品,同时计划与加拿大、英国公司合作研制高强度电力杆塔系列产品,从根本上解决了电力输电系统性的实际问题,实现了大容量、大跨越、远距离、环保、节能和安全的需要,在抗冰雪、大风等自然灾害方面有卓越的表现,促进了电力领域向高科技方向的发展。

5 复合材料杆塔的关键技术

5.1 作为杆塔塔身材料的复合材料选择

材料选择需要在大量研究的前提下,选取优良的复合材料进行系统的物理性能、电气性能、机械性能试验测试对比,以综合性能最优的复合材料作为杆塔塔身及横担材料,并提出杆塔塔身材料必备的性能指标,为复合材料进一步改进提出要求。

复合材料杆塔基本上使用E玻璃纤维作为增强材料,这一点国内外均一致,基体树脂目前主要采用环氧树脂或热固性聚氨酯树脂。以环氧树脂作为基

体的复合材料杆塔其力学性能比聚氨酯复合材料好,但其长时间使用后容易黄斑、霉变,耐老化性能比聚氨酯复合材料差。加拿大RS公司复合材料杆塔使用的基体为热固性聚氨酯树脂,目前国内在开展复合材料杆塔研究的单位使用环氧树脂和聚氨酯树脂的均有,且以环氧树脂居多。根据市场情况,建议我公司在树脂体系上采用聚氨酯树脂。

5.2 如何发挥塔身的绝缘作用、体现复合材料杆塔的独特优势

如何发挥塔身的绝缘作用、体现复合材料杆塔的独特优势是关系到复合材料杆塔应用目标实现的核心问题。塔型和防雷接地引下方式的优化设计是如何发挥塔身的绝缘作用的关键点,也是难点。

5.3 如何采用结构设计克服现有复合材料刚性不足

复合材料具有良好的机械强度,但其机械刚性不足,使得制成的杆塔挠度超过了设计标准,如何采用结构设计克服目前复合材料刚性不足的问题也是本项目研究的难点。

5.4 制造工艺

目前,复合材料杆塔的制造工艺主要有两种方式,即拉挤成型和缠绕成型^[4]。

5.4.1 纤维缠绕工艺

将浸过聚酯树脂的玻纤粗纱按照指定线型连续缠绕在轴上。控制芯轴转速和轴与丝嘴的相对运动速度,可以调节到所需的缠绕角度,与轴向形成 $7 \sim 90^\circ$ 范围的缠绕角。纤维层数要根据电杆的等级性能的要求而定。缠绕完毕后加热固化,固化完毕后脱模。可用水压装置将管从芯轴上脱掉,然后切割、打孔,安装脚踏。

5.4.2 拉挤成型

拉挤成型是用拉挤成型机使纤维增强塑料连续成型的一种成型加工法,连续增强纤维浸渍活性树脂后通过热型模,材型即确定,再根据需要按照一定长度进行切割。此工艺近几年发展最快,主要发展方向是为港口、输电、土木等基础设施工程和高层建筑提供厚壁结构板型件。该工艺比较适合于复合材料横担和多边形电杆的制造,机场篱及其他类似结构也采用此工艺。拉挤工艺可加工具有等横截面、径向强度和刚度较高的结构件。美国Elberta公司正在设计、试制高压输电塔的大型拉挤成型结构件,塔高25.58m,重2.59t,全部用复合材料件装配组成。

从目前调研及相关资料上获悉,国内外绝大部分复合材料杆塔生产厂家均采用缠绕成型的工艺来生产产品。控制纤维方向与杆塔轴向平行或因工艺成型需要成很小的角度,来提高杆塔轴向的力学性能。

杆塔之间的连接方式可以根据设计要求采用套入或法兰连接的方式进行。

6 复合材料杆塔材料性能要求和测试项目

某公司生产的复合材料横担,形状为半个直角加半个圆,铺层为毡+单 \square 向带(若干)+毡,在比较厚的部分,在单向层和毡之间,再增加横向单向层1层+纵向单向层(若干)+横向单向层(1层)。采用拉挤成型工艺。树脂体系为环氧型。其性能测试内容及结果如下:

表2 某公司复合材料横担的测试性能

序号	测试项目名称	单位	测试结果	检测依据
1	孔边挤压强度	MPa	230	EN 13706-2-2002
2	纵向拉伸强度	MPa	240	GB/T 3354-1999
3	纵向拉伸模量	MPa	4.73×10^4	
4	纵向弯曲强度	MPa	700	GB/T 3356-1999
5	纵向弯曲模量	MPa	4.20×10^4	
6	纵向压缩强度	MPa	570	GB/T 1448-2005
7	纵向压缩模量	MPa	4.89×10^4	
8	拉伸泊松比	—	0.265	GB/T 3354-1999
9	密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	2066	GB/T 1463-2005
10	纤维含量	%	78.0	GB/T 2577-2005
11	热膨胀系数(35~100℃)	℃	6.87×10^{-6}	GB/T 2572-2005
12	固化度	%	95.9	GB/T 2576-2005
13	剪切强度	MPa	47.4	JC/T 773-2010

无锡同腾复合材料有限公司采用乙烯基、无碱玻璃纤维,通过拉挤成型工艺生产复合材料横担。截面形状为等厚长方形,其测试性能如下:

表3 无锡同腾复合材料横担的测试性能

工频耐压强度	$\geq 50\text{kV}$ (0.2m长)
雷电冲击耐压强度	$\geq 75\text{kV}$ (0.2m长)
70×50×8 直流泄漏电流	$\geq 10\mu\text{A}$ (20kV以下)
70×50×8 体积电阻系数	$\geq 10^{12}$
抗弯强度	$\geq 5000\text{N}$

北京玻璃钢院复合材料有限公司曹小平在论文“夹层结构复合材料杆塔设计与研制”里,提到采用了玻璃纤维粗纱缠绕+聚氨酯中密度泡沫+玻璃纤维粗纱拉挤杆这样一个夹层结构杆塔。同时,提到

复合材料杆塔需要进行如表4所示试验,这些测试内容从所查的资料来看,是比较全面的。

表4 复合材料杆塔试验项目^[5]

试验类型	试验项目	参考标准	验证情况
基本材料	密度	GB/T 1463	符合要求
性能	拉伸强度及模量	GB/T 1447	符合要求
	压缩强度及模量	GB/T 1448	符合要求
	弯曲强度及模量	GB/T 1449	符合要求
	剪切强度及模量	GB/T 1450.1	符合要求
	纤维体积含量	GB/T 2577	符合要求
	阻燃性能	GB/T 8924	符合要求
	固化度	GB/T 2576	符合要求
	热膨胀系数	GB/T 2572	依据设计要求确定
电气性能测试	干、湿表面电阻率	GB/T 1410	符合要求
	干、湿体积电阻率	GB/T 1410	符合要求
	耐电痕化	GB/T 6553	1A 2.5级 需要改造
	渗透试验	GB/T 19519	符合要求
	水扩散试验	GB/T 19519	符合要求
	1h淋雨	GB/T 13398	需要改造
	老化性能	紫外老化	GB/T 16422-2004
酸老化		GB/T 3857-2005	符合要求
碱老化		GB/T 3857-2005	符合要求
臭氧老化		GB/T 7762-2003	符合要求
湿热老化		GB/T 2573-2008	符合要求
真型试验	复合材料横担	大风超载 300%	符合要求
	实心缠绕主杆	90度大风 超载 150%	杆体未断,仅杆体根部 粘接胶层局部开裂

7 结论

(1) 玻璃钢/复合材料本身具有的技术性能优势,使复合材料杆塔比传统的杆塔具有更好的综合性能,通过合理的设计,复合材料杆塔可以满足输电线路对杆塔结构的各项性能要求,在输电线路杆塔领域可以获得广泛的应用,并且具有巨大的潜在市

场容量;

(2) 复合材料杆塔的开发成功需要在材料技术、结构设计技术、成型工艺和设备、试验技术等方面取得突破。在此基础上,需要在国家电网公司的试点工程应用的引领下,通过电力设计单位及复合材料制造单位的共同努力,实施复合材料杆塔的产业化和大规模的应用,其中风险与利益是共存的;

(3) 国内复合材料杆塔开发和生产单位主要有国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、风范股份公司、北玻院、鞍山铁塔开发研制中心与鞍山铁塔厂、温岭市电力绝缘器材有限公司、南通神马公司等。目前复合材料杆塔还处于开发和中试生产的阶段,在应用上还处于挂线试用阶段。杆塔产品主要采用聚氨酯、环氧树脂,增强材料使用E玻璃纤维,通过缠绕工艺进行生产;

(4) 复合材料杆塔的性能测试包括基本材料性能测试、电气性能测试以及部分老化性能的测试,杆塔原型制成后还需要到相关电力研究单位进行真型试验。

参考文献

- [1] 方东红,韩建平,曹翠玲.复合材料输电杆应用进展[J].玻璃纤维,2008,6:31-39.
- [2] 叶鼎铨.复合材料在输电工程中的应用[J].玻璃纤维,2009,4:46-47.
- [3] 但小容,陈轩恕,刘飞等.复合绝缘杆塔的发展前景及应用[J].机电信息,2009,36:90-91.
- [4] 曹小平.输电线路复合材料杆塔的应用研究及展望[J].复材在线,2011,3.
- [5] 曹小平,任宗栋,胡良全等.夹层结构复合材料杆塔设计与研制[Z].第七届中国功能材料及其应用学术会议论文集(第5分册),2010,10:291-294.

COMPOSITE POLE&TOWER TECHNOLOGY AND APPLICATION STATUS

LIU Wei-jun, ZHANG Jin-nan, WANG Qiang-hua*

(Shanghai FRP Research Institute Co., Ltd., Shanghai 201404, China)

Abstract: In this paper, FRP/Composites application to pole&tower of transmission line and its technical advantages are described. The current R&D of composite pole&tower in domestic and foreign companies and research institutes are presented. The domestic composite poles&towers are under development and pilot production phase, and some of its products have been used in transmission lines on trial. The domestic composite pole&tower products mainly employ the polyurethane and epoxy as their resin matrix and E-glass fiber as their reinforcement, with filament winding process for their production. Performance tests for composite pole&tower include basic material properties, electrical properties, aging performance tests and prototype model test.

Key words: transmission line; composite pole&tower; technical advantage; application status; performance requirement