

光伏风力新能源用节约型倍容量导线

黄豪士¹, 滕 筠^{2*}, 黄杰彦²

(1. 上海电缆研究所有限公司, 上海 200093; 2. 上海功宸仪器有限公司, 上海 200086)

摘 要:为了减少碳排放量,控制地球温度的上升,需要将煤、石油、天然气等传统能源发电方式转向光伏、风力等新能源发电。同时,为了降低新能源发电成本,输电线路用导线将采用增容导线。高强度高导电低弧垂(HHS)导线是为了保证输电线路具有安全、节能、节材、节地、高效等优异特性而研制的一种新型增容导线。文中介绍了 HHS 导线的增容工作原理、原材料的选择与处理、增容方法与制造技术,以及应用范围和前景等,可为领域内的应用研究提供参考。

关键词:光伏; 新能源发电; 输电线路; 增容导线

中图分类号: TM25

文献标志码: A

文章编号: 1672-6901(2024)01-0036-04

Energy-Saving Double-Capacity Conductor for Photovoltaic Wind Power and New Energy

HUANG Haoshi¹, TENG Yun^{2*}, HUANG Jieyan²

(1. Shanghai Electric Cable Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Gongchen Instrument Co., Ltd., Shanghai 200086, China)

Abstract: In order to reduce carbon emission and control the rise in temperature of earth, shifting traditional energy generation methods such as coal, oil and natural gas to new energy power generation such as photovoltaic and wind power is necessary. And, in order to reduce the cost of new energy power generation, the conductor for the transmission line will use the capacity increase conductor. High-strength-steel-core and high-conductivity-stranding with low sag conductor(HHS) is a new type of increased capacity wire, which should ensure that the transmission line has excellent characteristics of safety, energy saving material saving, land saving, and efficiency. Working principle of HHS wire capacitance enhancement, selection and treatment of raw materials, capacitance enhancement methods and manufacturing technology, and scope of application and prospects are introduced, which could provide reference for application research in the field.

Key words: photovoltaic; new energy power generation; transmission lines; capacitive conductor

0 引 言

在碳中和、碳达峰的背景下,电力作为国民经济和人类活动的主要能源,正经历着从石油、天然气、煤炭等传统化石燃料火力发电向新型能源发电的转型。其中,光伏、风力、水力、生物能等新型能源发电的比重正逐步增长。不同于传统化石能源发电与传输,新能源发电具有间歇性与波动性,这对输电线路的稳定性与安全性提出了更高的要求。

为了使输电线路特性与新型电力系统特性相匹配,可利用增容导线技术。国际上已有相应的应用

案例。美国通常采用碳纤维芯导线或陶瓷纤维芯导线^[1]。然而,这两种导线在中国的应用表明,其安全性和稳定性不足,已被弃用;日本开发的铝包钢芯耐热铝合金导线,虽然能够使输电线路增容至倍容水平,但成本较高^[2],只能应用于少量特殊场合;作为倍容导线之一的间隙型耐热铝合金导线,由于施工不便、导线内部性能无法检测^[3]、运行时节能效果较差等缺点,也仅有少量的应用。

从 2007 年起,由中国自主研发制造的应力转移型导线已应用于约 200 条线路中,可达到倍容效果且性能稳定^[4-5]。但是,应力转移型导线的结构型号单一,难以满足各种气候条件和地形,在导线的应用方面仍有较大空间。为了进一步改进,经过技术升级,本工作基于新一代增容导线技术研发制造了高

收稿日期: 2023-11-21

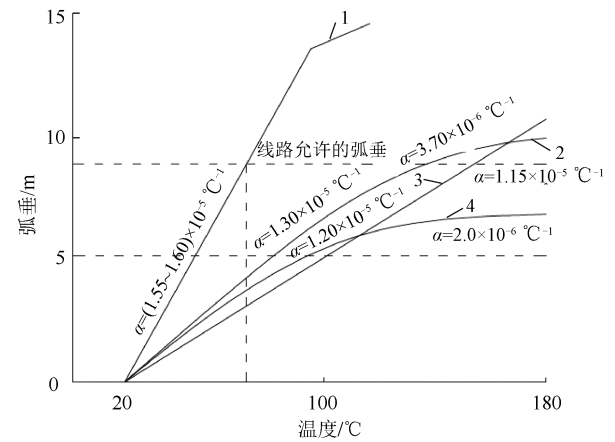
作者简介: 黄豪士(1938—),男,正高级工程师。

* 通信作者: 22843942@qq.com

强度高导电低弧垂 (HHS)、节约型倍容量导线,可实现输电线路节能,节约建设所需的材料与土地资源,且在倍容量状态下能够安全运行。

1 节能导线

在不同运行温度下,钢芯铝绞线 (ACSR)、铝包股钢芯耐热铝合金导线、碳纤维芯软铝导线,以及 HHS 导线的弧垂变化曲线见图 1。其中, α 为热膨胀系数。



1—ACSR;2—铝包股钢芯耐热铝合金导线;
3—HHS 导线;4—碳纤维芯软铝导线

图 1 不同导线运行温度与弧垂的关系曲线

由图 1 可以看出,以 ACSR 为基准对象,铝包股钢芯耐热铝合金导线、碳纤维芯软铝导线和 HHS 导线均能够起到倍容效果。在实际应用中,铝包股钢芯铝绞线的安全系数、拉重比较小,且成本高;碳纤维芯软铝导线在运行时存在安全隐患。HHS 导线采用镀锌钢绞线为加强芯,铝及铝合金线为导体材料;在传统金属材料的制造技术上改进,导线结构采用专用生产技术制造。相比之下,HHS 导线成本低于其他倍容导线,在运行时不仅能够保持安全性和稳定性,还能够达到节能的效果。

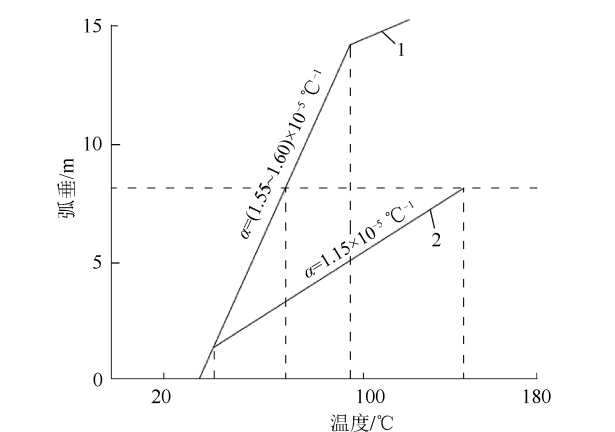
2 HHS 导线增容原理

2.1 迁移点 (拐点)

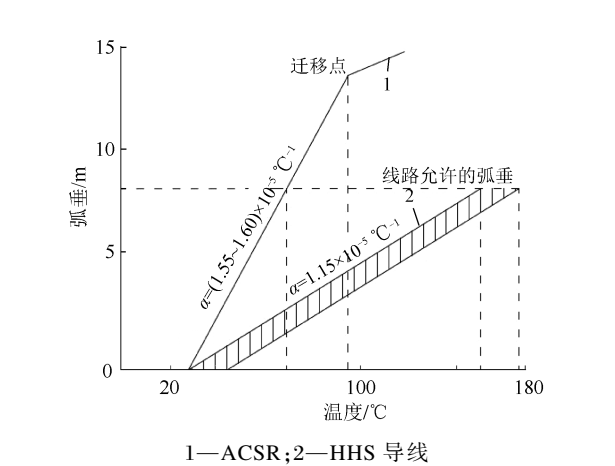
在 ACSR 中,钢和铝的热膨胀系数不同,钢芯的热膨胀系数为 $1.15 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$,铝的热膨胀系数为 $2.30 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。当电流通过导线时,内部的电阻会产生热量,导线温度升高,温升使得铝线和钢线分别产生不同的伸长量。钢的热膨胀系数比铝小,其伸长增量也相对较小;因此,在导线内部,铝线的伸长量大于钢线的伸长量。

当导线温度上升至一定温度 (如 $95 \text{ }^{\circ}\text{C}$) 时,钢芯和铝线层会分离,不再粘连。此时,导线的载荷由

原来的钢芯和铝线共同承担,转为全部由钢芯承担,该温度点即为迁移点或拐点。随着导线的电流继续增加,导线温度继续升高,导线的弧垂增量仅取决于钢芯的热膨胀系数,与铝线无关。将导线的迁移点温度从较高的温度 ($95 \text{ }^{\circ}\text{C}$) 下移至较低的温度 ($30 \text{ }^{\circ}\text{C}$),导线仍能够保证输电线路的允许弧垂,也能够达到增大输送电流容量的目的,甚至达到倍容的效果。架空输电线路中 ACSR 与 HHS 导线的迁移点见图 2,导线迁移点与弧垂的关系见图 3。



1—ACSR;2—HHS 导线
图 2 ACSR 与 HHS 导线的迁移点



1—ACSR;2—HHS 导线
图 3 ACSR 与 HHS 导线迁移点与弧垂的关系曲线

由图 2 可以看出,迁移点从 $95 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下移至 $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,由钢线承力。在温度为 $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,HHS 导线的弧垂小于允许的最大弧垂,满足要求,能够达到倍容效果。由图 3 可以看出,迁移点从 $95 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下移至 $5 \sim 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内时,均可达到倍容效果,且弧垂在允许的范围。

2.2 增容方式

维持输电线路原有的弧垂不变,同时继续使用原输电线路或按原线路设计的参数来实现输送容量的增加,可采用导线的迁移点温度下移和降低导线钢芯的热膨胀伸长量两种方法。

2.2.1 导线的迁移点温度下移

当导线的迁移点下移后,导线的热膨胀系数取决于导线的加强芯。在输电线路的弧垂不超过允许值时,输送电流已经达到倍容状态。然而,在实际应用中导线迁移点不能够无限下移,甚至下移至 0℃或以下温度。因为在运行线路中,太低的迁移点温度(如 0℃或以下温度)会导致导线表面积雪或覆冰,增加导线负重。此时,只有钢芯受力,铝层不受压力,导致导线的拉断力下降,从而降低线路的安全性。因此,当温度小于 0℃时,需要同铝导体一起承担荷载。

一般情况下,迁移点温度不应低于 5℃;当迁移点温度超过 30℃时,也难以完全满足倍容条件。考虑到气温的变化,将迁移点控制在 25℃以内较为合适,即迁移点温度应处于 5~25℃范围内。在导线生产制造时,HHS 导线采用的是一种专用的绞线机(双控力框绞机),能够在制造过程中根据气温变化对工艺参数进行微调,从而将迁移点温度调整至设计范围内。例如,图 3 中的迁移点温度呈带状,区域内的温度均能够满足要求。

2.2.2 降低导线钢芯的热膨胀伸长量

采用金属线混绞的形式,可以使导线热膨胀系数达到 $1.05\times10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。在此情况下,导线温度与弧垂的关系曲线见图 4,导线可以在倍容状态下安全运行。其中,混绞钢芯均为金属材料(不包含非金属材料),可以压接,安全可靠。

的目的。由于 HHS 导线的倍容特性,在大于迁移点温度运行时,铝导体是不受力的,因此导体也可以采用软铝。

在温度为 150℃或 160℃时,适当提高铝的抗拉强度和表面硬度,可以保证 HHS 导体具有足够的额定抗拉强度,以及在架设施工时更为便利。对铝导体进行热锻炼处理,抗拉强度可达到 120 MPa 以上。因此,在恶劣环境下工作时,HHS 导线可以采用导电率不小于 61.0% IACS 的耐热铝合金作为导体材料。

钢芯加强件采用的是 GA5/GA6 镀锌钢绞线和 5% Zn-Al 合金镀层钢绞线。为了保证其机械性能,选择特高强度的镀锌钢绞线作为承力加强件,其抗拉强度至少为 1 910 MPa。为了使制成的导线具有较小的蠕变伸长量,制造前需要对钢绞线进行松弛处理,以去除钢绞线快速蠕变起始阶段的变形量。松弛处理类似于桥梁缆索用钢丝的热处理,可以保证导线的稳定性,消除钢绞线的不均匀性。

3.2 绞制工艺

绞制是保证 HHS 导线整体性能的关键工序。采用专用双控力框绞机进行绞制,以保证绞制后导线的迁移点能够达到预期设计的张力与温度。导线的迁移点温度检测在专用的迁移点试验机上进行,通过测量导体在通电时产生的长度变化量来确定导体的迁移点温度,可以确保导线的迁移点达到可控、可调节、可测量的水平,从而保证导线的质量。

4 HHS 节约型倍容量导线及应用

4.1 HHS 系列导线

由于复杂的地形和气候,以光伏、风力、水力等代表的新能源发电站具有多样性。为此,研制的 HHS 导线主要包含自减振型的 HHS 导线、千米级大跨越型 HHS 导线、低电晕型 HHS 导线、抗台风导线、抗沙尘暴导线等 5 个系列。

自减振型的 HHS 导线。不仅适用于光伏电站、风力电场,还可以在分布性光伏电站地区和城市电网中应用。特别是在电网升级改造中,可以采用具有较小热膨胀系数加强芯的导线(如热膨胀系数不大于 $1.05\times10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$),以及基于迁移点适当下移技术制成的 HHS 导线,来替代碳纤维芯导线,以保证输电线路的安全运行,降低线路成本。

千米级大跨越型 HHS 导线。采用拉重比大的导线,可增大杆间距离,从而减小线路总距离,减少线路投资,适用于西部高原地区的输电线路。

低电晕型 HHS 导线。采用抽股疏排形式的扩

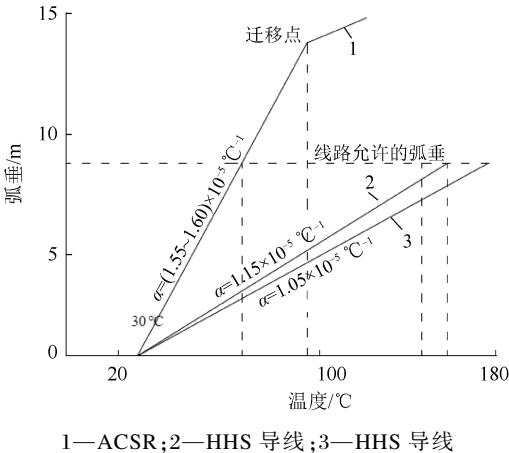


图 4 HHS 导线的迁移点范围

3 关键技术

3.1 导线材料

HHS 导体材料采用的是铝或铝合金,铝的导电率不小于 62.5% IACS,超过常规 ACSR 用铝导体导电率 61.0% IACS 的要求,在运行时可以达到节能

径导线,能够减少线路电晕损耗,节约线路投资。结合新能源输电,不仅能够减小线路电晕损耗,还能够实现倍容输电,较适用于高海拔地区的新能源输电线路。

抗台风导线。采用非圆形外观以减少导线正面受风面积;设置泄压通道以减小导线的分压;适用于南方沿海风电场及沿海线路,能够有效应对台风带来的强风影响。

抗沙尘暴导线。表面外层采用硬度较高的铝合金层,并在结构中增加抗振能力,可以抵御沙尘暴的侵袭和振动影响等;适用于沙尘暴频发地区,能够保证输电线路的稳定运行。

自减振型的 HHS 导线、千米级大跨越型 HHS 导线和低电晕型 HHS 导线具有明显的经济和技术优势,适用于新能源线路。以内蒙古的光伏发电为例,在受沙尘暴影响的地区,自减振型的 HHS 导线能够保障线路的可靠运行;在海上风电场,抗台风导线则能够有效应对台风带来的挑战。

4.2 应用范围及前景

HHS 导线的应用范围包括新能源领域的光伏、风能、水能发电的输电线路,以及分布式电网线路。不仅能够应用于新建线路,还可应用于老线路改造,实现无需改造线路,无需改造杆塔,即可增容 100% 的优势。

HHS 导线还可广泛应用于 500 kV 及以下超高压输电线路的增容及改造建设。500 kV 及以下输电线路数量占整个输电网线路用导线的 80% 以上,每年市场需求量为 5.0×10^5 t。

随着早期架设的输电线路已临近使用寿命,需

要更换新的导线,适合采用具有更高输电能力的增容导线。同时,在新农村建设中,除了原有用电需求外,还需要考虑新增的分布式电源,可以在不新增线路的情况下,通过更换导线和金具,来实现输电线路的增容。

5 结 论

HHS 节约型倍容量导线组件采用的是铝和镀锌钢绞线,已在电力输电线路上投入使用将近 100 多年,全球 80% 及以上的输电线路至今仍采用 ACSR,证明了 ACSR 是安全可靠的。HHS 节约型倍容量导线在常规导线结构上进行改进,可以提升电力输配电线路的可靠性,节省增容和扩容费用,缩短周期,降低电气输配电线路的总运行成本,提高安全性,且适用范围更广。此外,HHS 节约型倍容量导线配套完整,施工便捷,施工方法与常规 ACSR 相似,仅在个别部分进行改进。在新输电线路建设或老旧线路的改造中,HHS 导线可发挥重要作用,使得输电网建设更安全、节约、高效。

参考文献:

[1] 余虹云. 耐热导线应用技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2008: 1-7.

[2] 蔡建龙. 架空线路增容改造导线的选型比较 [J]. 科技创新导报, 2013 (5): 95-98.

[3] 张永建, 郭志清, 彭续解, 等. 架空输电线路耐热导线的比选方法研究 [J]. 电力学报, 2021, 36 (5): 444-453.

[4] 黄豪士, 陆国钦, 施海峰, 等. 应力转移型特强钢芯软铝型线绞线的特性及应用 [J]. 电线电缆, 2019 (1): 5-10.

[5] 黄豪士, 马景运. 导线弧垂取决于承力件的应力转移型导线和它的制造方法: CN102646476A [P]. 2012-08-22.