

NaireDaoxian Yingyong Jishu

耐热导线应用技术

余虹云 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

NaireDaoxian Yingyong Jishu

耐热导线应用技术

余虹云 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

耐热导线(增容导线)是架空输电线路的特种导线,能在基本不改变线路原有配置的基础上,提高输送容量,并能在倍容量即线路在 $N-1$ 的情况下使用,对输电线路扩容改造将发挥重要作用。

本书共分四章,分别介绍了增容导线的种类特点、性能要求和选用要求,复合材料合成芯导线的技术特性与要求、设计与施工、运行与检修、试验与验收、应用实例与注意事项,耐热铝合金导线特性、对比试验、设计分析、应用及间隙型导线施工与检修,钢芯软铝绞线技术要求及应用等。基本覆盖了目前国内外所使用的各种增容导线,并结合所做的研究性试验结果,为增容导线的应用提供了技术支持。

本书可作为电力工程技术人员日常设计、施工、运行、检修、试验、管理及培训参考用书,同时也可作为大专院校电力工程类专业教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

耐热导线应用技术 / 余虹云编. —北京: 中国电力出版社, 2008
ISBN 978 - 7 - 5083 - 7732 - 2

I. 耐… II. 余… III. 导线(电) IV. TM24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 114237 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 9 月第一版 2009 年 1 月北京第二次印刷
850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 6.375 印张 168 千字
印数 3001 - 8000 册 定价 15.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

前言

随着我国国民经济的持续高速发展,对电力的需求大幅度攀升,同时社会对电能的质量要求也进一步提高。为了适应社会发展的需要,并保持适当的超前,输电线路建设需要保持持续的高增长,运行几十年的老旧线路需要改造和扩容,在进行电网建设的同时,也带动了线路器材技术的发展。因此,研究和应用各种增容导线也变得尤为迫切。

本书参考了国内外的各种有关增容导线的技术资料,并结合最新试验研究成果,对各种增容导线的技术要求、性能特点、设计施工、运行检修、试验管理及注意事项进行了介绍。

本书在编写过程中得到了尤传永教授等许多专业人员的热情帮助和大力支持,并付出了辛勤的劳动,在此一并致以感谢。

限于编者水平,书中难免存有不妥和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 7 月

401		用血类设备并芯附 第二章
701		耀文学卷 300

前言

第一章 增容导线	 1
-----------------	---------

第一节 增容导线的种类和特点	 2
第二节 增容导线的性能要求	 5
第三节 增容导线的选用要求	 14

第二章 复合材料合成芯导线	 16
----------------------	----------

第一节 技术特性与要求	 16
第二节 ACCC/TW 导线设计与施工	 32
第三节 ACCC/TW 导线运行与检修	 68
第四节 ACCC/TW 导线试验与验收	 77
第五节 ACCC/TW 导线应用实例及应用 注意事项	 106
第六节 铝基陶瓷纤维芯铝绞线 ACCR	 117

第三章 耐热铝合金导线	 120
--------------------	-----------

第一节 耐热铝合金导线特性	 120
第二节 耐热铝合金导线对比试验	 130
第三节 耐热铝合金导线设计分析	 137
第四节 间隙型导线施工	 149

第五节	间隙型导线检修	164
-----	---------------	-----

第六节	耐热铝合金导线应用	174
-----	-----------------	-----

第四章	钢芯软铝绞线	186
-----	--------------	-----

第一节	钢芯软铝绞线技术要求	186
-----	------------------	-----

第二节	钢芯软铝绞线应用	194
-----	----------------	-----

参考文献		197
------	-------	-----

目 录

1	 导线容量 第一章	
---	----------------	--

2	 点群脉类中的导线容量 第二章	
---	----------------------	--

2	 主要参数中的导线容量 第二章	
---	----------------------	--

4	 主要参数中的导线容量 第三章	
---	----------------------	--

10	 导线芯铝合材料合金 第二章	
----	---------------------	--

10	 主要参数中的导线容量 第二章	
----	----------------------	--

35	 导线容量中的导线容量 第二章	
----	----------------------	--

68	 导线容量中的导线容量 第三章	
----	----------------------	--

77	 导线容量中的导线容量 第四章	
----	----------------------	--

100	 导线容量中的导线容量 第五章	
-----	----------------------	--

117	 导线容量中的导线容量 第六章	
-----	----------------------	--

120	 导线合金材料合金 第三章	
-----	--------------------	--

150	 导线容量中的导线容量 第二章	
-----	----------------------	--

130	 导线容量中的导线容量 第三章	
-----	----------------------	--

137	 导线容量中的导线容量 第四章	
-----	----------------------	--

140	 导线容量中的导线容量 第五章	
-----	----------------------	--

增 容 导 线

随着我国国民经济的持续高速发展,对电力的需求也大幅度攀升,为此西电东送、南北互供、全国联网各类项目分别启动。这时,输电网建设提出了新的要求,尤其是老旧线路的改造,线路扩容成为当务之急,线路扩容的措施有以下几种:

(1) 增加新的输电线路。由于增加新线路,虽然能输送更多的电能,但需要增加线路用地,增加投资,这一方法一般只能在十分必要的线路才采用。

(2) 对原有线路进行改造,增加导线截面积,但这样需要改造杆塔,提高塔头高度和强度,甚至更换杆塔。虽然可以增加线路输送容量,利用原有线路路径,但仍有较大的投资,一般须经严格计算分析比较后,在其他方法难以解决时才使用此法。

(3) 更换导线。要用与原线路所用导线有着相同或十分相近的型号和主要参数的增容导线,更换新的导线后,便达到线路扩容的目的。

我国土地资源并不丰富,尤其在东部,土地资源更是匮乏,然而东部却是用电较多的地区,工农业的发展速度很快。即便是新建线路,也应考虑采用较容易的方法达到增容的目的。因此,增容导线的研究和应用迫在眉睫。

第一节 增容导线的种类和特点

增容导线是在架空输电线路使用的特种导线，它是在具有相等导体截面积的情况下，相对于传统的钢芯铝绞线 ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced) 能输送更多电能的若干种类导线的总称，也可称其为“耐热导线”。

迄今，世界上已有很多种新型线种出现，概括起来可分为两大类：一类是增加导线的输送容量，导线的温度提高，但作为导电部分的材料其强度不降低，仍保持着常温下相接近的总拉断力，如耐热铝合金作导体的系列导线；另一类，则着重于导电部分的节能，即有着高的导电率，而导线总的力学性能由承力的芯部承担，即使在导线载流增加，导线温度提高以后，导线的运行仍是安全的，如有机复合材料作为加强芯的系列导线。

一、耐热铝合金作导体的系列导线

早在 1949 年人们就发现加铝可以提高铝的耐热性能，20 世纪 60 年代开始在日本应用于输电线路，开发出耐热铝合金导线 HRAAC (Heat Resisting Aluminum Alloy Conductor)。这种导线的导电部分采用耐热铝合金线，其耐热机理是在普通的金属铝中添加了金属锆等成分后，提高了铝的再结晶温度，一般至 230°C 时这种耐热铝合金线的强度也不会降低，利用耐热铝合金线绞制成的钢芯耐热铝合金导线与原有相同规格型号的钢芯铝绞线 ACSR 相比，其线路可以增加输送 20% 以上的电能。到了 20 世纪 80 年代，日本的耐热铝合金导线已形成较为完善的系列，包括钢芯耐热铝合金绞线 TACSR (Thermo-resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced)、钢芯超耐热铝合金绞线 (UTACSR 和 ZTACSR)、钢芯高强度耐热铝合金绞线 KTACSR、铝包钢芯耐热铝合金绞线 TACSR/AC、铝包钢芯超耐热铝合金绞线 (UTACSR/AC 和 ZTACSR/AC) 以及铝包钢芯高强度耐热铝合金绞线 KTACSR/AC、殷钢芯超耐热铝合金绞线 ZTACIR 和殷钢芯

特耐热铝合金绞线 XTACIR、间隙型钢芯耐热铝合金绞线 GTACSR 和间隙型钢芯超耐热铝合金绞线 GZTACSR 等, 成为世界上该领域技术领先的国家。目前, 在日本使用耐热铝合金导线的架空输电线路总长度已达 70% 以上。作为一种增容导线, 耐热铝合金导线已被许多国家所接受, 解决了目前输电线路超负荷运行的难题。

然而在采用钢芯耐热铝合金导线架设的输电线路、扩大线路输送容量的同时, 却具有以下两点不可忽视的缺点。

(1) 研究表明每添加 0.1% 的铝, 铝合金导电率降低约为 4.1%。耐热铝合金导线的导电率只有 58% 或 60% IACS [IACS (International Annealed Copper Standard) 为国际退火铜标准], 比起现在常用的钢芯铝绞线 ACSR 中电工铝线 61% IACS 的导电率来说, 线路的电阻增加, 明显地提高了线路损耗。

(2) 由于线路需要增加输送容量, 运行温度提高, 导线弧垂增加, 导线对地距离减小, 从而增加了线路的不安全性, 限制了钢芯耐热铝合金导线的应用。当然, 可以适当加高铁塔高度, 提高导线悬挂点, 或经严格计算并经局部处理后使用, 也只能提高 20% ~ 30% 的输送容量, 但它带来的结果是增加投资且未能较彻底的改善输电线路的输送容量。

而导电部分为耐热铝合金、承力部分钢芯为热膨胀系数很小的股钢芯耐热铝合金绞线, 可以解决导线的弧垂偏大、对地距离偏小的缺点, 但仍无法解决导线在高温下的过大线损。并且这种导线价格高昂, 一般常用规格的价格约为相同规格钢芯铝绞线 ACSR 的 5 ~ 6 倍。

二、有机复合材料作为加强芯的系列导线

20 世纪 90 年代后期, 日本又相继开发出碳纤维芯铝绞线 ACFR (Aluminum Conductor Carbon Fiber Reinforced) 和耐热碳纤维芯耐热铝合金绞线 TACFR (Thermo-Resistance Alloy Aluminum Conductor Thermo-Resistance Carbon Fiber Reinforced); 美国开发出碳纤维芯软铝绞线 ACCC/TW (Aluminum Conductor Composite Core/Trapezoidal

Wire) 和铝基陶瓷纤维芯铝绞线 ACCR (Aluminum Conductor Composite Reinforced) 等。这种导线采用有机复合材料代替金属材料(钢线、镀锌钢线、铝包钢线等)作为导线的承力元件,即导线的芯线。这种新型复合材料芯的架空导线发挥了复合材料的优点,具有质量轻、强度大、弧垂小、线损小的优点。

碳纤维有机复合材料加强芯软铝绞线 ACCC/TW 的导体材料为经热处理后的软铝绞线构成,导电率为 63% IACS,具有良好的导电性能。其承力元件为碳纤维有机复合材料加强芯,这种加强芯有很高的抗拉强度,能经受弯、扭各种考验,耐腐蚀,密度小,很小的热膨胀系数 $\alpha \approx 1.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$,当碳纤维有机复合材料加强芯与软铝线绞制成绞线时,导电性能优良、电阻小、线路的能耗较小,且导线质量较轻,自阻尼能力强,耐振动、舞动性能好,拉力重量比大。在载流状态下,线路中的导线弧垂小,能在倍容量即线路在 $N-1$ 时的情况下使用。因此,可用作输电线路导线、老旧线路改造用扩容导线、大跨越导线等。

此外,铝基陶瓷纤维芯铝绞线 ACCR 也是一种新品种,其纤维芯部有着比钢芯更好的导电性能,但其热膨胀系数较高,处于碳纤维芯和钢芯之间,其综合性能、综合拉断力、弧垂特性都不及碳纤维芯导线 ACCC/TW,但价格却与碳纤维芯导线 ACCC/TW 差不多。

三、其他节能型的系列导线

其他节能型的系列导线包括钢芯软铝绞线和型线同心绞架空导线。

1. 钢芯软铝绞线

大约在 20 世纪 60 年代,美国和加拿大开发出了别具特色的钢芯软铝绞线 ACSS (Aluminium Conductor Steel Supported),与日本开发的耐热铝合金导线有着不同的“耐热机理”,并主要在北美地区得到了大量应用。

钢芯软铝绞线 ACSS 的铝线股不是耐热材料,由电工铝导体经热处理后成为导电率为 63% IACS 的软铝,与钢线绞制成钢芯

软铝绞线 ACSS。它导电率高,在实际线路运行时,线损约减少 3%。由于钢芯软铝绞线 ACSS 结构上的特点,当处于张力作用下的导线运行工作温度提高后,铝线股很快产生伸长永久变形,当导线的工作温度达到迁移点温度时,铝线股的机械荷载全部转移到钢芯,整个导线的机械荷载全部由钢芯承担,因此钢芯软铝绞线 ACSS 能在较高的温度下正常工作,具有与相同规格结构的钢芯铝绞线 ACSR 几乎相同的热膨胀系数,且具有更好的自阻尼性能。因此从导线整体的功能来看,也可以说钢芯软铝绞线 ACSS 是另一种意义上的耐热导线。数十年来,在世界许多地区,尤其是在美国和加拿大,长期将钢芯软铝绞线作为提高输电线路输送能力的一种重要手段而广泛使用。

钢芯软铝绞线 ACSS 和钢芯耐热铝合金绞线 TACSR 与钢芯铝绞线 ACSR 一样,当相同规格时,温度—弧垂曲线相同,因此,钢芯软铝绞线 ACSS 作为线路用导线,特点是导电率高、节能,但在弧垂计算时,没有更多的优点,所以用作旧线路改造中增容导线时,必须核算弧垂量。

2. 型线同心绞架空导线

其导电材料是导电率为 61% IACS 梯形截面的电工铝导体。导线的外径与常规的钢芯铝绞线 ACSR 相同时,其截面约增加 20%~25%,所以电阻更低、能耗减小,其他性能与相同型号的钢芯铝绞线相同或相近,具有更良好的自阻尼性能,密闭结构将更好地保护钢芯,提高使用寿命。

型线同心绞架空导线将是未来输电线路用导线的主要线种。如果老旧线路只需提高 20%~30% 的输送容量时将是首选的线种。

第二节 增容导线的性能要求

在增容导线面世之前,最早在线路的扩容改造工程中,由于钢芯铝绞线 ACSR 允许使用温度的限制,增容只能通过用更大截面积的导线替换旧导线的方法来实现,往往需要更换杆塔,

费时费工，增加投资。图 1-1 列出了不同铝截面积导线载流量与允许使用温度的关系曲线（计算边界条件：环境温度为 40°C 、风速为 0.61m/s 、全日照）。

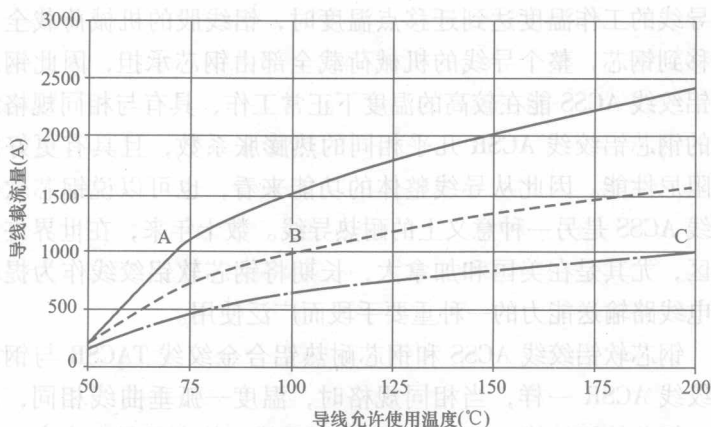


图 1-1 导线载流量与允许使用温度的关系曲线

A—铝截面积 800mm^2 导线；B—铝截面积 400mm^2 导线；

C—铝截面积 200mm^2 导线

从图 1-1 可知，如要满足载流量 1000A 的要求，有多种方案可供选择：如采用铝截面积为 800mm^2 的导线，在工作温度为 70°C 时即可实现；采用铝截面积为 400mm^2 的导线，在工作温度为 100°C 时才可实现；而采用铝截面积为 200mm^2 的导线，则要在工作温度为 200°C 时才可实现。如果采用普通的钢芯铝绞线 ACSR，必须使用铝截面积为 800mm^2 的大截面导线，并将有可能更换杆塔，增加造价。如采用能承受较高工作温度的增容导线，不仅铝截面积可以减小，而且有可能不必更换杆塔，省工省时，节省投资，经济效益显著。

因此，要求增容导线应具备相应的基本性能、施工性能和使用寿命等要求。

一、基本性能要求

增容导线的基本性能要求包括电气性能和弧垂特性等。

1. 电气性能

导线的导体材料应有良好的导电率,如果导电性能差,会增加输电线路的能耗,目前常用导线导体的导电率为 61% IACS,如果降低为 60% IACS 时,则线路线损约增加 1.5%。如果导电率升高至 63% IACS 时,则线路的线损可减少 3%。

在新型复合材料合成芯导线中,铝基陶瓷纤维芯铝绞线 ACCR 的直流电阻要大于碳纤维芯软铝绞线 ACCC/TW 的直流电阻,因此,ACCC/TW 导线具有更好的增容能力,能在相对较低的温度下满足增容的要求。如在输送相同载流量 1600A 的情况下,铝基陶瓷纤维芯铝绞线 ACCR 的温度要达到 180℃,而 ACCC/TW 的温度只要达到 150℃ 就可以满足要求。

2. 弧垂特性

导线的弧垂量和因时间推移或温度升高以后的弧垂增量应尽量减小,因此,增容导线应对弧垂特性进行改进,减少导线的蠕变量,改变导线导电部分与承力部分的性能配合,使导线温度升高以后,能较快的把力移至承力的芯部,由于承力芯部的热膨胀系数较小,温度达到导线迁移点的温度以上,导线弧垂的增量就取决于承力芯部的热膨胀量,而在导线迁移点温度以下时,其导线弧垂的变化量,取决于导线导电部分和承力部分的综合热膨胀系数,这个热膨胀系数的数值比承力芯部分的数值要大。

图 1-2 所示为不同导线因温度升高后的弧垂特性状态。

由于材料和结构上的差异,不同的增容导线,其弧垂随温度升高的变化量差别也较大。殷钢芯超耐热铝合金绞线 ZTACIR 和殷钢芯特耐热铝合金绞线 XTACIR、间隙型钢芯耐热铝合金绞线 GTACSR 和间隙型钢芯超耐热铝合金绞线 GZTACSR、钢芯软铝绞线 ACSS/TW、碳纤维芯软铝绞线 ACCC/TW 和铝基陶瓷纤维芯铝绞线 ACCR 等增容导线,由于其弧垂随温度的变化相对于普通的钢芯铝绞线 ACSR 及其他增容导线较小,具有较好的低弛度特性,因此又可以称之为低弛度导线。

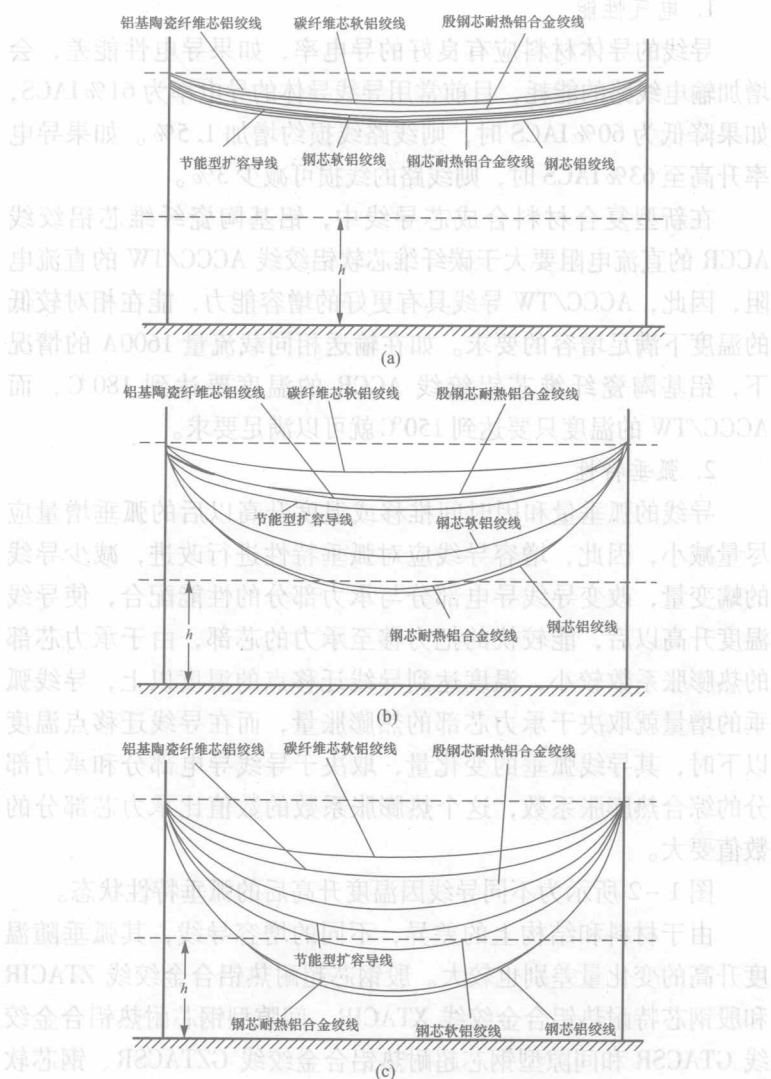


图 1-2 不同导线因温度升高后的弧垂特性状态

(a) 40℃时的初始弧垂（安装张力相等）；

(b) 100℃时的运行弧垂（载流量相当于70℃时150%左右）；

(c) 140~150℃时的运行弧垂（载流量达200%，N-1状态）

美国各种增容导线与钢芯铝绞线的弛度特性比较曲线见图 1-3。

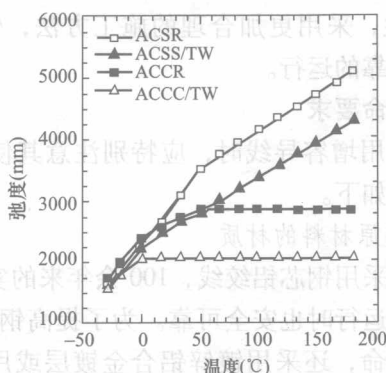


图 1-3 美国各种增容导线与钢芯铝绞线的弛度特性比较

图 1-3 中，钢芯铝绞线 ACSR 的规格为 Drake，导线外径为 28.1mm，钢芯软铝绞线 ACSS/TW、铝基陶瓷纤维芯铝绞线 ACCR、碳纤维芯软铝绞线 ACCC/TW 均具有相同的外径。各弛度特性曲线是依据美国全国用电规程 NESC 规定的最大重载张力条件下，平均档距为 182m，导线温度从 -20~200℃ 时的计算值。由图 1-3 可知，ACSR 在 100℃ 时的弛度，ACSS/TW 要到 165℃ 时才会达到；对于 ACCR，当温度从 -20~200℃ 变化时，其弛度仅增加 500mm，比前两种导线均小许多；而 ACCC/TW 的弛度最小，而且基本不变，呈现出最佳的弛度特性。

二、施工性能要求

增容导线的施工性能要求包括金具配合和施工方法等。

(1) 金具配合。主要与导线承力部分即导线芯部相配合，金具应考虑因导线增容时的温度提高，能满足耐热性要求。以碳纤维芯或陶瓷纤维芯作为承力芯的导线，金具应适合纤维芯

的特性制作与加工,并应尽量简化。

(2) 施工方法。增容导线应尽量采用现用的张力机、牵引机、滑车等施工机具,减少增加特殊的设备。在施工过程中应按照导线的特性,采用更加合理的施工方法,保证施工质量,保证线路安全可靠的运行。

三、使用寿命要求

在开发和应用增容导线时,应特别注意其使用寿命,影响导线寿命的因素如下。

1. 导线所用原材料的材质

导线一般都采用钢芯铝绞线,100 余年来的实践证明,其寿命是足够长的,运行时也安全可靠。为了提高钢芯的使用年限,延长导线使用寿命,还采用镀锌铝合金镀层或用铝包钢线,这是行之有效的。新型的纤维芯导线,由于在芯的外层为有机材料组成,因此还应在实践中考察其寿命。

2. 导线的结构

导线的结构也是影响导线寿命的一个重要方面,型线同心绞的导线,不单在相同直径时,比圆线同心绞有更多的导电截面,可增大载流量,而且密闭式的结构能更好地保护钢芯,延长导线使用寿命。型线同心绞导线的吸振能力强,在振动强烈的线路,有更长的使用寿命,并且型线同心绞导线的抗冰能力也更强。

3. 施工因素

施工也是影响导线寿命的一个因素,正确良好的施工方法和施工程序,能保证导线的良好质量,确保导线的使用寿命。尤其在施工碳纤维芯、铝基陶瓷纤维芯这一类导线,由于导线芯部比钢线更脆而易损坏,不正确的施工将缩短导线的寿命。

四、各类导线的综合性能比较

各类导线的综合性能比较,见表 1-1。表 1-1 中的软铝线、软铝型线的导线,钢芯都为常用的,导线未做迁移点的特殊处理。

表 1-1 各类导线的综合性能比较表

导线类别	常规导线	耐热合金	股钢芯	碳纤维芯	铝基陶瓷纤维芯	软铝线	软铝型线
性能	钢芯铝绞线	耐热铝合金	股钢芯	碳纤维芯	铝基陶瓷纤维芯	软铝线	软铝型线
结构	常用的钢芯铝绞线	钢芯耐热铝合金绞线	股钢芯耐热铝合金绞线	碳纤维芯软铝型线绞线	铝基陶瓷纤维芯耐热铝合金绞线	钢芯软铝绞线	钢芯软铝型线绞线
导电性能	硬铝线, 导电率 61% IACS	耐热铝合金线, 导电率 58% IACS 或 60% IACS	耐热铝合金线, 导电率 58% IACS 或 60% IACS	软铝型线, 导电率 63% IACS	耐热铝合金线, 导电率 60% IACS	软铝线, 导电率 63% IACS	软铝型线, 导电率 63% IACS
允许使用温度 (°C)	70, 80	150	150	150 以上	150	150	150
弧垂特性	在允许温度下设计线路弧垂	使用至 90°C 时弧垂超过要求值	可使用至 150°C, 弧垂能满足要求	可使用至 150°C 及以上, 弧垂仍能满足要求	可使用至 150°C, 弧垂可能满足要求, 但要验算	能使用至 90°C 以上, 应校核弧垂值	能使用至 90°C 以上, 应校核弧垂值