

铝包通信电缆的 腐蚀和防护

徐应麟 编著

LÜBAO TONGXIN DIANLAN DE FUSHI HE FANGHU

人民邮电出版社

73. 4629
517

铝包通信电缆的腐蚀和防护

徐应麟 编著

1168560

1980.8.

图书馆藏

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书主要介绍电缆腐蚀的原理，铝包通信电缆的各种类型的腐蚀和防止腐蚀的方法，并对通信电缆铝护套的接续和连接头防蚀覆盖层的制作方法也作了简要的介绍。可供从事通信电缆的制造和使用单位的技术人员和工人阅读，也可作为从事电力电缆防蚀工作的有关人员参考。

铝包通信电缆的腐蚀和防护

徐应麟 编著

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1980年3月第一版

印张：7 16/32 页数：120 1980年3月天津第一次印刷

字数：171千字 印数：1——6,900册

统一书号：15045·总2339-有5138

定价：0.60 元

前言

以铝代铅是当今电缆工业的主要技术发展方向之一。近些年来,我国的铝包通信电缆取得了很大的发展,而电缆铝护套的接续和防蚀对于确保电缆的安全使用是非常重要的。针对这样两个大家都关心的问题,本书力图从理论和实际使用相结合的基础上,阐明铝包通信电缆腐蚀的机理和比较实用的防护方法。

本书可供从事通信电缆的设计、制造、施工和使用单位的技术人员和工人阅读,也可作为从事电力电缆防蚀工作的有关人员参考。

本书主要取材于我国铝包通信电缆防蚀保护和接续方法方面的经验和科研成果,并结合编者在电缆研究中所从事这方面工作的一些体会,参阅了一些国外的有关资料进行整理编写的。然而由于个人水平所限,因此,在内容方面不免尚有挂一漏万之虞,在技术上误谬之处更是难免,诚恳希望读者批评和指正。

在编写本书的过程中,承蒙我所各级领导和有关同志的大力支持和鼓励,他们在百忙之中为本书初稿进行了精心的审阅,提出了宝贵的意见,借此表示衷心感谢。

编 者

一九七八年国庆节

目 录

第一章 铝包通信电缆的特点	1
1-1节 铝的性能和生产发展概况	1
一、铝的一般性能	1
二、铝的生产发展概况	3
1-2节 铝包通信电缆的特点	5
一、耐振动特性好	5
二、耐伸缩特性好	6
三、耐蠕变特性好	7
四、抗张特性好	7
五、抗压特性好	7
六、屏蔽特性好	8
七、防雷特性好	9
八、抗生物侵蚀特性好	10
九、重量轻、较经济	10
第二章 铝包通信电缆电化学腐蚀的原理	14
2-1节 金属的电极电位	15
2-2节 原电池腐蚀原理	20
一、原电池	20
二、腐蚀电池	22
三、微电池腐蚀	25
2-3节 极化和去极化	26
一、极化作用	26
二、去极化作用	28
2-4节 腐蚀速度和腐蚀控制因素	33
一、腐蚀失重、腐蚀速度和孔蚀因素	33

二、腐蚀速度的解析计算	38
三、腐蚀速度的图解分析	42
四、腐蚀的控制因素	44
五、微电池腐蚀速度的图解方法	48
第三章 铝包通信电缆的腐蚀	54
3-1节 通信电缆铝护套的成分和结构及其对耐蚀性能的影响	57
一、护套用铝的纯度及其对耐蚀性能的影响	57
二、铝护套的结构及其对耐蚀性能的影响	61
3-2节 铝包通信电缆的大气腐蚀	64
一、大气腐蚀的类型和特征	64
二、氧化铝膜的形成及其对腐蚀的保护作用	67
三、电缆铝护套的耐大气腐蚀特性	69
3-3节 铝包通信电缆的土壤腐蚀	71
一、土壤的特性及铝护套土壤腐蚀的特征	71
二、土壤诸因素对铝包通信电缆腐蚀的影响	83
三、铝包通信电缆的土壤腐蚀性指标	102
四、铝包通信电缆的耐土壤腐蚀特性	106
五、电缆铝护套受土壤自然腐蚀的寿命的评价	114
3-4节 铝包通信电缆的管道腐蚀	117
一、管道腐蚀的因素和特征	117
二、地下水对铝包通信电缆的腐蚀性指标	120
三、关于铝包通信电缆管道腐蚀寿命的评价	121
3-5节 铝包通信电缆的海水腐蚀	122
一、海水的特性及其对金属腐蚀的影响	122
二、铝包通信电缆的海水腐蚀	126
3-6节 铝包通信电缆的接触腐蚀	129
3-7节 杂散电流对铝包通信电缆腐蚀的影响	133
一、杂散电流的种类和来源	133

二、杂散电流腐蚀的原理和特点	134
三、通信电缆铝护套的杂散电流腐蚀	138
第四章 防止铝包通信电缆腐蚀的方法	141
4-1节 铝包通信电缆的防蚀外护层	142
一、外护层的防蚀保护机理和设计准则	142
二、外护层用材料和性能	150
三、外护层的结构和使用范围	164
4-2节 铝包通信电缆防蚀外护层的性能和试验	167
一、防蚀外护层的试验项目和性能指标	167
二、关于防蚀外护层使用寿命的评价	176
4-3节 铝包通信电缆的阴极保护	182
一、阴极保护的原理	182
二、阴极保护的方法	184
三、阴极保护的准则	190
第五章 铝包通信电缆的接续和连接头防蚀覆盖层	194
5-1节 铝护套的接续	195
一、机械胀圈法	195
二、环氧玻璃丝带绕包法	196
三、焊接法	197
5-2节 铝护套连接头的防蚀覆盖层	207
一、绕包带型防蚀覆盖层	208
二、连接盒浇注型防蚀覆盖层	209
三、热缩管型防蚀覆盖层	212
5-3节 铝护套连接头防蚀覆盖层的试验和性能	213
附录 1 土壤厌氧性细菌菌量分析方法	218
附录 2 土壤腐蚀性测定方法	222
附录 3 电缆沥青冷冻弯曲性试验方法	230
附录 4 国际原子量表 (1975)	232

第一章 铝包通信电缆的特点

铝大约在十八世纪末发现，做为单一元素到十九世纪中期才开始被分离出来。然而，随着铝的精炼技术和加工工艺的不断改进和发展，在今天，铝不仅以其轻巧耐用的制品在日常生活中为人们所熟知，而且在工业上作为仅次于钢铁的金属结构材料，其用途也越来越广泛。铝包通信电缆的应用，就是其中的一个方面。

大家知道，欲使通信电缆在比较长的时间内保持电气特性稳定不变，一个密闭的具有完全不透过性的电缆护套就是必不可少的。而金属材料就具有这种完全不透过性。由于铅具有冶炼方便和容易加工等特点，因此，早在1830年，铅就用来制作电缆的密封护套了。但是，铅的机械特性较差，特别是资源短缺，从性能上和产量上都不能满足迅速发展的电缆工业的需要，因此，尽管电缆铅护套已经有了一个多世纪的制造和使用经验，人们还是必须寻求新的材料来代替铅。这个新的金属材料就是铝。

1-1节 铝的性能和生产发展概况

一、铝的一般性能

铝是化学元素周期系第III族（类）主族元素。原子序数为13，原子量为26.98。铝的化学符号为Al，是用拉丁文名称Aluminium的头两个字母来表示的。

铝是一种银白色的轻金属，具有比重小、易加工、导电性好和导热性高等良好性能。

首先是铝的比重小。在20℃时，铝的比重为2.7，即为水的2.7倍，只有铁（7.86）或铜（8.93）的三分之一左右。与铅相比，铝就更轻了。铅的比重是11.37，因此，同一体积的重量铝还不及铅的四分之一。

铝的熔点比铅高，含铝量为99.5%的工业铝的熔点为658℃，约为铅（327.5℃）的二倍。

铝的导电性和导热性都比较好，仅次于银、金和铜。若以铜的导电率为100%，铝则为61%，而铁只有9.5%，铅只有7.8%。但是，铝只有铜比重的三分之一，所以，若按重量计算，铝的导电率实际上超过铜，相当于铜的二倍以上。在导热性方面，铝的导热率几乎为铁的三倍，约为铅的六倍。

铝的机械强度没有铁高，但比铅高得多。铝的抗张强度约为7~9公斤/毫米²。铝的机械特性在相当大的程度上依赖于热加工性质。随着温度的升高，铝的机械特性降低，但在低温环境中，机械特性良好，甚或有所提高。如果在铝中加入适量的铜、锰或硅做成铝合金，那么，铝的强度将大大增加。

铝具有很高的可塑性，可以在热或冷的状态下，采用各种加工方法，例如轧制或压力挤出，制作铝丝、铝箔、铝带、铝管和电缆铝护套，以及各种形状复杂的型材。

铝是非磁性体，一般不受磁的影响，所以，抗外界电磁场的干扰能力比较好。

铝在碰击情况下不产生火花，可以在易燃易爆的地方使用。

由于铝和氧很容易化合，即亲和力很大，因而铝在空气中迅速失去光泽，在表面上产生一层坚韧而致密的氧化铝薄膜，

这个氧化铝薄膜对于防止里面金属铝的继续氧化起到了极好的保护作用，因而使铝具有较好的耐蚀性。

表1-1为目前用作通信电缆护套的铝、铝合金和钢的一般性能比较。

表1-1 铝、铝合金和铁的性能

性能	项 目	铝	铝 合 金	钢
物理性能	密度(克/厘米 ³)	2.70	11.3	7.86
	熔点(℃)	658	327	1530
	比热(卡/克·度, 20℃)	0.22	0.0309	0.11
	线膨胀系数(10 ⁻⁶ /度, 20℃)	23.7	29.1	11.7
	导热系数(卡/厘米·秒·度)	0.503	0.0827	0.178
机械性能	抗张强度(公斤/毫米 ²)	8.5	1.8~2.0	33.0
	伸率(%)	33	45	42.5
	弹性模量(公斤/毫米 ²)	7200	1800	18000
	布氏硬度(HB)	20	4	65
电气性能	电阻系数(微欧·厘米)	2.83	22	18
	导电率*(%)	60.9	7.8	9.5
电化学性能	电化当量(毫克/安培·秒)	0.0932	1.0737	0.2894
	每1安时的电解量(克)	0.336	3.865	1.042
	每1安年的电解量(公斤)	2.9	33.9	9.1

* 导电率以铜为100%，铜的电阻系数为1.71微欧·厘米。

铝的这些良好的性能，使它在电气工业中占有重要的地位，特别在电缆工业中，铝已被广泛的用来制作电线电缆的导体、屏蔽、铠装和密封护套等。

二、铝的生产发展概况

铝的资源是极其丰富的，它是构成地壳的主要化学元素之一，约占地壳重量的8.13%，仅次于氧(49.1%)和硅(26%)

而居于第三位。而铅则仅占地壳重量的0.0016%。

然而，尽管在地壳中含有大量的铝，但要把它从矿石中冶炼出来却相当困难，所以，直到十九世纪末，发现了电解冰晶石—氧化铝熔融体提取金属铝的方法之后，现代铝工业才真正建立起来并取得迅速的发展。仅仅经过大约70年的时间，铝的世界年产量就已大大超过铜的年产量而跃居有色金属的第一位，成为仅次于钢铁产量而用途极其广泛的金属。

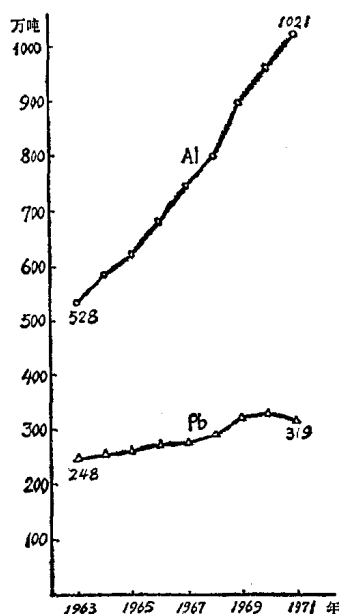


图 1-1 世界铝和铅产量的增长情况

图1-1为全世界在1963年至1971年期间铝和铅产量及其增长的情况。从图中不难看出，世界铝产量的增长速度是非常迅速的，每年大约递增10%。相比之下，全世界铅不论在产量上还是在增长速度上都比铝低得多。

我国幅员辽阔，铝资源十分丰富。作为重要炼铝原料的铝土矿（又名铝矾土、铁矾土），在许多省分都有出产，一般含氧化铝达40%以上。此外，含有铝硫酸盐的明矾石，在沿海各省也有出产，而含有水硅酸铝的粘土和高岭土，则几乎全国到处都有。

不过，就目前而言，在工业上有开采价值的，一般还仅是含氧化铝较高的所谓具有高品位的铝矿（如铝土矿），并且生产铝锭需要消耗不少电和其他一些物料，因此，纵然在我国铝

的储量比较丰富，但当前在一定程度上还受到电力发展的限制。

1-2节 铝包通信电缆的特点

铝的资源丰富，并且具有比较全面的良好性能，因此，以其制作通信电缆的密封护套，就会使铝包通信电缆具有铅包通信电缆所无可比拟的特点。现以热压挤出铝护套为例，将其特点与热压挤出铅护套作一简要的对比。

一、耐振动特性好

大家知道，作为通信电缆的铅护套，开始是采用纯铅（工业纯）制作的。由于纯铅的再结晶*温度低，在 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 的常温下就可进行（铝的再结晶温度在 100°C 以上），所以，当电缆处在再结晶温度以上运行的情况下，铅护套的机械性能，特别是耐振动性就显著降低了。人们发现，架空的、在桥梁、高架公路上和沿铁路线敷设的用纯铅制作的通信电缆护套，在不太长的时间内就出现了疲劳龟裂破坏，甚至在电缆作长距离的运输过程中，也发现有铅护套产生疲劳龟裂破坏的情况。这种疲劳龟裂破坏的外因就是振动。

为了提高电缆铅护套的耐振动性，人们对制作电缆护套用的铅合金，无论是在配方上还是在加工工艺上都进行了不断的研究和改进，使电缆铅护套的耐振性有了逐步的提高。但是，可

* 金属受塑性形变（如冷加工）时，晶粒将发生畸变，使系统处于高自由能的状态。当达到一定温度时（如退火），形变金属中的畸变晶粒将为无畸变的新晶粒所代替，使系统的自由能降低，这种现象称为再结晶。如果温度继续升高，还可产生晶粒长大的现象。再结晶和晶粒长大一般都使金属的强度降低。

以这样说，即使是铅合金，若与铝比较起来，其耐振动性能还是不够高。试验表明，铝的振动疲劳极限可以达到大约4.35公斤/毫米²，而铅则仅为0.279公斤/毫米²左右，因此，铝包通信电缆即使在振动场所敷设，一般都可不必采取防振措施。

二、耐伸缩特性好

通信电缆在架空、管道、梯架和季节性冻土*等场合敷设，由于昼夜温差的变化或冻土冻胀的不均匀性等原因，电缆还要受到反复的伸缩和弯曲。与振动疲劳破坏相比较，伸缩弯曲疲劳的周期较长，但变形较大。图1-2为电缆铝护套（包括光铝护套和各种波形的皱纹铝护套）的耐伸缩疲劳弯曲特性。从图中可以看出，当应变量达0.3%时，铝护套可以耐受反复伸缩弯曲的次数可达10⁴次以上，比纯铅或铅-铋-锡合金（即E合金）都要高得多。

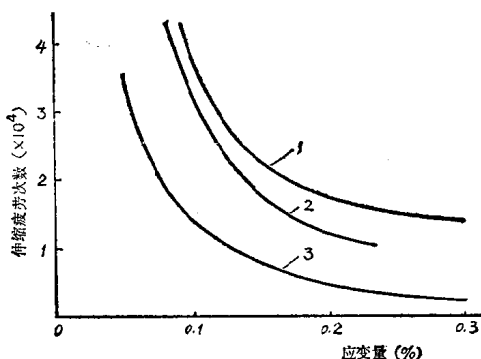


图 1-2 铝护套的伸缩弯曲疲劳特性

1—铝护套 2—铅-铋-锡合金 3—纯铅

* 所谓冻土就是温度为负温或零温且含有冰的土壤。冬季冻结，夏季全部融化的土壤称为季节性冻土。

三、耐蠕变特性好

电缆铅护套除耐振动性和耐伸缩性差之外，另一个难以克服的缺点就是耐蠕变性也差。

所谓蠕变，就是金属长期在负荷低于金属的抗拉强度情况下，随着时间的增长而变形增加并最终导致金属的开裂破坏。实践表明，铅包通信电缆在高落差垂直敷设的情况下，即使是采用铅合金，其铅护套也有可能由于本身的自重而产生缓慢的蠕变，最终造成蠕变破坏。此外，温度的升高和内压力的增加都可使铅护套蠕变的速度加剧。

但是，试验表明，铝的耐蠕变性能良好，其耐蠕变强度可达 2 公斤/毫米²，而铅则仅为 0.09 公斤/毫米²，所以，在一般情况下，铝包通信电缆不发生蠕变现象。

四、抗张特性好

电缆铝护套的抗张特性比铅护套好。试验结果表明，国产电缆铝护套的抗张强度在 7.5~10 公斤/毫米² 左右，而铅-锑-铜合金护套则仅为 1.6 公斤/毫米²。由此可见，在相同尺寸的情况下，铝护套可比铅护套承受大 4 倍以上的拉力，因此，铝包通信电缆在牵引敷设时不易产生断裂破坏。

五、抗压特性好

通信电缆在用于地下直接埋设的场合，首先要受到土壤的垂直外压力的作用，对此，铅护套的耐受性能就比较差，这是用于地下直接埋设的铅包通信电缆必须采用铠装的主要原因之一。试验表明，对于无铠装铅包通信电缆，当外径为 26.2 毫米，铅护套厚度为 2.26 毫米时，在垂直压力为 1000 公斤/米的

作用下，铅护套的外径变形率*可达到5.76%；如果采用两层0.5毫米厚的钢带铠装加强，则在此变形率下其抗垂直压力大约可提高到1500公斤/米左右。然而，铝护套的抗外压性能比铅护套要好得多，当不轧纹铝护套的尺寸外径为26.4毫米、厚度为2.13毫米，且外径变形率为5.68%，也就是与上述铅护套的情况大体相同时，其可以承受的垂直压力则高达4000公斤/米，约为铅护套的4倍。如果给铝护套轧纹，其抗外压性能还可有更大的提高。可以认为，在地下直接埋设的情况下，电缆所受到的土壤静压力数值大约在500公斤/米左右，即使考虑到其他可能作用在电缆上的垂直压力因素，铝包电缆也是足可承受并尚有余裕的。所以，在我国，如非特殊需要，一般用于地下直接埋设的铝包通信电缆都是没有铠装的。

铝包通信电缆不必铠装就可用于地下直接埋设，大大简化了电缆外护层的结构，这给生产上、经济上、施工和维护等方面所带来的好处是不需一一例举的。此外，由于铝包通信电缆的抗外压性能比铅包通信电缆好，因此，在海底敷设的场合，其最大敷设深度可比铅包通信电缆有较大的增加；在高寒的冻土地带，其抗冻害的能力也比铅包电缆强。

六、屏蔽特性好

在通信电缆中，常常要求电缆护层必须具有良好的屏蔽性能，以抗御外电场、磁场的干扰。随着国家电气化的发展所带来的电力输送高电压化、铁道运输电气化以及各种电力设备的增加等等，对通信电缆屏蔽性能的要求也越来越高。在这方面，

* 外径变形率 $\varphi = \frac{a-b}{2D} \times 100\%$ 。式中：D—原直径；

a—压缩后长径；b—压缩后短径。

电缆铅护套可说是无能为力了。若以理想屏蔽系数来表征通信电缆护层的屏蔽特性的话，那么，当干扰源的频率为50赫时，通信电缆铅护套的理想屏蔽系数达到0.8以上；干扰源的频率为800赫时，铅护套的理想屏蔽系数也达到0.1~0.3。采用普通钢带铠装后，屏蔽性能有所提高，当干扰源频率为50赫和800赫时，理想屏蔽系数可分别降低至0.3和0.07左右。但是，在电气化铁道附近敷设的通信电缆，一般要求理想屏蔽系数应在0.1（50赫）以下，因此，如果采用铅包电缆，就必须再采取一些其他的措施才能达到这样的屏蔽效果。铝包通信电缆则不然，在相同结构尺寸的情况下，铝护套的导电性能为铅护套的7倍以上，这就使得铝护套比铅护套有高得多的屏蔽特性。例如，在干扰源频率为50赫和800赫时，铝护套的理想屏蔽系数一般在0.3~0.5和0.02~0.05左右，加上普通钢带铠装后，就可分别减小到0.05和0.01左右。这就是说，在一般情况下，采用铝护套再加上两层普通钢带铠装后，就可以满足电气化铁道对通信电缆的屏蔽性能要求。

七、防雷特性好

雷电是由大气中带电的云层相互间或对地放电所形成的，是幅值极大、历时极短、包含着大量谐波的脉冲电流，对通信电缆的危害很大。

在我国，雷电对地下通信电缆的破坏，在电缆故障率中占有相当的比例。有时一次雷击所涉及的故障范围竟长达十数公里，甚至击毁中间或终端设备，导致通信中断，危及人身安全。

铝护套的耦合阻抗比铅护套低，而熔点则比铅高，所以铝包通信电缆可以对雷电过电压提供比铅包通信电缆更为有效的

保护。

八、抗生物侵蚀特性好

在我国南方，架空敷设的裸铅包通信电缆，常常遭到木蜂、长蠹虫等昆虫的袭击而造成电缆铅护套的穿孔破坏，情况十分严重，有些地方甚至达到防不胜防的地步，不得不把架空线路改为地下埋设的方式。但是，铅包通信电缆的地下埋设，又有可能遭到白蚁的蛀害。此外，在北京等地，还有二尾天社蛾幼虫等危害架空通信电缆铅护套的情况发生。大家知道，在工业常用的金属材料中，铅是最软的一种，这正是其抗生物侵蚀性较差的原因。若以金刚石的硬度作为10，则铅的硬度仅为1.5，而铝的硬度则为2.9。由于铝的硬度比铅高，所以铝包通信电缆的抗生物侵蚀特性比铅包通信电缆好。即使对于啃咬能力极强的老鼠，铝护套也有相当的抗御能力。因为在一般情况下，老鼠是不啃咬硬度在3.0以上的物体的。

九、重量轻，较经济

铝的比重只有铅的四分之一，并且铝的强度比铅高，用作通信电缆护套时，其厚度都比铅护套小，所以，铝包通信电缆的重量比铅包通信电缆轻得多，一般只有同型铅包电缆重量的30~70%，这对生产、搬运、施工等都比较方便。再是，铝包通信电缆一般比铅包通信电缆便宜，故也比较经济。

当然，事物都是一分为二的，铝包通信电缆有着如上所述的许多的长处，也有着它的不足之处。这些不足之处有的是铝本身固有的特点所产生的，有的则是外部因素所造成的，但是都是可以改进和克服的。下面仍以热压铅护套为比较对象，把热压铝护套存在的问题以及改进的情况作一介绍。