

鋁 合 金 綫 在高压送电綫路上的应用

刘 繼編著

水利电力出版社

內 容 提 要

我国社会主义建設事业的飞速发展，使很多材料产生供不应求的情况，如作为电力綫材料的貴金屬鋼和鋼絞綫的生产便不敷应用。所以如何采用代用品便成为目前工业建設中的一个主要課題，本書便是根据这一情况而对“鋁合金綫在高压架空送电綫路上的应用”的問題进行專題討論。

本書敘述了近年来鋁合金綫在世界各国应用的情况，講解了鋁合金綫的电气特性、机械特性、应力計算、使用鋁合金綫的技术經濟效果和技术标准。最后介紹了瑞士使用鋁合金綫的送电綫路的运行經驗。

本書可供变电所和电力網方面的工程技術人員閱讀。对导綫制造部門和設計單位的工作人員也有参考价值。

鋁合金綫在高压送电綫路上的应用

刘 繼 編

* 第 1 版

1201D342

水利电力出版社出版(北京西郊科學路二里橋)

北京市書刊出版登記證出字第106号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

787×1092 1/32开本 * 1%印張 * 44千字

1958年9月北京第1版

1958年9月北京第1次印刷(0001—3,100册)

統一書号: 15143·996 定价(第9类)0.24元

序

由于我国动力事业的巨大发展，作为动力命脉的高压电力网也随着得到了相应的发展。因此，高压送电线路的建设规模日益加大，在最近几年来，平均每年建设的35~220千伏送电线路长达1,000余公里。在我国发展国民经济的第二个五年计划期间，送电线路的建设规模将更为宏大，估计在第二个五年计划中建设的送电线路将大大超过10000公里。所以在送电线路建设中，研究和采用新技术及新的线路材料，将线路建设得在技术上更为先进，经济上更为合理，这对国民经济是有很重大意义的。

为了节约贵重的金属——铜，几年来，我国在建设35~220千伏送电线路时，广泛地采用了钢心铝线，只在对铝有侵蚀性的线段，才采用铜线，这在节约贵重金属和降低线路造价方面曾起了很大作用。但是，采用新型导线——铝合金线作为导线，将会带来更大的好处。铝合金线具有高度的机械强度和良好的导电性能，重量轻，价格又低，兼有铜和铝的优点。在机械强度方面，铝合金线接近于铜线和钢心铝线，在导电性，重量及价格方面，接近于铝线。因此，铝合金是一种理想的送电线路导线材料。根据计算，采用这种导线建设线路，能节约钢材10~20%，降低线路造价6~7%。以110千伏线路为例，每建设1000公里线路即能节约钢材400~700吨，节约投资150~180万元。目前我国铜绞线缺乏，采用铝合金线代替钢心铝线，能节约大量铜绞线，意义更大。

近年来，瑞士、德国、奥地利等国开始广泛使用这种新型导綫，苏联也对它給予了重視。瑞士使用鋁合金导綫的16条150~220千伏送电綫路30年来的运行經驗表明，这种新型导綫的运行情况是非常令人滿意的，在可靠性方面，至少与其他材料的导綫(銅心鋁綫和銅綫)相当。因此，对这种导綫抱怀疑态度是沒有根据的。

根据电力部門的要求，导綫制造部門現正准备試制这种新型导綫，現在已試制成功并开始大量生产。

第7,8节(技术经济指标)和附录II-2的应力弧垂特性曲綫是徐文誠、李育凡、吳永萱等同志帮助計算的，作者对这些同志表示深切的謝意。

讀者对本書有何意見，請直接函知作者，作者表示非常感謝。

刘 繼

1958年7月

目 录

序

§ 1 前言	4
§ 2. 世界各国应用铝合金线的情况	5
§ 3. 铝合金线的特性及与其他材料导线的比较	6
§ 4 铝合金线最大计算应力的确定	16
§ 5. 应用铝合金送电线路的防震问题	35
§ 6. 与使用铝合金线有关的其他问题	36
§ 7. 钢心铝合金线在大跨越档的应用	40
§ 8. 使用铝合金线的技术经济效果	42
§ 9 铝合金线的技术标准	47
§ 10. 使用铝合金线的送电线路的运行经验	50
§ 11. 结论	56
附录	56
Π-1. 各国铝合金导线规范	56
Π-2. 铝合金线的应力弧垂特性	书末插图
Π-3. 参考文献	62

序

由于我国动力事业的巨大发展，作为动力命脉的高压电力网也随着得到了相应的发展。因此，高压送电线路的建设规模日益加大，在最近几年来，平均每年建设的35~220千伏送电线路长达1,000余公里。在我国发展国民经济的第二个五年计划期间，送电线路的建设规模将更为宏大，估计在第二个五年计划中建设的送电线路将大大超过10000公里。所以在送电线路建设中，研究和采用新技术及新的线路材料，将线路建设得在技术上更为先进，经济上更为合理，这对国民经济是有很重大意义的。

为了节约贵重的金属——铜，几年来，我国在建设35~220千伏送电线路时，广泛地采用了钢心铝线，只在对铝有侵蚀性的线段，才采用铜线，这在节约贵重金属和降低线路造价方面曾起了很大作用。但是，采用新型导线——铝合金线作为导线，将会带来更大的好处。铝合金线具有高度的机械强度和良好的导电性能，重量轻，价格又低，兼有铜和铝的优点。在机械强度方面，铝合金线接近于铜线和钢心铝线，在导电性，重量及价格方面，接近于铝线。因此，铝合金是一种理想的送电线路导线材料。根据计算，采用这种导线建设线路，能节约钢材10~20%，降低线路造价6~7%。以110千伏线路为例，每建设1000公里线路即能节约钢材400~700吨，节约投资150~180万元。目前我国铜绞线缺乏，采用铝合金线代替钢心铝线，能节约大量铜绞线，意义更大。

近年来，瑞士、德国、奥地利等国开始广泛使用这种新型导綫，苏联也对它給予了重視。瑞士使用鋁合金导綫的16条150~220千伏送电綫路30年来的运行經驗表明，这种新型导綫的运行情况是非常令人滿意的，在可靠性方面，至少与其他材料的导綫(銅心鋁綫和銅綫)相当。因此，对这种导綫抱怀疑态度是没有根据的。

根据电力部門的要求，导綫制造部門現正准备試制这种新型导綫，現在已試制成功并开始大量生产。

第7,8节(技术经济指标)和附录II-2的应力弧垂特性曲綫是徐文誠、李育凡、吳永萱等同志帮助計算的，作者对这些同志表示深切的謝意。

讀者对本書有何意見，請直接函知作者，作者表示非常感謝。

刘 繼

1958年7月

目 录

序

§ 1 前言	4
§ 2. 世界各国应用铝合金线的情况	5
§ 3. 铝合金线的特性及与其他材料导线的比较	6
§ 4 铝合金线最大计算应力的确定	16
§ 5. 应用铝合金送电线路的防震问题	35
§ 6. 与使用铝合金线有关的其他问题	36
§ 7. 钢心铝合金线在大跨越档的应用	40
§ 8. 使用铝合金线的技术经济效果	42
§ 9 铝合金线的技术标准	47
§ 10. 使用铝合金线的送电线路的运行经验	50
§ 11. 結論	56
附录	56
П-1. 各国铝合金导线规范	56
П-2. 铝合金线的应力弧垂特性	書末插图
П-3. 参考文献	62

§1. 前 言

电能传输问题不仅是一个电气问题，同时也紧密地与导线的材料相联系着。近年来世界各国的科学家和工程师们对于合适的导线材料的研究已给以相当的重视。由于物理特性的关系，铜和纯铝已为钢心铝线所代替。目前我国，苏联以及其他很多国家在35~400千伏线路主要是应用钢心铝线。德国，瑞士等国更採用一种“Al-Mg-Si型”铝合金线(Aldrey, Aludure, Almerac等，其中以Aldrey应用最广)，这种导线的导电率和重量接近于铝，而机械强度接近于铜，可以说是兼有两者的优点；运行经验证明，这种导线在机械强度方面完全和钢心铝线相当，是很为可靠的。但是在很多国家，对于这种导线还抱着怀疑的态度，不敢採用，或只限于試用。至于我国，到目前为止，还完全没有应用过这种新型导线。

应用铝合金导线可以节省钢心；而用钢心铝合金导线时，由于强度较大，弧垂较小，因而在杆塔高度相同的条件下，可以显著放大档距(增大30%左右)，减少了杆塔基数，降低了杆塔材料消耗量和线路造价，同时也减轻了安装和维护工作量。所以广泛採用这种新型导线对国民经济是有很大意义的。

拒绝採用这种导线的理由是：机械强度的裕度较少，运行安全系数较低(无钢心的)，以及性脆，易因振动而发生断线事故(苏联曾发生过这类事故)等等。根据瑞士30多年来的运行经验，前一种顾虑是可以打消的，因为建设于冰负载很重的高山上的线路30年来的运行情况非常令人满意；至于后一种顾虑，我们完全可以利用适当选择设计应力和加强防震措施而得到解

決。正是由于上列理由，我們才提出在中国广泛使用鋁合金導綫和鋼心鋁合金導綫的問題。在后面将仔細地研究和解决所有与应用这种導綫有关的各种問題，并作出技术經濟比較，証明使用这种導綫的优越性，同时也提出了初步的設計标准和有关規範。

§2. 世界各国应用鋁合金綫的情况

根据德国Gumehc-wykkept公司說明書上的記載，德国在高压送电綫路上应用 *Aldrey* 導綫开始于 1924 年〔文献 1〕。20 世紀 30 年代中在歐洲建設的送电綫路中，使用 *Aldrey* 鋁合金導綫的总長約 1000 公里。但查閱德国和奧地利的实施和設計的統計表，不难看出，到 1934 年末，35 千伏及以上，長度在 10 公里以上的綫路多数是採用銅導綫（其中在 220 千伏及以上綫路全部是如此），其次是鋁綫和鋼心鋁綫：*Aldrey* 鋁合金導綫在这方面处于次要的地位。

瑞士在近 30 年来对鋁合金導綫进行了試驗，在各种型式和各种电压（包括 150 和 225 千伏）的綫路上都得到了很大的成功。因此，在 1933 年和 1954 年間，*Aldrey* 鋁合金導綫的使用量由 5200 吨增加到 19400 吨，導綫長度由 13400 公里增加到 134000 公里（綫路長度由 4460 公里增加到 4600 公里）。1924 年以来，瑞士 *Aldrey* 鋁合金綫每年使用量的增長情况如下〔文献 2〕：

年 份	1927	1929	1931	1933	1935	1937	1939	1941	1943
吨	800	2,000	4,800	5,200	5,300	6,000	6,400	9000	11,200
年 份	1945	1947	1949	1951	1953	1955			
吨	13,000	13,200	14,000	16,000	18,000	19,500			

根据日本的统计〔文献3〕，1930年瑞士、德国、西班牙、意大利等国共使用 *Aldrey* 铝合金导线 9705 公里（建设线路约 3230 公里），重 4477 吨。其成份是：镁(Mg) 0.51%，矽(Si) 0.49%，铁(Fe) 0.33%，铝(Al) 98.67%。抗张力 35 公斤/公厘²。导电率 54.2%。使用后运行情况良好。

苏联制造 *Aldrey* 铝合金导线是从 1934 年开始的。当时制造这种导线的是 Севкабель 工厂，系试验性制造〔文献1〕。但苏联国产 *Aldrey* 铝合金导线的应用，直到 1941 年才只限于几条不很长的线路。

在战后，苏联由加拿大进口一些大截面 *Aldrey* 铝合金导线，用于列宁格勒电力系统中的几条输电线路。该系统曾在 220 千伏线路上应用了截面为 430 公厘² 的 *Aldrey* 铝合金导线〔文献4〕。

§3. 铝合金线的特性及与其他材料导线的比较

关于铝合金导线的各种特性数据，各国的各制造厂都略有出入，但大体还是接近的，下面将简单介绍各国的数据〔文献1-3, 5-8〕，作为我们工作中的参考。由于我国刚开始生产这种导线，因而没有我国的数据。将来设计线路时应按我国厂家的数据进行设计。

根据捷克的数据〔文献9〕，*Aldrey* 的成分是：铝 98.7%，镁 0.5%，矽 0.5%，铁 0.3%。日本数据〔文献3〕：铝 98.67%，镁 0.51%，矽 0.49%，铁 0.33%。德国数据：铝 98.7%，铁 0.3%，少许的镁和矽。苏联数据〔文献1〕：铝 98.7%，镁、矽等共 1.3%。

在各种铝合金导线中，*Aldrey* 是最常用的一种。

Aldrey 导线的导电率约比纯铝低10~12%。抗张强度约为30公斤/公厘，即比铝约大一倍。比重及温度膨胀系数与铝很接近，可认为分别为2.7和 23×10^{-6} 。弹性模数约为6000~6500公斤/公厘²。由于Aldrey的塑性特性较铝为低，且具有较小的伸长百分数，因而在试验中采用较少的曲折次数。

Aldrey 一般特性列于下表〔文献2〕：

表 3-1

项 目	单 位	体 值
直径1.5~3.5公厘的Aldrey股线破坏强度	公斤/公厘 ²	30
破坏时的伸长(在200公厘)：		
直径1.99公厘及以下的股线	%	4
直径1.99公厘以上的股线	%	5
弹性限度(0.02%永久伸长)	公斤/公厘 ²	19
显著的弹性限度(0.2%永久伸长)	公斤/公厘 ²	27
弹性模数	公斤/公厘 ²	6,500
布氏(Brinell)硬度	公斤/公厘 ²	90
直线热膨胀系数(10~100°C)	0.000023	
电阻系数(20°C) { 平均	欧公厘 ² /公尺	0.0318
{ 最大	欧公厘 ² /公尺	0.0330
电阻的温度系数	—	0.036
导热率	大卡/公尺 时°C	160
熔化热量	大卡/公斤	96
熔点范围	°C	600—650
比重	克/公分 ³	2.70
整个Aldrey导线		
破坏强度 { 61股以下	公斤/公分 ²	30
{ 61股以上	公斤/公分 ²	28.5
弹性模数 { 61股及以下的实际值	公斤/公分 ²	6,000
{ 61股以上	公斤/公分 ²	5,700

由于制造标准的不同，不同国家有不同的数据，在设计线路时所采用的允许应力及其他参数也都各异，现将德国、瑞士、加拿大、苏联、捷克、奥地利、英国、法国、波兰等国标准列于下表(为作比较，同时也列入了铝线和钢心铝线的的数据)。

續前表

導 線 材 料	(1)	鋁	Aldrey		鋼心鋁(鋁合金)綫		鋼 心		鋁 綫
			鋁	Aldrey	鋁	Aldrey	鋼	鋁	
		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
捷 克(1=100 公厘)		2~5%	5~9%	—	—	—	—	—	—
蘇 聯(1=200 公厘)			4.4%	—	—	—	—	—	—
1分鐘的試驗抗拉強度， 公斤/公厘 ²									
德 國		17~18①	30	—	—	—	—	—	—
波 蘭		18	—	—	—	—	—	—	—
1年的試驗抗拉強度，公斤/公厘 ²									
德 國		12	24	—	—	—	—	—	—
奧 地 利		12	24	20	30	24	33	—	—
彈性限度，公斤/公厘 ²									
瑞 士(0.02%永久伸長)		—	19	—	—	—	—	—	—
德 國(0.01%永久伸長)		9	17	—	—	—	—	—	—
捷 克(0.01%永久伸長)		9	17	—	—	—	—	—	—
明顯的彈性限度，公斤/公厘 ²									
瑞 士(0.2%永久伸長)		—	27	—	—	—	—	—	—

續前表

鋼 絲 材 料	(1)	(2)	Aldrey	鋼心筋(所合金)發測心筋(鋁合金)縱				鋼 心 筋 鋁 鋼
				縱 斷 面 比 1:6	縱 斷 面 比 1:6	縱 斷 面 比 1:4.3	縱 斷 面 比 1:4.3	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
總 斷 面(0.2%永久伸長)	15	23	—	—	—	—	—	—
撓 矩(0.2%永久伸長)	15	28	—	—	—	—	—	—
最大允許應力, 公斤/公厘 ²								
德 國	8	12	11	15	—	—	—	—
英 國	8	9.5	10	—	—	—	—	—
瑞 士	12	18	—	18	—	18	—	—
奧 地 利	7	10	9	12	11	14	—	—
加 拿 大	—	8.6	—	—	—	—	—	—
法 國	6.7	—	9.7	—	10.7	—	—	—
國 $K=3$ (安全係數)								
$K=5$	4	—	5.8	—	6.4	—	—	—
$K=10$	2	—	2.9	—	3.2	—	—	—
彈性模數, 公斤/公厘 ²								
蘇 聯	6300	6500	—	—	—	—	20000	6300
德 國	5600	(整個導線 max)	—	—	—	—	—	—

續前表

導 線 材 料	鋁	Alclay	鋼心鋁(鋁合金)絞		鋼心鋁(鋁合金)絞		鋼 心 鋁 絞
			鋁	Alclay	鋁	Alclay	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8) (9)
			截面積 1:6	截面積 1:4.3			鋁
法 國	5400(6750)	6000	7850	—	8800	—	—
奧 地 利	5600	—	7500	8000	8200	8500	—
瑞 士	6200	6500—6800	—	—	—	—	—
捷 克	(整個導線:19股及以下的19股以上5200)5600	6000 61股及以上5700) 6000	7500	8000	8300 (AlFe ₄)	—	—
彈性伸長系數,公分 ² /公斤 德 國 10 ⁻⁶ x 波 蘭 10 ⁻⁶ x	110.56	110.6	110.75	110.75	110.79	110.79	—
	1.78	—	—	—	—	—	—
Brinell 硬度, 公斤/公厘 ² 瑞 士	39	90	—	—	—	—	—
比重, 克/公分 ³ 德 國	2.7	2.7	3.45	3.45	3.65	3.65	—

續前表

导 綫 料 料	(1)	鋁	Aldrey	鋼心鋁(Al合金)綫鋼心鋁(鋁合金)綫			鋼 心	鋁 綫	
				鋼	Aldrey	鋁			
				截面比1:6					
		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
法 國 奧 地 利 波 蘭 瑞 士 芬 蘭 捷 克 加 拿 大		2.7	—	3.55	—	3.85	—	—	—
		2.7	—	3.55	—	3.80	—	—	—
		2.7	—	—	—	—	—	—	—
		2.7	2.7	—	—	—	—	7.3	—
		2.7	2.7	—	—	—	—	7.85	2.7
		2.7	2.7	3.45	3.45	3.75 (AlFe ₄)	—	7.85	2.7
	—	2.7	—	—	—	—	—	—	
直綫熱膨脹系數, 10 ⁻⁵ x									
德 國 法 國 奧 地 利 波 蘭 瑞 士 芬 蘭 捷 克		2.3	2.3	1.95	1.95	1.76	1.76	—	—
		2.23	—	1.82	—	1.725	—	1.15	—
		2.3	2.3	1.83	1.85	1.77	1.79	—	—
		2.3	—	—	—	—	—	—	—
		2.3	2.3	—	—	—	—	—	—
		2.3	2.3	1.95	1.87	1.75 (AlFe ₄)	—	1.2	2.3
	2.3	2.3	—	—	—	—	1.1	2.3	