

电 气 工 程 中 铝 铜 焊 接 技 术

河北工学院金工教研室 编著

本书介绍了有关电气工程中铝铝及铝铜的焊接方法，其中详细介绍了目前我国应用较为成熟、可靠的焊接（包括钎焊）方法约十几种。不同程度地介绍了它们的原理、工艺、设备、检验及生产中应用的若干实例；对铝护套的钎焊及常用电工产品焊接方案的比较、铝铜接头的使用条件等，也专门进行了介绍。

本书可供从事电线电缆生产、电机生产、变压器生产、电气安装及维修部门、电器开关及电子仪表厂的焊接工作人员参考。

电气工程中铝铜焊接技术

河北工学院金工教研室 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $7 \frac{1}{2}$ · 字数 162 千字

1978 年 8 月北京第一版·1978 年 8 月北京第一次印刷

印数 00,001—54,000 · 定价 0.62 元

*

统一书号：15033·4536

目 录

序

第一章 纯铝及电工铝合金	1
§ 1 纯铝的性质	1
§ 2 导线铝合金的应用及性质	5
第二章 焊接铝铝、铝铜的基本知识	10
§ 1 铝与铝、铝与铜为什么要进行焊接	10
§ 2 铝与铝的焊接性能	13
一、焊铝时为什么要求清除氧化铝膜	13
二、铝的焊接为什么较难掌握	14
三、铝线焊后为什么易于脆断	15
四、焊铝为什么易出现气孔	15
§ 3 铝与铜的焊接性能	16
一、焊接铝铜为何不用熔化焊而多用压力焊	16
二、铝与铜的焊接为什么比焊铝更难	18
三、铝铜预制接头是怎么回事	19
§ 4 电气工程中的焊接特点	20
一、对焊接接头的要求	20
二、焊接工艺的特点	21
第三章 铝的惰性气体保护焊 (氩弧焊)	23
§ 1 氩弧焊特点	23
§ 2 手工钨极氩弧焊设备	29
一、NSA-300 型氩弧焊设备	30
二、简易手工钨极氩弧焊机	30
§ 3 焊炬、钨极和氩气	32
一、焊炬	32

二、钨极及其他不熔化极材料	32
三、保护气体的选择及对氩气的要求	34
§ 4 氩弧焊工艺	36
一、焊前清理及准备工作	36
二、常用的接头形式	36
三、规范参数的选择	37
四、操作技巧及填充材料	38
§ 5 易损元件及其对焊接的影响	41
一、减压阀	41
二、电磁气阀	41
§ 6 中型低压铝线电机的焊接实例	42
一、中型铝线电机的接头结构特点	42
二、焊接工艺过程	43
§ 7 铝线变压器焊接实例	44
一、焊前清理及准备	44
二、接头形式	44
三、焊接规范及操作	45
§ 8 氩弧焊的安全防护	46
一、有害因素	47
二、劳动防护	51
第四章 铝导体的气焊	55
§ 1 气焊铝导体的火焰与焊剂	55
一、焊铝时选用的火焰	55
二、铝焊剂及焊丝	55
§ 2 气焊铝导体的特点	57
一、气焊铝导体的优缺点	57
二、气焊铝导体的工艺关键	58
§ 3 气焊铝导体的应用及实例	60
一、气焊铝导体的应用	60

二、铝线变压器气焊实例	61
第五章 碳模电阻熔焊	64
§ 1 碳模电阻熔焊的发展过程及形式	64
§ 2 瓶式碳模电阻熔焊	67
一、瓶式碳模电阻熔焊的特点	67
二、瓶式碳模熔焊的原理	67
三、瓶模电阻熔焊的设备	71
四、电阻熔焊工艺	73
第六章 铝导体的药包焊	77
§ 1 药包焊的概况	77
§ 2 药包焊的过程及原理	78
一、药包焊的过程	78
二、药包焊的几个关键问题	80
§ 3 药粉配方及用量	81
一、高热剂的一般原理	81
二、用做氧化剂、还原剂及造渣剂成分的性能	84
三、药粉的具体配方及用量	85
§ 4 药包尺寸	87
§ 5 高温火柴	89
§ 6 堵头与焊钳	90
一、堵头	90
二、焊钳	90
§ 7 药包焊的工艺操作	90
一、正确的操作方法	90
二、药包焊的工艺要点	92
第七章 铝铝、铝铜的钎焊	94
§ 1 铝铝、铝铜的钎焊	94
一、钎焊铝铝、铝铜的钎料	94
二、钎焊铝铝、铝铜的焊剂	101

三、超声波钎焊的原理及应用	107
§ 2 钎焊实例	109
一、铝开关板的化学搪锡	109
二、用松香酒精的铜铝浸渍钎焊	110
三、大面积铝铜板的搪锡钎焊	113
四、电缆铝护套的反应钎焊	114
第八章 铝铜母线的闪光焊	118
§ 1 铝铜闪光焊工艺	119
一、材料要求及准备	119
二、规范参数	121
§ 2 铝铜闪光焊机	127
§ 3 铝铜闪光焊的质量检查	130
第九章 铝铜的摩擦焊	133
§ 1 铝铜摩擦焊概况	133
§ 2 铝铜低温摩擦焊工艺	135
一、焊接温度	135
二、确定工艺参数	136
三、焊件的准备	141
四、模具	143
§ 3 低温摩擦焊设备	146
§ 4 接头的检验	151
第十章 铝铜的冷压焊	152
§ 1 冷压焊的基本概念	152
一、冷压焊的实质	152
二、冷压焊的方式	153
三、冷压焊的特点	154
§ 2 对接冷压焊工艺	154
一、顶锻压力	155
二、伸出长度和顶锻次数	155

三、原材料的准备	157
四、钳口（模具）	158
§ 3 对接冷压焊设备	161
一、对接冷压焊钳	161
二、冷压对焊机	162
§ 4 搭接冷压焊概述	166
一、搭接冷压点焊	166
二、搭接冷压缝焊	169
三、其它形式的搭接冷压焊	170
附：国外冷压焊机简介	171
第十一章 铝铜导线的电容储能焊	173
§ 1 电容储能焊的一般概念	173
§ 2 电容储能焊的能量及设备	175
一、电容储能焊的能量	175
二、焊机工作原理	177
三、典型焊机	183
§ 3 电容储能对焊工艺	188
§ 4 电容储能焊接头缺陷分析	191
第十二章 铝及其合金的电阻对焊	194
§ 1 电阻对焊的一般概念	194
§ 2 电阻对焊工艺及设备	195
一、工艺	195
二、设备	196
§ 3 HL型铝合金导线的电阻对焊	197
第十三章 铝铜接头的使用条件	199
§ 1 铝铜接头的使用温度	199
§ 2 合理设计铝铜接头尺寸	205
第十四章 几种产品焊接方法比较	208
§ 1 电机、变压器铝绕组接线方法比较	208

X

一、绕组线径在0.5~1.56毫米, 总截面不大于 10毫米 ² (如1~5*机座电机)	208
二、多股铝绞线, 总截面在20毫米 ² 左右的引线 (如6~9*机座的电机)	210
三、铝扁线 (中型以上电机和变压器)	211
§ 2 电线电缆连接方法比较	213
一、铝 (铝合金) 线接长时的焊接	213
二、架空输电线的连接	213
三、敷设地下电缆时芯线的焊接	214
四、通讯铝电线电缆的焊接	214
五、铝护套的连接	215
六、电缆端头超声波搪锡钎焊	216
§ 3 电器开关板的搪锡比较	216
一、超声波搪锡	216
二、化学搪锡法	217
§ 4 铝铜预制接头的生产方法比较	217
一、线径3毫米以下的接头	217
二、线径3~6毫米的接头	217
三、线径在6毫米以上的接头	217
四、大面积铝铜板的预制	219
附表1 电气工程中铝、铜焊接各种方法比较及应用	220
附表2 各种产品接头的讨论方案	227
附表3 各种脱漆剂的比较	229
参考资料	230

第一章 纯铝及电工铝合金

§ 1 纯铝的性质

铝是银白色的轻金属,比重为 2.7克/厘米^3 ,熔点为 658°C 。铝的导电、导热性能都很好。导电率仅次于金、银、铜,是铜的 60%。若以同重量的铝做成导线与铜相比,铝的导电率为铜的 200%。

铝与金、银、铜一样,都是面心立方晶格构造。具有面心立方晶格的金属,塑性都很好。可以承受各种形式的压力加工。

铝的机械强度不高,不能承受较大的载荷。退火状态的铝材,其机械性能大致为:

抗拉强度	$\sigma_b = 8 \sim 10 \text{公斤/毫米}^2$
屈服极限	$\sigma_{0.2} = 3 \sim 5 \text{公斤/毫米}^2$
硬度	HB = 25 ~ 30
延伸率	$\delta = 35 \sim 40\%$
断面收缩率	$\psi = 80\%$

经过冷加工变形,铝的强度指标增高,而塑性指标下降(见图 1-1)。当铝的变形程度达到 60~80%时,其抗拉强度可达 $15 \sim 18 \text{公斤/毫米}^2$,而延伸率下降至 1~1.5%。因此铝可以通过冷作硬化方法来提高其强度。

冷作硬化的铝材,置于 $250 \sim 300^\circ\text{C}$ 的温度下,可以引起再结晶过程,使冷作硬化消除。铝的退火温度为 400°C 。经过退火处理的铝称为退火铝或软铝。

电气工程中，架空电线电缆使用冷作硬化铝；电机、变压器的铝绕组则使用软铝。

铝的热容量和熔化潜热很大，熔化铝所需的热量比铜要多。

与各种金属比较，铝在大气中的抗腐蚀性能很好。这是由于铝比较活泼，与空气接触时，生成的氧化铝膜比较致密、坚固，从而保护铝金属不被继续氧化。铝在浓硝酸中因表面被钝化而非常稳定，但铝对碱类和带有氯离子的盐类抗腐蚀性能较差。

铝的牌号、成分

及用途见表 1-1。工业纯铝中，除铝外尚含有杂质铁和硅等。铁在铝中的溶解量极少，655℃时为 0.05%，室温时为 0.002%。没有溶解的铁与铝形成夹杂物 FeAl_3 或 Fe_2Al_7 ，它们是硬而脆的针状化合物，存在于铝的晶粒边界上，破坏组织的均匀性，使塑性下降。

硅在铝中的溶解量也很小，577℃时为 1.65%。未溶解的硅单独存在于铝中。硅的晶体硬而脆 ($\text{HB} = 800$)，也会大大降低铝的塑性。

纯铝中的铁和硅杂质，除降低铝的塑性外，还使铝的导

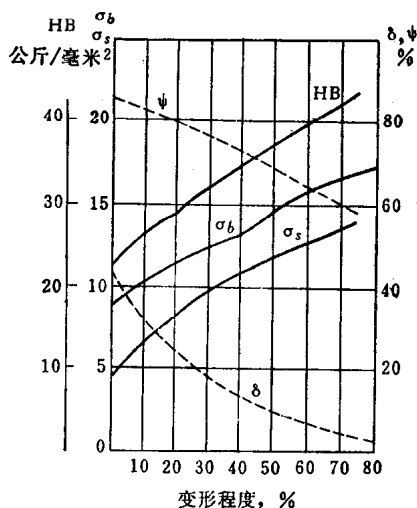


图1-1 变形程度对工业纯铝的机械性能的影响

表1-1 铝的牌号、成分及用途

铝 牌 号	代 号	含铝量 (不小于) %	杂 质 (不大于) %				用 途	
			铁	硅	铁和硅 的总和	铜		其 它
四号高纯铝	L04	99.996	0.0015	0.0015	—	0.001	—	0.004
三号高纯铝	L03	99.99	0.0030	0.0025	—	0.005	—	0.010
二号高纯铝	L02	99.97	0.015	0.015	—	0.005	—	0.03
一号高纯铝	L01	99.93	0.04	0.04	—	0.01	—	0.07
一号工业高纯铝	L0	99.9	0.06	0.06	0.095	0.005	—	0.10
二号工业高纯铝	L00	99.85	0.10	0.08	0.142	0.008	—	0.15
一号工业纯铝	L1	99.7	0.16	0.16	0.26	0.01	—	0.3
二号工业纯铝	L2	99.6	0.25	0.20	0.36	0.01	—	0.4
三号工业纯铝	L3	99.5	0.30	0.30	0.45	0.015	—	0.5
四号工业纯铝	L4	99.3	0.30	0.35	0.60	0.05	0.1	0.6
五号工业纯铝	L5	99	0.50	0.50	0.90	0.02	锌0.1 锰0.1 镁0.1 其它0.1	1.0
六号工业纯铝	L6	98.8	0.50	0.55	1.0	0.1	—	1.2
七号工业纯铝	L7	98	1.0	1.0	1.8	0.05	—	2.0

电性能和抗腐蚀性能下降。不同牌号的工业纯铝就是根据有害杂质铁和硅的含量来区分的。

铁、硅杂质的存在，是由于从铁矾土中提炼铝时没有完全清除而遗留下来的，有些是在熔炼时混入的。在铝中影响其导电率最大的元素是铬、锰、钛、钒。如铝内含钒量增加0.01%，则导电率下降1%。因此，提高铝的导电率，必须提高铝的精炼技术。

表1-2 铝的综合性能

名	称	数 值
原子量		26.97
晶格边长	(厘米)	4.04×10^{-8}
比 重	20°C (克/厘米 ³)	2.70
	700°C	2.38
线膨胀系数	20~600°C (1/°C)	28.5×10^{-6}
表面张力	700~800°C (达因/厘米)	520
铸造收缩率(线)	(%)	1.7~1.8
凝固收缩率(体)	(%)	6.6
熔 点	(°C)	658
熔解潜热	(卡/克)	92.4
比 热	20°C (卡/克·°C)	0.214
	500°C	0.2609
	0~658°C	0.2473
沸 点	°C	2060
热传导率	0°C (卡/厘米·秒·°C)	0.520
	200°C	0.531
流动性指数	680°C (锡在300°C为1.0)	0.51
在液体凝固时热量	(卡/克)	252.6
电阻系数*	20°C (欧·毫米 ² /米)	0.02778
电阻温度系数	20°C	0.004

* 电气用铝电阻系数(20°C)国家规定为不大于0.0295欧·毫米²/米。
国际电工委员会(IEC)规定铝的电阻系数(20°C)不大于0.028264欧·毫米²/米。

纯铝中杂质的存在，随着其形状和分散程度不同对铝的性能也会有影响。铝经长期退火后，分散而细小的硅、铁夹杂物，会聚集成尺寸较大的球状物，改善了铝的塑性和韧性，电阻率也会下降。很多经过大电流冲击试验的铝线，其电阻值降低的主要原因就在于此。

铝在冷态和热态都具有良好的塑性，并能承受锻造、深拉、轧制、拉拔等加工。

由于铝的塑性很好，在进行切削加工时，容易粘刀和难以断屑，故切削性能不好。

铝的综合性能见表 1-2。

§ 2 导线铝合金的应用及性质

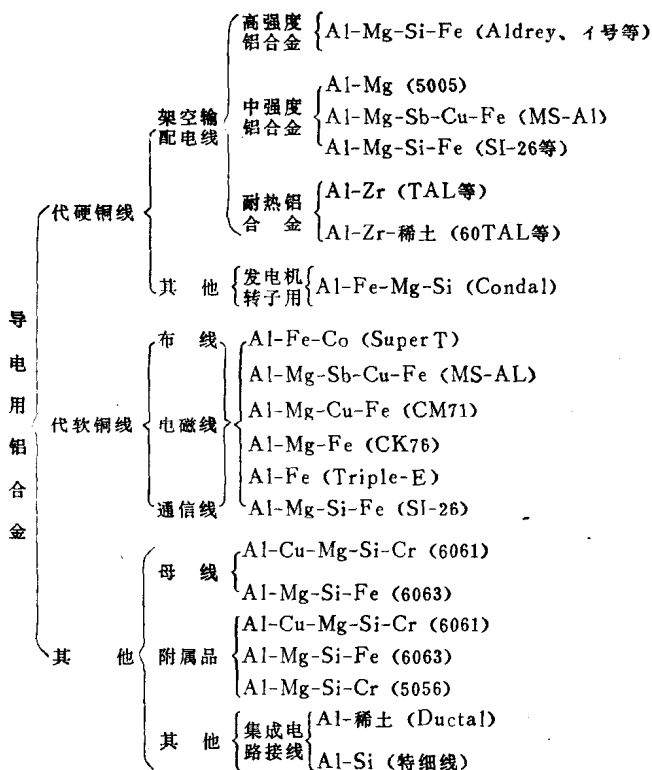
向铝中加不同数量的其他元素，例如硅、镁、铁、稀土等，构成的铝合金，具有很高的强度，而导电率降低的并不多。这类合金用于架空输电线、大型电机和变压器的绕组，比铝更能满足产品的要求。从长远看，铝合金的应用，很有发展的余地。

目前各国对铝合金导线的发展趋势是向耐热、高导电和高强度方面发展。国内外主要铝合金导体的分类及使用范围

表1-3 以裸铝绞线为1时，各产品指标对比表

对 比 项 目	HLJ	HL ₂ J	HL ₂ GJ
抗 断 力	1.88	1.63	2.97
导 电 率	0.88	0.88	1
重 量	1	1	1.5

如下（括号中为牌号）：



文化大革命以来，我国研究和生产了多种导电铝合金。例如铝镁硅合金和铝镁合金等。前者是可热处理强化的高强度铝合金，型号为 HLJ；后者是中强度非热处理的加工硬化型合金，型号为 HL₂J。

架空绞线需要具有较大的抗拉强度，使跨越柱距加长，节约大量水泥和钢材。铝合金线，尤其是热处理型铝镁硅合金线具有很好的抗拉强度，几乎大于铝线的一倍，而其导电

率只比铝线降低 10% 左右, 是一种较理想的架空绞线。表 1-3 是我国生产的几种铝合金绞线的指标对比 (截面为 150 毫米², 表中 HL₂GJ 为钢芯非热处理铝镁合金线)。

我国生产的 HLJ 型合金线的指标已经达到国际电工委员会 (IEC) 的标准要求 (见表 1-4)。

表1-4 我国HLJ型合金线与IEC标准的比较

项 目	ρ (欧·毫米 ² /米, 20℃)	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)
IEC标准	0.0328	≥ 30	> 4
HLJ型合金	< 0.0328	> 30	> 4.5

铝镁和铝镁硅合金不仅可以做架空输电线, 还可用来制做电缆芯线, 它除了要求足够的强度和导电性能外, 还要求有良好的柔软性。这种产品我国已应用到农用电型、打稻机、电焊机等软缆方面。

各国导电用铝合金主要品种及化学成分 (高强度型及中强度型) 见表 1-5。

我国 HLJ 型合金线的加工过程是:

加热铝合金锭→压延→淬火→拉丝→时效

在纯铝中, 硅和铁是有害杂质。但是在铝合金中却做为合金元素被加入。当铝中同时有镁和硅时, 它们以硬化相 Mg_2Si 的形式存在, 铝与 Mg_2Si 形成的二元状态图见图1-2。从图中可见, Mg_2Si 在铝中的溶解度随温度的变化而改变。例如在595℃时, 铝中可溶解最多的 Mg_2Si 为1.85%, 500℃时为 1.05%, 400℃时为 0.53%, 200℃时为 0.27%。这就为用热处理方法强化铝镁硅合金奠定了基础。铝镁硅合金在半成品时进行淬火处理, 使 Mg_2Si 来不及从铝中分解出来,

表1-5 各国导电铝合金主要化学成分表

国别	使用特征	成分类别	合 金 主 要 成 分 (%)							合金类型	牌号或制造厂
			Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Sb	Al	
中国	高强度	Al-Mg-Si	0.45~0.65	0.45~0.7	<0.3	—	—	—	—	其余	HLJ
瑞士		Al-Mg-Si	0.3~0.5	0.4~0.7	0.2~0.3	—	—	—	—	其余	Aldrey
英国		Al-Mg-Si	0.5	0.5	—	—	—	—	—	其余	SiImalec
法国		Al-Mg-Si	0.7~0.75	0.5~0.6	0.3~0.5	—	—	—	—	其余	Almelec
美国		Al-Mg-Si	0.6~0.9	0.5~0.9	0.5	0.1	0.3	0.1	—	其余	6201
苏联		Al-Mg-Si	0.4~0.8	0.4~0.8	<0.14	—	—	—	—	其余	AJИП
日本		Al-Mg-Si	~0.5	~0.5	0.25	0.005	0.005	—	—	其余	1号铝
日本		Al-Mg-Cu-Sb	0.2~0.3	—	—	0.8~1.5	—	—	0.2~0.8	其余	日立
中国	中强度	Al-Mg	0.65~0.85	—	—	—	—	—	—	其余	HL ₂ J
美国		Al-Mg	0.5~1.1	0.4	0.7	0.2	0.2	0.1	—	其余	5005
日本		Al-Mg-Fe	≤0.3 (0.17)	—	≤0.7(0.5)	—	—	—	—	其余	KAL
法国		Al-Mg	0.75	—	—	—	—	—	—	其余	Aluflex

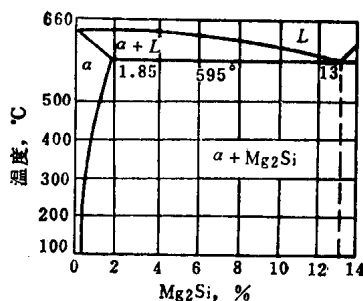


图1-2 Al-Mg₂Si的二元状态图

而以过饱和固溶体的形式保存下来。这种过饱和固溶体并不稳定，在一定的温度条件下，会进行分解（即时效），使合金进一步强化。

HLJ型合金成品线不仅进行淬火时效处理，还要在淬火和时效之间进行一道总变形程度为95%的拉拔加工，从而获得更高的强度。这种处理称为变形时效。经淬火时效和变形时效的合金强度比较见表1-6。

表1-6 HLJ型合金变形时效后机械性能比较

时效类别	机 械 性 能		
	抗拉强度(公斤/毫米 ²)	屈服强度(公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)
变形时效	30~35	27~31	5~10
淬火时效	30	22	14