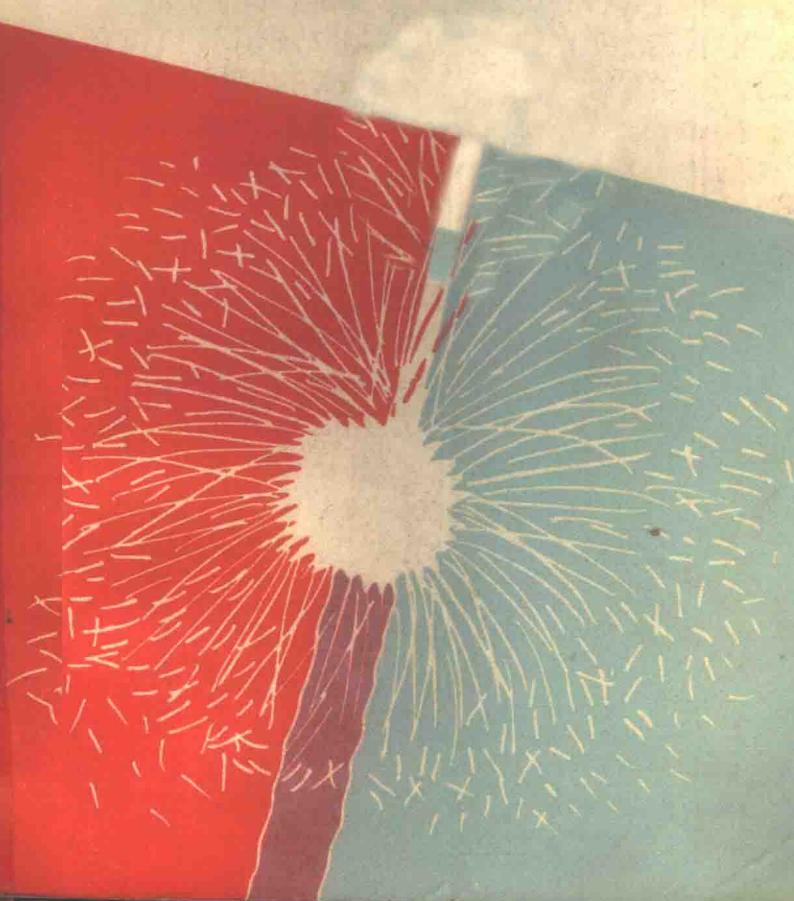


鋁鋁和銅鋁的 鐸接技术

水利电力部技术改进局編



內 容 提 要

本書系由十五篇有关鋁鋁和銅鋁焊接技術的資料編撰而成。書中介紹了十余種鋁鋁和銅鋁的焊接方法，其中突出的有鋁鋁導線連接的水壓法和鉗壓法、銅鋁連接的閃光焊法和銅鋁摩擦焊接等；並將各種焊接方法的優缺點作了比較。書中有理論分析，也有實際操作。

本書可供電氣設備安裝和檢修單位、設計單位的技术人員和技术工人參考；也可供各級工業學校有关專业的師生參考。

鋁鋁和銅鋁的鐸接技术

水利电力部技术改进局編

*

1638D464

水利电力出版社出版（北京西郊科舉路二里路）

北京市書刊出版業登記許可證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

850×1168 $\frac{1}{2}$ 开本 * 5 $\frac{1}{2}$ 印張 * 139千字

1958年11月北京第1版

1958年11月北京第1次印刷(0001—6,100册)

統一書号: 15143·1280 定价(第9类)0.68元

前 言

以鋁代銅是我國電力工業技術中亟待解決的一個重要課題。國家技術委員會曾召開多次會議商討解決的辦法。在國家技術委員會的直接領導下，各工業部門密切配合進行了很多的試驗研究工作，如冶金工業部試驗成功了摩擦焊接；建築工程部對小截面鋁綫的連接及冷壓連接進行了一系列的研究工作；水利電力部各有關單位也進行了各種銅-鋁連接的試驗研究工作。這些研究工作，都取得了一定的成果，基本上解決了當前以鋁代銅的各種連接技術問題。但是，還不能說問題都已十全十美地解決了，還要通過實際使用來累積經驗，對銅-鋁的連接技術問題再加以改進和提高。希望現場工作的同志和關心銅-鋁連接的讀者，對本書介紹的大部分在試驗室中取得的結果和方法提出寶貴的意見。

書中引用了冶金工業部建築科學研究院關於摩擦焊接的資料、建築工程部金屬製造安裝局技術研究室關於AHP型鋁綫的試驗資料、第一機械工業部電纜研究設計室關於鋁芯電纜焊接的資料、水利電力部電力建設總局科學研究所有關閃光焊接和銅芯鋁綫的資料，並結合我局的試驗結果加以說明。

本書介紹的鋁-鋁和銅-鋁的連接方法，有些在質量上是比較好的，如鋁-鋁導綫連接的水壓法和鉗壓法；銅-鋁連接的閃光焊法等。對於受設備限制的地方，本書也介紹了一些比較簡易的方法，如鋁綫錫焊銅鼻子、室內銅-鋁母綫的直接螺絲連接。此外，還提出在現場使用過而現在經過試驗認為不良的連接方法（如澆鑄法），請使用單位注意。

本書適合於供電局（所）和電氣設備安裝和檢修單位、設計單位的技术人員和技术工人作為施工、設計、維護、檢修的參考資料。

水利電力部技術改進局

1958年10月

目 录

第一篇 总述	3
第一节 以铝代铜的必要性.....	3
第二节 电力工业中以铝代铜的可能性和经济性.....	4
第三节 电力工业中以铝代铜的技术问题.....	6
第四节 对铜-铝、铝-铝连接技术的要求.....	8
第五节 铜-铝和铝-铝连接的方法.....	10
第二篇 铝母线的螺钉连接	12
第一节 螺钉连接不可靠的原因.....	12
第二节 连接中应注意的问题.....	13
第三节 螺钉连接的优缺点和使用范围.....	16
第三篇 铝母线的电焊焊	16
第一节 概 述.....	16
第二节 焊接用工具和材料.....	17
第三节 焊接的施工程序.....	21
第四节 有关提高焊接质量的问题.....	22
第五节 铝母线焊接质量的检查.....	27
第四篇 铝母线冷压接	29
第一节 概 述.....	29
第二节 冷压接使用的工具.....	29
第三节 压接工艺.....	30
第四节 接头质量的试验.....	31
第五节 结 论.....	32
第五篇 架空铝线的钳压接	32
第一节 钳压工具和材料.....	32
第二节 钳压接的施工程序.....	35
第三节 钳压接工艺的探讨.....	36
第四节 质量要求及其检查方法.....	43
第五节 钳压接的优缺点和使用范围.....	44
第六篇 铜芯铝线的水压机压接	45
第一节 压接用的工具和材料.....	45
第二节 铜芯铝线水压机压接的操作方法.....	51
第三节 接头质量的检查.....	55
第四节 结 论.....	58
第七篇 单股铝线的冷压焊	58
第一节 概 述.....	58
第二节 搭接冷压焊.....	59
第三节 铜、铝圆单线的对接冷压焊.....	64
第八篇 用反应锡焊法焊接铝芯油浸纸绝缘电力电缆	78
第一节 熔剂和焊料.....	78

第二节	用噴灯加热法焊接電纜接头的程序	79
第三节	鋁芯電纜与銅芯電纜的焊接	84
第四节	鋁芯電纜的封端	85
第五节	試驗結果	87
第六节	我們的意見	97
第九篇	銅-鋁直接連接和螺旋連接	98
第一节	銅-鋁直接連接	98
第二节	仿勾式螺旋連接	99
第三节	苏式螺旋連接	101
第十篇	銅-鋁的電弧焊和澆鑄	102
第一节	直流電弧焊	102
第二节	澆鑄焊	109
第三节	結論	112
第十一篇	鋁上電鍍銅	114
第一节	概述	114
第二节	鋁上直接鍍銅	115
第三节	鋁上鍍鍍后鍍銅	117
第四节	鋁上鍍銅的質量檢查	119
第五节	結論	120
第十二篇	鋁綫錫焊銅鼻子	120
第一节	焊接工具和材料	120
第二节	焊接工艺及注意事項	122
第三节	焊接質量的試驗	123
第四节	結論	125
第十三篇	銅-鋁摩擦焊接	125
第一节	摩擦焊設備介紹	125
第二节	摩擦焊接工艺	128
第三节	摩擦焊原理的探討	131
第四节	銅-鋁摩擦焊接头的質量試驗	133
第五节	結論	136
第十四篇	銅-鋁閃光焊接	136
第一节	閃光焊銅-鋁連接对焊机的技术要求	136
第二节	用MCMY-150型焊机改装为閃光焊机	137
第三节	焊接工艺	143
第四节	焊件的檢查及試驗	154
第五节	結論	157
第十五篇	銅-鋁接头老化試驗	157
第一节	試驗的目的与方法	157
第二节	試驗样品介紹	158
第三节	試驗的接綫、測量方法和循环方式	162
第四节	試驗的結果与分析	164
第五节	結論	170

第一篇 总 述

第一节 以鋁代銅的必要性

地球上鋁的貯藏量比銅要丰富得多，地壳中鋁元素比銅約多900倍。虽然在現有的技术及經濟条件下，人們可以提取的鋁矿貯藏量只比銅矿貯藏量多12.5倍，但是人們从地球中索取鋁的方法和技术还会逐漸提高，現在我国已能从煤灰中提取鋁，就是一个例子。

我国并不是一个貧銅的国家，相反地，从目前陸續发现的銅矿来看，貯銅量是很丰富的。毫無疑問鋁的貯藏量比起銅来还要丰富。

銅的用途很广，各种工业普遍需要用銅，电力工业用得更多，但通常銅的增長速度，总是落在工业（指总的工业）和电业发展的后面，因此我們必須用鋁来代替銅以滿足工业发展的需要。表1-1列出各国工业和銅的增長率的比較。

表1-1 1953—1957年各国工业和銅的平均增長速度的比較

工业类别 国 别	工 业	电 业	銅
中 国	19.2 %	21.6 %	12.3 %
英 国	3.88%	9.7 %	-2.02%
美 国	2.65%	9.09%	4.73%
苏 联	11.7 %	11.9 %	—

注：苏联銅产量的資料缺。

我国在1954年才开始大批生产鋁。由于政府的大力发展，目前鋁的年产量比起矿銅的年产量，已經是后来居上了。表1-2是我国銅、鋁生产，以1吨鋁可代2吨銅为基础，折合为銅的等值生产指数。

表1-2

我国銅鋁生产指数

生产类别 \ 年 份	1953年	1954年	1955年	1956年	1957年
銅	100	123	171	297	334
鋁	—	582	638	648	900

由于上述原因，大力节约用銅及以鋁代銅，就成为我国重要的技术方向之一。党和政府也及时提出了这个号召。由于党和政府的正确领导，加上各方面的努力，解放以来全国以鋁代銅的数量逐年有所增加。仅以水利电力部为例，兴建的送电线路逐年增加，而用銅量却逐年在减少。表1-3是水利电力部在第一个五年计划期间新建送电线路和銅鋁线的使用情况。

表1-3 水利电力部新建送电线路和銅鋁线的使用情况

	1953年	1954年	1955年	1956年	1957年
新建送电线路	100	123	99	107	234
使用銅线	100	103	97	96	73
使用鋁线	133	148	165	126	241

注：鋁线是以相同的送电能力为基础折合为銅线的等值指数。

应当指出，在第一个五年计划期间，制造电线、电缆的用銅量，占全部銅产量的50%左右。这些电线、电缆不是全用在送电线路上，电力部门只用了其中很少的一部分。由此可见，节省电线、电缆的用銅量要靠各个部门的共同努力。

第二节 电力工业中以鋁代銅的可能性和经济性

上面已经根据经济建设的需要，说明了以鋁代銅的必要性。这里，再对电力工业中以鋁代銅在技术上的可能性和经济性作一些简单的说明。在说明这个问题之前，首先介绍一下工业用銅、鋁的基本特性。

表1-4

銅、鋁的基本特性

性 能	銅	鋁
电阻率20°C(欧姆·平方公厘/米)	0.017	0.0269
电阻温度系数	0.00433	0.00426
比重(固态)	8.94	2.7
熔点(°C)	1,083	653
比热(固态)(卡/克·°C)	0.0918	0.222
溶解热(卡/克)	50	93
导热率(卡/公分, 平方公分·秒, °C)	0.923	0.52
线胀系数	16.42×10^{-6}	24×10^{-6}
标准弹性系数(软质)(公斤/平方公厘)	10,800	5,500
标准弹性系数(硬质)(公斤/平方公厘)	13,000	6,000~7,000
抗拉强度 (软质)(公斤/平方公厘)	24~21	8~11
抗拉强度 (硬质)(公斤/平方公厘)	50~40	15~25
硬度HB (软质)(公斤/平方公厘)	110~130	1.5~25
硬度HB (硬质)(公斤/平方公厘)	40~50	40~55
电位(以氮为准)(伏特)	+0.34	-1.28

从表1-4可以看到, 铝的导电率比铜的要低些, 但铝的比重要小得多。因而, 从表1-5及表1-6导电性和抗拉强度的比较可以看出, 以铝代铜不仅可能, 而且很经济。

需要说明, 实际运用的铝线、铜线和钢芯铝线, 由于制造上的种种原因, 它们的导电率、抗拉强度、单位长度的重量和价格等都不完全相同。因此, 表1-5和

表1-5 电阻相同时截面、重量和投资的比较

	铝 线	铜 线
截 面 比	1	0.6
重 量 比	1	2
投 资 比	1	3

表1-6 抗拉强度相同时截面、重量和投资的比较

	铝 线	钢芯铝线	铜 线
截 面 比	1	0.4	0.4
重 量 比	1	0.7	1.4
投 资 比	1	0.5	2.1

表1-6中的数据只是選擇了几种導綫作了粗略計算的結果。但是，这并不影响說明以鋁代銅的可能性和經濟性。

第三节 电力工业中以鋁代銅的技术問題

在电力工业中必須而且可能以鋁代銅。大家知道在以鋁代銅的技术中是有一定困难的。由于鋁的某些物理、化学、电气性能，給鋁導綫的使用帶來很多困难，特別是在連接（鋁与鋁連接，銅与鋁連接）上，它比用銅要复杂和困难得多。也正因为这样，鋁-鋁和銅-鋁的連接技术，是一个迫切需要研究和解決的問題。

使得連接复杂和困难的原因，主要有如下几点：

1. 鋁在空气中极易氧化 这种氧化作用，在常温下能迅速发生，温度較高时（如焊接时的加热过程中）則更为迅速。因此，不管用什么方法加工或清洗表面，只要一遇到空气，就会立刻盖上一层氧化膜（ Al_2O_3 ）。开始，膜的厚度很快达到約0.002公厘，由于膜层相当厚，而且它本身很紧密，空气便不易透入內层，这就使得以后的氧化作用进行得非常緩慢。氧化膜的这种性質，虽然使鋁具有天然的防腐作用，但給連接帶來很大困难。

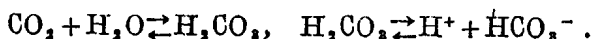
鋁的氧化膜的导电性能很差，每公厘可耐压12伏特，其介質常数为5，功率因数为10%。長期运行中的鋁导体，如果經常暴露在湿度和温度比較高的空气中，氧化膜可达数公厘之厚。显然，如果在連接时不設法把氧化膜消除，或者在連接后防止氧化膜的形成，便会产生很大的接触电阻，使接头过热，以致燒毀。

氧化鋁的熔点高达 $2050^{\circ}C$ ，为鋁的熔点 $653^{\circ}C$ 的3.1倍，并超过了鋁的沸点（ $1800^{\circ}C$ ），再加上它的化学惰性，使它不容易象重金屬，如鉄、銅那样，在焊接过程中当基本金屬熔化时，一同被熔化或者用还原的办法来清除。此外，由于它的比重（3.9）大，不能在鋁的熔液中浮出来。所以，在連接过程中，如何除去已經形成的氧化鋁以及如何防止鋁的繼續氧化，是一个最根本的問題。

2. 鋁的彈性係數小，熱膨脹係數大 使用機械方式連接時，加于鋁上的壓力往往會超過其彈性極限（3~4公斤/公厘²）或屈服極限（5~8公斤/公厘²），引起永久變形。特別是鋁的熱膨脹係數比較大（比銅大46%，比鋼大92%），在利用銅或銅連接鋁時（如螺釘連接或仿匈式螺釘連接），當負荷電流大時，接頭溫升就大，鋁受熱後膨脹得較快，因而受到更大的應力，發生變形甚至外擠。當負荷電流降低時，接頭的溫度也下降。鋁很快收縮，但很難完全恢復到原來的狀態。這樣日子久了，接觸電阻就逐漸增大，使接頭髮熱，甚至燒壞。

此外，鋁導體在機械負荷和較高溫度的作用下，容易發生蠕變（在15°C時，鋁的蠕變極限為5公斤/公厘²，在100°C時為2.7公斤/公厘²，在200°C時為0.7公斤/公厘²）。這種永久性的變形雖然進行得很緩慢，但日積月累，也會使接觸不良。這些機械特性，說明了以普通的機械方法來進行銅-鋁和鋁-鋁連接是有一定的困難。

3. 銅和鋁接觸，容易發生電化腐蝕 因為所有固體都可能從空氣中吸附水分，在表面蓋上一薄層水膜。特別是裝在室外的接頭。水的離解度雖很小，但仍能離解出一些H⁺和OH⁻離子，而且離子的數量將因水中溶入碳酸氣(CO₂)或其他雜質而增加。例如：



在這種情況下，接頭上的銅和鋁就好像放在含有H⁺、OH⁻及HCO₃⁻等離子的溶液中。

銅的標準電勢為+0.34伏特，鋁的為-1.28伏特。它們之間的電動勢：

$$E = 0.34 - (-1.28) = 1.62 \text{ 伏特}.$$

這樣，就形成了以鋁為負極，銅為正極的原電池。由於銅鋁接頭內部的兩種金屬緊密接觸，使電池成閉路狀態。產生電流的过程，也就是鋁的腐蝕过程：一部分鋁溶解成離子，多餘的电子移向銅，在銅上使H⁺離子中和，生成H₂放出；溶液中的Al³⁺

离子与 OH^{-1} 离子化合生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，沉淀或析出。这样繼續不断进行，鋁便很快遭到严重的腐蝕，并在接触处形成导电性能不良的間隔物，因而接触电阻增大，接头发热。防止电化腐蝕，是銅鋁連接的主要关键。

4. 由銅-鋁系統平衡图中可以查出，在鋁-銅合金系中，具有足够机械性能而为工业上所采用的是左右兩端的合金，即对于基本成分为銅的銅鋁合金，鋁的含量应小于11%；对于基本成分为鋁的鋁銅合金，銅的含量应小于12%。超出上述范围时，即含鋁量在12~89%之間的中間合金，由于机械性能不好，在工业上是不采用的。特别是兩者的成分愈接近相等时，合金的性質愈是脆硬，机械性能亦愈差。

銅鋁兩种金屬的熔点相差很远，导热系数、比热和熔化热都不同。此外，鋁在加热过程中顏色不变，很难判別它的溶化程度。因而要使它們匀称地受熱和溶化，是比較困难的。兩种金屬的比重相差很大，也影响兩种金屬的均匀溶合。然而，当銅与鋁直接焊接时，焊縫合金的成分是从100%的銅过渡到100%的鋁，中間可能有各种不同比例的合金。因此，控制焊縫合金的成分，是保証銅鋁焊接質量的重要关键。

5. 鋁的比热为銅的2.3倍，其熔解热为銅的1.8倍多。因此，对于鋁的焊接，需用大功率的加热設備。

鋁的熔点很高，导热率也相当高，因此，用熔焊的办法来連接鋁芯电綫时，絕緣层有受到焊接温度灼熱的危險。

鋁在加热时，不經過塑性状态，即直接由固体状态，立即变为液体。因此在焊接时，必須使用模子，以防止液体金屬的流溢。

所有这些，給銅-鋁和鋁-鋁的連接都帶來困难。但与前面的一些特性相比，这些困难还是比較容易克服的。

第四节 对銅-鋁、鋁-鋁連接技術的要求

对銅-鋁和鋁-鋁連接技術的要求，归納起来，主要有下列几

点：

1. 有足夠的机械强度 对机械强度的要求，主要是抗拉强度。抗拉强度的标准視不同的設備而异。

对鋁-鋁連接来講，架空綫路的抗拉强度应不小于导綫抗拉强度的90%；母綫連接的抗拉强度在6.5公斤/公厘²以上即可；而对于絕緣綫或電纜，抗拉强度的要求就更小。特別是電纜，由于采用低温臘焊，主要的要求变为在过負荷时的热的問題。

銅-鋁連接通常是在不受机械負荷的情况下使用，因此，对接头的抗拉强度的要求不高，一般对焊縫抗拉强度的要求，主要是作为焊接質量的指标来看，那是另一回事。

总起来說，机械强度是一項要求，但应根据接头所在的地位来适当考虑，以达到“足够”的目的。任何忽視或強調对机械强度的要求都是不恰当的。

2. 接头的电阻小而且穩定 接头的电阻，通常是用与相同長度导綫的电阻的比值来表示。对于新連接的接头，电阻比应不大于1；对于运行中的接头，电阻应很穩定，电阻比应不大于1.2。这个要求，既适用于銅-鋁連接，也适用于鋁-鋁連接。不論那种接头及其所在的地位，都应滿足这个要求。这是各項要求中最主要的一項。

3. 耐腐蝕 对于銅-鋁連接，由于电化腐蝕是其致命的危害，必須要求有很好的耐腐蝕性。这里必須指出，鋁-鋁連接，特別是依靠异种金屬或焊藥、焊料来連接的情况下，也会发生腐蝕的。

4. 成本低，施工方便 成本低，要求使用有色金屬或其他輔助材料少和使用的設備簡單。施工方便，包括操作工艺簡單和設備便于在施工现场使用。这些因素实际上往往是互相排斥的和矛盾的，也正因为这样，需要根据实际情况找出最合理的方法。

实际經驗証明，腐蝕对机械强度的影响并不大。腐蝕的不良后果主要是反映在导电性能上。因此，对耐腐性的要求，可以和对电阻的要求連系起来考虑。

第五节 銅-鋁和鋁-鋁連接的方法

研究銅-鋁和鋁-鋁連接技術的任務，就是克服上述連接中的困難，尋找符合於運用要求的連接方式。在這方面，國內許多人做了很多工作，並取得很大的成績，掌握的方法有數十種。在這裡只能將一些主要的方法歸納成幾類，加以介紹。

1. 機械連接 這一類連接的特點是用螺釘來達到連接的目的，通常都是可折動的。按連接面的接觸情況，又分為直接連接和用過渡片連接二種。

(1) 直接連接 包括螺釘搭接、平綫夾和T型綫夾以及仿鉤式銅-鋁螺釘連接等。

(2) 用過渡片連接 這種連接只用於銅-鋁連接，在接觸面之間隔以一层其他金屬、合金或特制的墊片，借以緩衝電化腐蝕。常見的有銅上鍍錫或鋅，鋁上鍍銅和鋁上鑲銅片等。

2. 錫焊 錫焊又稱蜡焊或釐焊。它的特點是借助於特种焊料來膠合被連接的金屬。焊料的熔化溫度低於鋁的熔點，所以被焊金屬不發生熔化。按錫焊時消除氧化膜的方式，可分為助熔劑錫焊、塗擦錫焊和超聲波錫焊等三種。

(1) 助熔劑錫焊 利用冶金化學反應消除氧化鋁，一般採用由低熔點的氯化物及氟化物組成的助熔劑，使氧化膜生成低熔點的化合物，溶化後浮出或化成氣體逸出。助熔劑和焊料有很多種類，但按焊料熔化溫度可分為低溫錫焊（ 300°C 以下）和高溫錫焊（ 300°C 以上）。前者主要用於低絕緣電綫。

(2) 塗擦錫焊 此種焊接不用助熔劑，而借焊料摩擦焊件來消除氧化膜。例如用A型焊料焊鋁，即屬於這一類。

(3) 超聲波錫焊 利用超聲波振蕩來消除氧化膜。國內目前已經掌握和使用的是超聲波電鉻銑錫焊。這種鉻銑除包括熔化焊料的加熱裝置以外，另有超聲波振蕩裝置。

3. 熔焊 熔焊的特點是焊接處在焊接過程中發生了熔化、混合、冷凝和結晶等一系列的過程。按焊接方式，可分為氣焊、電

弧焊、澆鑄、藥包焊和接觸電阻焊等五種。

(1) 氣焊 用燃燒氣體燒料來直接加熱焊件和墊焊條。通常用乙炔或汽油。由於熱量不夠集中，焊接時間較長等特點，主要只能用在薄鋁板的焊接。

(2) 電弧焊 有直流電弧焊和交流電弧焊兩種。由於電弧熱非常強烈而集中，特別適用於大型母綫。交流電弧焊的設備簡單，目前已普遍推廣。

(3) 澆鑄 用坩鍋將鋁熔化，澆鑄在銅上。為了除去銅上的氧化物，使鋁能很好地和銅結合，通常採用三種方法：一種是用硼砂粉做助熔劑；另一種是先在銅上塗一層鋁。根據澆鑄時銅、鋁的預熱與否，又分冷澆鑄和熱澆鑄兩種。一般澆鑄用開口鋼模在大气中進行，為了增加鑄鋁密度，避免毛孔，也有利用壓力澆鑄的。

(4) 藥包焊 藥包焊是用氧化鐵、矽化鐵、氧化鈣和鋁粉等配製成特制的藥包。焊接時將鋁綫插入包中，燃着後，借化學反應生成的熱量將鋁綫熔化，從而達到熔焊的目的。

(5) 接觸電阻焊 採用低電壓高電流的電源，利用炭極端部與鋁綫接觸時產生的接觸電阻熱來熔化鋁綫。鋁綫連接通常有兩種基本形式：一種是鋁綫與鋁接綫耳（鋁鼻子）連接，另一種是利用鑄模對接鋁綫。

4. 冷壓接 冷壓接是借金屬的塑性變形，產生應力或分子間結合，從而達到連接的目的。前者需外加壓接管，故稱之為壓接管連接。後者直接利用塑性變形不需加壓接管，但只能用於小徑綫。現分別說明於下：

(1) 加壓接管冷壓 用局部或全部擠壓壓接管的方法，使壓接管和鋁綫之間產生應力，達到緊密結合的目的。其中包括水壓接、鉗壓接、局部擠壓、全部擠壓等。前兩種適用於受拉力大的架空綫路，後兩種主要用於受拉力小的戶內絕緣綫。水壓接和全部擠壓亦可用作銅-鋁導綫的連接。

(2) 塑性變形冷壓 利用特制的壓模，阻止從壓接區域受擠

压出来的金属流动，使接合处的单位压力加大，分子彼此接近和部分渗透，从而达到接合的目的。其中包括铝母线冷压、小径铝线的对接冷压和搭接冷压等。铝母线上镶铜片，也属于这种冷压方法之一。

5. 其他特种焊接 其他特种焊接主要有三种：

(1) 摩擦焊 利用焊件之间的互相摩擦，产生焊接时所需要的热量，同时消除氧化膜，再利用冷压接控制金属流动的方法进行加压。因此，能在需要压力不大消耗功率也小的情况下达到可靠的焊接。这种方法不仅可以焊接铜-铝，亦可焊接其他多种金属。

(2) 闪光焊 利用焊件作为金属极，在大电流下接触时发出的热量使金属表面急剧熔化，并使金属溶液及其气体爆炸。这样既熔化了焊接区的金属，又去除了焊接金属表面的氧化物。紧接着熔化过程的结束进行顶压，使获得良好的接合。这种焊接，可用来大规模预制铜-铝过渡接头。

(3) 大电流接触焊 这种方法专门用来焊接铜-铝接头。焊接时，利用大电流的接触电阻热，先在铜上焊上银片，再在银片上焊铝。因为铜铝之间有银间隔，不会产生铝铜脆性合金，因而有良好的性能。

上述五类焊接方法，其中质量比较好或者使用比较广的，将分别在下面各篇里作比较详细的介绍。这些方法的总和，基本上解决了铜-铝和铝-铝的连接技术问题。

第二篇 铝母线的螺钉连接

第一节 螺钉连接不可靠的原因

用螺钉连接的铝母线接头容易松动和发热，这就使这种连接方式变得不可靠。造成松动和发热的原因大致有如下几点：

1. 在进行连接时没有澈底清除氧化膜，并防止氧化膜的继续

产生。这样，在接触面之間就殘留了一层氧化膜，大大地增加了接触电阻，引起发热，并促使氧化膜再变厚。

2. 用来連接母綫的螺釘和墊圈，通常是鉄的或者鉄上鍍鋅的。鉄和鋁之間的电位差为1.23伏，在潮湿空气下容易发生电化腐蝕。同时，鉄本身的生銹也很严重。在老化腐蝕試驗中，我們时常发现接头过热和折开后可以看見鍍鋅鉄墊圈和鋁板之間有严重的腐蝕現象。图2-1螺孔旁的黑色斑点就是因腐蝕产生的小孔穴或腐蝕生成物。鋁板的純度愈差，腐蝕現象也愈加严重。

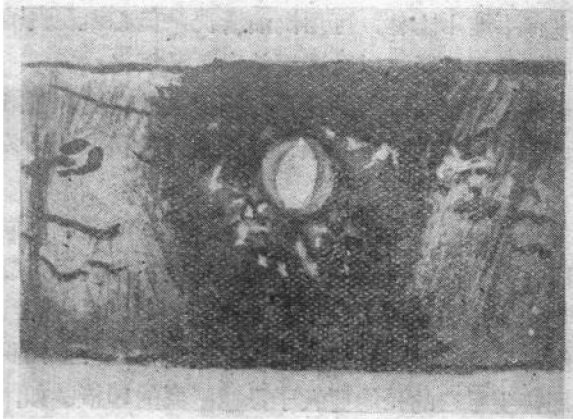


图 2-1 鋁母綫用螺釘連接的腐蝕情况

3. 用螺釘連接鋁母綫时，为了得到紧密的接触，以便降低接触电阻，往往把螺釘旋得过紧。但是，鋁的彈性极限很低(3~4公斤/平方公厘)，屈服极限也很小(5~8公斤/平方公厘)。螺釘旋得太紧，易使母綫发生变形。在实际安裝中，这种現象时常发生。同时，由于鋁母綫的膨脹系数比鉄螺釘大，在运行中負荷大时温度升高，产生附加应力，鋁母綫所受的压力更大，变形亦更甚。当負荷减小时，温度降低，已变形的母綫不能完全恢复原狀。这就使得接头松动，引起发热，甚至使之熔化。

第二节 連接中应注意的問題

为了保証鋁母綫螺釘連接的可靠性，在进行連接时，必須注

意下列各点:

1. 清除氧化鋁膜 在連接之前, 應將鋁母綫連接端的接觸面用銼刀銼平, 并用砂布或鋼絲刷清除其表面上的氧化鋁膜。必須注意, 原来比較平整的母綫在鑽孔之后又会变得不平正。

初步清除氧化膜后, 在連接处涂上中性凡士林, 并用帶有中性凡士林的鋼絲刷刷洗, 直到露出鋁的金屬光澤为止。如果洗刷后的凡士林已显得很髒, 应抹去重刷一遍, 然后即在凡士林油层上將母綫用螺釘压紧。

如果没有中性凡士林, 可用汽油清洗, 但必須在汽油未蒸发完之前即將接觸面压紧, 以免洗淨的表面又氧化。

2. 适当选择螺釘 螺釘的选择与鋁母綫的寬度、重迭的長度、接触电阻所需要的压力和鋁母綫所允許的压力等有关。茲分述如下:

(1) 对于不同寬度的鋁母綫, 应使用不同直徑、不同数量的螺釘。在同一截面內, 螺釘孔直徑的总長度不应大于母綫寬度的35%, 以免影响母綫的拉力强度。

(2) 鋁母綫連接时的接触面积, 要大于母綫的截面积10倍; 換言之, 即接头重迭的長度要大于母綫厚度的10倍。如果需要使用更多的螺釘而感到重迭長度不够时, 可酌量增加長度。

(3) 螺釘加于母綫的总压力, 应保証达到足够小的接触电阻, 即要求新連接成的接头电阻不大于相同長度母綫的电阻。其所需要的压力, 应不小于由下式計算出的数值:

$$R = \frac{8.2 \times 10^{-4}}{p^{0.7}} \text{ 欧姆,}$$

$$\text{或} \quad p^{0.7} = \frac{8.2 \times 10^{-4}}{R} \text{ 公斤。}$$

式中, $R = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot r$

其中 r 为与接头相同長度的鋁母綫电阻, 欧姆,

α_1 为由于螺釘所增加的电阻的修正系数, 采用0.85。

α_2 为由于通电后发热所增加的电阻的修正系数, 采