



焊接施工工艺与操作系列丛书

HANJIESHIGONGGONGYIYU
CAOZUOXILIECONGSHU

有色金属的焊接

YOUSEJINSHUDEHANJIE

杨海明 主 编
季炼平 副主编



 辽宁科学技术出版社

焊接施工工艺与操作系列丛书

有色金属的焊接

杨海明 主 编

季炼平 副主编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

图书在版编目 (CIP) 数据

有色金属的焊接/杨海明主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2013.7

(焊接施工工艺与操作系列丛书)

ISBN 978-7-5381-8058-9

I. ①有… II. ①杨… III. ①有色金属—焊接
IV. ①TG457.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 109291 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳天正印刷厂

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 140mm × 203mm

印 张: 7.5

字 数: 220 千字

印 数: 1 ~ 3000

出版时间: 2013 年 7 月第 1 版

印刷时间: 2013 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑: 高 鹏

封面设计: 杜 江

版式设计: 于 浪

责任校对: 周 文

书 号: ISBN 978-7-5381-8058-9

定 价: 19.80 元

联系电话: 024-23284062

邮购热线: 024-23284502

E-mail: lnkj1107@126.com

<http://www.lnkj.com.cn>

本社法律顾问: 陈光律师

咨询电话: 13940289230

前 言

随着现代工业和科学技术的快速发展,焊接技术在国民经济发展和现代制造业中起着越来越重要的作用,它广泛应用于汽车、机械工程、船舶、航空航天、石油化工、重型机械、锅炉、压力容器等领域。要掌握各种金属材料的焊接技能,就必须要了解各种金属材料的性能,掌握其相应的焊接工艺和必要的操作要领。借鉴成熟的经验,遵循合理的工艺和采用良好的操作手段进行施工生产,是控制焊接质量的必要条件。

为此,我们编写了《焊接施工工艺与操作系列丛书》,包括《碳素钢与低合金钢的焊接》、《不锈钢与特殊用途钢的焊接》、《有色金属的焊接》、《铸铁与堆焊材料的焊接》和《异种金属的焊接》等,希望丛书能对焊接技术人员专业技能水平的提高提供一定的帮助。

本丛书根据焊接生产施工实际情况,结合作者多年从事生产和教学的经验,介绍了常用金属材料的焊接施工工艺与操作技法。内容以注重生产实用性、实用技术为主,以理论知识为辅,特别注重各项技能技巧的编写。本册介绍了各类有色金属的种类、牌号、用途、焊接性、焊接材料、焊接方法和相应工艺、操作要领,以及各类有色金属的焊接缺陷防止措施、工程实际应用等。力求做到通俗、易读、紧贴实际应用,适合生产一线工人和技术人员以及职业院校师生等读者群使用参考。

本书由江苏省常州技师学院杨海明主编,季炼平副主编,勾容、徐鸿、杭明峰、王同生、曾鹏参编。

本书引用了大量的参考文献,在此向所引用文献的作者表示感谢。由于编者水平有限,本书中误漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 有色金属的材料及焊接性	1
1.1 铝及铝合金的材料及焊接性	1
1.2 铜及铜合金的材料及焊接性	8
1.3 镁及镁合金的材料及焊接性	16
1.4 钛及钛合金的材料及焊接性	23
1.5 镍及镍合金的材料及焊接性	28
1.6 铅及铅合金的材料及焊接性	31
1.7 锆及锆合金的材料及焊接性	34
第2章 有色金属的焊接材料	36
2.1 有色金属焊接用填充焊丝	36
2.2 有色金属焊接用焊条	42
2.3 有色金属钎焊用钎料与钎剂	43
2.4 有色金属焊接用熔剂、焊剂与保护气体	46
第3章 有色金属的焊接工艺	49
3.1 铝及铝合金的氩弧焊工艺	49
3.2 铝及铝合金的气焊、焊条电弧焊工艺	58
3.3 铝及铝合金的碳弧焊、电阻焊及钎焊工艺	60
3.4 铜及铜合金的氩弧焊和气焊工艺	67
3.5 铜及铜合金的焊条电弧焊、埋弧焊及碳弧焊 工艺	71
3.6 镁及镁合金的焊接工艺	75
3.7 钛及钛合金氩弧焊、等离子弧焊及电子束焊 工艺	86

3.8 钛及钛合金的电阻焊、埋弧焊、钎焊和扩散钎焊工艺	101
3.9 镍及镍合金的焊接工艺	107
3.10 铝及铝合金焊接工艺	112
3.11 锆及锆合金的焊接工艺	115
第4章 有色金属的焊接操作	119
4.1 铝及铝合金的钨极氩弧焊操作	119
4.2 铝及铝合金熔化极氩弧焊的操作	133
4.3 铜及铜合金的焊接操作	150
4.4 镁合金的焊接操作	158
4.5 钛及钛合金的焊接操作	159
4.6 铝及铝合金的焊接(气焊)操作	165
4.7 锆及锆合金的焊接操作	169
第5章 有色金属的焊接实例	175
5.1 铝及铝合金焊接实例	175
5.2 铜及铜合金焊接实例	185
5.3 镁合金焊接实例	192
5.4 钛及钛合金焊接实例	201
5.5 镍及镍合金焊接实例	212
5.6 铝及铝合金焊接实例	217
5.7 锆及锆合金低合金实例	219
第6章 有色金属的焊接质量控制	222
6.1 铝、镁及其合金的焊接缺陷及防止方法	222
6.2 铜、钛及其合金的焊接缺陷及防止方法	226
参考文献	230

第1章

有色金属的材料及焊接性

1.1 铝及铝合金的材料及焊接性

1.1.1 铝及铝合金的分类、成分和性能

(1) 铝及铝合金的分类。

铝是银白色的轻金属，纯铝的熔点 660°C ，密度 2.7g/cm^3 。工业用铝合金的熔点约 566°C 。铝具有热容量和熔化潜热高、耐腐蚀性好，以及在低温下保持良好的力学性能等特点。

铝及铝合金可分为工业纯铝、变形铝合金（分非热处理强化铝合金、热处理强化铝合金两类）和铸造铝合金。变形铝合金是指经不同的压力加工方法（经过轧制、挤压等工序）制成的板、带、棒、管、型、条等半成品材料，铸造铝合金以合金铸锭供应。铝合金分类及性能特点见表1-1。

表1-1 铝合金分类及性能特点

分类		合金名称	合金系	性能特点	示例
变形铝合金	非热处理强化铝合金	防锈铝	Al-Mn	抗蚀性、压力加工性与焊接性能好，但强度较低	3A21
			Al-Mg		5A05
	热处理强化铝合金	硬铝	Al-Cu-Mg	力学性能高	2A11, 2A12
		超硬铝	Al-Cu-Mg-Zn	硬度强度最高	7A04, 7A09
		锻铝	Al-Mg-Si-Cu	锻造性能好，耐热性能好	2A14, 2A50
			Al-Cu-Mg-Fe-Ni		2A70, 2A80
铸造铝合金	铝硅合金		Al-Si	铸造性能好，不能热处理强化，力学性能较低	ZL102
	特殊铝硅合金	Al-Si-Mg	铸造性能良好，可热处理强化，力学性能较高	ZL101	
		Al-Si - Cu		ZL107	
		Al-Si-Mg-Cu		ZL105, ZL110	
		Al-Si-Mg-Cu-Ni		ZL109	

续表

分类	合金名称	合金系	性能特点	示例
铸造铝合金	铝铜铸造合金	Al-Cu	耐热性能好,铸造性能与抗蚀性差	ZL201
	铝镁铸造合金	Al-Mg	力学性能高,抗蚀性好	ZL301
	铝锌铸造合金	Al-Zn	能自动淬火,宜于压铸	ZL401
	铝稀土铸造合金	Al-Re	耐热性能好	—

按 GB/T 3190—1996 和 GB/T 1674—1996 的规定, 纯铝和铝合金牌号命名的基本原则是: 直接采用国际四位数字体系牌号; 未命名为国际四位数字体系牌号的纯铝及其合金采用四位字符牌号。四位字符牌号的第一位、第三位、第四位为阿拉伯数字, 第二位为英文大写字母 (如 “A”)。纯铝编号系统的第一位为 “1”, 如 1xxx 或 1Axx, 最后两位数字表示铝的纯度。2xxx 为 Al-Cu 系; 3xxx 为 Al-Mn 系; 4xxx 为 Al-Si 系; 5xxx 为 Al-Mg 系; 6xxx 为 Al-Mg-Si 系; 7xxx 为 Al-Zn 系; 8xxx 为 Al-其他元素系; 9xxx 为 Al-备用系。我国变形铝合金的牌号表示法与国际上的通用方法基本一致。

①工业纯铝。工业纯铝含铝 99% 以上, 熔点 660℃, 熔化时没有任何颜色变化。表面易形成致密的氧化膜, 具有良好的耐蚀性。纯铝的导热性约为低碳钢的 5 倍, 线胀系数约为低碳钢的 2 倍。纯铝强度很低, 不适合做结构材料。退火的铝板抗拉强度为 60 ~ 100MPa, 伸长率为 35% ~ 40%。

②非热处理强化铝合金。非热处理强化铝合金通过加工硬化、固溶强化提高力学性能, 特点是强度中等、塑性及耐蚀性好, 又称防锈铝, 原代号 LFxx。Al-Mn 合金和 Al-Mg 合金属于防锈铝合金, 不能热处理强化, 但强度比纯铝高, 并具有优异的抗腐蚀性和良好的焊接性, 是目前焊接结构中应用广泛的铝合金。

③热处理强化铝合金。热处理强化铝合金通过固溶、淬火、时效等工艺提高力学性能。经热处理后可显著提高抗拉强度，但焊接性较差，熔化焊时产生焊接裂纹的倾向较大，焊接接头的力学性能（主要是抗拉强度）严重下降。热处理强化铝合金包括硬铝、超硬铝、锻铝等。

a. 硬铝。硬铝的牌号是按铜的增加的顺序编排的。铜是硬铝的主要成分，为了得到高的强度，铜含量一般应控制在4.0%~4.8%范围。锰也是硬铝的主要成分，主要作用是消除铁对抗蚀性的不利影响，还能细化晶粒、加速时效硬化。在硬铝合金中，铜、硅、锰等合金元素能形成固溶于铝的化合物，从而促进硬铝合金热处理强化。

退火状态下硬铝的抗拉强度为160~220MPa，经过淬火及时效处理后抗拉强度增加至312~460MPa。但硬铝的耐蚀性能差。为了提高合金的耐蚀性，常在硬铝板表面覆盖一层工业纯铝的保护层。

b. 超硬铝。合金中锌、镁、铜的平均总含量可达9.7%~13.5%，在当前航空航天工业中仍是强度最高（抗拉强度达500~600MPa）和应用最多的一种轻合金材料。超硬铝的塑性和焊接性差，接头强度远低于母材。由于合金中锌含量较多，形成晶间腐蚀及焊接热裂纹的倾向较大。

c. 锻铝。锻铝具有良好的热塑性（原代号LDxx）。其铜含量越少热塑性越好，适于作铝合金锻件用。具有中等强度和良好的抗蚀性，在工业中得到广泛的应用。

铝及铝合金的新旧牌号对照见表1-2。

表1-2 铝及铝合金的新旧牌号对照表

类别	新牌号	旧牌号	类别	新牌号	旧牌号
工业纯铝	1070 (1070A)	L1	特殊铝合金	4A01	LT1
	1060	L2		4A13	LT13
	1050 (1050A)	L3		4A17	LT17
	1035	L4		5A41	LT41
	1100	L5-1		5A66	LT66
	1200	L5			

续表

类别	新牌号	旧牌号	类别	新牌号	旧牌号
防锈铝合金	—	LF1	锻铝合金	6A02	LD2
	5A02	LF2		2A50	LD5
	5A03	LF3		2B50	LD6
	5A05	LF5		2A70	LD7
	5A06	LF6		2A80	LD8
	5B05	LF10		2A90	LD9
	5083	LF4		2A14	LD10
	5056	LF5-1		6061	LD30
	3A21	LF21		6063	LD31
	3003	—			
硬铝合金	2A01	LY1	超硬铝合金	7A03	LC3
	2A02	LY2		7A04	LC4
	—	LY3		—	LC5
	2A04	LY4		7A09	LC9
	2A06	LY6		7A10	LC10
	2B11	LY8		7003	LC12
	2B12	LY9			
	2A10	LY10			
	2A11	LY11			
	2A12	LY12			
	2A13	LY13			
	2A16	LY16			
	2A17	LY17			

铝锂 (Al-Li) 合金是近代铝合金的一个重大发展。这些低密度的铝锂合金是为了取代常规铝合金, 减轻飞机质量, 节约燃料而开发的。用铝锂合金替代常规铝合金可使结构质量减轻 10% ~ 15%, 刚度提高 15% ~ 20%, 适于用作航空航天结构材料。20 世纪 70—80 年代, 能源危机给航空业带来的压力推动了铝锂合金的发展, 提出用新的 Al-Li 合金取代传统高强度 2000 和 7000 系列铝合金的目标。80 年代以后又开发了高强度的 Al-Li-Cu 和 Al-Li-Cu-Mg 合金系并获得应用。

(2) 铝合金的性能及应用。

铝及其合金具有独特的物理化学性能。铝具有许多优良的品质, 包括密度小、塑性好、易于加工、抗腐蚀性好等。在空气或硝酸中, 铝表面会形成致密的氧化铝薄膜, 可保护内部不受氧

化。铝的导电率高、导电性好，仅次于金、银、铜，居第4位。

铝具有面心立方结构，无同素异构转变，无“延-脆”转变，因而具有优异的低温韧性，在低温下能保持良好的力学性能。铝及铝合金塑性好，可以承受各种形式的压力加工，很容易加工成形，它可用铸造、轧制、冲压、拉拔和滚轧等各种工艺方法制成形状各异的制品。铝及铝合金容易机械加工，且加工速度快，这也是铝制品零部件得到大量应用的重要因素之一。

经过冷加工变形后铝的强度增高，塑性下降。当铝的变形程度达到60%~80%时，抗拉强度可达150~180MPa，而伸长率下降至1%~1.5%。因此可以通过冷作硬化方法来提高铝的强度性能。经过冷作硬化的铝材，在250~300℃的温度区间可以引起再结晶过程，使冷作硬化消除。铝的退火温度为400℃，经过处理的铝称为退火铝或软铝。

铝及铝合金还具有优异的耐腐蚀性能和较高的比强度（强度/密度）。与各种金属相比，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，表面生成的难熔氧化铝比较致密，从而保护铝材不被继续氧化。

工业纯铝主要用于不承受载荷，但要求具有某种特性（如高塑性、良好的焊接性、耐腐蚀性或高的导电、导热性等）的结构件，如铝箔用于制作垫片及电容器，其他半成品用于制作电子管隔离罩、电线保护套、电缆线芯、飞机通用零件、日用器具等。高纯铝主要用于科学研究、化学工业及其他特殊用途。

防锈铝（铝锰合金、铝镁合金）主要用于要求高的塑性和焊接性、在液体或气体介质中工作的低载荷零件，如油箱、汽油或润滑油导管、各种液体容器和其他深拉制作的小负荷零件等。铝及铝合金被广泛应用于航天、建筑、汽车、机械制造、电工、化工、商业等领域。铝合金在飞机制造中是主要的结构材料，它约占飞机骨架重量的55%，而且大部分关键部件，如涡轮发动机轴向压缩机叶片、机翼、骨架、外壳、尾翼等是由铝合金制造的。

1.1.2 铝及铝合金的焊接性

虽然现在已经应用铝及铝合金焊接许多重要产品，但由于铝及铝合金所具有的独特物理化学性能，给焊接带来了一系列的困难。总的来说，纯铝和非热处理强化的变形铝合金焊接性良好，只是热处理强化的铝合金焊接性稍差。

铝及铝合金的焊接性具体表现如下几点。

(1) 极易氧化。

铝和氧的化学结合力很强，极易生成一层氧化铝 (Al_2O_3) 薄膜包裹在熔滴表面和覆盖在熔池表面，这层氧化铝对焊接有很大的影响。

①氧化铝的熔点高达 $2\,050^\circ\text{C}$ ，远超过了铝及铝合金的熔点 (约 660°C)，而且致密，它覆盖在熔池表面妨碍焊接过程的正常进行。

②氧化铝妨碍金属之间的良好结合，易产生未熔合、未焊透缺陷。

③氧化铝的密度比铝及铝合金的密度大 (约为铝合金的 1.4 倍)，不易从熔池中浮出，容易在焊缝中造成夹渣。

④氧化铝还会吸附水分，焊接时会促使焊缝生成气孔。

⑤此外，氧化铝电子逸出功低，易发射电子，使电弧飘移不定而不稳定。

(2) 容易产生气孔。

铝及铝合金熔化焊时，气孔是焊缝中另一种最常见的焊接缺陷，尤其是纯铝和防锈铝熔化焊时更容易产生。铝合金焊接时产生的主要气孔是氢气孔，一般不会产生氮气孔、一氧化碳气孔和氧气孔。

氢在高温时能过饱和地溶于液态铝，但几乎不溶于固态铝，结晶过程中大量的氢要从熔池中析出。如果在结晶过程中氢来不及从熔池中析出，大量低氢形成气泡，并且气泡长大，结晶前又来不及从熔池中逸出，便在焊缝中形成气孔。

由于铝及铝合金的比重轻，气泡在熔池里浮升速度较慢，加

上铝的导热性很强，熔池凝固快，不利于气泡浮出，故铝及铝合金焊接时易产生气孔。

(3) 热裂倾向。

①铝及铝合金焊接时一般不会产生冷裂纹。

②纯铝及非热处理强化铝合金焊接时很少产生裂纹。

③热处理强化铝合金和高强度铝合金焊接时，热裂倾向比较大，尤其是高强铝合金焊接时更为常见。

(4) 需采用大焊接热输入。

铝及铝合金的导热系数、热容量都比钢大（其导热系数为钢的2~4倍），在焊接过程中大量的热能被迅速传导到基体金属内部，因此，焊接时比钢的热损失大，需要消耗更多的热量，若要达到与钢相同的焊接速度，则焊接热输入需钢的2~4倍。

为了获得高质量的焊接接头，必须采用能量集中、功率大的强热源进行焊接。厚大件需要采用预热等工艺措施。

(5) 易烧穿和下塌。

由于铝及铝合金高温强度低，且从固态转变为液态时，没有明显颜色变化，这给操作者带来不少困难，焊接时不容易判断熔池温度，确定接缝的坡口是否熔化，常因温度过高引起熔池金属的下塌或下漏烧穿。

(6) 易变形。

铝及铝合金的导热性强而热容量大，焊接时容易变形。

(7) 合金元素易蒸发和烧损。

铝合金中一般含有低沸点合金元素如镁、锌、锰等，在焊接电弧的高温作用下，极易蒸发和烧损，从而改变了焊缝金属的化学成分和性能。为此要注意焊丝的选择。选用能补充镁、锌、锰等合金元素的焊丝。

(8) 接头的“不等强”性。

铝及铝合金焊接后，接头的强度和塑性比母材差的现象称接头的“不等强”性。

铝及铝合金在多层焊时，由于没有同素异构转变，焊缝性能

不仅得不到改善,还可能发生缺陷的积累,特别是在层间温度过高时,甚至可能促使出现热裂纹。一般来说,焊接热输入越大,焊缝性能下降的趋势也越大。

对于热影响区,无论是非热处理强化铝合金或热处理强化铝合金,主要表现为强化效果的损失,即软化。

①非热处理强化铝合金(如Al-Mg合金)应在退火状态下焊接。

②热处理强化铝合金(除Al-Zn-Mg合金外)无论是在退火状态还是时效状态下焊接,焊后不经热处理,其接头强度均低于母材。

1.2 铜及铜合金的材料及焊接性

1.2.1 铜及铜合金的种类、牌号及性能

铜及铜合金以它独特而优越的综合性能,得到广泛的应用。铜具有优良的导电性能、导热性能、抗腐蚀性能以及非常好的加工成型性能,某些铜合金还兼有较高的强度和耐磨性能。因此,铜及铜合金在电气、电子、化工、机械、造船、制氧、酿造、动力、交通及航空、航天、兵器等工业中都得到了广泛的应用。

根据表面颜色及化学成分,铜及其合金可以分为紫铜、黄铜、青铜及白铜四大类;按照使用时的状态或成型的方法,铜及铜合金又可分为铸造铜和加工铜两大类,而且除了合金含量较高的高锡青铜、高硅青铜和高铅青铜外,大部分铜及铜合金都是既可作为铸造铜,又可作为加工铜来使用。

(1) 紫铜。

紫铜即纯铜,是铜含量不低于99.5%的工业纯铜,因表面颜色为紫红色而得名。它具有极好的导电性和导热性,良好的常温 and 低温性能,对大气、海水及某些化学药品都具有良好的耐腐蚀性。紫铜的强度和硬度较低,冷变形对紫铜力学性能影响很大,可以提高其强度和硬度,但塑性会明显下降。用550~600℃退火可以消除冷加工硬化,恢复塑性。紫铜在400~700℃的高温下,

强度和塑性都会显著降低,因此在热加工时应引起足够的重视。

紫铜的性能与其所含杂质的成分和数量有关,杂质是在纯铜冶炼过程中带入的,所有的杂质都会在一定程度上降低铜的导电性,其中以磷最为显著,但磷却是铜及铜合金的一个良好的脱氧元素,用磷脱氧的纯铜称为磷脱氧铜,可用于制造重要的焊接结构。杂质中的硫、氧、铅、铋等元素还能与铜形成各种脆性化合物和低熔点共晶,增大紫铜的冷脆性和焊接接头产生热裂纹的倾向。所以要求工业纯铜的杂质含量不得超过一定数量,纯铜等级的划分就是取决于杂质元素的含量。

根据纯铜中氧含量的不同,可将纯铜分为普通工业纯铜(T1、T4)和无氧铜(磷脱氧铜TUP、TUPn和无氧铜TU1、TU2)。普通工业纯铜的氧含量在0.02%~0.1%之间,磷脱氧铜(以磷、锰、硅等元素作为脱氧剂)的氧含量在0.01%以下,用高纯度纯铜经真空熔炼后而得到的无氧纯铜,其氧含量在0.003%以下。

紫铜的牌号、成分及性能见表1-3、表1-4。

表1-3 紫铜的牌号及成分

类别	牌号	主要成分(质量分数)(%)			用 途
		Cu	P	Mn	
纯铜	T1	99.95	余量	余量	电线、电缆、雷管
	T2	99.90	余量	余量	导电用铜材、冷凝管
	T3	99.70	余量	余量	一般用铜材,如开关、散热片
	T4	99.50	余量	余量	一般用铜材,如输气管道等
无氧铜	TU1	99.97	余量	余量	电真空器件用铜件
	TU2	99.95	余量	余量	电真空器件用铜件
	TUP	99.50	0.01~0.04	余量	焊接用铜材
	TUMn	99.60	余量	0.1~0.3	电子管的脚栅及支杆

表1-4 紫铜的力学性能

状态	抗拉强度(MPa)	伸长率(%)	断面收缩率(%)	冲击韧性(J/cm ²)	硬度(HB)
软态	196~235	50	75	175	35
硬态	392~490	6	36	—	120

(2) 黄铜。

黄铜是由铜和锌组成的二元铜合金，它的颜色随含锌量的增加由红黄色变成淡黄色。黄铜的强度、硬度、耐腐蚀性能和铸造性能都比紫铜高，并能进行冷、热加工，价格也比紫铜便宜，因此作为结构材料在工业上得到更广泛的应用。

在普通黄铜中加入少量的锡、锰、铅、硅、铝、镍、铁等元素，构成特殊黄铜，如锡黄铜、锰黄铜、铅黄铜、硅黄铜、铝黄铜、镍黄铜和铁黄铜等，可以使力学性能、耐腐蚀性能和工艺性能进一步提高。

经过冷加工（如冲压、弯曲）或焊接后的黄铜，必须进行退火，以消除应力，防止产生应力腐蚀裂纹。一般退火温度为300~400℃。

黄铜根据工艺性能、力学性能和用途不同，可分为压力加工黄铜和铸造黄铜两大类。常用加工黄铜、铸造黄铜的牌号及成分见表1-5，几种黄铜的性能见表1-6。

表1-5 常用加工黄铜、铸造黄铜的牌号及成分

类别		牌号	主要元素成分（质量分数）（%）			用 途
			Cu	Zn	其他	
压力加工黄铜	普通黄铜	H68	67.0 ~ 70.0	余量	—	弹壳、冷凝器等深冲件
		H62	60.5 ~ 63.5	余量	—	散热器、垫圈、弹簧、船舶零件等
		H59	57 ~ 60	余量	—	机械、电器零件、焊接件、冷冲压件等
	铅黄铜	HPb63-3	62.5 ~ 65.0	余量	Pb: 2.4 ~ 3.0	钟表、汽车、拖拉机、一般机械零件
		HPb61-1	59.0 ~ 61.0	余量	Pb: 0.6 ~ 1.0	结构零件
		HPb59-1	57.0 ~ 60.0	余量	Pb: 0.8 ~ 1.9	热冲压及切削加工零件，如管嘴、垫圈、螺钉、销子等
	锡黄铜	HSn90-1	88.0 ~ 91.0	余量	Sn: 0.25 ~ 0.75	汽车、拖拉机弹簧套盒等
		HSn62-1	61.0 ~ 63.0	余量	Sn: 0.7 ~ 1.1	船舶、热电厂中高温耐腐蚀冷凝器管

续表

类别		牌号	主要元素成分（质量分数）（%）			用 途
			Cu	Zn	其他	
压力加工黄铜	锡黄铜	HSn60-1	59.0 ~ 61.0	余量	Sn: 1.0 ~ 1.5	与海水和汽油接触的船舶零件
	铝黄铜	HA167-2.5	66.0 ~ 68.0	余量	Al: 2.0 ~ 3.0 Fe: 0.6 Pb: 0.5	船舶冷凝器及其他耐蚀零件
		HA160-1-1	58.0 ~ 61.0	余量	Al: 0.7 ~ 1.5 Fe: 0.7 ~ 1.5 Mn: 0.1 ~ 0.6	齿轮、衬套、轴及其他耐蚀零件
		HA159-3-2	57.0 ~ 60.0	余量	Al: 2.5 ~ 3.5 Ni: 2.0 ~ 3.0 Fe: 0.5	船舶电机等常温下工作的高强度耐蚀零件
铸造黄铜	ZCuZn38（ZH62）	60.0 ~ 63.0	余量	—	—	法兰、阀座、支架、手柄和螺母等
	ZCuZn25Al6Fe3Mn3（ZHA166-6-3-2）	60.0 ~ 66.0	余量	Al: 4.5 ~ 7.0 Fe: 2.0 ~ 4.0 Mn: 1.5 ~ 4.0	—	高强度、耐磨零件，如大型蜗杆配件、衬套、轴承、桥梁支撑板等
	ZCuZn38Mn2Pb2（ZHMn58-2-2）	57.0 ~ 65.0	余量	Pb: 1.5 ~ 2.5 Mn: 1.5 ~ 2.5	—	轴承、衬套和其他耐磨零件
	ZCuZn40Mn3Fe1（ZHMn55-3-1）	53.0 ~ 58.0	余量	Mn: 3.0 ~ 4.0 Fe: 0.5 ~ 1.5	—	耐海水腐蚀零件，300 以下工作的管配件，如船舶螺旋桨等大型铸件
	ZCuZn16Si4（ZHSi80-3）	79.0 ~ 81.0	余量	Si: 2.5 ~ 4.5	—	铸造配件、齿轮等

表 1-6 几种黄铜的性能

牌号	状态	力学性能			物理性能			
		σ_b (MPa)	δ (%)	硬度 (HB)	密度 (g/cm ³)	熔点 (℃)	导热系数 (W/mK)	线胀系数 (10 ⁻⁶ /K)
H68	软态	313.6	55	—	8.5	932	117.04	19.9
	硬态	646.8	3	150				
H62	软态	323.4	49	56	8.43	905	108.68	20.6
	硬态	588	3	164				
ZHSi80-3	砂模	245	10	100	8.3	900	41.8	17.0
	金属模	294	15	110				
ZHA166-3-1	砂模	588	7	—	8.5	899	49.74	19.8
	金属模	637	7	160				