

中国铸造协会

铸造专业系列教材
铸造工程师认证培训用书

铸造非铁合金 及其熔炼

唐靖林 曾大本 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑 王小英 曹 阳
加工编辑 曹 阳
版式设计 孟繁蓓
E-mail: cy@waterpub.com.cn

铸造工艺学

特种铸造

造型材料

灰铸铁、球墨铸铁及其熔炼

铸钢及其熔炼

● 铸造非铁合金及其熔炼

铸造设备

铸造企业管理

ISBN 978-7-5084-4850-3



9 787508 448503 >

定价: 48.00 元

中国铸造协会

铸造专业系列教材
铸造工程师认证培训用书

铸造非铁合金 及其熔炼

唐靖林 曾大本 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书由绪论、铸造铝合金及其熔炼、铸造镁合金及其熔炼、铸造铜合金及其熔炼、铸造锌合金及其熔炼、铸造轴承合金等内容组成,从冶金学角度阐述了非铁合金的组织结构、性能、制备、质量控制及相关生产技术。根据教学大纲要求,内容选取和编排时尽可能结合了近年来国内外铸造非铁合金的生产实际及发展,力求做到突出实用性,以便于系统学习和掌握非铁合金相关知识,提高分析和解决生产实际问题的能力。

作为铸造工程师认证培训用书,本书可作为普通高等学校和大专院校铸造专业课程教材,还可供机械工程、冶金专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铸造非铁合金及其熔炼 / 唐靖林, 曾大本编. —北京:
中国水利水电出版社, 2007
(铸造专业系列教材)
铸造工程师认证培训用书
ISBN 978-7-5084-4850-3

I. 铸… II. ①唐…②曾… III. 铸造合金—熔炼—高等
学校—教材 IV. TG136

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 108410 号

书 名	铸造专业系列教材 铸造工程师认证培训用书 铸造非铁合金及其熔炼
作 者	唐靖林 曾大本 编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 19 印张 450 千字
版 次	2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—3100 册
定 价	48.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

“铸造”是一种既经济又便捷的金属成形工艺。无论过去、现在还是将来，铸造都是机械制造业的重要组成部分，它对社会进步和经济发展始终起着重要的作用。

我国的铸造业不仅历史悠久，而且在 21 世纪初，铸件产量已连续 4 年跃居世界第一位，已成为名副其实的铸造大国。然而铸造大国并不就是铸造强国。目前，我国铸造技术水平与发达国家相比仍存在不小的差距，主要表现在铸件质量较差、铸件产品构成落后、企业专业化程度低、绿色环境意识和可持续发展观念不强等方面。究其根本原因，在于人才素质与现代铸造要求不相适应。可以说，没有我国铸造专业人才素质的全面提高，就不会有我国现代铸造技术的进步和发展。

培养专业人才，教育要先行，教材是基础。以往，铸造专业教学及培训用教材大都是 20 世纪 80 年代末编印的，已不能适应培养现代铸造技术人才的需求，因此，编写出版新教材的工作已成为当务之急。同时，为开展铸造工程师的认证工作，也需要一套适用的考试用书。有鉴于此，中国铸造协会主动担起这一重任，并于 2004 年制订了“铸造专业人才教育培训和教材建设规划”，设立“教育培训专项基金”，组织和邀请国内知名铸造专家、学者编写铸造专业培训系列教材，首批入选规划的教材包括《铸造工艺学》、《造型材料》、《特种铸造》、《灰铸铁、球墨铸铁及其熔炼》、《铸钢及其熔炼》、《铸造非铁合金及其熔炼》、《铸造设备》、《铸造企业管理》共 8 本专业教程。

以上教材都是为了在 21 世纪之初，满足我国铸造专业人才教育培训的迫切需要而优先规划并出版的，这批教材的编写既要从国情出发，又要面向世界、面向未来；既要保证基础性、实用性，又要突出新颖性；要体现本专业的 new 面貌、新特点，反映学科前沿，培养创新意识和创新精神。总之，应按精品教材的高标准来完成，希望这套铸造专业系列教材的问世，能够开创我国铸造专业技术培训的新局面，加速铸造队伍的专业水平和整体素质的提高，并为我国铸造行业的新发展作出贡献。

本套系列教材适用于大学、大专层次的铸造专业教学用书，也是铸造工程师认证的培训用书，同时亦可供从事铸造生产的管理与技术人员和其他相关专业技术人员参考。

郭树言

2005 年 10 月

前 言

铸造非铁合金是广泛应用的铸造金属材料，在现代社会发展中占据着十分重要的地位。随着材料科学的发展及冶金技术的提高，铸造非铁合金产量不断增长，应用范围日益广泛。我国是铸造非铁合金的生产大国，生产和技术人员了解和掌握铸造非铁合金的基础理论、冶金原理及实用技术，对促进我国非铁合金的发展具有重要的现实意义。

本书从冶金学角度阐述了非铁合金的组织结构、性能、制备、质量控制及相关生产技术。根据教学大纲要求，本书在内容选取和编排时尽可能结合了近年来国内外铸造非铁合金的生产实际及发展，力求做到突出实用性，以便于系统学习和掌握非铁合金相关知识，提高分析和解决生产实际问题的能力。

本书由绪论、第一章“铸造铝合金”、第二章“铸造铝合金的熔炼”、第三章“铸造镁合金”、第四章“铸造镁合金的熔炼”、第五章“铸造铜合金”、第六章“铸造铜合金的熔炼”、第七章“铸造锌合金及其熔炼”及第八章“铸造轴承合金”组成。其中，第一章、第二章、第五章、第六章由清华大学曾大本编写；第三章、第四章、第七章由清华大学唐靖林编写；第八章由清华大学汤彬编写。全书由唐靖林统稿，由北京航空航天大学陈冰教授审稿。在此，对陈冰教授在审稿过程中付出的辛勤劳动致以崇高的敬意和衷心的感谢。

本书没有包括铸造钛合金的内容。虽然钛合金铸件在航空航天及军事工业有广泛的应用，但其仍属一个专门的应用领域。鉴于已有多种相关专著问世，限于篇幅，钛合金不在本书讨论之列，敬请读者谅解。

在本书编写和出版过程中，清华大学姜不居教授和雷霆高级工程师自始至终予以了热情的关注，并做了大量的前期组织和联络工作，在此向她们表示感谢。本书的编写和出版还得到了中国水利水电出版社及相关编辑的鼎力支持，他们严谨的工作态度和忘我的工作精神让编者深感敬佩。

在本书编写过程中，编者参阅并引用了大量的文献。这些文献不仅丰富和充实了教材内容，也令编者受益匪浅，在此谨向文献的作者致以深深的谢意。

由于编者水平所限，书中不当和错误之处，竭诚希望读者不吝批评指正。

编 者

2007年5月于清华园

目 录

序 前言

绪 论

第一章 铸造铝合金

第一节 铸造铝合金的分类及牌号	3
第二节 铸造铝合金的显微组织	6
一、初生 α 相的形成	6
二、铝硅类合金	7
三、铝铜类合金	21
四、铝镁类合金	29
五、铝锌类合金	32
第三节 铝铸件的热处理	34
一、热处理工艺分类及状态代号	34
二、热处理常用规范	37
三、热处理常见缺陷及其防止	41
第四节 铸造铝合金的性能	42
一、力学性能	42
二、铸造性能	52
三、其他性能	58
第五节 铸造铝合金的特点和应用	62
思考题	66

第二章 铸造铝合金的熔炼

第一节 熔炼过程的冶金学原理	67
一、铝合金液的吸气	67
二、铝液的氧化	70
三、铝液中的夹杂物	71
四、铝液精炼的动力学分析	73
第二节 熔化及熔体处理	75

一、熔炼炉	75
二、熔炼工艺流程	78
三、熔炼前的准备	78
四、铝合金液的精炼净化	85
五、晶粒细化和变质处理	95
第三节 铝合金质量的控制	102
一、铝液质量的评价	102
二、铝液质量的检测方法	104
第四节 典型熔炼工艺	107
思考题	110

第三章 铸造镁合金

第一节 镁的合金化	111
一、镁的物理冶金基础	111
二、合金元素的作用	115
第二节 镁合金的分类及其牌号	118
一、镁合金分类	118
二、铸造镁合金牌号	119
第三节 铸造镁合金的热处理	123
一、热处理工艺概述	123
二、热处理工艺参数	124
三、热处理缺陷及其防止	127
第四节 铸造镁合金的组织	127
一、镁-铝系合金	127
二、镁-锌系合金	133
三、镁-稀土系合金	135
第五节 铸造镁合金的性能	137
一、力学性能	137
二、物理性能	144
三、工艺性能	146
四、抗腐蚀性能	147
思考题	148

第四章 铸造镁合金的熔炼

第一节 熔炼过程中的冶金原理	150
一、镁的物理化学特性	150
二、合金组元之间的作用	154

三、镁合金熔炼的特点	156
第二节 镁合金熔炼设备	157
一、预热和投料设备	157
二、熔炼设备	158
三、熔体传输及定量浇铸	160
四、熔炼设备安全操作及维护	161
第三节 熔炼前的准备	161
一、原材料与回炉料	161
二、中间合金	163
三、工艺用辅助材料	164
四、熔炼设备和工具的准备	170
五、熔炼作业现场的准备	171
第四节 镁合金熔炼工艺流程	171
一、烘炉和洗炉	171
二、配料	171
三、熔炼	173
四、浇铸	175
五、清炉	176
第五节 镁合金熔体的阻燃及防氧化	176
一、熔剂保护	176
二、气体保护	177
三、阻燃合金	182
第六节 镁合金熔体处理	183
一、熔体精炼	183
二、晶粒细化和变质处理	192
第七节 镁合金废料回收与再生	196
一、镁合金废料分类	196
二、镁合金废料回收工艺	196
三、再生镁的质量	199
第八节 镁合金生产安全	199
一、镁合金生产中事故发生的原因	200
二、镁合金熔炼安全要领	200
三、镁合金生产安全防护措施	202
思考题	203

第五章 铸造铜合金

第一节 铸造铜合金分类及其牌号	204
-----------------------	-----

一、铸造铜合金分类	204
二、铸造铜合金牌号和标准	204
第二节 铸造青铜	209
一、铸造锡青铜	209
二、铸造铝青铜	213
三、铸造铅青铜	216
四、铸造铍青铜	217
五、青铜的特性和应用	217
第三节 铸造黄铜	220
一、铜-锌二元黄铜	220
二、多元黄铜	222
三、黄铜的特性和应用	223
第四节 铸造白铜	224
一、成分、组织、性能	224
二、特点和应用	226
第五节 艺术铸造铜合金	227
一、青铜	227
二、黄铜	230
三、白铜	230
四、铍铜合金	232
五、仿金铜合金	232
思考题	234

第六章 铸造铜合金的熔炼

第一节 熔炼原理	235
一、铜合金的氧化和脱氧	235
二、铜液的吸气、除气	237
第二节 铜合金熔剂和脱氧剂	240
一、覆盖熔剂	240
二、精炼熔剂	240
三、氧化性熔剂和脱氧剂	242
第三节 熔炼工艺	243
一、工艺要点	243
二、中间合金的制备	248
三、熔炼工艺举例	249
第四节 铜合金液质量的控制	252
一、炉前检验	252

二、质量管理	254
思考题	256

第七章 铸造锌合金及熔炼

第一节 铸造锌合金	257
一、铸造锌合金概述	257
二、锌合金的分类、牌号和成分	258
三、铸造锌合金的显微组织	260
四、锌合金的热处理	263
五、铸造锌合金的性能	264
第二节 铸造锌合金熔炼	267
一、熔炼过程的冶金现象	267
二、熔炼材料	268
三、熔炼设备	268
四、熔炼工艺	269
五、熔体处理	269
思考题	270

第八章 铸造轴承合金

第一节 铸造轴承合金的成分和性能	271
一、轴承合金的成分	271
二、常用轴承合金的性能	271
第二节 锡基和铅基轴承合金	274
一、锡基轴承合金	274
二、铅基轴承合金	278
三、锡基和铅基轴承合金的熔铸	281
第三节 铜基轴承合金	283
一、国内外牌号对照	283
二、组织特点	283
三、性能特点	285
四、应用	286
五、铜基轴承合金的熔铸	287
六、铜基轴承合金的铸造缺陷分析	287
第四节 铝基轴承合金	288
一、国内外牌号对照	288
二、组织特点	289
三、性能特点	289

四、应用	290
五、铝锡轴承合金的熔铸	290
思考题.....	292
参考文献	293

绪 论

铸造是制造业的基础,汽车、电力、矿山、纺织、机床、航天、航空、国防及人们的日常生活,如建筑五金、家用器具等都离不开铸件。铸件的品种、产品质量、生产规模,直接影响着国民经济各部门、各行业的发展。铸件生产对资源和能源的消耗以及环境保护等方面也有着重大影响。因此,工业发达国家都非常重视铸件的生产。

现代化产品,以强度高、重量轻的合金为首选材料。铸造铝、镁合金是较为年轻的铸造非铁金属,具有资源丰富(铝约占地壳质量的8.8%,镁约占地壳质量的2.35%)、密度小、比强度高等一系列优良的性能,是应用广泛的轻质材料。铝的使用历史至今还不到150年,由于历史原因我国铸铝工业起步较晚,中华人民共和国成立后才获得了蓬勃发展。我国现有的铸造铝合金国家标准牌号已达四大类26个品种,其年产量已远远超过其他所有非铁合金的总和。在工业应用的铸造金属材料中,铸造镁合金的密度最小,于20世纪初在航空、汽车工业开始应用。我国铸造镁合金也是伴随着国防工业发展需求在20世纪50年代后才逐渐发展起来的。随着加工技术的逐渐成熟及价格的大幅度下降,铸造镁合金开始应用于以汽车为代表的民用工业。近年来,铸造镁合金的用量在全球范围内正以较高的速度增长,其增长速度已远远超过其他非铁金属材料。铸造铝合金和铸造镁合金现已成为我国国防建设及工农业生产不可缺少的铸造合金材料。虽然我国铝合金、镁合金铸件的产量逐年增长,但仍赶不上发达工业国家的上升速度。据统计,2005年我国铸件年产量相当于美国、日本、德国年产量之和。但我国铝铸件、镁铸件产量仅占我国铸件总产量7.7%,而美国、日本、俄罗斯三国铝合金、镁合金铸件产量则分别占铸件总产量的16.9%、22.2%、13%。由于节能、环保已成为全球的关注点,特别是汽车类产品及各种运载工具的轻量化已成为全球发展的必然趋势,铝、镁铸造合金必将有更大的发展空间。

我国铜合金铸造历史悠久,在人类历史长河中曾经扮演了十分重要的角色。从殷商进入青铜时期开始,至商末周初青铜铸造已逐渐发达,春秋战国时期青铜铸造已趋于鼎盛。根据考古发现,我国早期的青铜铸造可以追溯到夏朝,继而在各个时期都留下了许多杰作,例如,商朝的司母戊大方鼎、四羊方尊,西周早期的凤纹卣,春秋战国时期楚曾国的编钟、曾侯乙尊、曾侯乙盘、越王勾践剑及铜镜、铜币、铜钟和铜鼓,秦始皇时期的青铜马车,西汉时期的透光镜,以及明代喷水鱼洗和龙洗,都充分显示出我国历代青铜铸造的精湛技艺,同时也说明我国在合金化、熔炼技术及铸型工艺等方面已远远走在同时代世界各个国的前列。我国也是使用黄铜历史最早的国家之一,建于武当山的铸造黄铜金殿可称为黄铜铸造的代表作。但到了20世纪40年代末,我国历史悠久、曾经辉煌的铸铜业已处于百废待兴状态。直至中华人民共和国成立后,我国铸铜业才得以重新振兴并迅速发展,铸造铜合金的内涵也随之发生了非常大的变化。目前,铸造铜合金作为结构和艺术装饰材料已发展至多个系列、数十个品种,成为军事工业、民用工业及艺术装饰的重要铸造合金

材料。

铸造锌合金、铸造巴氏合金的生产历史较长。前者主要适于压力铸造或重力铸造，主要有仪表合金、阻尼合金、耐磨合金等，用于汽车、拖拉机及机电产品部件，也用于模具、装饰工艺品及玩具等制造。后者主要指锡基合金和铅基合金，是典型的减磨合金，主要用于制造双金属轴瓦。我国是锌资源最丰富的国家，储量占世界总储量的46%，具有广阔的发展潜力和前景。

目前，我国已发展为一个铸造大国，铸件总产量已连续6年居世界首位。但与此同时，我国铸造业也面临着许多急待解决的问题，例如，铸件质量差、单位产量的能耗和材料消耗高、环境污染严重、无序竞争、研发能力差等。我国非铁合金铸造也如此，以整体水平论，在生产规模、工艺技术水平、能耗比、铸件品级、废品率、成本控制及环保等方面与世界发达国家相比仍存在较大差距，任重而道远。

我国非铁金属资源丰富，全球范围内的巨大需求为我国非铁合金铸造提供了广阔的发展空间。但是，如上所述，我国非铁合金铸造行业也面临着巨大的挑战。我国非铁合金铸造业必须及早摆脱以牺牲能源、牺牲环境为代价的生产现状，要在现有基础上尽早实现可持续发展，进而提高国际竞争力，最终使我国逐渐发展为世界非铁金属铸造强国。要实现上述目标，除了要尽快解决非铁合金铸造企业的体制问题之外，必须主抓两方面的工作：一方面是抓企业的技术进步和自主创新，提高铸件质量；另一方面是抓节能减排、清洁生产，在铸造企业建立循环经济，促进企业经济效益和社会效益的增长。在主要靠企业自身努力的基础上，还要积极争取国家的重视和各方面政策的支持，以开创我国非铁金属铸造工业发展的新局面。

展望未来，非铁合金铸造具有广阔的应用和发展前景。许多非铁金属元素蕴藏量丰富，而且非铁合金具有特殊而优良的综合性能，已经成为现代工业不可缺少的结构件材料和装饰材料，在社会经济建设中显现出越来越重要的作用。随着冶炼技术及能力的提高，主要非铁金属价格也将随之降低，其产量会不断增长；随着高性能铸造非铁合金不断研制成功，其应用范围也在不断扩大，从而会进一步促进非铁合金铸造生产的发展。

第一章 铸造铝合金

铝是非铁金属中最常用的金属，在自然界中分布广泛，约占地壳质量的 8.8%。在金属材料的应用中铝材仅次于钢铁而居第二位，2006 年世界原铝年产量达 $2386.5 \times 10^4 \text{t}$ ，远远超过其他非铁金属的总和。

纯铝 20℃ 时密度为 2.699g/cm^3 ，有良好的导电和导热性能。纯铝表面因有一薄层致密的氧化膜保护，在大气、淡水及氧化性酸类介质中有良好的抗腐蚀性能。另外，纯铝有良好的塑性、无低温脆性、无磁性，且易回收再生。但纯铝的抗拉强度低 ($\sigma_b = 80 \sim 100 \text{MPa}$)，不宜用于制造结构件，主要用于制造电缆电线、电工元器件和生活器皿等。近年来，用工业纯铝铸造水冷结晶器和其他要求导热性良好的零件受到重视。

在纯铝中加入适量的其他金属或非金属元素，从而获得多种适于铸造和压力加工的铝合金。这些合金不仅能保持纯铝的基本特性，而且比强度优于球墨铸铁、碳素钢及铜合金，具有良好的综合性能，因而在交通运输、飞行器、建筑材料、运动器械及家用电器和器具等方面应用广泛。铸造铝合金是用途最多的铸造合金之一。

本章主要介绍不同合金系的铸造用铝合金的成分、组织、性能的特点以及其应用。结合基本合金系的状态图，分析合金凝固组织的形成及添加合金元素和热处理工艺对铝合金铸件组织和性能的影响，从而为正确选用铸造铝合金及优化工艺提供必要的理论基础。

第一节 铸造铝合金的分类及牌号

铸造用的铝合金主要是由 Al-Si、Al-Cu、Al-Mg 和 Al-Zn 四个二元基本合金系，以及在此基础上再添少量其他元素形成的多元合金系组成的。

按国家标准《铸造铝合金》(GB/T 1173—1995)，铸造铝合金共有 26 个合金牌号，其中：Al-Si 合金系 15 个、Al-Cu 合金系 6 个、Al-Mg 合金系 3 个和 Al-Zn 合金系 2 个。铸造铝合金牌号、化学成分，以及杂质允许含量分别见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 铸造铝合金牌号及其化学成分 (摘自 GB/T 1173—1995)

合金牌号	合金代号	主要化学成分 (%)							
		Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	其他	Al
ZAISi7Mg	ZL101	6.5~7.5	—	0.25~0.45	—	—	—	—	余量
ZAISi7MgA	ZL101A	6.5~7.5	—	0.25~0.45	—	—	0.08~0.20	—	余量
ZAISi12	ZL102	10.0~13.0	—	—	—	—	—	—	余量
ZAISi9Mg	ZL104	8.0~10.5	—	0.17~0.35	—	0.2~0.5	—	—	余量
ZAISi5Cu1Mg	ZL105	4.5~5.5	1.0~1.5	0.4~0.6	—	—	—	—	余量
ZAISi5Cu1MgA	ZL105A	4.5~5.5	1.0~1.5	0.4~0.55	—	—	—	—	余量

续表

合金牌号	合金代号	主要化学成分(%)							
		Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	其他	Al
ZAlSi8Cu1Mg	ZL106	7.5~8.5	1.0~1.5	0.3~0.5	—	0.3~0.5	0.10~0.25	—	余量
ZAlSi7Cu4	ZL107	6.5~7.5	3.5~4.5	—	—	—	—	—	余量
ZAlSi12CuMg1	ZL108	11.0~13.0	1.0~2.0	0.4~1.0	—	0.3~0.9	—	—	余量
ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	11.0~13.0	0.5~1.5	0.8~1.3	—	—	—	Ni, 0.8~1.5	余量
ZAlSi5Cu6Mg	ZL110	4.0~6.0	5.0~8.0	0.2~0.5	—	—	—	—	余量
ZAlSi9Cu2Mg	ZL111	8.0~10.0	1.3~1.8	0.4~0.6	—	0.10~0.35	0.10~0.35	—	余量
ZAlSi7Mg1A	ZL114A	6.5~7.5	—	0.45~0.60	—	—	0.10~0.20	Be, 0.04~0.07(1)	余量
ZAlSi5Zn1Mg	ZL115	4.8~6.2	—	0.4~0.65	1.2~1.8	—	—	Sb, 0.1~0.25	余量
ZAlSi8MgBe	ZL116	6.5~8.5	—	0.35~0.55	—	—	0.10~0.30	Be, 0.15~0.40	余量
ZAlCu5Mn	ZL201	—	4.5~5.3	—	—	0.6~1.0	0.15~0.35	—	余量
ZAlCu5MnA	ZL201A	—	4.5~5.3	—	—	0.6~1.0	0.15~0.35	—	余量
ZAlCu4	ZL203	—	4.0~5.0	—	—	—	—	—	余量
ZAlCu5MnCdA	ZL204A	—	4.6~5.3	—	—	0.6~0.9	0.15~0.35	Cd, 0.15~0.25	余量
ZAlCu5MnCdV A	ZL205A	—	4.6~5.3	—	—	0.3~0.5	0.15~0.35	Cd, 0.15~0.25; V, 0.05~0.3; Zr, 0.05~0.2; B, 0.005~0.06	余量
ZAlRE5Cu3Si2	ZL207	1.6~2.0	3.0~3.4	0.15~0.25	—	0.9~1.2	—	Ni, 0.2~0.3; Zr, 0.15~0.25; RE, 4.4~5.0 (2)	余量
ZAlMg10	ZL301	—	—	9.5~11.0	—	—	—	—	余量
ZAlMg5Si1	ZL303	0.8~1.3	—	4.5~5.5	—	0.1~0.4	—	—	余量
ZAlMg8Zn1	ZL305	—	—	7.5~9.0	1.0~1.5	—	0.1~0.2	Be 0.03~0.1	余量
ZAlZn11Si7	ZL401	6.0~8.0	—	0.1~0.3	9.0~13.0	—	—	—	余量
ZAlZn6Mg	ZL402	—	—	0.5~6.5	5.0~6.5	—	0.15~0.25	Cr 0.4~0.6	余量

注 1. 在保证合金力学性能的前提下, 可以不加铍 (Be)。混合稀土中含各种稀土总量不小于 98%, 其中含铈 (Ce) 约 45%。

2. 合金代号由 ZL (铸、铝汉语拼音第一个字母) 及其后三个阿拉伯数字组成; ZL 后第一个数字表示合金系列, 其中 1、2、3、4 分别表示铝硅、铝铜、铝镁、铝锌系列, ZL 后第二和第三两个数字表示合金的序号。优质合金在数字后面附加字母 “A”。

3. 铝硅系需要变质的合金用含钠盐进行变质处理, 在不降低合金使用性能前提下, 允许用其他变质剂或变质方法进行变质处理。在海洋环境中使用时, ZL101 中铜含量不大于 0.1%。用金属型铸造时, ZL203 硅含量允许达 3.0%。与食品接触的铝合金制品, 不允许含有铍, 砷含量不大于 0.015%, 锌含量不大于 0.3%, 铅含量不大于 0.15%。

4. ZL105 中当铁含量大于 0.4% 时, 锰含量应大于铁含量的一半。当 ZL201、ZL201A 用于制作高温下工作的零件时, 应加入 0.05%~0.20% 的铬。

5. 为提高力学性能, 在 ZL101、ZL102 中允许含钇 0.08%~0.20%; 在 ZL203 中允许钛含量为 0.08%~0.20%, 此时其铁含量应不大于 0.3%。

6. 当用杂质总和来表示杂质含量时, 如无特殊规定, 其中每一种未列出的元素含量不大于 0.05%。

表 1-2 铸造铝合金杂质允许含量 (摘自 GB/T 1173-1995)

合金牌号	合金 代号	杂质含量（不大于，%）															
		Fe		Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	Zr	Ti+Zr	Be	Ni	Sn	Pb	杂质总和	
		S ^①	J ^②													S	J
ZAlSi7Mg	ZL101	0.5	0.9	—	0.2	—	0.3	0.35	—	—	0.25	0.1	—	0.01	0.05	1.1	1.5
ZAlSi7MgA	ZL101A	0.2	0.2	—	0.1	—	0.1	0.10	—	0.20	—	—	—	0.01	0.03	0.7	0.7
ZAlSi12	ZL102	0.7	1.0	—	0.30	0.10	0.1	0.5	0.20	—	—	—	—	—	—	2.0	2.2
ZAlSi9Mg	ZL104	0.6	0.9	—	0.1	—	0.25	—	—	—	0.15	—	—	0.01	0.05	1.1	1.4
ZAlSi5Cu1Mg	ZL105	0.6	1.0	—	—	—	0.3	0.5	—	—	0.15	0.1	—	0.01	0.05	1.1	1.4
ZAlSi5Cu1MgA	ZL105A	0.2	0.2	—	—	—	0.1	0.1	—	—	—	—	—	0.01	0.05	0.5	0.5
ZAlSi8Cu1Mg	ZL106	0.6	0.8	—	—	—	0.2	—	—	—	—	—	—	0.01	0.05	0.9	1.0
ZAlSi7Cu4	ZL107	0.5	0.6	—	—	0.1	0.3	0.5	—	—	—	—	—	0.01	0.05	1.0	1.2
ZAlSi2Cu2Mg1	ZL108	—	0.7	—	—	—	0.2	—	0.20	—	—	—	0.3	0.01	0.05	—	1.2
ZAlSi2Cu1Mg1Ni1	ZL109	—	0.7	—	—	—	0.2	0.2	0.20	—	—	—	—	0.01	0.05	—	1.2
ZAlSi5Cu6Mg	ZL110	—	0.8	—	—	—	0.6	0.5	—	—	—	—	—	0.01	0.05	—	2.7
ZAlSi9Cu2Mg	ZL111	0.4	0.4	—	—	—	0.1	—	—	—	—	—	—	0.01	0.05	1.0	1.0
ZAlSi7Mg1A	ZL114A	0.2	0.2	—	0.1	—	0.1	0.1	—	0.20	—	—	—	0.01	0.03	0.75	0.75
ZAlSi5Zn1Mg	ZL115	0.3	0.3	—	0.1	—	—	0.1	—	—	—	—	—	0.01	0.05	0.8	1.0
ZAlSi8MgBe	ZL116	0.60	0.60	—	0.3	—	0.3	0.1	—	0.20	B0.10	—	—	0.01	0.05	1.0	1.0
ZAlCu5Mn	ZL201	0.25	0.3	0.3	—	0.05	0.2	—	—	0.2	—	—	0.1	—	—	1.0	1.0
ZAlCu5MnA	ZL201A	0.15	—	0.1	—	0.05	0.1	—	—	0.15	—	—	0.05	—	—	0.4	—
ZAlCu4	ZL203	0.8	0.8	1.2	—	0.05	0.25	0.1	0.20	0.1	—	—	—	0.01	0.05	2.1	2.1
ZAlCu5MnCdA	ZL204A	0.15	0.15	0.06	—	0.05	0.1	—	—	0.15	—	—	0.05	—	—	0.4	—
ZAlCu5MnCdVA	ZL205A	0.15	0.15	0.06	—	0.05	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	0.3	0.3
ZAlRE5Cu3Si2	ZL207	0.6	0.6	—	—	—	0.2	—	—	—	—	—	—	—	—	0.8	0.8
ZAlMg10	ZL301	0.3	0.3	0.30	0.10	—	0.15	0.15	0.15	0.20	—	0.07	0.05	0.01	0.05	1.0	1.0
ZAlMg5Si1	ZL303	0.5	0.5	—	0.1	—	0.2	—	0.2	—	—	—	—	—	—	0.7	0.7
ZAlMg8Zn1	ZL305	0.3	—	0.2	0.1	—	—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.9	—
ZAlZn11Si7	ZL401	0.7	1.2	—	0.6	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—	—	1.8	2.0
ZAlZn6Mg	ZL402	0.5	0.8	0.3	0.25	—	—	0.1	—	—	—	—	—	0.01	—	1.35	1.65

① 砂型铸造。

② 金属型铸造。

上述各种合金一般适用于金属型、砂型、壳型和低压铸造,而对于压铸用铝合金为防止铸件粘模,合金中含有较多的杂质元素 Fe,所以压铸用铝合金单有其牌号。国家标准《压铸铝合金》(GB/T 15115-1994)规定了 7 个牌号,其化学成分^①和力学性能见

① 本文中未特别说明的化学成分均为质量分数。