

AI 绿色铝

LVSELV

● 编委会主任 陈全训

● 主 编 潘文举 ● 执行主编 刘楚明 楚 广



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

绿色铝

主 编 潘文举
执行主编 刘楚明 楚 广



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

绿色铝/潘文举主编. —长沙:中南大学出版社,2012. 8

ISBN 978-7-5487-0599-4

I. 绿... II. 潘... III. 铝—金属材料—资源利用—基本知识

IV. TG146.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 175656 号

绿色铝

主 编 潘文举

执行主编 刘楚明 楚 广

☐责任编辑 史海燕

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙国防科大印刷厂

☐开 本 880 × 1230 1/16 ☐印张 9.3125 ☐字数 229 千字

☐版 次 2012 年 8 月第 1 版 ☐2012 年 8 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0599-4

☐定 价 45.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

发展绿色铝业

陈全训
壬辰夏日

国务院参事，中国有色金属工业协会会长、党委书记 陈全训题词

编 委 会

编 委 会 主 任 陈全训

编委会副主任 文献军 潘文举
刘祥民 范顺科

编 委 会 委 员 (排名不分先后)

杨云博	王 吉	郭耀德
丁吉林	张学信	宋建波
洪 伟	戴松灵	张洪恩
苏振佳	沈建国	郎光辉
杨柏洪	武建强	李瑞师
李德峰	孟 杰	李春超

主 编 潘文举

执 行 主 编 刘楚明 楚 广

序 言

铝作为重要的有色金属，一直受到行业内外的高度重视。今年，中国有色金属工业协会推出“绿色铝”的宣传活动，目的在于：一是铝及铝合金是有色金属举足轻重的产品，对有色金属行业乃至国民经济具有较强的影响力；二是铝及铝合金具有良好的特性。铝具有优良的延展性、导电散热性、耐腐蚀及耐低温性等，已经被制成了各种铝及铝合金制品，应用在人们生活的各个领域，为人们的便利生活发挥着作用；三是铝行业技术进步体现了过程的节能减排。铝金属材料应用广泛，是仅次于钢铁的金属结构材料，铝合金具有质量轻、易加工、强度好等特点，应用铝合金作为交通运输工具制造的结构材料，对交通运输行业轻量化作用巨大，不仅减轻了车身自重，可增加有效载质量、提高运输能力，而且节省燃油消耗、降低运输成本、大幅降低能源消耗；四是中国有色金属工业协会职责所在。

编辑出版本书，目的就是更好地普及铝的相关知识，让人们认识到“绿色铝”优良的质轻、导电、导热、可加工性以及耐腐蚀性、可回收性等，扩大铝在国内的应用范围。促进铝的消费，不仅是在节能减排方面有着重要意义，为铝产业可持续发展做出贡献，同时也为国家积累了二次资源，对发展国民经济和提高人民物质生活水平起着重要作用。

在中国有色金属工业协会“绿色铝”宣传活动小组的指导下,编委会本着科普性、实用性原则负责具体策划、构思,由中南大学材料科学与工程学院刘楚明教授和中南大学冶金科学与工程学院楚广教授负责整体编写工作。全书共12章,主要内容包括:绿色铝应用概述,铝的基本知识,铝的发展史,铝的资源,铝土矿的勘察与采选,铝合金与加工技术,铝行业技术进步及新材料,铝加工业节能减排,清洁生产,铝的循环经济,铝资源综合利用,铝企业风采。

参加本书编写工作的还有:王霄、甘红祥、陈小红、许诗源、甘俊雄、陈祖斌、王俊凯。

在编写过程中,参考了国内外有关专家、学者的文献资料,并得到了中南大学出版社和广大铝行业企、事业单位的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,书中难免出现疏漏,恳请读者谅解。

编委会

2012年8月

目 录

第 1 章 绿色铝应用概述	(1)
1.1 绿色之铝	(1)
1.2 铝与日常生活	(2)
第 2 章 铝的基本知识	(17)
2.1 铝的一般性质	(17)
2.2 铝的物理化学性能	(19)
2.3 铝及铝合金的分类	(23)
2.4 铝及铝合金产品的分类	(27)
2.5 铝及铝合金的应用	(32)
第 3 章 铝的发展史	(42)
3.1 铝的发现史	(42)
3.2 世界铝工业发展史	(44)
3.3 中国铝工业发展史	(45)
3.4 中国铝工业现状	(50)
第 4 章 铝的资源	(55)
4.1 世界铝土矿资源概况	(55)
4.2 中国铝土矿资源	(66)

第 5 章 铝土矿的勘查与采选	(78)
5.1 铝土矿的勘查	(78)
5.2 铝土矿资源开采	(81)
5.3 铝土矿选矿	(84)
第 6 章 铝冶金与加工技术	(90)
6.1 铝冶金技术	(90)
6.2 铝及铝合金的加工技术	(120)
第 7 章 铝行业技术进步及新材料	(169)
7.1 铝冶金新技术的发展	(169)
7.2 铝合金新材料的发展	(178)
第 8 章 铝加工业节能减排	(191)
8.1 铝加工业的简介及其现状	(191)
8.2 铝加工业的节能减排	(194)
8.3 铝加工业污染物的治理	(201)
第 9 章 清洁生产	(206)
9.1 清洁生产概述	(206)
9.2 氧化铝的清洁生产	(210)
9.3 电解铝的清洁生产	(219)
第 10 章 铝的循环经济	(227)
10.1 循环经济概念	(227)
10.2 铝的循环与再生	(229)

第 11 章 铝资源综合利用	(241)
11.1 铝土矿选矿尾矿的综合利用	(241)
11.2 氧化铝生产过程金属镓的回收	(244)
11.3 赤泥的综合利用	(252)
第 12 章 铝企业风采	(262)
12.1 中国铝业公司	(262)
12.2 五矿铝业有限公司	(263)
12.3 云南铝业股份有限公司	(263)
12.4 永杰新材料股份有限公司	(265)
12.5 广亚铝业有限公司	(265)
12.6 索通发展股份有限公司	(267)
12.7 中国铝业股份有限公司广西分公司	(270)
12.8 丛林集团有限公司	(272)
12.9 山东南山铝业股份有限公司	(273)
12.10 山东信发铝电集团	(275)
12.11 青海桥头铝电股份有限公司	(276)
12.12 伊川电力集团总公司	(277)
12.13 河南豫联能源集团有限责任公司	(278)
12.14 湖南晟通科技集团有限公司	(279)
主要参考文献	(281)

第1章 绿色铝应用概述

1.1 绿色之铝

铝：其实很“绿”。铝是一种在整个生命周期里大量节能的综合产品。从某种意义上说，铝是最节能的金属。铝金属材料应用广泛，是仅次于钢铁的金属结构材料，铝合金具有质量轻、易加工、强度高等特点。应用铝合金作为交通运输工具制造的结构材料，对交通运输行业轻量化作用巨大，不仅减轻了车身自重，可增加有效载质量、提高运输能力，而且节省燃油消耗、降低运输成本。另外，铝耐腐蚀性强、使用寿命长，同时具有良好的回收价值，回收率可达95%，铝在回收利用时，其能耗仅为初次加工能耗的5%，铝的回收及循环利用对节能减排意义尤其重大。以重载车为例，大概用4.5 t的铝代替7.5 t的钢，能减车重3 t。一辆铝制重载车平均每年能够节省燃油3.6 t，折合到1 t铝大概每年可以节省汽油0.8 t，如果铝制重载车使用寿命按照15年来算，每吨用在重载车上的铝可以节省汽油12 t，按照能量换算关系，相当于节省了5.5万度电，而炼1 t铝大概消耗电能1.4万度，也就是说使用1 t铝节约的能量是冶炼1 t铝消耗能量的4倍，此外，铝回收需要耗能仅为原来电解铝的5%，回收利用时炼1 t铝只消耗电能700度，在第二个周期（再生铝）再使用时节约的能量就相当于冶炼铝消耗能量的80倍。由此可见，铝产品的使用所带来的经济效益和环境效益是非常可观的。

然而，一直以来铝工业被认为是污染大、能耗高的产业。尤其是电解铝行业一直被称为“电老虎”，近几年一些地区由于电解铝产能密集，出现了电力供应紧张的现象；另外，企业的盲目发展，对铝土矿没有全面规划、没有科学地开采，不注重环境保护，造成了部分地区资源的浪费和环境的污染。

实际上，铝的生产过程所耗费的能源，其实可以看做是能源的一种变相存储，尽管使用铝制品的前期投入较高，但使用后却可以大幅降低能源消耗。从长远来看，铝材的广泛使用，带给我们更多的是节能，是低碳，是绿色，是经济。

毫不夸张地说铝金属是“出生耗能、终生节能”的绿色金属，发展铝工业、扩大铝消费其实就等于是节能减排。

1.2 铝与日常生活

铝具有优良的延展性、导电散热性、耐腐蚀及耐低温性等，已经被制成了各种铝及铝合金制品，应用在人们生活的各个领域，为人们的便利生活发挥着作用。铝 95% 以上可以回收再利用，因此被称为绿色环保材料。可以说，在人们的生活周围，铝无处不在。而铝材料和技术的不断进步也在推动着人们生活水平的不断提高。绿色环保节能的铝已经融入了人们生活中的每个角落，点亮了人们的生活。

1.2.1 铝与汽车

近 20 年来，随着能源问题越来越严重，各大汽车公司纷纷将减轻汽车自重、降低油耗作为提高竞争能力的关键。据有关数据介绍，汽车质量每减轻 1%，燃油消耗降低 0.6% ~ 1%；汽车质量每减少 50 kg，每升燃油行驶的距离可增加 2 km。铝具有密度小、耐蚀性好等特点，且铝合金的塑性优良，冲压、铸、锻工艺均

适用,最适合汽车零部件生产的压铸工艺。从零件质量、生产成本、材料利用等几个方面比较,铝合金已成为汽车生产不可缺少的重要材料。

在汽车上的铸造铝合金主要用于发动机、传动机构、转向系统、制动器、行走系统及各种附件。在美国和欧洲,保险杠、油箱也将钢板改用为铝合金。欧美地区未来汽车的材料构成比例中,铝也将占主要比例。如在德国的试验车中,铝合金使用率已达到全体材料的30%。虽然铝价格不稳定,可替代复合材料的出现使铝在汽车中的使用势头有所减弱,但从精炼铝的价格来看,铝仍是轻量化首选材料。

铝合金在汽车上的应用实例很多,例如:在现代车用水冷发动机或空冷发动机上的汽缸体,美国GM公司采用全铝缸套,法国车的铝汽缸盖已达100%,铝汽缸体已达45%。美国福特公司NGT货车发动机汽缸盖、Zeta4缸机、ModularV6/V8机、克莱斯勒公司新V6发动机缸体和缸盖都使用铝合金材料。克莱斯勒公司Jeep(吉普)5缸机、3.8LV6和道奇货车发动机都采用铝合金缸盖。汽车的冷气设备(冷凝器、蒸发器)、机油冷却器、散热器、暖风设备等也几乎完全用铝制造。由于铝车轮质量轻,散热性好以及尺寸精度高,在现代轿车中采用铝车轮已经非常普遍。

总之,铝合金在汽车应用上的优势很多,具体体现在:①汽车轻量化,节能降耗,能够提高燃油效率,有利环保。②汽车铝合金零部件回收再利用率高,有利于节约资源。③安全舒适。铝合金汽车是在不降低汽车容量的情况下减轻汽车自重,车身重心减低,汽车行驶更稳定、舒适。由于铝合金汽车轻便,质量小,故碰撞时的能量相对钢体汽车小了许多。此外,由于铝合金材料性能及车身构造能充分吸收撞击时的能量,故而更加安全。此外,对于货车来说,减重的同时等于提高了汽车的载重量,可增

大汽车的运输效率，降低运输成本。④采用铝合金能够减少工序，提高装配效率。铝合金汽车整体构架，焊点少，减少了加工工序，铝合金整体车身比钢铁焊接车身约轻 35%，且无需防锈处理，只有 25% ~ 35% 的部件需点焊，因而可大幅度提高汽车的装配效率。

提高汽车的用铝量，实现轻量化，已经成为当今汽车制造业技术进步的一个重要环节。预计在未来，国内外汽车工业对汽车用铝材的需求量会大大增加。

1.2.2 铝与飞机

铝合金的发展与航空事业的发展是密不可分的。20 世纪初在莱特兄弟制造的飞机上就采用了 Al - Cu - Mn 铸造的飞机发动机的曲柄箱体。1906 年 A. Wilm 在 Al - Cu - Mg 系合金中发现时效硬化现象，使铝合金作为飞机主体结构材料成为可能，此后，铝合金作为飞机机体的主要结构材料登上了历史舞台。

铝合金是亚音速飞机的主要用材，在超音速飞机上的用量有所减少，但仍占有一定比例。铝合金在目前的民用飞机结构上的用量为 70% ~ 80%；在军用飞机结构上的用量为 40% ~ 60%。在最新型的波音 777 客机上，铝合金占机体结构质量的 70%，在 A380 上广泛使用了铝合金，其结构质量百分比达到 60%，与复合材料实现了协调共存；一些最新型的军用飞机（如 F - 22、B2）结构上大量应用纤维增强树脂基复合材料和钛合金，铝合金用量已降到 20% 以下。在现代飞机结构件中，利用了 1500 ~ 2000 种铝铸件，根据飞机不同的使用条件和部位，主要用了三种基本的铝合金，即高强铝合金、耐热铝合金、耐蚀铝合金。

高强铝合金主要用于飞机机身部件、发动机舱、座椅、操纵系统等。高强铝合金在俄罗斯主要是铝 - 铜系合金，在美国主要利用铝 - 铜 - 锰系。铝 - 铜系合金零件主要采用沙模铸造生产。

耐热铝合金零件主要用于靠近电动机的机舱、空气交换系统等,此处的温度达到 $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ 。与普通结构合金和高强合金相比,该合金具有合金化程度高的优点,属铝-铜-镍系合金。

耐蚀铝合金具有足够高的性能指标,其强度、塑性、冲击韧性、疲劳性能和可焊性都很好,主要具有耐蚀性,这样就可用于水上飞机,如舰载机。它属于铝-镁系合金和铝-镁-锌系合金。

以空客 A380 为例, A380 上应用了一些传统铝合金,但也引入一些新合金及新结构。在 A380 上, 7055 合金主要用做上翼面的蒙皮;后翼梁采用 7040 合金和 7085 合金,它的应用极大降低了结构质量。A380 机翼的加强肋(桁条)采用了 7010 合金,下翼面蒙皮采用了 2024-HDT 合金及 2026 合金,前者为高纯度的、高断裂韧性合金,二者的塑性都很高。机身选材的一个特点是机身下蒙皮桁条采用了 6013-HDT 合金,是一种抗蚀合金,不包铝时,抗蚀性有所降低,采用包铝成本会增高,最后确定采用 6013-T78 退火状态,性能得到改进而不致成本太高。

从现代飞机的选材情况来看,铝合金仍占有优势地位。即使将来钛合金和先进复合材料有了大的发展,预计铝合金仍将不失为重要的航空材料而被选用于适当部位。

我国航空工业在铝材的生产和使用方面,基本上仍处于 20 世纪 50~60 年代的水平。铝材的热处理状态仍然沿用 20 世纪 50 年代的自然时效和简单的人工时效。过时效状态和超纯铝合金尚未系统地进行研究和应用,高强高韧性铝合金还没有开始研制。因此,铝合金材料科学的当务之急,应是联合冶金和航空两大部门的技术力量,抓紧开展以下三方面工作:

(1)研究各种热处理状态,制订工艺制度,建立相应的标准。

(2)研制高纯铝合金,形成系列,制订标准,以供现有機種和新機種设计选用。

(3)研制高强高韧性铝合金(相当于7050、7010合金),为新机种设计选材做好准备。

当然,其他方面的探索性研究工作也应适当安排,但构成先进铝合金的上述三个方面,事实证明是行之有效的。我们应该迎头赶上去,力争在不太长的时期内,让我们也有自己的先进铝合金系列及相应工艺和标准。

1.2.3 铝与列车

铁路运输工业正面临越来越严重的三大课题:能源、环保、安全。减轻火车自重以降低能耗,减少环境污染,节约有限资源已成为火车运输关注的焦点。铝的密度小,属轻金属,仅为 2.7 g/cm^3 ,约为钢的 $1/3$ 。铝的表面易氧化形成致密而稳定的氧化膜,所以耐蚀性好。铝有较好的铸造性,由于铝的熔化温度低,流动性好,易于制造各种复杂外形的零件。铝中加入一种或几种元素后即构成铝合金,铝合金相对于纯铝可以提高强度和硬度,有些铝合金可以通过热处理,使其抗拉强度超过 600 MPa ,与低碳钢相比,比强度则胜过某些合金钢。铝合金在保持轻质的同时其机械性能得到了提高,成为列车上代替钢铁材料的非常受关注的轻质材料之一。

在铁道车辆上,铝合金主要作为车体结构,在铝合金车体上型材约占总量的70%,板材约占27%,铸锻件约占3%。

为适应列车的发展,世界各国都在大力开发、研制铝合金车体。铝合金车体经历了三个发展过程:板梁结构铝合金车体、板梁和型材混合结构铝合金车体以及完全封闭式型材结构铝合金车体。20世纪80年代后期,铝合金在高速客车和城轨车上的应用得到了极大发展,铝合金车辆数量猛增。西方的一些发达国家,投入运营的铝合金车体已达3万多辆,并以每年约1500辆的速度递增。一些国家如韩国、中国,也积极引进技术,开发研制铝

合金车体,并已经实现生产和出口。1989年,长春轨道客车股份有限公司(以下简称长客股份)开发了首辆铝合金地铁车体;1996年,铁道部开发了ICF2型铁路闭式型材结构铝合金车体,长客股份采用德国进口材料,制造出了中国第一台闭式和开式型材混合结构铝合金车体;2001年,长客股份公司建成了国内第一条铝合金自动化焊接生产线,并利用国产材料,开发研制了国内第一辆磁悬浮列车。2002年,长客股份进入批量生产270 km/h高速客车、210 km/h电动车组和批量生产铝合金客车、城市轨道车辆的阶段,中国具备了铝合金车体生产关键技术。

高速铁路中,火车的轻量化与高强度对于高速列车节能降耗、提高安全系数具有显著作用,铝合金因为具有良好的成型性能和较好的强度、耐腐蚀性且成本低等优点,被越来越多地应用到高速铁路中。

CRH2型动车组车体主要采用铝合金中空型材料,车体由司机室(车头、尾车)、底架、车顶、侧墙、端墙以及车体各附件等组成,利用通长大型中空铝合金挤压型材组焊而成的薄壁筒型整体承载结构。由于采用双壳结构和铝合金材料,使车体具有以下特点。

- (1)采用整体通长铝型材,能大幅减少零件数量,提高自动化焊接程度,降低制造成本,提高质量。
- (2)车体质量轻,从而降低轴重,运营成本降低。
- (3)隔音效果好,从而提高车内的乘车舒适度。
- (4)双壳结构,提高车体的整体刚性。
- (5)维护小,寿命周期成本低。
- (6)防腐性好,可以实现无涂装设计。

实现轻量化,已经成为当今制造业技术进步的一个重要环节。预计在未来,国内外高速铁路对铝材的需求量会大大增加。