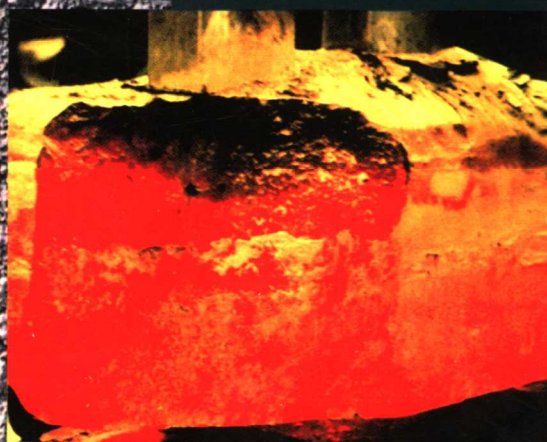


# 铝用炭阳极技术

Anodes  
for the  
Aluminum  
Industry



Edited by  
**R&D**  
Carbon Ltd.

李庆义 贾鲁宁 刘改云 译 王平甫 宫 振 谭芝运 审校



冶金工业出版社  
<http://www.cnmip.com.cn>

# 铝用炭阳极技术

## Anodes for the Aluminum Industry

Edited by R&D Carbon Ltd.



李庆义 贾鲁宁 刘改云 译  
王平甫 宫 振 谭芝运 审校

北 京  
冶金工业出版社  
2007

北京市版权局著作权合同登记号图字:01-2007-4305 号

Anodes for the Aluminum Industry

1st Edition 1995

R&D Carbon Ltd. ,P. O. BOX157

CH-3960 Sierre, Switzerland

© TMS for papers in LIGHT METALS and JOM, © R&D  
Carbon Ltd. for RDC Internal Publications

### 图书在版编目(CIP)数据

铝用炭阳极技术/[瑞士]R&D 炭素有限公司编;李庆义,  
贾鲁宁,刘改云译. —北京:冶金工业出版社,2007. 9

书名原文:Anodes for the Aluminum Industry

ISBN 978-7-5024-4379-5

I. 铝… II. ①瑞… ②李… ③贾… ④刘… III. 阳极-  
炭素材料-文集 IV. TF044-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 153336 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 章秀珍 王 楠 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4379-5

北京兴顺印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2007 年 9 月第 1 版,2007 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;15.25 印张;367 千字;233 页;1-4000 册

46.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 序 言

我国铝工业的持续快速发展,促进了铝用炭素工业的技术进步和产业升级。近些年来,铝用炭素产量迅速增长,产品质量显著提高,出口量大幅增加,受到了国外厂商的充分肯定。山东济宁炭素工业总公司非常重视科技创新和人才培养,多年来,与瑞士 R&D 炭素有限公司一直保持了友好合作的关系。

瑞士 R&D 炭素有限公司(R&D Carbon Ltd.)在国际铝用炭素界久负盛名。该公司与我国铝业界交往已有 20 多年历史。我国中铝郑州轻金属研究院、山东济宁炭素工业总公司、中铝河南分公司等是他们的亲密合作伙伴。该公司先进的检测仪器和控制技术,被包括我国在内的世界上许多国家铝厂采用。

2000 年以来,瑞士 R&D 炭素有限公司赠给其在中国的合作伙伴——山东济宁炭素工业总公司其内部编印的《铝用炭阳极新技术文集》。文集第一集收录了当代国际先进水平的 R&D 炭素有限公司的技术资料、国际铝用炭素技术会议论文和在 R&D 炭素有限公司从事专题研究的博士论文等 35 篇。为及时消化吸收国外先进技术,在征得 R&D 炭素有限公司同意后,济宁炭素工业总公司的宫振、王平甫、李庆义、贾鲁宁先生从 2002 年开始,组织对此书的翻译并就技术问题进行研讨。

在 R&D 炭素有限公司的支持下,本译文集由冶金工业出版社出版。对宫振、王平甫、李庆义、贾鲁宁等先生和济宁炭素工业总公司为翻译出版本文集所做的工作表示感谢。相信此书的出版,能为中国铝用炭素工业技术进步与技术交流做出贡献。希望此书能为我国铝工业和铝用炭素工业在培养高素质科技队伍中发挥出积极作用。祝中国铝工业和铝用炭素工业做大做强,健康发展。

中国有色金属工业协会会长



2007 年 9 月



# 前 言

阳极是铝生产技术中最重要的因素之一,人们对这一点的认识在不断提高。在过去的十年间,随着对炭素的研究,以及对在赫尔-埃鲁尔电解槽中影响阳极性能因素的进一步认识,炼铝过程中炭的净消耗有了很大程度的降低。对这一课题的研究结果是:有上百篇有关阳极原料、阳极生产、阳极应用的论文相继发表。

随着世界范围内的质量保证体系的出现,比如 ISO 9001/ISO 9002,阳极原材料供应商与阳极生产商之间的信息交流变得非常重要,这也是为了更好地了解彼此之间的需要、可能性和局限性。

对于大多数的读者来说,选择适当的和最新的读物是比较困难,也是比较耗时的。没有一部完整的出版物或书籍介绍炭素材料。R&D 炭素有限公司一直积极地活跃在炭素的研究领域。近几年主要在阳极、阳极糊以及阴极方面发表了很多论文。主要的课题是关于在赫尔-埃鲁尔电解槽中使用的阳极原料、阳极制造以及阳极应用。其他领域比如环境保护方面的问题、工人的卫生保健、成本方面、工程和设备开发方面也是 R&D 炭素有限公司工作的一部分,著名的社会组织像 TMS 对我们的工作给予了高度的评价,我们的论文作者也因此获得了奖励。为了方便我们的合作伙伴以及我们的客户迅速有效地了解我们最近的出版物,编著了该书。这本书中还包括了来自第三方的一些有关相似课题的重要论文。我们感谢这些作者,同时也感谢“矿产、金属和材料协会”, 420 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15086 授予我们在本书中重印这些论文的权利。欢迎所有读者与我们联系、讨论关于阳极技术的任何问题。

Sierre, January 1995  
R&D Carbon Ltd.

Werner K. Fischer, President  
Ulrich Mannweiler  
Felix Keller  
Raymond C. Perruchoud  
Urs Bühler

# 译者说明

济宁炭素工业总公司和瑞士 R&D 炭素有限公司(R&D Carbon Ltd.)有着亲密的合作关系。2002 年,李庆义、贾鲁宁和王平甫等同志到瑞士 R&D 炭素有限公司学习考察。2005 年宫振、王平甫、于易如等同志到瑞士 R&D 炭素有限公司考察。近年来,每年都有多位 R&D 炭素有限公司专家到济宁炭素工业总公司访问和工作,双方技术合作紧密,交流不断。在交流过程中,R&D 炭素有限公司赠送给济宁炭素工业总公司的技术文献资料和研究成果,济宁炭素工业总公司也回赠了济宁炭素研究所的研究报告等。为及时消化吸收国外先进的炭阳极技术,自 2002 年以来,宫振、王平甫、李庆义、贾鲁宁组织并参加了对此书的翻译、讨论和消化吸收。从粗译到精译,从技术讨论到图表完善,除以上四位同志之外,前后参加此项工作的还有刘改云、赵建军、高守磊、于易如、杜桂玲、罗英涛、李兆阳等同志,刘改云同志完成了绝大部分精译任务,杜桂玲同志完成了图表修改工作。王平甫、贾鲁宁、于易如同志对全书进行文字和技术审改,在此特作说明并表示感谢。消化吸收并采用国内外先进技术,加上科学的企业理念和严格的管理,20 年来济宁炭素工业总公司由小到大逐步做强,成为中国铝用炭阳极主要出口厂之一,炭阳极产品享誉欧美。相信此书的出版,能有利于中国铝用炭素工业科技进步和技术交流。

由于时间短促,加之译者水平所限,书中不足之处,希望读者予以批评指正。

济宁炭素工业总公司 宫 振 王平甫

2007 年 6 月

# 目 录

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 世界铝市场的发展前景                                                             |    |
| Ulrich Mannweiler(RDC 内部出版,1994) .....                                 | 1  |
| 石油焦的生产:延迟焦化和煅烧                                                         |    |
| Ulrich Mannweiler(RDC 内部发行,1994) .....                                 | 7  |
| 煅烧参数对石油焦质量的影响                                                          |    |
| Werner K. Fischer, Raymond C. Perruchoud(《轻金属》,1985,811~824) .....     | 11 |
| 钠对煅后焦和阳极反应性的影响                                                         |    |
| Raymond C. Perruchoud, Werner K. Fischer(《轻金属》,1991,581~584) .....     | 20 |
| 石油焦硫含量对炭阳极钠敏感性能的影响                                                     |    |
| Sheralyn S. Hume, W. K. Fischer, R. C. Perruchoud                      |    |
| James B. Metson, R. Terry Baker(《轻金属》,1993,535~542) .....              | 26 |
| 石油焦与气体反应性能的测定与研究                                                       |    |
| Sheralyn M. Hume, W. K. Fischer, R. C. Perruchoud                      |    |
| Barry J. Welch 原版(《轻金属》,1993, 525~534) .....                           | 34 |
| 骨料焦颗粒稳定性和可磨性能的测定及对糊料的影响                                                |    |
| Raymond C. Perruchoud, Werner K. Fischer 原版(《轻金属》,1992, 695~700) ..... | 42 |
| 通过做阳极中间试验评定石油焦特性                                                       |    |
| Werner K. Fischer, Raymond C. Perruchoud(RDC 内部出版,1992) .....          | 49 |
| 铝用炭阳极及其原料气体反应性的测定                                                      |    |
| S. M. Hume, R. C. Perruchoud and W. K. Fischer(1994 年 2 月) .....       | 54 |
| 测定阳极用煅后焦性能的试验方法                                                        |    |
| Werner K. Fischer, Raymond C. Perruchoud(RDC 内部出版,1993) .....          | 63 |
| 阳极用粘结剂煤沥青的新趋势                                                          |    |
| Nigel R. Turner .....                                                  | 71 |
| 煤沥青性能的测定方法                                                             |    |
| Raymond C. Perruchoud(RDC 内部出版,1992) .....                             | 77 |
| 通过中间试验选择沥青用量                                                           |    |
| Werner K. Fischer, Raymond C. Perruchoud(RDC 内部出版,1992) .....          | 79 |
| 粉子粒度对粘结基质和阳极性能影响的实验室评定                                                 |    |
| Mark A. Smith, R. C. Perruchoud, W. K. Fischer                         |    |
| Barry J. Welch(《轻金属》,1991,651~656) .....                               | 85 |
| 沥青中的钠含量与残极中的钠含量对阳极粘结基质的影响                                              |    |
| Mark A. Smith, R. C. Perruchoud, W. K. Fischer                         |    |

· II · 目 录

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Barry J. Welch 原版(《轻金属》,1991,593~596) .....                                                                                               | 93  |
| 运用简单的焦结性实验研究沥青对焦子的浸润性                                                                                                                     |     |
| Werner K. Fischer, Raymond C. Perruchoud(RDC 内部出版,1993) .....                                                                             | 97  |
| 采用塑性形变记录仪测定实验室粘结基质扭矩的实践应用                                                                                                                 |     |
| Werner K. Fischer, Raymond C. Perruchoud(RDC 内部出版,1993) .....                                                                             | 104 |
| 阳极残极性能的测定方法                                                                                                                               |     |
| Ulrich Mannweiler, Raymond C. Perruchoud(RDC 内部出版,1994) .....                                                                             | 110 |
| 现代阳极炭块生产基础之一——概述                                                                                                                          |     |
| Ulrich Mannweiler (RDC 内部出版,1994) .....                                                                                                   | 113 |
| 现代阳极生产基础之二——新技术                                                                                                                           |     |
| Ulrich Mannweiler, Felix Keller(内部出版,1994 年 2 月) .....                                                                                    | 117 |
| 现代阳极生产基础之三——决策层须知                                                                                                                         |     |
| Felix Keller, Ulrich Mannweiler, Egon Knall(ARABAL 1993, Cairo, Egypt) .....                                                              | 127 |
| 原料变化时的快速中试技术——动态优化技术                                                                                                                      |     |
| Urs Bühler, Raymond Perruchoud(《轻金属》,1995) .....                                                                                          | 133 |
| 瑞士 RDC 公司新型焙烧炉技术焙烧高质量的阳极                                                                                                                  |     |
| R. Engelsmann, Aluchemie Rotterdam, P. Sommer, ALESA Alusuisse-Engineering<br>Zürich 原版(Int. Symposium, Edmonton 1992) .....              | 144 |
| 燃重油焙烧炉的生产控制                                                                                                                               |     |
| Ulrich Mannweiler, Stefan Oderbolz, Peter Sulzberger(《轻金属》,1991) .....                                                                    | 151 |
| 改变焙烧参数对提高阳极质量的影响                                                                                                                          |     |
| Peter Sulzberger, Comalco(Bell Bay) Ltd.<br>(选自第 4 届澳大利亚铝工业技术研讨会论文,1992 年 10 月) .....                                                     | 157 |
| 焙烧参数和阳极质量                                                                                                                                 |     |
| W. K. Fischer, F. Keller, R. C. Perruchoud, S. Oderbolz(《轻金属》,1993,683~694) ...                                                           | 159 |
| 阳极生产企业的工人卫生保健及环境保护                                                                                                                        |     |
| F. Keller, R. Engelsman, A. A. Kooijman, Dr. W. Schmidt-Hatting<br>(1989 年在《轻金属》杂志发表,1994 年修改) .....                                      | 165 |
| 阳极生产厂的废料和污染物处理调查                                                                                                                          |     |
| Felix Keller(《轻金属》,1994,599~608) .....                                                                                                    | 172 |
| 附录一 阳极生产过程中废料组成的典型分析 .....                                                                                                                | 178 |
| 低电流密度对阳极性能的影响                                                                                                                             |     |
| Sheralyn M. Hume, Mark R. Utley, Barry J. Welch<br>化学和材料工程部,新西兰,奥克兰大学<br>Raymond C. Perruchoud R&D Carbon Ltd. (CH-3960 Sierre, 瑞士) ..... | 181 |
| 阳极的热冲击性——一个已经解决的问题                                                                                                                        |     |
| Markus W. Meier, Werner K. Fischer, Raymond C. Perruchoud<br>原版(《轻金属》,1994,685~694) .....                                                 | 188 |
| 阳极的净炭耗与电解槽设计、电解槽操作参数及阳极性能之间的相互关系                                                                                                          |     |



|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Werner K. Fischer, Felix Keller, Raymond C. Perruchoud (《轻金属》, 1991) ..... | 199 |
| 阳极的质量指数 .....                                                              |     |
| Felix Keller .....                                                         | 208 |
| 残极性能与焙烧阳极质量之间的相互关系 .....                                                   |     |
| Werner K. Fischer, Raymond C. Perruchoud 原版(《轻金属》, 1991, 721~724) .....    | 211 |
| 使用经验公式来预测阳极的净炭耗 .....                                                      |     |
| Zeno de Mori(《轻金属》, 1993) .....                                            | 216 |
| 阳极的使用性能: 石油焦性能和铝生产成本之间的关系 .....                                            |     |
| Felix Keller, Ulrich Mannweiler, Raymond C. Perruchoud(内部出版, 1994) .....   | 223 |

# 世界铝市场的发展前景

Ulrich Mannweiler

(RDC 内部出版,1994)

## 1 铝的发展历史

地壳中铝的含量为 7.3%,仅次于氧和硅,居第三位。由于铝的化学反应性活泼,地壳中至今还未发现有天然铝的存在,自然界中的铝大多是以矿物质的形式存在的,比如硅酸铝和硅酸盐。

铝是一种非常年轻的金属。1886 年霍尔在美国,埃鲁尔在法国同时申请了电解铝的工艺过程的专利(在熔融的冰晶石槽中电解铝)。在 20 世纪的前 50 年中,铝的年增长率为 7%~9%,然而在 20 世纪 50 年代,铝的年增长率维持在 5%左右,到 70 年代铝的增长率下降到 1%~3%。二战后,西方国家铝的消耗量不到 100 万 t,1960 年增加到 300 万 t,1970 年增加到 800 万 t,1980 年增加到 1200 万 t,到 1990 年增加到 1600 万 t,预计 2000 年世界(包括俄罗斯和中国)铝产量将达到 2000 万 t。

## 2 铝工业的生产过程

铝工业的主要原料是氧化铝,在赫尔-埃鲁尔过程中,每生产 1 t 铝大约需要 2 t 氧化铝、0.5 t 炭阳极,还有 14 MW·h 的电能。2 t 的氧化铝就需要从 5 t 的铝土矿中来提取。具体产出平衡情况如图 1 所示。

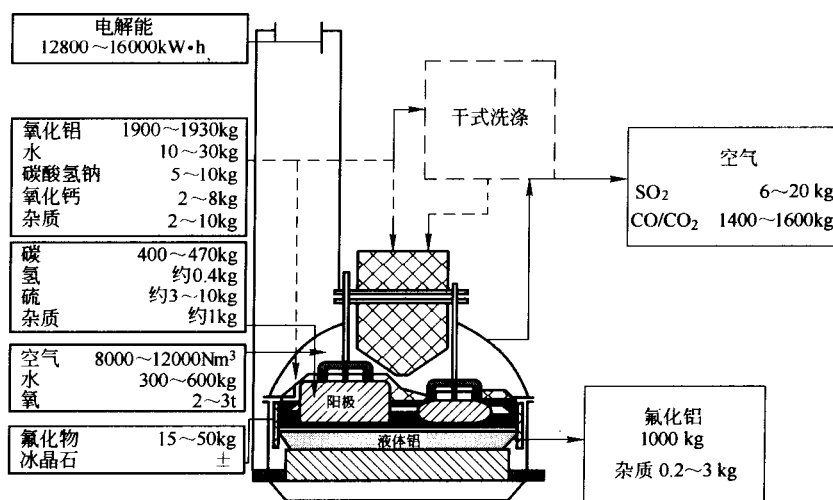


图 1 电解槽的产出平衡示意图

译者注:迈泰 Ulrich Mannweiler 教授十多年前所做的市场预测,已与近年来的发展不完全一致。如 2006 年世界铝产量约 4000 万 t,中国铝产量 935 万 t,但其所做的成本、价格分析仍有参考价值。

## 2.1 铝土矿

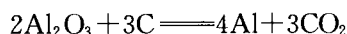
按照现在的生产情况来看,世界铝土矿的储存量可持续 300 年,其储量主要分布在非洲、南美和澳大利亚。

## 2.2 氧化铝的生产

在所谓的“拜耳(Bayer)”过程中,氧化铝是通过化学分离方法从其他化合物中分离出来。目前氧化铝厂的产量至少在 100 万 t/a。

## 2.3 铝电解

铝生产是一种电化学过程,在电解过程中,氧化铝溶解在电解质中。电解质中含有氟化盐,电解温度在 940~960 °C 之间,电流为 100~300 kA,电流是通过阳极来通入的,其化学反应式如下:



目前有两种不同的电解槽:一种是自焙槽;另一种是预焙槽。自焙槽和预焙槽如图 2 所示。

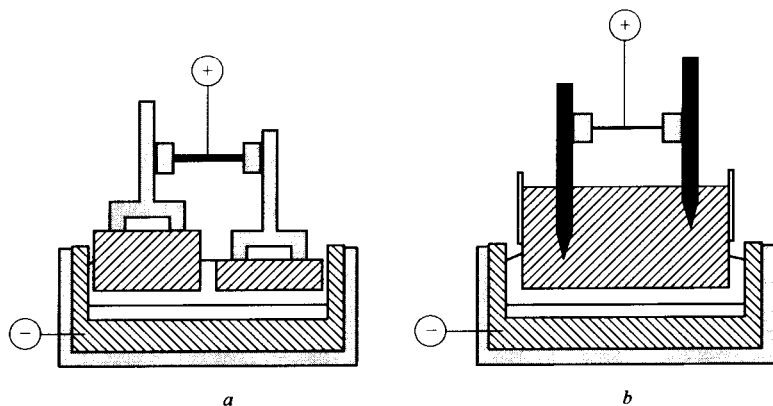


图 2 自焙槽和预焙槽  
a—预焙电解槽;b—自焙电解槽

两种电解槽都有钢槽,底部有炭阴极铝液,中间有电解质和熔融的氧化铝,上部有氧化铝层。

今天的新电解槽的设计都是预焙槽,也就是阳极先在焙烧炉中焙烧,然后进行浇铸。等阳极消耗到 80% 时(一般情况下是 4 周之后),就要重新换阳极,使用后剩下的阳极,也就是所谓的残极可回收利用。

## 3 铝消费

就目前的情况来说,发达国家的人均铝消费量为 15~30 kg,发展中国家的人均铝消费量仅为 10 kg。从表 1 中可清楚看到铝的消费情况。

表 1 人均铝消费量

| 国家或地区 | 人均铝消费量/kg | 国家或地区 | 人均铝消费量/kg | 国家或地区 | 人均铝消费量/kg |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| 北 美   |           | 欧 洲   |           | 亚 洲   |           |
| 美 国   | 26.5      | 德 国   | 24.8      | 巴 林   | 209.6     |
| 加拿大   | 21.8      | 意大利   | 19.8      | 印 度   | 0.5       |
| 南 美   |           | 瑞 士   | 19.4      | 日 本   | 32.7      |
| 墨西哥   | 3.0       | 法 国   | 17.3      | 中 国   | 0.5       |
| 巴 西   | 2.7       | 英 国   | 10.4      | 大洋洲   |           |
| 阿根廷   | 0.6       | 葡萄牙   | 6.3       | 澳大利亚  | 16.6      |
|       |           | 土耳其   | 0.8       | 新西兰   | 8.7       |

注：表中数据为 1995 年数据。

铝的消费主要通过以下途径：

- (1) 土木建筑和民用建筑；
- (2) 运输工具；
- (3) 消费资料；
- (4) 包装品；
- (5) 机械设备；
- (6) 汽车制造。

在今后的 30 年中，由于下列因素影响铝的消耗量会增加：

- (1) 世界人口的增加；
- (2) 发展中国家的铝消耗量增加；
- (3) 以铝为原料的新产品的出现。

下列因素将会限制铝的消耗：

- (1) 铝的消费将会受到生态环境的限制，比如对外包装的要求；
- (2) 铝的替代品的出现(塑料)。

当然在今后的 30 年内也会有技术上的变动更新：

- (1) 对铝的回收利用可能会减少对原铝的需求；
- (2) 由于不能解决的生态问题，自焙槽将被预焙槽所代替；
- (3) 一些老的预焙槽由于能耗太高加上生态问题，将难以维持，只能关闭。这种情况在欧洲和美国比较普遍；
- (4) 在一些电力低廉(建有水力发电厂或者天然气发电厂)或劳动力低廉的地方将会出现一些新的电解槽。

#### 4 铝工业发展预测(1990~2020 年)

根据上述情况和下列假定条件，可以展望未来世界铝工业的发展状况。

假定情况：

|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| 时间跨度      | 1990~2020 年               |
| 年消费增长率    | 1.5%(假定每年的增长率都是一样的)       |
| 再生金属      | 年增长率为 0.7%                |
| 自焙槽/预焙槽比值 | 到 2020 年由原来的 33%降低到小于 10% |

根据以上假定和有关统计数据,便可以计算出世界原铝的生产情况和地理分布情况,当然用这种方法计算出的结果也只能说明铝工业的一种发展趋势,这种预测出来的趋势也许与现实有很大的差距。电解槽生产能力的发展见表 2。

表 2 电解槽生产能力的发展(1990~2020 年)

| 电解槽生产能力 | 1990 年 |                 | 2000 年 |                 | 2010 年 |                 | 2020 年 |                 |
|---------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|
|         | Mt     | %S <sup>①</sup> | Mt     | %S <sup>①</sup> | Mt     | %S <sup>①</sup> | Mt     | %S <sup>①</sup> |
| 欧 洲     | 3.9    | 16              | 3.2    | 10              | 1.8    | 5               | 1.0    | 0               |
| 北 美     | 5.8    | 27              | 5.3    | 15              | 4.8    | 5               | 5.3    | 0               |
| 拉丁美洲    | 2.0    | 28              | 2.8    | 15              | 3.5    | 12              | 3.8    | 5               |
| 非 洲     | 0.7    | 25              | 1.0    | 0               | 1.3    | 0               | 1.4    | 0               |
| 亚 洲     | 1.4    | 21              | 2.4    | 10              | 3.0    | 0               | 3.4    | 0               |
| 大洋洲     | 1.5    | 0               | 1.8    | 0               | 2.1    | 0               | 2.3    | 0               |
| 俄罗斯     | 3.1    | 80              | 2.5    | 70              | 3.1    | 50              | 3.5    | 40              |
| 中 国     | 0.5    | 85              | 1.0    | 50              | 1.6    | 30              | 2.0    | 10              |
| 合 计     | 18.9   | 32              | 20.0   | 20              | 21.2   | 12              | 22.7   | <10             |

① 指自焙槽。

## 5 地理位置分布

北美和欧洲地区的原铝产量将会下降。美国与宾夕法尼亚州电管局的供电合同于 2001 年到期,这意味着届时美国的西北部地区铝工业将停产,加拿大铝业公司(ALCAN)已取得魁北克政府的支持,最迟到 2013 年将自焙槽改为预焙槽。在中欧地区由于能源昂贵再加上生态问题,一部分铝工业也会关闭。在冰岛和挪威有可能会出现一大批铝工业。拉丁美洲(委内瑞拉和智利)的铝产量有增加的可能,中东和非洲的铝产量也可能会增加。在澳大利亚和新西兰,原铝工业将会适度的增长,目前还不能预测俄罗斯将会发生怎样的变化,但可以相信金属工业不会削减,而且将会不断的实现现代化和技术更新,同时也会注意改善生态环境。在中国如果每人的铝消费量增加 0.5 kg,那么铝的需求量将会增加 50 万 t,也就是需要两个现代化的电解铝厂投产,所以随着人均消费量的增加,中国的铝电解工业也在不断发展。

## 6 铝的成本与价格

目前,电解铝成本主要包括图 3 所示的几方面,这几方面会因地理位置和工厂操作条件的不同而有很大的变化。对于一个新的铝电解厂来说,资金是最大的一部分,其次是原料,当然能源也是比较重要的一部分。

就铝的生产成本(不包括资金)来说,地区与地区间的差别是很大的。在中欧地区,高能源价格、高劳动力价格再加上保护生态环境的投资,使该地区铝生产成本非常高,这也是该地区将来铝产量降低的原因。美国也存在着相似的情况。在加拿大由于能源较便宜,铝的生产成本也较低,所以铝产量在该地区将会大幅度增加。委内瑞拉有丰富的铁铝矿石和氧化铝,又有低廉的能源和劳动力,这些条件对发展铝电解工业都是非常有利的。该地区已计划兴建一些新的电解厂,但政策却限制了投资商到该地区投资。

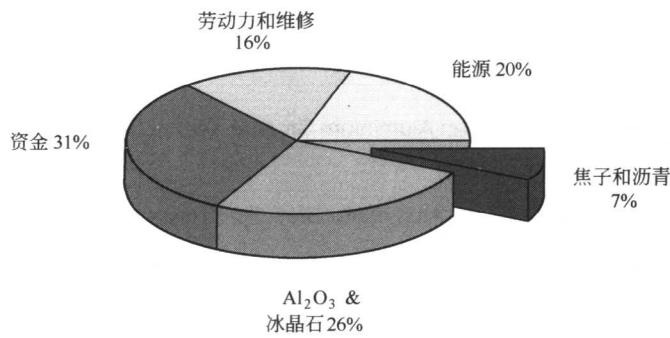


图3 铝生产成本

7 不同国家的铝生产成本

不同国家的铝生产成本见表3。

表3 不同国家的铝生产成本(美元/t)

| 国 家  | 生产成本   | 国 家  | 生产成本   |
|------|--------|------|--------|
| 澳大利亚 | 948.0  | 挪 威  | 1168.4 |
| 巴 西  | 1146.4 | 西班牙  | 1366.9 |
| 加拿大  | 948.0  | 英 国  | 1190.5 |
| 法 国  | 1036.2 | 美 国  | 1256.6 |
| 德 国  | 1344.8 | 委内瑞拉 | 1102.3 |

1993 年,西方国家铝的平均生产成本为 1135.4 美元/t(51.5 美分/lb),如果把资金考虑进去,每 1 t 铝大约需要 1426.4 美元(64.7 美分/lb)。

在铝生产刚开始的 70 年中,铝价格波动非常小,从 1543.2 美元/t(70 美分/lb)下降到 1102.3 美元/t(50 美分/lb)。在 20 世纪 70 年代,供需情况发生了变化,需求远远大于供应,导致铝价格上涨。早在 1980 年初,铝就已在伦敦金属交易会(LME)出现,与此同时铝的价格直接受供需关系的影响,到 1988 年铝价上升到 2204.6 美元/t(1 美元/lb),但很快下降到 1102.3 美元/t(50 美分/lb)。从 1994 年初铝价又开始回升,一直到现在的 1873.9 美元/t(85 美分/lb)(1994 年 12 月)。图 4 为 1977~1993 年铝价格的变化情况。

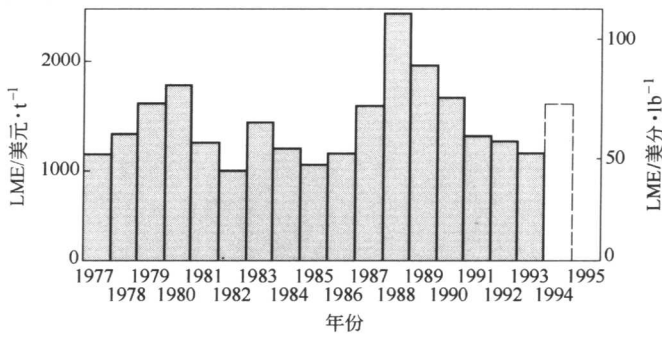


图4 LME 1977~1993 年铝价的发展变化情况



### 参 考 文 献

1. Barry Welch, 4th Australasian Aluminium Smelter Technology Workshop, Sidney, 1992.
2. The Aluminium Association, Aluminium Statistical Review, 1991.
3. Anthony Bird, *Aluminio e Leghe*, Marzo 1994, 11-15.

# 石油焦的生产:延迟焦化和煅烧

Ulrich Mannweiler

(RDC 内部发行,1994)

## 1 简介

石油焦是石油渣油深加工的副产品。一般情况下石油焦的生产有两种方法。第一种方法是炭化,第二种方法是加氢。因为所生产出的产品要求比加入的原料渣油轻一些,那么就必须降低碳氢比。

延迟焦化是一种脱碳过程,在焦化过程中生产出有价值的液体产品,而碳则以石油焦的形式被分离。加氢工艺就是残油的加氢裂化及脱硫过程。当前,这两种方法都在使用,但更多的选用延迟焦化工艺,其原因如下:

- (1) 投资低;
- (2) 技术性和可靠性已被证实;
- (3) 投资回收快;
- (4) 可处理的原料范围广;
- (5) 操作简单。

通过延迟焦化生产出的生石油焦需要在煅烧炉中煅烧,其目的是排除水分和挥发分,而煅后焦则可以用作铝用炭阳极的原材料。

对大多数石油精加工工厂来说,石油焦只是一种效益有限的副产品,因为它的价值只占其他产品总价值的2%左右,因此,一个精加工厂,总是使其液体和气体产品的产率达到最佳化,生石油焦的生产总量及质量就是这种优化结果的辅助产品,在典型的精加工企业中,如图1所示,生石油焦占原油体积的4%~6%,而其价值只占到2%。

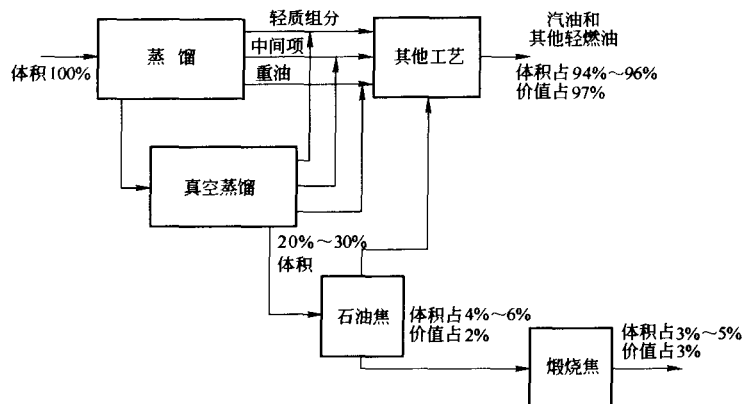


图1 延迟焦化的工艺及物料流程

40%的石油焦用作工业燃料,45%用作煅烧的原材料,15%用作冶金用焦。用作煅烧原材料的这种 45%的生石油焦,绝大部分用于铝工业。当前,铝的产量约为 1800 万 t,需要 700 万 t 的煅后焦。

生石油焦的质量与原油的质量、原油的加工工艺以及延迟焦化的生产工艺参数有关,而煅后焦的质量直接受生石油焦的质量和煅烧条件的影响。

2 延迟焦化

延迟焦化流程如图 2 所示,原料由泵从原料槽中打出,通过换热器进入主分馏塔底部,残油和焦塔顶部汽态物质的冷凝液一起由泵首先打入焦化塔加热炉,并加热到焦化温度,然后通过一个三向阀直接打到一个焦塔底部,经过热转换形成石油焦。

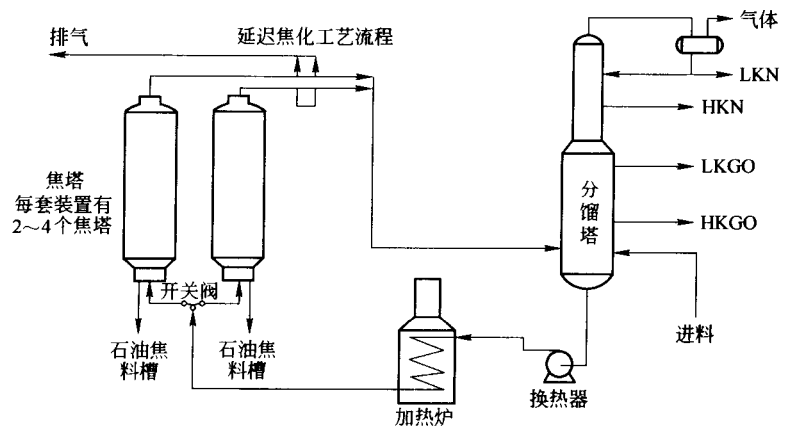


图 2 延迟焦化流程

在延迟焦化塔中,在 0.2 MPa(2 bar)的压力下,塔中的原料被加热到 480~510℃,为了防止在加热管内石油焦沉淀物的形成,管内物质要求高流速。热解流出物进入焦塔,在此保持足够的时间和温度,以使石油焦逐渐形成,这也就是所谓的延迟焦化。典型的焦化周期是 32 h,在前 16 h,一个焦炭塔内充满生石油焦,直到焦化过程完成。热的生石油焦通过水冷却后,打开焦塔进行出焦操作。通过钻焦系统,生焦由塔内壁被切下后,要么进入贮料仓要么直接装上轨车。通常情况下有两个焦炭塔在工作,一个焦炭塔处在焦化状态,而另一个在进行出焦操作。

生石油焦的质量如下:

|      |         |
|------|---------|
| 含碳物质 | 70%~80% |
| 挥发分  | 10%~12% |
| 水分   | 5%~15%  |
| 硫分   | 1%~3%   |
| 金属杂质 | ≤0.1%   |

3 石油焦的煅烧

煅后焦作为一种高纯度炭原料,主要用于铝用炭阳极的生产。通过在煅烧炉(回转床煅烧炉或回转窑,如图 3 所示)中的煅烧过程,排除水分和挥发分。石油焦在达其最终密度前,