



*Analysis of GHG Mitigation Policy in China's
Aluminium sector*

中国铝工业减缓温室气体排放
的政策分析

刘文玲

Wenling Liu

清华大学国际环境研究中心
清华大学环境科学与工程系

2009-05-11



研究目的 (Research objectives)

- 目的：在后京都时代，中国可以如何更多的减缓温室气体排放
- 回答以下问题：
 - 主要高耗能行业的温室气体减排和减排技术发展有哪些机遇和挑战
 - 主要关注电力、水泥、钢铁、交通和铝业
 - 如何设计国内政策和国际合作机制来促进减排技术和政策在中国的发展



铝行业的特殊性(Specificity)

-Compare with electricity , cement and iron and steel sector:

- 工艺流程相对复杂，温室气体排放计算过程繁琐；
- 目前中国尚无铝工业温室气体排放的统计核算；
- 没有关于GHG排放情景的分析预测等方面的研究；
- 现有研究对铝行业先进减排技术的识别论证相当有限，很难系统分析各项技术的减排潜力与成本；



Table of content

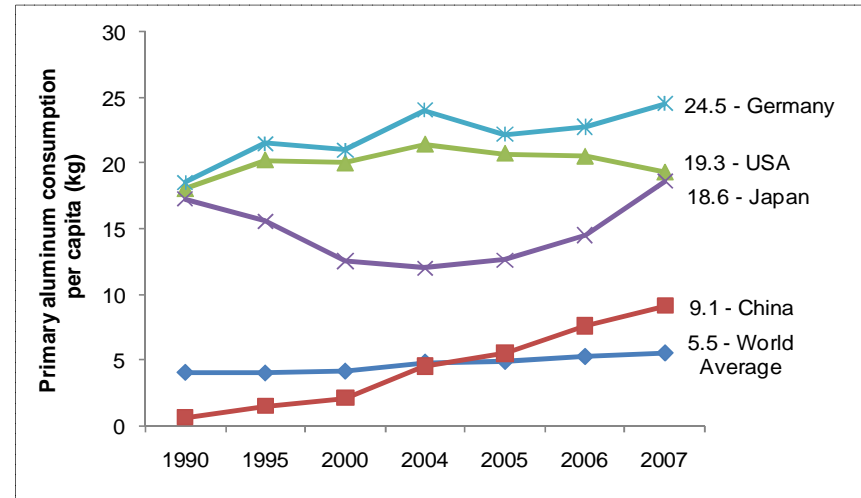
- 中国铝工业简介 (Brief introduction)
- 关于铝行业温室气体排放的计算(GHG emissions calculation)
- 行业内现有减排政策实施及影响(Policies and implication)
- 铝工业温室气体减排技术初步识别(Mitigation options)
- 行业内先进减排技术应用的潜在障碍(Barriers to utilize advanced technologies)
- 关于中国未来可能的减排政策和国际合作需求的讨论 (Policies in future and international cooperation discussion)



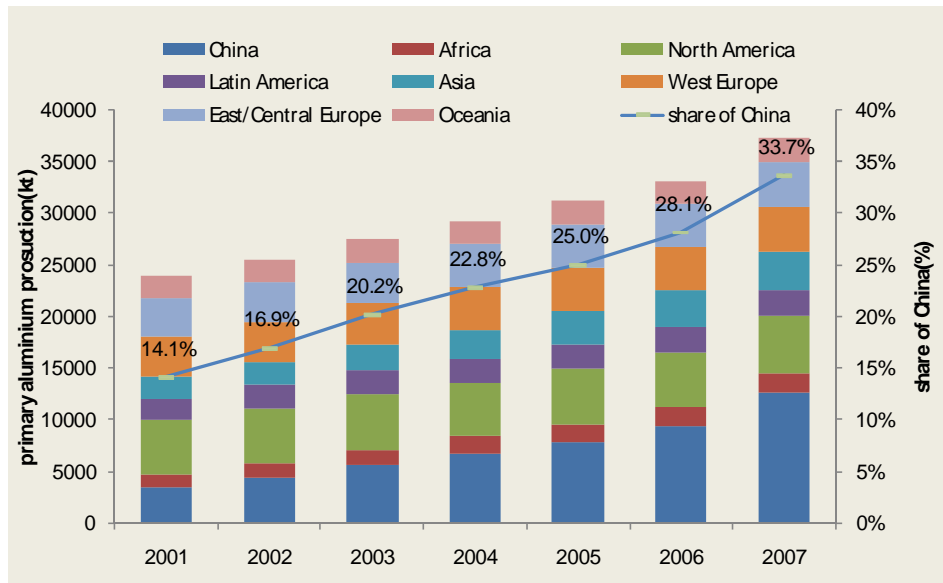
中国铝工业总量大，增长速度快

Huge gross production, with a rapid growth

- 自2003年，中国氧化铝产能年均增长33.8%；原铝产量年均增长16%以上，连续6年居世界第一。



各国历年人均铝消费量比较



历年各国原铝产量比较

- 人均铝消费量远低于发达国家水平，未来铝工业增长空间仍然很大

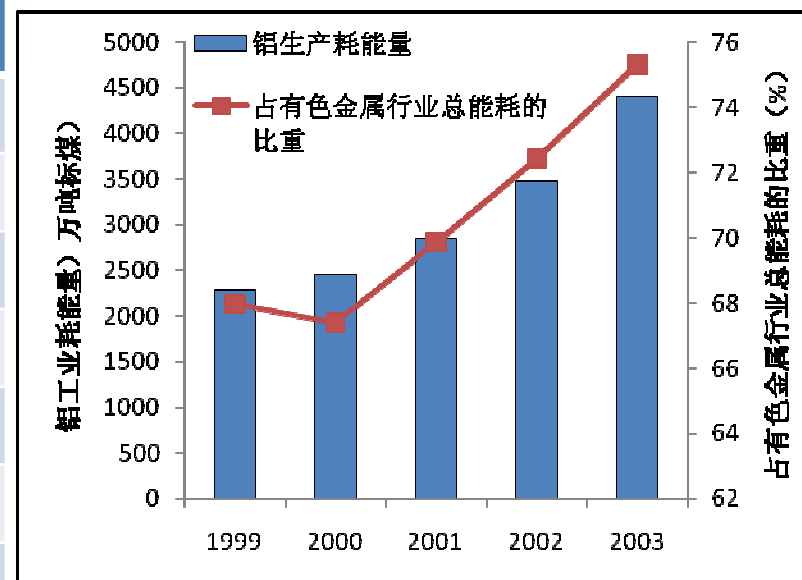


铝工业能耗水平高并且持续增长，电力消耗突出

Energy consumption keeps on growing

- 原铝生产的能耗量占有色金属行业总能耗的55%左右¹；中国原铝生产能耗占到整个有色金属工业能耗的75%²；
- 2004年铝电解耗电1.7EJ,占全球电力消耗量的3.5%；中国电解铝工业总用电量接近全国电力总消费量的5%²。

年份	总耗电量 (亿千瓦时)	比上年增长 (%)	占全国用电量 (%)
2000	462.73	5.58	3.43
2001	551.32	19.15	3.77
2002	685.86	24.40	4.20
2003	836.12	21.91	4.38
2004	979.50	17.15	4.51
2005	1137.70	16.15	4.59
2006	1375.37	20.89	4.86



铝工业能耗变化²

铝工业的温室气体排放不容忽视！



铝土矿资源质量差，制约铝工业技术提高

Poor quality of bauxite restricts development of technological process

- 我国铝土矿以一水硬铝石为主，储量占全国总储量的98.46%，三水铝石型矿石储量只占1.54%；
- 我国铝土矿资源的突出特点是高铝、高硅、高铁，这在一定程度上制约了氧化铝生产工艺的发展。

国家	化学成分%			主要矿物
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	
澳大利亚	25~58	0.5~38	5~37	三水铝石、一水软铝石
几内亚	40~60.2	0.8~6	6.4~30	三水铝石、一水软铝石
巴西	32~60	0.92~25.8	1~58.1	三水铝石
中国	50~70	9~15	1~13	一水硬铝石

我国与其他国家铝土矿特点比较



Gap between China and advanced world level is significant in technological process and efficiency



受工艺、技术和装备水平制约，我国铝工业效率与能耗水平与国际先进水平差距明显

氧化铝生产

- 氧化铝产品大部分是用流程复杂、效率低、能耗高的联合法和烧结法生产的，仅有少部分产品用能耗较低的纯拜耳法生产
- 平均能耗约为世界平均水平的二倍

电解铝生产

- 铝电解槽寿命过短，国际上的大型预焙铝电解槽寿命在7年以上，有的已达到10年，而我国铝电解槽平均寿命仅4年左右；
- 碳阳极消耗过高；

河南为例：
13900~15000
34%
54%

名称	国外氧化铝厂			中国氧化铝厂 (2005年)			
	美洲	欧洲	澳洲	拜耳法	联合法	烧结法	平均
总能耗 (标煤) kg/t	375	397	405	446	980	1200	990

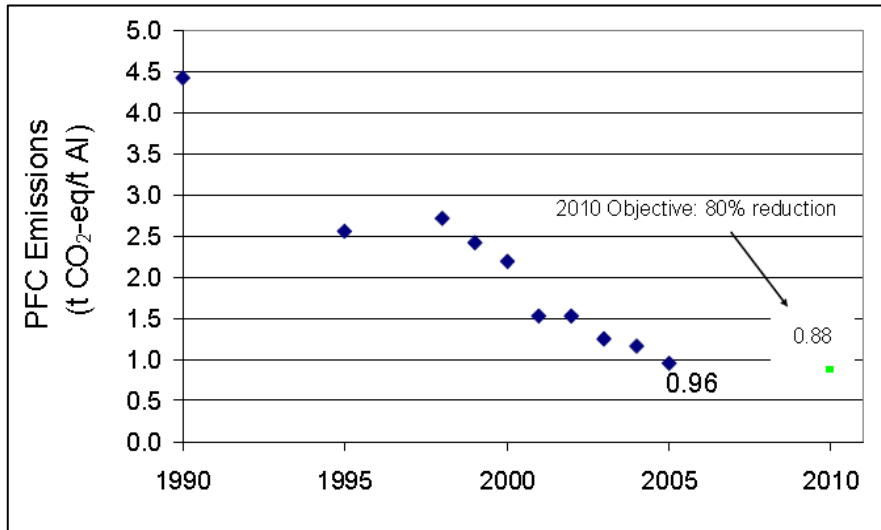
指标	美铝、加铝	欧洲法铝海德鲁	中国电解铝企业
电流效率 (%)	94	94~96	91~95
AE系数(次/槽日)	0.03 ~ 0.05	0.03 ~ 0.06	0.1 ~ 0.3
净炭耗 (kg/t)	400 ~ 410	395 ~ 405	400 ~ 440
平均槽寿命 (d)	2500	2200 ~ 2500	1500 ~ 2000

- 行业内技术水平参差不齐
- 集中度低于国际水平
- 制约了先进技术在行业内的有效扩散



有关铝工业温室气体减排潜力的研究

Related research on GHG reduction potential in aluminium sector

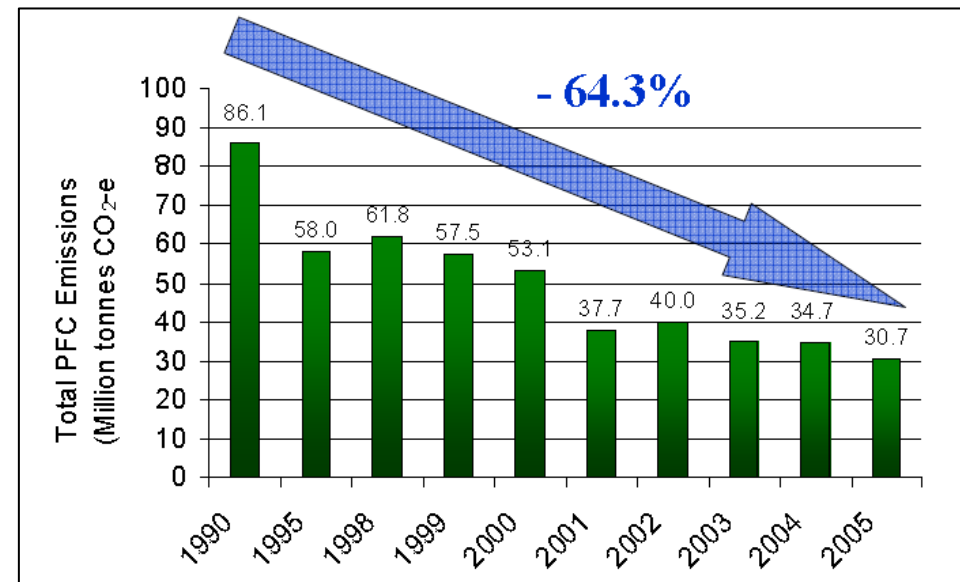


- Total PFC emissions reduced by 55.4 million tonnes or 64.3% from 1990 to 2005

Total PFC Emissions to Atmosphere Decreasing

PFC emissions trends

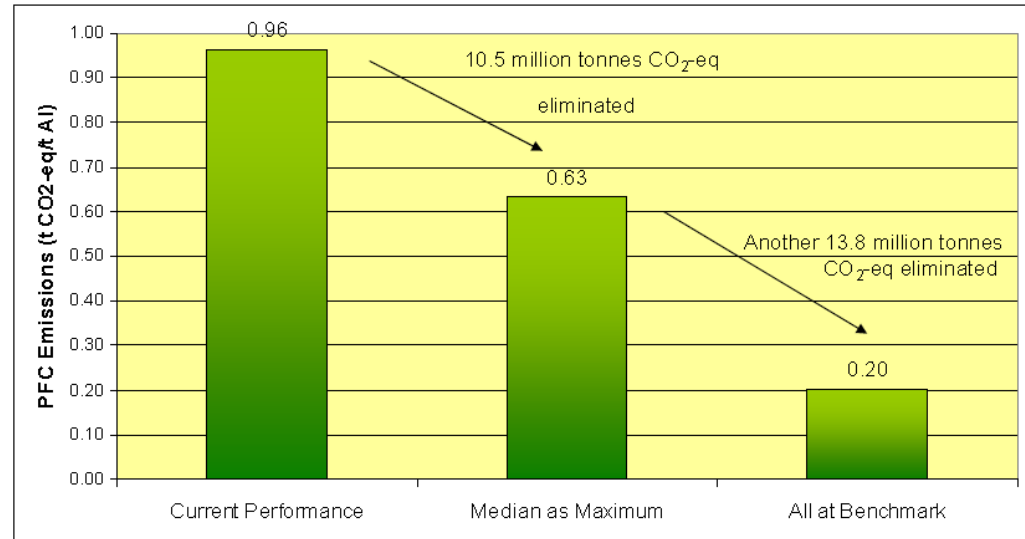
- 78.6% reduction in PFC emissions per tonne aluminium produced relative to 1990 baseline



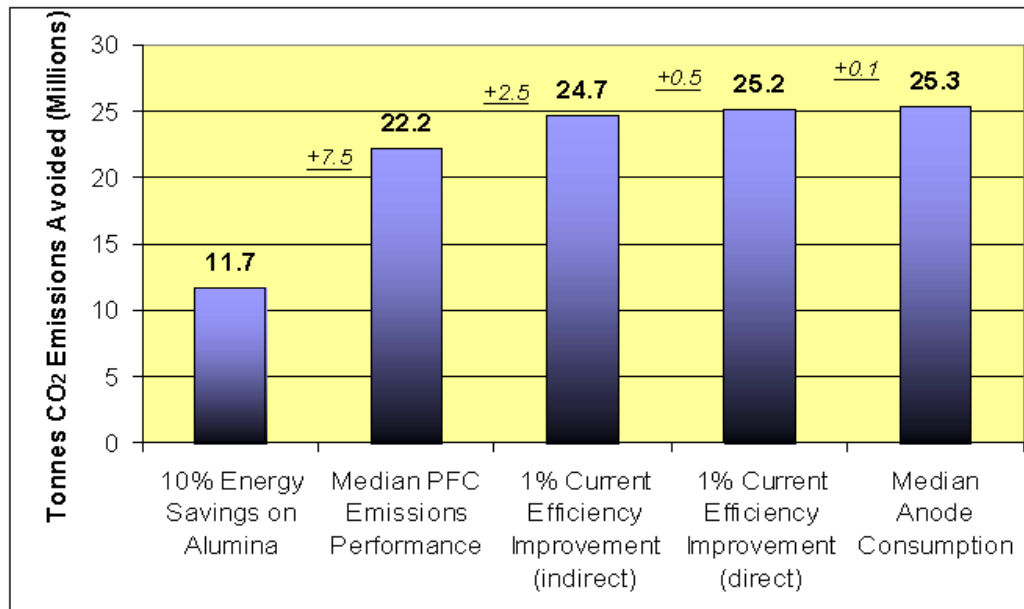


有关铝工业温室气体减排潜力的研究

- Moving those smelters that operate with PFC emission rates higher than the median to the median emission rate would more than meet the IAI PFC emission goal for 2010



Overall Potential for GHG Savings



PFC Emissions reduction Potential

- Potential to save about 25 million tonnes CO₂ and CO₂ equivalent emissions with current technology

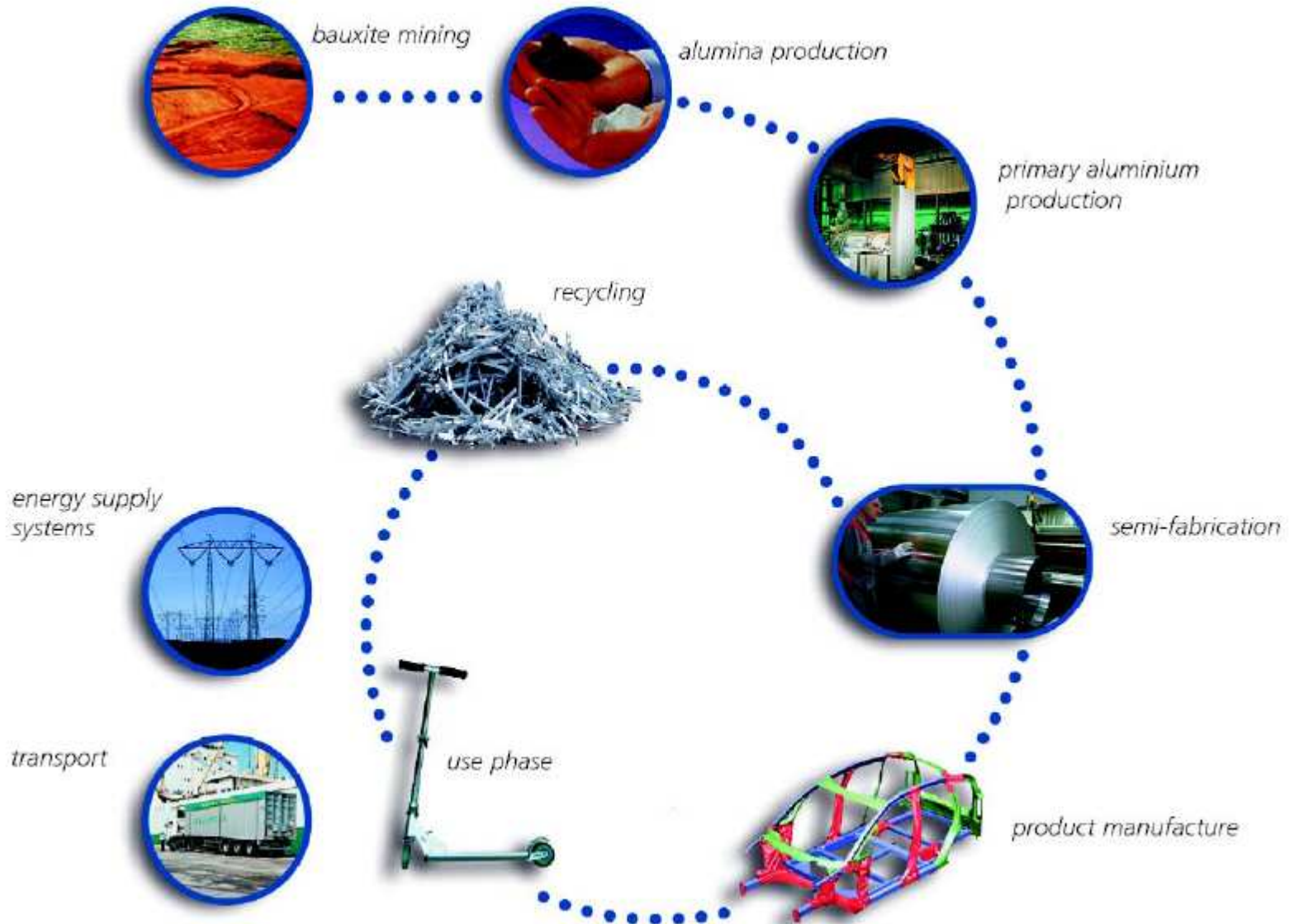
通过技术升级和效率提升实现的温室气体减排量非常可观！

Source : IAI



Table of content

- 中国铝工业简介 (Brief introduction)
- 关于铝行业温室气体排放的计算(GHG emissions calculation)
- 行业内现有减排政策实施及影响(Policies and implication)
- 铝工业温室气体减排技术初步识别(Mitigation options)
- 行业内先进减排技术应用的潜在障碍(Barriers to utilize advanced technologies)
- 关于中国未来可能的减排政策和国际合作需求的讨论 (Policies in future and international cooperation discussion)



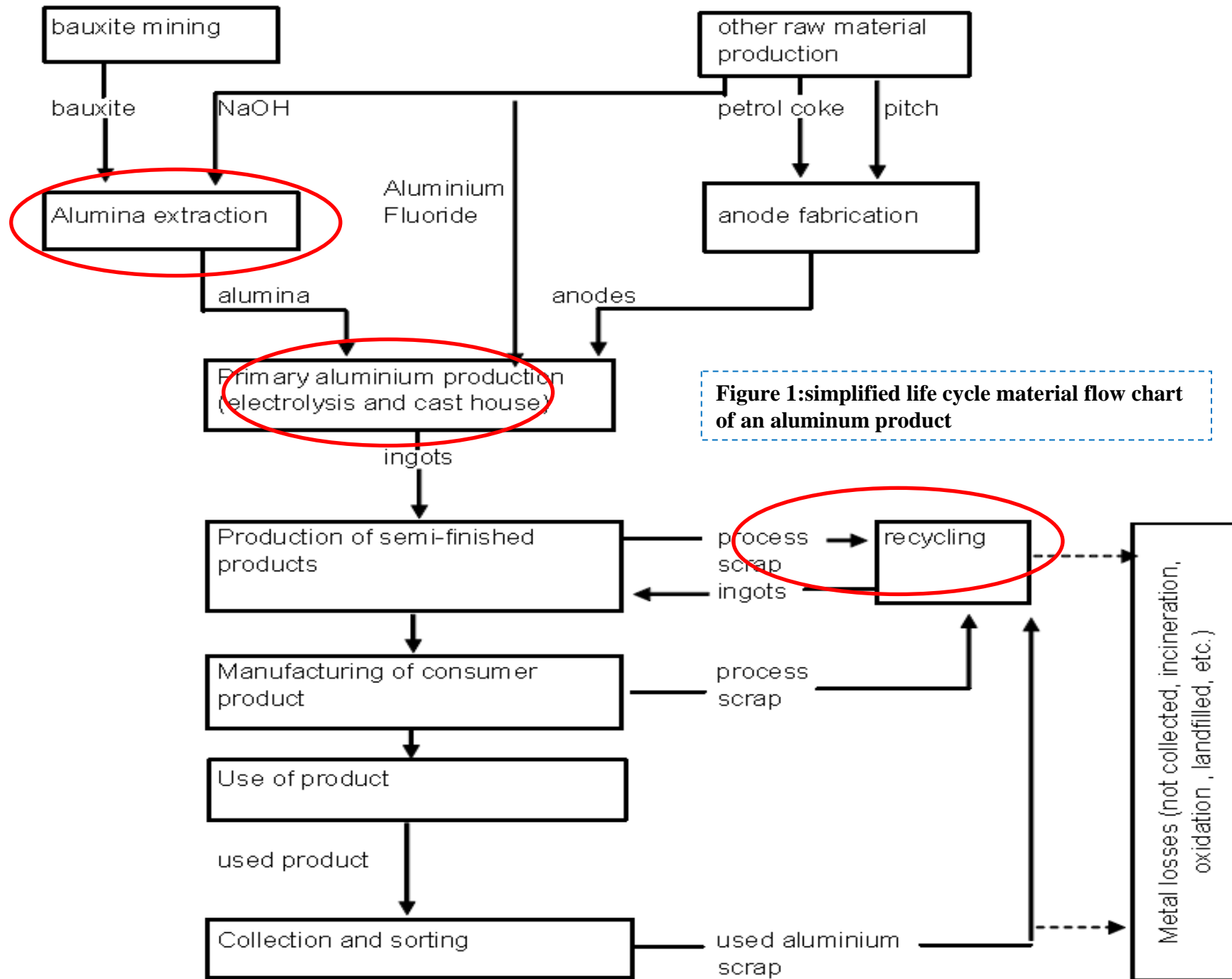


Figure 1:simplified life cycle material flow chart of an aluminum product



铝生产的温室气体排放

Alumina Production

1.5 – 2.5 t CO₂eq/t Al

IAI survey average = 1.9

Electricity Input

15.3 MWh/t Al

0 – 20.8 t CO₂/t Al

IAI survey average = 5.4

PFC Generation

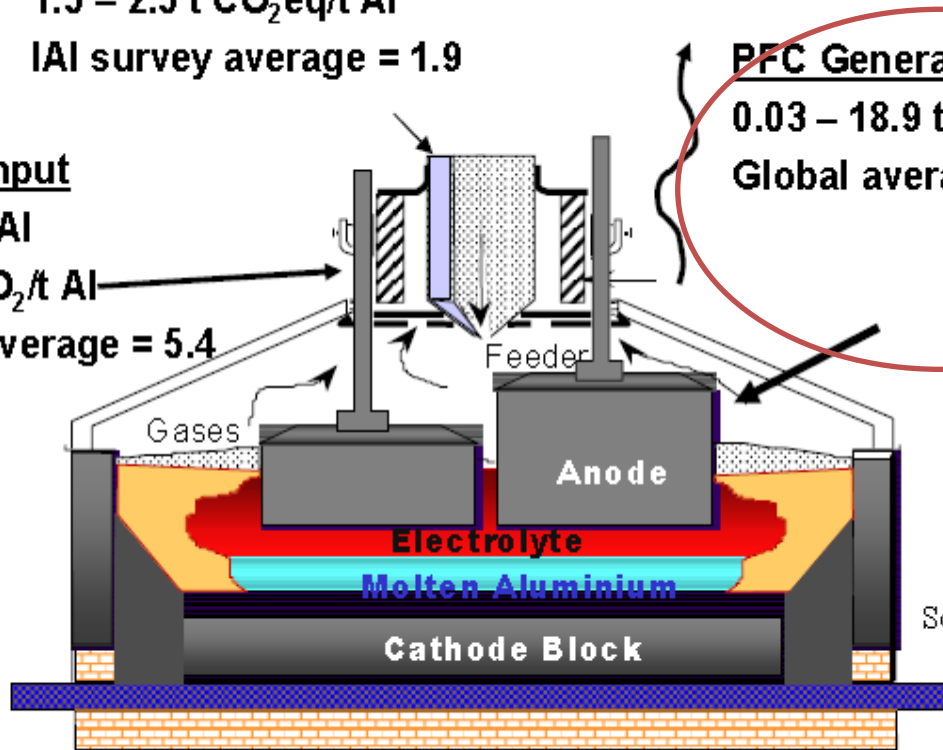
0.03 – 18.9 t CO₂eq/t Al

Global average = 0.96

Anode Carbon

1.7 – 2.1 t CO₂eq/t Al

IAI survey average = 2.0



Sources: IAI 2000 Life Cycle Inventory Data
IAI 2005 PFC Survey
IAI 2004 Energy Survey

- Two PFC (perfluorocarbon compounds - CF₄ and C₂F₆) contribute about 32% of direct primary aluminium GHG emissions

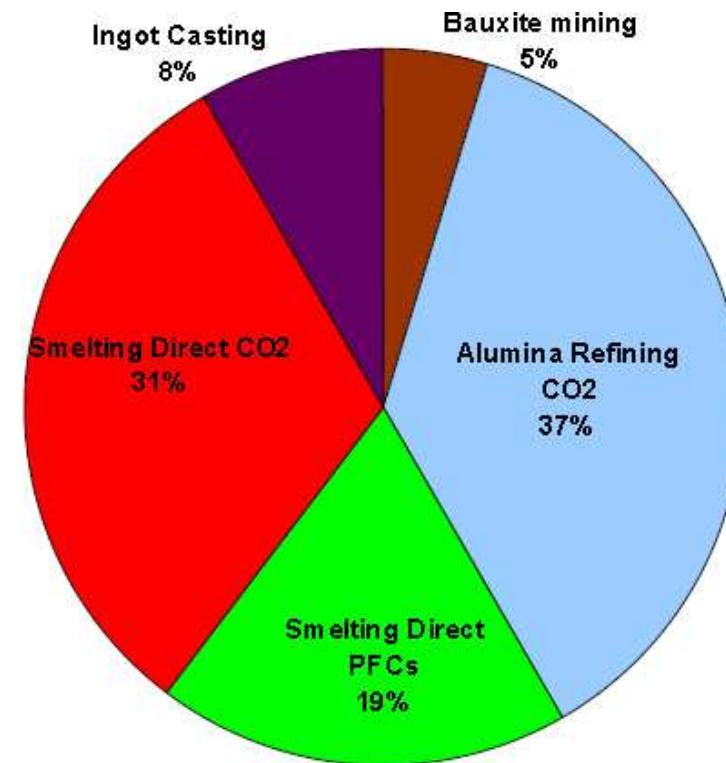
Source : IAI



Total global GHG emissions resulting from primary aluminium production(2005)

Process	Mt CO ₂
Bauxite mining	7.9
Alumina refining CO ₂	60.9
Smelting direct PFCs	30.6
Smelting indirect CO ₂	51.9
Ingot casting	13.6
Total PFCs and CO ₂ (CO ₂ -eq)	165
Smelting electricity contribution	240

Percent Contribution to GHG Emissions by Process



- Percent Contribution (Excluding electricity) 0-60%
- Percent Contribution (Including electricity) 50-60%
- Compare with 5% for iron and steel

铝工业温室气体主要排放源：
 •氧化铝精炼过程排放；
 •铝电解耗电排放；
 •铝电解过程中阳极效应排放 (CO₂和PFCs)

50% of GHGs from production in direct when indirect GHGs from considered the next biggest contributor emissions

Source : IAI



中国铝行业温室气体排放计算的障碍分析

现有统计数据：

Obstacles of calculation

Indirect Emissions

- 能源统计-并无铝行业终端能耗的统计，只有有色金属行业的能耗数据
- 氧化铝精炼耗能产生排放——氧化铝综合能耗值可得，**具体燃料结构未知**；
- 铝电解耗电产生排放——电解铝综合交流电耗可得；

Direct Emissions

不可行

中国铝行业尚无这些统计数据

CO2 emissions :

- Alumina process emission factor-**no**
- Anode consumption-**no**
- Facility specific anode composition-**no**

PFCs emissions:

- Process data(AE minutes or AE overvoltage)-**no**
- Facility specific PFC coefficients-**no**

Besides ,

Calculation equation should be applied to each smelter in the country and the results summed to arrive at total national emissions

目前，关于中国铝工业温室气体排放量尚无达成共识的结果，也没有有关排放情景分析与预测的研究。



Table of content

- 中国铝工业简介 (Brief introduction)
- 关于铝行业温室气体排放的计算(GHG emissions calculation)
- 行业内现有减排政策实施及影响(Policies and implication)
- 铝工业温室气体减排技术初步识别(Mitigation options)
- 行业内先进减排技术应用的潜在障碍(Barriers to utilize advanced technologies)
- 关于中国未来可能的减排政策和国际合作需求的讨论 (Policies in future and international cooperation discussion)



历年政策

2005年	《铝工业发展政策》 《铝工业发展专项规划》
2006年	《关于加快铝工业结构调整指 《国务院关于加快推进产能过
2007年	《关于进一步贯彻落实加快产业 急通知》 《铝行业准入条件》 《铝冶炼产品能耗限额标准》 《重点耗能企业能效水平对标活动实施方案》 “取消了电解铝各种形式的优惠电价政策，并实行差别电价” “取消部分铝制品出口退税” “对部分铝产品开征15%出口关税” “关于印发节能减排综合性工作方案的通知”
2008年	《电解铝企业单位产品能源消耗限额》 《铝合金建筑型材单位产品能源消耗限额》

- 企业布局、规模与外部条件要求
- 工艺和装备要求 (eg.新建生产线AE系数低于0.08)
- 能耗标准 (eg.新建拜耳法低于500kg tce/t,其他工艺低于800kg tce/t ; 电耗、电流效率...)
- 资源消耗与综合利用标准 (铝土矿损失率、新水消耗、电解过程氧化铝单耗、阳极炭耗...)
- 环境保护 (污染物排放标准..)



按政策目标政策列举

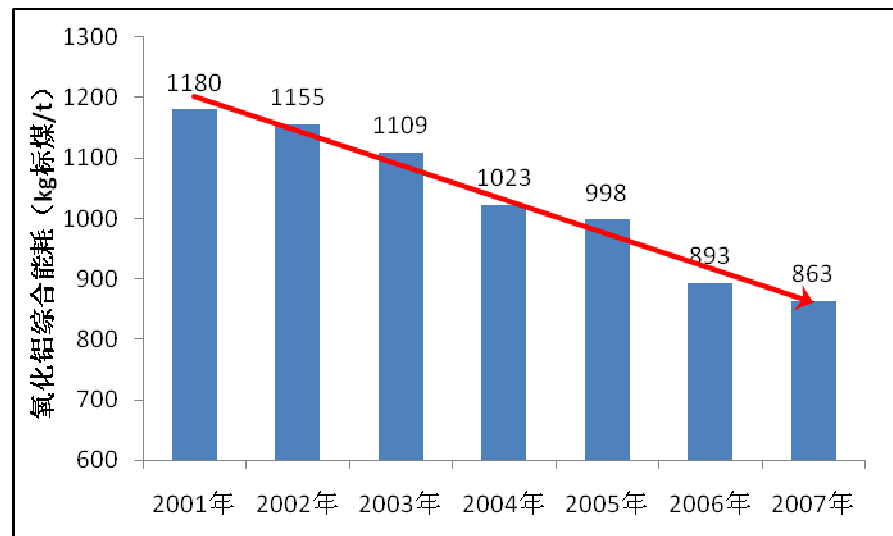
<p>控制投资 产业结构调整</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ “对电解铝实行严格的固定资产投资项目审批制” ■ 推动企业联合重组,优化资源配置; ■ 抑制重复建设,实现规模化、集约化经营; ■ 鼓励支持铝资源和铝工业的海外开发; ■ “取消了电解铝各种形式的优惠电价政策,并实行差别电价” ■ “取消部分铝制品出口退税” ■ “对部分铝产品开征15%出口关税”
<p>节 环</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 淘汰落后工艺,特别是自焙槽炼铝以及落后的铝加工工艺装备; ■ 大力支持循环经济,要求2010年再生铝在铝总消费中达到25%; ■ 对各级政府提出节能减排目标任务和要求,明确要求电解铝工业淘汰小型预焙槽电解生产工艺,2010年底前淘汰落后产能60万吨; ■ 对氧化铝、电解铝及铝加工提出了准入条件,提高了准入门槛,对资源、能 <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>现有政策特点：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 经济性政策（如差别电价、进口关税、出口退税等）主要用于调整产业结构，控制产能过剩； ● 产品能耗控制主要采取行政命令型政策。 </div> <ul style="list-style-type: none"> ■ 规定“铝液交流电耗”、“铝锭综合交流电耗”和“综合能源单耗”等指标的能耗限 ■ 额；



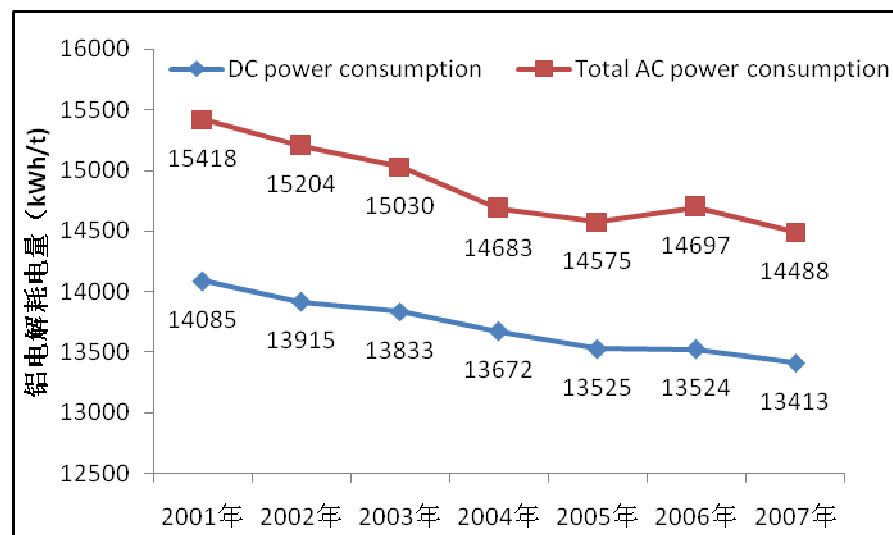
近年来取得的节能效果显著

Outcomes of energy-efficiency and emission reduction actions

- 2007年，氧化铝综合能耗降到863 千克标煤/吨，同比节能60 万吨标煤
- 2001年至2007年间，铝锭综合交流电耗平均每年下降1%；
- 2006年铝锭综合交流电耗已降到14697千瓦时/吨，接近IAI制定的交流电耗到2010年达到14600千瓦时/吨的节能目标；
- 2007 年铝锭综合交流电耗14488 千瓦时/吨铝，同比降低183千瓦时/吨铝，共节电23 亿千瓦时。



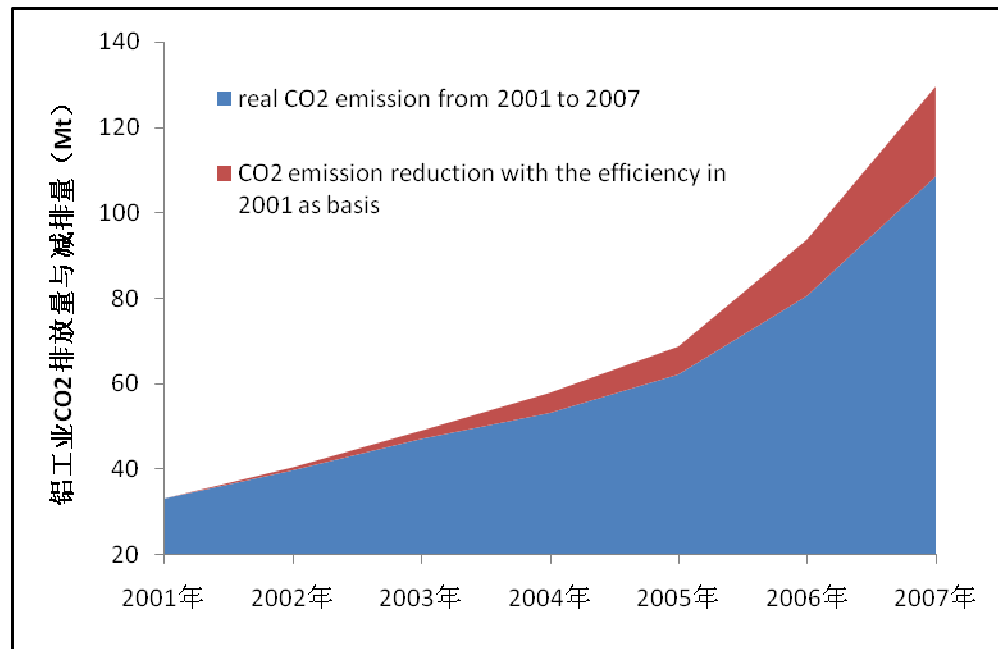
氧化铝综合能耗变化



电解铝耗电量变化



- 以2001年的能耗为基准测算，2001至2007年间我国铝工业生产累计减少CO₂排放达4800万吨



注：减排量根据现有能耗、电耗数据和IPCC相关排放因子默认值进行简单估算



Table of content

- 中国铝工业简介 (Brief introduction)
- 关于铝行业温室气体排放的计算(GHG emissions calculation)
- 行业内现有减排政策实施及影响(Policies and implication)
- 铝工业温室气体减排技术初步识别(Mitigation options)
- 行业内先进减排技术应用的潜在障碍(Barriers to utilize advanced technologies)
- 关于中国未来可能的减排政策和国际合作需求的讨论 (Policies in future and international cooperation discussion)



铝工业节能降耗的主要途径

The main way of energy saving

- 提高氧化铝工艺节能技术水平，降低能耗
- 提高供电系统效率、提高电流效率，降低电耗水平
- 提高电解槽控制水平，降低阳极效应系数
- 降低电解槽平均电压
- 延长电解槽寿命
- 加强资源计量管理



铝工业温室气体减排技术初步识别

Preliminary recognition

1、Inert anodes:

- End CO₂ emissions from carbon anode use;
- Eliminate PFCs emission from electrolysis;
- Reduce the electricity consumption;

But

- Only suited for new smelters because the cell design has to change fundamentally;
- R&D efforts are all made “in-house”, not through collaborative technology platforms;
- Ultimate technical feasibility is not yet proven.

& More efficient cathodes

Source : IEA report



铝工业温室气体减排技术初步识别

Preliminary recognition

2、铝电解槽余热回收与利用技术(heat recovery)

- 可将电解槽的能源利用率由目前的48%提高到60%左右

3、低温型铝电解工艺(low temperature in electrolysis)

- 使电解温度由目前的950°C左右降到电解温度900°C以下，直流电耗可降至12000-12400kWh/t Al

4、低电压电解条件下的过程控制技术(low voltage in electrolysis)

- 可将阳极效应系数减小到0.05，PFCs温室气体减排50%以上

资料来源：陶遵华，梁学民.我国电解铝工业的发展与节能



Table of content

- 中国铝工业简介 (Brief introduction)
- 关于铝行业温室气体排放的计算(GHG emissions calculation)
- 行业内现有减排政策实施及影响(Policies and implication)
- 铝工业温室气体减排技术初步识别(Mitigation options)
- 行业内先进减排技术应用的潜在障碍(Barriers to utilize advanced technologies)
- 关于中国未来可能的减排政策和国际合作需求的讨论 (Policies in future and international cooperation discussion)



铝行业内先进减排技术应用的潜在障碍

- 我国铝土矿资源和能源结构特点制约先进减排技术的应用
- 铝行业内企业“闭门”研发，限制先进技术的推广
- 工业设备的锁定效应，对技术和资金提出更高要求
- 铝生产企业受国内政策及国际市场影响，生存环境恶化，节能技改资金不足
- 政府能力建设亟待提高，制约铝工业节能减排



铝行业内先进减排技术应用的潜在障碍

- 我国铝土矿资源和能源结构特点制约先进减排技术的应用 (Ore quality and energy structure)
- 铝行业内企业“闭门”研发，限制先进技术的推广
- 工业设备的锁定效应，对技术和资金提出更高要求
- 铝生产企业受国内政策及国际市场影响，生存环境恶化，节能技改资金不足
- 政府能力建设亟待提高，制约铝工业节能减排

- 铝土矿资源特点制约氧化铝生产中拜耳法的应用
- 以煤为主的能源结构制约燃料和电力消耗带来间接排放的减排



铝行业内先进减排技术应用的潜在障碍

- 我国铝土矿资源和能源结构特点制约先进减排技术的应用
- 铝行业内企业“闭门”研发，限制先进技术的推广 (“In-house” R&D)
- 工业设备的锁定效应，对技术和资金提出更高要求
- 铝生产企业受国内政策及国际市场影响，生存环境恶化，节能技改资金不足
- 政府能力建设亟待提高，制约铝工业节能减排

- 铝行业中企业“闭门”研发在国际铝业中较普遍；
- 举例：云南铝业采用锂盐电解的技术，大大降低了铝电解的能耗，该技术在云铝中应用也较成熟，但企业的技术封锁限制了技术在国内的普遍推广



铝行业内先进减排技术应用的潜在障碍

- 我国铝土矿资源和能源结构特点制约先进减排技术的应用
- 铝行业内企业“闭门”研发，限制先进技术的推广
- 工业设备的锁定效应，对技术和资金提出更高要求 (“Lock-in” effects)
- 铝生产企业受国内政策及国际市场影响，生存环境恶化，节能技改资金不足
- 政府能力建设亟待提高，制约铝工业节能减排

- 中国正处于城市化和工业化进程中的关键时期，在更新旧设备和引进新技术方面都面临着严重的技术和资金缺口；
- 而部分先进技术对工业设备提出了更高的要求，如前所述的惰性阳极技术，只能应用于新的熔炉。



铝行业内先进减排技术应用的潜在障碍

- 我国铝土矿资源和能源结构特点制约先进减排技术的应用
 - 铝行业内企业“闭门”研发，限制先进技术的推广
 - 工业设备的锁定效应，对技术和资金提出更高要求
 - 铝生产企业受国内政策及国际市场影响，生存环境恶化，节能技改资金不足(financial barrier)
 - 政府能力建设亟待提高，制约铝工业节能减排
- 近年来，出口限制等调控政策一定程度上造成国内铝生产产能过剩，企业面临困境；
 - 部分企业依赖进口铝土矿，受铝土矿价格波动的影响明显。



铝行业内先进减排技术应用的潜在障碍

- 我国铝土矿资源和能源结构特点制约先进减排技术的应用
- 铝行业内企业“闭门”研发，限制先进技术的推广
- 工业设备的锁定效应，对技术和资金提出更高要求
- 铝生产企业受国内政策及国际市场影响，生存环境恶化，节能技改资金不足
- 政府能力建设亟待提高，制约铝工业节能减排
(inability to collect sectoral GHG statistics)

- 目前还没有铝工业CO₂、PFC核算体系；
- 数据收集、绩效测定、减排的监测与监管等都是薄弱环节。



Table of content

- 中国铝工业简介 (Brief introduction)
- 关于铝行业温室气体排放的计算(GHG emissions calculation)
- 行业内现有减排政策实施及影响(Policies and implication)
- 铝工业温室气体减排技术初步识别(Mitigation options)
- 行业内先进减排技术应用的潜在障碍(Barriers to utilize advanced technologies)
- 关于中国未来可能的减排政策和国际合作需求的讨论
(Policies in future and international cooperation discussion)



未来铝行业可能的温室气体减排政策

- 进一步淘汰落后产能，淘汰小型预焙槽生产；
- 一个政策设想：考虑将经济性政策用于能耗控制，依据能耗水平的高低制定资源（电力）价格，以优惠的资源价格作为对能耗水平低企业的奖励措施；
- 推广铝行业内CDM 项目的开发(CDM development)
 - 潜在CDM 项目类型：余热利用、提高能效、PFC减排、燃料替代等
 - 2007年5月，中铝公司与英国瑞碳投资有限公司达成合作意向开展CDM项目开发；同年河南商店铝业集团于伊川电力集团、中孚实业、焦作万方、神火集团、万基铝业和商电铝业六家重点电解铝生产企业与MGM国际公司和阿根廷阿鲁尔铝业公司协商CDM项目合作



铝工业节能减排国际合作探讨

International cooperation

能力建设方面(capacity building) :

- 加强铝工业的数据收集和资源计量工作，将强产品生产过程中各项技术指标的监测与统计，尽快建立铝行业的温室气体排放量核算体系

技术方面(technology support) :

- 加强铝生产余热回收利用技术，电解槽控制技术、电解槽寿命延长技术等方面的国际合作、技术转让和创新开发

资金方面(financial support) :

- 资金支持用以先进减排技术的引进和设备购置；支撑行业温室气体排放的数据收集、指标计量、核算体系的建立和相关审核工作



谢谢！