



International Aluminium Institute

氧化铝工业技术发展指南

Alumina Technology Roadmap

2010 版



IAI 铝土矿&氧化铝委员会



中国铝业郑州研究院译

2010 年 11 月



中文版序言

近年来，世界氧化铝工业得到了快速发展，我国冶金级氧化铝产销量更是跃居世界第一。而伴随氧化铝生产存在的高能耗、高排放、特别是废弃物安全堆存等问题，则日益得到国际社会的广泛关注，氧化铝工业的可持续发展面临挑战。氧化铝工业要想有效应对未来的挑战，必须团结国际社会各方面的力量，通过重大技术创新和持续技术改进才能得以实现。

第一版“氧化铝工业技术发展指南”于**2001年11月**出版，是继当年AMIRA组织召开行业会议之后编写的。这次会议的召开及技术指南的出版是在美国Energetics, Inc.的推动下，由美国铝业协会，美国能源部工业技术办公室（DOE/OIT），澳大利亚工业、科学和资源部以及其所辖**9家**氧化铝企业的通力合作完成的。“指南”重点关注未来15-20年氧化铝工业技术需求，为铝行业明确未来之技术需求提供一种渠道，并使得研究机构、供应商及大学能将目光集中于行业存在的重大关键问题。“指南”自发布以来分别进行了**2次**修订，但均未涉及中国氧化铝工业的技术需求。**2010年4月**，国际铝协（IAI）在中国郑州召开会议。商讨“氧化铝工业技术发展指南”修订事宜。本次会议由中国铝业郑州研究院主办，会议汇集了来自包括中国在内世界各地铝土矿和氧化铝行业的著名专家，讨论了氧化铝工业可持续发展、矿山复垦、铝土矿残余物管理、能源效率及业内最新技术进展等重大问题。大会不仅为审查指南修订草案提供了机会，同时还为在草案中加入中国氧化铝工业的相关内容提供了详细资料，首次形成了真正意义上全球氧化铝工业未来**15-20年**的可持续发展技术路线图。

受国际铝协委托，中国铝业郑州研究院将《Alumina Technology Roadmap》**2010年**修订版译成中文。“指南”共由五章组成，分别为前言、修订指南的依据、愿景与战略目标、需优先开展工作的领域、技术指南的推进。

本报告由尹中林、刘彬、齐丽娟、尹建国、王建立、赵卓、范卫东、张英、陈首慧、宋玉香、王文静、许丽萍翻译，由杨建红教授校对，由李旺兴教授最终定稿。

希望通过本“指南”中文版的发布，进一步增进我国与世界其他国家在氧化铝技术进步方面的合作，促进世界氧化铝工业的可持续发展。

国家铝冶炼工程技术研究中心主任：
中国铝业研发中心总经理：
中国铝业郑州研究院院长：

教授/博士

2010年11月



Preface of Chinese Version

During recent years, global alumina industry has been developing rapidly. Production and sales volume of Chinese metallurgical grade alumina leaps to the top one in the world. Issues emerging in alumina production, like high energy consumption, high emission and especially the storage and piling are increasingly concerned worldwide. The sustainability of alumina industry is meeting its challenge. Only can we beat off these challenges by significant technical breakthrough and continuously technical improvement with joint international efforts.

The first Alumina Technology Roadmap was published in November 2001, following an industry-wide workshop coordinated by AMIRA International. The workshop and the Roadmap publication, facilitated by Energetics, Incorporated, USA, resulted from collaboration between the Aluminum Association Inc., U.S. Department of Energy, Office of Industrial Technologies (DOE/OIT), the Australian Department of Industry, Science and Resources and the nine alumina companies directly involved. The Alumina Technology Roadmap identifies the technological demands the alumina industry is facing over the next 15-20 years. This will provide a vehicle for communicating the future needs of the industry and focus the efforts of research laboratories, supplier companies and universities on critical issues. The Alumina Technology Roadmap has been updated twice, but never touched upon the technological demands from Chinese alumina industry. In April, 2010, the International Aluminum Institute held a meeting at Zhengzhou to discuss the update of the Alumina Technology Roadmap. The meeting, hosted by the Zhengzhou Research Institute, brought together famous experts from the global bauxite and alumina industry to discuss key issues for the sector including sustainability, mine site rehabilitation, bauxite residue management, energy efficiency and recent developments within the industry. The meeting provided an opportunity for review of the draft Roadmap so far and for detailed input into its further development by the Chinese alumina industry participants, working out for the first time a truly technology roadmap for the sustainable development of global alumina industry in the coming 15 to 20 years.

Authorized by the International Aluminum Institute, Zhengzhou Research



Institute translated the Alumina Technology Roadmap (2010 update) into Chinese. It is composed of five chapters, which are the introduction, the update process, the vision & strategic goals, priority areas for action and the way forward.

The roadmap is translated by Yin Zhonglin, Liu Bin, Qi Lijuan, Yin Jianguo, Wang Jianli, Zhao Zhuo, Fan Weidong, Zhang Ying, Chen Shouhui, Song Yuxiang, Wang Wenjing, Xu Liping, proofed by Yang Jianhong, and reviewed and approved by president Li Wangxing.

We do hope to enhance the cooperation between China and other countries in the world and promoting the sustainable development of global alumina industry by publishing this Roadmap of Chinese version.

CEO of China National Engineering and
Technology Center for Aluminum:

President of R&D Center of Chalco:

President of Zhengzhou Research Institute of Chalco:

A handwritten signature in black ink, appearing to be '李万兴' (Li Wangxing), is positioned to the right of the text.

Professor/
Doctor

(Li Wangxing)

November, 2010



目 录

序 言.....	1
1 前 言	3
2 修订指南的依据	4
3 愿景与战略目标	5
4 需优先开展工作的领域	8
5 技术指南的推进	13
参考文献	15
附录 A 调查问卷	16
附录 B 氧化铝企业确定的优先发展领域	20
附录 C 供应商提出的优先发展领域	23
附录 D 关注领域.....	24

序 言

氧化铝工业技术发展指南应随着技术进步和行业的发展而发生相应变化。第一版“氧化铝工业技术发展指南”于2001年11月出版，是继当年AMIRA组织召开行业会议之后编写的。这次会议的召开及技术指南的出版是在美国Energetics, Inc.的推动下，由美国铝业协会，美国能源部工业技术办公室（DOE/OIT），澳大利亚工业、科学和资源部以及其所辖9家氧化铝企业的通力合作完成的。本氧化铝工业技术发展指南是依据2000年2月出版的赤泥处理及其利用技术指南以及2003年2月再版铝工业技术指南编制的。

2006年年初曾对氧化铝工业技术发展指南做了部分修改。

根据原氧化铝工业技术发展指南近年来的执行情况，我们有必要对其内容进行全面修订，并制定出能反映未来15-20年氧化铝工业技术需求的新版技术指南。这将为铝行业明确未来之需求提供一种渠道，并使得研究机构、供应商及大学能将目光集中于重大关键问题。

氧化铝工业已发生变化-这种变化会因来自行业内外要求提高性能的压力而持续。冶金级氧化铝生产已由2000年的4800万吨上升到2008年的7800万吨，增长60%以上。新的铝土矿资源和工艺也带来了新的挑战 and 机遇。

南美洲、亚洲和大洋洲地区氧化铝产能都有明显增加，但较中国氧化铝产能及产量的增幅却相形见绌。中国的氧化铝产量从2000年的400万吨增加到2009年的2300万吨，中国已跃然成为世界氧化铝生产领先者，其冶金级氧化铝产量占全球30%以上。

氧化铝工业技术发展指南此次更新得益于中国氧化铝工业首次通力合作。2010年4月在中国郑州举行了IAI铝土矿与氧化铝委员会会议，此次会议由中国铝业郑州研究院主办，大会吸引了中国氧化铝行业的高度关注，共有140余人出席会议，34家中国氧化铝生产厂中共有21家参会。根据会议现场问卷，确定了需进一步研究的关键性主题，包括复垦、赤泥处理及其利用、高硫铝土矿氧化铝生产、选矿、能量效率和废弃物中回收碱和氧化铝的技术等。目前这项工作正在进行中，今年11月份晚些时候还将在中国郑州召开BAC会议，进一步讨论



本指南中的问题。

IAI 委托 Chemical Systems Pty Ltd 公司的 Tony Bagshaw 博士代表 IAI 铝土矿和氧化铝委员会（BAC）负责准备该版指南的更新工作，并与 BAC 以及 ATP 成员密切合作。

IAI 和 Bagshaw 博士对其他行业和外部利益相关者在这一过程中给予的积极支持和贡献表示感谢。

Dave Olney

IAI 铝土矿和氧化铝委员会共同主席

Steve Healy

IAI 铝土矿和氧化铝委员会共同主席

1 前言

氧化铝工业技术发展指南的目标是定义未来 15-20 年内氧化铝工业的愿景，以及要实现此愿景所必须达到的目标，其关注的是作为电解铝原料的冶金级氧化铝的生产。

氧化铝工业同其他全球商品生产行业一样都面临着同样的问题，如社会和环境问题，可持续发展的挑战，“绿色”工业的概念和替代材料的竞争，每个生产商都在重视这些挑战。氧化铝行业毕竟是一个充满竞争的行业，拜耳法某个技术环节的重要进步，诸如提高溶液产出率，都能带来巨大的商业利益。

技术指南意识到氧化铝企业在市场上是互相竞争的。某些目标的取得必然是具有竞争性的。然而，除了那些存在着直接竞争的领域外，有些挑战最好由行业来共同应对。技术指南的一个重要成果就是确定那些合作研究领域以及要实现全行业目标所必须采取的措施。

氧化铝工业要想有效应对未来的挑战，必须通过创新措施取得重大技术进步和持续技术改进。

在贯彻执行第一版氧化铝工业技术发展指南的成果时，早期几年里所取得的进展不大，到 21 世纪初期中叶取得两项重大成果之后才有了明确的方向，使目前的氧化铝指南有重大更新。首先，是国际铝协成立了铝土矿和氧化铝委员会。其次，氧化铝专家技术小组注入了新的活力，目前该小组由五个世界主要氧化铝生产企业研发经理组成。

铝土矿&氧化铝委员会（BAC）的目的是：

- 促进优先发展领域的信息交流
- 建立基于常规数据收集的关键性能指标
- 建立面向全球氧化铝工业的非官方目标
- 分享最佳实践，设立基准使企业能自行测定环境指标
- 确定了铝土矿采矿和氧化铝生产对整个铝生命周期的影响，
- 开发有关通用问题的信息以协调企业与股东利益

2005 年成立铝土矿和氧化铝委员会对于推动技术指南重新焕发生机并向前

发展具有积极意义。铝土矿和氧化铝委员会拥有广泛的企业会员，能直接与国际铝协董事会联系，拥有氧化铝企业高级管理人员，他们对技术指南的成果尤感兴趣。

氧化铝专家技术小组（ATP）的目标是促进和推动氧化铝工业的合作研究和科技进步，并促进普遍关注的问题取得技术进步。ATP 是 BAC 的一个咨询机构/项目管理/技术部门。

由铝土矿和氧化铝委员会及氧化铝专家技术小组共同努力，将会为更多的特定项目提供机会并确保其执行的成功性。

国际铝协董事会签署认可了铝土矿和氧化铝委员会及氧化铝专家技术小组之间的合作关系。在两大组织之间的强大信息流中，在铝土矿和氧化铝委员会的联席会议上，在诸如氧化铝质量研讨会、TMS 年会的轻金属分会等国际会议的互动中，两者之间的合作交流空前良好。

本氧化铝工业技术发展指南首先关注的是应用技术来解决氧化铝工业所面临的挑战。还必须用全球氧化铝工业的视野来看待此技术指南，同时还更应该增加对可持续发展的关注度，而且还应与国际铝协所致力的工作相结合，这些工作包括：

- 铝土矿采矿及赤泥的常规工业调查
- 铝土矿采矿的可持续性报告
- 冶金级氧化铝生产能耗的统计报告
- 基于全球环境可持续发展的技术指南

2 修订指南的依据

本次指南修订工作的第一步是向代表全球氧化铝生产商的 BAC 成员开展广泛的问卷调查，ATP 小组在确保问卷内容能满足指南修订要求方面发挥了积极作用。附录 A 为本次调查问卷的副本。

通过氧化铝行业的问卷调查结果，可以明确其愿景和战略目标，以及优先开展工作的领域。愿景和战略目标将在第 3 章进行讨论，优先开展工作领域的细节见附录 B。除上述有价值的信息外，由于 BAC 于 2010 年 4 月 27-28 日在中国郑

州召开会议，还广泛收集了中国氧化铝生产商的意见和看法。会议期间，与会者提供了其认为应优先开展工作的领域，反馈信息的概况见附录 B。鉴于中国铝土矿和产能的特殊性，将其单列是必要的。

尽管对世界氧化铝行业进行了广泛调查，还应广泛听取氧化铝行业“供应商”对氧化铝行业面临的重大技术挑战以及应对这些挑战安排的意见。这里的“供应商”指的是研究机构、工程公司、装备和反应物提供商及政府部门。他们所认为应优先开展工作的领域见附录 C。

3 愿景与战略目标

愿景

到 2030 年，氧化铝工业预期可达到下述目标：

- 被社会和社区当成
 - 值得社区信任和颁发运行许可证的有价值的伙伴
 - 员工愿去工作的企业
- 为使氧化铝企业具有竞争性，新建氧化铝厂需更经济、快速并以更低的成本运行。
- 管理赤泥，使其大部分用作其它工业的原料，其余部分以环境无害的形式存放。
- 开发下述技术
 - 氧化铝厂能实现水量自给自足，对当地供水影响小或无影响；
 - 尽量减少水、灰尘、碱、可挥发性气体以及金属等废弃物排放，对周围环境及社区无影响或影响较小；
 - 提高氧化铝厂能量效率，开发可替代能源和二氧化碳捕获及储存技术，减少温室气体排放；
 - 降低结疤对氧化铝生产的影响，提高设备运转率，降低运行成本；
 - 大大提高溶液产出率，以节约能耗，减少费用支出；

- 在处理不同类型铝土矿方面具有更大的工艺灵活性；
- 改进氧化铝产品质量，以提高电解铝过程的能量效率，产出高品质的原铝

战略目标

氧化铝生产企业提出的战略目标涉及下述五个关键领域：

社会和社区

- 生产现场零事故；
- 生产过程零污染事故；
- 氧化铝厂对社区零污染。

工艺

- 在拜耳法处理铝土矿之前对低品位铝土矿进行处理，降低 20% 的处理成本（降低碱耗和杂质）以及减少 30% 的残渣量；
- 改善水的循环利用和/或开发使用较少量新水生产工艺，减少新水使用量；
- 开发挥发性有机物的提取/溶解技术，将其捕收和氧化成无害、无味的化合物或开发新的生产工艺，实现零排放或充分减少挥发性有机物；
- 降低脱硅过程中 50% 的碱耗，同时保持整个过程中的其它试剂的消耗不变；
- 结疤的影响降低 50%，并在 2020 年前形成可用的技术；
- 在不增加投入的情况下分解产量提高 20%。
- 明确二氧化碳捕获所需的设备，使捕获二氧化碳技术可行。

能源

- 通过如下措施减少整个生产过程中化石能源的消耗：
 - 增加废热利用以及与供能单位开展合作；
 - 实现锅炉和焙烧炉之间的有机结合，增加能源的梯级使用效率；

- 开发可替代能源。
- 通过如下措施降低单位能耗
 - 改善料浆热交换器性能；
 - 提高溶液产出率；
 - 减少低压蒸汽的浪费。

成本

- 通过使用先进的设计和建设技术，降低新建工厂和老厂扩建投资 30%；
- 通过如下方式降低运行成本：
 - 节约原材料和能耗；
 - 改进维护技术；
 - 延长设备使用寿命（降低设备的碱脆损伤）；

赤泥

- 开发可持续的赤泥贮存技术，无需持续管理；
- 使用多种方法处理赤泥（包括已堆存的赤泥），包括使用生产过程中产生的二氧化碳；
- 到 2025 年止，使赤泥的利用率达到 20%；
- 增加赤泥复垦率；
- 降低废弃赤泥碱含量。

4 需优先开展工作的领域

根据氧化铝生产企业及供应商提供的信息，我们确定了通过共同努力可以使氧化铝工业达到长期目标的优先研发领域。我们对问卷调查结果所提出的八个需关注的领域进行了评述。

安全

尽管我们的目标是消除事故的发生，这极具挑战性。但制定目标，特别是短期目标，以努力解决眼睛保护、降低噪音和实现机械化以及人体工程学等问题是十分必要的。中短期需要努力减少暴露在热环境和粉尘环境下的作业。

眼睛保护

迫切需要能够长期舒适佩戴、并能够起到有效防护作用的眼睛防护用品。

降低噪声

噪声对现场和邻近社区人员造成不良影响。需采用有效措施降低噪声，同时为员工提供更好的听力防护用品。

操作机械化和设计人性化

诸如槽子和容器去除结疤等 9 种作业行为能实现机械化。但是，某些操作仍需要人工去完成。需要对相关设计进行优化，以降低危险程度和减少事故的发生。

热环境

必须优先使员工远离高温场所。

减少粉尘

杜绝使作业场所和本地社区遭受粉尘困扰。

废气排放

短期内我们需应对挑战以减少蒸汽、溶出器乏气、碱雾、挥发性有机化合物、粉尘、二氧化碳等排放。汞等金属排放的减少，需要我们在中短期内付出努力。

蒸汽

氧化铝厂不应该有蒸汽排放，因为这既污染了环境，又浪费了水和能量。需

研究氧化铝焙烧的替代工艺（但认为该领域具有竞争性）。

溶出器乏汽

已经开展了溶出器乏汽捕收的研究工作。未来将不允许溶出器乏汽排放。

碱雾

尽管碱雾可以被捕集，但碱雾的准确检测面临挑战。

挥发性有机化合物

已开展了大量的有关挥发性有机化合物的研究工作，浓度极低但具有活性的挥发性有机化合物的研究具有挑战性，需开展更多的研究工作。

粉尘

工作场所和社区禁止粉尘排放。在铝土矿矿石堆场、氧化铝运输、包装和矿渣堆场可能存在粉尘的困扰。有可用的粉尘抑制技术，但需要进一步研究。

二氧化碳

必须尽一切努力减少二氧化碳排放。拜耳法工艺的运行环境为碱性，这有助于二氧化碳气体的捕获收集，但同时会增加碱耗。

金属

此处关注的是低浓度的重金属，特别是汞。需要进行更多研究工作，来揭示它们在流程中的赋存状态及排放方式。

残余物

残余物问题是拜耳法的一个关键领域，具有普遍意义，开展合作研究将为氧化铝生产企业带来广泛的利益。在短、中期需要努力改善残余物的贮存、复垦和资源化利用问题。有望将大气中二氧化碳用于中和残余物。

贮存

现场治理和渗出液的处理是本领域的研究重点。

复垦

减少粉尘和防止粉化是很重要的。我们的目标显然是成功实现复垦而无需持续监测渗出液。

综合利用

铝土矿残余物的综合利用令人憧憬，但也最具挑战性。赤泥能否应用到如建

筑、农业、环境等领域要视法律是否允许、社区和商界是否接受而定。作为一种资源用于进一步提取钠、铝、铁以及痕量有价金属，需要开展进一步的创新研究。

生产原料

近期需采取措施合理使用水、碱及石灰被认为是可行的。中短期内要面临有效处理较低品位铝土矿的挑战。

水

水是一种不断升值的日用商品，因此必须努力降低水的用量。应提高水的循环利用率并使用低品质水，新水使用量应减少至零。

苛性碱

降低碱耗的关键在于控制铝土矿中活性硅的引入量。应尽量提高可替代的低钠脱硅产物的生成量，同时（或）从脱硅产物中回收碱。从赤泥等残渣中回收碱也非常重要。

石灰

由于煅烧石灰消耗能量并放出二氧化碳，因此应减少拜耳法中石灰用量。苛化过程中必须加石灰，但同时也造成氧化铝的损失。需进一步研究开发可替代的过滤助剂和过滤体系。

低品位铝土矿

随着高品位矿石的枯竭，未来可能需要更多的使用低品位铝土矿。关键问题是矿石中活性硅含量高，从而增加了碱耗。一些铝土矿中的硫、铁和其他杂质含量很高，应当开展这些铝土矿处理技术的研究。

能量

在能耗方面，近期需要解决的问题是强化传热、以各种形式回收利用余热、强化溶出和蒸发、以及提高料浆的泵送效率。中期目标是提高铝土矿采矿、破碎、输送和磨矿过程的能量效率。

传热

由于容器结疤和设计不当等原因使传热变差，增加了能量损失。必须努力改善传热效率。

余热回收利用

采用已有技术回收中、高等级余热已经被工业应用或证明可行。低等级余热的回收利用在技术和经济方面极具挑战性。需尝试应用一些新技术来回收利用包括焙烧炉在内的余热。

溶出

溶出过程要视所处理的铝土矿类型而定。间接加热方式可以避免矿浆的稀释。必须提高能量使用效率。

泵送

在拜耳法循环过程中，大量能量消耗在泵送矿浆和溶液过程中。性能更好更可靠的泵，将大大降低泵送过程能耗。例如，水封泵的使用使得溶液稀释，导致蒸发需求。

铝土矿采矿、破碎、输送和磨矿

该领域受铝土矿矿物类型和矿区位置的影响较大。因此各矿区的采矿方式和效率都是不一样的。需要对破碎和磨矿做进一步的研究。铝土矿的运输方式与矿区位置有关，视具体情况，可采用传送带、泥浆泵、卡车或轮船等运输方式。

拜耳法工艺

尽管拜耳法工艺的发明已超过一个世纪，工艺的改进仍面临诸多挑战。但这是一个能体现竞争优势的领域，因而限制了合作研究工作的开展。

短至中期需要关注的重点领域是溶液产出率/产量、除杂、结疤、过程控制（传感器）、料仓设计、其它行业的单元操作、痕量元素化学和氧化铝强度等。

溶液产出率/产量

在该领域已开展了大量的研究、合作研究以及准竞争研究的工作。减少分解时间显然是一种提高产率、降低能耗的方法。但影响因素较多，如溶液中杂质含量以及高浓度时碱脆等问题。同时，在该领域开展合作面临着巨大的挑战。由于回报率巨大，应该在该领域开展持续攻关。

除杂

该领域在很大程度上取决于铝土矿矿石的特性，因此对某些生产企业来说而临更大的压力。有一些可用的除杂技术，但开发如何利用这些被除去杂质（包括

草酸盐)的工作也是有益的。

结疤

认为有必要在结疤形成机理等基础研究领域开展合作,认为结疤的抑制和去除技术具有竞争性。

过程控制

较好的工艺过程控制能够提高操作过程的效率,但这取决于持续、频繁的正确信息的输入。在此领域,在线传感器起着至关重要的作用。需要做更多的工作来开发性能更为可靠、灵敏的在线传感器。

料仓设计

氧化铝的进出料将导致重力偏析和颗粒细化。可能氧化铝厂生产的优质氧化铝在到达电解槽时性能指标已恶化。因此,需要对料仓、进料和出料系统进行优化设计。

借鉴其它行业的单元操作

传统上,氧化铝工业使用的技术在某种程度上是孤立的,没有融合在其它行业中发展进步的技术。氧化铝工业应该开阔视野。

痕量元素化学

更好的了解微量元素在拜耳法生产过程中的行为将有助于强化控制,防止其在流程中的损失。对汞等重金属来说尤其如此。

氧化铝强度

已经就高强度氧化铝的生成机制、氧化铝在输送过程和电解过程中的行为等开展了合作研究并取得了一些成果,但还需继续开展相关工作。

氧化铝厂建设及可靠性

对碱脆、侵蚀、磨损和腐蚀的研究具有挑战性,近期该领域内的研究将使人们受益。这对于工厂规划、投资成本和建设周期也是有助的。在短-中期内改进混凝土的可靠性及在中期改进反应工程设计将带来巨大效益。

碱脆、侵蚀、磨损和腐蚀

这些问题常相互纠结在一起,但需要采用不同的解决方案。它们影响工厂的可靠性、投资、运行费用和能耗。

工厂规划和建设

寻找部分可替代/廉价的工厂建筑材料是有好处的。对每个操作单元进行模块化设计有助于加快工厂建设。

混凝土可靠性

氧化铝厂地基和堤坝需要使用性能更可靠的混凝土。

反应工程学

优化反应器设计、尺寸、混合效率和传质过程。

拜耳法替代工艺

认为在短、中期内开展拜耳法的替代工艺研究不是很重要，但认为当前可少量开展此项研究工作，并有望在较长的时间范围内（超过 20 年）取得实质性进展。

5 技术指南的推进

氧化铝工业在未来 20 年将面临多种重大挑战。商业行为和技术力量将推动技术指南前行。前进的道路将取决于行业的合作意愿，即在适当的领域开展合作研究。这种模式并不是崭新的，在过去 4 年里，已经成功完成了一些铝土矿残余物的合作项目，其主要经费来自于 IAI 和其它公司的资助，由 BAC 监管，ATP 输入，项目成果由 BAC 成员共享。（氧化铝行业，无论是个别生产商或特定群体，还将通过别的方式来追求其它利益。）

作为氧化铝技术路线图的管理者，有人建议在 IAI 网站上设立一个用户友好的氧化铝技术路线图专区，为活动和项目发展报告提供一个平台。

当指南中一系列关键项目取得成功时，技术指南才会取得整体成功。成功合作行业项目需要制定并遵守一些规则，包括就以下方面达成一致意见：所开展项目（这些项目必须有明确的交付成果时间表）的需求/价值，选择一位适合的有能力的合作者，有资金支持，知识产权的管理和项目过程的适度监控等等。切实推进路线图计划，需要确定具体的主要基于拜耳工艺单元操作的合作“主题”，有人建议 BAC 应该在 7 个重点关注领域中的一些（或者是所有）领域选取“主题”。

例如：

原材料

用水

能源

余热回收

残余物

堆存或综合利用

排放

粉尘

安全

更好地保护眼睛

拜耳法工艺

结疤（基础研究）

工厂建设与可靠性

碱脆

有些项目在开始前会进行一个前期项目，以使公众和协议公司对预研项目有一个大致了解和评价。然后，这些预研项目将衍变成某重点领域的具体研发项目。

技术指南还能使氧化铝供应商更好地了解氧化铝工业的需求，并有助于将他们融入到诸如过程传感器和建筑材料等方面的合作研究活动中。已经有许多这样的供应商主导的技术方案解决了氧化铝工业问题的例子，这也是原技术指南所带来的积极成果。

最后，在氧化铝生产企业间分享最佳实践成果能够让企业运行各环节以及环境、健康和安全等方面受益。在许多情况下，其它行业中的现有技术也许能解决氧化铝行业的问题。例如，考察其它行业应对结疤、选矿和余热回收等问题的方案，将有助于氧化铝企业找到解决这些问题的方法。

在行业内共享最佳实践或应用其它行业的先进方法可能是解决氧化铝工业问题的最佳方法，其风险低但潜在回报高。然而，必须注意的是，已在其它行业得到成功应用的新技术并不一定能成功应用到氧化铝行业。

能够降低成本、减少能耗、减少环境影响、改善工人健康与安全的新技术将



有助于氧化铝工业在 21 世纪持续、健康和蓬勃的发展。

参考文献

Technology Roadmap for Bauxite Residue Treatment and Utilization, The Aluminum Association, Inc., February 2000.

[www.aluminum.org/Content/NavigationMenu/TheIndustry/TechnologyResources/TechnologyArticles/bauxite.pdf]

Alumina Technology Roadmap, AMIRA International Limited, November 2001.

[www1.eere.energy.gov/industry/aluminum/pdfs/alumina.pdf]

Aluminum Industry Technology Roadmap, The Aluminum Association, Inc., February 2003.

[www1.eere.energy.gov/industry/aluminum/pdfs/al_roadmap.pdf]

Alumina Technology Roadmap (minor update), International Aluminium Institute, March 2006.

[www.world-aluminium.org/UserFiles/File/AluminaTechnologyRoadmap%20Update%20FINAL%20May%202006.pdf]

附录 A 调查问卷

用于氧化铝工业技术发展指南的修订

请填写并反馈该问卷

指南可以通过两种方式来制定：前瞻法和后推法。

- 前瞻法，以技术现状为出发点，通过指定的连续式或阶跃式的技术进步来检验、修正前进的方向。这是一种自下而上的方法，由实用的想法推出结果。最后，这些观点可能会导出解决办法，但是最终的方向可能不是最理想的。

- 后推法，开始就设定愿景目标，即氧化铝行业在一定时间内（通常是 15-20 年）要达到的愿景目标。因此，这是一种由上而下的方法，通过形成关键的想法来实现愿景目标。

毫无疑问，制定一个好的技术指南两种方法都必不可少：确定未来氧化铝行业的技术发展水平需要使用前瞻法，确定正确的方向需要后推法。

1. 需要技术改进及突破的领域

您认为在冶金级氧化铝生产过程中下列哪些项目还需要进一步研究以实现技术改进或突破？如果您有其它需要补充的，请添加到关注领域和项目栏。

如果你认为项目栏内的研发项目结果触及商业敏感问题，属于商业竞争领域而不适合合作研发，请在商业竞争栏内打√，否则打X。如果需要合作研发，请根据需要在短期、中期或长期合作期限栏内打√或X。

关注领域	项目	是否具商业竞争性	合作开发		
			<5 年	5-15 年	>15 年
原材料					
	铝土矿：选矿、高硅				
	水				
	苛性碱				
	石灰				
	添加剂				
	其它（请添加）				
能耗					



	采矿、破碎、运输				
	磨矿				
	溶出				
	泵送				
	焙烧				
	余热回收利用（低、中、高级）				
	其它（请添加）				
残余物					
	堆存				
	复垦				
	综合利用				
	改进工艺提高利用价值				
	其它（请添加）				
排放					
	蒸汽				
	溶出器乏汽				
	碱雾				
	挥发性有机化合物				
	粉尘（铝土矿&氧化铝、残余物）				
	金属，如汞				
	其它（请添加）				
安全					
	护目：眼镜、护目镜、防护罩				
	听力保护				
	操作机械化				
	热应激反应				
	粉尘				
	其它（请添加）				
拜耳法工艺					
	产量，产率				
	除杂				
	结疤				
	模拟				
	过程控制：传感器				
	料仓设计				
	借鉴其它行业的单元操作				
	其它（请添加）				
氧化铝厂建设及可靠性					
	碱脆				
	磨损				



	腐蚀				
	新建/改造成本				
	其它（请添加）				
拜耳法 替代工艺					
	冶金级氧化铝的生产				
	其它铝冶炼用替代原材料的生产，如氯化铝				
	铝矿石直接冶炼				
其它（请添加）					

2. 技术指南愿景与战略目标

现有氧化铝工业技术发展指南的战略目标主要涉及以下几个方面的内容：

- 降低生产成本
- 提高能源效率
- 减少新建工厂的投资
- 不断改善工作环境，关注员工的健康与安全
- 不断提高产品质量

为实现上述目标，过去三年内已经做出的系列改进措施包括：

- 提高产量
- 降低碱耗
- 稳定工艺流程
- 降低综合能耗
- 余热回收
- 减少原材物料的消耗（包括水）与产品中杂质的含量
- 利用工业的协同效应
- 开发可持续性的残余物堆存及批量利用技术

您能用一句话概括出 2030 年氧化铝工业的愿景目标吗？

我的愿景是_____

在您看来，什么是氧化铝工业最重要的 5 个战略目标？请用具体的数字将



上述目标量化，比如在 a 年之内分解率可以提高百分之几，或 b 年内溶出工序能耗可以降低百分之几等等。这些目标与国际铝协制定的目标息息相关。

目标 A.....

目标 B.....

目标 C.....

目标 D.....

目标 E.....

感谢您抽出宝贵时间完成这份调查问卷，
技术指南的成功修订有您的一份卓越贡献。

附录 B 氧化铝企业确定的优先发展领域

一、 除中国外氧化铝行业的调查结果

通过行业问卷调查，确定了 8 个重点关注领域：

- 原材料
- 能源
- 残余物
- 排放
- 安全
- 拜尔法工艺
- 工厂建设及可靠性
- 拜尔法工艺改进

每一个关注领域都包括众多关键内容，详见附录 D。

从每个关注领域的详细内容中，我们确定了以下需要合作的重大的问题：

关注领域	具体问题	期限	备注
原材料	水	S*	
	苛性碱	S	
	石灰	S	
	絮凝剂		仅基础研究
能源	铝土矿采矿、碎矿与运输	M	
	磨矿	M	
	溶出	S-M	竞争性的
	泵送	S-M	
	焙烧	M	竞争性的
	余热回收（低、中、高级）	S	
残余物	堆存（包括原位治理）	S-M	
	复垦	S	
	利用	S, M & L	
排放	蒸汽、溶出器乏汽、碱雾、挥发	S-M	



	性有机物、粉尘		
	金属	S-M	
安全			
	视力保护	S	
	听力保护/减噪	S	
	操作机械化/设计人性化	S	
	热应激反应	S-M	
	粉尘	S-M	
拜尔法工艺			
	浸出率、收率	S-M	竞争性的
	除杂	S-M	竞争性的
	结疤	S-M	仅基础研究
	过程控制（传感器）	S-M	竞争性的
	料仓设计	S-M	
	借鉴其它行业的单元操作	S-M	竞争性的
氧化铝厂建设及可靠性			
	碱脆、冲刷腐蚀、磨损及腐蚀	S	
	混凝土的可靠性	S-M	
拜尔法工艺改进			

*S: 短期, 五年之内

M: 中期, 5-15 年

L: 长期, 15 年以上

二. 中国氧化铝行业的调查结果

在 2010 年 3 月郑州会议上, 与会者填写了问卷, 优先发展领域总结如下:

关注领域	排名 (选择人数)
节能	34
铝土矿废渣的处理及利用	31
低品位铝土矿技术开发	24
创新性烧结方法及系列化工艺	20
拜尔法工艺的优化	18
产品质量提升	16
替代资源	15
选矿技术	15
设备	15
结疤	9



高硫/铁铝土矿的处理	8
溶出率的提高	7
采矿技术	6
有机化合物及杂质的去除	6
拜尔法工艺替代	5
高效能源	5
酸法工艺	1

如果把“选矿技术”并入与之相近的“低品位铝土矿技术开发”，把“高硫/铁铝土矿”并入“选矿技术”，那么铝土矿质量是中国厂家最感兴趣的问题。中国氧化铝行业最关心的前三个问题是：

1. 铝土矿质量（如低品位铝土矿的处理）
2. 节能
3. 残余物的处理

附录 C 供应商提出的优先发展领域

这里说的“供应商”包括世界范围内的公共研究机构、工程公司、设备及药剂供应厂家和政府机构。他们被问及氧化铝厂家所面临的 3-5 个技术难题及解决问题所需的时间。

他们的答复也按前节的 8 个重点关注领域进行划分：

- 原材料
- 能源
- 残余物
- 排放
- 安全
- 拜尔法工艺
- 工厂建设及可靠性
- 拜尔法替代工艺

关注领域	具体问题	期限	备注
原材料			
	低品位铝土矿的处理	S-M*	可能的选矿，高硅矿及残余物增多
	减少新水用量	S-M	
	降低碱耗	M	多渠道回收碱
能源			
	降低单位能耗	S-M	重点在消化
	余热回收	S-M	
	提高能量/蒸汽产率	S	
	提高热交换率	S-M	减小设备尺寸
残余物			
	堆存（包括原位治理）	S-M	
	复垦	S	
	利用	S, M & L	监管问题有待解决，回收有价金属
排放			
	减小对环境的影响	M	具有广泛的意义
	减少 CO ₂ 排放	S	

	减少汞的排放	S	
安全			
	消除事故	S	
拜尔法工艺			
	溶出的瓶颈	S-M	提高产率, 降低能量消耗
	改进草酸盐的去除及使用	M	
	- 减少结疤 - 除疤	S-M	超安全标准设计及停工检修, 提高能量效率及热交换率
	拜尔法溶液中有毒痕量元素的行为	S-M	
	气味	M	
	有机物去除方法改进	S	低品位铝土矿将增加杂质负荷
	蒸发及过滤操作改进	S	
	工艺流程图	S	
	氧化铝颗粒强度	S-M	
工厂建设及可靠性			
	规划、资本性支出及建设时期	S	便宜材料及模块化设计
	碱脆	S-M	高碱浓度操作
	反应工程	M	优化反应器设计及尺寸, 优化混合及传质
拜尔法工艺改进	无		

*S: 短期, 五年之内

M: 中期, 5-15 年

L: 长期, 15 年以上

附录 D 关注领域

关注领域1: 原材料

- 选矿, 高硅铝土矿

大多数厂商都认为铝土矿选矿和高硅铝土矿的利用是具有竞争性的领域, 因而不愿意在此领域进行合作。矿石品位总体在下降, 活性硅的量在增加。每个铝土矿都有其自身特征, 考虑到矿石中有机碳和赋存铁矿物的影响,

通用的选矿方法可能不一定可行。

- **水**

水是一种不断增值的日用品，因此短期内（5年内）在减少用水量和/或使用低品质水方面有较强的合作研究意愿。

- **苛性碱**

苛性碱受氯碱市场的影响越来越大，因此在降低碱耗和提高碱的回收利用方面有强烈的合作研究意愿。

- **石灰**

煅烧苛化用石灰能耗高且产生二氧化碳。提高石灰使用效率有利于环境保护。此外，氧化铝随石灰渣而损失，必须将这种损失降低最低。行业支持在此领域开展短期合作研究。

- **添加剂，包括絮凝剂**

支持在添加剂特别是絮凝剂方面开展一些基础理论研究工作。但添加剂的高效利用属竞争领域。

关注领域2：能源

- **铝土矿采矿、碎矿与运输**

适合开展中期（5-15年）合作研究

- **磨矿**

与前项相同

- **溶出**

一些生产企业认为这是一个竞争领域，其它企业建议开展短到中期合作研究。意见的差异可能源于所处理铝土矿类型的不同。如果需要高温溶出，管道化溶出器具有优势。

- **泵送**

适合开展短-中期合作研究，关键在于提高泵送效率，减少能耗，提高泵的可靠性。

- **焙烧**

大多数生产企业认为是竞争领域，但有三分之一建议开展中期研究。供应商控制了这一领域，详情见附录D。

- **余热回收（低、中、高级）**

又一个适合开展短期合作研究的领域。在当前情况下，回收余热以减少能耗比较关键。在回收和利用低等级余热方面具有相当大的挑战性

- **改进废热发电**

潜在的适合开展短期合作研究的领域

- **温室气体**

与前项相同

关注领域3：残余物

- **堆存**

均支持开展短到中期合作研究。部分企业支持开展本地化治理和渗漏处理的研究。

- **复垦**

与前项相同，短期内重点关注

- **利用**

均支持开展合作，赞成短、中及长期研究的人数基本相同。一生产商认为这是一个竞争领域。在残余物周边会出现大量的应用。一个需要研究和解决的重要问题是制定适当的规章制度监管工业残余物的利用。

- **改变工艺提高残余物价值**

与前项相似，有两个生产商认为是竞争领域

- **氧化铝回收**

只有少数人感兴趣

关注领域4：排放

- **烟气**

涵盖可视化烟羽式焙烧。广泛支持短期合作研究。捕收焙烧烟气可回收余热，但由于焙烧技术不同，也可能具有竞争性。

- **溶出器乏汽**

同样广泛支持开展短期合作

- **碱雾**

与前项相同。碱雾的可靠测量具有挑战性。

- **挥发性有机物**
同样广泛支持开展短期合作
- **粉尘**
包括铝土矿&氧化铝和残余物的粉尘。强烈支持开展短期合作研究。
- **金属**
包括汞和其它重金属，强烈支持开展短至中期合作研究。
- **污水**
如冷凝水，支持较少。水的回收将来会越来越重要。
- **暴雨应急处理**
与前项相同
- **碳捕收**
例如从烟气中捕收二氧化碳，有一些人感兴趣。
- **排放模拟**
有兴趣开展中期研究。
- **噪声**
有兴趣开展降噪和模拟的中期研究。
- **轻度泄漏**
中期问题
- **放射性**
有兴趣开展短至中期研究，在残余物利用的下游环节可能出现问题。
- **泄漏与防漏**
有兴趣开展短至中期研究，减少损耗会越来越重要。

关注领域5：安全

- **视力**
使用眼镜、护目镜和防护罩。强烈支持在近期内开展合作研究以增强眼睛的保护。
- **听力**
广泛支持近期开展研究
- **操作机械化/设计人性化**

同前项

- **热应激反应**

短至中期有广泛支持

- **粉尘**

强烈支持短至中期研究

- **设备隔离**

涉及标识与锁定程序，支持短期研究

关注领域6：拜耳法工艺

- **产率、产量**

一半的生产商认为这是竞争领域，一半认为有短至中期合作价值

- **除杂**

与前项相同

- **结疤**

与前项同。结疤的形成与生长机理等研究值得合作研究，但预防结疤与除疤被认为是竞争领域。

- **模拟**

大多数人认为是竞争领域，少部分人认为值得开展中期合作。

- **过程控制（传感器）**

与除杂类似

- **料仓设计**

短至中期合作会带来效益。

- **借鉴其它行业的单元操作**

与前项相同，某生产商认为属于竞争性的领域

- **基础化学**

涉及痕量元素的形态及行为等，少数人对中期合作感兴趣。

关注领域7：工厂建设与可靠性

- **碱脆**

包括应力腐蚀裂缝。均有兴趣开展合作研究，主要指短期研究。

- **冲刷腐蚀及磨损**

包括计算流体力学模拟。与前项类似

- **腐蚀**

与前项类似

- **工厂新建与改造成本**

大部分认为是竞争领域

- **混凝土可靠性**

有兴趣开展短至中期合作研究

关注领域8：拜耳法替代工艺

- **冶金级氧化铝的生产**

大多数生产商认为是竞争领域，较少人认为会在长期合作中受益

- **其它铝冶炼用替代原材料的生产**

与前项相同

- **铝矿石的直接冶炼**

与前项相同