

《铝工业发展循环经济环境保护导则》 编制说明

《铝工业发展循环经济环境保护导则》 编制课题组

二〇〇七年四月

目 录

1	概况.....	1
2	适用范围.....	7
3	指导原则.....	7
4	制订导则的依据和主要参考资料.....	7
5	编制导则的基本方法.....	8
6	导则经济分析和实施的技术可行性分析.....	17
7	导则的实施建议.....	23

《铝工业发展循环环境保护导则》编制说明

1 概述

铝是一种银白色的金属，铝及其合金外观好、质轻，可机加工性、物理和力学性能好，抗腐蚀性好，可回收性高，再生效益大，铝被世人誉为“万能金属”、“21 世纪的绿色工程材料”。铝是电力、冶金、化工、航空航天、机械、建筑、食品、工艺美术等许多行业不可缺少的重要原料。铝和钢铁一样，已成为现代经济的筋骨和工业基础。

由于极少发现铝的自然金属，工业上要先从铝土矿中提取氧化铝，然后将氧化铝经电解得到金属铝，即原铝。铝工业对矿石、煤、水、电等资源、能源消耗量很大，耗能高、污染重的设备众多，生产流程较长，产业关联度大。

铝是国民经济发展的重要基础原材料。我国的铝工业主要由氧化铝、电解铝、铝加工三部分组成，近年来氧化铝强化烧结、管道化溶出、选矿拜尔法等技术已广泛使用；大型预焙槽电解铝生产能力已占总能力的百分之八十；铝加工材产量快速增长，技术水平有所提高。经过几十年的发展，我国已成为世界铝生产、消费大国。

（1）生产

目前我国铝工业已经初步形成了“靠近铝土矿资源建设氧化铝，依托能源基地建设电解铝，在消费集中地发展铝加工”的模式，形成了从铝土矿、氧化铝、电解铝、铝加工、研发为一体的比较完善的工业体系。

我国是世界氧化铝生产大国，2004 年氧化铝产量 699.4 万吨，仅次于澳大利亚，居世界第二位。现有氧化铝生产企业十余家，成立于 2001 年 2 月的中国铝业公司拥有其中的 6 家冶金级氧化铝生产厂，氧化铝产量世界第二，铝加工、电解铝产量全国第一。到 2004 年底，全国氧化铝企业平均生产规模为 116.6 万吨，达到了经济生产规模。

2004 年，我国电解铝产量达 683.7 万吨，居世界第一位。到 2004 年底，全国共有电解铝企业 140 家，遍布全国 25 个省市自治区，尤以河南、山东、山西、湖北、青海、甘肃、云南等省数量较多。

近年来，铝加工工业也得到快速发展，2004 年铝加工材产量在 440 万吨，居世界第二位。我国铝加工生产布局大致按照贴近消费市场安排，目前有铝材加工企业上千家，主要集中在沿海等发达地区。

我国已成为全球仅次于美国的废旧铝回收与再生铝生产利用大国。2004 年，我国再生铝产量占铝产量的 22.2%。

（2）消费

我国是世界上第二大原铝消耗国。2004 年国内原铝消费达到 596.7 万吨。但我国的人均铝消费量仍然很低，不足 5 千克/人，远低于发达国家人均水平的 25 千克/人。

与西方国家相比，我国原铝消费结构特点是压延材比例低，挤压材比例高，建材用铝在我国铝消费结构中占有显要位置。随着农村电气化和电网建设以及全国电力需求快速增长，电力用铝仍将保持一个重要的位置。汽车工业的快速发展，对汽车节能、安全、环保要求的越来越高，交通用铝将代表着铝消费增长最快的市场。

（3）存在问题

我国铝工业配置资源能力、产业集中度、技术装备水平、产品竞争力、技术创新等方面与世界铝工业强国相比，仍有一定差距。产业结构不合理、技术装备落后、产品生产成本高、矿石资源明显贫乏、资源能源消耗高、污染严重等问题已经成为制约我国铝工业进一步发展的主要因素。

① 结构性矛盾比较突出。主要表现在：产业结构不合理、层次低，产品结构单一，产品链条比较短；氧化铝生产能力不足，电解铝生产能力急剧扩张；铝产品深加工能力弱，产品附加值低，缺乏电解铝—铝加工联合企业；技术含量高的铝加工产品主要依靠进口；生产经营分散，生产集中度低，开工率不足，产业布局不尽合理，抵御风险能力不强；资本的流动性差，严重影响生产要素的优化配置。

② 原材料短缺，能源紧张，环境污染严重。铝工业是一种资源性产业，其发展建立在铝土矿、能源、电力等资源的开发利用的基础上。与产能相比，我国铝土矿资源的供应已经处于高度紧张状态，铝土矿资源形势十分严峻。我国铝土矿资源禀赋较差，90%以上的铝土矿资源为沉积型铝土矿，矿石为一水硬铝石，属于高铝、高硅、低铁、难溶的中低品位铝土矿，且集中分布在山西、河南、贵州、广西。

由于我国铝土矿品位低，难处理，采用联合法和烧结法生产的氧化铝厂，平均能耗约是国外的 2~3 倍。加上设备和制造水平落后，主要产品单位能耗高于国外先进水平。

氧化铝生产过程中产生的赤泥，仅少部分得到综合利用。赤泥堆存占用大量土地，附液可能污染地下水。电解铝生产过程中排放大量的 CF_4 、 SiF_4 等氟化物，对厂区周围影响范围较大，特别在不利气象条件下，可能发生污染事故。碳素阳极生产排放的沥青烟含有致癌物质。废旧铝再生过程和环境污染较为严重，一些建在小山坡上再生铝企业的污染废水流入农田与水系。在拆解废旧电器电机、电

缆等过程中，除获取有用的一些资源外，还会残余 2%~5%的尚无法利用的废弃物。

③ 再生铝企业“小、多、散”。再生铝行业企业多，小而分散，还有许多作坊式的家庭企业；技术水平低，能源与资源浪费大，环境污染严重；回收与最终销售价格扭曲，与国际价格相差较大，科技开发力量薄弱；由于废金属资源的复杂性，进口环节的商检、定价比较复杂，且因生产加工企业增值税抵扣减少，增加了税赋，不利于产业升级和发展。

（4）铝工业循环经济发展潜力

铝工业是一种资源性产业，其发展建立在铝土矿、能源、电力、水等资源的开发利用的基础上。生产 1 吨氧化铝将消耗 1.8~2 吨铝土矿、0.3~1.6 吨石灰石、1.5 吨煤炭、60 公斤碱、10~20 吨新鲜水，而生产 1 吨原铝将消耗 2 吨氧化铝、26~32 公斤氟化盐、15~16MWh 电力、碳素阳极（毛耗，由石油焦和煤沥青制成）500~600 公斤。每生产 1 吨氧化铝，产生 0.9~1.7 吨赤泥。

我国铝工业已经初步形成了“靠近铝土矿资源建设氧化铝，依托能源基地建设电解铝，在消费集中地发展铝加工”的模式。

（一）生产工艺

铝工业主要生产消费流程如图 1 所示，铝代谢示意图如图 2 所示。

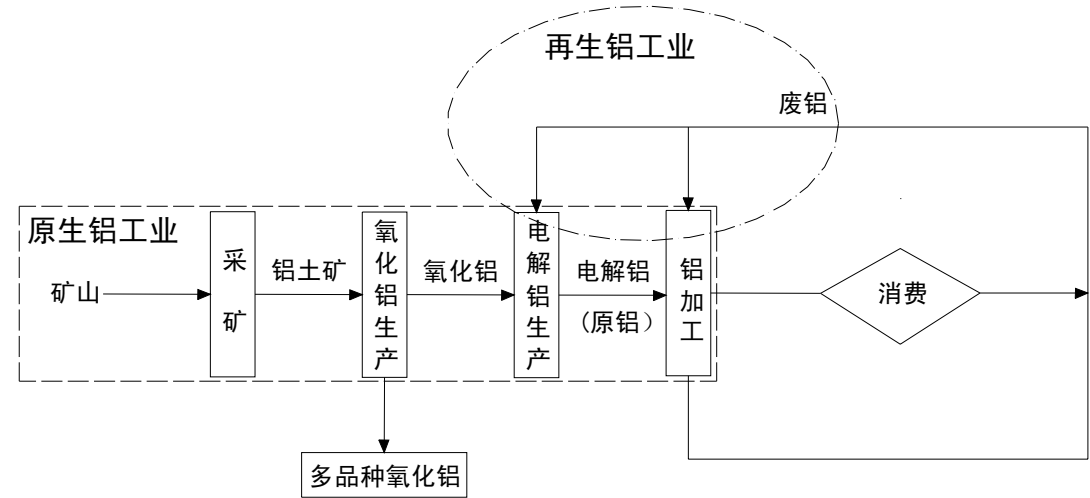


图 1 铝工业主要生产消费流程

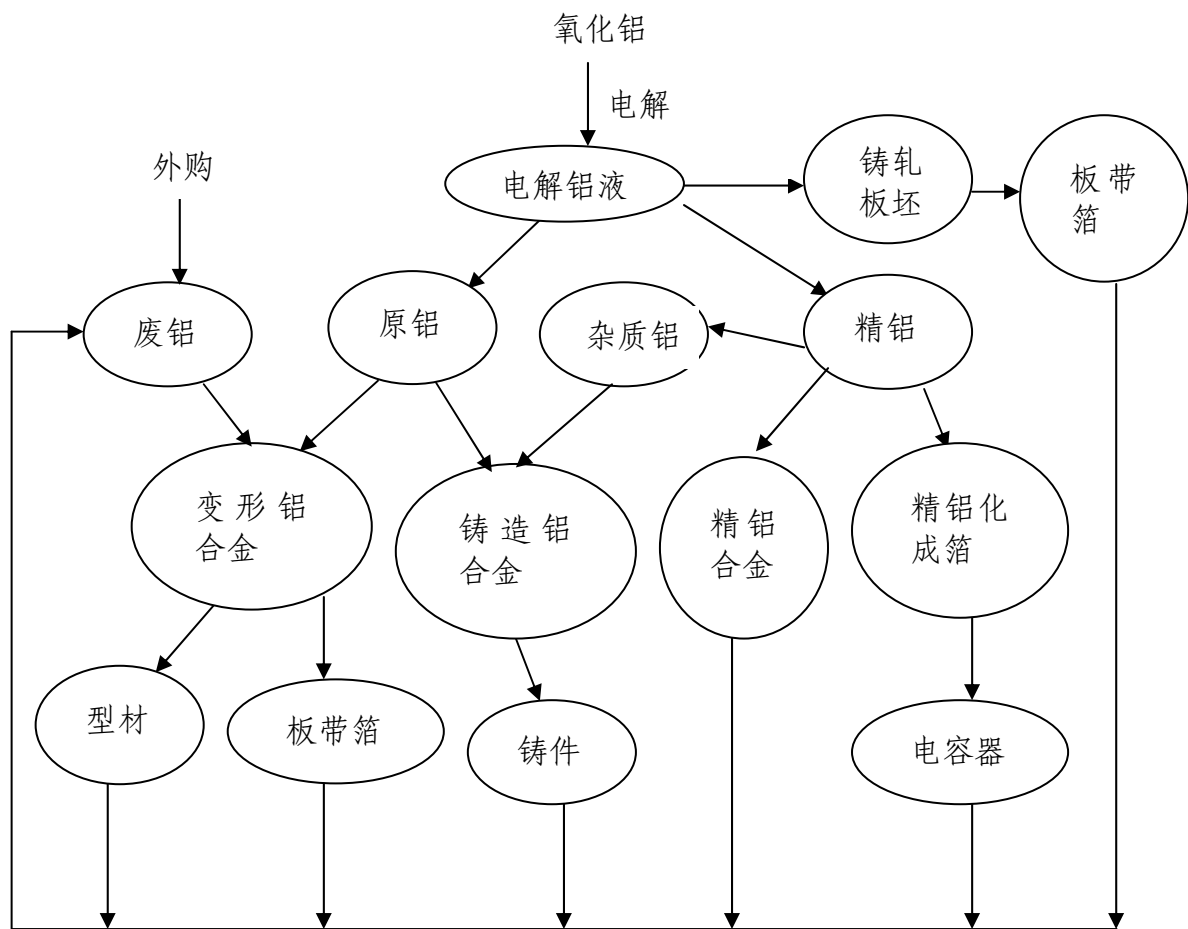


图2 铝代谢示意图

① 氧化铝

炼铝的原料主要是铝土矿，金属铝生产分为两大步骤：一、以铝土矿为原料生产氧化铝（含采矿、选矿）；二、将氧化铝进行熔盐电解生产金属铝。

氧化铝生产方法有拜尔法、烧结法和联合法（拜尔法和烧结法的联合）。拜尔法工艺主要由溶出、分解和熔烧三个阶段组成，只适合处理铝硅比较高的红土型铝土矿（三水铝土矿）。烧结法工艺增加了熟料烧成、脱硅等工序。联合法是将拜尔法与烧结法联合使用生产氧化铝的方法，其最大特点是可用烧结法系统所得的铝酸钠溶液，来补充拜尔法系统中的碱损失。

由于我国氧化铝矿 90%以上为一水硬铝土矿，具有高铝、高硅、低铝硅比的特点，不适宜直接采用拜尔法生产氧化铝。国内大型氧化铝厂中仅有一个厂采用纯拜尔法工艺，其余氧化铝厂采用联合法或烧结法工艺。自 2000 年以来，我国针对一水硬铝土矿的性质，试验成功了选矿拜尔法和石灰拜尔法生产工艺，使中低品位铝土矿经过适当处理和改进工艺，变为可以采用简单经济的拜尔法生产高质量的砂状氧化铝，并已投入大型氧化铝生产项目的建设。

② 电解铝生产

氧化铝熔盐电解法是目前工业生产金属铝的唯一方法。与被淘汰的自焙槽相比，预焙槽具有节能、低耗、少污染的优势。技术先进、环保效果好的大型中间加料预焙烧阳极铝电解槽已成为我国电解铝厂新建和改扩建的惟一推荐槽型。

铝用阳极生产原料为石油焦和煤沥青，生产过程包括原料贮运破碎、煅烧、沥青熔化、生阳极制造、焙烧及炭块贮存和残极处理等工序。阴极生产工序与阳极相近似，包含无烟煤煅烧、中碎配料（含沥青熔化）、混捏成型、阴极焙烧、机械加工五个工序。

③ 铝加工

氧化铝电解产生电解铝，除了正常生产各种铝型材外，铝液进一步提纯可制得精铝，精铝中掺入其它合金元素，生产精铝合金。精铝还可以用来生产精品化成箔，进而得到高附加值的精铝产品。

④ 再生铝生产

废铝再生工艺主要包括预处理和熔化/精炼两个工序。预处理工序主要对废铝进行分类、加工和清洗，以便除去表面污染物或附着物，或与其他金属或非金属分离等。熔化/精炼工序主要对废铝进行熔化、精炼、合金化和浇铸。

（二）资源消耗的重点部位

① 氧化铝生产

拜尔法工艺简单，流程短，能耗低，投资少，产品质量高，而且大气污染物排放量最小，但赤泥难以综合利用。石灰拜尔法和选矿拜尔法生产氧化铝工艺适合我国国情，研究开发的新技术，使中低品位铝土矿经过适当处理和改进工艺，变为可以采用简单经济的拜尔法生产高质量的砂状氧化铝，而且由于采用先进技术和设备，能耗、物耗指标达到世界先进水平。烧结法工艺能耗和大气污染物排放量均较拜尔法高出 1 倍以上。熟料烧成是烧结法的核心部位，全部的烧成化学反应都在此发生，烧成的产品——熟料的质量直接影响以后各工序的技术指标。烧成所用的设备为回转窑，燃料为煤粉，产生的灰渣直接进入物料中参与化学反应。联合法工艺分为串联法、并联法和混联。混联法流程中，烧结法系统既处理拜尔法的赤泥，又加入新铝矿石，组织生产较为灵活，氧化铝回收率较高，其能耗和大气污染物排放量较单纯烧结法的低。我国氧化铝综合能耗平均为 1154 公斤标准煤，比国外先进水平高 50%左右。

② 电解铝生产

电解铝生产消耗原材料为氧化铝、阳极炭素、氟化铝，不同电解铝生产企业吨铝消耗氧化铝差别较大，提高氧化铝转化程度是提高资源利用率的最好办法。生产工艺、企业规模和设备选型与能耗、物耗有直接关系。耗能大、电耗高是电解铝生产的最大特点。电能消耗是电解铝生产过程中的一项非常重要的经济指标，吨铝耗电对于铝产量、成本影响很大。2003 年，我国电解铝预焙槽直流电

耗为 13833kW·h/t-Al，而国外先进水平为 13320 kW·h/t-Al。

（三）污染物产生的重点部位

① 大气污染物

氧化铝生产的主要污染物是颗粒物和 SO₂，主要源于熟料烧成窑和氢氧化铝焙烧窑。均采用电除尘器除尘，除尘后熟料烧成窑排尘浓度基本控制在 100~300mg/m³，氢氧化铝焙烧炉排尘浓度控制在 23~200mg/m³。

铝电解预焙槽烟气中的主要污染物是氟化物和粉尘，其产生量约为总氟 16~20kg/t-Al，粉尘 20~30kg/t-Al。目前我国预焙槽烟气均采用干法技术治理，技术比较成熟。大型电解槽烟气净化系统基本上能保持正常、高效运行，氟化物净化效率超过 98%，净化后氟排放浓度一般<3mg/m³，粉尘<30mg/m³。

阳极生产工序相对较长，各破碎、筛分及物料贮运工序扬尘点较多且分散，是造成环境污染的重要原因之一，因此加强阳极通风除尘是重要的环保措施。焙烧炉烟气中含有沥青烟、碳尘、氟化物和 SO₂ 等大气污染物，是阳极系统的主要大气污染源。

② 固体废物

氧化铝生产赤泥排放量较大，由于其附液中含碱量较高，pH 值有的甚至超过 12.5。大部分企业赤泥堆场都采取严格的防渗措施，控制碱对地下水的污染。

电解铝厂产生的固体废物主要是电解槽大修渣，该渣浸出液中氟化物浓度大于 50mg/L，氟化物浓度有的超过 5mg/L，属危险废物。

（4）产业关联

① 产业关联度较高

铝工业是产业关联度和社会贡献率都较高的产业，铝与原材料制造业和装备制造业的关系非常密切。在我国现有的 124 个产业中，有 113 个部门使用铝，占 91%；而在其中的 101 个物质生产部门中，有 95%的产业需要铝冶炼产品或铝材，在 23 个非物质生产部门中，有 74%即 17 个消耗铝冶炼产品或铝材。装备制造业消耗铝产品占 124 个产业总消耗铝的 58.3%，而原材料制造业用的铝占总消耗铝的 32.6%。

21 世纪的前 20 年，我国制造业将加速发展，并带动国民经济保持较长的高速增长。因此，作为工业基础的铝工业的发展状况就显得更加重要。

② 铝电联营

目前，电解铝生产企业有三种经营模式：单纯电解铝模式；铝电联营或铝电复合模式（煤电铝、水电铝）；氧化铝、火力发电和电解铝产业链经营模式。单纯电解铝模式，企业必须从电网购买电力，电力成本占生产成本的比例过高。鉴于电力、氧化铝的价格对电解铝的成本具有的巨大影响，将这一产业链的上下

游打通的第三种模式，构建这样一个三位一体式的完整产业链被看作极具优势的低成本经营方式。

铝工业耗电量非常大，电力成本在氧化铝和铝产品成本中占有很大的比重。当前，铝电联营是我国电解铝工业发展的有效途径，也是我国铝工业产业结构调整的重要内容。根据我国的电力市场供需情况，新建电解铝生产企业必须具备铝电联营条件，特别是新建大型电解铝生产企业（大型氧化铝生产企业新建电解铝项目除外），应该实现铝电联营，只有这样电解铝生产才可能具备国际市场竞争能力，电解铝生产企业才有发展空间。

2 适用范围

本标准用于国家环境保护总局促进铝工业发展循环经济，实现资源能源利用效率最大化，预防和控制铝工业发展循环经济过程中的环境污染。

3 指导原则

制订行业发展循环经济环境保护导则应坚持以可持续发展和循环经济理念为指导，注重清洁生产的实施，突出工业横向共生、要素纵向耦合的网络化特征，注重可操作性和适用性，注重先进性和示范性，发挥行业优势和地方特色等原则。具体包括如下一些指导原则

- （1） 3R 原则
- （2） 科学性原则
- （3） 可操作性原则

4 制订导则的依据和主要参考资料

4.1 制订依据

- （1） 国务院办公厅.《国务院关于加强发展循环经济的若干意见》（国发〔2005〕22号）
- （2） 国务院办公厅.《国务院关于做好建设节约型社会近期重点工作的通知》（国发〔2005〕21号）
- （3） 国家环境保护总局办公厅.《关于印发〈国家环保总局关于推进循环经济发展的指导意见〉的通知》（环发〔2005〕114号）
- （4） 《铝工业发展专项规划》，2005年9月7日国务院常务会议原则通过
- （5） 《铝工业产业发展政策》，2005年9月7日国务院常务会议原则通过
- （6） 《淘汰落后生产能力、工艺和产品的目录》（第一、二、三批）
- （7） 《当前国家重点鼓励发展的产业、产品和技术目录》（2000修订）

- (8) 《国务院办公厅转发发展改革委等部门关于制止钢铁电解铝水泥行业盲目投资若干意见的通知》(国办发[2003]103 号)
- (9) 《国家环境保护总局关于进一步加强电解铝行业环境管理的通知》(环发[2004]94 号)

4.2 主要参考资料

- (1) 解振华主编. 领导干部循环经济知识读本. 北京: 中国环境科学出版社, 2005
- (2) 国家环境保护总局科技标准司编. 循环经济和生态工业规划汇编. 北京: 化学工业出版社, 2004
- (3) 孙启宏, 段宁, 毛玉如, 李艳萍, 沈鹏, 著. 中国循环经济发展战略研究. 北京: 新华出版社, 2006
- (4) 孙启宏, 段宁, 毛玉如, 沈鹏, 等编著. 清洁生产标准体系研究. 北京: 新华出版社, 2006
- (5) HJ/T 187 清洁生产标准 电解铝业
- (6) 国家发展改革委员会. 铝行业清洁生产评价指标体系(试行). 2006
- (7) HJ/T254 建设项目竣工环境保护验收技术规范 电解铝
- (8) HJ/T275 行业类生态工业园区标准(试行)
- (9) 包头国家生态工业(铝业)示范园区建设规划. 2002
- (10) 郑州上街区国家生态工业(铝业)示范园区建设规划. 2005
- (11) 中国铝业股份有限公司中州分公司循环经济试点实施方案. 2005

5 编制导则的基本方法

5.1 导则的构建方法

我国铝工业发展循环经济的指导思想是: 坚持科学发展观, 继续加强和改善宏观调控, 控制总量, 优化结构, 合理布局, 降耗减污, 推动铝工业走新型工业化道路, 实现由大到强的转变。按照“减量化、再使用、资源化”原则, 从三个方面开展工作: 一是在铝土矿开采、氧化铝、电解铝的生产中要不断推动技术进步, 改进工艺, 扩大规模, 进行资源综合利用, 降低物耗、能耗, 提高产品质量, 增加产品种类; 二是以市场为导向, 大力开发铝深加工产品, 延伸产业链, 提高产品附加值, 同时要建立起一套完善的废铝回收再生机制, 实现铝资源的循环使用; 三是通过加强国际合作, 积极利用两个市场, 两种资源, 发挥我国铝工业的规模优势, 以尽可能小的资源消耗和环境成本, 获得尽可能大的经济和社会效益, 提

升国际竞争力。铝工业发展循环经济主产业和延长产业链示意图如图 3 所示。

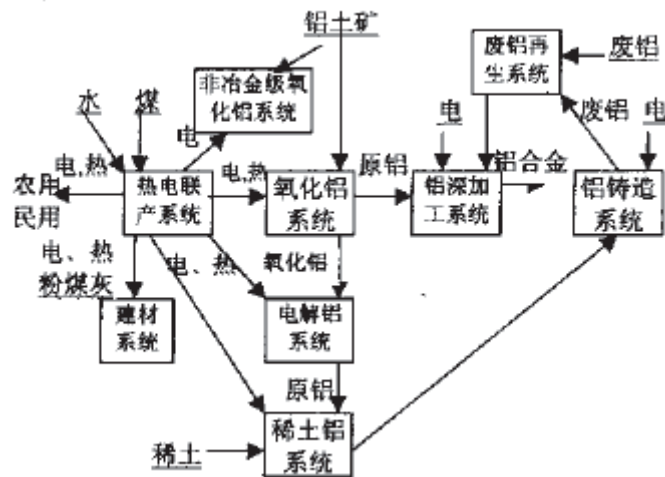


图 3 铝工业发展循环经济主产业和延长产业链示意图

5.2 导则项的确定方法

（1）物质集成

按照清洁生产的思路，从产品整个生命周期分析生产过程，采用新工艺、新技术，使生产流程朝着简单化、紧凑化、大型化和连续化的方向发展，尽量减少进入生产过程中的物质流量，从而减少废弃物的产生与排放，用较少的资源、原材料投入，最大限度可持续地利用各种可再生资源，采用资源利用效率最大化、工业废物利用升值化、“三废”产生最小化的措施，实现原（材）料集成。

（2）能量集成

运用以系统工程理论为指导、热力学分析为基础的能量集成技术，对行业/园区内现有生产过程系统的用能状况进行诊断，发现“瓶颈”问题；采用“能量集成策略”，并考虑过程的操作、控制、安全等因素，选择与确定过程系统节能降耗改造方案；进行系统模拟、技术经济评价。推广先进的节能和环保技术，淘汰或改造资源浪费、污染严重的落后生产工艺和装备，实现“少投入、多产出、低污染、高效益、可持续发展”的战略目标，强化能源与环境管理。

（3）水集成

水的原位再生和梯级利用已成为现代水环境科学研究的重点领域，是实现水集成的有效方法。水梯级利用的核心指导思想是“全过程控制、分散和集中相结合”，水梯级利用技术主要包括厂域梯级利用技术和区域梯级利用技术，建立工序内部、厂内、厂际多级用水循环思想，提高水的循环利用率，采用先进工艺对循环水系统的排污水及其它排水进行有效处理，使工业废水资源化，实现工业废水“零”排放。

（4）信息集成

行业/园区循环经济的发展，需要大量的信息支持，必须建立完善的数据库

和信息管理系统。有关信息包括：有害及无害废物的组成、废物的流向和废物的去向信息，相关生态链上产业（包括其辐射产业）的生产信息、市场发展信息、技术信息、法律法规信息、人才信息、相关工业生态其他领域的信息等。

（5）技术集成

从产品设计开始，按照产品生命周期的原则，依据生态设计的理念，引进和改进现有企业的生产工艺，应用高新技术、抗风险技术、废物使用和交换技术、信息技术、管理技术等，以满足生态工业的要求，建立最小化消耗资源、极少产生废物和污染物的高新技术系统。

技术集成既包括软技术，也包括硬技术，是软硬技术的集合。

5.3 导则值的确定依据

（1）物质集成

（一）产品集成

积极拓展、延伸铝工业产业链，大力发展高附加值的铝深加工产品。具体包括：

① 铝土矿开采→氧化铝生产→电解铝生产→铝深加工→铝合金、铝材

氧化铝是铝工业产业链的上游产品，氧化铝作为原材料进入电解铝的生产。电解铝是铝工业产业链的中游产品，是重要的工业基础材料和战略物资。铝加工主要指铝挤压、铝轧制、铝压铸和铝锻造或电解后生成的原铝进行再次提纯，生产高品质的精铝。铝型材加工属于铝工业产业链下游产品或终端产品。铝深加工后的产品为铝合金和铝材生产提供原材料。

② 铝土矿开采→氧化铝生产→氧化铝深加工

氧化铝是一系列多性能的产品，利用各种不同形式或晶型的氧化铝的不同性能与其他各种基质复合在一起而开发出并仍在开发着各种用途。氧化铝进一步加工可以生产刚玉、微粉氧化铝、多品种氧化铝等产品，增加产品的附加值。多品种氧化铝由于产品用途广泛、技术含量高、生产附加值大、经济效益好，市场前景良好。

③ 电解铝生产→铝及铝合金型材→彩钢、钢构件及各种铝制品

电解铝生产铝及铝合金型材，再进一步深加工成彩钢、钢构件及各种铝制品。移动板房、高级彩钢厂房以其质轻、简单、性能好、可拆组，移动方便等特性深受消费者的青睐，市场需求量增长非常快。

④ 铝再生→铝生产→铝深加工

铝材加工企业与铸件生产企业在制造产品过程中所产生的工艺废料，以及因成分、性能不合格而报废的产品，它们一般都由生产企业自行回炉熔炼成原牌号合金，也有一部分以来料加工形式运到电解铝厂串换所需的铸坯或者配合电解槽内电解原液铝调整成份生产再生铝。

⑤ 碳素→炭阳极→电解铝→废阳极→碳素

炭阳极生产是电解铝生产的主要耗材。预焙阳极生产所需主要原料为石油焦和煤沥青。电解铝生产过程中，阳极不断消耗，剩下约 1/5 的残极需用新阳极替换下来，返回到碳素生产厂作为阳极生产材料加工新的炭阳极。

（二）物料集成

铝工业上游产品主要有：电、氧化铝、氟化盐、石油焦、沥青、各种碳素制品（阴极、阳极）、耐火材料、机械加工产品（铸钢件、铸铁件）、生产劳动保护用品、各种建筑材料、环保设备、防腐材料、各种机电产品（包括供电、动力、运输机械、工矿用设备、电机等）等。

铝土矿因来源不同，矿物成分也有差别，为保证稳定生产，进厂矿石要进行预均化处理使之符合工艺条件的要求。烧制石灰石的窑气主要成份是 CO_2 ，用于烧结法炭分工序制取 $\text{Al}_2(\text{OH})_3$ 。碎石灰石和化灰残渣可生产建材。

氧化铝溶出率不仅是衡量铝土矿质量的主要标准，而且是表征溶出条件及其效果的重要参数。直接影响氧化铝的回收率和生产成本。溶出液苛性比值的高低对赤泥分离和晶种分解生产过程都起着极大的作用。

氧化铝电解产生铝液，铝液冷却得到原铝铝锭。以原铝为原料，生产变形铝合金和铸造铝合金。变形铝合金进一步加工成铝型材和铝板带箔，铸造铝合金用来生产铝铸件。电解铝液进一步提纯，得到精铝，精铝中掺入其它合金元素，生产精铝合金。精铝还可以用来生产精铝化成箔，进而得到精铝电容器。电解铝液还可直接通过连铸连轧生产铝板坯、线坯，用作铝板带箔和制罐材以及拉制线材的坯料。杂质铝用于生产铸造铝合金。收集到的废铝掺入原铝中，可以生产铝的合金，使废铝得以再用。

（三）废物集成

通过物质流、能量流和信息流互相关联，一个生产过程的废物可以作为另一种过程的原料加以利用。系统内各生产过程从原料、中间产物、废物到产品的物质循环，达到资源、能源、投资的最优利用，提高废物综合利用率。目前，我国铝工业的废物链主要有：

① 铝矿石→尾矿→路基材料

尾矿是选矿后的产物。选矿拜耳法在利用中低品质铝土矿的同时，大量尾矿随之而生。选矿厂可建在矿山，也可以建在氧化铝厂。近期尾矿还没有好的利用方法，只能运往尾矿库安全处置。以后可以根据尾矿的成分开发作为路基材料。另外，石灰石筛选的碎渣也可用于铺路或烧制水泥。“剥离—采矿—复垦”一体化复垦新工艺使矿山开采与土地复垦同步进行，有比较明显的经济效益、社会效益和环境效益。

② 氧化铝→赤泥→建筑建材

赤泥是氧化铝生产带来的主要废物。联合法和拜尔法赤泥可代替砂岩和粘土，直接生产硅酸盐水泥，烧结法赤泥主要成分是硅酸二钙，非常适于烧制水泥。另外，赤泥还可用来生产清水砖和透水砖、炼钢脱硫剂、塑料阻燃剂、玻璃钢阻燃剂、PVC 和沥清填料等。赤泥和粉煤灰可烧结成为建筑陶瓷，采用赤泥、粉煤灰、煤矸石配料，还可用于生产新型墙体材料。赤泥附液含碱，可回收利用。

③ 氧化铝→赤泥→元素利用

铝土矿中存在的微量元素有 40 多种，共伴生的有用组分中可提取镓、钪、铁等元素。赤泥中含有多种对农作物生长有用的常量元素（Si、Ca、Fe、K、S、P）和微量元素（Mo、V、B、Cu），是一种复合肥料，施于农田可被植物根系作为营养元素吸收。

④ 阴极炭块→电解铝→废内衬→氟化盐

石墨化阴极炭块是电解槽砌筑和大修的重要材料，具有良好的导电、导热、抗热冲击、抗钠膨胀和抗电解质腐蚀能力。但单个企业用量少，一般都是外购。电解铝生产过程中所产生废电解质返回电解槽即可使用，残极送碳素厂配料生产新阳极。电解槽大修时，需拆除更换废阴极，产生含有大量氟化盐的废内衬，属危险废物，需设专用堆场储存，最好的办法是回收利用。将废内衬中的炭块选出、破碎，用氢氧化钠溶液浸出冰晶石，提纯后可用作熔盐炼铝的溶剂。

⑤ 通过废铝收集、分拣、熔炼、深加工这样的产业链，可以生产再生铝锭（重熔压铸锭与常规铸造锭），生产挤压用的圆锭与轧板用的扁锭，还可以用再生铝锭压铸或铸造汽车、摩托车、农业机械的零配件以及五金件等。

⑥ 新鲜水→生产过程→水循环系统→废水处理系统→生产用水

氧化铝生产企业用水的主要特点：生产用水量大，废水温度高、碱度高、悬浮物高。工业用水在氧化铝生产流程中所起的作用主要体现在设备冷却、物料冷却、物料的配制与洗涤、能量传递（蒸汽加热）、物料（料浆）输送等多方面。氧化铝生产产生的废水经污水处理厂处理后作为补充水用于生产过程，提高水的循环利用率，降低新鲜水资源需求压力，可以做到生产废水“零排放”。

（2）能量集成

有效的能源利用是削减费用和环境负担的主要战略。在铝工业产业链中的能量集成，不仅各成员要寻求各自的能源使用实现效率最大化，而且产业链要实现总能源的优化利用，最大限度地使用可再生能源。在铝工业产业链内根据不同行业、产品、工艺的用能质量需求，规划和设计能源梯级利用流程，可使能源在产业链中得到充分利用，提高能源利用效率。

节能是铝工业能源战略的重要组成部分。通常情况下，与能耗有关的生产因素大致包括以下几方面：工艺设备、工艺流程、工艺指标、生产布局、原材料消耗、辅助条件、产品结构及副产品、废弃品、废能的处理与回收等。要求在生产

的各个领域，合理有效地利用能源，以最少的能源消费，生产出更多更好的铝产品。

（一）氧化铝生产

一是加快选矿拜耳法、石灰拜耳法等生产氧化铝的新工艺的开发与应用。拜耳法工艺无熟料烧成工序，主要耗能工序为高压溶出、母液蒸发、氢氧化铝焙烧，其能耗占拜耳法能耗的 60%~70%，降低这三大工序的热耗是拜耳法生产氧化铝节能的关键；二是以节能降耗、提高产出率为重点，对拜耳法工艺进行优化；三是加强烧结法工艺节能降耗的挖潜；四是提升高附加值化学品氧化铝产品比例，降低万元产值能耗；五是逐步淘汰直接加热熔出技术。

（二）电解铝生产

一是加快大容量预焙阳极电解槽成套技术与装备的产业化，逐步淘汰小预焙槽；二是进一步完善和推广物理场技术、浓相与超浓相输送技术、模糊控制技术、直降式可控硅整流技术国产化、干法净化技术等；三是加大电解铝液直接铸坯的比例。在电解铝厂建设电解铝液直接铸坯的铸锭系统，减少二次重熔，降低金属烧损。铝电解过程中，提高电流效率能够降低熔解铝的再氧化，减少电能消耗。

（三）铝加工生产

加大铝产品结构调整力度，提高铝合金、大板锭、铸轧卷、铸造铝合金、变形铝合金等产品总量，降低铝烧损和降低重熔油耗。

（四）碳素生产

抓紧实施焙烧炉改造，用先进的 W 型环式炉取代 V 形炉，石油焦煅烧采用新式回转窑，挥发份在窑中控制燃烧，实现无燃料燃烧；二是实现液体沥青配料及工艺自动化，提高产品合格率；三是合理组织生产，确保装炉系数，提高系统负荷率。

（3）水集成

铝工业企业生产用水要贯彻“节约用水、清污分流、循环使用、梯级利用”的原则。要通过抓源头、改善流程和强化管理等手段，有效地降低新水使用量，减少工业废水的产生和排放，既能减轻对周围地表水的污染，又避免水资源的浪费。杜绝跑、冒、滴、漏是铝工业企业节水和避免水污染的重要内容，对供水设备、用水设备须及时维修，减少管道渗漏。中州铝厂吨氧化铝水耗由过去的20吨下降到4吨，废水全部循环利用，达到“零”排放。目前，中铝公司所属的大多数企业已实现了废水“零排放”。

水梯级利用的核心指导思想是“全过程控制、分散和集中相结合”。水梯级利用主要包括厂域梯级利用和区域梯级利用，建立工序内部、厂内、厂际多级用水循环思想，提高水的循环利用率，采用先进工艺对循环水系统的排污水及其它排水进行有效处理，使工业废水资源化，实现工业废水“零排放”。厂域梯级利用是

指废水在工厂范围内的循环利用，包括原位再生和厂内梯级利用。区域梯级利用是指废水在区域范围内的循环利用，包括集中再生和区域循环利用。

（一）设立完善的循环水系统，实现原位再生

根据工艺特点及各工段对循环水质的不同要求，在生产车间设立水原位再生系统，使水在车间内或系统内循环。如氢氧化铝焙烧循环水系统，空压站循环水系统，热电站循环水系统，水量较大，水质清洁，只需降温即可循环使用；煤气站循环水系统水质差，需设独立的循环水系统，平时保持亏水运行，并取一部分水进行逐级处理，以改善循环水的水质，盈水时排入工业污水处理站处理，或直接排放处理后的达标废水。高压溶出、熟料溶出、压煮脱硅、分离洗涤、母液蒸发等工段产生含碱废水，水质相似，合并设立循环水系统，处理后再返回这些工段使用。

（二）水分质利用，实现厂内水梯级利用

空压站的空压机、压缩机等冷却水均为设备间接冷却水，水质要求较高，排水水质较清洁，可以用于氧化铝生产工艺或作为其它循环水系统的补充水。

（三）工业废水处理，实现厂内集中再生回用

设立全厂工业污水处理站，采用物理法处理各车间不能进入循环水系统的废水。其工艺流程为：生产废水→隔油池→预沉淀→絮凝沉淀池→气浮沉淀池→平流沉淀池→清水池。污水处理站排水进行全厂调配，可用于水质要求不高的用水点。

（四）赤泥多级逆向洗涤，附液回收

赤泥多级逆向洗涤的作用一是提高脱碱效率，降低碱耗，二是减少新水用量，避免回水过量，增加蒸发工序的负荷。赤泥附液中含有大量的碱，若流失将对耕地和地下水环境造成污染，而且附液中的碱是氧化铝工艺的重要原料，因此赤泥堆场的澄清液和坝体渗水均设置完善的集水管道和泵房，确保收集的附液全部回用于赤泥洗涤工序。

（五）废碱水综合利用

对含碱车间跑、冒、滴、漏的工艺物料以及地坪、设备冲洗水均由专门设置的污水泵站送生料磨回收利用。对于氧化铝工艺过程产生的含碱水、母液、硅渣及其附液、赤泥洗液作为生料或熟料溶出等的配料综合利用。

（六）反渗透脱盐技术

热力锅炉脱盐水处理采用反渗透—离子交换联合脱盐工艺，即反渗透起预脱盐作用，离子交换装置起进一步提纯及保护作用。该工艺酸、碱消耗较离子交换减少 95%，是脱盐工艺中酸碱使用量最少，废水排放量最少的工艺。可节约热力厂新水用量和酸碱废水排放，减少工业污水处理站负荷。

（七）灰渣水循环利用

热力系统采用水力除灰，除灰渣水设循环水系统，冲灰水澄清后经泵返回到冲灰系统。同时，冲灰水对水质要求不高可采用其它生产过程的废水。

(4) 信息集成

铝工业循环经济的发展，需要大量的信息支持，必须建立完善的数据库和信息管理系统。面向市场，调整和优化产品结构，提高产品的加工深度，生产出更多市场需要的高性能、高附加值产品，使产品生产成本更低、市场竞争力更强，达到资源、能源、投资的最优利用。

(一) 铝工业发展趋势

原生铝工业在现代铝工业中的比重呈下降趋势。由于资源分布不平衡和能源长期性短缺，加剧了国际间竞争和企业间竞争。原生铝工业在总体趋势上继续向着生产低成本、资源低消耗、废物低排放和产品高质量方向发展。具体来说，氧化铝工业更加靠近具有铝土矿资源优势的国家和地区，矿区回填、植被、复垦的速度和质量不断提高，工艺废水、废气接近零排放，生产规模不断扩大；电解铝工业更加向富有经济的、清洁的能源的国家和地区转移，企业更加现代化、大型化和综合化，工艺流程从电解延伸到铝基材料半成品加工，大幅度降低了工艺能耗，操作者—生产车间—周边空间之间的环境性能非常友好；铝加工工业逐步把耗能较高、批量较大的坯料生产工序转移到电解铝工业中去，更加突出加工工艺高度自动化、精细化和产品多样化、高质量，企业更加贴近社区。

原生铝工业已经经历了一百多年的发展，目前进入消费领域的铝累积总量高达 4~5 亿吨。随着原生铝工业持续发展、铝消费应用日益增多以及废铝可以高效循环再生，再生铝工业依赖的废铝资源可以得到有效保障。再生铝工业是一个勃发向上的朝阳工业。它把资源、生产、消费组织成一个循环流程，充分利用金属铝可以反复循环高效再生、再生能耗低、工艺流程简短等优异性能。

再生铝工业的资源和最终产品与消费领域密切联系。因此，再生铝工业的健康可持续发展不仅需要分类技术和再生技术的强有力支持，而且也需要有效的社会组织协调。当前，废铝回收工作的社会基础越来越好，废铝回收在有些国家已进入规范化、法制化程序，回收效率越来越高，这为再生铝实现规模化生产奠定了原料基础，也进一步为生产过程实现机械化、自动化和技术化提供了可能性。再生铝工业日益显现出越来越高的经济效益、环境效益和社会效益，为现代铝工业的可持续发展注入新的活力。

(二) 产品信息

① 有序地进行铝土矿的开发，加强矿山开采过程中的生态保护。

② 有限制地增加氧化铝和电解铝的产能，实现上下游产品均衡发展；重点提高氧化铝生产的工艺技术。

③ 延伸铝工业产业链，重点是氧化铝的深加工、精铝生产、异型铝型材和铝合金的生产等，提高产品的技术含量和经济附加值。

④ 加强涉铝产品的生产和技术研发，形成分工明确、共生关系明显、支撑铝工业高质量发展的产业集群。

⑤ 大力推进企业清洁生产，加强企业的环境管理，改变传统的污染控制策略，通过生态设计、原料替代、原料高效率使用、生产过程污染控制等手段，在提高企业经济效益的同时提高其环境效益。

⑥ 开发铝工业生产过程中各种副产品和废物的资源化利用技术，实施废物循环利用和提高能源效率。

（三）市场信息

铝厂和铝加工厂都需要铝的期货市场。国际铝市场产、供、销都保持稳定并呈适度增长势头。国际电解铝工业受电力供应紧张和发达国家对电解铝生产环保要求越来越严格的影响，电解铝生产布局越来越向电力供应充足，劳动力价格低廉，对环保要求宽松的发展中国家转移。顺应这种变化，我国电解铝工业近年来发展迅猛，我国铝市场开始在国际铝市场中发挥举足轻重的地位。

加快现有氧化铝企业改造升级，鼓励现有电解铝企业通过联合兼并，进行资产重组，优化资源配置，提高产业集中度，发展成为具有国际竞争力的大型铝企业集团。

生产规模 10 万吨/年以上的电解铝企业的生产工艺是以 160kA 以上大型预焙槽为主，已经成为全国电解铝规模发展的重要企业。生产规模 6~9 万吨/年的电解铝企业，生产装备大部分采用了大型预焙槽技术，生产规模在全国处于中等水平，是属于优化规模，优化结构，提升运行质量的重点企业。生产规模 5 万吨/年以下的企业，主要是自焙槽改造成为小型预焙槽的企业，受生产规模，生产能力的限值，生产装备水平不高。加之，受当地的电力价格，稳定的氧化铝原料供应的影响，生产成本很难降低，多数企业竞争力不强，在激烈的竞争中有可能倒闭、淘汰。

（5）技术集成

（一）支撑技术体系

铝工业循环经济的发展，需要系统的技术集成。先进的科学技术是循环经济的核心竞争力。如果没有先进技术的输入，循环经济所追求的经济和环境的目标将难以从根本上实现。循环经济的支撑技术体系由替代技术、减量技术、再利用技术、资源化技术、系统优化技术和共生链接技术 6 类技术构成。

替代技术：即在通过开发和使用新能源、新材料、新产品、新工艺，替代原来所用资源、材料、产品和工艺，以提高资源利用效率，减轻生产和消费过程中对环境的压力的技术。

减量化技术：即在选用较少的物质和能源消耗的工艺路线来达到既定生产目的，在源头节约资源和减少污染的技术。

再利用技术：即在延长原料或产品的使用周期，通过多次反复使用，减少资源消耗的技术。

资源化技术：旨在将生产或消费过程中产生的废弃物再次变成有用的资源或产品的技术。

系统优化技术：主要从系统工程的原理出发，通过资源、能源工业代谢分析，实现区域物质流、能量流、信息流、资金流等的优化配置的软科学技术，指导生态工业的发展。

共生链接技术：是指在构建产品组合、产业组合，实现产业链延伸和产业共生时所需要开发的链接技术，对提升生态工业园区的建设水平有重要作用。

（二）技术清单

国家重点鼓励发展的铝工业技术包括：

① 氧化铝生产：铝土矿预均化工艺、一段或二段磨配水旋器分级磨矿工艺、管道化预热及全过程间接加热溶出工艺、平底深锥高效沉降槽、立式叶滤机或大型单筒卧式叶滤机、赤泥干法输送及堆存、一段或二段砂状氧化铝分解技术、平底机械搅拌分解槽、立盘种子过滤机、平盘或水平带式成品过滤机、5~6 效降膜蒸发技术、强制循环结晶器排盐技术、流态外焙烧技术。

② 电解铝生产：280kA 及以上型预焙阳极电解槽、氧化铝输送采用浓相或超浓相技术、计算机自动控制氧化铝浓度加料技术、电解槽阴极使用半石墨化或石墨化碳块、全厂性污水处理（二次）及回用。

③ 碳素生产：沥青连续熔化及电捕焦油、连续混捏、新型阳极环式焙烧炉及燃烧自动控制、阳极生产采用回转窑无燃料煅烧技术、阴极生产采用直流电煅炉煅烧技术、交流电机变频调速、全厂性污水处理（二次）及回用。

国家明令禁止必须淘汰的落后生产能力、工艺设备和产品包括：

① 氧化铝生产：原料磨配螺旋分级机磨矿工艺、新蒸汽直接加热溶出工艺、普通锥形单层或多层沉降槽、双筒叶滤机、压缩空气搅拌种分槽、氢氧化铝回转窑焙烧工艺、3~4 效外热式蒸发工艺。

② 电解铝生产：自焙阳极电解槽。

③ 碳素生产：燃煤式焙烧炉、间断沥青熔化槽、燃煤式罐式炉。

6 导则经济分析和实施的技术可行性分析

6.1 导则的技术经济可行性分析

本导则主要包括定性要求。定性要求是通过资料检索、专家咨询等方法确定的。

为使本导则具有较强的技术经济合理性，既不让铝工业企业高不可攀和望而

生畏,又不让所有的铝工业企业轻松达标,选择了2个以铝工业为核心企业的循环经济型生态工业园区为试点,对部分指标进行技术可行性分析。这两个试点分别是:以包头铝业(集团)有限责任公司为核心企业的包头国家生态工业(铝业)示范园区和以中铝股份河南分公司、中国长城铝业公司、中铝股份郑州研究院等国企龙头企业为核心的郑州上街区国家生态工业(铝业)示范园区。通过分析可见,实现这些指标在技术上难度不大。只要铝工业企业运行和管理到位,大部分可达到要求,故本标准的实施在经济技术上是可行的。

6.2 导则实施的可操作性分析

为使本导则实施具有较强的操作性,在制订过程中,通过召开行业专家研讨会、走访行业主管部门和专家、实地调研铝工业生产企业等形式,结合各行业的最新发展趋势和循环经济理论,认真分析包头国家生态工业(铝业)示范园区和郑州上街区国家生态工业(铝业)示范园区这两个试点的基础上,认真研究了国务院常务会议原则通过的《铝工业发展专项规划》和《铝工业产业政策》,以及《淘汰落后生产能力、工艺和产品的目录》(第一、二、三批)、《当前国家重点鼓励发展的产业、产品和技术目录》(2000修订)、《国务院办公厅转发发展改革委等部门关于制止钢铁电解铝水泥行业盲目投资若干意见的通知》(国办发[2003]103号)、《国家环境保护总局关于进一步加强电解铝行业环境管理的通知》(环发[2004]94号)等文件的要求,对照研究了《清洁生产标准 电解铝业》(HJ/T 187)、《铝行业清洁生产评价指标体系(试行)》、《建设项目竣工环境保护验收技术规范 电解铝》(HJ/T 254)、《行业类生态工业园区标准(试行)》(HJ/T 275)等规定。

表1 铝工业发展循环经济水、气、固体废物综合利用指标要求

指标	达标	先进指标
1. 冷却水复用率, %	≥100	≥100
2. 尾矿综合利用率, %	≥30	≥50
3. 赤泥综合利用率, %	≥30	≥80
4. 废电解质回收并加工利用率, %	≥100	≥100
5. 废阳极回收并利用率, %	≥100	≥100
6. 再生铝消费量占铝总消费量的比例, %	≥30	≥99.5

铝工业发展循环经济水、气、固体废物综合利用指标要求如表1所示。冷却水复用率、废电解质回收并加工利用率、废阳极回收并利用率这三项指标目前在很多铝企业已经达到,而且《清洁生产 铝电解业》的三级指标也全是100%。尾矿综合利用率和赤泥综合利用率河南部分氧化铝企业在2010年的目标是30%,2020年的目标分别是50%和80%。国家九部委制定的《关于加快铝工业结构调整指导意见的通知》上明确要求到2010年再生铝消费量占铝总消费量的比例的目标是30%。目前发达国家的比例很高,比如日本已经达到99.5%。

本导则旨在从国家长远整体利益和我国铝工业发展循环经济的需求出发，以加快发展行业循环经济，努力提高核心竞争力，追求生态环境和经济效益最佳化为目标，通过加大行业结构调整和技术改造力度，发展市场潜力大、比较优势强和对促进循环经济发展作用重大的补链和深加工产品和产业，积极推进清洁生产工艺和技术，提高节能、降耗、减污、废弃物综合利用效果等途径，构建结构合理、资源节约、生产高效、环境清洁的我国铝工业发展循环经济环境保护模式。

6.3 保障措施

铝工业应该按照循环经济模式建立现代铝工业体系，延长产业链，实行上下游产业联产联营，同时要学会利用资本及体制优势，整合现有产业资源，实现产业聚合效应；适度发展原生铝工业，重点发展多品种氧化铝、铝合金、高端铝加工产品和再生铝工业，通过全球铝资源配置、产地配置、市场配置、循环再利用配置和替代配置，既从根本上解决资源和能源约束矛盾和环境压力，又满足对铝的不断增长的消费需求。

(1) 广泛宣传循环经济

加大循环经济发展的宣传力度，通过与国内外机构的合作，组织召开铝工业循环经济发展研讨会和经验交流会，将循环经济的理念引入行业经济结构调整等工作中，引导企业把循环经济和工业生态理念融入企业的“组织文化”和企业的内部激励系统中，让企业的领导阶层树立循环经济的新概念、新思维。有关研究机构应加强国内外循环经济进程的研究，与各相关机构建立交流沟通渠道，充分吸取和借鉴先进经验。

(2) 坚决落实各项宏观调控政策

新建厂要求达到先进国家控制水平；现有厂以成熟可靠的技术为依据，在较低起点基础上尽快提高，达到或接近发达国家控制水平。对新建项目要求用新工艺、新技术，减少能源消耗，实行污染物最小量化的清洁生产。推动《中华人民共和国清洁生产促进法》在铝工业领域的实施，提高我国铝工业技术总体水平。

在产业结构调整中应把握如下几个原则：

① 坚持市场导向、政府分类指导的原则。在推进产业结构调整和升级中，要充分发挥市场机制的基础调节作用。企业要以市场需求为导向，找准结构调整的重点和难点。在结构调整中，企业间的兼并、联合、重组等应贯彻在政府指导下的自主决策原则。

② 坚持以存量调整为主的原则。主要是现有企业在加大国有企业改组力度、做好存量调整的同时，应把技术改造作为增量调整的主要方式。

③ 坚持技术进步和产业升级的原则。在结构调整中，促进重点企业、重点产品和重点工艺装备接近和达到国际先进水平，增强技术创新能力，提高大企业和企业集团的国际竞争力。

④ 坚持区域经济协调发展的原则。认真贯彻中央关于西部大开发和振兴东北老工业基地的战略,综合考虑生产力合理布局,形成既有大局观念又各具特色的区域工业经济结构。

⑤ 经济安全和安全生产原则。在结构调整中,要注重增强国有经济在关键领域和行业中的控制力,保证国家经济安全。要坚持以人为本,高度重视安全生产问题。

⑥ 可持续发展的原则。通过加强资源节约和综合利用,积极推行清洁生产,提高工业污染的综合防治能力和水平,促进可持续发展。

⑦ 改革开放原则。坚持改革开放是科学发展观的重要内容。完善社会主义市场经济体制,解决铝工业发展中的深层次矛盾,一方面继续学习、引进国外先进技术,鼓励海外大公司与国内企业合资合作、联合重组;另一方面,积极推进有条件的企业实施“走出去”战略。

(3) 加强环境执法

将循环经济的理念纳入现有的环境管理工作之中,运用环境影响评价、排污许可、总量控制等手段在环境法制建设中推动循环经济发展;制定和完善污染物排放标准,颁布行业清洁生产标准,逐步推进企业环境准入制度的建立,通过执法,调整产业结构,遏制高耗能、高耗水、高污染和浪费资源的项目,使环保执法符合循环经济的要求,促进科技含量高、经济效益好、资源能源消耗低、环境污染少的新型工业项目的发展。

按照发展循环经济的要求制定污染防治和生态保护技术政策。将全面推进清洁生产审核、倡导废物的减量化、再使用、无害化和资源化为污染防治的最基本途径,从产品生产的全过程加强污染预防,最大限度地减少污染的末端治理压力;制订和完善污染防治技术政策和大力发展环境友好型技术和污染控制技术。

(4) 继续抓好示范试点建设

顺应国际科技发展趋势、充分考虑中国国情,在对国内外循环经济和生态工业试点工作总结的基础上,本着自愿、有基础条件、有示范意义的原则,在三个层次上坚持继续推动循环经济试点和生态工业建设的工作。

① 在企业层面。选择典型企业和大型企业进行单个企业的生态工业试点。根据生态效率理念,通过产品设计、清洁生产等措施进行。

② 在区域层面。选择一批现有、准备或正在建设的与铝生产有关的工业园区,根据工业生态学原理进行生态结构改造、规划和设计,建立废物交换系统、企业间的闭路循环和生态链以及虚拟生态工业园,通过企业间的物质集成、能量集成和信息集成,形成企业间的工业代谢和共生关系。

③ 在社会层面。通过废旧物资的再生利用,建立废旧物资循环利用机制,鼓励公众参与,实现消费过程中和消费过程后的废铝循环。

7 标准的实施建议

本标准由各级人民政府环境保护行政主管部门负责监督实施。