

环境保护标准制(修)订项目

有色金属工业污染物排放系列标准

铝工业污染物排放标准

编制说明

(征求意见稿)

《铝工业污染物排放标准》编制组

《铝工业污染物排放标准》编制说明

1 铝工业生产和环境污染现状

1.1 铝工业生产规模和布局

铝工业是国民经济发展的重要基础原料产业，同时也是高耗能产业。经过几十年的发展，我国已成为世界铝生产、消费大国。但我国铝工业配置资源、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。

国外 90%以上的氧化铝生产采用能耗低、污染小的拜耳法工艺生产。因为矿石类型和品位的原因，我国普遍采用烧结法和联合法生产工艺。近几年，我国氧化铝企业经技术改造，国际先进技术和设备在各氧化铝厂普遍采用：如间接加热管道化溶出、多效降膜蒸发、流态化焙烧、赤泥干法输送及堆存等等，总体上说，我国氧化铝厂技术装备水平已经接近世界先进水平。

我国及世界的电解槽型和铝厂生产规模正向大型化发展。国际最大槽容量已达 500kA 以上，主流槽型在 300kA 左右。八十年代中期，我国最大槽容量为 160kA，目前 350kA 电解槽已投入生产。智能控制、模糊控制、自动加料控制、超浓相输送、烟气干法净化技术等采用，已使我国跻身于世界电解铝工业先进行列。

1.1.1 世界氧化铝和电解铝生产简介

(1) 世界氧化铝生产状况

目前世界氧化铝生产主要集中在澳大利亚、美国、中国、巴西、加拿大和俄罗斯等国家。其中澳大利亚依靠其得天独厚的铝土矿资源优势，是世界上最大的氧化铝生产国。世界上几乎所有跨国铝业公司均将其视为理想的氧化铝供应基地。2006 年澳大利亚氧化铝产量为 16650kt/a，位居世界第一；中国氧化铝产量为 13670kt/a，列第二位。世界氧化铝产量及市场需求见图 1。

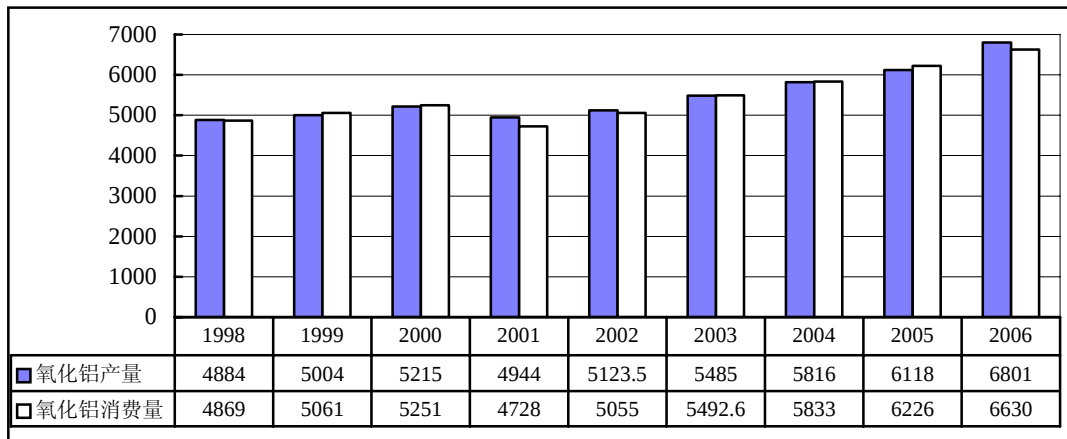


图1 世界氧化铝产量及消费量状况(万吨)

(2) 世界电解铝生产状况

目前世界金属铝主要采用预焙阳极电解槽生产，自焙槽产量不足 10%。2003 年前，世界电解铝产量发展速度较为平稳，近 3~4 年发展速度加快。如 1998 年至 2003 年，全球电解铝产量由 22645kt/a 提高到 27950kt/a，增长率不足 4.3%；2003 年至 2006 年，电解铝产量由 27950kt/a 提高到 33970kt/a，增长率超过 6.7%。世界原铝生产情况见图 2。由于能源紧张，电解铝主要向发展中国家和资源丰富国家发展，发达国家已很少再建设电解铝厂，美国部分电解铝厂已停产。

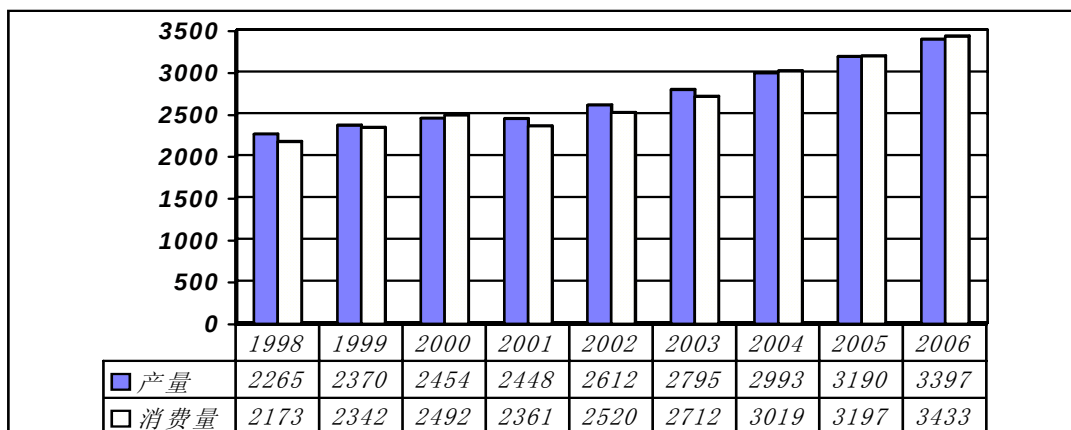


图2 世界原铝产量及消费量(单位: 万吨)

1.1.2 我国铝行业生产规模和布局

(1) 我国氧化铝生产状况

我国已成为世界氧化铝生产大国，仅次于澳大利亚，居世界第二位。2003 年前全国规模以上氧化铝厂仅 6 家(其中 80 万吨以上企业 4 家，60~80 万吨的企业 2 家)，全年氧化铝产量 602.71 万吨。全国冶金级氧化铝产量为 561.2 万吨，全部由中铝公司 6 个分公司生产。按原铝产量估算，需消耗冶金级氧化铝 1078

万吨，预计进口量约 555 万吨。

近年来，由于氧化铝价格居高不下，我国氧化铝厂的建设进入白热化，与前 5 年相对平稳的增长相比，2006 年氧化铝生产规模和产量均迅猛增长，由 2005 年的 860 万吨猛增至 1370 万吨，增长高达 59.3%，氧化铝生产企业达 18 家，生产能力达 1855 万吨左右。氧化铝生产能力已远远超过《关于加快铝工业结构调整指导意见的通知》（发改运行[2006]589 号）“2010 年国内氧化铝总产能达到 1400 万吨”的铝工业结构调整目标，但由于我国电解铝产能过大，每年仍有大量氧化铝依靠进口。目前在建、拟建的氧化铝厂仍较多，预计到 2010 年，我国氧化铝产量将有更大增长。

我国氧化铝生产企业的地域分布较为集中。2006 年我国氧化铝企业主要分布于山东、河南、山西、贵州、广西和重庆 6 个省市，近年四川、云南等省正在建设或拟建氧化铝厂，但均尚未投入生产。近年我国氧化铝产量见图 3，2006 年氧化铝生产的地域分布见表 1。

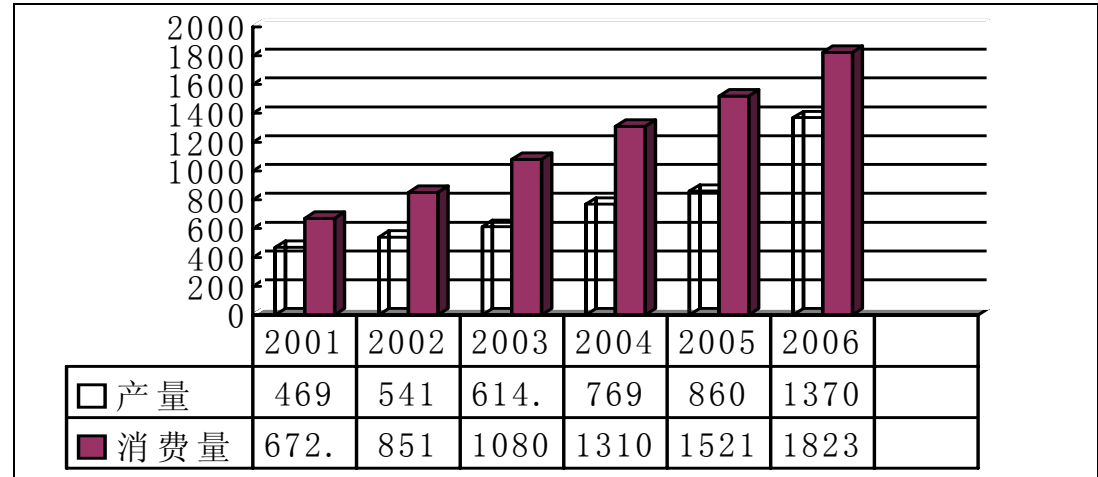


图 3 我国氧化铝产量及消费量状况(万吨)

表 1 2006 年我国氧化铝生产能力、产量分布 单位：万 t

序号	地区	生产能力	产量
1	山东	760	367.36
2	河南	540	519.76
3	山西	315	254.8
4	贵州	120	110.52
5	广西	90	94.29
6	重庆	30	23.26
总 计		1855	1730

数据来源：《国铝业，2007 年第 1 期》

由于中国在近十年氧化铝工业的快速发展中, 不断了解、认识、引进、实践国际先进的技术装备, 使氧化铝生产的技术装备水平有长足发展, 近年建设的拜耳法氧化铝厂 (尤其是中国铝业公司下属氧化铝厂生产线) 的技术装备水平已达国际领先水平, 如铝土矿溶出采用双流法、管道化溶出; 赤泥分离洗涤采用高效沉降技术; 氢氧化铝焙烧采用流态化焙烧技术等等。高技术装备的采用使其生产技术指标已达到发达国家氧化铝厂如美铝 (ALCOA) 和加铝 (ALCAN) 的水平。表 2 是我国中铝公司近年新建部分拜耳法生产线与 ALCOA 和 ALCAN 指标的比较。

表 2 拜耳法生产线部分指标比较表

序号	指标名称	单位	主要指标		
			ALCOA	ALCAN	中铝公司
1	铝土矿溶出汽耗	GJ/m ³ -矿浆	0.4~0.5	0.4~0.45	0.4~0.6
2	赤泥分离洗涤底流 L/S			1.0~1.2	1.0~1.2
3	种子分解氧化铝产品-45 μ 磨损指数	%	≤10	≤12	~20
		%	≤8	≤12	~20
4	母液蒸发汽耗	t/t-蒸水	0.25~0.3	0.27~0.32	0.27~0.32
5	氢氧化铝焙烧油耗	Kg/t-Al ₂ O ₃	74~78	74~78	~

虽然随着先进技术装备的引进和新技术的开发, 2000 年以来我国氧化铝生产能耗较八十年代和九十年代有明显下降, 但由于铝土矿的铝硅比低而造成生产工艺复杂等原因, 单位产品能耗一般在 500t-标煤/t-Al₂O₃ 以上, 仍高于 400t-标煤/t-Al₂O₃ 左右的国际先进水平。

(2) 我国电解铝生产状况

200 年后, 我国已成为世界最大电解铝生产国。从 2004 年起, 我国电解铝已占到世界电解铝总产量的百分之二十以上 (其中 2004 年占 22.29%, 2005 年占 24.47%, 2006 年占 27.52%), 目前世界上四分之一以上的电解铝在中国生产。1998 年至 2006 年我国原铝产量及市场需求见图 4。

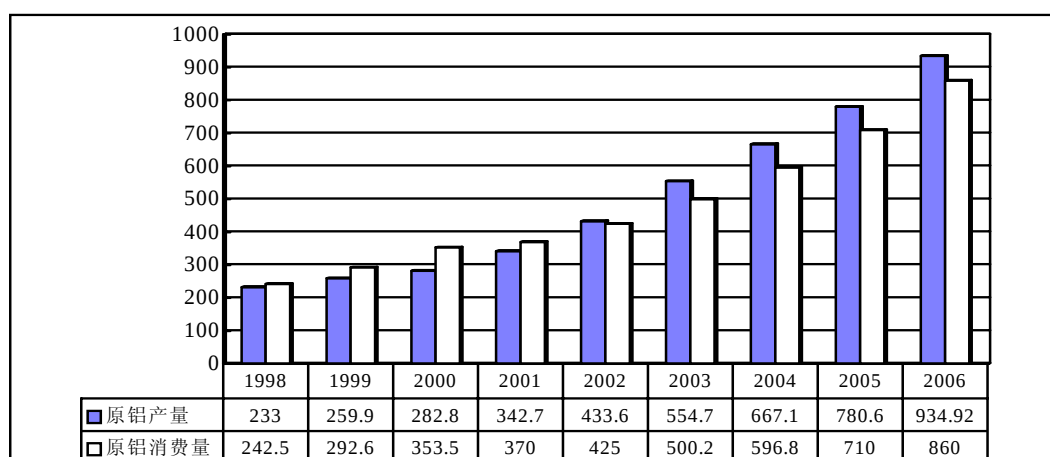


图4 我国原铝产量与消费量（单位：万吨）

2002 年前，生产集中度低是我国电解铝行业的一大突出特点，小铝厂遍地开花造成环境管理的困难。2002 年我国电解铝厂超过 133 家，平均产量不足 3.3 万吨(产能 4.1 万吨)。2003 年电解铝投资进入白热化发展阶段，截止年底，已建成电解铝厂 140 余家，总生产能力 833 万吨，超过市场需求。虽有大型电解铝项目陆续投产，但仍有较多能耗高、污染严重的自焙阳极电解槽小铝厂存在，企业平均产能只达到 5.7 万吨，远低于国外电解铝厂 19.25 万吨的平均规模。

2004 年后，由于氧化铝价格、电价增高及国家淘汰自焙槽和宏观调控、清洁生产的要求，目前自焙电解槽系列已全部停产，电解铝厂建设朝大槽型、大规模迅速发展。由于部分小电解铝厂关停，2005 年电解铝厂降为 98 家，我国电解铝行业的集中度有所提高，平均规模超过 10 万吨。2006 年，电解铝行业集中度进一步提高，全国 89 家电解铝厂平均规模达到 13.6 万吨，平均产量为 105047 万吨. 其中产量超过 20 万吨的企业有 14 个，产量占到 47%。

我国电解铝厂在全国范围内分布较广，2006 年共分布于 21 个省、市、区，产量在 40 万吨以上的有 10 个省、区，占全国总产量的 85.9%，我国电解铝主要分布情况见表 3。

表 3 2006 年我国电解铝生产能力、产量主要分布 单位：万 t

序号	地区	生产能力	产量
1	河南	263.3	210.72
2	山东	164.2	101.57
3	青海	96.7	81.07
4	山西	106.3	76.01
5	内蒙	99	67.91

6	甘肃	68.4	63.73
7	贵州	70.5	57.54
8	宁夏	58	55.66
9	云南	59.8	47.05
10	四川	41.4	41.72
	其它 12 省市区	1027.6	132
总 计		1200	935

数据来源：《中国铝业，2007 年第 3 期》

电解铝是高能耗行业。“十五”期间，由于我国电解铝工业技术进步加快以及加强了对节能降耗的重视，电解铝单位产品电耗大幅度下降，2000 年至 2004 年，铝锭生产直流电耗由 14214 kWh/t-Al 降至 13672kWh/t-Al，综合交流电耗由 15480 kWh/t-Al 降至 14683 kWh/t-Al。尤其是 2004 年淘汰自焙槽以来，200kA 以上预焙槽成为我国电解铝工业的主导槽型，而且 350kA 以上预焙槽实现规模化生产，我国电解铝总体技术达到国际先进水平，大型电解铝预焙槽技术已进入世界先进行列。槽技术的提高，有效降低了原铝直流电耗。2006 年已有 10 家企业原铝直流电耗低于 13500kWh/t-Al，其中云南铝业等 5 家企业原铝直流电耗低于 13200kWh/t-Al，达到世界先进水平。

但由于生产工艺的高耗电性和电解铝生产的过快增长，2005 年我国电解铝总耗电量高达 1137.7 亿 kWh，占整个有色金属电力总耗量的 80%（有色金属总电耗约 1419 亿 kWh），占全国总耗电量的 4.59%。

1.2 铝工业生产工艺

金属铝生产原料主要是铝土矿。金属铝生产分为两大步骤：一是以铝土矿为原料生产氧化铝，二是将氧化铝进行熔盐电解生产金属铝。

1.2.1 采矿及选矿工艺

我国铝土矿开采以露天开采为主。通常铝土矿山选矿厂是将铝土矿进行破碎、筛分至氧化铝工艺所需的粒度。但红土型铝土矿含泥多、品位低，需经洗矿提高品位再送往氧化铝厂。图 5、图 6 分别为我国典型的一水硬铝石铝土矿的选矿工艺和红土型铝土矿洗选矿工艺流程的图例。

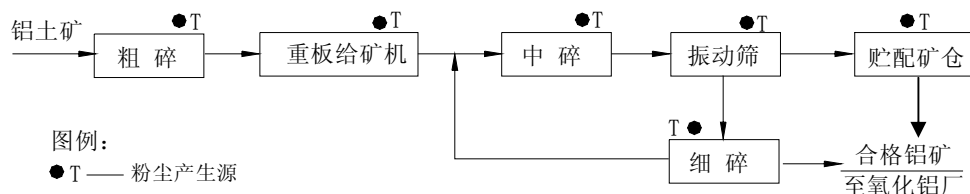


图5 选矿工艺流程及排污节点图

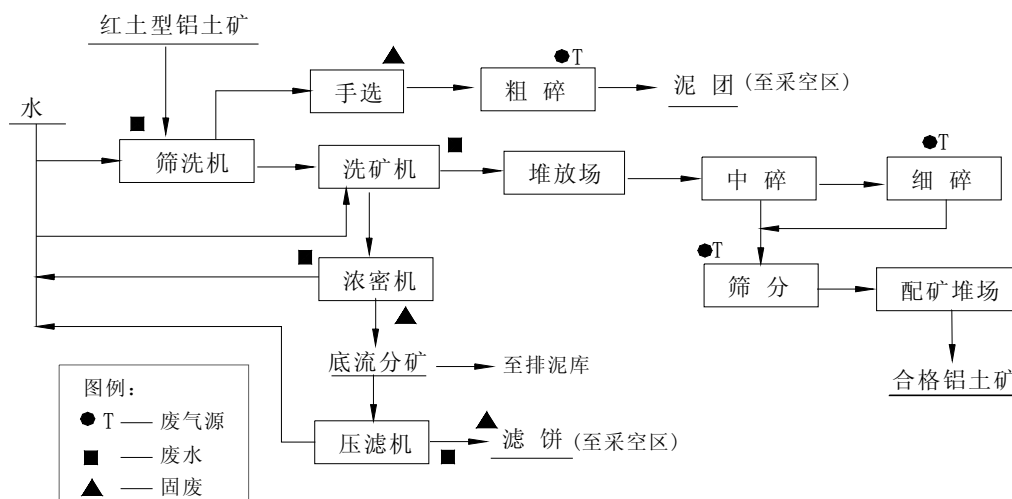


图6 铝土矿洗选矿工艺流程及排污节点图

1.2.2 氧化铝生产工艺

从矿石提取氧化铝的生产方法多样，目前在工业上采用的是碱法，主要原料是铝土矿、碱和石灰石，生产方法有拜耳法、烧结法和联合法。氧化铝生产需消耗大量蒸汽，因此我国氧化铝厂均建有自备热电厂。

各种生产工艺中，拜耳法工艺最简单，没有熟料烧成工序，因此能耗低，大气污染物排放量小，是氧化铝生产的最佳工艺。国际上 90% 以上的氧化铝是采用拜耳法生产的，能耗一般在 11~15 GJ/t-Al₂O₃，最低的甚至不到 10 GJ/t-Al₂O₃。但该生产方法只适用于处理铝硅比(A/S)8.0 以上的铝矿。我国铝矿石(A/S)相对较低，而且以一水硬铝石为主，80%以上铝土矿的 A/S 为 4~8。受矿石品种和技术水平的限制，我国六大氧化铝厂仅有一家(红土型铝土矿)采用纯拜耳法工艺，其余铝厂采用联合法、烧结法工艺(近年增加了选矿拜耳法、石灰拜耳法等)。

自 2000 年来，我国对氧化铝生产工艺进行了多项改革，针对一水硬铝石矿的性质，试验成功了选矿拜耳法和石灰拜耳法工艺，并已投入大型氧化铝生产项目的建设，将有效降低能耗和减少污染。因此我国氧化铝生产采用的生产方法有拜耳法、联合法、烧结法、石灰拜耳法和选矿拜耳法。

a. 拜耳法工艺

铝矿石按比例与蒸发母液及液碱和石灰等，同时送入矿浆磨中，磨制成原矿浆。原矿浆经预脱硅后送至溶出工序，矿石中的氧化铝与碱作用生成铝酸钠转入溶液。溶出后产生的赤泥(残渣)中含矿石中不溶杂质和反应生成的沉淀物。铝酸钠溶液经稀释和赤泥分离后，送叶滤机进一步除去溶液中的残留固体物，所得精液中加入氢氧化铝晶种进行搅拌分解，溶液中的氧化铝呈氢氧化铝结晶析出，溶液与固体分离后，细粒返回作晶种，粗粒经热水多次洗涤去掉附着碱，然后送氢氧化铝焙烧炉在高温下烧去附着水及结晶水，得成品氧化铝。与氢氧化铝分离的种分母液用蒸汽蒸发浓缩后返回工艺处理下一批矿石。分离的赤泥经洗涤回收附碱后，送赤泥堆场集中堆放。拜耳法工艺流程见图 7。

b. 碱石灰烧结法

铝土矿与石灰、碱粉、无烟煤以及生产返回的硅渣浆及炭分蒸发母液按比例磨制成生料浆。生料浆送烧成窑烧成熟料。熟料破碎后与后面工序返回的调整液按比例加入溶出磨进行磨细、溶出。溶出料浆经沉降进行赤泥分离，赤泥经洗涤后送往赤泥堆场堆存。分离溢流加温、加压处理进行脱硅和钠硅渣分离，钠硅渣

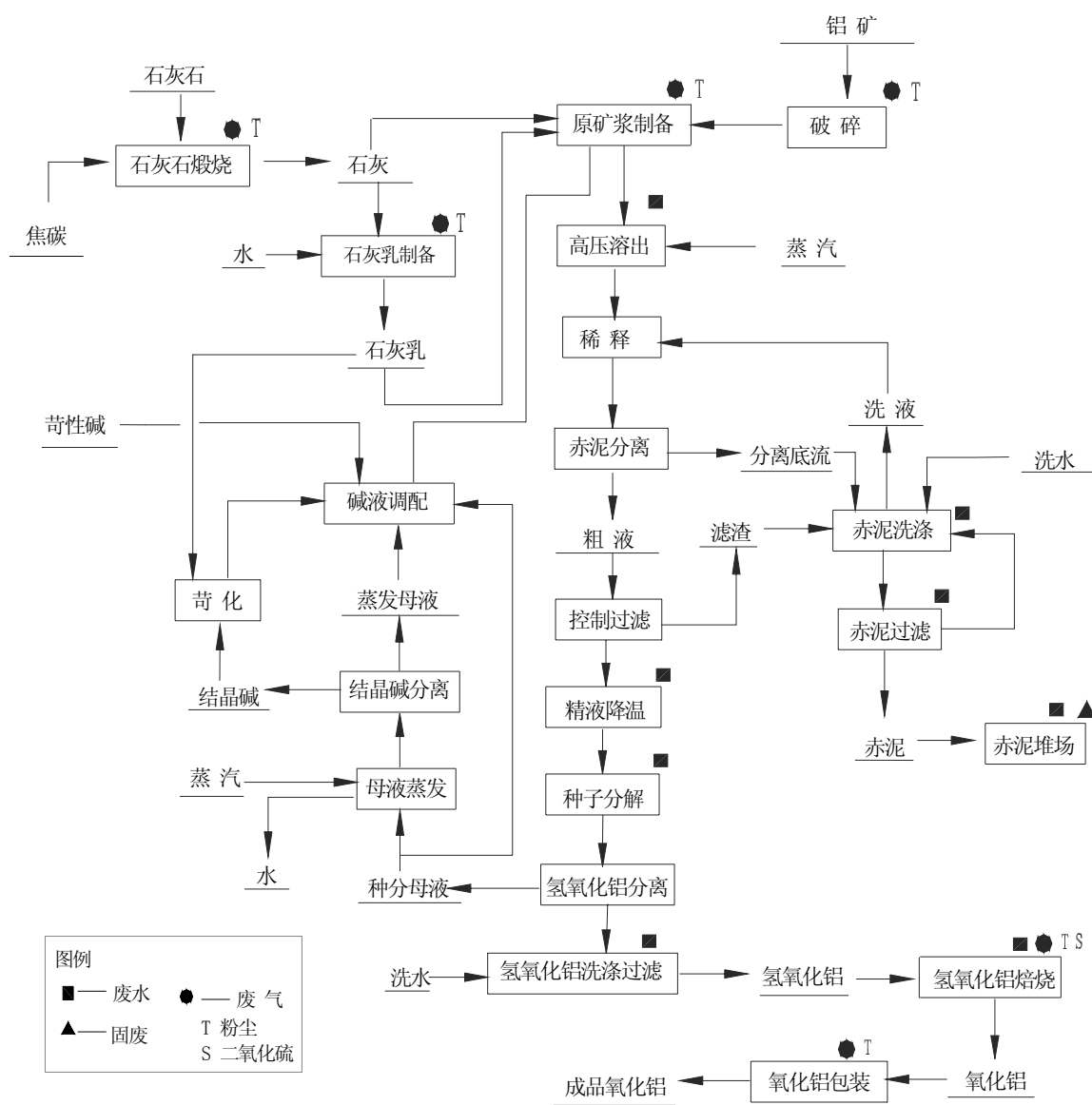


图 7 拜耳法生产工艺流程及排污节点图

及附液返回矿浆磨配料。分离溢液一部分经叶滤后送去种分槽进行种子分解，析出氢氧化铝结晶经过热水洗涤、过滤后送去焙烧系统，用焙烧得合格的氧化铝，种分母液送溶出系统作调整液。另外一部分加石灰乳深度脱硅，分离出的钙硅渣及附液返回矿浆磨制系统配料，二次精液通入二氧化碳气进行碳酸化分解。分解浆液分离后，氢氧化铝送去洗涤。碳分母液分别送去母液蒸发和溶出系统作调整液，经蒸发的碳分蒸发母液送去矿浆磨制系统配料。

由于烧结法工艺增加熟料烧成、脱硅等工序，因此能耗和大气污染物排放量均较拜耳法高 1 倍以上。烧结法工艺流程见图 8。

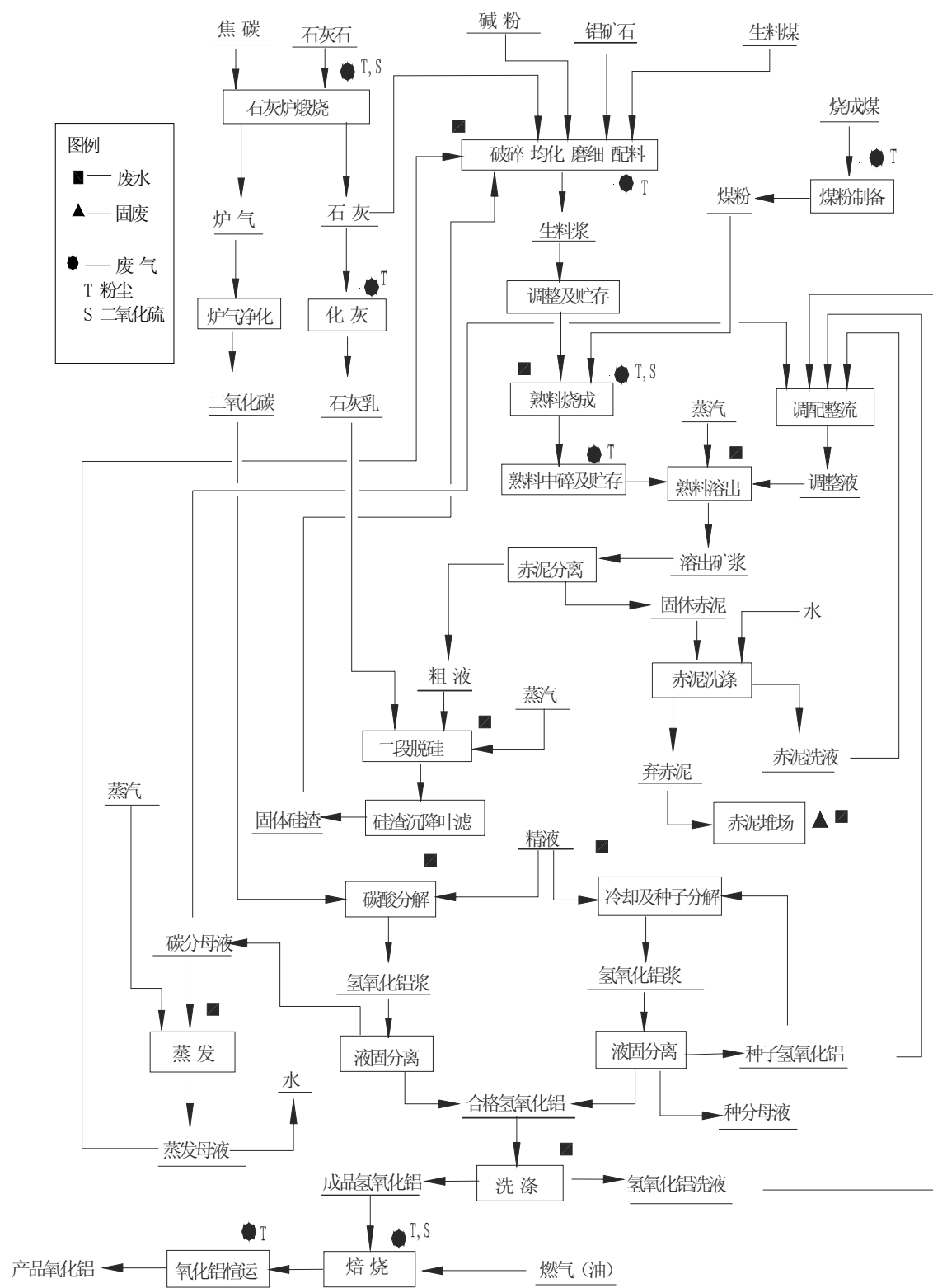


图 8 烧结法生产工艺流程及排污节点图

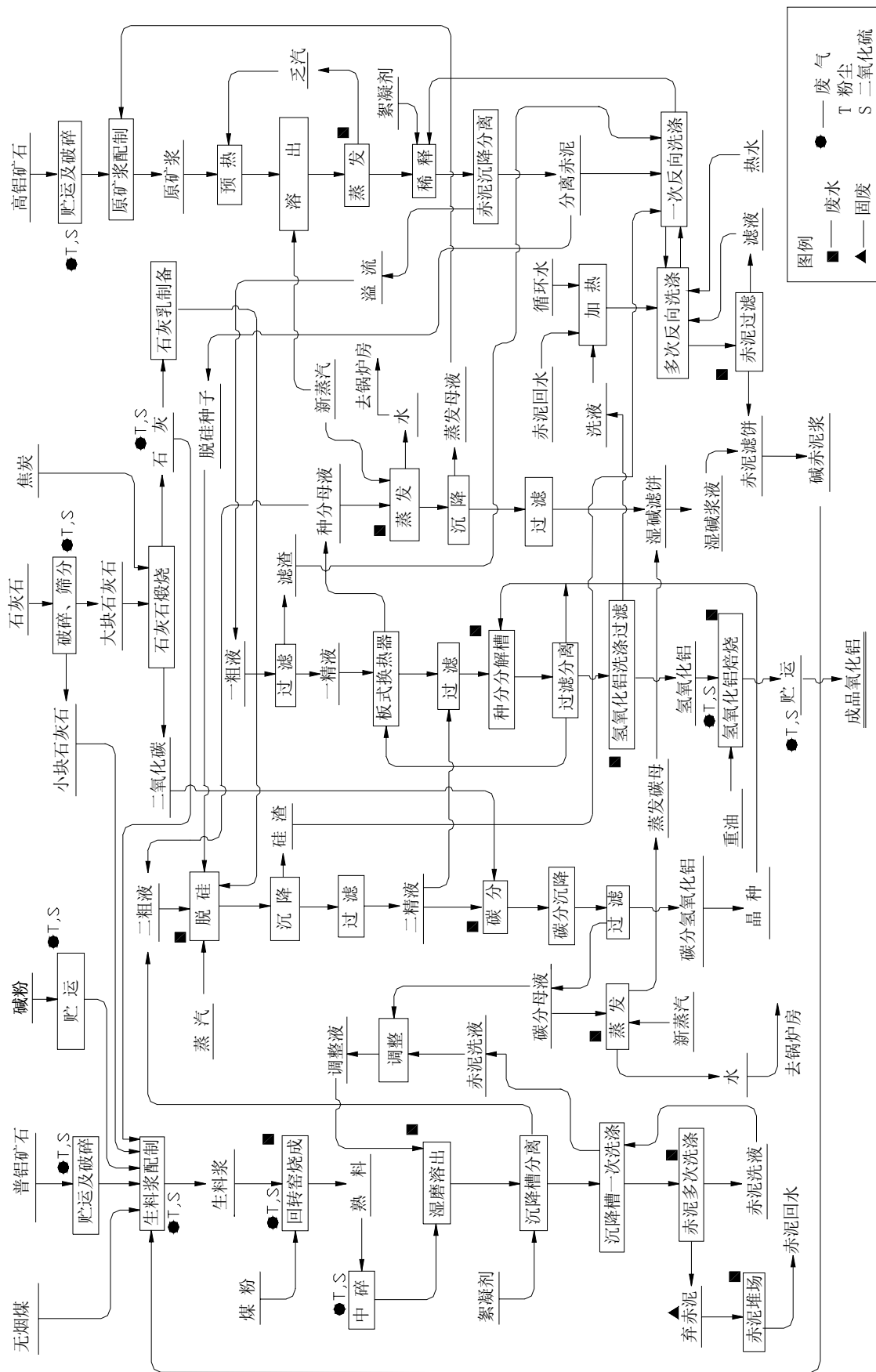


图 9 联合法（混-联）氧化铝生产工艺流程图

c. 联合法

联合法又分串联法、并联法和混联法, 联合法由拜耳法和烧结法两部分组成。

串联法工艺中, 烧结法系统不使用原矿, 而是利用拜耳法产生的固体废物——赤泥作生产原料, 提高氧化铝回收率。

并联法可处理高、低两种不同 A/S 的矿石, 其拜耳系统和烧结系统各自处理矿石原料, 在种分工序后合成同一生产线。

混联法的烧结系统既处理拜耳系统的赤泥, 又新加入铝土矿, 加入量据熟料配方中的铝硅比要求确定。因此, 混联法组织生产灵活, 氧化铝回收率较高, 其能耗和大气污染物排放量较烧结法低, 是我国氧化铝厂采用较多的工艺方法。联合法工艺流程见图 9。

1.2.3 电解铝生产工艺

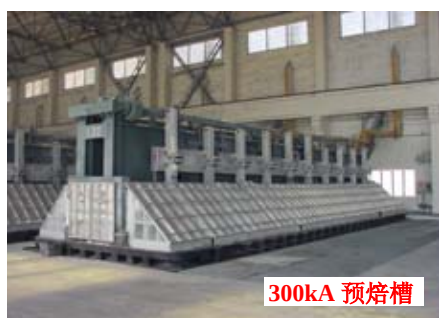
(1) 铝电解生产工艺

金属铝生产采用的冰晶石—氧化铝熔盐电解法, 是目前工业生产金属铝的惟一方法。金属铝主要生产原料是氧化铝、氟化盐(冰晶石、氟化铝等)、炭素阳极。

电解槽导入强大直流电, 氧化铝、氟化盐在 950℃左右高温条件下熔融(电解质), 电解质在电解槽内经过复杂的电化学反应, 氧化铝被分解, 在槽底阴极析出液态金属铝, 定期用真空抬包抽出运至铸造部经混合炉除渣后由连续铸造机浇铸成铝锭, 冷却、打捆后即为成品。

电解过程中, 炭素阳极与氧反应生成 CO_2 和 CO 而不断消耗, 通过定期更换阳极块进行补充。电解槽散发的烟气中含有大量氟化物、粉尘、沥青烟(自焙槽)及 SO_2 等大气污染物, 是铝厂最主要的大气污染源。电解铝生产工艺流程见图 10。

电解铝生产工艺的差别主要体现在电解槽上。电解槽总体上分为自焙槽(侧插自焙槽和上插自焙槽)和预焙槽(中心加料、边部加料)。预焙槽具节能、低耗、少污染的优势, 是取代自焙槽的技术。点式中心加料大型预焙槽以节能、少污染的特点, 成为国内外新建电解铝厂采用的槽型。而自焙槽因环境污染严重、生产技术落后, 为我国已淘汰的技术装备。



技术落后, 为我国已淘汰的技术装备。

电解厂多为 100 台槽以上的大系列生产, 槽烟气经罩板集气处理后排放, 少量逸出经车间天窗排出, 形成无组织排放源。

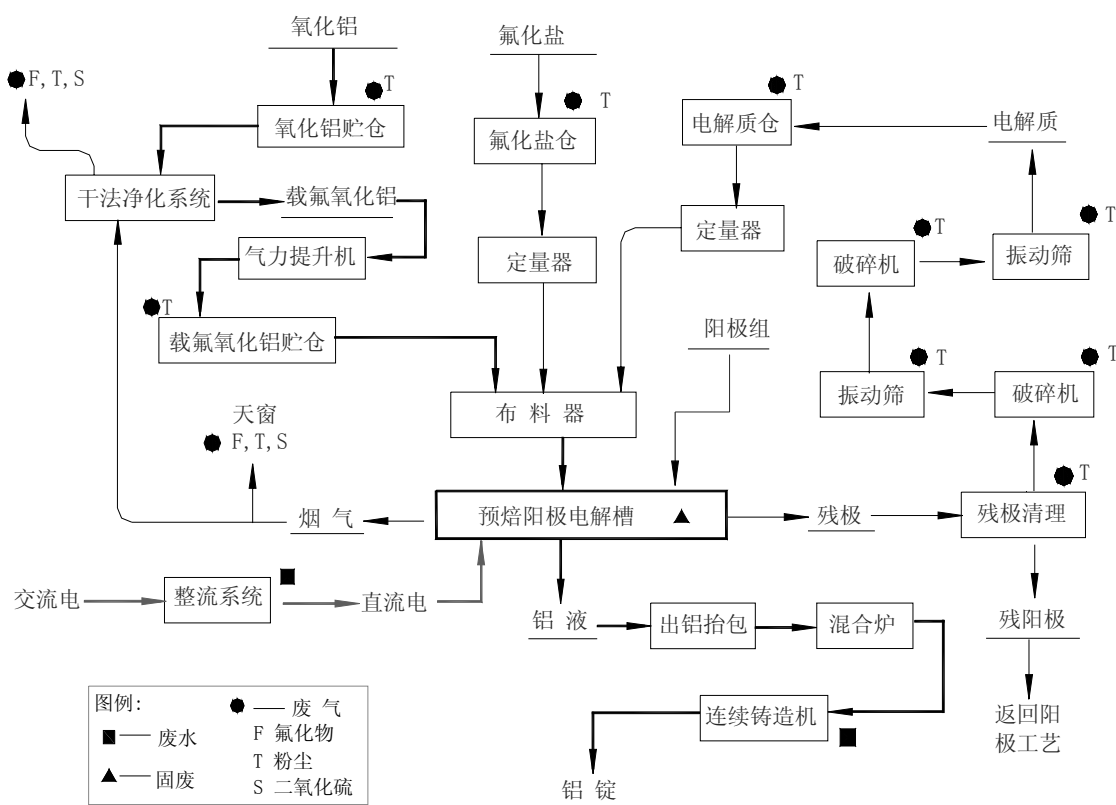


图 10 电解铝生产工艺流程及排污节点图

1.2.4 铝用炭素生产工艺

铝用炭素包括阳极和阴极。目前我国阳极毛耗约 560kg/t-Al, 阴极仅 10~15kg/t-Al 左右。因此具有一定规模的电解铝厂基本上配套阳极生产系统, 而有阴极生产的铝厂较少(产品为半石墨质阴极)。

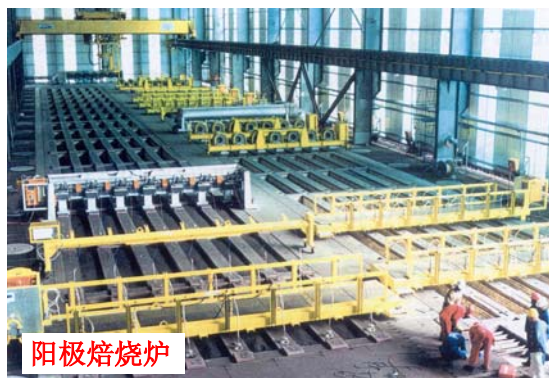
铝用阳极生产原料为石油焦和煤沥青, 生产工序包括: 原料贮运破碎、煅烧、沥青熔化、生阳极制造、焙烧及炭块贮存和残极处理等。

石油焦经破碎后输送至回转窑(或罐式炉)煅烧。煅后焦经计量后由输送设施送至生阳极车间贮槽。

固体沥青经破碎和沥青熔化装置熔化后, 泵至沥青贮槽贮存待用。

煅后焦进行粒度分级、破碎、筛分和部分料磨粉, 处理后的残极碎料也经分级、破碎后进入不同配料仓。

不同粒度的物料经配料、预热并加入液体沥青搅拌捏合的糊料冷却后, 经振动成型得生阳极块, 合格生阳极块送



敞开式环式焙烧炉进行焙烧(炭块的装出炉作业用焙烧多功能天车完成),得阳极成品——预焙阳极块。焙烧炉烟气中含有沥青烟、炭尘、氟化物和 SO₂ 等大气污染物,是阳极系统的主要大气污染源,设烟气净化系统治理。阳极组装机残极压脱机落下的残极,经破碎后送入残极料仓。从残极压碎机运来的大块残极与焙烧废品、阳极组装机废品以及成型废品等分别破碎后,供下道工序使用。阳极生产工艺见图 11。

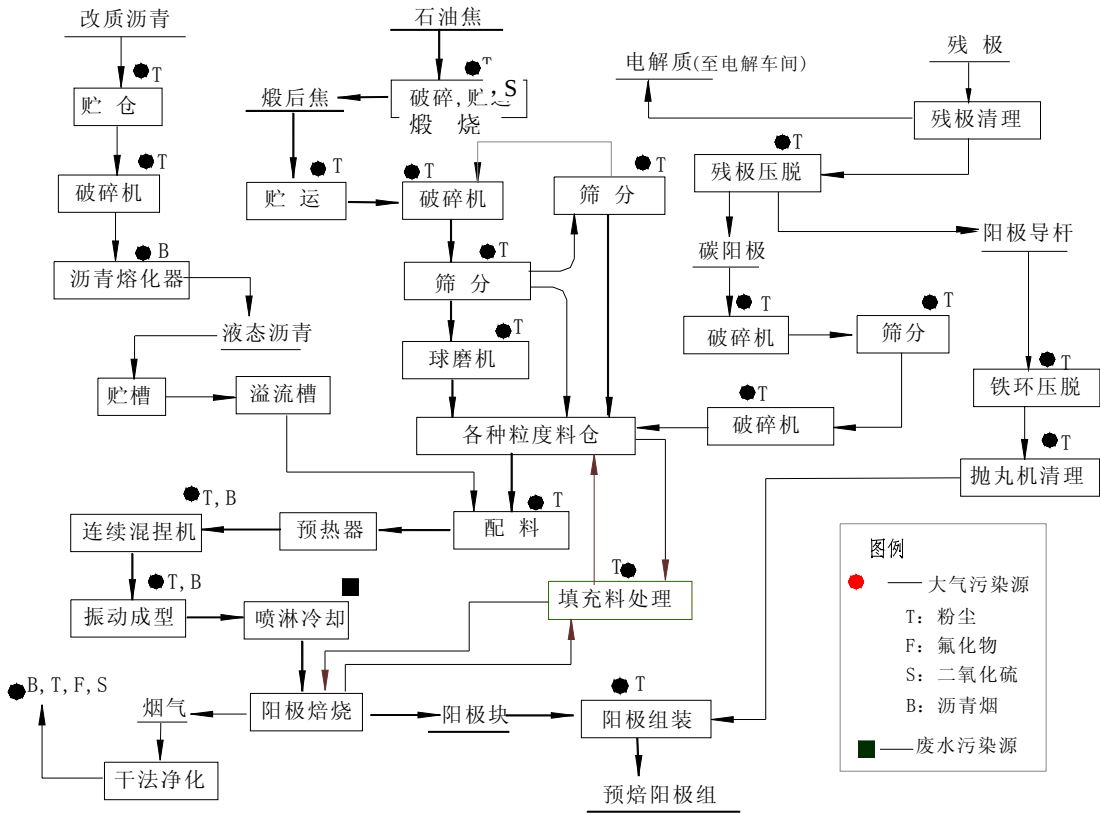


图 11 阳极生产工艺流程及排污节点图

1.3 我国铝工业污染控制状况

1.3.1 大气污染物排放现状

(1) 矿山

目前氧化铝厂利用民采铝土矿较多,但我国大型氧化铝厂大多自备矿山。氧化铝厂自备矿山的选矿厂粉尘点基本上均配备了相应的除尘措施。如中铝山西分公司近年投入约千万元对选矿厂除尘系统进行集中除尘的环保改造工程等。

选矿厂收尘多采用布袋除尘器除尘,排尘浓度达标率约 90%。

(2) 氧化铝厂

铝工业污染以大气污染为主。氧化铝产生的主要污染物是颗粒物和 SO_2 。

烧结法和联合法工艺的主要大气污染源是熟料烧成窑, 其次是氢氧化铝焙烧炉, 拜耳法工艺没有熟料烧成窑, 氢氧化铝焙烧炉是主要污染源。

熟料烧成窑和氢氧化铝焙烧炉烟气均是采用旋风除尘器回收物料后, 再经电除尘器除尘. 氢氧化铝焙烧炉烟气净化工艺流程见图 12。

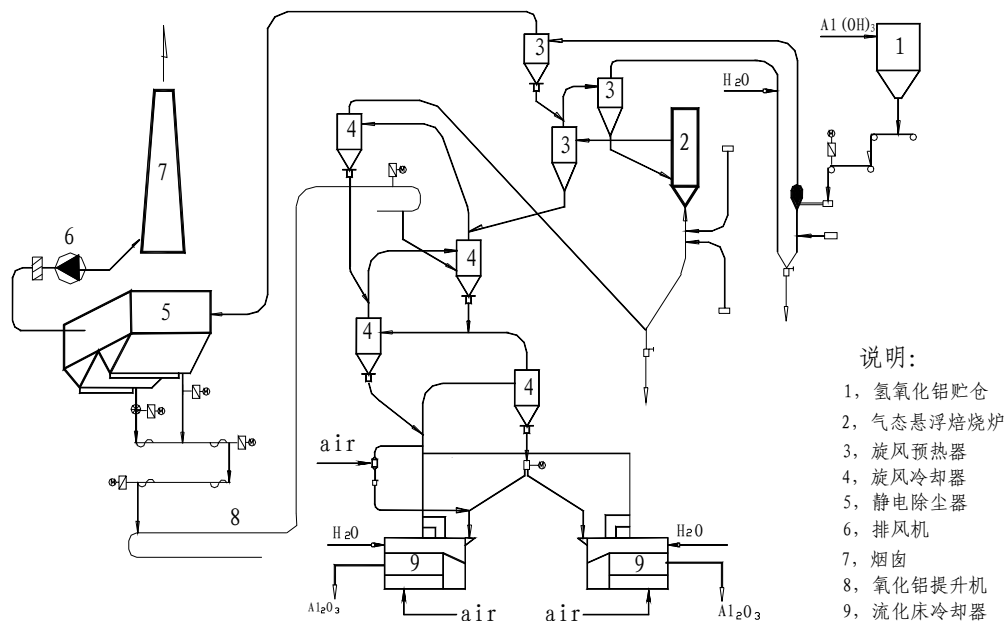
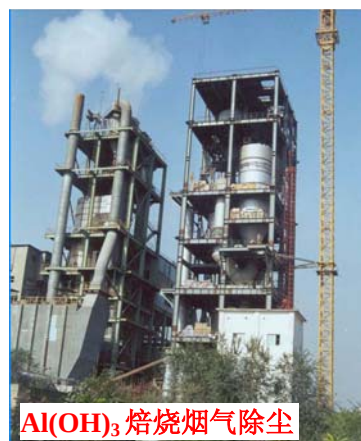


图 12 氢氧化铝焙烧炉烟气净化工艺流程

随着生产技术改进和达标排放、总量控制的加强, 近年氧化铝单位产品排污状况有了明显改善。据 2003 年调查资料, 熟料烧成窑排尘浓度基本控制在 $100\sim 604\text{mg}/\text{m}^3$ (标准状态, 下同), 90%的熟料烧成窑达标 (GB9078-1996) 排放; 氢氧化铝焙烧炉排尘浓度控制在 $40\sim 231.6\text{mg}/\text{m}^3$, 100%达标排放。

原料堆场扬尘, 原料破碎、筛分, 熟料中碎, 石灰烧制, 物料和氧化铝贮运等产生粉尘(烟尘)的节点较多且分散(尤其是烧结法和联合法氧化铝厂), 是造成环境污染的重要原因之一, 因此加强通风除尘是应引起氧化铝厂重视的问题。目前我国氧化铝厂除原料堆场、物料输送扬尘控制仍存在较严重的无组织排放问题外, 其它各设备产尘点基本得到控制, 尤其是九十年代较为棘手的熟料中碎除尘和石灰炉除尘问题, 均已得到完善解决。



(3) 电解铝厂

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 20～40kg/t-Al，粉尘量也较大，大气污染负荷占整个电解铝生产系统的 99%以上。我国预焙槽烟气均采用干法技术治理，该方法利用氧化铝对氟化氢的吸附性能，在烟道中加入氧化铝吸附氟化氢，再通过布袋除尘器实现气固分离，达到烟气净化，同时去除氟化氢和粉尘的目的，烟气处理工艺流程见图 13。

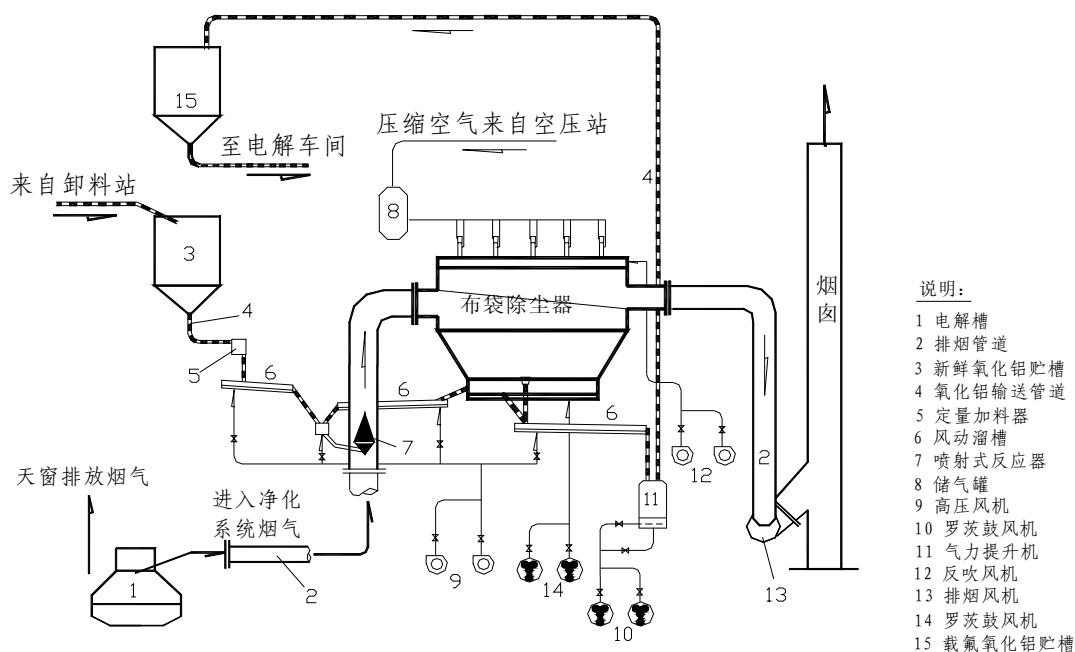


图 13 电解槽烟气净化工艺流程

大型电解槽烟气净化系统基本上能保持正常、高效运行，氟化物净化效率大于 98% (甚至超过 99%)，净化后氟排放浓度一般 $< 3 \sim 6 \text{mg/m}^3$ ，粉尘 $< 30 \text{mg/m}^3$ (甚至 $< 10 \text{mg/m}^3$)。由于自焙槽存在工艺落后，集气效率低，烟气中含沥

青烟而治理困难等诸多缺点，我国绝大部分自焙槽铝厂烟气均未得到有效治理，污染物大部分排入环境，厂区周围环境空气污染严重，氟化物、粉尘、BaP 浓度均超过环境标准。全国只有少数几个自焙槽铝厂采用干法或湿法进行烟气净化，但与预焙槽烟气治理相比，净化效率较低、排污量大。



(4) 铝用炭素厂

阳极焙烧炉的大气污染负荷占阳极生产系统的 2/3 以上，目前我国阳极焙烧炉烟气治理主要有电除尘器捕集法(电捕法)、氧化铝吸附布袋除尘法(干法)和碱液吸收湿式净化法(湿法)。

干法净化可同时除去烟气中的氟化物、粉尘和沥青烟，是欧、美等国的推荐最佳实用技术，发达国家多采用该方法，该方法工艺及原理与电解槽烟气净化系统相似，但由于焙烧炉烟气温度高，为使沥青烟气冷凝，进入布袋除尘器前烟气需降温到 90℃左右，干法净化的投资基本与电捕法相当，但运行费较高且运行管



理复杂，因此我国阳极厂焙烧炉烟气多采用电除尘器治理，而干法或湿法采用较少。电捕法不能净化氟化物，造成氟化物超标排放，因而许多厂不监测焙烧炉烟气中的氟化物，这也是我们收集此类数据较少的主要原因。

(5) 我国铝工业大气污染物排放状况

近年我国铝工业大气污染物排放状况见表 4。

表 4 大气污染物产生及排放状况

项目	污染物名称	单位	氟化物(F 计)	沥青烟	颗粒物	SO ₂
氧化铝厂	熟料烧成窑	kg/t-Al ₂ O ₃			1.6~2.0	0.55
	氢氧化铝焙烧炉	kg/t-Al ₂ O ₃			0.15~0.43	0.77~2.6
	原料制备及贮运	kg/t-Al ₂ O ₃			0.13~1.2	
电解铝厂	预焙槽	kg/t-Al	0.6~1.6		1.2~3.0	3.5~15
	自焙槽	kg/t-Al	2~4* 16~18**	3~12* 18~40**	2.5~11* 18~25**	4.0~15
铝用炭素厂	阳极焙烧炉	kg/t-C	0.083	0.17~1.0	0.22~0.67	1.67
	煅烧炉(窑)	kg/t-C			0.5~0.9	2.33
	物料制备系统	kg/t-C	0.02	0.083	1.67~2.5	

注：“*”为设净化时排放量，“**”为不设净化时的排放量

1.3.2 废水排放现状



氧化铝厂生产中物流呈碱液。九十年代中期以前,氧化铝厂排放废水 pH 超标现象严重且单位产品排水量大($5\sim 21\text{ m}^3/\text{t-Al}_2\text{O}_3$),对地表水体的污染明显(如中铝河南分公司对唐岗水库和山西分公司对黄河的污染)。近年通过加强碱耗控制和采取

碱水回用等措施,我国氧化铝厂均配有集中污水处理厂,生产废水经处理后回用,排放得到有效控制。近年来,除一厂排水量较高($7.96\text{ m}^3/\text{t-Al}_2\text{O}_3$)外,正常生产时,各厂排水量可降到 $2\text{ m}^3/\text{t-Al}_2\text{O}_3$ 以下。曾是氧化铝厂主要污染因素的碱水基本实现零排放,各厂废水 pH 达标排放,但有的厂尚存在 SS 超标现象。

电解铝生产中不能有水进入物料流程,生产用水主要是各种设备冷却水,大多可循环利用。

铝用炭素厂若设有煤气站(尤其是冷煤气),其排水一般设有独立处理系统。因此排水能满足排放标准。

近年我国铝工业废水排放量及主要污染物见表 5。

1.4 国外铝工业污染控制思路

1.4.1 大气污染物控制及排放标准

国外氧化铝厂基本上采用拜耳法工艺,大气污染物产生量较少。主要污染源

表 5 近年我国氧化铝厂排污指标

生产厂		生产废水排放量		污染因子
		单位	数量	
氧化铝厂	混联联合法	$\text{m}^3/\text{t-Al}_2\text{O}_3$	1.1~7.96	pH、SS、石油类、挥发酚、COD
	烧结法		0~1	
	拜耳法		0	
电解铝厂+铝用炭素阳极厂		$\text{m}^3/\text{t-Al}$	5~20	SS、挥发酚、氟化物、石油类、COD

是氢氧化铝焙烧炉，其烟气采用多级旋风+电除尘器除尘。各产尘点主要进行除尘系统排放口粉尘浓度控制。

预焙阳极电解槽烟气全部采用氧化铝吸附干法净化技术处理，阳极焙烧炉烟气也以该处理技术为主。国外专门针对电解铝厂制定的污染物排放指标主要是氟，其次是粉尘，西班牙等国还提出对 SO_2 排放指标的要求。对电解铝厂大气污染物排放主要有吨铝排氟指标控制和排放浓度控制两种方式。

美国联邦注册（FR V62 No. 194）1997 年 10 月 7 日颁布了电解铝污染物国家排放标准，该标准除了对污染物排放做了定量的限制，还规定了为减少污染物的排放应该采取措施的定性限制；规定的污染物项目有氟化氢（以总氟计）和多环有机物（POM）。见表 6 和表 7。

表 6 美国铝厂现有源排放限值

单元		总氟化物*	多环有机物（POM）
电解槽列	CWPB1	0.95 kg/Mg (1b/ton) 铝	
	CWPB2	1.5 kg/Mg (1b/ton) 铝	
	CWPB3	1.25 kg/Mg (1b/ton) 铝	
	SWPB	0.8 kg/Mg (1b/ton) 铝	
	VSS1	1.1 kg/Mg (1b/ton) 铝	1.2 kg/Mg (1b/ton) 铝
	VSS2	1.35 kg/Mg (1b/ton) 铝	1.8 kg/Mg (1b/ton) 铝
	HSS	1.35 kg/Mg (1b/ton) 铝	2.35 kg/Mg (1b/ton) 铝
阳极糊生产厂	连续混捏		0.011 lb/ton 阳极糊
	间歇混捏		0.024 lb/ton 阳极糊
阳极焙烧炉		0.10 kg/Mg 生阳极	0.09 kg/Mg 生阳极

*总氟化物以 Ft 计。

表 7 美国新源或改造源排放限值

单元	总氟化物	多环有机物（POM）
电解槽列	0.6 kg/Mg (1b/ton) 铝	0.32 kg/Mg (1b/ton) 铝
阳极糊厂	与现有源一致	
阳极焙烧炉	0.01 kg/Mg 生阳极	0.025 kg/Mg 生阳极
沥青储罐	均应安装排放控制系统，多环有机物（POM）净化效率 95% 以上。	

欧盟(IPPC, 2001 年)认为: 采用最佳实用技术, 经布袋除尘器后的电解烟气粉尘浓度可控制在 $1\sim 5\text{mg}/\text{m}^3$, 总氟可降到 $0.5\text{ mg}/\text{m}^3$; 阳极效应小于 0.1 次/天. 槽, PFCs 排放量小于 $0.1\text{kg}/\text{t-Al}$; SO_2 通过降低阳极含硫量进行控制。

1.4.2 水污染物排放标准

美国有按行业规定的排放标准, 也有按排水去向, 如城市下水道、河流或地下水规定的排放允许值。对于铝工业的排水要求严格, 如氧化铝排水规定:

- (a) 生产废水不能排放至用于航行的水体中;
- (b) 只能排放当月降入积水池的水量与其蒸发量的差值。

对电解铝废水污染物的排放量也有相应规定, 如铸造排水标准见表 8。

表 8 铸造废水污染物排放标准 (新源)

污染物或污染物特性	任何一天最大值	月平均最大值
	mg/ kg (lbs/M(兆) lbs) 铝	
Benzo(a)pyrene. 苯并芘	(\1\)	(\1\)
Antimony. 锑	0.201	0.089
Nickel. 镍	0.057	0.038
Aluminum. 铝	0.636	0.282
Fluoride. 氟化物	6.188	2.746
Oil and grease. 油脂	1.040	1.040
Total suspended solids 总悬浮固体	1.560	1.248
pH.	(\2\)	(\2\)

\1\ 不允许该污染物的排放。

\2\ 一直保持在 7.0 至 10.0.。

意大利对工厂排水有规定执行相关标准的时限; 英国对排入河流和污水管道的标准值规定不一样, 后者一般都放宽 10 倍; 波兰按接纳水体功能进行分级; 加拿大魁北克对铝工业废水控制主要是尽可能减少工业废水排放, 尽量向工业废水零排放靠拢。表 9 是世界银行的废水排放指导标准。

表 9 世界银行排水标准

项目	单位	浓度
pH 值	—	6-9
SS	mg/L	50
氟化物	mg/L	20
COD	mg/L	150
油	mg/L	5(碳氢化合物)
铝	mg/L	2
温升	℃	≤ 3

(3) 废渣处置要求

国外氧化铝厂赤泥主要是采用干法输送和集中堆放。

铝工业固体废物的排放没有排放量和固废中污染物含量的限制，但世行要求电解槽废渣应堆存在采用人工合成材料或粘土层作防渗垫的堆场内，然后粘土覆盖、密封而不能泄漏。

2、我国铝工业产业政策和环保要求

2.1 我国铝工业相关产业政策

我国铝工业存在着矿产资源紧缺、产品结构不合理、生产集中度低、环境污染较重、市场饱和但投资过热等问题。为加快有色金属工业的结构调整步伐、淘汰落后工艺设备、搞好总量调控、加强技术创新、推进清洁生产，实施大集团战略，实现有色金属工业持续、稳定、健康发展，国家颁布的有色金属工业规划和《国家经贸委关于印发〈2002 年总量调控、结构调整工作指导意见〉的通知》、《关于制止电解铝行业违规建设盲目投资的若干意见》(2003 年 11 月 25 日)、《促进产业结构调整暂行规定》(国发[2005]40 号)、《产业结构调整指导目录(2005 年本)》(发展改革委国家计委 40 号令[2005]号)、《关于加快铝工业结构调整指导意见的通知》发改运行[2006]589 号等一系列政策、法规，对铝金属发展提出了相关要求。对铝工业的相关产业政策要求如下：

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》：“控制电解铝总量，适度发展氧化铝，鼓励发展铝深加工和新型合金材料，提高铝工业资源综合利用水平”。“强化能源节约和高效利用的政策导向，加大节能力度。通过优化产业结构特别是降低高耗能产业比重，实现结构节能；通过开发推广节能技术，实现技术节能；通过加强能源生产、运输、消费各环节的制度和监管，实现管理节能。突出抓好钢铁、有色、煤炭、电力、化工、建材等行业和耗能大户的节能工作。”

《关于加快铝工业结构调整指导意见的通知》中，指出铝工业结构调整的指导原则“以转变铝工业增长方式为中心，以结构调整为重点，按照结构优化、技术创新、科学规划、总量调控、降低消耗、保护环境的原则进行宏观引导，做到氧化铝行业实现有序发展、电解铝行业制止违规投资反弹、铝加工行业重点开发高附加值品种，推动企业技术装备水平的提高和产品结构的升级，促进铝工业

走新型工业化道路,实现可持续发展。”。铝工业结构调整的主要目标是:“2010年国内氧化铝总产能达到1400万吨,企业的海外氧化铝能力达到400万吨。选矿拜耳法普遍推广,拜耳法、混联法、强化烧结法等工艺不断完善,装备水平改善,综合能耗降低到900千克标准煤/吨以下,回收率提高到93%以上。砂状氧化铝比例达到90%。保持电解铝供需基本平衡。扶优汰劣,使骨干企业的产量达总产量的3/4以上。淘汰落后能力,力争全部采用160KA以上大型预焙槽冶炼工艺,电流效率达到94%以上,主要企业综合交流电耗在14300千瓦时/吨以下、氧化铝单耗在1.9吨以下,污染物达标排放”。通知主要政策措施还要求“贯彻落实国务院批准的《铝工业产业发展政策》,抓紧制定实施细则,推进产业结构调整。按照《铝工业发展专项规划》的要求,合理布局,有序发展。严格控制总量的扩张,加强技术改造,优化产品结构。”

《关于制止电解铝行业违规建设盲目投资的若干意见》(2003年11月25日)指出:暂定在2005年底以前,除淘汰自焙槽生产能力置换和环保改造项目外,原则上不再审批扩大电解铝生产能力的建设项目。

《产业结构调整指导目录(2005年本)》中,“铜、铝、铅、锌、镍大中型矿山建设”列入鼓励类;“电解铝项目(淘汰自焙槽生产能力置换项目及环保改造项目除外)”列入限制类;“铝自焙电解解槽”列入淘汰类。

2.2 我国铝工业有关环保政策

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》在加强大气污染防治中明确要求“…推进钢铁、有色、化工、建材等行业二氧化硫综合治理。”,并提出“十一五”期间单位国内生产总值能耗降低20%左右,主要污染物排放总量减少10%的约束性指标。

《关于加快铝工业结构调整指导意见的通知》中要求提高产业集中度,鼓励综合利用和节约资源……严格执行环保标准,淘汰落后的电解铝生产能力。

《关于制止电解铝行业违规建设盲目投资的若干意见》明确了淘汰所有自焙槽:“根据产业政策和环保标准,结合环境治理,限定在2004年底前淘汰尚存的自焙槽生产能力。”即进入2005年,中国不再允许采用自焙槽。《产业结构调整指导目录(2005年本)》进一步明确了淘汰铝自焙电解解槽的政策。

针对我国铝工业存在的问题,国家产业发展政策要求我国铝工业发展的指导思想要坚持科学发展观,继续加强和改善宏观调控,重在控制总量,优化结构、

合理布局，降低消耗，推动铝工业走新型工业化道路。

3 标准修订的必要性及任务来源

3.1 标准修订的必要性

1985 年我国颁布的轻金属行业的污染物排放标准，即：《轻金属工业污染物排放标准》GB4912—85，该标准控制大气污染物和水污染物。大气污染物采用排放量和排放浓度两种控制方式，如：电解槽控制吨铝排氟量，其它各种污染物控制排放浓度。GB4912—85 对控制当时铝厂大气污染物排放起到了积极作用。但当时我国中心加料预焙槽只有贵州铝厂（现中铝贵州分公司）引进的 160kA 槽（80000 t/a）一个系列，尚无完善的生产及环保治理经验，为标准制订提供的依据不充分。随着铝工业生产技术的发展，该标准的不足也逐渐体现，如对新建旁插槽列出了粉尘浓度限值却没有排氟量要求，炭素阳极焙烧炉烟气控制项目仅有沥青烟而无氟化物、粉尘等。

铝工业原执行的是 1996 年颁布的综合排放标准，如：《大气污染物综合排放标准》（GB16297—1996）、《工业炉窑大气污染物排放标准》（GB9078—1996）、《污水综合排放标准》（GB8978—1996）等。

以上标准较 GB4912—85 增加了污染控制项目，严格了大部分生产系统的粉尘的排放，对促进我国铝金属工业污染防治工作起到了积极、重要的作用。但随着生产和环保技术的发展，现行标准已显保守。同时由于综合标准涵盖行业多，难以针对行业特点和设施提出要求，因此铝工业执行现行标准时存在如下问题：

一、现行标准已落后于当前的污染控制水平

随着我国铝工业生产工艺技术的迅速发展、清洁生产工艺的应用及污染控制水平的提高，现行排放标准已显落后。如：新建电解槽烟气净化系统粉尘排放标准为 $100\text{mg}/\text{m}^3$ （新源，二级），明显高于目前可达到的 $\leq 10\sim 30\text{mg}/\text{m}^3$ ；氢氧化铝焙烧炉烟气排尘标准高达 $200\text{mg}/\text{m}^3$ （新源，二级），而实际上可控制在 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。因此现行标准在约束企业加强污染控制的力度已很弱。过松的要求不利于高效布袋除尘器、高效电除尘器的推广运用和新技术的开发，不能推动我国环保产业的发展和实现削减排污、改善环境的作用。

二、现行标准对行业的特殊性考虑不够

现行污染物排放标准应用范围比较广，各行各业使用同一标准，难于完全适

应各行业特点，同时给环保执法带来一定困难，如：

a. 不同地区的电解槽有的执行“GB16297—1996”，有的执行“GB9078—1996”，同种设备，执行标准不统一。

b. 铝用炭素使用的煤焦油沥青中 BaP 含量高，对 BaP 的控制只能通过降低沥青烟气的浓度来实现。“GB16297—1996”中，新污染源 BaP 排放标准为 $0.3 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^3$ ，这样，即使烟气中沥青烟浓度低于 1 mg/m^3 ，BaP 浓度也可能超标，而相应的沥青烟限值却为 50 mg/m^3 。

c. 煅、焙烧炉窑均执行统一标准，缺少明确的针对性。如阳极焙烧炉烟气采用氧化铝吸附布袋除尘措施，排放尾气中粉尘浓度一般在 $<10 \sim 30 \text{ mg/m}^3$ ，而氧化铝厂熟料烧成窑烟气温度高、湿度高、粘性大，尚不能采用布袋除尘器处理，排尘浓度难与其它炉窑统一。只有细化不同生产设施的排放要求，才能全方位对污染源进行控制，实现污染物排放量最小化。

三、现行标准对控制铝工业污染物排放量的作用较弱

现行标准未对排污系数提出要求，难于控制生产企业污染物排放量。

电解槽排氟由烟气净化排气筒和车间天窗两部分组成。目前预焙槽烟气干法净化技术十分成熟，净化系统的氟化物去除率可大于 99%，排放浓度可控制在 $2 \sim 4 \text{ mg/m}^3$ 内。主要影响排氟量的是电解车间无组织排放部分，没有排放量限制，起不到严格控制排氟量的作用。

现行标准控制污水排放浓度但不控制排水量，难以起到控制水污染排放总量的作用。且水循环利用率（80%）已明显低于目前铝厂能达到的水平，不能促进企业加强节水措施，减少新水消耗的目的。

四、须进一步严格排放标准才能满足国家有关环保规范的要求

现行标准新建项目工业水复用率限值为 $\geq 80\%$ ，低于环境保护“十五”计划 85% 的要求，而且对铝行业可实现的 $\geq 90\%$ 的目标来说，就更显过低。

我国氧化铝和电解铝产量都逐年增长，若不提高标准，限制排放量，排污总量将相应增加，有色金属工业削减污染物排放总量的目标将难以实现。

五、现行标准按功能区分级加重了污染严重地区的环境负担

现行三类区执行三级标准，普遍较二级标准放宽了 1.5~2 倍。三类区通常为环境污染较重的特定工业区，放松排放限值进一步加剧了该区域的环境污染。既然现有污染控制技术已达到更高的排放要求，降低标准不符合加强治理、控

制污染的原则，也不能实现公平竞争。

六、现行标准与国际标准差距过大

我国现行标准很难与国际上许多国家尤其是铝工业发达国家进行比较。如发达国家对铝电解生产中氟化物排放量有单位产品排污量控制和浓度控制的要求，如美国、德国、加拿大等。世界银行在实施浓度控制的同时也提出了吨铝排氟量的范围。我国和世界一些国家铝工业大气污染物排放限值列入表 10。由表 10 可见，国际上烟气中粉尘浓度控制在 $1\sim 30\text{ mg/m}^3$ ，氟化物浓度在 2 mg/m^3 以下，并控制氟化物排放量。而我国粉尘浓度在 100 mg/m^3 ，同时未对吨铝排氟量提出任何控制指标。

表 10 铝工业大气污染物排放标准

国家或组织 控制项目		美国	德国 (气氟)	欧盟	加拿大 魁北克	世行	中国
氟化物	排放量 kg/t-Al	0.6	0.6	$0.4\sim 1.0$	$0.95+0.1$	$0.3\sim 0.6$	—
	排气筒浓度 mg/m^3	—	1.0		—	2.0	6
粉尘	排气筒浓度 mg/m^3		10	$1\sim 5$		30	100
有机污染物*		POMs: 0.025 kg/t-阳极				VOC: 20 mg/m^3	沥青烟 40 mg/m^3

* 阳极焙烧炉限值

我国现行标准与国际水平相差很大，在弱化了我国铝工业污染控制、管理和先进环保技术推广运用的同时，对我国铝工业的国际形象、技术出口造成一定的负面影响。

3.2 任务来源

依据国家环保总局下达的《关于开展〈有色金属工业污染物排放标准〉编制工作的通知》（2002 年 10 月 25 日国家环保局环境标准研究所 环院标函[2002]第 34 号）。2003 年 10 月 23 日至 25 日在南昌通过了《有色金属工业污染物排放标准体系框架草案》，确定对有色金属分别制定污染物排放标准，《有色金属工业污染物排放标准—铝工业》即为各项标准之一。2003 年 12 月 4 日，国家环保总局办公厅以环办函[2003]649 号下达了《关于下达有色金属行业污染物排放系列国家标准制订工作任务的通知》。

3.3 工作过程及内容

3.3.1 主要工作过程

依据环办函[2003]649 号要求成立铝行业污染物排放标准编制组。铝行业排放标准的牵头起草单位为沈阳铝镁设计研究院，参加起草单位有：中国环科院标准所、南昌有色冶金设计研究院、贵阳铝镁设计研究院等。编制组在接受任务后开始进行《有色金属工业污染物排放标准—铝工业. 开题报告》的编制。2004 年 3 月 21~31 日，国家环保总局科技标准司在北京主持召开了各项标准“开题报告”论证会，明确标准编制原则，形成《有色金属行业污染物排放系列标准—开题论证会会议纪要》（环科函[2004]17 号）。论证会后标准编制组召开了工作协调会，对之后的工作进行安排。

2004 年 5 月至 2005 年 1 月，依据《有色金属行业污染物排放系列标准-开题论证会会议纪要》和备忘录的安排，本编制组编制了开展了向国内主要铝厂发放环境调查表、下厂实地调查、回收资料统计和搜集国外相关行业污染排放标准等多项工作，并依据研讨会和征求意见的结果和环保要求进行编制，完成了从《有色金属行业污染物排放系列标准-铝工业 草稿》及其编制说明到《铝工业污染物排放标准》及其编制说明的起草工作。《铝工业污染物排放标准》及其编制说明的工作过程见表 11。

3.3.2 主要工作内容

(1) 调查工作及资料统计

环境调查表发放对象为具有代表性的采用预焙阳极电解槽生产的电解铝厂(含炭素)和我国全部 6 家大型氧化铝厂(含矿山)。2004 年 4 月，发出调查函 50

表 11 铝工业污染物排放标准工作过程

时间	工作内容	形成文件	负责单位
03 年 12 月~2004 年 3 月	对铝工业产排污种类、进行初步调查，对照现行标准，结合当前形式，编制开题报告。	《有色金属行业污染物排放标准-铝 开题报告》	编制组
04 年 3 月 29~31 日	召开开题报告论证； 下达有关有色金属生产企业污染物排放情况调查任务	《关于印发〈有色金属工业污染物排放系列标准〉开题论证会会议纪要的函》（环科函[2004]17 号）； 《关于对有色金属生产企业污染物排放情况进行调查的函》（环科函[2004]28 号）。	国家环保总局科技标准司
04 年 5 月~年 12 月	编制有色金属工业污染物排放系列标准-铝工业环境调查表，铝厂实地调查，网上资料查寻，国外环境标准搜集；统计、分析调查资料；	《有色金属行业污染物排放系列标准-铝工业 初稿》； 《有色金属行业污染物排放系列标准-铝工业编制说明 草稿》。	编制组

	编制铝工业排放标准初稿		
05 年 1 月 13~14 日	召开讨论会,组织有关专家对《有色金属行业污染物排放系列标准-铝工业》进行讨论	《有色金属工业污染物排放标准-铝工业》讨论会会议纪要。	国家环保总局 科技标准司
05 年 2 月~06 年 4 月	依据讨论会会议纪要对《有色金属行业污染物排放系列标准-铝工业 初稿》进行修改	《有色金属工业污染物排放标准-铝工业 征求意见稿》; 《有色金属工业污染物排放标准-铝工业编制说明 征求意见稿》。	编制组
06 年 4 月 29 日~30	召开研讨会,组织有关专家对《有色金属行业污染物排放系列标准-铝工业》进行初步评审,明确提出本标准以《铝工业污染物排放标准》的方式命名	《关于印发国家有色金属工业排放标准研讨会纪要的函》(环科函[2006]25 号)。	国家环保总局 科技标准司
06 年 5 月~9 月	依据研讨会精神和纪要对《铝工业污染物排放标准 征求意见稿》进行修改	修正后的《铝工业污染物排放标准 征求意见稿》和《铝工业污染物排放标准编制说明 征求意见稿》提交国家环保局。	编制组
07 年 9 月	下达结合新形势对《铝工业污染物排放标准 征求意见稿》进一步修改的任务		国家环保总局 科技标准司
07 年 9 月 6 日~30	依据上级要求对《铝工业污染物排放标准 征求意见稿》进一步修改,增加环境敏感地区排放标准限值,修改章节内容、调查监测要求等。	《铝工业污染物排放标准 征求意见稿》(进一步修正后的);《铝工业污染物排放标准编制说明 征求意见稿》(进一步修正后的)。	编制组

份,其中含氧化铝厂 6 份,矿山 5 份,电解铝厂 39、炭素厂 27 份(附于电解铝厂调查表中),返回 47 份。返回资料份数为:矿山 4 份,氧化铝 6 份,电解铝 22 份,炭素 15 份。在回收的资料中,两家电解铝厂没有环境数据(仅有原料耗量)而未参加本调查结果的统计,同时我们利用掌握的 2 家电解铝厂资料参与了统计,因此统计的厂家与返回资料厂家数目相同:矿山 4 家,氧化铝厂 6 家,电解铝厂 22 家,炭素厂 15 家。

6 家大型氧化铝厂中,4 家自配矿山,4 家有电解铝、炭素系统 6 家氧化铝厂调查资料全部返回,包括了我国 2003 年运行的氧化铝厂的所有熟料烧成窑和氢氧化铝焙烧炉资料。即:熟料烧成窑 26 台,获得数据 21 套(其中一个数据为 6 台窑平均值);氢氧化铝焙烧炉净化系统 15 套(其中焙烧窑 2 套)。除返回调查表(或监测资料)的 21 家电解铝厂外,我们还利用 1 家电解铝厂 1999 年资料参与统计,即共统计电解铝厂 22 家,净化系统 53 套,除尘系统 6 套。15 家炭素厂共统计 19 台焙烧炉、16 套煅烧烟气净化系统、93 套通风除尘净化系统。回收资料污染源数量统计见表 12。

表 12 回收资料污染源数量统计表

类型	发出份数	统计厂家	大气污染源		水污染源
			名称	数量(套)	
矿山	5	4	通风除尘	13	6

氧化铝	6	6	熟料烧成窑 氢氧化铝焙烧 通风除尘	21 15 37	6
电解铝	39	22	电解槽 通风除尘	53 6	19
铝用炭素	27	15	阳极焙烧炉 煅烧炉 通风除尘	19 16 93	10
合计	77	47	合计	273	41

工作过程中，到 11 家铝企业进行了实地调查，了解环保治理及排放的相关情况。由于部分企业同时具有氧化铝、电解铝、炭素等，因而实际调查的厂家为氧化铝 2 家，电解铝 10 家，炭素 6 家。

(2) 国外资料收集

通过网上查询、国内有关资料收集、向国内铝行业专家咨询的方式，收集了美国、欧盟(Integrated pollution prevention and control, Reference document on best available techniques in the non ferrous metals industries ,December 2001)、德国(Light Metals 2004)、意大利、世行(环境保护和治理手册，第三部分-世界银行，1997 年 9 月)、加拿大魁北克等国家和组织的铝工业污染物排放标准。并通过中国铝业环境、健康与安全国际研讨会收集部分资料。

(3) 标准编制

在对收集资料进行统计、分析的基础上，结合我国铝工业、铝市场、工业生产技术、环保技术的具体情况，在与国内外资料进行对比分析的基础上，制订污染物排放浓度限值和排放量。依据《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T13201-91), 结合铝厂的具体情况，制订排气筒高度要求。污染物分析方法采用我国现行方法标准。

4 标准编制原则

标准编制过程中遵循的原则

(1) 依据行业特点拟订控制标准

根据铝工业产污及排污特点，突出重点，控制主要污染物的排放；控制有组织排放源和主要无组织排放源；兼顾浓度控制和排污量控制。

(2) 尊重基础资料、技术发展和加强环保管理要求

坚持调查研究，实事求是。以具有前瞻性并具可操作性为基础，所确定的排放限值既要考虑目前的控制水平，也要考虑生产和污染控制技术的进步和提高。排放要求确定在企业通过采用先进生产工艺和污染控制技术，加强环保设施运行管理的条件下能达到的水平。同时经济成本和操作条件也要考虑企业的承受力，尽可能满足管理严格、技术先进、经济合理的原则。因此在对回收的资料按污染源类别、污染物种类进行统计的基础上，分析在采取先进、可行环保措施，加强管理的基础上，确定标准限值，杜绝因净化设备市场存在不正当竞争而出现劣质设备销往铝厂的情况，促进环保产业的发展。

(3) 考虑国际接轨

参考国外发达国家的排放标准。尤其是新建项目要基本达到国际先进水平，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，在一定时间内达到与新建厂相同的水平。另一方面，要结合我国实际运行情况和污染控制技术、经济能力等，使制定的标准具有“可操作性”。

(4) 不考虑淘汰设备、工艺

对生产工艺及设备的要求是制定标准的基础。随着预焙槽技术的发展和运用，我国已提出取消污染严重自焙槽的要求，国办发[2003]103号转发的《关于制止电解铝行业违规建设盲目投资的若干意见》已明确：限定在2004年底前淘汰尚存的自焙槽生产能力，因此本标准制订时不再考虑自焙槽和其它国家明令禁止的生产设备和工艺。

(5) 不同时期建设的现有铝工业企业排放控制应基本公平

要求采用新工艺、新技术，实行污染物最小量化的清洁生产工艺，提高我国铝工业技术总体水平，使环保法规与产业发展相协调。同时严格新建项目排气筒高度控制，防止造成周边地区的高污染。推动老企业采用新技术进行改造、更新环保设施，使不同时期建设企业的治理成本趋于一致，基本处于相对公平的市场竞争环境中。

(6) 各功能区执行同一标准

原则上排放标准不与环境空气质量和地表水质量功能区挂钩，各功能区执行同一标准，避免因低功能区低保护而客观上造成低功能区污染加剧。但为保证需要特殊保护的地区的环境质量，凡GB3095划定的一类功能区内禁止新建和扩建

铝企业，对现有污染源改建时，应执行本标准新建企业的规定；凡 GB3838 中 I、II 类水域及 III 类水域中划定的保护区和游泳区，以及 GB3097 中的一类海域，仍禁止新建排污口；现有排污口应按水体功能要求，实行污染物总量控制，以保证受纳水体的水质符合规定用途的要求。

（7）结合我国目前部分地区水环境和大气环境严重污染和区域开发程度过高等情况，对容易发生严重环境污染问题而需要采取特别保护措施的环境敏感地区提出更加严格的排放要求，以防止这部分地区环境进一步遭到破坏并使该地环境压力有所减轻。

5 标准主要技术内容论证或说明

5.1 受控设施与污染控制项目

5.1.1 标准适用范围

本标准适用范围为中华人民共和国境内建设的从矿山开采至金属铝（原铝）生产的各种规模的铝冶炼行业。即：

- （1）铝冶炼行业的矿山（铝土矿矿山）
- （2）氧化铝厂（不含自备热电厂）
- （4）电解铝厂
- （3）铝用炭素生产厂（含阳极和阴极）

我国已颁布了《火电厂大气污染物排放标准》（GB13223）和《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271），因此氧化铝厂的自备热电厂和各供热锅炉大气污染源分别执行以上相应标准。

本标准不适用于再生铝和铝材压延加工厂。生产铝合金电解铝厂，其熔化保温炉污染物排放参照执行压延加工厂相应设备的排放标准。

5.1.2 标准主要控制因素

为体现行业特点、加强标准的针对性并便于操作，本标准不再沿袭依据环境因素分别制订标准的方式，而将铝工业生产中的废气、废（污）水汇入同一标准中。因此本标准包括大气污染源和水污染源的控制。

本标准提出了对铝冶炼全过程可控污染物的控制和要求，标准规定的主要技术内容为：

- a. 大气污染物排放浓度及单位产品大气污染物排放量限值

- b. 排气筒高度要求
- c. 废水排放浓度及单位产品排水量限值
- d. 污染源的监测要求及分析方法标准
- e. 控制污染的管理与操作规定

5.1.3 大气污染物控制项目的确定

依据铝工业大气污染物种类、目前我国可进行治理的污染物浓度和我国常规控制项目，本标准大气污染物控制项目共为颗粒物、二氧化硫、氧化物、沥青烟气和苯并 a 芘 5 项，各生产厂依据其主要污染物的产生情况，选择以上 5 种污染物中的几项进行控制。

5.1.3.1 矿山大气污染物控制项目

矿山大气污染物控制项目为颗粒物。

理由：采矿过程中的大气污染源难于定量控制，因此矿山主要控制选矿厂。选矿厂主要污染物是矿石贮运、破碎、筛分等过程中产生的矿石粉尘，因此控制项目为颗粒物一项。

5.1.3.2 氧化铝厂大气污染物控制项目

氧化铝厂大气污染物控制项目为颗粒物及二氧化硫。

理由：氧化铝工艺的主要污染源是熟料烧成窑和氢氧化铝焙烧炉，主要污染物是物料粉尘(熟料粉尘和氧化铝粉尘)，燃料燃烧产生的二氧化硫和微量烟尘；石灰炉产生的颗粒物及二氧化硫，物料贮运、破碎、下料及产品贮运等过程产生的颗粒物。

5.1.3.3 电解铝厂大气污染物控制项目

电解铝厂大气污染物控制项目为氟化物(以 F 计)、颗粒物和二氧化硫。

理由：电解铝厂大气污染物种类较复杂，主要大气污染源——电解槽产生氟化物(指氟化氢和无机氟化盐)，当电解槽发生效应时还会产生全氟化碳(PFCs，主要成分是 CF_4 及少量 C_2F_6 等有机氟化物)、粉尘(主要成分为氧化铝)、二氧化硫、一氧化碳、二氧化碳等。

鉴于 PFCs 只有在电解槽发生阳极效应时才产生，而且产生量很小，烟气中浓度极低，小于 $1\text{mg}/\text{m}^3$ ，对电解槽烟气中 PFCs 的检测尚难以实施，因此，标准中提出了电解铝生产过程控制阳极效应次数的要求，但对 PFCs 产生量不作为控

制标准列出。

预焙阳极电解槽烟气的主要污染物是氟化物和颗粒物, 二氧化硫产生量相对较低, 但鉴于二氧化硫为我国环境质量的主要控制因素和污染源常规控制项目, 因此列为控制项目。

5.1.3.4 铝用炭素厂大气污染物控制项目

铝用炭素厂大气污染物控制项目为颗粒物、二氧化硫、氟化物、沥青烟、苯并芘(BaP)。

理由: 阳极焙烧炉烟气中的主要污染是颗粒物、沥青烟、氟化物(由电解槽返回残极含氟产生)且含量均较高, 必须采取控制措施。二氧化硫也主要为燃料燃烧产生, 也是焙烧炉的主要污染物之一, 可通过降低燃料含硫量(或烟气脱硫)进行控制。因此均应列为控制项目。

苯并 a 芘是沥青烟气的组分之一。阳极生产中没有单纯产生苯并 a 芘的环节和专门的处理措施, 本标准实施前阳极焙烧炉执行的《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB9078—1996) 中未对苯并 a 芘进行控制, 有机物主要控制沥青烟一项。但考虑到与《环境空气质量标准》(GB3095) 的衔接, 列出该项作为控制项目。

5.1.4 废水控制项目

铝工业废水污染物控制项目: 悬浮物(SS)、氟化物、石油类、pH、化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮、总氮、总磷、总氰化物、硫化物、挥发性酚共 11 项。

理由: 电解铝及炭素生产均为干法过程, 不允许水进入物料系统, 除炭素生产湿法净化系统等可能带入的氟化物, 氧化铝厂湿法过程碱性物流可能造成生产废水 pH 升高外, 生产排水中没有其它特征污染物。进入生产废水的主要污染物是冷却排污水、锅炉排水及其它废水存在的悬浮物、石油类。因此铝工业废水排放项目主要控制常规项目, 控制 pH、SS、氟化物、石油类、COD_{Cr} 项。结合铝厂生产排水量相对较小, 而厂区生活污水所占排水的例较大的情况, 生活污水所含污染物也是铝厂排水的主要污染物, 结合目前我国水污染状况, 国家加大了对排水 COD、氨氮、总氮、总磷的控制, 因此本标准将这污染物纳入控制项目中。煤气制造厂的煤气洗涤水循环水中含氰化物、硫化物、挥发性酚等污染物, 可能造成排水中含有混入这些污染物, 设有煤气制造厂的铝厂排水应对其进行控制。因此, 没有煤气制造的铝工业企业排水污染控制项目为悬浮物(SS)、氟化物、石油类、pH、化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮、总氮和总磷 8 项; 含有煤气制造的铝工业企业排

水污染控制项目应增加总氰化物、硫化物和挥发性酚，控制项目共 11 项。

5.2 大气污染物排放限值的确定

为保证执行标准之间的衔接, 本标准开始实施时, 现有企业执行表 1 中的限值基本与原标准一致, 只是对不需进行净化系统进行改造的少量污染源排放限值适当提高了控制要求, 如电解烟气净化净化排尘浓度由目前执行的 120 mg/m^3 严格为 30 mg/m^3 (这是在 1985 年颁布的 GB4912—85 就已要求的), 因此主要对标准表 2 的内容进行说明。

5.2.1 氧化铝厂熟料烧成窑烟气排放浓度限值

各氧化铝厂的熟料窑烟气和粉尘性质较为相似, 总体情况是烟气温度高 ($200 \sim 250^\circ\text{C}$), 而且湿度大, 粉尘粘性大, 因此一般不采用布袋除尘器, 目前各氧化铝厂均是采用电除尘器除尘, 效率在 $98.4 \sim 99.7\%$ 。熟料粉尘的强碱粘性也使电除尘器清灰较为困难。本次调查收集到的我国 2003 年生产的全部 21 台熟料烧成窑粉尘排放浓度情况见表 13。

表 13 氧化铝厂熟料烧成窑颗粒物排放浓度统计

序号	浓度范围 mg/m^3	台数	占总数比例 (%)	累计比例 (%)	备 注
1	60~100	8	38.1	38.1	原新源标准 200 mg/m^3 原现源标准 300 mg/m^3
2	114.2~189.9	7	33.3	71.4	
3	210.8~300	4	19.1	90.5	
4	550~604	2	9.5	100	
合计	60~604	21	100		

以上数据大部分是企业环保达标验收的监测值, 也就是生产和环保设备在经认真调试、维护, 运行状态很好的条件下得到的结果。71%的熟料窑已满足 GB9078—1996 中新污染源 200 mg/m^3 的标准值 (21 台窑中, 15 台浓度小于 189.9 mg/m^3), 因此以此作为现有污染源的排放限值。对现有源及新建项目要求加强熟料烧成窑除尘研究、提高除尘效率和设备运行的管理和维修水平, 将排放浓度控制在 100 mg/m^3 内 (目前国内 38% 的熟料窑满足此标准)。在严格环保设计、设备制造和加强维修管理的条件下, 100 mg/m^3 的限值应是可达到的。

烧成煤含硫量是决定熟料烧成窑烟气二氧化硫浓度的主要因素。由于熟料呈碱性, 相当于燃料烟气的脱硫剂, 所以烟气中二氧化硫浓度可得到一定程度的净化, 排放烟气中二氧化硫浓度较低。若烧成煤含硫量较高, 烟气中的二氧化硫浓

度也会相应增加，但经碱性熟料吸收脱硫后，熟料烧成窑烟气中二氧化硫浓度控制在 400 mg/m^3 内是可行的，从目前了解的情况看，个别氧化铝厂也出现过烟气中二氧化硫浓度过高，超过 800 mg/m^3 的情况，一般情况下排放浓度不超过 400 mg/m^3 ，若烟气中二氧化硫过高，应通过降低烧成煤含硫或烟气脱硫予以控制。

5.2.2 氢氧化铝焙烧炉烟气排放浓度限值

氢氧化铝焙烧炉烟气目前均采用电除尘器进行收尘，除尘效率在 $99.3 \sim 99.9\%$ 。本次调查收集的 15 台氢氧化铝焙烧炉(含 2 台窑，调查期所有成规模的焙烧炉窑)颗粒物排放浓度见表 14。

表 14 氢氧化铝焙烧炉颗粒物排放浓度统计

序号	浓度范围 mg/m^3	台数	所占总数 (%)	累计比例 (%)	备注
1	40~49.15	3	20	20	原新源标准 200 mg/m^3 原现有源标准 300 mg/m^3
2	60~98.5	4	26.7	46.7	
3	106~200	6	40	86.7	
4	231.6~233	2	13.3	100	
合计	40~233	15	100		

资料结果表明，目前所有炉窑已达标排放，因此企业不再增加烟气治理投资进行改造。但目前我国电除尘技术已有较大提高，在较好的运行管理条件下，现 15 台炉已有 7 台排尘浓度低于 100 mg/m^3 ，因此将现有企业排放标准定于 100 mg/m^3 。在保证除尘器面积、适当增加电场数、加强运行管理的条件下，氢氧化铝焙烧炉烟气氧化铝粉尘排放浓度可进一步降低，如 15 台炉窑中，已有 3 台(占总数 20%)粉尘浓度低于 50 mg/m^3 ，因此要求新污染源排放浓度不应大于 50 mg/m^3 。当然也要求现有企业对净化设施进行改造，逐渐达到与新建源同样严格的颗粒物浓度限值。

目前我国氢氧化铝焙烧炉采用天然气、人工煤气和重油 3 种燃料。由于燃料含硫量的不同，焙烧炉二氧化硫排放浓度变化很大，从本次回收资料看，浓度范围 $60 \text{ mg/m}^3 \sim 4600 \text{ mg/m}^3$ (据了解，燃用未脱硫人工煤气的，最高浓度至超过 8000 mg/m^3)。目前我国氢氧化铝焙烧炉烟气全部采用电除尘器治理，各厂均未采取二氧化硫控制措施，其排放浓度决定于燃料含硫。采用天然气的氢氧化铝焙烧炉烟气含硫量均较低，而燃用高含硫煤气或高含硫重油的，其烟气含硫可达 4600 mg/m^3 甚至更高。因此应通过采取煤气脱硫或改变燃料结构等措施控制二氧化硫

排放，要求新污染源排放浓度控制在 400 mg/m^3 ，现有源从现行的 850 mg/m^3 向 400 mg/m^3 的标准过渡，同时给企业留有 2 年改造过渡时间。

5.2.3 石灰炉烟气排放浓度限值

石灰炉为各行业的通用设备，由于石灰炉尘含碱，烟气治理相对较难。目前烟气可采用湿法、电除尘器和布袋除尘器处理。在采用布袋除尘器处理、加强管理的条件下，将排尘浓度控制在 50 mg/m^3 以下是可以实现的。

5.2.4 电解铝厂电解槽烟气净化系统排放浓度限值

目前我国预焙槽烟气均是采用氧化铝吸附、布袋除尘器除尘的干法净化技术(干法净化)进行治理。干法净化是目前国际上采用的最佳实用技术。本次调查的国内电解烟气净化系统污染物排放情况见表 15。

表 15 电解槽烟气净化系统污染物排放统计

序号	总氟			颗粒物		
	浓度范围 mg/m^3	净化系统数 (套)	累计比例 (%)	浓度范围 mg/m^3	净化系统数 (套)	累计比例 (%)
1	<1.0	2	3.9	1.9~5	15	28.3
2	1.012~1.95	16	35.3	5.7~9.9	9	45.3
3	2.18~2.97	11	56.9	11~15	9	62.2
4	3.03~3.88	9	74.5	15.1~20	4	69.8
5	4.11~5.21	7	88.2	20.1~28.5	8	84.9
6	7.5~9	2	92.7	32.5~45	2	88.7
7	9.15~13.1	4	100	74.96~100	6	100
合计	0.96~13.1	51	100	1.9~100	53	100

本标准电解烟气净化系统排氟浓度从两个方面确定：一是从国内调查回收资料看，总氟浓度小于 2.0 mg/m^3 的数据 18 个，占 35.3%，小于 3.0 mg/m^3 的为 29 个，占 56.9%。中位值为 2.8 mg/m^3 ，平均值 3.493 mg/m^3 ，最大值 13.1 mg/m^3 (已超过现行标准 1 倍以上)。另一方面与我们收集到的国外标准氟化物排放浓度是 $\leq 2 \text{ mg/m}^3$ 。当然，在制订排放浓度限值时考虑了由于我国氧化铝性质的差异(国外氧化铝基本上拜耳法生产的砂状氧化铝，而我国目前粉状氧化铝占有一定比例)，吸附效率相对差一些，而且推行除尘设备国产化可能会造成固体氟化物稍有增加。因此标准限值稍宽于国际最先进水平，但基本达到世界先进水平，如本标准的颗粒物排放浓度 (15 mg/m^3) 宽于德国 (10 mg/m^3) 和欧盟 ($1 \sim 5 \text{ mg/m}^3$)，但严于世行 (30 mg/m^3 ，1997 年) 和美国 (年均浓度 15 mg/m^3)。

调查结果表明，现有电解铝厂中，约 43% 的净化系统排氟浓度超过 3 mg/m^3 ，

这就要求这部分铝厂用 2 年左右的时间,对净化除尘设施进行改造,同时加强维护管理等,以达到新标准的要求。

调查回收资料中,颗粒物浓度小于 10 mg/m^3 的数据 18 个,占 35.3%;小于等于 15 mg/m^3 的为 32 个,占 62.7%;小于 30 mg/m^3 的 43 个,占 84.3%,超过 30 mg/m^3 的仅 8 个,占 15.7%。1985 年制定的《轻金属工业污染物排放标准》(GB4912—85),电解烟气净化系统排尘浓度限值为 30 mg/m^3 ,因此以此作为本标准实施时现有铝厂排尘浓度限值。新污染源和现有源改造后的粉尘排放浓度限值为 20 mg/m^3 。依据调查资料、现场实际监测结果和对有关电解烟气净化专家、除尘设备厂家的调查, 20 mg/m^3 是可以达到的。回收的资料中,69.8%的净化系统粉尘已可达到 20 mg/m^3 的排放浓度限值,说明这一标准限值是可以达到的。当然由于目前调查企业采用的净化技术已是世界最佳治理技术,在近几年内不会有太大的变化,而且部分数据是生产和污染控制设备在最佳运行条件下进行环保验收时测到的,需要企业在环保方面作出相当的努力,确实加强环保管理和环保设备的运行维护,才可能长期保持这样的效果。因此, 20 mg/m^3 的粉尘排放浓度浓度限值也是十分严格的,要求现有未能达标的企业,必须在规定时间内对净化设施进行较彻底的改造并加强设备运行维护,才能满足本标准的要求。

5.2.5 阳极焙烧炉烟气排放浓度限值

5.2.5.1 沥青烟和苯并 a 芘

世界上对有机物的控制项目不统一,如美国控制 POMs(环状烃),世行控制 VOCs(有机挥发份),我国控制沥青烟和苯并芘。依据我国情况,本标准控制项目仍为沥青烟和苯并芘。

新建项目要求采用新型环式焙烧炉,通过先进的燃烧控制技术使挥发份尽可能充分燃烧,有效减少烟气中沥青烟初始含量,同时通过采用高效的干法净化技术,控制沥青烟排放浓度小于 20 mg/m^3 是有保证的。从调查回收资料看,19 套净化系统已有 5 套排放浓度等于或小于 10 mg/m^3 ,11 套排放浓度小于 20 mg/m^3 ,17 套排放浓度小于 50 mg/m^3 。对于新建项目,采用新型焙烧炉和干法净化技术,沥青烟浓度可控制在 10 mg/m^3 内。但考虑现有厂仍有采用湿法净化,有的铝厂炭素阳极生产系统距电解厂几十公里,采用氧化铝吸附干法净化系统不合理,需采用其它烟气净化方法,沥青烟排浓度难于控制在 10 mg/m^3 内,在系统运行较好的情况下,控制在 20 mg/m^3 是可行的。因此,确定阳极焙烧炉烟气沥青烟排

放浓度由现在的 50mg/m³ 向 20 mg/m³ 过渡。

调查资料表明，烟气中苯并 a 芘与沥青烟比例为 0.003%~0.354%，考虑到沥青烟气中苯并 a 芘含量变化较大，而收集到的苯并 a 芘浓度数据相对较少，制订苯并 a 芘排放浓度限值时按沥青烟气中苯并 a 芘含量按 0.3%取值。因此，若废气中沥青烟中苯并 a 芘含量大于 0.3%，为满足苯并 a 芘排放浓度限值，应通过进一步降低沥青烟浓度以保证苯并 a 芘达标排放。调查得到的沥青烟中的苯并 a 芘含量见表 16。

表 16 沥青烟中苯并 a 芘浓度含量统计表

序号	烟气量 (m ³ /h)	苯并 a 芘浓度 μg/m ³	对应沥青烟浓度 mg/m ³	苯并 a 芘/沥青烟 比值
1	混捏	0.04	15	0.0267×10^{-4}
2	混捏	0.0685	10.03	0.0583×10^{-4}
3	沥青熔化	0.35	37	0.0946×10^{-4}
4	配料	0.106	4.95	0.214×10^{-4}
5	焙烧炉	0.24	10.5	0.23×10^{-4}
6	焙烧炉	1.21	24	0.50×10^{-4}
7	成型车间	0.263	5.1	0.516×10^{-4}
8	焙烧炉	1.4	14.12	0.99×10^{-4}
9	混捏	1.26	7.68	1.64×10^{-4}
10	焙烧炉	11.5	55	2.1×10^{-4}
11	焙烧炉	14.2	53	2.68×10^{-4}
12	六室熔化槽	3.2	11.8	2.7×10^{-4}
13	焙烧炉	7.51	27.7	2.71×10^{-4}
14	沥青熔化西	131	67.8	19.3×10^{-4}
15	沥青熔化东	95.5	29.3	32.6×10^{-4}
16	40×12 熔化槽	4.6	1.3	35.4×10^{-4}

5.2.5.2 颗粒物、氟化物、二氧化硫

残极炭块返回生阳极系统利用，其中所含的氟在阳极焙烧过程中进入焙烧炉烟气中。因此阳极焙烧炉烟气中含有一定量的氟化物。根据实测数据和我们掌握的资料，烟气中氟化物浓度约在 10~75.5mg/m³ 左右，虽然浓度值波动较大，但一般在 30 mg/m³ 以上，超过 GB9078-1996 的排放限值。对于氟化物浓度超过排放标准的阳极焙烧炉废气，必须采取氟化物净化措施。目前我国采用三种净化技术治理焙烧炉烟气。

氧化铝吸附干法净化技术(干法)可同时除去烟气中的氟化物、颗粒物和沥青烟，是欧、美等发达国家的推荐最佳实用技术(BAT)，发达国家多采用该净化方法。干法净化系统对氟化物的净化效率大于 95%，经处理后烟气含氟浓度可控

制 3 mg/m^3 内, 是净化效率最高的方法, 但烟气中沥青烟浓度过高时, 会对净化效率和返回氧化铝质量造成一定影响, 新型阳极焙烧炉降低沥青烟初始浓度, 可使这一问题得到解决。

湿法净化运行较为稳定, 在净化沥青烟和颗粒物的同时, 还可除去氟和二氧化硫, 但却将污染物由烟气转入废水, 必须设废水处理系统, 若废水处理系统管理不善, 将带来二次污染问题。湿法投资、运行费高于干法, 且管理更为复杂。

电捕法只对颗粒物和沥青烟有效, 对氟化物净化效果极低或者基本无净化效果。由于一些企业或管理部门只关注焙烧炉烟气中的沥青烟和颗粒物, 而忽略了对氟化物的治理或管理, 因此我国许多铝用炭素厂焙烧炉烟气采用的电捕法治理, 实际上造成了焙烧炉烟气中氟化物的超标排放。这是我们调查得到的阳极焙烧炉烟气排氟浓度数据非常少的原因之一。

新建阳极焙烧炉烟气应首先考虑采用干法净化技术, 必须采用其它治理方法时, 应采用保证烟气达标排放的措施。采用不能保证氟化物达标的电捕法的企业, 在过渡时间内, 应采用干法或湿法予以替代。

考虑到湿法除尘效率稍低于干法, 因此焙烧炉烟气排尘浓度均较电解槽有所放宽, 如新源颗粒物浓度限值为 30 mg/m^3 , 现有源由 100 mg/m^3 向 30 mg/m^3 过渡。氟化物浓度 3.0 mg/m^3 (新建和老厂改造后) 作为控制限值是可行的。

阳极焙烧燃料为天然气和重油等, 烟气中的二氧化硫的控制主要是通过控制燃料含硫量实现的, 若采用干法净化而烟气中二氧化硫浓度超标, 应采取燃料预脱硫措施, 或增加二氧化硫净化工序。

5.2.6 其它污染源沥青烟和苯并 a 芘浓度限值的确定

沥青熔化器产生的废气量很小, 但作为一个特定污染源将其单独列出。从目前和近年发展情况看, 沥青熔化器烟气均是采用电捕焦油器治理。从收集的 8 套资料看, 排放浓度范围 $1.3 \text{ mg/m}^3 \sim 5000 \text{ mg/m}^3$, 其中浓度小于 30 mg/m^3 的 3 套, $31.5 \sim 41.7 \text{ mg/m}^3$ 的 3 套, 67.8 mg/m^3 的 1 套, 5000 mg/m^3 的 1 套。在选择优质设备、严格管理的情况下, 长期运行的指标可控制在 30 mg/m^3 以下。因此我们将新污染排放浓度确定 30 mg/m^3 , 现有污染在 40 mg/m^3 (GB16297-1996, 新源, 二级) 基础上, 通过设备改造达到 30 mg/m^3 。

对配料和混捏成型产生的沥青烟和颗粒物混合废气, 可采用炭粉吸附、布袋除尘等措施进行处理。从在净化设备良好系统数据看, 沥青烟气浓度在 2.68

mg/m³~48.5 mg/m³之间，而且超过 20 mg/m³的仅一套。因此，现有企业满足 40 mg/m³ 的限值应是可能的，新建项目和现有企业改造后排放浓度控制在 20mg/m³ 以下是可行的。

结合我国《环境空气质量标准》中的控制项目，提出苯并 a 芘作为铝用炭素厂污染控制项目选项之一。根据调查资料(见表 16)和我们掌握的资料，苯并 a 芘排放浓度按沥青烟的 0.3%选取。

5.2.7 通风除尘系统排尘浓度限值

5.2.7.1 矿山通风除尘系统

返回调查表的 4 家矿山中,有 1 家没有除尘系统排放参数的数据,其它 3 家矿山的 17 套除尘系统全部采用布袋除尘器，颗粒物排放浓度见表 10。

表 17 矿山通风系统排尘浓度统计表

序号	浓度范围 mg/m ³	套数	备注
1	0.256~50	4	原新源标准 120 mg/m ³ 原现有源标准 150 mg/m ³
2	52.3~90	4	
3	192.2~745	2	

本标准确定矿山颗粒物浓度为 50mg/m³，对于采用布袋除尘矿山，在较好运行管理条件下，是可以达到的，在返回的 10 套除尘系统中，已有 4 套系统达标。

5.2.7.2 氧化铝厂通风除尘系统

氧化铝厂通风除尘系统除熟料中碎烟气温度较高外，其它系统基本处于常温状态下运行，物料系统颗粒物以矿石、碱、熟料、石灰和氧化铝粉尘为主，均可采用布袋除尘器除尘，但由于石灰、熟料尘等碱性很大，吸湿性强，因此除尘运行管理相对较难。矿山的颗粒物为铝土矿粉和石灰石矿粉，尾气均为常温气体，目前我国矿山废气也是采用布袋器除尘。氧化铝厂通风系统排尘浓度统计见表 18。

表 18 氧化铝厂通风系统排尘浓度统计表

序号	浓度范围 mg/m ³	套数	所占总数 (%)	累计比例 (%)	备注
1	21.85~27	3	8.1	8.1	原新源标准 120 mg/m ³ 原现有源标准 150 mg/m ³
2	31.9~50	10	27	35.1	
3	53.35~100	4	10.8	45.9	
4	101~124	6	16.2	62.2	
5	170.5~265.8	3	8.1	70.3	
6	305~1365	11	29.7	100	
	合计	37	100		

氧化铝厂 37 套除尘系统中,除尘效果相对要差,排尘浓度范围 21.85 mg/m³~1365 mg/m³, 超标(>300 mg/m³) 11 套, 占回收资料的 30%; ≤30 mg/m³ 仅 3 套, 仅占 8.1%; ≤50 mg/m³ 的 13 套, 占 35.1%。3 套浓度 21.85~27 mg/m³ 的除尘系统分别是物料输送和石灰烧制系统, 说明采用优质除尘设备, 控制颗粒物浓度小于 50 mg/m³, 甚至小于 30 mg/m³ 是可能的, 而除尘系统排尘浓度超标的主要原因, 与企业环保管理对除尘系统的重视程度不够有关。因而制订除尘系统颗粒物排放浓度限值时, 确定回收价值较高、危害较大的氧化铝粉尘为 30 mg/m³, 其它粉尘 50 mg/m³。

5.2.7.3 电解铝厂通风除尘系统

电解铝厂的氧化铝一般是采用管道化输送, 颗粒物产生源和除尘系统少且处理气量小, 独立的电解铝厂主要有氧化铝贮运和数量较小的氟化盐贮运除尘系统和阳极组装的电解质破碎、残极压脱等少量除尘系统(电解、炭素合一的电解铝厂也可能将残极处理设于炭素系统), 贮运系统粉尘排放量远小于电解槽烟气净化系统排尘量的 1%, 因此电解铝厂通风除尘系统排气量、排尘量通常不引起关注, 企业对厂内原料贮运除尘系统监测的资料较少, 所以回收的数据资料很少。本次调查仅返回 6 此套除尘系统的实测资料, 见表 19。从返回资料和我们掌握的资料分析, 原料除尘系统的初始含尘浓度较低, 而在浓度较高时, 除尘效率很高(最高达 99.9% 以上), 收集到的 6 套电解厂的氧化铝料仓及贮槽除尘系统(除尘设施很完善、运行状态好)的资料看, 排尘浓度最小的为 3 mg/m³, 最大的仅为 21.2 mg/m³。氧化铝粉尘排放浓度控制在 20 mg/m³ 是可能的, 因此确定电解铝厂原料贮运系统颗粒物排放浓度 20 mg/m³。

表 19 电解铝厂通风除尘系统

序号	污染源	排尘浓度 mg/m ³	备 注
1	190kA 预焙槽仓顶	3.0	原新源标准 120 mg/m ³ 原现有源标准 150 mg/m ³
2	75kA 预焙槽仓顶	3.1	
3	氧化铝贮运料仓上	3.4	
4	氧化铝贮运料仓下	11	
5	氧化铝贮运一期	13.9	
6	氧化铝贮运二期	21.2	

5.2.7.4 铝用炭素厂通风除尘系统

铝用炭素厂回收除尘系统资料 93 套, 颗粒物排放浓度统计见表 20。

表 20 铝用炭素厂通风系统排尘浓度统计表

序号	浓度范围 mg/m ³	套数	所占总数 (%)	累计比例 (%)	备注
1	0.4~8.49	24	25.8	25.8	原新源标准 120 mg/m ³ 原现有源标准 150 mg/m ³
2	10.4~18.24	13	14	39.8	
3	20.22~27.8	9	9.68	49.5	
4	30.5~40	12	12.9	62.4	
5	41~49	8	8.6	71	
6	51.8~80	19	20	91.4	
7	82.5~114	7	7.5	98.9	
8	364	1	1	100	
	合计	93	100		

浓度范围 0.4 mg/m³~364 mg/m³；浓度平均值为 38.5 mg/m³；中位值为 30.5 mg/m³，30%位值为 11.6 mg/m³；浓度小于等于 20mg/m³的样本数 37 个，占 39.8 %；小于等于 30 mg/m³的样本数 46 个，占 49.5%；小于等于 50 mg/m³的样本数 66 个，占 70.96%。

炭素厂颗粒物产生源多、污染也较重，而且沥青熔化和生阳极制造中的配料、混捏、振动成型等过程还产生沥青烟气。所采用的除尘设备通常以布袋除尘器为主，在保证过滤面积、选用国内优质设备和加强运行管理的情况下，排放颗粒物浓度低于 30 mg/m³是可以实现的。当然，颗粒物种类、废气初始含尘浓度和粉尘粒度等也是决定降尘效率和颗粒物排放浓度的一个重要因素：残极破碎粉尘粒度小、浓度大，一般情况下，排放粉尘浓度也难于控制在 30 mg/m³，在除尘系统较好的条件下，排放粉尘控制可控制在 50 mg/m³。因此确定排放其限值为 50 mg/m³。相应的生阳极系统粉尘粒度稍大，降尘效果更好，排放限值确定为 30 mg/m³。

5.2.8 单位产品污染物排放量及无组织排放的控制

由于电解槽集气效率的原因，控制电解铝单位产品排放量实际上是控制排污总量的主要手段，世界主要电解铝生产国也以此控制电解铝的大气污染。本标准因此提出了电解铝单位产品排氟量限值。我国 1985 年(当时我国最大槽型为 160kA)实施的《轻金属工业污染物排放标准》(GB4912—85)就已提出了预焙槽氟化物排放量 1kg/t-Al 的限值(当时考虑的电解槽氟产生量为 17kg/t-Al, 当集气效率 96.5%, 净化效率 98%即可达标)。

氟化物单位产品排放量包括净化系统排放和天窗排放两部分。由于电解槽集

气效率小于烟气净化系统的氟化物净化效率,电解槽排氟主要来自从槽散发至车间,再由车间天窗排入环境的无组织排放部分。天窗排氟量大于烟气净化系统,是决定电解铝厂氟化物排放量的主要因素。电解车间天窗换气量巨大,以电解槽烟气中氟化物(F^-)产生量 $20\sim 40\text{kg/t-Al}$ 计,只要电解槽集气效率达 $60\%\sim 80\%$,在无组织排放氟化物(F^-) 8.0 kg/t-Al 的条件下,电解车间天窗无组织排放的氟浓度也能实现 $\leq 6\text{ mg/m}^3$ 的排放标准,因此浓度对电解槽集气效率起不到任何控制的作用,也就难于控制排污总量。

目前国内外研究表明,由于载氟化铝的回收利用和电解槽的大型化,电解槽单位产品氟化物产生量比较小容量的电解槽有所增加,单位产品氟化物(F)产生量在 $20\sim 40\text{kg/t-Al}$ (欧盟 IPPC) 之间,一般情况下,可控制在 35 kg/t-Al 。

本标准规定的吨铝排氟量为电解车间天窗与烟气净化系统排放量之和。以 35kg/t-Al 散氟量计算,要满足排氟量 $< 0.95\text{kg/t-Al}$ 的标准,在净化效率 99.0% 的条件下,电解槽集气效率应达到约 98.3% 。因此,本标准虽未对电解槽集气效率提出具体要求,但通过对吨铝排氟量进行限制,实际上已达到控制电解槽集气效率的作用。

氧化铝厂的熟料烧成窑和氢氧化铝焙烧炉,炭素生产系统的阳极焙烧炉的单位产品大污染物排放量以该设备生产 1t 相应产品所能排出的烟气量与该设备某种污染物排放浓度限值的乘积为该种污染物单位产品排放量限值。如阳极焙烧炉生产 1t 预焙阳极块约排出烟气量(烟气原始产生量+净化排烟系统漏风量)约 $10000\text{m}^3\sim 12000\text{m}^3$,而焙烧炉烟气颗粒物排放浓度最高限值为 30mg/m^3 。阳极焙烧炉单位产品颗粒物排放量限值为:

$$\begin{aligned} 10000\text{m}^3\sim 12000\text{m}^3/\text{t-阳极} \times 30\text{ mg/m}^3 &= 300000\sim 360000\text{mg/t-阳极} \\ &= 0.30\sim 0.36\text{kg/t-阳极} \end{aligned}$$

按此法确定阳极焙烧炉颗粒物排放量限值为 0.33 kg/t-阳极 。

氧化铝厂熟料烧成窑和氢氧化铝焙烧炉的污染物排放量按此法计算,分别为生产 1t 熟料(熟料窑)或 1t 氧化铝(氢氧化铝炉)排放的烟气量与其污染物排放浓度限值的乘积。

5.2.9 排气筒最低高度的要求

为增加排气筒的扩散能力,减少与无组织排放源的交叉污染(如高度在 20 m 左右的电解车间天窗与烟气净化系统烟囱)和排气筒对无组织排放监控点的高浓

度污染，对排气筒最低高度进行限制。

氧化铝厂熟料烧成窑烟囱是一台窑烟气配置一座烟囱，高度一般在 70 到 90m，而本标准最低高度限值（60m）低于目前各氧化铝厂熟料烧成窑烟囱的高度，与排放浓度由原来的 $200\text{mg}/\text{m}^3$ 至 $300\text{mg}/\text{m}^3$ 降到 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 是衔接的。标准中没有提出多台窑集中配置一座烟囱的要求，但新建项目应考虑尽量减少烟囱数量。

新建铝工业企业通风除尘系统排气筒高度应高于其所依附的建筑物 3m 以上，以防止烟气对车间环境的污染。

5.2.10 控制大气污染物排放的要求

电解铝厂的原料氧化铝、氟化盐等均贮存于封闭的贮仓或贮库内，因此物料贮运系统颗粒物污染相对较轻。而氧化铝厂原矿堆场、均化场一般是露天堆场，由于卸料、堆取料和料堆（有风天气）产生大量无组织排放扬尘，对厂区和周围环境影响很大，是氧化铝厂周围环境空气 TSP 超标的原因之一。近年部分氧化铝厂已采用封闭或半封闭料仓，对抑制扬尘起了很大作用，是控制 TSP 污染的重要措施。同样，铝用炭素厂的石油焦、固体沥青也应设贮仓或专用封闭库房，以减少扬尘。干性物料输送皮带也是氧化铝厂、铝用炭素厂的重要颗粒物产生源，对颗粒状、粉状物料输送皮带进行封闭是控制厂区及周围地区环境污染的有效措施。对无组织排放源、温室气体和事故排放等难于制定量化标准进行控制，为确实有效地控制铝企业的大气污染，在保证有组织排放源达标的同时，在项目设计、施工和运行管理中，均应重视并采取降低大气污染物排放（包括事故排放）的具体措施。新建项目应实施以下措施：

一、可能产生颗粒物和有害气体的设备或场所，设降尘或废气控制措施。

二、干性物料装卸场所设置喷水抑尘或其它有效的集尘、降尘措施，并保证在物料装卸等过程中的正常运行。

三、氧化铝厂设封闭或半封闭原料库、原料均化库，并采取相应的抑尘措施。铝矿、石灰石矿、原料煤等，均不得露天堆放。

四、铝用炭素厂的石油焦、固体沥青，电解铝厂的氧化铝等原料，贮存于贮仓或专用封闭库房内。

五、所有干性物料输送皮带进行封闭，物料转运点进行集尘和除尘。

六、电解槽、阳（阴）极焙烧炉烟气净化系统出现事故，造成超标排放时，立即组织对净化系统的检修，恢复系统正常运行。因此，除常备足够布袋除尘器

滤袋材料外，主排烟机的电动机、风机轴承等有备用件。其它烟气或废气净化系统出现事故，造成超标排放时，立即采取措施，停止生产设备运行，在净化系统恢复正常的条件下才能重新启动生产设备。

七、电解铝厂应通过控制电解槽阳极效应系数和降低阳极效应持续时间，减少全氟化碳(PFCs)温室气体的排放。

5.3 关于排水量及排放浓度

5.3.1 排放量的确定原则

本标准废水排放系数包括生产废水和厂区生活污水两部分。需说明的是，本标准制定的单位产品排水限值，是铝企业一年中任何一日的排水量均不能超过的值，它包括了当月可能出现的非正常排放情况。对于全年的单位产品排水量，各省、自治区、直辖市人民政府可依据当地情况提出更严格的要求。为尽可能节约水资源，要求企业尽可能减少新水用量和废水排放量，本标准规定的单位产品排水量和水污染物排放浓度一样，均是强制执行的，不得因排水浓度低而相应增加废水排放量。

5.3.1.1 氧化铝厂

对于新建氧化铝厂，其要求是生产废碱水不能排放，事故产生的废水和初期雨水，应设事故水池贮存回收。循环水系统排污水尽可能回收利用。考虑热电系统用、排水往往与氧化铝交叉(如水的串级使用、共用冷却系统等)，难以明确区分用排水量，因此本标准排水量包括氧化铝系统和热电系统两部分，氧化铝厂的自备热电系统不能再另计算排水量。同样，配有煤气生产系统的氧化铝厂也不能另增排水量。从我国几大氧化铝厂情况看，许多厂如中铝公司贵州、山东、广西等分公司已实现生产废水零排放。氧化铝厂排水以生活污水为主，生产废基本实现零排放。

从回收资料看，我国中铝公司 6 大氧化铝厂仅一厂排水超过 $2 \text{ m}^3/\text{t-Al}_2\text{O}_3$ ，其它 5 大厂排水量均满足本标准，排水量小于 $0.5 \text{ m}^3/\text{t-Al}_2\text{O}_3$ 。本标准要求现有企业排水量 $\leq 2 \text{ m}^3/\text{t-Al}_2\text{O}_3$ ，新建企业排水量 $\leq 1.0 \text{ m}^3/\text{t-Al}_2\text{O}_3$ 的限值是完全可以实现的。要求尚未达标的企业，在近年内对厂内用排水系统进行改造，将排水量控制在排放标准内。新建铝厂应减少工业废水排放量，尽可能向工业废水零排放靠拢。

鉴于我国部分氧化铝厂已实现生产区污(废)水零排放,因此对于建于水环境敏感地区的氧化铝厂,要求其厂区污水不得外排,进行处理后回用。对于事故状态下可能排出的废水,应设事故贮水池进行收集,同样需处理后回用。

5.3.1.2 电解铝及炭素厂

电解铝厂生产用水不进入流程,外排废水主要是冷却循环水排水。考虑到目前老企业排水系统很难再完全理顺,现有企业排水量相对新建企业宽松。对新建厂要求设备冷却水(含烟气净化风机冷却水等)采用循环水,严格控制生产废水外排。

从本次回收资料看,独立电解铝厂排放系数在 $0.76\sim 8.97\text{m}^3/\text{t-Al}$ 之间(其中两个厂包括炭素生产系统),与氧化铝厂合建的电解铝厂排放系数为 $0\sim 11.583\text{m}^3/\text{t-Al}$ 。排水系数中位值 $3.25\text{m}^3/\text{t-Al}$,平均值为 $4.14\text{m}^3/\text{t-Al}$ 。本标准要求现有企业在经2年的节水改造后,应达到严于平均值的要求。因电解铝及炭素生产废水主要是设备冷却排水和生产污水等,新建项目和现有项目只能通过提高循环水利用率等措施节约新水、减少排水。鉴于老厂供水系统改造较困难、有的厂规模相对较小,因此排水指标相对大于新建厂。严格新建厂排水量,也是提高新建企业生产规模的措施之一。

铝用炭素厂情况与电解厂基本相似。以新建一个30万t/a的电解铝,配套18万t/a炭素的电解铝厂为例(阳极和电解铝分别为单位产品排水1.5或 2.0m^3),在严格用水设计和管理的条件下,日排水量控制在 2200m^3 左右是可以做到的。当然,小型企业排水量满足本标准是较为困难的,如一个5万吨电解铝厂,排水量限值为 $205\text{m}^3/\text{d}$,是不容易实现的。因此,对外排水量提出限值,一方面是节能减排的需要,同时也是提高行业集中度程度的要求。

对于建于水环境敏感地区的电解铝厂和炭素厂,要求其厂区生产废水尽可能循环利用和串联利用不外排,可能外排的少量废水污染物排放浓度及外排水量也相应的较其它地区更加严格。

5.3.2 废水排放量统计方法

单位产品废水排放量指:由厂区排出的,生产1个单位的产品而排入环境(包括用于农灌)的水量。排入厂内污水处理厂处理后返回厂内重复利用的水,不计入排水量中。

多种产品的综合生产厂,各分厂之间有用、排水串联使用而废水由同一外排

口排放的，可于总排水口设置监测点，其排水量为各产品排水量之和。如某企业，日氧化铝产量 2740 t，电解铝产量 548t, 当日最高允许总排水量为：

$$2740\text{t/d} \times 0.5\text{m}^3/\text{t} + 548\text{t/d} \times 1.5\text{m}^3/\text{t} = 2192\text{ m}^3/\text{d}。$$

选矿或洗矿厂排水量指标为生产 1 吨成品矿所排出的生产废水和厂区生活污水量，不包括尾矿排水量(尾矿排水应尽可能回收利用)，也不考虑原矿量。如某选矿厂原矿量 2740t/d，生产合格铝土矿 1370t/d，该日排水量最高限值为：

$$1370\text{t/d} \times 0.2\text{ m}^3/\text{t} = 274\text{ m}^3/\text{d}。$$

5.3.3 废水排放浓度限值

氧化铝厂产生含碱废水，电解铝厂和铝用炭素厂没有特征污染物，因此废水排放浓度限值是结合铝厂废水排放浓度调查结果，在现行标准的基础上采用更加严格的浓度限制。

目前国内铝厂，尤其是大部分氧化铝厂排水以生活污水为主，工业废水在正常生产状态下可实现零排放，因此将氨氮、总氮、总磷列为控制项目，其排放浓度限值基本上是参考现行的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)，环境敏感地区参考该标准中最严格的(引入稀释能力较小的河湖作为城镇景观用水和一般回用水)一级 A 标准，其它地区参考一级 B 标准。

当然，在保证污水达标排放的同时，为防止污水管道泄漏造成的污染，厂区废水管理应实施“清污分流”，对废水管网进行防腐、防渗漏处理。新建铝企业生产废水和厂区生活污水分流处理，并分别满足排放浓度限值。

7 关于污染源监测的说明

氧化铝厂熟料烧成窑、氢氧化铝焙烧炉，电解铝厂的电解槽，铝用炭素厂煅烧窑和炭素焙烧炉是主要大气污染源。目前的连续监测技术可以完成对以上污染物浓度的监测，要求新建企业排气筒安装污染物排放自动监控设备，并与监控中心联网，是为了较好地对企业污染物排放进行监控，有效掌握和控制污染物排放情况。

我国污染源监测相关规范正逐步完善，如已颁布的有：《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》GB/T 16157，《大气污染物无组织排放监测技术导则》HJ/T 55，《固定污染源排放烟气连续监测系统技术要求及检测方法》HJ/T 76，《地表水和污水监测技术规范》HJ/T 91，《建设项目竣工环境保护验收

技术规范《电解铝》HJ/T 254,在对企业污染物排放情况进行监督性监测和环境保护竣工验收监测时,其采样频次、采样时间和采样位置等应遵照执行。对于尚未颁布具体规范或标准的,其采样频次应能正确反映系统运行及污染物排放情况。

8 铝工业排放标准分析及对比

8.1 关于 BaP 排放限值较原标准放宽的说明

BaP 是沥青烟组分之一。原《工业炉窑大气污染物排放标准》未对 BaP 排放进行控制。《大气污染物综合排放标准》的 BaP 排放浓度限值分别为现有污染源(1997 年 1 月 1 日前设立的) $0.5 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$,新污染源(1997 年 1 月 1 日后设立的) $0.3 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$,无组织排放监控点 $0.008 \mu\text{g/m}^3$,该浓度甚至低于环境空气质量标准(GB3095-1996) $0.01 \mu\text{g/m}^3$ 的要求。对于铝行业大气污染源,目前尚没有单独去除沥青烟气中 BaP 的方法,对 BaP 的控制是通过降低沥青烟浓度实现的,因此,BaP 的排放决定于沥青烟浓度和其在沥青烟中的含量。

由于沥青烟组份变化较大,BaP 在沥青烟中的所占比例波动也较大。《大气污染物排放标准详解》(国家环境保护局科技标准司,1997 年 10 月)中,煤焦油沥青烟气中 BaP 含量占 $1.5\% \sim 1.8\%$ 。据此比例,要达到的《大气污染物综合排放标准》中 $0.3 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ 的 BaP 排放浓度限值,沥青烟浓度就须控制在 0.02mg/m^3 以下,而这一要求在目前的治理技术条件下是不能达到的。可见这一要求不适用于使用煤焦油沥青的铝用炭素厂。根据调查结果,烟气中 BaP 与沥青烟比例在 $0.0003\% \sim 0.354\%$,这与我们以往掌握的资料是基本一致的。本标准结合我们掌握的资料和回收资料的统计结果,在相应沥青烟排放限值基础上,按 BaP 含量 0.3% 的比例确定 BaP 排放限值,若沥青烟中 BaP 含量较高,浓度超过排放限值,应通过进一步降低沥青烟浓度而将 BaP 浓度控制在排放限值内。

原标准限值($0.3 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$)明显过低,沥青烟和 BaP 排放浓度限值与其含量不成比例,按 0.3% 比例计算,若要控制 BaP 浓度小于 0.0003mg/m^3 ,这就要求沥青烟浓度小于 0.1mg/m^3 (若按 $1.5 \sim 1.8\%$ 含量计算,BaP 浓度 0.0003mg/m^3 时,沥青烟浓度应小于 0.02mg/m^3),在目前的技术条件和经济条件下是不现实的。因此,我国炭素厂在建设项目环评和环保运行管理中已基本不再执行 BaP 的限值要求,炭素厂很少对 BaP 进行监测,这也是我们收集到的 BaP 数据少的原

因之一。实际上，难以实施的标准限值已失去了对炭素厂 BaP 排放的控制作用。

新建项目应采用新型环式焙烧炉，降低烟气中沥青烟初始含量并提高净化系统效率，从而有效控制废气中的污染物排放浓度。为此，结合炭素厂的实际情况和 BaP 在沥青烟中的比例，本标准 BaP 限值较原标准放宽至通过采取严格的环保治理措施而可能实现的目标，以保证本标准具有可操作性。

8.2 与替代标准的对比

铝工业采用的原标准有《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)，《工业炉窑大气污染物排放标准》(GB9078-1996)，《污水综合排放标准》(GB8978-1996)和《危险废物鉴别标准》(GB5085.1~.3-1996)等，本标准与原标准对照见表 21~表 26。

表 21 粉尘排放浓度限值比较表 单位：mg/m³

污染源		原标准(二级)*		本标准	
		现有项目	新建项目	现有项目	新建项目
矿山		150	120	120	50
氧化铝厂	熟料烧成窑	300	200	200	100
	氢氧化铝焙烧炉	300	200	100	50
	石灰炉	300	200	100	50
	原料加工、运输	150	120	120	50
	氧化铝贮、运	150	120	100	30
	其它	150	120	120	50
电解铝厂	电解烟气净化	200	100	30	20
	氧化铝输送	150	120	50	30
	电解质破碎	150	120	100	50
	其它	150	120	100	50
铝用炭素厂	阳极焙烧炉	300	200	100	30
	煅烧炉	300	200	200	100
	生阳极制备	150	120	120	30
	阳极组装	150	120	120	50
	其它	150	200	120	50

*原标准现有项目为 1997 年 1 月前建设的项目

表 22 SO₂排放浓度限值比较表 单位：mg/m³

污染源		原标准(二级)		本标准	
		现有项目	新建项目	现有项目	新建项目
氧化铝厂	熟料烧成窑	1430	850	850	400
	氢氧化铝焙烧炉	1430	850	850	400
	石灰炉	1430	850	850	400
	其它	1430	850	850	400

电解铝厂	电解烟气净化	1430	850	150	150
	其它	1430	850	850	400
铝用炭素厂	焙烧炉	1430	850	850	400
	煅烧炉	1430	850	850	400
	其它	1430	850	850	400

表 23 氟化物排放浓度比较表 单位: mg/m^3

污染源	原标准(二级)		本标准	
	现有项目	新建项目	现有项目	新建项目
电解烟气净化	15	6	4.0	3.0
阳极焙烧炉	15	6	6.0	3.0

表 24 沥青烟排放浓度比较表 单位: mg/m^3

铝用炭素厂污染源	原标准(二级)		本标准	
	现有项目	新建项目	现有项目	新建项目
阳极焙烧炉	80	50	40	20
阴极焙烧炉	80	50	50	30
沥青融化	80	40	40	30
配料成型	80	40	40	20

表 25 BaP 排放浓度比较表 单位 mg/m^3

铝用炭素厂污染源	原标准(二级)		本标准	
	现有项目	新建项目	现有项目	新建项目
阳极焙烧炉	—	—	0.12	0.06
阴极焙烧炉	—	—	0.15	0.09
沥青融化	0.0005	0.0003	0.12	0.09
配料成型	0.0005	0.0003	0.12	0.06

表 26 水污染物最高允许排放浓度比较 除 pH 外: mg/L

序号	项目	原标准		本标准	
		一级	二级	排放浓度限值	先进控制技术限值
1	悬浮物(SS)	70	150	≤ 50	≤ 10
2	氟化物	10	10	≤ 5	≤ 5
3	石油类	5	10	≤ 5	≤ 2
4	pH	6~9	6~9	6~9	6~9
5	化学需氧量(COD_{Cr})	100	150	≤ 50	≤ 50
6	氨氮(以 N 计)	15	25	≤ 8	≤ 5
7	总磷(以 P 计)	—	—	≤ 1	≤ 0.5

8	总氮(以 N 计)	—	—	≤20	≤15
9	总氰化合物*	0.5	0.5	≤0.5	≤0.5
10	硫化物*	1.0	1.0	≤0.5	≤0.5
11	挥发酚*	0.5	0.5	≤0.5	≤0.5

表 21～表 26 的对照结果表明，本标准大气污染物排放明显严格于 GB16297-1996 和 GB9078-1996，粉尘排放浓度限值降低至原标准的 15%～50%。排尘浓度限值变化最大的是电解槽烟气净化系统（由 100 mg/m³ 降至 15～20 mg/m³）和阳极焙烧炉烟气净化系统（由 200 mg/m³ 降至 20～30 mg/m³）。

废水污染物排放浓度限值变化较大的是石油类、COD 和 SS。本标准排放浓度限值为原执行标准的 50%左右。其它各污染物变化较小。

本标准较原标准的进步，将适应铝工业生产技术和环保要求的发展，同时也符合铝工业污染源特点。

8.3 标准的回顾性分析

我国曾发布的对铝工业具有针对性的污染物排放标准是 1985 年 1 月 18 日由国家环保局发布的《轻金属工业污染物排放标准》(GB4912-85，1985 年 08 月 01 日实施)，该标准与本标准(一般地区)排放限值对照见表 27。

GB4912-85 依据当时 160kA 预焙槽氟化物产生量(设计值小于 20kg/t-Al，通常在 17 kg/t-Al 左右)和干法净化技术，提出了预焙槽排氟 1kg/t-Al、净化系统粉尘排放浓度 30mg/m³ 的要求。目前，电解槽型已向 300kA 容量以上发展，在有效降低电耗和占地的同时，随着电解槽容量加大，电解槽的单位产品氟化物产生量可增加到 30kg/t-Al 以上，甚至更高（如欧州 2001 年 IPPC 提出不同槽氟化物产生量为 20～40kg/t-Al）。考虑到目前仍采用的干法净化技术和吨铝产氟量加大的情况及除尘技术的进步，提出铝电解烟气净化系统排尘浓度由 30mg/m³ 向 15mg/m³ 过渡，排氟量由原 1.0kg/t-Al 降低到 0.97kg/t-Al（加上炭素生产，可控制在 1kg/t-Al 内）。

表 27 本标准与《轻金属工业污染物排放标准》大气污染物排放对照表

设备及标准		粉尘浓度	氟化物	沥青烟	二氧化硫
预 焙 电 解 槽	本标准	20 mg/m ³ 2.3 kg/t-Al	3.0 mg/m ³ 0.9kg/t-Al	—	150 mg/m ³
	轻金属工业污染物 排放标准	30 mg/m ³ —	— 1kg/t-Al	—	—

阳极焙烧炉	本标准	30 mg/m ³ 0.35kg/t-C	3.0 mg/m ³ 0.05kg/t-C	20 mg/m ³ 0.25kg/t-C	400 mg/m ³
	轻金属工业污染物排放标准	—	—	50 mg/m ³ —	—
熟料烧成窑	本标准	100 mg/m ³ 0.5 kg/t-熟料	—	—	400 mg/m ³
	轻金属工业污染物排放标准	150 mg/m ³ —	—	—	—
氢氧化铝焙烧	本标准	50 mg/m ³ 0.12 kg/t-AO	—	—	400 mg/m ³
	轻金属工业污染物排放标准	300 mg/m ³ —	—	—	—
物料加工	本标准	30~50mg/m ³	—	20~30mg/m ³	—
	轻金属工业污染物排放标准	150 mg/m ³	—	—	—

由八十年代至今,我国氢氧化铝焙烧技术已基本完成了回转窑焙烧向气态悬浮焙烧的转化,治理设施也由卧式电除尘取代了当时普遍采用的立式电除尘器。因此,粉尘排放控制水平提高很大。熟料烧成技术基本没有变化,但治理设施也由卧式电除尘取代了立式电除尘器,控制水平也有所提高。

8.4 与国外标准的对比

部分国家或组织电解铝厂大气污染物排放量见表 28。

表 28 部分国家或组织电解铝厂废气排放标准

国家或组织 控制项目		美国 2004 (新建厂)	德国 2002 (气氟)	欧盟 2001	加拿大 魁北克	世行 1997
氟化物	排放量 kg/t-Al	0.6(0.8)	0.6	0.4~1.0	0.95+0.1	0.3~0.6
	排气筒浓度 mg/m ³	—	1.0		—	2.0
粉尘	排气筒排放浓度 mg/m ³	—	10	~5	—	30
有机污染物		POMs: 0.025 kg/t-阳极	—	—	—	VOC: 20 mg/m ³

本标准规定电解槽烟气污染排放量分别为氟化物 0.909kg/t-Al, 排放浓度 3 mg/m³; 粉尘排放 20 mg/m³, 基本在以上标准范围内。

9 污染控制指标的经济可行性及环境效益分析

9.1 污染控制指标的经济可行性分析

9.1.1 氧化铝厂成本与效益分析

氧化铝厂排污控制设施投资由赤泥堆场、熟料烧成窑、氢氧化铝焙烧炉烟气净化、物料输送除尘和废水处理投资等组成。

9.1.1.1 烟气净化成本—效益分析

(1) 熟料烧成窑烟气

根据统计结果和近年收集资料, 每台熟料烧成窑电除尘设施投资在 500~950 万元左右, 运行费用约 20 万元/年, 运行成本约 70~80 万元/年, 年回收熟料尘约 1.0~1.2 万吨左右。对新建厂, 回收熟料价值可平衡甚至超过成本。但对现有厂, 由于控制要求提高, 需出资对现有收尘系统改造, 若颗粒物排放浓度由 $300\text{mg}/\text{m}^3$ 降到 $100\text{mg}/\text{m}^3$, 以烟气量 $100000\text{ m}^3/\text{h}$, 年运行 6000 小时计算, 每年多回收熟料粉尘 120 吨, 价值约 12 万元, 以设备投资 600 万元估算, 年增加成本约 40 万元, 每吨氧化铝增加成本约 2.8 元 (一条熟料窑对应氧化铝产量 10 万 t/a), 约为氧化铝成本的 2%, 不足市场价格的 1%, 不会对企业经济效益造成明显影响。

(2) 氢氧化铝焙烧炉烟气

氢氧化铝焙烧炉同样采用电除尘器治理, 由于回收氧化铝实际上就是产品, 价值很高, 实际上焙烧炉配备的电除尘器也是生产设备之一。新建项目所支出费用因回收的物料价值明显高于支出, 如一台 $1850\text{t}/\text{d}$ 的氢氧化铝焙烧炉, 以回收氧化铝 $1.4925\text{t}/\text{h}$, 年回收氧化铝约 1.1 万吨, 效益超过 4000 万元。

老设施除尘改造以一台 600 万元计, 年增加成本约 40 万元, 若目前排尘浓度 $150\text{mg}/\text{Nm}^3$, 改造后为 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$, 回收氧化铝约 $110\text{t}/\text{a}$, 价值约 44 万元, 在平衡支出的基础上获得相应的经济效益。

9.1.1.2 污水处理站

现有氧化铝厂均设有污水处理站, 生产废水甚至包括部分生活污水经处理后返回生产系统利用。在污水处理厂正常运行条件下, 外排的废水水质和水量可满足本标准的要求。但少数厂水质和水量超过本标准, 应需安排适当资金完善处理系统, 同时设置用水计量设施, 严格控制用水。若吨氧化铝减少 5 吨用、排水, 节约资金超过 2 元/ $\text{t}-\text{Al}_2\text{O}_3$, 年产氧化铝 140 万吨计算, 年收益在 300 万元以上。因此, 该部分投入可在近年内得到补偿, 基本不会增加生产成本。

同理, 新建设项目废水处理和回收可基本平衡。

9.1.2 电解烟气净化系统成本—效益分析

电解铝排污控制设施投资主要是电解烟气净化系统和电解槽大修渣场建设资金, 而原料输送除尘和废水处理投资等仅占项目投资的 0.1% 以下 (运行费用也很低), 不会对企业效益造成影响。

本次调查统计了 41 套电解净化系统投资 (其中 32 套有运行费用), 统计结果见表 29。

表 29 电解槽烟气净化投资及运行成本统计 单位: 元/t-Al

项目	净化系统投资	运行成本	收益	综合效益
范围	213~518	50~149	37.5~100	-50~+9
平均	405.9	85.2	70	-15.2

电解烟气净化系统运行费用基本由如下几部分组成:

- ① 电耗: 主要是风机运行用电量, 一般为: 200~300 kWh/t -Al。
- ② 水耗: 风机运行冷却水用水量, 一般为: 0.1~0.3m³/t-Al。
- ③ 滤料消耗: 布袋使用寿命一般为 2~4 年, 消耗量约为: 0.1~0.3m²/t-Al。
- ④ 压缩空气消耗: 反吹风除尘器为 0.1~0.3m³/t-Al, 脉冲除尘器为 10~15m³/t-Al。
- ⑤ 其它: 如设备折旧费、设施折旧费、修理费、工资福利费、财务费用、管理费等。

净化系统回收的氧化铝及氟化盐约 20~40kg/t-Al, 系统效益 50~100 元/t-Al。因此, 在较好的运行管理条件下, 电解烟气净化系统基本上可做到收支平衡。如中铝贵州分公司单位产品运行成本约 50 元/t-Al, 在系统收益范围内, 烟气净化不增加电解铝生产成本。

随着电解铝厂规模和设备的大型化, 电解烟气净化系统投资和运行费用也相应降低。如电解铝项目总投资约 10000~13000 元/t-Al, 而净化系统投资在 300~440 元/t-Al 之间, 占项目总投资的 3~3.5%。如某铝厂 20 万吨/年电解铝项目 (200kA 预焙槽 258 台, 3 套净化系统), 净化系统投资 6638 万元/t-Al, 占总投资的 3.1% 左右。

目前我国电解铝厂采用的烟气干法净化技术已是国际先进技术, 完全能够实现本标准的控制目标, 因此本标准实施不会明显增加电解槽烟气的治理费用。如

中铝贵州分公司 6 套净化系统氟化物及颗粒物排放浓度分别为 $1\sim 1.74\text{ mg/m}^3$ 和 $1.9\sim 13.3\text{ mg/m}^3$, 均满足本标准。但少数现有排放不达标的铝厂需投入相应资金, 对治理设施进行维修和设备改造, 如电解槽密闭的加强, 布袋的及时更换等, 以控制单位产品排放量, 实现达标排放。

9.1.3 铝用炭素厂

铝用炭素厂排污控制设施投资主要由焙烧炉烟气净化系统、煅烧烟气控制及其它通风除尘设施投资组成。

(1) 焙烧炉烟气治理成本—效益分析

一台年产 $5\sim 7$ 万吨的阳极焙烧炉, 采用电捕法治理烟气, 净化的系统投资在 $450\sim 650$ 万元之间, 为项目投资的 $1\sim 2\%$, 与采用干法净化的投资基本相当。因此, 新建铝用炭素厂采用干法系统, 基本不会对项目总投资造成影响。但对现采用电除尘器净化, 污染物排放超标准的阳极焙烧炉, 约需投入相应的资金对系统进行改造, 如年产 $5\sim 7$ 万阳极焙烧炉, 改造资金约需 400 万元左右。

电捕法净化系统运行成本在 $15\sim 30\text{ 元/t-C}$ 左右, 为生产成本的 $0.7\sim 1.3\%$ (阳极生产成本按 $2000\sim 2300\text{ 元/t-C}$ 估算)。

但干法净化运行费主要由以下几部分组成:

- ① 电耗: 主要是风机运行用电, 一般为: $50\sim 70\text{ kWh/t-C}$ 。
- ② 水耗: 主要是风机运行的冷却水的用水量, 一般为: $0.5\sim 1.0\text{ m}^3/\text{t-C}$ 。
- ③ 滤料消耗: 布袋使用寿命一般为 $2\sim 4$ 年, 消耗量为: $0.01\sim 0.03\text{ m}^2/\text{t-C}$ 。
- ④ 压缩空气消耗: 反吹风除尘器为 $90\sim 120\text{ m}^3/\text{t-C}$, 脉冲除尘器为 $120\sim 150\text{ m}^3/\text{t-C}$ 。
- ⑤ 其它: 如设备折旧费、设施折旧费、修理费、工资福利费、财务费用、管理费等。

由于布袋阻力大, 造成系统电耗高, 因此焙烧炉烟气干法系统运行成本在 $22\sim 40\text{ 元/t-C}$, 为电捕法的 1.5 倍左右。焙烧烟气净化费用为纯支出, 约占生产成本的 $1\sim 2\%$ 左右, 应是生产运行中能够承受的。

(2) 其它废气控制系统

铝用炭素生产的破碎、筛分及物料贮运工序扬尘点较多且分散, 而且沥青熔化、混捏、成型有沥青烟产生。因此通风除尘、烟气净化在炭素厂污染控制中占有很重的分量。

目前石油焦煅烧炉烟气多采用多管旋风或水膜除尘进行处理, 沥青熔化用电捕焦油器, 其它通风除尘系统采用布袋除尘器。一套 6~8 万吨的阳极生产线, 煅烧炉和其它除尘、烟气净化系统投资一般小于 1000 万元, 运行费小于 100 万元/年, 成本约 22 元/t-C, 占总成本的 1% 左右。由于回收的炭素粉尘可在较大程度平衡治理设施的支出, 实际上环保治理的支出要远小于阳极生产成本的 1%。

新标准的实施, 严格了污染物排放, 对现有除尘设施不能满足本标准要求的企 业, 需投入一定的资金对除尘、净化设施进行更新。原采用高效布袋除尘器和电捕焦油器的净化系统, 投入少量资金对系统进行改造、维护和加强运行管理, 污染物排放可满足要求。对现采用旋风除尘器的煅烧炉(窑), 需改用湿式或更加高效的除尘设施, 估计资金投入在 50 万元以下。

对于新建项目, 新标准的实施所需治理资金投入并不会与执行原标准有太大的变化。当然, 选择合格环保产品是十分必要的, 相应的环保设施投资也需有所提高, 但变化幅度不会太大。

9.2 环境效益分析

严格污染物排放标准的主要目的是控制污染物排放, 减少环境污染。铝行业环境污染主要是大气污染, 因此, 结合目前铝行业执行的大气污染物排放标准控制指标、目前主要排污水平和本标准控制指标对本标准实施铝行业污染物削减效果进行预测。近年, 我国铝工业发展不平稳, 投资过猛、生产能力过大, 已超过市场需求, 对 2008~2010 年产量难于作出预测, 目前我国氧化铝产能已超过 2000 万 t/a(2007 年上半年氧化铝产量 942 万 t/a)。预测 2007 年电解铝产量可达 1200 万 t/a, 以氧化铝产量 2000 万 t/a、电解铝产量 1200 万 t/a 此作为 2010 年产量进行保守预测, 结果见表 30 和图 14。

依据我国铝工业污染源达标排放和 2010 年估计产量, 执行新标准与继续执行老标准相比, 在达标排放的条件下 2010 年铝行业将减少粉尘排放 8.57 万 t/a, 减少 SO₂排放量 2.13 万 t/a, 减少氟化物排放量 0.396 万 t/a。2010 年在氧化铝产量较 2005 年增加 132%, 电解铝产量增加 53.8%的条件下, 大气污染放量均有不同程度的削减: 粉尘排放量削减 1.3 万 t/a, 氟化物削减 1240 t/a, 主要污染排放量较 2005 年削减 10%以上, SO₂不增加并稍有下降(削减 880t/a)。本标准的实施, 将起到发展经济和控制污染的积极作用。

表 30 铝行业大气污染物排放量削减预测表 单位: t/a

项目	粉尘		SO ₂		氟化物(F)	
	执行现行标准	执行本标准	执行现行标准	执行本标准	执行现行标准	执行本标准
2005 年估算排放量	77850		38994		12040	
2010 年预测排放量	150528	64822	59394	38114	16607	10800
新旧标准预测排放量变化(2010 年)	-85706		-21280		-5807	
较 2005 年变化量	-13028		-880		-1240	

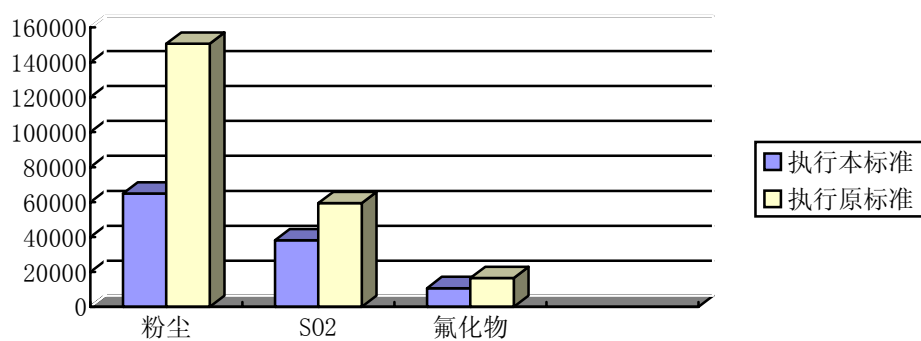


图 14 执行新、旧标准大气污染物排放对照（预测 2010 年）