

附件四：

镍和钴冶炼污染防治最佳可行技术指南（试行）
（征求意见稿）

编制说明

环 境 保 护 部

二〇一一年八月

目 录

1 任务来源	2
2 指南编制的必要性和意义	2
3 指南编制的原则、方法和技术依据	3
3.1 编制原则	3
3.2 编制依据	3
3.3 技术路线	4
4 主要工作过程	5
4.1 资料查阅和调研	5
4.2 完成指南初稿	6
4.3 完成指南征求意见稿	6
5 国内外相关环境技术管理体系研究概况	6
6 镍、钴冶炼行业技术现状调研情况	6
6.1 镍冶炼生产工艺	6
6.2 钴冶炼生产工艺	9
6.3 污染治理技术	10
7 最佳可行技术的确定原则和评估、筛选方法	14
7.1 BAT技术的确定原则	15
7.2 BAT技术的筛选方法	15
8 主要技术内容及说明	15
8.1 主要污染源及特征污染物	16
8.2 主要生产工艺及污染预防技术	18
8.3 污染治理备选技术及最佳可行技术	19
9. 实施建议	21

1 任务来源

为贯彻落实《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》和原国家环保总局《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，国家环境保护部决定建立以污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术（BAT）指南、环境工程技术规范以及相应的环境技术评价制度和示范与推广机制为主要内容的国家环境技术管理体系，并通过《“十一五”国家环境技术管理体系建设规划》，建立健全 37 个工业行业以及城镇生活、农村污染防治等共 45 个方面的配套的技术管理体系，运用技术手段对污染防治的全过程进行管理，为节能减排目标的实现和环境管理的各环节提供强有力的技术支撑。

为保证“十一五”节能减排目标的实现，更好地进行污染防治和保护环境提供技术支撑，国家环境保护部委托中国恩菲工程技术有限公司和中冶建筑研究总院有限公司共同编制《镍冶炼污染防治最佳可行技术指南》和《钴冶炼污染防治最佳可行技术指南》。

2 指南编制的必要性和意义

有色冶金工业是资源、能源密集型产业，其特点是产业规模较大、生产工艺流程复杂，根据矿种的不同衍生出多条工艺路线。以火法炼铜为例，从矿石开采到产品的最终加工，需要经过采选、熔炼、吹炼、精炼、电解精炼等很多生产工序，其中的一些主体工序资源、能源消耗量都很大，污染物排放量也相当可观。有色行业是污染物排放的大户，也是“十一五”节能减排的重点行业之一。

近年来，随着经济的高速增长，我国有色金属工业进入了高速发展阶段。2005 年铜、镍、钴工业烟尘排放量约 1.5 万吨/年；工业粉尘排放量约 2 万吨/年。2005 年铜、镍、钴工业工业污水排放量约 12593 万吨/年，其中达标排放量约 11311.72 万吨/年。

温家宝总理在第六次全国环境保护大会上指出：做好新形势下的环保工作，要加快实现三个转变：其中之一是从主要用行政办法保护环境转变为综合运用法律、经济、技术和必要的行政办法解决环境问题，自觉遵循经济规律和自然规律，提高环境保护工作水平。为此，原国家环保总局提出要加快环境保护管理工作转变，开展实施环境科技创新、环保标准体系建设和环保技术管理体系建设的三大工程，组建环境领域国家实验室和实施国家水体污染控制与治理科技重大专项等，尽快突破长期制约经济、社会和环境发展的关键性科技难题，完成第六届全国科技大会《关于增强环境科技创新能力的若干意见》中提到的：到 2010 年初步建立环境技术管理体系；到 2020 年，建立层次清晰、分工明确、运行高效、支撑有力的国家环境技术支撑体系的总体目标。

本指南是环境保护部开展环境技术管理体系建设、展开试点行业环境技术管理体系建设和完善工作，开展第一批试点行业污染防治最佳可行技术指南工作中的一部分。编制本指南的主要目的是帮助企业选择合理的污染防治技术，为镍、钴冶炼行业全面提升环境保护水平、实现节能减排目标提供技术支撑，为环境技术管理体系的进一步完善提供技术保障。

3 指南编制的原则、方法和技术依据

3.1 编制原则

(1) 立足我国实际，与国际接轨

充分借鉴发达国家污染防治管理体系的成功经验，并结合我国实际情况，编制适合我国国情的镍、钴冶炼行业污染防治最佳可行技术指南。

(2) 科学性与实用性相结合

总结我国镍、钴冶炼主导工艺路线，分析产污的主要环节及污染物排放节点，分析镍、钴冶炼主要污染物及特征污染物，总结在生产中得到应用的先进污染治理技术以及尚处在工业化试验阶段的污染治理新技术，筛选确定不同条件下的镍、钴冶炼污染防治最佳可行技术，使指南具有较强的科学性、指导性和可操作性。

(3) 以国家环保技术政策为依据

在污染物治理、清洁生产、发展循环经济和节能减排实施中，国家制订了一系列技术政策，是制订污染防治最佳可行技术指南的重要参考。

(4) 确保所推荐的污染防治技术的先进性。

本指南编制过程中在专家组成、冶炼工艺筛选、污染治理工艺筛选、技术调查、文件审查方面严格按照最佳可行技术指南编制管理办法及编制要求开展了工作。

3.2 编制依据

本指南是根据下列有关行业生产和环境保护的法律、法规和技术政策等制订的：

- (1) 中华人民共和国环境保护法；
- (2) 中华人民共和国环境影响评价法；
- (3) 中华人民共和国大气污染防治法；
- (4) 中华人民共和国水污染防治法；
- (5) 中华人民共和国固体废物污染环境防治法；
- (6) 中华人民共和国环境噪声污染防治法；
- (7) 中华人民共和国清洁生产促进法；
- (8) 中华人民共和国循环经济促进法；
- (9) 中华人民共和国节约能源法；
- (10) 全国生态环境保护纲要；
- (11) 产业结构调整指导目录（2005 年，国发[2005]40 号）
- (12) 国务院关于加快发展循环经济的若干意见（国发[2005]22 号）；
- (13) 国家重点行业清洁生产技术导向目录；
- (14) 清洁生产标准 镍、钴冶炼业；
- (15) 有色金属工业环境保护设计技术规范。

3.3 技术路线

主要研究路线为：编制工作计划及编制大纲—国内外资料调研—典型镍、钴冶炼生产工艺污染防治技术现场考察—召开座谈研讨会—调研数据、资料汇总和分析—编制指南初稿—经反复论证形成指南征求意见稿。具体工作步骤为：

（1）项目研究采用的方法为国内外资料调研和专家会议、生产企业现场调研相结合的方式，对镍、钴冶炼生产工艺与设备水平、资源能源利用水平、污染物产生指标、废物回收利用指标、生产工艺、污染防治技术类型、运行参数、处理效果、经济性和环境管理水平等进行调查，并进行技术经济比较分析；

（2）对资料调研、现场调研、专家会议结果进行综合评价分析，依靠系统科学的分析方法筛选确定不同条件下的镍、钴冶炼工艺污染防治最佳可行技术，形成指南初稿；

（3）对指南初稿进行反复论证后提出征求意见稿。

本项目技术路线如图 3-1：

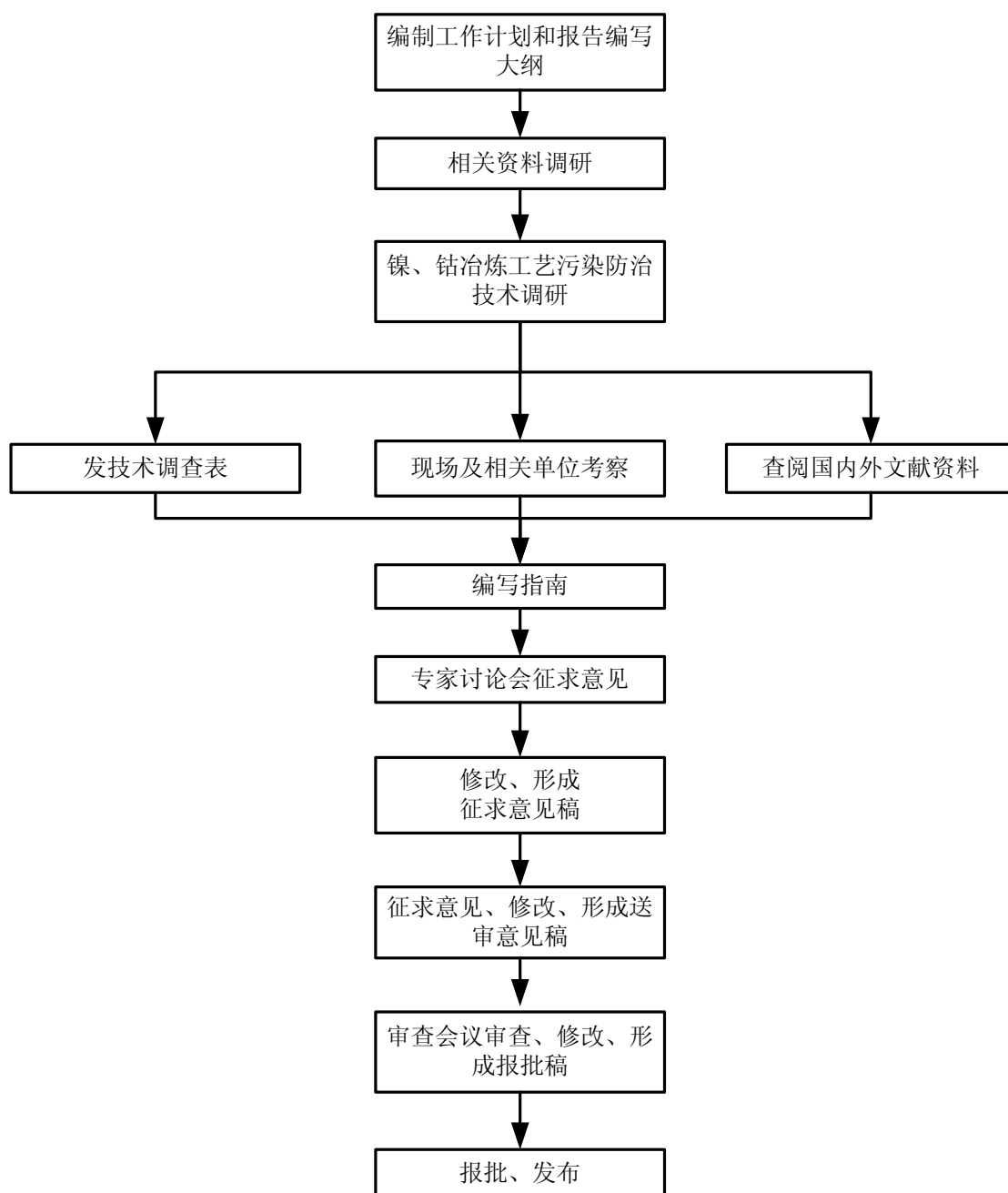


图 1 指南编制工作程序示意图

4 主要工作过程

4.1 资料查阅和调研

- (1) 收集国内外有关指南编制的资料；检索国内外最新发布的相关技术，对有关的内容进行学习，消化吸收；对编制的指南体例及内容进行研究，确定指南编写大纲。
- (2) 2009 年 6 月～2010 年 6 月，对镍、钴冶炼企业生产工艺及污染防治情况进行调研。
- (3) 调研采取现场考察、座谈、发调查表相结合方式；
- (4) 调研内容为镍、钴冶炼生产工艺流程、资源、能源消耗及污染物产生情况、污染防治技术类

型、效果、经济性等相关技术数据。

4.2 完成指南初稿

2010 年 12 月完成指南初稿，项目组主要工作过程为：

- （1）整理调研资料，组织编写人员编写指南初稿；
- （2）内部自审；组织参编单位讨论，整理参编单位意见；
- （3）编制组修改、完善指南初稿。

项目组分别于 2010 年 12 月、2011 年 3 月、6 月召开有关专家讨论会，对编制的指南征求意见稿（初稿）进行讨论和提出修改意见。

4.3 完成指南征求意见稿

2011 年 6 月～9 月完成指南征求意见稿讨论稿：

- （1）组织专家对征求意见稿讨论稿提出修改意见；
- （2）搜集、整理专家意见；
- （3）完成指南征求意见稿，向社会发布，广泛征求意见。

5 国内外相关环境技术管理体系研究概况

上世纪九十年代，欧美发达国家发生了环境战略重大转变，总结三十多年来实行污染控制战略的经验和教训，先后提出了污染预防战略。最佳可行技术是发达国家核心环境管理制度的技术依据，是欧美等发达国家环境管理产生实质成效的技术保障。

美国于 20 世纪 70 年代提出将最佳可行技术作为排放标准制修订、总量控制以及许可证等环境管理手段的基础。1990 年美国颁布了《污染预防法》。美国制定的排放限值准则以技术为依据，根据不同工业行业的工艺技术、污染物产生量、处理技术等因素确定各种污染物排放限值，并且针对现有污染源、有毒物质和非常规污染物等不同情况规定了不同的控制水平。美国已制定 56 个行业（涵盖 450 个子行业）基于最佳可行技术的污染物排放指南。

欧盟于 1993 年颁布了《综合污染预防与控制（IPPC）指令》，指令中提出预防或减少污染物排放的技术措施应基于最佳可行技术（BAT）。最佳可行技术不仅是制定排放限值标准的基础，同时对预防生产过程中污染产生提出了要求，丰富了传统的污染排放许可证制度。目前，欧盟已制定了 27 个行业的最佳可行技术参考文件（BREF），涉及钢铁、有色、化工、大型燃烧设施（LCP）、水处理和焚烧设施等，此外还有 6 个跨行业的 BREF，在文件中提出相应的 BAT 技术。欧盟最新发布的《工业排放（IED）指令》更是明确一旦制定了行业的 BREF，相关的 BAT 结论将作为许可证发放的依据。

6 镍、钴冶炼行业技术现状调研情况

6.1 镍冶炼生产工艺

镍冶炼工艺分硫化铜镍精矿冶炼和红土矿（氧化镍矿）冶炼两大类，硫化铜镍精矿一般是用火法

冶炼生产高镍硫，再用湿法精炼处理高镍硫产出铜、镍并回收钴和贵金属。

硫化铜镍精矿的火法冶炼基本和硫化铜精矿的火法冶炼相同，不同之处在于火法炼铜先在熔炼炉内炼成铜硫，然后将铜硫加入吹炼炉内炼成粗铜，而火法炼镍是先在熔炼炉内炼成低镍硫，然后将低镍硫加入吹炼炉内炼成高镍硫。各种炉型相同。

硫化铜镍精矿的火法熔炼的传统工艺和炼铜一样，也有鼓风炉反射炉和电炉，鼓风炉和反射炉已逐渐淘汰，但是电炉仍在很多企业使用。原因是硫化铜镍矿赋存于高钙镁的超基性岩层中，如果矿石不易分选，选出的精矿为含镁高的难熔精矿，需要用电炉高温熔炼这种难熔精矿，可是由于选矿技术的进步，很多矿体能选出含镁较低的精矿来，因此不少硫化铜镍矿也和炼铜一样，采用更现代化的富氧闪速熔炼和熔池熔炼工艺。

我国某冶炼公司拥有两套合成式闪速熔炼系统，一套用于炼镍，一套用于炼铜，合成式闪速熔炼和奥托昆普型闪速炼不同的地方是奥托昆普炉由反应塔、沉淀池，上升烟道三个部分组成，在闪速炉外面连接一个贫化电炉，而合成式闪速炉是将闪速炉和贫化电炉合成一体，由反应塔、沉淀池、上升烟道和贫化区四个部分组成。

高镍硫的湿法精炼有两种工艺，一种高镍硫用浮选法分离硫化镍和硫化铜，硫化铜炼铜，硫化镍直接电解产出电解镍，并在净液渣中回收钴，从阳极泥中回收贵金属。

另一种方法是后开发的高镍硫硫酸加压浸出，镍和钴浸出进入浸出液、铜、铁和贵金属不浸出进入浸出渣，镍钴浸出液用萃取法分离镍和钴，硫酸镍溶液用电积产出电解镍，硫酸钴溶液回收钴。

氧化镍矿有两种类型，一种是含镁高的硅酸盐镍矿，宜于用电炉熔炼生产镍铁或镍硫，一种是含铁高的褐铁矿型氧化镍矿，宜于湿法冶炼，这两种矿大部分分布在赤道附近，我国储量很少，而且品位很低，最近我国进口不少氧化镍矿在国内建厂冶炼，也在国外合作建厂冶炼，技术有很大进展。

电炉处理氧化矿可以生产镍铁或镍硫，镍铁直接送钢厂炼不锈钢，镍硫和硫化镍矿的镍硫湿法精炼流程相同。

湿法处理氧化镍矿有加压酸浸和常压酸浸，加压酸浸宜于处理含铁高镁低的矿石，矿石中镍和钴浸出率在 95%以上，一吨矿石耗酸 250~300kg，铁基本不浸出残留于浸出渣中，浸出液净化除杂后，沉淀产出氧化镍钴产品。

常压酸浸，投资较低，原料含铁中等，还有较高的镁。镍钴浸出率较低（约 80%），耗酸较高，一吨矿耗酸 700~800kg。

6.1.1 镍闪速熔炼技术

镍精矿强化熔炼工艺中，闪速熔炼技术开发最早，技术最成熟，应用最广泛，并有多国长期运行经验，生产技术在不断发展、创新、进步。该工艺具有以下特点：熔炼过程中的化学反应主要在反应塔内的高温空间进行，反应温度高，反应速度快，熔炼强度大；根据需要采用不同浓度的富氧熔炼，熔炼过程可以在基本自热条件下进行，燃料消耗少，并且可以采用粉煤取代燃油；熔炼炉密闭性好，冶炼烟气二氧化硫浓度高，易于经济地处理，有利于环保；装备水平和自动化水平高；炉寿命长，作业率高；但要求入炉原料为粉状，并经过深度干燥，因此需要设置熔剂制备和精矿深度干燥装置，熔炼过程相对复

杂，流程较长；烟尘率高；精矿含镁不能太高。

6.1.2 富氧顶吹浸没喷枪熔炼技术

富氧顶吹浸没喷枪熔炼技术是熔池熔炼技术之一，近十年来富氧顶吹浸没喷枪熔炼技术发展很快，在铜、铅、锡、镍熔炼以及锌浸出渣、铅渣处理等方面得到推广和应用。该工艺的主要特点是：熔炼过程全部集中在剧烈搅动的高温熔池中进行，传热传质条件好，熔炼强度大，过程容易控制；流程短、对原料适应性强。对物料粒度、水分均没有严格要求，备料系统简单。熔炼工艺操作条件易于控制与调节，可以处理各种复杂物料；熔炼炉结构简单、容积小、密闭性好，熔炼过程热损失少，通过调整熔炼富氧浓度可实现基本自热熔炼，而且对各种燃料均能适应；冶炼烟气二氧化硫浓度高，易于经济地回收，有利于环境保护和车间作业条件的控制；采用低温作业，在满足熔炼过程顺利进行的前提下，尽可能降低熔池温度并控制熔池温度稳定，以便延长炉寿命。采用自耗式顶吹喷枪浸入熔池，向熔炼过程输送反应风，同时依靠反应风源源不断的流动冷却喷枪，在喷枪外壁形成一层渣保护层，减少喷枪的损耗；熔炼过程中炉内喷溅剧烈，对烟尘的捕集效果好，烟尘率低；熔炼炉为立式圆筒形炉体，占地面积小，厂房较高；能耗和投资相对较低。但是，熔池强力搅动，渣铈分离不好，渣含镍比较高，要降低炉渣含镍需要再处理；喷枪寿命较短，作业率较低。

6.1.3 P-S 转炉吹炼技术

在镍铈吹炼生产系统中，传统的 P-S 转炉吹炼工艺使用时间最长，技术最成熟，具有丰富的操作经验，在现有国内外镍、钴冶炼厂中使用最广泛。与镍铈连续吹炼工艺相比，PS 转炉吹炼主要特点为：经验丰富、操作简单，灵活性大，适应性强；周期性作业，有效作业率低；无论原料还是产物，高温熔体均要通过吊车和包子倒运。倒运中热损失大，产生大量中间返料，增加冶炼能耗、作业成本和有害金属的机械损失；炉口加料和产物排放，熔体倒运、正常吹炼过程中都不同程度存在有害烟气外逸，尽管设置双层烟罩和加强通风等措施后车间环境有所改善，但难以彻底消除低空污染；炉口漏风大，加上间断作业，气量波动大，使得吹炼烟气处理设施庞大，烟气处理成本高；和其他吹炼方法比，烟气二氧化硫浓度低，但采取了炉口密闭措施、减少漏风后，吹炼烟气能维持双转双吸制酸工艺对烟气 SO_2 浓度的要求。

6.1.4 富氧顶吹浸没喷枪吹炼技术

镍铈富氧顶吹浸没喷枪吹炼是一种新的吹炼工艺。该工艺具有以下特点：过程连续进行，作业率高，烟气连续稳定，烟气量少，二氧化硫浓度高，烟气处理成本低；水碎镍铈无须磨矿和深度干燥，与熔剂、烟尘、还原煤配料后直接入炉过程减化；吹炼强度大，单炉吹炼即可满足冶炼生产要求；作业独立性强，受熔炼生产制约小；炉子密闭性好，漏风小，烟气量少且稳定，二氧化硫浓度高，烟气处理成本低；作业环境好，烟气污染可得到根本解决；镍铈、熔剂、冷料加入熔池，喷枪将反应风喷吹在渣层，炉内熔池只传热、传质极佳；炉寿较长，耐火材料消耗少；取消了熔体热倒运，解决了车间低空烟气污染，也减少了包子壳等返料量；吹炼作业成本较低；吹炼过程有热量过剩，可处理冷料。

富氧浸没顶吹吹炼工艺起步较晚，虽然目前只有个别工厂采用，生产经验也还不够丰富，但发展

潜力很大。

6.1.5 硫化镍电解技术

硫化镍电解是将硫化镍阳极与镍片制得的始极片（带隔膜）放入电解槽内，在硫酸和盐酸介质水溶液下电解，在直流电的作用下镍离子沉积在阴极上。随着电解过程杂质不断积累，为防止杂质在阴极上析出，在生产上采用隔膜电解，将阴极液和阳极液分开，同时阳极液必须经过净化处理，除去杂质，得到相当纯洁的电解液（阴极液）返回电解。阳极液净化过程为空气氧化除铁—置换沉淀除铜—氯气氧化除钴。

6.1.6 高镍硫选择性浸出技术

首先将水淬的高镍硫在磨矿工序湿式球磨，通过脱水得到 95%粒度为 0.045mm 的滤饼，然后采用硫酸选择性浸出，浸出液采用黑镍除钴（或 Cy272 萃取钴），得到的硫酸镍溶液通过电沉积得到镍产品，得到的钴渣进一步处理回收钴。常压浸出的浸出渣通过高压浸出将渣中的硫化镍浸出来，得到的溶液返回常压浸出，而大部分铜进入高压浸出渣，该渣可作为提铜的原料。

6.1.7 氧化镍矿火法冶炼技术

氧化镍矿火法冶炼的主要方法是应用电炉生产镍铁，该技术镍回收率较高，达到 90%以上；回转窑产生的焙砂通过热料输送系统，加到电炉内，提高了焙砂入炉温度，降低了电炉熔炼电耗，电耗为 500 kWh/t 矿，铜水套冷却技术的应用和电炉结构的改进提高了电炉的使用寿命，电炉寿命可达 7 年；电炉设有完善的控制系统。

6.1.8 氧化镍矿湿法冶炼技术

湿法处理氧化镍矿常采用加压酸浸和常压酸浸的方法。

加压酸浸宜用于处理含铁高镁低的矿石，矿石中镍和钴浸出率在 95%以上，一吨矿石耗酸 250~300kg，铁基本不浸出残留于浸出渣中，浸出液净化除杂后，沉淀产出氢氧化镍钴。

常压酸浸宜用于处理残积矿型含镍红土矿，该矿硅、镁含量高，镍和钴浸出率较低（约 80%），耗酸较高，一吨矿耗酸 700~800kg，但投资较低。

6.2 钴冶炼生产工艺

我国钴资源不足，贫矿多，独立成矿的钴矿物仅占全国保有储量的 4.7%，主要是以伴生元素的形式存在于镍、铜、铁等金属矿床中。我国钴资源短缺，每年进口大量铜钴矿石、铜钴合金、含钴废料等。

我国钴原料主要有以下途径：伴生于硫化铜镍矿中，如甘肃金川、吉林磐石、新疆喀拉通克等；伴生在硫精矿中，如湖北大冶、山东金岭、山西中条山、吉林白山铜钴矿、四川拉拉铜矿、海南铁矿等；钴土矿仅有云南易门生产。

以金属钴计算，目前我国钴的产量约在 1.5~2 万 t/a 左右，大部分原料为进口的含钴废杂料、铜钴合金、铜钴矿石。我国还从锌冶炼系统回收钴，全国锌系统回收的钴不超过 150t/a。

由于钴大多伴生在其他矿物中，而且成分复杂，所以其冶炼方法繁多，流程复杂，几乎所有的有色金属冶炼方法和新技术都在钴冶金方面得到应用。钴的冶炼工艺是根据其原料、所需的最终产品、技术

和经济条件来进行选择的。

6.2.1 从钴硫精矿中提取钴

从钴硫精矿（含钴黄铁矿）提钴多为硫酸盐体系，将钴硫精矿经硫酸化焙烧、浸出、净化后制取阴极钴或其他钴盐制品。

流态化焙烧炉可以采用干式进料，也可以采用浆式进料。浆式进料就是用水将精矿配成含水 25%~30%的浆体，用泵和压缩空气喷入炉内，流态化焙烧炉烟气经收尘后，烟气中的 SO_2 浓度大于 6%，送去制酸。由焙烧炉产出的焙砂和收尘得到的烟尘，通过酸浸—黄钠铁矾除铁—过滤洗涤—铜萃取、电积—电铜—铜萃余液—P204 萃取除杂—P507 镍钴分离—分别制取镍钴产品。如果反萃得到的氯化钴用草酸沉淀得到草酸钴，草酸钴经煅烧可制取氧化钴。草酸钴进行氢还原可制取枝状钴粉。氯化钴用碳酸盐沉淀可得到碳酸钴，对其煅烧可得到球状氧化钴，在氮气保护下可制取氧化亚钴。对碳酸钴进行氢还原得到球状钴粉。对于最终产品，各厂家可根据需求选用不同的流程。生产工艺流程及产污的主要环节见图 1。

6.2.2 从铜钴矿中提取钴

铜钴原矿、钴废杂料经浸出将铜钴金属溶于溶液，其他工序与钴硫精矿的处理大致相同。生产工艺流程及产污的主要环节见图 2。

6.2.3 从镍、钴冶炼钴渣中回收钴

镍电解净液过程得到的钴渣，其中的钴以高价氧化物存在，外观为黑色泥状，是提钴的重要原料之一。钴渣硫酸溶解，经黄钠铁矾除铁，得到硫酸镍钴溶液，采用 P204 萃取除去铜、锌等杂质，镍钴留在水相中；再通过 P507 萃取将钴萃入有机相，而水相中的硫酸镍返回镍系统，有机相中的钴通过盐酸反萃进入水相，反萃钴液经苏打沉淀，熔炼成阳极板电解成电解钴，或经深度净化后进行电积生产电钴，氯化钴溶液用草酸铵沉淀，得到的草酸钴经过回转窑煅烧得到精制氧化钴，生产工艺流程及产污得主要环节见图 3。

作为钴重要来源之一的含镍红土矿，钴存于镍钴氢氧化物中，钴提取工艺同于钴渣处理工艺。

6.2.4 从锌冶炼钴渣中回收钴

锌冶炼除钴，目前使用方法主要有黄药除钴、 β -萘酚除钴、铋盐除钴等。铋盐净化钴渣经过浸出后采用 β -萘酚沉钴进一步富集，得到富钴渣为有机盐，其物化性质与 β -萘酚净化钴渣相同，通过焙烧分解有机物，焙砂经浸出、除铁、萃取提纯，生产钴盐产品。黄药除钴渣为有机盐，通过焙烧分解有机物，焙砂经浸出、萃取除杂后，再经化学沉淀、煅烧生产氧化钴产品。从这些渣中回收钴工艺见图 4。

6.3 污染治理技术

6.3.1 烟气收尘技术

干燥收尘可采用袋式收尘或电收尘器，也可采用湿式收尘器。采用湿式收尘器泥浆应有处理措施，考虑设备和管道的防腐问题，在北方寒冷地区不宜采用湿式收尘器。由于湿式收尘收下的烟尘是泥浆状，固液分离比较复杂，有毒烟尘溶解于水中，给污水的处理、排放带来困难，极易造成二次污染，所以湿式收尘流程使用得越来越少。近年来国内外精矿干燥收尘流程倾向于采用电收尘器或袋式收尘器。采用袋式收尘器或电收尘器时，应有防止烟气结露的可靠措施，如采取外保温措施，必要时可采取蒸气保温

或电加热保温。

对于载流干燥烟气收尘，由于烟气中含尘量较大，须在电收尘器前增加沉尘室和旋风收尘器。

熔炼炉和吹炼炉产生的烟气温度较高，烟气先经余热锅炉降温并收下部分烟尘后进入收尘系统。进入收尘系统的烟气温度为 350℃左右，收尘设备采用电收尘器，收下的烟尘返回配料，收尘后的烟气送硫酸厂制酸，送硫酸厂烟气含尘量 $\leq 200\text{mg/m}^3$ 。

氧化镍（红土矿）火法冶炼焙烧烟气、电炉熔炼烟气、铁合金罐精炼烟气烟气量小、温度低，不适合采用余热锅炉回收余热。其中焙烧窑高温烟气收尘后可直接用于干燥窑进风，电炉烟气可通过烟气-空气换热器预热焙烧窑进炉空气。

钴硫精矿焙烧烟气需经旋风、电收尘器净化后送制酸。

6.3.2 烟气制酸技术

1) 工艺流程

铜、镍、钴硫化矿冶炼产生的烟气通常含有一定浓度的二氧化硫，为满足环境保护要求以及资源回收利用的原则，首选的回收产品就是工业硫酸。冶炼烟气治理主要指对熔炼和吹炼产生的烟气进行后续处理，一般烟气的处理流程为：高温烟气—余热锅炉—旋风收尘—电收尘—湿式净化—干燥—转化—吸收。

2) 烟气 SO_2 浓度

二氧化硫浓度的高或低直接决定硫酸的厂工艺路线、投资额度以及技术经济指标等。通常分为两大类，即高浓度二氧化硫烟气治理技术和低浓度二氧化硫烟气的治理技术。所谓高浓度二氧化硫烟气通常是指能满足采用常规接触工艺系统能够自热平衡的烟气，通常认为二氧化硫浓度在 3.5%以上。对于二氧化硫浓度低于 3.5%的烟气，由于不能满足常规接触法自热平衡，需要采用其他非常规工艺生产硫酸，如采用湿法冷凝工艺、非稳态转化等。

3) 高浓度制酸

理论认为二氧化硫浓度高于 3.5%就能够满足单转单吸工艺自热平衡以及产品水平衡要求；二氧化硫浓度高于 5.5%就能够满足双转双吸工艺自热平衡以及产品需要的水平衡要求。也就是说，对于满足上述浓度范围的烟气，即可采用传统硫酸生产流程生产硫酸。

传统生产工艺主要分三个部分，烟气净化、 SO_2 的转化、干燥和吸收。

4) 低浓度制酸

当烟气中含二氧化硫低于 3.5%时，采用传统生产工艺无法满足自热平衡核水平衡要求，如果需要生产硫酸，必须考虑采用一些特殊的工艺，如 WSA 工艺、SULFOX 工艺、非稳态转化工艺等。

5) 中低温余热回收

二氧化硫转化和三氧化硫吸收均为放热反应。转化产生的热量习惯称之为中温位热，除满足系统自热平衡外，余热通过废热锅炉、省煤器或 SO_3 冷却器等设备来产生中低压蒸汽或其他热气体进一步回收利用。干吸工段产生的热主要是干燥塔气体中水的冷凝热、三氧化硫生成硫酸的反应热以及在生产过

程中串酸产生的稀释热等。但主要来源于三氧化硫生成硫酸的反应热。目前世界上绝大多数冶炼烟气制酸装置只回收占总热量 42%的转化热，其余约占总热量 58%的热量通过循环冷却水系统直接排向大气，造成能源的极大浪费。节能减排大势所趋，余热回收作为末端治理的一项重要内容，意义重大。

6.3.3 烟气脱硫技术

按照废气治理工艺划分，废气治理主要有以下几种工艺方法：石灰/石灰石-石膏法、有机溶液循环吸收法托、氨法、金属氧化物吸收法、钠碱法、康士富再生胺法、活性炭吸附法。

表 1 烟气脱硫技术性能对照表

脱硫技术	石灰石/石膏法	有机溶液 循环吸收法	氨法	金属氧化物法	钠碱法	康士富 再生胺法
技术来源	国外引进	国内开发	国内开发	国外引进/国内开发	国内开发	国外引进
脱硫剂	石灰石	离子液体	氨水	氧化锌、氧化锰等	石灰石/氢氧化钠	有机胺
脱硫效率%	90~95	≥99	90~95	90~95	95~99	99
特点	工艺成熟可靠性高，负荷量大，低钙硫比	工艺成熟，设备简单，施工容易	造价适中，副产品可回收利用，技术简单	造价低，副产品可综合利用，技术简单，脱硫成本低	一次投资少，有除尘效果，运行稳定，占地小，喷头不易堵，水质要求低，维护简单	工艺成熟，设备简单，施工容易
实际应用	大量	少量	少量	少量	少量	少量
脱硫剂制备系统	需要	不需要	需要	需要	需要	不需要
副产物处置	石膏回收系统或抛弃处理	浓硫酸、或液体二氧化硫	副产品浓度低,需二次加工后才有商业价值。	副产品浓度低,需二次加工后才有商业价。	以抛弃法处理为主	浓硫酸、或液体二氧化硫
跨界影响	大	小	小	小	中	小
占地面积	因需要多种配套设备，因此占地面积大。	流程简洁，占地少	需脱硫剂提纯系统，占地面积大	占地面积较大	占地面积小	占地面积较小
基建成本	高	高	中	中	低	低
主要缺点	造价高，运行成本高，易结垢，需先除尘，石膏浆液需干燥处理，配套设备多，耗水耗能高，喷头易堵，系统保养难度大。	吸收剂需要独家采购腐蚀情况较严重，部分部件需要不锈钢材质，维护成本较高。	烟气排放时夹带大量游离氨，出现溢氨现象，影响人身安全。运行成本高，能耗大，腐蚀性高，处理副产品的费用高，且质量不稳。脱硫剂成本高，用量大，来源不稳定，系统稳定性差，自动化操作水平低，保养难度大	脱硫系统易堵，操作弹性不大。	氢氧化钠消耗量大，国内案例不多。	设备材质要求较高，能耗较大，维护成本高。

活性炭吸附法是利用活性炭具有较强的吸附能力，吸附烟气中的二氧化硫，使烟气净化，然后将饱和的活性炭再生并循环使用。

6.3.4 其他废气治理技术

镍、钴冶炼净化除钴及铜渣浸出使用氯气，在铁渣酸溶后采用黄钠铁矾时也要用氯气（或氯酸钠），在使用氧化过程中产生含氯尾气需要治理。每吨镍产出含氯尾气量约为 $0.42\text{m}^3/\text{h}$ ，尾气温度 $70\sim 110^\circ\text{C}$ ，尾气含氯量约 $10\sim 20\text{g}/\text{m}^3$ 。凡产生含氯废气的槽上均设有排风管，使用通风机排风，将含氯尾气集中收集进入尾气吸收系统吸收，吸收系统设计一级水冷却吸收、二～三级碱液吸收方式，选用烧碱作为吸收液，吸收总效率达到 99.9% ，吸收后尾气含氯浓度小于 $60\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

电解车间和造液工序在生产过程中电解槽面有酸雾逸出，通常电解槽采用帆布覆盖，厂房内设有强制通风措施，使厂房内酸雾降至 $40\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

钴冶炼浸出工段有酸雾产生，萃取、反萃工段有酸雾及有机废气产生，铁矾除铁工段有少量氯气产生，净化的方法可采用洗涤塔洗涤或循环喷淋碱液化学吸收。

6.3.5 污酸治理技术

制酸烟气净化工艺排出的废酸，通常含硫酸浓度为 $0.5\sim 150\text{g}/\text{l}$ ，并含有重金属离子等有害物质，不能直接排放，必须处理。当污酸中重金属离子含量较高，希望回收砷、铜等有价值金属，且含硫酸浓度不高时，易采用先硫化法，再石灰石中和法的处理方法；当含硫酸浓度高时，易采用先石灰石中和法，再硫化法的处理方法；当污酸中的重金属离子含量不高时，可采用中和法，用石灰石作为中和剂，将 pH 中和至 $2\sim 3$ ，作为污水处理的前处理。

6.3.6 酸性废水治理技术

含重金属离子废水的处理分为两大类：(1) 使溶解状态的重金属离子转变为不溶或难溶的金属化合物，从水中去除。常用技术有：中和法、硫化法、电解法、铁氧体法等。(2) 在不改变重金属化学形态下进行浓缩分离。常用技术有：膜分离法和离子交换法等。

目前，国内外采用第一类方法较多。常用废水处理技术性能对照见表 2。

表 2 废水处理技术性能对照表

处理技术	优点	缺点	投加药剂	去除率	建设投资	pH 范围	适用条件
石灰中和法	① 处理流程简单。 ② 处理效果好，几乎可以使除汞之外的所有重金属离子共沉。 ③ 价格便宜，成	① 对三价砷处理效果差。 ② 由于砷酸盐和亚砷酸盐沉淀在水中易溶解，易造成二次污染 ③ 产渣量大。 ④ 沉渣含水率高，脱水困难。 ④ 药剂制备时，操作环境	石灰 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)、电石渣、碳酸钠 (Na_2CO_3)	Cu: $98\sim 99\%$ As: $98\sim 99\%$ F: $80\sim 99\%$ 其他: $98\sim 99\%$	中	$7\sim 12$	可以与除汞之外的所有重金属离子共沉。

	本低，来源广。 ④操作管理方便	较差。					
氢 氧 化 钠	①处理效果好， ②产渣量少 ③便于回收有价金属	①价格较高，会增加处理成本。 ②药剂制备时，操作环境较差。	氢 氧 化 (NaOH) 碳 酸 钠 (Na ₂ CO ₃)	Cu: 98~99% As: 98~99% F: 80% 其他: 98~99%	中	7~11	水量小，希望减少泥渣量，并回收有价金属。
石 灰 铁 盐 (铝盐)法	①除砷氟效果好。 ②工艺流程简单。 ③设备少。 ④操作方便。	①由于砷酸盐和亚砷酸盐沉淀在水中易溶解，易造成二次污染。 ③产渣量大。 ④砷渣脱水困难。	石 灰 (Ca(OH) ₂)、电石渣、碳酸钠 (Na ₂ CO ₃)、硫酸亚铁 (FeSO ₄)、氯化铁 (FeCl ₃) 和聚合硫酸铁。	Cu: 98~99% As: 98~99% F: 80% 其他: 98~99%	中	7~10	一般适用于含砷、含氟废水，可以与除汞之外的所有重金属离子共沉。
净 化 + 深 度 处 理	①处理更彻底。 ②出水水质能达到生产新水的标准。 ③能使污水达到零排放。	①处理流程复杂。 ②设备投资大 ③操作管理复杂。	混凝剂、助凝剂、阻垢剂	SS≤5mg/l, 脱盐率: 75%	高	6~9	一般生产生活废水、循环水排污水、污酸污水处理站处理后水。脱盐后的浓水需要回用。

6.3.7 固体废物综合利用及处理处置技术

根据固体废物的性质、种类、组成，鉴别确定一般固体废物和危险废物，分别进行处置或处理。固体废物应首先考虑综合利用，确无综合利用价值的，应按国家有关法规建立一般固废贮存场或危险废物贮存场（填埋场）。

6.3.8 噪声治理技术

镍、钴冶炼生产过程噪声源较多，噪声类型也不尽相同，应针对具体情况，主要从三个环节进行治理：根治声源噪声、在传播途径上控制噪声、在接受点进行个体防护。

根治噪声源。在满足工艺设计的前提下，尽可能选用低噪声设备，采用发声小的装置。

在传播途径上控制噪声。在设计中，着重从消声、隔声、隔振、减振及吸声上进行考虑，结合合理布置厂内设施，采取绿化等措施，可降低噪声 35dB(A) 左右，使噪声得到综合性治理。

个人防护。主要措施有在工段中设置必要的隔声操作间、控制室等，使室内的噪声符合有关卫生标准。

7 最佳可行技术的确定原则和评估、筛选方法

在对镍、钴冶炼企业生产现状调查分析的基础上，广泛搜集资料信息，包括生产规模、产量质量、工艺流程、技术装备、能耗物耗、产污排污、控制措施、运行管理等，在对技术特点、经济效益等进行

综合分析和专家评估的基础上，形成镍、钴冶炼污染防治最佳可行技术体系。

7.1 BAT技术的确定原则

（1）综合防治原则

本指南根据清洁生产和循环经济的理念和指导思想，确定镍、钴冶炼环境污染治理应尽量从源头控制，采用以防为主，防治结合的原则，实施全过程清洁生产，从源头上减少污染物的产生，从而降低和减轻污染物末端治理的压力，提高环境污染防治和管理水平。

（2）全过程管理原则

本指南始终体现全过程控制和管理的原则，规定了从冶炼主体工艺到末端污染治理全过程的污染防治最佳可行技术及其环境管理实践要求，从而实现对环境的高水平整体保护。

（3）因地制宜的原则

在选择最佳可行技术时，紧密结合了镍、钴冶炼业的特点及资源条件等具体情况，因地制宜地选择污染防治的最佳可行技术。

（4）节能减排的原则

根据国务院颁布的《国家环境保护“十一五”规划》以及《节能减排综合性工作方案》的指导思想和方针，镍、钴冶炼技术的选择和管理也应全面体现节能减排的原则。

（5）循环经济的原则

本指南对镍、钴冶炼工艺及污染防治技术都做了概要性的描述，并对其环境效果、二次污染、经济成本以及综合利用途径等做了详细分析，目的在于通过技术的环境效果和经济分析，确定最佳可行技术，促进产业循环经济发展，提高产业经济效益。

7.2 BAT技术的筛选方法

采用指标体系综合评分法筛选各项技术。设置三级指标体系表，主要分资源消耗、能源消耗、污染物排放、经济成本四大方面，依据专家确定权重，进行综合评分、筛选，最终确定本指南推荐的最佳可行性技术。

8 主要技术内容及说明

指南的内容共五部分。前言：介绍指南的定位、制定部门和起草单位、发布、实施日期等信息；总则：介绍指南的适用范围、术语及定义；生产工艺和污染物排放：简要描述目前我国镍、钴冶炼生产的工艺状况，主要污染物的产生、排放和控制措施；镍、钴冶炼污染防治技术：内容包括①工艺过程污染预防技术：主要阐述污染物产生量少，资源能源消耗少，生产流程简短，技术经济水平高及环境效益好的冶炼工艺；②污染治理技术：包括烟气收尘技术、烟气制酸技术、烟气脱硫技术、其他废气治理技术、污酸治理技术、废水治理技术、固体废物治理技术和噪声治理技术；镍、钴冶炼污染防治最佳可行技术：在上述内容的基础上立足于四个层面确定并推荐若干项最佳可行的控制技术，贯彻国家有关政策、法规，遵循清洁生产和循环经济理念，满足环保排放标准要求，瞄准先进、高效、经济和高水平，并提供了各

种技术应用中的系统组成、处理工艺流程等；给出了镍、钴冶炼污染防治最佳可行技术工艺组合。

8.1 主要污染源及特征污染物

镍、钴冶炼过程中产生的污染包括大气污染、水污染、固体废物污染和噪声污染，其中大气污染、水污染、固体废物污染是主要环境问题。

8.1.1 大气污染

镍、钴冶炼过程中产生的大气污染物主要为烟尘、粉尘、二氧化硫、氮氧化物、酸雾等。
镍冶炼过程中主要大气污染物及来源见表 1，钴冶炼过程中主要大气污染物及来源见表 2。

表 3 镍冶炼大气污染物及来源

硫化镍精矿冶炼		
工序	污染源	主要污染物
干燥工序	干燥窑烟气	粉尘
	精矿上料、精矿出料、转运	粉尘
配料工序	抓斗卸料、定量给料设备、皮带运输设备转运过程中扬尘	粉尘
熔炼工序	加料口、铤放出口、渣放出口、喷枪孔、溜槽、包子房等处泄漏	烟尘、SO ₂ 、SO ₃ 、NO _x 等
	熔炼炉烟气	含SO ₂ 、SO ₃ 、NO _x 、Cu、Ni、Co、Fe、S、SiO ₂ 、CaO、MgO
吹炼工序	包子吊运过程中逸散的烟气	烟尘、SO ₂ 、SO ₃ 、NO _x 等
	转炉外层烟罩烟气	含SO ₂ 、SO ₃ 、NO _x 、Cu、Ni、Co、Fe、S、SiO ₂ 、CaO、MgO
渣贫化工序	加料口、铤放出口、渣放出口、电极孔、溜槽、包子房等处泄漏	烟尘、SO ₂ 、SO ₃ 、NO _x 等
	炉窑烟气	含SO ₂ 、SO ₃ 、NO _x 、Cu、Ni、Co、Fe、S、SiO ₂ 、CaO、MgO
	弃渣水淬水蒸汽	H ₂ O、粉尘
烟气制酸工序	制酸尾气	含SO ₂ 、SO ₃ 、H ₂ O、粉尘
反射炉熔铸工序	扒渣口、出铤口	烟尘、SO ₂ 、SO ₃ 、NO _x 等
	反射炉烟气	含SO ₂ 、SO ₃ 、NO _x 、Cu、Ni、Co、Fe、S、SiO ₂ 、CaO、MgO
电解工序	除钴槽、铁矾除铁槽、铜渣浸出槽	Cl ₂
	电解槽、造液槽	酸雾
湿法精炼工序	浸出槽、净液槽、电积槽	酸雾、Cl ₂
氧化镍矿冶炼		
工序	污染源	主要污染物
干燥	干燥窑	烟尘
焙烧预还原	焙烧窑	烟尘
熔炼	电炉	烟尘
精炼	铁合金罐	烟尘
备料	破碎机等	粉尘
浸出	搅拌浸出槽等	酸雾
	堆浸	酸雾
萃取	萃取槽等	酸雾、萃取剂
电积	电积槽	酸雾

表 4 钴冶炼大气污染物及来源

序 号	废气来源	主要污染物	备注
--------	------	-------	----

1	钴硫精矿焙烧炉	SO ₂	经收尘、制酸、脱硫后排放
2	制酸尾气	含SO ₂ 、SO ₃ 、H ₂ O	脱硫后排放
3	浸出槽	酸雾	循环水吸收后返回工艺系统
4	除铁槽	酸雾、氯气	钠碱吸收生产次氯酸钠溶液
5	萃取槽	酸雾、有机废气	循环水吸收后返回工艺系统
6	电积槽	酸雾、氯气	钠碱吸收生产次氯酸钠溶液
7	草酸钴煅烧	粉尘	袋式收尘返回工艺系统
8	氧化钴等包装	粉尘	袋式收尘返回工艺系统

8.1.2 水污染

硫化镍精矿冶炼产生的废水主要为中心化验室排出的含酸废水，车间地面冲洗水，工业冷却循环水的排污水，余热锅炉排污水，硫酸场地初期雨水及生产厂区其他场地初期雨水，电解车间排水，镍湿法精炼排水等。

氧化镍矿冶炼堆浸场地、溶液池及尾矿池渗漏液，或上述场地由于大暴雨或溃坝事故引起的泄漏液。

钴冶炼废水来源主要有 P204、P507 萃取剂皂化工段产生含钠废水，P204 萃取除杂工段反萃产生废水，沉钴工序产生废水。

镍冶炼过程中主要水污染物及来源见表 3，钴冶炼过程中主要水污染物及来源见表 4。

表 5 镍冶炼过程中水污染物及来源

硫化镍精矿冶炼			
废水种类	排水来源	主要污染物	备注
冶金炉水套排污水	工业炉窑汽化水套或水冷水套	盐类	用于渣缓冷淋水或用于冲渣
余热锅炉排污水	余热锅炉房	盐类	锅炉排污水用于渣缓冷淋水或用于冲渣 含酸碱污水排至中和池
金属铸锭或产品熔铸冷却水排水	圆盘浇铸机、直线浇铸机等	盐类	用于渣缓冷淋水或用于冲渣
冲渣水和直接冷却水	水淬装置等	固体颗粒物	沉淀处理后循环使用
湿式除尘循环水系统	精矿干燥烟气湿式除尘废水	SS、盐类	沉淀、冷却后循环使用，少量外排。
酸性污水	硫酸场地初期雨水	酸性废水、Cd ²⁺ 、Co ²⁺ 、Cr ³⁺ 、Cu ²⁺ 、Fe ²⁺ 、Fe ³⁺ 、Zn ²⁺	进污酸处理站
	生产厂区其他场地初期雨水	酸性废水、Cd ²⁺ 、Co ²⁺ 、Cr ³⁺ 、Cu ²⁺ 、Fe ²⁺ 、Fe ³⁺ 、Zn ²⁺	进污水处理站
镍选矿车间排水	车间地面冲洗水	重金属离子	去污水处理站
电解车间排水	净化系统碳酸镍制备中产出的上清液	Cl ⁻ 、Na ⁺ 及其他重金属离子	去污水处理站
	含氯尾气吸收后的废水	Cl ⁻ 、Na ⁺	去污水处理站
	车间地面冲洗水	重金属离子	去污水处理站
镍湿法精炼排水	浸出及过滤工段排水	Ni(含镍 0.5g/l)	去污水处理站
	制备氢氧化镍排水	Na ⁺ (含钠 15g/l)	去污水处理站

	车间地面冲洗水	重金属离子	去污水处理站
氧化镍矿冶炼			
废水种类	排水来源	主要污染物	备注
冶金炉水套排污水	工业炉窑汽化水套或水冷水套	盐类	用于冲渣
酸性污水	生产厂区场地雨水	酸性废水、 Cd^{2+} 、 Co^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Zn^{2+}	进污水处理站
含萃取剂酸性废水	萃取工序	酸性废水、油污	进污水处理站

表 6 钴冶炼过程中水污染物及来源

废水种类	排水来源	主要污染物	备注
酸性污水	制酸系统烟气净化装置、泵类设备泄露、初期雨水	重金属离子、污酸、酸泥	净化后去污水处理站进一步处理
沉钴后液	沉钴工序	Ni 、 Cu 、 Fe 、 Co 、 Na^{+} 、 Cl^{-} 、 F^{-}	$\text{pH}8\sim 8.5$ 去污水处理站
皂化后的水相	萃取剂皂化工段	含钠废水	去污水处理站
反萃产生废水	P204萃取除杂工段	Ni 、 Cu 、 Fe 、 Co 、 Na^{+} 、 Cl^{-}	去污水处理站
浸出、净液、电积车间排水	车间地面冲洗	重金属离子	去污水处理站

8.1.3 固体废物污染

镍冶炼排放的固体废物主要有：冶炼水淬渣、制酸系统铅渣、制酸系统污酸、污水处理中和渣、脱硫副产物、湿法炼镍浸出渣等，其中制酸系统铅渣、制酸系统中的废酸、湿法炼镍浸出渣属于危险废物。

钴冶炼固体废物有包括浸出渣、铁矾渣、制酸系统酸泥、污酸处理石膏渣、污水处理中和渣、脱硫副产物等，除脱硫副产物、堆浸渣需鉴别其属性外，其余均属于危险废物。

8.1.4 噪声污染

镍冶炼过程产生的噪声分为机械噪声和空气动力性噪声，主要噪声源包括熔炼炉、吹炼炉、余热锅炉、鼓风机、空压机、氧压机、二氧化硫风机、除尘风机、各种泵类等。在采取控制措施前，锅炉安全阀排气装置间歇噪声达到 120 dB(A)，其他噪声源强通常为 85~110dB(A)。

钴冶炼噪音主要来自球磨机、风机、水泵等。

8.2 主要生产工艺及污染防治技术

根据矿石成分，镍冶炼分为硫化铜镍精矿冶炼和红土矿（氧化镍矿）冶炼两大类。

硫化镍精矿冶炼生产金属镍主要采用高镍钼选矿电解和高镍钼浸出电积两种方法。

高镍钼选矿电解法是指硫化镍精矿先经火法冶炼生产高镍钼，高镍钼选矿分离铜和镍并产出二次镍精矿，二次镍精矿电解生产电镍。

高镍硫浸出电积法是指硫化镍精矿先经火法冶炼生产高镍硫，高镍硫选择性浸出分离铜和镍，浸出液净化分离钴，除钴后液电积生产电镍。

氧化镍矿（俗称红土镍矿）冶炼主要包括火法冶炼和湿法冶炼两类方法。

火法冶炼工艺（RKEF 工艺）适用于处理以残积层矿或腐殖土为主的高镍、高镁、低铁矿石。主要工艺流程为：回转窑干燥→配料→焙烧预还原→电炉熔炼→精炼（或吹炼），产品为镍铁合金。在回转窑的出料口喷入硫磺或者在镍铁转炉内加入硫磺，可将镍铁转变成镍硫。

湿法冶炼适合处理的矿石类型较多，通常根据矿石成分的不同采用相应的工艺，目前主要有高压酸浸（HPAL）、常压酸浸（AL）、强化高压酸浸（EHPAL）三种工艺。

高压酸浸（HPAL）工艺适用于处理低镍、高铁低镁的褐铁矿。主要工艺过程是在高压釜中加入硫酸，在高温高压下，将镍浸出为硫酸盐；而铁则生成赤铁矿，经中和、洗涤及分离、除杂后，浸出液用硫化氢、氧化镁、石灰或氢氧化钠等沉淀产出混合硫化镍钴或氢氧化镍钴的中间产品，中间产品可作为产品出售，也可继续加工为金属产品。

常压酸浸（AL）工艺适用于处理含镍 1.0%~2.0%的低铁高镁的过渡型残积矿。主要工艺过程包括常压浸出、预中和、铁钒除铁、逆流洗涤、中和除杂、沉淀，产出混合氢氧化镍钴中间产品或继续加工为金属产品。

强化高压酸浸（EHPAL）是高压酸浸和常压酸浸相结合处理镍红土矿的工艺，利用高压酸浸残酸浸出含镁较高的残积矿。除浸出过程不同外，后续处理工艺均与高压酸浸工艺相同。

硫化镍冶炼污染防治最佳可行技术包括精矿蒸汽干燥技术、镍闪速熔炼技术、富氧顶吹浸没喷枪熔炼技术、P-S 转炉吹炼技术、富氧顶吹浸没喷枪吹炼技术、电解液硫化沉铜技术、电解液活性镍粉除铜技术、溶剂萃取技术、烟气余热回收利用技术、污染源密闭技术。

氧化镍冶炼污染防治最佳可行技术包括氧化镍矿回转窑电炉生产技术、红土镍矿高压酸浸技术（HPAL）、红土镍矿常压酸浸技术（AL）、红土镍矿强化高压酸浸技术（EHPAL）、红土镍矿浸出矿浆浓密机逆流洗涤技术、黄铁矾除铁技术、红土镍矿低浓度浸出液硫化物沉淀技术和氢氧化物沉淀技术、溶剂萃取技术、烟气余热回收利用技术、污染源密闭技术。

钴冶炼污染防治最佳可行技术包括流态化焙烧炉浆化进料技术、黄铁矾除铁技术、铜溶剂萃取技术、溶剂萃取技术、污染源密闭技术。

8.3 污染治理备选技术及最佳可行技术

本指南提供的备选技术，均为目前国内镍、钴冶炼企业在生产实践中已有使用，技术成熟可靠，治理效果显著，受到业界的认可和推崇，占主导地位的工艺和技术。

在编制过程中，全面检索、收集了国内外有关资料，主要包括：国内外环境政策和方针、可参考的 BAT 范本、有色冶金工程丛书、已实施的铜、镍、钴工业污染物排放标准、有色冶金污染治理方面相关专著和论文、必要的专题研究和技术交流研讨材料等等。组织专家对国内的镍、钴冶炼工艺及污染治理进行了总结和研讨，基本掌握了企业生产工艺、环保治理技术和管理措施等实际情况。同时向有代表性的镍、钴冶炼企业发放镍、钴冶炼污染防治最佳可行技术调研问卷，以获取企业生产过程中的第一

手材料。在对主要问题和疑难问题进行了反复的研讨和论证的基础上，确定镍、钴冶炼污染防治备选技术。

污染治理备选技术及其是否入选最佳可行技术的原因如表 7 所示。

表 7 污染治理最佳技术筛选表

污染物	污染治理备选技术	是否入选污染治理最佳可行技术	未入选最佳可行技术原因
烟气收尘	电收尘技术	是	
	袋式收尘技术	是	
	旋风收尘技术	是	
烟气制酸	绝热蒸发稀酸冷却烟气净化技术	是	
	低位高效二氧化硫干燥和三氧化硫吸收技术	是	
	湿法硫酸技术	是	
	单接触技术	是	
	双接触技术	是	
	预转化技术	是	
	LURECTM 再循环技术	是	
	烟气制酸中温位、低温位余热回收技术	是	
烟气脱硫	氨法脱硫技术	否	存在氨逃逸问题，同时有含氯离子酸性废水排放，造成二次污染
	石灰/石灰石-石膏法脱硫技术	是	
	钠碱法脱硫技术	否	运行成本较高，产品亚硫酸钠质量较难保证。
	金属氧化物吸收脱硫技术	否	对于镍、钴冶炼企业来说，金属硫酸盐及亚硫酸盐副产物一般较难利用
	有机溶液循环吸收脱硫技术	是	
	活性焦吸附法脱硫技术	是	
其他废气	填料吸收塔废气吸收技术	是	
	动力波湍冲废气吸收技术	是	
	高压酸浸尾气洗涤技术	否	需进一步收集运行数据
污酸治理	硫化法+石灰石中和法处理污酸	是	
	石灰+聚铁法处理污酸	是	
酸性废水治理	石灰中和法处理废水	是	
	石灰-铁盐（铝盐）法处理废水	是	
其他废水治理	碱液中和+铁铝复合混凝剂法处理镍、钴	是	
	湿法精炼工段废水	是	
	净化+反渗透废水深度处理技术	是	
	含镁废水蒸发结晶生产七水硫酸镁技术	是	
废物治理	一般工业固体废物的综合利用	是	
	一般工业固体废物的贮存	否	因贮存或填埋不是根治污染的方法
	加压氧化浸出法处理硫化砷渣	是	
	危险废物的贮存或填埋	否	因贮存或填埋不是根治污染的方法
噪声治理	根治噪声源	是	
	在传播途径上控制噪声	是	
	个人防护	是	

9. 实施建议

本指南制定的宗旨是为镍、钴冶炼行业相关管理人员选择最佳可行技术提供参考，以利控制镍、钴冶炼生产过程中的环境污染和实行有效环境管理，达到保护环境的目的。本指南的核心内容，是为设施的运营者提供可以实现镍、钴冶炼生产污染物减排和有效治理的技术，以及技术应用过程中防止污染和二次污染问题的适当措施，在安全、环保的原则下，实现污染物减排及能源和资源循环利用；通过实行镍、钴冶炼工艺污染防治最佳环境管理，提高设施运营者的管理和操作水平。

本指南适用于具有镍、钴冶炼工艺的冶金企业。

本指南也为环境保护相关管理部门在环境影响评价、工程设计、工程施工以及竣工验收等方面提供技术依据。

（1）规划阶段

本指南为规划管理部门对镍、钴冶炼厂实行统筹规划、建设计划、选址和确定技术路线时提供依据。

（2）立项审批阶段

本指南规定了镍、钴冶炼从生产工艺到末端治理全过程污染防治最佳可行技术，为用户和相关管理部门在环境影响评价报告编制和审批等方面提供技术依据，以便选择适当的污染防治最佳可行技术。

（3）设计施工阶段

本指南为设计和施工单位提供相应的污染防治最佳可行技术及关键技术参数选择，从而实现对镍、钴冶炼厂污染的有效防治。

（4）运营管理阶段

本指南为镍、钴冶炼厂竣工验收和运营管理提供参考依据，并督促镍、钴冶炼厂在运营管理时实现污染防治的最佳环境管理。