

羰基法镍精炼工艺特点与技术改进

钟清慎 贺秀珍

(金川集团铜业有限公司, 甘肃 金昌 737100)

[摘要] 比较分析了国内外典型羰基法精炼镍工艺的技术特点及技术进展,总结了常压、低压、中压、高压羰基法的工艺特点,以及金川集团在中压羰基法精炼镍技术取得的突破,指出了金川集团中压羰基法精炼镍工艺存在的问题及改进方向。结果表明,中低压羰基法精炼镍工艺是镍精炼技术改进的最佳选择。

[关键词] 镍精炼; 高压羰基法; 中压羰基法; 低压羰基法; 电积精炼法; 材料冶金

[中图分类号] TF815 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-5122(2021)05-0076-06

DOI: 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.05.017

Process Characteristics and Technical Improvement of Nickel Refining with Carbonyl Process

ZHONG Qing-shen, HE Xiu-zhen

Abstract: The technical characteristics and progress of typical nickel refining with carbonyl processes at home and abroad were compared and analyzed, the characteristics of carbonyl process under normal pressure, low pressure, medium pressure and high pressure, as well as the breakthrough of nickel refining technology with carbonyl process under medium pressure in Jinchuan Group were summarized, and the existing problems and improvement direction of nickel refining process with carbonyl process under medium pressure in Jinchuan Group were pointed out. The results showed that the carbonyl process under medium and low pressure is the best choice for nickel refining technology improvement.

Key words: nickel refining; carbonyl process under high pressure; carbonyl process under low pressure; carbonyl process under medium pressure; electrowinning refining process; material metallurgy

0 前言

相比镍的火法冶金,镍精炼工艺技术更加复杂,多元素综合利用和多元素深度分离极度困难,难以采用大型高效自动化湿法冶金设备,导致镍精炼技术发展相对缓慢^[1-2]。随着低成本红土氧化镍矿冶

金技术的快速进步,镍铁或含镍铁水等低成本产品快速替代了大部分传统电解镍产品。传统电解镍以及硫酸镍等大宗产品面临产能过剩、产品价格下降和转型升级、提质增效的挑战^[3-5]。

因此,传统镍精炼工艺急需重大创新,硫酸浸出萃取分离电积精炼法或浓缩结晶法、氯化浸出-化学净化-萃取净化-电积精炼法和羰基精炼法三大方向是镍精炼技术发展的主流趋势^[6-9]。其中,中压羰基法镍精炼技术可以实现冶金材料制备流程一体化,以及镍精炼产业转型升级和高质量发展的目标,是传统镍精炼工艺改进的最佳选择^[10-13]。

本文比较分析了国内外典型羰基法镍精炼工艺的技术特点及技术进展,总结了常压、低压、中压、高压羰基法的工艺特点,以及金川中压羰基法精炼镍

[收稿日期] 2021-04-11

[基金项目] 金川集团“十一五”至“十三五”重大科技攻关项目

[作者简介] 钟清慎(1965—),男,江西吉安人,主任高级工程师,硕士,主要从事稀贵金属及镍钴铜冶炼研究工作。

[引文格式] 钟清慎,贺秀珍.羰基法镍精炼工艺特点与技术改进[J].有色冶金节能,2021,37(5):76-81.

技术取得的突破,并指出了金川中压羰基法精炼镍工艺存在的问题及改进建议。

1 国内外羰基法镍精炼技术的发展概况及工艺特点

1.1 国内外羰基法镍精炼技术的发展概况

1.1.1 国外

羰基法精炼镍是英国科学家蒙德(Dr Ludwing Mond)于1889年发明的现代气化冶金技术。1902年,蒙德和朗格尔在英国的克莱达契建立了世界上第一座压羰基法精炼镍工厂;1967年,进行技术改造,采用新的回转窑工艺代替复杂塔式结构的还原塔和羰基镍合成塔工艺。改造后的工艺以加拿大、印尼和危地马拉的硫化镍和海绵态氧化镍为原料,产品镍丸和镍粉年产量分别达28 000 t、5 000 t。

羰基法精炼镍的工艺流程是:硫化镍精矿→两段沸腾炉焙烧→海绵态氧化镍颗粒→还原回转窑→海绵态金属镍→回转窑硫化活化处理→活性海绵态金属镍→回转窑羰基合成→过滤→羰基镍气体→热分解炉镍丸或镍粉。羰基化工艺技术的核心是,通过两段沸腾焙烧、 H_2 还原、 H_2S 活化等过程以及严格控制工艺技术参数来实现原料的高活性。该技术的特点是原料活性要求高,工艺自动化程度高,制备的海绵状高孔隙度金属镍活性高,可采用常压羰基法和低压(2 MPa)羰基法联合工艺,技术成熟,镍羰基合成率高达96%以上^[10-12]。

加拿大国际镍公司于1973年和1974年分别在铜崖精炼厂和布瓦兹精炼厂建成中压羰基法精炼镍工艺生产线。其采用的原料组成包括:高铈磨浮铜镍合金及硫化镍精矿、硫化镍残极、镍金属杂料、卡尔多炉烟尘及酸泥等,原料成分为Ni(62%~72%)、Cu(12%~14%)、S(10%~20%)。其工艺大致为:原料→破碎→混合→搅拌→压块→干燥→卡尔多炉熔化→通氧气熔炼吹炼→转入中间包→倒入制粒溜槽→高压水喷射雾化制粒→锥形槽脱水→底流→回转窑干燥→筛分→筛下物→转中压羰基合成→分离冷却→粗羰基镍溶液→蒸馏塔精馏分离镍铁→镍分解炉→羰基镍丸镍粉及镍铁丸产品。羰基镍产品设计产能分别为56 700 t/a、50 000 t/a。经过多次工艺优化和技术改进,镍丸产量超过45 500 t/a,镍粉产量超过9 100 t/a,镍铁丸产量超过2 400 t/a。

俄罗斯北方镍公司采用高压羰基法精炼镍工

艺,原料为含镍的废料、氧化镍、阳极泥、镍合金或阳极残块等,产品为羰基镍粉末、镍丸以及镍铁合金粉末,产量为5 000 t/a。羰基镍原料通过熔炼、吹炼、高压水雾化等步骤获得,颗粒直径3~10 mm,其活性原料成分为Ni(80%~85%)、Cu(8%~10%)、Fe(3%~5%)、S(2%~4%)、Co(2%),合成周期3 d,镍羰基合成率达96%。工艺流程为:水碎镍合金→高压羰基合成→分离冷却→粗羰基镍溶液→蒸馏塔精馏分离镍铁→镍分解炉→羰基镍丸镍粉及镍铁丸产品。

1.1.2 国内

中国从1958年开始研发羰基法镍精炼技术,于1965年开始建立100 t/a级羰基法精炼镍生产线。原核工业总公司857厂的500 t/a羰基镍生产线采用高压羰基法工艺,其原料为电解镍、废镍合金等,羰基镍原料制备工艺为熔炼后高压水雾化,获得活性镍原料,合成周期3 d,镍的羰基合成率90%以上。工艺流程为:水碎镍→高压羰基合成→分离冷却→粗羰基镍溶液→蒸馏塔精馏分离镍铁→镍分解炉→羰基镍丸镍粉及镍铁丸产品^[13-15]。

2003年,金川集团500 t/a高压羰基法精炼镍试验线投产。原料为高镍铈磨浮磁选的一次合金(12 t/块小型高镍铈块)。原料制备工艺为:一次合金→合金硫化炉熔炼→缓冷→破碎→中频炉熔炼→水碎,最后获得活性水碎合金颗粒,其成分为:Ni(64%~68%)、Cu(16%~17%)、Fe(4%~8.5%)、S(4%~4.5%)、Co(1%~1.3%)。羰基合成采用高压羰基合成技术,镍的羰基合成率85%~93%。工艺流程为:水碎镍铜合金→高压羰基合成→分离冷却→粗羰基镍溶液→蒸馏塔精馏分离镍铁→镍分解炉→羰基镍丸镍粉及镍铁丸产品。

2003年,吉恩镍业引进加拿大CVMR公司的技术,建立了2 000 t/a常压羰基法精炼镍生产线。其原料为水碎高冰镍,成分为Ni(59%~62%)、Cu(14%~16%)、Fe(3%~4%)、S(21%~23%)、Co(0.7%~0.9%)。2011年改为采用进口氧化镍,2013年开始以氢氧化镍为原料,采用烘干煅烧窑脱水,其烘干料成分为Ni(48%~52%)、Fe(0.35%~0.50%)、S(3.6%~4.8%)、Co(3.55%~3.99%)。用钢带式氢气还原炉将氧化镍还原为活性单质镍,活性镍经硫化后进入羰基反应,但由于工艺设计、原料制备和关键设备等存在许多问题,导致羰基合成率低(<70%),羰基合成尾料含镍高,金属直收率

低,产品成本高,质量不稳定,项目至今未能达产达标。工艺流程为:氢氧化镍钴→烘干煅烧窑脱水→钢带式氢气还原炉→海绵金属镍→回转窑常压羰化合成→分离冷却→羰基镍溶液→镍分解炉→羰基镍粉产品。

金川集团 2006 年启动 10 kt/a 中压羰化法精炼镍生产线建设,并于 2018 年 12 月投产。项目设计原料采用高镍硫磨矿磁选产出的一次合金,以及卡尔多炉熔炼吹炼产出的水碎铜镍合金,年处理量为 16 392 t/a。工艺流程为:水碎镍合金→中压转动釜羰化合成→分离冷却→粗羰基镍溶液→蒸馏塔精馏分离镍铁→镍分解炉→羰基镍丸及镍粉产品。

1.2 羰基法镍精炼技术的工艺特点

综合国内外羰基法精炼镍技术的进展,常压、低压、中压、高压羰基法镍精炼工艺中的工艺技术和装备是主要关键难点。这四种羰基法精炼镍工艺特点对比情况^[16-18]如下所述。

1.2.1 常压羰基法

常压羰基发法的工艺特点如下:1) 羰化合成压力仅为常压,在四种羰基法中最低;2) 采用常压回转窑合成,羰化合成周期较长,镍羰化率较低,羰化残渣含镍高;3) 对原料要求最高,要求为孔隙度高度发达的海绵金属镍颗粒,铁、硫含量要求严格;4) 工艺流程短,生产全过程自动化程度高,省去蒸馏工序,投资相对较低;5) 羰化合成能耗成本最低;6) 设备简单,制造容易,设备及仪表寿命长,密封性非常容易解决;7) 对设备及过程控制要求较低,安全性相对高,危险性相对较小;8) 铁、钴几乎不发生羰化反应,不需要蒸馏分离铁。

采用常压羰基发法的厂家有国际镍公司 Clydach 精炼厂、吉林镍业公司 2 000 t/a 生产线。

1.2.2 低压羰基法

低压羰基法的工艺特点如下:1) 羰化合成压力仅为 1~2 MPa,远低于高压羰基法;2) 采用低压转动釜合成,羰化合成周期较短,镍羰化率比常压羰基法高,对原料有一定要求;3) 工艺流程短,自动化程度高,其投资低于中、高压羰基法;4) 羰化合成能耗成本低于中、高压羰基法;5) 设备复杂,制造容易,设备及仪表寿命长于高压羰基法,密封性容易解决;6) 对设备及过程控制要求高,其安全性高于中、高压羰基法,危险性相对较小;7) 铁、钴羰化率低,蒸馏分离负荷小于中压羰基法。

使用加压羰基法的厂家有加拿大国际镍公司

Clydach 精炼厂、加拿大 CVMR 公司试验线。

1.2.3 中压羰基法

中压羰基法的工艺特点为:1) 羰化合成压力仅为 3~7 MPa,远低于高压羰基法;2) 采用中压转动釜合成,羰化反应动力学条件好,羰化合成周期较短,羰化效率最高,镍羰化率高达 96%~98%,对原料有一定要求;3) 工艺流程最短,生产全过程自动化程度很高,投资较大;4) 羰化合成能耗成本低于高压羰基法;5) 设备复杂,制造困难,设备及仪表寿命比高压羰基法长,密封性相对容易解决;6) 对设备及过程控制要求高,安全性高于高压羰基法,危险性相对较小;7) 铁、钴羰化率低于高压羰基法,蒸馏分离负荷相对较小。

加拿大国际镍公司铜崖精炼厂和布瓦兹精炼厂、金川公司 10 kt/a 生产线均采用中压羰基法。

1.2.4 高压羰基法

高压羰基法的工艺特点为:1) 羰化合成压力高达 15~20 MPa;2) 采用固定(摆动)釜合成,羰化反应动力学条件较差,羰化合成周期较短,镍羰化率 95%,对原料要求相对较低;3) 工艺流程短,自动化程度高,投资较大;4) 羰化合成能耗成本最高;5) 设备制造困难,设备及仪表寿命短,密封性难以解决;6) 对设备及过程控制要求高,操控难度大,安全性难以保障,危险性大;7) 铁、钴羰化率高,蒸馏分离负荷大。

俄罗斯北方镍公司、德国 BASF 核工业 857 厂 500 t/a 生产线、金川公司 500 t/a 试验线均采用该方法。

2 金川羰基法镍精炼技术进展

金川集团对羰基法镍精炼工艺技术持续进行了 20 多年系统广泛的研究和产业化开发,先后与国内外相关科研院所和装备制造企业联合开发了高压羰基精炼法以及中压羰基法等镍精炼技术,并采用中压羰基精炼法建设了万吨级规模的试验生产线。金川集团 10 kt/a 羰基镍生产线于 2018 年底投产试车,标志着金川集团成为全球第一家同时拥有羰基镍、羰基铁两条生产线的企业,进入完全拥有自主知识产权的世界羰化冶金生产先进行列^[19-22]。该生产线采用目前世界先进的工艺、装备和安全控制技术,集气化冶金及羰基金属新材料制备技术于一体的中压羰化合成技术,配备自主研发的国内首台转动合成釜等具有自主知识产权的核心设备。金川羰

基法镍精炼技术发展概况及已经取得突破的重大关键技术见表1。

表1 金川羰基法镍精炼技术发展概况

镍精炼方法	原料	产品及规模	研发进展概况及突破的关键技术
高压羰基精炼法	水碎镍合金	500 t/a 镍粉、镍丸、镍铁粉	2000—2003年设计开发500 t/a高压羰基法精炼镍试验线,2003—2009年开发了羰基镍轻粉、重粉、镍丸等产品;水碎铜镍合金颗粒制备技术,CO气体净化技术,高压羰基合成技术,精馏分离镍铁技术,系列镍粉连续热分解技术,镍丸长周期连续生长技术
中压羰基精炼法	水碎镍合金	10 kt/a 镍丸、镍粉、镍铁粉	2007—2018年设计建设10 kt/a羰基镍生产线;水碎铜镍合金颗粒制备技术,CO气体净化及脱硫技术,中压连续羰基合成技术,连续精馏分离镍铁技术,系列镍轻粉、重粉连续热分解技术,镍丸及含硫镍丸长周期连续生长技术,羰基镍析气处理及分解气CO循环利用技术

3 金川中压羰基法精炼镍技术存在问题及建议对策

金川中压羰基法精炼镍技术尽管经过近20年努力取得了重大技术进展,但是仍然需要解决下述难题。

3.1 定位问题

金川中压羰基法精炼镍技术原设计定位是增加镍产品品种,提高镍产品附加值,以解决金川镍产品品种单一、市场竞争能力适应性差等问题。同时,也将中压羰基法精炼镍技术定位为镍精炼辅助工艺,其原料是金川高铈磨浮选矿产出的粗粒合金,及部分电解镍次品(如镍耳、碎始极片和3#镍),在生产具有高附加值的羰基镍产品的同时,作为富集贵金属的方法,减少贵金属分散损失。这种定位难以适应市场形势的变化,难以将中压羰基法精炼镍技术做优做强,应将其定位为传统可溶阳极电解精炼镍技术升级改造的最主要方向,以实现冶金材料制备一体化。

3.2 规模问题

金川羰基法精炼镍设计规模为10 kt/a,处理水碎镍铜合金16 392 t/a。这种设计规模,必然导致单位成本偏高,当市场形势变化时,难以实现规模经济效益。为了提高市场竞争能力,做大做强是必然选择,只有扩大规模,才能大幅降低加工成本。因此,可进行10 kt/a生产线挖潜改造,使其产能增加至30~50 kt/a,远期产能扩大至100~150 kt/a。

3.3 产品结构问题

10 kt/a羰基镍生产线产品结构设计为:镍粉5 000 t/a(其中,镍轻粉1 800 t/a、镍重粉1 800 t/a、特殊用途镍粉634 t/a、极细镍粉400 t/a、镍铁粉1 221 t/a),镍丸5 000 t/a。这种产品结构缺乏科学的市场调研依据,因为目前国内外羰基镍粉市

场需求量较小,同时没有考虑高端镍盐产品市场急需的含硫镍丸产品、不锈钢冶炼所需的低成本镍铁丸产品、镍包覆粉产品等产品需求,与镍产品消费市场结构形势变化不相适应,难以实现产销平衡和总体产能的完全释放。因此,应缩减镍重粉生产,增加镍铁粉生产,扩大镍丸、含硫镍丸产量,新增镍铁丸产品,开发镍包覆粉产品。

3.4 羰基镍原料质量和结构问题

10 kt/a羰基镍生产线设计原料为水碎镍铜合金。设计原料成分要求 $Ni \geq 65\%$ 、 $Cu \leq 14.5\%$ 、 Co 为1.3%、 $Fe \leq 10\%$ 、 S 为4%~5%,粒径1~5 mm。由于镍浮选精矿铜品位升高、高镍铈冷却能力不足,高镍铈块单重由12 t/块增加一倍至25 t/块,高铈磨浮选矿产出的一次合金铜品位升高至20%,硫品位升高至10%~14%,氧气斜吹旋转转炉熔炼吹炼水碎工艺实际产出的水碎合金含镍51%~58%,含铜25%~33%,含硫8%~13%。水碎合金镍品位低、铜硫品位高,铜硫比偏低,导致各项技术经济指标变差,严重影响10 kt/a羰基镍生产线的达产达标。中压羰基合成率低(70%~85%),合成周期变长(7~9 d),单釜羰基镍溶液产出量下降,羰基镍络合物中硫含量和水分含量超标,影响羰基镍粉产品质量,镍羰基化技术经济指标与国外先进水平、设计指标差距较大。应增加二次硫化镍精矿流态化焙烧工艺,制备高品位氧化镍,以大幅提高羰基镍原料镍品位。

3.5 设备大型化问题

中压转动合成釜、蒸馏塔、镍丸分解生长器、斗提机等关键设备规格型号偏小,单位生产能力小,生产效率低。应研发大型中压转动合成釜、大型蒸馏塔、大型镍丸生产设备等关键设备。

3.6 能耗水平偏高问题

由于规模偏小,设备选型偏小,导致单位产品能耗成本高,羰基镍原料制备和10 kt/a羰基镍生产线

单位能耗水平偏高。建议采用大型氧气斜吹旋转转炉代替小型氧气斜吹旋转转炉,提高处理能力,改进炉子操作,选用高性能耐火材料;提高中压转动釜、精馏、分解处理能力,增加产量;优化操作和运行管控。

3.7 各工序环节产能匹配问题

羰基镍原料制备和 10 kt/a 羰基镍生产线各主要工序环节产能不匹配。其中,铜镍合金熔炼吹炼工序、镍丸及含硫镍丸热分解生长工序产能不足,连续精馏工序产能偏小,CO 造气和净化除杂工序、变压吸附脱硫工序、羰化合成工序、镍重粉热分解工序、分解气及解析气和废气处理等工序产能富余。因此,应增加羰基镍备料工序、中压羰化合成工序处理能力,扩建镍丸、含硫镍丸工序产能,新建镍铁丸生产线。

3.8 成本问题

由于规模偏小,产品销售目标市场有限,电耗以及试剂和辅助材料等各种消耗偏高,固定费用、人力成本高,羰基镍原料制备和 10 kt/a 中压羰基法精炼镍生产线与传统镍精炼技术相比,加工成本偏高。因此,应扩建羰基镍原料备料产能规模,羰基镍生产线产能规模,增加镍铁丸产品产能,采取大幅降低单位能耗水平的各种技术和管理措施。

3.9 工艺优化改进问题

由于国外严密技术封锁以及前期研发论证不足和工程设计缺陷,应持续优化改进羰基镍原料制备工艺,中压羰化合成、精馏、镍粉分解和镍丸分解生长工艺,CO 造气和净化提纯工艺,分解气和解析气工艺,废气处理等工艺。同时,扩建镍丸和含硫镍丸生产线;对原料进行重大改进,新建低成本镍铁丸生产线,即建设“高铈磨浮选矿镍精矿→流态化焙烧→氧化亚镍和粗粒合金→混合还原熔炼→水碎→水碎合金→中压羰化转动合成→冷却→过滤分离→羰基镍铁混合溶液→羰基镍铁混合气体热分解→镍铁丸高效生长→镍铁丸产品”短流程工艺生产线。

3.10 装备水平和 DSC 控制系统升级改造问题

由于国内外装备制造水平和信息自动化水平快速进步,国外严密技术封锁以及前期研发论证不足和工程设计缺陷,羰基镍原料制备、10 kt/a 羰基镍生产线装备水平和 DSC 控制系统需要不断升级改造。

3.11 产业链延伸问题

羰基镍粉传统下游重点行业如粉末冶金、镍氢

电池和镍镉电池等产业的需求量有限或减少,应开发下游粉末冶金、镍氢电池和镍镉电池及三元动力电池、高端镍盐、电镀、不锈钢、镍高温合金和镍有色金属等产业的新应用,延伸产业链,提高附加值。

上述系列问题的解决,必将提高中压羰基法精炼镍技术的综合技术经济指标和竞争力,使之成为镍精炼主流技术。

4 结束语

羰基法精炼镍技术是目前最具发展潜力的镍精炼工艺,其中中压羰基精炼法是羰基法精炼镍技术的重大进展,是实现镍精炼产业转型升级、高质量发展目标以及冶金材料制备一体化流程的唯一途径。

金川集团采用中压羰基法精炼镍技术代替传统硫化镍可溶阳极电解精炼技术,经过 10 kt/a 羰基镍生产线多年关键技术攻关,基本突破了中压羰基法精炼镍的主要关键核心技术难题,产品质量优良,产品系列多元化,生产运行和安全环保管控水平不断进步,综合技术经济指标不断提高,总体技术水平达到国内领先、国际先进水平。但目前仍然需要解决规模偏小、成本偏高、原料品位以及产品结构、工艺和装备水平优化改进等一系列问题。这些问题如能解决,必将提高中压羰基法的技术竞争力。

[参考文献]

- [1] 何焕华,蔡乔方. 中国镍钴冶金[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.
- [2] 何焕华. 世界镍工业现状及发展趋势[J]. 有色冶炼, 2001,30(6):1-3,20.
- [3] 贾露萍. 镍的现状与展望[J]. 有色设备,2018,31(6):17-20.
- [4] 潘建,田宏宇,朱德庆,等. 镍矿资源供需分析及红土镍矿开发利用现状[C]//2019年镍产业发展高峰论坛暨 APOL 年会会刊:22-31.
- [5] 于良晖. 国内外镍资源供需格局分析[J]. 矿产保护与利用,2019,39(1):155-162.
- [6] 黄振华. 浅谈金川高冰镍传统精炼工艺技改方案和镍产品结构调整[J]. 矿冶,2000,9(4):56-61.
- [7] 张广立. 金川镍精炼改造方案议[J]. 有色冶炼, 2002,31(5):9-11,16.
- [8] 帅国权,顾凌霄. 论氯化冶金技术改造镍精炼工艺的必要性[J]. 有色冶炼,1998,28(9):38-39,42.
- [9] 赵祥麟. 氯化精炼工艺在金川湿法冶金中的应用前景[J]. 有色冶炼,1999(S1):106-108,126.
- [10] 滕荣厚,赵宝生. 羰基法精炼镍及安全环保[M]. 北

京:冶金工业出版社,2017.

- [11] 柳学全,方建锋,黄乃红,等.国内外羰基镍技术进展及市场展望[J].粉末冶金工业,2003,13(3):10-13.
- [12] 滕荣厚.我国羰基法精炼镍技术的发展方向[J].中国有色冶金,2006,35(3):17-23.
- [13] 滕荣厚,柳学全,黄乃红,等.根据我国镍资源特点选择优化羰基法精炼镍工艺[J].粉末冶金工业,2006,16(3):30-38.
- [14] WISEMAN L G,王永慧等.国际镍公司铜崖镍精炼厂[J].有色冶炼,1992,22(2):6-14.
- [15] 屈子梅,侯开太.我国羰基镍粉末工业的发展[J].四川冶金,1995(4):62-66.
- [16] 屈子梅.我国羰基镍工业的技术进步[J].粉末冶金工业,2003,13(1):15-20.
- [17] 屈子梅.羰基法生产纳米镍粉[J].粉末冶金工业,2003,13(5):16-19.
- [18] 孟庆伟.氢氧化镍制备羰基镍粉技术及工业化应用[D].长春:长春工业大学,2015.
- [19] 东华工程科技股份有限公司.金川集团有限公司10 k/a羰基镍项目可行性研究[R].2007.
- [20] 东华工程科技股份有限公司.金川集团有限公司10 k/a羰基镍生产线初步设计说明书(第一册)[R].2008.
- [21] 金川集团碳化冶金厂.羰基镍生产线多种原料中压碳化合成技术研究[R].2018.
- [22] 金川集团碳化冶金厂.羰基镍中压合成技术研究及其配套设备研发应用[R].2019.

(上接第75页)

5.4 污染防治和环境保护

青藏高原是全国生态环境重点保护地区之一,生态系统脆弱,生态承载力低,一旦破坏很难恢复。国家对于保护区内的项目进行了严格的监管,所有涉及保护区的项目全部停产。矿产开发等优势产业因保护区红线划定受到一定程度上的限制。

建设铜冶炼企业,生产过程中产生的废气即使执行超低排放标准,仍会向环境排放大气污染物,不可避免对环境造成一定程度的影响。因此,需要进一步落实当地的环保容量。同时,需要尽量利用清洁能源,从源头上减少污染物的排放。氢能源被认为是“碳中和”体系中重要的组成部分,西藏地区水资源和太阳能资源丰富,合理利用水电和光电转化成氢能,用氢能代替传统能源进行工业生产,将是未来重点研究和探索的方向。

生产的废水可通过废水处理进行充分回用,实现零排放。一般固废可送往产业园内建材厂进行废物利用,资源化处置。对于少量的危险废物,需要运往外地有资质企业进行处置。

6 结束语

在西藏地区布局铜冶炼产业是一件前所未有的大事,机遇和挑战并存,不仅关系到西藏地区的经济发展,也关系到人们赖以生存的生态环境。因此,需要各方力量一齐努力,既要开放和包容的心态打破常规,又要以科学严谨的态度审慎论证。只有科学合理地开发利用西藏地区的铜矿资源,处理好铜资源开发与环境保护之间的关系,以更低的环境和碳排放为代价发展绿色低碳的资源循环经济,才能真正实现西藏地区工业经济的高质量发展。

[参考文献]

- [1] 唐菊兴,王勤.西藏铜矿资源优势及开发利用展望[J].中国工程科学,2019,21(1):140-147.
- [2] 王璞.西藏铜资源开发利用现状[J].中国钨业,2018,42(2):26-30.
- [3] 李国政.国家主导与地区回应:边疆民族地区特殊的区域发展模式——以西藏现代工业为例[J].西藏研究,2012(5):46-52.