

印尼寒锐镍钴有限公司  
6万金属吨镍高压浸出项目  
  
可行性研究报告

二〇二三年二月

## 目录

<b>1 总论</b> .....	<b>4</b>
1.1 项目主体情况.....	4
1.2 工程概况.....	4
1.3 地理位置.....	5
<b>2 市场分析</b> .....	<b>7</b>
2.1 镍市场分析.....	7
2.2 钴市场分析.....	8
<b>3 建设方案</b> .....	<b>10</b>
3.1 项目规模方案.....	10
3.2 产品方案.....	10
3.3 厂址方案.....	11
<b>4 选矿</b> .....	<b>12</b>
4.1 选矿概述.....	12
4.2 选矿厂.....	12
4.3 选矿工艺.....	12
<b>5 湿法冶炼</b> .....	<b>13</b>
5.1 湿法冶炼方案.....	13
5.2 湿法冶炼工厂设计 .....	13
<b>6 尾渣设施</b> .....	<b>14</b>
6.1 尾渣处置方案.....	14
6.2 尾渣库方案.....	14
6.3 尾渣输送方法.....	15
<b>7 硫磺制酸</b> .....	<b>16</b>
7.1 生产规模及产品方案 .....	16
7.2 制酸方案.....	16
7.3 工艺流程.....	16
<b>8 石灰石工程</b> .....	<b>17</b>
8.1 概述.....	17
8.2 石灰石破碎及制浆 .....	17
8.3 石灰石破碎筛分系统 .....	17
8.4 石灰石煅烧.....	17
8.5 石灰乳制备.....	18
<b>9 环境保护、安全与消防</b> .....	<b>19</b>
9.1 环保.....	19

9.2 安全卫生.....	20
9.3 消防.....	20
<b>10 项目实施计划.....</b>	<b>21</b>
<b>11 企业组织和劳动定员.....</b>	<b>22</b>
11.1 工作制度.....	22
11.2 劳动定员.....	22
11.3 职工薪酬.....	22
11.4 职工培训.....	22
<b>12 投资估算.....</b>	<b>23</b>
12.1 工程概况.....	23
12.2 投资范围.....	23
12.3 流动资金估算.....	23
12.4 项目总投资及资金筹措.....	23
<b>13 财务分析.....</b>	<b>24</b>
13.1 收入、税金及利润计算.....	24
13.2 财务效益评价.....	24
13.3 财务评价结论.....	24
<b>14 结论.....</b>	<b>26</b>
14.1 综合评价.....	26
14.2 研究报告结论.....	26

# 1 总论

## 1.1 项目主体情况

### 1.1.1 项目名称：6万金属吨镍高压浸出项目

### 1.1.2 建设单位：南京寒锐钴业股份有限公司

南京寒锐钴业股份有限公司（以下简称“寒锐钴业”或“公司”）创立于 1997 年，总部位于南京市江宁区。公司于 2017 年 3 月成功登陆创业板。

寒锐钴业主要从事金属钴粉及其他钴产品、铜产品的研发、生产和销售，具有较强的自主研发和创新能力，并具有自主国际品牌。公司以钴产品为核心，铜产品为补充，形成了从原材料钴矿石的开发、收购，到钴矿石的加工、冶炼，直至钴中间产品和钴粉的完整产业流程，是国内少数拥有有色金属钴完整产业链的企业之一。公司钴粉产品在国内外市场信誉良好，公司已经成为中国和世界钴粉产品的主要供应商之一。

公司秉承“提供一流的钴产品”的企业宗旨和“以品质创品牌，以信誉求发展”的核心价值观，以客户的需求为依托，以技术的研发创新为龙头，以刚果（金）钴矿资源基地为保障，布局钴的完整产业链。2021 年，实现营业收入 4,349,711,262.50 元，同比增长 93.00%，归属于上市公司股东的净利润 663,166,173.38 元，同比增长 98.25%。

### 1.1.3 咨询单位：中国恩菲工程技术有限公司

中国恩菲工程技术有限公司（简称“中国恩菲”），其前身是中国有色工程设计研究总院，即原北京有色冶金设计研究总院，成立于 1953 年。中国恩菲现隶属于世界 500 强企业——中国冶金科工集团有限公司。中国恩菲是中国有色行业拥有资质等级最高、资质范围最广的设计企业。中国恩菲承担了国内几乎所有硫化镍钴资源开发利用项目的咨询和设计工作，具有丰富的工程经验及加压氧浸及溶剂萃取等技术优势；承担了国内多个镍钴资源综合回收利用项目的咨询和设计工作，具有丰富的镍钴资源综合回收利用工程经验和技術优势；是最早进行从原矿中提取镍、钴的工程设计和工艺研发单位，具有雄厚技术实力和人才储备。

## 1.2 工程概况

随着中国及其他国家新能源汽车的发展，含三元材料（镍钴锰酸锂）的锂离子正

在逐步成为未来新能源汽车电池主流发展方向，尤其是高镍三元材料（NCM811、NCA）具有高容量及高能量密度，将成为后期镍在电池领域的主要应用发展方向。预计汽车动力电池用镍量将有爆炸式增长。随着市场需求的增长，镍、钴价格持续攀升，2021年镍价较2018年有大幅上升，作为三元电池原料的主金属原料镍和钴供不应求，有着非常旺盛的市场需求。

印尼红土镍矿储量丰富，主要分布在印尼的东部。苏拉威西群岛是印尼最主要的红土镍矿产地，岛上镍矿资源约占印尼镍矿总资源约80%。南京寒锐钴业股份有限公司与合作方在印尼中苏拉威西岛拥有多个红土镍矿矿山，仅1.5%镍矿储量超3亿吨。中苏拉威西省莫洛瓦利县周边矿产资源也较丰富，属于成矿带，有数十个矿区，保守预计镍矿储量1.5%以上超15亿吨，1.3%以上储量更多。

为了充分发挥寒锐钴业及合作方海外红土镍矿资源优势，为企业创造更大经济价值，增强企业综合竞争力，南京寒锐钴业股份有限公司拟在印尼中苏拉威西省莫洛瓦利县华宝工业园区，采用中国恩菲核心“三级预热—高压酸浸—三级闪蒸”+“氢氧化钠碱基活化沉镍”专利技术，开发利用园区周边及整个苏拉威西岛低品位红土镍矿资源，生产用于制备三元电池材料用氢氧化镍钴产品。

拟建项目年处理褐铁矿型红土镍矿约580万t（干基）、残积矿约15万t（干基），年产氢氧化镍钴产品约39.5万t/a，其中（干重）15.8万t/a，按金属计为镍62,198t、钴5,506t，产品主要销往国内用于制备动力锂离子电池用三元材料前驱体。

### 1.3 地理位置

本项目位于印度尼西亚中苏拉威西省莫罗瓦利县（南纬2°东经121°E）苏拉威西岛东部东滨托罗湾，西南距雅加达约1700KM，南距肯达里约280KM，离最近的莫罗瓦利机场约15公里（不到30分钟车程），南部到莫罗瓦利县政府所在地邦库约30公里，有省道与整个苏拉威西公路网连接，均可直达苏拉威西最大城市马卡萨，以及中苏拉威西省会帕卢、东南苏拉威西省会肯达里，交通十分便利。

本项目拟建于华宝工业园区，园区东部临海，将建设大型自用码头，包括1座5万吨级散货码头，1座2万吨级件杂货码头，1个万吨级建材泊位，以及20个1万吨级镍矿驳船泊位，用于项目建设物资及未来生产用原材料及产成品进出园区。

本项目生产、生活及消防用水，通过水坝、泵站、供水管网、净水装置等设施统

筹考虑向园区供应淡水，满足园区其他生产企业及本项目生产、生活用水需求。

在距离本项目东北方向约 6.5km 处已经建成一座燃煤发电厂，为整个园区内规划的项目供电。此外，在已建的镍铁冶炼厂内配套建设有一座余热发电站和一座屋面光伏发电站，上述燃煤发电厂剩余电量（约 60MW）可协调用于满足本项目用电需求。

## 2 市场分析

### 2.1 镍市场分析

#### 2.1.1 资源状况

据美国地质调查局 2022 年数据，截至 2021 年，世界镍储量 9,500 万吨以上，主要分布于印度尼西亚、澳大利亚、巴西、俄罗斯、菲律宾、中国、加拿大等国家。

已经查明陆地镍资源量（品位大于 0.5%）约 3 亿吨，其中 60% 是红土镍矿，其伴生金属主要为钴和铁，它们主要分布在赤道附近的印度尼西亚、巴西、古巴、菲律宾、新喀里多尼亚、哥伦比亚和危地马拉等国；40% 是硫化镍矿，主要分布在三个地区，即加拿大的五湖地区及哈得孙湾、俄罗斯北部的诺里尔斯克及科拉半岛、澳大利亚西部地区。

此外在深海，特别是太平洋深海的锰结核和锰结壳中也蕴藏着丰富的镍资源。目前人类开发利用的镍资源主要以陆地上的硫化镍矿居多，随着红土镍矿的大规模开发，全球镍矿供应中红土镍矿的比例呈上升趋势。

#### 2.2.2 镍的生产

根据美国地质调查局数据，2015-2021 全球镍矿产量年均增速 2.86%，同期印尼镍矿产量年均增速 40.5%，远高于其他国家；2021 年全球镍矿产量 270 万吨，其中印尼镍矿产量 100 万吨，占比 37%。

中国镍资源主要以硫化矿为主，2021 年国内镍矿产量为 10.46 万吨，同比微增 0.48%，基本保持不变。自 2015 年以来，国内镍矿产量基本保持稳定，在 10 万吨金属量上下浮动。

原生镍方面，2021 年国内原生镍产量为 68.5 万吨，较 2020 年下降 8.67% 左右，其中电镍产量 16 万吨，同比减少 9.1%，镍盐产量 8.4 万吨，同比增加 31.3%，NPI 产量 44.1 万吨，同比减少 14.5%。国内原生镍产量远远高于镍矿产量，原料不足部分基本靠进口，主要进口原料为红土矿及镍中间品。2021 年国内红土矿进口总量 4352 万吨，主要来源国为菲律宾，进口量 3901 万吨，占比 89.64%。

#### 2.2.3 消费情况

中国是全球最大的原生镍消费国，占全球份额中的 54.7%，同时也是全球原生镍消费的主要增长力量，2015-2021 年中国原生镍消费从 98 万吨增长至 154 万吨，原生镍产量增速低于消费量。

中国镍的消费结构中，不锈钢占主导地位，但近几年不锈钢消费增速明显放缓，电池领域耗镍量明显增加。

国内不足的部分全部依靠进口，中国进口的精炼镍主要包括阳极镍、镍扣、镍粉、镍铁和锻轧非合金镍。据海关数据统计，2021 中国镍铁进口总量 372.5 万吨（折金属量 59.6 万吨），同比增加 8.2%，其中自印尼进口镍铁量 314 万吨，同比增加 8.2%；精炼镍进口总量为 26.1 万吨，同比增加 99%，主要增量为镍豆，反应出了中国新能源行业用镍增长速度，以及原料紧缺程度。

## 2.2 钴市场分析

### 2.2.1 资源情况

地球上的钴绝大部分赋存在含镍的红土矿床中，其余赋存在铜镍硫化矿床和铜钴矿床中。世界陆地钴储量静态可采年限接近 50 年，在正常情况下可保证长期稳定供应。海底锰结核和锰结壳也是一种潜在的钴资源，主要分布于太平洋海底，开发潜力巨大。

据美国地质调查局 2022 年发布的报告，截至 2021 年，世界钴的储量大约 765 万吨，其中刚果（金）、澳大利亚、印度尼西亚和古巴的储量合计约占世界的 78%，资源高度集中。

中国钴矿资源不多，独立钴矿床尤少，主要作为伴生矿产与铁、镍、铜等其他矿产一道产出。已知钴矿产地 150 处，分布于 24 个省（区），以甘肃省储量最多，约占全国总储量的 35%。2021 年中国钴矿金属查明资源储量为 13.86 万吨。

### 2.2.2 钴的生产

根据美国地质调查局数据，2021 年全球钴原料供应（折金属量）为 16.53 万吨，较上年增加 16.41%。

全球精炼钴生产主要集中在中国、芬兰、加拿大、日本、比利时、俄罗斯、挪威、澳大利亚和摩洛哥等国。2021 年中国精炼钴产量在全球占比达 75.7%，芬兰精炼钴产量在全球占比为 8.3%，加拿大、比利时和日本的精炼钴产量在全球的比重分别为 3.5%、

3.1%、2.4%。由于我国精炼钴生产企业在生产成本、下游产业链配套方面具有显著优势，中国精炼钴生产在全球供应链中至关重要。

2022年，中国精炼钴产量结束高速增长，预计2022年国内精炼钴产量将小幅提高至13万吨，也使全球精炼钴产量增速放缓，预计将达到17.5万吨，同比增长4.7%。

### 2.2.3 钴的消费

钴作为重要战略金属广泛应用于工业和军事领域。钴的主要用途是用于生产锂电池、高温合金、耐热耐腐合金、硬质合金以及磁性材料等。

根据安泰科数据，2021年全球钴消费量16.5万吨，同比增长17.1%。2021年随着高温合金和硬质合金行业出现复苏，高温合金和硬质合金领域的钴消费量出现了增长。3C产品销量仍旧延续2020年大幅增长的势头，钴酸锂产量持续大幅增长。锂电池产量的增加仍是钴消费增长的主要动力，电池行业用钴量约为11.1万吨，占比67%；其次是高温合金领域，用钴量1.2万吨，占比约7%；硬质合金和金刚石工具行业、硬面材料、陶瓷和催化剂行业占比为7%、2%、3%和1%。

## 3 建设方案

### 3.1 项目规模方案

印尼红土镍矿储量丰富，主要分布在印尼的东部。苏拉威西群岛是印尼最主要的红土镍矿产地，岛上镍矿资源约占印尼镍矿总资源约80%。本项目选址苏拉威西岛中部，可以辐射整个苏拉威西岛主要镍矿生产区域。本项目周边矿产资源也较丰富，属于成矿带，有数十个矿区，保守预计镍矿储量1.5%以上超15亿吨，1.3%以上储量更多。寒锐钴业与合作方有多个矿山，仅1.5%镍矿储量超3亿吨，完全可以满足本项目的生产需要。

红土镍矿冶炼项目生产服务年限一般按照20年较为合理，且应具备60%以上的原料保障。根据目前寒锐钴业及合作方矿权范围内褐铁矿总资源量，本项目以处理褐铁矿干基量约580万吨较为合理。

随着新能源汽车的发展，含三元材料（镍钴锰酸锂）的锂离子将成为未来新能源汽车动力电池主流发展方向，尤其是高镍三元材料（NCM811、NCA）具有高容量及高能量密度，将成为今后镍在汽车动力电池领域的主要应用发展方向。预计未来几年汽车动力电池用镍量将有爆炸增长，2025年世界新能源汽车产量将达到1000~2000万辆，电池耗镍量达到35~70万t。为了充分占有新能源汽车行业用镍产品市场份额，并具有一定的市场话语权和综合竞争能力，本项目镍生产规模不宜小于5万t/a。

由于红土镍矿湿法高压酸浸项目一般投资较大，在原料供应充足时项目建设宜采用较大规模，这样可以降低单位规模的投入和取得较好的投资收益比。根据目前世界上已成功运行的类似项目规模分析，高压酸浸单系列的生产能力基本都在15,000t/a~20,000t/a镍金属量规模，这主要取决于原料中镍的品位和物料特性，参考近年来印尼高压酸浸处理的褐铁矿型红土镍矿矿浆流变特性。综合考虑到南京寒锐钴业现有经济实力及拟投资规模综合分析，本项目生产规模为镍金属量5万t/a-6万t/a，高压酸浸系统为3个系列，年处理褐铁矿矿量（干基）约580万t/a较为合理。

### 3.2 产品方案

目前世界上红土镍矿湿法冶炼项目大部分的产品方案为硫化镍钴或氢氧化镍钴中间产品，少数项目产品方案为电镍、电钴。与其它产品方案相比，氢氧化镍钴产品方

案具有工艺流程简单、技术风险小、投资省、成本低及后续加工生产电池级硫酸镍钴工艺简单、成熟可靠、加工成本低等优点，越来越得到业内认可，因此本项目主要产品为氢氧化镍钴混合物。

### 3.3 厂址方案

项目拟建主要设施场地分别为硫酸厂、石灰石厂、选矿厂、冶炼厂、尾渣库等。项目配套设施大多新建，结合现有地形资料，项目可实施范围内存在一条南部山脉入海口主要的汇水河流，通过厂址区域整体比较，厂址位于南部山脉河流西侧的话，在投资与运营成本、企业协作、对外交通便利程度、生产与生活良好衔接等方面更具有优势。

## 4 选矿

### 4.1 选矿概述

本项目原矿分为褐铁矿和残积矿两种，根据冶炼工艺要求，褐铁矿作为冶炼原料，先进行洗矿，然后再除去矿浆中的木屑和树根等杂物，最后通过磨矿将矿浆的粒度控制在-0.074mm 占 90%，矿浆浓度 30%。本次设计暂不考虑选副产品工艺，在洗矿车间东南向预留车间作为今后副产品场地。

对残积矿和褐铁矿中镍钴品位较高的粗颗粒（-350mm~+50mm 和-50mm~+3mm）通过磨矿，-74 $\mu$ m 占 80%的磨矿产品粒度，矿浆浓度 30%。

### 4.2 选矿厂

选矿厂分为褐铁矿选矿和残积矿选矿两部分，其中褐铁矿选矿包含原矿堆场、洗矿车间、洗矿后除渣车间、褐铁矿磨矿及除渣车间等。褐铁矿选矿厂处理原矿能力约 580 万 t/a。产出成品矿浆干基 520 万 t/a，筑路石料或中和剂磨矿原料（-350mm~+50mm 大块砾石）20.3 万 t/a，采空区复垦填料或中和剂磨矿原料（-50mm~+3mm 小块砾石）31.9 万 t/a，木屑约 5.80 万 t/a，渣 1.5 万 t/a。

残积矿选矿包括原矿堆场、残积矿原矿仓、残积矿皮带廊及转运站、残积矿磨矿车间、残积矿浓缩车间。残积矿选矿厂处理原矿的能力为 13.6 万 t/a，根据冶炼专业要求，考虑未来生产波动，同时考虑残积矿代替石灰石可能性，设备选型按 50 万 t/a 设计。

### 4.3 选矿工艺

#### 4.3.1 褐铁矿的选矿工艺选择

本项目适宜使用“圆筒洗矿机+槽式擦洗机+振动筛”的洗矿工艺。本项目洗矿分级粒度适宜定在 3mm，由于+3mm 物料中镍品位较低，可以先抛废堆存，再根据镍钴品位确定是否需要回收，如果需要回收，利用前装机或汽车运至残积矿磨矿，如果不需要回收，则运至采空区回填。

#### 4.3.2 残积矿的选矿工艺选择

此种原矿性质，适合采用“半自磨+球磨”工艺。残积矿中钴的品位较低。根据冶炼工艺要求，残积矿直接磨矿，粒度达到-0.074mm 占 80%。

## 5 湿法冶炼

### 5.1 湿法冶炼方案

根据原料特点，项目采用“高压酸浸（HPAL）—氢氧化物沉淀”工艺生产氢氧化镍钴产品。

冶炼主要工艺过程有矿浆处理、高压酸浸、循环浸出及矿浆中和、CCD 逆流洗涤、中和除铁铝、氢氧化镍钴沉淀、尾渣中和等，尾渣进入尾渣库，最终产出的氢氧化镍钴（MHP）作为产品出售。

### 5.2 湿法冶炼工厂设计

处理来自选矿的矿浆（固体干量）约 520 万 t/a，年产氢氧化镍钴产品约 39.5 万 t/a，其中（干重）15.8 万 t/a，按金属计为镍 62,198t、钴 5,506t。

主要原料为选矿专业处理后的褐铁矿和残积矿，褐铁矿干量为 520 万 t，经选矿处理后送至湿法处理，选矿来矿矿浆含固体 10%（质量浓度），经初步浓密后含固体 38%（质量浓度），密度 1.37t/m<sup>3</sup>。残积矿矿量约 13.6 万 t/a。

主要废渣为尾渣渣浆约 707.3 万 t/a（固体干量），尾渣以矿浆的形式送至尾渣库堆存。固含 31%时，尾渣矿浆量 2,225.25 万 t/a；固含 20%时，尾渣矿浆量 3,534.75 万 t/a。

## 6 尾渣设施

### 6.1 尾渣处置方案

#### 6.1.1 堆存方案

综合考虑项目所在区域的气候条件、地震情况、地形、项目规模、技术、经济及管理等方面因素，本项目尾渣处置采用地表堆存方案，即配套建设尾渣库。

该项目尾渣处置工艺推荐采用低浓度湿排堆存方案。即：红土镍矿湿法工艺产生的尾渣在冶炼厂通过尾渣中和处理基本达到中性（ $\text{pH}=8.5$ ）之后，通过尾渣输送设施输送至尾渣库，在尾渣坝顶分散均匀排放，进行地表堆存。尾渣库的澄清水通过排水浮船及管道压力输送至冶炼厂区排海车间处理，处理后排入海洋。尾渣库渗水经渗水回收设施返回尾渣库。

#### 6.1.2 污染控制方案

为了尽量减少尾渣库对环境的污染，根据当地相关规程规范要求，尾渣库配套较为完备的污染控制设施，主要包括库周清污分流设施、库区防渗设施、尾渣坝外渗水回收设施。

根据湿法冶炼工艺要求，尾渣库回水无法返回冶炼厂重复利用，尾渣库正常排水经由排水设施送至冶炼厂区，通过废水排海车间处理后排入海洋。

#### 6.1.3 筑坝方案

根据该项目尾渣物料特性，结合当地地震情况，尾渣坝筑坝方案为采用当地土石料一次建坝，分期建设。

### 6.2 尾渣库方案

#### 6.2.1 尾渣库概况

尾渣库位于冶炼厂场址南侧，库址处于北-南走向山谷内，在山谷下游两侧山体缩窄处建设尾渣坝主坝。尾渣坝主坝与冶炼厂直线距离约 4.6km，尾渣库东侧山脊垭口处修建副坝。库区汇水面积约 16.3km<sup>2</sup>，尾渣库使用标高为 140.0m~270.0m，尾渣坝至分水岭的主沟长约 6.7km，平均坡降约为 6.0%，库区占地面积约 877.7ha。

尾渣坝主坝采用一次建坝方式，分期建设，尾渣库根据主坝的建设计划，将尾渣

库的使用期分为五期。

### 6.2.2 尾渣库库容确定

根据冶炼厂正常运行 18 年排放尾渣量确定尾渣库库容。根据工艺资料，冶炼厂排放尾渣量为  $707.3 \times 10^4 \text{t/a}$ ，则冶炼厂 18a 服务年限内排出的尾渣总量约为  $12,589.9 \times 10^4 \text{t}$ （投产后第 1 年为设计产能的 80.0%），冶炼厂服务年限内排出尾渣所需的尾渣库总库容约为  $15,987.2 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

### 6.2.3 库址方案

库址位于冶炼厂区南侧偏西，其主坝与冶炼厂区直线距离约 4.6km；

### 6.2.4 尾渣坝

尾渣坝分为主坝和副坝，主坝位于尾渣库北部山谷两侧山体缩窄处，副坝位于尾渣库东侧山脊垭口处。尾渣坝均为不透水土石坝，筑坝材料采用附近土石料。项目基建期建设主坝一期和副坝，投产第 1 年建设主坝二期，投产第 2 年建设主坝三期，投产第 3 年建设主坝四期，投产第 4 年建设主坝五期。尾渣库东侧山体山脊垭口处需要建设副坝，副坝与主坝一期同时建设。

设计要求主坝在投产 4 年后建设完成，尾渣库在前四期库内预留了较大调洪库容，能够容纳设计频率下多次洪水，防洪能力较强，故尾渣库排洪设施在尾渣库第五期开始建设。

## 6.3 尾渣输送方法

尾矿输送泵站地面标高 135.0m。尾渣库主坝坝顶标高 220.0m~270.0m，与冶炼厂直线距离 4.6km。根据标高和位置关系，要将尾渣存放到尾渣库需压力输送，结合地形条件，从经济合理方面考虑，对尾渣库的尾渣输送设施进行统筹考虑和布置，首先选择尾渣输送路线，再对尾渣输送泵站、管线和排放设施进行整体部署。

## 7 硫磺制酸

### 7.1 生产规模及产品方案

印尼华宝工业园区镍钴冶炼项目配套高压酸浸新建 1,984,500t/a（100%硫酸）硫磺制酸系统，分三个系列建设，单系列制酸规模 661,500t/a（100%硫酸），共计  $3 \times 661,500\text{t/a}$ （按 100%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  计算），成品酸规格为 98% 的工业硫酸，酸厂产生的余热以蒸汽的形式回收用于发电。

### 7.2 制酸方案

根据冶炼需要的硫酸量及浓度，项目前期设计硫磺制酸，即焚烧硫磺生产  $\text{SO}_2$ ，通过触媒的催化作用在转化器内将  $\text{SO}_2$  转化为  $\text{SO}_3$ ，再在吸收塔内通过 98% 浓度的硫酸吸收生成成品硫酸。

### 7.3 工艺流程

本设计硫磺制酸包括硫磺堆场、熔硫工段、液硫罐区、焚硫转化工段、干吸及余热回收、空气风机站、尾气脱硫、硫酸成品库、硫酸综合楼、尾气烟囱等子项。

工艺过程的基本步骤：硫磺在焚硫炉中燃烧生成二氧化硫，二氧化硫和氧气催化反应生成三氧化硫，三氧化硫和水反应生成一定浓度的硫酸。

尾气脱硫装置仅用于系统开停车。本方案设置一套尾气脱硫装置。尾气脱硫采用碱法进行脱硫处理。具体流程叙述如下：来自干吸系统的尾气进入脱硫塔，自下而上与喷淋液逆流接触，烟气中的二氧化硫与钠碱溶液反应，脱硫效率大于 72.5%，脱除了二氧化硫后的烟气从脱硫塔顶部排入烟囱，达标排放。

## 8 石灰石工程

### 8.1 概述

本项目的石灰石原料性质为灰岩型，特点是硬度高、含水低，来料粒度小于600mm，石灰石矿石粒度较大，不能直接进行磨矿制浆及煅烧，在磨矿及煅烧前设破碎。本项目冶炼工艺需要利用石灰石，石灰石总用量 138.7 万/a，主要有两个用途：

(1) 用于石灰石制浆，主要用于循环浸出及矿浆中和、中和除铁铝等生产工序，石灰石用量 103.5 万 t/a。

(2) 用于煅烧后制作石灰，石灰石用量 35.2 万 t/a。

### 8.2 石灰石破碎及制浆

根据石灰石原矿硬度高、含水低，粒度小于 600mm 等性质，按照冶炼工艺条件，石灰石干量需求量为 138.7 万/a（CaCO<sub>3</sub> 含量 93.6%），石灰石生产能力为 184.93t/h。其中：

(1) 石灰石制浆生产能力 138t/h，石灰石浆浓度 30%，细度-0.074mm 占 95%；石灰石制浆系统的工艺流程为：一段粗碎，半自磨+球磨+水力旋流器+矿浆除渣的制浆流程。

(2) 石灰石煅烧破碎 46.93t/h，石灰石粒度 <40mm。石灰石煅烧破碎系统的工艺流程为：一段粗碎+一段中碎流程。

### 8.3 石灰石破碎筛分系统

设计外购石灰石破碎筛分系统的主要目的是为冶炼专业石灰石煅烧工艺提供满足回转窑入窑粒度要求的石灰石原料。根据石灰石煅烧系统要求，石灰煅烧入窑粒度要求为+15mm~-40mm。煅烧石灰石年需用量为 140532.5t/a（干基），约合 17.74t/h。

外购石灰石破碎筛分系统工艺流程：一段破碎+闭路筛分流程，筛分获得 3 种粒度物料，-15mm 粉料给入石灰石造浆系统粗矿仓，+40mm 大块筛上物料返回至破碎系统，+15mm~-40mm 合格物料输送至粗粒矿堆，从而给入冶炼石灰石煅烧系统。

### 8.4 石灰石煅烧

本项目推荐采用石灰石回转窑煅烧工艺，设计选用回转窑，配套竖式预热器和竖式冷却器。

## 8.5 石灰乳制备

石灰乳通常是在氧化钙中加水生成的，因为氢氧化钙溶解度很小，所以往往生成的是氢氧化钙的悬浊液，即水溶液中还存在着没有溶解的氢氧化钙，称为石灰乳（Milk of Lime）化学式： $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。被作为化学工业的一种廉价碱使用。

为了便于用浓度计测量石灰乳的浓度，本项目制成石灰乳按浓度 180g/L，即石灰乳矿浆固体浓度为20%，用于湿法冶炼系统沉镍钴及尾渣中和工序需使用，生石灰消化用水全部使用系统回水。

## 9 环境保护、安全与消防

### 9.1 环保

本项目采用湿法冶炼工艺，与火法冶炼工艺相比，三废排放量较小，特别是加压酸浸工艺处理含镍红土矿被广泛称之为“绿色工艺”。生产过程中各主要污染点均设置了收尘系统或废气洗涤系统，外排废气中污染物浓度符合印尼国家有关污染物排放标准，所在地区的热带海洋性气候也有利于大气污染物的稀释、扩散。工厂外排废水为一般性生产废水，经处理达标后排海，对环境造成影响较小。生产中产生尾渣经处理后，排入尾渣库。冶炼厂远离居民区，厂区噪音达标。

#### 9.1.1 废气

##### (1) 石灰石工程

石灰石煅烧系统回转窑烟气污染物主要为粉尘颗粒物，本次设计采取收尘处置，收尘系统总收尘效率 99.84%，收下的烟灰通过埋刮板输送机运至石灰乳制备车间，收尘后烟气排放，颗粒物排放满足废气质量标准。

##### (2) 硫磺制酸废气

本项目设置硫磺制酸系统，采用两转两吸工艺，制酸尾气采用钠法脱硫工艺。

##### (3) 湿法工艺废气

湿法冶炼工序中，从高压酸浸系统排出的工艺废气含少量固体颗粒和硫酸雾，应尽量密闭酸雾源头，防止固体颗粒和酸雾扩散，设置废气收集和高效洗涤净化装置，洗涤净化效率大于 98%，排气经高度大于 15m、且高于厂房 3m 以上的排气筒排放。

#### 9.1.2 废水

##### (1) 生产废水

本工程生产废水，经生产废水排水系统收集后自流至生产废水收集池沉淀处理，由泵送至回水高位水池回用，回用剩余量送至尾渣中和，经尾渣中和达标后再经管道送至尾渣库，经尾渣库沉淀澄清水再经管道排海。

##### (2) 生活污水

本项目生活污水主要为卫生间排水和浴室排水，生活污水经排水管道收集后排至

地理式污水站处理，污水处理设备为生化一体化设施。

### 9.1.3 固体废物

本项目湿冶产尾渣以矿浆的形式送至尾渣库堆存。本项目设置尾渣库对尾渣进行永久贮存。本项目尾渣坝的建设和使用均需要向印尼政府申请许可。

### 9.1.4 噪音

本工程对这些高噪声设备，除采取减振、安装消音器等降噪措施外，还分别设置了鼓风机房、空压机房等，利用建筑隔声减轻设备噪声对外环境的影响。

总之，本项目对各种污染物均采取了有效的污染防治措施，各类污染物排放浓度均能够低于印尼排放标准中相关规定的标准限值要求。

## 9.2 安全卫生

本项目劳动安全卫生设计符合印尼国家有关劳动安全卫生标准及世界银行相关导则要求。设计从“治本”的指导思想出发，贯彻“安全第一、预防为主”的方针，采用了先进、成熟、可靠的工艺和设备，提高了生产过程中机械化、自动化程度，大大减少和消除了不安全和危害人体健康的因素。

根据本项目的劳动危害特点，设计分别对火灾爆炸、易燃易爆、压力容器及管道、电气、有毒有害气体、酸雾、粉尘、噪声、高温高热、酸碱腐蚀、机械伤害等可能造成作业人员健康危害的因素进行了分析，根据建设项目安全设施“三同时”的要求，针对项目的主要危险、有害因素，设计上分别在总平面布置、工艺及设备配置、建筑设计、防火防爆、高温、高压、化学灼伤、防尘防毒、电气及防雷接地、起重及机械伤害、噪声控制等方面采取了积极、防患于未然的防范措施，项目采用先进的 DCS 控制系统。可以预见，本项目投产后，能符合劳动安全卫生的要求，保障职工在生产过程中的安全和职业健康。

## 9.3 消防

本项目厂区设室外消火栓系统、室内消火栓系统、水喷雾灭火系统、消防炮灭火系统和建筑灭火器配置。

## 10 项目实施计划

本项目考虑到设计与采购及施工同步穿插进行，执行建设周期合计约 33 个月，自 2022 年 10 月开始可行性研究设计，至 2025 年 7 月 1 日具备投料试车条件，包括可行性研究、初步设计、施工图设计、设备采购、施工安装、试车等过程。

设计工作，主要包括项目可行性研究、初步设计、施工图设计。其中可行性研究 3 个月（不含审查时间）、初步设计 6 个月，施工图设计 14 个月。为压缩项目总工期，在项目可研阶段即开始项目环评报批及初步设计工作，初步设计与施工图设计同步穿插进行，主要车间的施工图 2023 年 12 月 31 日前完成，电气、仪表、管网等施工图设计 2024 年 6 月 30 日前完成。

采购工作，分为关键长周期设备采购及一般机械设备采购、电气仪表设备和材料等的采购，整个项目采购周期为 12 个月。采购工作需与初步设计及施工图设计同步穿插结合进行。关键长周期设备采购工作在初步设计前期同步穿插进行，初步设计后期、施工图设计过程中开始一般机械设备、电气仪表设备和材料等的采购。所有设备考虑 10-15 天的海外运输周期。

施工工作，包括前期的施工准备和主体工程施工，考虑到疫情影响等因素，总施工周期约 28 个月，其中施工准备时间 90 天，与施工图设计同步进行。

试车工作，包括冷水试车、热水试车，工期分别为 1 个月。项目计划 2025 年 6 月 30 日前热水试车完成，具备投料试车条件。

项目建成投产后 4 个月可达到设计能力的 80%，6 个月 100%。

## 11 企业组织和劳动定员

### 11.1 工作制度

本项目主要车间年有效工作时间 7,500h/a（石灰石煅烧车间 7,920h/a）。项目主要生产工序暂按全天 24 小时连续运行，每天 2 班制，每班工作 12 小时，4 班轮换（根据印尼相关法规，特定行业加班需要由部长决议规范）。其他辅助生产工段工作制度根据其服务的工序需要安排；管理及服务部门采用间断工作制，每周工作 5 天，每天 8 小时，年工作日 250 天。

### 11.2 劳动定员

根据设备运转和操作岗位需要，岗位劳动定员预计 350 人。

### 11.3 职工薪酬

职工薪酬是指企业为获得职工提供的服务而给予的各种形式的报酬以及其他相关支出，包括基本工资、津贴、福利等。项目人均薪酬按 15,108 美元估算，项目岗位职工共 1,405 人，则项目年职工薪酬总额为 21,227 千美元。

### 11.4 职工培训

项目投产前，对所有岗位人员进行现场安全知识的培训和新设备、新工艺的培训，熟悉生产现场，辨识现场危险、危害因素，并制定相应安全操作规程、技术操作规程、设备使用维护检修规程等管理规定、规程，培训合格后方上岗作业。通过培训，生产工人应掌握本岗位操作规程，生产一般性问题处理能力。

同时还要对培训人员进行安全教育、质量教育、事故处理教育，考核合格方能上岗。

## 12 投资估算

### 12.1 工程概况

项目工程建设投资 1,218,737 千美元，其中工程费用 1,025,463 千美元，工程建设其他费 116,200 千美元，预备费 77,073 千美元，本投资不含建设期贷款利息及铺底流动资金。

### 12.2 投资范围

本投资包含选矿工程、冶炼工程、尾渣库工程、硫磺制酸工程、石灰石工程、给排水系统、供配电系统、总图运输、公用及辅助系统等工程费用，还包括工程建设所需的其他费用、基本预备费。

本投资不含建设期贷款利息和铺底流动资金。

### 12.3 流动资金估算

流动资金是指为维持生产所占用的全部周转资金。经估算，项目流动资金为 102,923 千美元。

### 12.4 项目总投资及资金筹措

经过估算，本项目建设投资为 1,218,737 千美元，流动资金为 102,923 千美元。项目建设投资按 35% 自有、65% 申请银行长期借款，借款年利率按 4.3% 计；流动资金暂按 35% 自有、65% 申请银行短期借款，借款年利率按 3.65% 计（借款利率暂按近期全国银行间同业拆借中心公布贷款市场报价利率：1 年期 3.65%，5 年期以上 4.3%）。项目计划基建期 2.5 年。建设期利息估算为 58,334 千美元，建设期利息采用自有资金偿还。则项目总投资为 1,379,994 千美元。

## 13 财务分析

### 13.1 收入、税金及利润计算

项目建成后，设计年产 MHP 158,023t（干基），含镍 62,198t，含钴 5,506t。镍基准价格按 16,000 美元/吨估算，MHP 含镍计价系数 80%，预计达产年营收 796,134 千美元；钴基准价格按 40,000 美元/吨估算，MHP 含钴计价系数 70%，预计达产年营收 154,168 千美元；合计达产年营收 950,302 千美元。

根据业主方提供的印尼免税政策，项目投资达到 150,000-300,000 亿印尼盾，可享受所得税免税年限为 15 年。本项目投资项目运营期前 15 年所得税率为 0，以后各年所得税率按 22% 计算。达产年均上缴所得税 17,113 千美元。

达产后年均利润总额为 256,902 千美元，年均净利润 239,788 千美元。

### 13.2 财务效益评价

项目评价的计算期为 22 年，其中：建设期 2.5 年，生产期按 19.5 年计，其中财务基准收益率取 10%。项目融资前财务收益率和融资后收益率高于基准收益率，净现值大于零，表明项目具有较强的盈利能力。

根据筹资方案，项目需银行长期借款 792,179 千美元（含建设期利息），借款利率按 4.3% 计。借款偿还期按项目最大偿还能力进行估算。偿还借款的资金有未分配利润、折旧和摊销。经计算，项目还款期间共偿还银行借款本息 906,576 千美元，其中偿还本金 792,179 千美元，偿还借款利息 114,397 千美元，借款偿还期为 5.44 年（含建设期）。项目前期资产负债率较高，后期随借款偿还，资产负债率逐年下降，总体负债率合理。

通过考察项目计算期内的投资和经营活动所产生的各项现金流入和流出，综合分析财务计划现金流量。可以看到，项目计算期内各年的净现金流量及累计盈余资金均为正值，有足够的净现金流量维持项目的正常运营，可以实现财务可持续性。在投入维持运营投资时，未向银行借款，使用了项目本身的资金，且仍有充足的累积盈余。说明项目具有一定的财务生存能力。

### 13.3 财务评价结论

本项目建设投资为 1,218,737 千美元，流动资金为 102,923 千美元。项目计划基建期

2.5 年。建设期利息估算为 58,334 千美元，建设期利息采用自有资金偿还，则项目总投资为 1,379,994 千美元。投产后达产年营业收入为 950,302 千美元，年总成本 693,401 千美元，年利润总额 256,902 千美元，净利润 239,788 千美元，项目投资财务内部收益率（FIRR）19.95%，资本金财务内部收益率为 26.26%，项目投资回收期 6.93 年（含 2.5 年建设期），资本金投资回收期 7.11 年（含 2.5 年建设期）。

项目经济效益好，抗风险能力强，社会效益显著，符合国家的产业政策。因此，从财务分析来看项目是可行的。

## 14 结论

### 14.1 综合评价

从世界镍工业的发展趋势来看，由于硫化镍资源的减少，红土镍矿资源已成为未来镍生产的主要资源来源。目前采用高压酸浸工艺处理红土镍矿的技术已经成熟。本项目设计采用高压酸浸工艺处理华宝工业园区周边褐铁矿型红土镍矿，生产氢氧化镍钴混合物，财务分析结果显示：本项目投产后，达产年营业收入为 950,302 千美元，年平均利润总额 256,902 千美元，净利润 239,788 千美元，年缴所得税 17,113 千美元，项目投资财务内部收益率（FIRR）19.95%，资本金财务内部收益率为 26.26%，项目投资回收期 6.93 年（含 2.5 年建设期），资本金投资回收期 7.11 年（含 2.5 年建设期），项目的盈利能力和财务状况好。

近年来新能源汽车产业爆发式增长，对硫酸镍、硫酸钴需求增长强劲。HPAL 湿法工艺成熟可靠，可综合回收红土矿中的镍、钴元素，满足下游消费市场的需求。本项目的建设将提升低品位红土矿的附加值，培养南京寒锐钴业及印尼相关产业技术人员，带动制造业的升级，增强了南京寒锐钴业的企业综合竞争力，并为印尼新能源产业的发展奠定基础。

### 14.2 研究报告结论

通过对项目的研究，本项目符合国家产业政策，产品国际国内市场行情好、适用性强，有利于我国相关产业的快速发展。其经济效益和社会效益好，在资金筹措到位的情况下，项目建设应该尽快进行。