

## 经验交流

## 西藏地区铜冶炼布局规划及建议

孙晓峰 梁帅表 高飞 陆金忠

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 西藏已探明的铜矿资源储量占全国铜资源储量的一半以上,因而成为我国重要的铜矿资源战略储备基地。西藏地区铜资源主要集中在藏东的玉龙铜成矿带、拉萨至日喀则的冈底斯东段铜成矿带、阿里地区班公湖至那曲地区怒江源的班公湖-怒江铜成矿带。通过分析各成矿带周边地区的工业基础、发展重点、建厂条件和物资运输成本,建议玉龙铜矿的铜精矿全部放在昌都藏东产业园内冶炼加工,拉萨地区和阿里地区的铜精矿运至格尔木藏青工业园内冶炼加工。最后,从建厂规模、冶炼工艺、副产品硫的去向以及污染防治等方面进行了规划,建议在昌都建设一座铜冶炼厂,冶炼规模为35万t/a,冶炼工艺采用富氧底吹、侧吹工艺,冶炼烟气中的SO<sub>2</sub>用于制备硫酸。

**[关键词]** 西藏;铜资源;熔池熔炼;环保;冶炼工艺;建厂规模;污染防治

**[中图分类号]** TF811 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-5122(2021)05-0072-04

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.05.016

## Layout Planning and Suggestions for Copper Metallurgy in Tibetan Area

SUN Xiao-feng, LIANG Shuai-biao, GAO Fei, LU Jin-zhong

**Abstract:** The proved copper reserves in Tibet account for more than half of the national copper reserves, which makes it an important strategic reserve base of copper resources of China. The copper resources in Tibet are concentrated in the Yulong copper metallogenic belt in eastern Tibet, the metallogenic belt in the eastern section of Kailas from Lhasa to Nikazi, and the Bangong Lake-Nujiang River copper metallogenic belt from Bangong Lake in Ngari area to Nujiang River Source in Nagqu area. Based on the analysis of industrial basis, development priorities, the construction conditions and transportation costs of resources in each metallogenic belt area, it was suggested that all the copper concentrate of Yulong Copper Mine be smelted and processed in Qamdo Industrial Park in East Tibet, the copper concentrate from Lhasa area and Ngari area be transported to Tibetan-Qing Industrial Park in Golmud for smelting and processing. And finally, planning was made in terms of plant scale, metallurgical process, use of by-product sulfur, pollution prevention and control, etc. It was suggested that a copper smelter with smelting scale of 350 000 tons/a should be built in Qamdo, the smelting process should be oxygen-enriched bottom blowing and side blowing, and SO<sub>2</sub> in smelting flue gas should be used to prepare sulphuric acid.

**Key words:** Tibet; copper resources; bath smelting; environmental protection; smelting process; plant scale; pollution prevention and control

## 0 前言

随着国内其他地区已开采铜资源的日渐枯竭和西藏地区已探明铜资源储量的不断增加,西藏地区目前已成为我国铜资源最丰富的省份。目前已探明的铜矿资源储量占全国铜资源储量的一半以上,西

**[收稿日期]** 2021-07-26

**[作者简介]** 孙晓峰(1983—),男,山东潍坊人,研究生,工程师,主要从事有色金属冶金咨询设计工作。

**[引文格式]** 孙晓峰,梁帅表,高飞,等. 西藏地区铜冶炼布局规划及建议[J]. 有色冶金节能,2021,37(5):72-75,81.

藏成为了我国重要的铜矿资源战略储备基地<sup>[1]</sup>。截至2016年,西藏铜资源储量达到5 300万t以上。

本文阐述了西藏地区铜资源的分布情况和地区经济特点,分析了各成矿带地区的建厂条件和铜资源出路,对铜冶炼建厂规模和工艺选择进行了规划和建议。

## 1 西藏地区铜资源现状

西藏地区铜资源主要集中在藏东的玉龙铜成矿

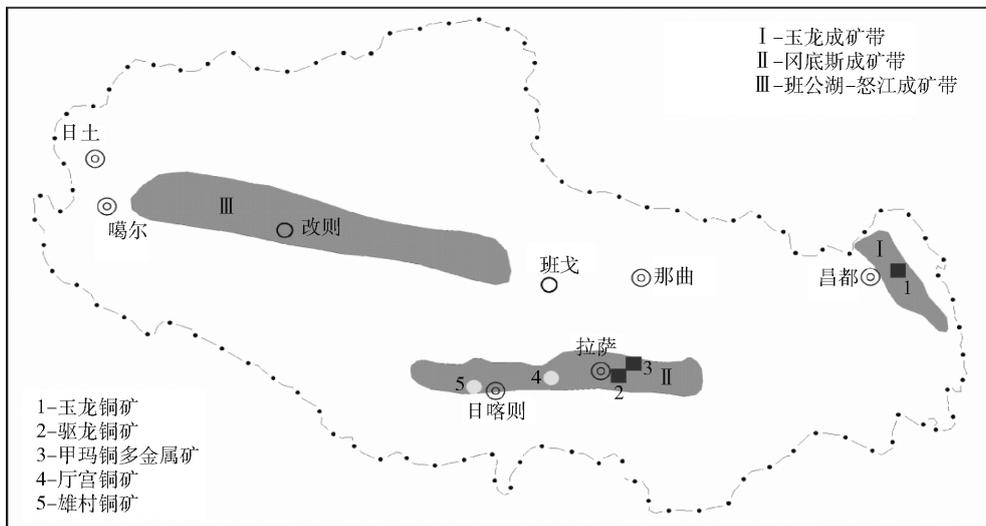


图1 西藏地区铜资源分布图

## 2 西藏铜资源开发的意义

西藏地处我国偏远地区,地理位置、气候环境、民族特点等因素决定了区域整体基础设施不健全和交通体系不完善。铜资源的开发若仅进行矿石采、选、初加工,而不发展本地铜精炼和铜加工产业等,会增大精矿运输的难度和提高开发成本。

因此,对西藏地区铜矿资源加以合理开发利用,在三大成矿带周边区域合理部署建设铜资源开发基地,可实现铜矿资源的合理布局,在吸纳就业、精准扶贫和改善民生等方面作出独特贡献,同时也为我国应对复杂国际形势提供重要的资源保障,在维护西藏自治区和平稳定等方面均具有重要的战略意义<sup>[1]</sup>。

西藏地区若能实现年产40万t的精铜冶炼产业,并发展与之配套的铜加工产业链,可带动西藏GDP的大幅增长。

## 3 区域基础条件及经济特点

三大成矿带分别位于昌都地区、拉萨-日喀则

带、拉萨至日喀则的冈底斯东段铜成矿带、阿里地区班公湖至那曲地区怒江源的班公湖-怒江铜成矿带。玉龙铜成矿带的矿床类型以斑岩型和矽卡岩型铜钼矿为主,铜金属储量约1 000万t;冈底斯东段铜成矿带的矿床类型以斑岩型、斑岩-矽卡岩型或矽卡岩型铜钼(多金属)矿为主,铜金属储量约1 600万t;班公湖-怒江铜成矿带的矿床类型以斑岩-浅成低温热液型、斑岩-矽卡岩型铜金矿床为主,铜金属储量约2 000万t<sup>[1-2]</sup>。

地区、阿里地区,邻近的主要城市分别为昌都市、拉萨市和噶尔县。以上三个地区的基础条件分析见表1。

从表1可以看出,昌都地区和拉萨地区工业基础比较发达,园区配套设施较为完善,人力资源比较丰富,水电资源和交通运输条件都较好;阿里地区工业基础薄弱,配套设施不全,人力资源匮乏,基础条件比较差。

西藏自治区“十二五规划”明确了西藏各地区的发展重点:藏东地区(昌都地区)重点发展有色金属采选业、水电等能源产业和高原生物深加工产业<sup>[3]</sup>;藏西地区(阿里地区)重点推动特色旅游业、特色畜牧业和盐湖矿产开发等产业发展;藏北地区大力发展特色畜牧业、商贸流通、物流集散、盐湖矿产和多金属矿产开发等产业。

昌都地区工业基础较好,在昌都发展铜冶炼工业,打造以“铜产业为龙头”的特色优势经济区,符合西藏地区的规划要求。拉萨作为西藏旅游产业的中心,对环境比较敏感,适合打造为国际文化旅游城市,周边的工业园适合定位为以轻工业为主的特色

经济区。阿里地区各方面条件均比较差,暂时不适合开展大型铜工业项目建设,仍适合以发展特色旅游和畜牧业为主。

## 4 成矿带铜精矿出路分析

西藏地区交通系统不完善,需要从运输距离和运输成本等方面对各成矿带铜精矿的运输路线进行经济性比较,从而确定各成矿带铜精矿的最

佳出路。

昌都藏东产业园建厂条件优势较为明显,可作为西藏本土发展铜冶炼产业的拟选厂址。位于青海格尔木的藏青产业园,作为国家“十二五”支持西藏经济社会跨越式发展的 226 个项目之一,同样具备发展铜冶炼产业的条件,也可作为西藏铜矿省外冶炼加工的拟选厂址。各成矿带铜精矿运至这两个拟选厂址的运输成本比较见表 2。

表 1 各成矿带地区的建厂条件分析

序号	名称	玉龙成矿带	冈底斯成矿带	班公湖-怒江成矿带
1	所属地区	昌都地区	拉萨-日喀则地区	阿里地区
2	邻近城市	昌都	拉萨	噶尔
3	平均海拔/m	3 500	3 650	4 500
4	道路条件	公路: G214、G317、G318 等主干道,省道 S303 铁路:无	公路:川藏公路、青藏公路、中尼公路、滇藏公路、新藏公路 铁路:青藏铁路、川藏铁路、拉日铁路	公路:从拉萨到阿里有南道和北道两条公路 铁路:无
5	地区人口/万人	73	56	11
6	2019 年地区 GDP/亿元	220	618	62
7	2019 年工业产值/亿元	114	236	2.1
8	水文条件	主要河流有怒江、澜沧江、金沙江及其支流,河流众多,水网发育	主要河流是拉萨河,它是雅鲁藏布江中游一条较大的支流,水量随季节发生变化	主要河流有狮泉河、象泉河、孔雀河和马泉河,水资源丰富
9	电力条件	水电资源丰富,全市电力装机容量达到 46.8 万 kW	以水电、火电为主,并由藏中电网等电网提供电力	水电、火电、光伏等共存,阿里地区电力总装机容量 5.97 万 kW
10	工业电价/元·kW·h <sup>-1</sup>	0.55	0.66	0.67
11	工业用水价格/元·t <sup>-1</sup>	2.5	2.2	—
12	用地条件	藏东绿色产业园可提供工业用地	达孜工业园、拉萨经济技术开发区等可提供工业用地	暂无有工业园
13	工业基础	处于工业化中期的初级阶段。工业体系以采矿、水电、水泥等资源开发型产业为主	工业较发达,工业体系主要以水泥、中成药、啤酒产业、电厂等为主	工业发展基础薄弱,总量小、布局散,工业化程度低,规模小

表 2 运输距离及运输成本

厂址选择	距离及运输成本	成矿带及所属地区		
		玉龙成矿带 (昌都地区)	冈底斯成矿带 (拉萨-日喀则地区)	班公湖-怒江 成矿带(阿里地区)
运至昌都藏东产业园	交通工具	汽车	汽车	汽车
	距离/km	24	1 100	2 100
	运费/(元·t·km)	1	1	1
	运费/元·t <sup>-1</sup>	24	1 100	2 100
运至格尔木藏青工业园	交通工具	汽车	火车	汽车+火车
	距离/km	1 300	1 200	2 500
	运费/(元·t·km)	1	0.2	0.65
	运费/元·t <sup>-1</sup>	1 300	240	1 365

通过运输成本比较可以看出:

1) 玉龙铜矿的铜精矿运至格尔木的运输成本较高,而且昌都具备建设铜冶炼厂条件。因此,建议玉龙铜矿的铜精矿全部放在昌都藏东产业园内冶炼加工。

2) 拉萨距昌都和格尔木的路程接近,但是拉萨至格尔木建有铁路,运输成本较低。因此,建议拉萨地区的铜精矿运至格尔木藏青工业园内冶炼加工。

3) 阿里地区距昌都较近,但是只能采用汽车运输,运输成本较高;而运矿至格尔木可采用汽车+火车的运输方式,运输成本较低。因此,建议阿里地区的铜精矿运至格尔木藏青工业园内冶炼加工。

## 5 铜冶炼布局总体思路及建议

昌都地区工业基础较好,藏东产业园区配套条件比较适合建设铜冶炼项目并发展下游铜加工产业链。工业园区内的企业可实现统一生产,统一治污和排污,将对环境的影响降到最低。因此,推荐在昌都藏东产业园新建一座现代化铜冶厂,就近处理玉龙铜矿生产的铜精矿。

铜冶炼项目的产品方案为阴极铜,推荐采用火法粗炼与湿法精炼相结合的工艺,将铜精矿加工为阴极铜产品。阳极泥可进一步处理生产贵金属产品。

### 5.1 冶炼规模

玉龙铜矿目前已探明的铜金属总储量约为650万t,远景储量可达1 029万t。铜处理厂按照30年服务年限设计,铜冶炼厂的规模确定为35万t/a。目前玉龙铜矿的铜精矿产能为13万t/a(金属铜),其他矿山还处于前期阶段,铜冶炼一期规模可暂定为15万t/a阴极铜。随着其他矿山开采、选矿的进展,铜冶炼二期规模可暂定为20万t/a阴极铜。

### 5.2 冶炼工艺

在铜矿冶炼工艺选择上,火法冶炼工艺适用于硫化铜矿的冶炼。符合国家绿色、节能、环保要求及相关产业政策的现代铜冶炼工艺有:闪速熔炼、富氧顶吹熔炼、底吹熔炼、侧吹熔炼和三菱法工艺。

上述工艺均能满足年产30万t级大型铜冶炼工厂的建设;闪速熔炼工艺更适合年产超过40万t级大型铜冶炼厂;底吹熔炼工艺和侧吹熔炼工艺在中小规模铜冶炼工厂中更具有优势。

由于西藏自治区铜矿产地地处高原,工业基础薄弱,与铜冶炼相关的各方面底子都薄,为了确保建

厂后生产的平稳性和可靠性,工艺成熟可靠、操作简单、抗风险能力强的底吹和侧吹等熔池熔炼工艺更适合初期的铜产业布局。

### 5.3 冶炼附产品硫的去向

铜冶炼烟气中SO<sub>2</sub>含量较高,硫的捕集方式主要有生产硫酸和制备硫磺两种技术路线。生产硫酸是当前处理SO<sub>2</sub>烟气的主要手段,具有工艺成熟、工业化生产实践经验丰富、成本较低的特点;但硫酸呈液态,受生产、储存、运输等条件的限制,不适合地处偏远且周边没有硫酸销路的冶炼厂。考虑到硫酸下游产业主要为磷肥,而西藏地区磷矿资源缺乏,可购买临近的四川省马边、清平等地的磷矿,利用硫酸生产磷酸和磷肥。由于磷矿的运输距离约为1 200 km,运费较高,对项目经济效益影响较大,因此需要和相关磷矿企业做好资源绑定。

利用含SO<sub>2</sub>的冶炼烟气生产硫磺的有利因素是硫磺在常温下呈固态,相对稳定且不会发生降解,可长期储存,便于运输;不利因素是成本较高,还要考虑天然气和煤等制取硫磺的原料消耗。在烟气制硫磺方面,目前仅在俄罗斯有天然气制硫磺的工业实践,国内尚未有生产实践。中国恩菲工程技术有限公司正在进行采用煤作为还原剂制备硫磺的技术开发和半工业化实验。以产能为10万t/a铜规模为例,生产硫酸和生产硫磺的方案比较见表3。

由于制备硫磺的成本过高,一期冶炼项目可暂按生产硫酸并配套建设磷肥厂的方案考虑。未来随着烟气制硫磺工艺的进步和发展,其成本若能大幅降低,后续的冶炼工程也可考虑采用烟气制硫磺工艺。

表3 硫酸和硫磺方案比较

项目	制硫酸方案	制硫磺方案
原料	含硫烟气	含硫烟气,煤或天然气
工艺比较	净化-转化-干吸-脱硫	净化-一级还原-二级还原-三级还原-冷凝
储存	腐蚀性液体,需要保温、防腐	固体,堆存
运输	硫酸罐车或硫酸罐火车	常规车辆
投资/亿元	约2.5	5~6
生产成本/元·t <sup>-1</sup>	约150	约1 200
可靠性	工艺成熟	不完全成熟