# 俄罗斯某铜厂烟气制酸项目的 EPS 工程实践

中国瑞林工程技术有限公司　陈志刚

**【摘　要】** 介绍了俄罗斯某铜厂 800kt/a 铜冶炼烟气制酸装置的 EPS 工程实践，详述了俄罗斯项目的冶炼烟气特点、制酸装置进口烟气条件、制酸工艺方案及主要设备选型，总结了该硫酸装置的设计特点与创新点，以及项目成功的经验。

**【关键词】** 俄罗斯 铜冶炼烟气 硫酸生产 内置换热器的转化器 设计 EPS总承包

2015 年 8 月 16 日，俄罗斯铜业集团卡拉巴什铜厂扩能改造项目烟气制酸装置升温投入运行并产出合格的优等品硫酸，标志着由中国瑞林工程技术有限公司总承包的俄罗斯硫酸厂一次性顺利成功投运，成为中国瑞林海外总承包工程又一成功案例。

## 1 项目情况概述

在卡拉巴什铜厂的扩能改造项目中，冶炼系统沿用奥斯迈特炉加转炉工艺将粗铜产能由原 5 万吨/年扩至 12 万吨/年，配套的烟气治理则拆除原有的湿法制酸装置，改用“两转两吸”的制酸工艺。冶炼系统的改造由俄罗斯设计院负责完成，新建的烟气制酸装置由中国瑞林总承包，内容包括烟气净化、干吸、转化、废酸处理等共四个工序。

本项目采用了 EPS 总承包方式，即设计-供货-技术服务，其中设计部分包括了方案设计、工基本设计和详细设计。基本设计和详细设计中工艺和仪控的内容由中方完成，土建、电力、总图、暖通等等其他专业内容的基本设计和详细设计由业主指定的乌克兰设计院按照中方提出的设计建议书或设计任务书完成。中方供货部分包括了硫酸系统主要的国产设备和非国产的设备（碳钢设备和部分 FRP 设备由业主另行采购）、工艺阀门和管道材料、全部的仪表和控制阀门供货，以及 DCS 系统的供货及编程组态；服务部分则包括了安装、调试和开车过程的技术指导。

## 2 设计条件

本项目硫酸装置处理来自于奥斯迈特炉和转炉的两股冶炼烟气，烟气参数由负责冶炼改造设计的俄罗斯设计院提供，两股烟气的气量和组分如表一。

表一 制酸装置入口烟气条件（净化工序入口）

| 冶炼烟气 | 烟气流量/（$Nm^3 \cdot h^{-1}$） | | 烟气组成 f，% | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 正常值 | 波动范围 | $SO_2$ | $SO_3$ | $CO_2$ | $O_2$ | $N_2$ | $H_2O$ |
| 澳炉烟气 | 100,000 | 90,000~115,000 | 17.17 | 0.41 | 2.19 | 7.69 | 54.08 | 18.46 |
| 转炉烟气 | 100,000 | 90,000~115,000 | 4.11 | 0.16 | - | 13.00 | 80.73 | 2.0 |

熔炼为连续操作，烟气相对稳定。转炉吹炼为间断作业，3 台转炉中 2 台热态进行期交换作业，1 台冷态备用或检修。

根据以上的主要参数条件，确定的硫酸装置设计原则是：（1）新建一套硫酸装置处理奥炉和转炉的混合烟气，（2）采用常规浓度进行转化工序的设计。

在设计时我们为业主提供了表二中 6 种工况下转化工序的物料及热量衡算等运行参数。

表二 转化工序工作的 6 种工况

| | 工况条件 | 转化工序入口烟气量（$Nm^3 \cdot h^{-1}$） | 转化工序入口 SO2 浓度 |
|---|---|---|---|
| 工况 1 | 最大气量，最高 $SO_2$ 浓度的气量条件 | 214,000 | 12% |
| 工况 2 | 正常生产，额定气量条件 | 186,887 | 11.38% |
| 工况 3 | 热平衡点的烟气条件 | 160,000 | 7% |
| 工况 4 | 最小气量、$SO_2$ 浓度 7%的气量条件 | 100,000 | 7% |
| 工况 5 | 仅（单）转炉正常工作的烟气条件 | 105,760 | 3.89% |
| 工况 6 | 接近正常生产气量、$SO_2$ 浓度 7%的气量条件 | 180,000 | 7% |

其中工况 5 和工况 6 必须依靠燃气升温炉补热以维持系统自热平衡，因而根据升温炉的选型分别提供了升温炉的工作效率和燃气流量。

## 3 工艺流程及主要设备选择

### 3.1 工艺流程简图

本项目硫酸装置流程简图详见图 1。

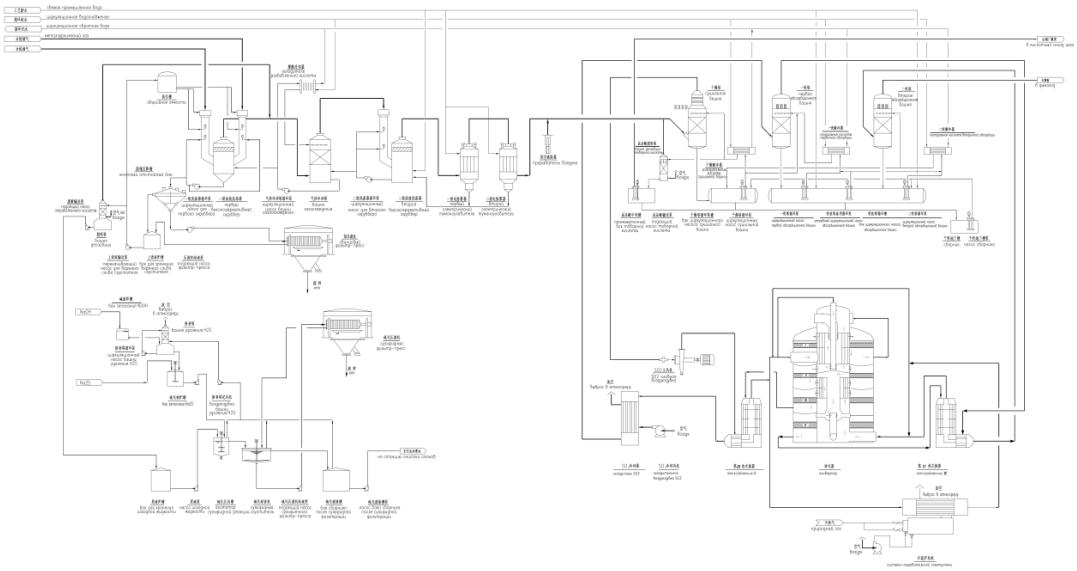

图 1 俄罗斯卡拉巴什铜厂烟气制酸装置流程简图

### 3.2 净化工序流程简述及主要设备选择

净化工序采用动力波稀酸洗涤净化技术，来自冶炼系统的奥斯迈特炉烟气和转炉烟气进入硫

酸厂后，首先在净化工序进行烟气的净化和冷却。

净化工序采用一级动力波洗涤器→气体冷却塔→二级动力波洗涤器→一级电除雾器→二级电除雾器的净化流程，其中一级动力波洗涤器采用了单塔双竖管的结构形式，两根竖管分别对应接入奥斯迈特炉和转炉的烟气，净化后的烟气在一级动力波的气液分离器中混合；二级动力波洗涤器设置了 2 段喷头以强化洗涤效果。稀酸沉降采用了圆锥沉降槽，上清液大部分送一级动力波溢流堰，其余经脱吸后送废酸处理工序；底流酸泥定期送铅压滤机进行压滤，滤液送废酸处理工序。

净化工序的主要设备：稀酸泵采用德国 WERNERT 衬 UHMW-PE 泵、稀酸板式换热器采用瑞典阿法拉伐产品，铅压滤机采用了意大利的板框压滤机，电除雾器采用了国产导电玻璃钢电除雾器。一级动力波洗涤器、气体冷却塔、二级动力波洗涤器、圆锥沉降槽等均采用耐氟玻璃钢制作，主要烟气管道及稀酸管道采用耐氟玻璃钢制作。在电除雾器出口的烟气总管上设置了中国瑞林的专利产品真空破除器，对净化工序的设备进行负压保护。

3.3 干吸工序流程简述及主要设备选择

干吸工序采用一级干燥、两级吸收、循环酸泵后冷却与双接触转化工艺相对应的工艺流程，应用了低位高效技术。

由于建设地点冬季长夏季短，冬季极低温度接近-40℃，俄罗斯要求的产品酸为 94%酸，因此干吸工序采用干燥塔泵槽产酸。成品酸由干燥塔循环泵酸冷器后的管道引出，经成品酸脱吸塔脱吸后进入成品酸中间槽，再由成品输送泵送去铜厂现有的酸库。

干吸工序的主要设备：干燥塔、一吸塔、二吸塔、干燥塔循环泵槽、吸收塔循环泵槽（一吸、二吸共槽）、成品酸贮槽等设备的钢构件由业主根据我方提供的非标设备图进行现场制作，塔和槽的内衬采用了德国耐酸砖，并且干燥塔、一吸塔、二吸塔的填料支承装置结构采用了自支撑大开孔瓷质球拱。干吸工序所有循环泵、输送泵等采用美国路易斯产品；干燥酸冷器、一吸酸冷器、二吸酸冷器等采用加拿大 CHEMTICS 阳极保护不锈钢管壳式冷却器；干吸塔采用耐酸合金分酸器，干燥塔采用 316L 不锈钢丝网捕沫器，一吸塔和二吸塔采用高效纤维除雾器，主要酸循环管道和串酸管道采用国产带阳极保护的 316L 不锈钢管道。另外干燥塔的稀释风入口采用了国产全自控的空气过滤器。

3.4 转化工序流程简述及主要设备选择

转化工序采用技术成熟可靠的“3+1”4 段二次转化、ⅢⅠ-ⅣⅡ换热流程，核心采用了中国瑞林的专利——内置Ⅰ换热器和Ⅱ换热器的转化器，使得转化工序的占地和投资得到大幅节省。俄罗斯能源便宜，业主坚持在Ⅲ换热器后设置 SO3 冷却器和冷却风机将多余的热量带走。

转化工序的主要设备：$SO_2$ 主风机采用德国西门子风机，催化剂采用丹麦托普索 VK 系列产品，升温预热炉首次引入了进口高效预热升温系统。其他设备如 $SO_3$ 冷却风机、内置Ⅰ和Ⅱ换热器的转化器、外置的Ⅲ换热器和Ⅳ换热器等均为国产，其中换热器采用带牺牲段的碟环式管壳换

热器，转化器采用 304 不锈钢材质。除少量高温管道采用 304 不锈钢制作外，其余管道均采用碳钢制作。

3.5 废酸处理工序流程简述及主要设备选择

参照国内大型冶炼厂的成熟生产实践经验[1-3]，废酸处理工序采用 NaHS 法对净化工序产出的含铜、砷废酸进行处理，回收铜、砷等有价重金属和元素，产生的废水送至全厂的废水处理系统。处理过程逸出的 $H_2S$ 废气由除害塔送风机送入除害塔用 $Na_2S$ 溶液处理，以减轻环境污染。

废酸处理工序的主要设备：除害塔送风机为国产玻璃钢风机，循环泵和输送泵为德国 WERNERT 衬 UHMW-PE 泵，硫化压滤机采用意大利的板框压滤机，槽体设备由业主按中方图纸制作，搅拌器减速机等由国内供货。

## 4 主要设计特点和创新点

本项目在设计时，遇到了诸多困难与挑战，主要来自于现场条件、俄罗斯国家的规范标准、业主的习惯和要求、与老系统的对接等等，不一一赘述。其中最主要的是在配置时受到场地、地形方面的制约，由于本项目为老厂的改扩项目，新建硫酸装置既要联系又不能影响正在生产的老系统，可用场地非常紧张；当地又属严寒气候，泵房等建筑物在设计时其柱距和跨距还必须符合俄罗斯标准所规定的 6 米或 9 米的模数要求，因而配置上难度较大，要求每个工序都必须尽可能地紧凑。

针对项目的特殊要求，本套硫酸装置在设计时从流程、设备选型、设备配置等各方面着手进行了优化和创新，具体的设计特点和创新点有：

4.1 净化工序的主要技术特点

① 一级动力波洗涤器设置了两根竖管，分别对应于奥斯迈特炉和转炉烟气，相较于一根总管的设计，对于气量波动的适应范围大大增加；

② 一级、二级动力波和气体冷却塔采用了内溢流结构，这样外部接管简单，易于加水和排污，冬季运行不会出现水封结冰现象；

③ 现场为严寒地区，本项目首次采用了真空破除器代替安全水封槽，对净化工序的设备安全进行保护，真空破除器还可根据要求调节所需的真空压力保护值；

④ 电除雾器采用两级冲洗制度，先用二级动力波循环液洗涤、再用工艺水洗涤，既减少了新水的使用量又有利于保证冲洗的效果；

⑤ 一级电除雾器的烟气自下壳体进入而自上壳体离开，二级电除雾器则是烟气自上壳体进入而自下壳体离开，这样既减少了烟气在烟道中的阻力损失，又大大减少了管道材料量，同时还缩小了一、二级电除雾器的间距，因而节省了配置空间；

⑥ 将稀释风阀门和空气过滤器布置在净化工序，充分利用了电除雾器的钢构平台和空间。

4.2 干吸工序的主要技术特点

① 成品酸浓要求为 94 酸，自干燥塔循环泵槽出口产酸；

② 采用了一吸、二吸循环酸共槽的设计，使整套干吸装置占地极为紧凑，而且在吸收循环泵槽上同时配置了一吸塔循环泵、二吸塔循环泵和备用泵共 3 台泵，其中备用泵为变频泵，既是一吸塔的备用泵也是二吸塔的备用泵；

③ 由于吸收塔采用了共槽设计，在吸收塔循环泵槽的设计中解决了膨胀、应力、支座、接口等一系列技术难题；

④ 在干吸塔下酸管道上增加了柔性措施：在一吸塔下酸管上设置 U 型酸封，这样既可减少塔向槽内串气，又可增加管道柔性，从而降低了管道对一吸塔出酸口和泵槽进酸口的推力，避免了漏酸；干燥塔和二吸塔的下酸管则通过增加弯头的方式自然补偿柔性[4]；

⑤ 为解决 $NO_X$ 在干吸除雾器的积聚和保证成品酸的质量，将一吸塔和二吸塔纤维除雾器捕集的污酸引出单独处理；

⑥ 强化了成品酸的脱吸强度，使成品酸中的 $SO_2$ 满足国际成品酸高标准的要求。

4.3 转化工序的主要技术特点

① 采用了内置Ⅰ换热器和Ⅱ换热器的转化器，转化工序的占地和投资得到大幅节省；

② Ⅲ换热器和Ⅳ换热器采用带牺牲段的结构形式——主体立式部分为碳钢材质，卧式牺牲段的壳体和换热管为 316L 不锈钢，既能大大节省投资，又使得设备维护简单，延长了设备的寿命周期；

③ 利用管道自然补偿与波纹补偿器相结合，波纹补偿器的设置以单波补偿器为主，合理设置弹性支座，较好地解决了管道热膨胀和热应力问题。装置开车后，没有发生管道拉裂、支架偏移的问题；

④ 引进了高效预热升温系统，该系统是集成配置，占地面积小、布置灵活，且自动化程度高，可与系统温度联锁自动启停和自动调节热负荷输出量，因此操作和维护都非常便利。

4.4 废酸处理工序的主要技术特点

① 按照业主的习惯采用了卧式压滤机，特设了封闭式集气罩，利用除害塔送风机将其中的有害气体引入除害塔，防止有害气体溢出，保证了操作环境的安全卫生；

② 滤饼的收集采用了移动小车和吨袋式设计，方便操作，也是保证操作环境安全卫生的重要手段。

## 5 装置运行情况

硫酸装置建成后，中方派出开车指导小组指导业主人员操作，经过冷、热负荷试车和性能考核等三个阶段，对系统的稳定性和达标情况进行检验。本装置一次投运成功，所有设备的运行稳定可靠，各项工艺技术指标稳定，业主随即签署了硫酸装置的验收证明文件。

本项目主要技术指标详见表三。

表三 制酸装置主要技术指标

| 项目 | 设计值 | 运行值 |
|---|---|---|
| $SO_2$转化率，% | 99.85 | ≥99.90 |
| $SO_3$吸收率，% | 99.98 | >99.99 |
| 放空尾气 r（$SO_2$）/（ppm） | ≤300 | ≤130 |
| 进转化烟气 r（$H_2O$）/（$g·m^{-3}$） | ≤0.1 | <0.1 |
| 进转化烟气酸雾（r）/（$mg·m^{-3}$） | ≤5 | 4 |
| 进转化烟气尘（r）/（$mg·m^{-3}$） | ≤4 | 2 |

本装置投入运行后，由于业主冶炼系统的问题，导致烟气浓度的偏低且波动范围较大，进入转化工序的烟气中 $SO_2$浓度在 6~9%，即使在这种烟气条件下，硫酸装置也能容易地调整到稳定的自热平衡工作状态。硫酸系统 DCS 的编程组态全部由中方完成，全部界面俄文化，自动化程度高、操作简单、运行可靠，业主人员在短时间内迅速掌握了装置的操作方法，也保证了系统的稳定运行。

## 6 结语

总结项目的经验，主要有以下几点：

① 为业主量身定制的工艺装置始终是确保装置经济、可靠的前提；

② 运作国际工程（尤其是发达国家），了解业主所在国家或地区的标准规范是最困难而又最首要的环节；

③ 先进的设计手段如应力分析、三维设计、数模分析等是确保设计质量的关键。

本项目是中国瑞林面对世界级竞争对手的 PK，通过反复优化的方案最终赢得了业主的信任，中国的制酸技术和装备成功进入了俄罗斯市场，本项目的成功运行深受俄罗斯业主赞誉。

作为总承包项目的成功实践，还表明：由中国制造的制酸设备具备了进入国际市场的竞争力，中国的工程公司无论是技术水平还是国际工程的管理水平方面，都完全具备了在发达国家承接大型硫酸装置的实力。

**【参考文献】**

[1] 曹霞.金隆铜业有限公司废酸处理技术[J]. 硫酸工业，1999(5)：24¯27.

[2] 胡伟生.分步硫化废酸处理技术[J].有色冶金设计与研究，2002，23(1)：6¯7.

[3] 余磊.废酸处理分步硫化工艺浅析[J].江西冶金，2003，23(3)：40¯44.

[4] 王召启. 紫金铜业 820kt/a 铜冶炼烟气制酸及尾气脱硫装置的设计[J]. 硫酸工业，2013（4）：1-5.

# EPS engineering practice of metallurgical acid plant project of a copper

# smelter in Russia

**CHEN Zhigang**

**(China Nerin Engineering Co., Ltd, Nanchang, Jiangxi, 330031, China)**

**Abstract:** The EPS engineering practice of an 800kt/a metallurgical acid plant of a copper smelter in Russia is described in detail, including the characteristics of copper smelter off-gas, condition of acid plant feed gas, process scheme and equipment selection in this Russian Project. The characteristics and innovation of this sulphuric acid plant, and the successful experience are also summarized.

**Key words:** Russia;copper smelter off-gas; sulphuric acid production; heat exchanger within converter; design; EPS general contract