

山东新风光电子科技发展有限公司 徐西甲 徐鹏
汉源锦泰矿业有限公司 张建忠

摘要：本文介绍了风光高压变频器在汉源锦泰矿业有限公司沸腾焙烧炉罗茨鼓风机中的应用情况。现场运行情况表明，采用高压变频器对沸腾焙烧炉罗茨鼓风机进行调速节能，节能效果是明显的。

文章编号：140907

沸腾焙烧炉罗茨鼓风机变频节能改造

Boiling Roaster Blower Frequency Energy Transformation

1 用户简介

汉源锦泰矿业有限公司是一家股份制民营企业，具有日处理铅锌矿石4000吨，年产0号、1号锌锭50000吨、硫酸62000吨、锌焙砂54000吨，日处理电解锌废渣200吨的生产能力；总投资已达12亿多元人民币，已发展成集铅锌矿开采、浮选、焙烧制酸、冶炼和废渣综合利用为一体的集团公司，是我国西部地区设备、工艺和技术较先进、产品质量最好、生产能力较大、销量较大的铅锌生产企业之一。汉源锦泰矿业有限公司有一座40m²沸腾焙烧炉，而罗茨鼓风机又是沸腾焙烧炉的心脏设备，在2014年设备节能改造中，对罗茨鼓风机采用变频调速技术，取得了较好效果。现场罗茨鼓风机参数如下表1、表2所示。

2 沸腾焙烧炉

2.1 沸腾焙烧炉介绍

沸腾焙烧以流态化技术为基础。固体颗粒在气流的作用下，构成流态化床层似沸腾状态，被称作流态化床或沸腾床。这样矿石可在沸腾状态下进行加热还原，有利于提高焙烧矿质量。焙烧过程有反应热放出，产生含有二氧化硫的气体主要用来制造硫酸，矿渣则用作冶金原料。硫化矿

沸腾焙烧技术是50年代初联邦德国的巴登苯胺纯碱公司和美国的多尔公司分别开发的。沸腾焙烧炉结构示意图如图1所示。

沸腾焙烧炉炉体（见图1）为钢壳内衬保温砖再衬耐火砖构成。为防止冷凝酸腐蚀，钢壳外面有保温层。炉子的最下部是风室，设有空气进口管，其上是空气分布板。空气分布板上是耐火混凝土炉床，埋设有许多侧面开小孔的风帽。炉膛中部为向上扩大的圆锥体，上部焙烧空间的截面积比沸腾层的截面积大，以减少固体粒子吹出。沸腾层中装有废热锅炉的冷却管，炉体还设有加料口、矿渣溢流口、炉气出口、二次空气进口、点火口等接管。炉顶有防爆孔。

2.2 沸腾焙烧炉工作原理

沸腾焙烧炉工作原理是利用流态化技术，是参与反应或热、质传递的气体和固体充分接触，实现他们之间最快的传质，传热贺栋梁传递速度，获得最大的设备生产能力。

2.2.1 流化床的形成

当流体的气流速度继续增大到一定值，床层开始膨胀和变松，全部颗粒都悬浮在向上流动的流体中，形成强力搅浑流动。这种具有流体的某些表现特征的流——固混合床成为流化床。在

气——固流化床中，形成颗粒强烈翻滚，故又称为沸腾床。

2.2.2 流态化范围与操作速度

从临界速度开始流态化，到带出速度下流化床开始破坏这一速度范围成为流态化范围。它是选择操作流态化速度的上下极限。流态化范围越宽，流化床的操作越稳定。这一范围大小可以用带出速度与临界速度的比来表示。理论和实际证明，颗粒月细则流态化范围越小，不规则的宽筛分物料的流态化范围比球形粒子的要小。

实际上多数工业流化床内粒级分布较宽，所以合理的操作速度应是绝大部分颗粒正常流态化而又不大于某一指定粒级的带出速度。一般根据林杰流态化速度并利用流态化指数的经验数据来确定操作气流速度。

3 沸腾焙烧炉变频节能原理

沸腾焙烧炉是利用流态化技术的热工设备，已广泛应用于锌精矿的焙烧。它具有气-固相间传热质速度快、层内温度均匀、产品质量好、沸腾层与冷却水套之间传热系数大、生产率高、操作简单、便于实现生产连续化和自动化等优点。

锌精矿的主要物相组成为ZnS，约占70%以上。在沸腾焙烧炉内焙烧时主要化学反应式为： $ZnS+O_2 \rightarrow ZnO+SO_2$ ，该反应属放热反应，放出的热量除用于维持炉内的焙烧温度，大部分由高温烟气及冷却水带走。沸腾炉空气需要量为2000Nm³/h。通过对沸腾炉层及管网阻力损失的计算，炉子正常生产时，空气压力为12500-13500Pa。但考虑到开炉及处理异常情况时的工艺要求，所选风机的富裕量达50%以上，这样使风机的能力不能充分发挥。

由于沸腾炉罗茨鼓风机的风量和风压的余量很大，正常工作时必须将其调至合理的工况，另外随着炉子的产量和锌精矿成分的变化，风机的工况也须调整。为了调节送风量在送风管上放风，调节范围虽大，但浪费极大，风机放空噪音很大，严重影响了周围居民的生活；较好的办法是采用变频调速装置。电动机的变频调速是通过改变定子供电频率f来改变同步转速而实现调速的，在调速中从高速到低速都可以保持较小的转差率，因而消耗转差功率小，效率高，是电动机

最为合理的调速方法。风机的转速与频率的关系式为 $n=60f/p(1-s)$ ，可见，通过调节电流频率可调节风机转速，从理论上讲，风机的流量与转速成正比，压力与转速的平方成正比，轴功率与转速的立方成正比，因此，调节风机转速时可以调节风机的流量、压力，轴功率的变化就更明显。

汉源锦泰矿业有限公司领导基于节约能源降低成本，和降低风机运行噪音两方面考虑，决定选用变频器对原设备进行改造。经过反复对比决定采用山东新风光电子科技发展有限公司生产的JD-BP38-450F（450kW/10kV）高压变频器对沸腾焙烧炉罗茨鼓风机进行变频改造。

4 新风光JD-BP38系列高压变频调速系统技术特点

风光牌JD-BP38系列高压变频器以高速DSP为控制核心，采用无速度矢量控制技术、功率单元串联多电平技术，属高-高电压源型变频器，其谐波指标远小于IEEE519-1992的谐波标准，输入功率因数高，输出波形质量好，不必采用输入谐波滤波器、功率因数补偿装置和输出滤波器；不存在谐波引起的电机附加发热和转矩脉动、噪音、输出dv/dt、共模电压等问题，可以使用普通的异步电机。产品2003年被列为国家重点新产品，高压提升机变频调速系统2005年被列为国家火炬计划项目，获科技部中小企业技术创新基金项目资助。2007年，高压变频器被评为中国名牌产品，是国内高压变频器行业为数不多的两个名牌产品之一。具体来说，风光高压变频器除具有一般普通变频器的性能外，还具有以下突出特

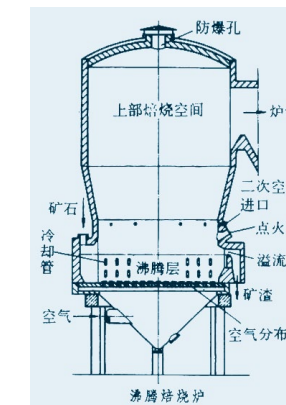


图1 结构示意图

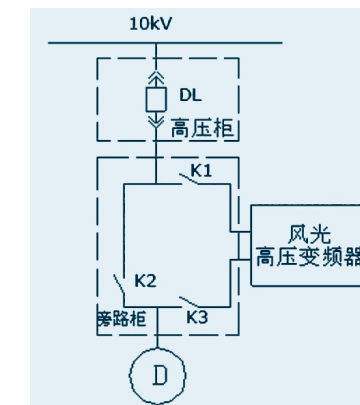


图2 手动旁路柜

点：

(1) 采用高速DSP作为中央处理器，运算速度更快，控制更精准。

(2) 矢量控制技术，通过测量和控制交流电动机定子电流矢量，根据磁场定向原理分别对交流电动机的励磁电流和转矩电流进行控制，从而达到控制交流电动机转矩的目的。启动转矩大，转矩动态响应快，调速精度高，带负载能力强。

(3) 快速飞车启动功能。能够识别电机的速度并在电机不停转的情况下直接起动。在变频器受到负载冲击保护后可对其自动复位，然后再自动启动，即可避免重要场合（如水泥厂高温风机）变频保护停机造成的损失。快速飞车启动技术可实现变频器在0.1s之内从保护状态复位重新带载运行。

(4) 工频/变频无扰切换技术。现在的高压变频调速系统一般设置工频旁路切换柜，变频器发生故障时能使高压电机转至工频运行，旁路切换有手动旁路和自动旁路切换两种型式，手动旁路需人工操作，适应于无备用装置或不重要的运行工况，自动旁路可在变频器发生故障后直接自动转换至工频运行。新风光公司提供的自动旁路切换柜，不仅可实现变频故障情况下自动由变频转换至工频运行状态，还可实现在变频检修完毕后由工频瞬间转换至变频运行的功能，整个转换过程不会对用户设备的运行造成任何影响。

(5) 电网瞬时掉电重启技术，电网瞬时掉电可自动重启，可提供最长60s的等待时间。

(6) 线电压自动均衡技术（星点漂移技术）。变频器某相有单元故障后，为了使线电压平衡，传统的处理方法是将另外两相的电压也降至与故障相相同的电压，而线电压自动均衡技术通过调整相与相之间的夹角，在相电压输出最大

| | | | | | |
|------|-------------|------|-----------|------|-------|
| 型号 | YKK560 2-10 | 额定电压 | 10kV | 额定电流 | 31.9A |
| 功率因数 | 0.78 | 转速 | 594r/minr | 冷却方式 | IC611 |
| 厂家 | 长沙电机厂有限责任公司 | | | | |

表1 电机参数

| | | | | | |
|----|----------------|------|------------------------|------|-------------------|
| 型号 | L105WP 3 | 流量 | 669m ³ /min | 主轴转速 | 580r/min |
| 升压 | 29.4kP | 电机功率 | 10-400kW | 执行标准 | JB/T8941.1~2-1999 |
| 厂家 | 四川省鼓风机制造有限责任公司 | | | | |

表2 鼓风机参数

且不相等的前提下保证最大的线电压均衡输出。

(7) 振荡抑制技术，电机轻载或者空载的时候会出现局部不稳定现象，这时电流幅值波动很大，电流的振荡有可能会导致系统因为过流或过压而触发保护。新风光公司采用优越的电流算法，有效地抑制电流的振荡，保证系统稳定可靠的工作。

(8) 多机主从控制技术，变频器具备主从控制功能，多台变频器之间可通过数据总线组成主从控制网络。将其中的一台设为主机，其他设为从机，主机实时采集各从机的状态信息，同时发送给各从机频率、转矩指令，实现各台变频器的功率平衡和综合控制。该技术适用于皮带机、摩擦式提升机等需要功率平衡控制的场合。

(9) 输出电压自动稳压技术，变频器实时检测各单元母线电压，根据母线电压调整输出电压，从而实现自动稳压功能。避免电网波动对输出电压的影响。

(10) 故障单元热复位技术，若单元在运行中故障，且变频器对其旁路继续运行，此时可在运行中对故障单元进行复位，不必等变频器停机。

(11) 单元直流电压检测：实时显示检测系统的直流电压，从而实现输出电压的优化控制，降低谐波含量，保证输出电压的精度，提升系统控制性能，并可使保证运行维护人员实现对功率单元运行状况的全面把握。

(12) 具备突发相间短路保护功能。如果由于设备原因及其他原因造成输出短路，此时如果变频器不具备相间短路保护功能，将会导致重大事故。变频器在发生类似问题时能够立即封锁变频器输出，保护设备不受损害，避免事故的发生。

(13) 限流功能：当变频器输出电流超过设定值，变频器将自动限制电流输出，避免变频器在加减速过程中或因负载突然变化而引起的过流保护，最大限度减少停机次数。

(14) 多种控制方式，可选择本机控制、远控盒控制、DCS控制支持MODBUS、PROFIBUS等通讯协议频率设定可以现场给定、通讯给定等支持频率预设、加减速功能。

5 高压变频器主回路控制方案

| | 工频运行电流 | 额定电流 | 工频放风阀门开度 | 变频频率 | 变频放风阀门开度 | 变频输入电流 | 变频输出电流 |
|------------|--------|-------|----------|------|----------|--------|--------|
| 沸腾焙烧炉罗茨鼓风机 | 22.3A | 31.9A | 40% | 26Hz | 0% | 7.2A | 20.5A |

表3 工频、变频时运行情况

高压变频器设备安装在风机值班室内，原高压柜至电机的高压电缆用做改造时电机至变频器连接电缆，变频器至高压柜电缆重新敷设，同时敷设集控室至高压变频器的控制电缆用于变频器的远程控制，采集现场设备状态信号，实现设备的实时调节及信号反馈。此外还需敷设一根高压柜至变频器的控制电缆，用于高压柜合闸允许和高压柜紧急分闸控制。

一次接线如图2所示。

图2旁路柜中，共有3个高压隔离开关，为了确保不向变频器输出端反送电，K2与K3采用电磁互锁操动机构，实现电磁互锁。当K1、K3闭合，K2断开时，电机变频运行；当K1、K3断开，K2闭合时，电机工频运行，此时变频器从高压中隔离出来，便于检修、维护和调试。

旁路柜必须与上级高压断路器DL连锁，DL合闸时，绝对不允许操作旁路隔离开关与变频输出隔离开关，以防止出现拉弧现象，确保操作人员和设备的安全。

故障分闸：将变频器“高压分断”信号与旁路柜“变频投入”信号串联后，并联于高压开关分闸回路。在变频投入状态下，当变频器出现故障时，分断变频器高压输入；旁路投入状态下，变频器故障分闸无效。

保护：保持原有对电机的保护及其整定值不变。

6 焙烧炉风机改造运行情况

沸腾焙烧炉罗茨鼓风机高压变频器2014年4月一次正式投入运行，至今运行正常。改造达到了预期目的。罗茨鼓风机电机电流大大减小，风机运行噪声大大降低。变频运行后，送风管上防风管关闭，根据焙烧炉生产量的大小，随时调节罗茨鼓风机的风量大小，满足生产沸腾炉的工艺要求，而且现场人员操作非常方便。

6.1 节能计算

2014年5月汉源锦泰公司节能服务中心随机对罗茨鼓风机高压变频器进行了测试，记录数据

如表3所示。

根据表3，沸腾焙烧炉罗茨鼓风机工频运行时，功率因数取0.8，电源电压10.20kV，计算每小时耗电为：315.2kW。沸腾焙烧炉罗茨鼓风机变频运行时，功率因数为0.97，变频输入电压10.20kV，计算每小时耗电为：123.4kW。较工频运行时每小时节约电量191.8kW。每年运行300d，每天运行24h，那么年节约电量：191.8kW × 24h × 300d=138.096万kW·h。

通过以上变频运行数据，在与生产工况基本相同的工频运行相比，电机电流、消耗功率大大减小，节能效果是非常明显的。

6.2 间接效益

(1) 提高控制精度，安装变频器后，引入压力反馈信号，采用变频器的PID闭环控制或DCS控制转速自动保持生产所需风压，从而提高了压力控制精度，而且与阀门相比更直观，方便调节风机转速来满足生产需要。

(2) 有效地改善了现场运行环境。采用变频调速后，大大减少了风机管道震动频率和噪音。消除了风机的旁路放空噪声，解决了风机扰民问题，改善了工人的工作环境。

(3) 减少了维护工作量和维护费用，延长了设备的使用寿命。

由于采用了变频调速技术，电机启动、调速平稳，不存在启动电流冲击，减少了罗茨鼓风机出口压力瞬间提高对风机和电网的冲击，而且罗茨鼓风机和驱动电机都处于相对额定转速较低的转速上，因而其零部件的机械磨损减少，降低了维护费用，延长了风机使用寿命。

7 结束语

综合看来，汉源锦泰矿业有限公司沸腾焙烧炉罗茨鼓风机采用高压变频器进行改造后，提高了沸腾焙烧炉风机的运行效率，降低了锌锭的生产成本，对保证沸腾焙烧炉的安全运行起着重要的作用。