

卡尔多炉装备技术的发展及在有色冶炼中的运用

Development of Kaldo Furnace Technology and Its Application in Non-ferrous Smelting

供稿|李健 / LI Jian

内容导读

卡尔多炉的工业化应用非常广泛，不仅在废杂铜冶炼和铅冶炼上成熟应用，而且在铜阳极泥的有价金属综合回收利用上具有非常明显的优势。我国在铜阳极泥的处理中，超过 60% 的金银产能采用卡尔多炉冶炼工艺，随着国家环保政策和排污要求的提高，卡尔多炉冶炼工艺的环保优势更加凸显，成了有价金属综合回收的首选工艺。卡尔多炉工艺除了环保性好外，还具有工艺流程短、自动化程度高、原料适应强和处理能力大等特点。本文主要通过国内各有色冶炼厂的卡尔多炉使用案例，阐述卡尔多炉装备的最新技术发展及在有色冶炼中的运用情况。

卡尔多炉 (Kaldo) 最早用于炼钢，由瑞典的卡林 (B. Kalling) 于 1956 年试验成功，并在多姆纳维特钢厂 (Domnavet) 投产，卡尔多炉的命名源于两者的第一个音节 Kal 和 do。卡尔多炉于 1959 年开始运用于有色金属冶炼中，目前我国引进的卡尔多炉主要用于铅精矿，废杂铜和铜阳极泥的处理。卡尔多炉有 3 个主要技术特征：首先，卡尔多炉在工作时，炉体呈 28° 倾斜状，这样可以增大炉内物料与燃烧火焰的接触面积，提高反应速度；其次，炉内物料的冶炼过程是通过斜插在炉内的可往返运动喷枪向炉内喷吹燃料和压缩空气来完成，通过阀组调节流量和压力等参数可以控制炉内的温度和反应气氛，使卡尔多炉既可用于吸热反应的熔炼作业，也可用于放热反应的吹炼作业；最后，卡尔多炉炉身

既可绕炉体的纵轴线自旋转，增加搅拌强度以提高物料间的反应速度，又可以整体倾转，以完成进料和出料等各种工艺操作。本文通过国内各有色冶炼厂卡尔多炉的使用案例，阐述卡尔多炉装备的技术发展和运用情况。

国内使用卡尔多炉的技术主要是引进瑞典波立登隆斯卡尔冶炼厂的技术^[1]，主要用来处理铜阳极泥^[2]，也有的用来处理废杂铜^[3]，少量用来炼铅^[4]。卡尔多炉设备的技术发展主要经历了三代，每一代设备都有明显的技术特点，总体上卡尔多炉技术向结构简化、轻型化、高效化的方向发展。

第一代卡尔多炉装备情况

西部矿业是我国最早引进卡尔多炉技术的企

业，其 5 万 t/a 粗铅冶炼项目采用的是第一代卡尔多炉技术，于 2005 年投产。国内采用第一代卡尔多炉技术进行废杂铜冶炼的公司有金川铜业有限公司和贵溪冶炼厂，炉子工作容积均为 13 m^3 ，处理规模均为 5 万 t/a。

技术特点

图 1 所示是第一代卡尔多炉。如图 2 所示，炉体的自转采用托轮驱动滚圈的摩擦副驱动方式^[5]，驱动路线为：旋转驱动电机→万向轴（万向节接头）→减速机→托轮→炉体滚圈，第一代卡尔多炉设备外形庞大而笨重，能耗高，传动效率低，备件消耗大。第一代卡尔多炉另外一个重要技术特点是，采用多组纵横交错的弹性元件^[6]来抵消炉体膨胀对滚圈的影响，如图 3 所示，滚圈通过弹性元件的连接固定在炉体的支架上。



图 1 第一代卡尔多炉

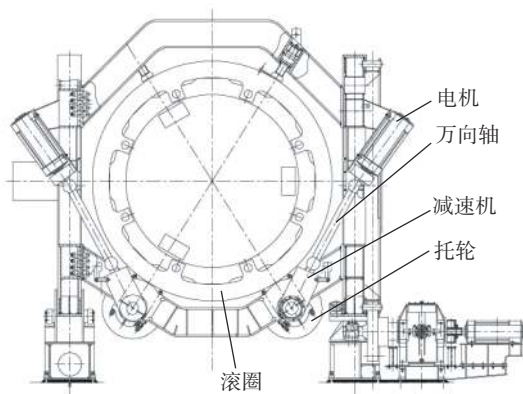


图 2 摩擦副驱动方式

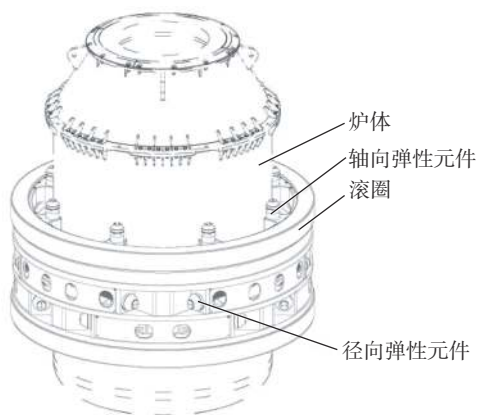


图 3 弹性元件结构

存在问题

第一代卡尔多炉技术多用于废杂铜的处理和铅冶炼，工作容积一般为 13 m^3 ，处理规模为 5 万 t/a，在实际运行过程中主要存在以下问题：

（1）摩擦副易磨损导致炉体振动大

卡尔多炉设置有 4 个回转托轮，每个回转托轮由各自的旋转电机驱动，作为主动轮，回转托轮直径小，而炉体上的滚圈为从动轮，滚圈直径大，滚圈转 1 圈，回转托轮需要转 5~6 圈。一方面 4 个主动轮难以同步，造成回转托轮与滚圈有相对运动，导致相互磨损加剧，回转托轮更换周期一般为 1 a 左右，备件消耗快。另一方面，由于安装误差的存在，磨损程度不一致，导致炉体运行振动很大，对整个设备的运行带来不利影响。检修发现，炉体上弹性元件的安装支架容易开裂，材料组织疲劳性能快速下降。另外，由于这种摩擦副传动效率低，托轮的驱动电机选型功率大，功耗特别大。工作容积 13 m^3 的卡尔多炉，每个托轮的驱动电机为 132 kW，每台卡尔多炉需要安装 4 台托轮的驱动电机，总功率高达 528 kW，能耗非常高。

（2）弹性元件强度不足，更换频繁

废杂铜年处理量 5 万 t/a 规模的卡尔多炉，物料最大装入量 80 t，耐火砖约 97 t，炉体钢壳重约 87 t，旋转总重达 264 t，炉体载荷非常大，经常发生弹性元件部分或整体断裂，一般在 3 个月左右就需要更换一部分或全部的弹性元件，弹性元件的巡检和维护工作量特别大，备件消耗大。

(3) 炉体转速慢

炉体设计转速为 10~12 r/min, 但由于卡尔多炉上的回转托轮和滚圈磨损问题, 导致实际运行转速为 3~4 r/min, 设备性能远达不到设计能力, 吹炼还原时间大幅增加。

(4) 结构复杂, 制造和安装困难, 设备笨重

摩擦副驱动装置和弹性元件的结构非常复杂, 给制造和安装都带来困难, 同时设备庞大笨重, 运行效率低, 故障率高, 检修困难。

改进措施及运行情况

针对以上存在的问题, 采用底部液压马达来驱动炉体。目前金川集团有限公司成功完成第一代卡尔多炉的技术升级改造, 取消了托轮作为主动轮的摩擦副驱动, 采用了底部液压驱动^[7] (图 4)。改造后, 液压站功率 200 kW, 相比改造之前的托轮电机驱动功率 528 kW, 不仅大大减小了能耗, 而且由于液压油的柔性, 极大减小了系统运行的震动, 噪音明显降低, 现场运行平稳; 托轮更换频次明显减小, 由原来的 1 a 更换周期到目前的 2~3 a 更换, 取得了良好的经济效益。



图 4 现场改造后底部液压马达驱动方式

第二代卡尔多炉装备情况

铜陵有色集团稀贵分公司是国内第一个采用第二代卡尔多炉工艺技术处理铜阳极泥的公司, 于 2007 年引进了工作容积为 2 m³ 的整套卡尔多炉及工艺包技术, 并于 2009 年 1 月投入生产。铜阳极泥是铜有色冶炼的一种副产品, 阳极泥中富集了金银铂钯铋等多种贵金属和其他有价金属, 具有极高的

回收价值, 使得卡尔多炉技术得到了迅速推广。

技术特点

图 5 所示是第二代卡尔多炉, 第一代卡尔多炉在技术原理上存在明显的缺陷, 第二代卡尔多炉发生了革命性的改进, 首先, 取消了复杂又不可靠的弹性元件, 运用了奥图泰的专利技术, 采用一种弹性圈来抵消炉体膨胀对滚圈的影响, 结构示意图如图 6 所示, 弹性圈在其连接到炉体的一端可以随炉体的热膨胀而运动, 而另一端的直径可以相对保持不变。这样, 弹性圈在膨胀过程中大体呈锥形, 通过弹性圈的自身膨胀来抵消或吸收炉体的热膨胀, 达到保护滚圈的作用。其次, 采用了底部传动来驱动炉体的自旋转运动, 底部传动可以通过低速大扭矩的液压马达与炉体底部传动轴连接实现, 也可以通过变频电机 (或马达) + 减速机与炉体底部传动轴连接的方式实现, 图 7 所示的是常用的一种底部传动连接方式, 即低速大扭矩液压马达与炉体底部传动轴直接连接的方式。

第二代卡尔多炉相比第一代卡尔多炉, 具有以



图 5 第二代卡尔多炉

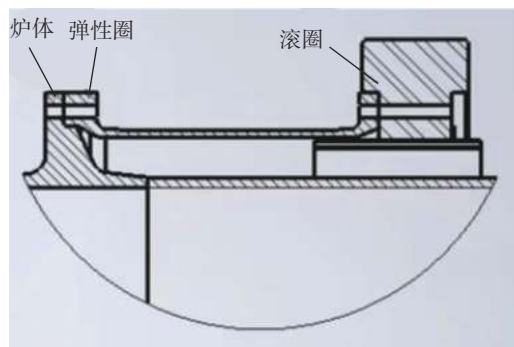


图 6 弹性圈结构

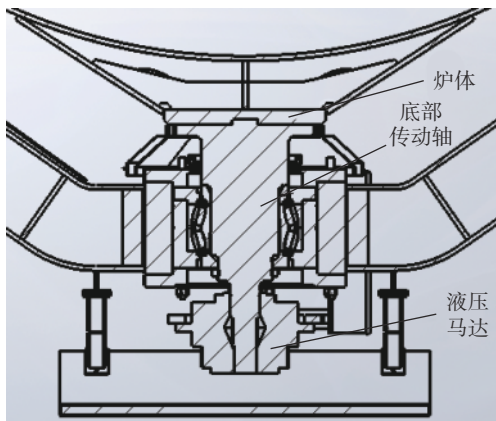


图7 底部传动连接方式

下特点和优势：

(1) 设备结构大大简化，更加紧凑，设备重量减轻，同规格的第二代卡尔多炉重量约是第一代卡尔多炉的一半。

(2) 弹性圈的运用使设备运行稳定性很高，基本上免维护；采用底部传动驱动炉体的效率比较高，故障率低，速度控制更加精确。

(3) 托轮变为从动轮，磨损明显减小，更换周期一般3~4 a，大大减小了备件消耗和检修次数，设备的可靠性得到明显提高。

(4) 现场安装方便快捷。在制造厂先装配主要组件，在现场直接吊装对接即可，整个安装时间2 d就可以完成，图8是现场安装对接时的照片。



图8 第二代卡尔多炉现场安装对接

存在问题

采用第二代卡尔多炉技术的公司还有祥光铜业，白银有色以及紫金铜业等，这些公司都是利用

卡尔多炉来处理铜阳极泥提取稀贵金属。但第二代卡尔多炉在实际运行过程中也存在以下共性问题：

(1) 托轮轴发生轴向窜动

托轮轴安装在两个带紧定套的轴承上，如图9所示，托轮轴的轴向固定依赖轴与紧定套之间的紧固力，如果锁紧没有到位，极易发生托轮轴的轴向窜动，使托轮卡死导致停工停产。图10是托轮轴往左侧发生了明显的轴向窜动的现场照片。

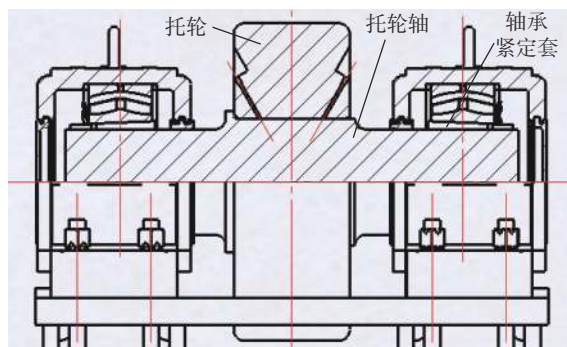


图9 托轮装置



图10 托轮轴窜动

(2) 托轮承受载荷大

按照工艺要求，炉体实际转速需要达到15 r/min以上，托轮转速则高达75 r/min，托轮转速高、载荷大，托轮表面易因磨损而产生沟槽，导致滚圈与托轮之间运行不平稳，炉体发生振动异响。

改进措施及运行情况

针对托轮轴发生轴向窜动的问题，借助专门的液压锁紧装置来安装和锁紧轴承，或重新设计托轮装置的结构，改用可以承受轴向和径向载荷的轴承，以及对托轮轴增加轴向定位装置来确保托轮轴不发生窜动。通过增加轴向定位套筒后，托轮轴的窜动情况

再未发生,无其他异常故障,作业率达98%以上。

第三代卡尔多炉装备情况

技术特点

目前第三代卡尔多炉技术,国内还没有引进,从相关技术资料查询,其主要技术特点是采用回转支承轴承来支撑炉体,取消了托轮和滚圈的摩擦副,这样炉体运行的摩擦系数极大降低,底部驱动的执行元件选型可以减小,运行能耗更低;另外,由于取消了托轮,振动和磨损减小,运行将更加平稳。

结构组成

图11为第三代卡尔多炉的结构示意图,炉体通过“弹性圈”固接在“支撑件”上,“支撑件”通过“连接螺栓”与“回转支承轴承外圈”固接。图12是回转支承轴承的结构示意图,它主要有内圈和外圈以及轴

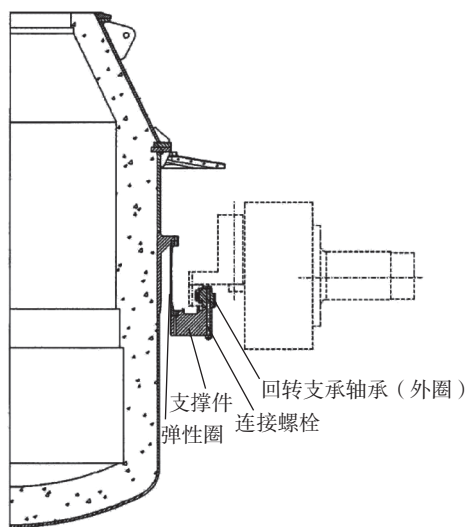


图11 第三代卡尔多炉结构示意图

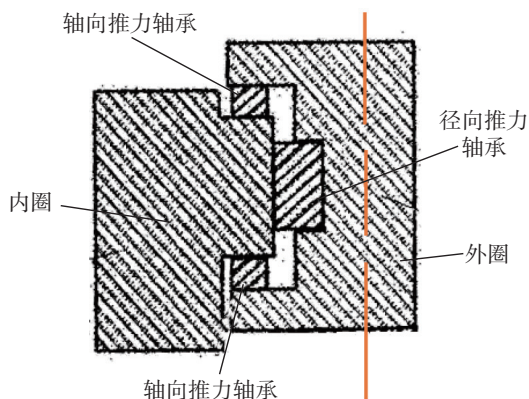


图12 回转支承轴承结构

向推力轴承和径向推力轴承组成。安装时,回转支承轴承的内圈固定,外圈绕内圈旋转。第三代卡尔多炉的炉体旋转同样采用底部驱动,这样,炉体与回转支承轴承的外圈一起绕内圈旋转,相比第二代卡尔多炉的托轮和滚圈的摩擦副传动,回转支承轴承运行的摩擦系数将更小,驱动载荷将大幅度减小。但是由于运行环境温度特别高,对于回转支承轴承的加工和装配精度的要求特别高,以及要考虑回转支承轴承的润滑问题,具体运行情况有待考察。

结束语

卡尔多炉从国外引进到目前为止,虽然国产化的研究^[8]取得了一些进展,但是整体上,卡尔多炉的技术发展还是比较缓慢。主要原因是由于稀贵金属的特殊性,国内企业对稀贵金属的生产采取比较封闭的管理模式,对外也缺乏技术交流,有研发技术实力的公司很难接触到卡尔多炉在稀贵金属企业的具体运行情况。另外一方面,国外公司对卡尔多炉专利的保护,使得国内公司对卡尔多炉的研发工作受限。但随着国家环保要求越来越高,采用火法冶炼较湿法处理在污水排放及废盐产生量等方面具有较大优势,卡尔多炉的技术优势将更加凸显。卡尔多炉技术正朝着结构简单化、运行高效化、操作和维护方便化的方向发展。

参考文献

- [1] 董凤书. 波立登隆斯卡尔冶炼厂阳极泥的处理. 有色冶炼, 2003(4): 25
- [2] 涂百乐. 缩短卡尔多炉处理铜阳极泥单炉周期的生产实践. 中国有色冶金, 2013, 42(1): 47
- [3] 周瑞生. 贵溪冶炼厂卡尔多炉杂铜冶炼的生产实践. 有色金属(冶炼部分), 2011(2): 46
- [4] 董晓伟, 何醒民. 卡尔多炉炼铅工艺的思考. 铜业工程, 2014(4): 35
- [5] 王峰. 卡尔多炉实践及设计缺陷改进. 铜业工程, 2014(2): 10
- [6] 张廷波. 卡尔多炉弹性元件动力学仿真. 制造业自动化, 2011, 33(23): 102
- [7] 汤红才, 季婷, 邵德刚. 氧气斜吹转炉结构及传动系统的优化. 有色金属(冶炼部分), 2016(2): 4
- [8] 孙先如. 铜阳极泥处理卡尔多炉炉体国产化的研究. 有色设备, 2011(5): 5

作者简介: 李健(1983—), 男, 江西赣州人, 高级工程师, 工学硕士, 主要从事有色冶金设备的开发与设计工作。E-mail: 290909311@qq.com。