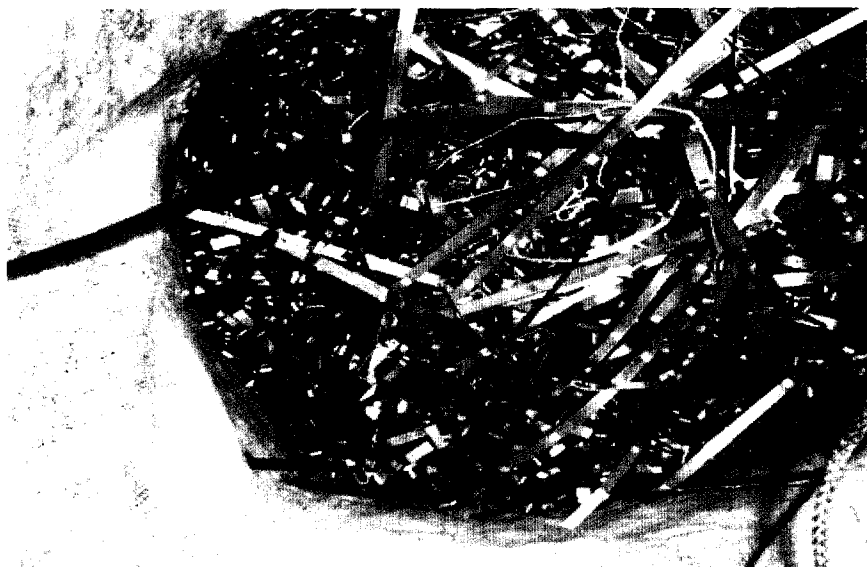


# FRHC废杂铜精炼工艺技术的发展

The Development of FRHC Technology in Refining Scrap Copper

□文/瑞 林



西班牙拉法格的FRHC废杂铜精炼工艺,即“火法精炼高导电铜”生产工艺,是西班牙拉法格-拉康巴(La Farga Lacambra)公司的一项废杂铜熔炼、连铸、连轧技术。意大利康特纽斯-普罗佩茨(continuus-propeizi)公司,是一家从事铝和铜加工设备设计和制造的专业生产厂家,其生产的铝杆连铸连轧机在国际上处于领先。1987年西班牙拉法格-拉康巴公司与意大利制造商康梯纽斯-普洛佩兹公司合资经营,开始向全世界销售以再生废杂铜为原料连铸连轧生产火法精炼低氧光亮铜杆的工

艺技术和设备。利用其技术和设备,使用废杂铜生产的铜杆质量可达到EN1977(1998)CW005A标准,含铜量大于99.93%,导电率大于100.4% IACS,最高可到100.9% IACS。目前在世界上使用该技术和设备的生产线有20多条。在欧洲、俄罗斯、乌克兰、伊朗、韩国等地都有通过火法精炼技术生产电工圆铜杆的企业。

## FRHC火法精炼技术的工艺和设备

FRHC火法精炼的原料废杂铜,要求执行欧洲标准 EN12861-1999

(欧洲标准 EN12861-1999基本上和我国废杂铜分类标准GB/T13587-92相同)。目前世界上采用FRHC火法精炼的工艺和设备,主要有COS-MELT倾动炉生产工艺和COS-MELT组合炉生产工艺。

COS-MELT倾动炉生产工艺所需的设备由加料装置、倾动式精炼炉、除尘装置组成。倾动式精炼炉由炉子本体、烟气沉淀室、燃烧系统、氧化还原精炼系统、液压倾动系统、检测控制系统组成。炉子是固定的,焊接在可倾动的框架结构中。炉子的倾动由液压缸完成。烧嘴位于前炉墙,朝向炉膛中心。燃烧风机和管道挠性连接,装在炉子框架上,和炉子一起倾转。炉子的转轴位于燃烧室上部,出炉烟气口位于前墙另一侧,烟气的排出接口在转轴上。倾动炉有3~5组氧化还原风眼,它们固定于浇铸侧的炉墙上。当炉子在正常位置时,风眼位于熔体液面上;氧化还原过程进行时,炉子倾转使风眼位置在熔体液面下。在浇铸过程中,靠控制炉子的倾转角度,保证风眼始终位于熔体液面上,这样风眼不会被铜水堵塞。

倾动式精炼炉的生产工艺过程:炉子加料用改进式前装机从1个或2个加料口加入,在熔炼过程中加料门是

关闭的，熔化过程中，炉内要保持较高的温度。加料时，倾动炉处于水平状态。整个炉内的金属完全熔融后，吹入压缩空气氧化；同时，压缩空气使铜水被强制循环，增强对流传热，提高熔池下部温度，加速炉料熔化。杂质充分氧化后，加入熔剂造渣，扒渣后需取样进行化学分析，并根据铜液的化学成分经过计算机分析和计算，确定精炼剂的成分和用量。加入精炼剂后从熔融的铜液中去掉最后的炉渣和精炼剂。去除炉渣后，炉子将再次倾动，以便使还原燃料喷入熔融金属中，进行激烈的化学反应，减少氧含量。倾动炉靠阀门切换风管送入天然气或煤气进行还原作业。

COS-MELT组合炉由1台竖炉、2台倾动炉和1台保温炉组成。竖炉由加料装置和1台特殊的改进型竖炉组成，可连续加料并熔融铜废料和电铜。2台倾动炉主要起氧化还原和精炼作用，它的生产和工艺过程和上述倾动炉生产工艺类似。根据熔化和精炼周期，2台炉子交替向倾动式保温炉提供合格铜液。倾动式保温炉主要起平衡铜液的作用，保证连续地给连铸连轧机提供铜液，同时可以精确控制液态金属铜的流量和温度。因此，COS-MELT组合炉生产工艺流程是：竖炉—倾动式精炼炉—倾动式保温炉—连铸连轧浇铸机。

COS-MELT组合炉可使整个生产过程连续，处理含铜量96%以上的废铜，而COS-MELT倾动炉可以处理92%以上的废铜。在COS-MELT组合炉中，竖炉能够连续熔炼废杂铜，加快废铜的熔化速率，但是仍将受到倾动炉氧化还原周期性生产的制约，竖炉一次精炼后，还需根据铜液化验结果，在倾动炉中加入不同的添加剂进行二次精炼；而COS-MELT倾动炉是间断生产，有利于对杂质的控制。综上所述，

COS-MET倾动炉生产工艺无论在原料要求或生产过程控制上，都要优于COS-MELT组合炉生产工艺。

西班牙拉法格火法精炼工艺和国内已有废杂铜制杆的工艺在理论上和实践上没有太大的区别，主要区别在火法精炼的设备上，拉法格技术使用的是倾动式精炼炉，而国内使用的是固定式精炼炉。

### FRHC火法精炼技术的特点

废杂铜中的杂质主要包括铅、锡、锌、铁、镍、氧、硫等成分，国内一直认为火法精炼杂铜很难达到高导电铜的标准，特别在上述几种杂质大量存在且变化无常时。普罗佩茨—拉法格公司FRHC火法精炼技术在此领域实现了突破。该项成果主要是通过计算机辅助设计确定精炼工艺参数，选择特种添加剂及用量。它的精髓和核心是调整杂质成分和含氧量，而不是最大限度的去除杂质。他们利用计算机辅助设计，对废杂铜中主要的15种杂质元素进行了分析研究，通过对各种元素长期的研究和实验，找到各种元素相互化合后形成的微化合物铜合金，不影响铜杆的导电性和机械性能。这样，使FRHC火法精炼生产的铜杆中铜含量大于99.93%、杂质含量小

于 $400 \times 10^{-6}$ 时，导电率大于100.4% IACS。因此其主要技术是化学精炼而不光是深度氧化还原。

火法精炼生产光亮铜杆的产品性能和其他类型铜杆性能比见表1。

各类铜杆的特性比较由表1可见，与ETP和OFE相比，FRHC铜杆除了杂质含量高许多以外，其余性能相差不多。因此，杂铜通过FRHC火法精炼后，接近于纯净电解铜实际生产出一类微化合物铜合金，不影响铜杆的导电率，而且其再结晶软化温度、抗拉强度、扭曲次数等机械性能优异，在长期导电状态和超常温状态下均能使用，适合于代替电解铜生产光亮铜杆，在电线电缆行业使用。

### FRHC火法精炼技术的优势

1. FRHC火法精炼高导电铜技术是再生铜领域中的一项绿色环保工艺。国内固定式的精炼炉在氧化还原过程中，均需打开炉门人工将铸铁管插入铜液中，鼓入压缩空气和天然气，对铜液进行氧化和还原，不可避免地有烟气逸出。倾动式精炼炉解决了这一问题。在加料和熔化过程中，风眼在铜液上方；当氧化还原时，炉子倾转，鼓入压缩空气和天然气，所有烟气通过二次燃烧室、冷却装置，

表1 各类铜杆的特性比较表

		火法精炼铜 (FRHC)	电工铜杆 (ETP)	无氧铜杆 (OFE)
铜+银含量	%	99.93	99.95	99.99
杂质最大含量	$\times 10^{-6}$	400	30	50
氧含量	$\times 10^{-6}$	150~250	150~300	<5
延伸率A100	%	45~51	45~50	45~50
延伸率A200	%	38~43	40~45	40~45
抗拉强度	kg/mm <sup>2</sup>	23~24	21~23	23~24
导电率	IACS%	>100.4	101~102	101~102
扭转次数	次	45~55	45~55	45~55
直径允许偏差	mm	0.25	0.15~0.10	0.05
再结晶软化温度	℃	225~250	250~275	200~250



## 《资源再生》杂志

## 征稿启事



中国《资源再生》杂志是国内外公开发行的综合性科技期刊，主要涉及废旧铜、铝、铅、锌等有色金属、废钢铁、报废汽车、电子废弃物、废塑料、废纸的回收再利用等领域。读者群体主要为相关领域企业、协会、研究机构及高等院校等。

为丰富杂志内容、贴近企业和读者、加强与资源再生行业的联系，也为行业提供一个交流平台，特向行业各界诚邀相关领域技术、设备类论文，对行业现状或新现象的反映或剖析、对企业先进文化或理念的宣传稿件。

稿格式及字数要求：论文类稿件要求按照科技论文格式书写，字数以3000-4000字为宜，市场观察分析类稿件字数以1500-3000字为宜，所有文章若附有照片、图、表等，要求清晰度较高。稿件采用后编辑部将给作者邮寄样刊及稿酬，请在来稿中附详细联系方式。

投稿请寄：

地址：北京海淀区学院路蓟门里北乙11号烟树商务楼209室  
邮编：100088  
信箱：Resource\_m@163.com  
电话：010-6238 7787转231/205  
传真：010-6207 7118  
联系人：张琳 王冰

然后和环境集烟罩收集的烟气混合，送往布袋收尘器和高烟囱排出。

2. 传统的固定式反射炉燃烧风量需要通过人工调节，如果调节不当和调节滞后，都会因燃气燃烧不完全而产生黑烟污染；倾动式精炼炉实现了燃烧风量和燃气流量比例的自动调节，使燃气完全燃烧，降低能耗。

3. 在火法精炼实际生产过程中，利用计算机辅助设计，对废杂铜中主要的15种杂质元素进行了分析研究，通过对各种元素长期的研究和实验，找到各种元素相互化合后形成的微化合物铜合金，不影响铜杆的导电性和机械性，满足了电工铜杆的质量要求。

4. 和固定式反射炉相比，倾动式精炼炉熔化速度快，热效率高。

5. 采用拉法格提供的技术，熔化温度低于国内固定式反射炉，炉子寿命长。

### FRHC火法精炼技术需要探讨的问题

1. 西班牙拉法格火法精炼生产高导电铜杆，真正意义上的开发研究是从2000年开始的，其使用含铜92%的废杂铜生产高导电铜杆的成熟程度有待进一步证实。在EN12861的废杂铜分类标准中，废紫杂铜含铜最低是96%，92%~96%的废紫杂铜现实中很难找到，不是合金状态，就是有非金属物质；因此，用该技术稳定地生产合格的产品还要实践来检验。

2. 国内外在使用电解铜生产光亮铜杆和无氧铜杆的标准中，对铜杆中杂质的含量都有严格的要求，杂质总量不超过 $50 \times 10^{-6}$ 。但在欧洲火法精炼生产高导电铜标准中，对杂质的要求比较宽，只限定总量不超过 $400 \times 10^{-6}$ 。由于杂质含量较高，火

法精炼的铜杆一般不能用来拉制小于 $\phi 0.2\text{mm}$ 的电工产品。我国应尽快制定废杂铜生产电工铜杆的标准。

3. 利用火法精炼生产高导电铜杆都有二次精炼的问题。据了解，加入的添加剂，均为常规元素，市场可以直接采购。但在何种状况下加，加入元素的种类和用量的多少，需要根据现场铜液的化验结果和计算机辅助设计工艺参数来确定。这也是本项目技术秘密和诀窍所在。目前拉法格公司告知：每吨合格铜杆需要20欧元的添加剂。这一部分价格是否能控制得住，今后又将会如何影响生产，需要实践来检验。

4. 到目前为止，普洛佩茨-拉法格公司生产线最大生产能力为15t/h，最大的COS-MELT倾动炉是110吨。国内目前的150吨倾动炉是世界上最大的，虽然在工艺技术、设备结构上不会有太大的差别，但还需要实践来检验。

5. 对倾动炉产生的烟气是否要进行处理？从理论上说，只要对废杂铜分拣分类，通过二次燃烧室燃烧后，通过水冷和布袋收尘就可直接排放，不必再进行处理。这和拉法格提供的资料要求不同，他们提出的废铜有机物含量很高，这要通过实践来检验。

