连铸坯氢氧切割在包钢的应用[*1]

张立通，谭晓东，王海明

（内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 连铸坯火焰切割是连铸生产的关键环节，高效低能耗的火焰切割技术是连铸火焰切割的发展方向，包钢稀土钢板材厂的两台双流板坯连铸机均采用氢氧切割新技术，氢氧切割具有切割断面整齐、割缝小、毛刺少、能源消耗低等优点。

关键词： 氢氧切割；火焰切割；能源消耗

中图分类号： TF777 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2019)02－0026－04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.02.009

Application of Oxy－hydrogen Cutting for Continuous Casting Billet in Baotou Steel

Zhang Li－tong, Tan Xiao－dong, Wang Hai－ming

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The flame cutting of continuous casting billet is the key link of continuous casting as well as the flame cutting with high efficiency and low energy consumption is the development direction for the flame cutting of continuous casting. The two dual－flow slab continuous casting machines in Rare Earth Steel Plate Plant of Baotou Steel adopt new oxy－hydrogen cutting technology, which is with such advantages as neat cutting section, small kerf, few burr and low energy consumption.

Key words: oxy－hydrogen cutting; flame cutting; energy consumption

火焰切割是金属加工过程中的一种热切割工艺，是利用预热氧和可燃气如丙烷、天然气、乙炔、焦炉煤气、氢气等混合燃烧的火焰，将切割材料进行局部加热至燃点，使切割材料在高压氧流中连续燃烧，燃烧所产生的熔渣被切割氧流吹掉，从而形成割缝的一种切割工艺。为解决天然气切割割缝大、毛刺多、金属损失大等缺点，包钢稀土钢板材厂的 2 150 mm和 1 650 mm 两台双流板坯连铸机，均采用氢氧焰断火切割技术，切割定尺长度为 8 000 ~ 11 000 mm。即在氢氧气中添加适量的辅助燃气，如丙烷、天然气、焦炉煤气、乙炔等，增大了氢氧火焰，延长了切割风线，同时，降低氢氧气的燃烧速度和回火几率。当切割操作结束后，不间断供给添加辅气的氢氧气，维持燃烧状态的长明火，确保安全、可靠地再次点火，进行下一循环的切割作业。这样既能降低氢氧气的燃烧速度和回火几率，提高氢氧发生器的使用寿命，又能保证切缝窄、切口光洁的优势，同时切割间隙时段降低氢氧气和能源的消耗，节约成本。

氢气与其它燃气相比，具有多种优势：(1) 氢的

* 收稿日期：2018－03－27

作者简介：张立通(1981－)，男，河北省故城县人，硕士，工程师，现从事中试实验工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

燃烧速度快，在空气中为 2.7 m/s，是天然气、丙烷的 7 倍，穿透能力强；(2) 氢的单位质量热值为 1.4×10^5 kJ，是丙烷的 2.7 倍、汽油的 3 倍，高于除核燃料外的其他燃气，即同等情况下，燃烧 1 kg 燃气，氢气燃烧放出的热量比其他燃料均多，火焰温度高；(3) 氢燃烧后生成水，不产生 CO_2，属于环境友好型燃气。水通过电解可以产生 2/3 的氢气和 1/3 的氧气，氢气和氧气的混合气作为切割燃气，不仅可以使切割过程的氧化反应进行得更充分，而且可以节约预热时氧气的耗量，在连铸火焰切割市场具有重大的经济效益和社会效益。

1　氢氧发生器的制氢原理

1.1　水电解制氢原理

水电解制氢是一种传统的制氢方式，工艺技术比较成熟，其制氢纯度高，操作简便，无污染。一般每生产 1 m^3 氢气需消耗 4.5 ~ 5.5 kW·h 左右的电量，效率在 75% ~ 85%。目前我国水电解制氢方法主要是采用碱性电解水制氢法，其原理是当直流电通过碱性电解质溶液时，水分子中正负离子分别向阴阳两极移动，并在阴、阳电极上得失电子变成原子，从而生成氢气与氧气，电化学反应如下：

阴极：$2H_2O+2e\rightarrow H_2\uparrow+2OH^-$

阳极：$2OH^- -2e\rightarrow 1/2O_2\uparrow+H_2O$

总反应式：$H_2O\rightarrow H_2\uparrow+1/2O_2\uparrow$

1.2　氢氧发生器的构成及工作原理

氢氧发生器主要包括电源部分、电解装置、气体处理与控制装置三部分。

水电解过程使用直流电，而外界提供的工业电为交流电，需要进行变压、整流后才能使用。每台氢氧发生器额定功率为 45 kW，每流需要 4 台氢氧发生器，每流合计功率为 180 kW。

电解槽采用圆筒式电解槽，极板设计为三段式结构，既保证了电解槽的工作效率，提高了极板的有效利用率，也使气体储存和排渣系统得到充分优化，清洗和维护都非常方便。加液通过一根间隔布有出液孔的 PP-R 长管在电解槽的上部进行，更有利于电解池内的液位平衡。

气体处理与控制装置包括分离设备、水封、防回火装置、防爆装置等，具有自主发明的三级防回火装置和泄压装置，在设备出现回火状况时，能够保证设备及生产的安全可靠。

整个切割的工艺流程为：脱矿水→氢氧发生器→防爆装置→水封→配气罐→水封→气水分离器→切割柜。将水电解后产生氢、氧混合燃气，经过收集、冷却、分离等处理环节后供给火焰切割机。

切割过程中不需要预热氧，只需切割氧即可，可取消切割氧盘箱、天然气过滤器等盘箱。为了防止回火，每组管路上均设有水封装置，为净化氢氧混合气体，每个支路上均设有气水分离器，定期排水。

电解所用水质的最低要求为澄清工业水(最好为生活用水)，水压力要求不低于 0.3 MPa，并在水管路进口处设置过滤器，并定期进行清洗。电解槽也需要定期清理(约半年清理一次)，氢氧发生器需要良好的通风条件，电解室内设防爆通风风机和防爆灯等。表 1 为氢氧发生器主要技参数。

表 1　氢氧发生器的主要技术参数

项目	参数
设备型号	(SB10) HGQ-10000
输入电源	AC50/60Hz、380V±10%、三相四线
额定容量/kVA	45
电源效率/%	≥73
气焊割额定功率/kW	31
气焊割工作电压/V	120 ~ 135
电解电流/A	≤330
气焊割工作介质	蒸馏水或去离子水
环境温度/℃	-10 ~ 40
相对湿度/%	≤90
工作气压/MPa	≤0.09
额定产气量/(L·h^{-1})	10 000
耗水量/(L·h^{-1})	约 5.4
火焰温度/℃	1 000 ~ 3 000
最大气焊厚度(黑色金属)/mm	4
单机最大切割厚度/mm	≤400
气焊割工作方式	连续
外形尺寸/(mm×mm×mm)	1 450×1 150×1 550
重量/kg	2 000

2　氢氧切割技术的应用

包钢稀土钢板材厂前期使用天然气为燃气进行连铸切割，割缝 8 ~ 12 mm。天然气割嘴的平均使用寿命 3 ~ 4 天，切割成本较高。由于氢氧焰切割技术的众多优势及市场应用的普及，包钢稀土钢板材厂

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

决定将传统火焰切割的天然气用氢氧气切割代替，切割工艺流程如图1所示。2014年7月首先在1 650 mm连铸机上进行氢氧切割技术试验，然后逐步应用到2 150 mm板坯连铸机上。

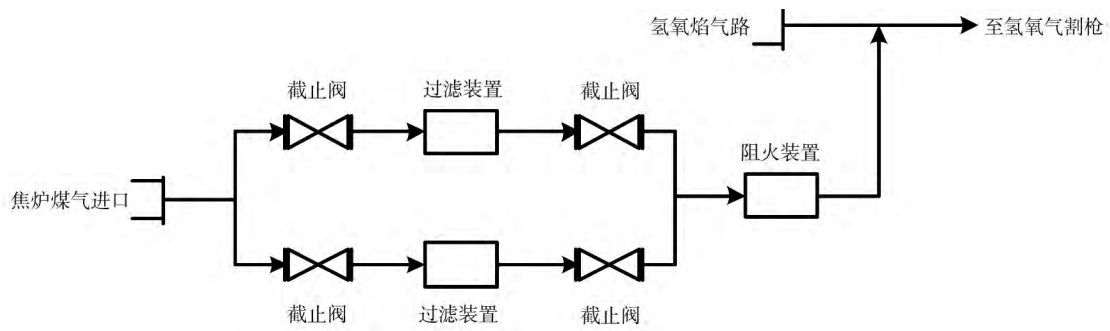


图1 以焦炉煤气为助剂的氢氧焰断火切割工艺图

3 氢氧切割与天然气切割对比

3.1 燃气特性对比

天然气主要由甲烷组成，约占80%～90%，还含有少量乙烷、丙烷和丁烷等，此外存在少量二氧化碳、硫化氢、氮、水气、一氧化碳及微量的稀有气体等。而水电解氢氧气中只含有氢气和氧气，其体积比为2∶1。

天然气的燃烧速度为0.38 m/s，氢的燃烧速度是天然气的7倍，火焰穿透力强，切缝窄，减少金属损耗，经济价值较高。在同等条件下氢氧气燃烧强度高，火焰温度为2 405 ℃，比天然气高。氢氧混合气中自身占有1/3的氧气，可以节约预热时氧气的耗量，节约资源，降低成本。表2为氢气与天然气的火焰特性对比。同时，氢氧混合气使切割过程的氧化反应充分进行，而天然气与氧在割具中混合，使得燃烧时氧化反应不充分，从而存在CO的吸热反应，影响燃烧温度和熔渣的性质。所以氢气切割时切口光洁、挂渣少，切口的质量高，挂渣易于处理。

表2 氢气与天然气的火焰特性对比

项目	氢气	天然气
空气中燃烧速度/(m·s^{-1})	2.7	0.38
空气中扩散系数/(cm^2·s^{-2})	0.61	0.16
燃烧质量热值/(J·kg^{-1})	1.4×10^8	8.8×10^7
火焰温度/℃	2 405	1 875

3.2 切割质量对比

(1) 割缝。连铸机采用天然气切割时，割缝一般在8～12 mm，而采用氢氧气切割过程，经多次测量割缝，均在4～6 mm，降低连铸坯切割损耗；若按每块连铸坯切割缝隙减少3 mm计算，一年可减少切损180 t以上。

(2) 切割面。氢氧切割与天然气切割速度基本相当，但氢氧切割的切面平整度较好，毛刺量较少，减少去毛刺机垂刀的消耗。同时，挂渣量较少且易于清理，降低了工人的劳动强度。图2为氢氧切割冷态铸坯情况，图3为天然气切割冷态铸坯情况。



图2 氢氧切割冷态铸坯

(3) 氢氧气和天然气切割消耗能源成本对比。天然气切割过程主要需要消耗能源为天然气，而氢氧切割过程主要消耗能源为水、电，同时，氢氧切割过程自带氧气，可减少预热氧的消耗。

包钢稀土钢板材厂前期采用天然气切割过程的总体成本为1.2元/t钢，其中，包括割枪割嘴0.4元/t钢，滤芯0.1元/t钢，天然气和氧气费用0.7元/t钢。后改用氢氧切割后，在购买了所有氢氧切割设备及配套装置并安装调试后，由国内某企业总体承包，每吨钢价格为0.6元(包括割嘴、割

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

枪)。若以年产 536 万 t 钢计算,仅能源消耗一年可以节约生产成本 321 万元。



图 3　天然气切割冷态铸坯

3.3　氢氧切割技术安全性和环保性分析

氢气的密度小,浮力大,氢在通风排气条件下能快速上升,不像丙烷气一旦泄漏都在地面处聚集,易于达到爆燃浓度的危险,且扩散系数大,泄漏扩散速度快,即泄漏的氢气能快速向各个方向扩散,使其泄漏区域的氢浓度能快速降低,这为安全特性带来有利的一方面,因此在建设氢氧发生器机房时,宜用单层建筑,且房间高度不宜低于 4 m,房间顶部应设置通风和排风装置,一般有条件都应设置氢浓度检测装置,且将氢浓度检测装置与强制排风连锁,另外在氢氧发生器工作间应严格控制明火火源。

氢氧切割过程中,氢氧气通过水电解来制备,火焰集中不分散,没有任何污染,并且即产即用,设备工作压力低(≤0.1 MPa) ,无储存,管路内残余少,并且设置防回火装置安全可靠。

氢氧气来源于水,燃烧后又还原成水,整个过程环保无污染。而天然气、焦炉煤气、丙烷等作为燃气进行切割,可能生成 CO、硫化物等有毒气体,如操作不当,易对人身健康造成危害,因此使用氢氧切割技术,可有效减少切割过程的烟气排放,有利于环境保护。

4　结束语

包钢稀土钢板材厂的连铸机采用氢氧切割技术后,工艺运行状况良好,明显改善了切口挂渣严重、难清理的问题,切割质量优于天然气切割,连铸坯切成率达 99.9% 以上,切割工作环境有所改善,割缝可控制在 4 ~ 6 mm,降低连铸坯切割损耗,提高了金属收得率。

参　考　文　献

[1]　周为民,王方军,孔令军,等. 氢氧焰在连铸坯切割中的应用与前景[J]. 设备技术,1998,(4):27 -29.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net