DOI: 10.3969/j.issn.1000-6826.2023.03.0701

热镀锌机组退火炉烧嘴空燃比调整与故障分析

Failure Analysis and Adjustment Air-Fuel Ratio of Annealing Furnace Burner of Hot Galvanizing Line

供稿|李庆刚，梅锐东，毛然，马伯霖 / LI Qinggang, MEI Ruidong, MAO Ran, MA Bolin

内容导读

本文结合热镀锌机组退火炉烧嘴燃烧效果不良、故障率较高的问题，介绍了热镀锌机组退火炉烧嘴构成和烧嘴进行空燃比调整的基础条件，确定烧嘴调试的技术方案，详细阐述了烧嘴调整的操作步骤，同时针对烧嘴空燃比调整过程中遇到的问题进行总结，形成烧嘴故障的诊断与处理方法。经过烧嘴调试后，本钢浦项 3#、4#镀锌机组厚料产量分别提升至 75 和 50 t/h 以上，对如何分析辐射管燃烧故障、判断烧嘴换热器损坏、调节适合本机组的燃烧空燃比具有指导意义。

本钢浦项冷轧薄板有限责任公司热镀锌机组 2 条镀锌线分别生产 2.0 mm 及以上、1.2 mm 及以上产品时，在满足退火温度及相关工艺的前提下，机组速度仅能达到 50 m/min，严重影响单面锌重 90 g/m^2 及以上产品的正常生产，无法满足公司下达的产量计划指标，对比同类热镀锌机组，机组速度远高于本机组速度，通过机组排查确定问题点为镀锌机组退火炉烧嘴燃烧效果不良，故障率较高，不能满足热镀锌机组退火炉的加热需求。为保证机组产量、产品质量满足客户使用要求，本钢浦项热镀锌机组自主进行了退火炉烧嘴空燃比调整与炉区功能诊断工作，实现 3#镀锌机组生产厚度≥2.0 mm 产品的产量达到 75 t/h 以上，4#镀锌机组生产厚度≥1.2 mm 产品的产量达到 50 t/h 以上。在机组投产调试初期，通过设备安装方进行过一次彻底调节，相关移交空燃比调节参数标准如表 1 所示。由于机组多年运行、设备老化及外部介质条件等诸多客观环境因素的变化，需作业区自行摸索一套适合现有机组工况水平的调节测试方案，用于指导炉区日常维护与提升工作。

表 1　空燃比调节参数标准记录表

烧嘴功率/kW	流量/(m^3/h)		压力/Pa		压差/Pa	
	空气	煤气	空气	煤气	空气	煤气
200	200	96.5	10200	5200	900	2830
125	124	60.0	10200	5200	6090	4180

退火炉炉区烧嘴介绍

（1）3#镀锌机组退火炉共计 7 层，分布烧嘴 208 个，分别为 125 和 200 kW 2 种烧嘴，其中 125 kW

作者单位：本钢浦项冷轧薄板有限责任公司，辽宁　本溪　117021

小烧嘴 28 个，200 kW 烧嘴 180 个。

（2）4#镀锌机组退火炉共计 7 层，分布烧嘴 176 个，分别为 125 和 200 kW 2 种烧嘴，其中 125 kW 小烧嘴 16 个，200 kW 烧嘴 160 个。

（3）加热段管温检测烧嘴分别分布在 6 层烧嘴操作侧和传动侧。

（4）空气与煤气分步通入烧嘴内点火燃烧，通过热辐射的方式对退火炉内运行的带钢进行加热。

烧嘴调整前期准备

退火炉状态确认

进行退火炉烧嘴空燃比调整前，需排除由于空气压差和煤气压差等参数影响导致的退火炉整体加热能力不足，有针对性地调试与评估空燃比状态。调试前需要准备调试条件，当烧嘴燃烧个数超过 80% 时，炉子加热能力处于上限，退火炉具备空燃比调试条件，当烧嘴空气压差与煤气压差满足测试条件时，可进行单个烧嘴空燃比调试，测试标准见表 2。

表 2　空燃比调试准备表

烧嘴功率/kW	空气压差/Pa	煤气压差/Pa	物料条件
125	6000	4100	燃烧烧嘴个数与全部烧嘴个数之比≥80%
200	900	2800	燃烧烧嘴个数与全部烧嘴个数之比≥80%

调节技术方案

调试期间采用压差表先测量煤气压差是否满足标准压差，通过高关低开煤气针式调节阀管路开口度的方式进行压差校正[1]。如果调整后无法满足标准煤气压差，则通过调整空气压差量来等比例实现空气与煤气的配比。

利用气体分析仪分析废气成分，以检测辐射管燃烧后废气中残氧量的方式来判断整个烧嘴的燃烧状态，一般将残氧量控制在废气体积的 3%~5%[2]。如果残氧量过低，说明辐射管内气体燃烧不充分，此时火焰温度较低，导致燃烧效率低下，烧嘴内 CO 过剩。此时如果废气管道密封性差，管道负压带入氧气；或辐射管热交换器内漏，助燃空气通过热交换器直接进入废气管道，没有全部进入烧嘴与混合煤气燃烧，CO 就将与废气管道内氧气在高温状态下发生二次燃烧。如果烧嘴燃烧后残氧量过高，将额外带走热量导致烧嘴加热效率降低。

通过控制烧嘴内残氧量的方式，将烧嘴调节至可以达到的最佳燃烧效果。此时燃烧温度最高且废气中残留的 CO 值少（CO 最高不能超过废气体积的 0.02%），燃烧后的废气温度在 600~700 ℃ 之间，安全节能且效率高。另外在正常生产时，煤气空气通入烧嘴点火成功后，可通过窥视孔观察到蓝色火焰，火焰熄灭时可见暗红色的辐射管本体，这也是判断烧嘴燃烧状态的一项指标。

调节前准备工作

进行空燃比调试前需准备相应工器具：手持式压差表 1 台，用于分析废气残氧量；气体分析仪 1 台，用于检测 CO 含量和废气温度。

调试前需完成以下准备工作：

（1）物料准备，调试前需准备能够保证炉子所有烧嘴充分工作的厚规格产品。

（2）助燃风机压力的实际风压达到 950 kPa 及以上。

（3）煤气压力的实际压力达到 600~650 kPa。

（4）为了更准确地定位及处理故障烧嘴，在调试前需列出详细的烧嘴分布编号，调试期间详细记录每个烧嘴的调试状况，评估烧嘴状态，便于后期维护和检测。

烧嘴调整过程

（1）确认废气分析仪和压差计完好，检查烧嘴各个元件完好，如缺失则进行记录。

（2）检测设备均校零：压差计测试前应检查软管是否松动并校零。

（3）煤气和空气压力孔板前后取样管连接压差计→打开煤气和空气压力孔板前后取样手阀→按照标准调整压差并记录。

（4）打开废气管螺母→废气分析仪“START”→进行废气分析。分析时长推荐不超过 90 s。

（5）通过调节煤气流量阀或空气量使残氧量占废气体积的 3%~5%：当残氧量占比大于等于废气体积的 5% 时，增大煤气量；当 CO 体积分数大于

0.02% 时减小煤气或增加空气量。

需要注意的是，调节的目标方向与残氧量的变化趋势是否一致，若不一致则应稍停留观察或重新进行此次燃烧调整。废气分析开始 0.5~1.5 min 时，数值相对稳定；时间过长，温度过高，废气分析仪管会被烧红，影响数据准确性。

按照上述步骤调试编号为 O1E 的烧嘴，初始测量烧嘴内残氧量为 20%，烧嘴内烟气温度为 509 ℃。依据调试标准判断残氧量偏高，增大煤气量，再次测量烧嘴内残氧量为 5%，烧嘴内烟气温度为 691 ℃，此时烧嘴内空燃比达到最佳，烧嘴加热能力明显提升。

烧嘴故障分析与判断

辐射管燃烧调整故障分析

烧嘴在调试过程中，由于每个烧嘴的工作状态不同，其调整的方向也不相同，因此在调试过程中对烧嘴可能出现的故障总结为以下 6 种情况。可通过测量煤气压差、空气压差、废气温度、废气 CO 含量等参数确定烧嘴存在故障的原因，并进行针对性的排查与处理，总结烧嘴故障原因及处理方法如下：

（1）针对煤气压差偏低，可通过调整煤气针式调节阀，将煤气压差调整到最大，再根据空气配比量调整空气含量，最后测量废气中残氧量和 CO 量。若煤气压差偏大，则需关闭煤气针阀调整煤气量。

（2）空气电磁阀过滤堵塞也可导致空气压差偏低，临时控制措施是将烧嘴的滤网拆除，在日常运行过程中应定期对煤气主管路滤网进行清理工作。

（3）调整过程中发现有个别烧嘴废气温度偏高，首先确定废气中 CO 占比是否超量，以此来判断换热器是否存在问题。其次确定废气中的残氧量是否偏低，如果偏低就要适当降低煤气压差或增加空气压差。

（4）废气中的 CO 含量严重超标，残氧量偏低或没有，此时要及时关闭烧嘴煤气手阀，避免烧嘴反复点燃造成废气管道 CO 含量超高，同时检查烧嘴换热器或辐射管是否损坏。

（5）在设计退火时选取每一列中间部位的辐射管作为退火炉一列烧嘴的区温检测点，当检测点报警时，整列烧嘴全部关闭。因此该部位的烧嘴进行空燃比配比时，煤气量要降低 10%，避免生产厚料时烧嘴满负荷燃烧时间过长，导致整列烧嘴超温报警。

（6）烧嘴燃烧不稳定，点不着火时主要检查煤气气动阀和空气电磁阀的开关情况，同时检查开关的时间是否有延时。其次检测点火电极是否有问题。

烧嘴换热器的损坏判断

以下 3 种情况均可以判定烧嘴换热器已经损坏，必须更换或维修。反之，烧嘴换热器可以继续使用。

（1）观察烧嘴燃烧时的废气分析管，废气分析管内有火焰。

（2）分析排放的废气，满足表 3 所列所有判定标准。

表 3　烧嘴换热器损坏判定标准对照表

体积分数/%		废气温度/℃
O	CO	
>10	<0.02	>700

（3）使用分析仪测量烧嘴管内气氛，氧气体积分数小于 18%。

优化效果

单位小时产量提升

以 3#镀锌机组生产的规格为 2.0 mm×1250 mm 和 4#镀锌机组生产的规格为 1.2 mm×1250 mm 的 DC51D+Z 产品进行产量收集，作为 2 条机组的产量评估标准。2 条镀锌机组每月产量汇总情况如图 1 所示，虚线为目标值，3#和 4#镀锌机组的目标值分别为 75 和 50 t/h。由图可见经过烧嘴调试后产量得到明显提升，除了个别月份都远远超出目标设定。

废气温度提升

调整空燃比后废气温度有明显提升，由调节前的 507.9 ℃ 提升至 550.3 ℃，如图 2 所示，表明烧嘴燃烧更充分。

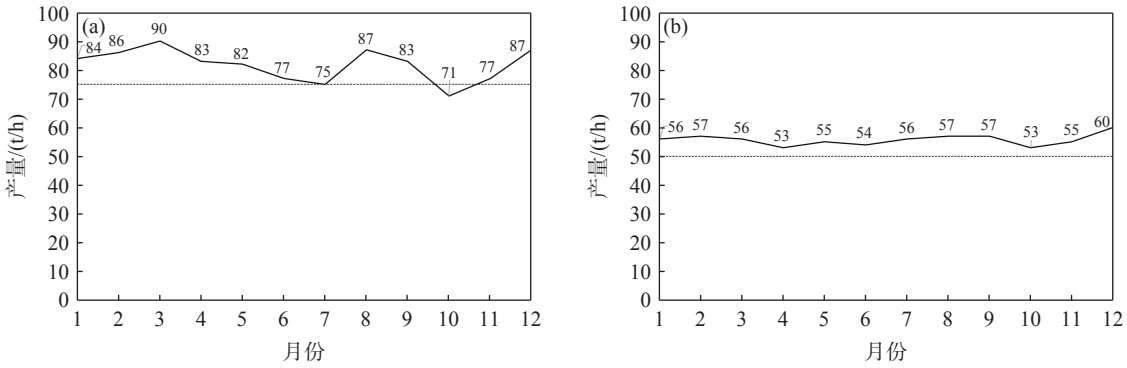

图 1　镀锌机组各月产量：(a) 3#；(b) 4#

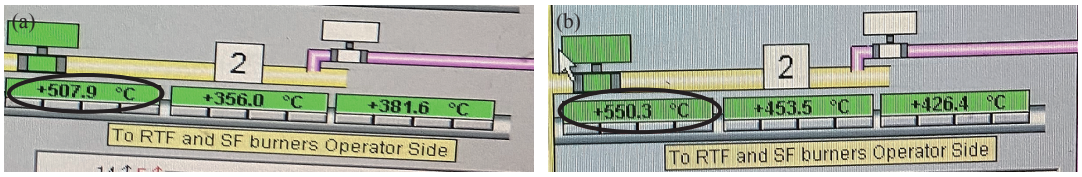

图 2　废气温度：(a) 调试前；(b) 调试后

结束语

本文所提出的调节测试方案，经本钢浦项冷轧薄板有限责任公司 3#和 4#镀锌机组验证，厚料产量分别提升至 75 和 50 t/h 以上，调节过程应着重注意如下方面：

（1）在进行退火炉空燃比优化调节前，应全面检测及评估烧嘴燃烧后废气内残余煤气、氧气含量，掌握不同烧嘴燃烧后的实际效果。此项基础评估检验工作容易被忽略，导致实际调节达不到满意效果。在一次空燃比普调后，需要建立详细的调试记录，为后续炉区功能维护、再次优化调节提供数据参考。

（2）评估烧嘴燃烧状态的关键指标由主到次分别为：燃烧后残氧量、废气温度、CO 残余量。如果燃烧后烧嘴内部残余氧体积分数高于 5%，导致烧嘴内煤气燃烧热量不足，无法达到单个烧嘴的最大燃烧效果，此时需要增大煤气量，同时需要避免煤气资源浪费。

（3）如果残氧量较低，CO 残余体积分数>0.02% 时，需要减小煤气或增加空气量。若增加空气量仍无法有效降低烧嘴燃烧后的残余 CO 含量，基本可以判定换热器损坏，需要暂时将烧嘴关闭，并及时更换换热器进行功能恢复。

参考文献

[1] 田才，王艳强，康永华. 退火炉烧嘴燃烧原理及维护. 科技风，2015(14)：46

[2] 刘德福，鲍洪波，王琦，等. 退火炉燃烧控制研究与应用. 金属世界，2007(3)：9

作者简介：李庆刚（1981—），男，辽宁省本溪市人，钢铁行业。2005 年毕业于辽宁科技学院计算机应用与维护专业。通信地址：辽宁省本溪市欧洲城一期。E-mail：49596799@qq.com。

梅锐东（1994—），男，本钢浦项冷轧薄板有限责任公司，通信地址：辽宁省本溪市欧洲城一期。E-mail：meiruidong1994@163.com。