

硅铁矿热炉烟气余热发电技术研究及案例分析

邓波

(智方工程设计有限公司, 上海 200092)

摘要: 介绍了硅铁矿热炉烟气余热发电系统的发展及应用。硅铁矿热炉烟气余热发电技术在近十年来在我国得到了迅速发展, 随着设备国产化技术改造和人力资源的整合, 在硅铁矿热炉烟气余热发电系统建设运行管理中各个总包商都有不同的技术措施和方法。本文通过多案例的数据比较分析, 总结在设备、安全、经济性、技术管理等方面需要关注的问题, 有助于硅铁矿热炉烟气余热发电系统更快速的发展, 为今后相同及相似工程的实施提供参考。

关键词: 硅铁矿热炉; 烟气余热发电系统; 技术指标; 投资收益; 评价标准

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.06.004

中图分类号 TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2019) 06-0018-07

硅铁余热发电技术是利用硅铁冶炼矿热炉烟气余热进行发电的技术。铁合金行业作为钢铁工业的重要组成部分, 每年消耗大量能源, 其产品是高能载体, 而且冶炼过程中产生的高温烟气和设备散热带走了大量的能量。作为三大铁合金系列产品之一的硅铁, 消耗的电能几乎占到整个铁合金工业的 50%。

1 行业能耗现状

1.1 行业现状

铁合金是钢铁工业非常重要的原材料, 在炼钢过程中用作脱氧剂、脱硫剂、合金元素添加剂等, 按主要元素可分为: 硅系铁合金、锰系铁合金、铬系铁合金和特种铁合金。

目前, 我国铁合金总产能超过 4000 万 t 每年, 生产企业 2000 家, 其中产能在 10 万 t 以上的铁合金企业仅有 28 家, 产能在 20 万 t 以上企业仅有 8 家, 产能在 50 万 t 以上企业仅有 2 家, 而产能 1 万 t 以下的企业多达近 1000 家, 行业产能庞大, 产业集中度低。

硅铁合金即铁和硅组成的合金, 主要用于炼

钢脱氧剂和硅系合金钢的合金原料。生产硅铁的主要设备为矿热电炉, 是以电为热源, 硅石、钢屑等铁质料为原料, 焦炭为还原剂, 在高温下 (1700 ~ 1900 ℃) 进行化学反应, 通过炭将硅石中的二氧化硅还原为硅, 并与熔化的钢屑等铁质原料形成硅铁。

我国硅铁产量从 2008 年至今一直比较稳定, 在 500 万 t 左右, 2012 年产量 478.3 万 t, 2014 年 520 万 t, 2017 年我国硅铁产量增长 4.19%, 市场价值约 400 亿元。我国硅铁产量主要集中在宁夏、青海、内蒙、甘肃、湖南等拥有水资源和煤炭资源等能源优势的地区, 前 5 省份产量占全国的比重接近全国的 80%。

国家政策导向: 伴随着铁合金行业规模的迅速扩张和快速发展, 行业准入门槛低、产能过剩、产业集中度低、行业整体技术水平偏低、污染严重等问题也逐渐显现。为了加快推进铁合金行业的结构调整, 2004 年以来国家出台了一系列铁合金行业的产业政策和调控措施。

国家特别鼓励企业技术装备向大型化、封闭化、自动化的方向发展。鼓励企业建设 25MVA 及

收稿日期: 2018-07-25; 改回日期: 2018-08-17

作者简介: 邓波 (1977-), 男, 博士, 高级工程师。研究方向为多能互补、工业余热利用。

以上大型铁合金电炉项目，以增加产能10万t以上大型企业户数，提高产业集中度。通过发展循环经济，节能减排降耗，搞好环境保护来提高行业和企业综合竞争力，实现产业升级。

2007年至2010年，国家发改委先后分批公布了《2011年铁合金行业淘汰落后生产能力企业名单》，共淘汰落后产能581.02万t。2011年7月12日，工业和信息化部公布了《2011年工业行业淘汰落后产能企业名单》，要求列入名单的落后产能在2011年底前被淘汰，其中，铁合金需淘汰落后产能211万t，涉171家企业。2014年7月8日《2014年工业行业淘汰落后和过剩产能企业名单（第一批）》要求列入名单的落后产能在2014年9月底前关停，其中，铁合金需淘汰落后产能254.65万t，涉164家企业。

1.2 能耗现状

铁合金的生产是一个高耗能（电力）行业，因此铁合金的生产受到能源电力供应成本的影响。随着世界范围内能源的消耗和短缺，电力成本对铁合金行业的影响将愈来愈大。

以硅铁为例，硅铁生产成本中60%~75%为电力成本，充足、稳定的电力能源供应是硅铁生产的基本保障。因此，电价的调整将明显影响硅铁企业的经营成本，生产一吨硅铁所消耗的电能可在8400~9000 kWh，目前在宁夏地区电价为0.42~0.43元/kWh，以此计算每吨硅铁所需电力成本为3740元。

硅铁冶炼能源的输入与输出：

输入：在硅铁冶炼过程中，输入电炉能量的45%为电能，其余的大部分能量来自于冶炼化学反应。

输出：硅铁冶炼输入的能源，在冶炼中大部分传递到烟气以及熔融的成品（硅铁合金）中，其中烟气所携带的显热可以利用。

硅铁电炉烟气中的大量热能 - 约相当于总输入能量的50%左右，目前的利用率相当低，大部分被烟气带走排入大气。

2 市场分析及发展前景

2.1 行业市场

近年来硅铁行业依旧深陷价格战的泥潭。在市场预期不佳，产能却持续增长的背景下，如何从企业本身做出结构性的产业转型，提升企业的盈利水平是当务之急。2014年青海地区多数铁合金企业完成余热发电、烟气粉尘回收等多项技术改造。

当前，中国硅铁行业依旧面临产能过剩、产品结构、环保压力增大等诸多难题，唯有深层次的变革才能赢得生存发展空间。同时，随着一带一路战略的持续推进，在基建大量需求钢材的大背景下，硅铁等原材料需求将得到进一步提升，相信在未来硅铁行业必将迎来一个产业春天。但基于目前的市场行情，硅铁企业必须优化自身的产业结构，提高自身生产效率，例如广泛推进余热发电项目、发展产业链模式完善循环经济、大力推进中小企业的兼并重组等，只有降低企业自身生产成本才能迎来市场新的契机。

新疆某镁业有限公司规划建设年产150万t铁合金生产线，共需建设54台33000 kVA半封闭矿热炉，建设完成后，预计余热发电的装机容量可达120 MW；宁夏某镁业有限公司规划建设年产40万t硅铁合金生产线，建设完成后，预计余热发电的装机容量可达50 MW。

2.2 行业前景

- 1) 淘汰落后产能、兼并重组。
- 2) 降低能耗提升企业经济效益。

2.3 发展前景

2.3.1 政策鼓励

1) 《铁合金行业准入条件》(2015年修订)中规定铁合金生产企业能源消耗必须满足《铁合金单位产品能源消耗限额》(GB21341)、《工业硅单位产品能源消耗限额》(GB31338)要求。

2) 《2017年工业结构调整指导目录》鼓励铁合金新工艺、新技术开发应用。

3) 《中华人民共和国节约能源法》第24条规定电力、钢铁、有色金属、石油化工、煤炭等主要

耗能行业的节能技术政策,推动企业节能技术改造。

4) 十三五规划纲要提出要重点建设生态文明,预计将每年投资 2 万亿元左右使资源更高效利用,环境质量有所改善。并要求到 2020 年单位 GDP 碳排放要比 2005 年下降 40%~45% 的国际承诺低碳目标,同时要在大气污染防治等环境指标方面取得明显成效。

5) 财政部、国家发改委联合下发《节能技术改造财政奖励资金管理暂行办法》规定余热余压利用项目可以作为节能技术改造项目的财政奖励,标准为中西部地区每节约 1t 标准煤奖励 250 元。

2.3.2 企业降低成本增强竞争力的必须途径

硅铁余热发电项目节能显著,系统运行正常的情况下余热发电量可到达电炉耗电量的 10% 左右,降低了企业生产成本,也是企业可持续发展的必由之路,同时也增加了产品的竞争力。

2.3.3 环保需求

硅铁矿热炉烟气余热发电技术具有粉尘减排、废热利用、相对于燃煤电站减少各种排放等优点。根据上述条件及目前国家对污染的治理,特别是频繁出台的污染治理政策,硅铁矿热炉烟气余热发电技术必将全面推广和发展。

3 技术介绍

3.1 技术简介

硅铁余热发电技术将原本通过空冷器排放到空气中的烟气余热,通过余热锅炉回收后进行发电,既回收热能,减少环境污染,同时能促进矿热炉更加稳定运行。

硅铁合金生产采用的是耗电量巨大的矿热炉冶炼,冶炼产生的烟气携带了大量的热量,采用余热锅炉回收该部分热量进行发电,可为硅铁冶炼大幅度节能。硅铁余热发电技术解决了烟气含尘量大容易粘附在管壁上影响锅炉性能这个关键问题,技术较为成熟。

与硅铁合金生产类似的还有铬铁合金、硅锰合金、电石、工业硅等,它们都采用耗电量大的矿热炉进行冶炼,同时排放的烟气量大、携带的热能多,烟尘具有很高的粘附性等,硅铁余热发电技术也适用于这些领域的余热回收。

表 1 硅铁烟气余热发电系统适用的矿热炉炉型

Table 1 Submerged arc furnace type suitable for FeSi gas waste heat power generation system

类别	制成品	主要原料	烟气温度
硅铁炉	硅铁合金	硅铁、废铁、焦炭	350 ~ 500 °C
铬铁炉	硅铬合金	铬铁、硅石、焦炭	约 300 °C
硅锰炉	硅锰合金	锰矿石、硅石、废铁、焦炭	210 ~ 320 °C
电石炉	电石	石灰石、兰炭	600 ~ 800 °C

3.2 技术难点

硅铁烟气余热发电的核心设备是余热锅炉,余热锅炉的难点在于:硅铁电炉烟气中的 SiO₂ 极细,其微小的颗粒被称为硅微粉。硅微粉的平均粒径为 200 ~ 400 nm,粉尘壁表面积 20 m²/g (极易产生静电、极易吸附而且隔热性能非常好),其烟气中硅微粉尘含量在灰 5 ~ 7 g/Nm³ (浓度较高),粉尘堆积密度: 0.18 t/m³ (特轻);其具有极强的粘附力,和非常高的阻热、隔热力。如果硅微粉清理不净,锅炉很难正常运行。

表 2 主要的硅铁余热锅炉形式对比

Table 2 Main form comparison of FeSi waste heat boiler

锅炉形式	清灰技术	锅炉性能	实际案例
卧式机械擦刷式余热锅炉	机械擦刷清灰	清灰最为彻底, 25 MVA 矿热炉对应的产汽量在 12 t/h 左右, 锅炉采用强制循环, 冬季易受冻, 锅炉维护较为复杂。	2009 年开始在青海某项目试验开发硅铁余热锅炉获得成功, 至今生产量超过 40 台
立式钢珠清灰余热锅炉	钢珠清灰	锅炉体积大, 受热面面积大, 25 MVA 矿热炉对应的产汽量大 (15 t/h); 锅炉采用立式自然循环, 矿热炉停炉时不易积水结冻; 钢珠清灰的长期效果需要探究。	某铁合金厂 6 台锅炉等项目
立式乙炔爆燃 + 针形管自清灰余热锅炉	乙炔爆燃 + 针形管自清灰	锅炉结构紧凑, 体积小, 案例较少, 清灰效果有待进一步考证, 25 MVA 矿热炉对应的产汽量 11 t/h 左右。	目前运行案例超过 10 台

3.3 主要清灰方式优缺点

3.3.1 机械刷式清灰

结构简单, 清洁效果好, 采用机械刷直接清扫, 对于清洁矿热炉内吸附性强且颗粒细的粉尘积灰具有良好的效果。但存在如下缺点:

1) 清灰存在死点, 钢刷清灰主要能清洁到与钢丝球直接接触面;

2) 因卧式锅炉模块式组装, 每一个模块下面需安装一个灰斗, 漏风偏大;

3) 机械故障率偏高, 更换钢刷较频繁, 设备的磨损和维护工作量较大;

4) 余热锅炉只能卧式布置, 占用场地较大。

3.3.2 抛丸方式(钢珠)除灰

炉顶布置有一钢珠播撒装置, 炉底灰斗下方设置钢珠分离收集装置。在钢珠播撒装置和钢珠分离收集装置之间设置循环式钢珠机械输运装置。除灰效果不错, 缺点是造价高, 整个装置耗钢量大。

3.3.3 燃气脉冲(激波)除灰

采用乙炔、天然气或液化气和空气混合, 经高频点火, 生成高温、高压的爆燃气体。通过瞬间释放, 以冲击动能、热能和声能的形式冲入炉内, 作用在锅炉受热面使积灰脱落。此种清灰方式效果良好, 无操作运动部件, 主要缺点是需要消耗燃料, 增加运行费用。

3.4 三种形式适应性和发展方向分析

根据以上分析, 笔者认为三种系统形式都有各自的优缺点和应用市场需求, 具体分析见表3。

表3 三种形式适应性和发展方向

Table 3 Adaptability and development direction of three systems

形式	主要问题	建议解决方案	发展方向
卧式机械擦刷式余热锅炉	1. 设备的磨损较大造成机械故障率偏高。 2. 漏风偏大。	1. 用耐磨材料替换钢刷、受热管等磨损部件。 2. 提升装配工艺和设计水平, 降低漏风率和故障率。	综合适应性较强, 目前为主流发展方向。
立式钢珠清灰余热锅炉	1. 整个装置耗钢量大造价高。 2. 工艺要求较高运动部件维修量较大。	1. 较适合场地较小改造项目。 2. 从耗钢量、材料及装配工艺等多方面降低初投资。	发展前景有局限性。
立式乙炔爆燃自清灰余热锅炉	1. 需要消耗燃料, 增加运行费用。 2. 空气与乙炔混合比需正确, 运行要求相对较高。	1. 较适合场地较小改造项目。 2. 提升操作人员运行管理水平和设备智能化水平。	是另外一种有较大发展前景的系统形式。

3.5 主要技术指标

1) 硅铁炉烟气温度: 300~700℃

2) 余热电站主汽参数: 1.25 MPa、350℃

3) 余热锅炉效率: 约50%

4) 吨硅铁耗电量: 8300~9000 KW (75 硅)

5) 吨硅铁发电量: 800~900 KW (75 硅)

6) 单位千瓦投资: 7000 元(国产技术)

7) 发电成本: 约0.15 元(其中折旧费占37%~39%, 运行费占25%~28%, 其他费用占18%~22%)。

8) 厂用电率: 约7%

4 案例分析

4.1 典型用户及投资收益

笔者参与建设的新疆某2×25500 kVA 矿热炉余热发电项目简介

本项目拟利用新疆某公司2×25500 kVA 矿热炉冶炼烟气余热进行余发电, 系统配置两台15 t/h 余热锅炉(机械擦拭式), 装机功率6 MW。项目建成后, 所生产的电能供给新疆某公司生产自用, 减少企业外购电量、降低企业生产成本, 达到节能、环保的效果。

项目建成后年发电量为44.7×10⁶ kW·h (年利用小时数按7450 h计), 年供电量为41.67×10⁶ kW·h (厂自用电按6.76%计), 年回收利用的硅铁冶炼电炉废气余热发电总供电量折合标准煤约1.36万吨, 减少热污染排放1.5×10⁸ MJ/a。

项目总投资额约为4396.61万元(约合7327元/kW), 项目年销售收入1875.39万元; 年均总成本费用670.93万元; 年均净利润883.62万元; 所得税后投资回收期(不含建设期)4.56年; 所得税后内部收益率26.27%。本项目的绝对工期为10个月。

4.2 三个运行项目数据比较

表 4 三个运行项目数据比较
Table 4 Data comparison between three running projects

大项	子项	宁夏某公司 1	宁夏某公司 2	青海某公司
硅铁炉	设计炉号 (KVA)	1*25500、2*12500	1*21500	16*12500,3*33000
	运行炉号 (KVA)	1*25500	1*21500	16*12500
	硅铁生产牌号	93#	72#	75#
发电功率	装机容量 (MW)	1*4.5	1*2.3	2*12,1*3
	实际容量 (MW)	1*1	1*2	2*8
锅炉烟气 入口管路	管径材质	D2500*8/Q235	D1800*6/Q235	D1200*5/Q235
	硅铁炉至锅炉入口的距离 (m)	160	40	60
	保温方式	内保温	内保温	内保温
	型式	卧式	立式	卧式
	单台锅炉本体占地 (m*m)	30*5	3*6	24*4.5
	换热管	光管	销钉管	光管
	清灰方式	机械擦刷式	激波	机械擦刷式
	清灰时间间隔	半小时 (可调)	4 小时 (可调)	15 分钟 (可调)
	设计压力、温度	1.6 MPa (G) 340 ℃ 蒸 发量 12 t/h	1.2 MPa (G) , 320 ℃ 蒸发 量 10 t/h	1.6 MPa (G) , 340 ℃ 单台蒸发量 6t/h
	及流量	1.1MPa (G) , 342 ℃ 蒸 发量 5 t/h	1.0 MPa (G) , 360 ℃	1.2 MPa (G) , 340 ℃
	实际产气压力、温度及流量		蒸发量 9 t/h	蒸发量 6t/h
	设计压力	1.5 MPa(A), 340 ℃	1 MPa(A), 320 ℃	1.27 MPa(A), 350 ℃
汽轮机	实际运行压力	0.96 MPa(A), 330 ℃	0.85 MPa(A), 375 ℃	0.98 MPa(A), 340 ℃
集控系统	主要功能 (监测与控制)	烟气、锅炉、汽机、电 控	烟气、锅炉、汽机、电 控	烟气、锅炉、汽机、电 控
	总人数	27 人	13 人	61 人
	人员配置	经理、副经理 4 班 3 倒, 车间主任 3 班 3 倒, 每班 每班 5 人 机修五人	3 人, 3 个专工	厂长, 副厂长 检修 10 人其余运行人员 (三班 制)
运行人员		值班: 司机、司炉、电 气、化水检修: 焊工、 机械工、电气检修、热 工检修	值班: 机械、锅炉、汽机、 电气专工: 热机、热工、 电气	分机械、锅炉、汽机、 电气等专业

由上述分析可以总结出:

(1) 设计要合理, 特别是硅铁炉到锅炉烟气管道; 一要内保温, 二要距离尽量短 (靠近硅铁炉布置, 卧式锅炉要架高)。烟道过长会使烟气的压力损失和温度损失偏大, 造成项目实际运行参数低于设计额定参数。

(2) 各管路包括锅炉的保温及密封要做好, 防止散热、漏风及冰冻。对余热锅炉的监造把关不严容易导致锅炉密封、保温以及旁路的密封没有做到完美, 漏风率、散热率偏大。

(3) 锅炉清灰方式要合理, 目前三种清灰方式, 机械擦拭式、激波清灰方式及抛丸方式, 建议选用机械擦拭式。

(4) 汽机房到锅炉距离要短, 以减少主蒸气压力与温降。

(5) 硅铁生产与锅炉发电系统要紧密配合。

业主方擅自对矿热炉进行改造, 导致矿热炉炉况不稳, 容易影响锅炉的产汽量。

(6) 有项目案例余热锅炉的排气温度达到 200 ℃, 实际上可以降到 160 ℃, 烟气余热没有利用充分。

(7) 矿热炉的加料、捣炉、出料等操作对余热发电效率影响很大, 提高矿热炉生产与余热发电生产的配合程度能有效提高发电功率。硅铁生产企业自身投资建设的余热发电系统和矿热炉生产配合较为紧密, 由投资方建设的余热发电项目中矿热炉生产和余热发电系统存在配合不到位现象。

(8) 余热发电并网手续办理要重视及前瞻。

5 风险点

5.1 政策风险

硅铁行业属于产能过剩行业, 目前国家正在

对硅铁行业进行整合,淘汰落后小产能,上大并小。

5.2 经营风险

业主方由于市场原因改造原有矿热炉,使之生产其他硅合金产品,导致烟气温度降低或系统稳定性降低,影响余热发电系统的正常运行;由于硅铁产品市场不好矿热炉开工率不足导致余热发电系统停止发电。

5.3 技术风险

目前有案例的三种余热锅炉都存在很大的风险因素,比如使用量最多的卧式机械擦刷式清灰余热锅炉,就存在清灰机构机械故障、冬季停炉时很难防冻、冬季锅炉维护较为困难、受热管长时间被钢刷摩擦变薄等隐患。

5.4 运营风险

矿热炉的开启和停炉对余热发电系统的正常运行至关重要,业主方在停炉前应该及时告知余热发电运行人员,使之做好相应准备,否则可能导致机组不正常停机,影响机组安全。

6 项目评价标准

1) 硅铁产量达到一定规模 ≥ 4 万t/a,此时余热发电装机容量 ≥ 3 MW,一千瓦造价相对合理;

2) 业主方信用状况优良,同时硅铁产品上下游通畅,不会出现长期停炉现象;

3) 当地电价水平较高(大于0.4元/kWh),投资收益率 $> 20\%$;

4) 尽职调查达标;

5) 业主方利用余热发电的意向较为强烈。

参考文献:

- [1] 李锋,付林,赵玺灵,等.天然气锅炉房烟气余热深度回收工程案例[J].煤气与热力,2015,35(11):1-6.
- [2] 邓健玲,黄圣伟,徐钢.电站锅炉高效烟气余热回收系统[J].华东电力,2013,41(1):200-204.
- [3] Srinivas Garimella. Low-grade waste heat recovery for simultaneous chilled and hot water generation[J]. Applied Thermal Engineering, 2012(42):191-198.
- [4] 赵俊学,侯苏波,张德志,等.矿热炉烟气1x6MW余热发电工艺与设备选型[J].铁合金,2014(5):51-54.
- [5] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.国家发展改

革委、国家能源局关于印发能源发展“十三五”规划的通知[EB/OL][2017-08-12].http://www.nea.gov.cn/2017-01/17/c_135989417.htm.

[6] 王文涛,刘燕华.分布式结构——中国可持续发展的能源出路[J].经济纵横,2014(5):21-24.

[7] Crane D T, Jackson G S. Optimization of cross flow heat exchangers for the moelectric waste heat recovery[J]. Energy Conversion and Management, 2004,45(9):1565-1582.

[8] 郭馨,张生龙,孙积文,等.硅铁冶炼炉的烟尘特性及余热回收利用[J].应用能源技术,2014(5):30-34.

[9] 姚明宇,聂剑平,张立欣,等.燃煤电站锅炉烟气污染物一体化协同治理技术[J].热力发电,2016,45(3):8-12.

[10] 惠兆森,惠超,庞艳辉,等.硅铁矿热炉余热发电系统的优化设计[J].铁合金,2013(6):37-41.

[11] 王帅.硅钙合金矿热炉烟气余热分析与利用研究[D].西安:西安建筑科技大学,2016.

[12] A.Schuster, S.Karellas, E.Kakaras, et al. Energetic and economic investigation of the Organic rankine Cycle applications. Applied Thermal Engineering[J]. 2009,29:1809-1817.

[13] Vatanakul M, Cruz E, McKenna K, et al. Waste Heat Utilization to Increase Energy Efficiency in the Metals Industry[J]. Energy Technology 2011: Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gas Reduction Metallurgy and Waste Heat Recovery, 2011:1-16.

[14] 郑莆燕,王乔良,朱群志,等.电站锅炉烟气余热利用方案优化[J].热力发电,2017,46(7):5-11.

[15] 崔占忠,龙辉,龙正伟,等.低温高效烟气处理技术特点及其在中国的应用前景[J].动力工程学报,2012,32(2):152-158.

[16] Espatolero S, Cortes C, Romeo L M. Optimization of boiler cold-end and integration with the steam cycle in supercritical units[J]. Applied Energy, 2010, 87: 1651-1660.

[17] 赵之军,冯伟忠,张玲,等.电站锅炉排烟余热回收的理论分析与工程实践[J].动力工程,2009,29(11):994-997.

[18] Wang C, He B, Sun S, et al. Application of a low pressure economizer for waste heat recovery from the exhaust flue gas in a 600 MW power plant[J]. Energy, 2012, 48(1): 196-202.

[19] 解海龙,张帅.锅炉飞灰含碳量监测的必要性及其技术的发展[J].科学技术与工程,2016,16(7):115-121.

[20] 罗显雨,何屏,成华.冶炼焙烧炉系统余热锅炉除灰技术改造[J].科学技术与工程,2011,11(6):1335-1338.

(下转 59 页)

- [2] Tao D, Li B, Johnson S, et al. A flotation study of refuse pond coal slurry[J]. *Fuel Processing Technology*, 2002, 76 (3): 201-210.
- [3] 陈振江, 穆文俊, 等. 柴油乳化液的制备及其稳定性的研究[J]. *节能技术*, 1998.
- [4] 符东旭, 朱书全, 贺兰鸿, 等. ZFC 乳化油对东庞煤泥浮选效果的研究[J]. *选煤技术*, 2010-10: 9-11.
- [5] 李琳, 崔文广, 等. 超声微乳捕收剂的制备及煤泥浮选性能研究[J]. *洁净煤技术*, 2016(7).
- [6] 李干佐, 郭荣. 微乳液理论及其应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 58.
- [7] Cemenska, Richard A, Coleman, et al. Fuel Emulsion Blending System[P]. US 1999, 2.5873916.
- [8] 陈良. 柴油乳化剂及制得的乳化柴油和制造乳化柴油的工艺[P]. 1999, 49.
- [9] 曲剑午. 乳化煤油捕收剂的浮选效果. *选煤技术* [J]. 2002 (4): 1-2.
- [10] 张峰, 王怀法. 柴油微乳化及其在煤泥浮选中的应用[J]. *矿业研究与开发*, 2018, 25(10).
- [11] 张峰, 亓欣, 吕发奎. 柴油乳化与微乳化及其在煤泥浮选中的应用[J]. *选煤技术*, 2017, 12(6): 18-22.
- [12] 阮继政, 冯莉, 等. 影响超声乳化柴油捕收剂稳定性的试验研究[J]. *煤炭科学技术*, 2011 (2).
- [13] 白亚娜, 朱书全, 等. 乳化柴油捕收剂的浮选试验研究[J]. 2009(1).

Research and Application of Stability of Emulsifying Collector

Zhang Feng, Wang Huaifa

(Taiyuan University of Technology, College of Mining Engineering, Taiyuan, Shanxi, China)

Abstract: Based on the above tests, the influence of emulsifier HLB, stirring speed, stirring time and temperature on the stability of emulsified collector was explored through single factor tests. The results showed that the stability of the emulsion was the best when the emulsifier content was 2% (mass fraction), the stirring speed was 800r/min, the stirring time was 12min, and the temperature was 25 C. Under the microcosmic condition, the oil droplets dispersed in the emulsion were more uniform, but the oil droplets wrapped in the water were unstable, and the emulsion particles easily merged, forming larger drops. When the yield of clean coal is the same, the amount of emulsified diesel oil is 66.7% of that of diesel oil. When the separation indexes of emulsified diesel oil and ordinary diesel oil are similar, the amount of emulsified diesel oil is less, which also shows that the promotion of emulsified diesel oil droplets on flotation is better than that of small droplets on gangue collection.

Keywords: Emulsification; Collector; Flotation; Stability

////////////////////////////////////
(上接 23 页)

Technology Research and Case Analysis of Ferrosilicon Furnace Gas Cogeneration

Deng Bo

(Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing, China)

Abstract: This paper introduces the development and application of the FeSi furnace gas cogeneration system. The gas cogeneration system of the FeSi furnace has been developed rapidly in our country in recent ten years, with the improvement of equipment localization and the integration of human resources, each general contractor has different technical measures and methods in this cogeneration system construction and operation Management. Through comparison and analysis of multi case data, summing up the problems needing attention in equipment, safety, economical efficiency and technology management are helpful to the stable and rapid development of this cogeneration system. This paper can provide some reference for other similar projects in the future.

Keywords: Ferrosilicon furnace; The gas cogeneration system; Technical indicators; Income from investment; Evaluation criterion