

综述与专论

煤气发生炉气化技术的发展分析

苑卫军,马宁,孟宪辉,韩明汝

(唐山科源环保技术装备有限公司,河北 唐山 063020)

摘要:从制造业燃料煤气需求规模、企业投资强度、煤气化技术多元化要求,以及中国煤气发生炉气化技术的国际地位和国际市场需求的视角,阐述了煤气发生炉气化技术应该继续存在和发展的理由。同时就该气化技术目前存在的一些环境和安全问题,以及在系统自动化程度和大规模供气方面存在的不足进行了系统分析,并提出了解决问题和克服不足的技术措施及建议,从而指出了常压固定床煤气发生炉技术的发展方向。

关键词:煤气化技术;煤气发生炉气化技术;发展理由;发展方向;环保;安全;自动化程度;大规模供气

中图分类号:TQ54

文献标识码:B

文章编号:1006-8759(2017)01-0004-05

AN ANALYSIS ON GASIFICATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF COAL GASIFIER

YUAN Wei-jun, MA Ning, MENG Xian-hui, HAN Ming-ru

(Tangshan Keyuan Environmental Protection Technology & Equipment Co., Ltd.

Tangshan 063020, China)

Abstract: This paper briefly explains the reasons to the continue existing and development of coal gasifier gasification technology from the perspective of fuel gas demand in processing industry, the scale of enterprise investment, diversified coal gasification technology as well as the international status and marketing demands of Chinese coal gasifier gasification technology. Also makes a system analysis on the environmental and safety problems of present gasification technology and some deficiencies on system automation and large scale of gas supply, as well as raises some technical measures and suggestions to settle the problems and overcome shortages, then points out the development direction of atmospheric fixed bed gas generator technology.

Key words: coal gasification technology; gasification technology of coal gasifier; reasons of development; environmental protection; safety; automation degree; large scale of gas supply

中国的煤炭储煤量占其化石能源储量的 92.94%,石油和天然气储量相对匮乏,2010 年中国原煤、原油、天然气和可再生能源的消费比例分别为 71.9%、20.0%、4.6%和 3.5%,煤炭在中国能源结构中占有举足轻重的地位,到本世纪中叶,

预计煤炭在中国能源消费中的比重仍然需要保持在 50%左右。煤炭作为消费能源的应用过程中,污染物的排放控制尤为重要,煤炭气化技术属于洁净煤技术范畴,可以有效减少污染物的排放。《中国能源统计年鉴》(2012)数据显示,2011 年中国的煤炭消耗中,除电力耗煤占到了 50%以外,制造业作为燃料等应用的煤炭也接近了 23%,大力发展为 IGCC 发电系统配套的煤气化技术,同时着力发展适合制造业用气规模的煤气化技术,

收稿日期:2016-04-11

第一作者简介:苑卫军(1968-),男,河北省霸州市,高级工程师,工程硕士,本科毕业于河北理工大学,从事工作内容:煤气化行业,研究方向:煤气化工艺及设备。

是解决能源多元化应用和治理环境污染的有效途径。

在众多煤气化技术中,作为工业企业燃料气供气单元的常压固定床气化技术的代表炉型煤气发生炉,在诸多燃耗企业应用极为广泛,但由于诸多因素的影响,使其应用日益受到制约和限制,有些专家甚至认为常压固定床气化技术属于濒于淘汰的落后技术。本文仅就该气化技术存在与发展的理由和目前存在的问题进行分析,并对其未来发展方向进行阐述和分析,旨在判断该气化技术是否应该存在和发展,如何才能健康的发展。

1 煤气发生炉气化技术的发展理由

1.1 制造业燃料用气需求规模的要求

制造业燃气应用较为广泛的诸如建材、化工、冶金、机械等行业,其用气规模折合热量需求一般在 $10 \times 10^3 \sim 30 \times 10^4 \text{ MJ/h}$,折合成耗煤量约为 16~380

t/d,而多数企业耗煤量集中在 100~200 t/d。煤气发生炉规格较多,其单炉煤炭处理量小到 10 t/d、大到 70~80 t/d,可以多台套组合构成单独的供气单元。如表 1 所示,其他流化床或气流床气化炉每天单炉投煤量一般都在几百吨甚至上千吨,不符合制造业燃料用气规模的要求。

1.2 加工制造企业投资强度的要求

就设备投资而言,以日处理煤炭 300~400 吨左右的同等规模煤气站为例,国产粉煤气化或加压固定床气化设备投资,通常是常压固定床气化设备投资的几倍,一般设备投资都以亿元为单位计算,以这样的设备投资强度建设煤气站,对于一般加工制造企业而言很难承受,表 1 所列的气化技术通常用于 IGCC 联合发电或合成氨、合成甲醇等大型煤化工行业。每小时生产 100GJ 热量的煤气,发生炉煤气站设备投资约为 500~550 万元,适合一般加工制造企业的投资规模要求。

表 1 国内正在开发的煤气化炉及单炉投煤量

气化炉	原料	单炉投煤量(t/d)	开发单位
灰熔聚流化床	粉煤	300	山西煤化所
航天炉气流床	粉煤	500	航天科技集团
两段式气流床	粉煤	2000/1000	西安热工研究院
多元料浆气流床	水煤浆	500	西北化工研究院
非熔渣-熔渣分级气流床	水煤浆	700	清华大学
四喷嘴气流床	水煤浆	1150	华东理工大学

1.3 块煤与粉煤气化技术共存的要求

煤炭气化技术种类很多,就应用原料的粒度状态而言,一般包括粉煤利用气化技术(如粉煤气化技术、水煤浆气化技术和多元料浆气化技术等)和块煤利用气化技术(如加压固定床气化技术和常压固定床气化技术等)。煤气发生炉气化技术属于常压固定床气化技术范畴,需要以一定粒度的块煤作为气化原料。就煤炭供应结构而言,各煤矿由于采用机械化和深度开采技术等原因,煤矿粉煤产量较大,粉煤价格长期低于块煤价格,历史数据显示,当块煤价格达到 1 000 元/t 左右时,其与粉煤的差价约为 200~300 元/t 左右。这主要是由于目前粉煤的用量与其产量不匹配造成的,基于维持粉煤和块煤供需平衡的考虑,就煤炭气化技术的发展而言,保持煤炭气化技术多元化发展,即在大力发展粉煤气化技术的同时,将块煤气化技术的发展维持在一定水平,是非常有必要的。

1.4 中国煤气发生炉气化技术的国际地位及国际

市场的要求

中国自上世纪 50 年代开始,在美国 WG 型和前苏联 П 型炉型基础上研究开发一段式煤气发生炉,上世纪 80 年代又开始从英国、美国、法国和意大利等国家引进两段式煤气发生炉技术进行消化吸收。中国对煤气发生炉技术及装备的开发、研制和应用延续了 60 多年,形成了一套完整的设计、制造和应用体系。上世纪 60 年代,随着廉价石油和天然气的开采,一些拥有煤气发生炉先进技术的国家相继放弃此技术的研发,1972 年石油危机时,美国等国家也曾重新开发出 FW-Stoic 两段式煤气发生炉炉型,但随着危机的缓解又重新放弃。而中国在欧美国家两段式煤气发生炉基础上一直不断的完善和创新,截至目前中国拥有世界上最完善的常压固定床气化技术,而且是中国为数不多的不涉及国际知识产权纠纷的煤气化技术。2000 年左右,随着国际石油及天然气价格的不断飙升,世界各国能源压力日趋增大,越南、泰国、印

尼、马来西亚、印度、乌克兰,以及澳大利亚、日本、韩国等国家,都来中国寻求煤气发生炉气化技术及设备。中国煤气发生炉气化技术的国际地位和国际市场的需求,需要我们进一步对该技术进行开发和完善。

2 目前煤气发生炉气化技术存在的问题及发展方向

2.1 环境问题

2.1.1 含酚废水问题

含酚废水一直是困扰发生炉气化技术发展的环保难题,许多专家们经过了长期的研究与探讨,对蒸汽化学脱酚法、蒸汽脱酚法、焚烧法、溶剂萃取脱酚法、树脂脱酚法、磺化煤吸附法、生化法等十几种酚水治理方法,都曾进行了相当时间的应用实验,但最后均以失败而告终。近年来发生炉煤气站酚水治理也尝试了许多新的技术方法,取得了一定的效果。许多陶瓷厂采用文献^[1]介绍的技术,应用煤气站的酚水和粉煤制成水煤浆作为喷雾干燥塔燃料,该技术处理煤气站含酚废水较为彻底,但由于酚水水煤浆的气味等问题,只能就地制浆就近应用,限制了该技术的广泛推广。文献^[2]介绍的利用两段式煤气发生炉下段煤气显热,将含酚废水汽化后作为发生炉气化剂的酚水处理技术,在许多煤气站也多有应用,但由于两段式煤气发生炉上下段煤气比例调节的要求,下段煤气的显热往往不足以将煤气站所产酚水全部处理,一般只能处理酚水总量的50~80%。文献^[3,4]介绍的含酚废水处理技术利用煤气发生炉所有煤气的显热,将含酚废水汽化后作为发生炉气化剂应用,可以将煤气站低沸点含酚废水全部处理,但高沸点的含酚废水残液无法在煤气站内彻底处理。

利用文献^[3]介绍的蒸发浓缩法治理含酚废水的主体思路,结合煤气站系统相关设备的自身特点,进一步开发完善设备和处理工艺,完全可以做到含酚废水的彻底处理。山东莱芜某焦油深加工企业采用干馏式煤气发生炉冷煤气工艺,利用KM5Q干馏式煤气发生炉的气化及结构特点,结合文献^[3,4]介绍的蒸发浓缩法治理含酚废水的工艺方法,不仅完全处理了煤气站自身所有的含酚废水,另外对企业焦油加工过程中产生的部分焦化废水进行了有效处理,实际运行数据显示,当煤气

站煤气产量为6 000~7 000 Nm³/h时,煤气站可额外处理焦化废水15 t/d左右。

2.1.2 焦油问题

目前发生炉煤气站副产焦油存在的主要问题是煤粉含量高、水分含量大,特别是焦油中的水分一般为20~30%左右,许多煤气站在出售焦油前,为了降低焦油含水率,利用蒸汽对池中的含水焦油进行加热蒸发,致使煤气站空气环境严重污染。提高炉出煤气温度至焦油冷凝温度以上,在煤气发生炉出口处设置除尘器,将煤气中的煤粉捕除后,再对煤气进行降温和除焦油处理,可以有效降低焦油中的煤粉含量。由于发生炉副产焦油的密度与水接近,采用重力分离技术很难进行油水分,可考虑设置专门的油水蒸发分离器,利用蒸汽对油水混合物进行加热蒸发分离,蒸发出的蒸汽输送至发生炉炉底作为气化剂应用,如此可以将油水分和酚水处理过程进行有效的结合。

2.1.3 恶臭气味问题

恶臭污染是一种严重的感觉公害,发生炉煤气站的恶臭污染物主要是挥发性的烃、烯、芳香烃类和苯、酚类等物质,目前绝大多数发生炉煤气站对此没有设置有效处理设施,对周边环境形成了严重的污染。

文献^[5]介绍了焦化行业常用的几种恶臭气味的治理方法,如洗涤法、过滤法、吸附法、焚烧法和氮封法等。韩国浦项制铁某厂的发生炉煤气站,采用对恶臭污染气体集中收集后,输送至炉底与气化剂混合,在煤气发生炉内进行焚烧处理的工艺方法,处理效果较为明显。结合发生炉气化工艺的自身特点,借鉴焦化等相关行业的处理技术,煤气站恶臭可以得到有效控制。

2.1.4 CO₂的减排问题

文献^[6]综合考虑煤气燃烧CO₂排放,以及煤气生产、净化、输配过程和辅助燃烧系统耗电等产生的间接CO₂排放,对常用工业燃料煤气应用过程中的CO₂排放量列表对比(表2),指出发生炉煤气应用过程中CO₂强度相对较大。

表2 常用工业燃料煤气应用过程中CO₂排放量(GJ⁻¹煤气)^[6]

分类	液化石油气	天然气	焦炉煤气	转炉煤气	发生炉煤气	高炉煤气
CO ₂ 排放量/kg	63.89	56.68	50.29	203.31	115.08	233.27

文献^[7]介绍了一种以“富氧空气-CO₂烟气-水蒸气”为气化剂的煤气化技术,利用窑炉反应废气中部分烟气中的 CO₂ 参与煤气化过程中的还原反应,与煤中的碳反应生产 CO 可燃气体,指出该技术特别适合于石灰煅烧等 CO₂ 排放强度较大的行业。煤气发生炉利用该气化技术,既可以节约煤炭资源,又能够有效降低 CO₂ 的周期排放量。

2.2 安全问题

2.2.1 蒸汽发生系统的安全问题

煤气发生炉的蒸汽发生系统主要指水夹套以及与其相连的集汽包,该系统出现的爆炸事故通常比低压蒸汽锅炉爆炸事故还要严重,往往伴随着人员伤亡。目前许多煤气站蒸汽发生系统的安全防范意识不强,普遍存在水夹套用水不规范、集汽包加水无自动设施等问题,安全隐患极大。参照蒸汽锅炉的设计、制造和管理的相关规范,对煤气发生炉蒸汽发生系统进行严格监管,可以有效防止该系统安全事故的发生。

2.2.2 煤气系统的安全问题

煤气发生炉的煤气系统包括煤气发生系统和煤气净化加压系统,煤气系统的安全事故通常分为爆炸、燃烧和 CO 中毒,该系统安全事故的恶性程度通常小于蒸汽发生系统。国家对发生炉煤气站及其安全设计有着严格的标准和规范^[8,9],设备及工艺系统的规范性设计,对煤气系统的安全保障尤为重要。上世纪 80~90 年代,煤气站设备及工艺的设计任务全部由几大部属设计院完成,严格执行规范要求,有效减少了事故发生率,目前设备工艺的设计全部由设备供应企业完成,设计队伍素质的参差不齐导致煤气站安全系数较低。政府相关部门建立一套完善的项目设计审批验收制度

进行监控,可以有效控制系统安全事故的发生。

2.3 自动化程度问题

与其他同类设备对比,目前发生炉煤气站的自动化程度相对较低,致使煤气站占用人员较多,而且人为事故的发生频率也无形中增大,随着劳动力成本增加、环保和安全压力的增大,应用企业对煤气站自动化程度的要求日趋提高。目前煤气发生炉必须通过人工探火了解炉内料层情况,进而调整炉况的操作方式,限制了煤气站自动化程度的提升空间,这一直是制约发生炉煤气站实现全面自动化控制的瓶颈节点。开发煤气发生炉料层自动检测、调整系统,同时开发设计煤气站故障专家诊断系统^[10],在此基础上开发完善的 DCS 控制系统,可以有效提升发生炉煤气站的自动化程度。

2.4 较大规模供气问题

目前中国加工企业应用的发生炉煤气站,多以单个企业为单位进行建设,规模一般不大,但鉴于环保、安全及效益化管理方面的要求,多个临近企业或工业园区集中建站供气,是将来工业企业燃料煤气供气形式的发展方向。但目前煤气发生炉单炉生产能力较小,以内径 3.6 m 煤气发生炉为例,其正常最大产气量为 11 000 Nm³/h(煤气热值为 6 270~6 688 KJ/Nm³),折合热量供应约为 68.97~73.57 GJ/h,大规模供气煤气站需要十几台甚至二十几台以上发生炉并联供气,占地面积较大,而且不便于管理,为了适应大规模供气的要求,必须提高发生炉单炉产能。

提高发生炉单炉产能的问题,可以从两方面着手解决,第一,增大发生炉炉膛直径以提高煤气产量;第二,采取相应措施,提高煤气发生炉气化

表 3 常压固定床连续空气气化与富氧气化对比

气化剂	主要气化指标							
	气化剂氧含量%	煤气热值 KJ/Nm ³	气化强度 m ³ /(m ² ·h)	产气率 m ³ /Kg	CO+H ₂ %	比氧耗 m ³ /m ³ (CO+H ₂)	比煤耗 Kg/m ³ (CO+H ₂)	比蒸汽耗 Kg/m ³ (CO+H ₂)
空气-水蒸气	21.8	5208	1250	3.54	41.2	0	0.686	0.350
富氧-水蒸气	50	8122	2290	2.71	67.0	0.214	0.542	0.519

强度和煤气热值。发生炉的产气量一般与炉膛截面积成正比,炉膛直径的增大,对提高发生炉产能贡献有限,而且受到设备运输问题的限制,所以该方法只能作为提高单炉产能的辅助措施。文献^[11]介绍在煤气发生炉内以“富氧空气+水蒸气”替代

“空气+水蒸气”作为气化剂生产煤气,煤气中可燃成分(CO+H₂)的含量增加,煤气热值得以有效提高,同时加剧了煤的氧化反应程度,气化效率和气化强度也得到了提高。表 3 为在 Φ3 m 常压固定床煤气发生炉中对焦炭进行空气气化和富氧气化

的实验数据比较,可以看出以氧含量为50%的富氧空气替代空气作为气化剂,煤气热值提高了56%,气化强度提高了83%,综合考量富氧气化炉的单炉产能提高了139%,即利用富氧气化技术,富氧程度在50%时,一台炉的产能相当于原来的2.4台发生炉。综上所述,以富氧气化技术为基础,适当增大炉膛直径,是煤气发生炉适应大规模供气要求的发展方向。

3 结语

在中国常压固定床发生炉气化技术发展了几十年,就制造业燃料煤气需求规模、企业投资强度、煤气化技术多元化要求,以及中国煤气发生炉气化技术的国际地位和国际市场需求的角度而言,该气化技术都有其继续存在和发展的理由。但我们也必须正视常压固定床发生炉气化技术目前存在的一些环境和安全问题,以及在系统自动化程度和大规模供气方面存在的不足,在此基础上我们应该深入研究,解决问题、克服不足,如此常压固定床发生炉气化技术才能步入健康发展的轨道。

道。

参考文献

- [1] 苑卫军;李建胜;李金海,“粉煤-酚水”水煤浆治理煤气发生站含酚污水[J],节能与环保,2004,6:33-35
- [2] 苑卫军;郭健;陈玲,余热蒸发工艺治理煤气发生站含酚废水[J],节能与环保,2009,2:54-56
- [3] 苑卫军;李建胜,蒸发浓缩法治理两段炉煤气站含酚废水[J],工业安全与环保,2011,37(5)4-5,17
- [4] 唐山科源环保技术装备有限公司,发生炉煤气站含酚废水治理方法[P],中国:200810188306.9,2011年4月
- [5] 乔树峰;胡园桃;刘长青,炼焦生产过长恶臭污染与治理措施[J],能源环境保护,2006,19(6):44-46
- [6] 苑卫军;朱鹏程;李建胜,工业燃料煤气的应用与CO₂排放[J],资源节约与环保,2010,1:44-46
- [7] 苑卫军;李建胜;李金海,CRCD煤气化技术与石灰生产的节能减排[J],冶金能源,2009,28(3):39-41
- [8] GB50195-2010,发生炉煤气站设计规范[S]
- [9] GB6222-2005,工业企业煤气安全规程[S]
- [10] 苑卫军;徐东海,基于事故树分析的煤气站相关故障诊断[J],佛山陶瓷,2010,4:21-23
- [11] 苑卫军;石丽艳;陈红英,工业燃料煤气气化技术的探讨与分析[J],玻璃,2010,37(11):9-13

(上接第42页)

经水解酸化后的废水进入MBBR池。MBBR工艺原理是通过向反应器中投加一定数量的悬浮载体,提高反应器中的生物量及生物种类,从而提高反应器的处理效率。由于填料密度接近于水,所以在曝气的时候,与水呈完全混合状态,微生物生长的环境为气、液、固三相。载体在水中的碰撞和剪切作用,使空气气泡更加细小,增加了氧气的利用率。另外,每个载体内外均具有不同的生物种类,内部生长一些厌氧菌或兼氧菌,外部为好氧菌,这样每个载体都为一个小微型反应器,使硝化反应和反硝化反应同时存在,从而提高了处理效果。

MBBR出水进入沉淀池进行泥水分离,同时将污泥回流至前端生化系统。

3 工艺流程特点

该项目生产废水属高浓度有机废水,COD、BOD₅浓度较高,常规活性污泥法不能达到较好的处理效果,该工艺采用水解酸化处理工艺进行前期处理,将大分子有机物降解为小分子有机物,减轻了后续MBBR处理工艺的处理压力,达到较好

的处理效果;

4 治理工艺主要单元功能与设计参数

集水井

废水由厂区污水管道收集后首先排入集水井,有效容积60 m³。

气浮池

去除水中的SS和色度,有效容积200 m³。

水解酸化池

将大分子有机物降解为小分子有机物,减轻了后续MBBR处理工艺的处理压力,有效容积320 m³。

MBBR池

利用微生物进一步降解废水中的有机物,有效容积600 m³。

5 结论

该企业生产废水经过“水解酸化+MBBR”二级处理工艺治理后,出水水质可达到国家《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中二级标准,COD排放浓度为120 mg/L,BOD₅排放浓度为20 mg/L。