

煤矿五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置设计与应用

康建东^{1 2 3} 兰 波^{1 2 3} 邹维峰^{1 2}

(1. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室 重庆 400037; 2. 中国煤炭科工集团重庆研究院有限公司 重庆 400039;

3. 低品位能源利用技术及系统教育部重点实验室(重庆大学) 重庆 400044)

摘 要:为解决现有蓄热氧化装置存在的甲烷氧化率较低技术难题,设计了五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置,阐述了装置的工作原理。该装置在传统的蓄热、放热循环中增加了 1 个吹扫净化过程,大幅减少了装置中的乏风残留量,将甲烷氧化率提高至 98% 以上。介绍了氧化室、燃烧室、气流分配室及预热系统等部件的设计过程,以及装置的总装结构设计方案。该项技术将在重庆松藻打通一矿进行工业性示范,目前项目正处于建设阶段。该套工业性示范系统投入运行后,每年可生产过热蒸汽 6.48 万 t,减排 CO₂ 当量 10.7 万 t,具有良好的节能减排效益。

关键词: 煤矿乏风; 蓄热氧化; 瓦斯利用; 五床式

中图分类号: TD67

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2015)02-0136-04

Design and application on five-bed type thermal accumulation oxidized device of mine ventilation air methane

KANG Jian-dong^{1 2 3} LAN Bo^{1 2 3} ZOU Wei-feng^{1 2}

(1. National Key Lab of Gas Disaster Monitoring, Control and Emergency Technology, Chongqing 400037, China;

2. Chongqing Research Institute Company Limited, China Coal Technology and Engineering Group, Chongqing 400039, China;

3. MOE Key Lab of Low Rank Energy Utilization Technology and System (Chongqing University), Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to solve technical problem of low methane oxidization rate existed in the available thermal accumulation oxidized device, a five bed type structure mode of mine ventilation air methane thermal accumulation oxidized device was designed and the working principle of the device was stated. There was a blowing and purification process added in the traditional thermal accumulation and thermal releasing circulation of the device, the mine ventilation air methane residual volume in the device would be highly reduced and the methane oxidization rate would be improved over 98%. The paper introduced the design process of the oxidation chamber, combustion chamber, airflow distribution chamber, preheating system and other parts as well as the general structure design plan of the device. The technology would have an industrial demo in Chongqing Songzao Datong No.1 mine and the project is in a construction stage. After the completed industrial demo system put in operation, a superheated steam production would be 64 800 t annually, the emission reduction of CO₂ equivalent would 107 000 t and an excellent energy saving and emission reduction benefits would be obtained.

Key words: mine ventilation air methane; thermal accumulation oxidization; gas utilization; five bed type

0 引 言

煤矿乏风瓦斯的利用具有节约能源资源、减少环境污染、促进煤矿安全生产和调整能源结构“三重功效”。但是,乏风瓦斯由于浓度低、风量大以及

极不稳定等特点,长期以来只能排空^[1-5]。随着国家对能源与环境的日益重视,煤矿乏风瓦斯利用技术也取得长足发展。其中,以逆流式热氧化技术(TFRR)最具优势且工业化进程更为顺利。该领域的技术代表当属美国和德国相关公司,在国内尚

收稿日期: 2014-09-12; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.02.031

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05041-005)

作者简介: 康建东(1981—),男,山西太原人,副研究员,博士研究生。Tel: 18983204070 E-mail: kjdmky@sohu.com

引用格式: 康建东,兰 波,邹维峰.煤矿五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置设计与应用[J].煤炭科学技术,2015,43(2):136-139.

KANG Jian-dong, LAN Bo, ZOU Wei-feng. Design and application on five-bed type thermal accumulation oxidized device of mine ventilation air methane[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(2): 136-139.

处于发展的初级阶段^[6-10]。刘永启等^[11]基于小型乏风瓦斯蓄热氧化试验装置重点考察了氧化床的阻力特性与流动均匀性。萧琦等^[12]针对预混气体的预热过程,研究了非稳态流场中化学反应对预热温度的影响。邓浩鑫等^[13]在氧化装置单个流通通道从启动状态经周期性切换过渡到拟平衡温度场这一完整过程的数值模拟研究中,获得了气体流速、甲烷浓度对拟平衡温度场的影响。王鹏飞^[14]在其自行设计的低浓度瓦斯热逆流氧化装置试验研究中,得出甲烷浓度、壁面损失对氧化床温度分布以及乏风量、换向周期等对甲烷转化率的影响。K Gosiewski 等^[15]得出试验装置最低自热反应甲烷浓度和合理的热循环反应浓度 2 个重要参数,认为壁面绝热与否对装置壁面温度的模拟结果影响不大。上述研究工作促进了乏风热逆流氧化技术的发展。但是,现行蓄热氧化装置在进行周期性换向时,单侧氧化室及换向阀管道内的滞留气体未进入燃烧室氧化就改变流向,直接通过烟囱排向大气,该部分未氧化的乏风导致装置平均氧化率偏低。因此,大型乏风蓄热氧化工业化装置将主要采用多床式结构。笔者自行研制出乏风处理量 10 万 m³/h 的大型工业化装置,采用五床式结构,在提高甲烷氧化率的同时,也保障了装置的稳定运行。

1 乏风瓦斯蓄热氧化装置结构及工作原理

1.1 五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置结构

五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置总体结构如图 1 所示。装置由 5 个氧化床、1 个燃烧室、燃油预热系统、切换阀门、主通风机、吹扫风机、助燃风机、烟囱等组成。在燃烧室侧壁上安装燃油预热系统,用于系统启动时产生高温烟气加热氧化床。燃烧室顶部设置取气口,将部分高温烟气从装置内抽出,送往余热利用设备。氧化床内布置蓄热陶瓷。每个氧化床底部安装 3 套阀门,将氧化床分别与乏风进气管、烟气出气管、吹扫管路连接,通过控制阀门的开闭改变各氧化床的工作状态。

1.2 工作原理

五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置工作过程如下:首先,在启动阶段由预热器燃烧油或燃料气产生高温烟气,高温烟气将各氧化床加热,氧化床形成上高下低的温度场,其中高温区蓄热陶瓷温度达到 800~1 000 ℃,然后关掉预热器。预热完成后,装置进入正常工作状态。气体同时从 2 个氧化床进入,乏风

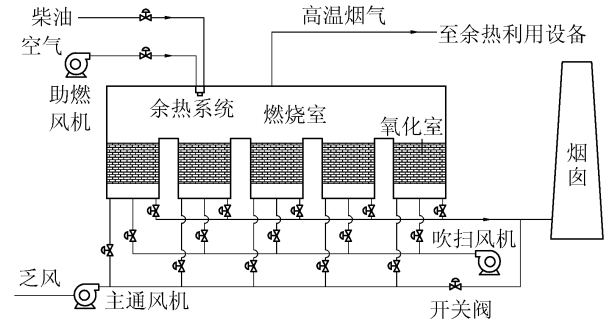


图 1 五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置结构

被加热至高温后发生氧化反应,放出热量,烟气从 2 个氧化床流出,蓄热体被加热,1 个氧化床吹扫净化。1 个完整的工作周期由 5 个循环组成,见表 1,每个氧化床周期性的在蓄热、吹扫、放热 3 个工作状态中切换,周而复始。

表 1 五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置工作流程

项目	氧化床编号				
	1	2	3	4	5
循环 1	蓄热	蓄热	放热	放热	吹扫
循环 2	吹扫	蓄热	蓄热	放热	放热
循环 3	放热	吹扫	蓄热	蓄热	放热
循环 4	放热	放热	吹扫	蓄热	蓄热
循环 5	蓄热	放热	放热	吹扫	蓄热

1.3 五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置优势分析

现行蓄热氧化装置在周期换向瞬间,会存在气流流量从系统额定风量减小到零的大幅波动,使乏风引风主通风机出现憋压情况,影响通风机寿命。在进行余热利用时,换向瞬间会导致进入余热锅炉的烟气流随之大幅周期性波动,影响蒸汽品质。

与现行蓄热氧化装置相比,五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置具有以下优点:①多床式乏风瓦斯蓄热氧化装置采用多个氧化床的结构,在蓄热和放热循环中增加了 1 个吹扫净化过程,将传统结构的氧化装置在换向瞬间残留在切换阀和反应空间之间的未经氧化反应乏风瓦斯吹扫至燃烧室氧化,从而防止未氧化乏风直接排到大气中,氧化率可提高至 98% 以上。②乏风瓦斯蓄热氧化装置单床的处理量减小,氧化床横截面积减小,氧化床内气流分配更加均匀,避免了传统结构的氧化装置在处理量较大时内部气流不均的情况。③在换向时,2 个进气室中只有 1 个进气室工作状态由进气变为吹扫,另 1 个进气室仍然正常进气,系统风量波动小,余热利用效果好。

2 五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置设计

2.1 装置性能指标

五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置为五床立式结构,乏风处理量不小于 $100\,000\text{ m}^3/\text{h}$,乏风中甲烷体积分数为 $0.20\%\sim 1.15\%$,甲烷氧化率不小于 98% ,最低自热平衡体积分数不高于 0.2% 。装置进口气体与出口烟气温差不大于 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 。当环境温度不高于 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 时,装置表面温度小于 $50\text{ }^\circ\text{C}$;当环境温度高于 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 时,装置表面温度与环境温度之差小于 $25\text{ }^\circ\text{C}$,装置床层压降不大于 4 kPa 。

2.2 氧化室设计

氧化室四周采用连续焊以保证气密性,每个氧化室采用内保温。保温材料采用标准硅酸铝耐火纤维和高铝纤维模块,壳体由 6 mm 厚的钢板制造,局部设加强筋,壳体密封性良好。壳体内壁涂防腐涂层,并进行内保温(耐热 $1\,260\text{ }^\circ\text{C}$),厚度 300 mm 。外表涂耐热漆。蓄热体是整个蓄热氧化装置的核心材料,选用长 \times 宽 \times 高 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ 的蓄热体,其比表面积 $825\text{ m}^2/\text{m}^3$,孔隙率 65% 。主要设计计算参数选取如下:①乏风处理量为 $100\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 时,单个氧化室的处理量为 $50\,000\text{ m}^3/\text{h}$,乏风瓦斯体积分数为 1% 。②乏风进口温度设置为 $20\text{ }^\circ\text{C}$,出口烟气温取 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 。③将燃烧室温度取 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 。④将乏风及烟气均视作空气,忽略气体在通道内的辐射换热。根据以上条件,采用 FORTRAN 软件编程进行热力计算,装置氧化室的长 \times 宽 \times 高为 $15.1\text{ m}\times 4.8\text{ m}\times 2.4\text{ m}$ 。

2.3 燃烧室设计

燃烧室各个侧面采用硅酸铝陶瓷纤维软制品内保温。燃烧室设置 2 个人孔,人孔带有易移动的吊架,燃烧室顶部设置 3 个高温烟气取气口,供余热利用时使用,燃烧室设置 1 个泄爆口。燃烧室壳体由 6 mm 厚的钢板制造,局部设加强筋,壳体密封性良好,壳体内设耐火保温层(耐热 $1\,260\text{ }^\circ\text{C}$),厚度 300 mm ,外表涂耐热漆。燃烧室尺寸主要与气体通过燃烧室的有效体积流量、燃烧室温度、所需的停留时间 3 个因素有关。乏风设计处理量为 $100\,000\text{ m}^3/\text{h}$,设计甲烷体积分数按 1% 计算,产生的烟气量为 $100\,000\text{ m}^3/\text{h}$,燃烧室温度取 $900\text{ }^\circ\text{C}$,烟气停留时间取 1.5 s ,计算可得所需燃烧室体积为 179 m^3 ,装置燃烧室长 \times 宽 \times 高为 $15.1\text{ m}\times 4.8\text{ m}\times 2.7\text{ m}$ 。

2.4 气流分配室设计

气流分配室的作用是将乏风进气支管、烟气出

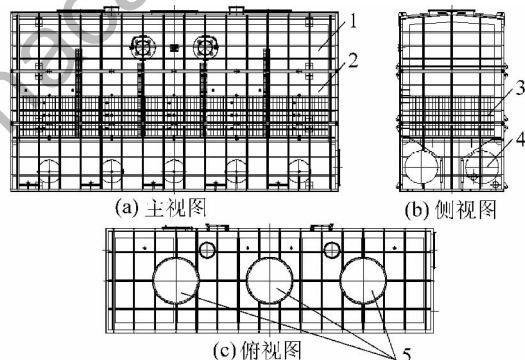
气支管、吹扫管路与各氧化室下部连接,当对应阀门打开时形成气流通路,保证气流的正常流通。气流分配室长 \times 宽 \times 高为 $15.1\text{ m}\times 4.8\text{ m}\times 3.1\text{ m}$,内部沿长度方向分隔成 5 个腔室,与上部氧化室对应。每个腔室底部壁面上开有 2 个直径为 1.5 m 的孔洞,分别与乏风进气支管和烟气出气支管连接;侧壁上开有 1 个直径为 0.25 m 的孔洞,与吹扫管路连接。壳体由 6 mm 厚钢板制造,局部设加强筋,壳体密封性良好。

2.5 预热系统组成

预热系统包括燃烧器、助燃风机、燃烧管路系统、电控柜等。燃烧器燃料为柴油,燃烧器功率约 $2\,322\text{ kW}$,具有自动吹扫、自动点火、紫外线扫描仪火焰检测、火焰燃烧状况监视等功能。可实现温度自动控制、高温报警和应急保护、风量自动调节和空燃比自动控制、燃气压力自动和手动调节等功能。

2.6 系统组装

将氧化室、燃烧室、气流分配室等部件组装后,五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置长 \times 宽 \times 高为 $15.1\text{ m}\times 4.8\text{ m}\times 8.2\text{ m}$,装置总装图如图 2 所示。



1—燃烧室; 2—氧化室; 3—蓄热体; 4—气流分配室; 5—取气口

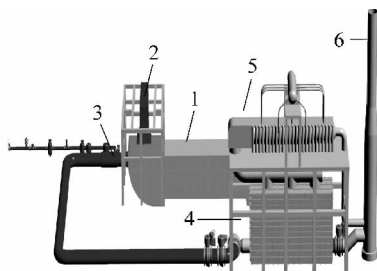
图2 五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置总装图

3 五床式乏风瓦斯蓄热氧化技术应用

在重庆松藻煤电有限责任公司打通一矿西二风井,建设 $10\text{万 m}^3/\text{h}$ 乏风瓦斯蓄热氧化利用工业化装置进行试验,考察乏风收集系统的收集效果,检验乏风瓦斯蓄热氧化系统的甲烷氧化率,试验利用余热生产蒸汽技术,并根据试验结果改进和完善工业化装置。

乏风利用工业性试验系统如图 3 所示。风井出口乏风由乏风收集系统收集后进入管路,由引风机送入乏风瓦斯蓄热氧化工业化装置,乏风瓦斯被加热至高温后发生氧化反应,生成 CO_2 和 H_2O 后排入

大气。在系统启动时,燃烧器燃烧柴油对炉体进行预热。在进行余热利用试验时,需要将抽采瓦斯与乏风进行掺混,使乏风瓦斯体积分数达到 1%,抽取部分高温烟气加热余热锅炉,生产过热蒸汽。



1—扩散塔; 2—乏风收集罩; 3—掺混装置; 4—乏风瓦斯蓄热氧化装置; 5—余热锅炉; 6—烟囱
图 3 乏风利用工业性试验系统

目前,乏风瓦斯蓄热氧化装置、余热锅炉、乏风收集罩、掺混装置等主体设备均已加工完成。该项目正处于工程施工阶段,预计 2015 年 3 月可完成整套系统的安装调试工作。该系统每年可生产过热蒸汽 6.48 万 t,减排 CO_2 当量 10.7 万 t。

4 结 论

1) 创新性设计了五床式乏风瓦斯蓄热氧化装置的结构型式,并阐述了装置的工作原理及其具有的独特优势,解决了现有蓄热氧化装置存在的甲烷氧化率较低技术难题。

2) 根据五床式乏风蓄热氧化装置的性能指标,对装置的氧化室、燃烧室、气流分配室进行设计计算,并完成装置的总装结构设计。

3) 重庆松藻煤电有限公司打通一矿的乏风利用工业性试验项目投入运行后,每年可生产过热蒸汽 6.48 万 t,减排 CO_2 当量 10.7 万 t,具有良好的节

能、环保和社会效益。

参考文献:

- [1] 龙伍见.我国煤矿低浓度瓦斯利用技术研究现状及前景展望[J].矿业安全与环保, 2010, 37(4): 74-77.
- [2] 兰波,许慧娟.煤矿乏风瓦斯利用技术及应用前景[J].中州煤炭, 2012(7): 37-41.
- [3] 康建东,高鹏飞,龙伍见,等.乏风瓦斯蓄热氧化利用的技术经济分析[J].矿业安全与环保, 2012, 39(2): 80-83.
- [4] 杨俊辉.矿井通风瓦斯综合利用[J].中国煤层气, 2012, 9(1): 43-46.
- [5] 马晓钟.煤矿乏风氧化装置的研制[J].矿业安全与环保, 2011, 38(1): 17-20.
- [6] 周 娴.煤矿乏风低浓度甲烷氧化处理实验研究[D].北京:中国科学院工程热物理研究所, 2009.
- [7] 王一坤,刘银河,车得福.通风瓦斯处理系统燃烧特性研究[J].工程热物理学报, 2011, 32(1): 169-172.
- [8] Machin N E, Cakirca E E, Ates A. Catalytic combustion of methane [C]. 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazig, 2011.
- [9] Mattus R. Converting VAM to energy [C]. Szczyrk: New Trends in Coal Mine Methane Recovery and Utilization, 2008.
- [10] 邹维峰.煤矿乏风热逆流氧化床性能优化数值模拟研究[D].北京:煤炭科学研究总院, 2014.
- [11] 刘永启,张振兴,高振强,等.乏风瓦斯蓄热氧化床阻力特性的数值模拟[J].煤炭学报, 2010, 35(6): 946-950.
- [12] 萧琦,邓浩鑫,吕元,等.煤矿通风瓦斯蓄热预热过程研究[J].采矿与安全工程学报, 2012, 29(2): 295-300.
- [13] 邓浩鑫,吕元,萧琦,等.通风瓦斯蓄热式热氧化过程数值模拟[J].煤炭学报, 2012, 37(8): 1332-1336.
- [14] 王鹏飞.煤矿乏风低浓度瓦斯热逆流氧化理论及实验研究[D].长沙:中南大学, 2012.
- [15] Gosiewski K, Pawlaczyk A, Warmuzinski K. A study on thermal combustion of lean methane-air mixtures: simplified reaction mechanism and kinetic equations [J]. Chemical Engineering Journal, 2009, 154: 9-16.
- [10] 黄晓明.山西柳林地区煤系地层对比特征[J].中国煤层气, 2010, 7(3): 3-7.
- [11] 任光军,王莉,娄剑青,等.柳林地区水文地质特征及其对煤层气生产井的影响[C].//2008 年煤层气学术研讨会论文集.北京:地质出版社, 2008.
- [12] 娄剑青.影响煤层气井产量的因素分析[J].天然气工业, 2004, 24(4): 62-64.
- [13] 倪小明.煤层气垂直井产能主控地质因素分析[J].煤炭科学技术, 2010, 38(7): 109-113.
- [14] 孟艳军,汤达祯,许浩,等.煤层气开发中的层间矛盾问题:以柳林地区为例[J].煤田地质与勘探, 2013, 38(3): 29-33.
- [15] 高丽军,汤达祯,许浩,等.柳林地区太原组灰岩含水层富水性研究[C].//2013 年煤层气学术研讨会论文集.北京:地质出版社, 2013.

(上接第 135 页)

井开发动态研究[C].//2013 年煤层气学术研讨会论文集.北京:地质出版社, 2013.

- [5] 苏复义,蔡云飞.数值模拟技术在柳林煤层气实验区的应用[J].天然气工业, 2004, 24(5): 95-96.
- [6] 郭 晖,陈 慧,陈 龙.柳林地区煤层气排采控制因素及改进措施[J].中国煤层气, 2012, 9(6): 8-11.
- [7] 刘一楠,张 贺.柳林地区煤层气水平井排采技术分析[J].中国煤层气, 2013, 10(6): 13-17.
- [8] 莫日和,郭本广,孟尚志,等.柳林地区煤层气排采工艺技术初探[J].中国煤层气, 2012, 9(4): 7-11.
- [9] 黄 勇,姜 军.U 型水平连通井在河东煤田柳林地区煤层气开发的适应性分析[J].中国煤炭地质, 2009, 21(S1): 32-36.