

新兴高效流化床焚烧脱漆技术

晏敏杰

(南京化工特种设备检验检测研究所,江苏 南京 210047)

[摘要] 以轿车制造领域为例,介绍了流化床焚烧脱漆技术的原理,及处理不同物料时的操作参数、焚烧所导致的烟气的处理工艺、物料裂解时间等;提出了以压缩天然气流化并加热石英砂为基础,采用热摩擦、气化剥离方式完成脱漆处理。与传统工艺相比,尾气排放速率降低,处理成本降低;无二次污染物;同样处理规模,固定资产投资节省 30%。

[关键词] 流化床 焚烧 替代 脱漆工艺

[中图分类号] TB499 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2012)04-0082-05

On Emerging and Efficient Depainting Technology in Fluidized Bed Incinerator

Yan Minjie

(Nanjing Institute of Chemical Special Equipment Inspection and Testing, Nanjing 210047, China)

Abstract: With the car manufacturing as an example, the article introduces the principle of the depainting technology in fluidized bed incineration, the operating parameters dealing with different materials, the flue gas treatment technology caused by burning and material cracking time. The article proposes that the heat friction gasification adhering materials be taken to complete paint stripping treatment based on compressing the natural gas to stream and heat quartz sand. Compared with traditional process, this process has many advantages: reducing the emission rate and lowering processing cost, and no secondary pollutants. Moreover, with the same scale of treatment, 30% of the fixed investment can be saved.

Key words: fluidized bed, incineration, replace, depainting technology

随着国内轿车制造业迅猛发展,制造过程中循环使用的金属工件脱漆处理因涉及工业危险废弃物处置、金属表面处理、工序间防锈、脱漆成本等多个因素而成为一个难题。典型的例如油漆工艺过程中使用的滑撬、工装、喷漆间格栅板及行车链等工件在使用一定周期后表面均附着 1.5 mm 以上的过喷漆渣、PVC 胶、内腔蜡。滑撬的定位孔被油漆、PVC 胶覆盖后易造成吊卡装置错位松动,工装附着的油漆在循环作业中易被碾磨成粉末状,在喷涂过程中形成脏点,格栅板及行车链条等部位附着漆渣后,导致油漆品质下降、设备事故频发。传统的火烧、化学浸泡、喷砂脱漆工艺严重违反环保法规,处理成本高,属淘汰范畴,但至今国内主要轿车生产基地仍然以化学浸泡、超高压水射流脱漆为主。本文以循环流化床焚烧炉为基础,进行了小型化设计,应用于年产 70 万辆轿车生产基地油漆工艺过程中的工件脱漆处理,将危险固体废弃物的处置与工件脱漆处理合并在一套设备内完成。为各种复杂结构金属表面附着物的无损剥离开辟了新途径,并取得了良好的收益。这也是传统锅炉转型为轿车生产领域中成套固废处置设备的一次尝试。

1 流化床工作原理

1.1 原理

流化床结构如图 1 所示。增压的空气与天然气混合,从砂床底部吹入。混合气体将石英砂吹起,呈悬浮状态,形成流化。此时点火器将砂床表面出现的天然气瞬时点燃。由分流器向上吹的混合气流在砂床内形成均衡气流,故主火焰可以在砂床整个表面稳定燃烧。

收稿日期:2012-05-22.

通讯联系人:晏敏杰,工程师,研究方向:压力容器及环保设备. E-mail: jiemingjh@163.com

流化床的上部设计为 1.5 m ~ 2.0 m 的高空腔,内表面衬耐火材料,出口连接余热回收腔、引风机;流化床内石英砂上表面 15 cm ~ 20 cm 处设计为环状火焰喷嘴,组成二次燃烧室(如图 2 所示),在二燃室内,天然气与油漆、PVC 胶加热后产生的可燃性烟气混合,利用烟气的热值,仅需少量的天然气助燃就能达到并保持在 800℃ ~ 1 100℃;由于全部工件均匀埋入石英砂内,其表面附着物被灼热的石英砂摩擦、加热、气化呈均匀挥发状,从而保障烟气按照固定速率挥发到二燃烧室,既避免了烟气的集中排放加重后续处理负荷,又为二燃室在整个处理周期中不断提供了可燃性烟气。二燃室排出烟气经余热锅炉回收,部分热源循环加热石英砂以保持其热量蓄积。石英砂持续摩擦运动将工件表面的附着物彻底剥离,避免金属工件受损变形。充分流化的石英砂流动效果好,加热迅速,燃烧热能分布均匀,砂床及被脱漆的工件整体温度均匀一致。

1.2 流化燃烧裂解系统

流化燃烧裂解系统由 2 个单元组成:充满石英砂的流化燃烧床(一燃室)和上部高温焚烧室(二燃室)。一燃室是使工件附着物在 420℃ ~ 450℃ 条件下,在石英砂内热解气化裂解,形成 N_2 、 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_6H_8 、CO 及挥发性硫、氯等。这些气体通过引风机吸入二燃室,二燃室的温度通常控制在 850℃ ~ 1 100℃。烟气停留时间为 2 s,并转化成 CO_2 及各种相应的酸性气体,如聚乙烯、氯化物等;对烟气进行二次燃烧并停留 2 s 以上,是保障烟气达标排放的必要条件。通过引风机保持流化床运行始终处于微负压状态。

2 烟气处理及主要排放物指标

2.1 燃烧需氧量

为了保障流化床烟气均衡处理、烟气排放达标,设备使用初期,需要对工件附着物料完全燃烧时的理论氧气供应量进行计算,在操作上表现为流化开度(涡扇供气量)。流化开度大,涡扇供气量大,石英砂流化程度高,散热快,工件处理效果好,但影响二次燃烧室气体稳流、停留时间,影响系统微负压,易造成局部烟气外泄,烟气处理量变大。流化开度小,供气少,不利于气体混合,易造成流化不均导致砂床内温度分布不平衡,烟气黑度高,能耗低,石英砂保温好。

流化开度的控制是通过理论供气量计算而来,根据工件附着不同物料,标准状态下,每千克燃料完全燃烧时所需氧气量为

$$V_{0, O_2} = \frac{1}{1.429} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) \frac{1}{100} (m^3 \cdot kg^{-1}) .$$

氧气的需要量完全按化学式计算而来,并未估计任何其他因素的影响,称为“理论氧气需要量”。

而在一般干空气中,氧气需要量为:

$$V_0 = \frac{1}{1.429 \times 21/100} \times \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) \frac{1}{100} (m^3 \cdot kg^{-1}) = (8.89C + 26.67H + 3.33S - 3.33O) \times 10^{-2} (kg \cdot kg^{-1}) .$$

在实际操作中,要保证炉内燃料、附着物料完全燃烧,通常供给比理论值多一些的空气,实际空气需要量 V_n 可表示为:

$$V_n = nV_0 .$$

式中 n 为空气消耗系数;当 $n > 1$ 时,被称为“空气过剩系数”。

由于轿车厂提供工件均为干物料,上面计算中未计入空气中的水分,若计水分,则湿空气的需要量为:

$$V_n = nV_0 + 0.00124 G_{H_2O}^g , \quad V_0 = (1 + 0.00124 G_{H_2O}^g) nV_0 .$$

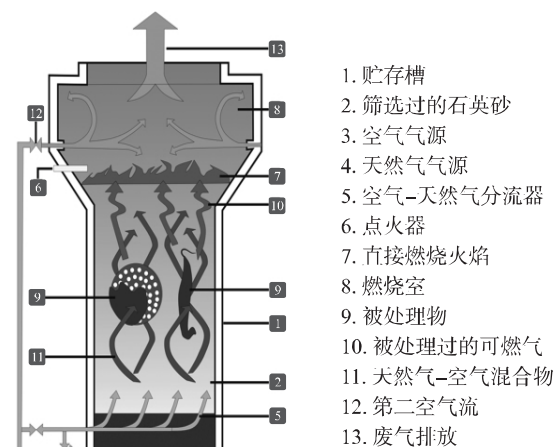


图 1 流化床示意图

Fig. 1 Fluidized bed schematic diagram

2.2 燃烧时间

由于流化床是分批、间歇式、稳流效果好的焚烧反应器,烟气在二燃室中停留的时间决定了烟气能否稳定达标排放。

以整个流化砂床在单位时间内工件附着物料 A 作物料衡算,并推算出烟气在二燃室空间充分燃烧所需时间:

$$\begin{aligned} \left(\begin{array}{c} \text{单位时间流入} \\ \text{的物料 } A \text{ 的量} \end{array} \right) &= \left(\begin{array}{c} \text{单位时间流} \\ \text{出的 } A \text{ 的量} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{单位时间反应} \\ \text{掉的 } A \text{ 的量} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} A \text{ 在反应器} \\ \text{中的积累量} \end{array} \right) \\ 0 &= 0 + (-r_A) V + \frac{d(Vc_A)}{dt}, \quad (-r_A) = \frac{dc_A}{dt} = kc_A. \end{aligned}$$

假设焚烧反应为一级反应,则反应动力学的方程可表示为:

$$\bar{t} = t = -\frac{\ln(C_A/C_{A0})}{k}.$$

式中 C_{A0} 、 C_A 分别表示 A 组分的初始浓度和经时间 t 后的浓度; t 为反应时间(s); k 为反应速度常数,是温度的函数,它们之间的关系可用 Arrhenius 方程式表示:

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right).$$

式中 A 为 Arrhenius 常数; E 为活化能(kcal/(g·mol)); R 为通用气体常数; T 为绝对温度(K)。

2.3 烟气处理的急冷、净化、排放系统

一般流程为:流化床后燃烧室→急冷中和处理→消石灰喷入除酸→布袋除尘→洗涤塔→引风机、烟囱。

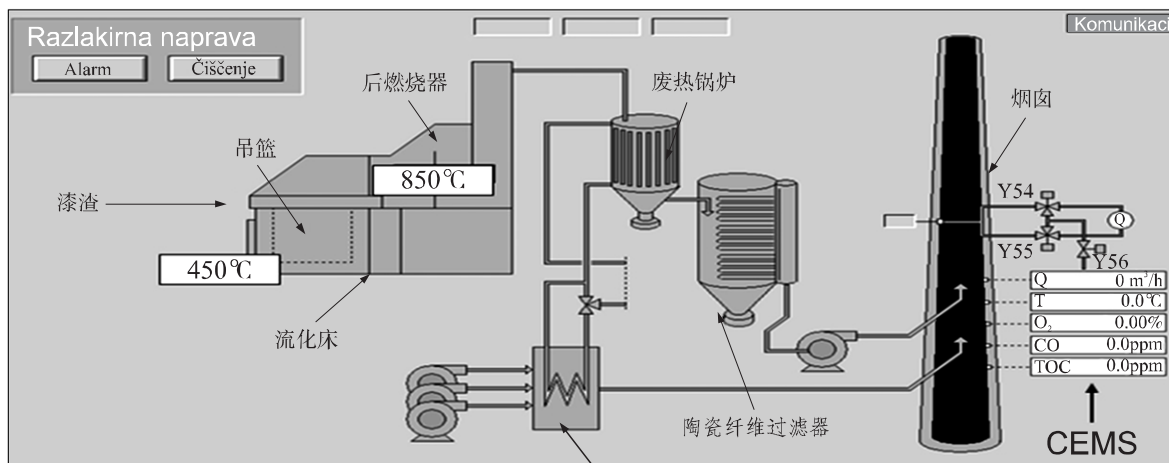


图 2 烟气处理工作示意图

Fig. 2 Flue gas treatment working schematic diagram

烟气在二燃室出口 1 m ~ 2 m 处被喷雾碱液急冷、中和,由 600° 在 1 s 内急冷至 200°,在急冷室的出口将消石灰喷入风道内,与烟气进行化学反应,以达到进一步脱酸的目的。

脱酸后的烟气在急冷室出口处被加热至 180°C,进入布袋除尘器;在进入布袋前将消石灰或者活性炭粉通过切风输送的方式送入管道,和烟气混合,进一步脱出未反应完毕的酸性气体和可能已生成的二噁英。消石灰和活性炭粉末最终经过布袋,落入灰灰中。净化完毕的烟气通过引风机并进入碱液喷淋洗涤塔,进一步去除残余的微量粉尘,同时降低气体酸性,最终达标排放。

为增加除酸效果,洗涤塔内壁筒体上部均匀分布几个雾化喷嘴,将水流顺切向喷至筒壁形成碱性水膜,含尘、含酸气体由筒体上部顺切向引入,旋转下降,尘粒受离心力作用而被分离,抛向筒体内壁,被筒体内壁流动的水膜层所吸附,随水流到底部锥体,经排尘口卸出,气体中的酸性物质则与碱性水膜中和除酸。同时采用碱液进行循环洗涤。

经有关环保检测中心对该流化床的尾气进行检测,结果表明在主要污染物中,苯和甲苯的排放浓度为 GB16297—1996 评价标准值的 1/6,二甲苯和非甲烷总烃为评价标准值的 1/15,氮氧化物仅为几万分之一。

3 几种清理方法对比

3.1 直接火焰加热

该方法燃烧温度无法控制,被处理工件受热不均易导致变形,反复加热后工件的强度、韧性等机械性能会发生变化,会影响工件的使用,而且会产生大量有毒废气。

3.2 化学浸泡

具有脱漆、除胶等功能的化学品都具有强烈的腐蚀性,处理后工件表面易产生锈斑,在涂装过程会产生脏点,从而缩短工件的使用寿命。所使用的化学品具有腐蚀性,对储存、清理、运输、使用造成不利影响。同时清理耗时长,受脱漆槽尺寸的限制,无法满足大批量、大型工件的处理需求,残液的处理成本高。

3.3 超高压水射流

将水压增至 200 MPa 左右,使水加压蓄能,喷射出的水束穿透力强、能量密度大,在冲刷物件表面时达到除垢的目的。其主要缺点在于无法彻底清理复杂的工件,从工件表面上剥落的废漆、废胶会产生二次污染,操作时噪音大、能耗高、废液处理量大。

3.4 流化清理工艺

利用天然气与空气增压混合在流动的砂床内点燃,采用热摩擦方式对浸入其中的工件进行焚烧及摩擦除垢,其主要优点有:

- (1) 可以清理各种形态复杂、尺寸规格不一的工件(密闭空腔内部除外),且被清理的工件不存在死角;
- (2) 清理所产生的可燃废气能得到二次燃烧,大部分余热可回收;
- (3) 油漆、废胶经高温焚烧分解后,固体燃烧飞灰可直接回填,烟气经处理后排放,无二次污染;
- (4) 处理量大,一台中型流化床能满足年产 70 万辆汽车的生产基地的清理需求。

4 经济分析

以年产 70 万辆汽车的生产基地为例,本文所使用的流化床清理与超高压水射流清理,在设备投资、清理质量、清理费用、后续处理等方面进行对比如表 1 所示。

表 1 设备性能比较

Table 1 Comparison of equipment performance

项 目	流化床清理	超高压水射流清理
设备投资	400 万	相关水射流设备 300 万
设备使用寿命	15 年以上	10 年
滑 撬	100%	90%
脱漆效果 格栅板	100%	80%
工 装	100%	60%
全年清理成本	250 万元左右	300 ~ 350 万元
处理后废弃物	可直接回填或排放	需二次处理
辅助清洗	不需要	小型复杂零件需采用化学浸泡法进行辅助清理

由表可看出,流化床清理技术在设备的使用寿命、清理效果、废弃物的处理等诸多方面明显优于超高压水射流清理。

5 结语

随着环保法规的完善以及对清理作业环境的提高,流化床以其小型化、烟气排放稳定达标及盈利能力强等优点,将替代传统的脱漆工艺及清理方法。特别是在产能较大的汽车制造厂或相关行业,大力推广使用流化床焚烧处理工件,无疑是一个很好的发展方向。

[参考文献](References)

- [1] 王锡春. 最新汽车涂装技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.

- Wang Xichun. The Latest Automotive Coating Technology [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1998. (in Chinese)
- [2] 娄性义. 固体废物处理与利用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
- Lou Xingyi. Processing and Utilization of Solid Waste [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996. (in Chinese)
- [3] 刘均科. 塑料废弃物的回收与利用技术 [M]. 北京: 石化出版社, 2001.
- Liu Junke. Recycling and Using Technology of Plastic Waste [M]. Beijing: Petrochemical Press, 2001. (in Chinese)
- [4] 彭长琪. 固体废物工程 [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2004.
- Peng Changqi. Solid Waste Project [M]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology Press, 2004. (in Chinese)
- [5] Mazza G, Falcoz Q. A particulate model of solid waste incineration in a fluidized bed combining combustion and heavy metal vaporization [J]. Combustion and Flame, 2009, 156: 2 084-2 092.
- [6] Taib M R, Swithenbank J, Nasserzadeh V, et al. Investigation of sludge waste incineration in a novel rotating fluidized bed incinerator [J]. Institution of Chemical Engineers, 1999, 77(5): 298-304.

[责任编辑: 严海琳]

(上接第81页)

- [3] 王景德. 球墨铸铁产生皮下气孔的影响因素及预防 [J]. 铸造, 1994(7): 25-29.
- Wang Jingde. Influence factors and precautions of blowholes in nodular cast iron [J]. Foundry, 1994(7): 25-29. (in Chinese)
- [4] 李庆春. 铸件形成理论基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1982: 192.
- Li Qingchun. Theoretical Foundation of Casting Formation [M]. Beijing: China Machine Press, 1982: 192. (in Chinese)
- [5] 周亘, 刘婉华. 球铁件皮下气孔产生原因及防止方法 [J]. 现代铸铁, 2008(5): 15-25.
- Zhou Gen, Liu Wanhua. Factors influencing pinhole formation of nodular iron castings and pinhole prevention measures [J]. Modern Cast Iron, 2008(5): 15-25. (in Chinese)
- [6] 孙渭清, 郭领军. 综述球铁件的皮下气孔 [J]. 铸造技术, 1996(4): 32-36.
- Sun Weiqing, Guo Lingjun. Summary of subsurface blowhole in nodular cast iron [J]. Foundry Technology, 1996(4): 32-36. (in Chinese)
- [7] 陆文华. 铸铁及其熔炼 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1986: 94.
- Lu Wenhua. Cast Iron and Its Melting [M]. Beijing: China Machine Press, 1986: 94. (in Chinese)
- [8] 代金水, 罗能. 球墨铸铁导盘常见缺陷分析与对策(下) [J]. 金属加工, 2010(7): 67-69.
- Dai Jinshui, Luo Neng. Analysis and precaution on common pitfalls in nodular iron casting guide disc [J]. Machinist Metal Forming, 2010(7): 67-69. (in Chinese)
- [9] 徐建林. 球铁件皮下气孔影响因素的研究 [J]. 铸造, 2002(10): 614-617.
- Xu Jianlin. Study on influence factors on surface blowhole in ductile iron casting [J]. Foundry, 2002(10): 614-617. (in Chinese)
- [10] 徐锦峰, 翟秋亚, 袁森, 等. 过共晶球铁凝固过程中奥氏体的生长方式与形貌特征 [J]. 金属学报, 2003, 39(2): 136-139.
- Xu Jinfeng, Zhai Qiuya, Yuan Sen, et al. Morphology characteristic and growing manner of austenite in hypereutectic ductile iron during solidification process [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2003, 39(2): 136-139. (in Chinese)
- [11] 孙少东, 徐松奎, 李健. 利用石墨化膨胀消除球铁皮下气孔的研究 [J]. 热加工工艺, 2004(5): 35-36.
- Sun Shaodong, Xu Songkui, Li Jian. Study on making use of graphitizing expansion to eliminate surface blowhole of ductile cast iron [J]. Hot Working Technology, 2004(5): 35-36. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]