

# 新型强制水循环热法磷酸燃磷塔 余热回收技术研究

王政伟, 官文洪, 管泓瑞, 张 辉

(常州大学机械与能源工程学院, 江苏 常州 213016)

**摘要:** 针对传统热法磷酸燃磷塔存在的问题, 提出了一种新型的具有强制水循环的盘管式热法磷酸燃烧塔, 并分析讨论了其结构、原理和设计要点。该塔在保证产磷酸量的同时, 副产了更多的工业蒸汽, 提高了余热利用效率, 运行更加安全可靠、经济环保。

**关键词:** 燃磷塔; 强制水循环; 盘管

中图分类号: TQ126.3

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2011)07-0062-04

## Study on new waste heat recovery technology of phosphoric acid combustion furnace by hot process with forced circulation water

WANG Zheng-wei, GUAN Wen-hong, GUAN Hong-rui, ZHANG Hui

(School of Mechanical and Energy, Changzhou University, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** A phosphoric acid combustion furnace by coil heating process with forced circulation water is proposed to solve the problems present in traditional phosphoric acid furnace. The construction, principle and design elements are discussed. This furnace can both ensure the capacity of phosphoric acid and obtain a considerable amount of saturated steam as by-product. It can run more safely and economically.

**Key words:** phosphoric acid furnace; forced circulation; coil

磷酸是一种重要的化工原料和中间体, 可用于制造磷肥及各种磷酸盐, 经净化的高纯磷酸还可用于食品、医药、电子等工业。磷酸的生产方法主要有湿法和热法 2 种, 其中湿法是利用强酸分解弱酸盐原理, 用硫酸、硝酸或盐酸 3 种强酸中的任一种来分解天然磷矿石, 获取磷酸溶液; 热法生产首先将磷矿石在电炉或高炉进行冶炼, 然后将生成的单质磷燃烧得到  $P_4O_{10}$  气体, 再经水合获取热法磷酸。从元素磷出发热法生产磷酸的工艺有燃烧水合一步法流程和燃烧水合二步法流程。一步法流程的特点是磷的燃烧与  $P_4O_{10}$  的水化在同一设备中进行, 燃烧产生的热量主要靠喷淋在塔内壁的并预先冷却过的大量稀磷酸移走。二步法流程的特点是磷的燃烧与  $P_4O_{10}$  的水化分别在燃烧塔与水化塔中进行<sup>[1]</sup>, 燃烧塔与水化塔塔壁均采用水夹套结构, 燃烧热与水合热通过夹套的冷却水移走, 冷却水循环使用。热法磷酸生产最早于 1894 年在美国实现工业化, 我国则开始于 1958 年。

### 1 热法磷酸生产工艺与装备现状

热法磷酸的生产主要包括矿石冶炼、黄磷燃烧

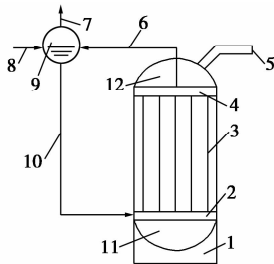
及  $P_4O_{10}$  气体的水化 3 个独立的工艺流程。其中黄磷燃烧流程中, 固态黄磷首先在熔磷槽中被蒸汽加热熔化至液态, 然后熔融磷经喷嘴雾化, 与由空气吸入管进入的空气充分混合, 在燃烧室剧烈燃烧生成  $P_4O_{10}$  气体, 同时放出大量热, 使空气过剩系数达 1.5, 气体的燃烧温度高达 1 700℃ 以上。另外高温磷蒸汽及其聚合物对燃烧塔、换热器等生产设备具有极强的腐蚀性, 且这种腐蚀性随温度升高而加剧。工艺上为防止这种腐蚀与破坏, 通常都使用大量稀磷酸或冷却水使燃烧塔和换热器壁面的温度控制在 80℃ 以下, 这部分由水或稀磷酸带走的低品位热能难以进一步利用。同时为保证黄磷的流动及雾化燃烧, 必须使其处于液相状态, 因此需配置专用燃煤锅炉来供给蒸汽。此外为了冷却循环水或稀磷酸, 还必须配备风机、泵、换热器等一系列装置。这种一方面要求外部供热, 另一方面又浪费自身燃烧热的现象是目前热法磷酸生产中普遍存在的问题。

针对此问题, 清华大学、云南省化工研究院、常州大学等单位联合研发了新型热法磷酸特种燃磷塔, 见图 1。此塔将反应塔结构要素和工业锅炉结构要素有机结合, 在完成黄磷与空气进行燃烧反应

收稿日期: 2011-03-03

作者简介: 王政伟(1961-), 男, 硕士, 教授, 从事节能技术研究; 官文洪(1988-), 男, 硕士生, 研究方向为热能工程, 通讯联系人, 13861019050, redong051mo@163.com。

的同时,能高效利用反应热副产工业蒸汽供自身工艺和其他生产工艺使用,大大降低生产过程中的能耗,提高产品的竞争力。该塔采用自然水循环的方式,汽包9中的循环水经下降管10到达下联箱2进行流量分配后,进入燃磷塔膜式水冷壁3吸热汽化,汽水混合物在上联箱4混合后经导汽管6回到汽包9,汽水混合物在汽包内经汽水分离后,饱和蒸汽引出管引到分汽缸供各用户使用,分离后的饱和水和给水混合后再次循环,由此构成新型热法磷酸燃磷塔的自然水循环。



1—裙座;2—下联箱;3—膜式水冷壁;4—上联箱;  
5—工艺气体出口;6—导汽管;7—蒸汽出口;8—给水管道;  
9—汽包;10—下降管;11—下封头;12—上封头

图1 自然水循环燃磷塔示意图

从2003年我国第一台新型工业化装置投入成功运行后,迄今已投运40多台套,总的热法磷酸产量达到180万t,占整个热法磷酸行业的50%以上,

(上接第61页)

### 3 结语

通过以煤泥为主要原料烧制陶粒滤料的实验研究,得出以下结论:

(1)以煤泥为主要原料,可烧制出性能良好的陶粒滤料,最佳工艺条件为:干燥时间1h,预热温度400℃,预热时间20min,焙烧温度900℃,焙烧时间15min。

(2)最佳工艺条件下烧制的陶粒滤料,比表面积35.337 m<sup>2</sup>/g,堆积密度586 kg/m<sup>3</sup>,吸水率48.89%,容重1023.45 kg/m<sup>3</sup>,孔隙率56%,盐酸可溶率0.54%。

(3)煤泥烧制陶粒过程中发气膨胀主要产生CO<sub>2</sub>、CO,经热力学理论分析,预热阶段以CO<sub>2</sub>为主,焙烧阶段以CO为主。

(4)以煤泥为主要原料烧制陶粒滤料,为煤泥的综合利用提供了一条新途径,对于减少环境污染和充分利用能源是十分有意义的。

每年节约资金约2亿元,为我国的节能减排做出了积极的贡献。但是,由于该塔采用自然水循环方式,膜式水冷壁环形垂直布置,燃磷塔的下封头、上封头、燃烧器附近都采用水夹套结构,用循环冷却水冷却,大约15%的热量被低温冷却水带走,总的余热利用效率只有65%,这是现在热法磷酸特种燃磷塔采用自然水循环和结构上的不足造成的,需要进一步改进。随着燃磷塔蒸汽参数的提高和大型化、模块化的发展趋势,自然水循环方式特种燃磷塔由于自身结构上的问题不能满足要求。

## 2 强制水循环燃磷塔结构和工作原理

强制水循环就是利用循环泵的压头来克服循环系统汽水混合物的流动阻力。由于循环泵具有较大的压头,受热面采用小管径并自由布置,因此强制水循环在余热锅炉中应用较广。将强制水循环应用到热法磷酸特种燃磷塔上,较自然循环燃磷塔有更多的优势。新型强制水循环燃磷塔由汽包、下降管、循环泵、螺旋盘管水冷壁和导汽管等结构组成,见图2。

强制水循环燃磷塔工作原理为:液态单质磷与助燃空气在压缩空气的作用下经对称布置在塔两边的喷磷枪斜向下自动进入燃磷塔内燃烧,在生成P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>气体的同时释放出大量热量。这些热能以辐射

## 参考文献

- [1] 闫世春. 煤泥处置[M]. 北京:煤炭工业出版社,2001.
- [2] 闫振甲,何艳君. 陶粒生产实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [3] 李虎杰,陶军. 煤矸石制备高强陶粒的试验研究[J]. 非金属材料,2010,33(3):20-22.
- [4] Wang X R, Jin Y Y, Wang Z Y, et al. Development of lightweight aggregate from dry sewage sludge and coal ash[J]. Waste Management, 2009, (29):1330-1335.
- [5] 刘景明,陈立顿,宋存义,等. 由化工脱水污泥烧制陶粒[J]. 北京科技大学学报,2008,8(5):1090-1194.
- [6] 仇心金. 利用粉煤灰、污泥、淤泥生产超轻和高强陶粒的试验研究[J]. 粉煤灰,2009,(3):40-41.
- [7] 刘贵云,奚旦立. 利用河道底泥制备陶粒的试验研究[J]. 东华大学学报:自然科学版,2003,29(4):81-83.
- [8] 岳敏,岳艳艳,李仁波,等. 城市污水厂污泥制备陶粒滤料及其特性[J]. 过程工程学报,2008,8(5):972-977.
- [9] Xu G R, Zou J L, Li G B. Effect of sintering temperature on the characteristics of sludge ceramicsite[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, (150):394-400.
- [10] 毛锡双,陈益兰. 超轻页岩陶粒的制备及焙烧机理研究[D]. 南宁:广西大学,2006. ■



包的连接,下降管与汽包及下集箱的连接都设计有弯头,可作为热补偿器,自动补偿各部件的热膨胀量之差。而且汽包不用放置在锅炉顶端,使布置更加方便。

但在设计盘管水冷壁时,需要进行性能计算和结构设计。性能计算是为了让水冷壁安全可靠,必须对以下几个方面进行计算:

(1) 计算额定工况下的循环质量流量和系统水阻的平衡,这是水冷壁安全运行的关键。

(2) 决定水冷壁进出口参数,本塔采用两路循环受热面,要保证进口处的流量分配和出口处的两相流体性质差不多。

(3) 计算最大负荷时的最高壁温,保证不出现传热恶化。

结构设计包括以下几个方面:

(1) 选择合适的管径。根据循环流量和循环倍率的要求来确定,一般可选取的管径有 57、61、65、76 mm。

(2) 计算管圈螺旋上升的倾角。通常在  $10^\circ \sim 25^\circ$  之间选择<sup>[3]</sup>,燃磷塔吨位越大,倾角也越大。

(3) 对盘管水冷壁的支吊装置进行应力分析,因为盘管水冷壁自身承受垂直载荷的能力很差,因此必须采用垂直吊带将荷重传递给支架。

#### 4 需要解决的关键性问题

(1) 优化分配盘管水冷壁的循环水量。中部盘管和下部盘管的循环阻力不同,受热不均,易造成水循环汽塞、局部管内冷却恶化,严重时引发传热危机,烧坏盘管。故必须通过受热面的优化布置和加装节流圈的方法来调节流量分配,确保各循环管循环倍率基本一致。

(2) 合理选择燃烧器的布置方式。燃烧器的布置通常有 3 种方式,底部安装喷磷枪向上燃烧的方式、顶部安装喷磷枪向下燃烧的方式和在燃磷塔中低部侧面安装 2 个喷磷枪与水平面呈一定角度向下斜喷燃烧的方式。底喷方式需要解决的问题是磷在燃烧过程中会在燃磷塔内产生一种像玻璃胶一样的熔融物质,若不能及时将此物质烧掉排除,可能会堵塞喷磷枪,影响燃烧;顶喷方式要使反应气体从底部

引出,加长了引出管路、增加系统阻力和冷却水量;采用侧面加装喷磷枪的燃烧方式必须设计特殊的水冷套来使得喷磷枪处得到良好的冷却。由于燃磷塔本身是靠结膜层来防止高温磷酸和聚合物对金属壁面的腐蚀,一旦局部地方得不到足够的冷却,塔壁就面临着被腐蚀的危险,所以塔身必须保证每个地方都有循环水流过,来保证塔壁的温度处于安全温度以下<sup>[4-6]</sup>。本燃磷塔采用的是对称布置的双喷磷枪,而盘管水冷壁基本上是水平方向的,要绕过喷磷枪就比较困难,故在交汇处要采用独立的喷磷枪水冷套,而水冷套的结构比较复杂。

(3) 断电或者循环泵损坏停运时的安全保护措施。强制水循环热法磷酸燃磷塔必须采用相互独立的两路电源给两个独立的循环泵提供动力,一台工作,另一台备用,确保循环泵的可靠工作运行,即使这样,在系统上还应有其他安全保护措施。

#### 5 结论

(1) 设计了一种新型强制水循环燃磷塔,在保证磷酸产量的同时,能回收更多的热量,副产更多的工业蒸汽,提高热法磷酸生产过程的能源利用效率。

(2) 通过对强制水循环燃磷塔的结构和工作特性分析,只要优化设计各受热面、合理分配各循环管流量、优选循环泵及配置,就能保证强制水循环燃磷塔安全可靠、经济环保运行。

#### 参考文献

- [1] 刘宝庆,蒋家玲. 热法磷酸燃磷塔的节能改造与传热特性研究[J]. 现代化工,2003,23(8):38-41.
- [2] 冯俊凯,沈幼庭. 锅炉原理及计算[M]. 第2版. 北京:科学出版社,1992:502-506.
- [3] 庄文贤,李瑜,曹佳鸣,等. 直流锅炉与螺旋管圈水冷壁[J]. 锅炉技术,2001,32(9):1-4.
- [4] 杨亚斌,梅毅,宋耀祖,等. 热法磷酸生产热能利用技术及装置[J]. 磷肥与复肥,2005,20(1):42-45.
- [5] 郭印诚,徐进明,宋耀祖,等. 热法磷酸塔内流动与燃烧过程的数值模拟[J]. 高校化学工程学报,2001,15(4):357-362.
- [6] 徐进明,宋耀祖,张冠忠,等. 热法磷酸燃烧塔内传热特性的工程计算方法[J]. 工程热物理学报,2001,22(4):453-456. ■