

# 湿法气化技术工艺喷嘴冷却结构 优化设计

徐宏伟,朱春鹏,贺根良,门长贵  
(西北化工研究院,陕西 西安 710600)

**摘要:**对现有工业运行的湿法气化工艺喷嘴冷却结构进行优化设计,将盘管冷却结构改为夹套冷却结构。分别从结构、阻力降、传热效率等方面进行了分析对比,水冷夹套式气化工艺喷嘴具有阻力较低、传热效率较高等特点。

**关键词:**工艺喷嘴;冷却盘管;水冷夹套;阻力降;传热效率

中图分类号:TQ515.6

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2008)11-0075-03

## Optimization design of wet gasification process nozzle cooling configuration

XU Hong-wei, ZHU Chun-peng, HE Gen-liang, MEN Chang-gui

(The Northwest Research Institute of Chemical Engineering, Xi'an 710600, China)

**Abstract:** The optimization design for cooling configuration of wet gasification process nozzle running in industry currently in operation is put forward, and it uses the water jacket cooling configuration instead of the cooling configuration of coil type. The characters of the new processed nozzle are analyzed from configuration, resistance drop, to heat transfer efficiency and so on. The water jacket cooling gasification process nozzle has the advantages of lower resistance and higher heat transfer efficiency.

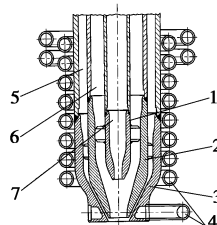
**Key words:** process nozzle; cooling coil; water cooling jacket; resistance drop; heat transfer efficiency

湿法加压气化技术属气流床加压气化工技术之一。其原理是将一定浓度的高压料浆与高压氧气通过工艺喷嘴混合雾化后喷入高温气化炉内进行快速气化反应得到产物粗煤气。湿法气化工工艺喷嘴是湿法加压气化工技术的关键部件之一,其工艺目标是通过氧流股与料浆流股的动量交换,达到雾化煤浆的目的,为炉内的气化与燃烧过程创造条件,它的运行状态和寿命决定着装置能否长周期、稳定运行。为保护在高温下工作的喷嘴,喷嘴冷却水通过冷却结构连续循环流动以冷却喷嘴,防止被高温损坏。目前工业运行的湿法气化工工艺喷嘴冷却结构主要是水冷盘管结构,实际运行结果表明,该结构冷却效果不是很理想,喷嘴头部使用周期较短。进行优化后的湿法气化工工艺喷嘴将盘管冷却结构改为夹套冷却结构,优化后的冷却结构具有阻力降低、冷却效率高特点,可以提高喷嘴的使用寿命,保证气化工装置的长周期稳定运行。

### 1 优化前的气化工工艺喷嘴的结构及特点

国内大规模工业化运行的几种湿法气化工工艺喷嘴虽然其物料雾化结构各有不同,但是冷却结构都是水冷盘管结构(如图 1),图 1 所示为一种湿法气

化工工艺喷嘴截面图,结构为外混式三流道结构,物料雾化结构由内喷头、中喷头、外喷头组成。喷嘴头部冷却结构为盘管结构,喷嘴端部为冷却夹套。



1—内喷头;2—中喷头;3—外喷头;4—冷却水盘管;  
5—中心氧通道;6—水煤浆通道;7—外环氧通道

图 1 湿法气化工工艺喷嘴

气化工物料在高压下进入喷嘴,在喷嘴头部进行混合雾化,最后进入气化炉内进行气化反应,由此反应产生 1 300 ~ 1 500℃ 的高温,为了保护工艺喷嘴头部不被烧坏,冷却水通过冷却盘管及喷嘴端部的水夹套对喷嘴头部进行冷却保护。根据国内大规模装置实际运行情况来看,盘管冷却结构有以下特点:①盘管结构阻力大,冷却水进口压力一般在 1.6 MPa,出口压力为常压,因此需要消耗的动力较大,对于 30 t/h 的冷却水量,需配功率为 22.0 kW 的泵;②由于冷却水进口压力较高,所以冷却水系统的

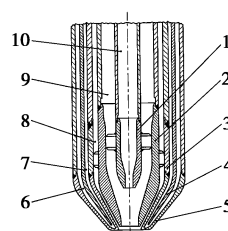
换热器设计压力较高,投资成本会高一些;③冷却效果不太理想,盘管结构不可能将喷嘴头部全部包起来,总有部分暴露在高温区,且冷却盘管与喷嘴头部焊缝易断裂,喷嘴头部烧蚀比较严重。因此喷嘴的使用寿命比较短,一般只能连续运行 45 天左右。

影响湿法气化工序烧嘴运行寿命主要原因有:一是头部磨蚀,二是头部烧蚀,根据大部分装置的使用情况,发现烧嘴损坏主要是烧蚀引起的。解决磨蚀的问题需要优化喷嘴头部的雾化结构和改善头部结构的材料,而解决烧蚀的问题则需要优化喷嘴的冷却结构,通过优化冷却结构改善喷嘴头部的传热效果,使喷嘴头部得到更好的保护。

## 2 优化后的气化工序喷嘴结构及特点

优化后的湿法气化工序喷嘴为水冷夹套式工艺喷嘴,结构如图 2 所示,为外混式五流道结构,物料雾化结构仍由内喷头、中喷头、外喷头组成。第四、五流道分别为冷却水进水流道和出水流道。整个喷嘴头部全部被水冷夹套包着。

气化物料在高压下进入喷嘴,在喷嘴头部进行混合雾化,最后进入气化炉内进行气化反应,由此反应产生 1 300 ~ 1 500℃ 的高温,为了保护工艺喷嘴头部不被烧坏,在第三流道外壁设置 1 个冷却水夹套,该冷却水夹套在喷嘴前端封口,在冷却水夹套内



1—内喷头;2—中喷头;3—外喷头;4—隔板;5—冷却水夹套;  
6—冷却出水通道;7—冷却进水通道;8—外环氧通道;9—水煤  
浆通道;10—中心氧通道

图 2 优化后的湿法气化工序喷嘴

插入 1 个环状的隔板,利用隔板将冷却水夹套分隔为冷却水进口通道和出水通道。冷却水通过进口通道进入冷却水夹套,换热后的喷嘴冷却水再由出口通道流出,这样通过以冷却水强制性冷却喷嘴头部的方式,达到保护喷嘴头部不被烧坏。与水冷盘管式的湿法气化工序喷嘴结构相比,优化后的喷嘴结构具有以下特点:①结构简单;②夹套结构阻力小,冷却水进口压力一般为 0.5 MPa,出口压力为常压,需要消耗的动力小,对于 30 t/h 的冷却水量,仅需配功率为 5.5 kW 的泵,另外冷却系统的换热器设计压力较低;③冷却效果好,喷嘴头部被整个水冷夹套包起来,不会暴露在高温区。因此可以提高喷嘴的使用寿命。

夹套冷却结构的喷嘴在浙江兰溪公司、浙江

(上接第 74 页)

### 3.2.2 工艺参数标定

具体工艺参数见表 3。

表 3 工艺参数标定

项目	标 1	标 2
近料量/ $t \cdot h^{-1}$	36	36
预反应器入口压力/MPa	3.6	3.6
预反应器出口压力/MPa	3.59	3.58
预反应器入口温度/℃	240	243
预反应器出口温度/℃	279	281
床层最大温升/℃	40	39
床层平均温度/℃	258	253
新氢流量/ $m^3 \cdot h^{-1}$	1750	2060
新氢纯度/%	95	95
循环氢流量/ $m^3 \cdot h^{-1}$	19800	19800
循环氢纯度/%	87	87
氢油体积比	352	350
体积空速/ $h^{-1}$	1.41	1.41

## 4 结语

该工艺运行 60 d,从循环氢压缩机出口至原料

加热炉入口压降为 0.20 MPa,该压降与投用预反应器前一致,由此可见,原料油在换热器中结垢物很少,未停留在换热器壳层中。由于该汽油加氢装置主反应器中催化剂 DZG-10 已使用 1 180 d,累计加工原料 870 kt,远超出协议寿命加工原料量(600 kt),目前其活性很低。预反应器加入新催化剂后,烯烃在预反应器饱和,缓解了主反应器的加工负荷,主反应器操作温度 310℃,比预反应器更换催化剂前的 355℃降低了 45℃,原料出换热器温度由更换催化剂前的 260℃下降至 220℃。2 个月内压降上升 0.42 MPa,目前上升缓慢且趋于稳定,系统压降 0.80 MPa。由于主反应器操作温度的下降,原料油与反应流出油在换热器中传热量减少,焦化汽油原料中的二烯烃低聚物及胶质换热器中结垢明显减少,减缓了系统压降的上升速率。

由于主反应器操作温度的下降,瓦斯燃料气量明显降低,而汽油加氢装置能耗关键因素取决于燃料气单耗。能耗的降低降低了装置的运行成本。■

巨化公司3万t/a和8万t/a合成氨气化装置上运行,运行效果比较明显,使用寿命在2个月以上。

### 3 2种结构形式工艺喷嘴冷却结构的阻力计算分析

2种结构形式的工艺喷嘴冷却系统,主要区别在于冷却盘管和水冷夹套,在气化能力相同情况下,冷却系统其他部分阻力基本相同,而且,对于盘管结构的工艺喷嘴,整个冷却系统阻力主要是盘管的阻力,因此只需要对冷却盘管和水冷夹套部分的阻力进行计算比较。

参考某工业装置喷嘴冷却水的工艺条件,设定该冷却水工艺条件为:流量  $V = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,出口压力  $P_2 = 0.2 \text{ MPa}$ ,冷却水进水温度  $40^\circ\text{C}$ 、出口温度  $50^\circ\text{C}$ ,平均温度  $45^\circ\text{C}$ ,密度  $\rho = 990 \text{ kg/m}^3$ ,黏度  $\mu = 5.963 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,管道绝对粗糙度  $0.3 \text{ mm}$ ,求出冷却水进口压力  $P_1$ ,即可得到整个喷嘴冷却管路总阻力损失  $\Delta P$ 。盘管冷却式工艺喷嘴结构简图见图3。

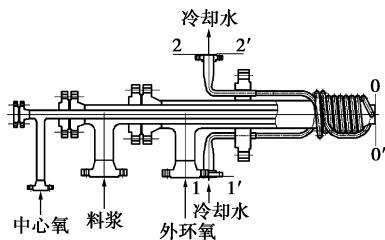


图3 盘管冷却式工艺喷嘴结构简图

如图3所示,假定以进水管法兰为截面1-1',出水管法兰为截面2-2',0-0'平面为基准水平面,在两截面间根据柏努利方程式:

$$g \times z_1 + u_1^2/2 + P_1/\rho = g \times z_2 + u_2^2/2 + P_2/\rho + \sum h_f \quad (1)$$

式(1)中: $z_1$ 、 $z_2$ 为截面1-1'与截面2-2'的中心至基准水平面0-0'的垂直距离; $u_1$ 、 $u_2$ 为流体分别在截面1-1'与截面2-2'处的流速; $P_1$ 、 $P_2$ 为流体分别在截面1-1'与截面2-2'处的压力; $\sum h_f$ 为管路系统中的总能量损失。

式中, $z_1 = z_2$ ,  $u_1 = u_2$ ,  $P_2 = 0.2 \text{ MPa}$ ,所以  $P_1 = \rho \times \sum h_f + P_2 = \Delta P + P_2$ 。

#### 3.1 水冷盘管式工艺喷嘴阻力计算

螺旋管的长度  $L = 10 \text{ m}$ ,进水螺旋管竖直距离  $h = 0.3 \text{ m}$ ,管路内径  $d = 0.032 \text{ m}$ ,管路半径  $R =$

$0.016 \text{ m}$ ,曲率半径  $R_c = 0.2 \text{ m}$ ,管路摩擦系数  $\lambda_1 = 0.0466$ ,管内水流速度  $u = 10.37 \text{ m/s}$ ,雷诺数  $Re = 5.509 \times 10^5$ ,根据相关化工管道手册查得,螺旋管摩擦系数  $\lambda = \lambda_1 \cdot [1 + 0.075 \times Re^{0.25} \times (R/R_c)^{0.5}] = 0.0735$ ,所以,阻力损失为:

$$\Delta P = \lambda \times (L/d + h/d) \times \rho \times u^2/2 = 1.252 \text{ MPa}$$

$$P_1 = \rho \times \sum h_f + P_2 = \Delta P + P_2 = 1.452 \text{ MPa}$$

#### 3.2 水冷夹套式工艺喷嘴阻力计算

##### (1) 冷却进水通道阻力损失 $\Delta P_1$

进水通道截面积  $A = 9.6 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ ,截面周长  $L = 3.85 \text{ m}$ ,水力直径  $d_e = 4 \times A/L = 0.1 \text{ m}$ ,通道内径  $d = 0.219 \text{ m}$ ,通道半径为  $R = 0.1095 \text{ m}$ ,曲率半径  $R_c = 0.1145 \text{ m}$ ,通道水流速度为  $2.37 \text{ m/s}$ ,雷诺数  $Re = 8.814 \times 10^5$ ,根据相关化工管道手册查得,与通道等直径的管路摩擦系数  $\lambda = 0.0466$ ,摩擦系数  $\lambda_1 = \lambda [1 + 0.075 \times Re^{0.25} (R/R_c)^{0.5}] = 0.0803$ ,所以,阻力损失为: $\Delta P = (\lambda_1 \times L/d_e) \times \rho \times u^2/2 = 0.009 \text{ MPa}$ 。

##### (2) 冷却出水通道阻力损失 $\Delta P_2$

根据以上公式可计算出  $\Delta P_2 = \Delta P = (\lambda_2 \times L/d_e) \times \rho \times u^2/2 = 0.010 \text{ MPa}$ 。整个水冷夹套阻力是  $0.019 \text{ MPa}$ ,  $P_1 = 0.219 \text{ MPa}$ 。

从以上计算结果表明,水冷夹套结构的阻力比水冷盘管阻力小,因此采用水冷加套结构的气化工艺喷嘴可以节约许多功耗。

### 4 2种结构形式工艺喷嘴冷却结构传热分析

对于该工业装置的水冷盘管结构,传热面积  $A_1$  为  $1.004 \text{ m}^2$ 。根据优化后夹套结构的尺寸,传热面积  $A_2$  为  $1.350 \text{ m}^2$ 。所以在喷嘴头部较小的空间里,夹套结构比盘管结构的传热面积大,因此其传热量大,在相同流量的情况下,夹套结构带走更多的热量;从结构上来看,2种结构形式的工艺喷嘴都属于间接换热方式,但是对于水冷盘管结构,冷热载体被2层固体间壁所隔开,而夹套结构的固体间壁只有1层,所以夹套结构总传热系数比盘管结构的总传热系数大。夹套结构不仅增大了传热面积,还提高了传热系数,从而提高了其传热效率。从传热分析,夹套冷却结构具有更好的传热效果。■