

某脱水装置分子筛吸附塔设置数量的选择

李 明, 卢任务, 冼祥发, 程 树

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 以海外某油气处理厂分子筛脱水装置的实际设计数据为例, 对于在该装置中分别设置 2 个、3 个或 4 个分子筛脱水塔的方案, 从吸附周期、设备投资、操作费用及与其它系统的相互关系等各个方面进行对比, 选择出最佳的分子筛脱水方案。

关键词: 分子筛脱水; 吸附塔数量选择; 吸附周期比较; 投资比较; 操作费用比较

文章编号: 1006-5539(2006)06-0046-04

文献标识码: B

0 概述

常用的分子筛系人工合成沸石, 是强极性吸附剂, 对极性、不饱和化合物和易极化分子(特别是水)有很大的亲和力, 故可按照分子极性、不饱和度和空间结构不同对其进行分离。分子筛具热稳定性、化学稳定性高, 又有许多孔均匀的微孔孔道与排列整齐的空腔, 其比表面积大($800 \sim 1\,000\text{ m}^2/\text{g}$), 且只允许直径比其孔径小的分子进入微孔, 从而使大小及形状不同的分子分开, 起到筛分分子的选择性吸附作用, 因而称之为分子筛^[1]。

天然气吸附法脱水适用于水露点要求较低的场合。吸附法天然气脱水工艺常采用的吸附剂有氧化铝、硅胶和分子筛。其中, 分子筛吸附能力最强, 因此分子筛宜用于要求深度干燥的场合, 其中 3A 及 4A 型分子筛应用最多^[2]。

随着分子筛制造工艺的进步、制造规模的扩大, 分子筛的价格不断地下降。目前分子筛脱水装置在石油天然气行业已广泛应用于天然气脱水深度要求较高的 NGL 回收装置及 CNG 加气站脱水装置。

海外某油气处理厂分子筛脱水装置与脱硫装置配套, 处理脱硫后的湿净化天然气。该装置所处理的湿净化气流量为 $539.1 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ (0°C 、 101.325 kPa 标准状态下)。脱水后的干天然气作为产品气送往轻烃回收装置。为保证脱水深度, 脱水装置采

用分子筛吸附法脱水, 该法具有工艺流程简单、设备数量少、工程量小、投资低等特点。

对于这样规模较大的分子筛脱水装置, 可以采用 2 个吸附塔、3 个吸附塔或 4 个吸附塔数种方案(以下分别简称两塔方案、三塔方案、四塔方案)。而相同工艺不同方案的操作情况与投资数据却完全不同, 现将两塔方案、三塔方案、四塔方案的操作情况与投资情况进行比较, 从而选择出最佳方案。

1 基础数据

湿净化气: 压力 6.62 MPa(a) ;

温度 30°C ;

原料气组成见表 1:

表 1 原料气组成表

组分	组成/(mol%)	组分	组成/(mol%)
CH_4	76.84	$n\text{-C}_5\text{H}_{12}$	0.45
C_2H_6	9.79	$n\text{-C}_6\text{H}_{14}$	0.29
C_3H_8	6.70	$n\text{-C}_7\text{H}_{16}$	0.06
$i\text{-C}_4\text{H}_{10}$	1.22	H_2O	0.08
$n\text{-C}_4\text{H}_{10}$	2.05	N_2	2.00
$i\text{-C}_5\text{H}_{12}$	0.52	H_2S	0.00

干净化气要求: 水露点 $\leq 40^\circ\text{C}$ 。

2 流程描述

分子筛脱水装置流程如图 1 所示(以四塔流程

收稿日期: 2006-01-12

作者简介: 李 明(1973-), 男, 四川成都人, 工程师, 学士, 1996 年毕业于成都科技大学精细化工专业, 主要从事油气加工设计工作。电话: (028) 86014418。

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

为例)。

脱硫装置生产的湿净化气经轻烃回收装置预冷并分离出凝结水后进入脱水装置,脱水后的干天然气作为产品气送往轻烃回收装置。来自轻烃回收装置脱乙烷塔的塔顶气经加热作为吸附了水的分子筛的再生气,脱出的水在分子筛装置再生时收集到再

生气流中,再生气经空冷器冷却,使其中大部分的水及少量烃类冷凝成液体,冷却后的再生气在再生气分离器中分离出水及烃液;气体送燃料气系统及伴生气增压站,而分离出的水及烃液则进入油品中间罐区污油罐。

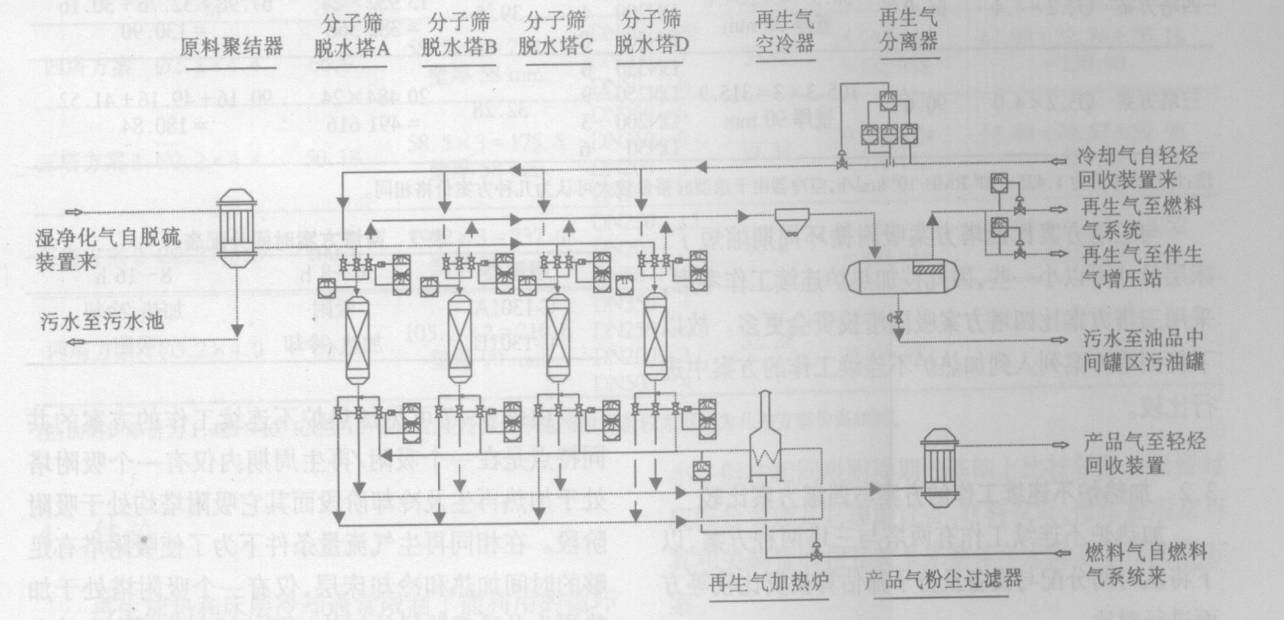


图 1 分子筛脱水装置流程图(四塔方案)

对于三塔方案,再生气加热炉工作时有连续工作和不连续工作两种情况与之相对应;对于四塔方案,则加热炉为连续工作;对于两塔方案,则加热炉只能不连续工作。因此下面分加热炉连续工作和不连续工作两类情况进行比较。

3 方案比较

对于本工程这样规模较大的分子筛脱水装置,可以采用 2 个吸附塔、3 个吸附塔或 4 个吸附塔。现比较这几种方案的吸附周期及设备总投资来选择最佳流程方案。

3.1 按加热炉连续工作的方案比较

加热炉连续工作有三塔与四塔两种方案。下面分别从时间分配与设备及分子筛估算投资方面进行比较。

3.1.1 吸附周期时间分配的方案比较

由于三塔方案分子筛吸附塔可以一塔吸附,一塔再生,另一塔冷却,也可以采用四塔方案,每个吸

附塔 8 h 吸附、4 h 加热再生(实际加热时间为 3.5 h)、4 h 冷却,每 16 h 循环一次,各步时间分配参见表 2。

表 2 四塔方案时间分配表				
吸附器	0~4 h	4~8 h	8~12 h	12~16 h
分子筛脱水塔 A	吸附	加热	冷却	吸附
分子筛脱水塔 B	吸附	吸附	加热	冷却
分子筛脱水塔 C	冷却	吸附	吸附	加热
分子筛脱水塔 D	加热	冷却	吸附	吸附

采用三塔方案:每个吸附塔 8 h 吸附、8 h 加热再生、8 h 冷却,每 24 h 循环一次,各步时间分配参见表 3^[3]。

表 3 三塔方案时间分配表			
吸附器	0~8 h	8~16 h	16~24 h
分子筛脱水塔 A	吸附	加热	冷却
分子筛脱水塔 B	冷却	吸附	加热
分子筛脱水塔 C	加热	冷却	吸附

由于此三塔方案每个吸附周期其中均有两塔没有处于吸附状态,吸附循环周期长,且加热及再生周期长、设备热损耗大,显然时间分配不如四塔方案。

3.1.2 设备及分子筛估算投资比较

操作费用比较,见表 4。

加热炉连续工作的三塔方案与四塔方案投资及

表 4 加热炉连续工作的三塔方案与四塔方案投资及操作费用比较表							
	各塔吸 附段尺寸 /m	分子筛 总体积 /m ³	吸附塔筒 体总重量 /t	切换阀 数量/只	吸附塔 压降 /kPa	24 h 再 生气量 /kg	设备估算投资 设备+分子筛+加热炉 /万美元
四塔方案	Ø2.2×4.4	66.9	58.5×4=234.0 壁厚 58 mm	DN 250 20 DN 200 4 DN 50 8	39.4	15 932×24 =382 368	67.98+32.76+30.16 =130.90
三塔方案	Ø3.2×4.0	90.6	105.3×3=315.9 壁厚 90 mm	DN 350 6 DN 250 9 DN 200 3 DN 50 6	32.28	20 484×24 =491 616	90.16+49.16+41.52 =180.84

注:加热炉单价为 1.425×10⁴ RMB/10⁴ kcal/h,空冷器由于选型时裕量较大可认为几种方案价格相同。

与三塔方案比四塔方案吸附循环周期缩短了,床层尺寸可以小一些,因此按加热炉连续工作考虑,采用三塔方案比四塔方案吸附塔投资会更多。故以下将四塔方案列入到加热炉不连续工作的方案中进行比较。

3.2 加热炉不连续工作的方案与四塔方案比较

加热炉不连续工作有两塔与三塔两种方案,以下将从时间分配与设备及分子筛估算投资比较等方面进行对比。

3.2.1 时间分配比较

如采用三塔方案 1 按每个吸附塔 8 h 吸附、2.3 h 加热再生(实际加热时间为 1.8 h)、1.7 h 冷却,每 12 h 循环一次,各步时间分配参见表 5。

表 5 三塔方案 1 时间分配表			
吸附器	0~4 h	4~8 h	8~12 h
C-1301A	吸附	加热/冷却	吸附
C-1301B	吸附	吸附	加热/冷却
C-1301C	加热/冷却	吸附	吸附

如采用三塔方案 2 按每个吸附塔 16 h 吸附、5 h 加热再生(实际加热时间为 4.5 h)、3 h 冷却,每 24 h 循环一次,各步时间分配参见表 6。

表 6 三塔方案 2 时间分配表			
吸附器	0~8 h	8~16 h	16~24 h
C-1301A	吸附	加热/冷却	吸附
C-1301B	吸附	吸附	加热/冷却
C-1301C	加热/冷却	吸附	吸附

如采用两塔方案:每个吸附塔 8 h 吸附、4.7 h 加热再生及 3.3 h 冷却,每 16 h 循环一次,各步时间分配参见表 7。

表 7 两塔方案时间分配表		
吸附器	0~8 h	8~16 h
C-1301A	吸附	加热/冷却
C-1301B	加热/冷却	吸附

由表 5~7 可见加热炉不连续工作的方案的共同特点是在一个吸附/再生周期内仅有一个吸附塔处于加热再生及冷却阶段而其它吸附塔均处于吸附阶段。在相同再生气流量条件下为了使吸附塔有足够的时间加热和冷却床层,仅有一个吸附塔处于加热再生及冷却阶段的加热炉不连续工作的方案就必须使用长循环周期,循环周期更长意味着设备投资就更大。否则,使用与加热炉连续工作的方案相同的循环周期则再生气用量会大大增加,长期的操作费用会很高,同样不经济。

3.2.2 设备及分子筛估算投资比较

加热炉不连续工作的方案与四塔方案投资及操作费用比较,见表 8。

三塔方案及两塔方案设置的优点是吸附塔与四塔方案相比,吸附塔数量减少了,且减少了切断阀数量,也在一定程度上减少了泄露点的出现。缺点是再生气用量大,能耗较四塔方案高且每个周期加热炉需停炉三次,加热炉操作不连续,点火、停炉频繁,不利于装置的长周期正常、平稳运行^[4]。

由表 8 比较可知,四塔方案的设备投资、再生气用量及操作费用均少于三塔方案 1、三塔方案 2 及两塔方案。

此外,本工程中经冷却后的再生气在再生气分离器中分离出水及烃液,气体送燃料气系统及伴生气增压站。加热炉连续工作的四塔方案比三塔方案再生气出装置流量、温度稳定,无压力波动,因此四塔方案更能保证整个工厂系统的燃料气系统及增压

系统的平稳运行。且加热炉连续工作的四塔方案投资低于加热炉连续工作的三塔方案, 因此四塔方案最佳。

综合上述原因, 该油气处理厂建议采用四塔方案。

表 8 加热炉不连续工作的方案与四塔方案投资及操作费用比较表							
各塔吸 附段尺寸 /m	分子筛 总体积 /m ³	吸附塔筒 体总重量 /t	切换阀 数量/只	吸附塔 压降 /kPa	24 h 再 生气量 /kg	设备投资 设备+分子筛+加热炉 /万美元	
四塔方案 Ø2.2×4.4	66.9	58.5×4=234.0 壁厚 58 mm	DN 250 20 DN 200 4 DN 50 8	39.4	15 932×24 =382 368	67.98+32.76+30.16 =130.90	
三塔方案 1 Ø2.2×4.4	50.18	58.5×3=175.5 壁厚 58 mm	DN 250 6 DN 350 9 DN 200 3 DN 50 6	39.34	29 588×24 =710 112	54.68+24.57+59.98 =139.23	
三塔方案 2 Ø2.2×8.8	100.4	79.2×3=237.6 壁厚 58 mm	DN 250 15 DN 200 3 DN 50 6	80.6	20 484×24 =491 616	65.96+49.16+41.52 =156.64	
两塔方案 Ø3.2×4.0	64.3	105.3×2=210.6 壁厚 90 mm	DN 350 4 DN 250 6 DN 200 2 DN 50 4	32.28	22 760×24 =546 240	59.37+31.49+46.14 =137.00	

注: 加热炉单价为 1.425×10⁴ RMB/10⁴ kcal/h, 空冷器由于选型时裕量较大可认为几种方案价格相同。

4 结 论

再生加热和床层冷却通常限制了能利用的循环时间。使用 4 个吸附塔的方案使吸附循环周期被缩短, 从而每一循环周期内吸附的水量减小了。因此床层尺寸及加热炉功率及尺寸可以减小一些, 从而使系统的总投资降低了^[5]。

对于操作压力较高, 建 4 个较小直径的吸附塔, 往往比 3 个大直径的吸附塔更经济。此外, 由于原料气的流量分配于 2 个并连着的床层, 4 个吸附塔的系统压力降可以更小。

分子筛脱水装置总投资包括吸附塔、分子筛、加热炉、再生气空冷器、阀门及管线、保温材料等。吸附塔体在整个装置投资中所占比例最大, 吸附系统愈小、系统的循环周期愈短吸附系统的设备投资愈

小。但在相同吸附周期的基础上比较装置总投资时应综合考虑其它辅助设备、材料投资、操作费用及与其相关装置的相互关系来整体考虑确定采用几塔方案。

综上所述四塔方案应用于处理量大、压力高、单塔循环周期要求较长及要求物流操作平稳的工况, 具有投资省、操作费用低等较明显的优点。

参考文献:

[1] 徐文渊, 蒋长安. 天然气利用手册[C]. 北京: 中国石化出版社, 2002.

[2] 坎贝尔 J M. . 天然气预处理和加工(第二卷)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.

[3] SY/T 0076-2003, 天然气脱水设计规范 S .

[4] 关昌凯, 杜通林, 李 明, 等. 圆筒型管式加热炉工艺计算程序及其应用 J . 天然气与石油, 1998, 16(1): 31.

[5] 查尔斯·赫希. 分子筛[M]. 北京: 中国工业出版社, 1965.