

# 大规模采气烃水吸附分离技术研究

陈博<sup>1\*</sup>, 张存华<sup>2</sup>, 侯斯腾<sup>2</sup>, 王东军<sup>1</sup>, 齐德珍<sup>1</sup>, 李磊<sup>1</sup>

(1. 中国石油管道局工程有限公司天津分公司, 天津 300457;

2. 中国石油管道局工程有限公司, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**通过对储气库传统采气处理工艺类型及优缺点进行分析、比较, 结合国外大规模储气库的设计经验, 研究我国在储气库大型化发展的趋势下, 适用于大规模采气烃水吸附分离的工艺技术, 并从分子及介孔角度, 研究硅胶吸附分离水、烃的原理, 结合国内储气库压力、气量变化范围大的特点, 及硅胶吸附剂的物化性质, 进行模拟优化, 选取适宜的储气库采气吸附脱水脱烃、再生冷吹工艺。

**关键词:** 储气库; 烃水分离; 硅胶; 吸附

中图分类号: TE644

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2017)04-0208-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.04.051

## Study for HC and water adsorption separation technology of large scale withdrawal gas

CHEN Bo<sup>1\*</sup>, ZHANG Cun-hua<sup>2</sup>, HOU Si-teng<sup>2</sup>, WANG Dong-jun<sup>1</sup>, QI De-zhen<sup>1</sup>, LI Lei<sup>1</sup>

(China Petroleum Pipeline Bureau Engineering Corporation Tianjin Branch, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Study for the appropriate HC & water adsorption separation technology of large scale withdrawal gas, through contrasting different types of traditional withdrawal process by merit and demerit, referring to similar underground gas storage abroad. Study on the principal of silica gel adsorption through molecular and micro-pore analysis, and optimize by simulating to select the appropriate adsorption processing for UGS with large range of pressure and flow rate.

**Key words:** underground gas storage; HC & water separation; silica gel; adsorption

随着我国经济社会发展进入“新常态”<sup>[1]</sup>, 经济增长速度总体放缓, 天然气市场需求增速减缓, 但天然气销量总体仍呈增长趋势。我国天然气对外依存度也在逐年攀升。随着中俄东线天然气管道开工建设, 我国四大天然气进口通道初步形成, 预计到2030年, 我国天然气进口量将超过1 800亿 m<sup>3</sup>, 占天然气年消费量的40%。根据国际经验, 一旦国家的天然气对外依存度达到和超过30%, 地下储气库工作气量就需要达到年消费量的12%以上。目前我国已建储气库总体工作气量仅为全国管道年输气量的5%左右, 天然气的储存和调峰要求储气库逐渐向大型化发展。因此对我国储气库进行大规模采气处理技术研究尤为必要。

## 1 储气库采气处理工艺现状

地下储气库采出气要达到外输条件, 需要除去其中所携带的固体杂质和游离液体外, 还需除去在输送条件下会凝结成液体的气相水和天然气液烃(NGL)组分。地下储气库采气处理工艺<sup>[2]</sup>只针对外输干气的水露点及烃露点进行控制, 不以回收轻烃为目的, 这种脱水脱烃通常被称为“浅脱”。

### 1.1 传统采出气处理工艺

对含有较多NGL组分的储气库采出天然气(油藏型、凝析油藏型)而言, 能同时有效脱除其中水、烃的方法传统采用低温法, 包括节流膨胀制冷法和外部制冷法; 对不需要控制烃露点的储气库采出气而言, 用于天然气脱水的方法有多种, 通常有溶剂吸收法、固体干燥剂吸附法等<sup>[3]</sup>, 其优缺点对比如表1所示。

表1 传统采出气处理工艺优缺点对比

采气处理工艺	优点	缺点
外部制冷	不损失压力能	单独设置辅助制冷系统
节流膨胀制冷	设备简单	损失压力能, 制冷效率低, 需注入防冻剂
溶剂吸收	成本较低, 操作方便, 提浓效果好	溶剂成本低, 易起泡, 适应处理量的变化范围小, 天然气温度影响产品气水露点
固体吸附	脱水深度高, 操作弹性大, 操作作简单、占地小	投资较高, 压降略高于溶剂法, 吸附剂需定期更换, 处理量小时能耗明显高

目前国内已建地下储气库, 无论是对于油气藏

型、凝析气藏型地下储气库(如大张坨、板876、板中北高点、板中高点等),还是干气藏型地下储气库(如相国寺),均主要采用J-T阀+注乙二醇工艺来实现水、烃露点的控制。由于设备尺寸大小及装置对气量适应范围的限制,单套处理规模一般不超过750万 $\text{m}^3/\text{d}$ 。对于大型储气库,均采用多套并联的方式<sup>[4]</sup>,详见表2,该种设置方式占地面积大、能耗高且流程复杂,运行管理难度高。

表2 国内已建储气库采气装置设置情况

项目名称	总采气规模/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	采气装置	
		单套采气能力/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	套数
江苏刘庄	200	200	1
大港板南	400	400	1
辽河双六	1500	750	2
西南相国寺	1390/2855	600	4
华北苏桥	2100	700	3
新疆呼图壁	2800	700	4

## 1.2 国外储气库采气处理工艺现状

据调研,国外储气库采出气处理同样采用固体吸附剂脱烃/脱水、三甘醇脱水、J-T阀膨胀制冷三大主流工艺。对于大规模储气库,例如德国Lesum储气库、奥地利Haidach等采用硅胶脱水工艺,工艺流程简单,生产压差小,单套处理能力大。单套处理能力可达2500万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,操作弹性大,通常为10%~110%设计能力。具体如表3所示。

对于储气库采出气硅胶吸附处理技术,目前国内尚无相似的应用。相比于传统的膨胀制冷工艺,

表3 采气硅胶吸附分离工艺的海外应用情况

库名	国家	类型	采气规模/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	水露 点/ $^{\circ}\text{C}$	吸附 工艺
Lesum	德国	盐穴型	864	-15	3塔/2套
Haidach	奥地利	油气藏	2640	-8	4塔/2套
Nam	荷兰	凝析气藏	2000	-3	3塔/2套
South Sumatra	印尼	油气藏	2605	-5	3塔/2套
Fronhofen	法国	油气藏	85	0	3塔/2套
Hunter Elmworth	加拿大	油气藏	210	-9	3塔/2套

其优缺点如表4所示。

表4 硅胶吸附工艺与传统膨胀制冷工艺对比表

	硅胶吸附工艺	膨胀制冷工艺
优点	①天然气压降小;②可同 时脱除水、烃,效果好;③操 作灵活性高,组分适应性 好;④适用于各类型气藏	①燃料气消耗小;②低 $\text{CO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 排放;③控制系 统简单
缺点	再生时燃料气将产生少 量 $\text{CO}_2$ 和 $\text{NO}_x$	①装置开车初期产品不合 格;②甘醇再生系统会产生 醇类挥发;③对进气组成敏 感;④需要较高的入口压力; ⑤适应操作范围较小

如表4所示,硅胶吸附工艺对采气压力、气量变化适应性较好,操作灵活,单套处理能力大,更适用于储气库大规模采气脱水、脱烃处理,对其吸附原理及工艺进行研究,有助于储气库大规模采气地面配套设施的建设。

(上接第207页)

定压600 kPa时,最大水量及正常水量集输工况下,各个井场井口回压均满足生产要求。通过比选可知,将先导式可调节减压阀组阀后压力定为600 kPa时,可满足集输管网生产要求。

## 4 结论

(1) Y4-13井场前端集输管网采用DN50管线, Y4-13井场后端集输管网采用DN80管线,既可满足正常水量集输工况下井口回压 $\leq 1200$  kPa的要求,也可满足最大水量集输工况下井口回压 $\leq 1400$  kPa的要求。

(2) H4-23井场接入H2-G2-Z4支干线处,设置先导式可调节减压阀组,阀后定压600 kPa时,可满足集输管网生产运营需求。

## 参考文献

- [1] 陈义龙. 煤层气采出水中重金属含量分析[J]. 油气田环境保护, 2009, (4): 37-40.
- [2] 潘红磊. 煤层气勘探开发和利用的环境影响分析[J]. 油气田环境保护, 1996, (2): 33-36.
- [3] 毛建设. 煤层气采出水处理技术探讨[J]. 中国煤层气, 2014, (6): 31-35.
- [4] 中华人民共和国国家标准. GB 50428—2015. 油田采出水处理设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015. ■

## 2 硅胶吸附烃水分离原理

### 2.1 硅胶组成

硅胶是三维空间网状结构的氧化硅干凝胶,属多孔性固体物质<sup>[5]</sup>。硅胶吸附水蒸汽的性能较好,但作为吸附材料本身的耐热性能差,为克服硅胶在吸附性能、耐热性能和机械强度方面存在的不足之处,在硅胶中引入少量金属离子,能够改变硅胶的微观结构,增大其比表面积和孔容,使硅胶的吸附能力得到增强。以 BASF 生产的 3 种吸附剂为例,如图 1 所示。

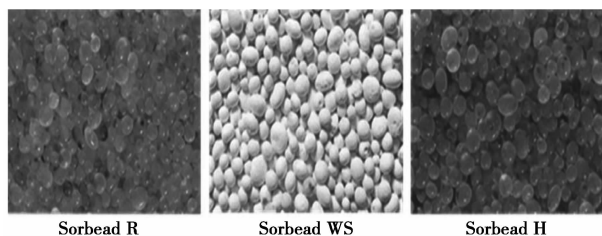


图 1 硅胶吸附剂外观

改性硅胶,具有压碎强度高(可达 200 ~ 230 N/颗),使用寿命长(通常在 10 a 以上),对水和重烃的吸附能力高等特点。与其他普通硅胶、活性氧化铝和分子筛相比,其磨损率低,可用于储气库采出气脱水。

### 2.2 硅胶吸附原理

硅胶属多孔性固体物质,对于脱水过程,吸附动力来源于氢键和毛细管冷凝作用;对于脱烃过程,吸附动力主要为毛细管冷凝作用。

当硅胶与水接触时,硅胶表面的硅原子会发生化学吸附形成硅羟基,进一步在硅羟基上可以与水分子形成氢键而发生水的物理吸附,如图 2 所示。

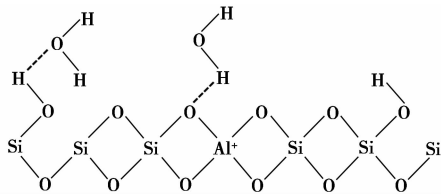


图 2 水吸附过程中氢键作用示意

硅胶吸附剂首先将被吸附物质吸附于表面,如图 3 所示。

在硅胶吸附剂的双重作用下吸附烃和水,首先是轻烃在吸附剂孔洞中沉积下来,随着吸附时间的推移,天然气中的重烃及水逐渐取代轻烃而沉积在孔洞中,轻烃逐渐释放出来。从而实现了脱除天然

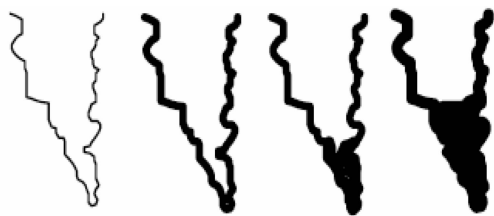


图 3 吸附过程的毛细管冷凝作用示意

气中重烃及水的目的。

## 3 吸附工艺技术研究

### 3.1 吸附脱水工艺设计

硅胶吸附法脱水、脱烃装置主要包括入口分离器、过滤器、吸附塔、再生气加热器(炉)、再生气冷却器和再生气分液罐等,需要时还应设置再生气压缩机。结合硅胶吸附工艺特点,应用 HYSYS 软件,建立工艺计算模型,如图 4 所示。

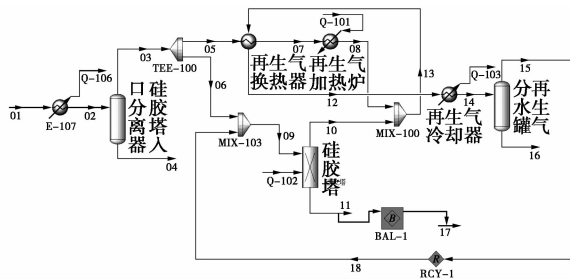


图 4 烃水吸附处理装置 HYSYS 计算模型

根据吸附剂特性及相关工程经验,天然气进塔温度应高于水合物形成温度 5℃ 以上,不宜高于 45℃,宜尽量低。脱水装置的再生温度宜为 200 ~ 230℃,再生气体流量宜为原料气的 3% ~ 6%;脱烃装置的再生气体入口温度宜为 290 ~ 300℃,再生气体流量宜为原料气的 10% ~ 20%。吸附后的床层温度升高宜为 3 ~ 6℃。吸附塔设计温度应比吸附剂的再生温度高 20℃。冷却气流量宜与再生气流量相近,冷吹气出口温度宜低于 50℃。吸附时气体通过床层的压降宜  $\leq 0.035$  MPa。吸附与再生进行切换时,降压与升压速度宜小于 0.3 MPa/min。

### 3.2 再生及冷吹工艺流程的确定

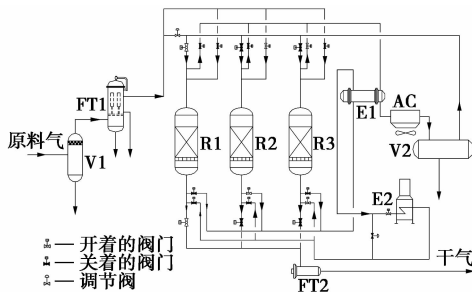
硅胶吸附剂再生有 2 种工艺,一种是等压工艺,即吸附和再生是一个压力等级,不需要降压和充压过程;一种是变压再生,即吸附压力高,再生的压力低,吸附和再生之间需要泄压,再生与吸附之间需要充压。等压工艺的优点是控制简单、操作安全、设备少;变压工艺的优点是再生更彻底,缺点是控制复

杂、设备多,一旦控制不好易将床层粉化,将粉尘带入下一步的工艺设备中,变压工艺对床层的寿命也有一定影响。结合硅胶组成及结构特点,通常选择等压再生工艺。

硅胶吸附冷吹流程主要存在2种流程,即湿气冷吹和干气冷吹流程。

### 3.2.1 等压再生(湿气冷吹、不含再生气压缩机)吸附脱烃、脱水流程

如图5所示,再生/冷吹气引自原料气聚结器出口。再生气经再生气换热器、再生气加热器加热到260℃进脱烃吸附器,将烃、水带出。含烃、水的再生气经再生气换热器换热、再生气冷却器冷却至45℃,经再生气分液罐分出烃/水后返回脱烃吸附器。冷吹时,冷吹气直接进脱烃吸附器,降低床层温度,经再生气换热器和再生气冷却器后,返回脱烃吸附器。



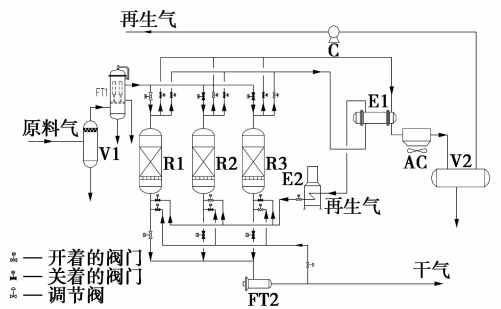
V1—入口分离器;V2—再生气分液罐;FT1—过滤分离器;  
FT2—出口过滤器;E1—再生气换热器;E2—再生气加热器;  
R1/2/3—吸附塔;AC—再生气冷却器

图5 等压再生(湿气冷吹、不含再生气压缩机)吸附脱烃、脱水流程图

### 3.2.2 等压再生(干气冷吹、含再生气压缩机)吸附脱烃、脱水流程

如图6所示,再生/冷吹气引自出口过滤器出口。再生气经再生气换热器、再生气加热器加热到260℃进脱烃吸附器,将烃、水带出。含烃、水的再生气经再生气换热器换热、再生气冷却器冷却至45℃,经再生气分液罐分出烃、水后,经再生气压缩机压缩后返回入口。冷吹时,冷吹气直接进脱烃吸附器,降低床层温度,经再生气换热器和再生气冷却器后,返回脱烃吸附器。

2种再生方法均能满足要求,湿气再生不用再生气压缩机,投资低,再生后的气体直接混入原料气,也不影响产品指标,完全能满足储气库对外输气



V1—入口分离器;V2—再生气分液罐;C—再生气压缩机;  
FT1—过滤分离器;FT2—出口过滤器;E1—再生气换热器;  
E2—再生气加热器;R1/2/3—吸附塔;AC—再生气冷却器

图6 等压再生(干气冷吹、含再生气压缩机)吸附脱烃、脱水流程图

的水露点要求,因此推荐选用湿气冷吹工艺。

此外,再生气可采用加热炉或导热油加热,再生气、冷吹气应设流量计量和控制装置。

## 4 结语

随着我国天然气输气管网的逐渐完善和发展,地下储气库将在中国的油气消费、油气安全领域发挥更加重要的作用,储气库除向不同类型延伸外,建库目标将从目前的调峰型向战略储备型方向发展,因此,高效化及大型化为必然趋势。

针对大型储气库建设需要,将硅胶脱水、脱烃技术应用用于储气库采气处理装置,对其进行原理分析及工艺研究,有利于促进储气库处理装置的大型化建设,同时可优化、简化地面设施,提高装置的操作弹性。下一步将针对设备优化计算、吸附剂选型评价方面进行深入研究,形成完善的吸附脱水、脱烃配套技术。

## 参考文献

- [1] 金碛. 中国经济发展新常态研究[J]. 中国工业经济, 2015, (1): 5-18.
- [2] 《石油和化工工程设计工作手册》编委会. 油气储库工程设计[M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2010: 78-80.
- [3] 王协琴. 天然气脱水脱烃方法介绍[J]. 天然气技术与经济, 2009, 3(5): 51-54.
- [4] 孟凡彬. 长输管道配套地下储气库采气装置大型化及适应性分析[A]. 中国油气论坛——油气管道技术专题研讨会论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2014: 134.
- [5] 赵奕斌. 吸附分离技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 52-55. ■