

大型高含硫天然气净化工程设计浅析

李奎

(中国石油西南油气田公司川东北气矿,四川达州 635000)

摘要:分析了罗家寨气田天然气净化厂工程的装置生产规模、产品方案,工艺流程的确定,关键工艺的选择,净化装置设计原则的制定,设备的选型及典型设备结构与材质等。讨论了装置技术经济问题,提出了重点工艺、装置优化设计的新思路,总结了大型高含硫天然气净化装置的设计经验,对高含硫天然气净化工程设计有一定的借鉴作用。

关键词:天然气;净化;工程;设计

中图分类号:TQ028.38

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2007)10-0054-04

Analysis of large purification engineering design for high sulfur-content natural gas

LI Kui

(Sichuan Provincial Northeast Gas Mine, Southwest Chinese Petroleum Oil-Gas Field Company, Dazhou 635000, China)

Abstract: The project of natural gas purifying factory of Luojiashai is introduced. It is analyzed the production installment scale, the product plan, the determination of technical process, the choice of key craft, the establishment of principle of design for purification equipment, the choice of equipment and the structure and material quality of typical equipment. It is also discussed the economic problem about installment technology, the new thoughtway about key craft and equipment optimization design proposed. Finally, the design experience with the refining equipment of natural gas which contains high sulfur is summarized, which fulfills a certain function helpful to purification engineering design for natural gas contains high sulfur.

Key words: natural gas; purification; engineering; design

1 产品方案与规模

1.1 资源条件

天然气的可供应量:罗家寨气田飞仙关气藏,该气藏天然气探明储量为 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$,属高含硫气田。

1.2 原料气品位、成分

罗家寨气田原料气组成如下(干基摩尔分数):
 CH_4 , 83.23%; C_2H_6 , 0.07%; C_3H_8 , 0.02%; N_2 , 0.70%; CO_2 , 5.65%; H_2S , 10.08%; He , 0.02%; H_2 , 0.23%。

1.3 产品方案设计

虽然扩大产品组合的广度(生产线数量)可以分散项目投资的风险,挖掘产品组合的深度(产品品种数量)可以占有更多的细分市场,天然气和硫深加工的附加值、增值潜力也巨大。但拟建的罗家寨天然气净化厂是高含硫、高压、高产、高风险、高投入的大型复杂工程。生产技术难度大、技术含量高,属技术密集型企业;副产品与主产品相伴而生;随资源长期开发而规模递增或进行技术改造,也随资源衰竭而减产、停产。

该净化厂的一种主产品和一种副产品是最终产品,不是中间产品,天然气的加工利用和硫的加工均作为下游项目另设工厂进行。所以,产品组合的类型是有限产品线专业型,即该净化厂产品只有天然气和硫磺这一主、一副产品。

1.4 建设规模的合理性分析

目前全球天然气净化工厂建设生产能力已经从 $300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 扩大到 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,甚至可达到 $2\,000 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.4.1 资源开发的同步配套性

净化厂虽是一个独立工厂,但它是为满足天然气开发而建设的,是气田开发过程中的一个中间环节,也是制约气田开发的瓶颈。高含硫净化厂作为一个复杂的工厂,建设周期为3~4年,其工厂规模、原料气条件,都取决于气田开发的结果。因此,拟建厂建设规模应有利于天然气的综合开发、资源利用和上下游产品的组合。

1.4.2 装置的操作弹性与适应性

若原料气 H_2S 含量比设计值明显增加,会造成净化气不合格,硫磺回收率严重超标而减产。若原料气 H_2S 含量比设计值明显偏低,则硫磺回收及

尾气处理装置低负荷运行,无法维持反应温度,需另建一套小型装置才能配套运行。

若新老气田同时供气,干、湿气并输,或湿气输送改为干气输送,原料气流量、组分波动大,分离过滤又不好,则带入杂质增多,溶液易受污染甚至发生发泡、冲塔、拦液等事故,超出装置适应能力,导致生产不稳定、停产等,与设计不匹配,需要进行技术改造。

若装置的操作弹性太大,则不利于装置高的开工率和负荷率的发挥。

1.4.3 资源利用的有效性与规模的经济性

资源利用的有效性一方面依赖于高含硫天然气的技术开发与处理技术的先进性;另一方面,一定的生产规模有助于能源消耗的减少,过小的生产规模也不利于采用先进技术。适当的经济规模能获得相应的经济效益。

1.5 建设规模

罗家寨气田开采期限为20~25年,开采天然气量约为 $25 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,也是该项目的年资源最大需用量,那么建设产能为 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的工厂最终的经济规模也较适宜。

2 主要工艺技术

2.1 工艺流程

(1)制定依据:原料天然气的含硫量及硫磺的产量。

(2)制定原则:①产品气质量符合国家标准;②生产过程满足环保要求;③技术先进可靠,对气质变化有一定的适应能力;④工艺可行,装置匹配,设备可操作;⑤消耗能量最小,投资和操作费用合理,工程实际产生的经济效益佳,社会效益好;⑥尽量减少对下游供气的影响。

(3)装置流程的确定取决于以下几点:①工艺参数的选择;②对产品质量的保证程度;③各工序间的合理衔接、适应;④能耗指标、物料的消耗定额;⑤生产的稳定性和产量的可调性;⑥配套机组的水平,设备的占地面积,投资额及设备维护是否方便等。

(4)工艺路线。原料气先进入脱硫装置脱除 H_2S 和部分 CO_2 ,从脱硫装置出来的湿天然气送至脱水装置,脱水后的干净化气外输。脱硫酸气送至硫磺回收装置回收硫磺,硫磺外销。硫磺回收尾气送至尾气处理装置,再生塔再生出来的酸气返回硫磺回收装置,经尾气处理装置后的尾气送至焚烧炉并经烟囱排空,尾气处理装置的酸性水送至酸水汽提

装置,汽提出的酸气返回硫磺回收装置,汽提后的水经处理后作为循环补充水。

2.2 装置规模的确定

2.2.1 工艺装置

(1)选择的基本原则:工艺先进适用,技术成熟可靠,装置操作性好,能适应工艺变化。

(2)辅助原则:大型化、自动化、集成化,装置精简、结构紧凑、维修少、操作费用低,节能、环保,能保障“安、稳、长、满、优”。

(3)适应要求:国内成功应用,技术基本掌握,操作具备经验,有相适应的管理水平。

(4)约束条件:应力腐蚀开裂(SSC),氢诱发裂纹(HIC)、化学失重腐蚀、高温“碱脆”、高温硫化腐蚀等;运输限制设备直径不大于3.6 m;装置按多列并联设计,以确保当一列装置检修时,另一列装置能正常运行;投资控制;确认工艺知识产权;备配件供应;成套引进与国内配套间的适应和衔接。

(5)满足指标:高含硫、高压(7.3 MPa),达到优质高产(净化气 H_2S 质量浓度不大于 $20 \text{ mg}/\text{m}^3$ 、总S质量浓度不大于 $200 \text{ mg}/\text{m}^3$ 、 CO_2 摩尔分数不大于3%)。

2.2.2 工艺装置生产能力与生产线数量分析

生产能力为 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的工厂,装置一般应有2套以上。如2套均为 $400 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;或2套为 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、1套 $600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,均可实现 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的建设规模。

如果单套装置规模太小,处理量小,装置效率就低,而投资却没降低;另外,装置生产能力太小,体积流量较小,其效率也不可能提高,能耗较高。

若单套规模太大,如为 $600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,脱硫装置溶液循环量为 $700 \text{ m}^3/\text{h}$,硫磺回收规模为 $26.8 \times 10^4 \text{ t}/\text{a}$,则脱硫吸收塔直径为4.0 m,脱硫再生塔直径为5.2 m,硫磺回收主燃烧炉和废热锅炉的直径都将超过5.0 m,SCOT尾气处理的急冷塔、吸收塔、再生塔直径都将超过4.6 m。为便于非标准设备的制造和运输,塔、炉的直径应控制小于3.6 m,同时为尽量减少工厂检修时对供气的影响,工厂装置按并列2~3条生产线设置较为理想。

应考虑工程分期建设,并选择能实现规模收益递增的装置经济规模。

工厂一期规模为 $600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,装置2套,单套规模为 $300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;二期规模为 $200 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,1套装置。最后形成 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的生产规模,即主体工艺装置设置为3套,3套装置组合应用,并共用

1 套公用与辅助装置。

2.3 关键工艺技术方案设计

大型高含硫净化工程设计中,大部分工艺和装置易确定,但关键装置——硫磺回收和尾气处理工艺及装置仍然需比选、优化。

2.3.1 硫磺回收

(1)该方案设计基本要求有高的硫磺回收率。辅助功能需要有扩能潜力,能适应高效催化剂。从脱硫装置出来的酸气,其量约为 35 000 m³/h,酸气潜含硫量约为 38 t/h。

(2)供选择的工艺方法有:常规克劳斯、富氧克劳斯、克劳斯延伸类工艺(如 MCRC、Superclaus)。

克劳斯延伸类工艺投资较大,操作费用高。富氧克劳斯按一列设置时,投资比其他 2 种工艺省,但当装置检修时,必须全厂停产;若按 2 列设置,投资高,操作费用大,扩能潜力小。

常规克劳斯工艺技术成熟可靠,经济合理,设置为并行的 2 列,可以保证对下游的平稳供气,且在今后扩建时,只需将空气中氧气体积分数提高到 30% 左右,就可将该工艺改造为低浓度富氧克劳斯工艺,处理能力大约可提高 30%^[1]。

硫磺回收装置三级常规克劳斯工艺比二级常规克劳斯工艺多 15% 的投资(2 套共计投资约 600 万美元),宜选用二级克劳斯工艺。

2.3.2 尾气处理

(1)技术参数控制:硫磺回收装置加尾气处理装置的总硫回收率应不小于 99.8%,尾气经焚烧后排放,且排放废气中的 SO₂ 质量浓度不大于 960 mg/m³,满足《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)的要求。

该方案设计要求:废气中 H₂S 浓度低,SO₂ 的排放量低,总硫磺回收率高;环境污染小,化学品消耗少,吸收液硫容量大。

(2)还原吸收法的选择

目前比较常用的还原吸收法有 SCOT 法、HCR 法、RAR 法。采用 HCR 工艺或 RAR 工艺在投资、能耗、操作费用方面比采用 SCOT 工艺略低。但 SCOT 工艺应用最为广泛,已不需支付专利费,总硫磺回收率可达 99.8%,国内已成功应用 5 套该工艺,基本掌握了该项技术,并积累了一定的操作经验。

SCOT 工艺中,目前应用较普遍的工艺有标准 SCOT 工艺和串级 SCOT 工艺。

串级 SCOT 工艺的缺点:增大了脱硫装置再生塔负荷;操作有难度;当尾气处理装置出现故障时,

SO₂ 有可能渗透到脱硫装置,影响到脱硫装置的正常操作,对设备造成严重腐蚀。该工艺的优点:①投资略省;②公用工程消耗低;③设备维护费少;④设备占地面积小,节约用地。

因此,该厂尾气处理技术可选用目前应用最为广泛的串级 SCOT 工艺。

2.4 关键装置的采购

采购方式有:合作设计合作制造,国外设计国内制造,国外成套引进(含设计、制造、采购),国外设计、国外制造主体、国内制造附属设施等。

设备供应方式分析。为了保证关键装置长期、连续、稳定可靠的运行,保证装置不对配套工程产生任何不利影响,关键装置应选择高质量的设备。因此,一套合格的主体装置的建设必须有一个合理的投资费用支撑,费用选择并非是非价格最低。净化工程项目属技术密集型,应有合理价格。国内设计和制造,虽然可以降低整体装置的投资,但关键装置的设计和制造,国内均未有成功案例。新建装置采用国际公司流程和关键设备引进,虽然其投资费用要比国内设计和制造费用高,但运行费用却可大大降低,且装置运行稳定,效率高、能耗低,可保证装置取得更大的经济效益。

采用国内设计,大部分设备可用国产,关键装置依托进口,既节约建设总投资,又引进了技术,缩短了建设周期。作为大型项目,在高含硫天然气开发背景下,此设计、制造、采购方式可以起到示范作用。

对于大型高含硫关键装置,由于国内设计、制造缺乏经验,选择成熟、典型工艺——二级克劳斯工艺和串级 SCOT 工艺,并从国外成套引进,仍不失为一种可行的办法。

3 装置、设备设计

3.1 设备的基本问题

3.1.1 设计原则的制定

(1)应尽快制定行业标准或规程——《高含硫天然气重点装置主要设备、管道的选材和设计规范》。针对不同硫含量、酸值、操作温度、压力、部位等,给出天然气钻采、集输、处理过程中的设备及管道设计选材原则和腐蚀数据。

(2)天然气净化既属于天然气开发范畴,又有化工特征,因而其“准化工”性质的工艺管道和阀门的设计,更应遵守化工装置设计安装要求:要求功能合理、结构紧凑、层次清晰、操作方便、安全可靠、美观协调^[2]。

(3)选型和选材的基本原则:技术先进、安全可靠、经济合理。

3.1.2 设备备用

相同设备个数选择,应考虑2个问题:一是备用系数,二是工况变化范围。运行的设备越多,开工率越高,备用系数越小,成本才越低。需连续运转的机器应有备用设备,而静止设备一般不需备用;不当的备份,就是闲置,造成成本的增加。天然气过滤器、溶液过滤器的设置要结合其频繁的操作、清洗方便等因素来考虑备用问题。

3.2 典型设备设计

3.2.1 过滤器

由于进厂含硫天然气的组成比理论上要复杂得多,因而原料气的分离与过滤问题就更加突出。滤料的筛选和研究是过滤技术的关键。由于滤芯的堵塞与清除是技术难点,过滤分离器可考虑在线清除和在线监测。

注意过滤的好坏与溶液发泡有关。由于脱硫溶液过滤量只是溶液循环量的30%,更应分析天然气过滤器、溶液过滤器与脱硫吸收塔发泡拦液、换热器管道堵塞的连锁关系。

3.2.2 吸收塔

目前国内天然气脱硫装置吸收塔、汽提塔多用浮阀塔,塔径较小时也用填料塔。当原料气组成、压力及处理量确定后,要减少塔径和壁厚,就须选用比浮阀塔板性能更好的塔板,例如多溢流(双溢流、四溢流)复合斜孔塔板、导向浮阀塔板等。多溢流复合斜孔塔板具有气液通量大,分离效率高,阻力小,操作弹性大,不易堵塞等优点,特别适用于液相负荷较大的精馏塔、吸收塔和解吸塔。从而大大降低塔径、壁厚和投资。

考虑到脱硫装置溶液循环量为 $350\text{ m}^3/\text{h}$,就应注意双溢流浮阀塔板、多溢流复合斜孔塔板及其他高效塔板的比较。

3.2.3 汽提塔

由于汽提塔上部酸气中 CO_2 含量高,工作温度

也较高(一般为 100°C),故在设备长期运行后腐蚀比较严重。因此上部筒体、塔板、浮阀或填料材质均应采用不锈钢。

汽提塔下部温度虽然较上部高(一般为 120°C),但因塔下部气相中 CO_2 含量较少,所以腐蚀并不严重,因此筒体下部材质采用碳钢即可。

3.2.4 换热器

贫/富液换热器一般采用管壳式或板式换热器。当选用管壳式换热器时富液走管程。为减轻腐蚀和减少富液中 H_2S 、 CO_2 的解吸,富液出换热器的温度不宜太高^[2]。此外,为防止介质流速过高会冲蚀掉硫化铁保护层而导致高腐蚀速率,富液在管线内的流速一般是贫液流速的50%。贫/富液换热器管束通常为不锈钢(介质为富液)。橇装化装置多选用结构紧凑的板式换热器。

3.2.5 硫磺成型装置

由于硫磺产量约为 900 t/d ,粉尘须控制和吸收。因此,选用2~4套造粒装置最适宜,单套生产能力应 $\geq 15\text{ t/h}$,每套每天平均运转时间不少于16h,称重、封口、包装、码垛、搬运装置与成型机要配套;硫磺储场、罐、池应满足设备出故障无法处理液硫或硫磺滞销时大储量的储存,甚至应能满足液硫的直接外销。

4 结语

规划建设的川东北气矿罗家寨天然气净化厂是“五高”(高含硫、高压、高产、高风险及高投入)“一大”(硫磺量大)工程,其规模和难度均据亚洲第一。处理好工程设计中的技术问题是当前和今后都需解决的重要课题。笔者对该工程进行了简单分析,希望能对国内同类行业工程建设提供借鉴,同时促进我国西南油气工业的可持续发展。

参考文献

- [1] 邱生鲁. 化学工程师技术全书[M]. 北京: 化学工业出版社. 2002.
- [2] 王遇冬, 王登海. 长庆气田含硫天然气设备及技术[J]. 石油机械, 2003, 31(21): 72-75. ■

阿克苏诺贝尔向帝国化学工业公司提出的现金收购建议

阿克苏诺贝尔公司的董事会和监事会,以及帝国化学工业公司(ICI)董事会已经联合宣布,就阿克苏诺贝尔对ICI全部已发行以及将发行的股份资本,双方已就有关条款达成了协议。阿克苏诺贝尔以每股6.7英镑、总价值80亿英镑(约162亿美元)的价格收购帝国化工。

与收购ICI相关的是,阿克苏诺贝尔和汉高公司达成

协议,阿克苏诺贝尔将向汉高出售ICI集团内“粘合剂业务部”和“电子材料业务部”名下的所有资产及债项,这两个业务部门是ICI的国民淀粉(National Starch)业务部的一部分,出售价格为现金27亿英镑(40亿欧元)。这项与汉高的交易并不是阿克苏诺贝尔完成收购ICI的条件,该交易预计在收购生效日之后进行。(苗芄)