

高含硫天然气净化厂设计特点

刘家洪, 康智, 周平, 王远江

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘要:根据正在建设中的罗家寨天然气净化厂工程前期研究、国外考察、科技攻关、引进基础设计及设备采购、制造等情况, 结合铁山坡天然气净化厂前期研究和技术交流情况以及高含硫天然气净化厂的特性, 介绍了高含硫天然气净化厂主要的设计特点。

关键词:高含硫; 天然气; 净化厂; 设计; 特点

文章编号: 1006-5539(2006)03-0052-04

文献标识码: A

0 前言

我国天然气生产主要集中在西南油气田分公司、长庆油田分公司和塔里木油田分公司。目前, 长庆油田分公司和塔里木油田分公司的主力气田均为低含硫气, 但西南油气田分公司在未来十年规划中将川东北地区储量丰富的高酸性天然气田作为未来的主力接替气田进行大规模开发生产, 预计 2010 年高酸性天然气将达到 $80 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 的产能。

近年来, 随着人们环保意识的日益增强, 世界各国制定出更严厉的环保法规, 以进一步控制有害污染物的排放; 另一方面, 随着石油价格的高涨, 作为一种清洁燃料和可代替的化工原料, 天然气的资源地位越加突出, 国内外十分重视发展天然气产业, 加快开发探明储量较大的高含硫气田已势在必行, 天然气处理是高含硫气田开发必不可少的中间环节。

高含硫天然气处理具有产品率低、单位能耗高、高含硫介质腐蚀性强、危险等级高等特点, 采用安全、先进、经济合理、成熟可靠的处理工艺技术尤其重要。本文根据正在建设中的罗家寨天然气净化厂工程(总处理规模为 $900 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 单套处理规模为 $300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 原料气中 H_2S 含量为 11.5%, CO_2 含量为 8%, 原料气压力为 7.3 MPa) 的前期研究、国外考察情况、科技攻关、引进基础设计及大型设备采购、制造等情况, 结合铁山坡天然气净化厂工

程(总处理规模为 $600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 单套处理规模为 $300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 原料气中 H_2S 含量为 15%、 CO_2 含量为 6.3%, 原料气压力为 8.4 MPa, 有机硫含量为 $530.6 \text{ mg}/\text{m}^3$) 的前期研究和几家国外大公司的技术交流情况, 介绍高含硫天然气净化厂的设计特点。

1 高含硫天然气净化常用的工艺技术路线

根据罗家寨天然气净化厂工程主体装置基础设计招标时投标商的技术方案和就铁山坡天然气净化厂与外商的技术交流情况, 国外对高含硫天然气处理普遍采用以下工艺技术路线:

1.1 当原料气中有机硫含量高(为满足总硫要求, 必须脱除有机硫)

鉴于脱硫装置与尾气处理装置采用的脱硫溶剂不同, 普遍采用图 1 所示的工艺技术路线。

脱硫采用 Sulfionl-M 法、脱水采用 TEG 法、硫磺回收采用二级 Claus 工艺、尾气处理采用标准 SCOT 工艺(溶液采用 MDEA 水溶液)。

1.2 当原料气中有机硫含量低(将 H_2S 脱除后, 总硫即可满足要求)

由于脱硫装置与尾气处理装置采用的脱硫溶剂相同, 为降低工程投资和装置能耗, 普遍采用图 2 所示的工艺技术路线。

收稿日期: 2005-11-29

作者简介: 刘家洪(1972-), 男, 四川合江人, 工程师, 学士, 1996 年毕业于中国石油大学(北京)化学工程系, 主要从事油气加工设计工作。电话: (028)86014327。

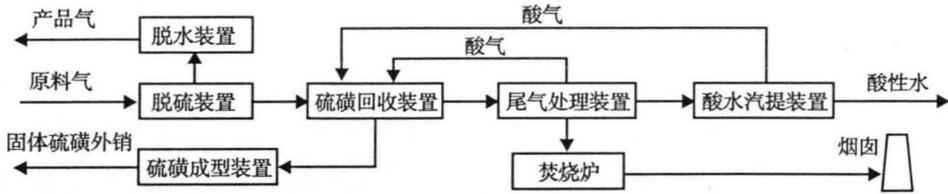


图 1 脱硫装置需脱除有机硫时的工艺技术路线

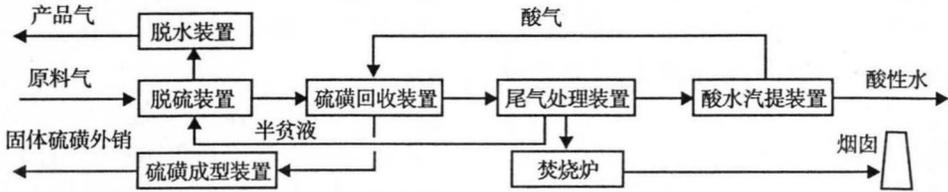


图 2 脱硫装置不需脱除有机硫时的工艺技术路线

脱硫采用 MDEA 法、脱水采用 TEG 法、硫磺回收采用二级 Claus 工艺、尾气处理采用串级 SCOT 工艺。

1.3 当原料气中有机硫含量高的高含硫天然气净化工艺技术路线发展趋势

针对尾气处理装置脱硫吸收塔底富液再吸收酸

气能力强的特点,为降低工厂总的溶液循环量,降低工程投资和操作费用,将 H_2S 和有机硫的脱除分两步完成,首先利用尾气处理装置的 MDEA 富液作为脱硫装置 I 的贫液将原料气中的 H_2S 和有机硫部分脱除,大大降低进入脱硫装置 II 的 H_2S 含量,然后在脱硫装置 II 中采用 Sulfinol-M 脱出剩余的 H_2S 和有机硫,工艺技术路线,见图 3。

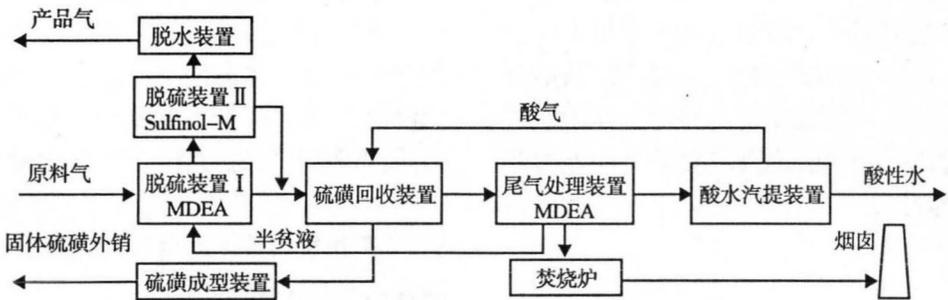


图 3 脱硫装置分两步脱除 H_2S 和有机硫时的工艺技术路线

脱硫装置 I 采用 MDEA 法、脱硫装置 II 采用 Sulfinol-M 法、脱水采用 TEG 法、硫磺回收采用二级 Claus 工艺、尾气处理采用串级 SCOT 工艺。

从上述普遍采用的技术路线可以看出,典型的高含硫天然气净化厂一般包括脱硫、脱水、硫磺回收和尾气处理等工艺装置。目前,国内外有关天然气净化的工艺方法上百种,但主流技术仍然是胺法脱硫、三甘醇脱水、克劳斯硫磺回收、尾气处理(还原吸收法或其它)工艺。这条路线对各类含硫原料气均具有较好的适应性和技术经济性能,因而得到广泛的应用,且积累有丰富的实践经验。

2 高含硫天然气净化厂的特性

同等规模的高含硫天然气净化厂与中低含硫天

然气净化厂相比,存在以下主要特点:

- a. 原料气中 H_2S 含量高。
- b. 溶液循环量较大,装置能耗较高。

罗家寨天然气净化厂工程(原料气中 H_2S 含量为 11.5%、 CO_2 含量为 8%)的综合能耗为每处理 $1 \times 10^4 m^3$ 原料天然气耗能 19 753 MJ(相当于天然气 $612 m^3$),铁山坡天然气净化厂工程(原料气中 H_2S 含量为 15%、 CO_2 含量为 6.3%、有机硫含量为 $530.6 mg/m^3$)综合能耗为每处理 $1 \times 10^4 m^3$ 原料天然气耗能 16 233 MJ(相当于天然气 $503 m^3$)。而中、低含硫的忠县天然气净化厂(原料气中 H_2S 含量为 $7 \sim 9 g/m^3$ 、 CO_2 含量为 $23 \sim 30 g/m^3$)综合能耗为每处理 $1 \times 10^4 m^3$ 原料天然气耗能 1 849.2 MJ(相当于天然气 $61.4 m^3$),垫江分厂、渠县分厂、长

寿分厂分别为每处理 $1 \times 10^4 \text{m}^3$ 原料气的耗能量分别为 3 398, 4 912, 3 465 MJ。高含硫天然气净化厂的能耗远远高于中、低含硫天然气净化厂。

c. 设备较大, 设备选材、制造要求更高。

d. 酸气含量高, 事故放空环境危害性较大。

e. 高含 H_2S 和 CO_2 介质具有极强的腐蚀性, 会导致高含硫介质设备材质的化学失重腐蚀、硫化物应力开裂(SSC)和氢诱发裂纹(HIC)等。

f. 硫磺回收尾气中含硫量高, 需设尾气处理装置, 工艺流程长。

g. 危险等级高。

3 高含硫天然气净化厂设计特点

国外对高含硫气田的开发已有几十年的经验, 天然气净化技术, 特别是硫磺回收和尾气处理技术方面有了长足的发展。目前脱硫、硫磺回收及尾气处理装置已向大型化、自动化、组合化方向发展。特别是尾气处理技术已开发出数十种工艺。其中还原吸收类尾气处理技术, 不但硫收率高, 而且工艺成熟, 装置数量占全部尾气处理装置的半数以上。这类方法如 Scot, BSR/MDEA, HCR, RAR 等, 从溶剂配方, 溶液再生方式或参数设定调整等方面不断改进, 以节约投资, 降低消耗, 提高装置的适应能力和运行维护的可靠性。下面简要介绍高含硫天然气净化厂主要设计特点:

3.1 工艺流程较长

一般情况下, 高含硫天然气净化厂硫磺回收规模大, 为满足国家现行环保标准 GB 16297 - 1996《大气污染物综合排放标准》、环函[1999]48号及报批中的《天然气净化厂污染物排放标准》的规定, 最低硫磺回收率限值为 99.8%。若仅设备硫磺回收装置, 不对回收尾气作进一步处理, 无论采用常规克劳斯、富氧克劳斯、克劳斯延伸类工艺中的任何一种工艺均不能满足环保标准及相关文件的要求, 故需在硫磺回收装置后再加尾气处理装置。主体工艺装置包括脱硫、脱水、硫磺回收、尾气处理及附属酸水汽提装置, 工艺流程较中、低含硫天然气净化厂长。

3.2 厂址应尽量靠近气田

考虑到气田集输湿气输送管道的安全风险, 要求集输管道应尽量短等, 厂址应尽量靠近气田。

3.3 控制系统完善, 自动化程度高、控制精确

硫磺回收装置主燃烧炉、空气/酸气最佳比率控制(ABC系统)方案; 尾气在线炉优化控制方案, 综合在线炉燃料气/空气的理论当量和次化学当量燃烧、反应器进出口温度的关系、急冷塔出口氢气浓度等综合因素, 实现尾气处理装置的整体优化; 尾气灼烧炉的优化控制方案, 灼烧炉出口温度和过剩氧的内在关系等因素。

3.4 安全系统的高可靠性

针对高含硫天然气处理厂危险等级高的情况, 重点对工厂联锁保护系统的设置进行了优化设置。各工艺装置建立内在联系, 装置内部和各装置间设置联锁保护系统因果关系; 确定了联锁保护系统的安全等级; 全厂紧急停车的重要事故信号源多重设置, 避免误动作; 联锁保护系统增加超越开关和事故源的旁路; 设置联锁保护系统动作前的预报警。

针对高含硫天然气处理厂危险等级高的情况, 重点对工厂联锁保护系统的设置进行了优化设置。各工艺装置建立内在联系, 装置内部和各装置间设置联锁保护系统因果关系; 确定了联锁保护系统的安全等级; 全厂紧急停车的重要事故源多重设置, 避免误动作; 联锁保护系统增加超越开关和事故源的旁路; 设置联锁保护系统动作前的预报警。

3.5 采用气田整体综合自动化方案, 最大限度减少高含硫气的排放气量

气田内部集输、处理厂、外输采用一套 DCS、SCADA 综合控制系统以及辅助设备对气田井口、集气站、净化厂工艺装置、辅助生产设施及重要的公用设施进行集中监视、控制和管理, 当工厂出现停电、设备故障或操作失误等原因时, 自动控制系统立即切断上游气源, 减少排放气量, 并将排放气引至火炬系统燃烧后排放, 降低对环境的污染。

3.6 采取切实有效的节能措施, 降低工厂能耗

针对高含硫处理装置转动设备负荷大、同时硫磺回收等装置可回收能量高等特点, 脱硫装置的溶液循环泵采用能量回收透平驱动, 以回收高压富胺液的部分能量; 换热器选用效率高的板式换热器; 根据全厂蒸气平衡和能耗设备负荷情况, 合理确定高低位热能, 尽量利用蒸气驱动转动设备和用作加热设备的热源等, 硫磺回收装置主风机采用蒸气透平

驱动、硫磺回收装置再热炉采用蒸气再热、脱水装置 TEG 再生加热采用中压蒸气加热;大型用电设备采用变频调速等,大大降低了工厂能耗。

3.7 对用于高含硫天然气介质的设备材质作严格要求

高酸性湿环境工况用材料除符合相应材料标准的规定外,应对原材料的化学成分特别是 P、S 含量进行严格控制,并按规定进行抗硫化物应力开裂(SSC)试验和抗氢致开裂(HIC)试验;管线、设备原材料应进行超声检测,符合所用材料的标准规定,不允许材料内部存在白点、裂纹、气孔等缺陷;对材料晶粒度按 GB/T 6394 规定检测,进行控制;材料非金属夹杂物,偏析等应进行分析控制等,确保用于高含硫介质的设备材料的适应性。

3.8 对设备制造质量要求

针对高含硫介质的腐蚀特性,对设备制造过程的焊接和焊后热处理作严格要求。

焊接:所有焊缝均应经焊接工艺评定,包括对焊、补焊、管子与管板焊接、堆焊、角焊等;在满足强度要求的前提下,尽可能采用低强度焊接材料;焊接工艺评定、焊接试板及每一种焊接工艺施焊的产品焊缝应进行硬度测定;焊缝外的起弧、打弧点在焊后热处理前打磨到位,并作磁粉或着色检查;所有焊接接头尽可能不留下封闭的中间空隙;铁素体钢与奥氏体钢之间不用异种金属焊接接头等。

焊后热处理:承压设备、管道的焊缝应进行整体

热处理,然后进行验证抗硫化物应力开裂(SSC)试验和抗氢致开裂(HIC)试验;产品进行整体热处理后,应对焊缝、母材和热影响区硬度进行检测控制。

3.9 配备必要的安全防护设施

除配备固定式 H₂S 报警仪、便携式 H₂S 报警仪、空气呼吸器等常规安全防护设备外,针对高含硫天然气净化厂实际情况,建议在适当场所设置一定数量庇护所。

3.10 硫磺成型工艺技术

通过国外考察研究,结合川东北高含硫天然气净化厂的硫磺量大的特点,在罗家寨天然气净化厂中采用了钢带造粒硫磺成型工艺,提高了硫磺的产品质量。同时硫磺产品采用了全自动包装码垛系统,大大减少了工人的劳动强度。

4 结束语

随着几个高含硫气田的陆续开发,罗家寨、铁山坡高含硫天然气净化厂的相继建设和投产(尤其是铁山坡天然气净化厂需脱除有机硫,而且原料气中 H₂S 含量达到了 15%),高含硫天然气净化工艺技术将在总工艺技术路线的选择、脱硫溶剂的选择、硫磺回收和尾气处理工艺的选择、工艺设备和材料的选型以及硫磺成型工艺等方面上一个新的技术台阶。

(上接第 46 页)

Demag Delaval, Thermodyn, Nuovo Pignone, AC, Elliott, 荏原, 三菱重工, 神户制钢等)均有选用 VORECON 配电动机变速调节控制天然气管道压缩机或其它压缩机的成功经验。展望在天然气管道输送方面,无论新建还是改建的增压站项目中,电动机用 VORECON 变速驱动离心压缩机有较大的发展潜力。

参考文献:

[1] Ryrie J. MOPICO-Electric Driven Gas Pipeline Compressor[Z]. German: Ryrie J. 2001.

[2] 戴家齐,叶德丰.世界管道手册[M].北京:石油工业出版社,2003.

[3] Voith Turbo. Vorecon Variable Speed Planetary Gear [Z]. German: Voith Turbo. 2003.

[4] VDI Report Nr. 1425. Speed Control of Turbocompressors[A]. German: VDI Report Nr. 1998.

[5] 卢鹏飞.离心压缩机各种变速驱动机的比较和选择[J].石油化工设备技术,2005,26(3):43-49.

[6] Sautter W. Driving Without Gas[J]. World Pipeline. April, 2003.

[7] Voith Turbo. Variable-Speed Drives for The Oil, Gas and Petrochemical Industry[Z]. German: Voith Turbo. 2000.