

天然气脱水装置 BTEX 和 VOC 减排措施研究

刘 佳¹ 邓道明¹ 万宇飞²

1. 中国石油大学(北京)油气管道输送安全国家工程实验室 / 石油工程教育部
重点实验室 / 城市油气输配技术北京市重点实验室, 北京 102249;
2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452

摘 要:天然气脱水装置 BTEX 和 VOC 的排放是备受关注的环保问题。综述了国外天然气脱水装置 BTEX 和 VOC 的主要减排措施——燃烧、冷凝回收、优化脱水工艺以及一些其他减排措施。通过对满足环保要求并取得良好经济效益的 StripBurn 系统、R-BTEX 工艺和 Drizo 工艺进行详细模拟分析可得:StripBurn 系统的能耗随着闪蒸压力和汽提气量的减小而减小;Drizo 工艺的能耗随着冷凝温度的上升而降低。指出了各种减排措施的优缺点,因 StripBurn 系统具有节能、环保、经济、脱水深度大等优势,推荐采用 StripBurn 系统减少天然气脱水装置 BTEX 和 VOC 的排放。

关键词:天然气;脱水;BTEX 排放;VOC 排放;减排措施

DOI:10.3969 /j. issn. 1006 - 5539. 2016. 03. 010

0 前言

天然气采出后一般都含有水蒸气,过量水蒸气的存在不仅会降低商品天然气管道的输送能力,还可能在输送过程中形成水合物,造成堵塞。如果气体中含有酸性气体,还会加剧管道的腐蚀。为了天然气集输、长输的需要,应对采出后的原料天然气进行脱水处理^[1]。天然气脱水系统广泛应用低温冷凝脱水工艺和甘醇吸收脱水工艺^[2],此二者都需要对醇溶液进行再生。在常规脱水吸收剂常压高温再生中,BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene) 和 VOC (volatile organic compounds) 等大气污染物伴随着水蒸气被排放到大气中,污染源可通过大气扩散,在环境中累积并产生持久危害,对人体健康、大气环境质量和气候产生严重影响。

随着页岩气、致密气成为开采热点,天然气脱水装置的节能环保问题备受关注。因此,有必要对天然气脱水装置 BTEX 和 VOC 减排措施进行研究。目前天然气脱水装置 BTEX 和 VOC 的主要减排措施有燃烧、冷凝回收、优化脱水工艺以及一些其他减排措施。

1 燃烧

通过燃烧减少 BTEX 和 VOC 的排放一直备受青睐,燃烧装置得以不断改进。由于气体燃烧必须要考虑燃点、燃烧时间、燃烧气体的组成、氧气等因素,因此脱水装置的尾气组成和通风方式可直接影响通过燃烧减少天然气脱水装置 BTEX 和 VOC 排放的效果。Franklin 等公司早已开发出了专用于三甘醇(TEG)脱水装置尾气排放的燃烧系统,该系统设计了专用基准型、助风型及大处理量型的燃烧装置,具有经济、环保等优点^[3]。

1.1 火炬装置

火炬装置是常规脱水装置中控制污染物排放最简单、经济的装置,通常由高架火炬、分液罐、分子封、点火系统等组成。根据排放气体排放压力的不同,火炬一般分为高压放空火炬和低压放空火炬^[4]。火炬可以烧掉天然气脱水装置中排放的气态产物,但在实际操作时会凝结产生烟雾,造成不完全燃烧,未被充分燃烧的烃类在排放时会产生黑烟,污染空气,导致排放物无法满足环保要求。此外,火炬在燃烧过程中还需补充燃料或配

收稿日期:2015-09-11

作者简介:刘 佳(1992-),女,陕西渭南人,硕士研究生,主要从事油气田地面工程研究。

备辅助火焰,需要额外的能耗^[5]。

1.2 StripBurn 系统

为满足相应的环保要求,燃烧装置一直得以不断优化,StripBurn 系统能较好地解决 BTEX 和 VOC 减排的问题。该系统利用闪蒸气作为气提柱的汽提气,再生塔塔顶外排气经过冷凝后,不凝气和补充气作为再沸炉的燃料^[6]。由于将脱水装置尾气中的 BTEX 和 VOC 作为燃料,因此该系统在充分利用资源的同时还降低了天然气脱水的燃料费用。该系统的关键是控制气体流量平衡(燃料气、闪蒸气、汽提气)及保证脱水装置尾气的充分燃烧。通常情况下,首先基于对 TEG 脱水装置能耗的优化来确定燃料气流量,其次通过调节脱水装置闪蒸罐的压力和温度来控制闪蒸气流量,然后在保证天然气露点降的前提下选择合适的汽提气流量,最后根据不凝气流量对燃料气进行补充,最终达到减少污染和节约能耗的双重目标。重沸器的主燃烧器作为脱水装置尾气燃烧的重要装置,可采用自然或强制通风方式以保证尾气的充分燃烧。

StripBurn 系统有以下优点:

- 1) 从再生塔排放的气体可被完全燃烧。
- 2) 使用气提对 TEG 进行提浓, 减少了 TEG 的循环量; 使用不凝气作为重沸器的燃料, 降低了燃料气的消耗。

3) VOC 大量存在于混合气中, 冷凝水中 VOC 的含量非常少, 因此, 污水中污染物的含量低。

4) 没有 BTEX 和 VOC 被排放到大气中,不需要相应的环境监测。

2004 年, ExxonMobil 公司引进了基于 StripBurn 系统的自然通风型主燃烧器对再生塔燃烧炉进行改造, 使 BTEX 和 VOC 在燃烧炉内被完全燃烧, 实现了 BTEX 和 VOC 的零排放^[7]。2004 年, Kinder Morgan 公司的 Fandango 气体处理厂为解决贫 TEG 浓度需达到 99.75 % 以实现大露点降的问题, 引进了 StripBurn 系统, 恢复气提再生, 重沸器采用自然通风型主燃烧器, 使得 TEG 浓度达到相应脱水深度要求, 同时大大降低了该装置的能耗; 之后该系统一直可靠运行^[6]。2005 年 12 月, Duke 能源公司也引进了 StripBurn 系统作为 Moss Bluff 处理厂改造的一部分。由于 BTEX 和 VOC 的 100 % 回收达到了环保要求, 且回收的不凝气作为 TEG 重沸器的主要燃料, Duke 能源公司快速回收了改造投资^[7]。

为进一步分析 TEG 脱水装置中 StripBurn 系统的气体平衡影响因素,本文建立了 StripBurn 系统工艺计算模型^[8-10](图 1)。模拟的基准工况是:原料气组成见表 1,进料天然气温度为 36 ℃,压力为 5.5 MPa,日处理量 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。模拟过程选用 PR 方程^[11]。

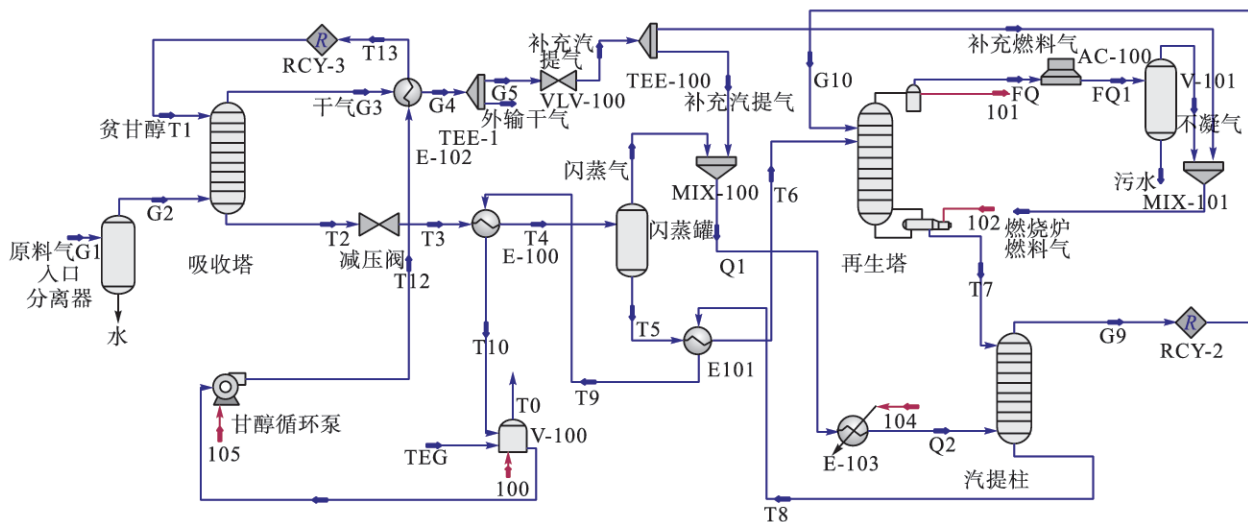


图 1 StripBurn 系统工艺计算模型

表 1 原料气组成

组分	摩尔分数 I (%)	组分	摩尔分数 I (%)
C ₁	90.42	C ₂	4.67
C ₃	1.03	<i>i</i> C ₄	0.17
<i>n</i> C ₄	0.19	<i>i</i> C ₅	0.08
<i>n</i> C ₅	0.04	<i>n</i> C ₆	0.09
<i>n</i> C ₇	0.1	<i>n</i> C ₈	0.01
<i>n</i> C ₉	0.01	N ₂	1.64
H ₂ O	0.32	CO ₂	1.01
苯	0.01	乙苯	0.01
二甲苯	0.01	甲苯	0.01

1.2.1 汽提气量

TEG脱水通常采用的汽提气量为 $0.02 \sim 0.05 \text{ m}^3/\text{L}$ 。由图2可见,露点降和重沸器热负荷随着汽提气量的增大而增大。在再生塔塔顶冷凝温度一定时,随着汽提气量的增大,再生塔塔顶回流量增大,同时导致重沸器热负荷增大。在TEG循环量一定时,TEG浓度随着汽提气量的增大而增大,天然气的露点降也随之增大。当汽提气量小于 $0.032 \text{ m}^3/\text{L}$ 时,闪蒸气流量随着汽提气量的增大而增大,但变化幅度很小。随着汽提气量的增加,TEG

浓度不断增大,对原料气中重烃的吸收能力增强;在 65 ℃、300 kPa 的条件下进行闪蒸,随着 TEG 富液中吸收重烃量的增加,解析出的闪蒸气不断增多。当汽提气量大于 0.032 m³/L 时,闪蒸气流量不随汽提气量的增大而改变。当 TEG 浓度达到一定值时,对原料气重烃的吸收达到饱和,闪蒸气流量不再变化。随着汽提气量的增大,补充汽提气流量增大,因为汽提气量的变化对闪蒸气的影响很小。

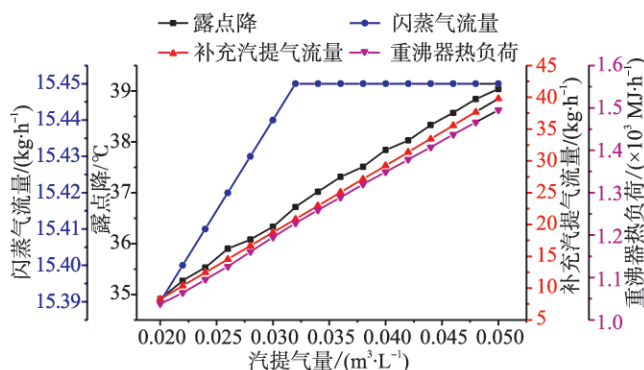


图2 汽提气量对露点降、闪蒸气流量、补充汽提气流量及重沸器热负荷的影响

1.2.2 闪蒸压力

由图3可见,在 TEG 循环量为 25 L/kg,汽提气量为 0.03 m³/L 时,闪蒸压力对露点降没有影响。闪蒸气流量随着闪蒸压力的增大而减小,补充汽提气量和重沸器热负荷随着闪蒸压力的增大而增加。在闪蒸温度为 65 ℃时,随着闪蒸压力的增大,闪蒸罐中直接从富液中解析出的烃类减少,闪蒸气流量减少,需要补充的汽提气量增大,从闪蒸罐中流出的富液中携带的烃类增加,轻烃汽化所需的热量增大,再生塔重沸器的热负荷增大。

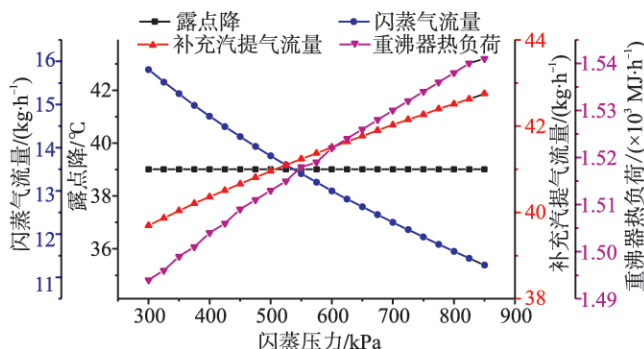


图3 闪蒸压力对露点降、闪蒸气流量、补充汽提气量及重沸器热负荷的影响

1.2.3 闪蒸温度

由图4可见,当 TEG 循环量和汽提气量分别在 25 L/kg、0.03 m³/L 时,闪蒸温度对露点降没有影响。闪蒸气流量随着闪蒸温度的升高而增加,补充汽提气量随着闪蒸

温度的升高而减小。闪蒸压力为 300 kPa 时,随着闪蒸温度的升高,从富液中解析出的烃类增加,闪蒸气流量增大,需要补充的汽提气量减小,从闪蒸罐中流出的富液中携带的烃类减少,轻烃汽化所需的热量减小,再生塔重沸器的热负荷减小。

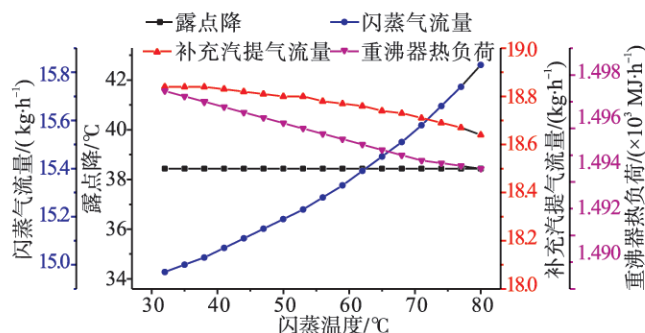


图4 闪蒸温度对露点降、闪蒸气量、汽提气量及重沸器热负荷的影响

通过对 StripBurn 系统的工艺计算分析得出:

- 1) 在满足气体露点降的情况下,减少汽提气量可以降低能耗;
- 2) 在一定吸收塔压力的情况下,闪蒸压力越低,StripBurn 系统能耗越小;
- 3) 建议富液闪蒸温度只靠贫/富液换热升温,不需要额外加热升温。

2 冷凝回收

冷凝回收的投资一般大于燃烧排放的投资,但可以回收资源、化害为利。冷凝回收可有效回收 BTEX,减轻污染,减少投资。目前已经开发了多种冷凝工艺,常见的冷凝工艺有空气冷凝、水冷凝、气体冷凝、甘醇冷凝和组合冷凝等工艺,其中空气冷凝具有设备简单、投资少、能耗大的特点。

2.1 R-BTEX 工艺

R-BTEX 工艺是 Radian 公司开发的一套专门用于处理 TEG 脱水装置排放气的冷凝工艺^[12],其技术成熟,且在经济、环保方面已取得较好效果,目前已得到广泛应用。在该工艺中,再生塔放空的水汽经过空冷器、水冷器两级冷却,在空冷器中,再生塔顶的排放物中大部分水和一部分烃被冷凝,部分凝液进入水冷器换热冷凝。该工艺中凝结水的温度可降至环境温度,因此可最大限度地将烃冷凝、回收^[3]。

TEG 脱水装置在相同 TEG 循环速率下,其天然气的脱水深度取决于 TEG 的浓度。在常压再生条件下,受 TEG 热分解温度的影响,重沸器的温度最高不应超过 204 ℃,相应贫 TEG 的质量浓度约为 98.5 %。TEG 再生过程中仅采取重沸器加热的常压再生方法的缺点是天

然气脱水深度较浅。若要进一步提高 TEG 浓度则必须采取降压、气提、共沸再生等其他措施。为满足气体脱水要求,TEG 再生通常采用气提提高 TEG 浓度,增大露点降。但在提高 TEG 浓度的同时,BTEX 和 VOC 排放量

会增大。为进一步分析采用气提提高再生 TEG 浓度时对 R-BTEX 工艺能耗和环保的影响,本文建立了采用气提再生 TEG 的 R-BTEX 工艺计算模型(图 5)。模拟的基准工况同 StripBurn 系统工艺计算的基准工况。

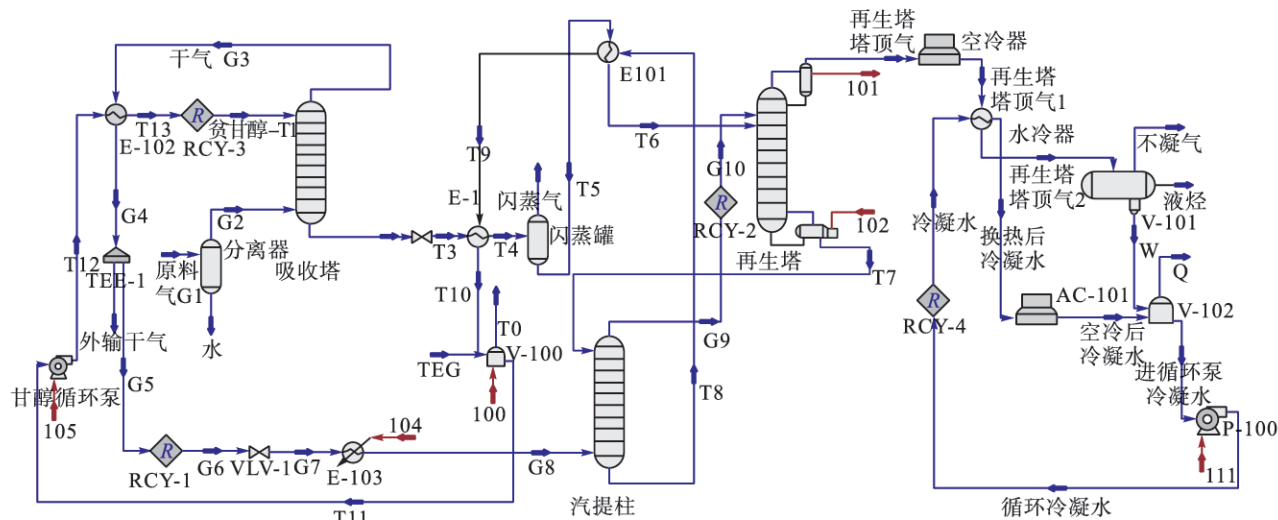


图5 采用气提再生 TEG 的 R-BTEX 工艺计算模型

由图 6 可见,BTEX 和 VOC 排放量随着汽提气量的增大而增大。在再生塔塔顶回流比一定的情况下,汽提气对 R-BTEX 工艺的能耗(为满足环保要求而增加的能耗,即空冷器、水循环泵的电耗)没有影响。在保证气体脱水深度的情况下,减少汽提气量能够减少 BTEX 和 VOC 的排放。

与水形成低沸点共沸物汽化,脱出甘醇中的水分。该方法可将 TEG 浓度提高到 99.999 %,降低了 TEG 的循环量和脱水能耗。常规 Drizo 工艺是将单一型共沸剂和重沸器内甘醇溶液混合,提高甘醇的浓度。改进后的 Drizo 工艺是将从 TEG 中解吸出的水和 BTEX 等冷凝后,物料进入三相分离器,BTEX 被回收作为共沸剂利用,分离出的水进入污水系统,不凝气外排。Saidi M 等人^[13]对使用单一型共沸剂的常规 Drizo 工艺和使用混合型共沸剂的改进后的 Drizo 工艺的环保效果和经济性进行了比较,认为若将脱水装置的不凝气直接外排,常规 Drizo 工艺比改进后的 Drizo 工艺的 BTEX 排放量低,但常规 Drizo 工艺的投资费用更高。使用改进后的 Drizo 工艺,将 BTEX 直接作为循环使用的共沸剂,不仅减少了 BTEX 的排放,同时变害为利,降低了投资。

为进一步分析 Drizo 工艺的能耗和环保效果,本文建立了 Drizo 工艺计算模型(图 7)。模拟的基准工况同 StripBurn 系统工艺计算的基准工况。

由图 8 可见,随着冷凝器冷凝温度的升高,Drizo 工艺的能耗降低。Drizo 工艺能耗的主要影响因素是冷凝温度,BTEX 和 VOC 排放量随冷凝温度的升高而增大。重沸器热负荷随着冷凝温度的增大而降低。在 BTEX 和 VOC 排放量满足环保要求时,可适当提高冷凝温度以降低 Drizo 系统能耗。

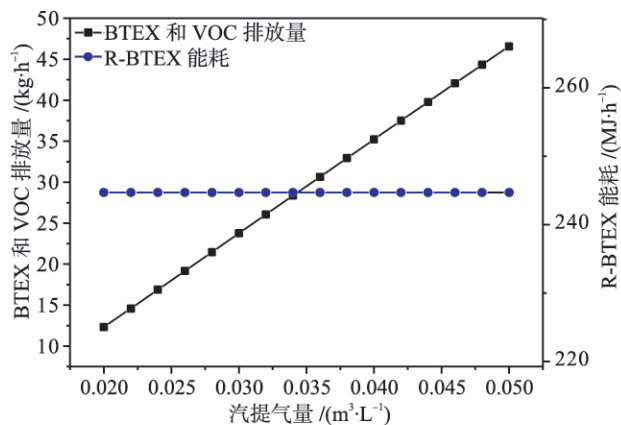


图6 汽提气量对 R-BTEX 能耗及 BTEX 和 VOC 的排放量的影响

2.2 Drizo 工艺

Drizo 工艺采用共沸再生的方法提高甘醇浓度,将 BTEX、异辛烷、正庚烷等易挥发的有机化合物作为共沸剂,

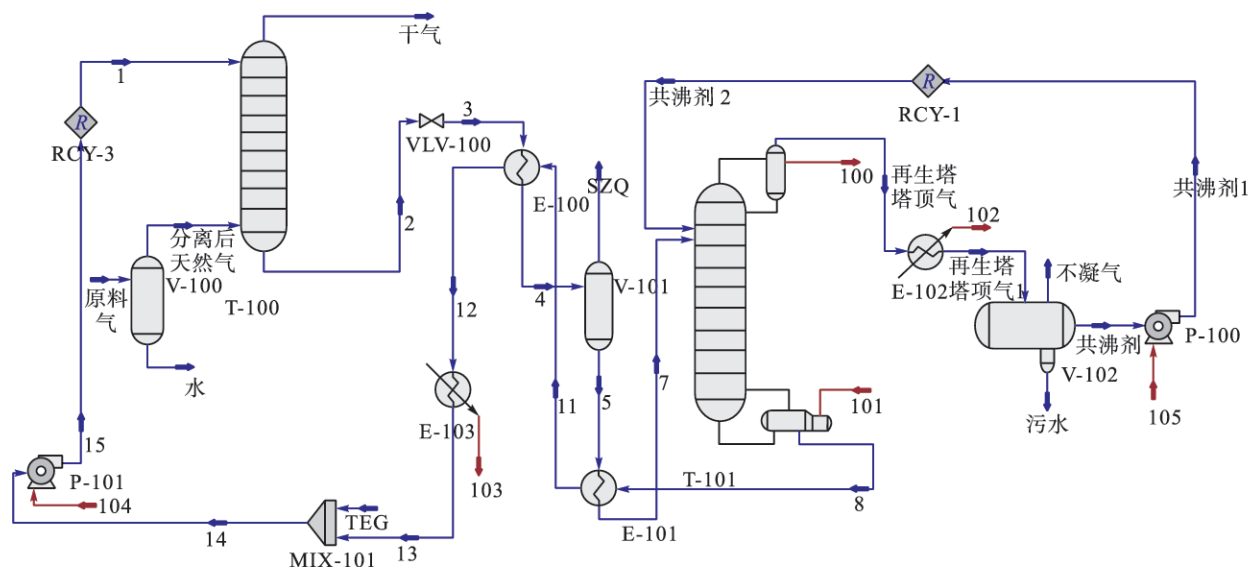


图7 Drizo 工艺计算模型

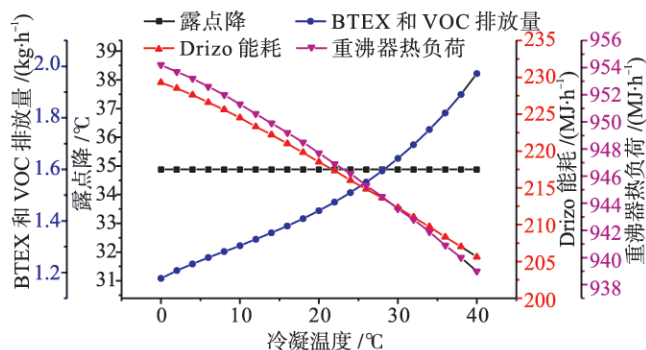


图8 冷凝温度对露点降、BTEX 和 VOC 排放量、Drizo 能耗及重沸器热负荷的影响

3 优化脱水工艺

优化脱水工艺,改变脱水装置操作条件,不仅可以节约能耗^[14-15],还可减少甘醇脱水装置 BTEX 和 VOC 的排放。优化脱水工艺参数可主要从减少甘醇对 BTEX 和 VOC 的吸收、增大 BTEX 和 VOC 的闪蒸以及减少再生塔 BTEX 的解析等方面考虑^[16]。

影响甘醇吸收 BTEX 和 VOC 的因素主要有甘醇种类、吸收塔的压力、温度。甘醇对重烃的亲合力随着甘醇碳原子数的增加而增加。因此,采用二甘醇(DEG)和乙二醇(MEG)替换 TEG 可有效减少脱水装置 BTEX 和 VOC 的排放。如脱水装置在 25 L/kg 的甘醇循环量下操作时,TEG 的 VOC 排放量比 MEG 的 VOC 排放量高 20 ~ 30 倍,TEG 的 BTEX 排放量比 MEG 的 BTEX 排放量高 5 ~ 10 倍^[17]。甘醇循环量是影响重烃吸收量的关键因素之一,提高 TEG 浓度并减小 TEG 循环量,是减少 BTEX 排放的一个行之有效的方法。甘醇对 BTEX 的吸收随着原料气压力的增大而增加,随着原料气温度的降低而增大。因此,降低吸收塔压力、提高吸收塔温度可

以减少 BTEX 的排放。此外,原料气中水及 CO₂ 含量的增加也会减弱甘醇对重烃的吸收^[3]。

通过闪蒸可以有效控制 VOC 的排放,合理的闪蒸条件可以有效解析甘醇所携带的重烃。适当提高闪蒸温度、降低闪蒸压力可以有效减少 VOC 的排放,同时也能减少 BTEX 的排放。可以通过降低再沸温度和减少汽提气量以减少再生塔 BTEX 的解析。

在满足天然气脱水要求的情况下,通过优化脱水装置的运行参数,使 BTEX 和 VOC 的排放达到最小^[18]。通过优化脱水工艺控制 BTEX 和 VOC 的排放,可减少投资,充分利用现有装置的性能,但该方法不能彻底解决 BTEX 对空气的污染,因此使用该办法时可以结合其他工艺,以达到更好的经济、环保效果。

4 其他减排措施

使用其他脱水工艺,如固体吸附法、膜分离法、超音速法等,可以减少甚至消除 BTEX 和 VOC 的排放,但需要做详细的技术经济比较。此外,减少天然气脱水装置 BTEX 和 VOC 的排放,还可借鉴其他行业挥发性有机气体的控制措施,如吸附法、吸收法、光催化还原法、电晕法、膜分离法等回收处理方法^[19-20],考虑到这些措施的经济和技术问题,其在天然气脱水装置尾气处理中的应用还有待进一步研究。

5 主要减排措施对比分析

火炬装置设施简单,能够方便地消除 BTEX 和 VOC 的污染,但没有充分利用燃烧产生的热能,对整套脱水装置的能耗节约、脱水效果没有任何改善,只是单一地解决了脱水装置的环保问题。

StripBurn 系统充分利用 BTEX 和 VOC,先将其作为

汽提气,后又将其作为重沸器的燃料,在较彻底地消除 BTEX 和 VOC 对环境污染的同时发挥 BTEX 和 VOC 的价值,且脱水效果较好。StripBurn 系统在经济、环保等方面非常有优势,是较经济可行的控制 BTEX 和 VOC 排放的措施。

R-BTEX 工艺将 BTEX 冷凝回收,不凝气 VOC 一般直接外排,环保效果受再生系统的影响。TEG 脱水装置中再生系统若仅采取重沸器加热的常压再生方法,得到的天然气脱水深度较浅。若再生系统选用气提再生,VOC 的排放量会增大,此时建议将不凝气作为燃烧炉的燃料使用。若再生系统选用共沸再生时,共沸剂的选择需要考虑凝液的处理方案。因此,R-BTEX 工艺适用于 BTEX 含量高的脱水装置。

Drizo 工艺将 BTEX 作为共沸剂,回收利用了 BTEX,但不凝气 VOC 一般直接外排,VOC 的环保效果受到影响,建议将不凝气通往燃烧炉作为燃料使用。

6 结论

通过对比燃烧、冷凝回收、优化脱水工艺等天然气脱水装置 BTEX 和 VOC 减排措施可得:

1) 燃烧措施简单易行,投资操作费用低,但不能回收轻烃。

2) 冷凝回收的操作运行费用比燃烧的费用高,但可以部分回收轻烃,环保效果受脱水装置再生系统的影响。

3) 优化脱水工艺可以免去对设备的改造,但控制 BTEX 排放的效果有限,往往需要与其他工艺结合才能达到环保要求。

(4) 从技术经济方面综合考虑,推荐优先考虑 Strip-Burn 系统。

参考文献:

- [1] 陈赓良. 天然气采输过程中水合物的形成与防止[J]. 天然气工业, 2004, 24(8): 89-91.
Chen Gengliang. Formation and Prevention of Hydrate During Process of Gas Exploitation and Transmission [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24 (8): 89-91.
- [2] 陈赓良. 天然气三甘醇脱水工艺的技术进展[J]. 石油与天然气化工, 2015, 44(6): 1-9.
Chen Gengliang. Technical Progress of TEG Dehydration Progress in Natural Gas Industry [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2015, 44 (6): 1-9.
- [3] 王开岳. 甘醇脱水中的芳烃排放及控制措施[J]. 油气田地面工程, 1997, 16(5): 21-24.
Wang Kaiyue. Aromatic Hydrocarbon Emission and Control Measures in the Dehydration of Glycol [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 1997, 16 (5): 21-24.
- [4] 傅敬强. 天然气净化工艺技术手册[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
Fu Jingqiang. The Process and Technology Manual of Natural Gas Purification [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012.
- [5] Sivalis C R, 吕世铭. 甘醇脱水装置大气污染物排放的新标准及其控制措施[J]. 国外油田工程, 1996, 12(5): 25-29.
Sivalis C R, Lü Shiming. New Standards and Control Measures of Air Pollutant Emission from Glycol Dehydration Unit [J]. Foreign Oilfield Engineering, 1996, 12 (5): 25-29.
- [6] Hicks R, Gallaher D, Logue A. New Process Controls BTEX in Direct Fired TEG Reboilers [J]. Oil & Gas Journal, 2006, 104 (22): 58-65.
- [7] Hicks R, Gallaher D, Logue A. Stripburn Simple and Efficient BTEX Control for Direct Fired TEG Reboilers [C]// Gas Processors Association. Proceedings of Annual Convention. London: GPA, 2007: 881-898.
- [8] 缪 晖. 浅析 ASPEN PLUS 软件在三甘醇脱水工艺设计中的应用[J]. 天然气工业, 1995, 15(5): 67-72.
Miao Hui. Elementary Analysis of Application of ASPEN PLUS Software in TEG Dehydration Processing Design [J]. Natural Gas Industry, 1995, 15 (5): 67-72.
- [9] 刘家洪, 周 平. 浅析 HYSYS 软件在三甘醇脱水工艺设计中的应用[J]. 天然气与石油, 2000, 18(1): 18-19.
Liu Jiahong, Zhou Ping. Elementary Analysis of Application of HYSYS Software in TEG Dehydration Processing Design [J]. Natural Gas and Oil, 2000, 18 (1): 18-19.
- [10] 袁宗明, 王 勇, 贺 三, 等. 三甘醇脱水的计算机模拟分析[J]. 天然气与石油, 2012, 30(3): 21-99.
Yuan Zongming, Wang Yong, He San, et al. Analysis on Computer Simulation of TEG Dehydration [J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30 (3): 21-99.
- [11] Darwish N A, Al-Mehaideb R A, Braek A M, et al. Computer Simulation of BTEX Emission in Natural Gas Dehydration Using PR and RKS Equations of State with Different Predictive Mixing Rules [J]. Environmental Modeling & Software, 2004, 19 (10): 957-965.
- [12] Gamez J, Rueter C, Thompson P, et al. Pilot-Unit Testing of the R-BTEX Process [C]//SPE/EPA. Proceedings of Exploration and Production Environmental Conference. USA: SPE, 1993.
- [13] Saidi M, Parhoudeh M, Rahimpour M R. Mitigation of BTEX Emission from Gas Dehydration Unit by Application of Drizo Process: A Case Study in Farashband Gas Processing Plant, Iran [J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2014, 19 (7): 32-45.

- [14] 蒋洪,杨昌平,吴敏,等. 天然气三甘醇脱水装置节能分析[J]. 石油与天然气化工, 2010, 39(2): 122 - 127.
Jiang Hong, Yang Changping, Wu Min, et al. Analysis on Energy Saving of Natural Gas TEG Dehydration Unit [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2010, 39 (2): 122 - 127.
- [15] 张德元,王丽琼,蒲浩,等. TEG脱水装置能耗评价方法初探[J]. 石油与天然气化工, 2011, 40(2): 150 - 153.
Zhang Deyuan, Wang Liqiong, Pu Hao, et al. Preliminary Analysis on the Energy Consumption Evaluation Method of TEG Dehydrati
Gas, 2011, 40 (2): 150 - 153.
- [16] 刘佳,邓道明,何思宏. 影响 TEG 脱水装置 BTEX 排放的工艺因素分析[J]. 现代化工, 2015, 35(8): 160 - 164.
Liu Jia, Deng Daoming, He Sihong. Analysis of Process Factors Controlling BTEX Emission from TEG Dehydration Unit [J]. Modern Chemical Industry, 2015, 35 (8): 160 - 164.
- [17] Salamat R. Gas Dehydration Offshore or Onshore, How, How Much and Design Tips [C]// SPE. SPE International Production and Operations Conference & Exhibition. USA: SPE, 2012.
- [18] Braek A M, Almehaideb R A, Darwish N, et al. Optimization of Process Parameters for Glycol Unit to Mitigate the Emission of BTEX /VOCs [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2001, 79 (4): 218 - 232.
- [19] 王海林,张国宁,聂磊,等. 我国工业 VOCs 减排控制与管理对策研究[J]. 环境科学, 2011, 32 (12): 3462 - 3468.
Wang Hailin, Zhang Guoning, Nie Lei, et al. Study on Emission Reduction Control and Management of Industrial Volatile Organic Compounds (VOCs) in China [J]. Environmental Science, 2011, 32 (12): 3462 - 3468.
- [20] 马超,薛志钢,李树文,等. VOCs 排放、污染以及控制对策[J]. 环境工程技术学报, 2012, 2(2): 103 - 109.
Ma Chao, Xue Zhigang, Li Shuwen, et al. VOCs Emission, Polluti
mental Engineering Technology, 2012, 2 (2): 103 - 109.

