

CO₂ 汽提尿素技术发展研究

李红明*, 位朋

(河南心连心化肥有限公司, 河南 新乡 453731)

摘要:介绍了 2 种新型 CO₂ 汽提尿素技术的工艺特点、装置布置和消耗情况,并重点分析了节能原理,为新建尿素装置技术路线的选择和老 CO₂ 汽提尿素装置的优化升级改造提供参考。

关键词:CO₂ 汽提;尿素装置;工艺优化;技术发展

中图分类号:TQ441.41

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2018)10-0200-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2018.10.045

Study on technology development of CO₂ stripping urea

LI Hong-ming*, WEI Peng

(Henan Xinlianxin Fertilizer Co., Ltd., Xinxiang 453731, China)

Abstract: The characteristics, equipment layout and consumption situation of two new type CO₂ stripping urea technologies are introduced. The energy saving principle is analyzed emphatically for these two technologies. This paper can provide reference for the selection of technical route of new urea plant and the optimization and upgrading of the old CO₂ stripping urea plant.

Key words: CO₂ stripping; urea facility; process optimization; technology development

CO₂ 汽提尿素技术起源于荷兰斯塔米卡邦公司,经过几代技术的传承与发展,从传统 CO₂ 汽提技术开始,到 2000⁺ CO₂ 汽提技术,再到超低能耗尿素技术,装置标高从 76 m 逐渐降低至 22 m,高压圈设备台数从 4 台减少至 2 台^[1-3]。并由于中压工段的加入,使得 2.5 MPa 蒸汽消耗从 1 030 kg/t 下降到 650 kg/t。

20 世纪 70 年代,湖南岳阳、贵州赤水等地第一批引进 1 620 t/d 汽提尿素装置,从此,国内开始大面积推广使用 CO₂ 汽提尿素技术,并逐步走向大型化,近年来,80 万 t/a 的 CO₂ 汽提尿素装置不断涌现,甚至出现单套 100 万 t/a 的尿素装置^[4]。2009 年,国内某设计院通过国外技术的消化吸收,并经深入研究,成功开发了高效合成、低能耗 CO₂ 汽提技术,该技术在装置标高的降低、蒸汽等级的重新划分和高压蒸汽消耗的降低等方面提出了新的理念,取得了可喜的成绩^[5]。

1 超低能耗尿素技术

可以说,超低能耗尿素技术代表当今 CO₂ 汽提技术发展的最高水平。目前荷兰斯塔米卡邦公司已成功签约国内 2 套超低能耗尿素装置,项目均在快速推进中,预计 2020 年初实现投产。

1.1 超低能耗尿素技术节能原理

超低能耗尿素技术能量利用示意图如图 1 所示。利用反应器中高压甲铵冷凝反应热直接加热中压尿液,促使未生成尿素的甲铵的分解,取代了以蒸汽为介质的加热分解过程;另外,反应器出气、中压分解出气与低压循环系统来的甲铵液混合后的冷凝吸收热用于蒸发工段尿液的直接加热蒸发,同样取代了以蒸汽为介质的换热过程。此时,热能利用率大幅提高,装置 2.5 MPa 蒸汽消耗降低至 650 kg/t。

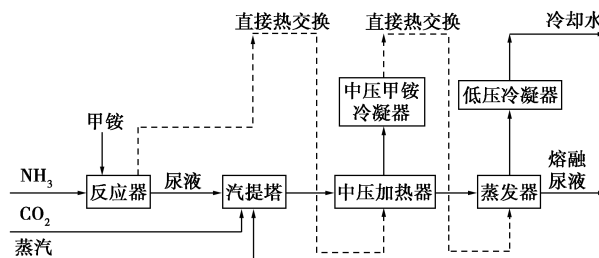


图 1 超低能耗尿素技术能量利用示意图

1.2 装置特点

(1) 多功能合成塔

尿素合成反应分 2 步进行,多功能合成塔集两步反应于一体。经过重新设计,多功能合成塔内部设有 2 套换热管束,一套用于加热中压尿液,促使未

转化成尿素的甲铵的分解;另外一套用于副产0.35 MPa 低压蒸汽。副产的低压蒸汽用于低压工段和蒸发工段尿液的加热。多功能反应器结构如图2所示。

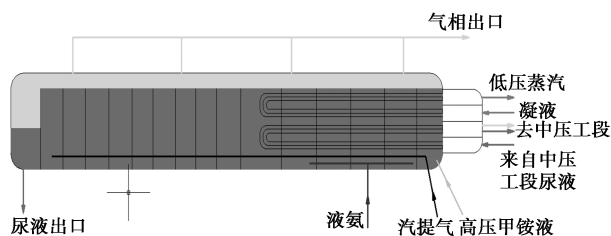


图2 多功能合成塔结构示意图

(2) 超低汽提效率

尿素合成反应,CO₂ 转化率一般为 57%~62%^[6]。汽提塔的作用是促进合成塔来尿液中未转化成尿素的甲铵的分解。汽提效率是尿素生产中的主要控制参数,关系到整个系统的平稳运行,特别是对中、低压负荷和 2.5 MPa 蒸汽消耗的影响最为显著。

传统 CO₂ 汽提技术汽提效率约为 80%,汽提效率越高,2.5 MPa 蒸汽消耗越高,出汽提塔尿液温度也越高。

超低能耗尿素技术汽提效率可以降低到 65%,此时汽提塔出液温度也由原来的 173.6℃ 下降至 167.4℃,除了带来极低的 2.5 MPa 蒸汽消耗外,汽提塔腐蚀问题得到有效缓解。

(3) 简捷的中压段

超低能耗尿素技术之所以能够降低汽提效率正是以新增简捷中压段为基础实现的。简捷中压段的出现,分担了汽提塔的分解负荷,使得汽提塔汽提效率的降低成为可能。中压工段流程示意图如图3所示。

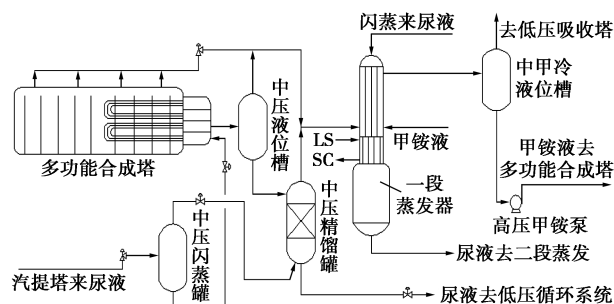


图3 超低能耗尿素技术中压段流程示意图

从汽提塔来的尿液经中压闪蒸罐绝热闪蒸后,液相进入多功能合成塔的第一套 U 型管束内,被管外的高压甲铵冷凝反应热加热分解,然后进入中压液位槽进行气液分离,分离后液相进入中压精馏罐

内,与中压闪蒸罐来气进行逆流接触,传质、传热后,尿液进入低压循环系统。多功能合成塔未反应气经减压后,与中压液位槽出气、中压精馏罐出气汇合后进入一段蒸发器上部热能利用段壳侧,与低压循环系统来的甲铵液混合,冷凝吸收热用于尿液的蒸发浓缩。

该技术实现了原本尿素合成副产的 0.35 MPa 低压蒸汽不足以加热中压尿液的弊端,但该技术加热中压尿液用的还是尿素合成反应热;实现了原本合成塔出气在高洗器中冷凝吸收热副产的 135~140℃ 调温水余热不足以充分加热一段蒸发尿液的弊端,但该技术加热一段蒸发尿液用的还是合成塔出气冷凝吸收热。这就是直接换热的魅力,也是超低能耗尿素技术节能的精髓所在。

(4) 低标高设备布置

多功能合成塔集高压甲铵冷凝器和合成塔于一体,且水平放置,并取消了高洗器,实现了装置标高的极大降低,该设备标高仅为 22 m。土建、设备和管道安装成本更低,操作、管理和检修更为方便。

2 高效合成、低能耗尿素技术

2.1 技术介绍

2009年,对于国内 CO₂ 汽提技术来说,具有里程碑意义,国内某设计院成功开发出高效合成、低能耗 CO₂ 汽提技术,促进了国产化 CO₂ 汽提技术的快速发展。该技术由于全冷凝反应器的独特结构设计(代替原来的高压甲铵冷凝器)和中压工段的加入,2.5 MPa 蒸汽消耗降低至 700 kg/t,首套装置在四川美丰尿素搬迁项目上取得成功,且 2018 年 5 月份应用该技术的国内某 100 万 t/a 尿素装置顺利投产。

2.2 技术特点

(1) 独特的全冷凝反应器

全冷凝反应器实现了第一步甲铵生成反应和第二步甲铵脱水生成尿素的部分反应。设备竖直放置,下部为甲铵生成段,由于管侧工艺物料温度可达 175~180℃,可副产 0.5 MPa 低压蒸汽,压力比传统 CO₂ 汽提技术高 0.15 MPa,蒸汽品位的提升使得蒸汽利用途径增多;上部为部分甲铵脱水生成尿素段,此段出口溶液尿素质量分数可达 26%~28%,有效分担了合成塔的负荷。

(2) 中压系统

高效合成、低能耗 CO₂ 汽提技术增设中压分解塔、中压热能利用段、中压甲铵冷凝器以及中压调温

水系统,有效分担了汽提塔的分解负荷,从而达到降低装置 2.5 MPa 蒸汽消耗的目的,与超低能耗尿素技术在节能原理上有异曲同工之妙。

(3) 优化的蒸汽系统

传统 CO₂ 汽提技术蒸汽系统分为 3 个等级,分

别为 2.5、0.8、0.35 MPa。高效合成、低能耗尿素技术得益于全冷凝反应器(可副产 0.5 MPa 的蒸汽),且由于简捷中压工段的加入,将界区内蒸汽等级重新划分成 4 级,分别为 2.5、0.8、0.5、0.3 MPa。蒸汽系统如图 4 所示。

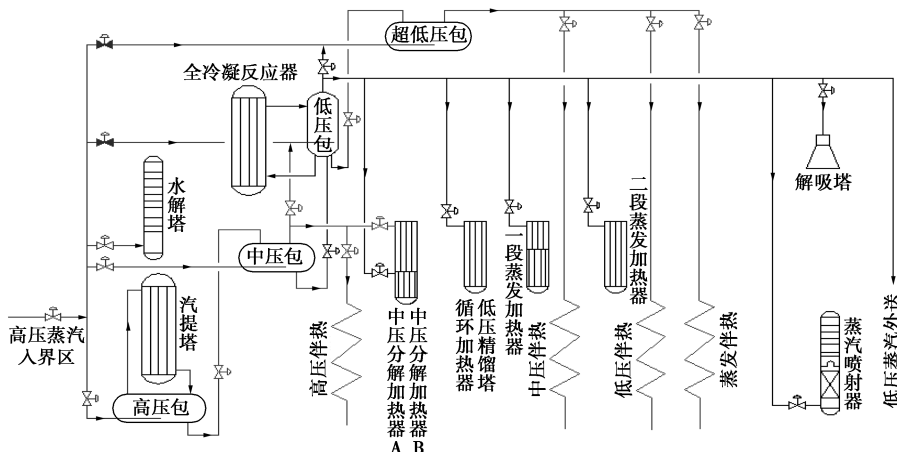


图 4 高效合成、低能耗 CO₂ 汽提技术蒸汽系统

2.5 MPa 蒸汽由界区外输入,供汽提塔和水解塔使用。

0.8 MPa 蒸汽由汽提塔加热后的蒸汽凝液减压闪蒸产生,用于中压分解塔加热器 B 和高压系统伴热使用。

0.5 MPa 蒸汽由全冷凝反应器低压包产生,用于中压分解加热器下段、精馏塔循环加热器、蒸汽喷射器、解吸塔、一段蒸发加热器和二段蒸发加热器使用。

0.3 MPa 蒸汽由 0.5 MPa 蒸汽冷凝液减压闪蒸产生,不足部分由 0.5 MPa 蒸汽系统减压补充,用

于中、低压及蒸发系统伴热。

3 CO₂ 汽提尿素装置对比情况

3.1 装置配置对比

CO₂ 汽提技术装置标高对比如图 5 所示。随着技术的不断进步与发展,装置标高逐渐降低,高压设备台数逐渐减少。传统 CO₂ 汽提技术装置标高为 76 m;高效合成、低能耗尿素技术装置标高为 55 m;而 5XX 尿素技术装置标高仅为 22 m,且高压设备台数仅为 2 台。

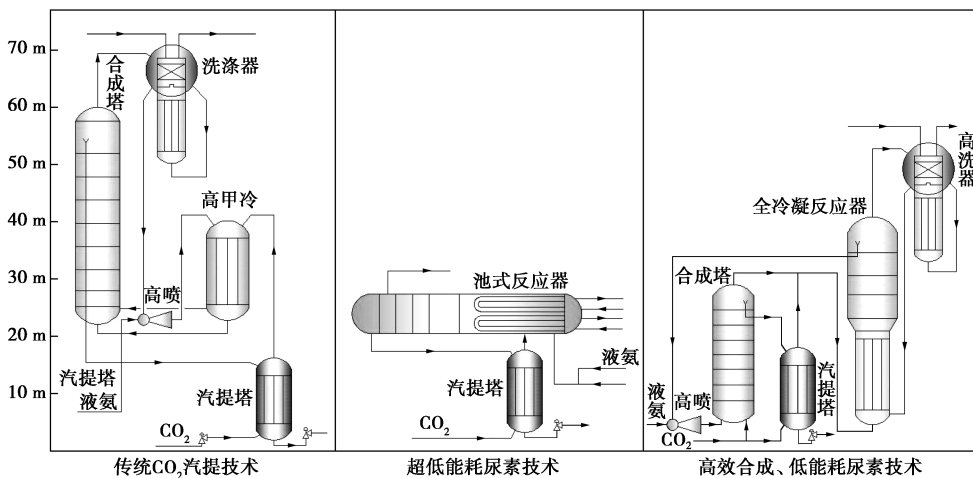


图 5 CO₂ 汽提技术装置标高对比

3.2 装置消耗对比

从表 1 可以看出,不同的技术,尿素装置的原料

消耗(NH₃、CO₂)差别不大,正常生产时均能做到接近理论消耗水平。电耗主要来自于液氨泵和高压甲

铵泵的电耗,而它们的高低主要取决于高压合成系统的压力和介质流量,区别也不大。因此,尿素装置的消耗评价主要对比高压蒸汽的消耗、低压蒸汽的外送量以及冷却水的循环量。

表1 CO₂汽提技术消耗对比

对比项目	传统 CO ₂ 汽提技术	超低能 耗尿素 技术	高效合成、 低能耗 CO ₂ 汽提技术
NH ₃ /(kg·t ⁻¹)	575	567	567
CO ₂ /(kg·t ⁻¹)	735	734	734
2.5 MPa 高压饱和蒸汽/(kg·t ⁻¹)	1030	650	700
3.5 MPa 低压饱和蒸汽输出/(kg·t ⁻¹)	200	0	50
冷却水(ΔT=10℃)/(t·t ⁻¹)	78	65	70
电/(kWh·t ⁻¹)	27	24	24

从热量平衡角度来看,尿素装置引入的热量有高压蒸汽和化学反应热,输出的热量有低压蒸汽外送热、冷却水带走热、废水废气带走热。热量平衡关系如下所示:

$$Q_{\text{高压蒸汽}} + Q_{\text{反应热}} = Q_{\text{低压蒸汽外送}} + Q_{\text{冷却水带走热}} + Q_{\text{废水、废气带走热}}$$

产能一定,反应热恒定,废水、废气带走的余热也十分有限,且差别不大。反应式中,高压蒸汽的输入、低压蒸汽外送和冷却水带走热是衡量装置能耗高低的关键,输入的为高品位热源,输出的为低品位余热,利用难度大,利用率低。所以,好的装置需要做到最少的高压蒸汽输入、最少的低压蒸汽输出和最小的冷却水带走热。

传统 CO₂ 汽提技术,由于装置没有中压段,所

以人们总是希望汽提塔可以获得更高的汽提效率(通常维持在80%左右),以便维持低压再循环系统的稳定,进而维持整个系统的稳定。

超低能耗尿素技术和高效合成、低能耗尿素技术为了实现更低的2.5 MPa蒸汽消耗,均从降低汽提塔汽提效率角度出发,增加了中压段,分担了汽提塔的部分分解负荷,使得2.5 MPa蒸汽消耗降低,0.35 MPa低压蒸汽输出减少、甚至不输出,冷却水消耗量也有不同程度的降低。

4 总结

随着 CO₂ 汽提技术的发展,蒸汽消耗大幅下降,装置标高大降低,并依然保持着装置电耗低、易于大型化的优点。超低能耗尿素技术的成功引入和国产化 CO₂ 技术的快速发展,国内尿素装置将会出现新一轮的技术革新浪潮。

参考文献

- [1] 廖颖.斯塔米卡邦百万吨尿素厂工艺流程及特点[J].大氮肥,2001,(6):388-389.
- [2] 黄海明.斯塔米卡邦第11届尿素技术年会综述[J].大氮肥,2009,32(1):10-15.
- [3] 武志宽.Sufurex材料在尿素高压圈的应用[J].化肥设计,2013,51(6):29-31.
- [4] 吴炳君.大型尿素装置工艺方案浅析[J].化工设计通讯,2012,38(5):52-57.
- [5] 夏炎华,汪志雄.高效冷凝及低安装高度 CO₂ 汽提法尿素生产工艺[J].化肥设计,2009,47(4):12-14.
- [6] 中国寰球工程公司.氮肥工艺设计手册:尿素[M].北京:化学工业出版社,1998:173-178.■

朗盛在德国克雷费尔德-乌丁根新建高性能塑料生产厂

朗盛将继续投资扩建全球高性能塑料生产网络,计划在德国克雷费尔德-乌丁根生产基地新建另一座共混改性工厂,投资额达数千万欧元。新工厂将于2019年下半年开始生产杜力顿和保根工程塑料,主要应用于汽车和电气工业。此外,还将建造仓库和筒仓设施。此项投资将于2018年第四季度动工。

“高性能塑料业务是我们增长战略的核心支柱。通过扩大生产能力,我们将进一步加强朗盛作为现代交通创新产品解决方案供应商的市场地位。同时,我们也能更好地利用这些产品综合价值链的潜力,”朗盛管理董事会成员冯鹤博(Hubert Fink)表示。“这项投资还表明,我们坚定地将北莱茵-威斯特伐利亚地区作为朗盛的业务基地。”

朗盛原本在克雷费尔德-乌丁根基地运营着一座高性能塑料聚合及共混改性工厂。就在2018年3月,公司刚新

增了一条特种工程塑料共混改性生产线。通过此次新投资,朗盛再次加强了该生产基地在公司中的重要地位。

“克雷费尔德-乌丁根是朗盛高性能塑料的主要生产基地,特别是满足欧洲市场需求的塑料产品。此次扩建可使我们更好地满足未来这一市场不断增长的高需求。”朗盛高性能材料业务部负责人 Michael Zobel 表示。

克雷费尔德-乌丁根新建工厂的设计将方便朗盛在未来几年扩展业务,以满足市场需求。

朗盛高性能材料业务部运营的全球生产网络包括以下生产基地:德国多尔马根(研发),克雷费尔德-乌丁根(PA 6 聚合、共混改性),哈姆-于特罗普(PBT 聚合、共混改性),布里隆(Tepex 生产和开发);比利时安特卫普(PA 6 聚合);中国无锡(共混改性);印度吉哈加迪亚(共混改性);美国加斯托尼亚(共混改性);巴西费利斯港(共混改性)。(杨彪)