

天然气丙烷回收率的优化

张超*, 金海刚, 王俊美, 卜晓玲
(中海油石化工程有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要:以中海油南海北部湾陆上终端项目为分析对象,研究发现天然气轻烃回收装置丙烷回收率越高,产品的收益越高,装置综合能耗越高,丙烷回收率-装置总功耗呈现指数增长趋势。采用“差价平衡法”综合分析丙烷回收率对装置总功耗和产品收益率的影响规律,对比LPG/LNG实际价差与区间LPG/LNG差价平衡点,确定装置最优丙烷回收率为92%。

关键词:轻烃回收;总功耗;产品收益;差价平衡点

中图分类号:TH3

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2021)11-0201-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2021.11.042

Optimization of recovery rate of propane from natural gas

ZHANG Chao*, JIN Hai-gang, WANG Jun-mei, BU Xiao-ling
(CNOOC Petrochemical Engineering Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

Abstract:CNOOC's onshore terminal project of the oil and gas field in South China Sea is analyzed. It is found that the higher the propane yield of natural gas light hydrocarbon recovery unit, the higher the product benefit and the higher the comprehensive energy consumption of the unit. Total power consumption of the unit increases exponentially with the increase of propane recovery. The effect of propane recovery rate on total power consumption and product benefit of the unit is comprehensively analyzed by means of "price variance balance method", and the optimal propane recovery rate is determined as 92% by comparing actual LPG/LNG price variance with the balance point of LPG/LNG price variance in the interval.

Key words:light hydrocarbon recovery; total power consumption; product revenue; price variance balance point

随着工业发展和环境保护的需求,天然气作为一种优质的清洁化石能源,在我国的能源消费结构中所占比例和国民经济地位日益增加。天然气或油田伴生气中往往含有较高的C₂+重组分,重组分含量过高不仅影响天然气的安全使用,还会影响企业的经济效益^[1-3]。因此,有必要对天然气或油田伴生气中的重组分,尤其是高附加值的丙烷进行回收利用。回收高附加值的重组分,不仅可以有效调整天然气的热值,增加能源利用效率,改善天然气产品质量,保证天然气管道输送安全,还可以生产具有高附加价值的液相烃产品(丙烷、丁烷及液化石油气、稳定轻烃),提高油气田开发的经济效益^[4-6]。

基于天然气中重组分引发的一系列问题,天然气或伴生气需采用天然气轻烃回收工艺进行分离回收丙烷及丙烷以上重组分,满足天然气产品要求。在天然气轻烃回收工艺中,丙烷回收率直接影响工艺装置的能耗和经济效益,部分企业忽视天然气组分和工艺参数影响,盲目追求高的丙烷回收率,造成装置能耗偏高,系统冷热集成不合理,装置经济效益

差等一系列问题^[7-8]。而且,国内对于天然气轻烃回收工艺中丙烷回收率的设定和优化往往基于生产经验,缺少理论指导,尚未形成完善、有效的计算和优化方法^[9-11]。

本研究从中海油南海北部湾陆上终端项目2.4×10⁵ m³/d天然气处理厂中轻烃回收装置的丙烷回收率设定及优化分析着手,探寻适应于不同天然气组成和工艺参数条件下丙烷回收率设定及优化思路,解决天然气轻烃回收装置单位产品能耗偏高、系统冷热集成不合理、装置经济性差等技术问题,以实现最优化操作费用和经济效益。

1 装置概况

中海油南海北部湾陆上终端项目是南海油田开发工程项目的下游工程,天然气处理部分位于原油处理装置的下游,原料为上游海管来天然气及终端内原油处理装置所产不凝气。天然气处理部分包括天然气脱酸、脱水、轻烃回收、液化和制冷剂存储单元,项目流程见图1所示。

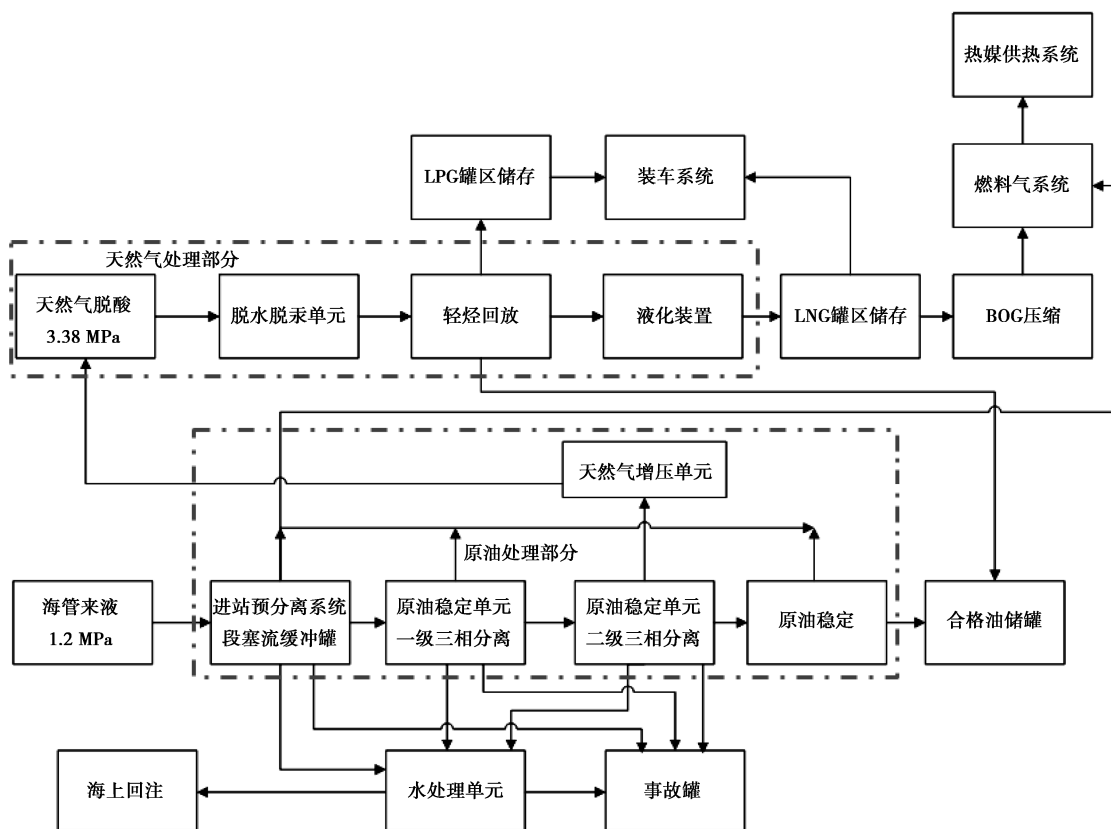


图 1 项目流程简图

海管来油气经三级油气分离后,气相进入天然气处理单元,油相经原油稳定单元处理后至罐区储存。天然气进入天然气处理单元后,先后经过天然气脱酸、脱水、脱汞处理后进入轻烃回收单元进行轻重组分分离,轻组分经液化后,生产 LNG 至罐区储存销售;丙烷及 C₄ 组分以 LPG 产品出装置;重组分至原油罐区掺混。

天然气处理单元天然气组成如表 1 所示。

表 1 天然气组成表 %

组分	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂
摩尔分数	64.7	16.3	8.8	1.8	3.5	1
组分	n-C ₅ H ₁₂	C ₆ +	CO ₂	N ₂	H ₂ O	
摩尔分数	0.9	0.4	2.1	0.3	0.2	

2 轻烃回收装置流程

天然气经脱酸、脱水和脱汞处理后,直接进入脱乙烷塔,脱乙烷塔塔顶气经冷箱冷却后,凝液作为回流,气相直接去冷箱进行液化,脱乙烷塔底采用导热油作为再沸器热源,经脱乙烷塔分馏后,塔底丙烷及更重组分至 LPG 塔。LPG 塔主要目的是实现 LPG 和重组分的分离,LPG 塔采用导热油作为再沸器热

源,塔顶气相经冷却后,凝液部分作为回流,其余作为 LPG 产品出装置,LPG 塔底重组分至原油罐区存储销售。轻烃回收装置流程如图 2 所示。

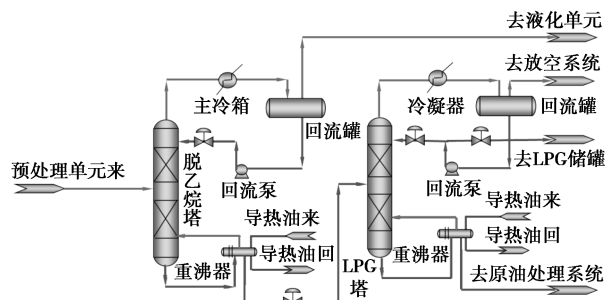


图 2 轻烃回收装置流程

3 丙烷回收率设定及优化方法

3.1 流程模拟

采用流程模拟软件 HYSYS 对轻烃回收装置进行模型搭建,由于轻烃回收装置利用天然气液化装置的冷量,影响天然气液化装置的能耗,因此将轻烃回收装置和天然气液化装置综合考虑,以此为基础进行能耗核算,提出适应于不同天然气组成和工艺参数条件下丙烷回收率设定及优化思路^[12-14]。轻烃回收装置和天然气液化装置流程模拟如图 3 所示。

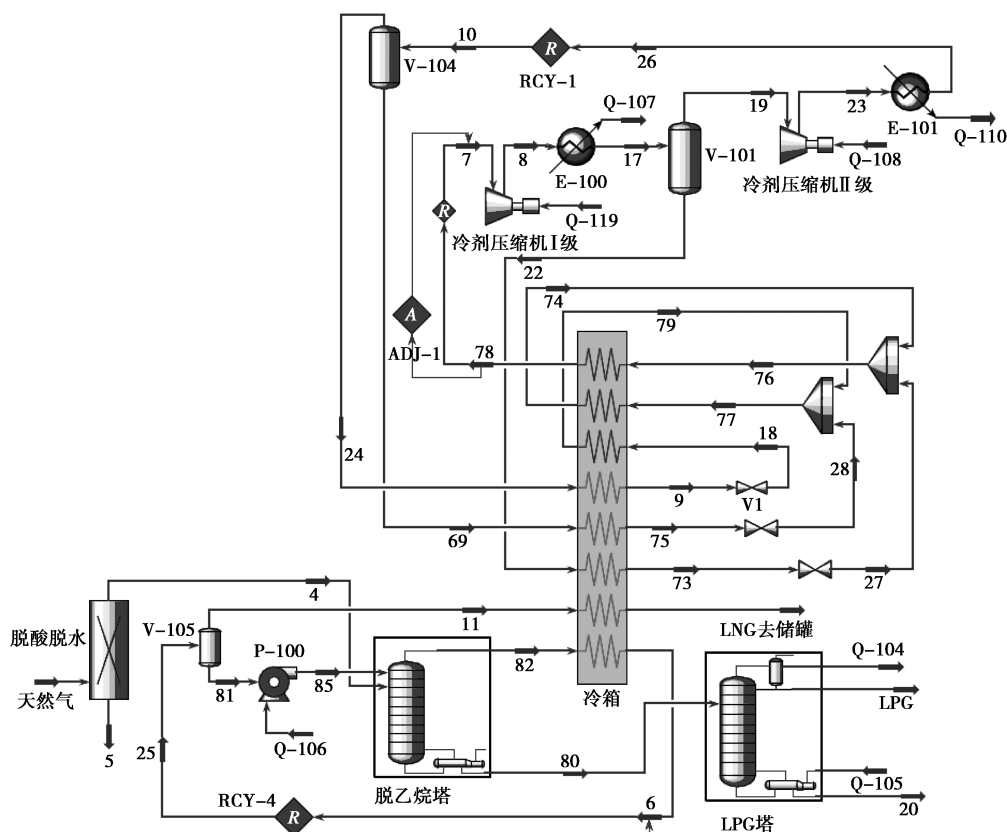


图 3 轻烃回收装置和天然气液化装置流程模拟

模型采用的物性方法为 Peng-Robinson,待模型收敛后调整各关键参数,对装置工艺参数进一步进行优化,通过模拟优化后,主要操作参数如表 2 所示。

表 2 轻烃回收装置主要操作参数

参数	温度/°C		压力/MPa
	塔顶	塔底	
脱乙烷塔	-18	101	2.9
LPG 塔	59	136	1.1

3.2 丙烷回收率设定及优化方法

天然气轻烃回收装置丙烷回收率的设定直接影响 LNG 和 LPG 的产量、LNG 的质量以及装置的能耗。轻烃回收装置丙烷回收率越高,LNG 产品收率越低,LPG 产品收率越高,由于市场上 LPG 价格高于 LNG,因此产品的收益越高。但是,轻烃回收装置丙烷回收率越高,轻烃回收部分制冷的能耗越高,造成生产成本增加,因此需要综合考虑 LPG 与 LNG 之间的产量、价差和生产成本。同时,轻烃回收装置丙烷回收率的设定应满足《天然气》(GB 17820—2018)和《液化石油气》(GB 11174—2011)中对天然

气和商品丙、丁烷混合物的相关质量要求^[15-16]。不同丙烷回收率下 LNG、LPG 和凝析油产量如图 4 所示。

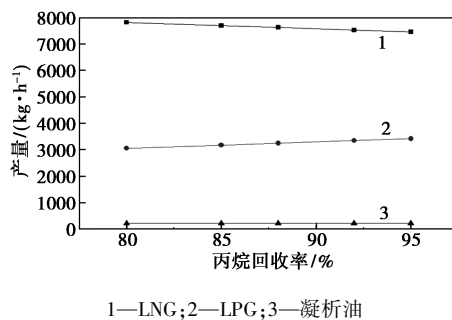


图 4 不同丙烷回收率下 LNG、LPG 和凝析油产量

轻烃回收丙烷回收率越高则用于轻烃回收部分制冷的能耗越高,同时轻烃收率越高,则去液化部分的天然气量减少,天然气液化的能耗减少,因此,需要对不同的丙烷回收率下的总能耗进行研究,以确定适当的丙烷回收率。按丙烷回收率 80%~95%进行工艺模拟计算,在工艺参数优化的基础上,计算的能耗数据如图 5 所示。

由图 5 可知,对于由液化装置提供冷量的轻烃

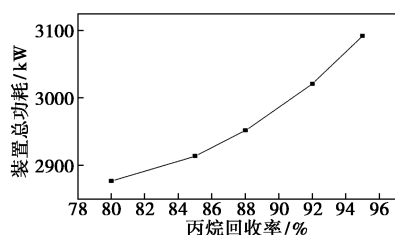


图 5 不同丙烷回收率对总压缩功耗影响

回收装置,丙烷回收率越高,装置综合能耗越高,丙烷回收率-装置总功耗呈现指数增长趋势,当丙烷回收率大于 90% 时,装置的总功耗呈现指数型增加。

提高丙烷回收率,会相应减少 LNG 产量,增加 LPG 产量,LPG 与 LNG 的价差越大,则提高丙烷回收率更经济,但同时也需考虑丙烷回收率提高造成能耗费用的增加,综合考虑确定最优的丙烷回收率。本项目采用“价差平衡点”方法综合衡量、计算丙烷回收率,具体方法如下。

采用丙烷回收率 60% 作为基准方案,丙烷回收率从 60% 提高到 70%,计算装置单位时间增加的产品 LPG 产量和减少的 LNG 产量,计算装置总功耗增加量,得到相应折合单位时间增加电费,计算对应 LPG 与 LNG 价差平衡点,即在该丙烷回收率区间内,增产 LPG 所带来的经济收益与丙烷回收率增加所造成的功耗增加带来的操作费用增加相持平。在该区间内当价差高于该平衡点时,增产 LPG 所带来的经济收益大于增加的操作费用,经济上合理。将 LPG 与 LNG 实际价差与区间 LPG/LNG 差价平衡点比较,确定最终丙烷回收率。

通过计算,不同丙烷回收率下各收率区间内 LPG 与 LNG 价差平衡点计算如表 3 所示。

表 3 丙烷回收率区间内 LPG 与 LNG 价差平衡点

丙烷回收率	60%	70%	80%	85%	90%	95%
产品 LPG/(kg·h ⁻¹)	2574	2822	3060	3181	3303	3426
总功耗/kW	2775	2811	2877	2914	2982	3092
区间 LPG 增加量/(kg·h ⁻¹)	基准	248	238	121	122	123
区间总功耗增加量/kW	基准	36	66	37	68	110
区间增加电费/元	基准	27	50	28	51	83
区间 LPG/LNG 差价平衡点/(元·t ⁻¹)	基准	109	208	229	418	671

注:不同丙烷回收率下设备投资相差不大,“价差平衡点”方法假设不同丙烷回收率下设备投资相同,丙烷回收率主要影响操作费用。工业用电价格按照 0.75 元/kWh 计算。

从表 3 可知,丙烷回收率从 60% 提高到 70%,增加 LPG 产量 248 kg/h (相应地减少 LNG 产量 248 kg/h),装置总功耗增加 36 kW,增加电费 27 元/h,对应的 LPG 与 LNG 价差平衡点为 109 元/t,即当价差高于 109 元/t 时,248 kg/h 的 LPG 与 LNG 产生的价差大于增加的 27 元/h 的电费,经济上合理,否则不经济。以此类推,丙烷回收率 70%~80% 区间的价差平衡点为 208 元/t,收率 80%~85% 的价差平衡点为 229 元/t,收率 85%~90% 的价差平衡点为 418 元/t,收率 90%~95% 的价差平衡点为 671 元/t。同时,越高的丙烷回收率区间内,LPG 与 LNG 价差平衡点越高,即回收同样 LPG 需要消耗更多的总功耗,LPG 产品成本越高。

因此,最优的丙烷回收率应根据 LPG 与 LNG 的市场价差确定。本项目期间,LPG 与 LNG 的市场价差 490 元/t,由表 3 数据确定项目丙烷回收率 92%。

4 结论

通过实际项目分析,采用“价差平衡点”方法设定和优化天然气轻烃回收装置丙烷回收率,得到以下结论。

(1) 从天然气的安全、环保、经济性等方面出发,天然气及油田伴生气应采用天然气轻烃回收装置分离 C₂+重组分。

(2) 天然气轻烃回收装置丙烷回收率越高,LNG 产品收率越低,LPG 产品收率越高,由于 LPG 市场价格高于 LNG,因此产品的收益越高;丙烷回收率越高,装置综合能耗越高,丙烷回收率-装置总功耗呈现指数增长趋势,当丙烷回收率大于 90% 时,装置的综合功耗呈现指数型增加。

(3) 天然气轻烃回收装置丙烷回收率越高,轻烃回收部分制冷的能耗越高,造成生产成本增加,采用“差价平衡法”综合计算 LPG 与 LNG 之间的产量、价差和操作成本,确定本项目最优丙烷回收率为 92%。

参考文献

- [1] 裴红.天然气轻烃回收 C3 收率与装置能耗[J].石油规划设计,2002,13(5):4-5.
- [2] 蒋洪,何愈歆,王军.高压吸收塔工艺回收天然气凝液的模拟分析[J].天然气化工:CI 化学与化工,2011,36(3):7-11.
- [3] Mehrpooya M, Vatani A, Ali M S M. Introducing a novel integrated

- NGL recovery process configuration (with a self-refrigeration system (open closed cycle)) with minimum energy requirement[J]. Chem Eng Process Intensif, 2010, 49: 376-388.
- [4] 李允, 诸林, 穆曙光, 等. 天然气地面工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [5] 丁丽芹, 郝平. 提高伴生气液烃收率的途径探讨[J]. 天然气化工: C1 化学与化工, 2007, 33(1): 47-48.
- [6] 徐志刚, 尚玉明, 杨晓辉, 等. 提高鄯善轻烃回收装置收率研究[J]. 天然气工业, 2001, 21(6): 83-85.
- [7] 黄思宇, 蒋洪, 巴玺立, 等. 英买天然气处理装置提高丙烷收率工艺改进研究[J]. 石油与天然气化工, 2005, 44(4): 1-7.
- [8] Jibril K L, Al-Humaizi A L, Idriss A A, et al. Simulation study determines optimum turboexpander process for NGL recovery[J]. Oil Gas J, 2006, 104: 58-62.
- [9] 付秀勇. 对轻烃回收装置直接换热工艺原理的认识与分析[J]. 石油与天然气化工, 2008, 37(1): 18-22.
- [10] 王治红, 吴明鸥, 李涛, 等. 提高天然气轻烃回收装置 C₃+ 收率方案比选—以中坝气田为例[J]. 天然气工业, 2016, 36(3): 77-86.
- [11] 尚玉明. 轻烃回收装置优化方案研究与应用[J]. 石油与天然气化工, 2006, 35(5): 347-349.
- [12] 王遇冬, 王璐. 我国天然气凝液回收工艺的近况与探讨[J]. 石油与天然气化工, 2005, 34(1): 11-13.
- [13] 华贲, 熊永强, 李亚军, 等. 液化天然气轻烃分离流程模拟与优化[J]. 天然气工业, 2006, 26(5): 127-129.
- [14] 徐强. 从天然气中回收液烃的工艺流程设计体会[J]. 天然气工业, 1990, 10(3): 56-59.
- [15] 周学深, 孟凡彬. 轻烃回收装置中 DHX 工艺的应用[J]. 石油规划设计, 2002, 13(6): 62-65.
- [16] 全淑月. 春晓气田陆上终端天然气轻烃回收工艺介绍[J]. 天然气技术, 2007, (1): 75-80. ■

(上接第 200 页)

激冷煤气化技术工艺成熟、运行业绩多、环保效果好, 可有效保障装置运行的稳定性, 是对 IGCC 多联产项目适用性较优的煤气化技术。

参考文献

- [1] 郑建涛, 徐越, 任永强. 国内外 IGCC 技术现状和发展动向[J]. 石油化工建设, 2010, (6): 20-21.
- [2] Frey H C, Zhu Y. Improve system integration for integrated gasification combined cycle (IGCC) systems[J]. Environmental Science & Technology, 2006, 40(5): 1693-1699.
- [3] Robin E S, Chen C, Xiao A. Cost and performance of fossil fuel power plants with CO₂ capture and storage[J]. Energy Policy, 2007, 35(9): 4444-4454.
- [4] Zhang L, Furinsky E. Comparison of shell, texaco, BGL and KRW gasifiers as part of IGCC plant computer simulation[J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46(11/12): 1767-1779.
- [5] 焦树建. 整体煤气化燃气-蒸汽联合循环(IGCC)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [6] 段立强, 林汝谋, 金红光, 等. 整体煤气化联合循环(IGCC)技术进展[J]. 燃气轮机技术, 2000, 13(1): 9-17.
- [7] 林汝谋, 金红光, 邓世敏, 等. 整体煤气化联合循环技术研究方向与进展[J]. 燃气轮机技术, 2002, 15(2): 15-22.
- [8] 聂向锋. IGCC 多联产技术发展现状及应用前景分析[J]. 石油化工建设, 2012, (2): 43-46.
- [9] 焦树建. IGCC 技术发展的回顾与展望[J]. 电力建设, 2009, 30(1): 1-7.
- [10] 宿建峰, 李和平, 负小银, 等. IGCC 的特点与 CO₂ 捕捉技术[J]. 华电技术, 2009, 31(1): 62-63.
- [11] 朱勤, 张红良, 孙宏. 国内首套 IGCC 汽电联产装置[J]. 石油化工建设, 2010, (1): 10-14. ■

索尔维 KetaSpire® PEEK 在新冠疫苗生产中发挥关键作用

索尔维的医用 KetaSpire® PEEK (聚醚醚酮) 树脂被 Malema Sensors® 选中用于生产 SumoFlo® 一次性科里奥利流量计, 该流量计在新冠疫苗的生产中发挥了至关重要的作用。

Malema 评估了多款有竞争力的 PEEK 产品, 最终选择了索尔维的高性能树脂, 因为它们具有卓越的物理特性, 例如极高的杨氏模量——这有助于确保传感器的测量精度和塑料在持续振动环境下的完整度。索尔维 KetaSpire® 树脂产品符合美国药典第 6 类标准, 可承受伽马射线灭菌, 并且浸出物和溶出物含量极低, 有助于实现高洁净度。

“从不锈钢生物工艺基础设施向一次性组件的转变, 说明高性能热塑性塑料在医疗保健行业的重要性与日俱

增。”索尔维特种聚合物事业部医疗保健全球市场经理 Anna Maria Bertasa 表示, “索尔维 KetaSpire® PEEK 产品满足 Malema 科里奥利流量计的严苛要求, 帮助该公司在市场竞争中成功脱颖而出, 并为疫苗快速量产等行业活动提供了支持。”

Malema Sensors® 为其注塑生产商和挤出生产商提供 KetaSpire® PEEK 树脂, 并明确要求使用该树脂生产 SumoFlo® 科里奥利流量计的液体流道组件。该流量计是第一款也是唯一一款面向生命科学行业的 PEEK 一次性流量计, 同时也是迄今为止测量精度和重复精度最高的一次性流量计, 显著提升了切向流过滤、深层过滤和色谱分析等关键生物制药工艺。

(王璐嘉)