

东方1—1海底输气管道排水与干燥工艺技术*

曹学文¹ 林宗虎¹(中国工程院院士) 陈振瑜² 刘日柱³ 傅健³ 燕晖³

(1. 西安交通大学 2. 石油大学·华东 3. 中国海洋石油工程公司)

曹学文等. 东方1—1海底输气管道排水与干燥工艺技术. 天然气工业, 2004; 24(5): 120~122

摘要 海南东方1—1凝析气田位于南中国海的西南部, 与海南省陆地之间的距离约为104 km, 最大水深70 m。东方1—1海底天然气管道连接海上中心平台与陆地终端天然气处理厂, 管道直径为533.4 mm, 长度为105.859 km, 海底输气管线内壁未做涂层处理。东方1—1海底输气管线干燥工程采用甘醇干燥技术, 实现了对其的干燥处理。介绍了东方1—1海底输气管道排水/干燥工艺涉及的清管器设计、干燥剂选择、排水/干燥方案设计、排水/干燥标准等技术环节, 设计了除水/干燥方案。研究指出: 聚氨酯材料制作的直板型清管器具有较好的耐磨性和密封性; 能满足长距离海底输气管道排水和干燥剂干燥的要求。根据质量守恒原理建立的海底输气管道干燥剂浓度分布模型, 其预测结果与东方1—1海底输气管线的实际干燥结果能较好吻合, 可应用于海底输气管线干燥方案设计与操作程序设计。

关键词 天然气输送 水下管道 投产 干燥剂 干燥 除水 模型 应用

清管器设计

排水过程和干燥过程是由排水列车和干燥剂列车完成的。排水列车和干燥剂列车都是由多个清管器组成的: 组成排水列车的多个清管器间隔形成淡水段塞和空气段塞; 组成干燥剂列车的多个清管器间隔形成多个干燥剂段塞。排水列车及干燥剂列车由干燥空气驱动自陆地终端向海上中心平台(CEP)运动, 良好的清管器选型设计是保证排水及干燥效果的关键。摩擦阻力小、密封性能好, 经过清管器的液体泄漏量就少。干燥空气经过清管器向前窜漏量小是清管器设计遵循的基本原则。

据文献[1]所述不同类型的清管器实验结果及运行效果可知: ①直板型清管器经过直线管段的液体泄漏量可以忽略; ②相对于皮碗, 直板更简单, 逆向流动影响小。遇低速逆向流动, 密封直板直至清管器反向运动至焊缝处才开始变形, 直板型清管器对于内涂层输气海底输气管线是安全的选择; ③导向板、密封板布置及清管器的长度对清管器经过弯头处的窜漏特性影响明显, 清管器有效长度以1.45~1.60D为宜(D表示海底输气管线直径); ④周向焊缝产生的密封板磨损量占总磨损量的40%; ⑤聚氨酯是加工制作导向板和密封板的最佳选择。

东方1—1气田海底输气管线排水、干燥过程清管器选用双向直板式清管器, 采用聚氨酯直板, 如图1~3中单体清管器直板分两组, 每组设置导向板2片、密封板3片, 清管器有效长度为1.6D。

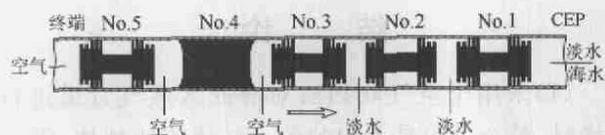


图1 排水列车组成示意图

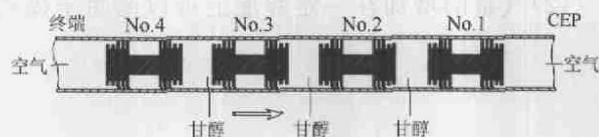


图2 甘醇(干燥剂)列车组成示意图

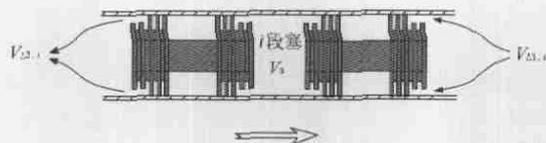


图3 单个甘醇段塞窜漏示意图

* 本成果属于中国海洋石油总公司重点建设工程“东方1—1气田开发”的部分研究内容。

作者简介: 见本期本刊第116页。

干燥剂的选择

常见干燥剂有甲醇、乙二醇、二甘醇和三甘醇。以上 4 种干燥剂物化性质对比分析的结果表明,甲醇作为水合物抑制剂效果较好,相同质量的甲醇因摩尔浓度更高,比相同质量的三甘醇抑制水合物的能力更大,以往甲醇作为抑制剂或干燥剂获得了广泛应用;但由于甲醇的强毒性,对操作者健康、工程安全及环境的不利影响,当前国际上已基本禁止使用甲醇做干燥剂。三甘醇的抑制水合物的能力虽不及甲醇,但三甘醇的吸水能力非常强,三甘醇的闪点高、蒸气压低、不易燃烧爆炸、毒性极低;而且由于三甘醇的黏度相对较高,有利于提高清管器的密封性、不易泄漏。乙二醇、二甘醇也具有较强的吸水能力和抑制水合物的能力,物性指标居于甲醇和三甘醇之间,只是毒性稍大,防毒要求和防火要求较高,未见乙二醇和二甘醇用于海上管道干燥的例子。因此,三甘醇在海上输气管道的干燥剂干燥工艺中获得了广泛应用。东方 1—1 气田海底输气管线干燥就选择了三甘醇作为干燥剂。

海底输气管线排水/干燥方案设计

1. 海底输气管线排水/干燥方案

考虑到海上工作环境恶劣,海底输气管线工程投资大,为了保证排水/干燥投产工程一次成功,将排水、干燥分开进行。运行过程中,相邻清管器间的距离不小于 200 m,以避免清管器因为泄漏而可能出现的追尾现象,影响排水干燥效果。

排水清管列车(图 1)由 4 个直板清管器和 1 个泡沫球组成,5 个清管器组成 4 节车厢,前两节为淡水车厢,车厢容积为 500 m³,后两节为干空气车厢,干空气段塞容积为 5000 m³。淡水段塞的作用是脱离海底输气管线内的盐分。

干燥剂列车(图 2)由 4 个直板清管器组成,共设置 3 节车厢即 3 个甘醇段塞,每个甘醇段塞容积 60 m³。排水/干燥列车从陆地终端向中心平台发送,由无油低露点(-60℃)压缩空气驱动,中心平台收球筒接收清管列车。排水/干燥列车运行速度控制在 0.3~1.0 m/s,清管器密封效果最佳。清管列车到达中心平台的运动速度不超过 0.5 m/s,以避免清管器可能对收球筒的撞击。

2. 排水/干燥效果控制标准

排水过程应尽可能多地排出管内积水,减少空气干燥时间或减少甘醇用量。研究表明,操作过程

中清管列车最后一个清管器排出的游离水量少于 1 m 长度的海底输气管线容积、清管器密封板的磨损程度不大于 80%(不致影响清管器的排水效率),即可认为排水过程合格。

根据我国南海海域的环境温度,并考虑到东方 1—1 气田天然气的组成特性,为了避免天然气引入海底输气管线产生水合物,要求干燥后海底输气管线内空气的大气压露点低于 -20℃。三甘醇干燥剂经过海底输气管线吸水后的浓度变化即表示海底输气管线内的积水量,据 Hammerschmidt 方程计算得甘醇浓度不低于 75% 就能够保证海底输气管线引入天然气不致于产生天然气水合物。据此确定甘醇浓度 75% 为干燥剂干燥合格的控制标准。

海底输气管线内甘醇浓度分布研究

根据国内外海底输气管线干燥的研究及工程经验,直板型清管器组成的排水清管列车完成排水后,只在管壁上遗留一层薄薄的水膜,水膜厚度一般为 0.05~0.15 mm,效果好时甚至仅有 0.01 mm。管道内壁越光滑、焊缝越均匀、清管器的密封性能越好,水膜厚度就越薄。设计中考虑水膜平均厚度为 0.15 mm,则管内滞留水量为 26.64 m³。

甘醇干燥列车经过海底输气管线并非干燥海底输气管线(实际海底输气管线内壁仍是湿的),而是因为甘醇与水完全互溶,甘醇水溶液代替水降低水分浓度,从而达到抑制水合物的目的。

干燥过程中,干燥剂的窜漏是不可避免的。关于干燥剂甘醇沿管线的浓度分布,考虑干燥剂列车中 i 节车厢对应的 i 甘醇段塞的窜漏如图 3 所示。

根据图 3 定义以下参量: V_0 表示 i 甘醇段塞初始容积,工程上甘醇段塞一般是均匀分配的,因此各段塞容积往往是相同的; $V_{F,i}$ 表示 i 甘醇段塞最终容积;表示滑脱(窜漏)系数, $s = \frac{V_0 - V_{F,i}}{V_0}$,根据经验滑

脱系数一般取值 0.1; $C_{wL,i}$ 表示 i 甘醇段塞初始含水浓度; $V_{wF,i}$ 表示 i 甘醇段塞最终含水浓度; V_L 表示排水过程滞留管内水量; $V_{L1,i}$ 表示窜漏进入 i 段塞的液体体积, $V_{L1,i} = V_L + (i-1)sV_0$; $V_{L2,i}$ 表示窜漏出 i 段塞的液体体积, $V_{L2,i} = V_L + i s V_0$ 。

假设甘醇段塞的含水浓度分布从初始值 $C_{wL,i}$ 到 $C_{wF,i}$ 呈线性分布,这样窜漏进、出 i 段塞的液体含水量分别为 $\frac{1}{2} V_{L1,i} (C_{wL,i} + C_{wF,i-1})$ 和 $\frac{1}{2} V_{L2,i} (C_{wL,i} + C_{wF,i})$ 。

根据质量守恒原理得:

$$C_{WF,i} = \frac{V_0 C_{WI,i} + \frac{1}{2} [V_{L1,i} (C_{WI,i} + C_{WF,i-1}) - V_{L2,i} C_{WI,i}]}{(1-s)V_0 + \frac{1}{2} V_{L2,i}}$$

选用含水率为0.2%的高纯度三甘醇做干燥剂,根据以上模型计算设计方案第1、2、3甘醇段塞的含水率分别为19.1%、4.4%、1.3%。

排水/干燥方案应用分析

1. 排水效果分析

东方1—1气田外输海底输气管线登陆段地形变化大,弯头多。陆地终端至海上6 km海底输气管线由手工焊接完成,手工焊接焊缝相对于自动焊缝较不规则。清管器在登陆段海底输气管线中的运动摩擦阻力大,局部摩擦阻力达到0.2~0.3 MPa。清管器遇焊缝阻滞停止运动,压缩空气压力上升;过焊缝清管器运动速度加快,压缩空气压力骤降,清管器运动产生很大噪声,经过弯头处甚至产生撞击声。排水列车进入自动焊接地形平坦管段,局部摩擦阻力0.03~0.05 MPa,压缩空气驱动压力平稳。最后一个清管器出中心平台,中心平台端海底输气管线出口未见游离水,空气携带出大量粉尘,说明排水效果好,后续的干燥结果也证明了这一结论。

中心平台收到的直板型清管器密封板边缘被磨损成45°角,磨损边缘厚度不大于密封板厚度的2/3,保证了密封效果,说明聚氨酯材料的耐磨性能、弹性和密封性能都能够满足长距离海底输气管线的排水要求。

2. 干燥效果分析

甘醇列车达到中心平台,3个甘醇段塞未见明显气体窜漏现象,现场第1、2、3甘醇段塞分别取样,取样瓶密封返回陆地采用卡尔—费休法测量甘醇含水率,第1、2、3甘醇段塞的含水率分别为21.2%、5.8%、1.7%,最后一段甘醇段塞浓度为98.3%,远高于75%的标准要求。实际测量结果与模型预测结

果基本相符。

结 论

(1)采用聚氨酯材料制作的直板型清管器具有较好的耐磨性和密封性,在直管段清管器泄漏可以忽略,甘醇段塞含水浓度逐渐减小,甘醇段塞未见气体窜漏现象,能满足长距离海底输气管道排水和干燥剂干燥要求。

(2)三甘醇闪点高、蒸气压低、防火要求低、毒性极低,适于海底输气管道的干燥操作。

(3)假设甘醇浓度沿管线线性分布,根据质量守恒原理建立的海底输气管线干燥剂干燥甘醇浓度分布模型经过验证是合理的,模拟计算结果可作为海底输气管线干燥方案设计及操作程序设计的依据。

(4)建立的预测模型对于海洋和陆地输气管道的干燥方案设计及操作程序设计具有指导意义。

参 考 文 献

- 1 Maribu Jarleiv, Falck Christian, Clenshaw Richard. The Zeepipe Experience: Pigging 814km of subsea gas pipeline in the North Sea. Pipes and Pipelines International, 1994: 16~22
- 2 Gunnar Kopp Jr. Why and how to dry gas pipe lines. Pipe Line Industry, October 1981: 35~41
- 3 Falck Christian, Maribu Jarleiv, Engeland Gordon. Pre-commissioning and commissioning Europepe— an environment challenge. Pipes & Pipeline Industry, July—August 1996: 16~22
- 4 Kalli C J, Cowie D. Hydrates: towards the complete solution. SPE 20958, 1990
- 5 Falck Christian, Maribu Jarleiv, Eide L O. Commissioning The zeepipe system sets new standards. Pipeline & Gas Journal, August 1994: 24~33

(收稿日期 2003-10-27 编辑 居维清)