

输油管道泄漏油品在水面扩散距离的研究

刘昌平（国家管网集团东部原油储运有限公司南京输油处仪征输油站，江苏 扬州 211400）

摘要：本文以输油管道输送的不同油品发生泄漏为例，分析预测不同情况下、不同时间段在水面的运移，预判对水体的影响范围，为应急泄漏处置和平时应急准备提供参考。

关键词：成品油；原油；泄漏；扩散；水环境

1 前言

当前原油、成品油管道运输已成为主要途径，具有安全、环保、高效、不间断的特点，截至 2022 年底，我国成品油管道里程约为 3.2×10^4 km、原油管道里程约为 2.8×10^4 km，为助推社会经济发展作用巨大。但管道因杂散电流腐蚀、地质灾害、第三方施工破坏以及管材本体材质等因素可能发生泄漏，一旦泄漏将会带来较大安全风险和环境污染。尤其是泄漏的油品一旦进入河流等水体，其影响范围将随之扩大，甚至可能威胁到饮用水源安全，其社会影响巨大，是管道企业所不能接受的，管道企业须提前研判，计算不同地段发生油品泄漏后的影响范围变化情况，提前准备，力求将响应控制在最低。

本文通过研究原油、成品油管道泄漏在水面扩散速度和距离的规律，为事故的紧急处理和优化日常应急准备提供有效的参考，从而有效防范和控制相应风险。

2 油品泄漏量估算

输油管道泄漏一般分为由腐蚀穿孔、管道连接处焊缝破损等引起的中、小孔泄漏，以及主要由外力破坏等引起较大孔洞或完全破裂大面积泄漏，在短时间泄漏出大量油品。

油品泄漏量估算方法：

油品泄漏速度可参照伯努利方程计算：

$$Q = C_d A \rho \sqrt{\frac{2(P - P_0)}{\rho} + 2gh} \quad (\text{公式 1})$$

相关参数含义、取值：

P：管线压力，Pa； P_0 ：环境压力，Pa；A：裂口面积， m^2 ； C_d ：液体泄漏系数，无量纲，取 0.65； ρ ：泄漏液体密度 kg/m^3 ；Q：液体泄漏速率， kg/s 。

当前由于各地基础设施建设的加快，第三方施工破坏及地质灾害等因素造成输油管道大面积泄漏（或断裂）后，对环境的危害最为严重，因此输油管道泄漏量可按全管径断离这一最不利情况计算。

当前油气管道运输企业基本都已部署油气泄漏监测装置，发生全管径断裂后会立即被监测到，采取紧急停车等应急处置措施按 10min 计算。

某企业 DN355mm 输油管道发生断管泄漏后，泄漏量估算见表 1。

表 1

管径 mm	介质	P (pa)	Q: 液体泄漏速率, (kg/s)	10min 泄漏量 (t)
355	汽油	2000000	3123.88	1874.33
355	柴油	3300000	4348.51	2609.11
355	航空煤油	3300000	4190.19	2514.12
406	原油	2000000	4686.95	2812.17

泄漏量与泄漏孔径、管线运行压力间的关系见图 1、图 2。

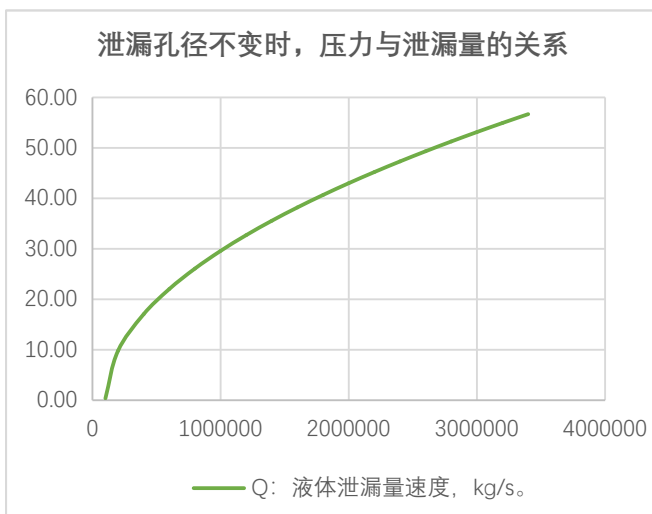


图 1 泄漏孔径为 20mm² 时运行压力与泄漏速率的关系

当输油管道发生泄漏后，影响泄漏量的因素有：管道运行压力、停输时间、泄漏孔径、泄漏监测系统是否报警、泄漏点两侧截断阀是否为远控阀门、以及泄漏点高程与两侧截断阀间管道的高程之间的关系、

应急响应速度等因素。根据代入具体管道运行参数、管道基本信息、泄漏信息,可综合以上信息计算泄漏速率。

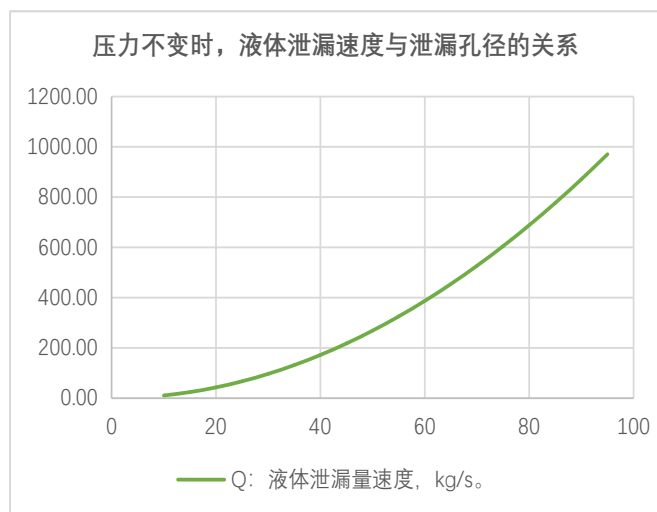


图2 压力为2MPa时泄漏孔径与泄漏量的关系

3 油品泄漏对水环境的风险分析与评价

一旦发生泄漏,油品可通过地表扩散和土壤渗流进入水体,进入水体后形成油膜,在水面扩散和转移,对下游水体造成污染。

3.1 预测模型

本文采用 Fannelop & Waldman 点源瞬时溢油的油膜扩散模型,预测泄漏事故发生后,不同泄漏量下油膜扩展影响的距离。溢油在静止水体中扩展长度预测模型为:

第一阶段(惯性扩展阶段):

$$L_1 = K_{11}(\Delta g W)^{\frac{1}{4}t^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{公式 2})$$

第二阶段(粘性扩展阶段):

$$L_2 = K_{12}[\Delta(1 - (\Delta g W^{\frac{3}{2}}t^{\frac{1}{2}}/\gamma_w)^{\frac{1}{6}})] \quad (\text{公式 3})$$

第三阶段(表面张力扩展阶段):

$$L_3 = 1.33[\sigma^2 t^2 / (\rho_w^2 \gamma_w)]^{\frac{1}{4}} \quad (\text{公式 4})$$

在运动的水体中,油膜随着水流迁移,也随时间扩展。因此,溢油后油膜影响的距离为:

$$S = ut + \frac{1}{2}L \quad (\text{公式 5})$$

式中:

S: 油膜影响的距离, m; L: 油膜扩展长度, m。

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (\text{公式 6})$$

K_{11} 、 K_{12} : 各扩展阶段的经验系数,通常取 $K_{11}=K_{12}=1.0$; u : 河道水流速度, m/s, 预测河流穿越段溢油影响,取 $u=0.92$ m/s;

$$\Delta = 1 - \frac{\rho_o}{\rho_w} \quad (\text{公式 7})$$

ρ_o : 油的密度,取汽油 730 kg/m^3 、柴油 840 kg/m^3 、航空煤油取 780 kg/m^3 ; ρ_w : 水的密度,取 1000 kg/m^3 ; g : 重力加速度,取 9.8 m/s^2 ; W : 溢油量, m^3 ; γ_w : 水的运动粘滞系数,取 $1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; σ : 净表面张力系数, N/m, 汽油 20–30, 柴油 26.8, 原油 30–50, 航空煤油 27–30; t : 时间, s。

3.2 计算结果与分析

表2 不同油品溢油随时间扩散距离

时间 (min)	汽油扩散距离 (m)	柴油扩散距离 (m)	航空煤油扩散距离 (m)	原油扩散距离 (m)
10	741.16	730.25	743.23	761.86
20	1372.23	1356.46	1374.99	1401.38
30	1984.96	1965.44	1988.24	2020.59
40	2588.19	2565.49	2591.90	2629.27
50	3185.34	3159.83	3189.43	3231.22
60	3778.17	3750.11	3782.60	3828.39
70	4367.73	4337.33	4372.46	4421.94
80	4954.70	4922.10	4959.71	5012.62
90	5539.54	5504.89	5544.83	5600.95
100	6122.61	6086.02	6128.15	6187.31
110	6704.17	6665.72	6709.94	6772.00
120	7284.41	7244.19	7290.41	7355.24
130	7863.50	7821.58	7869.72	7937.20
140	8441.57	8398.01	8448.00	8518.03
150	9018.73	8973.59	9025.36	9097.86
160	9595.07	9548.39	9601.88	9676.77
170	10170.65	10122.49	10177.66	10254.85
180	10745.55	10695.95	10752.74	10832.18

针对某管道企业不同管道、不同介质在相同工况下发生断管按照模型进行计算,具体结果见表2。

由表2可见,随着扩散时间的增加,油膜扩散距离也越大,对河流影响也越大;对比不同泄漏量条件下,油膜扩散距离无较大变化。

因此,油品泄漏量对油膜扩散距离的影响较小,在正常流速下($u=0.92\text{m/s}$),在发生溢油事故时,1h油膜将达到下游3.7km以外,3h内将到达下游10.7km以外对周边河流及沿岸生态环境造成较大的污染影响。

3.3 油品泄漏对地表水环境的影响

如果输油管道河流穿越段发生破裂,油品泄漏进入河流中,会对下游河流水质及沿岸生态环境造成破坏。油品进入水体后,由于其比密度小于水,会浮于水面,在重力与表面张力的作用下形成油膜并向四周扩散,在水流的推动下进一步扩散范围。油膜影响水环境与外界的空气交换,降低水中溶解氧,影响水环境中动植物的生长;原油中可溶性组分会溶解于水中,可溶性组分主要是低碳的直链烷烃和一些芳香烃,溶入水中的成品油组分对水生生物有直接危害。

4 风险防范与应急措施

4.1 风险防范措施

①在地质条件允许的前提下,重要河流穿越优先采用定向钻穿越的方式,适当增厚管径,提高防腐等级;

②河流穿越两侧设置远控截断阀室,一旦发生泄漏事故能够及时远程截断;

③结合地理信息系统提前梳理管道周边河流信息、地质灾害信息,提前开展泄漏风险评估;

④根据管道与水体的位置管线,提前计算,在河流下游方向合适位置设置围油栏,提前埋设围油栏固定桩,提前储备应急物资;

⑤编制一河一案,针对河流穿越段开展应急演练;

⑥定期进行管道内外部检测,及时更换腐蚀较严重的管段,避免发生泄漏事故;

⑦日常对管道泄漏监测系统进行维护;

⑧提升生产异常连锁的可靠性,实现异常情况下自动紧急停泵。

4.2 应急措施

①一旦发现油品泄漏或压力波动,立即采取措施,关闭河流两端的截断阀门,有效控制泄漏源,避免继续泄漏;

②立即向当地政府、主管部门报告,获得支持和援助;

③限制漏油的扩散。发现泄漏后第一时间组织紧急停输,并根据扩散时间,选择相应的泄漏点下游位置进行泄漏扩散的油品阻隔、回收工作。

5 结论

通过结合管道高程、河流流速、管道运行压力、泄漏孔径,可以更准确估算管道泄漏量、油膜扩散距离,可以发现泄漏点大小及泄漏发现的时间会极大的影响泄漏量;油品泄漏量对油膜扩散距离的影响较小,但是随着扩散时间的增加,污染距离随之增大。该结果表明,若发生油品泄漏时,企业应立即组织抢修,在只考虑泄漏距离的情况下,根据泄漏时间,选择泄漏点下游相应的位置进行溢油的阻隔和回收,能够有效减阻溢油的扩散,从而大大减少对生态环境造成的不利影响。

参考文献:

- [1] 胡睿.成品油管道工程油品泄漏对水环境的风险分析与评价[J].科技广场,2007(10):242-245.
- [2] 王磊,余曦,虎蕾.原油管道泄漏对地表水环境风险评估[J].环境科学与管理,2012,37(12):193-194.
- [3] 李大全.成品油管道泄漏扩散分析及危害后果评价[D].成都:西南石油大学,2005.
- [4] 董建伟.成品油管线泄漏油气扩散分析[J].后勤工程学院学报,2008,24(3):51-54.
- [5] 项小强,戴联双,曹涛等.输油管道泄漏液池的蒸气云扩散模型[J].油气储运,2011,30(5):334-336.
- [6] 黄亮亮,姚安林,鲜涛,等.考虑脆弱性的油气管道风险评估方法研究[J].中国安全科学学报,2014,24(7):93-99.
- [7] 魏沁汝,姚安林.基于多米诺效应的输油管道重大事故后果分析[J].中国安全生产科学技术,2014,9(11):168-173.
- [8] 祁云清,姚安林,朱元杰等.基于可拓理论的油气站场完整性管理质量评价方法研究[J].中国安全生产科学技术,2014,9(10):185-190.
- [9] 黄娟,曹雅静,高松,等.渤海海上溢油漂移扩散数值模拟研究[J].海洋科学,2014(11):100-107.

作者简介:

刘昌平(1982-),男,汉族,吉林敦化人,工程师,本科,国家管网集团东部原油储运有限公司南京输油处仪征输油站,研究方向:油气储运。