

天然气管道放空时间计算

郝睿杰 (四川石油天然气建设工程有限责任公司, 四川 成都 610040)

涂多运 (国家管网集团工程技术创新有限公司, 天津 300450)

摘要: 放空系统是天然气管道安全保护系统的重要组成部分, 用于工艺系统的超压泄放、紧急放空及开工、停工和检维修时放空。紧急性抢修和计划性检维修时, 为确保安全施工, 需要手动操作放空阀泄放掉管道内高压天然气。使用小孔泄漏模型模拟天然气管道手动放空, 采用 Aspen Hysys Depressuring Utility、TGNET 和 OLGA 软件计算手动单点放空和两点放空时间。对比计算结果发现: OLGA 软件模拟结果最接近实际耗时。推荐采用 OLGA 软件进行天然气管道手动放空时间计算, 可较好地支持工程设计和运行管理。

关键词: 天然气管道; 放空时间; 模拟软件; 小孔泄漏模型

中图分类号: TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 026-0100-03

Venting time calculation for natural gas pipeline

Hao Ruijie (Sichuan Petroleum and Gas Construction Engineering Co., Ltd, Chengdu Sichuan 610040, China)

Tu Duoyun (PipeChina Engineering Technology Innovation Co., Ltd, Tianjin 300450, China)

Abstract: The venting system is a crucial component of the safety protection system for natural gas pipelines, serving to relieve overpressure in the process system, conduct emergency venting, and facilitate venting during startup, shutdown, maintenance, and inspections. During emergency repairs or scheduled maintenance, manual operation of venting valves is required to release high-pressure natural gas from the pipeline to ensure safe construction. A small-hole leakage model was employed to simulate manual venting of natural gas pipelines, and the venting times for single-point and two-point manual venting were calculated using Aspen Hysys Depressuring Utility, TGNET, and OLGA software. A comparison of the results revealed that the OLGA software simulations were the closest to actual time consumption. It is recommended to use OLGA software for calculating manual venting times in natural gas pipelines, as it provides robust support for engineering design and operational management.

Keywords: natural gas pipeline; venting time; simulation software; small-hole leakage model

天然气作为一种清洁高效的化石能源, 随着国家能源战略的改革, 作为向新能源过渡的桥梁, 天然气工业快速发展, 成为低碳经济的重要支柱。管道输送是目前最优的天然气运输方式, 承担着我国绝大部分的运输任务。

放空是指将天然气管道系统中高压气体排放到大气中, 在天然气管道运维管理中, 手动放空是进行检维修的第一步操作。目前国内外标准规范对紧急放空^[1-4]时间有明确要求, API 521 或者 SY/T 10043 提到, 设备应在 15min 内将压力降至 690 kPag 或降至容器设计压力的 50%, 取其中的较低的压力, 但对手动放空的时间并无明确要求。

俄罗斯《干线管道设计规范》规定, 放空管的直径应在 1.5 ~ 2h 间排空上下游截断阀之间的管道内存气量。而根据西气东输一线运行经验, 在紧急情况下两个阀室间线路放空, 需要在 10 ~ 12h 内完成^[2]。天然气管道在站场进出站均设置手动放空阀, 其放空量一般按管道存气量的 1/3 ~ 1/2 考虑, 但未考虑放空时间的要求。

部分手动放空阀后会加限流孔板, 避免瞬时放空

量超过站场火炬的处理量。随着生产运行管理的精细化, 运维单位往往会要求设计单位明确手动放空时间或者核算已建系统的放空时间, 为合理组织调度检维修提供技术支持。

1 天然气管道放空系统

天然气管道系统一般包含首站、中间站 (阀室、清管站、接收站、分输站和压气站)、末站和站间管道。为保证站场设施管道的安全运行, 在站场要设置放空系统, 一般包括手动放空阀、安全阀、紧急泄放阀 (BDV)、调压放空阀、放空支管、放空主管、放空分液罐、阻火器或动密封系统、放空火炬 (带点火系统) 或放空立管, 可实现超压放空, 火灾工况下紧急放空, 稳定装置运行的调压放空和检维修工况下的手动放空。

根据规范要求, 上游站场出站截断阀下游和下游站场进站截断阀上游均应设置手动放空阀门和管线。在检维修时, 首先应关断上下游的截断阀, 避免站场系统设备和管道内存气串入; 再打开手动放空阀放掉天然气管道内气体, 并使用惰性气体 (如氮气) 进行置换; 待置换合格后方能打开管道及进行动火作业等。

天然气管道手动放空系统示意图见图 1。

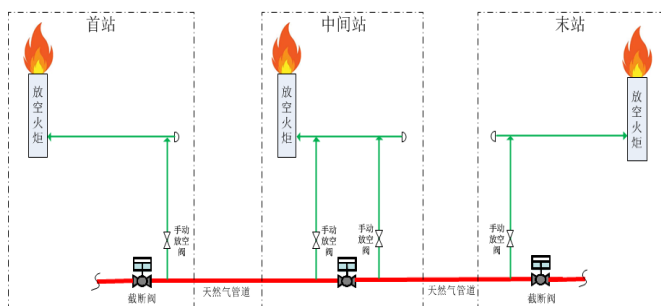


图 1 天然气管道手动放空系统示意图

管道内高压天然气通过手动放空阀放空属于复杂的非稳定流动，放空管道中任意点的各流动参数均随时间变化，放空过程要经历超临界流（放空管道出口压力远大于环境大气压力，气体流动处于壅塞状态）、临界流（放空管道出口压力等于环境大气压力，气体流动处于临界状态）、亚音速流（放空管道出口压力等于环境大气压力，放空管道入口压力逐渐减小，放空管道出口低于声速，气体处于亚音速流动状态，直到气源压力、放空管道入口压力、放空管道出口压力和环境大气压力一致，放空结束。）3 种状态。由于放空阀后管道比较复杂，本文做简化处理，不考虑放空阀后管道，用小孔泄漏来模拟手动放空口。

2 放空时间计算方法

目前，国内外文献中关于天然气管道放空时间计算方法主要有诺模图法^[2]、经验公式法^[3]、理论公式法^[2-6]。诺模图法方便易解，但误差较大，不推荐使用。经验公式法只适用于新建管线试压时临时短管的放空或站场内部就地立管的放空，放空天然气不接入站场放空系统。理论公式法以放空管道为研究对象，建立放空过程气体水力热力流动仿真模型，可以较好地预测管道放空时间，并能较真实地反映整个放空过程，这也是商业气体流动仿真软件的核心算法。

针对天然气管道手动放空时间的计算分析，可采用的仿真软件有 Aspen Hysys 软件（Depressuring Utility 和 Blowdown 模块），PipelineStudio 软件（TGNET 模块）、Synergi Pipeline Simulator（SPS）软件（Synergi Gas 模块）和 OLGA 软件^[7-8]。

Aspen Hsyy^[9] Depressuring Utility 将管道系统容积建模为单个容器，不考虑放空管道上阀门、管道管件的压损，而 Aspen Hysys Blowdown^[10] 则可以设置放空管道阀门和管件的压损。本文从简化模型的角度出发，不考虑放空阀后管道，用小孔泄漏来模拟放空口，故选择 Depressuring Utility 来计算分析。

TGNET^[11-12] 和 SPS^[13] 两款仿真软件在水力模型实质是一样的，在状态方程、粘度模型、摩阻系统和压

缩机模型方面有细微差别，实践证明，两者计算结果非常相近，特别是动态模拟结果。本文选择 TGNET 进行建模分析。OLGA 是一款非稳态多相流模拟计算软件，基于组分模型和机理模型，将管道分割成若干段，分段计算分析，进而得到整个管道系统的模拟结果。

3 案例分析

某天然气管道全长 28.8km， $\text{Ø}508 \times 17.5$ ，包含首站、中间阀室和末站，中间阀室无放空系统，首站和末站均设置了放空系统，首站出站管线和末站进站管线的手动放空管线配置了放空截止阀和限流孔板，限流孔板孔径均为 30.57mm。管道输量 $900 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，末站进站压力 6.82MPa，首站出站温度 42℃，埋地管道夏季地温 25℃，管道沿线高程起伏不大，起点和终点高程基本一致。

3.1 Aspen Hsys Depressuring Utility 模型

将天然气管道停输稳定后压力、温度和组分输入 Aspen Hysys，调用 Depressuring Utility，计算手动放空时间。软件计算模型见图 2。

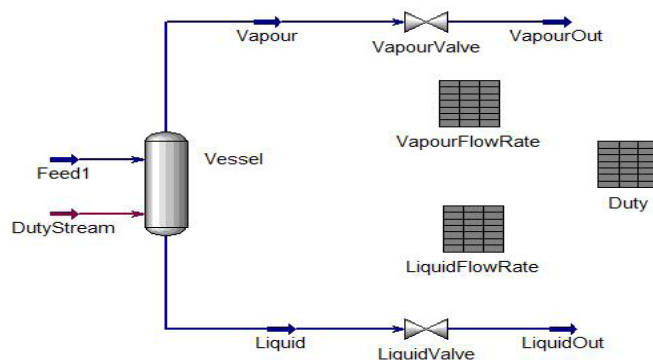


图 2 Depressuring 放空模型

针对首站或末站单点放空和首末站同时放空进行计算，单点放空时间为 2100 分钟，双点放空时间为 1150 分钟。

3.2 TGNET 模型

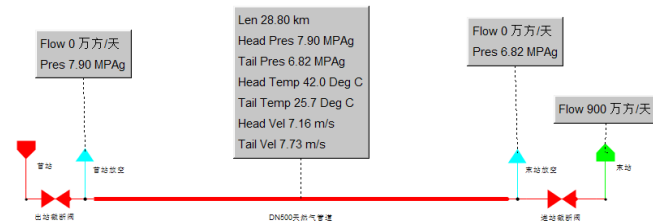


图 3 TGNET 放空模型

对整条管线进行建模，忽略中间阀室，首站和末站手动放空采用 Leak 组件来代替，放空模型见图 3。稳态运行时，Leak 组件的孔径为 0mm，无泄漏；在动态模拟时，先进行首站和末站关阀操作，在 180min

时管道全线压力均衡稳定,随后打开首站或者末站的手动放空阀,模拟计算管道内天然气压力降低过程和耗时。单点放空时间为 1970 分钟,双点放空时间为 1300 分钟。

3.3 OLGA 模型

与 TGNET 建模类似,建立整条管线的模型,采用 Leak 组件来代替首站和末站手动放空。稳态运行 60s,第 61s 关闭进出站截断阀,打开 Leak 组件进行泄放计算。单点放空时间为 2690 分钟,双点放空时间为 1515 分钟。计算结果见图 4。

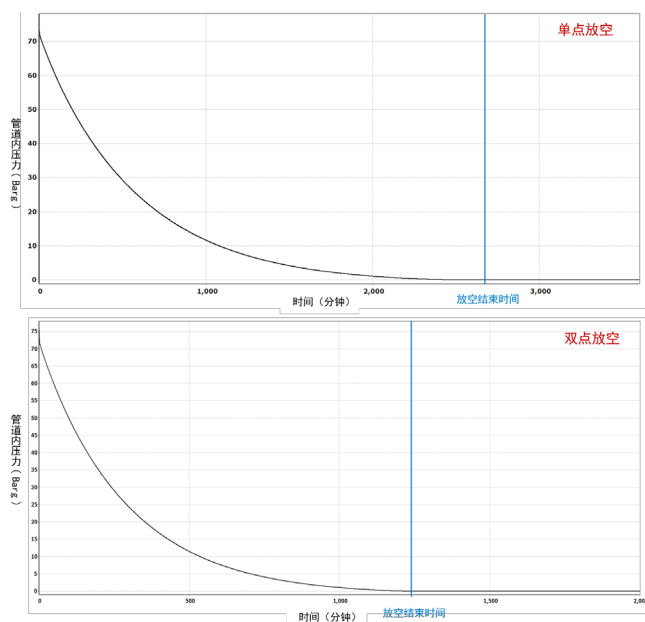


图 4 OLGA 放空模型单点和双点放空计算结果
三款仿真软件的手动放空时间计算结果汇总如下,见表 1。

表 1 放空时间计算结果

	Depressuring Utility	TGNET	OLGA
首站或末站单独放空	2100 min	1970 min	2690 min
首站和末站同时放空	1150 min	1300 min	1515 min

对比发现,OLGA 计算的结果最大,耗时也最长,Depressuring Utility 次之,TGNET 最短。因 OLGA 采用机理模型进行压力和温度耦合计算,计算结果接近实际放空耗时(现场反馈实际放空时间大于 26h);而 Depressuring Utility 将管道等效成储罐,采用绝热模型,忽略与外界换热,未考虑泄放流体在管道内流动,故时间相对短;而 TGNET 对计算模型简化,且 LEAK 组件未考虑泄放系数,故泄放时间最短。此外,采用双点放空,时间上并不能将单点放空缩短一半,这是因为放空后期压力低,放空速度大大减缓,放空速度

的降低也非线性关系。

4 结论

本文简化天然气管道手动放空物理模型,采用仿真软件建立小孔泄漏模型模拟手动放空过程,三款软件均能够较好地仿真泄放过程。对比结果发现,OLGA 能对放空过程进行压力温度耦合计算,模拟计算结果更接近实际情况,且 OLGA 采用的机理模型亦能对多相流管道进行仿真模型,具有多种逻辑控制器,适用范围更广。综合考虑,推荐采用 OLGA 软件进行天然气管道手动放空模拟计算。

参考文献:

- [1] 余洋,黄静,陈杰,等.天然气站场放空系统有关标准的解读及应用[J].天然气与石油,2011,29(5):11-14.
- [2] 谢跃辉,吴东容.长距离输气管道放空时间计算方法研究[J].化学工程与装备,2015(02):128-130.
- [3] 吴渊,金金.天然气输气管道放空时间的计算[J].辽宁化工,2014,43(09):1207-1209.
- [4] 林棋,娄晨,宫敬,等.基于 C 语言的输气干线及站场放空作业过程水力计算研究[J].油气田地面工程,2019,38(S1):36-41.
- [5] 刘英男,张鑫,单鲁维.基于特征线法的天然气管道放空时间的计算[J].油气储运,2014,33(12):1338-1342.
- [6] 金安泰.输气管道放空过程动态仿真与放空时间预测软件开发[D].北京:中国石油大学(北京),2022.
- [7] 裴娜,曹书荣,赵来会.天然气管道干线及站场放空控制研究[J].石油天然气学报,2014,36(8):208-210.
- [8] 李崇健,杨军杰,卜武军,等.输气管道超量放空分析与计算[J].管道技术与设备,2024(04):17-20,37.
- [9] 贾保印,王红,林畅.天然气管线放空过程的动态模拟与分析[J].石油与天然气化工,2016(06):18-21.
- [10] 赵方生,陈文峰,张春娥,等.Depressing 与 Blow-down 在减压泄放计算中的对比分析[J].盐科学与化工,2021,10:41-44.
- [11] 张科.输气管道放空时间测算及作业控制方法[J].天然气技术与经济,2021,15(2):27-32.
- [12] 冯亮,李一宁,李开鸿,等.高压天然气站场放空时间的模型及其优化[J].石油天然气学报,2020,42(2):116-123.
- [13] XIONG Yi, ZHANG Liping, ZHU Tingting. Research of emergency venting time in natural gas pipeline accidents with SPS[J]. Procedia Engineering, 2014(84):927-932.

作者简介:

郝睿杰(1987-),男,山西长治人,硕士研究生,中级工程师,研究方向:石油与天然气工程。