

天然气长输管道放空系统计算

梁智伟 (中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 在进行天然气长输管道放空系统的设计时, 通常选取线路计划放空和站场紧急放空两种典型的放空工况来进行分析。在计算时先确定放空流量初算出放空立管口径, 再通过 OLGA 软件进行模拟核算, 确保各项数值满足要求。使用 PHAST 软件可以模拟放空时天然气的扩散情况, 计算出云团大小及爆炸下限的范围。噪声计算可以通过专业的模拟软件如 Flaresim 计算模拟, 也可以使用公式进行计算, 应保证放空时噪声值不超过 115dB (A), 同时也要计算出 85dB (A) 的影响半径。

关键词: 天然气; 计划放空; 紧急放空; 限流孔板

近年来随着我国经济的快速发展, 各地天然气用量迅速增长, 天然气长输管道的建设也进入飞速发展的阶段。发改委近期批复的大型管道项目 (如: 川气东送二线、西气东输三线等) 设计年输量都超过了 200 亿立方米, 这些项目干线管径都达到或超过 1219mm, 设计压力达到 10MPa, 最高运行压力都在 9.8MPa 左右。在大管径和高运行压力条件下, 事故发生时管存气体的质量也变得十分庞大, 为满足规范对放空时间的要求, 需要使用直径更大的放空管路和放空立管; 同时由于限流孔板的节流作用导致放空管道温度降低, 有时不得不采用低温管材, 这些都会直接导致项目投资的增加。如此, 放空系统的设计正在成为整个长输管道系统设计中重要的一部分。

某支线天然气管道工程线路全长 108.8km, 管径 406.4mm、设计压力 6.3MPa, 最高运行压力 5.95MPa, 全线共设置 2 座站场、5 座阀室。站场阀室的设置情况如表 1 所示:

表 1 某支线站场、阀室明细表

序号	名称	间距	里程	备注
1	改造阀室	0	0	接气点
2	首站	0.64	0.64	新建
3	1# 阀室	10.31	10.95	新建
4	2# 阀室	21.81	32.76	新建
5	3# 阀室	18.7	51.46	新建
6	4# 阀室	23.25	74.71	新建
7	5# 阀室	15.58	90.29	新建
8	末站	17.47	108.00	新建

由设计文件得知该工程各站场中末站管容最大, 总计 30m³ (调压前 25m³, 调压后 5m³); 各截断阀室中 3# 阀室~4# 阀室间距最大。因此选择末站作为典型站场进行站场放空系统计算, 选择 3# 阀室作为典

型阀室进行线路计划放空计算。

在放空系统的计算过程中, 通常先根据放空流量初步确定放空总管和放空立管的管径, 再通过动态模拟软件进行核算。

1 站场放空系统计算

1.1 放空立管口径计算

站场放空系统设计计算时, 一般只考虑紧急放空、安全阀排放和承担的输气管线放空。应根据各种放空工况中最不利的工况确定放空管路的管径, 无需考虑不相关原因引发的事故叠加工况。

由于一般的输气管道站场 (非压气站) 不设置安全阀; 并且当站场承担输气管线放空任务时, 放空时间按照 12h 计算。所以一般按照紧急放空时的最大瞬时流量作为最不利工况下的放空流量, 并以此为基础确定放空管路的管径。

以管道最大操作压力 5.95MPa 作为站场紧急放空的起始压力, 根据 GB 50251-2015 3.4.7 第 4 条对紧急放空减压速率的要求, 应在 15 分钟内将管道压力降至管道设计压力的 50%, 即 3.15MPa。

对于放空流量的计算采用下式 (质量流量):

$$W = 0.25 \times 3.14 D^2 L \rho / t \quad (1)$$

其中为放空开始时管线内的气体密度, 单位 kg/m³。

将放空流量 (质量流量) 带入下式得到放空立管出口管径:

$$d = \left[11.61 \times 10^{-2} \frac{W}{P \cdot m} \left\{ \frac{T}{K \cdot M} \right\}^{0.5} \right]^{0.5} \quad (2)$$

其中 M 为放空立管出口处马赫数, 按照工程要求, 不得超过 0.8。

经过计算, 放空立管出口管径为 139mm, 考虑到工程项目的标准化, 因此本项目放空立管口径为

DN150。

1.2 站场紧急放空限流孔板的计算

当站场发生可燃气体泄漏、火灾或其他紧急事故时触发紧急停车而引发的放空。根据站场 ESD 分级，一般可分为设备级、工艺设备区域级以及全站级的紧急放空。

站场紧急放空属不可控放空，放空持续时间较短、最大瞬时放空流量一般较大。如果不加以控制，会导致放空时气体流速过大，产生巨大的噪音。因此一般在 BDV 后增加限流孔板，降低放空时气体流速，减少最大瞬时放空流量。但限流孔板具有节流作用，当高压天然气通过孔板时，伴随着压力的降低，放空气体的温度也会降低。过低的温度会使常温管材发生脆性断裂，导致严重的后果。

限流孔板的孔径通常采用下式计算：

$$t = \frac{BV}{C_d A_v} \times \ln \frac{P_1}{P_2} \times \sqrt{\frac{R_d}{ZT}} \quad (3)$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \times A_v}{\pi}} \times 1000 \quad (4)$$

经计算，选取末站调压前紧急泄放阀后限流孔板孔径为 30mm，调压后紧急泄放阀后限流孔板孔径为 10mm。

1.3 利用 OLGA 软件进行核算

OLGA 是当今世界领先全动态多相流模拟软件，可以模拟在油井、输油管线和油气处理设备中的油、气和水的运动状态。在输气管道放空系统计算中，OLGA 可以进行更真实的动态模拟，能得到放空系统的瞬时状态参数。

站场放空系统管路一般简化为枝状管网，即各设备区的放空天然气由放空源进入放空支管，然后汇集到放空总管，最后由放空立管排放到大气。

放空管路应考虑局部阻力件的影响，放空立管出口压力取当地大气压。

OLGA 模拟核算结果如表 2 所示：

表 2 站场紧急放空 OLGA 软件计算结果

放空立管口径 (mm)	瞬时最大放空量 (kg/h)	立管出口处最大马赫数	压力降至 2.9MPa/1.8MPa 所需时间 (min)	放空阀后最大背压 (MPa)
DN150	13248	0.45	14.5	0.12

根据 OLGA 软件核算，之前所选取的放空立管口

径与限流孔板孔径满足要求。

2 线路阀室计划放空计算

如果输气管线上下游阀室均能放空，则计算中可将放空模型简化为：单个放空阀仅负责两相邻阀室间距一半长度的管内天然气放空。如果输气管线上下游阀室仅一侧能放空，则一个放空阀需负责两相邻阀室间距管内天然气的放空。放空阀前、后的放空管路应考虑局部阻力件的影响，放空立管出口压力取当地大气压。



图 1 阀室放空简化模型示意图

当下游有压气站时，放空初始压力可按输气管线设计压力的一半进行估算；当下游既有压气站且又有低压用户时，放空压力取输气管

线设计压力的一半和用户允许的交气压力中的较小值；当下游无压气站时，放空压力取用户允许的交气压力。因此取 4.0MPa 作为计划放空初始压力。

线路计划放空按照要求需要在 12h 内将管道压力泄放至常压。

OLGA 模拟核算结果如表 3 所示：

表 3 线路计划放空 OLGA 软件计算结果

瞬时最大放空量 (kg/h)	立管出口处最大马赫数	放空结束所需时间 (h)	放空阀后最大背压 (MPa)
13680	0.45	12	0.05

在模拟线路阀室计划放空时，为防止瞬时流量过大，需通过控制阀门开度来维持一定的放空流量。通常做法是每隔 1-2h 增大一次阀门开度，这样既贴近实际放空时现场的情况，又能限制最大放空流量。模拟计算结果如图 2 所示。

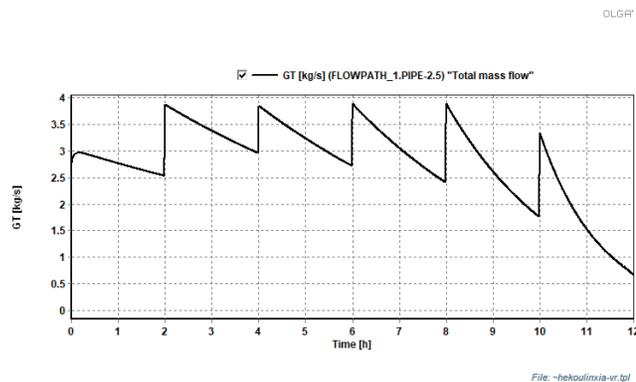


图 2 OLGA 软件模拟的线路计划放空最大质量流量

3 天然气扩散计算

放空天然气的扩散采用 PHAST 软件模拟, 计算时考虑了放空气体流速、组分和温度, 风速, 大气稳定度, 环境温度, 大气湿度, 地形条件等因素对放空天然气在大气中扩散的影响, 分析出最不利于放空天然气扩散的工况, 计算给出 0.5LFL 浓度边界空间分布。根据某市气象资料可知, 年平均风速 1.3m/s, 50 年一遇的大风风速为 28.5m/s。

对站场紧急放空时天然气扩散情况进行模拟, 结果如表 4 所示:

表 4 站场紧急放空时天然气扩散计算结果

风速 (m/s)	瞬时最大放空量 (kg/s)	瞬时最大流速 (m/s)	孔板后瞬时最低温度 (°C)	立管口瞬时最大马赫数	爆炸上限扩散距离 (m)	爆炸下限扩散距离 (m)	50% 爆炸下限扩散距离 (m)
1.5	4.45	159	-29	0.545	0.55	2.05	4.9
28.5	4.45	159	-29	0.545	0.8	3.45	8.03

在 28.5m/s 的极端风速条件下天然气扩散云团如图 3 所示:

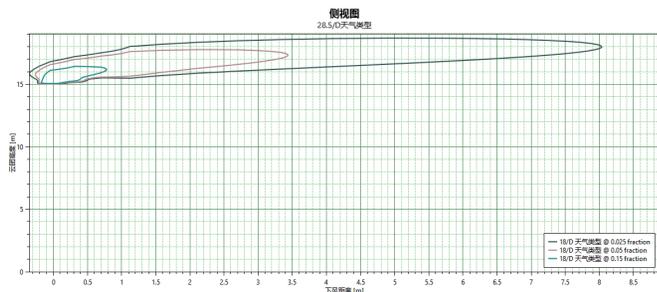


图 3 28.5m/s 风速条件下天然气扩散云团

可见扩散的云团影响区域主要在放空管口之上, 当放空立管高度大于 10 米时, 对地面操作人员及建筑物没有影响。

4 放空噪声计算

在进行放空时, 主要关注放空噪声对操作人员和周边环境的影响。放空噪声来源于天然气从放空立管喷射到大气中形成的气流喷射噪声和放空管道噪声, 前者是主要因素。

①对于阀室计划性放空工况, 应计算出 85dB(A) 在地面上的影响范围; ②站场承担输气管线放空工况, 对于计划性放空, 应计算出 85dB(A) 在地面上的影响范围。站内紧急情况下的放空在放空区边界处的噪声不应超过 115dB(A)。

天然气排放到大气中的气流喷射噪声可使用国际公认的成熟商业软件计算。在没有这些商业软件时, 可采用 Engineering Noise Control—Theory and Practice 第

4 版第 11.7.1 节的计算公式进行计算。计算结果如图 4 所示。

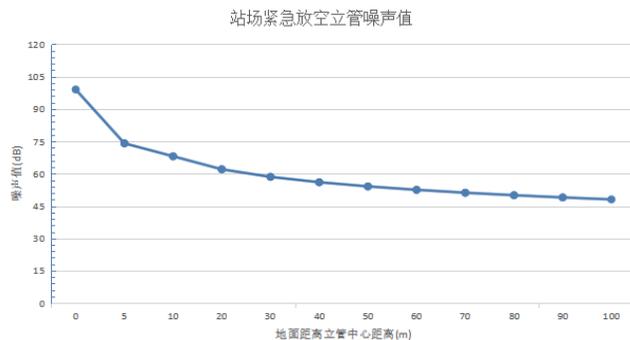


图 4 站场紧急放空立管噪声值

可以看到放空立管底部噪声值为 99.05dB(A), 因此放空区边界处噪声均未超过 115dB(A), 噪声值 85dB(A) 影响半径为 3.4m, 满足噪声要求。

5 总结

通过计算先确定放空立管口径, 再给予初算的放空立管口径, 通过 OLGA 软件进行模拟核算。

当遇到瞬时放空流量过大的情况时。对于站场紧急放空可以采用缩小限流孔板孔径的方式来减小放空流量。对于线路计划放空, 可以采用每 1-2h 调整一次放空阀门开度的方式, 来控制放空流量。

使用 PHAST 软件可以模拟放空时天然气的扩散情况, 计算出云团大小及爆炸下限的范围。噪声计算可以通过专业的模拟软件如 Flaresim 计算模拟, 也可以使用公式进行计算, 应保证放空时噪声值不超过 115dB (A), 同时也要计算出 85dB (A) 的影响半径。

参考文献:

- [1] 赵立丹. 天然气长输管道站场放空系统计算 [J]. 油气田地面工程, 2021, 30(8): 2.
- [2] 张航. 天然气长输管道站场放空的设计研究 [J]. 石油石化物资采购, 2020(8): 62-62.
- [3] 刘小兵, 汪益宁, 徐涛, 等. 长输天然气管道站场放空系统设计的思考 [J]. 企业技术开发月刊, 2021, 35(15).
- [4] 杨文川, 谌贵宇, 李巧, 等. 天然气长输管道线路放空系统优化设计探讨 [C]//2013 年全国天然气学术年会. 2013.
- [5] 梁俊奕. 天然气长输管道放空系统设计方法研究 [J]. 当代化工, 2020(09): 1833-1835.
- [6] 梁林, 张景山, 黄建敏, 等. 天然气站场瞬时放空关键参数设计方法研究 [J]. 天然气与石油, 2021(09).
- [7] 唐川, 李长俊. 天然气集输站场放空管道背压计算浅析 [J]. 工程技术, 2020(7): 251-252.