

Simulation Analysis of Underwater Crossing Burst Accident of Natural Gas Pipeline

Qiang Li

China Petroleum Pipeline Engineering Co. Ltd. International, Langfang Hebei
Email: liqiang83@cnpc.com.cn

Received: May 12th, 2020; accepted: Jun. 9th, 2020; published: Jun. 15th, 2020

Abstract

Pipe break is a typical accident occurred in long-distance pipelines and might be the cause of other similar accidents. Owing to many factors affecting submarine pipelines transporting natural gas, it proved extremely difficult to detect and examine the explosion in submarine pipelines crossing point. In this research, the ANSYS/LS-DYNA software solution is applied to simulate breakages in underwater gas transmission pipelines at crossing points. The gathered data as the distribution rate for emission of gas bubbles from leak point jointly with the rate of crack growth on pipes and pressure distribution rate influencing over the adjacent pipe in the aquatic environment are useful in assessing the bubbles movement parameters before the gas flow from the leak point reaches a quasi-static flow state and pipeline kinematic characteristic. The findings of the research can be applied in construction, maintenance and commissioning of long-distance submarine pipeline crossing.

Keywords

Pipeline, Undercrossing, Breakage, ANSYS/LS-DYNA Software

天然气管道水下穿越爆裂事故模拟分析

李 强

中国石油管道局工程有限公司国际事业部, 河北 廊坊
Email: liqiang83@cnpc.com.cn

收稿日期: 2020年5月12日; 录用日期: 2020年6月9日; 发布日期: 2020年6月15日

摘 要

管道爆裂是长输管道的典型事故, 也是引起其他一些事故的重要原因。基于水下穿越天然气管道受多种因素的影响, 使得研究水下穿越天然气管道爆裂实验有一定难度。采用ANSYS/LS-DYNA软件系统对水下穿越天然气管道爆裂事故进行了模拟。通过研究泄漏气体在水环境中形成气泡的扩散速度和裂纹扩展速度以及压力场对相邻管道的影响, 确定了从泄漏点气体流动达到准静止流动状态前的气泡运动参数和天然气管道的运动学特性, 该结果可为水下穿越段长输管线的建设、维护和运行提供一定的参考。

关键词

天然气管道, 水下穿越, 爆裂, ANSYS/LS-DYNA软件

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近些年国内对水下天然气管道爆裂事故的研究主要集中于泄漏天然气在水中迅速发生迁移扩散, 气体到达水面后存在着火灾和爆炸等危险的分析[1]和气体泄漏产生的冲击波在水中的扩散规律的研究[2]。为保障天然气运输的持续性和安全性, 天然气水下穿越管道实际建设和运行中基本都采用双管道, 其中一条为主管道, 另一条为备用管道, 如果主管道发生事故时, 可以紧急切断气源后启用备用管道, 在这种情况下研究主管道发生爆裂事故对备用管道产生的影响就尤为重要了, 但是目前国内在这方面的研究资料很少, 本文描述了利用 ANSYS/LS-DYNA 软件系统对管道爆裂事故进行物理数值模拟的过程。通过对水环境中压缩波扩散过程的数值模拟, 确定了从泄漏点气体流动达到准静止流动状态前的气泡运动参数和天然气管道的运动学特性, 基于试验结果分析了天然气管道爆裂事故对相邻管道的力学影响程度。

2. 双线水下管道数值建模

LS-DYNA 为通用型的有限元软件, 可同时进行 Implicit 及 Explicit 的分析, 故适合仿真线性、非线性、静态、动态、接触力学、耦合等等的真实结构行为。目前全球工业界广泛地应用于: 航空航天、汽车工业、国防工业、电子产品结构分析、生物医学、土木建筑结构、钣金成型、与其它制造业。

为了研究水下主管道爆裂对事故现场附近物体的力学影响水平, 本文对管道爆裂事故进行了数值模

拟[3], 基于 ANSYS/LS-DYNA 软件系统开发出了管道和周围环境模型。

水下穿越模拟采用了双线管道的形式, 其中一条为运行管道, 另一条为备用管道, 管道之间的间距为 2 m, 管道内径为 1 m, 材质为低合金钢 16 Mn, 壁厚 20 mm。管道外部用厚为 100 mm 的混凝土保护层与外界隔绝, 管道位于 25 m 深处, 管道内天然气压力为 7.5 MPa。

3. 爆裂事故模拟分析

对管道的破坏过程采用了两种方式进行模拟: 1) 管道瞬间爆裂, 裂痕长度 20 m; 2) 爆裂事故发生后裂纹以 150 m/s 的速度扩展并达到相似裂痕长度。在考虑了管道混凝土保护层的影响下, 利用管道钢材弹塑性变形模型对裂缝的展开过程进行了计算[4]。

在图 1 的例子中展示了在事故最初的 0.05 s 时裂纹以有限的速度扩展时, 管道的应力强度(a)和塑性应变(b)状态。

计算结果显示, 在初始时刻, 气泡开始膨胀(见图 2), 其中的压力随着时间不断降低。气泡的形状和大小很大程度上取决于管道爆裂的类型。下文中提到的计算网格的原点位于管道事故中心和网格对称平面的交叉处[5]。在裂痕位于管道的两侧、上部和下部等各种情况时, 计算了管道爆裂对相邻管道的影响和事故产生联级效应的可能性。

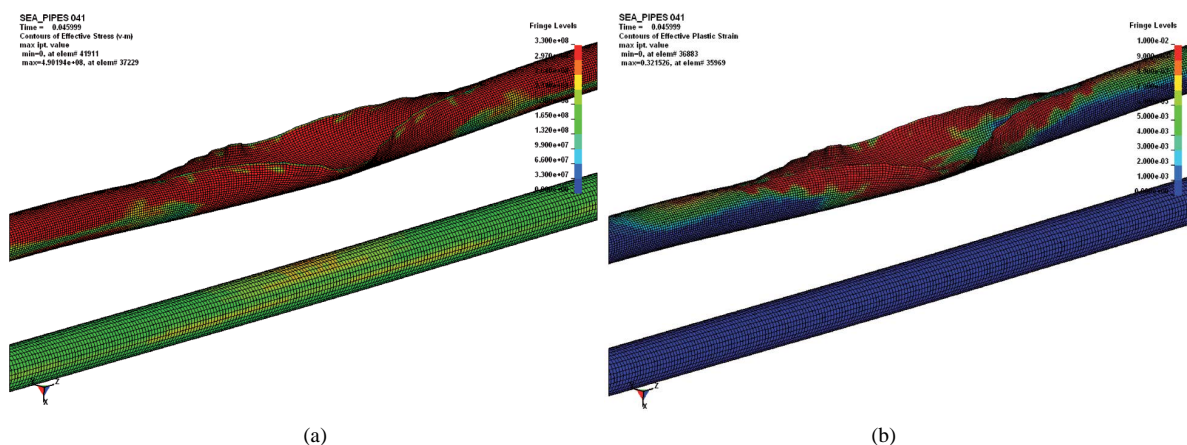


Figure 1. Sea pipeline stress intensity (a) and structural yielding (b) at 0.05 sec

图 1. 爆裂事故最初 0.05 秒时管道应力强度(a)和塑性应变(b)示意图

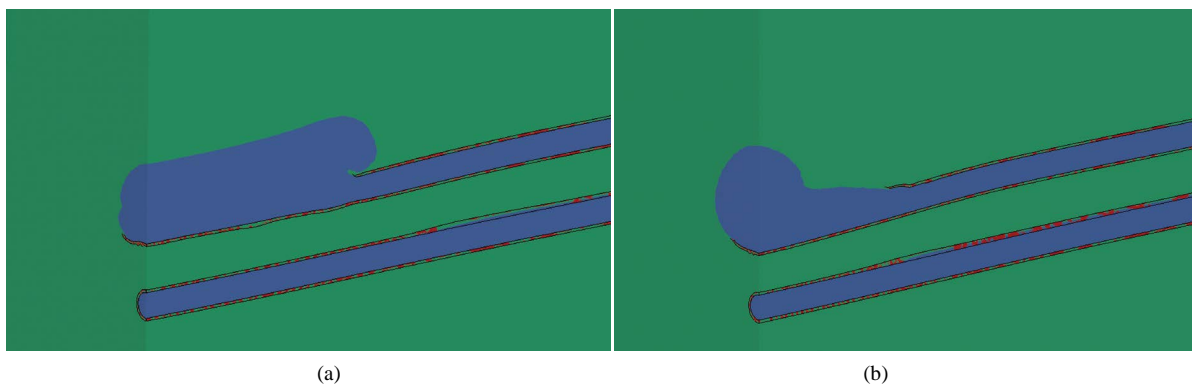


Figure 2. Pipe rupture gas flowfield based on calculations using models of sudden burst pipe of 20 m (a) and crack enlargement with an average speed of 150 m/s at 0.02 sec (b)

图 2. 管道瞬间爆裂 20 m 泄漏气体截面(a)和裂痕以 150 m/s 速度扩展 0.02 s 时泄漏气体截面(b)

图 3 中展示了不同时刻的气流物理图形和压力场的变化情况。作为例子，对第二条管道沿侧面爆裂，裂纹并以 150 m/s 的速度扩展为模型进行了计算。可以看出，初始阶段气泡迅速膨胀，并且在接近 0.07 s 时候，其中的压力几乎下降到管道附近的水压大小。

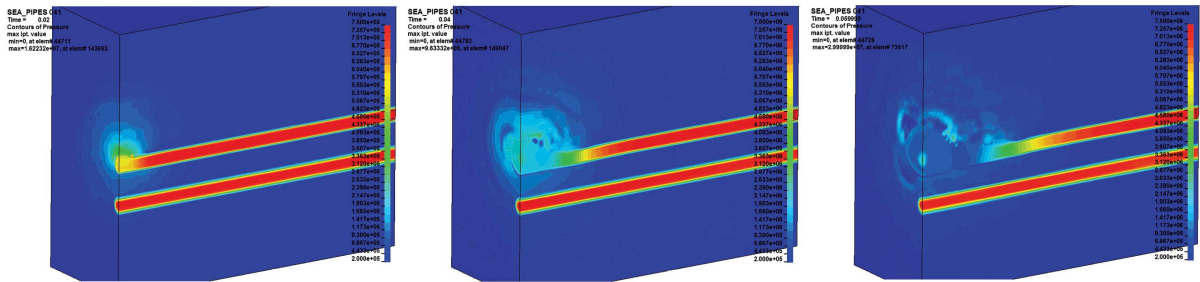


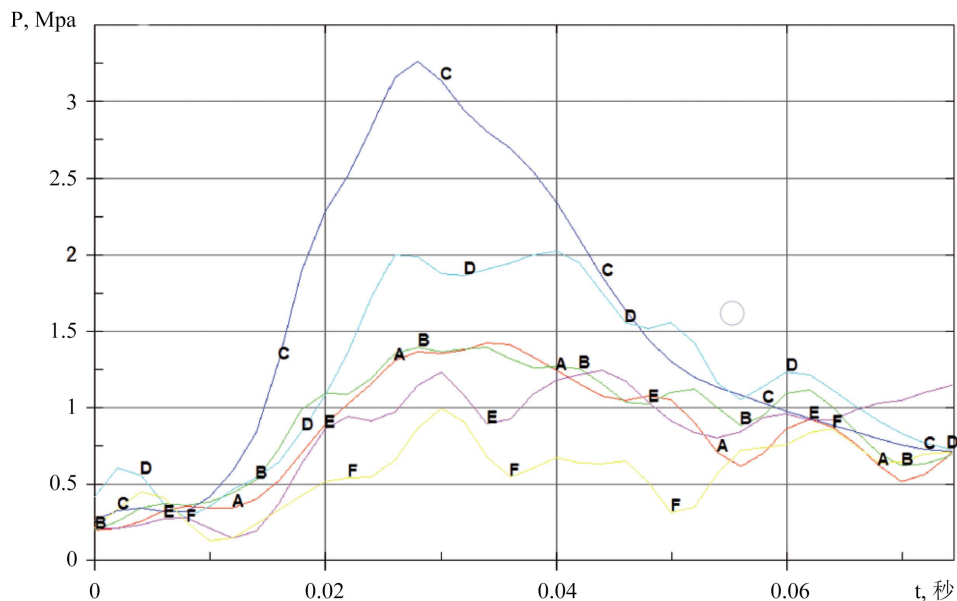
Figure 3. Pressure pattern of crack enlargement at 0.02, 0.04 and 0.06 sec
图 3. 在 0.02, 0.04 和 0.06 秒时裂纹扩展模型中的压力场图

图 4~7 展示了在管道爆裂处沿着 X 轴和 Y 轴(分别为管道横截面的水平向和垂直向)的管道横截面上方空间点的压力变化曲线。从曲线中可以看出，爆裂事故发生后，随着压缩波在水中的不断扩散，压缩波中的最大压力从爆裂处开始迅速消退。

考虑到气泡的驱使作用，对事故管道朝相邻管道的最大移动速度进行了计算。图 8 作为例子展示了管道侧面瞬间爆裂(A)和平缓爆裂(B)事故发生在 0.06 秒时的速度场情况。

4. 结语

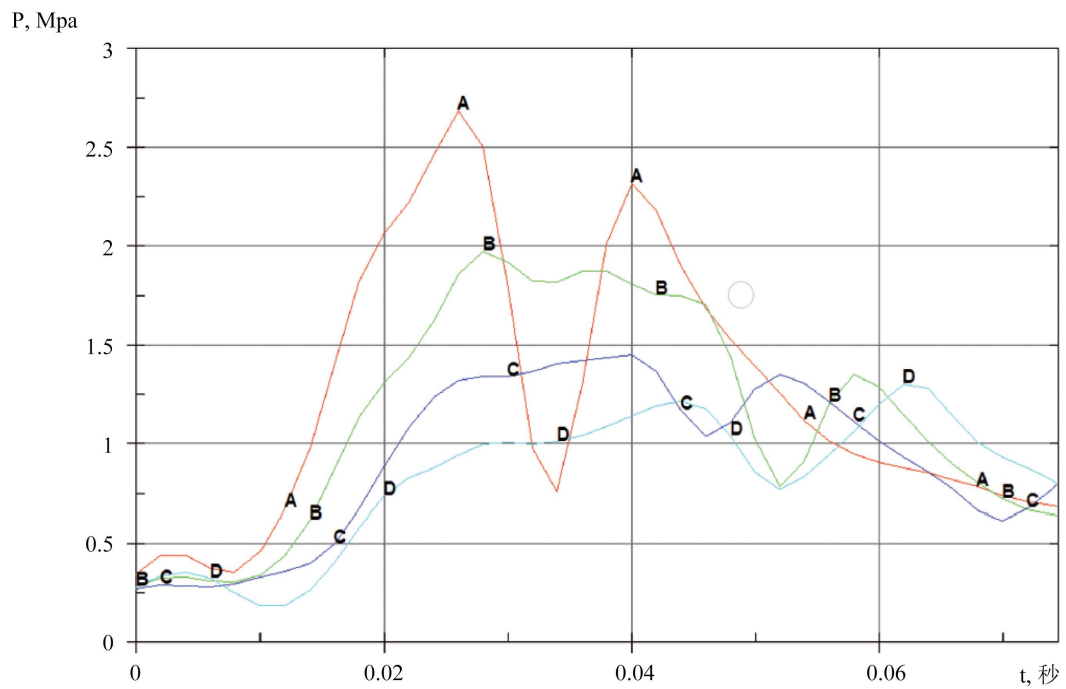
通过对水环境中压缩波扩散的数值模拟确定了爆裂事故开始到爆裂点泄漏气体流动达到准静止流动状态过程中气泡的运动参数和天然气管道的运动学特性。



A: X = 2.3 米; B: X = 1.3 米; C: X = -1.6 米; D: X = -2.8 米; E: X = -4.1 米; F: X = -5.5 米。

Figure 4. Water pressure dependence for matching points position on the X axis in the horizontal plane (Y = 0) used in modelling crack enlargement at the speed of 150 m/sec

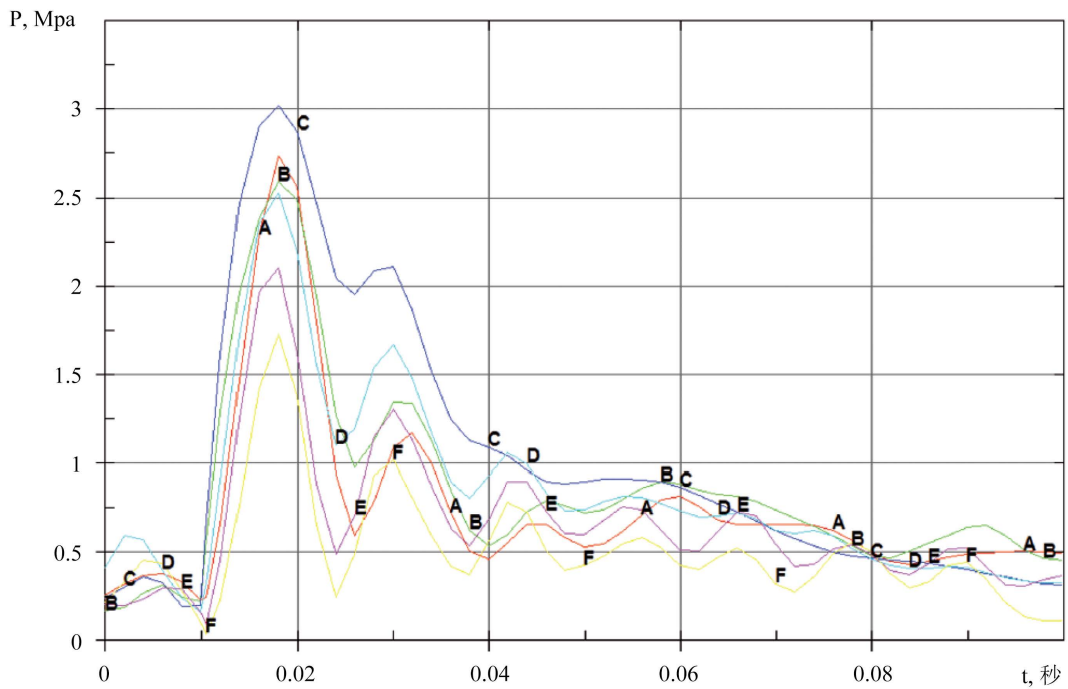
图 4. 模拟裂纹扩展速度为 150 米/秒时水环境中沿 X 轴方向(Y = 0)压力变化曲线



A: $Y = 0.9$ 米; B: $Y = 1.8$ 米; C: $Y = 2.6$ 米; D: $Y = 3.4$ 米。

Figure 5. Water pressure dependence for matching points position on the Y axis in the horizontal plane ($X = 0$) used in modelling crack enlargement at the speed of 150 m/sec

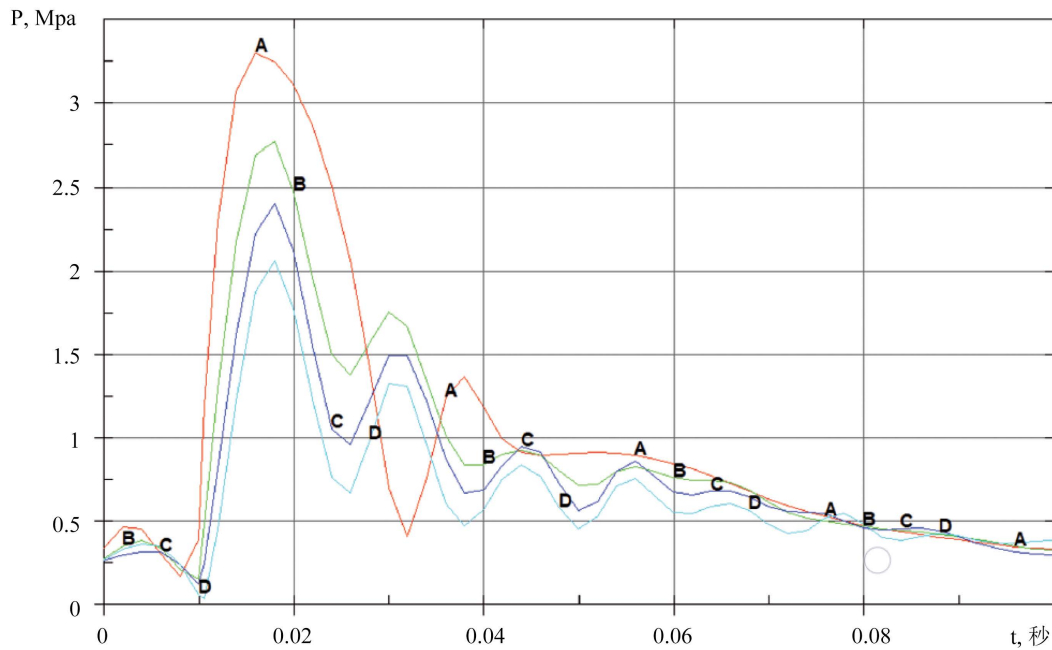
图 5. 模拟裂纹扩展速度为 150 米/秒时水环境中沿 Y 轴方向($X = 0$)压力变化曲线



A: $X = 2.3$ 米; B: $X = 1.3$ 米; C: $X = -1.6$ 米; D: $X = -2.8$ 米; E: $X = -4.1$ 米; F: $X = -5.5$ 米。

Figure 6. Water pressure variation curve for matching points position on the X axis in the horizontal plane ($Y = 0$) at sudden burst pipe

图 6. 模拟管道瞬间爆裂时水中沿 X 轴方向($Y = 0$)压力变化曲线



A: Y=0.9 米; B: Y=1.8 米; C: Y=2.6 米; D: X=3.4 米。

Figure 7. Water pressure variation curve for matching points position on the Y axis in the horizontal plane (X = 0) at sudden burst pipe

图 7. 模拟管道瞬间爆裂时水中沿 Y 轴方向(X=0)压力变化曲线

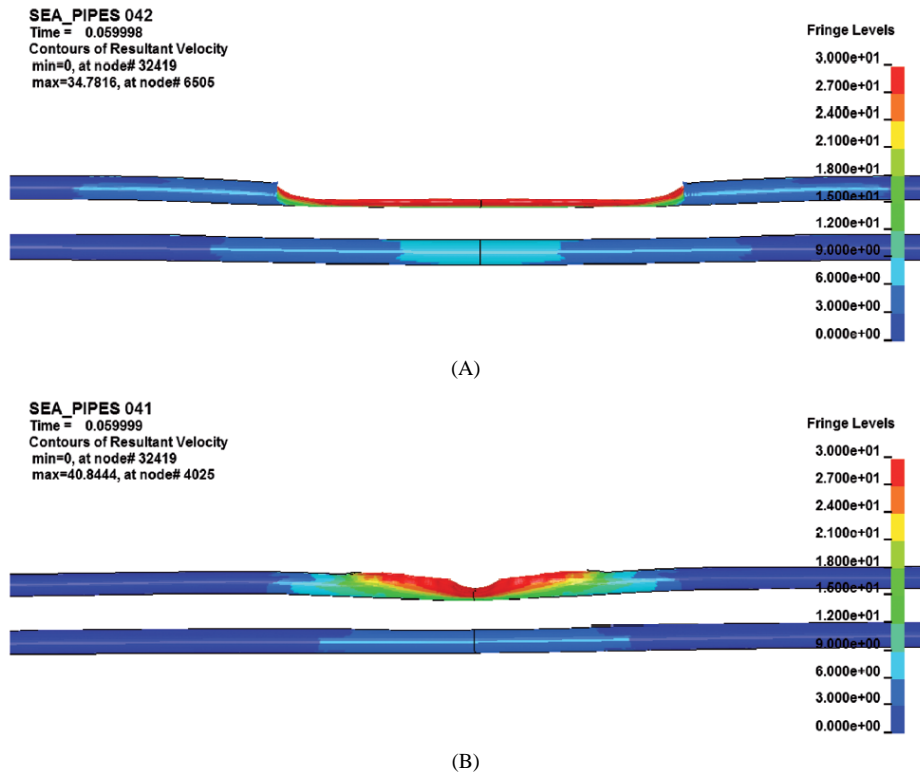


Figure 8. Velocity field of pipelines at time of 0.06 sec from rupture initiation for models of sudden burst pipe (A) and smooth burst pipe (B)

图 8. 管道瞬间爆裂模型(A)和平缓爆裂模型(B)爆裂事故开始 0.06 秒时的速度场

可以确定的是,由于管道爆裂点形成在水中扩散的压缩波和气泡的膨胀的影响,事故发生 0.07 秒后相邻管道距离爆裂点最近的截面受到冲击速度达到峰值(4 米/秒左右)。气泡边界的运动速度可达到最大 50 米/秒,之后随时间推移减慢。在这种情况下,膨胀气泡的反作用力不会导致管道之间的汇集和碰撞。

对相邻管道造成的最大压力为 3.5 Mpa,压力分布呈非撞击性平稳增长。在最初设定的条件下,爆裂事故点 5 米以外区域的压力波振幅不超过 1 Mpa。在爆裂事故影响下,相邻管道的最大应力和应变不超过塑性变形的初始水平。

参考文献

- [1] 李勇,王卫强,王国富,等. 水下天然气管道泄漏扩散数值模拟[J]. 当代化工, 2015, 44(12): 2861-2863.
- [2] 李新宏,朱红卫,陈国明,等. 海底管道泄漏天然气扩散规律数值模拟[J]. 油气储运, 2016, 35(2): 215-220.
- [3] Seleznev, V.E., Aleshin, A.V. and Klishin, G.S. 天然气管道系统数值模拟方法与技术[J]. 莫斯科: 管道技术, 2005, 35(2): 328-329.
- [4] Wilkins, M.L. 弹塑性流体力学计算[J]. 国际力学新技术, 1967, 2(3): 52-54.
- [5] 文闯,延斌,王完全,等. 海底管线天然气泄漏过程数值模拟[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2015, 27(2): 72-77.