

文章编号: 1000-8241(2015)02-0190-05

# 爆破对输气管道本体影响的监测

李强<sup>1</sup> 陈德利<sup>2</sup> 屈洋<sup>2</sup>

1. 广东大鹏液化天然气有限公司, 广东深圳 518048; 2. 北京天江源科技有限公司, 北京 100085

**摘要:** 通过管道震动加速度动态实时监测和管道本体变形实时监测相结合的方法, 对受爆破影响区域的管道进行监测, 并通过数据处理和分析, 得到了爆破发生时管道的最大震动加速度和速度, 以及爆破发生时刻和爆破前后的管道本体实时应变。结果表明: 爆破时, 垂直于管道的水平方向冲击最大, 但与之相关的最大震动速度远远小于安全指标, 平行于管道的水平方向和垂直于管道方向的加速度测量值较小。爆破对管道的变形有一定影响, 但这种影响极其微弱, 对管体不会产生破坏性影响。综合管道动态监测结果和管道本体应变监测结果表明, 在与管道垂直距离 200 m 外及相当的爆破能量下的爆破对管道本体的影响极其微弱, 管道处于安全状态。(图 8, 表 2, 参 10)

**关键词:** 埋地管道; 管道本体变形; 震动加速度; 震动速度; 管道应变

中图分类号: TE88

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2015.02.017

## Monitoring on effects of blasting on gas pipeline body distortion

LI Qiang<sup>1</sup>, CHEN Deli<sup>2</sup>, QU Yang<sup>2</sup>

1. Guangdong Dapeng LNG Co. Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518048;

2. Beijing Skyris Technology Co. Ltd., Beijing, 100085

**Abstract:** The pipelines in areas affected by blasting are monitored by the combination of dynamic real-time monitoring of the pipeline vibration acceleration and the real-time monitoring of the pipeline body distortion. Data processing and analysis are conducted to derive the maximum vibration acceleration and velocity of pipeline when the blasting occurs and the real-time strain of pipeline body at the time of and before/after blasting. The results show that when the blasting occurs, the impact in horizontal direction perpendicular to the pipeline is the largest, while the maximum vibration speed is far less than the safety index; the observed values of acceleration in horizontal and vertical directions parallel to the pipeline is small. Blasting has certain but extremely weak effects on the deformation of the pipeline, but such deformation will not be destructive. The synthesis of dynamic monitoring results and strain monitoring results indicates that the blasting 200 m away vertically from the pipeline and at equivalent energy induces extremely weak effects on the pipeline, so the pipeline is safe. (8 Figures, 2 Tables, 10 References)

**Key words:** buried pipeline, pipeline body distortion, vibration acceleration, velocity of vibration, pipe strain

第三方破坏是危害油气管道安全平稳运行的重要危险源之一, 也是造成油气管道失效的主要原因之一。管道沿线的爆破施工作业或矿山爆破, 是油气管道第三方破坏的重要形式。爆破对埋地管道产生的影响, 主要是爆破时产生的地震波影响和爆破时塌落体对管道冲击载荷的影响。山体爆破时, 炸药在岩石中爆炸释放出的巨大能量, 随着传播距离的增加, 逐渐衰减为地震波而引起介质质点的强烈震动。爆破地震效应对爆破区附近的油气管道设施有不同程度的影响, 如埋地天然气管道发生变形甚至出现裂纹。

关于山体爆破对埋地天然气管道的影响, 诸多学者从计算或实验方面进行了大量研究。彭星煜等<sup>[1]</sup>基于 SIMQKE\_GR 程序模拟了人工地震加速度波形图, 建立了基于有限元法地基梁-土弹簧模型的爆破地震作用下管道地震响应有限元模型, 得到了管道在爆破地震作用下的位移、应力及应变随时间的变化特性。李又绿、姚安林等<sup>[2-4]</sup>建立了爆腔-岩土介质-输气管道动力相互作用模型, 探讨了埋地输气管道动态响应过程中管道质点速度和动应力峰值分别与装药量和施工安全距离的经验关系式, 可以作为输气管道在近距离

爆破施工条件下的破坏判据。程围峰等<sup>[5-6]</sup>对某新建公路隧道爆破进行监测,取垂直方向峰值最大波速为研究对象,结合爆破安全标准,对邻近输油管道的影响进行评价,并给出合理的爆破减震建议。唐润婷等<sup>[7-8]</sup>结合张石高速公路前两桩基爆破工程,通过现场试验较系统地研究了爆破震动的传播规律及对邻近埋地天然气管道安全的影响,分析了如何改变爆破参数来达到减震的效果。王世圣等<sup>[9]</sup>根据地震波在地表层传播时的不同特征,分析和研究了地震波引起的土壤变形对埋地管道的作用,并给出了埋地管道强度的简化计算方法。苗胜坤<sup>[10]</sup>总结了爆破对地下高压输气管道效应的监测方法,提出了采用爆破地震仪测量系统,将峰值点速度作为测量标准的建议。然而,上述研究鲜少涉及爆破对埋地天然气管道本体变形影响的直接监测研究。

目前,评价此类爆破作业对管道产生的影响,大都基于爆破产生的震速指标、土壤沉降指标及位移控制指标。这3个指标均基于管道周边环境的变化而间接设置,难以直接反映爆破时管道本体受到爆破地震波的影响情况和真实的应变变化趋势,因此,通过管道应变监测技术监测爆破对管道的影响,对于保障管道的安全运行非常必要。合理可靠的监测能够实时、定量地反映爆破地震波对管道本体的影响及其应变变化趋势,进而通过有效的数据分析为制定管道的运行维护策略提供参考依据。

## 1 监测方案

采取宏观动态监测与局部管道本体形变监测相结合的方法对管道进行全方位监测。宏观动态监测采用1 000 Hz采集频率在爆破发生时对管道震动进行不间断监测,以真实地捕捉山体爆破时管道震动加速度大小;局部管道本体监测每3 min采集1次,以监测管道本体应变缓慢变化的趋势。

### 1.1 监测位置

爆破监测点沿气流方向布设,管道左侧约200 m处是建筑施工工地(图1),施工中每天需要对山体进行爆破、挖掘作业。爆破监测点布置了2个应变监测点,应变监测点2和加速度监测位置在管道上部,水平位置相距约30 cm,应变监测点1沿气流反方向与应变监测点2相距约300 m。

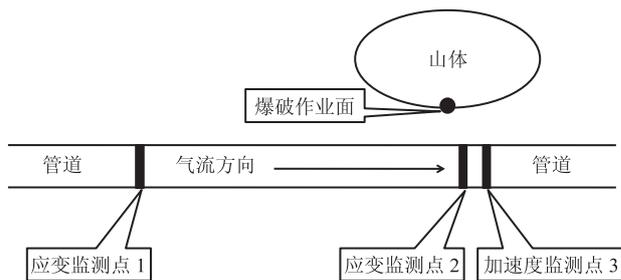


图1 应变、加速度监测位置及爆破作业面相对位置示意图

### 1.2 监测设备

#### 1.2.1 管道震动加速度动态监测系统

管道震动加速度动态监测系统由三轴加速度计、多通道高速数据采集仪、数据分析软件、蓄电池和终端电脑组成(图2)。三轴加速度计将管道震动引起的电容变化转变为电压信号,经过多通道高速数据采集仪滤波、放大、数据处理换算为加速度值,在终端电脑上用数据分析软件还原成图形和数值。

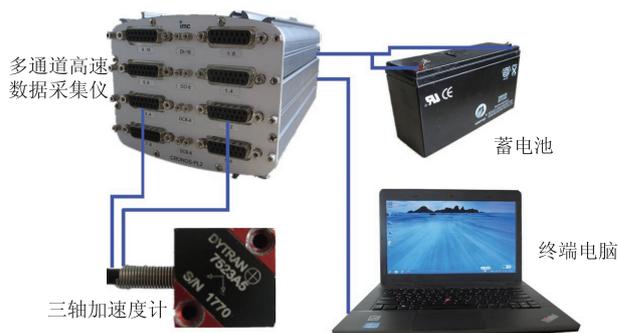


图2 管道震动加速度动态监测系统示意图

#### 1.2.2 管道本体应变监测系统

管道本体应变监测系统由应变传感器、多通道数据采集仪、服务器、监控上位机以及终端设备组成(图3)。系统通过粘附在管道表面的振弦式应变计将应变变化转换为电信号,此变化通过多通道采集仪将模拟信号转换为数字信号,通过无线网络将此信号传至安装在服务器上的监控上位机,再通过终端设备进行观察。

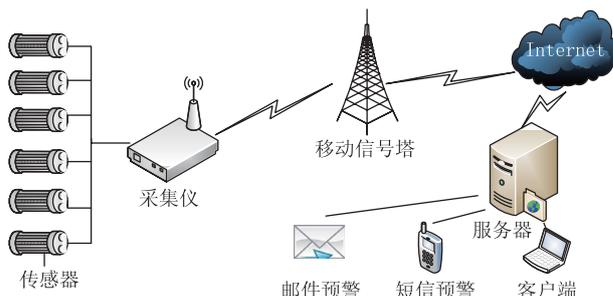


图3 管道本体应变监测系统示意图

### 1.3 安装方式

正常测量变形一般将3支应变计分装在管道的圆周方向(图4,其中1、2、3位置分别表示应变计1、2、3的安装位置)。垂直纸面向里为管道气流方向。加速度传感器位于安装应变计切面沿气流方向距离应变计约30 cm处(图5)。

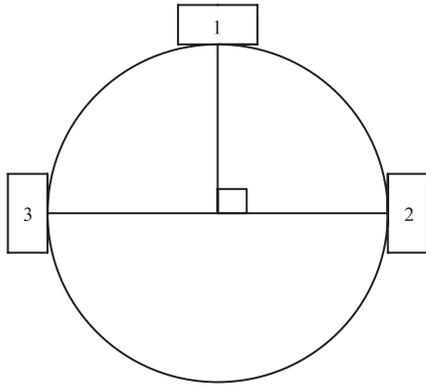


图4 应变计周向布置示意图

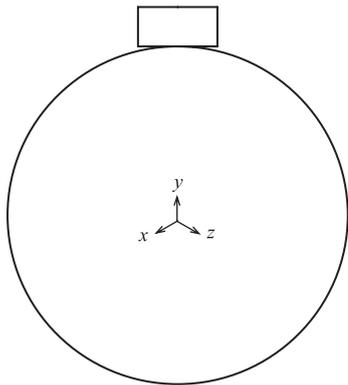


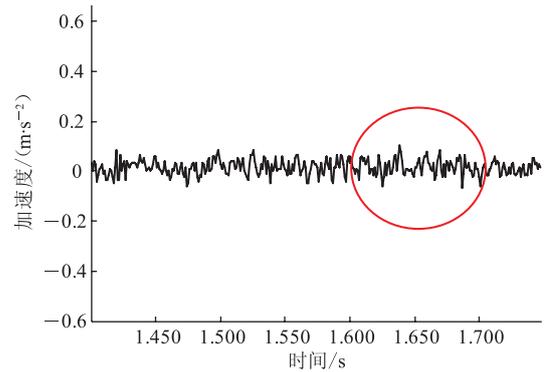
图5 加速度传感器布置示意图

## 2 监测结果与分析

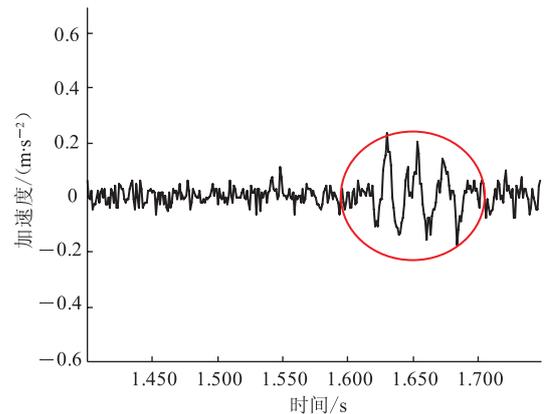
### 2.1 管道震动加速度动态监测结果

#### 2.1.1 原始结果

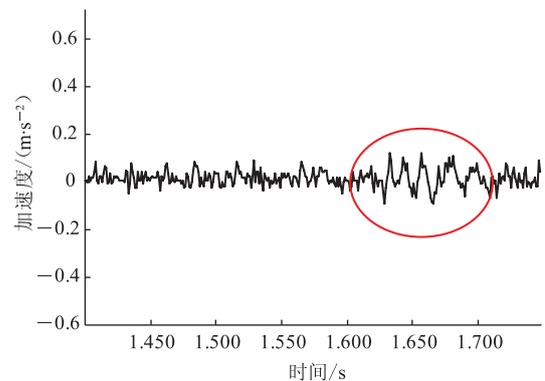
从2013年3月9日开始监测,为期10天。其中,3月9—11日、3月14—15日共5天有爆破施工作业。5天的监测结果基本相似,根据数据分析软件还原后的 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 这3轴监测输出数据(图6,其中圆圈标记内的曲线为山体爆破时冲击波引起的管道震动波形),爆破时冲击波在 $y$ 轴正向产生的影响较大,在 $z$ 轴产生的影响较小,在 $x$ 轴方向产生的影响非常小,几乎没有变化,而且爆破持续的时间很短,只有0.5~1 s。根据加速度监测结果,管道沿气流方向的震动非常小,而管道垂直于地面方向的震动较小,平行于地面且垂直于管道方向的震动最大。



(a)x轴



(b)y轴



(c)z轴

图6 加速度监测输出数据

#### 2.1.2 数据处理方法

将测量得到的加速度值处理转换成震动速度,进而与安全震动速度进行比对。震动加速度测试数据需要对时间积分一次,从而得到震动速度的测试数据。因为是对时间积分,积分常数的处理尤为重要。

在理论上,数据若是完整的,则震动信号到达前与震动信号过后一段时间内,震动速度应该不变;同理,震动信号到达前与震动信号过后一段时间内,震动位移也应该不变。

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

$$v-v_0=\int_0^t a dt \quad (2)$$

式中:  $a$  为震动加速度,  $\text{m/s}^2$ ;  $v$  为震动速度,  $\text{m/s}$ ;  $t$  为震动时间,  $\text{s}$ ;  $v_0$  为基准震动速度,  $\text{m/s}$ 。

因震动信号到达前与震动信号过后一段时间内,震动速度应该不变,若此时加速度平移的基线为常数  $a_0$ ,则加速度的基线应该满足  $a_t=a-a_0$  (其中,  $a_t$  为平移后的震动加速度),使  $\int_0^{t_{\max}} (v-v_0) dt=0$ ,由此得到:

$$a_0=\frac{1}{t_{\max}} \int_0^{t_{\max}} a dt \quad (3)$$

同理,震动速度初值应该满足位移不变的要求:

$$v=\frac{dx}{dt} \quad (4)$$

$$x-x_0=\int_0^t v dt \quad (5)$$

式中:  $x$  为位移,  $\text{m}$ ;  $x_0$  为基准位移,  $\text{m}$ 。

速度平移的基线为常数  $v_0$ ,满足  $v_t=v-v_0$  (其中,  $v_t$  为平移后的震动速度),使  $\int_0^{t_{\max}} (v-v_0) dt=0$ ,由此得到:

$$v_0=\frac{1}{t_{\max}} \int_0^{t_{\max}} v dt \quad (6)$$

由于测试信号有噪音,所以在积分前,先进行噪音滤除。根据通过 MATLAB 软件处理后的震动加速度和速度结果(图 7、图 8)以及 5 天中测到的最大震动加速度和速度(表 1),山体爆破导致的管道本体的最大峰值震动加速度为  $2.25 \text{ m/s}^2$ ,最大峰值震动速度为  $0.75 \text{ cm/s}$ ,远远小于震动安全指标值 ( $2.5 \text{ cm/s}$ ),因此,管道处于安全范围。

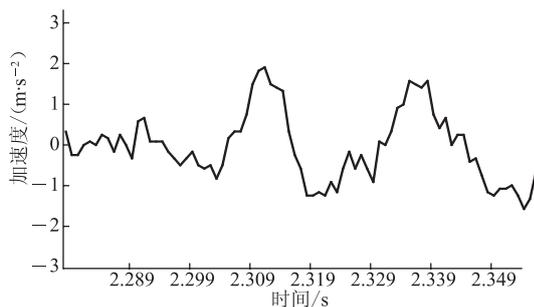


图 7 3月11日 y 轴震动加速度曲线

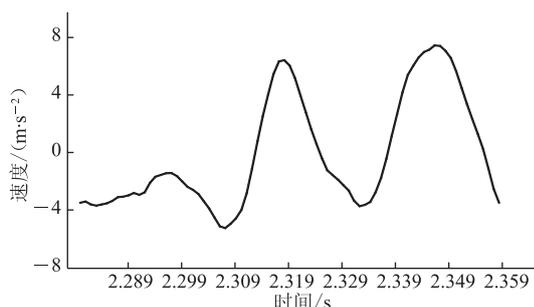


图 8 3月11日 y 轴震动速度图形

表 1 最大震动加速度和速度测量结果

测量日期	最大震动加速度 /( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ )			最大震动速度 /( $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
	$x$	$y$	$z$	$x$	$y$	$z$
2013.3.9	0.79	2.25	1.10	0.15	0.60	0.25
2013.3.10	0.80	1.50	0.81	0.20	0.67	0.16
2013.3.11	1.24	1.90	0.95	0.29	0.75	0.31
2013.3.14	0.75	1.60	0.85	0.45	0.13	0.60
2013.3.15	0.92	2.25	0.75	0.21	0.70	0.27

## 2.2 管道本体应变监测结果

加速度计变化持续时间为  $0.5\sim 1 \text{ s}$ ,可以连续采集,而应变的数据采集需要多通道采集(表 2),并且需要对采集到一定量的数据进行处理后再传输,每次采集间隔是  $3 \text{ min}$ ,因此,应变采集仪的采样频率低于加速度采集仪的采样频率。当应变数据是紧随爆破发生采集到的,则应变数据就能较为真实地反映输气管道的应变情况。分析 5 天的应变采集数据,发现 3 月 9 日的应变采集数据是在爆破后及时采集的数据。

表 2 两个监测点应变采集结果

监测点	应变变化量 ( $10^{-6}$ )		
	应变 1	应变 2	应变 3
应变监测点 1	1.47	2.04	0.85
应变监测点 2	2.07	4.46	2.06

应变监测点 2 与加速度计安装位置非常接近,两者距离爆破点最近,而应变监测点 1 与应变监测点 2 相距  $300 \text{ m}$ ,距离爆破点较远。爆破后管道在较长距离内均发生了弹性形变,且距离爆破点越远,弹性形变越小。从 3 支传感器的安装位置可以分析得到,应变 1 的变化量主要反映管道垂直于地面方向的变形,应变 2 和应变 3 的变化量主要反映管道平行于地面且垂直于管道方向的变形,因此,管道垂直于地面方向的变形要小于平行于地面且垂直于管道方向的变形。

对照加速度计的监测结果,爆破引起的冲击波大小与应变监测结果一致,均是平行于地面且垂直于管道方向的影响最大,垂直于地面方向的影响小。爆破虽然发生在  $0.5\sim 1 \text{ s}$  时间内,但管道在爆破后  $1 \text{ min}$  左右的时间内会发生弹性变形,  $1 \text{ min}$  后恢复到原来的平衡位置。

### 3 结束语

管道动态监测结果表明,爆破时,垂直于管道的水平方向冲击最大,震动速度最大值为 0.75 cm/s,远小于管道震动安全指标 2.5 cm/s。平行于管道的水平方向和垂直于管道方向的加速度测量值较小。爆破后管道在较长的距离内均会发生弹性变形,且距离爆破点越远,弹性变形越小;管道垂直于地面方向的变形要小于平行于地面且垂直于管道方向的变形。在与管道垂直距离 200 m 外及相当的爆破能量下的山体爆破对管道本体的影响极其微弱,管道处于安全状态。

#### 参考文献:

- [1] 彭星煜,梁光川,张鹏,等.人工爆破地震作用下输气管道动力响应分析[J].天然气工业,2012,32(11):81-84.
  - [2] 李又绿,姚安林,赵师平,等.爆炸载荷对埋地输气管道的动力响应和极限载荷分析[J].焊管,2009,32(11):63-69.
  - [3] 姚安林,赵师平,么惠全,等.地下爆炸对埋地输气管道冲击响应的数值分析[J].西南石油大学学报(自然科学版),2009,31(4):168-172.
  - [4] 赵师平,曾祥国,姚安林,等.第三方载荷作用下埋地输气管道动力响应的数值模拟[J].四川建筑科学研究,2009,35(1):134-139.
  - [5] 程围峰,梁旭,王振宇.隧道爆破施工队邻近输油管道的影响评价[J].石油工程建设,2011,37(4):44-46.
  - [6] 刘国华,王振宇.爆破荷载作用下隧道动态响应与抗爆分析[J].浙江大学学报(工学版),2004,38(2):204-209.
  - [7] 唐润婷,李鹏飞,苏华友.桥梁桩基爆破施工对邻近埋地天然气管线的影响[J].工程爆破,2011,17(1):78-81.
  - [8] 唐润婷,李鹏飞,苏华友,等.邻近埋地天然气管线桥梁桩基爆破施工减振方法的实践探讨[J].福建建设科技,2011(1):38-40.
  - [9] 王世圣,张宏,崔孝秉.地震荷载作用下埋地管道强度的简化计算[J].油气储运,2000,19(11):19-22.
  - [10] 苗胜坤.爆破队地下高压输气管道效应的监测方法[J].爆破,1994(4):76-77.
- (收稿日期:2014-04-02; 修回日期:2014-10-07; 编辑:潘红丽)



**基金项目:**中海石油气电集团科技攻关项目“管道完整性管理技术研究及应用”,QDKY-2013-GWZX-20.

**作者简介:**李强,工程师,1986年生,2011年硕士毕业于东北石油大学材料学专业,现主要从事管道内检测及完整性评价方面的工作。

LI Qiang, MS.D, engineer, born in 1986, graduated from Northeast Petroleum University, materials science, in 2011, engaged in the inspection and integrity assessment of the pipeline.

Tel: 18666822775, Email: li.qiang2@gdln.com

#### ·行业动态·

## 相国寺储气库调峰采气超亿方 有力缓解川渝地区今冬用气紧张局面

中国石油网消息(通讯员 杨海荣)截至1月1日,西南油气田相国寺储气库累计调峰采气量突破  $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,达到  $1.02 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。目前,相国寺储气库共有5口井生产,日调峰采气量达到  $501 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,有力地缓解了川渝地区今冬用气紧张局面,为向川渝地区平稳供气奠定了基础。

相国寺储气库地处重庆市北碚和渝北区境内,属西南地区首座地下储气库。其功能定位是为中卫—贵阳联络线和川渝地区季节调峰、事故应急及战略供气。相国寺储气库设计库容  $42.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,日最大注气量达  $1380 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,季节调峰最大日采气量  $1393 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,于2014年12月1日试采投运。

为确保安全平稳采气,缓解川渝地区今冬用气紧张局面,相国寺储气库在采气初期对相储1#、7#、15#并实施采气能力测试,为后续制定采气制度提供数据支撑。

相国寺储气库在实施注采并采气专项动态监测作业中,对井筒内静压、静温、采气能力及2000m井段剖面进行了测试,分析了解井底附近储层污染或改善状况、储层微观和宏观非均质性,掌握了大量井下一手资料;严格执行采气计划和调度指令,认真组织生产运行管理,优化采气流程,根据调度指令、生产运行参数及时调整储气库采气制度;狠抓隐患治理,加大井场巡检力度,对采气中发现的问题和隐患实行专人负责、专人跟踪及销项管理;做好采气期间上下游协调联动工作,根据下游管输压力、输气量及时调整储气库采气制度。

相国寺储气库还通过流程调整、乙二醇加注等措施做好采气期间的解堵工作,为冬季调峰采气保驾护航。

(摘自: <http://www.petrochina.com.cn/cnpc/trqsgdt/201501/dbdf2977fc114822b352d01dc43ec115.shtml>)