

# 长输管道数据时空特性分析

贾韶辉 周利剑 张新建

中国石油管道科技研究中心 中国石油天然气集团公司油气储运重点实验室, 河北廊坊 065000

**摘要:** 目前, 我国油气长输管道总长度已超过 10 万 km, 管道安全运营越来越受到政府、企业及公众的关注。第三方施工作为导致管道第三方破坏的主要因素, 以及管道水毁等地质灾害已成为国内长输管道的主要外部威胁因素。本文以管道第三方施工和管道水工保护工程为例, 基于管道完整性管理系统积累的大量业务数据, 对 5 万余 km 长输管道 2011 年-2014 年历年管道第三方施工和水工保护记录, 采用时空特性分析技术, 研究了其在时间上和空间上的分布规律, 并提出了针对性的建议措施。

**关键词:** 长输管道; 第三方施工; 水工保护; 时空特性分析

## Spatio-Temporal Characteristics Analysis of Pipeline Data

**Abstract:** With a total pipeline length of more than 100,000 km, pipeline safety operation is more focused by the government, enterprises and public. Third party construction which is the main factor of pipeline third-party damage, and pipeline geological disasters have become the primary external threats of pipeline. In this paper, based on a large number of business data of pipeline integrity management system, the distribution pattern of time and space of pipeline third party construction and hydraulic protection along 50,000km pipeline between the year of 2011 and 2014, are studied by spatio-temporal characteristics analysis technology. Meanwhile, some suggestions are also put forward.

**Keyword:** pipelines; pipeline third-party construction; pipeline hydraulic protection; spatio-temporal characteristics

中图分类号: TE89 文献标识码: A doi:

网络出版时间: 网络出版地址:

目前, 我国油气长输管道总长度已超过  $10 \times 10^4$  km<sup>[1]</sup>, 管道安全运营越来越受到政府、企业、公众的关注。在我国, 第三方施工作为导致管道第三方破坏的主要因素, 以及管道水毁等地质灾害已成为国内长输管道的主要外部威胁因素。由于第三方施工、水工保护等受社会和自然影响大, 给其专项评估和挖掘其时空分布规律带来了很大困难。21 世纪以来, 随着数据量的增加, 基于海量数据的分析技术尤其是时态 GIS 分析等一系列时空特性分析技术的应用能够带来更深层次的业务理解。中国石油自 2010 年开始建设管道完整性管理系统

(PIS), 2011 年 PIS 系统中石油天然气与管道分公司全面上线, 系统功能涵盖第三方施工、地质灾害、本体管理、腐蚀管理、高后果区识别与风险评价、内外检测等 10 个业务领域的管道完整性管理, 目前已覆盖中石油天然气与管道分公司下属的 5 家地区公司, 长输管道里程达到 5.9 万 km, 在第三方施工、水工保护等方面积累了大量的数据。因此, 如何基于大量的数据来分析长输管道第三方施工、水工保护在时间和空间上的分布特性, 从而更好的挖掘数据价值, 为管道安全生产决策提供支持, 保证管道安全、高效、平稳运行, 具有重要意义。

## 1 研究现状

国内外对管道第三方破坏、地质灾害评价及水工保护方面均开展了一系列的研究工作。么惠全<sup>[2]</sup>基于美国第三方破坏影响因素的研究成果, 采用故障树分析法对西气东输管道第三方破坏风险影响因素进行定性分析, 并采用评分指标体系法进行第三方破坏风险等级的评估。吕宏庆等<sup>[3]</sup>基于国外在管道第三方破坏预防方面的成功经验, 提出了 GIS 系统、飞机巡线技术、直呼系统等几种行之有效的针对性措施。英国 RSK 环境公司受英国管道业主协会委托, 专门对引起第三方破坏的主要原因进行了系统研究, 并得出了很多有价值的结论<sup>[4]</sup>。美国 W.Kent Muhlbauer<sup>[5]</sup>研究了美国埋地长输管道风险评价方法, 并提出了第三方破坏的 7 个影响因素。候金武等<sup>[6]</sup>开展了西气东输管道工程地质灾害危险性研究, 赵忠刚等<sup>[7]</sup>开展了长输管道地质灾害的类型、防控措施和预测方法方面的研究, 付立武等<sup>[8]</sup>开展了管道气象与地质灾害预警技术研究, 梅云新<sup>[9]</sup>总结了马惠宁管道地质灾害类型并研究了水工保护防护问题。但上述研究主要侧重于单个管段或某条管道上第三方破坏段或地质灾害点的评价及防护, 而且评价结果也是静态的, 未能和时间变化关联分析, 从空间上和时间上来分析其分布规律。

在管道时空分析方面, 贾韶辉<sup>[10-11]</sup>研究了基于 GIS 技术管道高后果区分析技术, 实现了管道高后果区自动化识别。耿作孝<sup>[12]</sup>研究了基于 GIS 技术的部分管道数据的展示。王卫强等<sup>[13]</sup>部分分析了 GIS 技术在管道上的应用及发展趋势。但上述文献都未涉及到对管道业务数据的时空特性方面的研究。而进入 21 世纪以来, 随着“知识爆炸”和信息量呈指数级的增长, 进入了“大数据时代”, 基于大数据的分析从原来的追求因果关系, 转成分析其相关关系, 利用所有数据来分析现象, 给我们的工作思维带来了变革<sup>[14]</sup>。

本文基于管道完整性管理系统 PIS 积累的 5 万余 km 长输管道上 2011 年-2014 年历年管道第三方施工和水工保护记录, 采用大数据技术、GIS 技术、傅里叶变换等方法对管道第三

方施工、管道水工保护在空间上的分布特性进行分析，得出了在空间和时间上的分布规律。

## 2 时空分布特性分析

### 2.1 空间分布特性分析

空间分布特性分析，首先抽取管道完整性数据库中的历年业务数据，并进行数据清洗，获取满足分析需求的业务数据；然后采用 GIS 技术，将历年关注的业务数据以线性参考<sup>[15]</sup>的方式依附于管道中心线；最后，以县市行政区域为单元，通过空间分析得出每个行政区划单元内关注业务数量和管道的长度，并计算出管道业务的空间分布密度。业务空间密度采用如下公式计算：

$$f = \frac{1}{N} \times \text{counts}/\text{length}$$

其中，counts 为每个行政区划单元内所关注的业务数量，单位为个；length 为每个行政区划单元内的管道长度，单位为千公里；N 为数据统计的年份数；f 为业务空间密度，单位为个(次)/千公里\*年。

### 2.2 时间分布特性分析

时间分布特性分析，主要是基于时间序列，采用傅里叶变换方法，在频域中分析该时间序列是否具有周期或拟周期性。针对离散时间序列，其傅里叶变换公式为：

$$F[m] = \sum_{k=0}^{N-1} f[k]e^{-2\pi i k m / N}$$

其中，f[k]为时域中第 k 个抽样点的值；N 为时域中的总抽样点数；F[m]为频域中第 m 个频率下的离散傅里叶变换值。

具体的分析流程如下：

(1) 首先，将业务数据按时间顺序整理成离散时间序列，时间间隔设定为等间隔。在本文中，根据实际情况，时间间隔设定为 1 天。整理后的原始离散时间序列，其每条记录的时间间隔不一致，需要预处理补充记录使得每条记录的时间间隔为 1 天，补充记录的业务数据设定为 0。

(2) 其次，对预处理后的离散时间序列中心化，即每行记录的业务数据值减去平均值。

(3) 对中心化后的数据实施离散傅里叶变换。注意参与傅里叶变换的业务数据记录数应为 2 的乘幂，不足的补 0。

(4) 分别对傅里叶变换后的值取实数和虚数部分，并计算每个频率下的功率值，获得

功率谱图。

(5) 根据功率谱图，判断是否存在周期或拟周期现象。功率谱判别方法为“谱图若具有单峰（或几个峰），则对应于周期（或拟周期）序列”<sup>[16]</sup>。

### 3 实例

#### 3.1 管道第三方施工

##### 3.1.1 空间分布特性

选取 2011 年-2014 年天然气与管道分公司下属的第三方施工记录，采用 GIS 技术，分析得出第三方施工的空间密度图（如图 1 所示）。根据分析结果，得出管道第三方施工的空间分布特性如下：图 1 中绿色区域第三方施工发生频次为 1-70 次/千公里\*年，黄色区域第三方施工发生频次为 71-150 次/千公里\*年，橙色区域第三方施工发生频次为 151-250 次/千公里\*年，红色区域第三方施工发生频次为 251-490 次/千公里\*年。其中，红色区域第三方施工发生频次最高，主要分布在银川市、深圳市、连云港市、南京、无锡。白色区域由于没有长输管道或者数据库中沒有相关记录，其第三方施工发生频次为 0。

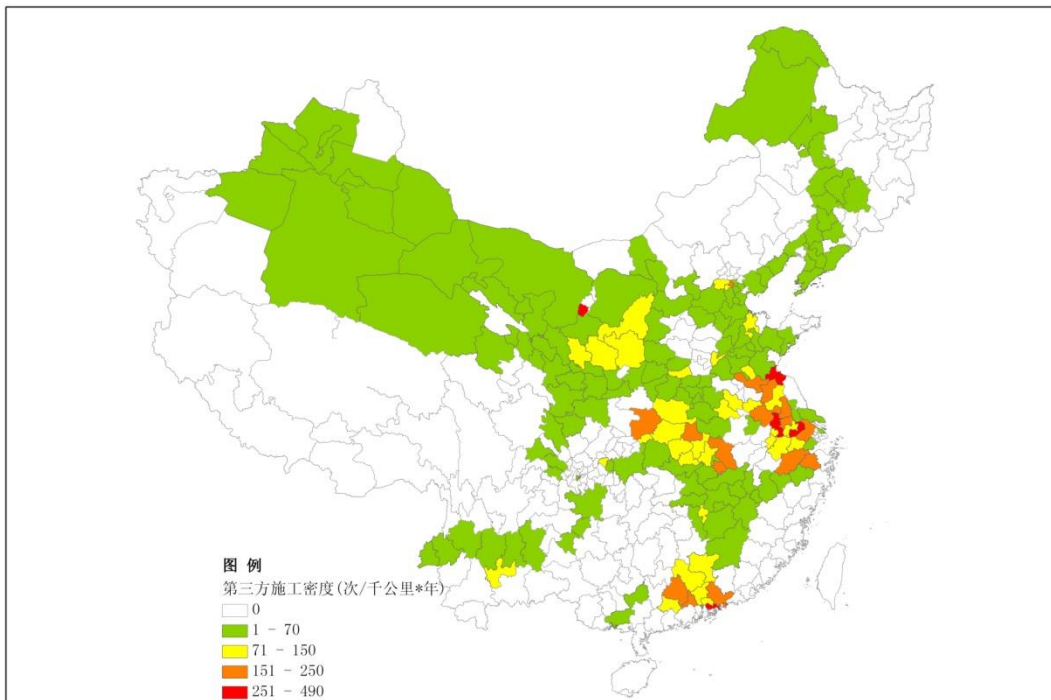


图 1 管道第三方施工的空间密度图（由于保密管线走向不在图中标出）

##### 3.1.2 时间分布特性

采用时间分布特性分析方法，对第三方施工数据傅里叶变换，得到第三方施工的功率谱图（如图 2 所示）。其中，横轴为频率，纵轴为对应的功率值。

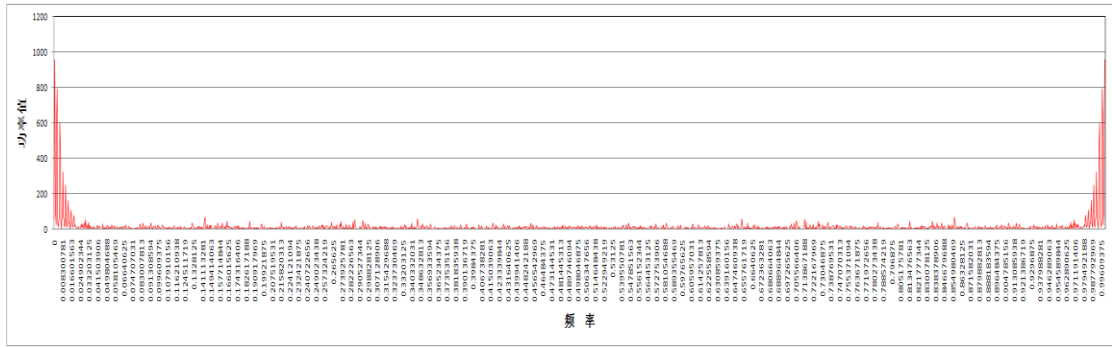


图 2 管道第三方施工功率谱图

从图 2 可以看出功率谱有明显的左右对称特征，对该图中的前 100 个频率点局部放大，可更清楚的看到功率随频率的变化情况，并且存在明显的多峰（图 3）。根据功率谱判别方法，管道第三方施工具有明显的周期或拟周期性行为。功率较高的 2 个频率分别为 0.000976563、0.002929688；其周期分别约为 1024 天、341 天。综合分析可以看出，管道沿线第三方施工具有周期/拟周期性，周期大概在 1 年左右。

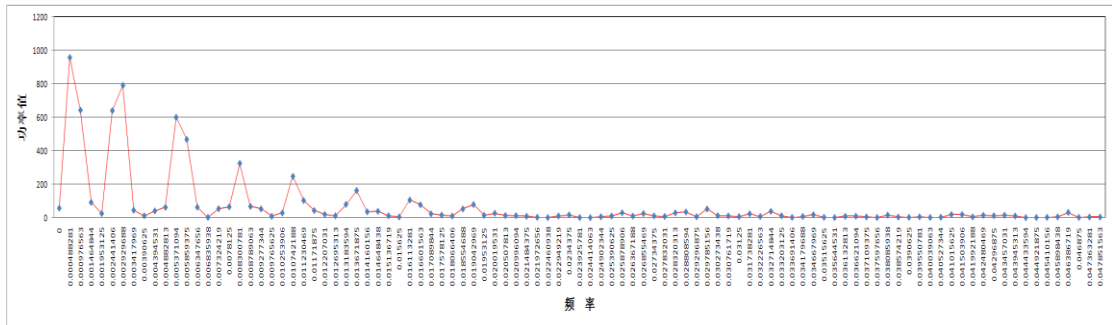


图 3 管道第三方施工功率谱图（局部放大）

本文中，将管道第三方施工数据以月为单位统计，得到每月的第三方施工数据统计图（如图 4 所示）。其中，横轴为年度及月份，纵轴为发生的数量。从图中可以看到每年的 3 月份均为第三方施工的高发期。

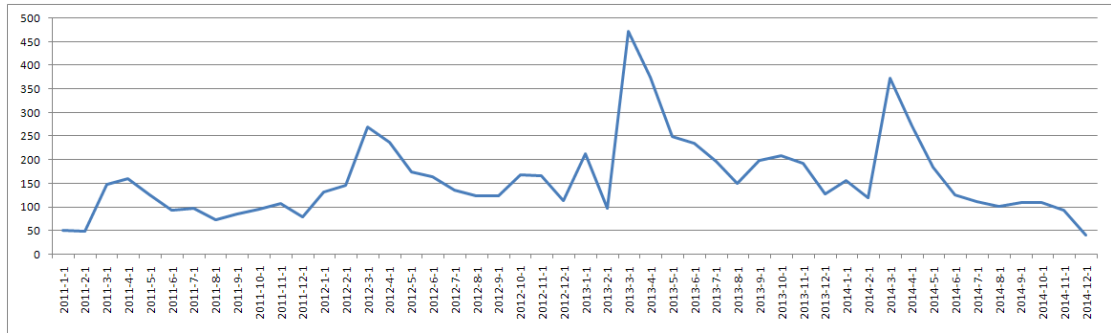


图 4 管道第三方施工每月数量统计图

### 3.2 管道水工保护

#### 3.2.1 空间分布特性

选取 2011 年-2014 年天然气与管道分公司下属的水工保护工程记录，采用 GIS 技术，分析得出水工保护工程的空间密度图（如图 5 所示）。根据分析结果，得出管道水工保护工程的空间分布特性如下：图 5 中绿色区域管道水工保护工程密度为 1-40 个/千公里\*年；黄色区域管道水工保护工程密度为 41-60 个/千公里\*年，主要分布在河北秦皇岛、唐山市、山西大同市、吕梁市，河南洛阳市，以及湖南湘潭和株洲市；橙色区域管道水工保护工程密度为 61-80 个/千公里\*年，主要分布在山西忻州市、运城；红色区域管道水工保护工程密度为 81-105 个/千公里\*年，其管道水工保护工程密度最高，主要分布在重庆市忠县、江西萍乡市。

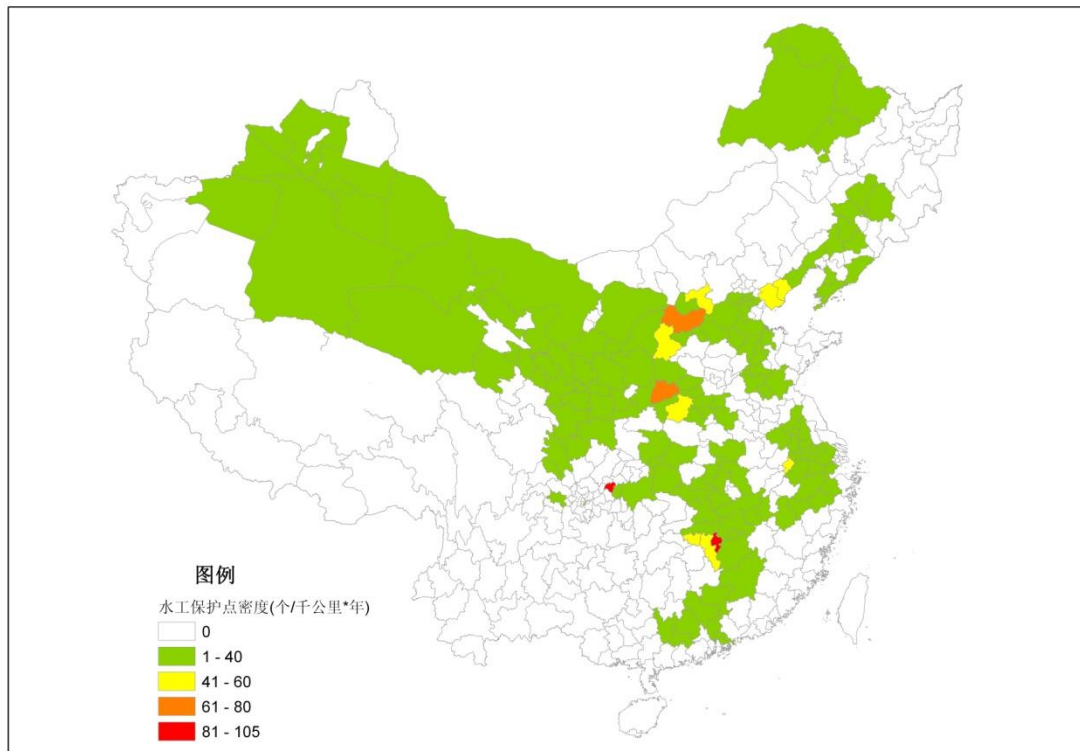


图 5 管道水工保护空间密度图（由于保密管线走向不在图中标出）

### 3.2.2 时间分布特性

采用时间分布特性分析方法,对管道水工保护工程数据傅里叶变换,得到其功率谱图(如图 6 所示)。其中,横轴为频率,纵轴为对应的功率值。

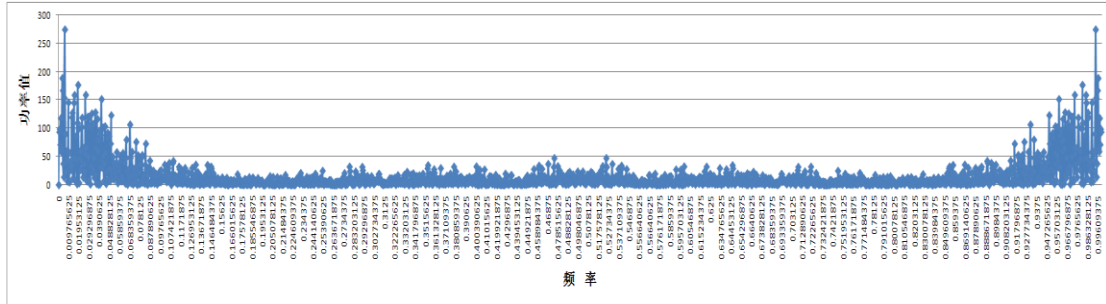


图 6 管道水工保护功率谱图

对上图中的前 100 个频率点局部放大,可更清楚的看到功率随频率的变化情况(图 7)。可以从图 7 看到,不具有单峰或少数高峰,因此判断管道水工保护时间序列不具有周期性。

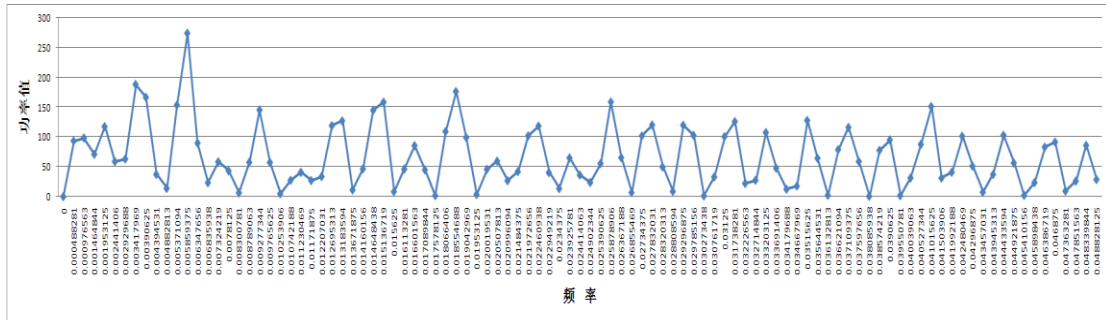


图 7 管道水工保护功率谱图（局部放大）

本文中,将管道水工保护工程数据以月为单位统计,得到每月的水工保护数据统计图(如图 8 所示)。其中,横轴为年度及月份,纵轴为发生的数量。从图中也可看到,该时间序列不存在周期性现象。

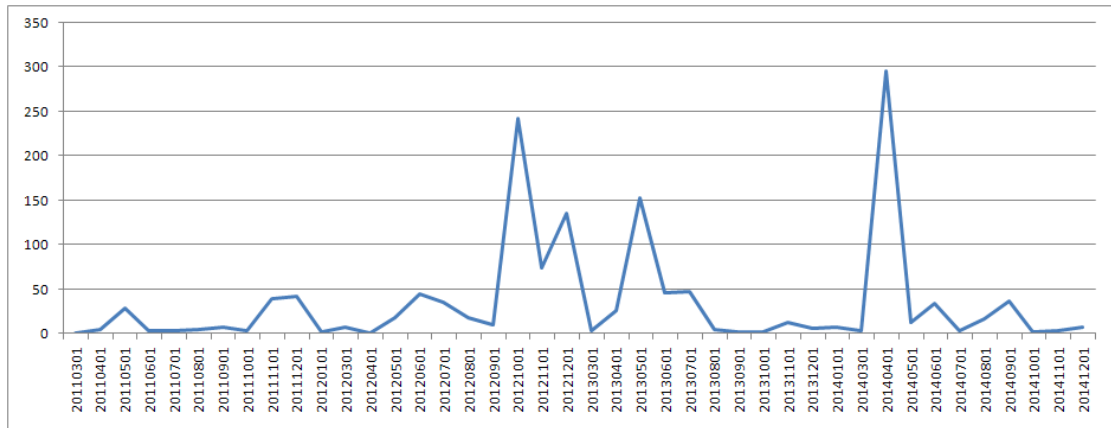


图 8 管道水工保护工程每月数量统计图

## 4 结论与展望

本文通过时空特性分析方法，以长输管道第三方施工和管道水工保护为例，分析了管道业务数据的时空特性。分析得出，空间密度越大，说明该区域第三方施工频次越高、水工保护工程建设频次较多；同时分析得出管道第三方施工具有明显的周期性，每年 3 月份是施工的高发期，而水工保护工程不具有明显的周期性。针对管道第三方施工频次较高的区域，应重点提升巡线等管理水平，并针对施工高发期合理安排人力物力；针对管道水工保护工程密度较高的区域，一方面应核实这些区域内管道水毁灾害的严重程度，另一方面每年的投资计划中应结合这些严重区域合理分配投资。

本文基于大量数据基础上采用线性方法研究了管道第三方施工、水工保护等时空特性，但管道现象都具有明显的社会属性与自然属性，在时间动力学上具有非线性关系，采用非线性方法深入研究这些管道现象，了解其规律和本质，进一步预测或预判现象的发展趋势，为管道安全运营提供决策支持，也是未来研究的重点方向。

### 参考文献：

- [1] 艾慕阳.大型油气管网系统可靠性若干问题探讨[J].油气储运, 2013, 32 (12): 1265-1270.
- [2] 么惠全、冯伟.西气东输管道第三方破坏风险与防控措施.油气储运,2010,29(5):384-386,389.
- [3] 吕宏庆, 李均峰.管道第三方破坏的原因及预防措施, 天然气工业, 2005, Vol.25 Issue (12): 118-120.
- [4] Slijivic S. Pipeline safety management and the prevention of third-party interference[J]. Pipes & Pipelines International, November December, 1995.
- [5] W.Kent Muhlbauer.管道风险管理手册[M].第二版.北京: 中国石化出版社, 2005:19.



- [6]候金武,殷跃平,颜宇森.西气东输管道工程地质灾害危险性研究.北京:中国大地出版社,2005.30-42.
- [7]赵忠刚,姚安林,赵李芬等.长输管道地质灾害的类型、防控措施和预测方法.石油工程建设,2006,32(1):7-12.
- [8]付立武,贾韶辉,郭磊.管道气象与地质灾害预警技术及其应用.油气储运,2012,31(4):307-312.
- [9]梅云新.马惠宁管道地质灾害类型及水工保护问题.油气储运,2003,22(11):35-38.
- [10]贾韶辉,冯庆善,周利剑.基于GIS技术的管道高后果区分析软件设计与应用.油气储运,2009,28(增刊):1-8.
- [11]Shaohui Jia,Qinshan Feng,Lijian Zhou,etc.Software Uses GIS Data To Identify High Consequence Areas Along Pipelines.Pipeline & Gas Journal,2009,236(8):42-50.
- [12]耿作孝,林渊,李晓宁.GIS在油气长输管道完整性管理中的应用.测绘与空间地理信息,2011,34(1):105-108.
- [13]王卫强,王勇,吴明.GIS在长输油气管道的应用现状与发展趋势.油气储运,2007,26(7):1-5.
- [14] Viktor Mayer-Schonberger ,Kenneth Cuiker. 大数据时代 生活、工作与思维的大变革(盛杨燕,周涛译).浙江:浙江人民出版社,2013.68-94.
- [15] Michael Zeiler. Modeling Our World[M]. 张晓祥等译.北京:人民邮电出版社,2004:104.
- [16] 吕金虎,陆君安,陈士华.混沌时间序列分析及其应用[M].武汉:武汉大学出版社,2005:47.

**基金项目:** 中国石油集团公司投资项目“管道完整性管理系统”,计划2010-12。

**作者简介:** 贾韶辉,高级工程师,1981年生,2013年博士毕业于中国地质大学(北京)地球探测与信息技术专业,现主要从事管道完整性管理领域数据管理、系统建设等信息化技术的研究工作。

电话:0316-2075367; Email: jiashaohui@petrochina.com.cn

#### **创新点名称: 管道数据时空特性分析**

**创新点内容:** 目前,国内外针对管道数据分析普遍侧重于经验性的评价,未能基于大数据开展相关分析;此外,采用GIS技术在管道上的应用,都是静态分析,未能和时间关联。本文首次系统地采用时空特性分析技术,以管道第三方施工和管道水工保护数据为例,分析管道业务在空间上和时间上的分布规律,为管道决策分析提供了支持,同时还提出了该技术进一步发展的方向。

#### **作者单位英文翻译: Petrochina Pipeline R&D Center**

贾韶辉,现任职中石油管道科技研究中心完整性所副主任工程师,博士/高级工程师,主要从事管道完整性管理研究工作。作为工作组成员之一,起草了国家标准《管道完整性管理规范》及ISO标准《陆上管道完整性管理》;先后参与了国家重大专项“油气长输管道及储运设施检验评价与安全保障技术”、中石油管道完整性管理体系研究、管道完整性管理系统(PIS)建设等重大科研项目。获得中石油集团公司科技进步一等奖等奖项,先后发表论文24篇,专著3部。