

# GIS技术在兰成渝输油管道高后果区分析上的应用

贾韶辉<sup>1</sup>

(中国石油管道研究中心, 河北廊坊, 065000)

## 摘要

高后果区 (High Consequence Areas, HCAs) 分析是管道完整性管理 (Pipeline Integrity Management, PIM) 的首要步骤。根据中国石油相关管理完整性管理规范, 管道运营商必须在高后果区管段内执行管道完整性管理计划。地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 技术作为空间分析技术和空间数据库管理技术已经发展了30余年。对于长输油气管道的高后果区分析来说, GIS技术不仅提供了一种有效的空间分析工具, 而且也提供了长输油气管道的设备、完整性等相关空间、属性数据的存储技术。基于 APDM (ArcGIS Pipeline Data Model) 管道数据模型, 采用线性参考技术和空间分析技术可以有效、准确地进行长输油气管道的高后果区分析。

我们已经完成了兰州-成都-重庆输油管道约1200公里的高后果区分析工作, 共划分出891段高后果区管段, 并发现导致高后果区的三个主要因素为: 1) 人口密集区; 2) 季节性河流; 3) 国道、高速公路、省道等重要交通设施。我们进行了以下分析步骤: 1) 数据收集; 2) 数据整合与处理; 3) 区域等级分析; 4) 环境敏感区分析。同时, 我们通过野外调查工作, 对已分析出来的高后果区管段完成了相关的威胁分析, 明确了管道完整性管理的重点。利用GIS技术, 我们减少了企业的人工识别费用, 节约了分析时间, 收到了明显的经济效益。

**关键词:** GIS; 高后果区分析; 兰州-成都-重庆输油管道; 管道完整性管理;

## USING GIS FOR CALCULATING HIGH CONSEQUENCE AREAS ALONG LANZHOU-CHENGDU-CHONGQING OIL PIPELINE

(JIA Shaohui)

### ABSTRACT

The identification of High Consequence Areas (HCAs) is part of Pipeline Integrity Management (PIM). Pipeline Operators must develop and follow an integrity management program in High Consequence Areas (HCAs) according to relative PIM rules of PetroChina. Geographic Information System (GIS) technology has been used in the utility sector for over 30 years. GIS, along with the relational database management system, provide not only a spatial analysis tool for identifying HCAs along pipeline, but also a central repository for facility, integrity and compliance data. Based on APDM (ArcGIS Pipeline Data Model), ArcGIS linear reference method and spatial analysis are used to effectively and accurately calculate high consequence areas. HCA-affected pipeline segments also can be located

We have used this software to determine high consequence areas (HCAs) along Lanzhou-Chengdu-Chongqing Oil Pipeline which is totally 1,200 kilometers. We find that the primary consequence factors are: 1) High population; 2) Rivers; 3) Roads. Several steps are proceeded, they are: 1) Data gathering; 2) Data Integration; 3) Class Location Analysis; 4) Sensitive Areas Analysis. And threat identification for HCA segments has been completed by field survey. By the GIS technology, we reduce the manual effort pipeline operators use to determine and manage HCAs locations, minimizing the need for costly direct assessments of pipe.

**Key words:** GIS; High Consequence Areas Analysis; Lanzhou-Chengdu-Chongqing Oil Pipeline; Pipeline Integrity Management

---

<sup>1</sup> 项目名称: 长输油气管道完整性管理体系研究, 中国石油股份公司科研计划050201。

## 1 简介

目前,中石油现有管道3万余公里,未来5年将达到7万余公里,新老管道交错分布,管网错综复杂。同时,在长输管道建设方面也呈现出大口径、高压力、网络化的趋势,出现了两个比较明显的延伸,即由西部人烟稀少地区向人口稠密地区延伸,由西部经济欠发达地区向经济发达地区延伸。这些管道的建设满足了经济建设的需要,促进了国民经济的发展。但与此同时,新老管道的建设和服役也面临着诸多问题,因而迫切需要应用先进的管理理念对管道实施管理。

管道完整性管理是经过国外多年的研究和实践,已经成为当前国际上最为认可的管道安全管理模式。它是一种主动的预防管理,依靠数据进行决策,防患于未然。管道完整性管理的目标就是在管道管理的全部生命周期内,实现科学的判断和正确的决策,以确保管道的安全运行。

地理空间数据库为管道完整性管理提供了必需的管道空间、属性数据, GIS技术也为管道完整性管理的相关分析评价提供了先进的空间分析技术。在此次兰州-成都-重庆输油管道(以下简称兰成渝输油管道)的高后果区分析项目中,我们基于改进后的APDM<sup>[1]</sup>(ArcGIS Pipeline Data Model)管道数据模型构建了地理空间数据库,并在APDM管道数据库基础上,开发了相关的管道高后果区分析软件<sup>[2]</sup>。采用这套软件完成了兰成渝输油管道的高后果区分析工作,识别出了高后果区管段。最后,我们提出了高后果区管段内有针对性的预防减缓措施,促进了管道的安全运营。

## 2 高后果区分析在管道完整性管理中的作用

根据美国交通部管道安全办公室(OPS)制定的规范<sup>[3][4]</sup>,执行管道完整性管理的首要步骤是确定和识别高后果区内的油气管段。国内的长输油气管道相关安全规范也采用了高后果区(High Consequence Areas, HCAs)的概念,即如果管道发生泄漏会严重危及公众安全和(或)造成环境较大破坏的区域<sup>[5]</sup>。

开展管道完整性管理的核心内容包括数据采集与整合、高后果区识别、风险评价、完整性评价、维修与维护、效能评价等6个环节,这6个环节是一个持续循环的过程<sup>[6]</sup>。图1展示为管道完整性管理的6步环节,它形成一个“闭环”。

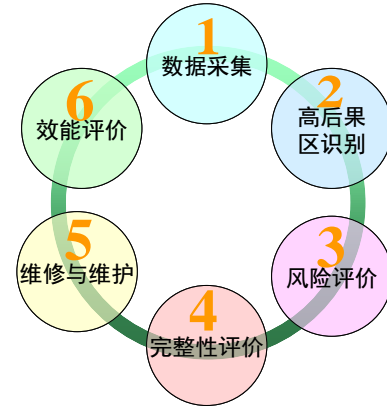


图 1. 管道完整性管理6步环节  
Figure 1. The six procedures of PIM

输油管道的高后果区分析主要考虑管道两侧一定距离内的周边人口、环境等因素,确定出如果管道发生失效而产生严重后果的区域。对于在这些区域内的管道,管道运营商应首先给予特别关注,优先制定管道完整性管理计划,合理分配资金,并必须在高后果区管段上采取相应的风险评价与危害识别、完整性评价来确保管道的安全运营。

## 3 兰成渝输油管道的高后果区分析

### 3.1. 兰成渝输油管道概况

兰成渝管线于2002年投产运行。兰成渝管道是国内第一条长距离、大口径、高压力、高落差的成品油输送管道。担负着平衡西部能源结构,支援西部经济建设的重任。管线途经甘肃、陕西、四川、重庆三省一市。兰成渝管线途经黄土高原、秦岭山区、四川盆地,地形错综复杂,管道落差大,线路条件较差,终点为重庆伏牛溪油库。

全线密闭顺序输送#0柴油、#90汽油、#93汽油。管道主要工艺参数如下表1所示:

表 1. 兰成渝输油管道主要工艺参数  
Table 1. The primary parameters of Lanzhou-Chengdu-Chongqing Oil Pipeline

输送介质	柴油、汽油
管道外径	508—323.9mm
管道材质	X60、X52
管道壁厚	7.1—10.3mm
焊缝类型	埋弧自动焊
运行压力	6—2 MPa
排量	200—400 m <sup>3</sup> /h
运行温度	10℃
防腐层	三层聚乙烯
管道长度	1233.685km

兰成渝输油管道的高后果区分析主要考虑到了人口因素和环境敏感区两方面的因素。

对于输油管道,人口因素主要是区域等级分析,主要考虑三级地区、四级地区等人口密集区。

环境敏感区主要指河流、湖泊、易燃易爆仓库/工厂、外部管线、光缆，高压线，高速公路、国道、省道、铁路等设施。在这些地区内，一旦管道发生泄漏将会对周边环境产生重大影响。

带有里程信息的分析结果表明了受高后果区影响的管段，并以ArcGIS多义线的形式保存到了空间地理数据库中。

在此次高后果区分析中，我们主要进行了以下分析步骤：

- 数据收集，
- 数据整合与处理，
- 区域等级分析，
- 环境敏感区内分析，
- 威胁识别。

图2 阐释了兰成渝输油管道的高后果区分析流程图。

### 3.2. 数据源与数据质量

通过野外调绘和数字矢量化等手段，我们收集了管道中心线和附近的基础地理等空间和属性数据。基础地理数据包括水文、建筑物、交通设施、外部管道、生态区等数据。数据存储格式为ArcGIS的多义线和多边形要素类<sup>[7]</sup>，地图比例尺为1: 5万，投影坐标为Gauss-Kruger 投影。

图3 展示了兰州首站的0- 5,500m 管线两侧各1,000m范围内的基础地理数据。红色细线代表了兰成渝输油管道，黄色图层代表了建筑物数据，黑色线表示铁路数据，蓝色线代表河流。而且，图中东北部分的河流为黄河，它被数字化为一个多边形的矢量图层。底图为0.61m分辨率的Quickbird影像。

### 3.3. 数据整合入库

经过数据处理，我们把所有数据（管道中心线和基础地理数据）整合，通过ArcSDE空间数据引擎导入到遵循APDM管道数据模型的Oracle空间地理数据库中。

### 3.4. 区域等级分析

依据国内相关标准<sup>[8]</sup>的相关定义，区域等级定义为沿管道中心线两侧各200m范围内，任意划分成长度为2km并能包括最大聚居户数的若干地段，并按划定地段内的户数划分为四个等级。等级划分标准见下表2。

表2. 区域等级划分标准

Table 2. The definition of Classes

居民（建筑物）密度指数	区域等级
≤ 15	一
< 100	二
≥ 100	三
四层及以上楼房普遍集中、 交通频繁、地下设施较多的 地区	四

首先，我们通过GIS的缓冲区分析和裁剪功能将管道中心线两侧200m内的建筑物数据提取出来。并基于提取后的建筑物图层中的人口和建筑物层数等数据，依据等级划分标准计算出三级地区、四级地区。最后，利用ArcGIS的线性参考技术，计算出三级地区、四级地区的管道起始里程和结束里程，并保存在APDM数据库的ClassArea 图层和HCA图层中。

最终，划分出30个四级地区，129个三级地区。三、四级地区管段总长约315 km，占到兰成渝管道总长的25%。

图4 显示了由于人口密集导致的一个四级地区。在图中，多边形矢量层代表建筑物，红线代表四级地区内的管段，这段管线穿过康县县城。通过软件，计算出这段高后果区管段起始里程为444.718 km，结束里程为 446.718 km。

### 3.5. 敏感区分析

美国安全办公室将异常敏感区作为当管道发生事故时可能会更容易遭受到长期的，永久破坏的地区。这些地区包括一些饮用水源地和生态区等。Freeman,B. <sup>[9]</sup>曾将异常敏感区划分为两部分：饮用水源地和生态区。

根据兰成渝输油管道的实际情况，我们考虑了更多的因素，它们包括：

- 主要交通设施，如铁路、高速公路、国道和省道；
- 河流、湖泊，以及蓄水池等水体；
- 高压线，埋地光缆等设施；
- 易燃易爆工厂、仓库；
- 外部管道。

在APDM数据库中，以上数据都是以离线要素类进行存储的。基于APDM数据库，我们通过GIS空间分析对管道中心线两侧50m内交通设施，200m内水体和易燃易爆仓库，50m高压线、光缆和外部管道数据进行了提取，并计算出这些离线要素类的在线线<sup>[10]</sup>，同时得到其起始里程和结束里程，并将结果保存在APDM数据库的HCA图层中。

图5 显示了由分析软件分析出来的一个高后果区段。从图中我们可以清楚地看到洮河和一些高压线设施是造成此地区为高后果区的主要因素。计算得到这个高后果区段的起始里程为44.961 km，结束里程为47.067 km。

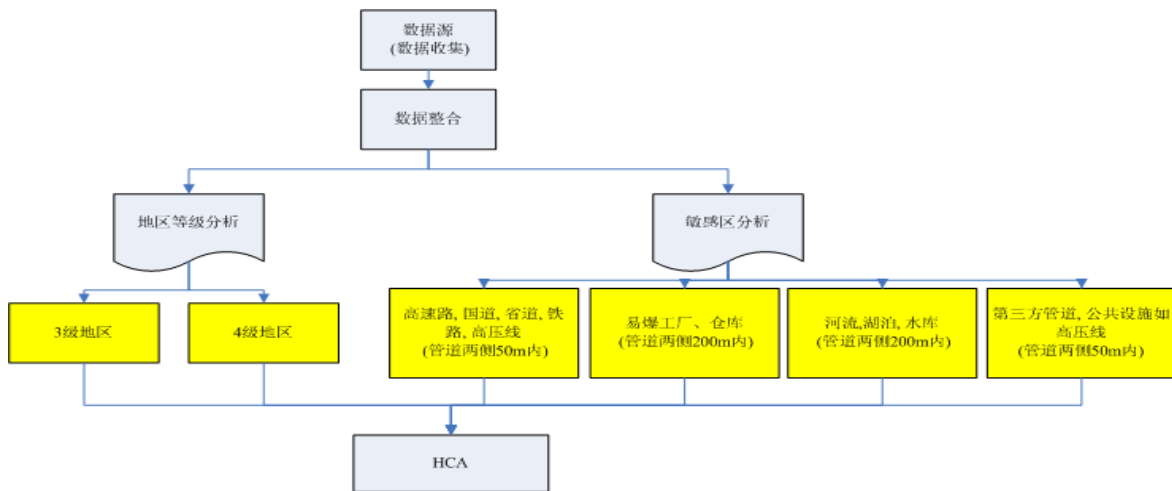


图2 兰成渝输油管道高后果区分析流程图  
Figure 2. A flowchart for HCA analysis.

图3 兰成渝输油管道0-5,500m基础地理数据图  
Figure 3. The landbase data of the initial 5,500m of the pipeline.

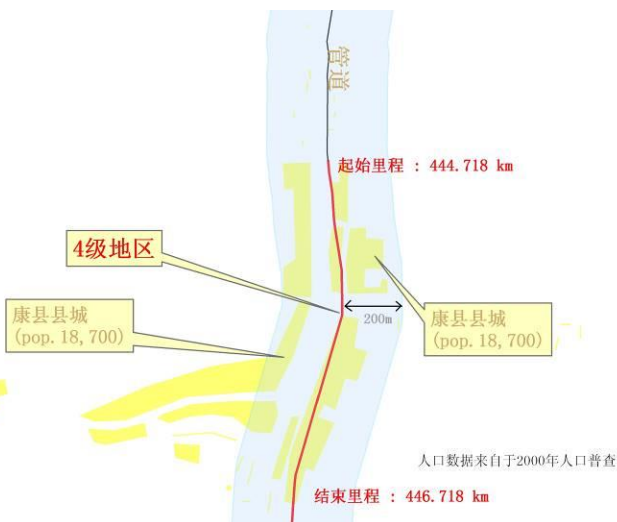


图4. 经过康县县城的四级地区  
Figure 4. The Class 4 Location of the County of KangXian.



图 5. 敏感区内的高后果区段  
Figure 5. An HCA segment in sensitive areas.

### 3.6. 威胁识别

威胁识别的目的是对高后果区管段采取有针对性的完整性评价手段与方法，并提出相应的减缓措施。

根据兰成渝输油管道历史失效案例和实际情况，通过野外调查，主要确定和识别了两种主要威胁，它们是：

- 第三方破坏；
- 地质灾害。

在2005年，通过野外查勘在高后果区内识别出了15处地质灾害点。对于受到地质灾害威胁的管段，我们提出了以下额外的预防性措施：

- 增加巡线频次；
- 增加管道的外部保护；
- 减少外部应力；
- 对于严重地段，建议改线。

图6 显示了成都市龙泉驿区内的一处滑塌体。



图6. 成都市龙泉驿区某处滑塌体  
Figure 6. A landslide-collapse in Longquanyi District of the city of ChengDu.

基于每个高后果区管段的威胁识别的工作基础上，我们针对每个高后果区段进一步确定了最优化的完整性评价方法。

## 4 结论

本文利用GIS技术提供的综合、有效的空间分析等功能，使管道运营商能快速有效地进行长输油气管道的高后果区分析。通过分析，我们对兰成渝输油管道识别出了所有高后果区管段，并对每段进行计算打分。

最终，总长约848.7 km的管段被识别为高后果区段，约占到兰成渝管道总长的 68.8%。图7 显示了兰成渝输油管道的高后果区分析图。图中横轴代表高后果区管段的里程信息，纵轴代表每个高后果区段的分值。

根据分析结果，我们发现了导致兰成渝管道高后果区的三个主要影响因素，它们是：

- 高密度人口区；
- 季节性河流；
- 国道、省道等主要道路设施。

为了对高后果区管段提供更合理、更适合的预防/减缓措施，保证管道的安全运营，我们提出了以下建议：

- 对于由于高密度人口导致的高后果区管段，建议对其周边居民进行管道安全宣传，并进行相关的紧急避险等演练；
- 对于由于河流等导致的高后果区管段，应检查穿越河流处的管道埋深，发现不足应立即改正；
- 对于由于铁路、高速路、国道和省道等导致的高后果区管段，应加强穿越处套管的检测；
- 及时修复高后果区管段的管道缺陷；
- 监测已经发生和潜在发生的地质灾害点（例如滑坡），增加这些地区的巡线次数；
- 监测管道附近的开挖施工。如果发现未经报告的施工作业，管道运营商应立即展开施工处管道的机械损伤的检查。
- 对所有高后果区管段进行风险评价。

最后，我们确定对每个高后果区管段的再评估时间间隔为2年。

## 参考文献

- [1] ESRI Inc. 2007. ArcGIS 9.2 Desktop Help[OL]. WEB Site www.esri.com < http://www.esri.com/ >.
- [2] 贾韶辉. 管道完整性高后果区分析软件：中国，RJ-2008-0012 [P] . 2007年4月30日.
- [3] Department of transportation, Research and Special Programs Administration . 49 CFR Parts 195[Docket No.RSPA-99-6355 ; Amendment 195-70] RIN 2137-AD45, Pipeline Safety: Pipeline Integrity Management in High Consequence Areas(Hazardous Liquid Operators With 500 or More Miles of Pipeline)[S]. USA, 2000.
- [4] Department of transportation, Research and Special Programs Administration . 49 CFR Parts 192[Docket

No.RSPA-00-7666 ; Amendment 192-77] RIN 2137-AD64, Pipeline Safety: High Consequence Areas For Gas Transmission Pipelines[S]. USA, 2002.

- [5] 贾韶辉等. 中国石油天然气集团公司企业标准Q/SY 1180.2《管道完整性管理规范：第2部分管道高后果区识别规程》[S]. 中国石油天然气集团公司.
- [6] 冯庆善等. 中国石油天然气集团公司企业标准Q/SY 1180.1《管道完整性管理规范：第1部分 总则》[S]. 中国石油天然气集团公司.
- [7] Michael Zeiler. Modeling Our World[M]. 张晓祥等译. 北京：人民邮电出版社，2004：104.
- [8] 油气田及管道建设设计专业标准化委员会. GB50251-2003, 输气管道工程设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2003.
- [9] Freeman, B., A. M. Macrander, B. Holton, J. Williams, and S. Zengel. Using GIS to Identify Unusually Sensitive Areas : The 21st Annual ESRI International User Conference Proceedings, 2001[C]. USA: ESRI Inc., 2001.
- [10] 李祎等. 中国石油天然气集团公司企业标准Q/SY 1180.6《管道完整性管理规范：第6部分管道完整性数据库表结构》[S]. 中国石油天然气集团公司.

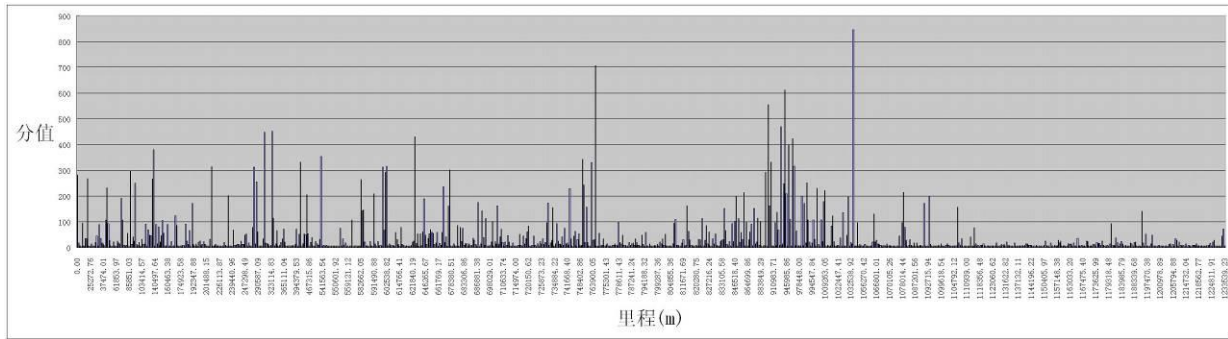


图7. 兰成渝输油管道高后果区分析图.

Figure 7. HCA graph of Lanzhou-Chengdu-Chongqing Oil Pipeline.