

# 监测预警系统在长输管道穿越隧道中的应用

周卫军 张 瑶 李月霄 张 凡

中国石油塔里木油田公司油气运销部, 新疆 库尔勒 841000

**摘 要:** 为了加强在役长输管道穿越隧道时地质灾害监测预警管理, 预防或减缓隧道因地质条件发生变化给管道带来的安全风险, 通过连续三期的隧址位移、隧道沉降、洞内应力和裂缝等方面的数据采集, 并对数据进行处理分析、安全评估, 结果表明隧道在监测期内未发生明显变形。但短期的监测不能客观真实地反映出隧道是否发生变形, 为保证隧道在管道服役期内安全使用, 应持续加强隧道动态变形监测, 及时对隧道的安全状况进行评估, 实现隧道安全预警管理。

**关键词:** 监测; 隧道; 长输管道; 安全

DOI: 10.3969/j.issn.1006-5539.2014.06.020

## 0 前言

目前国内油气长输管道建设发展迅猛, 但管道沿线地质条件和气候环境复杂多样, 地质灾害十分发育, 管道安全运行受到严重威胁。管道在穿越隧道时, 容易出现洞口滑坡、位移、洞内裂缝、地表下沉、渗水等问题。因此, 加强隧道地质灾害的监测预警管理, 能有效预防或减缓隧道因地质条件发生变化给管道带来的风险, 从而保障管道安全运行。

## 1 监测预警系统的主要组成

### 1.1 位移监测

位移监测分两级布网, 首级网为 GPS 监测系统, 作为整个监测预警系统的框架网和一级控制网, 与附近已有国家高等级 GPS 点进行联测, 以监测隧址区域位移<sup>[1]</sup>。在离隧道进出口两侧较远的稳定区域布设监测网的基准点(参考站 CORS), 在隧道进出洞口附近布设 GPS 工作基点, 见图 1。

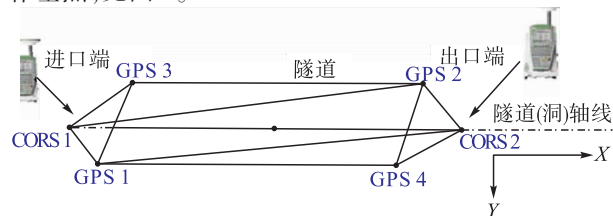


图 1 GPS 点位布设示意图

隧道洞口的控制点、洞内外测站点和位移监测点构成二级网, 其监测系统由观测测量机器人、反射棱镜等组成, 见图 2。根据隧道实际空间, 设置测站点和监测断面间距, 每个监测断面设置 3 个监测点(拱腰和拱顶位置)。为了观测洞门位移情况, 在进出洞口分别布设控制点和监测点, 洞口和洞内监测点安装全站仪配的反射棱镜进行观测。隧道入洞口, 可按图 2 所示三联架边角交会进行人工测量, 或将全站仪置于隧道中适当位置对监测点实施自动测量。

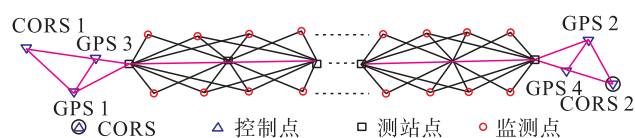


图 2 位移监测网示意图

### 1.2 沉降监测

在隧道进口和出口布设水准基准点, 基准点可全部埋设在位移监测首级网 GPS 基准点的观测墩上, 并要求能联测校核, 保证基准点的稳定性。每期观测时, 有必要利用各水准基准点进行相互的稳定性分析, 选取最稳定的水准基准点来判断洞内监测点的沉降变化量。洞内沉降监测点埋设在最能反映沉降特征且便于观测的位置, 均匀分布在隧道左右两侧边墙底部和隧道底部, 见图 3。

收稿日期: 2014-06-27

作者简介: 周卫军(1980-), 男, 甘肃天水人, 工程师, 硕士, 主要从事管道完整性管理工作。

在地质条件复杂、隧道裂缝严重等地段应加密沉降监测点,以保证最大限度地反映整个隧道沉降变形的特征。

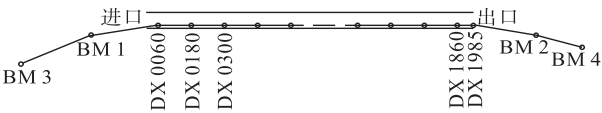


图 3 隧道沉降观测示意图

1.3 应力和裂缝监测

为能及时反映隧道衬砌混凝土应力和裂缝变化情况,在衬砌混凝土交界处和典型裂缝处布设应力传感器和裂缝传感器<sup>[2]</sup>,监测隧道衬砌混凝土应力和裂缝变化情况。

1.4 数据统计分析系统

记录监测数据并进行统计,将隧道相同监测点或多个监测点的变化量进行对比分析,判断隧道变形趋势,结合隧道当前物理状态,评估隧道当前安全状况。

2 实例应用

2.1 现场应用情况

某油田一条在役管道穿越隧道应用监测预警系统,其中位移监测首级网中,隧道进出洞口各有 3 个 GPS 参考站和 2 个 GPS 工作基点(其中 2 个 GPS 工作基点与参考站共用),见图 4;二级网中,洞口的位移监测点设置在隧道洞门上,进出口处分别有 4 个和 5 个监测点,见图 5;根据洞内实际情况,每隔 60 m 设置一处测站点,每隔 30 m 设置一个监测断面,每个监测断面布设 3 个监测点(拱腰和拱顶位置);隧道沉降监测中,为便于水准观测,将观测点设于距隧道底面 10 cm 处的边墙上,用钢筋预埋于



图 4 隧道洞口 GPS 参考站



图 5 隧道洞口监测点

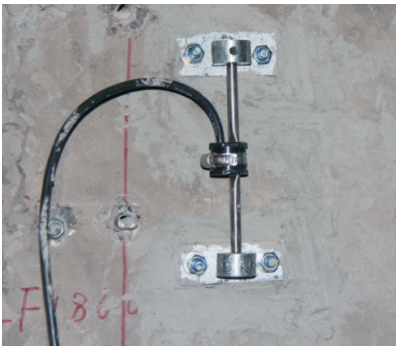


图 6 隧道内墙壁应力传感器



图 7 隧道内墙壁裂缝传感器

混凝土中;在隧道中衬砌混凝土交接处和典型裂缝等位置安装了 12 个应力传感器和 30 个裂缝传感器,见图 6~7。各类传感器数据通过数据转换后传至数据统计分析系统,远程监测中心对传回数据进行处理分析,来评估隧道安全状况。

2.2 监测分析

2.2.1 位移监测

对连续三期的监测数据为进行分析,两期之间的坐标差值代表监测点相对位移<sup>[3]</sup>。洞门位移和洞内位移监测结果分别见表 1、2。

洞门监测点位于洞后墙上,直接倚靠山体,代表山体护坡移动情况。从表 1 可看出,山体护坡未发生移动,洞门未发生显著变形。

从表 2 可看出,坐标 X 方向和 Y 方向上相对变化量

| 监测点  | 一、三期位移 |       | 二、三期位移 |       |
|------|--------|-------|--------|-------|
|      | DX 13  | DY 13 | DX 23  | DY 23 |
| CK 1 | -2.1   | -0.6  | -2.3   | -1.6  |
| CK 2 | -1.2   | -0.3  | -1.9   | -0.3  |
| CK 3 | -1.8   | 1.2   | -1.4   | -1    |
| CK 4 | -0.9   | 0.4   | -2.7   | -1.9  |
| CK 5 | -1.7   | 0.7   | -2.7   | -0.8  |
| JK 1 | 1.5    | 0     | -1.3   | -0.4  |
| JK 2 | 0.6    | -0.4  | -0.6   | -1.5  |
| JK 3 | 0.9    | 1.2   | -0.8   | -0.9  |
| JK 4 | 1.3    | 0.7   | -1.1   | -0.2  |

较小,均小于 3 mm,洞内未发生显著位移变化。

表 2 洞内位移监测结果对比表(部分监测点) mm

| 监测点       | 一、三期位移 |       | 二、三期位移 |       |
|-----------|--------|-------|--------|-------|
|           | DX 13  | DY 13 | DX 24  | DY 24 |
| WY 0030 S | 1.80   | -0.70 | 0.20   | -0.20 |
| WY 0030 Y | 0.80   | -1.00 | 0.10   | -0.10 |
| WY 0030 Z | -0.70  | -0.20 | -0.50  | -0.50 |
| WY 0090 Y | 0.30   | -0.10 | 0.50   | -0.20 |
| WY 0090 Z | 0.60   | -0.40 | 0.40   | -0.10 |
| WY 0150 S | 0.20   | 0.20  | -0.10  | -0.50 |
| WY 0150 Y | 0.50   | -0.40 | 0.20   | -0.70 |
| WY 0150 Z | 0.40   | -0.20 | 0.00   | -0.50 |
| WY 0210 Y | 0.10   | 0.20  | 0.20   | -1.00 |
| WY 0210 Z | 0.30   | 0.10  | 0.10   | -0.40 |

## 2.2.2 沉降监测

洞内沉降监测结果见表 3。

通过表 3 的数据对比,各监测点最大沉降量为 0.31 mm,各沉降监测点沉降量较小,与设计测量误差处于一个级别,可判定隧道底部未发生显著沉降<sup>[4]</sup>。

表 3 沉降变化量对比表(部分监测点) mm

| 监测点     | 一、三期相对沉降量 | 二、三期相对沉降量 |
|---------|-----------|-----------|
| DX 0060 | -0.31     | 0.06      |
| DX 0180 | -0.24     | 0.17      |
| DX 0300 | -0.15     | 0.05      |
| DX 0420 | -0.23     | 0.14      |
| DX 0540 | 0.04      | 0.10      |
| DX 0660 | -0.16     | 0.09      |
| DX 0780 | -0.18     | 0.02      |
| DX 0900 | -0.09     | 0.12      |
| DX 1020 | -0.28     | 0.07      |
| DX 1140 | -0.27     | 0.05      |

## 2.2.3 应力监测

隧道内位于出口端的 6 支应力传感器某天的监测结果见图 8。

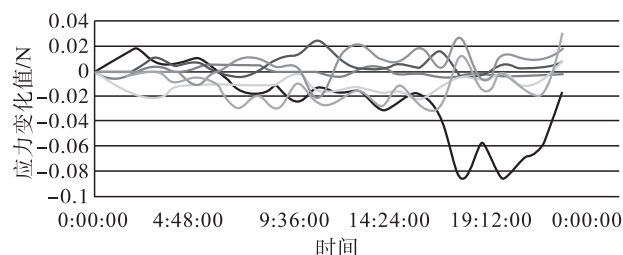


图 8 隧道出口端 6 支应力传感器某天的应力变化图

由图 8 应力传感器的变化趋势可知,所监测的衬砌混凝土应力在 1 d 内应力变化值均小于 1 N,且每个传感

器对应的变化值通过移动平均拟合,在一定程度上呈现平稳趋势<sup>[5-6]</sup>。

## 2.2.4 裂缝监测

隧道内位于出口端的 7 支裂缝传感器某天的监测结果见图 9。

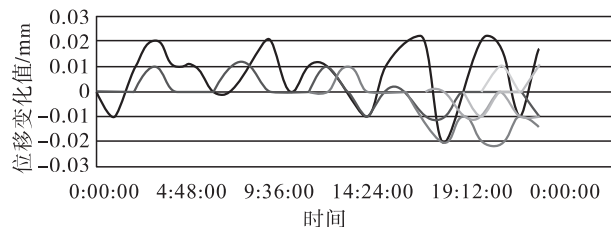


图 9 隧道出口端 7 支裂缝传感器某天位移变化图

由图 9 裂缝传感器的变化趋势可知,所监测的裂缝在 1 d 内的位移变化值均小于 1 mm,裂缝的宽度未发生明显的扩张趋势,裂缝在监测时段内无显著变形<sup>[6]</sup>。

综上所述,通过连续的科学监测,获取了隧道本体和周边大地测量数据,对其分析得知隧道未发生明显变形,目前已有的监测数据也可作为持续监测的参考依据<sup>[7]</sup>。

# 3 结论

目前,由于短期的监测不能客观真实地反映出隧道是否发生变形,为保证隧道在管道服役期内安全使用,应持续加强隧道动态变形监测,实现隧道安全预警管理,保障管道安全运行。

## 参考文献:

- [1] GB/T 18314-2009,全球定位系统(GPS)测量规范[S].  
GB/T 18314-2009, Specifications for Global Positioning System(GPS) Surveys[S].
- [2] GB 50010-2002,混凝土结构设计规范[S].  
GB 50010-2002, Code for Design of Concrete Structures[S].
- [3] JGJ 8-2007,建筑变形测量规范[S].  
JGJ 8-2007, Code for Deformation Measurement of Building and Structure[S].
- [4] GB/T 12897-2006,国家一、二等水准测量规范[S].  
GB/T 12897-2006, Specifications for the First and Second Order Leveling[S].
- [5] TB 10223-2004,铁路隧道衬砌质量无损检测规程[S].  
TB 10223-2004, Code for Undestructive Detecting of Railway Tunnel Lining[S].
- [6] TB 10121-2007,铁路隧道监控量测技术规程[S].  
TB 10121-2007, Technical Code for Monitoring Measurement of Railway Tunnel[S].
- [7] TB 10003-2005,铁路隧道设计规范[S].  
TB 10003-2005, Code for Design on Tunnel of Railway[S].