

Standard Analysis of Geological Disaster Monitoring for Long-Distance Oil and Gas Pipeline

Ting Wang¹, Juhong Wang¹, Xueli Wang¹, Jian Chen¹, Xin Wang¹, Hongyuan Jing¹, Qing Chang²

¹PetroChina Pipeline Company, Langfang Hebei

²PetroChina Beijing Gas Pipeline Co. Ltd., Shijiazhuang Hebei

Email: kjwangting@petrochina.com.cn

Received: Mar. 25th, 2020; accepted: Apr. 28th, 2020; published: Jun. 15th, 2020

Abstract

In order to find out the existing problems of geological hazard monitoring standards for long-distance oil and gas pipelines, and to propose suggestions for standard usage and standard integration, several commonly used monitoring standards for geological hazards in China are collected and sorted out. Through technical points comparative analysis, the risk classification of geological hazards, the correspondence between monitoring level and disaster risk level, the specific application conditions and modes of monitoring technologies, and the alarm threshold of stress and strain monitoring are analyzed. Recommendations are: Unify the method of dividing the risk grade of geological hazards and the corresponding situation between the monitoring grade and the risk grade of geological hazards, effectively guide the standard users to judge the risk and choose the monitoring grade. At the same time, according to different types of local hazards, it is clear under what conditions and specific implementation methods, and it is necessary to consider the pipe material, pipe diameter, wall thickness, welding seam and environment comprehensively. The early warning threshold is determined by various factors such as failure mode and so on, and the integrity of pipeline is evaluated.

Keywords

Long-Distance Oil and Gas Pipeline, Geological Hazard Monitoring Standard, Risk Level, Monitoring Level, Alarm Threshold

油气长输管道地质灾害监测标准分析

王 婷¹, 王巨洪¹, 王学力¹, 陈 健¹, 王 新¹, 荆宏远¹, 常 青²

¹中国石油管道公司, 河北 廊坊

²中国石油北京天然气管道分公司, 河北 石家庄

Email: kjwangting@petrochina.com.cn

收稿日期: 2020年3月25日; 录用日期: 2020年4月28日; 发布日期: 2020年6月15日

摘 要

为梳理现有油气长输管道地质灾害监测标准存在问题, 给出标准使用及标准整合编制建议, 收集整理了国内常用的多项地灾监测标准, 通过对比分析地灾风险等级划分、监测等级与地灾风险等级对应、各监测技术具体应用条件及方式和本体应力应变监测报警阈值等技术点, 提出建议: 统一地质灾害风险等级的划分方法及监测等级与地灾风险等级的对应情况, 有效指导标准使用者对风险的判断及监测等级的选择, 同时针对不同地灾类型的多种监测技术手段, 明确在何种条件下应用及具体实施方式, 以及应综合考虑管材、管径、壁厚、焊缝、环境、失效模式等各种因素确定预警阈值, 评估管道的完整性。

关键词

油气长输管道, 地质灾害监测标准, 风险等级, 监测等级, 报警阈值

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

长输油气管道沿途地质灾害类型多、成因复杂、危及范围广。因其“致灾性”难以逆转, 一旦预防措施不当难于补救, 所导致的管道事故又极易诱发严重的次生灾害, 其直接和间接损失往往比其他类别的事故更大[1] [2] [3]。我国是世界上地质灾害较为严重的国家之一。随着长输油气管道里程的逐年增长、沿线各种人类工程的扰动和自然环境突发事件的愈发频繁, 管道地质灾害已无可避免地呈多发态势, 管道运行安全与管道地质灾害之间的矛盾日益凸显。若能适时掌握其应变演变的过程性指征和指标, 就能做到及时预警, “防患于未然”。

为能及时发现管道地质灾害并有效进行管道地质灾害预测预报, 管道行业编制了多项标准, 通过结合管道地质灾害的特点, 利用和借鉴地质灾害领域中先进的监测预警技术, 达到地质灾害风险有效管控的目的。本文就油气长输管道地质灾害监测现行标准进行分析讨论, 并提出标准使用及标准整合建议。

2. 现有标准情况

2.1. 不同标准中有相关风险评价/等级划分条款

当前管道地质灾害监测技术及标准种类较多, 且已逐渐体系化[4]-[10]。从监测对象上划分主要可分

为两大类:

一是以滑坡、崩塌、泥石流等导致灾害发生的不良地质环境,即“致灾体”为监测对象的技术。其目的是掌握灾害体的变形和活动特征,为其稳定性评价、管理部门决策、灾害防治工程设计施工、防治效果检验提供基础资料和数据。致灾体主要包括:滑坡和崩塌(危岩体)、泥石流、采空区、强震区和活动断层等。该类技术标准与常规地质灾害监测相似,根据地质灾害的规模、种类、等级程度选择不同的监测手段;监测设备根据地质灾害类型、地质体稳定性的不同也随之有差异。

二是以遭受致灾体破坏的长输油气管道,即“承灾体”为监测对象的技术标准。其目的是掌握管体在地质灾害作用下的受力和变形状态,为管道完整性评价和安全防护提供依据。

Table 1. Existing monitoring standards for geological hazards and correspondence with risk level
表 1. 现有地灾监测标准及与风险等级对应情况

序号	标准号	标准名称	风险评价/等级划分条款	监测是否与等级对应
1	DZ/T 0221-2006	崩塌、滑坡、泥石流监测规范	监测站(点)分:专业监测站(点)按照重要性和后果分 4 级;群测群防监测。	是
2	SY/T6828-2011	油气管道地质灾害风险管理技术规范	区域管道地灾易发性分 4 级;单体管道地灾风险按易发性、易损性和后果均分为 3 级,综合风险分 5 级。	是
3	QSY 1672-2014	油气管道沉降监测与评价规范	按照 SY/T 6828 执行。	否
4	Q/SY 1673-2014	油气管道滑坡灾害监测规范	按照 SY/T 6828-2011 划分。	是
5	QSY 1419-2011	油气管道应变监测规范	本体监测,未分级。	/
6	Q/SY 1487-2012	采空区油气管道安全设计与防护技术规范	按稳定性级别(危险程度)分 5 级。	是
7	Q/SY 05020-2017	油气管道穿越强震区和活动断层监测技术规范	按易发性、易损性和后果分为 3 级。	是
8	Q/SY GD 1086-2015	管道防汛、地质灾害防治管理手册	与 SY/T 6828 相同。	是
9	Q/SY XQ 160-2013	管道滑坡变形监测振弦仪器使用规范	本体监测,未分级。	/

2.2. 现有标准应用的主要问题

由表 1 可以看出,现行标准既有针对不同灾害类型的标准,也有监测技术标准,还有较为综合的地灾风险评价和治理标准。大部分标准中都有监测等级与地灾风险等级相对应的条款,但风险等级划分、监测等级与风险等级对应情况各标准并不一致,还有一项标准中存在多种划分标准,给标准使用带来不便。此外,标准中提出了针对不同地灾类型的多种监测技术手段,但对于各类监测手段应用的时机条件、具体实施方式,数据格式、数据传输方式等问题规定的并不明确[11]-[21]。

1) 监测等级、风险分级不统一、不明确

部分地灾类型对应的标准等级划分不同,不利于管理者进行统一决策,如 Q/SY 1673-2014《油气管道滑坡灾害监测规范》分为 3 级,DZ/T 0221-2006《崩塌、滑坡、泥石流监测规范》中分为 4 级;SY/T6828-2011《油气管道地质灾害风险管理技术规范》中 III 级监测点对应中风险等级,Q/SY 1673-2014《油气管道滑坡灾害监测规范》中 II 级监测点对应中风险等级。

建设期标准和运营期标准不一致,运营期考虑了管道失效后果。部分标准中对后果和风险采用“较高”、“较大”等描述,实际应用中判断标准不明确,可操作性较差。

2) 各监测技术具体应用方式不明确

首先, 在何种条件下应用何种监测技术各标准中并未十分明确, 此外监测手段的具体布置方式、数据格式、数据传输方式等内容没有明确, 且不同标准对于监测频率的规定也不一致, 例如 SY/T6828-2011《油气管道地质灾害风险管理技术规范》中规定“Ⅰ级监测点监测周期为 15 d~30 d, Ⅱ级监测点监测周期为 30 d, 比较稳定的可调整为 60 d”, Q/SY 1673-2014《油气管道滑坡灾害监测规范》中规定“一级、二级监测点应至少每 15 d 观测 1 次”。

3. 标准中关于管道本体应力应变监测报警阈值问题探讨

管道本体监测是各标准中普遍推荐的监测手段, 但仅有少数标准给出了监测数据的使用方法, 例如计算公式、报警阈值等。由于涉及到力学计算, 标准中给出的公式和计算方法往往较为复杂, 给出的阈值参考表由于条件的预设往往缺乏指导性, 甚至如果在标准使用者不了解阈值计算过程的前提下, 还可能误导使用者。

例如根据 ASME B31.8-2014, 受约束管道组合应力校核应满足如下条件[22]:

在役管道应力校核计算采用公式(1)或公式(2), 计算结果应不超过 0.9SMYS:

$$\max.\{|S_H - S_L|, |S_H|, |S_L|\} \quad (1)$$

$$\left[S_L^2 - S_L S_H + S_H^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

上式中, S_H 为环向应力; S_L 为轴向应力; $S_H - S_L$ 为最大主应力与最小主应力的差值, 即剪切应力。通常, 根据第三强度理论选择公式(1), 分别校核剪切应力、环向应力及轴向(净值、组合)应力均满足不超过 0.9SMYS。

S_L 为内压在轴向产生的应力 S_p 、温变产生的应力 S_T 、弯曲产生的轴向力 S_B 、其他轴向外力 S_X 之和, 即 $S_L = S_p + S_T + S_B + S_X$, 当不考虑温变及弯曲时, $S_L = S_p + S_X$ 。

S_H 在壁厚设计时已经考虑, 不会超限, 即只考虑 S_L 和 $S_H - S_L$ 即可:

$$S_L = S_p + S_X < 0.9SMYS \quad (3)$$

$$S_H - S_L < 0.9SMYS \quad (4)$$

根据 ASME B31.8-2014, 受约束管道由内压引起的轴向应力为:

$$S_p = 0.3S_H \quad (5)$$

将公式(5)带入公式(3)和公式(4)可得:

$$0.3S_H + S_X < 0.9SMYS \quad (6)$$

$$0.7S_H - S_X < 0.9SMYS \quad (7)$$

当 $S_X > 0$ 时, 即外加力为拉应力, 公式(6)为限制条件;

当 $S_X < 0$ 时, 即外加力为压应力, 公式(7)为限制条件。

参照某标准中给出的管道条件, 见表 2。

Table 2. Reference table for allowable additional stress threshold of pipeline

表 2. 常用管道允许附加应力阈值参考表

管径 mm	壁厚 mm	钢级	泊松比	线膨胀系数 ℃ ⁻¹	温差 ($t_1 - t_2$) ℃	最大内部 设计压力 MPa	弹性 模量 MPa	最小屈服 强度 MPa	附加拉伸 应力阈值 MPa	附加压缩 应力阈值 MPa
219.0	5.6	L245	0.3	0.000012	-20	8.0	210,000	245	224	61

可得出:

1) 管道所能承受拉应力最大值为 $S_x < 0.9SMYS - 0.3S_H = 0.9 \times 245 - 0.3 \times 8 \times 219/2/5.6 = 174.5 \text{ MPa}$

2) 管道所能承受压应力最大值为 $S_x < 0.9SMYS - 0.7S_H = 0.9 \times 245 - 0.7 \times 8 \times 219/2/5.6 = 111 \text{ MPa}$

标准中由于考虑了 -20°C 的温差,即假设管道运行温度比闭合温度高 20°C ,管道投产运行后温度变化会引入 50.4 MPa 的压应力,因此提高了管道所能承受拉应力的允许值,降低了压应力的允许值。而实际上,对于不同介质、不同地区管道而言,运行温度与闭合温度的差值均不相同。标准中虽然是在资料性附录中给出了“常用管道允许附加应力阈值参考表”,但对于不了解计算过程的使用者而言,容易造成误导。

4. 标准修改整合建议

1) 统一地质灾害风险等级的划分方法及监测等级与地灾风险等级的对应情况,有效指导标准使用者对风险的判断及监测等级的选择。建议监测包含专业监测和群测群防监测方法,按照失稳或活动危害性,将专业监测分为3级,连同群测群防监测,给出规定采用的监测技术原则。

2) 针对不同地灾类型的多种监测技术手段,按级别给出监测内容对应表、监测频率等。明确在何种条件下应用何种监测技术,即各类监测手段应用时需要满足的条件,以及具体实施方式,每项地质灾害类型采集的数据格式、数据传输方式等问题,做到标准条款具有可操作性。

3) 对于监测数据的分析和应用应有相关规定,同时附计算公式、报警阈值等,或指向相关标准。对于给出的阈值参考表,要明确有哪些不确定性因素以及对于计算结果的影响,使标准使用者做到心中有数。实际上,应综合考虑管材、管径、壁厚、焊缝、环境、失效模式等各种因素确定预警阈值,评估管道的完整性。

基金项目

中国石油集团公司重大专项《智慧管网建设运行关键技术研究与应用》(2019E-2007)。

参考文献

- [1] 徐安全. 浅谈地质灾害监测技术现状及发展趋势[J]. 企业技术开发, 2014(19): 117-118.
- [2] 宋帅, 李家鹤. 地质灾害监测技术发展研究[J]. 黑龙江国土资源, 2015(9): 694.
- [3] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration. PHMSA Strategic Plan. <https://www.phmsa.dot.gov/data-and-statistics/pipeline/pipeline-incident-flagged-files>
- [4] 杨明生, 王国勇, 陈刚, 等. 中石化油气长输管道地质灾害监测技术介绍[J]. 江汉石油职工大学学报, 2017, 30(5): 62-63.
- [5] 韩子夜, 薛星桥. 地质灾害监测技术现状与发展趋势[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3): 138-141.
- [6] Deschamps, B., Henschel, M.D. and Robert, G. (2016) Quantification and Extension of Lateral Ground Movement Detection Capabilities Derived from Synthetic Aperture Radar. PRCI ROW-6-2 Final Report.
- [7] Rodolfo, B., Sancio, A.H., et al. (2014) Evaluation of Current ROW Threat Monitoring, Applications, and Analysis Technology. PRCI PR-420-123712 Final Report.
- [8] 马士彪. 浅谈地质灾害监测技术现状与发展趋势[J]. 现代农业研究, 2015(6): 62.
- [9] Robert, G. (2017) Pipeline ROW Ground Movement Monitoring from InSAR for the PRCI Satellite Consortium Project. PRCI 2017 Research Exchange Meeting.
- [10] 刘鹏程, 王建国. 基于地质灾害监测系统的研究与实现分析[J]. 电子世界, 2017(15): 176.
- [11] 梁军. 基于GIS地质灾害监测无线自动化采集传输系统设计分析[J]. 建设科技, 2017(14): 102-103.
- [12] Zhang, Z.G., Shen, N.Q., Li, Y.C., et al. (2011) Geological Hazards Risk Evaluation of Pipeline Construction Site Based on Extension Method. *International Conference on Pipelines and Trenchless Technology 2011: Sustainable Solutions for Water, Sewer, Gas, and Oil Pipelines*, 1667-1676. [https://doi.org/10.1061/41202\(423\)176](https://doi.org/10.1061/41202(423)176)

- [13] Moya, J.M., De, L.S. and Giancarlo, M. (2014) Alternative Geohazard Risk Assessment and Monitoring for Pipelines with Limited Access: Amazon Jungle Example. *10th International Pipeline Conference*, Calgary, 29 September-3 October 2014. <https://doi.org/10.1115/IPC2014-33628>
- [14] 王洪辉, 李鄢, 庾先国, 等. 地质灾害物联网监测系统研制及贵州实践[J]. 中国测试, 2017, 43(9): 94-99.
- [15] Ma, Y.B., Cai, Y.J. and Tan, D.J. (2012) Design and Application of Long Distance Oil & Gas Pipeline Stress & Strain Monitoring Sensor. *Advanced Materials Research*, **383-390**, 1458-1462. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.1458>
- [16] 凌骐, 张轩, 孔松, 等. 水电工程地质灾害监测预警与应急管理系统设计及应用[J]. 水电与抽水蓄能, 2017, 3(6): 35-39.
- [17] 王洪辉, 徐少波, 庾先国, 等. 地质灾害监测数据自适应对象持久化方法[J]. 计算机工程与设计, 2017, 38(7): 1972-1976.
- [18] Aufliq, M.J., Komac, M. and Inigoj, J. (2015) Modern Remote Sensing Techniques for Monitoring Pipeline Displacements in Relation to Landslides and Other Slope Mass Movements. In: *Environmental Security of the European Cross-Border Energy Supply Infrastructure*, Springer, Berlin, 31-48. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9538-8_3
- [19] Malpartida, M. and John, E. (2015) Managing Geohazards in Hard Conditions: Monitoring and Risk Assessment of Pipelines That Crosses Amazonian Jungles and the Andes. *ASME International Pipeline Geotechnical Conference*.
- [20] Read, R.S. (2018) Pipeline Geohazard Assessment—Bridging the Gap between Integrity Management and Construction Safety Contexts. *Proceedings of the Biennial International Pipeline Conference*.
- [21] Li, G.Y., Ma, W. and Wang, X.L. (2015) Frost Hazards and Mitigative Measures Following Operation of Mohe-Daqing Line of China-Russia Crude Oil Pipeline. *Rock and Soil Mechanics*, **36**, 2963-2973.
- [22] ASME B31.8-2014 (2014) Gas Transmission and Distribution Piping Systems. The American Society of Mechanical Engineers, New York.