

## ● 行业综述

# 地质灾害作用下管道的破坏行为与防护对策\*

帅 健<sup>1</sup>, 王晓霖<sup>2</sup>, 左尚志<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学 机电工程学院, 北京 102249)

2. 中国石油大学 石油天然气工程学院, 北京 102249

3. 中国特种设备检测研究院, 北京 100013)

**摘要:**长输管道分布广阔, 沿线地质地貌复杂, 地质灾害难以避免。管道事故统计分析表明, 受地理环境、气候及人类活动等因素影响, 管道工程中的地质灾害种类繁多、危害程度也各不相同。地质灾害引发土壤运动和地表变形, 从而导致埋地管道产生弯曲、压缩、扭曲、拉裂、局部屈曲等破坏行为。国内外关于管道在断层、斜坡、洪水和地面塌陷等常见灾害形式下的研究可归纳为解析法、数值法和试验法 3 种, 其中解析法计算方便, 便于工程应用; 数值法灵活, 可模拟较真实的工况条件; 实验法更加直观, 对于研究管线宏观变形意义较强。为了避免地质灾害事故, 管道勘察设计阶段应尽量避免绕不稳定地质区域; 无法避免的, 应采取合理的敷设方案和预防措施, 以增强管道对地质灾害的抵抗能力; 对于在役管道, 则应预测灾害类型, 制定相应防护措施。

**关键词:**管道; 地质灾害; 断层; 斜坡; 洪水; 塌陷; 防护

**中图分类号:** T88 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3938(2008)05-0009-07

作为生命线工程的高压油气长输管道, 担负着油气资源的主要输送任务, 由于分布范围非常广阔, 沿途区域自然地理和地质环境复杂多样, 不可避免地会受到各种地质灾害的威胁和侵害。地质灾害一旦发生, 不仅会造成管道变形、断裂和大范围破坏, 从而导致油气泄漏、管线停输, 带来巨

大经济损失; 还有可能引发火灾、爆炸等事故, 对生命财产、自然环境和社会安定带来严重后果和恶劣影响。因此, 调查管道地质灾害分布特点, 研究灾害作用下管道的破坏行为和评价方法, 制定灾害防治对策, 对于保障管道安全运行有着重要意义。

(2) 控制钢管产品出口总量, 将工作重点转移到优化出口产品结构, 提高出口产品的技术含量和高附加值上, 积极鼓励国产钢管替代进口钢管。

(3) 改进和加强营销工作, 提高市场竞争力。

(4) 大力推进钢管企业跨地区、跨省市、跨所有制的联合重组工作, 组建具有国际竞争能力的世界级钢管企业集团, 提高全行业的产业集中度。积极配合政府工作, 按照温家宝总理在十一届全国人大工作报告中指出的“建立淘汰落后产能退出机制, 完善和落实关闭企业的配套政策措施”,

加快淘汰落后钢管产能步伐。

上述总体要求和四条措施, 是我国焊管行业 2008 年的行动纲领, 对我国焊管行业的健康有序、又好又快发展是十分必要的。

**作者简介:** 王晓香(1946—), 男, 教授级高工, 中国金属学会轧钢学会第五届焊管学术委员会主任委员, 石油管材专标委专家委员, 《焊管》、《钢管》杂志编委。

收稿日期: 2008-08-05

编辑: 罗 刚

\* 国家科技支撑技术课题“生命线工程安全保障关键技术研究及工程示范”, 资助项目: 2006BAK02B01-12

## 1 我国管道地质灾害分布特点

我国地域广阔,不同地区地质气候特点差异较大,长输油气管道经常穿越多种地质区域,沿线地质灾害种类繁多。如长达 4 000 km 的西气东输管道<sup>[1-3]</sup>,西部区段穿越塔里木盆地、天山和北山低山丘陵、河西走廊,地质灾害以泥石流、洪水冲蚀、风蚀沙埋、盐渍土腐蚀等为主;中部穿越鄂尔多斯高原、黄土高原和山西山地,间夹临汾盆地,地质灾害包括滑坡、崩塌、泥石流、洪水冲蚀、风蚀沙埋、采空塌陷以及黄土湿陷等;东部穿越黄、淮海平原和长江三角洲,之间夹皖苏丘陵,人口稠密、经济发达,地质灾害与人类活动密切相关,主要有地面沉降、地裂缝、采空塌陷以及膨胀土等灾害。陕京输气管道<sup>[3]</sup>和陕京二线<sup>[4]</sup>沿途穿越沙漠、黄土区、地震带和活动断裂区,主要灾

害形式包括冲沟、滑坡、泥石流、崩塌、断层、地裂缝、地面沉降等。川气出川管道<sup>[5]</sup>沿线自然环境和地质条件复杂多样,川东、渝中和鄂西为中、低山区,以崩塌、滑坡、泥石流等山地斜坡灾害为主;鄂中、鄂北、豫中和鲁西主要为冲积平原,以采空塌陷、岩溶塌陷、地面沉降、塌岸等人类活动引起的灾害为主。忠武输气管道<sup>[6]</sup>穿越渝东、鄂西山区,主要涉及滑坡、危岩、泥石流、岩溶塌陷、水土流失、采空区塌陷等六类地质灾害。马惠宁输油管道<sup>[7]</sup>因设计建设缺陷造成地质灾害事故频发,主要包括黄土坡面侵蚀、河岸横向摆动侵蚀和穿河管道裸露悬空三类灾害。兰成渝成品油管道<sup>[8]</sup>地跨甘、陕、川,途经陇西黄土高原、秦巴山区、四川盆地及成渝丘陵区,经常出现滑坡、崩塌、山洪、泥石流等山地自然灾害。根据资料统计,将我国管道地质灾害的分布情况按区域列于表 1。

表 1 我国管道地质灾害分布情况

地区	主要管道	沿线主要地质形态	主要地质灾害隐患
西部	西气东输(二线)、鄯乌线、格拉线、涩宁兰	塔里木盆地、天山、戈壁沙漠、青藏高原	滑坡、泥石流、风蚀沙埋、盐渍土、地震断层、冲沟
中部	西气东输、陕京(二线)、马惠宁、兰郑长	鄂尔多斯高原、黄土高原、山西山地、临汾盆地	滑坡、泥石流、洪水、采空塌陷、断层、黄土湿陷
西南	川气出川、忠武、兰成渝	川东、渝中和鄂西为主的低山区	崩塌、滑坡、泥石流、塌陷、断层
东部	西气东输、甬沪宁、仪长	黄淮海平原、长江三角洲、低地丘陵	地面沉降、地裂缝、采空塌陷、洪水

从管道地质灾害分布可以看出,管道地质灾害受地理环境、气候、人类活动影响显著,种类繁多,对管道的作用形式和危害程度也各不相同。为确保管道安全运行,需要掌握各种地质灾害的机理和特征,以及管道的破坏行为,以便采取相应的防护措施,并为管道的安全管理提供科学依据。

## 2 地质灾害作用下管道的破坏行为

地质灾害直接引发土壤运动和地表变形,从而导致埋地管道在土体的作用下发生变形甚至失效。管土的复杂力学作用管道产生拉裂、弯曲、压缩、扭曲、局部屈曲等破坏现象,特别是近年大口径高强度管材的大范围应用,土体对埋地管道的作用更加显著,以至于管道产生椭圆化变形、局部褶皱和波状变形等破坏现象。

### 2.1 地震断层

断层是地壳岩层因受力达到一定强度而发生

破裂,并沿破裂面有明显相对移动的构造现象,分为走滑断层、正断层和逆断层三种基本形式。

一般而言,走滑断层随管道与断层跨越角度的不同而产生压力或拉力;正断层则增大埋地管线的拉力,管线产生拉弯作用;逆断层则使管线产生压弯作用。但是断层活动通常表现为多种类型同时发生,因此增大了埋地管道破坏的复杂性。表 2 为地震断层作用下管道的破坏资料,可以看出,管道受断层形式、位移、范围等因素影响,而表现出弯曲、拉裂、折断、压缩、屈曲等多种破坏形式。

### 2.2 斜坡

体积巨大的地表物质在重力作用下沿斜坡向下运动,常常形成严重的地质灾害,根据滑落物质的组成、运动方式,斜坡灾害可分为崩塌、滑坡和泥石流三类。重力是斜坡灾害的内在动力,地质形貌构造、岩土特性、地下水等是斜坡失稳的自然因素,而降水、人类活动则是斜坡灾害的主要诱因。

表 2 地震断层作用下管道的破坏事故

地震断层灾害	发生时间	管道破坏形式
美国圣费尔南多地震	1971	输气管道和排水管道, 断裂、受压屈曲
马那瓜地震	1972	滑动断层大面积位移, 输水管道几乎全部破坏
前苏联加兹拉地震 <sup>[9]</sup>	1976	管道折断、断裂、管体裂缝、承口接头凸出和脱落
唐山地震	1976	断裂、漏油、皱折裂缝、弯曲
澳大利亚腾南特克里克地震 <sup>[10]</sup>	1988	逆断层为主, 煤气田管道被轴向压缩
土耳其伊兹米特地震 <sup>[11]</sup>	1999	断层水平错动导致管道破裂
昆仑山南麓 8.1 级地震 <sup>[12]</sup>	2001	输油管道在断层地表破裂带处出现破坏

表 3 斜坡灾害管道的破坏事故

管道	发生时间	灾害特性	管道破坏情况
格拉输油管道	1996 7	暴雨引发横向滑坡	管道砸伤、拉断引起严重漏油, 全线停输
巴西成品油管道	2001 2	暴雨引发土壤缓慢滑动	管体产生环向裂纹, 管道断裂, 成品油外泄
绵阳中青线管道	2002 8	房地产开发造成山体滑坡	管道撕裂
重庆开县气管道	2005 8	山体滑坡产生泥石流	管道被泥石流压断
重庆沙坪坝气管道	2005 9	野蛮施工, 堆土引发滑坡	管道受外力影响变形断裂, 天然气泄漏爆炸
福建宁德液氨管道	2006 5	非法采土引发山体滑坡	管道被滑落巨石砸裂, 导致液氨泄漏
西气东输山西段	2007 4	坡体裂缝, 形成滑坡隐患	紧急改线施工, 避免了可能出现的管道事故
边转油站管线	2007 8	山体滑坡	管道断裂, 原油泄漏

### 2.3 洪水

洪水是暴雨或急骤的融冰化雪和水库垮坝等引起的江河水量迅速增加及水位急剧上涨的灾害现象。洪水的形成主要依赖天气因素, 此外还与流域下垫面汇流速度、河道形态等有关。

长输管道不可避免地要穿越河流、沟渠等水流活动地区, 如果河床变化较为剧烈或遇洪水, 水流冲刷可能造成管道裸露、漂浮、变形等破坏现

山区管道如果途经不稳定斜坡, 受地质、气候和人类活动的影响, 难免会遭受灾害侵袭, 表 3 是从互联网收集的斜坡管道灾害事故资料。引发管道斜坡灾害的主要原因可归纳为暴雨导致土体松动、山体地貌和构造失稳、开发建设活动破坏等。灾害发生时, 管道因承受运动物质的巨大拖曳力, 而发生弯曲变形、拉裂甚至整体断裂等失效形式。缓慢滑坡可能导致管道大范围弯曲变形, 突发滑坡则常常造成管道瞬间失稳, 如果伴有泥石流和崩塌, 则会造成管道压毁、砸裂等严重的破坏形式。

象, 不仅影响管道平稳运行, 而且一旦管道断裂, 还会污染水体, 带来严重的环境后果。表 4 为洪水引发的管道事故资料, 不难看出, 洪水灾害的季节性特征明显, 集中发生在雨季或汛期。水流冲刷导致管道上敷土层松动脱离、河岸毁坏, 管道半埋于河床或悬浮于水中, 受(含沙土)水流的强大冲击作用发生变形、振动、甚至断裂。因此洪水冲刷也被视为长输管道安全评价的重要内容。

表 4 洪水灾害管道的破坏事故<sup>[13-15]</sup>

管道	发生时间	事故原因及管道破坏情况
铁秦管道	1984 8	暴雨导致水库泄洪, 将跨越石笼冲开, 管道悬空、冲断, 约 3 000 原油泄漏海中
美国德州	1994 10	暴雨引发洪水, 跨越河流的四条管道(原油、汽油、柴油、天然气)因洪水冲击发生疲劳断裂
马惠管道	1996 7	暴雨冲断管道, 重新穿越施工过程中管道再次冲断, 1 000 原油泄漏
	1997 7	暴雨, 类似泥石流的洪水将管道冲断
靖西管道	1999 7	洪水导致穿越河流管道(埋深 4 m)被冲出, 高含沙水流冲断管道
陕京管道	1998 8	暴雨导致管道被冲出, 由于河床坡度大, 洪水近乎泥石流, 管道破裂漏气
	2003 8	大雨导致水库泄洪, 埋深 1.8 m 管道漂浮水面(高约 80 m, 长约 170 m, 径向最大位移 2.5 m)

### 2.4 地面塌陷

地面塌陷是在人为和自然地质因素作用下, 地表岩土断错坍塌, 形成塌陷坑、洞、槽的地质现象, 按成因分为地下水抽取致塌、渗水致塌、振动致塌、荷载致塌、采空致塌等。地面塌陷可使地表设施、田土严重毁坏。由于管道对地面变形非常

敏感, 一旦发生塌陷, 可能造成地下管道弯曲变形、悬空或断裂, 对管道安全带来重大隐患。

对于城市燃气管道, 建筑物地基沉降塌陷、地下水位下降塌陷和渗水塌陷对管道安全构成巨大威胁; 对于长输管道, 如果途经矿区, 采空致塌将严重影响管道的安全运营。表 5 为地面塌陷造成

的管道破坏事故,可见导致管道塌陷破坏的原因主要包括地下开采活动、城市渗水塌陷、塌方等,管道的破坏行为主要表现为受塌陷土体作用而发生扭曲变形、压裂、拉断等。

表 5 地面塌陷管道的破坏事故

管道	发生时间	塌陷原因	管道破坏情况
平顶山油库管道		采煤挖空	管道扭曲变形
广东佛山煤气管道	2005.6	雨水冲击塌陷	管道压裂、 煤气泄漏
南京天然气管道	2007.2	渗水塌陷	管道断裂爆炸
美国圣迭戈 地下管道	2007.10	严重塌方, 地面多处下陷	管道扭曲破裂

### 3 地质灾害管道破坏研究进展

#### 3.1 管土作用模型

埋地管道对土壤运动十分敏感,管道的各种变形或破坏大多是受周围土体作用所致,因此,研究埋地管道在地质灾害下的破坏行为,需要了解管土间的相互作用。鉴于土体复杂的非线性和非弹性等特征,工程中采用简化模型来分析管土间的相互作用关系。目前常用的管土模型主要包括弹性地基梁、土弹簧和非线性接触三种。

弹性地基梁模型基于静力分析,假设管线周围土体均匀分布,将管线视为弹性梁模型,主要考虑土体最终位移对管线的作用。弹性地基梁模型理论简单明了,易于手算,因而被工程界广泛接受,并被美国输油(气)抗震规范所采用。

土弹簧模型将管线周围土体简化为与管道相连的等效弹塑性弹簧,用弹簧刚度和自由度表示管土作用,并利用有限元方法分析管道的力学状态。ABAQUS<sup>[16]</sup>中提供了类似于土弹簧的 PSI 单元来模拟管土间的相互作用。

管土作用属于典型的接触非线性问题,弹性地基梁模型和土弹簧模型虽然起到了简化计算的作用,但是也存在着诸多局限性(如简化导致分析精度失真、忽略土的离散性等)。随着计算机技术的发展,利用接触理论和数值方法建立管土的非线性接触模型,成为研究管土作用问题更合理的方案。接触模型中,重点考虑加载方式、边界条件、接触面性质及接触属性等因素。

#### 3.2 地质灾害管道破坏研究成果与进展

Newmark 和 Hall<sup>[17]</sup>最早建立了跨越断层埋

地管道的理论分析模型,将管线简化成连续刚性管,忽略土体横向作用及管道弯曲变形,认为管道的大部分位移和变形发生在断层两侧较短范围内,管线抗震能力主要由最大轴向应变控制。此后, Kennedy<sup>[18]</sup>等采用大挠度理论对 Newmark-Hall 方法进行改进,考虑管土间的横向作用和摩擦力,以及弯曲管段的曲率和弯曲应力等因素,得出走滑断层的临界位错量。Wang L R L<sup>[19]</sup>将断层附近管线看作悬索,远端看作弹性地基梁,分析管线在轴向受压时的反应;其改进方法<sup>[20]</sup>采用非线性悬臂梁模型,分析弹性范围内管线在轴向应力和弯矩共同作用下的响应。刘爱文等<sup>[21]</sup>利用无量纲法研究埋地管线,认为位错量较大时管线以轴向变形为主,而弯曲变形较小时则可采用 Kennedy 方法,将管线看成是没有弯曲刚度的悬索。近年来有限元方法在跨断层管道研究中得到了广泛应用,梁模型<sup>[22]</sup>、壳模型<sup>[23]</sup>及等效土弹簧等被用于模拟跨断层管道。众多研究成果表明,跨断层管道的破坏受断层运动形式、位错量、跨越角、土壤刚度、管道参数等因素影响。

总体来说,逆断层危害相对较大;大位错量会导致管线变形严重和瞬间破坏;走滑断层下跨越角越大越有利于提高管线的抗弯能力;大直径厚壁有利于提高管道抵抗断层的能力。

斜坡灾害下管道的研究可以通过弹性地基梁理论分析管道响应<sup>[24]</sup>。滑坡发生时,管道受到滑坡坡地滑力作用,可将地滑力分解成为垂直和平行于管道的两个分力,从而分析管道的变形和应力状况<sup>[25]</sup>。滑坡区管道受到穿越方式(横向、纵向)、土壤刚度、地基系数、管道几何参数和管材强度等因素的影响<sup>[26]</sup>。此外,不同滑坡速度对管道拖曳力<sup>[27]</sup>不同,横向及纵向缓慢滑坡<sup>[28]</sup>对管道的破坏和失效都具有不同的影响作用。

穿越河流或可能发生洪水区域的管道,通常采用水文方法计算水流的最大冲刷深度和范围,并据此设计管道在水下的穿越深度。管道在洪水稳流、振荡流及浮力作用下的研究可参照海底管道在动水作用下的分析方法<sup>[29]</sup>。洪水冲击管道的流场分布、压力分布以及不同裸露程度管道在不同流速冲击下的力学状态可采用流场数值模拟方法<sup>[30]</sup>。此外,河床泥沙活动对穿越河流管道具有一定的影响作用,可采用有限元法分析管道的

力学状况<sup>[31]</sup>。

地表塌陷区管道的研究一般根据地表变形范围和沉降量, 采用弹性地基梁理论分析管道的应变和应力, 进而评价和预测管道的破坏情况<sup>[32]</sup>, 其中概率积分法常被用于煤矿采空沉陷预测<sup>[33]</sup>。此外, 有限元方法也被用于分析带内压管道在地面塌陷时的力学响应<sup>[34]</sup>。

通常情况下, 地质灾害影响范围大、破坏性强, 难以进行全尺寸实验, 因此砂箱或震动台多被用于模拟地质灾害对管道影响分析。如冯启民<sup>[35]</sup>用 1:30 土箱试验, 研究静、动力加载下跨断层管道力学行为; 也有学者通过实验研究不同类型断层下, 埋深、管径、跨越角、回填物等因素对埋地管道的影响方式和程度<sup>[36-37]</sup>; Ma Qingwen 等<sup>[38]</sup>通过模拟实验, 研究横向和纵向穿越滑坡区管道的受力状况, 以及滑坡与管道间的相互作用关系; Karimjan H 等<sup>[39]</sup>通过全尺寸试验, 研究在地面横向运动作用下, 管沟回填材料与土壤运动对管道的影响作用。

### 3.3 研究方法对比

目前关于地质灾害作用下管道的研究方法可归纳为解析法、数值法和实验法三类。解析法在假设和简化的基础上, 采用弹性梁理论分析管道力学状况, 具有概念简单、计算方便, 便于工程应用等优点, 但其计算结果的可靠性还需进一步核实。数值方法以有限元为代表, 可以模拟相对复杂的工程问题, 其结果也为较理想, 但是简化模型对计算结果也有一定影响, 而且针对性较强, 计算成本较高。实验方面, 砂箱模拟对于研究管线宏观变形等方面具有一定意义, 但与实际状况相差较大, 实验结果的准确性和可靠性无法保证, 难于进行较为深入的分析研究。

上述研究方法各有利弊, 鉴于地质灾害作用的复杂性, 有学者采用多种方法相结合的方式, 分析埋地管道的力学行为。刘学杰等<sup>[40]</sup>提出跨断层管道在经受弯曲和轴向拉伸作用时采用 Kennedy 方法, 受弯曲和轴向压缩时采用有限元方法, 并提出跨断层管道基于应变的设计方法。Dimitrios K 等<sup>[41]</sup>在 Kennedy 和 Wang L R L 方法基础上, 将管道分段采用弹性梁理论确定弯曲部分的危险位置, 进而分析危险截面上管道的应力分布和最大设计应变

## 4 地质灾害管道防治对策

地质灾害对管道的破坏往往是灾难性的, 为了避免或减少管道地质灾害事故, 应贯彻预防为主方针。GB50251—2003《输气管道工程设计规范》和 GB50253—2003《输油管道工程设计规范》指出, 管道应避免不良工程地质区域, 且不宜敷设在滑坡、山崩、地陷、地裂、泥石流以及沙土液化等地段, 以及矿产资源区、严重危害管道安全的地震区。当受条件限制必须通过时, 应当采取防护措施并缩小通过距离。对于在役管道, 如果发现上述灾害隐患, 应及时进行管道改线, 以避免可能发生的管道事故; 难以改线的则应针对灾害类型, 采取相应的防治措施, 预防和减缓灾害对管道的破坏程度。国外针对地质运动频繁区域, 采取地上敷设技术, 将管道安装在滑动垫木上, 通过管道与垫木之间的相对滑移来降低地面运动对管道的影响<sup>[42]</sup>, 并取得了较好的应用效果。

### 4.1 跨断层管道防护措施

管道如通过活动断裂带或高地震烈度区, 应选择地形开阔地区通过, 同时采取抗震设防措施, 提高管道的抗震减灾能力。SY/T 0450—2004《输油(气)钢质管道抗震设计规范》<sup>[43]</sup>指出: 当管道所通过的断层预期会产生很大的位移时, 宜采用地上敷设并覆土保护; 管道在通过活动断层时, 应选用延性大的管材, 适当增加管道壁厚, 并保证圆滑过渡; 选择活动断层位移和断裂带宽度最小的地方通过断裂带; 管道敷设方向不应与断裂带平行; 通过逆断层时, 应考虑管道与断层成斜角相交; 经过活动断层时, 管沟的回填土宜采用疏松或中等密度、无黏性的上覆料等。

### 4.2 不稳定斜坡区域管道防护措施

穿越不稳定斜坡管道, 一般通过水土治理达到避免事故、减轻管道破坏的目的。如采取支档(滑挡土墙、抗滑桩等)、滑动面加固(灌浆等)等措施, 大型滑坡可采用卸载护坡等措施以稳定斜坡。斜坡灾害治理以排水最为普遍和有效, 如导流防止地表水浸入滑坡体, 渗沟排水疏导滑坡体中的地下水等。管道设计阶段, 应选用延性大的管材, 并适当增加管道壁厚, 提高管道抵抗土壤移动的能力。管道敷设时, 避免与滑坡方向垂直以减小滑坡对管道的拖曳力, 或增加埋深使管道远

离滑动面。近年来国外采用套管新技术敷设滑坡区管道,可有效地减小因土壤运动导致的管道应力集中水平<sup>[44]</sup>。

#### 4.3 管道防洪措施

水下穿越管道应根据河床和河滩特征,采取不同的防护措施。如定期检查河床穿越段管道埋深与裸露情况、冲刷与破坏状态,利用水声学原理测量穿越带水底地形、掌握河床状况等,进而制订相应的防护措施。对于大型穿越管道,河床部分应采用刚性防护;对于易溃河岸,应采用具有一定柔性的防冲设施;对于河床不稳定的河流,应采用管桩加固等防护措施<sup>[45]</sup>。

#### 4.4 塌陷区管道防护措施

对于穿越矿区管道,应联合有关部门,严格限制管道周边地下矿山的开采。对于存在地下开采活动的区域,应加强矿体采空的回填、支护和加固。对于具有渗水塌陷隐患的地区,应严格控制地下水开采量,保护地质环境。对可能引发塌陷的溶洞、岩溶应进行排水注浆充填。对于地表压缩变形区域,可挖掘变形补偿沟,提高管道适应地面变形的能力。此外,应当加强地面变形的监测工作,对可能发生的地面塌陷及时采取有效措施进行治理,以避免事故发生或减少灾害损失。

## 5 结 语

我国长输管道沿线地质灾害分布情况的统计和分析结果表明,管道工程中的地质灾害受地理环境、气候特点和人类活动的影响显著。地质灾害发生时,在周围土体运动的作用下,管道出现弯曲、变形、拉裂、压溃、屈曲等破坏现象。管道的破坏形式和受损程度受灾害类型、灾害强度、土体运动方式、土体特性、管道参数等多方面因素的影响。国内外管道地质灾害研究范围涵盖了地震断层、斜坡、洪水、塌陷等灾害类型,研究方法不断改进,总体可归纳为解析法、数值法和实验法三类。由于地质灾害的复杂性和不确定性,各种研究方法和成果具有一定的适用范围和优缺点。解析法计算简便,便于工程应用;数值法灵活,可模拟较为真实工况条件;实验法更加直观,对于研究管线宏观变形意义较强。跨断层管道的研究成果颇丰,但多限于走滑断层,鲜有关于正、逆断层的解

析方法;斜坡管道一般采用弹性地基梁理论分析横纵向管道穿越情况下管道的变形及应力状况;洪水管道的研究主要采用解析或数值方法分析水流及其对管道的影响;塌陷管道的研究主要针对矿区开采沉降,通过预测地表变形,采用弹性地基梁或有限元方法分析管道的力学状况。地质灾害对管道的破坏力强、影响面积大,常常造成严重的后果和损失,因此对沿线地质灾害的防治也成为管道安全管理中的重要内容。为了避免地质灾害事故,在管道勘察设计阶段应当尽量绕稳定地质区域;无法避让,则应根据地质环境状况,充分考虑和预测可能出现的灾害形式和规模,采取科学合理的敷设方案和预防措施,尽可能增加管道对地质灾害的抵抗能力。对于在役管道,还应加强灾害监测和应急方案管理工作,以便及时应对可能出现的灾害事故,并把灾害损失降到最低。

#### 参考文献:

- [1] 李智毅, 颜宇森, 雷海英. 西气东输工程建设用地区的地质灾害[J]. 地质力学学报, 2004 10(3): 253-259
- [2] 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[M]. 第1版. 北京: 中国大地出版社, 2005 30-42
- [3] 郭书太. 陕-京输气管线沿线地质灾害及防护对策[J]. 石油规划设计, 1997(12): 14-16
- [4] 赵应奎. 陕京二线输气管道工程场地区域地壳活动性与地质灾害[J]. 地球与环境, 2005(3): 351-354
- [5] 张光华. 川气出川管道工程地质灾害刍议[J]. 水文地质工程地质, 2007(5): 81-84
- [6] 李伟林. 武忠输气管道的地质灾害监测[J]. 油气储运, 2007 26(5): 26-29
- [7] 梅云新. 马惠宁管道地质灾害类型及水工保护问题[J]. 油气储运, 2003 22(11): 35-38
- [8] 周亮臣. 兰成渝输油管道建设重要经验概述[J]. 管道技术与设备, 2006(3): 1-18
- [9] NAZMY A S ABDEL-GHAFFAR A M. Three-Dimensional Nonlinear Static Analysis of Cable-Stayed Bridge[J]. Computers & Structures, 1990 31: 257-271
- [10] JONES T D. Three Large Intraplate Earthquake Near Tennant Creek Northern Territory Australia on 22 January 1988[J]. 张春艳, 译. 国际地震动态, 1990(3): 21-25
- [11] 张敏政. 土耳其伊兹米特地震震害考察[J]. 工程抗震, 2000 12(4): 35-38
- [12] 郭恩栋, 土东升, 陆鸣, 等. 青新交界 8 1级地震生命线工程震害[J]. 地震工程与工程振动, 2002 22(3): 77-81
- [13] 张俊义, 杜景水. 洪水造成管道断裂的事故分析[J]. 油气储运, 2000 19(1): 16-19
- [14] DONNELL O HUGH W. Investigation of Flood Induced

- Pipeline Failures on Lower San Jacinto River Cj // Proceedings of the Pipeline Division Specialty Conference [ S. ], 2005
- [ 15] 秦毅, 钱善琪. 靖西天然气管道穿越段的断裂分析 [ J]. 油气储运, 2001, 20(5): 20—22
- [ 16] ABAQUS Inc. ABAQUS Analysis User's Manual Volume 1: Element Mj. ABAQUS Inc. 2004
- [ 17] NEWMARK N M, HALL W J. Pipeline Design to Resist Large Fault Displacement Cj // Proc U S nat conf [ U S. ], Earthquake Eng 1975
- [ 18] KENNEDY R P, DARROW A W, WILLIAMSON R A. Fault Movement Effects on Buried Oil Pipeline J. Transport Eng Journal ASCE 103 1977: 617—633
- [ 19] WANG L R L, YEH Y H. A Refined Seismic Analysis and Design of Buried Pipeline for Fault Movement J. Earthquake eng and struct dyn 1985 13(1): 75—96
- [ 20] WANG L R L, WANG L J. Buried Pipelines in Large Fault Movements Cj // Lifeline Earthquake Engineering Proceedings of the Fourth U S Conference San Francisco California [ S. ], 1995
- [ 21] 刘爱文, 张素灵, 胡聿贤, 等. 地震断层作用下埋地管线的反应分析 [ J]. 地震工程与工程振动, 2002, 22(2): 22—27.
- [ 22] 郭恩栋, 冯启民. 跨断层埋地钢管道抗震计算方法研究 [ J]. 地震工程与工程振动, 1999, 21(4): 43—47.
- [ 23] 刘爱文, 胡聿贤, 李小军, 等. 大口径埋地钢管在地震断层作用下破坏模式的研究 [ J]. 工程力学, 2005, 22(3): 82—87.
- [ 24] YEH Y H, LAIS S. Inelastic Response of Buried Pipelines due to Landslide Effects J. Struct Des Anal Test 1989(3): 442—451.
- [ 25] 张东臣, БЫКОВ Л И. 滑坡条件下埋地管道受力分析 [ J]. 石油规划设计, 2001, 12(6): 1—3
- [ 26] RAJANI B B, ROBERTSON P K, MORGENSIERN N R. Simplified Design Methods for Pipelines Subject to Transverse and Longitudinal Soil Movements J. Canadian Geotechnical Journal 1995 32(2): 309—323
- [ 27] GEORGIADES MICHAEL. Landslide Drag Forces on Pipelines J. Soils and Foundations 1991 31(1): 156—161
- [ 28] BRUSCH I R, SPNAZZE M, TOMASSINI D et al. Failure Modes for Pipelines in Landslide Areas Cj // Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering—OMAE [ S. ], [ S. ], 1995(5): 65—78
- [ 29] 约翰·巴赫比希. 海底管线设计原理 [ M]. 北京: 石油工业出版社, 1988
- [ 30] 张乐天, 刘扬, 魏立新, 等. 洪水冲击管道的模拟分析 [ J]. 管道技术与设备, 2006(2): 11—17.
- [ 31] SONG B, CHENG J, CHAN J R et al. Numerical Simulation of Stress Relief of Buried Pipeline at Pembina River Crossing Cj // Proceeding of 6th International Pipeline Conference Calgary Alberta Canada IPC Sept 25—29 2006 IPC 2006—10597
- [ 32] HUCKA V J, BLAIR C K, KMBAIL E P. Mine Subsidence Effects on a Pressurized Natural Gas Pipeline J. Mining Engineering 1986 38(10): 980—984
- [ 33] PENG S S, LIO Y. Determination of Stress Field in Buried Thin Pipelines Resulting from Ground Subsidence due to Longwall Mining J. Mining Science and Technology 1988 6(2): 205—216
- [ 34] KMH S, KM W S, BANG I W, et al. Analysis of Stresses on Buried Natural Gas Pipeline Subjected to Ground Subsidence Cj // Proceedings of the International Pipeline Conference [ S. ], IPC 1998(2): 749—756
- [ 35] 冯启民, 郭恩栋. 跨断层埋地管道抗震试验 [ J]. 地震工程与工程振动, 2000, 20(1): 56—61.
- [ 36] YASUDA S, KISHINO H, YOSHIZAKI K et al. Counter Measures of Buried Steel Pipes Against Surface Fault Rupture Cj // 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver Canada [ S. ], August 1—6 2004 916
- [ 37] YUN Wook Cho, TAREK H Abdou, MICHAEL J O'Rourke et al. Remediation for Buried Pipeline Systems under Permanent Ground Deformation J. Soil Dynamics Earthquake Engineering 2007, 27(4): 1043—1055
- [ 38] MA Q W, WANG C H, KONG J M. Dynamic Mechanisms of Effects of Landslides on Long Distance Oil and Gas Pipelines J. Wuhan University Journal of Natural Sciences 2006 11(4): 820—824
- [ 39] KARMIAN H, W IJEWICKREME D, HONEGGER D. Full Scale Laboratory Testing to Assess Methods for Reduction of Soil Loads on Buried Pipes Subject to Transverse Ground Movement Cj // Proceeding of 6th International Pipeline Conference Calgary Alberta Canada IPC Sept 25—29 2006 IPC 2006—10047.
- [ 40] 刘学杰, 孙绍平. 地下管道穿越断层的应变方法 [ J]. 特种结构, 2005, 22(2): 81—85
- [ 41] DMIIRDOS K, Karamirios GEORGE D, Bouckouvala et al. Stress Analysis of Buried Steel Pipelines at Strike-slip Fault Crossings J. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2007, 27(5): 200—211.
- [ 42] DENG K L, QUEEN D J, FELBER A et al. Stress Analysis of Surface Pipelines Located in Regions of Differential Ground Movement Cj // Proceeding of 6th International Pipeline Conference Calgary Alberta Canada IPC Sept 25—29 2006 IPC 2006—10499
- [ 43] SY/T0450—2004 输油(气)钢制管道抗震设计规范 [ S. ]
- [ 44] LBRAHM K, SHENKAI Y, CLAUDIO G et al. A Case Study of Pipeline Application to A Landslide Site [ Cj // Proceeding of 6th International Pipeline Conference Calgary Alberta Canada IPC Sept 25—29 2006 IPC 2006—10322
- [ 45] 先智伟. 大型油气管道水下穿越事故及其防护 [ J]. 天然气与石油, 2002, 20(2): 7—9

作者简介: 帅健(1963—)男, 教授, 主要从事油气管道储运安全工程方向的研究与教学工作。

收稿日期: 2008—04—03

编辑: 黄勇

# ABSTRACTS

## WELDED PIPE AND TUBE

### Vol. 31 No. 5 Sept. 2008

#### Structure Adjustment of China Welded Pipe Industry

WANG Xiaoxiang

Abstract ID 1001-3938 (2008)05-0005-EA

Abstract: The output of China welded pipe increased rapidly since 2000 Year and the output reached  $2.361 \times 10^4$  t up to 2007 Year which was 355 times than that in 2000 Year. But after August of 2007, the output of welded pipe increased slowly. Supplies were exceeding the demand and the situation of export for welded pipe was very serious. This article analyzed the situation of welded pipe line put forward adjusting production capacity, developing top grade products and regulating operation methods to adjust the structure of welded pipe industry. Pointed out only through structure adjusting and converting increase modes to boost welded pipe industry better development.

Key words: welded pipe industry; output of welded pipe; welded pipe export; structure adjustment

#### Breakage Action and Defend Measures to Pipeline under Geological Disaster

SHUAI Jian WANG Xiaoli ZUO Shangzhi

Abstract ID 1001-3938 (2008)05-0009-EA

Abstract: The long distance pipelines distribute extensively along which is complex geological profile, so geological disaster does not avoid. Analysis on pipeline accidents showed that there exist many kinds of geological disasters and different damage degrees in pipeline projects affecting from geographical environment, climate and human activity. Geological disaster resulted in soil movement and ground deformation, so buried pipeline will occur bend, compress, distort, rip and part flexion and other breakage activities. There are three kinds of research methods including resolution method, numerical value method and test method to common disasters under condition of faultage, slope, flood and ground sink. Resolution method calculate expediently, it is easy to be applied into project, numerical value method is flexible and it can simulate really work condition, test method is more visual and with important meaning for research pipeline macroscopic deformation. During pipeline reconnaissance design, it should keep away from geologic area, if it is not avoidable that design should adopt reasonable layout plans and prevention actions to enhance the ability of pipeline resistance to geological disasters. For pipeline under in service, we should forecast disaster type and set up corresponding defend measures.

Key words: pipeline; geologic disaster; faultage; slope; flood; sink; defend

#### Analysis on Tensile Properties of Small Batch Trial Produced X80 Grade Steel Coil and Welded Pipe

LI Weiwei WANG Yalong LI Yang GONG Shaotao

Abstract ID 1001-3938 (2008)05-0016-EA

Abstract: Adopting rectangle and round bar specimens, conducted tensile test on small batch trial produced X80 grade steel coil and SSAW pipe. This article expounded and analyzed test results effected to two type of specimens, strength distribution of different thickness steel coil, strength distribution along with steel coil length corresponding to steel pipe, as well as steel property variation before and after production. The results showed for steel coil suggestion adopting rectangle specimen to do tensile property test and for pipe body in transverse direction suggestion adopting as large as possible diameter round bar specimen to conduct tensile property test of steel pipe.

Key words: X80 grade pipeline steel; steel coil; SSAW pipe; tensile test; tensile strength; yield strength

#### Study on Strain Aging Hardening of Large Distortion Steel

NU Dongmei WANG Maotang HE Ying LIGuizhi SU Lizhen BAI Fang

Abstract ID 1001-3938 (2008)05-0020-EA

Abstract: The mechanical properties (strain aging) of the high strength line pipe steel (grade X80 and above) is different between before and after heating at a certain temperature and temperature holding time. Unexceptional yield strength and Y/T ration is increased. Yield elongation occurred and the shape of stress-strain curve changes after heating. Such variations of properties will make bad effect to deformability of steel pipes. In this paper, heating temperature and holding time which have effected on properties are determined by the test and study of the steel pipes with the large deformation X80  $\phi 1219 \times 22$  mm (pipes were supplied by JFE), and the influence rules of the strain aging to the material properties is also obtained, which provides reference for such application in the second West-East Gas Pipeline.

Key words: large distortion steel; strain aging; yield point elongation; stress-strain; strain capacity

#### Variation and Determination for Mechanical Property of High Grade SSAW Pipe in Different Procedures

XIANDE CHEN LAURIE COLLINS FATI HAMAD DENG QIBAI

Edited and Translated by SUN Hong WANG Xiaoxiang Wang Shengli

Abstract ID 1001-3938 (2008)05-0025-EA

Abstract: During developing SSAW pipes with high strength and high toughness and improved HAZ, it researched variation of mechanical property on pipe body through sampling in different process procedure pipes. Mechanical property tests will be carried out after welding, hydrostatic test and