

油气管道安全管理的问题及相关建议

刘胜利¹, 杜胜男^{2*}, 张成龙³, 王舒扬³, 张欢², 李玮²

(1. 中国石油大学(北京), 北京 102249; 2. 辽宁石油化工大学, 辽宁抚顺 113001;
3. 中国石油锦州石化公司, 辽宁锦州 121000)

摘要:油气管道事故已经引起了政府和公众对于油气管道安全的关注。分析我国油气管道事故案例可知, 第三方施工破坏、应急处置不力以及管道安全教育缺失是目前油气管道安全管理中存在的主要问题。借鉴美国油气管道安全管理的相关经验, 提出可以从设立独立的监管机构、建立统一的事态统计数据库和加强管道安全教育三方面入手, 完善油气管道的安全管理。

关键词:管道事故; 第三方施工; 应急处置; 安全教育

中图分类号: TE88

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2016)12-0015-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2016.12.004

Issues and relevant recommendations for safety management of oil and gas pipeline

LIU Sheng-li¹, DU Sheng-nan^{2*}, ZHANG Cheng-long³, WANG Shu-yang³,
ZHANG Huan², LI Wei²

(1. China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 2. Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China; 3. Petrochina Jinzhou Petrochemical Company, Jinzhou 121000, China)

Abstract: Pipeline accidents have attracted great concern of the government and the public about pipeline safety. Through analysis of China's oil and gas pipeline accident case, the main problems existing in the safety management of oil and gas pipelines, including third party construction damage, ineffective of emergency disposal and lack of pipeline safety education, can be found. Based on the experience of American oil and gas pipeline safety management, the safety management of oil and gas pipelines can be improved from three aspects, such as establishing independent supervisory organization, establishing unified accident statistics database and strengthening pipeline safety education.

Key words: pipeline accident; third party construction; emergency disposal; safety education

截至2015年8月,我国陆上石油和天然气管道的总里程数已达到 12.0×10^4 km,这其中包括 2.3×10^4 km的原油管道、 2.1×10^4 km的成品油管道以及 7.6×10^4 km的天然气管道^[1],已经形成了横跨东西、纵贯南北、连通海外的油气管道网络格局,极大地推动了我国经济的发展。但是近年来,管道事故时有发生,这不仅带来了人员伤亡、财产损失、环境污染,还会影响油气的正常供应,造成较为严重的不良社会影响,因此,保证油气管道安全运行已成为各级政府以及管道行业需要共同面对的新挑战。

1 我国的油气管道安全管理现状

随着新建投产管道的快速增长,早期修建的大部分管道已经接近设计寿命甚至超期运行,因此,新老油气管道大多数均处于事故“浴盆曲线”的多发期^[2]。近年来,国内已发生多起严重管道事故,如2013年11月青岛中石化东黄输油管道爆炸,导致

62人死亡、136人受伤,直接经济损失约为7.5亿元^[3-4];2010年7月,大连市保税区输油管道爆炸,导致2人死亡、2人受伤,据估算,约有1500 t原油流入附近的海域导致周围环境严重污染;2010年3月,武汉天然气管道爆炸,现场一栋楼房严重受损,2000多名群众被紧急疏散,爆炸形成的火焰摧毁了4根万伏高压线,导致市区数万人停电。这些事故的发生,不仅引起政府、公众等对管道安全问题的认知和重视,也暴露出现阶段管道安全管理方面存在的一些问题。

为了减少管道泄漏事故,政府相关部门和管道管理者采取了积极的应对措施,制定了相关的法律法规,通过不断完善管道安全监管机制,积极推行管道完整性管理,以保证油气管道的安全运行^[4-7]。但是,近期发生的管道事故表明,这些管理措施并未达到预期效果。2015年3月19日到5月22日,短短两个月内,西宁市发生了10起天然气管道被施工

收稿日期:2016-05-01

作者简介:刘胜利(1987-),女,助教,在读博士,研究方向为油气管道长距离输送,15242335268,liushengli1234@126.com;杜胜男(1984-),女,讲师,博士,研究方向为油气管道长距离输送,通讯联系人,024-56861820。

单位挖断的事故;2010年至2014年,短短4年时间内,大连市陆续发生了8次与石油产品储运相关的安全事故。类似管道事故频发说明,相关部门以及管道管理者并没有从已发生的管道事故中吸取经验教训。因此,亟需进一步完善管道安全管理。

2 油气管道安全管理中存在的问题

2.1 第三方破坏为主

结合2003年至2013年国内有报道的28次管道泄漏事故统计分析可知,第三方破坏已成为诱发管道事故的主要起因,此类事故共计17次,约占管道泄漏事故的60%^[8,9]。这主要是由于城市的高速发展,各类房地产、管线、道路建设工程数量增多,给油气管道设施的安全运行带来了严重影响。据统计,2005—2009年,杭州市发生的管道燃气安全事故中,25.41%~45.77%的管道事故与第三方机械破坏直接或间接相关^[10];2000—2005年,北京燃气管道事故中,第三方施工破坏占整个泄漏事故的36.6%~60.7%^[11]。

第三方破坏不仅导致油气管道事故频发,还带来了较为严重的经济损失和环境污染,甚至是人员伤亡。以近年来发生的较为严重的管道事故为例,2013年11月26日22时,沪昆高铁在施工过程中,塔吊坠落造成中石化西南成品油输油管道破损,约2000t汽油泄漏,事故中有3人受伤,沪昆铁路贵州境内马场至高峰区间旅客列车运行中断^[12]。

2.2 管道事故应急处理不当

现阶段,管道安全管理方面“重救轻防”思想仍

占主流,造成管道泄漏事故处理过程中缺乏爆炸火灾相关信息的预警和监控,最终导致事故应急处理不当,加重了事故所带来的损失^[13]。以下面几次管道事故为例,分析管道事故处置中存在的问题。

(1)2014年6月30日,中石油新大一线输油管道被钻漏,管内原油发生泄漏,虽然消防救援人员迅速到达现场进行处置,但现场人员仅用泡沫和沙土对泄漏原油进行填埋,并没有采取合理有效的措施遏制原油扩散,最终导致溢出原油流入市政污水管网引发了爆炸火灾事故,附近2万多名居民被紧急疏散,所幸没有人员伤亡。

(2)2013年11月,东黄管道事故,在爆炸发生前,应急抢修人员未进行可燃气体检测,盲目动用非防爆设备进行作业,形成点火源并引发了油气爆炸。

(3)2012年9月27日,宁夏中卫市飞达电力工程有限公司在进行地下电缆水平定向钻施工作业时,由于没有充分了解施工作业地点天然气管道具体位置,贸然施工,导致天然气管道被钻破。事故发生后,施工人员在试图自行寻找并关闭阀门未果后才向天然气公司报警,延误了抢救时机,致使大量天然气泄漏,导致3人死亡、4人受伤,周围建筑物和车辆不同程度受损,直接经济损失达500多万元。

分析上述事故可以发现,操作人员或应急抢修人员在处理油气泄漏事故或在油气浓度较高的环境进行施工作业时,并没有充分意识到油气产品易燃易爆的特殊性质,也没有采取相应的预防措施,盲目施工,这不仅增加了油气事故的发生概率,还加重了事故的经济损失和人员伤亡情况^[14];此外,事故发

(上接第14页)

- [3] 洪定一. 塑料工业手册聚烯烃[M]. 北京:化学工业出版社, 1998:677.
- [4] Andrew J. Peacock, handbook of polyethylene structures, properties, and applications[M]. New York: Marcel Dekker, Inc., 2000:32.
- [5] 袁桂素, 张正根. EVA树脂性能及用途[J]. 粘结, 1993, 14(05):17-23.
- [6] Andrew J. Peacock, handbook of polyethylene structures, properties, and applications[M]. New York: Marcel Dekker, Inc., 2000:44.
- [7] 吴全德. EVA共聚物的性能与应用[J]. 中国塑料, 1997, 11(6):8-13.
- [8] Brydson J A. Plastics materials[M]. Woburn: Butterworth Heinemann, 1999:208-209.
- [9] 李玉芳. EVA树脂的生产技术及国内市场分析[J]. 乙醛醋酸化工, 2014, (5):8-13.
- [10] 邹盛欧. 管式法高压聚乙烯生产技术[J]. 石油化工动态, 1995, (4):26-29.

- [11] 张英敏. 国外LDPE及高压乙烯共聚物的技术进展、生产及应用[J]. 石油化工动态, 1994, (10):17-24, 39.
- [12] Andrew J. Peacock, handbook of polyethylene structures, properties, and applications[M]. New York: Marcel Dekker, Inc., 2000:48-50.
- [13] 梅林 F O, 利特曼 D, 戴斯 A. 乙烯均聚物和乙烯共聚物的连续生产方法[P]. 中国专利:1440427, 2003-09-03.
- [14] Dieter Littmann, Andre-Armand Finette, Hans Joachim Meinke. Method for ethylene polymerization in a tubular reactor with reduced output[P]. United States: US8273835 B2, 2012-09-25.
- [15] 曹胜先, 王刚. 国内外EVA产品的开发现状及进展[J]. 中国塑料, 2003, 17(4):12-19.
- [16] 丁金造, 王星坤. 中国EVA塑料制品业的现状与发展[J]. 国外塑料, 2010, 28(3):34-48.
- [17] 梁晓霏. EVA发展现状及市场前景分析[J]. 中国石油和化工经济分析, 2014, (4):54-57.
- [18] 学先. 与日本化学工业合作的轨迹看杜邦公司的发展策略[J]. 上海化工, 1994, 19(5):34-35. ■

生后,由于缺乏油气管道事故应急处置的培训,现场人员应急处置不当的情况时有发生,带来了极为严重的影响。因此,完善油气管道的预警和应急处置,对于加强油气管道安全管理而言,十分重要。

2.3 管道安全教育缺失

随着城市的发展和扩张,油气管道已成为市政管网中非常重要的一部分,但是目前公众以及相关施工单位的油气管道安全意识淡薄,这就增加了人为因素导致油气管道事故发生的概率,也从一定程度上加大了油气管道事故的严重程度。2015年8月28日,杭州地铁施工过程中发生了一起燃气泄漏事故,约4 300 m³燃气泄漏,造成4个社区共3 257家住户燃气中断6.5 h、1 150余户居民紧急疏散,直接经济损失约2.3万元^[15]。事故现场,在挖掘机挖破管道后,挖掘机并没有当即停止机器操作,反而是立刻将机器拔离管道。这一操作,不仅增加了燃气的泄漏量,还可能在机器抽离管道的过程中产生摩擦火花,诱发爆炸火灾事故,那么后果将不堪设想。以美国为例,2010年6月7日,美国德克萨斯州C&H电力公司的工人在施工过程中,使用电钻钻穿了一条36英寸(1英寸=0.025 4 m)的天然气管道,泄漏的气体被迅速点燃,电钻工人当场死亡,其余6名工人严重烧伤,此次事故造成的财产损失共计102.9万美元^[16]。

此外,发生管道泄漏事故后,周围群众进行“围观”,甚至“哄抢”泄漏产品的现象时有发生,这不仅加大了管道安全事故处理的难度,还可能加重管道事故的严重程度。2006年和2009年,鲁皖成品油输送管道曾因凿孔盗油发生两次大量柴油泄漏事故,附近的数百村民竟冒着生命危险现场上演抢油大战;2009年3月11日,四川绵阳兰成渝输油管道,因第三方机械施工破损,大量柴油泄漏,当地村民闻讯纷纷赶来哄抢泄漏柴油。在上述事故中,如果没有相关部门的协调合作,及时制止聚众哄抢行为,很可能发生爆炸火灾事故,带来严重的人员伤亡。以尼日利亚的汽油管道事故为例,2006年12月26日,尼日利亚拉各斯的一条汽油管道由于打孔盗油造成大量汽油泄漏,附近居民闻讯赶来,用各种容器盛装汽油,现场混乱不堪,不料管道突然起火,至少260人死于火灾^[17]。

目前相关企业虽然作为管道安全教育主要负责单位,但是并没有对油气管道安全管理给予足够的重视。考虑到虽然管道安全事故的成因相对复杂,但却与管道的安全运行管理状态息息相关,因此,可

以考虑从这一角度入手,加强管道安全管理,减少管道事故。

3 美国油气管道安全管理

近年来,美国也发生了数次较为严重的油气管道事故。2013年,美国东南部阿肯色州一条重质原油输送管道破裂,泄漏量达5 000桶,紧急疏散居民22户^[18];2014年,纽约市的燃气输配管线爆炸,造成8人死亡、50人受伤,两座五层高的建筑物被毁^[19];2015年,Santa Barbara County, CA的原油管道发生泄漏,泄漏量达3 400桶,给周围环境带来了严重的污染^[20]。这些事故发生后,美国的行政部门和司法机构采取了种种办法,从追责到预防,不断完善美国管道安全体系,成为对逝者和纳税人最好的交待。

为了保障管道安全,美国从上世纪60年代起逐步建立并完善以确保油气管道为核心的多层次管道法律法规体系,逐步建立了对联邦政府、州政府和运营商共同参与的构建管线信息与风险管理系统,对管道安全管理中的权力和职责进行了严格规范。

3.1 独立的油气管道安全监管部门

在管理体制方面,联邦政府有7个部门负责油气管道安全监管事务,它们分工明确,形成了较健全的监管体系。此外,大部分州政府还设立了能源管理部门和油气管道监管机构。其中,油气管道安全管理的监管工作由主要管道和危险材料安全管理局(PHMSA)、联邦能源管理委员会(FERC)和美国国家运输安全委员会三个部门负责。

PHMSA主要负责制定和实施油气管道设施的设计、安装、应急、试验、建设、运行、更换和维护等安全法规^[21];调查管道安全管理程序的执行情况、管道项目进展以及管道事故,并与管道运营商及时沟通交流;发布管理条例、指导手册和公众会议;此外,为了保证管道运营商能及时处理管道事故并采取相关措施避免类似事故再次发生,PHMSA制定了包括更正行动令和民事罚金等在内的一系列行政处罚措施^[22]。

FERC主要负责审批新建天然气管道的建设选址,天然气设施的运行管理和报废,其中涉及管道设计与管理安全的相关内容,如管道线路选择等,必须严格按照PHMSA的相关安全准则执行。

NTSB是一个独立的联邦政府机构,负责调查交通事故(包括管道事故)的可能起因,提出相关的安全建议,促进交通运输安全。

在实际监管过程中, PHMSA、FERC 和 NTSB 三个部门之间相互配合, 分工明确, 为油气管道的安全管理提供了有效的保证。

3.2 健全的油气管道安全法规

1965 年 3 月, 路易斯安那州发生一起天然气管道爆炸事故, 造成 17 人死亡。此次事故发生后, 美国开始着手展开管道安全立法工作, 分别于 1968 年和 1979 年颁布了《天然气管道安全法》和《危险液体管道法》。为了适应管道系统的发展, 降低公众对于管道安全的担忧, 美国联邦政府于 2002 年通过了《管道安全改进法》, 以法律形式明确要求管道业者必须对高风险区域实施风险分析, 执行管道完整性管理方案。之后, 美国又在 2006 年通过《管道检测、保护、实施及安全法》, 逐步构建以确保油气管道为核心的多层次管道法律法规体系, 并严格规范了管道安全管理中各个相关部门的权力和职责。2012 年 1 月 3 日, 美国总统奥巴马签署了《管道安全、监管和创造就业法案, 2011》, 该项法案中有大量的条款涉及管道安全。

通过立法的形式, 美国政府将油气管道安全管理纳入“国家安全管理体系”, 进而实现了联邦政府对油气管道安全管理的严格控制, 为油气管道的安全运行提供了必要的法律保证。

3.3 完善的事故管理制度

为了减少第三方施工所造成的管道事故, 美国政府 2005 年颁布了《管道检测、保护、实施及安全法案》, 该项法案规定, 任何参与拆迁、挖掘和建筑施工的个人或者机构必须在工程实施之前, 通过“一呼通中心”去获取目标区域的相关地下管道信息, 并依照所获得的信息进行施工。当事故发生时, 管道运营商、用户和挖掘者必须利用“一呼通中心”尽快向位于华盛顿特区的国家应答中心(NRC)报告事故情况。这一措施提高了事故发生后的报警和协调效率, 增加了事故信息快速共享, 由权威的 NRC 统一协调救援。如果工程施工导致管道破裂受损, 危及生命及财产安全时, 必须受到民事处罚。为了确保各部门在管道事故后能迅速做出决策, 美国交通部下属的管道安全办公室(OPS)建立了国家管道地图系统, 该系统是联邦政府层面对管道安全进行紧急响应、实施检测计划、增强安全性等基本决策的重要支持工具^[23]。

4 加强我国管道安全管理的建议

4.1 建立独立的油气管道安全管理监管机构

结合我国油气管道安全管理中存在的问题, 可

以考虑建立独立的监管机构, 加强油气管道的安全监管。

(1) 第三方施工管理机构。作为协调油气管道公司和第三方施工单位工作的桥梁, 主要负责监管地下管道的施工建设工作, 并在该机构内部设立互联网施工登记服务或类似美国“一呼通中心”的通信专线, 施工单位需要在开挖作业前规定的时间内提交相关施工申请, 而施工管理机构则负责将相关申请移交油气管道公司并要求其在规定的时间内对施工范围内的路段进行标记, 待标记完成后, 施工管理机构可向第三方施工单位下达开挖作业的通知, 为了进一步保证施工的顺利进行, 需要相关油气管道公司派遣熟悉管道情况的员工到达施工现场进行监督。此外, 为了保证监管工作的顺利进行, 防止部分单位未经申请, 盲目施工, 施工监管机构可以制定相应的处罚措施, 对违反相关规定的行为进行处罚。

(2) 应急处理机构。主要负责执行并监管油气管道事故的应急处理工作。主要工作内容以下三部分: ①在发现事故后, 管道公司需要立即向该机构报告事故的相关信息, 具体信息包括管道事故的位置、泄漏情况等, 而应急处理机构的专业人员则需依据管道公司上报的管道事故情况, 判断管道事故的严重程度, 这样就可以避免类似青岛管道事故应急处置中的研判失误情况, 然后结合评估结果确定合理的应急处理计划; ②在事故处理完成后, 结合管道事故的应急处置情况, 评价油气管道公司需要定期提交管道事故的应急处理计划并提出相应的改进建议, 提升管道事故应急处置的能力; ③制定相应的处罚措施, 对事故处理过程中违反相关规定并造成事故恶化的单位或个人给予相应的处罚, 避免类似事故再次发生。

4.2 建立统一的管道事故数据库

经过几十年的发展, 我国管道行业已积累了大量的管道事故案例, 但是这些历史数据并没有被管道行业充分利用, 而且由于缺乏统一的故事统计规定, 导致某些管道事故的统计数据并不能共享使用。近年来类似的管道事故频繁发生, 相关企业之间的信息交流共享较少也是主要原因之一。因此, 建立统一的管道事故数据库, 及时公开管道事故的具体细节以及调查结果, 这样不仅能加强不同企业之间的信息共享, 避免类似事故频繁发生, 改变目前国内某些管道运营商使用国外事故数据库的管道失效概率数据进行自身管道事故风险定量分析时, 评价结

果可信用度较低的情况,还可以让公众以及相关单位深入了解油气管道事故,加强油气管道安全保护的意识^[24-25]。

4.3 加强油气管道安全教育

近年来数次管道事故中,公众的“围观”、“哄抢”等行为表明,加强油气管道安全教育势在必行。同时,油气管道的覆盖面极广,仅仅依靠油气运营商,很难顺利完成这一工作。可以考虑建立独立机构,主要负责油气管道相关部门之间的信息沟通,以保证油气管道安全,以现阶段流行的网络通信平台作为媒介,向公众推送油气管道安全保护的相关信息,同时也可以考虑开展相关的知识竞赛,设置相应的奖项,增加公众的参与人数,扩大影响范围,进而实现油气管道安全教育的普及。以美国为例,1999年华盛顿州贝灵汉汽油管道爆炸事故也让美国人意识到管道安全教育的重要性,此次事故发生后,美国建立了独立的管道安全促进组织“管道安全信托基金会”(PST)。该组织主要负责增加信息沟通,建立居民、政府及管道企业的伙伴关系,促进燃料运输安全,至今还在为促进美国的油气管道安全发挥作用。为了保证安全教育效果,还可以授权相关机构对其进行监管,定期评估安全教育宣传的执行情况以及执行效果,并提出相关的改进建议。

5 总结

油气管道的快速发展为政府监管带来了新的挑战。如何避免管道事故保证管道安全运行,不仅需要管道管理者的努力,还需要政府制定完善的监管体系和法律法规。结合美国油气管道的经验,可以考虑从建立独立的油气管道安全监管机构、统一的管道事故数据库、加强油气管道安全教育等方面入手,加强油气管道的监管,促进政府、管道运营商、相关企业以及公众之间的信息交流和沟通,保证油气管道的安全运行。

参考文献

[1] 我国陆上油气管道里程达 12×10^4 km[J]. 海洋石油, 2015, 35(3): 50-50.

[2] 黄维和. 管道完整性维护决策系统[J]. 油气储运, 2003, 22(11): 1-4.

[3] 周建新, 吴轩, 郭再富, 等. 美国管道事故对我国油气管道安全的启示[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(z1): 73-78.

[4] 国务院山东省青岛市“11·22”中石化东黄输油管道泄漏爆炸特别重大事故调查组. 山东省青岛市“11·22”中石化东黄输油管道泄漏爆炸特别重大事故调查报告[R]. 2014.

[5] 张耀东. 构建科学的油气管道安全管理体系[J]. 国际石油经济, 2014, 22(1): 178-181, 185.

[6] 吉建立, 何仁洋, 秦先勇, 等. 国外油气管道安全管理经验及启示[J]. 中国特种设备安全, 2014, (5): 1-5.

[7] 周军华, 等. 油气管道机械损伤引发事故与预防措施[J]. 油气储运, 2012, 31(2): 86-91.

[8] 狄彦, 帅健. 油气管道事故原因分析及分类方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(7): 109-115.

[9] 赵汉青. 我国油气管道的事故成因及环境预防措施[J]. 油气储运, 2015, 34(4): 368-372.

[10] 夏颖兰, 尉永文. 杭州市管道燃气安全运行的对策研究——市区管道燃气安全事故预防[J]. 城市燃气, 2011, (3): 15-18.

[11] 尤秋菊, 朱伟. 地下燃气管网事故的致因理论分析[J]. 煤气与热力, 2010, 30(4): 72-75.

[12] 中石化西南成品油输油管道破损, 2 000 吨汽油泄漏[N/OL]. 新浪财经. 2013-11-27[2016-04-27]. <http://finance.sina.com.cn/chanjing/gsnews/20131127/202017456101.shtml>.

[13] 李晶晶, 朱渊, 陈国明, 等. 城市油气管道泄漏爆炸重大案例应急管理对比研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, (8): 11-15.

[14] 董先聚. 道路施工路段地下燃气管网设施保护对策的探讨[C]. 2010年中国燃气调峰与管道维护技术研讨会论文集, 2010: 132-136.

[15] 杭州市安全生产监督管理局. 杭州地铁4号线南星桥站工地“8·28”燃气泄漏事故调查报告[R]. 2015.

[16] National Transportation Safety Board. Enterprise products natural gas pipeline excavation damage, rupture, and fire[R]. Washington: NTSB. 2013.

[17] 谭人友. 油品长输管线的安全管理[J]. 劳动保护, 2010, (2): 88-89.

[18] Chris Tackett. Exxon pipeline breaks spilling 84000 gallons of Canadian crude oil near Arkansas lake [N/OL]. Treehugger. 2013-04-02[2016-04-28]. <http://www.treehugger.com/energy-disasters/oil-spill-arkansas-exxon-pipeline-breaks-spilling-84000-gallons-dangerously-close-lake-conway.html>.

[19] National Transportation Safety Board. Natural gas-fueled building explosion and resulting fire[R]. Washington: NTSB. 2015.

[20] American Broadcasting Corporation. Perimery report: Pipeline that spilled oil off santa barbara county coast badly corroded[N/OL]. New York: ABC. 2015-05-19[2016-04-29]. <http://abc7.com/news/refugio-oil-spill-pipeline-was-badly-corroded/765107/>.

[21] 帅健. 美国油气管道的安全管理体系研究[J]. 油气储运, 2008, 27(7): 6-11.

[22] Paul W. Parfomak. Keeping america's pipelines safe and secure: Key issues for congress[R]. Washington: DOT. 2013.

[23] Paul W. Parfomak. Dot's federal pipeline safety program: Background and key issues for congress[R]. Washington: DOT. 2015.

[24] 林冬, 王毅辉, 秦林, 等. 国外管道失效数据库建设对我国管道风险管理的启示[J]. 焊管, 2012, 35(10): 64-66, 72.

[25] 卢海军, 赵勇昌, 冯治中, 等. 美国与加拿大油气管道的安全保护[J]. 油气储运, 2013, 32(8): 903-907. ■