

美国油气管道事故及其启示

帅健

(中国石油大学(北京))

帅健. 美国油气管道事故及其启示. 油气储运, 2010, 29(11): 806-809.

摘要: 美国历史上发生过数次影响较大的油气管道事故, 引起公众对油气管道安全的普遍关注, 也促使管道运营商不断改进管道的安全管理。介绍了美国3起油气管道事故发生的原因和管道公司在安全管理方面存在的问题: 在1999年华盛顿州Bellingham汽油管道爆炸事故中, 管道公司的主要责任包括: 疏于监督, 没有发现并及时修理管道的挖掘损伤, 没有充分评估内检测结果, 没有调试好新建终端的安全装置, 没有调查和校准多次意外关闭的截断阀, 没有调试好管道自动控制系统; 2000年新墨西哥州Carlsbad天然气管道爆炸事故, 其直接原因是内腐蚀引起的管壁严重减薄, 反映出管道公司在内腐蚀控制方面的不足, 同时暴露出美国运输部在管道安全监管方面的疏漏; 2006年阿拉斯加Prudhoe Bay油田原油管道泄漏事故, 也是因腐蚀造成的, 招致了公众对BP公司管道安全管理的强烈批评, 引起了媒体对联邦管道安全规章的质疑。从管道完整性管理、防止第三方破坏、内腐蚀控制、低应力管道管理规章和能源供应可靠性等几个方面, 论述了这些事故对美国管道安全立法的影响, 值得国内油气管道在安全管理中借鉴。

关键词: 管道; 事故; 完整性; 安全; 管理

管道是油气资源配送的主要方式, 在国民经济中占有重要地位。近年来, 随着“西气东输”等一批重要的油气长输管道陆续建成与投产, 我国已形成遍布全国并连接国外的油气输送管网, 极大地促进了社会经济的发展, 改善了人民生活。由于输送介质的易燃、易爆特性, 油气管道一旦失效, 可能引发人员伤亡和环境污染等灾难性事故, 如2006年1月20日四川仁寿的天然气管道爆炸事故、2009年12月30日山西渭南的成品油管道泄漏污染事故以及2010年5月2日山东胶州原油管道泄漏事故等。在我国社会发展对能源需求日益增加、油气管道系统急剧扩张之际, 管道安全更加受到重视。了解国外油气管道事故及其原因, 吸取其经验教训, 有利于提升国内管道安全管理水平。

作为国际管道运输业最为发达的国家, 美国非常重视管道安全立法^[1]。1968年首次出台了与管道安全有关的法案, 2002年通过了管道安全改进法案^[2], 2006年又通过了管道检测、保护、强制执行和安全法案^[3], 这些管道安全法案的通过, 与美国历史

上发生的重大管道事故有密切关系。以下介绍的美国近年来的3起影响较大的油气管道事故, 暴露出美国管道安全管理和监管方面存在的问题, 可供国内油气管道在安全管理中借鉴。

1 华盛顿州汽油管道爆炸事故

1999年6月10日下午3:00左右, 华盛顿州Bellingham的1条406 mm汽油管道发生断裂, 约 89.7×10^4 L汽油泄漏并流入1条小溪, 扩散长度约850 m, 30 min后, 小溪中的汽油因被点燃而发生爆炸, 两名约10岁的儿童和1名18岁的年轻人死亡, 8人受伤, 1户居民住宅以及1座城市水处理工厂严重损坏, 直接财产损失 45×10^6 美元。

管道泄漏的直接原因是: 在1处管道划痕处产生了69 mm长的裂口, 事故后检查包括管道断裂部位在内的5.5 m长的管道, 发现33处划痕, 裂口起源于其中之一。实验室检查表明: 这些划痕的外表面残留有高铬合金, 这是一种典型用于挖掘机机械铲

作者简介: 帅健, 教授, 1963年生, 2000年博士毕业于中国石油大学(北京)油气储运工程专业, 现主要从事工程力学与油气储运安全方面的教学与科研工作。电话: 13910027590。E-mail: shuaij@cup.edu.cn

斗齿上的合金材料,可见这些划痕是挖掘活动所致。

发生事故后进行的水力分析表明:管道断裂时该处压力约为 9.88 MPa,小于其最大允许操作压力 9.93 MPa。可以认为外部损伤造成了管道承压能力的下降,导致事故发生。

这次汽油管道的损伤和断裂是一连串事件共同造成的^[4]:

首先,管道公司疏于监督,没有发现并及时修理管道的挖掘损伤。事故发生前的 1993—1994 年,事故发生地附近水厂有过 1 次改造,在水厂泵站的建设过程中,挖掘机械碰伤了附近的管道。尽管管道公司知道水厂改造工程并在现场派了检查员,但并不知道管道附近的所有挖掘活动,也未及时发现管道损伤,因此,对水厂改造工程缺乏充分的监督,给管道的安全运行留下致命隐患。

其次,管道公司没有对管道的内检测结果进行充分评估。1991—1999 年,该管道进行了 3 次内检测。第 1 次是在 1991 年 9 月,采用常规分辨率的漏磁检测器,没有发现异常。第 2 次是在 1996 年 3 月,管道公司执行 5 年一周期的检测,采用了与 1991 年相同类型的检测器,这次检测记录显示出断裂管道附近有 3 处异常。第 3 次是该公司应州能源部的要求,于 1997 年 1 月,采用几何测径工具进行了管道检测,检测出管道断裂处附近有 1 个明显的凹陷变形,并报告给管道公司。这 3 次检测显示事故管道是在前两次检测之间受到了损伤,但管道公司并没有采取任何措施,因此又一次错过了发现管道损伤的机会。

此外,管道的自动化控制系统也存在一些问题, these 问题是:第一,管道上游新建终端设置有过压保护装置,一旦管道压力达到 9.65 MPa,将自动停泵,而管道断裂时的压力为 9.88 MPa,高于过压保护装置的限定值,说明管道公司没有将安全装置调试到合适的压力限定值。第二,新建终端中的截断阀曾多次意外关闭,但管道公司没有对其进行必要的调查和校准;正是截断阀的意外关闭,导致了事故时的管道压力意外升高。第三,管道发生事故当天,正在进行管道 SCADA 控制系统和数据采集系统数据库的开发调试,影响了调度人员对管道运行状况的分析和及时响应。

综上所述,管道公司在本次事故中的责任主要表现在 5 个方面:一是疏于监督,没有发现并及时修

理管道的挖掘损伤;二是没有充分评估内检测结果;三是没有调试好新建终端的安全装置;四是没有调查和校准多次意外关闭的截断阀;五是没有调试好管道的自动控制系统。

2 新墨西哥天然气管道爆炸事故

2000 年 8 月 19 日上午 5:26,美国 New Mexico 州 Carlsbad 附近的 1 条天然气管道发生爆炸,造成 12 人死亡。该管道属于 El Paso 天然气公司(El Paso Natural Gas Company, EPNG)^[5],建于 1950 年,管材 X52,直径 762 mm,厚度 8.5 mm,事故发生时,管道运行压力约为最大允许运行压力的 80%。

内腐蚀引起的管壁严重减薄是造成这次管道事故的直接原因。通过现场观察,发现管道底部存在严重的内腐蚀,最大深度达管道原壁厚的 72%。内腐蚀是管道内部的微生物、湿气、氯化物、O₂、CO₂ 和 H₂S 等腐蚀性成分综合作用的结果。

导致管道因积水而产生严重内腐蚀并未及时发现的原因是多方面的,主要包括:

第一,事故管道积水的原因是由于事故发生处上游排液口堵塞,管内液体无法排出管外,存留在管道中,在低点处长期积聚并导致腐蚀。第二,由于设计原因,清管器不能通过事故发生处的管道,因而不能定期清出管内积水和其它固、液沉淀物。第三,管道公司没有采取必要措施,充分监测和控制进入管道的气体性质。这条管道上游有十几处供气点,管道公司完全依靠与气体供应商签订的气体质量标准合同(只考虑了水、H₂S、CO₂ 和 O₂ 在内的几种有害成分,但未规定这些污染物的上限值),没有在供气点设置气体成分检测装置,因此无法确定进入管道中的天然气所含有害成分是否超标。同时,这次事故也暴露出在管道安全监管方面的疏漏。从 1990 年 6 月至 1998 年 8 月,美国运输部(DOT)的管道安全办公室(OPS)以问卷形式对 EPNG 进行了 18 次安全检验,每次检验,关于 EPNG 在遵守内腐蚀控制规章一项均填“满意”。2000 年 4 月 EPNG 加入了 OPS 的“系统完整性检验试点程序”,其中的 8 次检验也未鉴定出该公司在管道内腐蚀控制程序方面存在不足。在事故发生后,OPS 修改了检查表内容,其中包含了更详细的关于内腐蚀的检查项目。

3 Prudhoe Bay 原油管道泄漏事故

2006年3月2日,美国阿拉斯加 Prudhoe Bay 油田1条863 mm 原油管道发生泄漏,发现时估计管道已经泄漏5天以上,泄漏原油 76×10^4 L,覆盖面积约1个足球场,污染了此处的冻土和湖泊^[6]。这是阿拉斯加 Prudhoe Bay 油田30多年开发历史中最大的一次泄漏事故。1996—2004年,该油田每年都会报告500多次泄漏事故。

该油田隶属于大型跨国能源公司BP,此次泄漏事故发生以后,该公司立即隔离并关闭了这段管道,由于该管道连接油田西部两个集输中心,停产导致油田原油产量每天减少 11.6×10^6 L。在接下来的调查中,在管道沿线至少又发现6处腐蚀。这次事故招致公众对BP公司管道安全管理的强烈批评。

2006年3月15日,为了使公众和环境不受 Prudhoe Bay 管道事故的影响,OPS要求BP公司实施包括内检测在内的各项检测。2006年8月6日,BP公司在实施管道内检测过程中,意外发现了严重腐蚀和小泄漏。为处理这些问题,BP公司再次宣布管道停运,准备更换其中1段管道。但管道一旦停产将导致该油田每天减少原油产量约 43.9×10^6 L,占美国国内原油供应量的7.5%,总原油供应量(包括进口原油在内的)2.6%,势必引起美国能源市场的强烈反响。8月12日,在与OPS一起核查了检测数据和州的规章后,BP公司决定,不立即停止油田生产,并采取其它措施增加石油的供应量。

在BP管道意外发现的严重腐蚀和泄漏问题,以及 Prudhoe Bay 油田突然停止原油供应,引起了媒体的极大关注和对联邦管道安全规章的质疑^[7]。

4 事故对美国管道安全管理的促进

这3起事故在美国油气管道同期事故中影响很大,对美国的管道安全管理起到了推动作用。

4.1 管道的完整性管理

上述管道事故的一个共同之处,就是管道公司均存在管理上的失误,即没有采取有效管理措施进行管道损伤的预防、识别和及时维修,保持管道的完整性。

在1999年华盛顿州 Bellingham 汽油管道泄漏和2000年新墨西哥 Carlsbad 附近的天然气管道爆

炸以后,美国国会于2002年通过了《管道安全改进法案》^[2],这是美国管道完整性管理方面最重要的立法,首次以法律的形式明确要求执行管道完整性管理程序,即要求管道运营商定期采取内检测、压力试验和直接评估方法评价管道系统的完整性,并要求建立一套程序化的管理体制^[8],最大限度地确保管道安全。

4.2 防止第三方破坏

Bellingham 汽油管道的泄漏事故,说明第三方破坏对管道危害的严重性。多年的统计数据表明:由第三方破坏导致的管道事故的比例甚至超过腐蚀对管道的影响,但这不是管道行业本身所能解决的问题,需要从立法的高度协调各方面的行动。2006年美国通过的《管道检验、保护、强制执行和安全法案》^[3]在防止管道第三方破坏方面取得了重大突破,该法案首次授权DOT处理防止挖掘损坏管道的问题,将防止第三方挖掘损坏管道的程序提升到联邦一级水平^[9]。

4.3 管道内腐蚀控制

Carlsbad 天然气管道事故说明了内腐蚀控制在天然气管道中的重要性。内腐蚀控制包括监测入口的天然气的质量,减少管内液体的积聚,定期检查管道排出液体的有害成分,定期清管等。NACE后来发表了“管道内腐蚀的直接评价方法”的技术标准^[10]。

4.4 低应力管道的安全监管

联邦规章49 C.F.R. §195.2中将环向应力低于管材最低强度的20%的管道归类为低应力管道^[11],这类管道当时并未列入联邦规章的监管范围,BP在 Prudhoe Bay 的管道就是这样的低应力管道,由于当时未被列入联邦管道安全规章的执行范围,BP没有被要求对管道进行周期性内检测,因而没有发现管道遭受到的严重腐蚀。由于 Prudhoe Bay 管道事故,促使OPS修改了关于低应力危险液体管道的安全规章,将环境敏感地区的低应力危险液体管道也纳入了联邦规章的监管范围。

4.5 管道安全与能源供应可靠性的关系

油气管道,特别是长输油气管道,往往与国家或地区社会经济的发展密切相关,在考虑管道安全性的同时,应兼顾能源供应的可靠性。BP油田管道停运造成美国原油供应丧失很大份额的事实,凸显了管道安全与能源供应的关系,这就要求OPS的安全规章不仅仅要保护公众和环境不受管道危险的侵害,而且要确保重要管道设施不中断运行,因此,在

制订联邦规章时明确考虑管道的重要性,将是 OPS 传统职责的一个变化。

参考文献:

- [1] 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): 6-10.
- [2] HR 3609: Pipeline safety improvement act[EB/OL]. Public Law 107-355, (2002-12-17)[2010-02-15]. <http://www.osha.gov/dep/oa/whistleblower/acts/psia.html>.
- [3] HR 5782: Pipeline inspection, protection, enforcement and safety act [EB/OL]. (2006-12-29)[2010-02-15]. <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2006/12/20061229-1.html>.
- [4] National transportation safety board. pipeline accident report [R/OI]. PAR-02-02, 2002[2010-03-15]. <http://www.ntsb.gov/PublicIn/ publicIn.htm>.
- [5] National transportation safety board. pipeline accident report [R/OI]. PAR-03-01, 2003[2010-03-15]. <http://www.ntsb.gov/PublicIn/ publicIn.htm>.
- [6] Richard A. Fineberg. BP north slope spill reveals a history of substandard environmental performance[R/OL]. Alaska Forum for Environmental Responsibility, 2006[2010-04-15]. <http://www.alaskaforum.org/AFER%20N.%20Slope%20Report%20060315Rev.pdf>.
- [7] Paul W. Parfomak. BP Alaska north slope pipeline shutdowns; regulatory policy issues[R/OL]. CRS Report for Congress, RL33629, 2006[2010-04-15]. <http://www.ncseonline.org/NLE/CRSreports/>.
- [8] 王强, 帅健. 管道完整性管理标准及其支持体系[J]. 天然气工业, 2006, 26(11): 126-129.
- [9] AGA. Congress pass pipeline safety bill[J]. American Gas, 2007, 89(1): 43.
- [10] NACE SP0206-2006 Internal corrosion direct assessment methodology for pipelines carrying normally dry natural gas (DG-ICDA)[S]. 2006.
- [11] 49CFR195: Transportation of hazardous liquids by pipeline [EB/OL]. 2002[2010-04-15]. <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/>.

(收稿日期: 2010-04-07)

热烈庆祝大型天然气管网国产化仿真软件产品正式发布

2010年10月31日,由中国石油管道科技研究中心自主研发的大型天然气管网仿真软件产品“RealPipe-Gas1.0”正式发布。中国石油集团公司、管道公司、管道调控与运行单位以及科研院校、大型软件公司等20多个单位的领导和专家参加了发布会,共同见证了大型天然气管网国产化仿真软件的发布。



“天然气管道仿真软件 RealPipe-Gas1.0”的成功国产化,填补了国内管道仿真软件产品的空白,打破了国外对油气管道仿真技术与仿真软件产品的垄断。天然气管道仿真软件产品的国产化是中国石油股份公司重大科技专项“西气东输二线关键技术研究”的重要里程碑,是与实现天然气管道重大设备国产化和 SCADA 系统国产化同样重要的研究成果,同时也是中国石油集团公司油气储运重点实验室建设的重要组成部分。该软件在稳定性、计算精度和计算效率等方面接近国际同类商业软件的水平,而在软件的易用性、可扩展性等方面超过了国外软件的水平。

目前,我国天然气干线管网超过 3.5×10^4 km,“十二五”期间规划新干线超过 2.4×10^4 km,天然气管网业务进入了快速发展的阶段,即将形成的天然气管网越来越庞大,越来越复杂,对管网的运行决策与调度越来越难。“RealPipe-Gas1.0”可用于大型天然气管网的设计计算、运行工况分析、调度员培训等方面,有助于管道运营单位有效地集中调控大型天然气管网,加快实现天然气管网安全、高效、经济运行。

根据中国石油管道科技研究中心的总体规划和安排,项目组将继续对该软件进行升级完善并推广应用,同时也将循序研发天然气管道运行优化、成品油管道、原油管道在线仿真等系列仿真软件产品。

OIL & GAS STORAGE AND TRANSPORTATION

(MONTHLY)

Vol. 29 No. 11 (Total No. 263) Nov. 25, 2010

ABSTRACTS

• OVERVIEW •

Kong Zhaorui: **Development and Suggestions in Modular Floating Deck of Covered Floating Roof Tank**, *OGST*, 2010, 29 (11): 801-805.

Standard modular structures of covered floating roof tank are generally workshop manufactured before being transported to the installation site, and then they are launched in the oil tank through man-hole in order and assembled with bolts or rivets. Modular structure of covered floating roof tank is characterized by low cost, short setting time, safe and reliable with higher energy saving rate. In recent 20 years, more than 5,000 modular floating decks have been used in covered floating roof oil tanks, the most of which are made of aluminum floating decks, and their structures are formed in aluminum alloy frames and buoyancy components as pontoon. In this paper, the structure rationality of current modular floating deck in China is analyzed. It is concluded that smaller circumferential stiffness and larger axial stiffness can ensure the modular floating deck to successfully pass through the sticking and prevent being logged and broken. Pontoon is kind of floating component of deck, and the more uniform arrangement of it is necessary. And at the same time, circumferential buoyancy of the modular floating deck should get a little bit bigger. The space between the floating deck and oil surface can ensure safe operation of the covered floating roof oil tank. Because sealing device is a key component of floating deck, the tongue-shaped seal is better. Some design and installation problems in auxiliary components, such as diffuser pipe, cover board, outrigger, venting window and overflow pipe, are also discussed. Although the modular floating deck belongs to a narrow field in the industry, it has been widely applied with remarkable economic and social benefits. Considering lower capacity in development and production for industrial manufacturers, some suggestions in the future development of modular floating deck are proposed.

Subject Headings: covered floating roof oil tank, modular floating deck, sealing, component, energy saving, environmental protection

Shuai Jian: **Oil and Gas Pipeline Accidents in US and Their Inspiration**, *OGST*, 2010, 29 (11): 806-809.

In US history, a few serious oil and gas pipeline accidents happened which draw the public attentions in pipeline safety and drive the pipeline operator paying more attention to advancing the pipeline safety management. This paper introduces the reasons of three pipeline accidents in US and safety management problems of pipeline companies. In the explosion accident happened in Bellingham, Washington, 1999, the main responsibilities of pipeline company lied in the ignorance of monitor, not having repaired the digging defects in time, not having fully assessed the internal inspection results, not having debugged the newly-installed safety device in the terminal, not having investigated and calibrated the block valve which was shut down several times unexpectedly and not having debugged the pipeline automatic control system. For the explosion accident happened in Carlsbad, New Mexico, 2000, the direct reason was the reduction of pipe wall due to internal corrosion of pipeline, which reflected that the internal corrosion control was not enough and at the same time it revealed that the US Transportation Department did not pay enough attention to monitoring the pipeline safety. The leakage accident happened in Prudhoe, Alaska, 2006 was also due to corrosion problem. This accident drew the public scold on BP's pipeline safety management and brought the media to interrogate the federal pipeline safety guideline. This paper discusses the effects on pipeline law in US from the aspects of pipeline integrity management, damage prevention from third-party, internal corrosion control, low-pressure pipeline management guideline and energy supply. It should be a mirror for domestic oil and gas pipeline management.

Subject Headings: pipeline, accident, integrity, safety, management

• TRANSPORTATION PROCESS •

Zhang Xiujie: **Impacting Factors and Solution Method for Energy Saving of Hot Oil Transportation Pipelines**, *OGST*, 2010, 29 (11): 810-814.

China domestic crude oil, which is commonly referred as "high pour point, high wax, high viscosity" crude oil, is normally transported with heating. Therefore the energy consumption is very large and there exists a difficulty to restart the pipeline after its