

# 浅析城镇天然气高压输气管道工程环境风险 评价

刘慧力

(煤炭工业合肥设计研究院,安徽 合肥 230041)

**摘要:**在城镇天然气管道工程的环境影响评价中,环境风险评价是重点内容之一。结合安徽某天然气项目工程情况,对天然气高压输气管道工程环境风险进行评价及风险值计算,确定城镇天然气高压输气管道及工艺站场主要风险事故类型,针对性地提出风险防范措施及事故应急预案。

**关键词:**城镇;天然气;高压输气管道;环境风险评价

中图分类号:TE88

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2016)03-04

## ANALYSIS ON THE ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT OF URBAN NATURAL GAS HIGH-PRESSURE PIPELINE PROJECT

LIU Hui-li

(Hefei Design Research Institute for coal industry, Hefei 230041, China)

**Abstract:**In the environmental impact assessment of urban gas pipeline engineering, environmental risk assessment is one of the key content. Combining with a natural gas project engineering situation in Anhui province, the article conduct the risk assessment of high-pressure gas pipeline and natural gas engineering environment and calculate the risk value, determine the main risk accident types of urban natural gas high-pressure pipeline and process field, put forward the pertinence measure to prevent and emergency response plan for accidents.

**Key words:** natural gas; high-pressure gas pipeline; environmental risk assessment

天然气是一种优质、清洁的能源,具有使用方便、热值高、无毒、燃烧后不留残渣等优点,是理想的都市气源<sup>[1]</sup>。同时天然气也属于甲类易燃、易爆危险品,在输送、储存、使用过程中,有可能发生泄漏,引发燃烧和爆炸。因此,天然气输气工程运行时的可靠性直接影响城镇的经济发展,在天然气利用工程的规划、选址、施工和使用过程中,必须注意天然气风险事故的环境影响和安全性。

环境风险评价的主要对象为风险事故发生的可能性及事故发生后对环境产生的影响。对城镇天然气高压输气管道工程等具有潜在事故风险的建设项目,其事故发生的可能性及后果都应在环境风险评价中反映出来。根据《建设项目环境风险评价技术导则》的相关要求,结合安徽某地天然气高压输气管道工程的建设内容,对该项目存在的环境风险进行分析与评价,并提出针对性的风险防范对策措施。

### 1 项目概况

安徽省某天然气长输管道项目全长 50.7 km,

收稿日期:2015-09-28

作者简介:刘慧力(1982~),男,安徽萧县人,硕士,工程师,就职于煤炭工业合肥设计研究院,从事环境影响评价及环保设计工作。

途经 2 个地级市,设计输气能力  $1.4 \times 10^9 \text{ Nm}^3/\text{a}$ ,管径  $\Phi 610 \text{ mm}$ ,设计压力 6.3 MPa,沿线新建 4 个工艺站场(3 个分输站和 1 个末站);新建 2 个线路阀室(分输阀室和截断阀室各 1 座)。

## 2 重大危险源辨识与评价等级确定

### 2.1 重大危险源辨识

管道输送的天然气流量是通过各分输站以及沿途阀室进行控制,管线中天然气存在量与截断装置之间的距离有直接关系。通常对天然气输送系统按站场与阀室之间管道作为一个基本功能单元,进行重大危险源识别,该项目共可分成 6 个管段(根据截断阀位置划分),最长管段长 12.8 km,经计算,该段天然气存在量为 97.1 t,超出《危险化学品重大危险源辨识》(GB18218-2009)规定的标准临界量(50 t),可判定长输管道(含阀室)和工艺站场为该项目的重大风险源。

### 2.2 评价等级与评价范围的判定

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T169-2004)中评价工作等级的判定依据(见表 1),该项目的环境风险评价等级为一级。评价范围为管道中心线两侧 500 m 和工艺站场用地周边 500 m 区域。

表 1 环境风险评价等级判别

种类	剧毒危险性物质	一般毒性危险物质	可燃、易燃危险性物质	爆炸危险性物质
重大危险源	—	—	—	—
非重大危险源	二	二	二	二
环境敏感地区	—	—	—	—

## 3 风险识别

城镇天然气工程的主要工艺是在密闭的系统内输送易燃易爆的天然气,其危险性主要包括储存过程中的泄漏、窒息、火灾以及爆炸等方面。因此,天然气是该项目的主要危险物质,其主要物化性质见表 2<sup>[2]</sup>。

表 2 天然气主要物理化学性质

项目	性质
组成	$\text{CH}_4$ , 其余有 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 及惰性气体等
相对密度( $\rho_{\text{空气}}=1$ )	0.6
引燃温度/ $^{\circ}\text{C}$	482~632
爆炸极限(体积分数)/%	下限 3.6~6.5 上限 13~17
最大爆炸压力/102kpa	6.8
灭火方法危险性分类	切断气源,用水降温,用干粉隔绝空气甲

## 4 事故源项分析

### 4.1 最大可信事故

天然气的主要成分是甲烷,其火灾危险类别为甲类,与空气混合能形成爆炸性混合物,遇明火、高热能引起燃烧爆炸。该项目工程管道压力较高,一旦发生泄漏,会产生大量的甲烷外泄,如被立即引燃,则会造成火灾事故(喷射火等);如未被立即引燃,则甲烷会在空气中扩散,在达到甲烷爆炸极限的条件下,如遇火源会引起破坏性更大的蒸汽云爆炸事故;如排放后不立即燃烧,也不推迟燃烧,则形成环境污染。天然气管道泄漏事故后果分析见图 1。

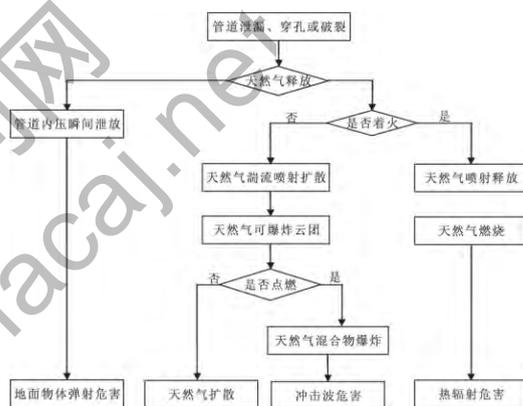


图 1 天然气管道泄漏事故后果分析

### 4.2 源项分析

欧洲输气管道事故数据组织(EGIG)根据管道破损部位的严重程度,将输气管道事故按破裂大小可分为三类:泄漏(破损直径 $\leq 20 \text{ mm}$ )、穿孔(破损直径 $>20 \text{ mm}$ ,但不超过管径)、破裂(破损直径大于管径)<sup>[3]</sup>。美国和欧洲 70~80 年代的统计资料显示,在所有干线输气管道事故中,泄漏事故占 40%~80%,穿孔占 10%~40%,破裂占 1%~5%。

我国目前有一定运行历史的输气管网主要集中于川、渝两地,因此中国石油西南油气田分公司输气管理处经营管理的威成线、成德线、沪威线、佛两线、北干线等 14 条输气干线管线总长 1 513 km,管径从  $\Phi 325 \text{ mm}$  至  $\Phi 720 \text{ mm}$  不等,这些管线大多建于 20 世纪 60~70 年代,对上述管线从 1971 年至 1998 年近 30 年间的情况及调查统计结果可知,管道泄漏事故占 54%,穿孔和破裂分别占 29%和 17%。

该项目输送天然气的介质是高压管道，管线长 50.7 km，管径 DN610 mm，实际运行压力可达 4.0 MPa。根据国内外天然气管道工程的风险事故类型统计结果和长输管线施工技术现状，该项目最大可信事故为泄漏事故，断裂事故的比例最低。

## 5 事故风险分析

### 5.1 事故后果计算及预测模式

5.1.1 发生泄漏事故时的泄漏量按 Crane (1981) 提出的公式计算：

$$Q_c = Y C_d A P \sqrt{\frac{Mk}{RT_c} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

式中： $Q_c$ —气体泄速度，kg/s； $C_d$ —气体泄漏系数，当裂口形状位圆形时取 1.00，三角形时取 0.95，长方形时取 0.90； $A$ —裂口面积， $m^2$ ； $P$ —容器压力，Pa； $M$ —分子量； $R$ —气体常数，8.31 J/(mol·k)； $T_c$ —气体温度，K； $k$ —气体的绝热指数（热容比），即定压热容  $C_p$  与定容热容  $C_v$  之比。 $Y$ —流出系数。

### 5.1.2 火灾热辐射预测模式

热辐射通量

$$q = \eta Q_0 H_c$$

式中： $q$ —热辐射通量，kJ/s； $\eta$ —效率因子，取 0.5； $Q_0$ —泄漏速度，kg/s； $H_c$ —燃烧热，甲烷气体燃烧热 50 050 kJ/kg。

热辐射强度

$$I = X_g q / 4\pi x^2$$

式中： $I$ —热辐射强度，W/ $m^2$ ； $X_g$ —发射率，取 0.2； $x$ —对象点到辐射中心距离，m。

火球危害级别划分及不同辐射通量对应的损害情况见表 3。

表 3 火球危害级别划分及不同辐射通量对应的损害

危害级别	入射通量 (kw·m <sup>-2</sup> )	对设备的损害	对人的损害
A	37.5	操作设备全部损坏	1%死亡/10s 100%死亡/1min
B	25.0	在无火焰、长时间辐射下木材燃烧的最小能量	重大损伤死亡/10s, 10%死亡/1min
C	12.5	在火焰时,木材燃烧,塑料熔化的最低能量	1度烧伤/10s, 1%死亡/1min
D	4.0		20s 以上感觉疼痛
E	1.6		长期辐射,无不舒服感

### 5.1.3 蒸气云团爆炸的冲击波影响计算模式

$$R = C_s (NE_e)^{1/3}$$

式中： $E$ —爆炸能量，kJ ( $E = H_c \cdot M$ ,  $H_c$  为燃烧热，J/kg； $M$  为易燃物的排放量，kg)； $N$ —效率因子 ( $N = N_e \times N_m$ ,  $N_e$  为燃料浓度，一般取 30%， $N_m$  为燃料燃烧的机械能效率，限制爆炸可取 33%)； $C_s$ —经验常数，取决于损坏等级，见表 4。

表 4  $C_s$  和伤害程度的关系表 单位：m/J<sup>1/3</sup>

损害等级	$C_s$	对设备	对人
C1	0.03	重建建筑物和设备	1%死于肺部损害, 75%耳膜破裂, 大于 50%被破碎片击伤
C2	0.06	对建筑物造成可修复性的损害	1%耳膜破裂, 1%受爆炸片的严重伤害
C3	0.15	玻璃破碎	受爆炸片的严重伤害
C4	0.40	10%玻璃破碎	/

### 5.2 预测结果

采用根据火球热辐射预测模式和蒸气云团爆炸冲击波预测模式的预测结果，城镇高压管道发生破裂事故，天然气泄漏并发生火灾时，距离着火点中心的死亡半径、重伤半径分别为 59.8 m、73.2 m；天然气泄漏发生蒸汽云爆炸事故（泄漏释放时间以 10 min 计）时，爆炸冲击波严重损伤范围（C1 级、C2 级）分别距事故处 26.0 m、52.1 m 以内的范围。

### 5.3 风险值计算和分析

根据《建设项目环境风险评价技术导则》，风险值的计算公式如下：

$$\text{风险值 } R \left( \frac{\text{后果}}{\text{时间}} \right) = \text{概率 } P \left( \frac{\text{事故数}}{\text{单位时间}} \right) \times \text{危害程序 } C \left( \frac{\text{后果}}{\text{每次事故}} \right)$$

环境风险值 ( $R$ ) 可用危险源最大可信事故发生灾害的概率 ( $P$ ) 与该事故造成的危害程度乘积表示： $R = P \times C$ 。

计算选取四川输气管道风险事故概率 [0.00321 次/km·a]，危害程度参照美国天然气管道事故对人造成伤亡的危害程度 [2.7×10<sup>-7</sup> 人/次]。根据各分输单元的长度计算，该项目输气管道事故风险值为 2.17×10<sup>-9</sup>~1.11×10<sup>-8</sup> 死亡(人)/a。环境风险最大可信事故为管道断裂事故，预测管段风险值在 10<sup>-8</sup> 数量级上，对照表 5<sup>[4]</sup> 可得出该项目事故风险水平。

通过对项目的风险水平进行对比分析，项目沿线环境敏感点环境风险水平属于“没有人愿为

这种事故投资加以预防(10<sup>-7</sup>~10<sup>-8</sup>数量级)的程度;另外,石油化工行业的可接受风险值为8.33×10<sup>-5</sup>,该项目管线断裂事故风险值远低于此行业风险值,故项目总体上风险值属可接受水平,但仍需要加强风险防范措施,制定相应的事故应急预案,降低风险发生的可能性并将事故造成的损失降至最低。

表5 各种风险水平及其可接受程度

风险值(1/年)	危险性	可接受程度
10 <sup>-3</sup> 数量级	操作危险性特别高	不可接受,须采取措施改进
10 <sup>-4</sup> 数量级	操作危险性中等	应采取改进措施
10 <sup>-5</sup> 数量级	与煤气中毒属于同一等量级	引起公众关注,愿采取措施
10 <sup>-6</sup> 数量级	相当于地震和天灾的风险	人们不担心此类事故发生
10 <sup>-7</sup> ~10 <sup>-8</sup> 数量级	相当于陨石坠落伤人	没人愿为此类事故投资预防

## 6 环境风险防范措施及事故应急对策

### 6.1 选址、总图布置

城镇天然气分输站应选在有较便利的交通、供电、供水及通讯等公用设施的地段,选址位置应符合城市总体规划;场内各生产单元及与相邻建筑物的防火距离、安全防护距离应满足《建筑设计防火规范》、《石油化工企业设计防火规范》、《石油天然气工程设计防火规范》等设计规范的要求。

### 6.2 输气管道选线分析

城镇高中压管道选线应从城市规划、安全、环保方面进行考虑。管道布线应服从城市总体规划,并严格执行规范中的有关各项安全间距的规定,沿线环境敏感点与管线有一定的防护距离。

### 6.3 作业过程中的风险控制

风险事故的发生往往是由于管理不当、操作失误等引起的。因此,要从管理、日常运行方面着手防范事故的发生,建立健全制度,采取各种措施,设立报警系统,杜绝事故发生。主要从以下两方面进行控制:

#### 6.3.1 运行中的事故防范措施

严格控制天然气的气质,定期清管,排除管内的积水和污物;每三年进行管道壁厚的测量,对严重管壁减薄的管段,及时维修更换,避免爆管事故发生;每半年检查一次管道安全保护系统(如截断阀、安全阀、放空系统等),使管道在超压时能够得

到安全处理;在公路、河流穿越点要设置明显标志,不仅清楚、明确,而且从不同方位和角度均可看清;对事故易发地段,要加大巡线频率,提高巡线的有效性,发现对管道安全有影响的行为,应及时制止、采取相应措施并向上级报告。

#### 6.3.2 管理措施

在管道系统投产运行前,应制定出正常、异常或紧急状态下的操作手册和维修手册,并对操作、维修人员进行培训,持证上岗;制定应急操作规程,在规程中应说明发生管道事故时应采取的操作步骤,规定抢修进度,限制事故的影响,另外还应说明与管道操作人员有关的安全问题;操作人员每周应进行安全活动,提高职工的安全意识,识别事故发生前的异常状态,并采取相应的措施;对管道附近的居民加强教育,进一步宣传贯彻、落实《石油天然气管道保护条例》,减少、避免发生第三方破坏的事故;对重要的仪器设备有完善的检查程序、维护方法;按计划进行定期维护;有专门档案(包括维护记录档案),文件齐全;

### 6.4 风险事故应急对策

首先应确定分输站事故及长输管道系统泄漏事故的事故级别,然后根据不同级别确定相应的协同合作单位,建立应急联系方式,组织事故应急演练等。

工艺场站及城镇管道系统一旦出现突发事件,须按事先拟定的应急方案进行紧急处理。应急对策为:(1)成立事故应急对策指挥中心;(2)建立事故应急通报网络和智能监控系统;(3)制定天然气泄漏事故应急对策;(4)制定火灾事故应急对策<sup>[5]</sup>。

## 7 结语

本文结合工程实例,通过风险识别确定项目的主要风险事故类型为管道和站场泄漏引发的火灾和爆炸事故。通过泄漏事故、火灾热辐射预测模式及蒸汽云爆炸冲击波预测模式对城镇天然气高压输气工程进行风险预测和评价,根据预测结果提出针对性的防范措施及对策,有助于城镇天然气高压管网的设计、建设、运行阶段的修正、维护和管理。

## 参考文献

[1] 刘斐,刘茂.城市输气管线火灾事故的风险定量计算[J].安全

但在这方面的研究有待加强。

## 参考文献

- [1]谭苗苗.利用纳米铁水处理的自动控制系统设计[J].电子测量技术,2013,36(12):12-15.
- [2]刘小虹,颜肖慈,李伟.纳米铁微粒制备的新进展[J].金属功能材料,2002,9(2):2-5.
- [3]王晴晴.纳米金属的制备及其在处理典型有机污染物中的应用[D].河南:河南理工大学,2010.
- [4]王薇.包覆型纳米铁的制备及用于地下水污染修复的实验研究[D].天津:南开大学环境科学与工程学院,2008.
- [5]古军辉.高能球磨纳米铁粉的制备及其稳定性分析[D].广州:华南理工大学,2002.
- [6]唐次来,张增强,张永涛.纳米铁的制备及其在地下水污染修复中的应用[J].环境卫生工程,2007,15(3):60-64.
- [7]杨丽梅,王达望,张禹涛,等.等离子体制备铁纳[J].微米颗粒核聚变与等离子体物理.2011,31(4):372-378.
- [8]穆冀里,蒋武锋,董建君,等.纳米铁粉的制备方法研究[J].粉末冶金工业,2014,24(2):33-37.
- [9]李海莹,王薇,金朝晖,等.纳米铁的制备及其对污染地下水的脱硝研究[J].南开大学学报(自然科学版).2006,39(1):1-13.
- [10]Ding X Z, Qi Z Z, He Y Z. Effect of hydrolysis water on the preparation of nano-crystalline titania powders via sol-gel process [J]. J. Mater. Sci. Lett., 1995, 14(1): 21-22.
- [11]徐永永.改性纳米零价铁去除水中溴酸盐的研究[D].浙江:浙江大学,2013.
- [12]王莹利.微乳反应法超细铁铜催化剂的制备及其活性评价[D].郑州:郑州大学,2005.
- [13]Fang L, Cumaraswamy V, Kishore K. Microemulsion and solution approaches to nanoparticle iron production for degradation of trichloroethylene Colloids and surfaces [J]. Physiochem. Eng. Aspects, 2003, 223(1): 103-112.
- [14]Natter L, Schmelzer M L, Effler M S, et al. Grain-Growth kinetics of nanocrystalline iron studied in situ by synchrotron real-time X-ray diffraction [J]. J. Phy. Chem. B., 2000, 104(11): 2467-2476.
- [15]杨勇彬,高家诚,王勇,等.铁基纳米粉末的研究[J].钢铁研究,2003,3(1):36-41.
- [16]李晨桦,陈家玮.膨润土负载纳米铁去除地下水中六价铬研究[J].现代地质,2012,26(5):932-938.
- [17]高燕飞,高乃云.纳米铁及其改性材料在水处理中的应用[J].给水排水,2011,37(1): 108-113.
- [18]Altunlu M, Yapar S. Effect of OH-/Al<sup>3+</sup> and Al<sup>3+</sup>/clay ratios on the adsorption properties of Al<sup>3+</sup> pillared bentonites [J]. Colloid.

Surface. A, 2007, 306: 88-94.

- [19]雷绍民,郝骞,熊毕毕,等.蒙脱石矿物特性及开发利用前景[J].资源环境与工程,2006,20(5):565-596.
- [20]刘凯.有机蒙脱石负载纳米铁的制备、表征及去除4-氯酚的研究[D].湖南:湖南大学,2012.
- [21]龙小燕.活性炭负载Fe/Ti改性及去除水体砷的效果和机理研究[D].湖北:华中农业大学,2012.
- [22]吴丽梅,吕国诚,廖立兵.活性炭负载纳米零价铁去除污水中六价铬的研究[J].矿物学报,2012,(S1):181-182.
- [23]张环,金朝晖,韩璐.负载型纳米铁化学反硝化法去除硝酸盐氮的研究[J].中国给水排水,2006,(15):83-87.
- [24]王叶银,张宏伟.用于净化重金属污水的改性浮石及其制备方法和用途.中国发明专利,CN201210066330.1,2012-03-14.
- [25]Kitis M, Kaplan S S, Karakaya E, et al. Adsorption of natural organic matter from waters by iron coated pumice [J]. Chemosphere, 2007, 66(1): 130-138.
- [26]Liu T, Wang Z L, Yan X, et al. Removal of mercury (II) and chromium (VI) from wastewater using a new and effective composite: pumice-supported nanoscale zero-valent iron [J]. Chem. Eng. J., 2014, 245: 34-40.
- [27]钱慧静.CMC对纳米零价铁去除污染水体中六价铬的影响[D].杭州:浙江大学,2008.
- [28]姬航,何娟,曹茜,等.羟甲基纤维素稳定纳米铁去除水中六价铬的研究[J].现代地质,2013,27(6):1484-1485.
- [29]耿兵,李铁龙,金朝晖,等.壳聚糖稳定纳米铁的制备及去除水体中Cr(VI)性能的研究[J].高等学校化学学报,2004,30(4):796-799.
- [30]Liu T, Wang Z L, Zhao L, et al. Enhanced chitosan/Fe<sup>0</sup>-nanoparticles beads for hexavalent chromium removal from wastewater [J]. Chem. Eng. J., 2012, 189-190: 196-202.
- [31]Liu T, Yang X, Wang Z L, et al. Enhanced chitosan beads-supported Fe<sup>0</sup>-nanoparticles for removal of heavy metals from electroplating wastewater in permeable reactive barriers [J]. Water Res., 2013, 47(17): 6691-6700.
- [32]李铁龙,王丹,金朝晖,等.油酸钠/Fe纳米粒子的制备及其脱氮性能研究[J].功能材料,2008,39(8):1385-1387.
- [33]Li C R, Chu Y M, Wang S C. Magnetic properties of nanosized Sr<sub>2</sub>CrReO<sub>6</sub> powders prepared by a combustion synthesis process [J]. Mater. Lett., 2006, 60(17-18): 2270-2273.
- [34]Shen Y F, Tang J, Nie Z H, et al. Tailoring size and structural distortion of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles for the purification of contaminated water [J]. Bioresour Technol., 2009: 4139-4414.
- [35]Cordon C, Yang C, Lee H L. Chemical reduction of nitrate by nanosized iron:kinetics and pathways [J]. Water Res., 2005, 39: 884-894.

(上接第51页)

- 与环境工程,2006,13(4):63-65.
- [2]徐文渊,蒋长安.天然气利用手册[M].北京:中国石化出版社,2003.
- [3]向启贵,熊军.天然气输气管道环境风险评价[J].石油与天然气化工,2002,71-75.

- [4]化工、石化及医药行业建设项目环境影响评价(试用版)[M].国家环境保护总局,2003.
- [5]刘芳文,韩保新等.城市天然气工程环境风险评价[J].安全与环境学报,2006,6(5):91-95.