

# “西气东输”工程天然气长输管道内外涂层技术经济分析

杨晓鸿\*

(中国石油天然气总公司工程技术研究院)

杨晓鸿.“西气东输”工程天然气长输管道内外涂层技术经济分析.天然气工业,2001;21(2):89~93

**摘要** 西部大开发是我国国民经济建设的一个新战略,“西气东输”工程是西部大开发第一号工程。西气东输工程将要建设从新疆至上海的大口径长输天然气管线,管线的内外涂层体系是西气东输工程的基本构成之一,涂层质量的好坏,关系到长输管线长期安全稳定运行;涂层结构的优化程度,关系到是否能经济高效地进行管道工程建设。因此,天然气长输管道内外涂层技术经济分析,是目前我国石油工程决策界、技术界十分关注的热点问题。针对该长输管道,本文介绍了通过管道内涂层改善天然气流动效率,从而提高管输能力,并防止内壁腐蚀的经济效益。同时还介绍了管道外腐蚀涂层的种类和如何根据管道所经地区的具体情况选择经济适用的外防腐涂层。

**关键词** 天然气 输气管道 涂层保护 技术 经济评价

## 减阻内涂层的技术经济分析

### 1. 国内外概况

60至70年代,国外把涂料喷涂在油气管道内壁上,以改善油气介质流动性和预防管内壁的结蜡。随着油气管道内防腐技术的不断发展,开始对主干线管道施工保护内涂层。为保证内涂层的材料、施工和质量,继1968年美国石油协会制定了《输气管道内涂层的推荐准则》之后,英国、法国、荷兰、加拿大等国家也制定了相关的国家和公司标准。

我国石油工程科研单位和油田也进行了许多管道内涂层技术研究。1997年,石油工程建设施工专业标准化委员会,制定了《钢质管道融结环氧粉末内涂层技术标准》和《液体环氧涂料内防腐涂层钢管技术条件》两个行业标准,使国内的内涂层技术逐步走向规范化。然而,在天然气长输管道工程建设中,由于此领域许多工程技术问题还有待开展研究,而未采用内涂层,比如陕京管线没有施工内涂层。

### 2. 内涂层的减阻效果

针对内涂层的减阻和提高输气量的效果,国外进行的专项研究表明:有效提高输送能力,延长管道的使用寿命。输送能力提高程度取决于管线和流体

的流动特性。管径越大,效果越高。在相同输送压力下,涂敷内涂层的表面粗糙度为 $0.0045\text{ mm}$ 时,可使气体输送量提高24%。典型的投资回收期是3~5年。美国一些油气管道公司利用氦气示踪剂进行流动测试内涂层管道改善天然气的流动效率,结果表明:内涂层管道的流动效率范围为95%~103%,而裸管的流动效率范围为81%~85%,流动效率提高6%~12%,泵压降低15%~20%,钢管使用寿命延长2~4倍。

### 3. “西气东输”管线内涂层减阻效果计算

“西气东输”工程将建设4200 km左右管道,将塔里木盆地的天然气东送,经甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、安徽、江苏到上海,供应长江三角洲地区和沿线各省(区)的工业和居民用气。初期年供气 $120\times 10^8\text{ m}^3$ 左右,以后将随着资源勘探的深入和下游用气市场的开拓,逐步增加供气量。“西气东输”工程初步预测第一期投资将达到1200亿元左右。

考虑“西气东输”干线设计管径为 $\Phi 1016\text{ mm}$ ,综上所述,可以确定基础流体力学和表面数据:日输气量 $3.288\times 10^7\text{ m}^3$ ;雷诺数( $Re$ ) $3.16\times 10^7$ ;钢管内表面粗糙度大约 $25\text{ }\mu\text{m}$ ;管线长度4167 km;流体密度 $0.55\sim 0.95\text{ kg/m}^3$ ;涂层厚度 $120\sim 160\text{ }\mu\text{m}$ ;涂层

\* 杨晓鸿,1963年生,高级工程师;1990年毕业于成都科技大学,获博士学位。现从事石油天然气工业地面和滩海工程的防腐技术研究。地址:(300451)天津市津塘公路40号。电话:(022)66310216。E-mail:yangxh88@yahoo.com.cn

表面粗糙度  $5\ \mu\text{m}$ 。

根据以上数据和计算摩阻的 Colebrook - White 方程,可以得到涂层对管道流体力学性能的影响,结果见图1。

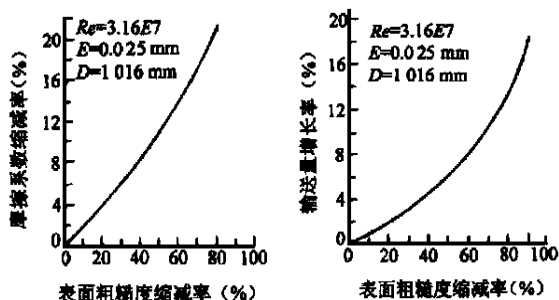


图1

由图1可见,对“西气东输”工程的管道施工内涂层后,理论上可以使表面粗糙度减少80%,进而使表面摩阻减少20%,使输气量增加12%,理论减小输气管线管径6%。

#### 4. 减阻耐磨涂料技术经济分析

石油工程研究院,针对大口径天然气管道的特点,开发成功了适合应用于大口径管道减阻耐磨专用内涂料和环氧粉末涂料,可用于车间预制和现场补口。一般施工两道,干膜厚度  $120\ \mu\text{m}$ ,涂料用量  $0.4\ \text{kg}/\text{m}^2$  左右。

##### (1) 技术经济分析基础数据

管道长度  $4\ 167\ \text{km}$ ;管径为  $\text{Ø}1\ 118\ \text{mm}$ ;减阻耐磨环氧粉末涂料价格  $40\ \text{元}/\text{kg}$ ,用量  $0.4\ \text{kg}/\text{m}^2$ ;减阻耐磨溶剂涂料价格  $40\ \text{元}/\text{kg}$ ,用量  $0.4\ \text{kg}/\text{m}^2$ ;涂层设计厚度  $120\sim 160\ \mu\text{m}$ ;施工道数2;材料费占40%,施工费占60%。

##### (2) 费用及效益

“西气东输”工程需涂敷的内涂层总面积为  $1.46\times 10^7\ \text{m}^2$ ,总材料费约2.342亿元,内涂层施工费约3.513亿元,内涂层总费用5.855亿元。

资金理论效用:根据初期年供气  $120\times 10^8\ \text{m}^3$  左右,总投资1200亿元左右,每亿立方米供气需投资3.33亿元。年供气  $120\times 10^8\ \text{m}^3$  中,12%靠内涂层使输气量增加得来,折合  $14.4\times 10^8\ \text{m}^3$ ,5.855亿元等效48亿元的资金理论效用。

内涂层投资回收期:针对“西气东输”工程的情况,采用减阻耐磨内涂层后,可以将输气量由设计的

$120\times 10^8\ \text{m}^3/\text{a}$  增加到  $134.4\times 10^8\ \text{m}^3/\text{a}$ ,增加  $14.4\times 10^8\ \text{m}^3/\text{a}$ ,按管输费  $0.9\ \text{元}/\text{m}^3$  的不变价格计算,每年的效益为13亿元。可见管线通气后不到一年即可回收内涂层投资。

“西气东输”工程设计的增压站为22座,采用减阻耐磨内涂层后可以将其减为19座。

## 外涂层的技术经济分析

### 1. 天然气管道外防腐蚀层材料的基本要求

材料性能要求:

1) 良好的电绝缘性。防腐蚀层相对两面之间一定面积的电阻不应小于  $10\ 000\ \Omega\cdot\text{m}^2$ ;耐击穿电压强度不得低于电火花检测仪检测的电压标准。

2) 防腐蚀层应具有一定的耐阴极剥离强度的能力。

3) 足够的机械强度。有一定的抗冲击强度,以防止由于搬运和土壤压力而造成损伤;有良好的抗弯曲性,以确保管道施工时受弯曲而不致损坏;有较好的耐磨性,以防止由于土壤摩擦而损伤;针入度达到足够的指标,以确保涂层可抵抗较集中的负荷;与管道有良好的粘结性。

4) 有良好的稳定性。耐大气老化性能好;化学稳定性好;耐水性好,吸水率小;有足够的耐热性,确保其在使用温度下不变形、不流淌、不加快老化速度;耐低温性能好,确保其在堆放、拉运和施工时不龟裂、不脱落。

5) 防腐层破损后易于修补。

6) 抗微生物性能好。

### 2. 天然气管道外防腐蚀层

埋地管道外壁防腐蚀层的种类较多。诸如石油沥青和煤焦油沥青、塑料粘胶带、热塑涂层、粉末融结涂层等。随着管道向极地、海洋、冻土、沼泽、沙漠等严酷环境延伸,对防腐蚀层性能提出了更严格的要求。因此,在管道外防腐材料研究中,都着眼于发展复合材料或复合结构,如三层结构、双层粉末结构。强调防腐蚀层要具有良好的介电性能、物理性能、稳定的化学性能和较宽的温度适应性能等。达到防腐、绝缘、保温、增加强度等多种功能。

#### (1) 常用外防腐蚀层

石油沥青防腐蚀层。石油沥青是比较落后的防腐蚀层。其主要缺点是吸水率大,耐老化性能差,不耐细菌腐蚀等,因此逐渐被其他防腐蚀层所取代。

但由于价格较低,可在“西气东输”工程集输管道和用户管道上使用。

**煤焦油瓷漆防腐层。**煤焦油瓷漆具有吸水率低、电绝缘性能好、抗细菌腐蚀等特点,优于石油沥青,是国外用于管道防腐的主要材料之一。不过煤焦油瓷漆在热敷过程中毒性较大,操作时须采取适当的劳保措施。可在“西气东输”工程集输管道和用户管道上使用。

**环氧煤沥青防腐层。**由环氧树脂、煤沥青、固化剂及防锈颜料所组成的环氧煤沥青防腐涂料,有强度高、绝缘好、耐水、耐热、耐腐蚀介质、抗菌等性能,适用于水下管道及金属构筑物防腐。同时还具有施工简单(冷涂工艺)、操作安全、施工机具少等优点,因而较石油沥青、煤焦油瓷漆更优越。目前国内已在油气管道上推广应用。不过环氧煤沥青防腐层属于薄型涂层,对钢管表面处理、环境温度、湿度等条件要求很严,稍有疏忽就会产生针孔,影响防腐效果。因此,施工中应特别注意。可在“西气东输”工程干线管道、集输管道、用户管道上使用。

**塑料胶粘带防腐层。**在制成的塑料带基材上,涂上压敏型粘合剂即成压敏型胶粘带,是目前使用较为普遍的一种类型。它是在掺有各种防老化剂的聚乙烯材料带上,挂涂特殊胶粘剂而制成的一种常温下有压敏粘结性能,温度升高后能固化而与金属有很好的粘结力的防腐材料。它可在管道表面形成一个完整的密封防腐层。压敏型胶粘带防腐作用主要由塑料基带承担,粘合剂只作为缠绕时的粘合媒介。胶粘带的另一种类型称自融型带,它的塑料基布薄,粘合剂厚。塑料布主要起挂胶作用,而粘合剂则具有防腐性能。由于粘合层厚,可以很好地关闭带层之间的间隙,有效地防止水分从间隙侵入。

**聚乙烯胶粘带具有较好的防腐绝缘性能,**施工方便,无污染,价格较低,防腐质量可靠,国外已应用30多年,并将其成功地运用于海底管道外防腐(双面型胶带)。目前我国化学工业部已引进美国POLYKEN技术,华北石油管理局等单位已开发出高性能共挤压型的防腐胶粘带,其剥离强度大于20 N/cm,推动了聚乙烯胶粘带的更新换代。因此胶带防腐仍有一定市场。在“西气东输”工程管网建设中,可用于其它涂层不适合施工的地方。

**聚乙烯包覆层。**待涂的管子通过专用机具,将聚乙烯塑料热挤塑在管道表面,形成紧密粘结在

管壁上的连续的硬质塑料外壳,俗称“夹克”。其应用性能、机械强度、原材料费用、适用温度范围等指标均较佳,补口一般可采用聚乙烯热收缩套(带、片),是目前性能优良的防腐涂层之一。近二十年来欧洲以德国为中心,重点发展了这项技术。据统计世界上已有五十多万公里的管道使用了夹克防腐层。对于小口径管道有成功的经验,目前我国在大口径的管道上应用出现了“夹克开裂”的问题。

**环氧粉末涂层。**环氧粉末涂层是将严格清理过的管子预热至一定温度,再把环氧粉末喷在管子上,利用管壁热量将粉末融化、冷却后形成均匀、连续、坚固的防腐薄膜。热固性环氧粉末涂层由于它的优异性能,特别适用于苛刻环境,如高盐、高碱的土壤,高含盐分的海水和酷热的沙漠地带。环氧粉末涂层喷涂方法由60年代静电喷涂研究成功到现在,已形成了完整的涂敷工艺,正向着高度自动化方向发展。近几年来,美国大口径管道中有40%~50%的工程采用环氧粉末涂层。

1986年以来,在两次黄河穿越,一次黄浦江穿越工程中,成功地利用国外材料制成环氧粉末涂层。目前已建成多条涂敷作业线,并开发出管道专用国产环氧粉末材料,熔结环氧粉末防腐层价格适当,更适合目前我国的管道防腐的需求。但传统的单层熔结环氧粉末防腐层具有耐机械撞击能力较弱、防水性较差的问题。石油工程研究院已立项目开展新型的管道外防腐双层环氧粉末及涂层技术的研究,为“西气东输”提供适用的天然气长输管道外防腐层技术。项目包括三方面的研究:底层环氧粉末涂料;面层环氧粉末涂料;双层环氧粉末涂料的涂层结构。预计本项目研究成功后,能够提高涂层的涂敷效率和使用范围,较大幅度地降低外防腐成本。

**三层防腐涂层。**由环氧树脂和挤压聚乙烯涂层相结合形成的三层聚烯烃涂层是一种新型的防腐系统,它综合了环氧树脂和挤压聚乙烯两种涂层的优良性质,显著改善了传统的两层防腐涂层的性质,特别是提高了抗阴极剥离能力和附着力。典型的三层防腐涂层的第一层是环氧树脂底漆层,分熔结环氧粉末、无溶剂环氧液、含溶剂环氧液三个品种,主要根据涂敷设备、管子直径、运行温度、所用表涂层及管子涂敷速度等因素选择。第二层即中间层,由共聚物或三聚物组成,主要成分是聚烯烃,中间层在无极性聚烯烃外涂层间起粘结作用。第三层是聚烯

烃表涂层,由挤压聚烯烃,如低密度、中密度聚乙烯或改性聚乙烯组成,涂层厚度视管子直径或管道运行条件而定。

烯烃表面涂层对管子主要起机械保护作用。另外,在气候炎热的国家,为防止长时间的阳光照射,还可在表涂层上附加一层 30~40 μm 厚的聚丙烯。三层涂层的涂敷工艺是按在线防腐设备设计的,可使用常规的连续涂敷设备。

1995 年我国引进国外技术,首次在陕京天然气管道和库鄯输油管道上采用三层结构聚乙烯防腐层,其后很快在靖西线、仙敦线、陕京输气进津线以及海洋石油管道等工程中获得应用,在 3 年内应用达 2 000 多公里,取得了很好的应用效果,成为了我国管道外防腐的理想选择。但三层结构聚乙烯防腐

层的价格较高,如何降低成本成为我国“西气东输”工程干线输气管道建设的重要研究课题。

(2) 常用外防腐蚀层材料评选

在“西气东输”工程中埋地管道外防腐蚀层的选择首先要讲究实用,即确保管道防腐绝缘,延长使用寿命之目的,第二才是防腐蚀层价格上的考虑。因为防腐费用仅占管道总费用的 3%~5%,否则可能因小失大,使管道受到损害,甚至发生严重事故。

在经济性比较时,不能只看防腐蚀层单价,而是要比较它们的最终使用经济效益,包括防腐蚀层性能好坏(使用寿命)、价格、补伤费用、管沟回填费用、敷管速度、阴极保护费用、阴极保护对外部埋地装置的干扰和环境污染。表 1 列出以石油沥青为准常用外防腐蚀层经济性比较。

表 1 常用外防腐蚀层经济性比较

涂层类别	石油沥青	煤焦油瓷漆	环氧煤沥青	聚乙烯胶带	聚乙烯夹克	单层环氧粉末	双层环氧粉末	聚烯烃三层结构
以石油沥青为准单位价格比较	低	较高	较高	较低	高	高	高	高
使用寿命(年)	30 左右	> 50	> 30	> 30	> 30	> 30	> 30	> 30
防腐性能	好	好	优良	优良	优良	优良	优异	优异
补伤费用	高,约相当于防腐层价格提高 7 %	较低	几乎没有	几乎没有	少	少	少	少
管沟回填费用	比单层环氧粉末涂层低,比聚乙烯夹克层多	比单层环氧粉末涂层低,比聚乙烯夹克层多	比石油沥青和单层环氧粉末涂层低	比石油沥青和单层环氧粉末涂层低	比石油沥青和单层环氧粉末涂层低	高	比石油沥青和单层环氧粉末涂层低	比石油沥青和单层环氧粉末涂层低
阴极保护费	高	低	低	低	低	比石油沥青低,比聚乙烯夹克层高	低	低
阴极保护对外部埋地装置的干扰程度	较大	小	小	小	小	小	小	小
敷管速度	慢,不便于机械化现场施工	慢,不便于机械化现场施工	较快	快,便于现场机械化施工	较快	较快	较快	较快
防腐材料运输费用	高,约为胶带施工的 5~10 倍	高,约为胶带施工的 5~10 倍	较小	较小	较小	较小	较小	较小

从表 1 可见,沥青防腐层的单价低于其他防腐。但因沥青防腐层强度低,管子在运输、堆放、焊管中损伤多,补伤费用高,据国外估计,补伤工作约占整个现场涂敷工作(补口加补伤)的 40 % 左右。所花补伤费用相当于石油沥青防腐层价格提高 7 % 左右,若按我国情况可能还更高,因此若考虑补伤费用,石油沥青防腐层单价与环氧煤沥青、胶带价格差不多。

综上所述,在“西气东输”工程中涉及的地理范围大,环境情况复杂,从技术上讲不能排除任何一种防腐层。因此,选择防腐层先要讲究实用,即确保管道防腐绝缘,延长管道使用寿命。管道工程设计人员在选择某区段的防腐涂层时,首先要弄清该区段的环境条件,包括土壤条件、施工条件、运行条件,由此确定对涂层性能的要求,在满足性能要求的基础上再考虑涂层施工的简便性、可行性和经济性,最后在优先满足占主导地位的环境因素这一基础上做一定程度的折衷,考虑一综合权衡的方案。

在对涂层的比较时,可以借鉴国外公司均采用独立试验室评价的方法。所谓独立试验室评价,就是采用同一种方法,相同规格的生产作业线成品管在同一试验条件下对各厂家各种涂层进行统一评价,排除各公司及研究单位对自己研制和生产产品的主观性评价。加拿大 NOVA 公司材料质量监督部门 1983 年在第五届国际管子内外涂层保护会议上提出一份独立试验室评价报告,该报告后来为许多公司所引用。ROYCHEM 公司也是用此法进行评价,他们通过试验研究,作好防腐涂层选择的技术准则,提出了对防腐涂层的最低要求。根据这一最低要求,对照各种涂料的物理化学性能,便可对涂层的选择提出了一个主导性的意见。

从技术上讲,“西气东输”工程在通过多石地段或河流穿越等地段,需选用机械强度较高的涂层,在这方面熔结环氧和挤压聚乙烯占有优势。在氯化物盐渍土壤地段首先应考虑耐 Cl<sup>-</sup> 的涂层,在这方面熔结环氧、挤压聚乙烯及煤焦油瓷漆占优势。在通过沼泽地段,除考虑长期耐水性外,还应看含盐成分。在有水的情况下阴离子的浸蚀是严重的,应全面考虑涂层耐化学性。在通过碳酸盐型土壤时,应

首先考虑耐 CO<sub>2</sub> 的涂层,在这方面石油沥青和胶粘带占有优势。在运行温度高的条件下,首先应考虑选用熔结环氧粉末涂层。综合环境条件和技术经验,在“西气东输”工程的干线管道外防腐中,三层结构和双层熔结环氧粉末涂层看来是首选。

在性能优异的涂层中选择,熔结环氧粉末涂层与三层结构可有一比较,见表 2 和表 3。由表 2、表 3 可见,无论性能和价格,双层熔结环氧粉末涂层看来是最优的。可优选为“西气东输”工程的外防腐层。据报道,“西气东输”将建管道 4 167 km,我们认为除山地多石地带,在高原和华东地区完全可以采用双层环氧粉末外防腐涂层,市场份额在 30 % 以上。按此市场份额计算则有 1 250 km 的市场,按 Ø1 118 mm 计算,可实现产值 2. 634 亿元,毛利 1. 229 亿元;比三层结构外防腐涂层节省 1. 317 亿元。

表 2

性 能	FB E	双层 FB E	三层 结构
涂敷工艺控制性			
涂敷工艺简易性			- -
与阴极保护相容性			
抗阴极剥离性能			
抗水渗透性能			
耐高温性能	- -		
抗物理损伤性能	- -		
现场补口性能			- -
阀门和接头涂敷性能			- -
低温柔韧性		- -	

表 3

项目	材料费	防腐层	设备和工艺	适用范围
双层 粉末	32 元/ m <sup>2</sup>	60 元/ m <sup>2</sup>	喷涂机, 工艺简单	直管,弯管, 接头
三层 结构	47. 5 元/ m <sup>2</sup>	90 元/ m <sup>2</sup>	喷涂机, 2 台挤出机, 工艺复杂	直管

(收稿日期 2000 - 06 - 26 编辑 王瑞兰)

and two types of its products developed at present are introduced and various factors affecting downhole gas liquid separation system are analyzed and discussed in the paper. It is concluded that in comparison with the common separation units, the downhole gas liquid separation system has many merits and can be applied at different occasions according to requirements; it is of a simple structure and small volume being easy to be repaired; and it is convenient and flexible to be utilized and can be used alone or by parallelling or series to increase the treatment capacity. In a word, the cost of lifting and treatment can be decreased, the producing life of gas well increased, gas recovery enhanced, environmental contamination reduced, surface separation simplified and investment benefit raised by realizing the downhole gas liquid separation and the produced water reinjection in gas production.

**SUBJECT HEADINGS:** Gas recovery, Gas water separation, Produced water reinjection, Downhole tool, Gas water separator

**Yang Qiming** (pofessor), born in 1948, graduated in mechanical engineering at the Southwest Petroleum Institute in 1982. Now he is engaged in teaching and scientific research works. Add: Nanchong, Sichuan (637001), China Tel: (0817) 2642795

## TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF THE INTERNAL AND EXTERNAL COATINGS OF LONG-DISTANCE GAS TRANSMISSION PIPELINE IN "WEST-TO-EAST NATURAL GAS TRANSMISSION" PROJECT

Yang Xiaohong (Research Institute of Engineering and Technology, CNPC). *NATURAL GAS IND.* v. 21, no. 2, pp. 89 ~ 93, 3/25/2001. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**ABSTRACT:** The western region development is a new strategy of the national economic construction in China and the "West-to-east Natural Gas Transmission" project is the number one engineering in the western region development. A major diameter long-distance gas transmission pipeline from Xinjiang to Shanghai will be constructed in the west-to-east natural gas transmission engineering and the internal-external coating system of the pipeline is one of basic constituent of the west-to-east natural gas transmission engineering. The quality of the coating is related to a long-term, safe and stable running of the long-distance gas transmission pipeline and the degree of optimization of coating structure is related to whether the pipeline engineering

can be constructed economically and high-effectively. Therefore the techno-economic analysis of the internal and external coatings of the long-distance gas transmission pipeline is a hot spot followed with great interest by the policy-making circles and technological circles of petroleum engineering in China at present. In view of such a long-distance gas transmission pipeline, it is pointed out by the author that through making the internal coating in the pipeline, the gas flow condition is improved so as to raise pipeline throughput, guard against inwall corrosion and increase economic returns. Meanwhile the kinds of the external corrosion prevention coating and how to choose the economic and applicable external corrosion prevention coating according to the concrete conditions of the pipeline crossing regions are introduced in the paper.

**SUBJECT HEADINGS:** Natural gas, Gas pipeline, Coating protection, Technique, Economic evaluation

**Yang Xiaohong** (senior engineer), born in 1963, graduated from the Chengdu University of Science and Technology and received his Doctor's degree in 1990. Now he is engaged in the research on the corrosion prevention techniques of surface and beach-marine petroleum engineering. Add: No. 40, Jin Tang highway, Tianjin (300451), China Tel: (022) 66310216

## FAULT TREE ANALYSIS OF NATURAL GAS PIPELINE FAILURE

Liao Kexi (Graduate School of Southwest Petroleum Institute) and Yao Anlin and Zhong Huaixin (Southwest Petroleum Institute). *NATURAL GAS IND.* v. 21, no. 2, pp. 94 ~ 96, 3/25/2001. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**ABSTRACT:** Natural gas pipeline often comes under the influence of human factor, stress, corrosive medium and impurity, thus causing the pipeline to be failed, which directly affects the reliability and lifetime of the natural gas pipeline. Various factors causing the pipeline to be failed are systematically analyzed and a fault tree of natural gas pipeline failure, that takes the gas pipeline failure as the top event, is set up in the paper. Through the fault tree analysis of natural gas pipeline, the minimum cut-set of each order of the fault tree is obtained, it is found that the major factors causing the pipeline to be failed are artificial destruction, serious corrosion and pipeline defect, and relevant measures of raising the reliability of the gas pipeline are proposed by the authors.

**SUBJECT HEADINGS:** Natural gas, Gas pipeline, corrosion control, Fault analysis

**Liao Kexi**, born in 1970, graduated in storage-transporta-