

TIANRANQI GUANDAO
ANQUAN YU GUANLI

天然气管道 安全与管理

石仁委 主编
宗照峰 主审



中国石化出版社
HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM

天然气管道安全与管理

石仁委 主编
宗照峰 主审

中国石化出版社

内 容 提 要

本书从天然气管道建设与发展趋势概况、天然气管道设计与施工质量监督、天然气管道运行的安全与管理、天然气管道检测与评价技术、天然气管道安全事故调查分析与监管等方面,对天然气管道发展趋势、管道安全与管理方面存在的问题、检测与评价、安全技术、设计施工监管、运行与维修、完整性管理、应急处置、事故调查、安全监管方法等进行了系统而全面的论述。

本书注重理论与实践紧密结合,立足于现场实际,突出内容的实用性和可操作性,可供广大从事天然气管道项目管理、检测评价、质量安全监管、运行维护等工作的工程技术人员及管理人员阅读参考,适宜作为相关管道输送企业的职工培训教材,亦可作为高等院校相关专业的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

天然气管道安全与管理 / 石仁委主编. —北京:
中国石化出版社, 2015. 4
ISBN 978-7-5114-3240-7

I. ①天… II. ①石… III. ①天然气管道-安全管理
IV. ①TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 046340 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 491 千字
2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷
定价:65.00 元

前 言

石油天然气推动着当今世界经济的发展，而管道作为输送石油天然气最经济的途径，已经成为可以与公路、铁路、水运、航空运输并驾齐驱的重要基础设施。据有关资料统计，2013年全球运行的长输管道有3559186公里（其中天然气输送管线占世界管道总量的80.5%），加上其他支线管网，已经超过1000万公里，是全球铁路里程的数倍。而我国的管道建设也正值高潮期。

与此同时，管道里程的延长意味着输送安全将成为重要的安全监管领域。无论是欧美等发达国家还是发展中国家，油气管道的事故教训都是相当惨痛的。1998年10月18日，尼日利亚由于火灾导致的输油管爆炸，造成1000多人死亡。2004年，比利时的油气管道因为破裂，造成24人死亡，132人受伤。同年，陕京线靖边出站因施工挖土作业将管线损坏，造成管线停气28.5小时，直接危及到向北京市供气。2006年，仁寿县输气管线发生爆炸事故，造成10人死亡。特别是2013年的11.22黄岛管道泄漏爆炸事故，促使我们不得不重新考虑管道安全可靠运行的技术路线和战略思考。

（1）保障管道安全首先在于立法、建标、政府监管。因为经常发生大型管道意外，美国就不断通过立法，完善对管线安全的管理。美国1968年通过了《天然气管线安全条例》，1979年通过《危险物体管线安全条例》，1988年美国国会通过了《油气管道安全再授权法案》，2002年因为发生了“9·11”恐怖袭击事件，美国又将管道列为反恐项目之一，2006年通过了《2006管道检测、保护、实施及安全法案》。国会还设计了在联邦政府的交通部下成立管道安全办公室（OPS）。国土安全部等其他六部门也有与管道安全监管相应的机构。全美的四大标准化组织制订了完善的涉及管道安全的标准体系。我国在2010年6月25日才通过了第一部关于管道安全方面的法律《中华人民共和国石油天然气管道保护法》，2013年6月29日通过了《中华人民共和国特种设备安全法》。我们至今尚没有建立完善的标准体系。管道安全政府监管更在探索之中。

（2）精细规划、科学施工，提升本质安全。“立法、建标、监管”是立足于对人的疏忽、懈怠、知识经验欠缺甚至自私行为的防范，而“精细规划、科学施工，提升本质安全”则更多强调管道建设过程的科学严谨，立足于未雨绸缪的技术防范层面。没有人怀疑规划设计的科学合理以及管道施工质量的可靠是保证安全的前提，问题是如何来实现这个思想。科学严谨的方案论证，立足安全可靠输送而非仅仅出于经济目标的投资预算保证，采用先进的技术和高质量的材料，严格的施工质量监管、符合法规标准要求的检测检验试验制度，尽量避开人口密集地区的设计路线、保持合理的安全距离，设置先进的沿程监控报警系统，自动事故（隐患）诊断，清晰明确的地面标识标志等都是实现这一思想的具体细节。

(3) 加强运行过程管理与应急处置。随着天然气管道的迅速发展,人们发现:大量仍然处于运行中的老旧管道,由于建设时焊接及检验技术落后,管道质量差,破裂泄漏事故频发;或者存在事故隐患,急需检测排查和有效维护管理;第三方破坏,特别是近年来一系列国际恐怖事件对管道的安全性管理提出了更高的要求;与此同时,与管道安全运行有关的新技术日新月异,已经具备了改进的手段。这种状况的存在,客观上要求:根据不断变化的管道因素,对管道运营中面临的风险因素进行识别和技术评价,制定相应的风险控制对策,不断改善识别到的不利影响因素,从而将管道运营的风险水平控制在合理的、可接受的范围内。即要按照管道完整性管理的规范进行管理,从而达到减少和预防管道事故发生、经济合理地保证管道安全运行的目的。除此之外,管道企业制订应急处理方案也是安全管理的重要措施,因为我们无论怎么努力,只能减少事故发生频率却无法彻底根除事故的发生。因此,应急处置也是管道安全管理的主要内容之一。

(4) 解决执法资源短缺的矛盾。一些研究结果显示,若是管线当初合理地埋到地下,配合定期检测评价和维修维护,管线的老旧并非问题。据美国媒体报道,该国超过一半的管线是在1970年以前埋设的,有些东岸的管线已经超过100年。怵头的问题在于,有不少管线被多次买卖,管线资料和维修记录已不存在。我国的主要管道也许存在的问题没有这么严重,但是,我们的支线管道即便是没有被反复买卖过,基础资料的完整程度却并不比美国好。事实证明,管道安全不能过分依赖人们的安全自觉来实现,必须有外部监管的约束,因而需要充分利用执法资源。

本书正是基于对以上管道安全问题以及对管理现状与可靠运行要求的思考而编写的。全书从天然气管道建设与发展趋势概况、天然气管道设计与施工质量监督管理、天然气管道运行的安全与管理、天然气管道检测与评价技术、天然气管道安全事故调查分析与监管等方面,对天然气管道安全与管理中存在的问题、设计施工监管、运行管理、检测与评价、安全技术、事故处理、管理思想、方法手段等进行了系统而全面的论述。

本书由中国石化胜利油田技术检测中心副总工程师石仁委主编,中国石化天然气分公司管道保护部主任宗照峰主审。在编写过程中,得到了中国石化天然气分公司、山东实华天然气有限公司、西北油田分公司薛吉明、张鹏、赵森、张志宏、刘强等领导 and 专家的大力支持并参与部分内容的讨论;胜利油田技术检测中心、保定驰骋千里科技公司的杨勇、陈凯、尚兵、李晓松提供了他们的最新研究成果及总结材料;东营科通工程技术公司的葛兴辉、胜利油田技术检测中心生产办的魏国栋等协助进行了部分资料、图表的整理工作,在此表示感谢。本书在编写过程中查阅、参考了大量学术期刊论文、学术专著,浏览并借鉴了大量的网站和平台资料及观点,甚至直接选取了部分论述,在此向有关作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不当之处,恳请读者批评指正。

目 录

第一章 天然气管道建设与发展趋势概况	(1)
第一节 天然气及管输的基本概念	(1)
一、天然气的组成与性质特点	(1)
二、天然气的类型与输送	(3)
三、天然气管输系统的组成与功能	(5)
四、天然气管道的特点	(6)
第二节 天然气管道建设与发展概况	(8)
一、我国天然气长输管道建设与发展概况	(8)
二、世界著名大型输气管道简介	(11)
第三节 国内天然气市场发展趋势及其对管输系统的影响	(12)
一、影响国内天然气市场发展的因素分析	(12)
二、国内天然气市场的现状与发展趋势	(14)
三、天然气市场发展对管道输送系统的要求	(16)
四、安全管理是天然气管道发展的基石	(17)
第二章 天然气管道设计与施工质量监督与管理	(21)
第一节 天然气长输管道工程技术发展概述	(21)
一、天然气长输管道的现状与发展	(21)
二、管道工程设计技术的发展	(24)
三、管道施工装备及施工技术的发展	(27)
四、管道防腐蚀技术的发展	(28)
五、管道工程建设管理模式的发展	(35)
第二节 天然气管道规划设计与技术管理	(37)
一、输气管道设计的基本要求	(38)
二、输气管道的工艺设计	(41)
三、线路工程的敷设计	(44)
四、管道与管道附件的结构设计	(47)
五、输气站与压气站的工艺设计	(48)
第三节 天然气管道的施工与质量控制	(50)
一、施工阶段的主要管理环节及内容	(50)
二、线路工程施工的基本工序	(51)
三、施工过程的基本技术要求	(53)
四、施工过程中的具体技术质量控制要点	(56)
五、施工过程中的技术质量管理	(69)

第四节	长输天然气管道安全保护距离	(70)
一、	长输天然气管道与其他管道之间的安全保护距离	(70)
二、	长输天然气管道与铁路之间的安全保护距离	(70)
三、	长输天然气管道与公路及桥梁之间的安全保护距离	(71)
四、	长输天然气管道与通信线缆、电力设施之间的安全保护距离	(73)
五、	输气站、放空管与其他设施之间的安全保护距离	(74)
第三章	天然气管道运行的安全与管理	(76)
第一节	天然气管道运行新技术发展概况	(76)
一、	数字化运行管理技术	(76)
二、	相关输送技术	(80)
三、	LNG 接收终端技术	(82)
四、	天然气管道完整性管理技术	(86)
五、	安全预警技术	(91)
第二节	管输系统运行管理	(95)
一、	输气站场运行与管理原则	(95)
二、	站场工艺设备管理要求	(98)
三、	输气管线的运行与维护管理	(101)
四、	管道的修复(维护维修与管段更换)	(106)
第三节	管道完整性管理	(113)
一、	管道完整性管理主要应用概述	(113)
二、	城市天然气管道完整性管理案例	(117)
三、	长输天然气管道完整性管理案例	(132)
四、	完整性管理体系中的管道修复技术管理方案	(136)
第四节	天然气管道安全应急管理 with 应急处置	(153)
一、	天然气管道应急管理 with 应急处置	(153)
二、	某地下管线挖断事故应急预案	(159)
三、	某重点长输天然气管道事故应急预案	(165)
四、	某地方政府石油天然气管道事故应急预案	(178)
第四章	天然气管道检测与评价技术	(183)
第一节	管道泄漏的监、检测技术	(183)
一、	管道泄漏及其监、检测技术概述	(183)
二、	管道微量泄漏监、检测技术	(184)
三、	管道盗气点检测技术	(188)
第二节	管道本体缺陷或隐患的直接检测技术	(189)
一、	管道本体缺陷或隐患的检测与评价技术概述	(189)
二、	管道内检测技术	(192)
三、	管道无损检测与涂层质量直接检测方法	(196)
四、	管道超声导波检测技术	(200)
五、	管体缺陷直接检测技术	(202)
第三节	埋地管道外防护状况及杂散电流地面检测与评价技术	(210)

一、埋地管道外防护状况地面检测与评价技术概述	(210)
二、埋地管道地面探测方法	(213)
三、埋地管道外防腐层状况地面检测方法	(214)
四、埋地管道阴极保护系统的检测	(216)
五、杂散电流的概念及其检测与排流技术	(220)
第四节 管体缺陷隐患的地面间接检测技术	(226)
一、磁力层析检测技术	(226)
二、瞬变电磁法检测技术	(230)
三、管道隐患风险的直接评估方法	(233)
四、天然气管道地面综合检测评价案例	(235)
第五章 天然气管道安全事故调查分析与监管	(248)
第一节 天然气管道事故案例与风险特征分析	(248)
一、天然气管道事故及类型	(248)
二、天然气管道的主要安全风险特征	(252)
第二节 天然气管道事故统计与调查	(257)
一、天然气管道事故调查方法	(257)
二、天然气管道事故状况统计	(261)
三、天然气管道事故调查案例	(263)
第三节 引发事故的主要因素分析	(267)
一、外力因素	(267)
二、腐蚀因素	(269)
三、设计施工与材料缺陷因素	(272)
四、人员误操作因素	(274)
五、其他技术层面因素	(274)
六、管道周围环境变化因素	(275)
七、安全监管体制及法制因素	(276)
第四节 天然气管道安全管理与政府监管	(278)
一、天然气管道安全管理的基本思路	(278)
二、美、加等国管道安全监管体系	(283)
三、建立我国的管道安全监管体系	(299)
参考文献	(302)

第一章 天然气管道建设与发展趋势概况

天然气是一种优质、高效、清洁的能源和化工原料。进入 20 世纪 70 年代以来，世界天然气发展速度加快，大大超过了石油工业的发展速度。天然气在能源生产结构中的比例也迅速提高。目前，一般发达国家天然气在能源生产结构中的比例大约在 30% 左右，而天然气在我国能源结构中的比例很小，近几年虽然经过了快速发展，但是天然气在能源结构中的总占比仍然在 10% 以下。因此，为了改善我国能源结构，保护生态环境，应提高天然气在我国能源消费结构中的比例，加快我国天然气工业的发展，发挥天然气资源的优势，实现资源的合理利用。

世界各国天然气工业发展的经验表明，天然气工业要发展，管道必须先行。20 世纪 90 年代以来，我国也进入了天然气管道建设的快速发展期。天然气管道的网络化以及管网与运营分离，不仅已经成为中国管道建设发展的必然趋势，也是下一步经济改革在管道运输领域的时代要求，这种变化趋势，对天然气管道的运行管理和安全提出了新的要求。

第一节 天然气及管输的基本概念

一、天然气的组成与性质特点

天然气是由碳氢化合物和其他成分组成的混合物，主要由甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷组成，其次还含有微量的重碳氢化合物和少量的其他气体，如氮气、氢气、硫化氢、一氧化碳、二氧化碳、水气、有机硫等。不同地区、不同类型的天然气所含组分不同，因而性质特点不同。

1. 天然气的组成

将天然气所含组分进行归纳，大致可以分为三类，即烃类组分、含硫组分和其他组分。

(1) 烃类组分 烃类组分是天然气的主要组分，其占天然气含量的 90% 以上，烃类组分又以甲烷含量最高，达到 70% ~ 90%。烃类组分是只有碳和氢两种元素组成的有机化合物。

(2) 含硫组分 天然气中的含硫组分又可以分为无机硫化物和有机硫化物两类。无机硫化物组分只有硫化氢。天然气中有时含有有机硫化物，如硫醇、硫醚、二硫醚、二硫化碳、硫酚等，其对金属的腐蚀虽不及硫化氢严重，但是它会使催化剂失去活性，且大多数有机硫化物有毒有味，污染空气。天然气中含有硫化物时，必须经过脱硫净化处理，才能进行管输和利用。

(3) 其他组分 除去烃类和含硫组分之外的组分，如少量的二氧化碳、一氧化碳、氧及水气等。

2. 天然气的物理性质

1) 相对分子质量和相对密度

天然气是由多种组分组成的混合气体，无明确的分子式，所以也就无明确的相对分子质

量；而作为衡量单位体积天然气质量的密度与压力、温度的关联性又很大，单独讲天然气的密度意义不大。所以一般用同温(273.15K)同压(101.325kPa)条件下天然气的密度与空气的密度之比，即相对密度来表征天然气的密度这个物理性质。就像天然气没有明确的相对分子质量一样，同样由于不同地区不同类型的天然气的组分不同，天然气的相对密度也不一致，通常在0.5~0.7的范围内变化。

2) 黏度

天然气的黏度与其组分的相对分子质量、组成、温度、压力有关。但是，由于天然气中的主要烃类组分是甲烷，一般情况下，其体积组成为95%以上，故一般用甲烷的黏度笼统地代替天然气的黏度。很显然，各产地、各类型天然气黏度的区别则实际上是由其非甲烷类的组分以及其压力、温度而决定的。

3) 可压缩性

天然气分子之间内聚力不大，所以分子之间距离大，具有很大的可压缩性，相应地也可以认为具有膨胀性。

4) 热值

天然气燃烧时要有一部分热能消耗于水的汽化(汽化热)，这部分热值是无法利用的。所以，工程上常用全热值扣减汽化热后的净热值来表示天然气的热值。

5) 可燃性限和爆炸限

(1) 可燃性限 可燃气体与空气的混合物进行稳定燃烧时，可燃气体在混合气体中的最低浓度称为可燃下限，最高浓度称为可燃上限。可燃下限与可燃上限之间的浓度范围称为可燃性界限，简称可燃性限。

(2) 爆炸限 可燃气体与空气的混合物，在密闭系统中遇明火发生爆炸时，可燃气体在混合气体中的最低浓度称为爆炸下限，最高浓度称为爆炸上限。爆炸上限与爆炸下限之间的浓度范围称为爆炸界限，简称爆炸限。

当压力低于6665Pa时，天然气与空气的混合气体遇明火不会发生爆炸。而在常温常压下，天然气的可燃性限为5%~15%；随着压力升高，爆炸限急剧上升，当压力为 1.5×10^7 Pa时，其爆炸上限高达58%。

6) 节流效应

天然气在流经节流装置和元件时，流速增加，体积膨胀、压力急剧降低引起的温度急剧降低甚至产生冰冻的现象称为节流效应。

节流效应会产生能量的节流损失。另外，天然气中的二氧化碳、水分、硫化物更容易在节流处产生水合物，冬天产生冰堵现象，影响正常输气生产和安全。

7) 天然气中的水及其他杂质

(1) 天然气中的水 天然气的含水量与其在地层中所处的条件有关。其危害主要有：

① 天然气中的含水如果处理不干净，将含有水和酸性离子，会形成一种电解质，对金属产生电化学腐蚀和化学腐蚀；

② 天然气中的烃类成分在一定的条件下，将与水结合形成水化物，堵塞管道、仪表、阀门。

(2) 天然气中的其他杂质及其影响 天然气中往往含有气体、液体、固体杂质。液体杂质有水 and 油，固体杂质有泥沙、岩石颗粒等，气体杂质有硫化氢、二氧化碳等。其危害主要有：

① 增加输气阻力，使管线输送能力下降。含液量越高，气流速度越低，越易在管线底部积液，形成液堵；

② 含硫水会腐蚀管线设备；

③ 固体杂质冲蚀管壁；

④ 影响天然气流量计量准确性。

8) 天然气组分

天然气组分会影响输气管线的止裂韧性值。

3. 天然气水合物

1) 天然气水合物的形成

天然气水合物是由天然气中的某些组分和水组成，是一种白色结晶固体，形似松散的冰。天然气水合物是一种笼形晶状包络物，即水分子借氢键结合成笼形晶格，而气体分子则在分子间力的作用下被包围在晶格笼形空室中。

2) 水合物形成和存在条件

(1) 天然气中有足够的水蒸气并有液滴存在；

(2) 天然气处于适宜的温度和压力状态，即相当高的压力和相当低的温度。

3) 水合物对输气产生的影响

水合物在输气干线或输气站的某些管段如弯头、阀门、节流装置等处形成后，天然气的流通面积减小，形成局部堵塞，影响正常输气或平稳供气。若水合物在节流孔板处形成会影响天然气流量计量准确性。

二、天然气的类型与输送

1. 天然气的类型

1) 基本分类方式

天然气有多种分类方式：按照油气藏的特点，一般可分为气田气、凝析气田气和油田伴生气，特殊情况下还有天然气水合物以及吸附性天然气等类型；按照天然气中烃类组分的含量多少，可分为干气(戊烷以上烃类组分很少)和湿气(戊烷以上烃类组分含量较高)；按含硫量差别，可分为清洁气和酸性天然气；按照天然气压缩、冷却处理情况，可分为常规天然气、液化天然气、压缩天然气。

2) 按国家技术标准分类

国家技术标准将天然气按照硫和二氧化碳含量分为一类、二类和三类。其技术指标规定见表 1-1。

表 1-1 天然气技术标准

项 目	一 类	二 类	三 类
高位发热量/(MJ/m ³)	>31.4		
总硫/(mg/m ³)	≤100	≤200	≤460
硫化氢/(mg/m ³)	≤6	≤20	≤460
二氧化硫/%(体积分数)	≤3.0		—
水露点/℃	在天然气交接点的压力和温度条件下，天然气的水露点应比最低环境温度低 5℃		

一、二类天然气主要用作民用燃料，三类天然气主要用作工业燃料或原料。

2. 天然气的输送方式

天然气输送方式也有多种。但是，大宗天然气的输送方法目前只有两种，一种是用管道输送，另一种是将天然气液化后用专用的油轮运输。

不同类型的天然气要有与其适配的输送方式。大致可以分成以下几种：

(1) 常规天然气输送 常规天然气通过管道输送。其优点是输送量大、配置转送方便、技术成熟；缺点是成本高、通道占地多，影响城市其他规划的实施，安全风险相对较高，灵活适应性差。大约 75% 的天然气是通过管道输送的，而且这个比例还在不断提高。特别是长距离输气管道呈现出以下特点：平均运距增大，如俄罗斯西西伯利亚至东欧的天然气输送管道全长达到 5470km，我国的西气东输二线管道干线长度达到 4895km；口径大，最大口径达到 1420mm；高压，陆上达到 12MPa、海底达到 21MPa；可自动遥控；可形成大范围的供气系统。

(2) 液化天然气输送 液化天然气(LNG)用专用船舶、罐车运输。开采出来的液化天然气，经过净化处理，并利用经过净化天然气的压力经膨胀机制冷使其液化(若压力过低，需要加压)，在 LNG 装置中再使用液氮补充冷却，将其降至 -162°C 以下而形成液态，实现液态运输。

其优点是体积缩小 620 倍，便于运输；代替长输管道投资，降低投资成本；海运超过一定距离时，船舶运输成本优势明显；可以有效回收边远、零散的天然气；占地少，工期短，受地质条件约束少。缺点是输送量有限，路上运输成本高、风险高。其主要应用在远离气源且管线未覆盖到的地方用气，以及城市燃气调峰、用作优质汽车燃料和冷却剂使用。

(3) 压缩天然气输送 压缩天然气(CNG)用管束容器储运。这属于高压储运，一般在 20~25MPa。其优点是在一定运距范围内具有竞争优势；灵活性强，投资少；使不能管输的天然气得到有效利用，方便未敷设管道的边远地区，补充城市管道供气不足。缺点是在许多情况下成本高，且高压储气安全隐患多。

3. 管输对天然气气质要求

由于世界各国天然气资源情况不同，其组分含量亦不同，对管输的要求也不尽相同。但是，随着天然气在能源结构中比例上升，输气压力升高，输距增长，对气质的要求也更趋严格。

1) 民用气的管输要求

(1) 天然气中的含硫量 规定天然气中含硫量的目的在于控制气体配气系统的腐蚀以及减少对人体的危害。在较低的浓度下， H_2S 会刺激眼睛。反复短时间与 H_2S 接触，可导致眼睛、鼻子、喉咙的慢性疼痛，但是，只要在新鲜空气下这种疼痛就会很快消失。 H_2S 也是一种可燃气体，能够在空气中燃烧，由于 H_2S 具有剧毒，必须将 H_2S 控制在一定的范围内。

(2) 天然气中的总硫含量 作为燃料，这个要求是由所含的硫化物燃烧生成二氧化硫对环境和人体的危害程度确定的，按表 1-1 执行。

(3) 天然气加臭要求 作为民用天然气应有可以察觉的臭味，无臭味或臭味不足的天然气应该加臭。加臭剂的最小剂量应符合当天然气泄漏到空气中，达到爆炸下限的 20% 浓度时，应能察觉。加臭剂常用具有明显臭味的硫醇、硫醚或其他含硫化合物配制。

城镇燃气加臭剂应符合下列要求：

① 加臭剂和燃气混合在一起时应具有特殊的臭味；

② 加臭剂不应对人体、管道或其他接触的材料有害；
 ③ 加臭剂的燃烧产物不应对人的呼吸有害，并不应腐蚀或伤害与此燃烧产物经常接触的材料；

④ 加臭剂溶解于水的浓度不应大于 25% (质量分数)；

⑤ 加臭剂应有在空气中能察觉的加臭剂含量指标。

加臭剂不仅是为了让人能察觉到天然气泄漏，更是一种管道检漏的方法，有助于发挥社会公众对管道事故报警中的作用。它是天然气输配系统重要的安全措施。

加臭是从安全用气的需要而设置的，加臭装置一般设置在城市门站或储配站。

2) 天然气长输管道对气质的要求 (见表 1-2)

表 1-2 我国天然气长输管道气质的技术指标

项 目	技术质量指标
高位发热量/(MJ/m ³)	>31.4
总硫/(mg/m ³)	≤200
硫化氢/(mg/m ³)	≤20
二氧化硫/%(体积分数)	≤3.0
氧气/%	≤0.5
水露点/℃	在最高操作压力下，水露点应比最低输送环境温度低 5℃

(1) 在管道工况条件下，应无液态烃析出。

(2) 天然气中固体颗粒含量应不影响天然气的输送和利用。固体颗粒的直径应小于 5μm。

三、天然气管输系统的组成与功能

1. 天然气管输系统功能划分

天然气管输系统一般分为三部分，即天然气集输系统、天然气输送系统、城市配气系统。

(1) 天然气集输系统 天然气集输系统系指天然气从气井至天然气外输之前的全部设施。内容包括井场装置、采气管线(单井管线)、集气支线、集气干线、集气站、净化站、计量站等。

(2) 天然气输送系统 天然气输送系统包括输气站场和输气线路。输气站场包括输气首站、中间气体分输站、中间气体接收站、清管站、末站(或城市门站)、城市配气站及压气站。输气线路则包括输气干线、干线截断阀室、障碍(江河、水利、道路)的穿跨越、阴极保护、防腐站等。

(3) 城市配气系统 城市配气系统包括配气站、配气管网、各种类型的储气设施和储气库以及各类调压站。

在建设天然气管输系统的同时，还要同步建设通讯系统与管道自动化系统，包括数据传输通道、各种仪表、传感器、系统软件等。

2. 各系统中不同组成部分的功能与作用

(1) 天然气井场 设于井口附近，从气井出来的天然气，经节流调压后，在分离器中脱离游离水、凝析油及机械杂质，经过计量后送入集气管线。

(2) 油气田集气站 将两口以上的气井来气从井口输送到集气站，在集气站内对各气井

来天然气进行节流、分离、计量后集中输入集气管线。

(3) 天然气压气站 分为矿场压气站、输气干线起点压气站和中间压气站。当气田开采后期(或低压气田)地层压力不能满足生产和输送要求时需设矿场压气站,将低压天然气增压至工艺要求的压力,然后输送到天然气处理厂或输气干线。天然气在输气干线中流动时,压力不断下降,需在输气干线沿途设置压气站,将气体增压到所需的压力。压气站设置在输气干线的起点则称为起点压气站,设置在输气干线的中间某一位置则称为中间压气站,中间压气站的多少视具体工艺参数情况而定。

(4) 天然气处理厂 当天然气中硫化氢、二氧化碳、凝析油等含量和含水量超过管输标准时,则需设置天然气处理厂进行脱硫化氢(二氧化碳)、脱凝析油、脱水使气体质量达到管输的标准。

(5) 调压计量站(配气站) 设于输气干线或输气支线的起点和终点,有时管线中间有用户时还需设中间调压计量站,其任务是接收输气管线来气,进站进行除尘,分配气量、调压、计量后将气体直接送给用户,或通过城市配气系统送到用户。

(6) 输气管线或管网 在矿场内部,将各气井的天然气输送到集气站的输气管道叫做集气管网。从矿场将处理好的天然气输送到远处用户的输气管道叫输气干线。在输气干线经过铁路、公路、河流、沟谷时,有穿越和跨越工程。配气管网是城市内部输送和分配天然气的管网,它把天然气从配气站输送至各类用户。

(7) 清管站 为清除管内铁锈和水等污物以提高管线输送能力,常在集气干线和输气干线设置清管站,通常清管站与调压计量站设在一起便于管理。

(8) 阴极保护站与防腐站 阴极保护站与防腐站大部分情况下是合二为一的。为防止和延缓埋地管线的腐蚀,在输气干线上每隔一定距离设置一个防腐站及阴极保护站,对输气管线进行阴极保护和向管内定期注入缓蚀剂。

(9) 通讯系统 通讯系统分为有线(架空明线、电缆、光纤)和无线(微波、卫星)两大类。输气管线的通讯系统通常又作为自控的数据传输通道,它是输气管线系统进行日常管理、生产调查、事故抢修的必备手段和工具,是安全、可靠、平稳供气的保证。

四、天然气管道的特点

天然气的集、输、配管道尽管其作用都是为了输送天然气,但各有其特点。

1. 矿场集输管道

矿场集输管道分为矿场集气支线管道和干线管道。矿场集气支线管道是气井井口至集气站的管道。矿场集气干线管道是集气站到天然气处理厂或增压站或输气干线首站的管道。相对于其他管道具有如下特点:

- (1) 管径小、管网密度大;
- (2) 不需要加压输送;
- (3) 需要对水分、泥沙、岩石颗粒以及其他杂质进行就近处理。

2. 长输管道

天然气长输管道也叫干线输气管道,主要由线路和输气站组成。线路包括沿线截断阀、阴极保护站,输气站包括清管站(《天然气输气管道工程设计规范》规定清管站应建在输气站内),其他还包括通信、自动监控、道路、水电供应、线路巡检维修和其他一些辅助设施和建筑,对于采用低温输送工艺的管道,还应有中间冷却站。

干线输气管道是连接矿场集气系统和城市门站(或配气站)的纽带,将经过矿场处理后

的洁净天然气送往城市。与矿场输气管道与城市配气管网相比，其具有输送距离长(从几百公里至几千公里)、管径大(一般在400mm以上，最大可达1420mm)、压力高(操作压力为4.0~10.0MPa)的特点，而且与其他输送方式或其他如油品等长距离输送管道相比，长距离输送天然气管道还具有如下特点：

(1) 运量大、输送简单、效率高 管道绝大部分埋设于地下，占地少，受地形地物及恶劣气候影响小，能够连续运行，再加上运送介质本身就是很好的动力源，可以靠消耗自身克服摩擦阻力将天然气运达目的地，所以是目前最有效、最大规模的运输系统，甚至是大量输送天然气的唯一有效办法。

(2) 系统平衡要求高 从采气、净化、长输到城市供气各个环节，形成了一个密闭系统，上下游之间紧密相连而又互相制约，一方面便于管理和易于实现远程集中监控，另一方面又存在着矿场天然气生产的相对稳定与城市用户用气的不均衡性之间的矛盾，作为中间环节的长输管道，要解决好这一矛盾，其设计和运行管理要比矿场和城市输气管道更复杂。

(3) 社会影响大 不同于油品或普通工业用品，天然气输送管道虽然输送的也是燃料、能量或化工原料，但它最主要的是担负着向某些城市和地区的居民供气，涉及国计民生和千家万户，甚至社会稳定的问题，一旦中断，将影响所涉及的这些城市或地区的人民的正常生活秩序和工业生产，因此必须保证安全、连续、可靠地供气。这需要在设计和管理上采取特别有效的措施予以保证。

(4) 输送压力高、易燃易爆、风险大 天然气长输管道与输油管道的安全性质完全不同，输气管道的损伤有可能引发爆裂或撕裂，这种事故会给周围居民和环境造成巨大破坏，而且难以短期修复。因此要求在管材的选用上要更慎重，管子质量把关更严格，尤其在管道施工全过程中，注意防止管子装卸碰伤和损坏绝缘层等，在焊接过程中防止产生裂纹，要更加细致地施工。要从冶金、制管、勘察设计、施工和运行管理全过程中，建立完善的输气管道质量保证(QA)体系。

(5) 配套建设及配套技术要求高 长输管道要求有与之配套的通信、道路交通、水电供给等附属设施，在以电动机为原动机的压气站，电力供应必须保证万无一失，有线和无线通讯系统也是不可缺少的设施之一，是全线生产调度指挥的重要工具。随着天然气工业的迅猛发展，跨国、跨省跨地区的天然气输送管道正在建设或即将建设，这就要求如通讯卫星、微波技术以及局域网和广域网等这些更先进更完善的技术，应用到天然气长输管道的通信调度指挥系统和生产自动化的信息传输系统中来，确保管道连续、可靠和高效运行。

3. 城市输配气管道

城市配气系统主要包括配气站、配气管网及支管、储气库和各类调压站所。它的任务就是从配气站(或称城市门站)开始，通过各级配气管网和气体调压所保质保量地直接向用户供气。

城市输气管道从城市门站开始，遍布整个城市和近郊，通常有树枝状和环状两种布置方式，以环状居多。其主要特点为：

(1) 管径变化范围宽 从 $\phi 20\text{mm}$ 到 $\phi 1000\text{mm}$ 以上。

(2) 压力等级多 对于规模较大的城市，尤其是人口多、密度大的特大城市，配气管网多采用多级系统，这些管道按照《城镇燃气设计规范》(GB 50028—2006)根据压力高低分为五个等级，见表1-3。

表 1-3 城镇燃气压力等级

MPa

分 级	高 压	中 压	低 压
A 级	$0.8 < p \leq 1.6$	$0.2 < p \leq 0.4$	$p \leq 0.005$
B 级	$0.4 < p \leq 0.8$	$0.005 < p \leq 0.2$	

(3) 不同压力管道不能直接相连 气体从高压力等级管网输入低压等级管网必须经过调压, 绝不允许不同压力等级的管道直接连通。

(4) 根据压力不同, 执行不同标准 城市配气管网的设计应遵照《城镇燃气设计规范》(GB 50028—2006) 执行。但是, 对于城市或城镇敷设压力高于 1.6MPa 的燃气管道, 称为超高压燃气管道, 其设计应按照《输气管道工程设计规范》(GB 50251—2003) 进行。

第二节 天然气管道建设与发展概况

一、我国天然气长输管道建设与发展概况

我国的天然气管道建设虽然起步晚, 但是, 最近这些年突飞猛进式的发展却超出了世界大多数国家及专家的预料。根据设想, 我国到“十二五”末期, 投入运行的全国各级输气干线总里程将达到 25×10^4 km。其中涉及国际、省际、城际和气田集输干线大约 2300 条, 包括大约 110 条左右的非常规天然气(页岩气、煤制气、煤层气)管道。从 2013 年底起, 除西藏以外的每个省市自治区都有至少一条省际干线天然气管道, 从而带动我国各类天然气用户消费需求的激增。

1. 我国天然气长输管道建设发展阶段概述

我国幅员辽阔, 天然气资源主要集中在中西部地区, 而市场则相对集中在东部和南部地区, 输气管道的建设对天然气市场的发展起着巨大的推动作用。

1) 我国天然气管道的起始阶段

我国真正意义上的天然气长输管道在 20 世纪 50 年代以前还是空白。随着四川天然气的相继开采, 输气管道建设也蓬勃兴起。自 1963 年在四川省建成了我国第一条大口径输气管道巴渝线($\phi 426$ mm, 55km)之后, 又陆续建成了付纳线($\phi 720 \times 8$ mm)、威成线($\phi 630 \times 7$ mm)、泸威线($\phi 630 \times 8$ mm)、卧渝线($\phi 426 \times 6$ mm)等输气管道。1984 年底建成四川南半环输气管网, 干线总长 3400km。1987 年底四川北半环(330km、 $\phi 720$ mm)东起渠县西至成都的输气管道投产, 途径 11 个县市, 全线设计量站、清管站、阴极保护站和截断阀室共 18 座, 采用密闭正反输清管流程, 计算机程控计算, 大型电动球阀或气液联动操作, 不停输程控清管, 并具备事故自动截断功能, 配套的通信工程为数字微波通信。至此, 四川环形天然气输送管网初步形成。环状的输气干线和枝状集输管线组成的输送系统, 将四川气田开发区与各大城市连在一起, 形成了一个四通八达、输配自如的输气管网系统。

此外, 在其他各油气田也相继修建了一批输气管道。分布在大庆、塔里木、长庆、青海、普光、辽河、吉林、华北、胜利、大港、中原、新疆等油气田的天然气输送管道, 总长度超过 10000km, 这些管线的技术水平与川内管线水平相近。

2) 我国天然气管道的快速发展阶段

进入 20 世纪 90 年代以后, 尤其是西部大开发战略的实施, 随着长庆油气田和新疆天然

气的开发,我国的天然气长输管道建设进入了快速发展时期。海洋长输管道建设也掀开了新篇章。1992年我国建成了全长48.5km的锦州20-2气田至兴城的海底输气管道,这是我国第一条海底登陆管道。随后在南中国海莺歌海水域敷设了两条海底输气管道:一条是崖城13-1气田至香港;一条是崖城13-1气田至海南岛,其中至香港的管道全长778km, $\phi 711.2\text{mm}$,壁厚17.12mm,设计压力8.0MPa,材质X-65,由美国阿科公司负责设计和建造。1993年7月建成了247.45km、 $\phi 630\times 7\text{mm}\sim\phi 720\times 7\text{mm}$ 的黑龙江伊兰至哈尔滨人工煤气长输管道,最大工作压力2.16MPa,管道施工首次采用纤维素焊条打底、低氢型焊条填充盖帽的焊接新工艺,同时首次大规模使用了性能良好的环氧煤沥青进行防腐。1997年相继建设了陕京线(靖边至北京 $\phi 660\text{mm}$, 920km)、靖边至西安($\phi 406\text{mm}$, 486km)、靖边至银川($\phi 406\text{mm}$, 303km)和轮南至库尔勒($\phi 660\text{mm}$, 223km)等天然气管道,这些管道的设计都采用了最新的制管技术、管道防腐技术以及国外80年代的新技术、新设备和SCADA监控系统,使我国的天然气管输技术水平大大向前推进了一步。

3) 我国天然气管道的全面提升阶段

天然气管道建设经过10年左右的快速发展之后,随着我国经济的强劲增长,对新能源的需求进一步增加,西气东输工程正式启动,标志着我国天然气管道输送行业进入到全面提升阶段。根据《天然气管网布局及“十一五”发展规划》,2006~2010年,我国规划建设天然气长输管道约 $1.6\times 10^4\text{km}$,到2010年总长度将达到 $4.4\times 10^4\text{km}$,实现天然气西气东输、北气南下、海气登陆、就近供应目标。最终形成以轮南至上海、长庆至北京为主干线的西气东输管线、陕京线,以及以川渝、京津冀鲁晋、长江三角洲、西北、两湖区为主的地区性天然气管网,促成全国天然气资源多元化、供应网络化和市场模块化。

4) 我国天然气管道的建设高潮

2014~2020年,中国将迎来天然气管道建设的高潮期,这个阶段也是我国天然气管道的完善发展阶段。其特点是国家天然气供应骨干网络进一步发展延伸,区域供气管道实现网络化全覆盖,气源多样化,多气源确保可靠供应。新建包括:中亚C/D线、中缅、中俄、陕京四线、中石化新粤浙煤制天然气等干线管道及配套支干线管道、中贵天然气管道、永泰天然气管道等联络线管道;还有唐山LNG外输天然气管道、大连-沈阳天然气管道、江苏LNG外输天然气管道等LNG接收站配套外输管道等。

此外,随着新疆、内蒙古和山西的煤制天然气项目和西南盆地的页岩气的发展,也需要配套建设相应的天然气管道。

2. 西气东输与海气登陆两大战略工程建设

1) “西气东输”工程

“西气东输”是我国西部大开发战略的标志性工程之一。广义上的西气东输工程有三条输气管道备受瞩目,建成后将使亿万民众受惠。

一是青海涩北至甘肃兰州(涩-宁-兰线)。全长953km, $\phi 660\text{mm}$,输气能力 $20\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$,总投资约25亿元,2000年开工建设,2002年竣工投产,向西宁、兰州地区供气。

二是重庆忠县至武汉的输气管道(忠-武线)。全长738km, $\phi 711\text{mm}$,输气能力 $30\times 10^8\text{m}^3/\text{a}$,总投资约30亿元,2000年开工建设。除忠-武干线外,还规划了武昌-黄石、枝江-荆门-襄樊和潜江-长沙三条支线,向湖北、湖南地区供气。

三是于2002年7月4日正式全面开工的举世瞩目的新疆塔里木至上海的输气管道(通常所说的“西气东输”)。西气东输一期项目是中国主要基建工程,于2004年12月31日正式