

TIANRANQI GUANDAO ANQUAN

# 天然气管道安全

赵秀雯 于力 柴建设 / 编著



化学工业出版社

TIANRANQI GUANDAO ANQUAN

# 天然气管道安全

赵秀雯 于力 柴建设 / 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是“十二五”国家科技支撑计划重大项目“城市安全生产风险动态监管技术的研究与示范”(2011BAK01B00)和北京市创新人才计划“北京市天然气管道系统脆弱性评估与天然气泄漏扩散模拟研究”两个课题的研究成果。主要阐述了天然气基础知识,国内外天然气资源及发展状况,城市天然气的供需市场分析,天然气管道输送及其风险分析,天然气管道的安全评价方法、安全检测技术、安全管理与应急救援,天然气管道的脆弱性评估,燃气泄漏扩散和爆炸以及天然气管道的安全技术措施等。

本书理论与实践相结合,可供天然气生产、储存、运输和使用单位以及相关监管部门的安全生产监督管理人员、科技工作者参考阅读,也可供本科、大专院校相关专业师生学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

天然气管道安全/赵秀雯,于力,柴建设编著. —北京:  
化学工业出版社, 2013. 1  
ISBN 978-7-122-15803-1

I. ①天… II. ①赵…②于…③柴… III. ①天然  
气管道-安全评价 IV. ①TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 263571 号

责任编辑:高震 周永红  
责任校对:吴静

装帧设计:韩



出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:化学工业出版社印刷厂

710mm×1000mm 1/16 印张18 字数368千字 2013年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 50.00 元

版权所有 违者必究

## 前言

天然气是重要的清洁能源，是世界一次能源的三大支柱之一，2007年天然气占世界一次能源消费总量的23.76%。近年来，随着世界石油价格的不断攀升，天然气勘探开发的速度明显增快，其产量年均增长率为3.1%~3.4%，是石油产量增长率的3倍。国际能源机构首席经济学家法提赫·比罗尔最近发出警告：世界范围石油峰值出现的时间至少提前10年到来，全球已经进入后石油时代，而天然气作为清洁能源将进入快速发展时期。天然气作为燃料，排放温室气体很少，又无废渣排放，是环境友好型能源，受到世界各国的重视。

中国是世界上发现和开采天然气最早的国家之一，公元前1世纪中期在四川临邛开凿成功天然气井，开始用天然气煮盐卤水制盐，到17世纪初期，在四川自贡地区已形成相当规模。新中国成立后，特别是改革开放以来，中国政府十分重视油气勘探工作。近20年来中国天然气探明储量、产量快速增长，到2010年底，中国的天然气探明储量为2.8万亿立方米，约占世界总储量的1.5%，2010年我国天然气产量967.6亿立方米，消费量1090.4亿立方米，产量是2000年的3.55倍。天然气消费量增长更快，为满足国内市场需求，将分别从中亚、俄罗斯引进管输天然气，从上海引进液化天然气(LNG)。与此同时，国内加快天然气长输管网建设，2010年输气管线达到5万千米。天然气的快速发展对我国经济社会发展、调整能源结构、城市现代化意义重大。预计到2020年，中国天然气在一次能源消费中所占比例将由目前的4%提高到10%左右，天然气消费量可能突破3000亿立方米。

管道作为目前天然气输送的主要渠道，被誉为五种运输方式之一。天然气管道广泛应用于城市发展、能源供应、石油化工的基础设施和人们生活的基础条件等领域。鉴于天然气管道在国民经济中占有极其重要的战略地位，被誉为国家重大生命线。但随着管道发展及运输时间的增长，由管道初始缺陷以及运行期间腐蚀穿孔、第三方破坏、误操作、自然灾害等因素造成的管道泄漏、穿孔、爆炸等事故时有发生，对人民生命财产、周边环境造成极大危害，给社会经济、企业生产和人们生活带来重大损失。因此，加强天然气管道的完整性管理、提高基础的检验、检测技术、完善安全评估手段，积极拟定并采取措施进行事故预防意义重大。尤其是“十一五”期间，管道数量激增，如西气东输二线、川气东送管道工程等国家重点工程已建成投产，带动下游支线和沿线城市埋地天然气管道迅猛发展，对城市安全带来威胁的同时，必然对管道的安全评估和管理提出新的挑战。

本书从天然气的基本性质出发，借助管道本身的基本功能和缺陷理论，对天

然气的市场供需、常见安全评估方法及模型以及天然气管道事故模拟等内容进行分析、研究，在参考国内外同行专家的著作和提供的资料基础上编著而成。

本书由赵秀雯、于力、柴建设共同编著，第一章、第二章由环境保护部核与辐射安全中心副主任柴建设负责编写；第三章、第四章、第五章、第六章、第七章、第八章由中国人民武装警察部队学院副教授赵秀雯负责编写；第九章、第十章由中国人民武装警察部队学院副教授于力负责编写。感谢首都经济贸易大学安全与环境工程学院研究生蒲潇云、徐晓力，中石油昆仑燃气有限公司魏星在文字编排上给予的帮助。此外，在本书编写过程中还得到许多领导和专家的大力支持和帮助，在此一并感谢，他们是董希琳、吴立志、刑志、韩东、景绒、高锦田、白凤领、刘东海、韩海云、杨殿波、周挽黎、孙斌等。

本书得到“十二五”国家科技支撑计划重大项目“城市安全生产风险动态监管技术的研究与示范”（2011BAK01B00）和北京市创新人才计划“北京市天然气管道系统脆弱性评估与天然气泄漏扩散模拟研究”的资助。

由于作者水平所限，本书难免存在疏漏和问题，真诚欢迎读者批评指正！

**作者**

**2012年9月13日**

# 目 录

<b>第一章 天然气基础知识</b> .....	<b>1</b>
第一节 天然气基本术语 .....	1
一、天然气及其相关概念 .....	1
二、天然气相关性质指标 .....	2
三、天然气相关地质概念 .....	4
第二节 天然气分类 .....	5
一、天然气分类 .....	5
二、常见类型天然气的主要特征 .....	7
第三节 天然气的组分及成因 .....	12
一、烃类气体 .....	12
二、非烃类气体 .....	15
第四节 天然气的危险、危害性 .....	20
一、天然气的火灾爆炸危险性 .....	20
二、天然气的毒害性 .....	21
<b>第二章 国内外天然气资源及发展状况</b> .....	<b>23</b>
第一节 世界天然气资源及发展现状 .....	23
一、世界天然气储存现状 .....	23
二、世界天然气产量 .....	25
三、世界天然气消费量 .....	26
四、世界天然气贸易量 .....	27
第二节 我国天然气资源及发展现状 .....	28
一、我国天然气市场现状分析 .....	28
二、我国天然气市场发展趋势 .....	30
第三节 我国天然气的利用政策 .....	31
一、调整天然气利用领域的优先排序 .....	32
二、采取措施促进天然气替代燃煤政策的推行 .....	32
三、加强天然气管输系统建设，保障气源的安全供应 .....	34
四、积极培育天然气市场，逐步建立合理的天然气定价机制 .....	34
五、采取财政补贴等多种激励措施促进城市天然气发展 .....	35
<b>第三章 天然气管输</b> .....	<b>36</b>
第一节 天然气输送系统及其工艺 .....	36

一、矿场集输系统及其工艺 .....	36
二、干线输气系统 .....	37
三、城市配气系统 .....	38
四、天然气储存及调峰设施系统 .....	38
第二节 天然气输送线路选择及地区等级划分 .....	39
一、输气线路的选择 .....	39
二、输气线路地区的等级划分 .....	40
第三节 国内外天然气管道的发展概况 .....	42
一、国外天然气管道发展概况 .....	42
二、国内天然气管道发展概况 .....	48
第四节 天然气管道的用管选择与敷设 .....	51
一、天然气管道用管 .....	51
二、天然气管道敷设 .....	53
<b>第四章 天然气管道的风险因素分析 .....</b>	<b>57</b>
第一节 天然气管道的安全与风险概述 .....	57
一、安全理念 .....	57
二、安全风险 .....	58
第二节 输气站场的风险因素分析 .....	59
一、站场类型及设施 .....	59
二、主要危险源 .....	59
三、各类站场主要危害分析 .....	61
第三节 天然气管道的自然灾害风险因素分析 .....	63
一、自然灾害种类 .....	63
二、自然灾害对天然气管道的危害 .....	63
第四节 天然气管道的管材失效风险因素分析 .....	66
一、应力腐蚀开裂 .....	66
二、CO <sub>2</sub> 腐蚀失效 .....	66
三、管道的腐蚀穿孔 .....	67
四、管道建设施工隐患 .....	68
第五节 天然气管道的第三方破坏因素分析 .....	70
一、国内外输气管道事故分析 .....	71
二、天然气管道的事故原因分析 .....	73
<b>第五章 常见天然气管道的安全评价方法 .....</b>	<b>74</b>
第一节 安全评价概述 .....	74
一、管道安全评价的目的 .....	74
二、管道安全评价的分类 .....	75

三、安全评价程序 .....	76
四、安全评价报告的内容 .....	78
第二节 传统的安全评价方法 .....	80
一、概述 .....	80
二、几种常见的传统安全评价方法 .....	81
第三节 肯特管道风险评价法 .....	94
一、第三方破坏指数 (0~100 分) .....	96
二、腐蚀原因指数 (0~100 分) .....	99
三、设计指数 (0~100 分) .....	102
四、错误指数 (0~100 分) .....	104
五、介质危险指数 (0~22 分) .....	105
六、泄漏影响系数 (0~22 分) .....	106
<b>第六章 天然气管道的安全检测与检测技术 .....</b>	<b>109</b>
第一节 管道腐蚀防护系统的检测 .....	109
一、交流电位梯度法 .....	109
二、直流电位梯度法 .....	110
第二节 管道管体腐蚀和焊接缺陷的检测技术 .....	113
一、传统无损检测技术 .....	113
二、管体腐蚀和焊接缺陷检测新技术 .....	120
第三节 管道泄漏检测技术 .....	123
一、巡线观察法 .....	123
二、空气采样法 .....	123
三、热红外成像法 .....	123
四、气体成像法 .....	124
五、超声导波检测法 .....	124
六、声波法 .....	124
第四节 管道内检技术 .....	126
一、国内外管道内检测技术现状 .....	126
二、常见的管道内检测技术 .....	128
第五节 管道腐蚀监测技术 .....	135
一、管道腐蚀监测技术概述 .....	135
二、国内外管道腐蚀监测技术 .....	135
三、管道腐蚀速率预测模型 .....	138
四、管道腐蚀检测系统简介 .....	139
第六节 管道阴极保护系统的监测技术 .....	140
一、管道阴极保护系统监测技术概述 .....	140
二、阴极保护参数监测系统 .....	141



第七节 管道泄漏的监测技术·····	143
一、管道泄漏监测技术概述·····	143
二、国内外管道泄漏监测方法·····	143
三、管道泄漏监测的关键技术·····	148
<b>第七章 管道的安全管理与应急救援·····</b>	<b>151</b>
第一节 天然气管道的安全管理评价·····	152
一、管道安全管理评价的内容·····	152
二、管道安全管理评价的要求·····	154
第二节 管道的事故应急预案·····	155
一、制定管道事故应急预案的必要性·····	155
二、管道的事故应急救援体系·····	156
三、管道应急救援预案的框架·····	156
四、管道应急救援预案的基本要素·····	156
第三节 管道事故应急救援预案的评价·····	164
一、预案的程序评价·····	164
二、预案的内容评价·····	165
三、预案配套的制度和评价·····	166
四、预案演练情况的评价·····	166
<b>第八章 天然气管道的脆弱性评估·····</b>	<b>167</b>
第一节 脆弱性评估概述·····	167
一、脆弱性及其相关概念·····	167
二、脆弱性评估的含义·····	171
三、天然气管道脆弱性评估的含义·····	172
四、天然气管道脆弱性评估的意义·····	173
第二节 脆弱性评估工作的研究现状·····	174
一、脆弱性在各领域的研究现状·····	175
二、脆弱性评估指标体系构建的研究现状·····	176
三、脆弱性评估的实证研究现状·····	176
第三节 脆弱性评估的主要方法·····	177
一、综合指数法·····	177
二、图层叠置法·····	178
三、函数模型评价法·····	178
四、模糊物元评价法·····	179
五、危险度分析方法·····	179
第四节 天然气管道脆弱性评估指标体系·····	180
一、脆弱性指标体系概述·····	180

二、天然气管道脆弱性评估指标体系的构想	183
三、天然气管道的脆弱性指标分析	183
四、天然气管道的脆弱性评估指标体系构建	187
第五节 管道脆弱性评估模型的建立	187
一、脆弱性评估模型的方法适用性分析	187
二、模糊层次综合评价模型的建立	188
三、评估指标权重计算	189
四、模糊综合评价的基本模型和实施步骤	194
第六节 天然气管道脆弱性评估模型的应用	196
一、北京市埋地天然气管道的总体情况	196
二、实例研究对象的综合情况介绍	198
三、专家调查及结果统计	199
四、脆弱性评估模型的应用	201
五、结果分析及总结	203
第七节 管道脆弱性评价的计算机辅助查询系统设计	205
一、查询系统的访问控制技术	205
二、基于角色访问控制模型	206
三、天然气管道脆弱性模糊评价查询系统权限访问机制	207
四、天然气管道脆弱性模糊评价查询系统权限控制机制	208
第八节 天然气管道脆弱性模糊评价查询系统的设计	208
一、系统开发平台及架构模式的选择	208
二、系统架构方案与模块结构	209
三、系统用户分析与功能需求分析	210
四、UML 建模	213
五、界面设计	214
<b>第九章 燃气泄漏扩散和爆炸</b>	<b>218</b>
第一节 燃气的泄漏和扩散	218
一、燃气的泄漏	218
二、泄漏气体的扩散	220
第二节 基于 CFD 的气体扩散数值模拟	229
一、CFD 技术概述	230
二、气体扩散的基本控制方程	231
三、湍流的基本方程	232
四、湍流数值模拟方法	232
五、数值方法	235
第三节 气体爆炸的因素及数值模拟	239
一、可燃混合气爆炸的因素	239

二、气体爆炸的模拟·····	242
<b>第十章 天然气管道的安全技术及措施·····</b>	<b>246</b>
第一节 天然气长输管道运行的安全管理·····	246
一、气质监控·····	246
二、线路维护·····	247
三、站场的安全管理·····	250
四、输气管道运行管理·····	254
五、输气管道运行清管的安全·····	254
第二节 燃气事故及常见事故控制措施·····	259
一、燃气事故分类和级别划分·····	259
二、燃气管道事故特点及其原因分析·····	260
三、燃气管道事故应急措施·····	261
四、燃气管道事故预防处理措施·····	261
五、燃气管道典型事故案例分析·····	262
第三节 消防设施·····	265
一、火灾的分类·····	265
二、灭火的基本方法·····	266
三、灭火物质及其选用·····	267
四、灭火装置·····	270
五、消防用水及设施·····	271
六、消防站·····	273
<b>参考文献·····</b>	<b>274</b>

## 第一节 天然气基本术语

### 一、天然气及其相关概念

① 天然气 是以甲烷为主要成分的多种物质组成的混合物。其定义又可按广义与狭义进行概括，广义而言的天然气是指自然界中的一切气体（包括气圈、水圈、岩石圈甚至地核、地幔），狭义而言，天然气主要是可燃的气态烃类混合物或其水合物（主要存在于岩石圈、水圈及地核、地幔中）。

② 干气 是指甲烷气含量很高，重烃含量很少（一般定义为甲烷含量大于或等于95%，重烃含量小于5%），在常温常压条件下不含易液化组分的天然气，有时也称为贫气。

③ 湿气 是指重烃含量较高，甲烷气含量有所降低（一般定义为甲烷含量小于95%，重烃含量大于5%），可含有一定量石油蒸气的天然气，有时也称为富气。

④ 气藏气 气态烃在有效圈闭内单独聚集成藏，基本不与石油伴生的天然气称为气藏气。气藏气成分以甲烷为主，其含量一般在95%以上，属于干气。

⑤ 气井气 开采时只出气不出油的井称为气井，此类井中开采出来的天然气称为气井气。气井气属于干气。

⑥ 气顶气 游离态的天然气与石油共同存在于同一圈闭内形成油气藏，由于重力不同，呈现出天然气在上、石油在下的状态，此类天然气称为气顶气。气顶气中重烃含量较高，一般可达百分之几至百分之十几，属于湿气。

⑦ 油田伴生气 石油开采过程中伴随石油从油井中产生的天然气，即油内溶解气。与一般天然气田产生的天然气不同，其主要成分是甲烷、乙烷等低分子烷烃，还含有相当数量的丙烷、丁烷、戊烷等。

⑧ 油内溶解气（油田伴生气） 天然气易溶于石油，溶解在石油中的天然气在采出后由于压力、温度的变化而从石油中分离出来，称为油内溶解气，油内溶解气熔气量变化很大，少的仅零点几立方米，多者可达一二百立方米。

⑨ 水溶气 又称为水溶性天然气，指溶解在地层水中的以甲烷为主要成分的气体。真正的水溶气溶解度很小，一般 $1\text{m}^3$ 水中溶解气不超过 $3\text{m}^3$ 。

⑩ 凝析气 当地下油气藏的温度、压力超过临界条件后，轻质液态烃逆蒸发形成气体，称为凝析气。

⑪ 天然气水合物 天然气水合物是天然气与水在冰点附近的特殊温度、压力条件下形成的固态的笼形晶体水合物，俗称“可燃冰”。自然界中存在的天然气水合物的主要气体成分为甲烷，晶体中水分子和甲烷的比例为 46 : 8 和 136 : 8 两种，在常温常压下，每立方米水合物最高含气量分别为  $173\text{m}^3$  和  $60\text{m}^3$ 。

## 二、天然气相关性质指标

### (1) 相对分子质量

天然气是多种气体组成的混合气体，并且组成与组分无定值，工程上为了计算方便，把  $0^\circ\text{C}$ 、 $101325\text{Pa}$  时体积为  $22.4\text{L}$  天然气所具有的质量定义为天然气的相对分子质量或平均相对分子质量。其计算方法为：

$$M = \sum y_i M_i$$

式中  $M$ ——天然气的相对分子质量；

$y_i$ ——组分  $i$  的摩尔分数；

$M_i$ ——组分  $i$  的相对分子质量。

### (2) 密度和相对密度

① 天然气的密度 单位体积天然气的质量，用符号  $\rho$  表示。

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中  $m$ ——天然气的质量， $\text{kg}$ ；

$V$ ——天然气的体积， $\text{m}^3$ 。

② 相对密度 在标准状态下，单位体积的天然气与单位体积空气质量的比值称为相对密度。

天然气的相对密度一般在  $0.58 \sim 0.62$  之间，石油伴生气的相对密度在  $0.7 \sim 0.85$  之间，个别含重烃多的油田气也有大于 1 的。

### (3) 黏度

流体在流动时，相邻流体层间存在着相对运动，流体在外力作用下，阻止其质点相对移动的能力就是该流体的黏度。天然气的黏度随分子量（相对分子质量，下同）增加而减小，随温度压力增高而增大。黏度愈大，阻力就愈大，气体流动就困难。一般天然气的黏度在  $0^\circ\text{C}$  时为  $0.31 \times 10^{-3} \text{MPa} \cdot \text{s}$ ， $20^\circ\text{C}$  时为  $12 \times 10^{-3} \text{MPa} \cdot \text{s}$ 。

### (4) 溶解度

溶解度是指在一定压力、温度条件下，单位体积的石油或水溶解的天然气的量。天然气在石油中的溶解度远大于在水中的溶解度。当天然气重烃增多或石油轻馏分增多，均可增加天然气在石油中的溶解度，降低温度或增大压力也可增加天然气在油中的溶解性。在水中的溶度随矿化度的增大而减小。

### (5) 临界温度和临界压力

单组分气体都有一特定温度，高于此温度时不管加多大压力都不能使该气体转化为液体，该特定温度称为临界温度。在临界温度时使气体液化所需的最低压

力称为临界压力。天然气的临界温度随分子中 C 原子数增大而提高，而临界压力则减小（甲烷除外）。

#### (6) 烃露点

饱和天然气经冷却或加压，立即处于过饱和状态，当遇到接触面或凝结核便发生液化，这时的温度称为烃露点。

#### (7) 压缩系数

指等温压缩系数，即在温度恒定的条件下，压力每改变一个大气压时，单位气体体积的变化率。

$$C_g = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)$$

式中， $C_g$  为等温压缩系数；负号表示随压力增大而体积减小。

#### (8) 焓与熵

热力学上，把  $U+PV$  叫做焓或热焓，并且用符号  $H$  表示。即

$$H=U+PV$$

式中， $U$  为气体的内能； $P$  为气体的绝对压力； $V$  为气体体积。

焓是状态函数，具有能量的量纲，但没有确定的物理意义。

熵是用来表示任何一种能量在空间中分布的均匀承担的概念，能量分布的越均匀，熵就越大。

#### (9) 热导率

是物质导热能力的特性参数，表示沿着导热方向的单位长度上，当温度降低 1K 时，1h 所传导的热量。

#### (10) 比热容

单位数量的物质温度升高  $1^{\circ}\text{C}$  所吸收的热量。定容比热容是在加热（或放热）过程中，保证容积不变条件下的比热容。定压比热容是在加热（或放热）过程中，保证压力不变条件下的比热容；真实比热容是相应于某温度下的比热容。

#### (11) 热值

是指单位体积的天然气在完全燃烧时所放出的热量，热值的单位是  $\text{J}/\text{m}^3$ 。

#### (12) 华白指数（沃泊指数）

燃气的热负荷指数，代表天然气性质对热负荷的综合影响。换句话说，华白指数是燃气互换性的一个判定指数。只要一种燃气与燃具所使用的另一种燃气的华白指数相同，则此燃气对另一种燃气具有互换性。各国一般规定，在两种燃气互换时华白指数的允许变化不大于  $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 。华白指数用符号  $W_s$  ( $\text{kJ}/\text{m}^3$ ) 表示，公式为：

$$W_s = \frac{H_s}{\sqrt{d}}$$

式中  $H_s$ ——天然气的高位发热量；

$d$ ——天然气的相对密度。

### (13) 爆炸极限

可燃气体和空气的混合物中，可燃性气体的浓度在一定范围时，如遇明火，就会发生燃烧和爆炸。

① 爆炸极限 爆炸极限是指室温和 101.325kPa 下形成可燃性的可燃气体-空气气相混合物中可燃气体的体积分数  $\varphi$ 。

② 爆炸下限 爆炸下限是指可能引起燃烧（或爆炸）的可燃气体组分的最低含量，单位为%。

③ 爆炸上限 爆炸上限是指可能引起燃烧的可燃气体组分的最高含量，单位为%。因此，当可燃气体浓度低于下限或高于上限时，则混合物是安全的。

当压力低于 6.65kPa (50mmHg) 时，天然气与空气的混合物不可燃；当压力高于 101.325kPa 时，随着压力的增加，爆炸上限也显著增加。

## 三、天然气相关地质概念

① 气源岩 亨特 (1979 年) 将烃源岩定义为“曾经产生并排除足以形成工业性油、气聚集之烃类的细粒沉积”。而以陆相高等植物为主的烃源岩一般以生成天然气为主，习惯称为气源岩。

② 储集层 在石油地质中，把能够储存油气并使油气在一定压差下流出来的岩层称做储集层。

储集层的基本特征是孔隙性和渗透性，孔隙性表示岩层具备储集油气和水的空间（这个空间的大小表示岩层储集油气和水的储量多少）；渗透性表示流体在一定压差下通过岩层的能力（这种能力的大小又决定了油气井产油气的能力）。

③ 圈闭 适合于油气聚集、可形成油气藏的场所称为圈闭。这一场所必须具备适合油气储存的储集层、上覆盖层及各个方面组织油气继续运移，对油气形成遮挡条件，其遮挡可以是岩层的变形，如背斜，也可以是断层及岩性变化。圈闭通常可分为构造圈闭、地层圈闭、岩性圈闭及复合圈闭等类型。

④ 运移 指天然气在地层中因自然因素所引起的位置转移，按照时间顺序，可将天然气从气源岩中向外排出的过程称为初次运移，天然气排出气源岩后在储集层或运载层中的一切运移统称为二次运移。

⑤ 聚集 天然气在经过初次运移至储集层中，从高势区向低势区运移的过程中，遇到圈闭时不能继续运移而在圈闭中的汇聚成藏过程，称为天然气的聚集。

⑥ 天然气地质资源量 是指在地壳中天然气生成并聚集起来的包括气层气、凝析气及溶解气（油田伴生气）在内的自然富集的天然气估算量。

⑦ 天然气储量 指在现有经济、技术条件和政府法规下，预期从已发现油气藏中最终可采出的、具有经济意义的天然气数量。其数量是指换算到地面标准条件下的天然气数量值。

⑧ 天然气地质储量 指储藏在已发现油气藏中的具有经济意义的原始天然

气总量。

⑨ 天然气可采储量 指在现有经济、技术条件和政府法规下，预期从已发现油气藏中最终可采出的、具有经济意义的天然气数量。

⑩ 天然气剩余储量 指在现有经济、技术条件和政府法规下，指定日期以后，预期从已发现油气藏中最终可采出的、具有经济意义的天然气数量，它不包括已采出的天然气累计量。

⑪ 储采比 是指上年底油气田的剩余可采储量与上年底油气田的采出量之比。储采比越大，资源利用越充分。

## 第二节 天然气分类

### 一、天然气分类

天然气的分类方法繁多，根据不同的分类原则可将天然气分为不同的类型。1989年戴金星、戚后发、郝石生等分别按天然气生成的原始物质的性质、天然气形成的成熟度或化学作用形式、天然气的组分、天然气的相态四方面对天然气进行分类。

#### 1. 根据天然气生成的原始物质分类

① 无机气 无机成因气亦称非生物成因气，泛指自然界中与有机质无关的作用过程所形成的天然气，主要指地幔中的原生甲烷脱气作用以及高温、高压下（温度一般大于300~400℃）岩石化学反应无机合成的天然气。

② 有机气 成气的原始物质是有机质。有机气再根据源岩类型又可分为油型气和煤成气两种。油型气亦称腐泥型气，即由富氢的沉积有机质在热力作用下以及石油热裂解而生成的天然气，主要包括石油伴生气、凝析油气和热裂解干气。一般油田气（伴生气）和气顶气为油型气；煤成气又称腐殖型气，即由含煤岩系中贫氢的陆源有机质（分散型的Ⅲ型干酪根集中型的腐殖煤）在热演化过程中形成的热成因气。

#### 2. 根据天然气形成的成熟度或化学作用形式分类

① 生物气 又称细菌气，系指成岩作用阶段早期（ $R_0$ 为0.4%~0.5%）在表层生物化学作用带内，沉积有机质经微生物群体的发酵和合成作用而形成的天然气。

② 热解气 烃源岩在成熟期内（ $R_0$ 为0.5%~2.0%）通过热催化降解作用形成的天然气，均为湿气，在成气同时还形成石油。

③ 裂解气 烃源岩在过成熟期内（ $R_0$ 为2%~5%）通过热裂解作用形成的天然气。此阶段各类烃源岩主要生成以甲烷为主的干气，在本阶段之前生成的液态烃在高温作用下也裂解为热稳定性高的甲烷。

#### 3. 根据天然气组分的分类

① 按烃类气湿度的分类 一般把含95%或更多甲烷的天然气称为干气



( $C_2^+/C_1 < 5\%$ )。甲烷含量小于 95% 的称为湿气 ( $C_2^+/C_1 > 5\%$ )。

② 按硫化氢含量的不同分类 按硫化氢含量的不同划分为无硫化氢型气、微(贫)硫化氢型气、低硫化氢型气、高硫化氢型气、硫化氢型气五类。

硫化氢含量在 70% 以上的称硫化氢型气; 含量在 2%~70% 的叫高硫化氢型气; 含量在 0.5%~2% 的划为低硫化氢型气; 含量大于零, 小于 0.5% 的为微(贫)硫化氢型气; 不含硫化氢的命名为无硫化氢型气。

③ 按氦氩比值分类 按氦氩比值 ( $He/Ar$ ) 可将天然气划分为现代气和古代气两种类型。 $He/Ar < 0.4$  的称为现代气;  $He/Ar$  在 0.4~4 的叫混合气,  $He/Ar > 4$  的称为古代气。

#### 4. 根据天然气相态的分类

① 游离气 在地下呈气态, 能独立运移、聚集, 如气藏气、气顶气和凝析气。

② 溶解气 天然气溶解于石油或水中, 如油田伴生气和水溶气。

③ 吸附气 气体分子被固体表面分子所吸引, 不能自由运移。

④ 固体气 在自然界存在的低温条件下, 天然气能够与水结合, 形成结晶水合物(固体气)。

#### 5. 按油气藏分

① 气田气 气藏中烃类以单相存在, 而戊烷以上组分, 在开采过程中没有或较少有天然气凝析油凝析出来的天然。特点是  $CH_4$  含量  $> 90\%$ , 在地层下以单项气态存在。

② 凝析气田气 气藏中戊烷以上组分含量较多, 在开采过程中有较多的天然气凝析油析出, 但没有或只有较少的原油同时采出来的天然气。

③ 油田伴生气 在油藏中, 烃类以液相和气相两相共存, 在开采过程中伴随原油同时被采出的天然气。

#### 6. 按烃类的组成分类

(1)  $C_5$  界定法——干、湿气的划分

根据天然气中  $C_5$  以上烃液含量的多少, 用  $C_5$  界定法划分干气和湿气。

① 干气 每一标准立方米 (101.325kPa, 20℃) 的天然气中,  $C_5$  以上重烃液体含量低于 13.5%。

② 湿气 每一标准立方米的天然气中,  $C_5$  以上重烃液体含量高于 13.5%。

(2)  $C_3$  界定法——贫、富气的划分

据天然气中  $C_3$  以上烃类液体的含量多少, 用  $C_3$  界定法划分贫气和富气。

① 贫气 每一标准立方米的天然气中,  $C_3$  以上烃类液体含量低于 94%。

② 富气 每一标准立方米的天然气中,  $C_3$  以上烃类液体含量超过 94%。

(3) 酸气含量界定法——酸性天然气、洁气的划分

根据天然气中酸气 ( $CO_2$  和硫化物) 含量多少, 用酸气含量界定法划分酸性天然气和洁气。