

< < < < < < < < < < <

天然气集输与安全

刘 祎 主编



HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM

天然气应用与安全丛书

天然气集输与安全

刘 祎 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书为《天然气应用与安全丛书》之一，在介绍天然气集输系统的基础上，对天然气集输系统的危险有害因素进行了分析，并介绍了天然气集输系统安全防护措施，同时对腐蚀防护和硫化氢毒性防护作了专门介绍。此外，本书还介绍了与之相关的安全生产管理制度，并对天然气集输系统和输气管道出现的事故案例进行了分析。

本书内容详实、全面，重点突出，可作为天然气集输设计、施工和生产运行等人员的安全知识参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

天然气集输与安全 / 刘祎主编. —北京: 中国石化出版社, 2010. 4

(天然气应用与安全丛书)

ISBN 978 - 7 - 5114 - 0341 - 4

I. ①天… II. ①刘… III. ①天然气 - 油气集输 - 安全技术 IV. ①TE86②TE88

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 038166 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.cn

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 10.375 印张 276 千字

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷

定价: 28.00 元

前 言

广义地讲,天然气集输是指在油气田内,将油、气井采出的天然气(油田伴生气、气藏气和凝析气等)汇集、处理和输送的全过程。由于天然气处理与安全、天然气管输与安全已在《天然气应用与安全丛书》中另有专书叙述,故本书仅介绍天然气汇集(即集气)与安全,重点则是气田天然气的汇集与安全。

全书共分六章,第一章为基础知识;第二章从场站布局、集输管网、压力级制、集输工艺、站场流程、工艺设备、管子及附件和自控系统等方面对天然气集输系统进行了详细介绍,并列举了目前各大气区典型的工艺技术;第三章从物理、化学、生物、心理生理和行为五个方面对天然气集输系统的危险有害因素进行了分析,并对安全评价体系、重大危险源、自然灾害等进行了介绍;第四章主要从设计、施工、投产和生产运行方面介绍了天然气集输系统安全防护措施,同时对腐蚀防护和硫化氢毒性防护作了专门介绍;第五章着重介绍了生产单位的的安全管理制度;第六章列举了天然气集输系统和输气管线出现的事故案例并进行了分析。

本书内容详实、全面,重点突出,可作为天然气集输设计、施工和生产运行等人员的安全知识参考书。

本书由西安长庆科技工程有限责任公司(长庆石油勘察设计研究院)组织编写,刘祎主编,参加编写的还有刘子兵、王登海、薛岗、郑欣、常志波、杨光、徐广军。全书由刘子兵统稿和整

理，薛岗负责资料收集。其中刘子兵负责第四章并参与其他各章的编写，王登海负责第二章的编写，郑欣负责第三章的编写，常志波负责第一章的编写，杨光负责第五章的编写，薛岗负责第六章和煤层气相关内容的编写，徐广军负责压缩机相关内容的编写。王遇冬教授对全书进行了审核，对全书的最后完成起到了至关重要的作用。李士富教授级高工和张庆芳高级工程师在百忙之中对全书进行了校核，在此对他们一并表示感谢。

由于编写人员水平有限，书中如有不妥之处，敬请各位专家、同行和广大读者批评指正。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 我国天然气发展前景	(1)
第二节 天然气集输基本概念	(2)
第三节 天然气集输安全的重要性	(8)
第四节 安全生产基本知识	(10)
第五节 国内气田典型集输工艺	(13)
第二章 天然气集输系统	(53)
第一节 站场布局	(53)
第二节 集输管网	(56)
第三节 压力级制	(63)
第四节 集输工艺	(65)
第五节 站场流程	(87)
第六节 工艺设备	(113)
第七节 管子及附件	(146)
第八节 自控系统	(154)
第三章 天然气集输危险有害因素	(160)
第一节 危险有害因素分类	(160)
第二节 天然气集输危险有害因素的识别	(162)
第三节 重大危险源辨识	(212)
第四节 环境风险分析	(214)
第四章 天然气集输安全防护措施	(219)
第一节 安全评价体系	(219)
第二节 安全防护措施一般原则	(224)
第三节 设计安全防护措施	(226)
第四节 施工质量的安全控制	(252)

第五节	投产及运行安全防护措施	(260)
第六节	腐蚀防护	(276)
第七节	H ₂ S 毒性的防护	(286)
第五章	生产单位的安全管理	(289)
第一节	生产单位安全制度	(289)
第二节	安全生产责任制	(293)
第三节	安全生产组织保障	(294)
第四节	特种作业人员的安全生产教育	(294)
第五节	安全生产检查	(295)
第六节	事故预警及救援	(299)
第六章	天然气集输事故案例分析	(306)
第一节	国内天然气集输事故典型案例	(306)
第二节	国外天然气输气管道事故典型案例	(314)
第三节	国内外天然气输气管道事故分析	(321)
参考文献		(324)

第一章 概述

第一节 我国天然气发展前景

我国是世界上最早发现和利用天然气的国家之一。我国天然气资源丰富,据新一轮全国油气资源评价成果,我国天然气可采资源量 $22.03 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。截至 2007 年底,我国天然气探明可采储量 $3.61 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。资源探明程度仅为 16.39%。天然气勘探尚处在勘探早期阶段,天然气探明储量呈现快速增长势头。

据统计,2000 年以来,塔里木、鄂尔多斯、四川盆地及海域天然气勘探连续获得重大突破,一批大中型气田相继被发现,2001~2007 年累计新增天然气可采储量 $1.74 \times 10^{12} \text{m}^3$,相当于前 50 年的总和。据相关机构和专家预测,到 2020 年以前,我国天然气年均新增可采储量将保持在 $2700 \times 10^8 \sim 3000 \times 10^8 \text{m}^3$ 之间。

我国的天然气产业处于发展初期,天然气的开发利用程度远低于世界平均水平。据美国《油气杂志》发表的年度统计,2007 年世界天然气产量达 $28582.5 \times 10^8 \text{m}^3$,天然气占世界一次能源消费的比重为 23.8%。然而,2007 年我国天然气产量为 $689 \times 10^8 \text{m}^3$,占我国一次能源消费的比重仅为 3.3%,远低于世界平均水平。

随着天然气勘探开发力度加大,在西气东输一线、西气东输二线,川气出川管线、陕京管线(一、二、三线)等主干管网的支撑下,我国天然气产量将进入跨越式发展阶段,预计 2010 年超过 $800 \times 10^8 \text{m}^3$,2020 年达到 $1700 \times 10^8 \text{m}^3$ 。届时天然气在我国一次能源消费中的比例有望达到 8% 左右,对进一步优化能源消费结构有十分重要的意义。

2008 年,我国天然气生产继续保持了两位数以上的增长,增幅达到 13.7%,这是天然气产量连续 6 年保持了两位数增长。同时,天然气勘探工作也进展顺利,探明天然气地质储量连续 4 年超过 $3000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。我国天然气实现了产运销储的综合平衡,保证了重点城市、重点用户和重要时段的安全平稳供气。

据相关资料统计,2008 年我国天然气生产根据市场变化及时调整产量结构,加快重点气区产能建设步伐。其中塔里木气区天然气产量达到 $174 \times 10^8 \text{ m}^3$,继续保持我国第一大气区地位。长庆气区天然气产量净增 $33.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,是我国增产最多的气区。川渝气区天然气产量接近 $150 \times 10^8 \text{ m}^3$,战略大气区建设稳步推进。青海气区天然气产量同比增长 28.3%,是增幅最大的气区之一。

我国煤层气资源也十分丰富,是世界上继俄罗斯、加拿大之后的第三大煤层气储量国,占世界排名前 12 位国家资源总量的 13%。根据最新一轮资源评估结果,我国埋深 2000m 及以上的煤层气资源量达 $31.46 \times 10^{12} \text{ m}^3$,与陆上常规天然气资源量相当。

我国的煤层气资源不仅在总量上占有一定的优势,而且在区域分布、埋藏深度等方面也有利于规划开发。煤层气资源在我国境内分布广泛,基本可以划分为中部、西部和东部三大资源区。其中中部地区约占资源量的 64%。西部地区的沁水盆地和鄂尔多斯盆地资源量最大,超过 $10 \times 10^{12} \text{ m}^3$,为集中开发提供了资源条件。

第二节 天然气集输基本概念

一、天然气的组成

天然气是由烃类和非烃类组成的复杂混合物。大多数天然气的主要成分是气体烃类,此外还含有少量非烃类气体。天然气中的烃类基本上是烷烃,通常以甲烷为主,还有乙烷、丙烷、丁烷、戊烷以及少量的己烷及其以上烃类(C_6^+)。在 C_6^+ 中有时还含有极少量的环烷烃(如甲基环戊烷、环己烷)及芳香烃(如苯、

甲苯)。天然气中的非烃类气体，一般为少量的 N_2 、 O_2 、 H_2 、 CO_2 、 H_2S 及水蒸气，以及微量的惰性气体如 He、Ar、Xe 等。天然气中的水蒸气一般呈饱和状态。

天然气的组成并非固定不变，不仅不同地区气藏中采出的天然气组成差别很大，甚至同一气藏的不同生产井采出的天然气组成也会有所区别。我国主要气田和凝析气田的天然气组成见表 1-1。

世界上也有少数的天然气中含有大量的非烃类气体，甚至其主要成分是非烃类气体。例如，我国河北省赵兰庄、加拿大艾伯塔省(Bearberry)及美国南得克萨斯气田的天然气中， H_2S 含量可高达 90% 以上。我国广东省沙头圩气田天然气中 CO_2 含量有的高达 99.6%。美国北达科他州内松气田天然气中氮含量可高达 97.4%，亚利桑那州平塔丘气田天然气中 He 含量高达 9.8%。

二、天然气集输的定义

《油气集输设计规范》(GB 50350)定义，“油气集输”为“在油气田内，将油、气井采出的原油和天然气汇集、处理和输送的全过程”。这是广义的释义。本书所描述的天然气集输系统则是狭义的，只包括气田内部天然气的汇集，即只含气田内部的井场、集气站、增压站、阀室、清管站、集气总站和集输管网等由井口至处理厂(含净化厂，下同)之间的系统。

天然气集输在很多其他书籍中也常常被称为矿场集输天然气。

三、天然气集输系统的构成

1. 集输管网

天然气集输管网是对气田或一定产气区域内，由气井井口到集气站的采气管道及由集气站、单井站到天然气处理厂之间的原料天然气输送管道所构成的网状管路系统的统称，是天然气地面生产过程中必不可少的生产设施。其结构形式与气井的分布状况、采用的集输工艺技术、气田所在地的地形地貌和交通条件、产气区与处理厂之间的相对位置关系等因素有关，但所有的集输管网都是密闭而统一的连续流动管路系统，其使用功能上是一致的。

表 1-1 我国主要气田和凝析气田的天然气组成

%(体积)

气田名称	甲烷	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷	C ₆ ⁺	C ₇ ⁺	CO ₂	N ₂	H ₂ S
	靖边	0.62	0.08	0.01	0.01	0.001	0.002			5.14	0.16	0.048
长庆气田	榆林	3.41	0.50	0.08	0.07	0.013	0.041			1.20	0.33	
	苏里格	4.5	0.93	0.124	0.161	0.066	0.027	0.083	0.76	0.775		
中原气田	气田气	2.12	0.41	0.15	0.18	0.09	0.09	0.26		1.25		
	凝析气	5.62	3.41	0.75	1.35	0.54	0.59	0.67		0.84		
塔里木气田	克拉2	0.51	0.04	0.01	0.01	0	0	0.04	0.01	0.58	0.7	
	牙哈	7.18	2.09									
海南崖13-1气田		3.83	1.47	0.4	0.38	0.17	0.10	1.11		7.56	1.02	70.7 mg/m ³
	台南	99.2		0.02							0.79	
青海气田	涩北-1	99.9									0.10	
	涩北-2	99.69	0.08	0.02							0.2	
凝析气田	东海平湖	81.30	7.49	4.07	1.02	0.83	0.29	0.19	0.09	3.87	0.66	
	新疆柯克亚	82.69	8.14	2.47	0.38	0.84	0.15	0.32	0.14	0.26	4.44	
	华北苏桥	78.58	8.26	3.13	1.43		0.55	0.39	5.45	1.41	0.8	

续表

气田名称	甲烷	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷	C ₆ ⁺	C ₇ ⁺	CO ₂	N ₂	H ₂ S
川中油气矿	磨溪	96.48	0.19							0.546	1.02	1.767
	八角场	88.19	6.33	2.48	0.36	0.64	0.7			0.26	1.04	
川西北气矿	中坝1	91.0	5.8	1.59	0.13	0.35	0.1	0.28		0.47	0.19	
	中坝2	84.84	2.05	0.47	0.281	0.102				4.13	1.71	6.32
川东北气矿	铁山坡	77.12	0.05	0.01						6.32	1.01	15
	渡口河	75.84	0.05	0.03						6.59	0.91	16.50
重庆气矿	卧龙河1	93.72	0.88	0.21	0.05					0.54	0.49	4.0
	罗家寨	83.23	0.07	0.02						5.65	0.70	10.08
蜀南气矿	付家庙	95.77	1.10	0.37	0.16					0.08	2.24	
	兴隆场	96.74	1.07	0.32	0.07	0.09	0.075			0.045	1.54	
山西煤层气	威远	86.47	0.11							4.437	8.10	0.879
	樊庄	97.69	0.04							0.43	1.34	
	郑庄	97.21								1.46	1.33	

2. 集输站场

集输站场是为了满足天然气集输而定点设置的专用生产场所。按使用功能的不同,可分为井场、集气站(含单井站)、增压站、阀室、清管站和集气总站等。站场的种类、数量、布置以及站内的生产工艺流程和设备配置等,与天然气的气质条件、气井的分布状况和采用的集输工艺有关。

3. 自动控制系统

由于集输系统生产场所高度分散而又同步运行,工作参数紧密相关,任何一个部位的工作异常都会对其他部分产生影响。天然气特有的物性、苛刻的集输工作条件又使整个生产过程面临很大的安全风险。因此,对生产安全和各生产过程间的工作协调一致性有很高的要求。

只有具备统一的、贯穿集输全过程的生产自动控制和信息传输系统,能够对各生产过程和它们之间的工作关系做全面的实时监控,才能保证集输生产在安全和各部分间协调一致的情况下运行,并提高生产管理工作的水平和减少生产操作人员。

对集输过程的监视、控制是在连续采集、传递、储存和加工处理各种生产数据的基础上进行的。适用于对分散进行而又彼此相关的工业生产过程做自动控制的监视控制和数据采集(SCADA)技术,已在天然气集输系统中得到了广泛应用。

4. 其他辅助配套系统

其他辅助配套系统主要包括供电、通信、道路、建筑结构、防腐及阴极保护、污水处理及回注、环境保护等,都是为天然气集输系统服务的。

四、天然气集输系统的特点

(一) 工作条件比较苛刻

1. 介质中含有腐蚀性和有毒物质

原料天然气常含有某些不利于生产安全的有害物质,如 H_2S 、 CO_2 、有机硫和存在于液相水中的 Cl^- 等。这些物质对金属材料的腐蚀性以及 H_2S 对人体的高度危害性,使天然气集输生产

面临生产设施和人身安全的风险。

2. 天然气通常处于被水蒸气饱和的湿状态

天然气在井底温度和压力都很高，含饱和水量大。采出井口的过程中天然气温度大幅度下降，接近常温，降温的最终结果是天然气在采出过程中有凝析水析出，并由高速流动的气流带出地面。液相水的存在为腐蚀作用的发生提供了条件。天然气在温度降低的过程中，还会在常温下与游离水形成冰雪状的水合物，阻塞气体流动通道，影响集输生产的连续进行。

3. 天然气具有易燃易爆性

天然气是可燃气体混合物，集输生产中的泄漏和事故时的自然泄放易于引发燃烧事故。当外界的空气进入管道和设备内部或外泄的天然气在一定的空间内与空气混合达到相应比例时，还可能遇火发生爆炸事故。

4. 工作压力高

天然气气井的井口压力很高，一般可达 20 ~ 70MPa，个别气井的井口压力甚至高达 100MPa。为了充分利用天然气的压力能，一般都使天然气集输过程的工作压力维持在比较高的水平。高的工作压力使设备和管道发生内压爆破事故的可能性和事故的危害性加大。

(二) 分散性强、地域范围大

(1) 集输管网覆盖整个产气区域，各种集输站场在管网节点上分散设置。

气井分散存在，集输管网覆盖所有的产气井，为使天然气采、集过程能以不间断的方式连续进行，必须以相对集中的方式对天然气进行必要的预处理，在管网的某些节点处分散设置集输站场。这给集输工程的建设和生产运行管理都带来一些困难，需要在大面积范围内进行野外施工。而且管道将通过某些自然和人为障碍区，易于因自然环境条件变化或意外的人力作用受到损坏。

(2) 不同生产过程之间紧密相关，要求生产过程中各部分间

协调一致。

天然气集输都是通过相互连通的集输管网完成的，在接受最终的处理前，相邻生产过程之间互为条件，在工作参数、运行状态、生产安全等方面彼此关联和相互影响，前一过程能正常顺利进行和达到预期要求是实现后一生产过程的必要条件。因此，对生产设施自身在使用功能上的完善和配套程度，不同生产设施之间在生产运行中的协调一致性，对整个生产过程的监视和自动控制水平，都有比较高的要求。

第三节 天然气集输安全的重要性

天然气集输安全可以从广义和狭义两个方面来理解。

从广义来讲，是国家天然气能源和工业安全，影响到国家经济发展。天然气工业是我国国民经济的一个支柱产业，未来 20 年，随着国民经济的发展和对清洁能源的需求，我国天然气需求增长速度将明显超过煤炭和石油。2010 年，天然气在能源需求总量中所占比例将从 1998 年的 2.1% 增加到 6%，到 2020 年将进一步增加到 10%。所以天然气能源安全非常重要。

从狭义来说，是指天然气系统本身、工作人员和环境安全。天然气在集输过程中危险、毒害性较大，发生事故的后果也相当严重，甚至会造成群死群伤或严重财产损失，造成不良的社会影响。

本书所叙述的天然气集输安全为狭义的概念。

一、事故危害性大

天然气为易燃易爆物质，爆炸极限范围宽，点火能量低，容易发生火灾、爆炸、中毒、窒息事故。

由于集输过程中的天然气压力高、气量大，爆破会对周围环境形成很强的冲击破坏作用，外泄的天然气遇火还会发生燃烧、爆炸等后续事故的危险。由于天然气的热值比较高，燃烧事故发生时的高温辐射作用比较强，着火爆炸时的压力也比较高。当含

有 H_2S 的天然气因事故外泄进入空气中时，还可能引发人体急性中毒事故。即使是 H_2S 燃烧后生成的 SO_2 ，当它在空气中达到一定浓度时，也能使人体出现急性中毒症状。

目前，国内部分气田天然气集输系统建成的时间较早，其设施技术水平落后，操作自动化程度低，安全事故成上升趋势。据不完全统计，国内天然气管道发生事故的概率大概是国外经济发达国家的 5 ~ 10 倍。

随着国内经济的快速发展，天然气集输系统的建设将迎来另一个高潮。因此，如何保证新建集输系统的安全运行，降低或消除安全事故发生的几率，实现集输系统运行的本质安全成了当务之急。

二、事故影响范围广

天然气集输系统的管道、设备发生爆破事故时，大量外泄的天然气以及其中含有的有毒物质随空气流动向周围的地区扩散，使事故危害区域范围扩大。天然气进入空气后，其中的甲烷比空气轻，易于上升到大气的上层空间影响到臭氧层。近地空气层中的天然气也会对空气的环境质量产生一定程度的不良影响。因此，各类破坏性事故除使生产设施受到损坏，生产操作人员受到人身伤害外，还可能危及邻近区域居民的公共安全和影响到对自然环境的保护。

三、事故经济损失大

天然气超压爆破、燃烧、爆炸都对管道、设备以及周围环境有很强的破坏作用，使它们受到破坏，造成极大的经济损失。

在事故得到有效控制前，还会造成大量天然气通过破损部位泄漏到空气中去，可能使邻近居民的生命财产遭受损失。当天然气中含有 H_2S ，尤其是 H_2S 含量很高时，人体急性中毒的危险使事故的人身伤害进一步增大。

事故还会造成集输系统的停产，严重影响向下游的输气任务，造成下游居民及工业用户的用气紧张，甚至还会对社会造成严重的负面影响。

例如，2003 年 12 月 23 日，重庆市某县发生了国内乃至世界罕见的特大井喷事故。据统计，事故发生后，离气井最近的 4 个乡镇，30 个村，9.3 万余人受灾，6.5 万余人被迫疏散转移，累计门诊治疗 27011 人(次)，住院治疗 2142 人(次)，243 位无辜人员遇难，直接经济损失达 8200 余万元。

四、火灾扑救难度大

天然气集输系统发生火灾后扑救难度大，延续时间长，一旦发生天然气火灾，其周围环境温度较高，辐射热强烈。尤其是井喷火灾，火势喷流高，产生强烈的辐射热，灭火和抢险救援人员难以靠近，在短时间内不能完成灭火与抢险救援任务。

天然气火灾发展蔓延速度快，极易造成大面积火灾。如天然气发生火灾，伴随着容器的爆炸，便会在容器周围发生大面积火灾。如果火灾周围有其他容器，后果更加严重。

扑灭天然气火灾后，在没有切断可燃源的情况下，遇到火源或高温将产生复燃、复爆。

天然气集输系统远离城市，周围环境复杂，不便于灭火救援人员及时到达现场作业。扑救天然气火灾，需要大量的火场用水，尤其井喷火灾，一般都需要临时铺设供水管道，确保灭火用水的需要，同时需要的消防装备多。

第四节 安全生产基本知识

一、安全与本质安全

安全与危险是相对的概念，它们是人们对生产、生活中是否可能遭受健康损害和人身伤亡的综合认识，按照系统安全工程的认识论，无论是安全还是危险都是相对的。

1. 安全

顾名思义，安全为“无危则安，无缺则全”，安全意味着不危险，这是人们传统的认识。按照系统安全工程观点，安全是指生产系统中人员免遭不可承受危险的伤害。在生产过程中，不发