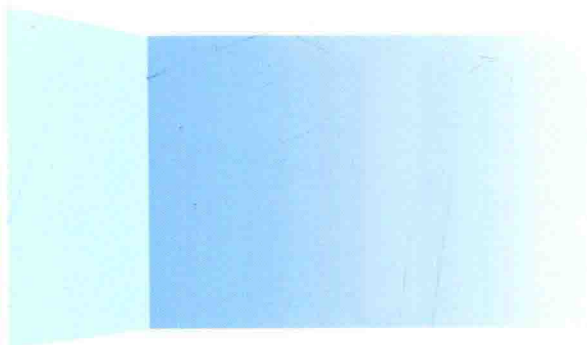


YANXING QICANG CHUQIKU
ZHUCAI SHUIPINGJING ZUANWANJING JISHU



岩性气藏储气库 注采水平井钻完井技术

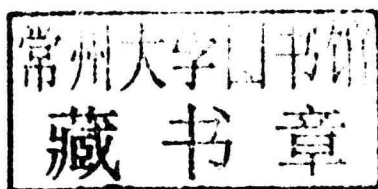
林 勇 袁光杰 陆红军 主编



石油工业出版社

岩性气藏储气库 注采水平井钻完井技术

林 勇 袁光杰 陆红军 ©主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了岩性气藏储气库地质概况、钻完井方法,系统阐述了注采井钻完井液技术、固井工艺技术、油套管防腐工艺技术、完井工艺技术以及提高井筒完整性的配套技术,并列举了注采井钻完井工艺现场的应用实例,初步形成了岩性气藏储气库注采水平井钻完井工艺技术,为储气库钻完井技术的优化和完善提供有益的参考。

本书可供从事储气库钻完井技术及储气库建设的科研人员以及高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

岩性气藏储气库注采水平井钻完井技术/林勇,袁光杰,陆红军主编.
北京:石油工业出版社,2017.1

ISBN 978-7-5183-1527-7

I. 岩…

II. ①林…②袁…③陆…

III. 岩性油气藏-地下储气库-水平井完井

IV. TE257

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 242152 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址: www.petropub.com

编辑部: (010) 64523712

图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14

字数: 359 千字

定价: 69.00 元

(如发现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《岩性气藏储气库注采水平井钻完井技术》

编 委 会

策 划：李正波 王心敏

主 编：林 勇 袁光杰 陆红军

副 主 编：达世攀 何 刚 张书成 罗长斌

编 委：唐向阳 徐 震 孟劲松 李 彬 王志强
马彦兵 兰义飞 刘双全

参加编写人员：胥红成 石耀东 刘国良 倪华峰 王 东
张燕明 胡富源 王向延 夏 勇 汪雄雄
田建峰 张 冕 李海波 郭 虹 何 磊
李琼伟 韩 东 徐品品 杨琼警 陈 飞
朱明利 李小辉 马晓鹏 张 宏 牛建文
李永忠 李 治 于强华 黄绍英 吕 建
薛 伟 李建刚 于晓明 谢 江

序

一段时期以来,面对全球气候变暖对生态系统和人类生存环境造成的严重威胁,由高碳燃料转向低碳燃料、由高污染能源转向清洁能源成为全世界能源结构调整的重要发展方向,低碳经济也正成为新一轮国际经济的增长点而被广泛关注。相应地,与石油、煤炭并列成为当今世界三大能源支柱的天然气,近几十年来在全世界得到迅猛发展,在一次能源消费中的比重也快速上升。受中国经济快速发展影响,石油与天然气能源消费一直维持高增长态势,供需矛盾突出,作为主力保供油田之一,长庆油田每年冬春之际不得不面临巨大调峰供气压力。储气库作为天然气能源发展格局的重要组成部分,在天然气供应链中的调峰作用,受到中国石油高度重视,但是受制于价格机制和国内储气库技术水平的制约,储气库目前工作气量不足天然气消费总量的5%,距离国际上储消比平均水平15%的差距还很大,储气库的调峰能力有限,目前动用上游气田和压减下游市场等方式仍是重要调峰手段。为了天然气能源健康发展,“十二五”期间国家发展和改革委员会下发《关于加快推进储气设施建设的指导意见》,为加快储气库建设提供了政策支持,中国石油2010年启动了包括长庆储气库在内的第一批6座储气库建设项目。

面对储气库建设起步晚、技术标准缺乏、建库条件差、成本高等短板,长庆储气库建设方不得不采用“它山之石”,在调研国内外普遍做法的基础上编制了储气库钻完井技术方案,但该方案究竟是否适用岩性气藏储气库,钻完井技术管理方和施工方都面临着巨大的压力和挑战。2010—2015年,储气库建设者转战长庆三大主力气田,从榆林气田南区到靖边气田的S224区块,目标气藏从上古生界到下古生界气藏,完成了注采井试验井6口,通过不同区块、不同气藏条件、不同井身结构的注采井钻完井工艺技术对比,完成了现场试验目的,验证了储气库钻完井技术方案的可行性。

《岩性气藏储气库注采水平井钻完井技术》的作者长期从事油气田特殊工艺井的科学研究和现场试验工作,全程参与了长庆岩性气藏储气库钻完井技术研究和方案的编制,组织完成了现场工艺试验,针对目前储气库钻完井技术研究相对滞后,涉及储气库钻完井方面的系统研究资料和现场实践方面的书籍缺乏等问题,基于储气库建设实际需要,围绕井筒完整性技术,重点对储气库注采井钻完井方式、井身结构、剖面设计、钻完井液应用、固井工艺、完井工艺等现场试验情况进行了详细分析,通过对不同区块的注采井和同区块不同井身结构的注采井的试验情况对比和关键技术评价,初步形成了岩性气藏储气库钻完井工艺技术。相信本书的出版可为储气库的建设和发展起到一定的推动作用,为储气库钻完井技术的优化和完善提供有益的参考。

中国石油长庆油田分公司

王小明

2016年6月6日

前 言

随着天然气能源在国家能源战略中地位的上升,为了有效提升国家能源战略安全,解决能源供需矛盾,天然气地下储气库建设成为天然气发展格局的重要组成部分。2012年12月3日,国家发展与改革委员会发布了《天然气发展“十二五”规划》,明确了“十二五”期间,我国将投资811亿元重点建设24个储气库,新增储气库工作气量约 $220 \times 10^8 \text{ m}^3$,力争实现储气库工作气量占天然气总销售量的10%,到2020年将这一比例提高到15%,其重要性不言而喻。储气库是一个系统的并且集成地质气藏、钻井、完井改造、采气等多专业领域的复杂工程,相比国外我国的建设水平还处于起步和探索阶段,建设理念和技术还比较落后,还没有形成成熟的技术标准,配套技术还不够完善。特别是储气库对注采井钻完井工程的质量要求极高,井筒质量要满足安全生产运行50年以上,符合百万立方米以上气量快进快出的需要,还面临着诸多技术挑战。本书编写的目的就是希望通过对长庆油田岩性气藏储气库建设前期钻完井技术试验的分析和思考,为岩性气藏储气库注采水平井钻完井技术的研究和发展提供参考,达到同行业相互借鉴的目的。

全书共分为十章,第一章和第二章由中国石油勘探开发研究院廊坊分院地下储库中心胥红成,中国石油勘探与生产分公司合作开发与储气库处李彬,中国石油长庆油田气田开发处石耀东等编写;第三章由中国石油长庆油田勘探开发研究院兰义飞、夏勇等编写;第四章和第五章由中国石油长庆油田工程技术管理部唐向阳,中国石油川庆钻探工程公司长庆钻井总公司倪华峰、王向延等编写;第六章由中国石油长庆油田工程技术管理部胡富源等编写;第七章和第八章由中国石油长庆油田油气工艺研究院陆红军、刘双全、张燕明等编写;第九章由中国石油长庆油田苏里格南作业分公司王东等编写;第十章由中国石油长庆油田储气库管理处林勇,中国石油钻井工程技术研究院储库工程研究所袁光杰,中国石油川庆钻探工程公司长庆井下技术作业公司刘国良等编写。全书由林勇统稿,中国石油勘探与生产分公司合作开发与储气库处何刚,中国石油长庆油田何光怀、李建民、慕立俊,中国石油钻井工程技术研究院袁光杰等专家对本书进行了审阅。

本书凝聚了长庆油田多年从事钻完井工艺技术研究等众多领导和技术人员的集体智慧,长庆油田周宗强、张明禄、徐永高等专家亲自组织了长庆油田岩性气藏储气库钻完井技术研究和现场工艺试验,并为本书的编写、修改、定稿提出了许多宝贵建议,值本书出版之际,在此表示敬意和衷心的感谢。作者在本书的编写过程中还得到了长庆油田领导谭中国,气田开发处达世攀、吴正、王兴龙,工程技术管理部姚建国、马能平,油气工艺研究院孙永鹏、付钢旦,储气库管理处李正波、王心敏等领导的关心和支持。西安石油大学陈军斌、李琪教授,中国石油大学(北京)郑力会教授对本书的编写工作给予了悉心指导。书中根据理论研究的需要,借鉴了部分前期国内科研人员关于储气库的研究认识,这里一并表示诚挚的感谢!由于储气库建设在国内还处于初步探索阶段,一些观点和认识还需要探讨,加之编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正!

目 录

第一章 储气库建设的意义和概念	(1)
第一节 储气库建设的意义	(1)
第二节 储气库的基本概念	(2)
第二章 国内外储气库建设概况	(4)
第一节 国外储气库建设概况	(4)
第二节 国内储气库建设概况	(11)
第三节 储气库钻完井技术面临的主要问题	(19)
第三章 岩性气藏储气库地质概况	(21)
第一节 岩性气藏地质特点	(21)
第二节 储气库选库原则	(22)
第三节 岩性气藏储气库建设区地质概况	(23)
第四章 储气库钻完井方法	(29)
第一节 钻完井方式优选	(29)
第二节 井身结构选择	(33)
第三节 井身剖面设计	(41)
第四节 井眼轨迹控制技术	(42)
第五章 储气库注采井钻完井液技术	(46)
第一节 榆林气田南区钻完井液技术	(46)
第二节 靖边气田 S224 区块钻完井液技术	(53)
第六章 储气库注采井固井工艺技术	(61)
第一节 储气库注采井固井作业的难点分析	(61)
第二节 长庆气田固井气窜现象调研和分析	(63)
第三节 水泥浆防窜评价和预测技术	(64)
第四节 提高水泥浆防窜能力的几种方法	(66)
第五节 储气库固井水泥浆体系优选	(66)
第六节 固井工艺设计	(73)
第七节 固井工艺要求及固井质量检测评价方法	(77)
第七章 注采井油套管防腐工艺技术	(82)
第一节 概述	(82)
第二节 榆林气田南区的油套管选材	(84)
第三节 靖边气田 S224 区块油套管选材	(91)

第四节 油套管防腐工艺技术	(93)
第八章 储气库注采井完井工艺技术	(99)
第一节 完井管柱设计	(99)
第二节 储气层改造工艺技术	(102)
第九章 提高井筒完整性的配套技术	(109)
第一节 油套管气密封检测技术	(110)
第二节 油套管入井工艺技术	(113)
第三节 井口设备优选	(118)
第十章 注采水平井钻完井工艺现场应用实例	(122)
第一节 储气库建设区井位部署情况	(122)
第二节 注采水平井钻完井工程实施	(126)
第三节 储气库钻完井工艺关键技术评价	(203)
参考文献	(214)

第一章 储气库建设的意义和概念

第一节 储气库建设的意义

中国疆域面积辽阔,人口众多,各地区能源占有情况和消费水平差异较大,北部和西部地广人稀,但石油天然气、煤炭等重要能源较为丰富;东部及南部沿海地区经济发达,人口数量庞大,对能源的需求量大,但油气等能源贫乏,导致中国能源供需长期处于不平衡状态,矛盾突出。每年夏季是用气低峰期,天然气用户需求降低,油气田生产发挥不出最大产能,而冬季是用气高峰期,尽管各油气田全力开井生产保供,但由于油气开发井的开采方式的特点和长输管道距离限制,短时间内很难达到供需平衡,以致多地出现“气荒”。从国家能源战略来看,储气库大气量快进快出的生产运行特点符合国家能源战略和季节性调峰需要,也必然成为天然气发展格局的重要组成部分,其建设意义重大。

2010年,政府为保证国家能源战略安全以及国内天然气供需平衡,委托中国石油天然气集团公司启动十座国家储气库的建设任务,规划工作气量 $244\times 10^8\text{m}^3$ 。2012年12月3日,国家发展改革委员会发布了《天然气发展“十二五”规划》,明确了“十二五”期间,中国将投资811亿元重点建设24个储气库,新增储气库工作气量 $220\times 10^8\text{m}^3$ 。中国石油天然气集团公司计划在2015年建成 $200\times 10^8\text{m}^3$ 工作气量储气库群,实现储气库工作气量占天然气总销售量的10%,到2020年将这一比例提高到15%。

国内最主要的天然气生产基地主要集中在西部,其中长庆油田作为中国陆上天然气管网枢纽中心,承担着向北京、天津、西安等15个大中城市的供气任务,其战略储备和应急作用十分突出,在长庆油田岩性气藏上建设储气库也正是因为长庆油田在国内天然气管网系统中的重要枢纽位置和天然气生产能力,长庆油田2014年油气当量超过 $5000\times 10^4\text{t}$,具备 $550\times 10^8\text{m}^3$ 年输送能力的中亚天然气西线管道也经过长庆油田,在长庆油田建设储气库的意义重大。因此中国石油天然气股份有限公司统一部署,启动了长庆岩性气藏储气库建设工作,先后在榆林气田南区、靖边气田S224区块等区块开展前期评价及注采试验工作。针对岩性储气库建设中面临的储层渗透率低、非均质性强,榆林南区与长北区块边界连通,靖边气田含硫等建设难点,通过前期评价及现场先导试验研究,初步形成了岩性气藏储气库的封闭性评价、单井注采能力论证、库容量评价及工作气量优化等低渗透岩性气藏建设储气库前期评价技术。在钻完井工艺技术方面,通过现场试验初步形成了适用于岩性气藏“三低”特点的储气库钻完井工艺技术。截至2015年,S224储气库已建成投运,初步具备对京津地区用气实现季节性调峰和应急供气的功能,其运行情况可为下古生界气田建设储气库提供决策依据,为今后储气库规模建设和运行提供技术参考。

第二节 储气库的基本概念

一、储气库定义

储气库就是将长输管道输送来的商品天然气重新注入地下可保存气体的空间而形成的一种人工气田或气藏，在需要时再将天然气采出。

二、储气库的功用

储气库的作用一是协调供求关系与调峰，缓解因各类用户对天然气需求量的不同和负荷变化而带来的供气不均衡性；二是实施战略储备，保证供气的可靠性和连续性。当供气中断时地下储气库可作为补充气源，抽取天然气，保证供气的连续性和提高供气的可靠性。提高输气效率，降低输气成本。

储气库可以降低天然气消费不均衡性对天然气生产系统和输气管网的影响，有助于实现均衡性生产和作业；有助于充分利用输气设施的能力，提高管网的利用系数和输气效率，降低输气成本。

储气库还可以通过影响气价，实现价格套利，供气与用气双方都可从天然气季节性或月差价中实现价格套利，从价格波动中获取可观的利润。供气方在天然气低价时储气不售或增加储气量，待用气高峰、价格上涨时售出；用气方在天然气低价购进储存，待冬季或用气高峰、气价上涨时抽出使用或出租储气库。

储气库可以提供应急服务，对临时用户或长期用户临时增加的需气量提供应急供气服务。

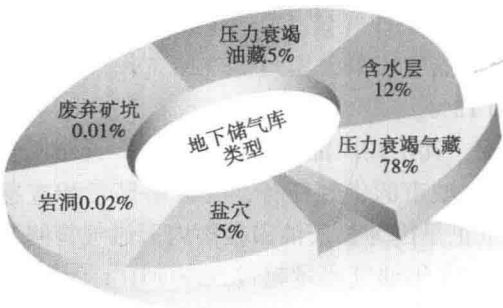


图 1-1 世界不同类型储气库工作气量比率

三、储气库类型

储气库按类型可分为孔隙型储层储气库、盐穴和废弃矿坑 3 种类型，其中孔隙型储层按储层流体性质可分为压力衰竭气藏、压力衰竭油藏和含水层 3 种储气库，以衰竭油气藏储气库为主，比例达到 83%，不同类型储气库所占比例如图 1-1 所示。

四、储气库建设与常规气田开发的区别

（一）开采方式的差异

常规气田开发追求最大采收率，开采周期长达 10 年或更长，气库则需要在很短的时间，一般是一个采气周期（3~4 个月）内把气库中的有效工作气全部开采出来，并且还需要在一个周期内将储气库注满达到满库容。

（二）设计准则上的差异

气藏开发尽量保持稳产，储气库产能设计则以满足地区月或者日最大调峰需求为原则。

(三) 运行过程上的差异

气藏开发一般产量为递减过程，储气库则是周期性变化，注气时递增、采气时递减。

(四) 建井工程质量要求上的差异

气藏开发的采气井寿命一般为 10~20 年，并且单向从高压到低压的过程，储气库注采井寿命要求 50 年以上，井筒内压力周期性变化。因此，储气库与气田开发的不同，要求储气库的注采井井筒质量必须满足长期交变压力变化和 50 年以上的运行周期，关键技术在于保证井筒的完整性，确保整个库区的井底天然气不能无控制窜至地面造成安全环保事故。据调查，截至 2009 年全世界发生的储气库安全事故有 100 多起，造成重大火灾、爆炸和人员伤亡事故，其中 60 起事故源于井筒完整性。因此储气库注采井对井身结构、固井质量、生产管柱的要求远高于常规开发井。

(五) 储层改造上的差异

气藏开发可以通过大规模压力酸化改造，提高单井产能，而储气库生产寿命长，如果对储层改造不具备相当长的有效期（8~10 年或更长）的情况下，一般不采用储层改造措施提高单井生产能力。

第二章 国内外储气库建设概况

第一节 国外储气库建设概况

地下储气库的历史，可以追溯到 20 世纪初。据有关资料显示，1915 年加拿大首次在安大略省的 WELLAND 气田进行储气实验，美国 1916 年在纽约布法罗附近的枯竭气田 ZOAR 利用气层建设储气库，1954 年在 CALG 的纽约城气田首次利用油田建成储气库，1958 年在肯塔基首次建成含水层储气库，1963 年在美国科罗拉多 DENVER 附近首次建成废弃矿坑储气库，法国在 1956 年开始地下战略储气库的建设，1959 年苏联建成第一个盐层地下储气库。截至 2010 年，全球 35 个国家和地区建成 693 座地下储气库，共建成储气库井约 23000 口，已建储气库的总工作气量达到 $3530 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占全球天然气消费量 $31000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的 11.4%。美国、俄罗斯、乌克兰、德国、意大利、加拿大、法国是传统的储气库大国，占全球地下储气库工作气量的 85%。欧洲已建成地下储气库总工作气量 $839 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，约占 2010 年欧洲 $5275 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气总消费量的 16%，2015—2020 年间计划再建 $570 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。世界范围内储气库工作气量分布如图 2-1 所示，排名见表 2-1，主要国家的天然气贸易和储备情况见表 2-2。

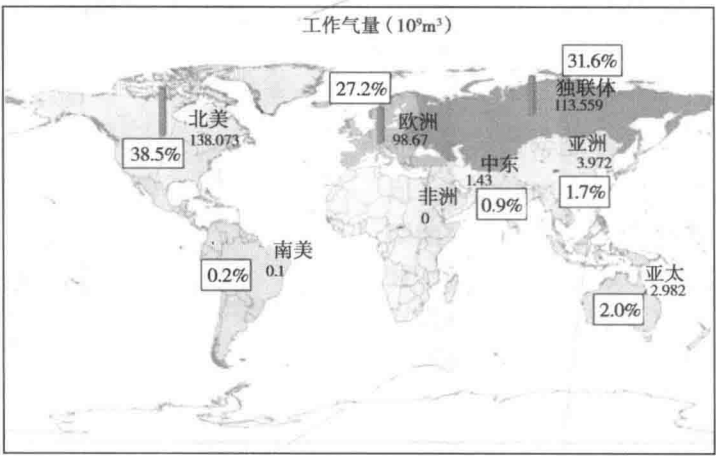


图 2-1 全球储气库工作气量分布图

表 2-2 显示，世界上发达国家对天然气能源的战略储备非常重视，特别是像法国这样的国内天然气产量较低的国家，储气库工作气量占到全国天然气消费总量的 27%，天然气储备天数达到 98d，面对能源危机的风险抵御能力较强。即使像美国和俄罗斯这样的天然气大国，在储气库的建设上也不遗余力，天然气储备天数达到 60d 以上。纵观国外储气库建设规模和特点，储气库注采井井深大多在 2000m 以内（表 2-3）。

表 2-1 世界储气库工作气量排前十位的国家

国家	储气库数量（座）				总工作气量 (10 ⁸ m ³)
	总数	油气藏	盐穴	含水层	
美国	436	354	31	51	1106.74
俄罗斯	22	15	—	7	955.61
乌克兰	13	11	—	2	318.80
德国	46	15	23	8	203.15
意大利	11	11	—	—	167.55
加拿大	52	43	9	—	164.13
法国	15	—	3	12	119.13
荷兰	3	3	—	—	50.00
乌兹别克斯坦	3	3	—	—	46.00
哈萨克	3	1	—	2	42.03

注：俄罗斯工作气量中含 300×10⁸m³ 长期战略储备。

表 2-2 主要国家天然气贸易及储备情况

国 家	法国	意大利	德国	美国	荷兰	俄罗斯
天然气产量 (10 ⁸ m ³)	—	84	100	5822	675	6017
天然气年消费量 (10 ⁸ m ³)	442	777	820	6572	386	4202
管道气进口量 (10 ⁸ m ³)	366.6	753	871	1022	180	—
管道气出口量 (10 ⁸ m ³)	—	—	151.4	269	550	1544
LNG 进口量 (10 ⁸ m ³)	126	15.6	—	99.6	—	—
LNG 出口量 (10 ⁸ m ³)	—	—	—	14	—	—
储气库有效工作气量 (10 ⁸ m ³)	119	168	203	1107	50	956
对外依存度=净进口量/年消费量 (%)	100	99	88	13	0	0
储消比=储气库工作气量/年消费量 (%)	27	22	24	17	13	23
储备天数=储消比×365	98	79	90	61	47	83

注：数据均来自国际天然气联盟 IGU，2010 年。

表 2-3 国外储气库注采井井深统计表

气库顶深（m）	数量（座）	百分比（%）
<100	5	0.88
100~200	17	2.99
300~500	114	20.04
500~1000	227	39.89
1000~1500	121	21.27
1500~2000	54	9.49
2000~2500	16	2.81
2500~3000	11	1.93
>3000	4	0.70
合计	569	100

按工作气量的规模 99.7% 在 $0 \sim 100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 范围内, $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 规模的储气库占大多数, 比例为 76.1%, 以库群的形势存在, $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上的仅占 0.3% (表 2-4)。按工作气量与库容量的比例统计, 气藏型储气库为 51%, 含水层 42%, 盐穴 77%。

表 2-4 国外储气库规模统计表

规模 (10^8 m^3)	数量 (座)	百分比 (%)
0~1	232	38.8
1~5	223	37.3
5~10	60	10.0
10~20	50	8.4
20~100	31	5.2
100 以上	2	0.3
合计	598	100

注: 数据均来自国际天然气联盟。

一、美国储气库建设概况

1916 年, 美国建成了第一座储气库。2003 年建成 410 座储气库, 目前美国储气库的数量世界第一, 占目前世界总量的 3/4。总计库存能力和高峰负荷时的日送气量都居世界领先地位。2004—2010 年, 美国新建 26 座地下储气库, 扩建 47 座 (盐穴储气库有 31 座), 储气能力达到 $2277 \times 10^8 \text{ m}^3$, 工作气量 $1106.74 \times 10^8 \text{ m}^3$, 相当于年天然气消费量的 17%, 如图 2-2 所示。

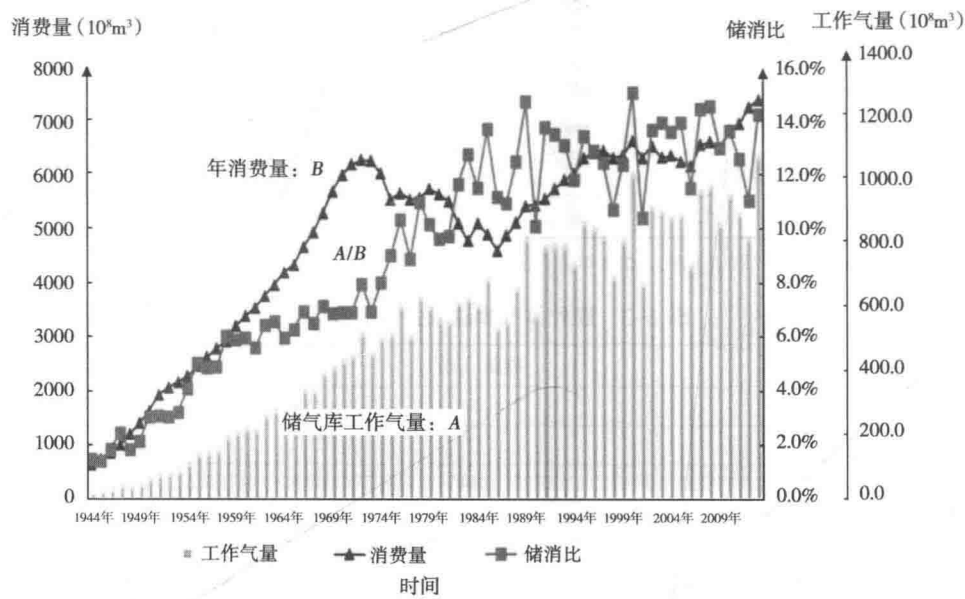


图 2-2 美国天然气消费量及储气库工作气量变化曲线

美国天然气消费量及储气库工作气量的变化原因是 1938—1972 年为美国天然气工业快速发展期, 完善的天然气管网体系已经成形, 1949—1979 年地下储气库得到快速发展, 工

作气量占天然气年消费量比例从 2% 增加到 10%。到 1980 年后进入平稳发展期, 2000—2010 年间的工作气量占年消费量比例为 14~17%。

二、俄罗斯储气库建设概况

俄罗斯地下储气库主要分布在天然气消费区, 是俄罗斯统一供气系统不可分割的组成部分。截至 2010 年, 俄罗斯拥有 22 座储气库, 排名世界第二, 其中油气藏型 15 个, 含水层型 7 个, 总工作气量达到 $955.61 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占到国内天然气消费总量的 23%~27% (图 2-3), 供气高峰期间日采气量达到 $7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水平。俄罗斯计划 2030 年前投资 2000 亿卢布用于发展地下储气系统。

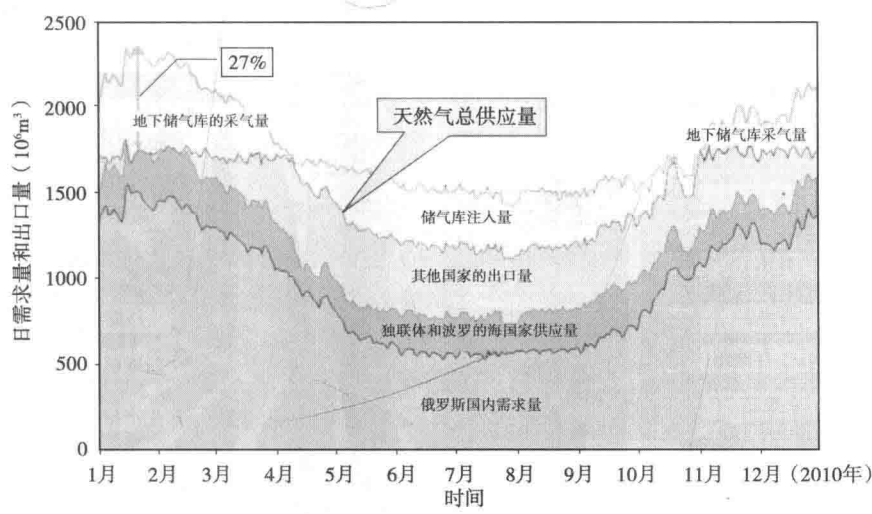


图 2-3 俄罗斯地下储气库在天然气供应中的比重

三、荷兰储气库建设概况

荷兰天然气年产量约 $675 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年消费量为 $386 \times 10^8 \text{ m}^3$, 截至 2010 年建设储气库 3 座, 工作气量 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$, 调峰期日供气量的 13% 来自地下储气库, 天然气储备天数达到 47d。

荷兰储气库建设的特点是把储气库与气田开发作为一个统一的系统管理, 荷兰政府有意识地先开发小气田满足日常天然气消费, 在供气高峰期大气田开始贡献产量, 如果仍然无法满足日常需求, 则储气库及 LNG 等项目参与调峰, 在天然气需求量不大的夏季, 停止大气田生产, 并开始向储气库注气 (图 2-4)。比较典型的是荷兰的格罗宁根气田系统, 它包括格罗宁根气田和两个储气库 (Norg、Grijpskerk), 在荷兰及欧洲天然气市场中扮演战略储备和调峰角色。格罗宁根气田 1959 年发现, 面积 900 km^2 , 可采储量约 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 气田 1962 年投入开发, 截至 2010 年有生产井 298 口, 注水井 3 口, 观察井 32 口, 气田生产能力为 $3.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$, 2009 年生产天然气 $700 \times 10^8 \text{ m}^3$, 剩余可采储量约 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

Norg 凝析气田 1983 年投产, 1995 年转为储气库, 采出程度为 38%, 1997 年开始回注, 储气库库容为 $280 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年工作气量为 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 现有注采井 6 口, 注入量可达 $1200 \sim 2400 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采出量可达 $5000 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。2010 年实际采出 $13 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。Norg 储气库建设以丛式井组开发为主, 井站合一, 如图 2-5 所示。

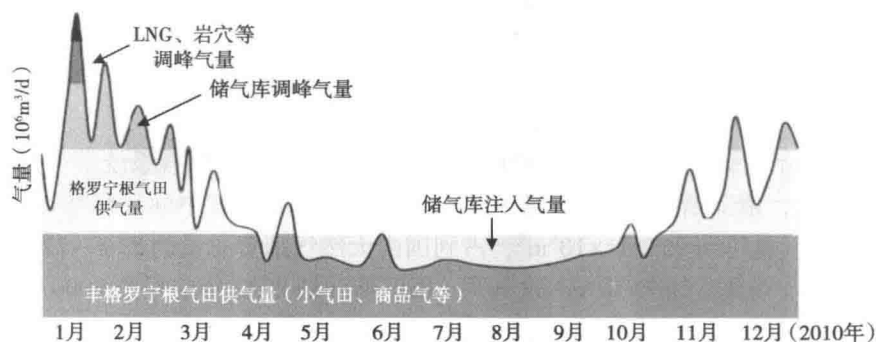


图 2-4 荷兰格罗宁根气田系统

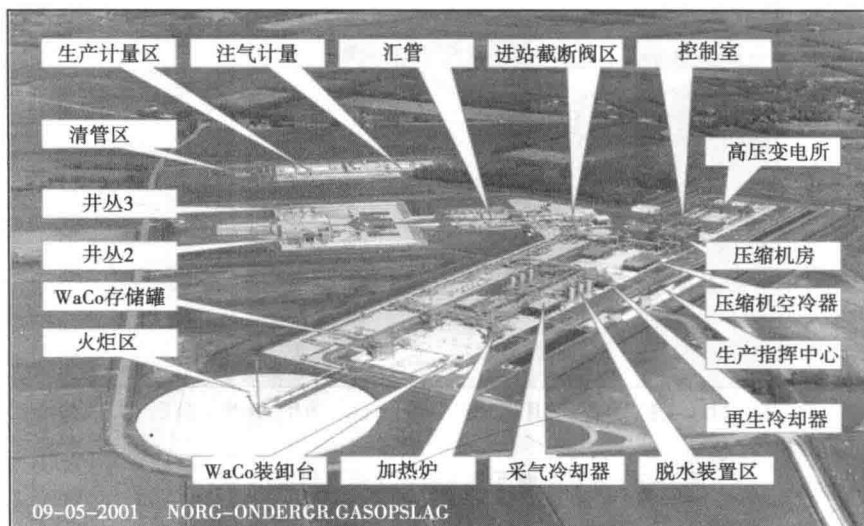


图 2-5 Norg 储气库俯视图

四、德国储气库建设概况

德国年天然气生产能力约 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，年消费量为 $820 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，对外依存度高达 88%，截至 2010 年建设储气库 46 座，工作气量达到 $203 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，天然气储备天数达到 90d。其中 VNG 公司拥有 5 座储气库，储气库工作气总量 $23 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，储气库注入气量 $2000 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，采出气量为 $2800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，见表 2-5。

表 2-5 VNG 公司 5 座储气库概况

储气库	类型	井数	深度 (m)	工作气量 (10^8 m^3)	垫气量 (10^8 m^3)	日注入量 (10^6 m^3)	日采出量 (10^6 m^3)
BadLauchstädt	盐穴	18	780~950	5.85	2.85	20	28
	气藏	14	800	4.40	2.31		
Bernburg	盐穴	32	500~700	9.90	3.02	12	35
Kirchheilingen	气藏	7	900	2.0	0.5	3	3

续表

储气库	类型	井数	深度 (m)	工作气量 (10^8m^3)	垫气量 (10^8m^3)	日注入量 (10^6m^3)	日采出量 (10^6m^3)
Buchholz	水藏	8	750~710	1.6	0.63	1.4	3.6
Burggraf-Bernsdorf	废弃矿坑	1	580	0.034	0.017	2.9	1.7
合计		80	—	23.78	9.327	39.3	71.3

五、法国储气库建设概况

法国气田数量有限，天然气年消费总量达 $442\times 10^8\text{m}^3$ ，天然气主要依赖进口，为预防天然气进口量的任何中断，必须建设地下储气库实行天然气战略储备。截至 2010 年法国建设储气库 15 座，气库库容 $233\times 10^8\text{m}^3$ ，工作气量 $119.13\times 10^8\text{m}^3$ ，调峰期日供气量的 27% 来自地下储气库。如天然气管网中断供气，地下气库可向全国供气 90 余天。法国从 1956 年开始建设储气库，到 1991 年底法国燃气公司 GAZDE FRANCE 建成投运的 11 座地下储气库，总库容为 $169.14\times 10^8\text{m}^3$ 。其中有 9 座属于水层储气库，合计库容为 $158.76\times 10^8\text{m}^3$ ，最大的地下储气库是 1968 年建成投运的 Chemery 储气库，储层深 1120m，库容为 $69.25\times 10^8\text{m}^3$ ，有效工作气量为 $32.8\times 10^8\text{m}^3$ 。法国储气库分布如图 2-6 所示。



图 2-6 法国储气库分布图