

# 中国天然气 地下储气库

马新华 丁国生 等编著



石油工业出版社

# 中国天然气地下储气库

马新华 丁国生 等编著



石油工业出版社



## 内 容 提 要

本书在介绍国内外天然气地下储气库建设现状的基础上,分析了中国地下储气库的市场需求与资源分布,详细论述了气藏型与盐穴型两类储气库的建库技术、储气库完整性管理与风险管控,并对中国地下储气库的运行管理模式进行探索性分析。

本书可供从事地下储气库工作的科研人员和技术管理人员参考阅读,也可供高等院校相关专业的师生参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

中国天然气地下储气库/马新华等编著. —北京:  
石油工业出版社, 2018. 11

ISBN 978 - 7 - 5183 - 2600 - 6

I. ①中… II. ①马… III. ①天然气 - 地下储气库 -  
研究 - 中国 IV. ①TE972

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 215479 号

审图号:GS(2018)2487 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)64523537 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

---

2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:34. 5

字数:780 千字

---

定价:280. 00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

# 《中国天然气地下储气库》

## 编 写 组

主 任:马新华 丁国生

副 主 任:何 刚 郑得文 王皆明 郑雅丽

成 员:胥洪成 孙军昌 孙春柳 罗金恒 齐奉忠

张刚雄 赵 凯 魏 欢 王春燕 李 春

垢艳侠 石 磊 冉莉娜 唐立根 李 康

王兆会 李景翠 张 哲 李丽锋 武志德

王建军 陈宏健 付太森 孙建华 朱华银

邱小松 完颜祺琪 赖 欣 李东旭 张 敏

钟 荣 裴 根 祁红林 赵艳杰 文韵豪

刘主宸

# 序

中国已经进入全面建成小康社会的决胜阶段,打响污染防治攻坚战,大力发展清洁能源已经成为中国能源发展利用的主旋律,天然气作为高效、清洁能源的代表,是中国未来最现实的选择。21 世纪以来,中国天然气工业得到了快速的发展,天然气消费量从 2000 年的  $240 \times 10^8 \text{ m}^3$  上升到 2017 年的  $2400 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,已经成为世界第三大天然气消费国,到 2030 年,中国天然气消费量将突破  $5000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,成为支撑中国绿色发展和可持续发展的主力清洁能源。加大天然气基础设施建设,实现天然气“产、运、储、用”全产业链的协调发展,是中国天然气产业健康发展的必由之路。

在天然气全产业链中,地下储气库是保障天然气管网高效安全运行、平衡季节用气峰谷差、应对长输管道突发事件、保障国家能源安全的战略性基础设施。国外地下储气库已经有百年历史,已建成近 700 座地下储气库, $3600 \times 10^8 \text{ m}^3$  年工作气量,约占世界天然气年消费量的 11%。天然气利用比较发达的国家和地区,如美国、俄罗斯、欧盟,储气库年工作气量达到年天然气消费量的 15% ~ 20%。实践证明,地下储气库在以大规模长输管道为主的天然气供给体系中,具有无可替代的重要地位。

中国地下储气库经过 20 年的发展,已经取得了相当的成就,成为冬季调峰保供的主要手段之一,为中国天然气安全保供发挥了重要作用。随着中国天然气消费量的快速攀升,未来的地下储气库需求也将快速增长,预计 2030 年我国地下储气库需求将超过  $750 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地下储气库建设任重道远。

马新华教授带领其团队,基于多年在储气库建设和运行中积累的丰富经验和技能,历时 2 年编写的《中国天然气地下储气库》一书,不但对过去 20 年中国地下储气库的建设成果和技能进行了总结,而且对未来中国地下储气库的建设进行了分析与展望,可以使广大读者系统全面地了解中国的天然气地下储气库,是国内地下储气库领域的一部精品力作。相信本书的出版,将为国内未来地下储气库的建设提供重要的理论技术指导,为促进中国储气库行业的快速发展做出贡献。

中国工程院院士: 

2018 年 8 月 26 日



# 前言

地下储气库是将天然气重新注入枯竭油气藏、含水层、盐穴、废弃矿坑等天然或人工的地下构造中,形成的一种人工气田或气藏,是集季节调峰、应急供气、战略储备等功能于一体的储气设施。地下储气库主要有四种类型,油气藏型、含水层型、盐穴型及其他类型(岩洞、废弃矿井/矿坑型)。不同类型储气库储气构造、工作原理、投资以及建库工程技术等各不相同。

中国地下储气库的选址与天然气市场需求和主力消费区位置、天然气输气管道分布相关,更与中国油气藏资源分布尤其是气藏分布和沉积盆地储盖层组合条件密切相关。对于孔隙型储层储气库(包括油气藏型和含水层型)来说,选择埋藏浅、储层物性好、构造完整、盖层密封条件好的圈闭建设储气库;对于盐穴储气库来说,选择埋藏浅、盐层厚度大、盐层含盐量高、夹层少的含盐地层建设盐穴储气库。但中国东部天然气主力消费区,比较适合建库的浅部地层由于受构造运动和陆相沉积的双重影响,选择理想的库址是比较困难的。因此,中国在地下储气库选址建设上与国外存在着明显的差异,埋藏深、构造复杂、储层或盐层条件较差等是中国储气库最明显的特点。由于中国复杂的地质条件,决定了中国地下储气库的建设在借鉴国外储气库建设经验的基础上,必定要走出一条符合中国复杂地质条件的地下储气库建设之路。

中国地下储气库建设面临的主要挑战包括:建库地质构造复杂,尤其是气藏埋藏深、构造破碎、储层非均质性强,选址与设计难度大;枯竭气藏建库储层压力低、对强交变载荷储气库钻井工程要求非常高;储气库大排量快速注采,缺乏地面高压大流量注采核心技术与装备;复杂构造储气库长期安全运行风险大等。

尽管面临上述诸多挑战,在中国储气库建设者的共同努力下,通过不断的探索实践,克服了重重困难,储气库建设仍然取得了令人瞩目的成就。自2000年国内第一座商业化储气库——大港油田大张坨储气库投产以来,到2017年末,中国利用油气藏建成23座气藏型储气库,利用盐层投产2座盐穴储气库,已建成储气库调峰能力超过 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,在调峰保供中发挥了重要作用。经过20年的努力,不仅建成了25座储气库,更是形成了针对复杂地质条件的选址评价、工程技术、装备制造和运行调控的储气库成套技术和标准体系。

1996—2003年,笔者在中国石油勘探开发研究院廊坊分院担任副院长,期间主管和参与了大港板桥储气库群库址筛选、西气东输金坛储气库选址设计等工作,从此与地下储气库结下不解之缘。2010年,中国石油天然气集团公司开始大规模开展地下储气库建设,我在中国石油勘探与生产分公司担任副总经理,全面负责中国石油地下储气库的选址、评价、设计、建设。从2010年到2014年,中国石油相继建成了新疆油田呼图壁、西南油气田相国寺、华北油田板桥、辽河油田双6、大港油田板南和长庆油田陕224等一批储气库,使中国石油储气库工作气量得到了快速的提升。

作为中国地下储气库建设的亲历者,回顾这些年储气库选址、设计和建设,对照储气库发达国家的发展经验,我深感中国未来地下储气库需求巨大,建设任务艰巨,有必要系统总结中国过去 20 年储气库建设的技术与成果,为未来中国地下储气库的建设提供借鉴,更好地促进中国地下储气库的发展。基于此,我自 2016 年初开始着手本书的编写工作,与编写团队一道,历时 2 年,调研了大量的国内外储气库相关文献,收集了国内已建成地下储气库的相关资料 and 研究成果,总结了不同类型储气库建设的技术特点,对中国重点区域库址资源进行了分析,对未来储气库建设规模和运营管理模式进行了探讨,经汇总提炼,构成了本书的主要内容,在中国地下储气库建设过程中形成了很多好的管理经验,限于本书的篇幅,没有进行归纳介绍,略有遗憾。希望本书可以为从事地下储气库工作和希望了解中国地下储气库的相关人员提供参考和帮助。

全书共分七章,第一章由马新华、丁国生、魏欢编写;第二章由马新华、何刚、孙军昌、胥洪成、赵凯、孙春柳、冉莉娜、付太森、孙建华编写;第三章由郑雅丽、郑得文、魏欢、邱小松、赖欣、赵艳杰编写;第四章由马新华、王皆明、胥洪成、李春、孙军昌、赵凯、齐奉忠、王兆会、王春燕、石磊、李景翠、张哲、唐立根、裴根、钟荣、朱华银、文韵豪、刘主宸编写;第五章由丁国生、孙春柳、垢艳侠、李康、冉莉娜、完颜祺琪、武志德、张敏、李东旭编写;第六章由马新华、罗金恒、李丽锋、王建军、陈宏健编写;第七章由丁国生、张刚雄编写。全书由马新华统稿。

在本书的编写过程中,得到了中国石油学会赵政璋理事长的指导,也得到了中国石油勘探与生产分公司汤林副总经理、毛蕴才处长、班兴安处长等同志的大力协助;中国石油集团工程技术研究院,中国石油新疆油田分公司、西南油气田分公司、华北油田分公司、大港油田分公司、辽河油田分公司、长庆油田分公司,中石油北京天然气管道有限公司和中国石油西气东输管道公司为本书提供了许多宝贵资料,在此表示衷心感谢。

由于储气库涉及地质勘探、气库设计、工程建设、管道输送、风险管控、调峰协调、经营管理等各方面,是一个复杂的系统工程,本书的总结难免存在疏漏和不当,敬请读者指正。



2018 年 9 月



# 目 录

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 第一章 世界天然气地下储气库概况 .....        | (1)   |
| 第一节 地下储气库的发展历史 .....          | (1)   |
| 第二节 全球地下储气库建设现状 .....         | (3)   |
| 第三节 全球地下储气库发展趋势 .....         | (9)   |
| 第四节 典型国家与地区地下储气库 .....        | (12)  |
| 第五节 世界储气库建设与发展的启示 .....       | (21)  |
| 参考文献 .....                    | (22)  |
| 第二章 中国已建天然气地下储气库 .....        | (23)  |
| 第一节 双6 多层系气顶带油环砂岩储气库 .....    | (23)  |
| 第二节 板桥枯竭水侵砂岩储气库群 .....        | (29)  |
| 第三节 板南复杂断块砂岩储气库群 .....        | (37)  |
| 第四节 京58 多种复杂油藏类型储气库群 .....    | (45)  |
| 第五节 苏桥超深强底水碳酸盐岩储气库 .....      | (57)  |
| 第六节 金坛复杂层状盐岩储气库 .....         | (69)  |
| 第七节 刘庄多层带油环复杂岩性储气库 .....      | (81)  |
| 第八节 文96 多层低含凝析油砂岩储气库 .....    | (88)  |
| 第九节 相国寺高陡逆冲薄层角砾云岩储气库 .....    | (95)  |
| 第十节 呼图壁大型多层水侵砂岩储气库 .....      | (102) |
| 第十一节 陕224 岩性圈闭含硫碳酸盐岩储气库 ..... | (110) |
| 第三章 中国地下储气库市场需求与资源分布 .....    | (116) |
| 第一节 中国地下储气库市场需求 .....         | (116) |
| 第二节 气藏型储气库资源分布 .....          | (123) |
| 第三节 盐穴型储气库资源分布 .....          | (158) |
| 第四节 含水层型储气库资源潜力 .....         | (180) |
| 参考文献 .....                    | (214) |
| 第四章 气藏型储气库建库技术 .....          | (215) |
| 第一节 气藏型储气库主要特点 .....          | (215) |
| 第二节 建库地质评价 .....              | (225) |
| 第三节 库容参数设计 .....              | (245) |
| 第四节 建库地质方案设计 .....            | (253) |
| 第五节 钻井工程技术 .....              | (282) |



第六节 注采工艺 ..... (326)

第七节 地面工程 ..... (354)

第八节 库存管理与配产配注 ..... (380)

第九节 储气库 QHSE 管理体系 ..... (402)

参考文献 ..... (405)

**第五章 盐穴型储气库建库技术** ..... (406)

第一节 盐穴型储气库建库基本特点 ..... (406)

第二节 盐层地质评价 ..... (409)

第三节 造腔设计 ..... (415)

第四节 稳定性评价 ..... (424)

第五节 造腔控制 ..... (440)

第六节 盐腔检测 ..... (452)

第七节 注气排卤技术 ..... (458)

第八节 地面工程配套工艺 ..... (467)

第九节 运行方案设计与优化 ..... (471)

第十节 已有老腔改造技术 ..... (480)

参考文献 ..... (487)

**第六章 储气库完整性管理与风险管控** ..... (488)

第一节 国内储气库完整性现状 ..... (488)

第二节 气藏型储气库完整性技术 ..... (495)

第三节 盐穴型储气库完整性技术 ..... (514)

第四节 储气库完整性技术应用案例 ..... (516)

参考文献 ..... (519)

**第七章 储气库运营管理模式** ..... (521)

第一节 国外储气库运营管理模式 ..... (521)

第二节 中国储气库运营管理模式 ..... (538)

参考文献 ..... (544)

# 第一章 世界天然气地下储气库概况

地下储气库是将天然气重新注入枯竭油气藏、含水层、盐穴、废弃矿坑等天然或人工的地下构造中,形成的一种人工气田或气藏,是集季节调峰、应急供气、战略储备等功能于一体的储气设施。地下储气库主要有4种类型,油气藏型、含水层型、盐穴型及其他类型(岩洞、废弃矿井/矿坑型)储气库,不同类型储气库储气构造、工作原理、投资等各不相同。油气藏型储气库根据改造前油气藏类型不同,又可分为油藏型和气藏型,其中气藏型是主要的建库类型,油藏型仅占极小部分。含水层型储气库是利用封闭的地下含水构造,通过向构造中注入天然气,将岩层孔隙中的水排走而形成的储气场所。盐穴型储气库是利用地下较厚的盐层或盐丘,采用水溶方式在盐层或盐丘中制造洞穴形成储存空间来存储天然气。

作为天然气产业链中不可缺少的重要组成部分,地下储气库具备两大作用:一是调节用气的不均衡性,削峰填谷,当夏季天然气市场用气量低于管道输气能力时,将富余的气量注入储气库中,当冬季市场用气量超过管道输气能力时,再从气库中采出天然气向用户供气;二是作为应急储备和战略储备,当气源或上游输气系统发生故障、检修或由于政治、经济、外交、军事等方面的因素导致进口气中断时,储气库可以保证连续供气,保证输气系统的正常运转。

## 第一节 地下储气库的发展历史

世界最早的地下储气库建设可以追溯到20世纪初,距今已有百年历史。1915年,加拿大首次在安大略省的WELLAND气田进行储气实验;1916年,美国在纽约布法罗附近的枯竭气田ZOAR利用气层建设地下储气库;1954年,美国在CALG的纽约城气田首次利用油田储气;1958年,美国在肯塔基首次利用含水层储气;1959年,苏联建成第一个盐层地下储气库;1961年,美国首次利用盐穴储气;1963年,美国在克罗拉多DENVER附近首次利用废矿储气。

根据世界地下储气库发展特征,将地下储气库建设分为三个阶段,即发展初期、快速发展期和平稳发展期(图1-1-1和图1-1-2)。发展初期阶段主要是20世纪50年代以前,受建库技术水平限制,全球地下储气库发展比较缓慢,到1945年仅有75座,且类型单一,多为利用枯竭气藏改建形成。50年代以后,地下储气库建设进入快速发展阶段,受天然气市场发展程度、天然气产量、管道发展等因素影响,地下储气库在类型及数量上迅猛发展,各类地下储气库建设高峰期为1970—1980年,这10年间的建库数量最高,达到120座。20世纪90年代以来,全球储气库工作气量发展速度下降,高峰采气速度保持同等水平,储气库建设进入平稳发展期(图1-1-3)。

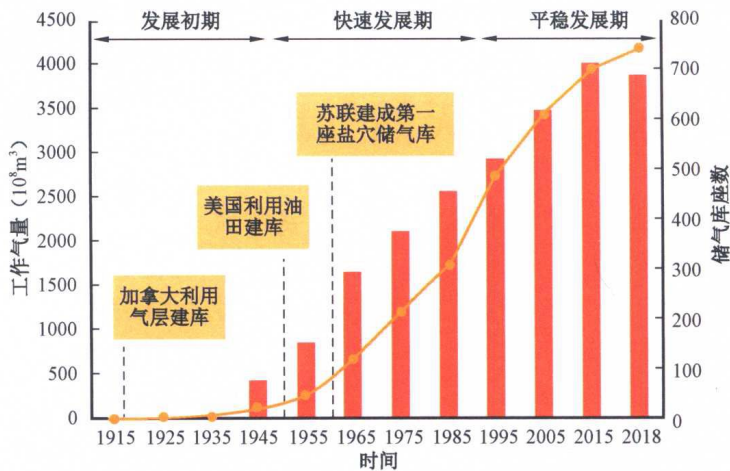


图 1-1-1 世界地下储气库建设历程及规模图<sup>[1]</sup>

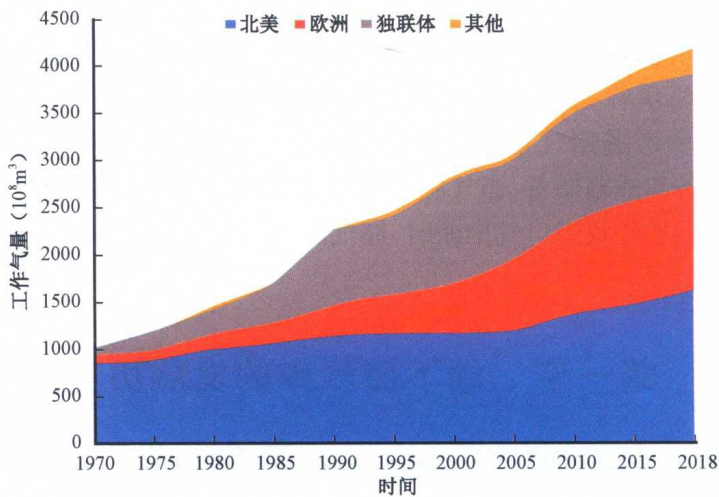


图 1-1-2 全球工作气量变化趋势图<sup>[1]</sup>

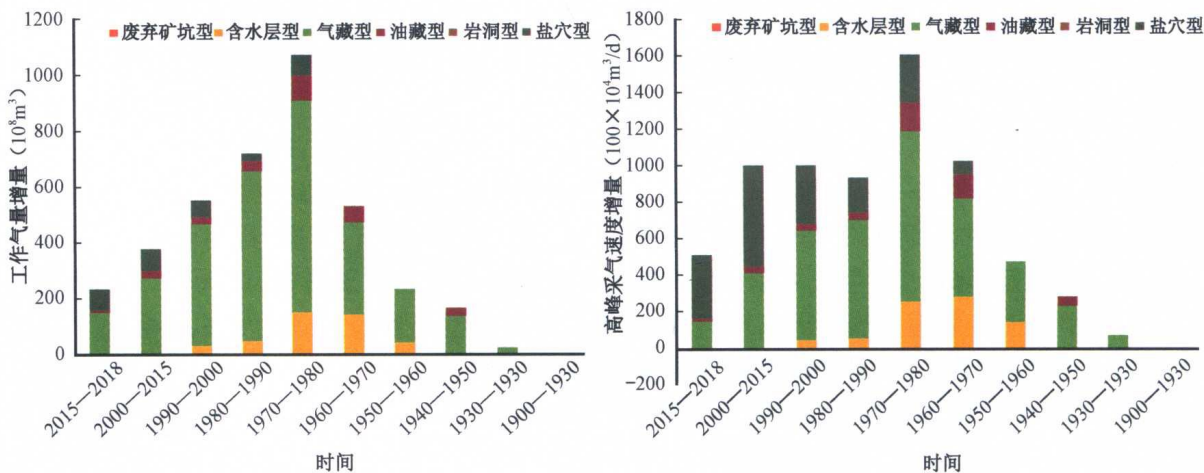


图 1-1-3 工作气量与高峰采气速度发展过程<sup>[1]</sup>



第二节 全球地下储气库建设现状

据国际天然气联盟(IGU)最新资料统计<sup>[1]</sup>,目前世界上共有 689 座地下储气库,总工作气量达  $4165.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 约占全球天然气总消费量( $35429 \times 10^8 \text{ m}^3$ )的 11.8%, 与 2015 年  $3933 \times 10^8 \text{ m}^3$  相比,增加了  $232 \times 10^8 \text{ m}^3$  工作气量,绝对增量最高的北美约增加  $140 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 其次是亚洲(主要是中国,下文同)增加  $57 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 中东(主要是伊朗和阿联酋,下文同)增加  $33 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 亚太(主要是澳大利亚和日本,下文同)增加  $21 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。全球地下储气库的高峰采气速度约为  $7166 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ , 较 2015 年增加了  $510 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其中北美的增量最高( $551 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ ), 其次为独联体( $45 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ )、亚洲( $11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ )和中东( $4.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ )地区。

一、各地区储气库工作气量分布

全球地下储气库总工作气量中,北美地区占 39% ( $1627 \times 10^8 \text{ m}^3$ ),独联体占 28% ( $1186 \times 10^8 \text{ m}^3$ ), 欧盟占 26% ( $1088 \times 10^8 \text{ m}^3$ ) (图 1-2-1, 表 1-2-1), 在这三个地区,地下储气库年工作气量占年消费量比例平均为 14%, 其中美国地下储气库数量及工作气量居全球首位,共拥有 393 座,工作气量达到  $1360.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占年消费量的比例为 17.48%, 俄罗斯为 18.38%, 其次是乌克兰和加拿大(表 1-2-2) (注:工作气量指地下储气库一年内的采气量总和)。

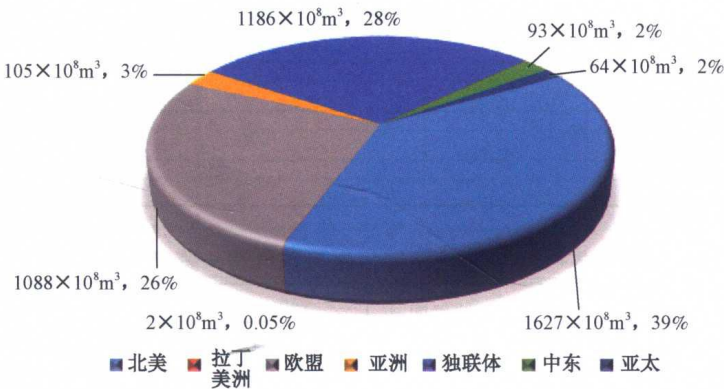


图 1-2-1 世界不同地区地下储气库工作气量在全球范围内的比例统计图

表 1-2-1 全球七大地区地下储气库类型及工作气量一览表<sup>[1]</sup>

| 地区 | 类型  | 数量(座) | 工作气量( $10^8 \text{ m}^3$ ) |
|----|-----|-------|----------------------------|
| 亚洲 | 气藏型 | 18    | 99                         |
|    | 油藏型 | 1     | 2                          |
|    | 盐穴型 | 3     | 5                          |
|    | 小计  | 22    | 105                        |
| 亚太 | 气藏型 | 10    | 64                         |

续表

| 地区   | 类型   | 数量(座) | 工作气量(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> ) |
|------|------|-------|---------------------------------------|
| 独联体  | 气藏型  | 30    | 954                                   |
|      | 含水层型 | 13    | 192                                   |
|      | 油藏型  | 2     | 35                                    |
|      | 盐穴型  | 3     | 5                                     |
|      | 小计   | 48    | 1186                                  |
| 欧盟   | 气藏型  | 71    | 710                                   |
|      | 油藏型  | 4     | 11                                    |
|      | 盐穴型  | 47    | 198                                   |
|      | 含水层型 | 21    | 168                                   |
|      | 岩洞型  | 2     | 1                                     |
|      | 废弃矿坑 | 1     | 0                                     |
|      | 小计   | 146   | 1088                                  |
| 拉丁美洲 | 气藏型  | 1     | 2                                     |
| 中东   | 气藏型  | 3     | 93                                    |
| 北美   | 气藏型  | 330   | 1162                                  |
|      | 油藏型  | 34    | 207                                   |
|      | 盐穴型  | 48    | 147                                   |
|      | 含水层型 | 46    | 111                                   |
|      | 岩洞型  | 1     | 0                                     |
|      | 小计   | 459   | 1627                                  |
| 合计   |      | 689   | 4165                                  |

表 1-2-2 世界地下储气库工作气量一览表<sup>[1,2]</sup>

| 国家  | 消费量<br>(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> ) | 地下储气库<br>数量 | 工作气量<br>(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> ) | 高峰采气速度<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /d) | 工作气量占比<br>(%) |
|-----|------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|
| 美国  | 7786                                     | 393         | 1360.8                                    | 3406.58                                       | 17.48         |
| 俄罗斯 | 3909                                     | 23          | 718.5                                     | 798.44                                        | 18.38         |
| 乌克兰 | 290                                      | 13          | 321.8                                     | 264.38                                        | 110.97        |
| 加拿大 | 999                                      | 66          | 265.8                                     | 266.34                                        | 26.61         |
| 德国  | 805                                      | 49          | 238.3                                     | 690.41                                        | 29.60         |
| 意大利 | 645                                      | 12          | 173.6                                     | 243.72                                        | 26.91         |
| 荷兰  | 336                                      | 5           | 123.8                                     | 277.82                                        | 36.85         |
| 法国  | 426                                      | 16          | 129.8                                     | 224.23                                        | 30.47         |
| 奥地利 | 87                                       | 8           | 81.2                                      | 92.71                                         | 93.33         |

续表

| 国家     | 消费量<br>(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> ) | 地下储气库<br>数量 | 工作气量<br>(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> ) | 高峰采气速度<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /d) | 工作气量占比<br>(%) |
|--------|------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|
| 伊朗     | 2008                                     | 2           | 60                                        | 28.68                                         | 2.99          |
| 匈牙利    | 89                                       | 5           | 61                                        | 75.77                                         | 68.54         |
| 乌兹别克斯坦 | 514                                      | 2           | 40                                        | 47.42                                         | 7.78          |
| 英国     | 767                                      | 8           | 15.3                                      | 111.9                                         | 1.99          |
| 中国     | 2103                                     | 22          | 105.4                                     | 145.85                                        | 5.01          |
| 哈萨克斯坦  | 134                                      | 3           | 46.5                                      | 34.37                                         | 34.70         |
| 阿塞拜疆   | 104                                      | 3           | 47                                        | 14.5                                          | 45.19         |
| 捷克     | 78                                       | 9           | 35.4                                      | 75.63                                         | 45.38         |
| 西班牙    | 280                                      | 4           | 33.7                                      | 31.49                                         | 12.04         |
| 斯洛伐克   | 44                                       | 3           | 35.8                                      | 44.18                                         | 81.36         |
| 阿联酋    | 766                                      | 1           | 33                                        | 4.4                                           | 4.31          |
| 罗马尼亚   | 106                                      | 7           | 31.3                                      | 32.4                                          | 29.53         |
| 澳大利亚   | 411                                      | 7           | 60.3                                      | 10.74                                         | 14.67         |
| 波兰     | 173                                      | 9           | 32.2                                      | 51.54                                         | 18.61         |
| 土耳其    | 421                                      | 2           | 38.6                                      | 57.54                                         | 9.17          |
| 拉脱维亚   | —                                        | 1           | 23                                        | 30                                            | —             |
| 日本     | 1112                                     | 2           | 1.3                                       | 1.54                                          | 0.12          |
| 白俄罗斯   | 170                                      | 3           | 10.8                                      | 30.98                                         | 6.35          |
| 丹麦     | 32                                       | 2           | 10.2                                      | 25.2                                          | 31.88         |
| 比利时    | 154                                      | 1           | 7                                         | 15                                            | 4.55          |
| 克罗地亚   | —                                        | 1           | 5.6                                       | 5.76                                          | —             |
| 保加利亚   | 30                                       | 1           | 5.5                                       | 4.2                                           | 18.33—        |
| 塞尔维亚   | —                                        | 1           | 4.5                                       | 5.04                                          | —             |
| 新西兰    | 47                                       | 1           | 2.7                                       | 1.2                                           | 5.74          |
| 葡萄牙    | 52                                       | 1           | 2.4                                       | 7.2                                           | 4.62          |
| 阿根廷    | 496                                      | 1           | 1.5                                       | 1.92                                          | 0.30          |
| 亚美尼亚   | —                                        | 1           | 1.6                                       | 6                                             | —             |
| 瑞典     | 9                                        | 1           | 0.1                                       | 0.96                                          | 1.11          |
| 合计     | 25383                                    | 689         | 4165.3                                    | 7166.04                                       | 16.41         |

近年来,全球各地区储气库工作气量有明显增加,美国增量最高,其次是俄罗斯、乌克兰、加拿大和德国。各国增量影响因素不尽相同,美国和加拿大工作气量的增加主要源于已建储



气库项目的达容和扩容,相对而言,伊朗、荷兰、德国、波兰等国家储气库工作气量的增加主要源于新建储气库项目的投产运行(图 1-2-2)。

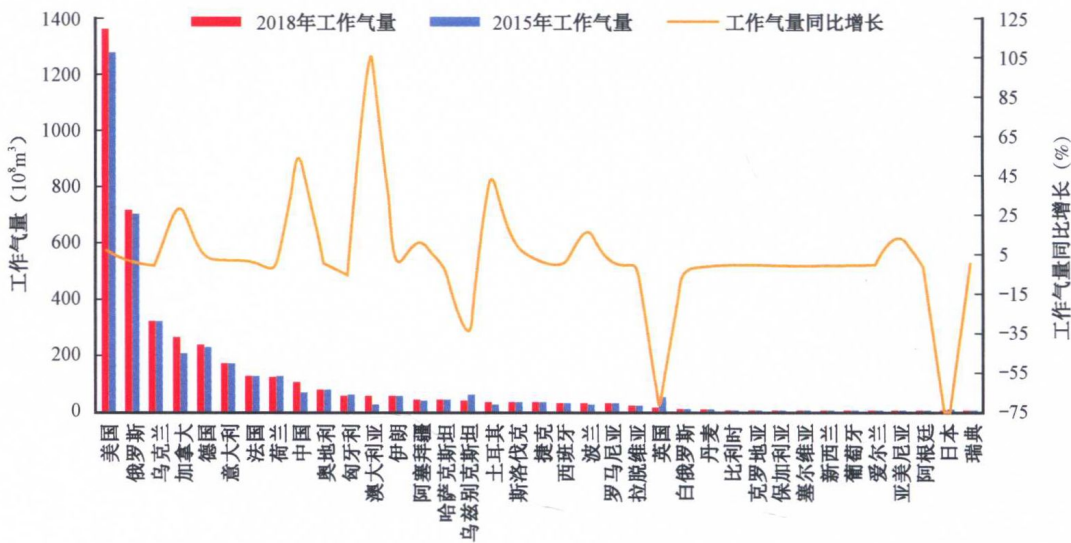


图 1-2-2 2015—2018 年全球地下储气库工作气量增量变化

二、各类型储气库工作气量比例

全球地下储气库总工作气量的 74% 分布于气藏型地下储气库中( $3084 \times 10^8 \text{ m}^3$ ), 11% 分布于含水层型地下储气库( $471 \times 10^8 \text{ m}^3$ ), 9% 分布于盐穴型地下储气库( $355 \times 10^8 \text{ m}^3$ ), 6% 分布于油藏型地下储气库( $255 \times 10^8 \text{ m}^3$ ), 其他类型地下储气库(例如在岩洞基础上改建的地下储气库和在废弃坑道基础上改建的地下储气库)的工作气量忽略不计(图 1-2-3)。全球有两个在岩洞基础上改建的地下储气库,用于储存气态天然气,一个是捷克境内的 Haje 地下储气库,其工作气量为  $7500 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;另一个是瑞典境内的在岩洞内衬钢管工程中改建的地下储气库,其工作气量为  $900 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。在废弃矿坑基础上改建的地下储气库只有一座,位于德国境内,其工作气量为  $340 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

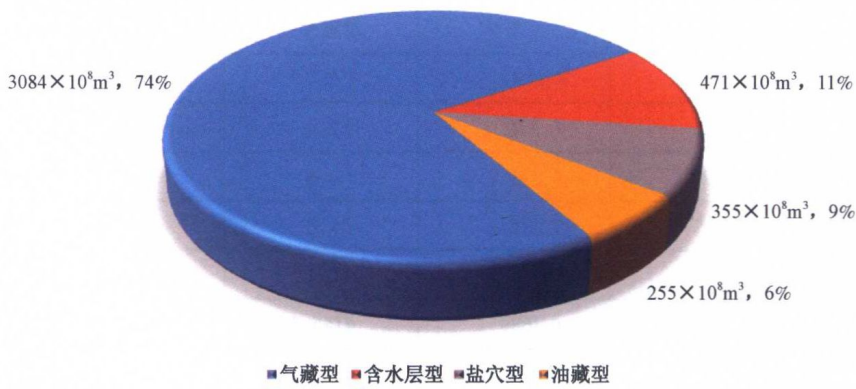


图 1-2-3 不同类型地下储气库工作气量分布图

三、各类型储气库单位高峰日采气量

气藏改建地下储气库的工作气量最高,约占 74% ( $3084 \times 10^8 \text{ m}^3$ ),但其高峰日采气量仅占 56%,供气能力较低,决定了气藏型储气库多数用于季节调峰;盐穴型储气库工作气量占 9% ( $355 \times 10^8 \text{ m}^3$ ),但高峰日采气量则达到 27%,盐穴型储气库调峰灵活性最明显,因此适用于日调峰(表 1-2-3)。

表 1-2-3 不同类型储气库工作气量及高峰采气量

| 类型   | 工作气量<br>( $10^8 \text{ m}^3$ ) | 工作气量占比<br>(%) | 高峰日采气量<br>( $10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ ) | 高峰日采气量占比<br>(%) |
|------|--------------------------------|---------------|-------------------------------------------|-----------------|
| 气藏型  | 3084                           | 74            | 40.35                                     | 56              |
| 盐穴型  | 355                            | 9             | 19.13                                     | 27              |
| 含水层型 | 471                            | 11            | 8.03                                      | 11              |
| 油藏型  | 255                            | 6             | 4.08                                      | 6               |
| 合计   | 4165                           | 100           | 71.59                                     | 100             |

从单位高峰日采气量来看,不同储气库类型的供气能力差别明显,其中气藏型地下储气库的单位高峰日采气量平均为  $130 \times 10^4 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot 10^8 \text{ m}^3)$ ,含水层型和油藏型地下储气库的单位高峰日采气量分别为  $170 \times 10^4 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot 10^8 \text{ m}^3)$  和  $160 \times 10^4 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot 10^8 \text{ m}^3)$ ,而盐穴型地下储气库的单位高峰日采气量达  $550 \times 10^4 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot 10^8 \text{ m}^3)$ ,为孔隙型储气库的 3~4 倍,供气能力较高(图 1-2-4)。

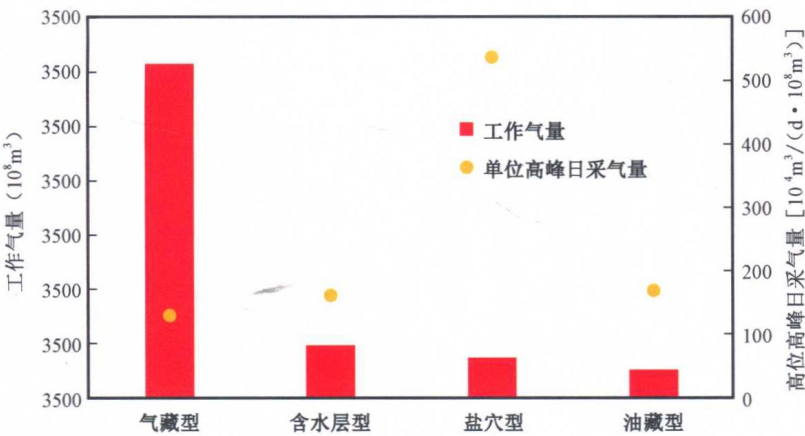


图 1-2-4 不同类型储气库单位高峰日采气量

单位高峰日采气量 = 高峰日采气量/工作气量,单位: $10^4 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot 10^8 \text{ m}^3)$ 。  
单位高峰日采气量越高,储气库的供气能力越高,反之亦然

从各个国家孔隙型和盐穴型储气库工作气量分布可以看出,拥有盐穴型储气库的国家的单位高峰日采气量较高(图 1-2-5 和图 1-2-6),但库容有限。

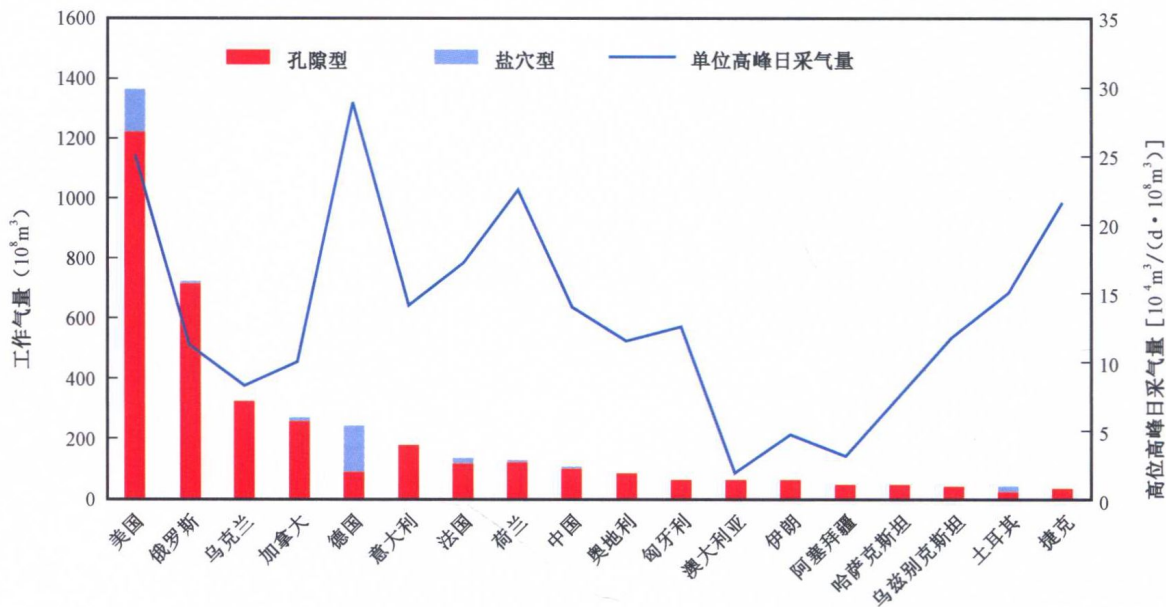


图 1-2-5 工作气量超过 35 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 的国家的工作气量及单位高峰日采气量

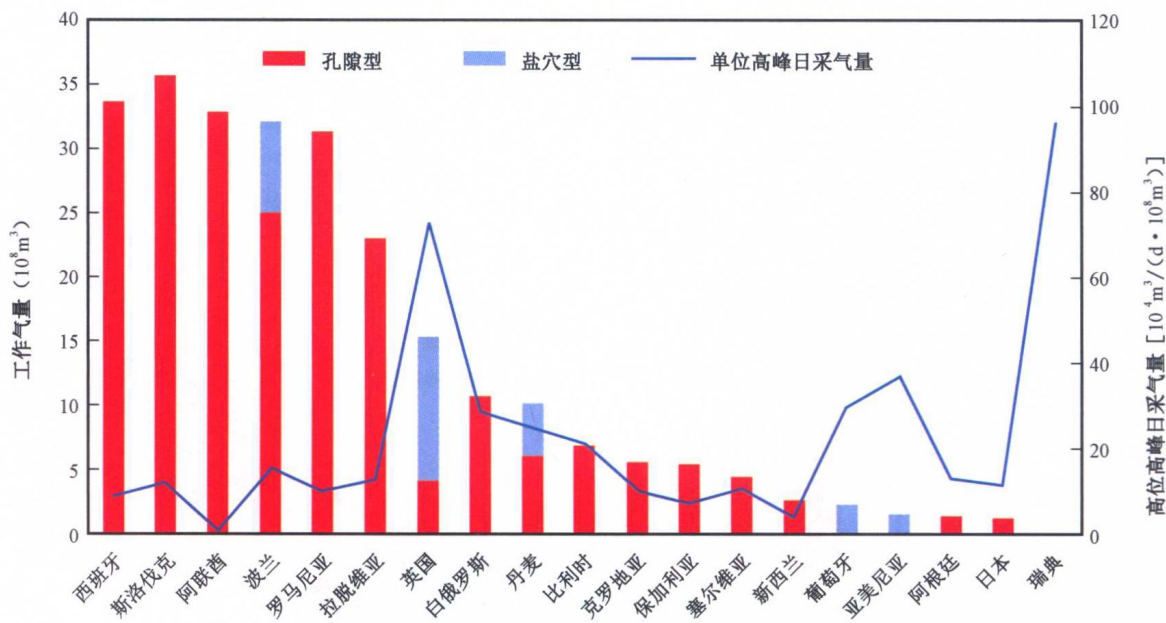


图 1-2-6 工作气量少于 35 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 的国家的工作气量及单位高峰日采气量

## 四、未来全球储气库发展规划

除目前正在运行的 689 座地下储气库以外,全球尚有 133 座地下储气库纳入扩建及新建计划,其中 46 座地下储气库将进一步扩容,占比 35%,87 座地下储气库规划新建,占比 65%。加上扩容及规划新建的 640 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 工作气量,地下储气库工作气量将超过 4805 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,总共达 822 座(表 1-2-4)。