

油气藏型地下储气库建库相关技术

李建中^{1,2} 李奇³

1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院 2. 中国石油天然气集团公司油气地下储库工程重点实验室

3. 中国科学院渗流流体力学研究所

李建中等. 油气藏型地下储气库建库相关技术. 天然气工业, 2013, 33(10): 100-103.

摘要 世界油气藏型地下储气库的调峰工作气量占已经投运地下储气库总工作气量的 83%, 目前中国天然气调峰应急储备类型也以油气藏型地下储气库的应用最为广泛。为此, 分析了全球天然气调峰储备现状及中国天然气调峰应急储备的需求, 将国外天然气利用发达国家地下储气库的建设历程划分为 3 个阶段: 发展初期、快速发展期和平稳发展期。论述了油气藏型地下储气库在中国天然气供需产业链中的重要作用: 油气藏型地下储气库具有油气藏开发历史情况清楚、建库地质资料丰富、投资经济、建设周期短、投产快等优点, 建设周期一般只需 3~5 年, 在有条件的天然气消费区域附近首选油气藏改建地下储气库, 可实现快速应急调峰的目标。进而阐述了建设油气藏型地下储气库的核心关键技术: ①库容恢复与有效工作气量的优化技术; ②储气库运行调峰应急能力优化技术; ③储气库交变载荷运行状况下的井身结构优化技术。

关键词 天然气 调峰应急储备 油气藏类型 地下储气库 建库工程 建库技术

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2013.10.017

Related technologies in the construction of underground gas storage upon oil and gas reservoirs

Li Jianzhong^{1,2}, Li Qi³

(1. Langfang Branch of Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Langfang, Hebei 065007, China; 2. CNPC Oil and Gas Underground Storage Engineering Laboratory, Langfang, Hebei 065007, China; 3. Institute of Porous Flow & Fluid Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Langfang, Hebei 065007, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 1, pp.100-103, 10/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: The peak-shaving gas contributed by underground gas storage (UGS) of the reservoir type accounts for 83% of the total working gas provided by the UGS put into operation all over the world. Recently, this type of UGS is the most popular reserves for peak-shaving and emergency use in China. In view of this, this paper first analyzed the status quo of the global peaking reserves and the demand for peaking and emergency reserves in China. The process of UGS in those developed countries has experienced the infancy and growth periods and come to the present stable stage of development. Then, it discussed the important role this reservoir type UGS plays in the natural gas supply-demand chain in China because of its unique advantages like available abundant information about geological conditions and development history of the chosen hydrocarbon reservoirs, a short construction period needed, fast commissioning, and cost-effectiveness. In common, a reservoir type UGS only needs 3 - 5 years to be put into operation, so it is the fastest way to achieve the peak-shaving and emergency use especially in those areas in urgent and high needs for natural gas. Moreover, the core technologies for this type of UGS were also discussed: optimization of the UGS capacity to restore and effective working gas, optimization of peak-shaving and emergency capacity, and optimization of the wellbore configuration in the case of an alternating load.

Key words: natural gas, peak-shaving and emergency reserves, oil and gas reservoir type UGS, underground gas storage, storage construction engineering and technologies

作者简介: 李建中, 1954 年生, 高级工程师; 主要从事地下储库工程设计与研究工作, 现任中国石油勘探开发研究院廊坊分院地下储库研究中心副主任, 中国石油天然气集团公司油气地下储库工程重点实验室主任。地址: (065007) 河北省廊坊市 44 号信箱。电话: (010)69213381。E-mail: ljz381@sina.com

1 天然气调峰应急储备现状与需求分析

1.1 天然气调峰应急储备现状

据国际天然气联盟(IGU)的统计结果,目前世界上共有 36 个国家和地区建设有 630 座地下储气库,地下储气库总的工作气量为 $3\,525 \times 10^8 \text{ m}^3$,约占全球天然气消费量的 11.7%^[1]。美国、俄罗斯等天然气利用发达国家地下储气库工作气量一般占本国天然气消费量的 17%~20%。中国地下储气库建设从 20 世纪 90 年代末开始起步,到目前为止地下储气库总的工作气量约占天然气年消费量的 1.7%。

国外建设天然气地下储气库的经历可以划分为 3 个阶段:发展初期、快速发展期和平稳发展期。美国、俄罗斯等利用天然气发达国家天然气消费市场已经基本发展成为均衡性结构。它们在发展初期阶段经历了 13~30 a 时间,使地下储气库的工作气量占到天然气消费量的 2%~4%;快速发展期阶段经历了 18~46 a,地下储气库的工作气量占天然气消费量的比例逐渐增长,超过 10%。目前随着天然气产业链中消费市场的完善,天然气消费结构已经成为均衡性结构,地下储气库开始步入平稳发展阶段。

1.2 中国天然气调峰应急储备需求分析

中国天然气资源流向呈现“西气东输”“北气南下”的格局。天然气输气管道距离长,输气干线到达天然气消费市场距离为 1 000~9 000 km。巨大的天然气市场需求量,也加大了对储气库调峰应急储备的迫切需求。同时,陆上进口天然气资源快速增长,天然气对外依存度不断提高,天然气应急战略储备保障系统的

需求亦在快速增加。

通过分析中国不同地区用气结构的变化趋势,未来天然气利用比例大致是城市燃气占 1/3、工业燃料占 1/3、发电和化工合计占 1/3^[2]。结合以往不同地区不同用气结构“峰谷”用气量的经验数据统计结果,预测不同地区天然气消费的用气不均匀系数。按照不同地区气候环境、用气量、天然气消费结构、用气不均匀系数分析结果,综合评价、确定全国不同地区天然气季节调峰应急储备需求。南北方地区存在着巨大的天然气季节调峰差异。南方地区天然气季节调峰的特点是冬季、夏季出现两次用气高峰期^[3],但用气峰谷差小,用气不均匀系数低,天然气季节调峰需求量占天然气消费量的 8%左右;北方地区受冬季采暖影响,冬季用气高峰期需求量剧增,天然气季节调峰需求量占天然气消费量的 20%左右,全国天然气季节调峰需求量占天然气消费量的比例:“十二五”末为 8%~10%,2020 年为 12%~15%。

2 地下储气库在天然气供需产业链中的作用

油气藏型地下储气库具有油气藏开发历史情况清楚、建库地质资料丰富、投资经济、建设周期短、投产快等特点,建设周期一般只需 3~5 a^[4]。全球建设气藏型地下储气库占地下储气库总量的 78%,油藏型地下储气库占地下储气库总量的 5%。因此,在有条件的天然气消费区域附近首选油气藏改建地下储气库,可实现快速应急调峰的目的。中国地下储气库建设现状见表 1。

表 1 中国地下储气库建设现状统计表

建设情况	储气库名称	储气库类型	库容量/ 10^8 m^3	工作气量/ 10^8 m^3	工作压力/ MPa	日注气能力/ 10^4 m^3	日采气能力/ 10^4 m^3
已建	大张坨板 876	油气藏型	17.81	6.00	13.0~30.5	320	1 000
	板中北		4.66	1.89	13.0~26.5	100	300
	板中南		24.48	10.97	13.0~30.5	300	900
	板 808		9.71	4.70	13.0~30.5	225	600
	板 828		8.24	4.17	15.0~37.0	360	600
	京 58		4.69	2.57	15.0~37.0	360	600
	京 51		8.10	3.90	11.0~20.6	210	350
	永 22		1.27	0.64	8.6~16.5	210	350
	刘庄		7.40	3.00	7.0~31.4	190	250
			4.55	2.45	7.0~12.0	150	204
在建	相国寺	油气藏型	42.60	22.80	11.7~28.0	1 393	
	双六		36.00	16.00	10.0~24.0	1 200	2 855 500
	苏桥库群		67.00	23.00	19.0~48.5	1 300	2 100
	板南		8.00	4.00	13.0~31.0	1 550	2 800
	呼图壁		107.00	45.10	18.0~34.0	1 393	2 855

中国环渤海地区已经建设运行的两大地下储气库群主要为气藏型。在该地区的天然气供需产业链中发挥了“削峰填谷”、平稳安全供气的重要作用。环渤海地区受天气气候环境及用气结构因素影响,用气峰谷差极高,近 5 年天然气用户消费数据统计结果表明,天然气季节峰谷差最高达 12:1,平均为 10.3:1。已运行的板桥地下储气库群 6 座地下储气库和华北地下储气库群 3 座地下储气库,冬季调峰供气规模占当年天然气消费比例最高达到 34.4%,平均达到 30.2%;高峰期日调峰供气量占到高峰日天然气消费量的 37.6%~50.6%^[5]。就该地区而言,地下储气库调峰供气规模比例、高峰期日调峰供气量占高峰日天然气消费量比例的调峰能力均达到或超过天然气利用发达国家水平。地下储气库在环渤海地区天然气供需产业链中发挥了其他任何调峰方式都无法替代的重要作用。

3 建设油气藏型地下储气库的相关技术

建设油气藏型地下储气库最核心的 2 条评价标准:①枯竭油气藏的库容恢复即地下储气库核实库容及有效工作气规模;②最高日调峰(采)供气能力。因此,建设油气藏型地下储气库的关键是要围绕这 2 项评价标准进行攻关研究。

3.1 地下储气库库容恢复与调峰工作气量的优化技术

利用枯竭油气藏建设地下储气库的基础是要核实库容,建库期油气藏的静态物性特征、储层的生产动态特征都发生了一系列的复杂变化,此时库容量已经不能等同于油气藏原始地质储量;确定地下储气库调峰工作气量也不能等同于油气藏可采储量。因此,在采用常规的动态法、容积法和数值模拟方法复核地质储量的基础上,库容恢复与调峰工作气量的优化技术,要重点确定不同沉积相带储层原始储气体孔隙体积的变化;不同储层物性变化条件下,高速注采循环气体波及体积及可动用孔隙体积的变化规律;开采末期储层内油、水侵入后进行往复多周期气与油、水互驱的微观驱替效率及作用机理等重要因素。同时,结合地下储气库运行期盘库进一步核实库容量,优化确定调峰工作气量。

3.2 地下储气库运行调峰能力优化技术

地下储气库调峰能力的优化与预测是地下储气库平稳安全运行的核心技术之一^[6]。首先需要根据管道负荷因子与市场消费结构对调峰供气的要求,结合油气藏地质特点确定地下储气库调峰供气需求。同时,地下储气库既要考虑孔隙型储层渗流条件、采气能力,同时也要考虑地层可能出砂、边底水锥进等多因素不

利影响,充分考虑调峰高峰期满足短期应急大排量采(供)气的需要,进行地下储气库在交变载荷运行工况下的储层、井筒、地面三位一体全生命周期的运行优化设计。

3.2.1 钻井工艺技术

建设地下储气库的注采气井一般情况下都设计为注采合一井,既是注气井,又是采气井,具有双重功能。其次,地下储气库的运行特点是采气速度快、强度大,注采气井始终处于强注强采、大排量吞吐、多周期运行的特殊工况条件下。因此,对地下储气库注采井的井身质量要求高,气密封性好,服役时间长,满足 30~50 a 或更长时间的安全使用寿命^[7]。

新钻注采气井的保护储层技术,首先预测核对地层压力,尽可能利用地层敏感性试验分析成果,选择优质钻井液、泥浆处理剂及添加剂。严格控制钻井液密度和滤失量,要求 API 失水量小于 5 mL。同时加强固相控制,含砂量小于 0.3%,减少滤液和固相颗粒侵入储层。

钻井工艺在钻进至储层前 50 m 充分除砂除泥,适当降低黏切力,均匀加入暂堵剂材料,对储层进行屏蔽暂堵,保护好储层,有效防止污染。钻开储层后,为减少钻井液对储层的浸泡时间,应该在 48 h 内进行电测井和固井作业施工。

3.2.2 固井工艺技术

套管材质要求耐储层残留物伴生对套管的腐蚀,应承受低压、高压交替载荷变化长期使用寿命的要求,生产套管强度校核选用厚壁气密封套管。

地下储气库对注采气井的固井水泥石强度、水泥环与套管和井壁第一界面、第二界面的胶结质量及长期密封性要求更高。针对利用枯竭油气藏建库地层压力系数低、注采井水泥浆封固井段长等特点,要求采用双密度水泥浆体系、双级固井工艺技术。低密度水泥浆体系,按 API 标准控制滤失量小于 50 mL,析水量小于 2 mL;尾浆采用高密度水泥浆体系,固井水泥浆必须返至地面,从而达到防漏失同时保障生产套管及储气层上部盖层井段固井质量达到优良。

3.2.3 射孔完井工艺技术

为了保护低压储气层不受射孔后压井液的污染,完井方式采用射孔—完井联合作业的一次完井工艺技术(图 1)。射孔完井采用深穿透负压射孔技术,可选用目前深穿透穿深大于 900 mm 的射孔弹,射孔完井改善储层近井壁地带的渗流能力,提高储层的导流能力。射孔后将射孔管柱丢入井底,即可直接投产,有效避免了井下作业对储层的二次污染。

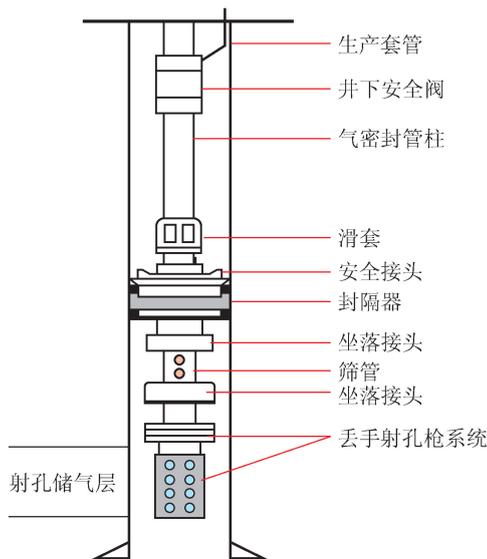


图 1 射孔—完井工艺井身结构图

总之,地下储气库注采气井应该从钻井技术—固井技术—完井技术系列的施工全过程,实施配套的保护储层一体化联作方式。这是建设枯竭油气藏型地下储气库工程,实现新钻注采气井达到地下储气库设计规模和设计产能指标的重要保障。

4 结论

1) 中国天然气地下储气库建设起步较晚,到目前为止正处在地下储气库建设发展初期向快速发展期转变的阶段。目前地下储气库总的工作气量约占全国天然气年消费量的 1.7%。但是,在局部区域如环渤海地区,地下储气库调峰供气规模占年消费天然气比例最高达到 34.4%,高峰期日调峰供气量占到高峰期消费量的 50.6%,地下储气库在环渤海地区的天然气供需产业链中发挥了其他任何调峰方式都无法替代的“削峰填谷”平稳安全供气的重要作用。

2) 油气藏型地下储气库在中国已经投入运行的两大地下储气库群和“十二五”正在建设的地下储气库中占有重要的战略地位。在有条件的天然气消费区域附近首选油气藏改建地下储气库,可以实现快速发展地下储气库并满足天然气季节调峰应急储备需要的目的。

3) 建设油气藏型地下储气库的核心关键技术,重点确定储气层原始储气载体孔隙体积的变化规律,不同储层条件及物性变化条件下,多周期高速循环注采气,气体的波及体积、可动用孔隙体积的变化规律,使枯竭油气藏改建地下储气库能够最大化恢复库容规模,提高地下储气库有效工作气量。针对超低压储层

在地下储气库交变载荷运行工况条件下的钻井、固井、射孔完井等井身结构优化等特殊工艺技术,通过储层、井筒、地面三位一体全生命周期的运行优化技术,提高地下储气库采(供)气调峰能力。

参 考 文 献

- [1] 宋德琦,苏建华,任启瑞,等.天然气输送与储存工程[M].北京:石油工业出版社,2004.
SONG Deqi, SU Jianhua, REN Qirui, et al. Natural gas transmission and storage engineering[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [2] 周淑慧,郜婕,杨义,等.中国 LNG 产业发展现状、问题与市场空间[J].国际石油经济,2013,21(6):5-15.
ZHOU Shuhui, GAO Jie, YANG Yi, et al. Development status, problems and market space of China LNG industry [J]. International Petroleum Economics, 2013, 21(6): 5-15.
- [3] 何春蕾,段言志,邬宗婧,等.基于气温的城市燃气短期日负荷预测模型[J].天然气工业,2013,33(4):131-134.
HE Chunlei, DUAN Yanzhi, WU Zongjing, et al. A short-term forecasting model of city gas daily load based on air temperature[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(4): 131-134.
- [4] 杨琴,余清秀,银小兵,等.枯竭气藏型地下储气库工程安全风险与预防控制措施探讨[J].石油与天然气化工,2011,40(4):410-412.
YANG Qin, YU Qingxiu, YIN Xiaobing, et al. Discussion on the safety risk and prevention and control measures for dry gas reservoir type of underground gas storage engineering[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2011, 40(4): 410-412.
- [5] 郭洁琼,仇晶,杜学平.华北华东地区天然气季节调峰对比分析探讨[J].石油与天然气化工,2012,41(5):488-490.
GUO Jieqiong, CHOU Jing, DU Xueping. Comparative analysis of natural gas season peaking in North and East China[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2012, 41(5): 488-490.
- [6] 阳小平,程林松,何学良,等.地下储气库多周期运行注采气能力预测方法[J].天然气工业,2013,33(4):96-99.
YANG Xiaoping, CHENG Linsong, HE Xueliang, et al. A prediction method for multi-stage injection and recovery capacity of underground gas storage[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(4): 96-99.
- [7] 华爱刚,李建中,卢林生.天然气地下储气库[M].北京:石油工业出版社,1999.
HUA Aigang, LI Jianzhong, LU Linsheng. Underground gas storage[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.