国内外地下储气库现状及发展趋势

苏 欣, 张 琳, 李 岳

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 地下储气库不仅可以起到调峰作用, 而且可以兼备作为应急气源, 提高供气可靠性。对美国、俄罗斯、法国、德国等国家以及我国现有的和拟建 (在建)的地下储气库进行了介绍, 分析了我国地下储气库建设技术的现状, 指出了地下储气库发展的趋势, 对我国未来地下储气库建设提出了相关建议, 指出我国应加快地下储气库建设速度以适应日益增长的天然气消费需求。

关键词: 地下储气库; 现状; 发展趋势; 建议

文章编号: 1006-5539(2007)04-0001-04 文献标识码: A

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年在美国克罗拉多 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年前苏联建成第一个盐层地下储气库[1~2]。

在储气库的建设和运行管理上一般采用四种方式: 第一种是由天然气供应商承建和管理地下储气库; 第二种是由城市燃气分销商建设和管理地下储气库; 第三种是由独立的第三方以盈利为目的建设和管理地下储气库; 第四种是由多方合资建设地下储气库。其中主要的方式是前两种, 第三种是作为对前两种的补充。

1 地下储气库作用

a. 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。

b. 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。

c. 提高输气效率, 降低输气成本。地下储气库可使天然气生产系统的操作和输气管网的运行不受天然气消费不均衡性的影响, 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。

d. 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: 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: 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 (避免高价购气)或出租储气库。

e. 提供应急服务。可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[3]。

2 国外地下储气库现状

全世界现有 110个储气公司。最大的储气公司是 Gazprom(俄罗斯天然气股份公司), 拥有 23个储气设施, 储气量达 390×10^8 m^3。第二个是乌克兰的 Ukrgazprom公司, 储气量 310×10^8 m^3。西欧储气业务集中在少数几个经营者 (AgipISNAM, Gazde France, Ruhrgas, British Gas)手中, 而北美的储气设

收稿日期: 2006-08-11

作者简介: 苏 欣 (1982-), 男, 四川南充人, 硕士研究生, 毕业于西南石油大学油气储运专业, 现在中国石油工程设计有限公司西南分公司从事油气田地面工程设计工作。电话: (028)86014120

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

施则由许多储气公司经营。

加拿大于 1915年开始建设地下储气库，是地下储气库建设最早的国家，至 1993年末有 38座储气库，总库存能力 250×10^8 m^3，其中有效气量 125×10^8 m^3，由 9家公司经营。该国也制定了《地下碳氢储库》国家级标准，该标准于 1987年起草，分别经过 1993、1998和 2003年三次修改。包括三大部份：CAN/CSA-Z341.1-02 储藏储库，CAN/CSA-Z341.2-02盐穴储库和 CAN/CSA-Z341.3-02矿穴储库。

美国很早就开始建设地下储气库，在 1916年建成了第一个储气库。储气库数量占目前世界总量的 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。1993年末，386座地下储气库的总计储存能力为 $2\ 280\times10^8$ m^3，有效气容量占 45%，相当于天然气消耗量的 18%。到 2003年，共建 410座，库容量达 $2\ 277\times10^8$ m^3，有效气量占 48.88%，相当于年消费量的 20.3%。其中南加州地下储气库是美国地下储气库的权威，代表了美国地下储气的能力与技术水平，其规模大，储量多，同时还可出租或代储[4]。为适应天然气增长的形势，美国将在 2004～2008年间新建 26座地下储气库，扩建 47座（盐穴储气库有 31座），届时工作气量将增加 98×10^8 m^3，日采气能力增加 4.8×10^8 m^3[1]。

西欧地区目前地下储气库也比较发达，特别是法国、德国、意大利和英国，储气库的总气量约为 100×10^8 m^3，其用气调节量占本国用气量的 25%。法国由于没有大量的气田，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的战略储备（法国的天然气战略储备量已相当于 11 d的平均耗气量）。该国从 1956年开始建造，到 1991年底法国燃气公司（GAZ DE FRANCE）建成投运的 11座地下储气库，总库容为 169.14×10^8 m^3。其中有 9座属于水层储气库，合计库容为 158.76×10^8 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 1 120 m，库容为 69.25×10^8 m^3，有效工作气容量为 32.8×10^8 m^3，回采率为 47.36%。截止 2005年法国共建地下含水层和盐穴储气库约 15座，拥有超过 100×10^8 m^3 的储备量，可满足法国全年消费的 25%，同时可以向邻国瑞士供气[5～6]。德国共建有 41座，有效工作气量 198×10^8 m^3；意大利有 8座，可供调峰的储气量为 112×10^8 m^3；英国建有 4座，有效工作气量 32×10^8 m^3。

中欧储气库工作气的容量占该地区消费量的 14.7%，捷克共和国输气公司 Transgaz的 Pribram储气库（废矿井）投入使用，该储气库的工作气容量为中欧储气库工作气的容量占该地区消费量的 $5\ 500\times10^4$ m^3。波兰正准备在 Wierchowice附近把一个枯竭气藏建成了容量为 43×10^8 m^3 的储气库。捷克共和国正在 Dolni Bojanovice附近的枯竭气藏建新的储气库，工作气容量为 3×10^8 m^3。

澳大利亚的 4个储气库全是枯竭气藏，储气能力为 12×10^8 m^3[1 6～7]。

目前，欧洲新的储气库建设项目约有 30个，计划在 2005～2010年期间完成，完成后可增加有效气量 300×10^8 m^3。

前苏联地下储气库建设工作起步较晚（1959年在莫斯科附近修建了肯卢什地下储气库），但其发展很快。1960年有 4座地下储气库投产，1980年为 29座，1990年已达 46座，其中枯竭气（油）藏型 32座，水层型 13座，盐穴储气库 1座，没有废煤矿型储气库[8～9]。

根据 2005～2010年俄罗斯地下储气工作规划，到 2010～2011年采气季节计划将地下气库的日采气量达到 7×10^8 m^3 的水平。2005～2010年计划有 159×10^8 m^3 有效容积，总功率 534.2 MW的 15座压缩机车间并连接的 312口井投产。2005～2010年地下储气建设投资是 22亿美元，其中 18亿美元用于地面工程，4亿美元用于钻生产井。到 2030年前俄罗斯计划投资 2 000亿卢布用于发展地下储气系统，其中拿出 700亿卢布改造现有的地下气库。投资总数的一半应在 2010年前用完[2 10]。

3 我国地下储气库现状

中国的地下储气库起步较晚，20世纪 70年代在大庆油田曾经进行过利用气藏建设气库的尝试，而真正开始研究地下储气库是在 20世纪 90年代初，随着陕甘宁大气田的发现和陕京天然气输气管线的建设，才开始研究建设地下储气库以确保北京、天津两大城市的安全供气。到目前为止，为保证北京和天津两大城市的调峰供气，在天津附近的大港油田利用枯竭凝析气藏建成了 3个地下储气库，即大张坨地下储气库、板 876地下储气库和板中北储气库。这 3个储气库总的调峰气量为 20×10^8 m^3 左右。为保证“西气东输”管线沿线和下游长江三角洲地区用户的正常用气，在长江三角洲地区内的

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

江苏金坛盐矿和江苏刘庄气田建设地下储气库,2个储气库设计总工作气量将达到 20×10^8 m^3。此外,为保证忠县—武汉天然气输气管线的安全平稳供气,正准备建设忠武线配套地下储气库。在华北地区,为确保京津地区的安全稳定供气,相继将在大港板桥凝析气田中德板中南构造、华北油田的京 58气顶油藏和文 23凝析气藏等开展储气库建设。

根据有关部门的规划,5年内成都将在龙泉洛带建成首个大型地下储气库,初期调节规模预计将达 2×10^8 m^3。另外重庆也拟建一座地下储气库。据悉,燃气集团已就地下储气库的建设与中国石油西南油气田分公司达成合作协议,并与俄罗斯国家天然气公司达成技术合作意向。地下储气库初步选址在北碚区清风山的相国寺气田。一期工程预计于 2007年底完工,储气能力将达到 8×10^8 m^3。二期工程完成后,储气能力将达到 20×10^8 m^3。从目前规划情况看,该地下储气库建成后,将成为全国最大的储气库。

中国天然气地下储气库技术经过几年的发展,已取得了很大的进步:

a.气藏改建地下储气库技术基本成熟。在选址评价、库址选择方面,中国石油勘探开发研究院等单位开展了相关研究。在设计与实施方面,国内 3座储气库的设计基本达到预期的设计指标。在工程建设方面,目前有 3座地下储气库建设顺利完成,建库过程中各种工程技术得到了应用,并形成了部分特色技术。因此,我国气藏改建地下储气库技术已基本成熟,但在储气库监测、气库安全管理等方面还存在不足。

b.枯竭油藏改建地下储气库技术处于探索之中。2001年开始系统研究油藏改建地下储气库建库技术,取得了部分成果认识。针对陕京输气管线、忠武线的油藏目标改建地下储气库进行了一系列基础研究,在注排机理、渗流机理、建库方式、建库周期等方面取得了突破。

c.盐穴储气库的研究取得长足进步。从 1998年开始经过 5年多的努力,完成了在金坛、定远建设盐穴地下储气库的可行性研究。在地址选区、区块评价、溶腔设计等多方面获得了一批研究成果和技术手段。

d.含水层储气库的研究刚起步。含水层建设储气库近几年有不少专家进行了理论探讨,目前正开展基础性研究,具体含水层目标也在筛选之中。

e.专业队伍正在形成。在不同类型储气库研究的同时,逐步形成了一批专业研究队伍,并与国外开展了不同层次的技术合作,加速了中国地下储气库技术的发展[11~14]。

4　地下储气库技术发展趋势

地下储气库的发展、数量的增加及容量的增大与科技进步有着密切的关系。科技进步能缩短储气库的建造时间,节约储气库的投资费用,改善储气库的技术经济指标。当前,国外在地下储气库技术方面呈现以下几种研究与发展方向:

a.用惰性气体代替天然气作储气库的垫层气。地下储气库的气垫气量少则占储气量的 15%,多则占 75%,如果利用天然气作为气垫气量势必增加运营成本,而采用低价惰性气体(如 CO_2)作新建地下储气库的气作垫层气可节约可观的投资;对现有的储气库,用低价惰性气替换出天然气供给用户,可减少储气操作费用。采用惰性气体作垫层气,避免与天然气发生混合是关键技术问题。法国和美国的解决办法是在储气层外侧注入惰性气,而不是在整个储气库均匀注入,这样惰性气体滞留在外侧,可实现隋性气体作为垫层气维持储库容积和压力的功能[15]。因此,对利用惰性气体作为气垫气层气以及混气机理进行研究,具有十分重要的意义和广泛的应用前景。

b.地下储气库工艺设计的统一化和标准化。尽管几种地下储气库的地质情况、工作参数等各有不同,但在储气库建设方面各类地下储气库仍具有一些共同特征和特性。对各类地下储气库而言,天然气集输和处理工艺设计原理是一样的,只是在具体构成和设备方面各有不同。这就为地下储气库的建设从工艺流程设计到设备选择实现技术方案的统一化、标准化提供了可能性。

地下储气库建设采用标准化的工艺设计,可最大限度地减少设计部门之间的协调工作,简化工艺方案选择中一系列的工艺计算和订货清单编制等方面的许多工作,从而减少地下储气库地面站设计和建设的工作量。实现地下储气库工艺设计的统一化和标准化,是加快建库速度、缩短建库周期、提高建库质量的重要措施之一。

c.采用 SCADA系统和现代测量技术。近年来,国外特别是美国购进新型 SCADA系统[6],对地下储气库的压气、注气装置及整个储库的运行实施连

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

续监控，大大提高了储库的天然气库存和转运能力，提高其经济效益。应用地球物理方法进行地下储气库生产、管理过程的监测，如声波测深、碳同位素跟踪注入总体的运移轨迹，三维地震技术用于地下气库库容的确定等。这些方法是实现地下储气库的自动化管理的必要保证，同时也提高了地下储气库的安全性能和经济效益，是未来发展的必然趋势。

d.加强数值模拟研究。20世纪70年代，国外开始应用数值模拟来研究地下储存天然气从建造到注采动态运行的整个过程，美国、德国、丹麦、意大利等国根据不同类型储气库和不同流动过程、地质地层及气体种类的差异性，提出了相应的数学模型，为储气库的实际运行提供了理论依据，达到经济高效地控制地下储气的目的。目前数值模拟已成为指导各类储气库运行的重要手段，而且正逐步与经济分析模型和地质力学模型相结合达到在不增加储气费用的情况下，提高储库的储存能力及注采应变能力，建立储库优化运行模式，带来较大的经济效益[16]。

e.重视对地下储气库开发风险的研究。由于天然气地下储气库的开发受到油气田地质条件、技术水平和政治、经济、法律、市场以及金融等多方面因素的影响，具有技术要求高、投资大和系统复杂等特点，因此，对天然气地下储气库的开发利用进行风险评价研究，是天然气地下储气开发利用的前提和决策，因此，有必要尽快形成地下储气库开发建设风险评价体系，为地下储气库决策提供可靠依据。

f.加强地下储气库建设方案优选的研究。地下储气库建设是一项复杂的系统工程，在建库前期必须作全面的系统分析，对于建库方案专家往往从储气库工作规模、投资回收年限、储气库库容利用率、气垫气气量、气垫气比例、工作井数、单位采注成本、注气末单井日注气量、注气末总日注气量、压缩机功率等多方面考虑提出多种备选方案，如何从众多的备选方案中优选出最佳方案，是许多学者专家一直关注的问题。目前对于地下储气库方案优选的方法主要有方案比较法[17]、灰色关联法[18]、模糊综合评价法[19~20]、模糊变权法[21]和灰局势决策[22]等。

g.建设生产效率高、可靠性好的气井。建设高气密性气井的施工工艺是提高地下储气库生产能力的重要条件。

h.研制开发新的地面工艺和设备。研究采用以可靠工艺设备和自动控制系统为基础的高效气体处理工艺。长期以来，地下储气库地面气体处理方法与气田气体处理方法没有区别。但是储气库的采气工艺指标随昼夜变化，由人工进行调整使其优化不可能。为了降低劳动强度，防止在内部和外部指标发生变化时，气体采集和处理系统出现临界操作条件需研究开发工艺过程的自动控制系统。

国外地下储气库建设方面的科技进步还采用模块化施工技术，加快施工进度，降低劳动力消耗。研究各类储气库生产过程集约化的理论基础通过技术装备改造，可实现生产过程集约化，改善技术经济指标[23~24]。

5 我国地下储气库建设建议

欧美国家在不断加大储气库的建设力度，以增大储气量。除常规的调峰应急外，已经开始研究建立天然气的战略储备。美国已经就长输管网地下储气库制定相关的法律，欧洲国家也有立法的趋势。因此我国应加强这方面工作的研究。特别是由于国内天然气资源虽在短期内可以满足国内需求，但长期仍然需要依赖进口。因此我国的战略需求和市场需求将给地下储气备库建设带来巨大的发展机遇。

我国天然气工业的迅速发展，对天然气资源需求量的增加，迫使我们加强对地下储气库的研究，国家应出台相关政策法规大力支持地下储气库的建设，相关的技术工作人员，应作好前期调研工作，迎接地下储气库发展的春天。

参考文献：

[1] 王希勇，熊继有，袁宗明，等. 国内外天然气地下储气库现状调研[J]. 天然气勘探与开发，2004，27(1)：49-51.

[2] 佚 名. 国外地下储气库发展面面观[EB/OL]. http://www.igp.cn/gol/news/index.php?act=view&id=215，2005-09-12.

[3] 吴忠鹤，贺 宇. 地下储气库的功能和作用[J]. 天然气与石油，2004，22(2)：1-4.

[4] 佚 名. 美国天然气液化技术[EB/OL]. http://www.cryosys.net/products/products/LNG-in-USA.htm，2006-5-11.

[5] 杨 骏. 法国遭遇罕见严寒天气 启用战略储天然气[EB/OL]. http://www.chinas5e.com/news/oil/200503/200503180097.htm，2005-03-18.

[6] 张海琴，李 萍，袁进平，等. 安全稳定供气中的调锋问题探讨[J]. 天然气工业，2006，26(2)：152-154.

(下转第7页)

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（上接第 4页 ）

[7] 丁国生, 李文阳. 国内外地下储气库现状与发展趋势[J]. 国际石油经济, 2002, 10(8): 23-26.

[8] 马成松. 地下储气进展述评[J], 江汉石油学院学报, 1998, 20(1): 101-104.

[9] 罗绪富. 国外地下储气库发展综述[J], 油气储运, 1998, 17(3): 58-59.

[10] 佚 名. Gazprom计划建造新地下储气库[EB/OL]. http://info.oil.hc360.com/html/001/015/001/002/195741.htm, 2005-12-09.

[11] 李建中, 李海平. 建设地下储气库—保障“西气东输”—供气系统安全[J]. 能源安全, 2003, 11(6): 26-28.

[12] 刘振兴, 靳秀菊, 朱述坤, 等. 中原地区地下储气库库址选择研究[J]. 天然气工业, 2005, 25(1): 141-143.

[13] 于东海. 胜利油区永 21块 E_3^s气藏建地下储气库的可行性[J]. 天然气工业, 2005, 25(8): 106-108.

[14] 丁国生, 谢 萍. 中国地下储气库现状与发展展望. 天然气工业, 2006, 26(6): 111-113.

[15] 谭羽飞, 廉乐明, 严铭卿. 国外地下储气库的技术与发展[J]. 油气储运, 1997, 16(12): 17-19.

[16] 谭羽飞, 廉乐明, 严铭卿. 国外天然气地下储气库的数值模拟研究[J]. 天然气工业, 1998, 18(6): 93-94.

[17] 梁光川, 甘 霞, 郑云萍, 等. 天然气地下储气库设计方案比较法[J]. 天然气工业, 2004, 24(9): 142-144.

[18] 梁光川, 蒲宏斌. 地下储气库优化设计的灰色关联分析法[J]. 天然气工业, 2004, 24(9): 142-144.

[19] 杨 毅, 李长俊, 张红兵, 等. 模糊综合评判法优选地下储气库方案设计研究[J]. 天然气工业, 2005, 25(8): 112-114.

[20] 苏 欣, 赵宏涛, 袁宗明, 等. 基于模糊综合评判的地下储气库方案优选法[J]. 石油学报, 2006, 27(2): 126-128.

[21] 苏 欣, 袁宗明, 范小霞. 模糊变权法在地下储气库方案优选中的应用[J]. 油气储运, 2006, 25(3): 23-28.

[22] 苏 欣, 袁宗明. 基于“灰局势决策”的地下储气库方案优选法[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(2): 49-51.

[23] 高发连. 地下储气库建设的发展趋势[J]. 油气储运, 2005, 24(6)15-18.

[24] 李文阳. 地下油气储备库面临发展机遇——访中国石油勘探开发研究院研究员. [EB/OL]. http://www.ceua.org/CEUA/774089214252810 24/20040914/4484.html, 2004-09-14.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net