

赴美储气库调研及其启示

王起京¹ 张余¹ 张利亚¹ 温庆和²

(1.北京华油天然气有限责任公司 2.大港油田集团钻采院)

王起京等.赴美储气库调研及其启示.天然气工业,2006,26(8):130-133.

摘要 为了了解北美地区地下储气库发展状况,吸收国外储气库在研究、设计、建设和管理等方面的经验,提高我国储气库设计、建设和管理水平,北京华油天然气有限责任公司组织有关单位,对美国储气库从研究、设计、建设和管理等方面进行了现场考察和调研。文章对美国储气库现状、储气库安全和运行管理、储气库特色技术都作了较详细地介绍,并总结出了一些启示,进而提出了我国储气库发展的建议:①在储气库的库址比选前,应对储气库的用户市场进行调查;②应优先选择废弃的气藏或凝析气藏作为建库的库址;③应强化储气库建设前的评价和研究工作的力度,以便选择技术上和经济上最优的方案;④老井封堵的思路值得借鉴。

关键词 天然气 地下 储气库 枯竭 油气藏 调峰 库容 注采 周期 美国 中国

一、考察情况

1.储气库类型与布局

美国的第一座储气库是1916年始建于纽约州的Zoar枯竭气藏,也是世界上的第二座储气库,目前仍在运行。截至目前,美国共有地下储气库451座,其中由枯竭油气藏改建的储气库有365座,占总量的80.9%;含水层储气库52座,占总量的11.5%;盐层及盐穴储气库30座,占总量的6.7%;岩洞及废弃矿井储气库4座,占总量的0.9%。

365座枯竭油气藏储气库中的320座为气藏储气库,10座为凝析气藏储气库,9座为油藏储气库,26座为油气藏储气库。油气藏储气库中以气藏储气库数量居多,所占比例在90.4%以上。

美国地下储气库储存工作气总量约 $963 \times 10^8 \text{ m}^3$,储气库主要分布在靠近天然气最终用户的东北部和南部产气区。其中有近50%的储气库集中在美国天然气主要消费区东北部地区,天然气产量丰富的得克萨斯州和路易斯安那州也是地下储气库集中的地区。特别是盐穴储气库,主要集中分布在岩层和盐丘发育的得克萨斯州。

2.储气库的主要用途

CMS公司在天然气方面的业务以管道输送为

主,该公司在地下储气库方面的做法在全美具有代表性,其储气库主要作用如下。

(1)季节调峰。由于该公司主供市场是美国东北部市场,天然气季节性调峰的需求与我国类似,油气藏储气库具有库容大的优势,是进行季节性调峰的重要气源。

(2)调峰电站的燃气供应。CMS能源公司拥有调峰发电厂,调峰发电有两种方式:一种是每天6h发电;另一种是在任何时间出现高峰用电便随时发电调峰。储气库可以根据调峰发电厂的需求,在特定时间段内向调峰电站供应天然气,可在1h内完成供气响应,此类响应主要依靠盐穴气库。同时盐穴储气库还具有利用周末用气大户休息、供气低谷时储气的功能。

(3)作为LNG的储存设施。将LNG船到港气化后,在满足管输后富余的气储存到储气库中,用于LNG供应计划的平衡。该公司每年接收LNG船50条(气化后年总量约 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$),气化后由CMS公司管线输送或气库储存。

(4)应急供气状态下的气源。在输气干线系统出现故障的情况下,储气库可以作为应急气源进行紧急供气(主要目的是维护输气公司的商业信誉)。

(5)“存、贷气”业务。根据天然气市场价格的波

作者简介 王起京,1963年生,高级工程师;1984年毕业于大庆石油学院油田开发专业,长期从事气田开发研究工作;2000年以来从事储气库的设计、建设管理工作和储气库生产运行管理等工作。地址:(100101)北京市朝阳区大屯路9号416室。电话:(010)84884212,13301176828。E-mail:wqj19@sina.com

动,“低存高贷”,这类功能主要靠盐穴储气库完成。

近10年来,在美国政府的影响下,能源公司的业务范围发生了较大的变化,像CMS公司这类的能源公司在天然气业务方面仅负责天然气的运输,本身并不拥有管线或所属气库中的任何 1 m^3 气。公司的利润是从管输费和储转费中获取的。据介绍,该公司长年供应的天然气价格在 $2\sim 7$ 美元/ 10^3 ft^3 ($1\text{ ft}^3=2.831685\times 10^{-2}\text{ m}^3$,下同),而在冬季高峰供气时可达20美元/ 10^3 ft^3 。

美国的天然气交易非常频繁,往往一个储气库与数个天然气公司的输气管道相连接,通过储气库的注气、采气或直接利用各输气管线的压力差,调节各输气公司管线的压力,储气库运行商从储转费中获取一定的利润。

3.调峰周期

北美地下储气库每年的注采周期次数与储气库的类型、位置和经营方式等有着密切关系。由于盐穴储气库具有单穴库容小、注采能力大、气量提取高的特点,非常适合作为应急调峰和日(或小时)调峰供气。因此每年可以根据市场气量需求以及气价的波动随时注或采。油气藏储气库一般每年只完成一个季节性注采周期。

储气库的经营者所追求的是在安全运行的前提下,尽可能提高储气库的运营经济收益。经营者可以通过各种途径运作,提高储气库的注采循环次数或注采循环气量,从而提高储气库的收益。

4.单井产能

各储气库的单井产气能力有很大的差异,但在气库钻采工程设计时都努力满足“大进大出”的要求,使气井产能尽可能得到最大程度的发挥。

实例1:Washington 10气藏储气库属于美国东部储气库群,储层为侏罗纪生物礁灰岩,储层埋藏深度为975 m。该储气库设计最高运行压力10 MPa,库容量 $14.33\times 10^8\text{ m}^3$,工作气 $11.89\times 10^8\text{ m}^3$,3台压缩机站总功率12000 马力(1 马力=735.499 W,下同)。储气库共钻水平井14口,注采设计井深1066 m左右,水平井段390 m,日采气能力 $1274\times 10^4\text{ m}^3$,平均单井能力 $91\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,单井最大采气能力 $283\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,最大注气能力 $351\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。该单井产量高的主要原因是采用了水平井技术,据比较,水平井的产量较垂直井提高了3~4倍。

实例2:Liberty County的Moss Bluff盐穴储气

库群。该储气库共有3座盐穴,集中在同一个盐丘,3个盐穴相互独立,井口中心距离为300~400 m。该盐穴储气库的总储气能力为 $3.68\times 10^8\text{ m}^3$,最大可以达到 $4.53\times 10^8\text{ m}^3$,最大日采气量 $2832\times 10^4\text{ m}^3$ 。每个盐穴仅有1口注采井。该库安装有6台注气压缩机组,1套天然气集输处理系统。该储气库与Texas Eastern Transmission、Tejas Gas、NG-PL、KMTP和Channel等公司的5条输气干线连接,并负责为上述5家公司提供储气服务。其中,1号盐穴顶部深度为792 m,盐穴高度550 m,盐穴体积 $122\times 10^4\text{ m}^3$,设计最高工作压力14.96 MPa,最小工作压力为3.38 MPa,总库容量 $2.003\times 10^8\text{ m}^3$,工作气 $1.57\times 10^8\text{ m}^3$,垫底气 $0.427\times 10^8\text{ m}^3$ 。该盐穴注采井的生产套管为20英寸(1英寸=25.4 mm),最大采气能力可以达到 $1870\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,最大注气能力为 $1969\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

5.气库的监测

为确保气库的运行安全,国外公司都在气库的周围布置一定数量的监测井,其数量占到了气库总井数的三分之一。例如:Washington 10气库共有22口井,其中14口注采井、8口观察井。观察井主要分布在储气库的周边地区,一般通过老井修复利用,或打专门的观察井来实现。观察井是保障储气库安全运行的重要保障设施。

6.老井处理

在储气库建设中,对老井的处理要执行美国联邦政府的有关条例和标准,对于不准备利用的老井采取封堵措施,其步骤是把水泥返高以上的套管全部套铣回收,然后对整个井眼用水泥进行封固(但要求对进行过放射性测井的老井,根据环保的要求套管不准提出地面)。美国储气库的储层埋藏普遍较浅,老井的水泥返高也较高,因此老井封堵的难度和工作量并不是太大。

7.气井设计及安全保障措施

储气库注采井钻井及完井设计的基本原则是要满足“大进大出”的要求,所采取的主要技术如下。

(1)井身结构:废弃油气藏储气库的注采井采用完善的套管程序,对气库构造上部的各主要渗透层均采用一层套管封堵,一般采取三层或四层套管的井身结构,以便于安全钻进和储层保护;岩穴储气库为满足更大产量的需要,采用5层套管(如Duke Energy公司的岩穴储气库,注采井采用54英寸+42

英寸+36英寸+24英寸+20英寸的套管结构)。

(2)固井设计:注采井各层套管的固井,要求水泥全部上返的地面,以防止气体泄漏,延长注采井的寿命。

(3)井型:井型设计一般根据地层的渗流条件、钻井地质条件和钻井的投资分析等情况进行综合分析、对比后确定。美国已建成的储气库多采用常规的直井、定向井设计,部分采用水平井。Washington 10 储气库目的层埋深 1000 m,经过优化采用了水平井方案,水平井段采用裸眼完井,产量比直井提高了 $3 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实施后注采井的单井生产能力达到 $280 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(4)钻井技术:美国非常重视注采井的储层保护工作,废弃油气藏储气库一般采用的是欠平衡钻井技术,在钻穿目的层时选用“泡沫泥浆”,以最大程度地保护储层。

(5)注采井安全设计:一般的注采井要安装井下安全阀,以保障储气库的安全。Washington 10 储气库,注采井直接采用套管生产,7英寸套管内(距地表 10 m 左右)安装了井下安全阀。盐穴储气库的注采井因井内保留了冲洗盐穴用的大口径油管,一般需安装井口安全阀。

二、几点启示

1. 储气库构造结构普遍优于国内

由于美国的天然气资源较丰富,可供选择建库的油气藏类型和数量多。因此储气库的构造和储层条件普遍优于我国。

此次考察的 2 座气库,盐穴气库埋深 500 m,而盐体高超过 600 m。底特律废弃油气藏气库埋深在 1000 m 左右,储层属生物灰岩,储层厚度大,裂缝发育,孔、渗性能相当好,基本没有边底水存在。

2. 调峰周期、方式灵活

北美的油气藏储气库主要作为季节性调峰储气设施,每年一个注采周期,以季节性调峰为主,但短期调峰非常活跃,部分储气库每年可能根据市场情况有多个注采周期,加快了工作气的周转及储气库的使用效率,从而提高了储气库运行的经济效益。

储气库采气还是注气主要决定于市场上的天然气价格。天然气市场价格低时,天然气运营商从市场上购入天然气并存入储气库;价格高时,再从储气库采气输送到用户,保障了储气库运行商的商业利

润。

3. 有效的经营管理模式,促进了储气库发展

在美国,储气库的业主有 65% 为管道公司,35% 为城市燃气公司。这些公司负责储气库的日常生产、经营管理,主要责任是向天然气运销商提供储气、采气服务,收取储转费,一般不拥有储气库内的天然气。在美国,管道中输送的或储气库中储存的天然气有 66% 属于城市燃气公司,27% 天然气的属于管销公司,7% 属于管道公司输送过程中的暂存量。夏季与冬季的天然气价格差、调峰气价及高峰时的议价气是促使北美储气库高度发展的主要驱动力。

4. 建库前充分的经济评价降低了建库投资和市場风险

以 Washington 10 储气库为例,在 1994 年进行的初步方案设计中,计划钻注采井 30 口,观察井 10 口,封堵老井 9 口,并需要建设 7.5 英里(1 英里 = 1.609344 km)管道。在经过对多方案进行经济评价后,到 1997 年优选的方案为:钻注采水平井 14 口,观察井 8 口,封堵老井 8 口,只需建设 3.2 英里管道,节省了总投资。

此外,美国政府部门在管道工程、储气库建设等前期立项管理中,主要关注经济评价、环境保护、市场需求等方面问题,政府部门在确定物价方面控制比较严格。管道公司投资建设的管线或气库等工程,投资回报率不能超过 12%。

5. 日常运行管理及故障抢修

北美储气库的日常运行管理通过现场工作人员进行。注气和采气生产过程中,由操作人员通过控制室进行控制,注气压缩机的“启”和“停”完全可以通过控制室加以操作。

注气压缩机的日常维护、保养通常由运行单位底机械工程师负责完成,例行保养及大修按合同由专业公司承担。要随时保持注气压缩机完好,使压缩机保证能够在接到注气指令后 30 min 内启动。

抢修力量的安排主要依据工程量和投资情况选择队伍,一般情况是较大的维修工程量由社会专业公司承担更经济,就不同情况与社会上不同能力的专业公司签有长期合同,事先就经济及工程事宜做出约定。

6. 防恐问题

一是对储气库设施采取安全设计,在紧急情况

下能够自动或远程控制关断井口和地面装置;二是加强对储气库站场和装置的安全控制,非工作人员不允许进入到储气库所在的区域;三是限制参观,对参观者要提前申请和批准,储气库区域内不准拍照。

美国在“9·11”事件后,对反恐问题更为重视。据 DUKE 公司介绍,最近开展的工程要求尽量能够将管件、阀件都要埋入地下,但大大增加了工程投资。对此,只能通过加强管理和防范来预防。

三、对我国储气库发展的建议

美国是世界上发展储气库最早的国家,拥有占世界总数 81.4% 的储气库,可提供 $963 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的年工作气量。通过与美国部分公司进行储气库方面的交流并结合我国的实际,提出如下发展建议。

(1)在储气库的库址比选前,应对储气库的用户市场进行调查,根据市场的需求来确定储气库的规模,规模上满足需要而又不过剩,避免不必要的投资,同时要做好各地区储气库发展的中长期规划。

(2)应优先选择废弃的气藏或凝析气藏作为建库的库址,它具有密封性好、建成周期短、提取量高、管理简单等优点,适合于季节调峰。对用于日调峰的储气库,盐穴储气库最为有利,但建穴过程中的高盐度盐水的处理,是一大难题。

(3)应强化储气库建设前的评价和研究工作的力度,以便选择技术上和经济上最优的方案。Washington 10 储气库虽然建库的周期只有不到一年的时间,但从 1994 年进行的初步方案研究开始到施工,其间经历了近 4 a 的时间。加大储气库前期评价和研究工作的力度,可优化设计,减少工程投资。

(4)老井封堵的思路值得借鉴,尤其是在利用废弃的油气藏改建储气库的建设过程当中,应充分吸收老井封堵的经验,以确保储气库的安全。

(5)同时,我们也应吸收国外储气库在观察井设立方面的经验,增加观察井的比例,尤其是板桥第三储气库(以下简称三库)与板中南高点邻近,增加观察井的比例对储气库的运行、管理和掌握动态特征是极为有利的。三库可充分利用边部老井,修复后作为观察井使用。

(6)鉴于我国已建和在建的储气库均为废弃的油气藏,注采井在生产中将产出部分地层水,且注入的天然气中含有一定量的二氧化碳及硫化氢等腐蚀性气体,将对注采井的油管和套管产生一定的腐蚀作用。因此,在储气库运行过程中,应重视对注采井腐蚀状况的监测,以便及时了解注采井的井身质量和安全性能,保障储气库和注采井的安全。

(7)对储气库产出的天然气,应采取不同的价格体系,国家在政策上要使得储气库“有利可图”,才能够有利于储气库的发展。

(8)在确保采取有效的套管防腐、固井质量及井下安全措施的前提下,应积极对大井眼采气、套管采气和裸眼完井等工艺技术进行探索。

参 考 文 献

- [1] 吴宏,李波.西气东输天然气市场负荷特性与地下储气库建设规模分析[J].天然气工业,2004,24(6):8-11.

(修改回稿日期 2006-06-05 编辑 居维清)