

利用岩盐层建设盐穴地下储气库

李建中

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院)

李建中. 利用岩盐层建设盐穴地下储气库. 天然气工业, 2004; 24(9): 119~121

摘要 为保证我国西部天然气对长江三角洲的江苏省、浙江省、上海市等安全、稳定供气, 并满足这些省市的用气量变化需求, 决定在该区建设足够容量的地下储气库。文章介绍了利用该区金坛岩盐构造建造盐穴储气库的建库原则、建库地质条件、水溶采卤处理、盐穴设计等。同时还介绍了应用模拟计算设计方法进行计算所取得的盐穴设计几何高度、平均直径、最大高宽比, 以及在运行压力范围内安全围岩矿柱宽度等重要参数。

主题词 地下 盐穴气库 盐穴设计 有限元方法 建库技术

盐穴地下储气库在国外已经运行 40 多年。加拿大是最早在岩盐矿床中以水溶方式建成地下储气库的国家。目前全世界共有盐穴储气库 44 座, 主要集中在北美和西欧地区。其中, 西欧地区有 18 座(德国就占 13 座), 美国有 18 座, 加拿大有 7 座, 东欧地区有 1 座^[1]。

利用长三角地区江苏金坛盆地岩盐构造建设盐穴地下储气库, 在我国是开拓性的、新的战略储备领域, 以中国石油勘探开发研究院廊坊分院为主完成的可行性研究报告, 已经通过中国国际咨询工程公司的评估, 正进入方案设计施工阶段。为此, 研究盐穴设计方法及建库工程的关键技术, 对建设我国“西气东输”工程配套的盐穴储气库具有重要的意义。

一、建设盐穴地下储气库的条件

1. 建库原则

地下储气库选址要求与输气管网储配系统建设相结合, 临近消费市场或靠近输气管网, 配套形成布局合理的储运分配系统, 调峰半径在 100~200 km。“西气东输”工程筛选储气库库址的区域范围包括江南地区的句容、常州、金坛盆地、太湖地区、浙江北部桐乡—平湖凹陷, 以及长江以北的苏北盆地和安徽定远地区等, 面积约为 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。调峰范围要满足长江三角洲地区江苏省、浙江省和上海市的需求。

2. 利用岩盐层建库地质条件

建设盐穴储气库除要具备地理条件外, 还需要具备较好的地质条件。地质条件首先应确定大地构

造运动对沉积岩和地表应力作用小、断裂系统不发育的岩盐沉积区域, 同时岩盐体还要能充分满足建设储气库规模的需要^[2]。

地质条件要求: 具备足够大的岩盐体积, 即具有足够的厚度(一般大于 50 m)和一定的分布面积; 含盐品位高, 一般在 80% 以上, 而且水不溶物残渣含量低; 既能满足建设单腔体盐穴储气库的要求, 又要满足建设盐穴储气库群布局规模的需要; 岩盐上覆岩层应是良好的盖层, 分布稳定、密封性好, 盐矿埋藏深度适中; 同时, 一方面要考虑地下储存气体的安全性, 另一方面还要考虑建库的经济性。因此盐穴储气库通常以建在埋深 1000 m 左右为宜。

3. 水溶采卤与排放的条件

建设地下盐穴储气库还应具备建库的外部环境条件: 附近有丰富的淡水资源可供注水溶矿, 同时有采出盐卤利用或处理排放的出路。图 1 为溶矿盐穴地下储库造腔施工系统示意图。我国长江三角洲地

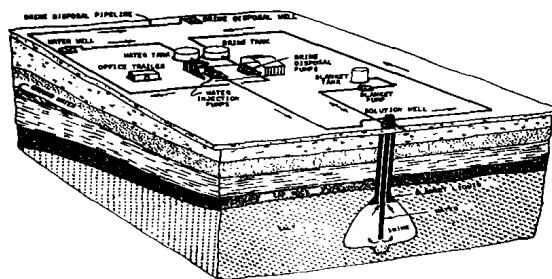


图 1 盐穴地下储库水溶造腔施工系统图

(李文阳供图)

作者简介: 李建中, 高级工程师, 任职于中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 现从事石油天然气地下储库工程研究工作。
地址: (065007) 河北省廊坊市万庄 44 号信箱。电话: (010) 69213381。E-mail: ljz_fy@petrochina.com.cn

区金坛盐穴地下储气库将采出的盐卤主要用作工业原料。

二、盐穴地下储气库的设计

1. 盐穴设计内容

建造盐穴地下储气库在地质勘察、筛选库址、优选目标、完成可行性研究报告的基础上,设计内容主要包括两部分:一是盐穴设计;二是井和溶矿造腔工程设计。其中盐穴设计又可以分为,地下储气库群建库整体规划方案设计和单体溶腔的盐穴设计。单体溶腔的盐穴优化设计是在建库目标区域已确定的基础上,重点研究并在盐穴设计中要求确定的主要稳定性参数,如:盐穴几何形状、高度、直径、穴顶等。同时还必须考虑部署盐穴的位置、到岩盐盖层之间的预留距离、与之相邻盐穴相互之间的安全矿柱距离、基岩稳定性、承载负荷的极限(即:确定最大与最小承压范围)、库容规模、注采能力等。

2. 盐穴设计模型

所采用的模型应考虑“准分析”研究和采用有限元模型^[3]。需要指出或量化的主要机械问题是:盐层蠕变而造成的盐穴容积变化,以及由于盐穴储气库周期运行对盐穴围岩壁、顶部和底部产生交变影响的变形分布和应力分布。

应用计算模型要根据设计目标的具体地质条件、地下储库设计方案要求来考虑。盐穴溶腔对称且均质岩盐的盐穴设计,可以应用二维计算模型进行设计计算,这样可以简化模型,大大提高运算速度。另一种考虑为岩盐地层纵向厚度变化大、夹层多、倾角大、产状复杂、非均质程度高等影响因素复杂的情况下,特别是在盐穴储气库群部署的多个溶腔体的设计中,就需要采用三维模型进行设计计算。显然有限元分析方法是研究单溶腔或多溶腔盐穴储气库在不同运行压力影响下,对盐穴周围岩盐产生的应力分布和影响范围进行定量研究的现实而有效的方法(见图2)。

3. 盐穴设计步骤

无论是盐穴储气库的设计还是的运行,都要求在允许的操作条件下盐穴的机械性能稳定。因此在盐穴长期运行产生形变的条件下,必须对岩盐层的长期力学稳定性以及围岩蠕变性对盐穴和井的影响进行认真评价。盐穴设计分以下3个步骤进行:①建立地质构造模型,重点研究岩盐层的构造、成岩、

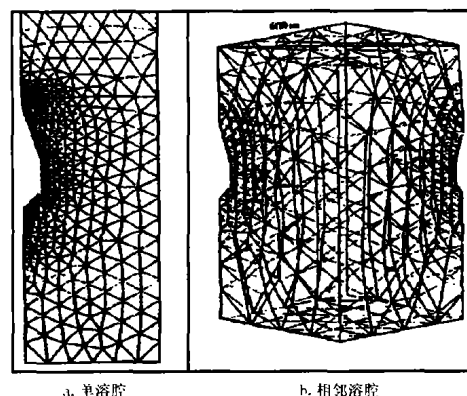


图2 模拟计算应力分布网格剖分图

内部结构、变形特征等;②建立地质力学模型,主要研究岩盐层的物理力学性能、变形状态等;③建立数学模型,重点确定岩盐层的应变强度,进行蠕变等参数的定量预测并评价盐穴的稳定性。

根据已确定建库区域内岩盐流变性、基质岩石环境和岩盐的机械特性,从复杂的岩心物性分析中获得岩石力学模拟的有限元程序。VIPLEF3D以有限元方法为基础,可在无穷小或微元范围内或有限变形范围内解决地质力学问题。该程序是将连续结构想象成为一个有限单元的组,每一单元的变形与节点位移有关,其本身又与节点的力有关,构造所有单元的节点一位移关系的总和结果是一组联立方程,它的形式为:

$$\{A\} = [S] \{U\} \quad (1)$$

式中: $\{A\}$ 和 $\{U\}$ 均表示公用的向量,分别代表各节点的力和位移; $[S]$ 表示方阵和对称矩阵,称为结构的“稳定性方阵”(stiffness matrix)。通过三个模块: I—DEAS(预处理和后处理程序), VIPLEF3D(解算仪程序)和 Geo3D(交互接口程序)对 $\{U\}$ 的求解,该结构中应力和位移场均能从位移中计算得出。模拟研究中既要考虑盐穴地下储气库静力学特征,也要考虑储气库运行中的动力学稳定性。如果围岩的岩盐体结构中某一应力分布满足静力平衡条件、应力边界条件且在屈服界限以内,则盐穴体结构在该载荷值作用下不会产生破坏^[4]。

4. 应用计算结果

应用模拟计算设计方法的实例如下:“西气东输”长输管道某盐穴储气库,岩盐层顶部埋深为 980 m,岩盐层厚度为 195 m^⑥。网格的原始载荷与地层压力相应。当盐穴运行压力降低到极限时,盐穴围岩内应力集中现象最突出,溶腔边缘应力值增大。

但是当盐穴充满过程中运行压力达到上限压力时,盐穴围岩内应力集中现象逐步减弱,边缘应力值减小并逐渐趋于稳定。为此,该盐穴储气库设计几何高度为135 m,平均直径为55 m,设计盐穴最大高宽比为1.93,计算结果符合国外经验值1.53~2.7的范围。确定最大运行压力为16 MPa,最小运行压力为6.5 MPa。

矿柱宽度的研究:模拟不同的围岩岩柱宽度应力形变分布对盐穴腔体、盐穴围岩产生的影响范围,从而确定盐穴间距离应大于应力影响范围为安全的围岩矿柱宽度。进一步模拟在合理运行压力区间的条件下,该储气库盐穴之间的安全围岩矿柱宽度为175 m,围岩矿柱宽度与盐穴最大直径之比为2.5,完全符合国外已经运行储气库经验值1.8~2.8的稳定范围。

三、盐穴地下储气库建库工程技术

1. 溶矿(沥滤)技术

建造盐穴地下储气库是一项复杂的系统工程,其中核心技术之一就是人工控制溶腔形态发展的造腔技术。它是决定建库工程成功与否的关键。最佳目标是在造腔过程中,能形成稳定的盐穴形态,同时保护岩盐顶板,避免上溶造成对溶腔完整性及顶部承压能力的损害。通过注入顶板防护液、适时优化注入工艺、调整施工参数及采卤管柱的配合,可以有效地人工控制溶腔几何形态和体积的发展,从而形成符合设计规范要求的地下盐穴。

2. 地下盐穴储气库密封性检测技术

地下盐穴储气库投入运行前都要经过力学及密

封性实验,重点针对钻井工程因素的井筒密封性和腔体地质因素的盐穴密封性进行检测。以便确定所建造的盐穴储气库工程是否密封并符合设计规范,并且满足操作运行工作压力区间储气库安全运行的要求。

地下储气库注采井井筒密封性和盐穴密封性评价方法,就是测定注采井套管空间中流体液面变化状况,需要测定充满井套管空间中不同类型流体的压力变化情况。应用氦示踪剂试压方法评估盐穴储气库密封性成为了比较有效的方法之一。因此,应用大剂量氦检测仪进行检测,可以发现泄露并判断漏失部位。当发现套管环空氦气高压异常带,就可以判断该处存在漏失井段,从而及时为盐穴储气库安全运行和维护管理提供科学依据。

成文中参考的资料:①李文阳、李建中、任晓萍等,《长江三角洲地区建设天然气地下储气库工程研究报告》,2001年4月。

参 考 文 献

- 1 华爱刚,李建中,卢林生等. 天然气地下储气库. 北京:石油工业出版社
- 2 李建中,李海平. 建设地下储气库保障“西气东输”供气系统的储备安全. 国际石油经济,2003;(6)
- 3 任松等. 用3D—Sigma分析岩盐溶腔围岩地应力场. 地下空间,2003;23(4)
- 4 邓楚键,郑颖人. 极限分析下限有限元法及其应用. 地下空间,2003;23(2)

(收稿日期 2004-04-26 编辑 居维清)