

# 建设盐穴型地下储库储存碳氢化合物的安全要求

刘 飞 王 敏 温庆和 宋桂华 李国韬

(CNPC 大港油田集团钻采工艺研究院)

刘飞等. 建设盐穴型地下储库储存碳氢化合物的安全要求. 天然气工业, 2004; 24(9): 139~141

**摘 要** 碳氢化合物属于易燃易爆危险品, 国内外对于生产、运输、储存碳氢化合物都有严格的规定。文章对国外使用地下盐穴储库储存碳氢化合物的安全要求进行了综述, 主要包括 7 部分内容: ① 相关法律规定, 碳氢化合物达到一定的储存量要执行相应的安全规定; ② 地面选址; ③ 盐腔的密封性; ④ 钻井完井; ⑤ 地面设备和工艺; ⑥ 生产工艺和流程; ⑦ 对生产运行中潜在的风险(操作失误风险、自然灾害风险、设备故障风险)进行评估并制定防范措施。

**主题词** 盐穴 地下储气库 碳氢化合物 储存 安全 风险

各种类型地下碳氢化合物储库的使用寿命通常大于 30 年, 所以世界各国对于建设各种类型地下碳氢化合物储库都有着严格的安全要求。我国天津的 3 座油气藏型地下储气库都位于大港油田板桥气田, 是陕京输气管线的配套工程, 其钻采工程设计都是由大港油田集团钻采院承担的。随着“西气东输”管线全线试通气的成功, 我国将在西气东输管线下游地区建设配套的地下储库, 其中将包括盐穴型地下储库, 结合我们已设计完成的油气藏型地下储气库的成功经验, 在此重点介绍国外使用盐穴型地下储库储存碳氢化合物的安全要求。

盐穴型地下储库与油气藏型地下储库相比, 其库容量较小, 但是其注采周期短、单井注采气量大。根据国外统计资料, 盐穴地下储库有 44% 以上年注采频率大于 5。美国的一个盐穴采用 20 英寸套管生产, 日产气可以达到  $2000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。频繁的改变工作制度使井口采气树和所有井下设备不断承受交变应力的作用, 所以为了确保盐穴地下储库长期的安全生产, 盐穴地下储库的建设从规划、设计、实施的整个过程都必须坚持“安全第一”的原则。

## 一、相关法律规定

在德国, 立法规定储存易燃液体(丙烷、丁烷、LPG、LNG)的量超过 50 t, 该工程就要进行系统的安全论证, 分析发生泄露、火灾、爆炸的可能性并采

取相应预防措施。

## 二、地面选址

地面选址应该保证盐穴地下储库的建设可以安全进行, 运行过程中所需要的作业可以安全进行。特别要考察任何时间任何情况下, 井口设备是否处于高大的建筑或设备意外情况下倒塌时将危及的范围之内。例如当地面相邻井口的距离小于修井机高度时, 那么修井机的倒塌就会危及到相邻另一井口的安全, 在这种情况下, 要采取正确的防范措施。

所以盐穴地下储库的地面选址应该尽量远离其他建筑, 通常需考虑以下因素: ① 距离工业区和居民区的距离; ② 距离公共设施的距离(道路、铁路、机场、发电厂等), 盐穴储库会对这些公共设施造成危险, 反之, 这些公共设施也会对盐穴储库造成危险; ③ 储存的流体类型和注采量; ④ 周边地区的发展规划; ⑤ 该地区的气候类型(是否存在灾害性天气: 洪水、狂风、雷电等); ⑥ 是否位于或周边地区是否存在自然保护区或湿地等环境敏感地区; ⑦ 道路是否通畅, 是否有利于紧急情况下开展救援行动。

## 三、盐穴的密封性

盐穴的密封性要通过地质研究论证, 相关内容主要包括: ① 区域构造运动、区域断层、构造异常研究; ② 从地表到盐层以下 100 m 所有地层的研究; ③ 地下盐穴方圆  $1 \text{ km}^2$  范围以内地层和构造研究; ④

地层封闭性研究;⑤其他渗透层对地下盐穴密封性的影响;⑥地应力研究;⑦盐层及周围地层机械、化学性质研究;⑧地表沉降研究;⑨区域动力学研究,包括盐穴的闭合和周围的采矿活动。

最终通过地质研究可得出以下结论:①盐穴的形状和几何尺寸;②相邻盐穴的安全距离;③盐穴可以承受的最大压力和最小压力。

## 四、钻井完井

利用地下盐穴储存碳氢化合物,不论注入或采出,工作介质要通过井口设备、完井管柱、完井管柱配套工具、油层套管,这些设备和工具直接决定了盐穴储库的生产安全,所以要求这些设备和工具均采用金属对金属密封,确保其密封性。

### 1. 油层套管

盐穴储库对油层套管的螺纹类型、强度和固井质量有着严格的要求。

(1)油层套管应该使用气密封螺纹。当油层套管作为生产通道时,德国的做法是采用气密封螺纹油层套管并对对接箍进行焊接,以彻底消除泄露的可能。

(2)油层套管应该满足抗内压、抗外挤和螺纹抗拉强度的安全要求,其中抗外挤强度是最重要的指标。抗外挤强度应该按照套管内全部掏空计算,这样可以保证发生井喷后油层套管不会被挤毁。由于轴向载荷会降低抗外挤强度,所以应使用双轴应力方法校核油层套管的抗外挤强度。盐层内应使用厚壁套管防止盐层的蠕变挤毁套管。

(3)由于盐穴储库的寿命通常超过30年,要求各层套管外水泥都返到地面。要求油层套管固井第一界面和第二界面胶结质量良好,生产过程中水泥环不能由于工作制度变化引起的交变应力而产生微裂缝。

### 2. 完井管柱

(1)带有封隔器的完井管柱应该使用气密封螺纹。

(2)完井管柱应该满足抗内压、抗外挤和螺纹抗拉强度的安全要求。对于带有封隔器的完井管柱,要计算封隔器坐封后由于井筒内温度和压力变化引起的温度效应、活塞效应、鼓胀效应和螺旋弯曲效应。

### 3. 完井管柱配套工具

完井管柱配套工具主要包括井下安全阀、封隔

器和工作筒。

### 4. 井口设备

盐穴储库井口设备主要包括底法兰、油管四通、油管帽、双主阀、双翼双阀采气树。

## 五、地面设备和工艺

地面设备和工艺根据不同的生产工艺和流程而有所不同,但是其中的地面安全控制系统的组成和作用基本相同。

### 1. 地面安全控制系统的组成

在井下完井管柱安装了封隔器和井下安全阀后,可以在地面安装下列装置组成地面安全控制系统:①采气树主阀和翼阀和其他出口管线安装地面安全阀;②气体浓度探测器;③易熔塞;④高低压传感器;⑤控制柜。

### 2. 地面安全控制系统的作用

当井下安装的是液压控制的井下安全阀时,井下安全阀通过液压控制管线与地面安全控制系统相连。在发生气体泄露、火灾、井口运行压力异常和井口设备被破坏造成液压控制管线泄压的情况下,会自动关闭井下安全阀和地面安全阀,防止泄露,确保安全。

## 六、生产工艺和流程

储存的碳氢化合物类型不同(液体型和气体型),生产工艺和流程不同,为了确保安全生产,在生产工艺和流程中要设计合理的监测工艺。

### 1. 流量监测

进行井口监测的目的是测取压力、温度和流量,其目的是为了通过计量注入和采出量来计算某一时刻的库存量和通过比较注入和采出量的差异来判断是否存在漏失。

### 2. 腔体形状监测

井下监测的目的是通过声纳测井测量盐穴的形状来观察腔体几何尺寸的变化并判断其稳定性,特别是对于使用盐水操作的储存液体类碳氢化合物的盐穴应该定期检测腔体形状的变化。

### 3. 地表沉降监测

选择合适的基准面和测量点,定期进行大地沉降速度测量。

## 七、风险分析

由于地下盐穴储库的建设会因为地点、用途、工

艺水平的不同而有所不同,所以以下只列出风险的来源、内容和分析评价的内容。对于需要采取何种预防措施设计人员可以根据实际情况选择,以上各部分中所叙述的内容可供参考借鉴,其目的是确保盐穴储库在设计的使用寿命内在任何情况下都不会发生事故。

### 1. 操作失误的风险

操作失误的风险来源于工作人员,归根结底是管理上的问题,其预防措施包括加强管理、加强培训。

### 2. 设备故障风险

设备故障风险的来源与分析评价见表1。

表1 设备故障风险的来源与分析评价表

来源	具体内容	分析评价
盐穴	盐穴几何尺寸、与相邻盐穴距离、运行压力温度等	稳定性、密封性
地面和井下机械设备	地面泵、压缩机、管线、阀、井口装置、井下套管、油管、工具	设备的质量检验、安装、维护和是否采取了有效的防腐措施
监测装置	地面仪表和线路	设备的质量检验、安装、维护和是否采取了有效的防护措施
停电		是否有应急电源

### 3. 自然灾害风险

操作失误风险和设备故障风险可以称为内在的风险,自然灾害风险在这里泛指一切的外在风险。自然灾害风险的来源与分析评价见表2。

表2 自然灾害风险的来源与分析评价

来源	具体内容	分析评价
周边地区的设施	地面工业设备、地下采矿活动等	设备的可靠性与盐穴的距离是否安全
交通	飞机、火车、汽车等	是否存在事故的风险(飞机失事、火车出轨等)与盐穴的距离是否安全
自然灾害	灾害性天气(风雨雷电)、地震、火山喷发等	是否采取了保护措施
外来人员	人的流量和距人口密集区的距离	是否有围栏、标志、监测和报警装置

## 八、结 论

(1)盐穴地下储库的风险是多方面的,所以必须从规划、设计、实施整个过程严格把关,那种认为钻井完井的安全就是整个盐穴地下储库的安全的概念是片面的。

(2)盐穴地下储库的风险式多方面的,有一些可以通过规划、设计、实施来消除,有些风险无法消除,只能靠采取预防措施,避免其引发事故。例如灾害性天气引起的破坏就只能通过采取预防保护措施加以解决。

### 参 考 文 献

- 1 Roman Roski. Completion alternatives for gas storage in salt caverns. Solution Mining Research Institute Spring 2002 Meeting
- 2 Klaus Ziegler, Petra Gerstadt *et al.*. Safety concept for an LPG underground storage in Germany, case study for the salt caverns storage site at Ginetsch. Solution Mining Research Institute Fall 2002 Meeting

(收稿日期 2004-07-04 编辑 居维清)