

# 盐穴地下储气库库址地质评价与建库区优选措施

王强军（中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司，河北 涿州 072750）

**摘要：**在对盐穴地下储气库进行选址的过程中，通常需要对其库址地质进行科学评价，包括构造评价、含盐地层特征评价、密封性和稳固性评价、储气规模评价等。然后再以此为依据，结合实际的储气库建设需求，对建库区域进行合理优选，以此来满足盐穴地下储气库的实际建设及其应用需求。

**关键词：**盐穴；地下储气库；库址地质评价；建库区优选

## 0 前言

为实现盐穴地下储气库的科学选址，相关单位与技术人员一定要对其库址的地质条件进行科学评价。以此来明确库址的构造条件、含盐地层特征、密封性、稳固性以及储气规模。然后再以此为依据，对储气库的库址做出合理选择。通过这样的方式，才可以实现盐穴地下储气库的科学选址。

### 1 盐穴地下储气库地质条件评价措施

对于盐穴地下储气库，在具体的地质条件评价工作中，其主要的评价措施包括以下几个方面：第一是对其构造进行评价；第二是对含盐地层的主要特征进行评价；第三是对其密封性和稳固性特征进行评价；第四是对其储气规模进行评价。通过这些项目的科学评价，才可以充分明确评价区域的实际地质特征，从而为盐穴地下储气库建库位置的合理选择提供有力参考。以下是对其地质条件评价中的主要评价措施所进行的分析。

#### 1.1 构造评价

在盐穴地下储气库地质条件评价中，构造评价是首要内容。其主要目的是明确含盐构造的具体形态及其断裂分布特征，以此来为其建库区域的选址提供科学依据。在具体的构造评价中，通常需要重新进行地震资料的处理和解释，看其是否能够达到建库精度，若达不到建库精度，就需要重新采集地震资料。在此过程中，评价工作人员需要对微小断裂做到足够重视，尤其是对于断距在5-10m的微幅构造以及小断层，应尽量做出谨慎识别，以此来确保库区地质的构造评价质量。

#### 1.2 含盐地层特征评价

在对含盐地层特征进行评价时，通常需要对其地层剖面特征、地层平面分布规律、隔夹层分布以及岩石化学特征进行分析。

首先是含盐地层平面特征评价，具体评价中，以

含盐地层的具体形成气候、物源和古地貌等相关研究作为基础，通过层序划分法来分析其含盐韵律进一步完成含盐地层剖面图的编制。通过这样的方式，便可对不同层段组合中的含盐率及其氯化钠综合含量做出科学分析，从而实现盐岩发育主力层的科学预测，为建库层段的合理选择提供有力参考。

其次是含盐地层平面分布规律评价，此项评价需要将以往的地震解释和反演成果作为依据，对含盐地层顶面构造的分布特征做出精细描述，包括其埋藏深度、盐层累计厚度和地层厚度等特征。同时应该对盐岩发育主力层的具体分布特征做出重点描述，包括其埋藏深度、盐层累计厚度和地层厚度等。具体评价中，主要应用的是地球物理勘探法，依据以往地震资料，结合地质任务对分辨地层厚度10m的要求确定反射层的地球物理参数。按纵向分辨率要求论证，主频应达到60Hz，需要保护的最高频率应大于100Hz。通过这样的方式，便可对其建库影响做出科学评价。

再次是隔夹层分布评价，根据单井资料以及地震反演资料，对具有较大厚度且分布稳定的隔层岩性及其厚度变化等规律进行精细描述，将单井作为依据，对夹层比例、数量及其厚度等进行统计。并结合隔夹层中的岩石类型及其化学组分含量来对其水溶性进行分析，从而明确其对造腔带来的影响，以此来为库址的合理选择提供有力参考依据。

最后是岩石化学特征评价，该评价分两部分，第一是岩石类型评价，其主要方法是通过薄片鉴定和岩心观察等方式对含盐地层中的岩石类型与岩石特征进行描述，确定可溶性盐岩以及部分其他可溶岩的分布范围，从而为建库区域与建库层段的合理选择提供指导。第二是矿物组分评价，其主要方法是采用化学组分分析的方式来分析研究区域内的矿物组分与含量。在具体的化学组分评价中，为使其分析结果足够准确，工作人员通常会选择连续取样法，沿着岩心轴的方向

进行片状岩样切割,其厚度控制在1~2cm,对于获取到的类型相同的岩石,可将其划分到同一个样品中,将样品磨碎之后便可进行化学组分分析。如果取样段不存在岩性频繁变化的情况,也可以通过点样法来分析其化学组分,将采样密度控制在1块/m,将样品长度控制在2~5cm之间。如果矿井不适合进行岩心取样,则可以通过测井解释技术来分析其化学组分,从而为建库层段的合理选择与单腔有效体积的科学预测提供有力依据。

### 1.3 密封性和稳固性评价

在盐穴地下储气库的库址评价中,密封性及其稳固性评价都是重点的评价内容。在具体评价中,首先需要对其顶板密封性进行评价。所谓顶板,就是直接覆盖在建库层段上方的地层。主要评价方法是通过地应力测试、分析化验以及地质统计等方式来对其埋藏深度、岩石类型、承压能力和渗透性等做出科学分析,以此来实现顶板密封性的科学评价。在此过程中,还需要根据岩心观察以及构造解释成果等对裂缝和断裂进行详细分析,确定其是否会串通上覆含水层,从而为其建库区域的合理选择提供参考。

其次是对围岩和含盐地层进行稳固性评价,这里的围岩指的是含盐地层中的底板和顶板,具体评价中,主要采用试验测定法、临界深度法以及环境地质分析法等来综合进行其稳固性评价。以下是三种主要评价方法的应用策略:

#### 1.3.1 试验测定法

通过试验法测试岩石水理性质和物理力学性质,以此来实现其含水率、抗压强度和耐崩解指数等系数的科学获取,并根据实际的参数来进行层段的稳固性分析。

#### 1.3.2 临界深度法

将顶板埋藏深度设为 $H$ ,临界深度设为 $H_0$ ,对两者进行对比。而临界深度 $H_0$ 主要通过以下计算公式进行确定:

$$H_0 = \frac{B}{\tan \phi [\tan(45^\circ - \frac{\phi}{2})]^2} \quad (1)$$

其中:

$H_0$  代表临界深度;

$B$  代表采空区跨度;

$\phi$  代表岩石内摩擦角。

在确定了临界深度之后,便可用实际测量到的顶板埋藏深度与之对比。

表1为临界深度法稳固性检测结果评价:

表1 临界深度法稳固性检测结果评价

序号	对比结果	顶板稳固性评价
1	$H < H_0$	顶板不稳固
2	$H_0 < H < 1.5H_0$	顶板稳固性较差
3	$H > 1.5H_0$	顶板稳固

#### 1.3.3 环境地质分析法

分析研究区域内的隔水层、含水层水文地质特征,对上覆含水层在盐矿稳定性中的影响进行分析。同时应进一步调查和分析盐矿开采中的冒卤和地面塌陷情况。通过这样的方式,便可对储气库水溶造腔中所受的主要影响做出科学评价。

#### 1.4 储气规模评价

储气规模评价是盐穴地下储气库建库选址中的研究重点。在具体的储气规模评价中,需要先估算出单腔有效体积,再结合部署在建库区域内的井腔数量,对建库区域储气规模进行评价。具体评价中,其主要的评价策略包括以下几项:

##### 1.4.1 估算单腔有效体积

此项工作需要将储气库实际情况及其造腔经验作为依据来进行评价。比如,在我国的层状盐岩地层中,单腔形态通常设计成梨形,并按照底槽、主体和顶部这三个部分进行划分。具体的体积计算时,可将其上下部简化成圆锥结构,中间部分简化为圆台结构。而有效体积又和单腔体积以及造腔段中的不溶物含量具有直接关联性,具体评价中,可按照以下公式进行计算:

$$V_e = V_t (1 - \gamma_{in} c_{in}) \quad (2)$$

其中:

$V_e$  代表单腔有效体积;

$V_t$  代表单腔体积;

$\gamma_{in}$  代表不溶物含量;

$c_{in}$  代表不溶物堆积系数。

##### 1.4.2 估算单腔库容量和工作气量

具体评价中,可采用气体状态方程对单腔库容量以及工作气量进行计算,而此项计算的关键在于上限压力与下限压力值的科学选取。所谓上限压力值,就是盐腔注采运行中的最大允许压力值。在国外的盐穴储气库运行过程中,其上限压力梯度大多控制在1.5~1.7MPa/100m之间,并且盐穴储气库的内压最大值应控制在上覆地层破裂压力的80%及以下;如果没有获取到破裂压力数据,其压力梯度应控制在

1.18MPa/100m 及以下。但因为破裂压力并不属于一个定值,应用的介质不同以及流速控制不同都会使其发生变化。基于此,大多数国家关于盐穴储气库的相关规定,都需要进行地应力测量,并以此为依据来进行地应力剖面稳定性评价模型的建立。所谓下限压力,就是盐腔注采运行中的最小允许压力值,对于这个压力值,具体评价中,需要根据接入的输气管网压力以及稳定性评价来做出科学确定。

#### 1.4.3 评价储气库容量和工作气量

评价中,需要按照上述的稳固性评价结果,对腔体间的安全距离进行合理确定,并以此为依据来实现库区内井距和数量的合理确定。然后再根据单腔容量以及实际的工作气量,对储气库的容量及其工作气量做出科学评价,从而为建库选址提供参考。

除了上述主要的评价内容与评价措施之外,在具体的盐穴储气库建库区域地质评价中,相关单位与工作人员还需要结合其实际的建库选址需求,对评价区域内的地表等条件进行科学分析,包括岩矿具体位置、地表上的建筑情况、水源和卤水销售情况、矿权归属情况等。最后再将具体的评价结果作为依据,对盐穴地下储气库的建库地质进行合理选择,从而实现其建库区域的科学优选,为其实际建设、应用和发展奠定更好的基础。

### 2 盐穴地下储气库建库区优选措施

在通过上述方法对盐穴地下储气库的库址进行地质评价之后,相关单位可按照以下措施来进行建库区的优选:

①构造方面,应尽量选择断层不发育的简单构造区域,若断层发育,则需要做好建库区与断层区的距离控制;

②虽然埋藏深度越大储气量越高,但经分析发现,埋藏深度过大会使增加腔体的年收缩率,不利于后续工作气量与安全控制。因此在具体选址时,应做好埋藏深度选择;

③选址中,也需要对含盐地层厚度及其含盐率做到重点考虑,尽量选择单盐层厚度较大、分布较为稳定、夹层较少、夹层厚度较小的区域;

④将综合氯化钠含量作为重要的选址指标,在符合指标的区域进行选址;

⑤对于顶板选择,不仅要考虑其厚度,且应确保其分布足够稳定,不可存在渗水层和含水层,采矿中不可出现严重的冒卤和地面塌陷情况;

⑥选择的含盐地层一定要具备较大的面积,其储气量应满足后续的扩建需求。

表 2 为盐穴地下储气库建库区域优选中的主要参数控制标准:

表 2 盐穴地下储气库建库区域优选中的主要参数控制标准

序号	项目	参数
1	建库区与断层区距离	≥ 200m
2	埋藏深度	500-1500m
3	含盐地层厚度	> 100m
4	含盐率	> 70%
5	综合氯化钠含量	> 60%
6	顶板厚度	> 30m

通过这样的方式,才可以实现盐穴地下储气库的科学选址,满足其实际的建设、运行与发展需求。

### 3 结束语

综上所述,对于盐穴地下储气库,在具体的建库区域选址过程中,相关单位和专业技术人员一定要对研究区域做好地质评价工作,以此来明确其实际的地质构造与盐层特征等情况,并结合此类储气库的选址要求,对其建库区域进行合理选择。通过这样的方式,才可以充分满足现代盐穴储气库的实际建设选址需求,实现盐穴储气库的良好建设,并为其后续的扩建与发展提供有力支持。

#### 参考文献:

- [1] 王晓东,李海东,谷金飞,周璐,潘显斌.高精度三维地震勘探技术在盐穴储气库的应用 [A]. 中国石油学会石油物探专业委员会 2022:46-49.
- [2] 孙军治,陈加松,井岗,杨普国,王一单,孟君.国内盐穴储气库建库关键技术研究进展 [J]. 盐科学与化工,2022(10):1-7.
- [3] 郑雅丽,邱小松,赖欣,赵艳杰,孙军昌,皇甫晓红.盐穴储气库地质体完整性管理体系 [J]. 油气储运,2022(09):1021-1028.
- [4] 张博,安国印,刘团辉,王文权,赵明千,高燕.平顶山地下盐穴储气库建库盐层分布预测 [J]. 盐科学与化工,2021(02):5-9+13.
- [5] 施金伶.盐穴地下盐腔储气库选址条件评价 [J]. 中国石油和化工标准与质量,2020(18):5-6.

#### 作者简介:

王强军(1975-),男,汉族,河北涿州人,本科,中国石油集团,工程师,研究方向:地震勘探。