

平顶山盐穴储气库建库地质条件评价

陈波¹, 沈雪明^{1,2}, 完颜祺琪², 孙春柳²

1. 长江大学非常规油气湖北省协同创新中心, 武汉 430100

2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 廊坊 065007

摘要 在平顶山盐岩矿区三维地震解释、资料井及老井钻探成果基础上,对研究区断裂发育、构造形态及盐岩地层横纵向展布特征进行精细研究,并对盖层和夹层分别取心开展室内实验以评价盖层及夹层密封性。通过对平顶山地区盐岩建库地质条件的综合评价,认为该地区适合建设盐穴地下储气库。结果表明:平顶山盐矿总体构造形态简单,盐岩沉积中心断裂不发育且盐层厚度较大;盐岩地层厚度大,横向分布稳定,其中14~20盐群厚度平均200 m以上,含矿率高,夹层数量少,可以作为建库的目的层位;盖层及夹层以泥岩为主,微观孔隙结构小,连通性差,渗透性能差,不利于气体的运移,具备一定的封闭能力,满足储气库地质评价要求。

关键词 盐岩;地质条件;构造形态;沉积中心;地下储气库

盐穴地下储气库是利用地下较厚的盐层或盐丘,采用人工方式在盐层或盐丘中水溶形成洞穴储存空间来存储天然气^[1]。相比较其他类型储气库,盐穴地下储气库具有注采率高、短期吞吐量高、垫层气量低并可完全回收等优点^[2-6]。考虑到盐穴储气库的安全性,以及运行的稳定性和可靠性,需对建库地区的地质条件进行系统评价。盐穴储气库对构造的完整性、盐岩的品位和分布、盖层的密封性等均有特殊要求,盐矿区域地质的断裂发育情况、盐岩层分布特征及盐岩盖层的封闭性评价是地质评价的核心^[7-11]。

1 平顶山盐矿基本情况

平顶山盐矿位于河南省平顶山南部叶县、舞阳县平原区,距离郑州市约140 km,距西气东输二线35 km左右^[12]。盐矿的东西两侧有京广、焦柳两条南北向铁路分别通过,连接这两条铁路的漯宝铁路通过平顶山市,G311国道连接豫01省道(原许南公路)通过盐矿。发达的铁路、公路交通,为盐矿的开发提供了有利条件。

目前河南省平顶山盐矿与建库地质有利区相邻的盐化企业共有3家,开采层位均为14~17盐群,共有盐井约50余口,目前年生产卤水能力为超过 $1300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,年输卤折盐能力达到 $370 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。为盐穴储气库建设提供了良好的外部环境。

2 区域地质概况

2.1 区域构造

平顶山盐矿含盐层系赋存于舞阳凹陷内,为一套中、新

生界的碎屑化学岩系。该凹陷属于南华北盆地周口坳陷(图1^[13-15])西部的一部分,东与平舆凸起相邻,北以叶鲁大断裂为界与平顶山凸起相连,西南为豫西隆起区。舞阳凹陷位于河南省境内的平顶山—漯河以南,为中-新生代断陷盆地,是一个呈狭长形展布的断陷盐湖盆地,面积约1800 km²。该研究区的北部发育叶鲁断裂,是控盆断层,南部发育缓坡,整体为北断南超的箕状凹陷。

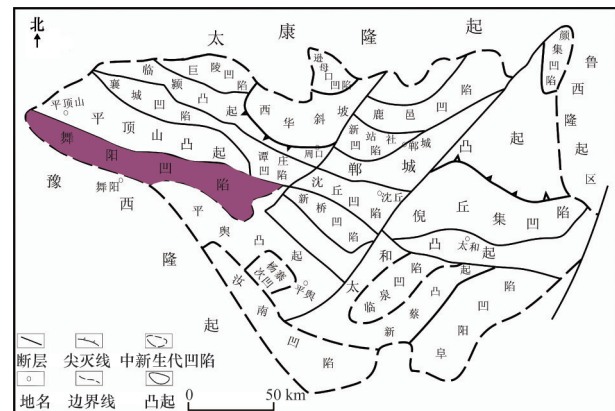


图1 周口坳陷断裂及三级构造单元划分

Fig. 1 Division of geological structures and faults of Zhoukou depression

2.2 区域地层

舞阳凹陷从白垩系开始到第四系先后沉积了胡岗组

收稿日期:2015-05-25;修回日期:2015-08-01

作者简介:陈波,教授,研究方向为沉积储层,电子信箱:chpo@yantzeu.edu.cn;沈雪明(共同第一作者),硕士研究生,研究方向为盐层精细描述与地质建模,电子信箱:332627070@qq.com;孙春柳(通信作者),工程师,研究方向为地下储气库建库评价与方案设计,电子信箱:sunchunliu@petrochina.com.cn

引用格式:陈波,沈雪明,完颜祺琪,等.平顶山盐穴储气库建库地质条件评价[J].科技导报,2016,34(2):135-141;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.2.021

(K₂h)、玉皇顶组(E₂y)、大仓房组(E₂d)、核桃园组(E₂h)、廖庄组(E₃l)、上寺组(Nsh)、平原组(Qp)^[16]。含盐地层为古近系渐

新统核桃园组核一段、核二段(顶部)。核一段顶部发育一套分布稳定的泥岩。舞阳凹陷内中、新生界地层简况见表1。

表1 舞阳凹陷地层层序简表
Table 1 Sequence stratigraphy list of Wuyang Depression

地层系统				厚度/m	岩性组合特征	
界	系	统	组			
	第四系		平原组 Qp	25 ~ 168	杂色、浅棕黄色, 下部黏土夹砾石, 中、上部砂质黏土、黏土夹数层砂砾层。与下伏地层不整合接触。	
	新近系		上寺组 Nsh	300 ~ 800	浅黄、灰黄、杂色细砾岩、砾状砂岩与灰黄棕红、灰绿色泥岩互层。与下伏地层不整合接触。	
			廖庄组 E ₃ l	315 ~ 869	杂色砾状砂岩、浅灰色含砾砂岩与棕色、灰黄色泥岩互层。与下伏地层整合接触。	
		渐新统 E ₃	核一段 E ₃ h ₁	200~1138	下部为泥岩、石盐岩及含膏泥岩; 中部膏岩石盐岩、泥膏岩; 上部泥岩、含膏泥岩互层, 夹石盐岩。石盐岩灰白、棕黄色; 其他泥岩等灰色棕红色。	
新生界	古近系	E	核桃园组	核二段 E ₂ h ₂	489~1070	下部为深灰色含膏泥岩与泥岩互层, 夹有细砂岩, 底部为杂色砾状砂岩与紫红色泥岩互层; 上部为灰色泥岩、粉砂岩、油页岩及灰白、棕黄色石盐岩、含膏泥岩。
				核三段 E ₂ h ₃	784~986	下部为灰红色含砾砂岩、砾状砂岩、浅灰红色细砂岩、棕红、棕紫色泥岩, 局部夹白质泥岩; 上部为灰色、棕色泥岩、杂色砾状砂岩及灰白色灰岩。与下伏地层整合接触。
				大仓房组 E ₂ d	>1200	杂色砂砾岩、砾岩、局部夹棕红、紫色砂质泥岩、粉-细砂岩。与下伏地层整合接触。
			玉皇顶组 E ₂ y	1943	下部为棕色、紫色砂岩、泥岩互层, 夹杂色砾岩及灰色粉砂岩等; 中部为紫色砂岩、泥岩及白云岩、泥灰岩; 顶部为浅灰色泥岩、粉砂岩及灰白色白云岩。与下伏地层假整合接触。	
中生界	白垩系	上统	胡岗组 K ₂ h	300	下部为黄绿色砾岩, 底部夹黑色煤二层; 上部为杂色砾岩。与下伏石炭系、寒武系或震旦系地层不整合接触。	

3 建库地质评价

3.1 含盐层系地质特征

3.1.1 盐岩纵向分布特征

根据盐矿老井和新钻资料井的完钻资料显示, 纵向上含盐层系地层从下往上共发育 21 个盐群。在盐群的基础上又划分为 65 个盐层^[17](图 2)。

各盐群的厚度不等, 单盐群地层厚度最厚达 75.2 m。根据已经完钻井的统计数据显示: 1) 除 4 盐群平均厚度为 10.8 m, 其余各盐群的平均厚度均大于 15 m, 1~7 盐群地层总厚度为 215 m, 8~13 盐群地层总厚度为 125 m, 14~20 盐群地层总厚度为 200 m; 2) 含盐地层内平均含矿率为 63%, 各盐群含矿

率差别较大, 其中 14 盐群的含矿率最高, 达 80% 以上, 0 盐群的含矿率低于 40%, 1~7 盐群平均含矿率为 57%, 8~13 盐群平均含矿率为 60%, 14~20 盐群平均含矿率可达 73% 以上; 3) 各盐群内所含盐层的个数及厚度差别较大, 其中 1~7 盐群共发育 27 个盐层, 厚度为 1.5~18.6 m, 单层厚度小于 5 m 的盐层比例达到 70%; 8~13 盐群共发育 13 个盐层, 单层厚度小于 5 m 的盐层比例为 54%; 14~20 盐群中共发育 13 个盐层, 仅有一个盐层厚度小于 5 m, 大于 10 m 的盐层为 7 个, 盐层总厚度大。

综上, 1~7 盐群和 8~13 盐群含矿率低, 单盐群厚度小, 层夹厚度大, 不适合作为建库层位; 14~20 盐群厚度大, 含矿率高, 夹层个数及厚度小, 适宜作为建库目的层位。

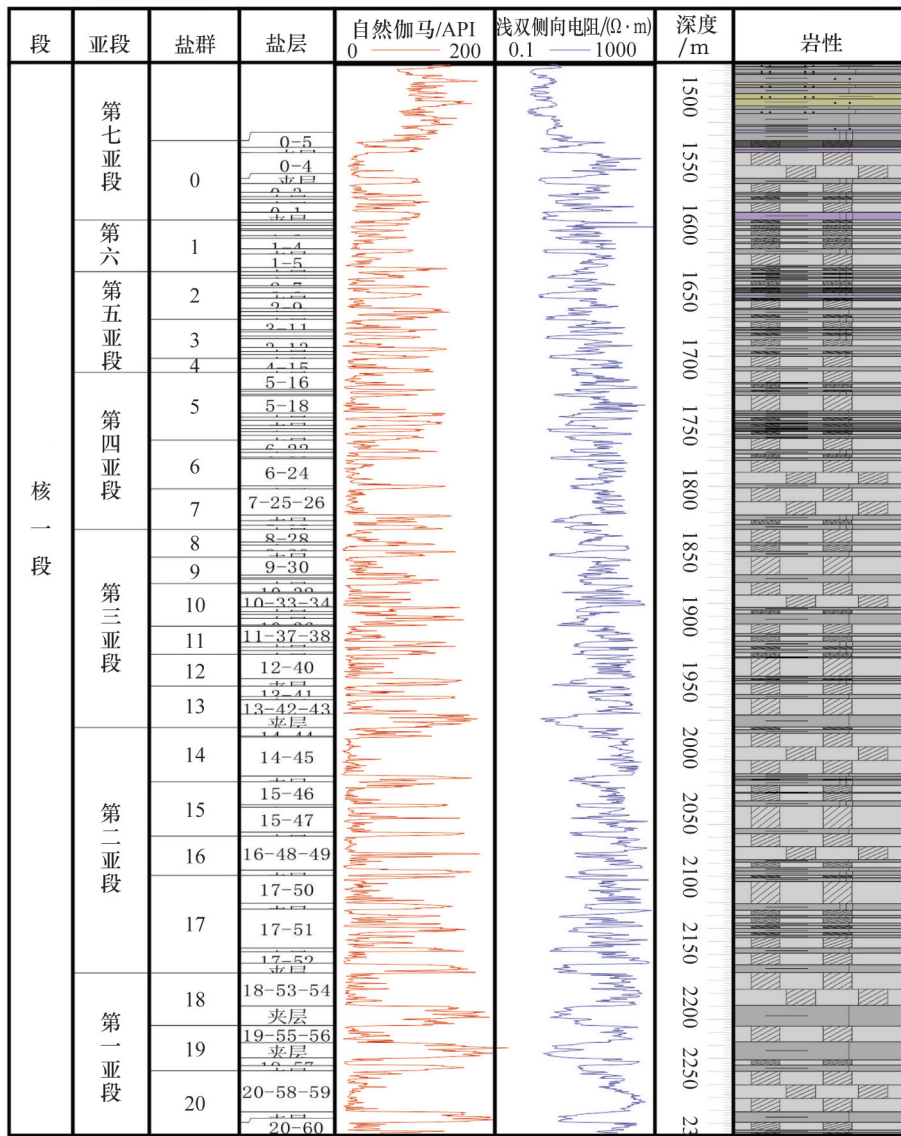


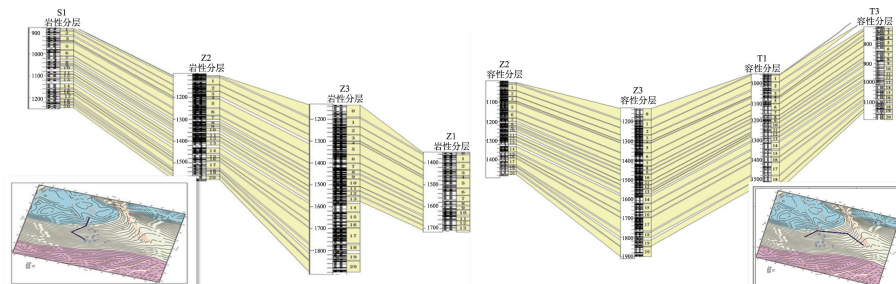
图2 资料井盐群和盐层划分结果

Fig. 2 Results of divided salt and salt layer group in information well

3.1.2 盐岩平面分布特征

平顶山盐矿盐岩为干旱环境下的浅水盐湖相沉积。受沉积环境的影响,平顶山盐岩层的盐体具有厚度大,分布范围广的特点。盐群在横向上分布稳定,成层状分布。研究区内,由南向北,盐层的埋深逐渐增加,反映了“北深南浅”的构造特征;

盐岩层的累计厚度逐渐增加,北部的资料2井盐层厚度达565 m,资料3井1~13盐群地层厚度达到363 m;0盐群由北向南逐渐发生尖灭(图3(a))。自西向东,越靠近研究区的南部边缘,盐层的埋藏深度越浅,盐岩层的累计厚度也越小。0盐群和1盐群自西向东逐渐发生尖灭(图3(b))。



(a) 过S1-Z2-Z3-Z1井

(b) 过Z2-Z3-T1-T3井

图3 连井剖面

Fig. 3 Well joining profile

盐岩在全区分布稳定,整体上呈现北厚南薄(图4),最厚的位置在北部资料2井和资料3井附近,资料3井达到765 m,资料1井的盐岩地层厚度为661 m。综上,北部凹陷区的盐岩分布稳定,且盐岩沉积厚度较大,是建设地下储气库的有利区域。

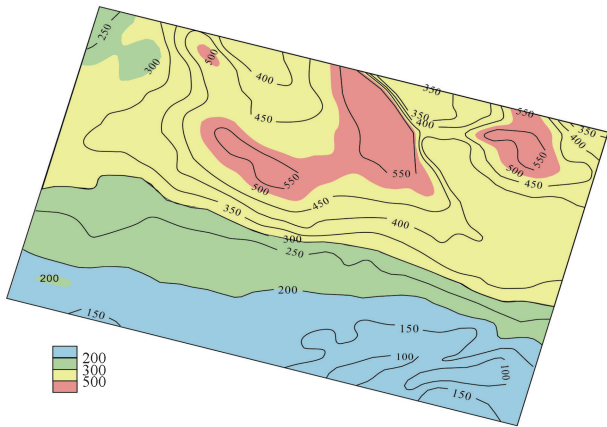


图4 平顶山三维核桃园组一段盐岩厚度平面分布
Fig. 4 Plane thickness distribution of rock salt of He1 in Pingdingshan

3.2 盐矿构造特征分析

3.2.1 构造特征

平顶山盐矿位于周口坳陷内舞阳凹陷西部。受叶鲁断裂活动的影响,平顶山盐矿北部区域发生了挤压变形,形成一个断隆(图5)。在断隆的东西部主要发育2个次凹,同时断隆西部的次凹又被分割成2个更小的次凹,被断裂分割的2个次凹为盐岩的主要沉积区,盐岩的沉积厚度由次凹中心向四周变薄,向南地层开始抬升。南部地层由西向东逐渐抬升,由于正断层的存在被分割成许多断块。

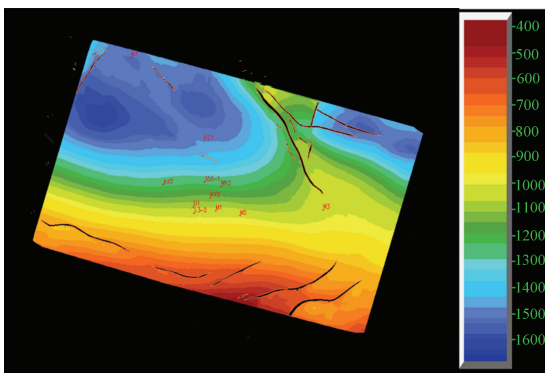


图5 平顶山三维核一段7#盐群底部地震解释层位平面图
Fig. 5 Seismic interpretation horizon plane of the 7# group Salt of He1 in Pingdingshan

3.2.2 断裂特征

根据三维地震资料解释结果显示,在不同的构造位置断裂活动呈现出不同的特点。南部区域的断裂正断层发育,从

工区南部区域所选取的一条剖面(图6),从该剖面上可以看出大多数正断层在核一段盐群段处于活动期,并且向上断开了上寺组底界不整合面,正断层在剖面上主要表现为平行结构。在研究区北部的凹陷的东侧断隆区发育有3条大的逆断层(图7),逆断层的活动时期也贯穿核一段盐群地层,由于逆断层的存在使得断隆区在三维地震剖面上的同相轴不连续,构造复杂;在断隆西侧的凹陷内部发育的一些小的正断层和逆断层把盐岩地层切断。将工区内的断裂进行叠合后(图8)可以明显看出,凹陷内部断裂相对不发育,构造运动相对平和;各盐群在每个断裂部位的发育情况都不相同,但是断裂发育的区域都相对集中,主要在研究区的南部和北部区域;大部分断裂的活动时期较长,活动也比较剧烈,断开的层位多,产生的断距大。

根据对研究区的区域地质构造条件分析,认为平顶山盐田总体构造形态简单,由南向北依次可以划分为南部正断层发育带、中部小断层发育带、北部断层发育带和凹陷内部断层发育带。南部正断层走向呈北西西向和北东向延伸,在平面上表现为雁列式展布。北部逆断层的延伸方向为北西向。其中,北部和南部断层的断距较大,部分断层已经断开上寺组底界的不整合面,因此,建库区应避免北部及南部断裂发育区;凹陷内部发育有小的正断层和逆断层,但断距小,且数量少,向上未断开至14#盐群顶,因此,不会对腔体的密封性产生影响。



图6 平顶山三维联络线400地震解释剖面
Fig. 6 Interpretation of seismic profiles of across line 400

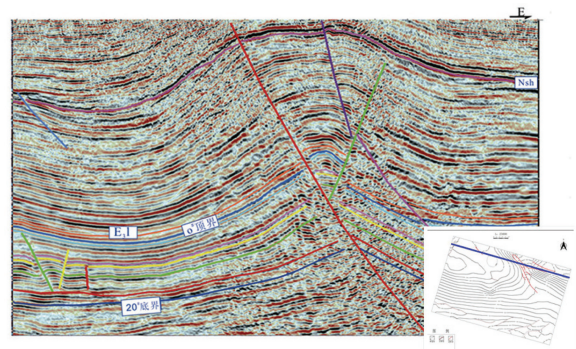
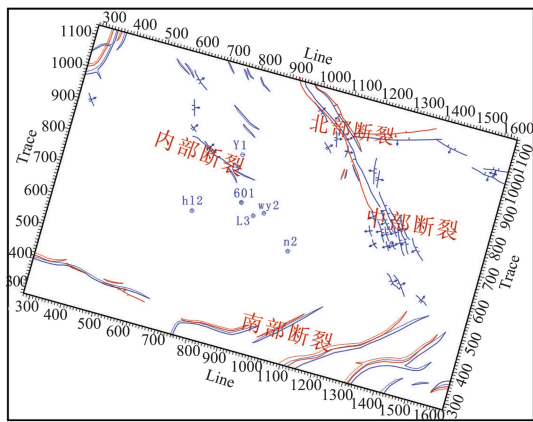


图7 平顶山三维联络线1036地震解释剖面
Fig. 7 Interpretation of seismic profiles of across line 1036

图8 盐顶与13[#]盐群底界断裂叠合Fig. 8 Faults congruency map between top salt and end of 13[#] salt group

3.3 密封性评价

为了对研究区内的盖层及盐岩夹层的密封性进行评价,利用MR-ML型低磁场便携式磁共振仪对平顶山地区的资料井岩心,共取样43块,进行测试分析,研究岩心的孔径分布。还利用岩石孔隙结构仪对岩心进行压汞实验分析,实验步骤为:1)将岩心放入岩心室并关紧岩心室,关岩心室阀,开抽空阀,关真空泵放空阀,开真空泵抽空15~20 min。2)开岩心室阀,开补汞阀,调节汞杯高度,使汞杯液面至抽空阀的距离与当前大气压的汞柱高度相符合;开隔离阀,重新调整汞杯高度,此时压差传感器输出值为28~35 cm,关闭抽空阀门,关真空泵,打开真空泵放空阀,关闭补汞阀。3)关高压计量泵进液阀,调整计量泵,使最小量程泵压力表为0;按照设定压力逐级进泵,稳定后记录压力及汞体积测量管中汞柱高度值至实验最高设定压力。

3.3.1 盖层评价

平顶山盐矿核一段顶界至含盐地层顶界面发育一套厚度56~118 m的泥岩,全区稳定分布,为储气库区域盖层;拟建库层段14~20盐群上部含盐地层为储气库的直接盖层。

从宏观看,盖层全区稳定分布,厚度较大,岩性致密,根据地震解释优选出的建库区块内断层不发育,因此封闭性能良好。从微观评价来看,通过对资料井夹层岩心利用MR-ML型低磁场便携式磁共振仪分析得出孔径分布关系(图9),盖层以泥岩、石膏质泥岩为主,平均孔径为8.533 nm,一般来说,泥质岩孔径分布小于10 nm的微孔隙含量占到80%~90%,本区的盖层平均孔径低于这一值,孔隙分布形态属于相对较分散,这种类型反映的孔隙分布较分散且略微偏大,封盖性能仅次于集中型分布的孔隙类型,认为盖层的孔隙度和渗透率都较低,封闭条件好;对资料井的盖层压汞分析结果(图10),可以看出盖层排驱压力较高,分布在12.1 MPa左右,毛管的中值压力为82.5~98.8 MPa,平均67.6 MPa,孔喉中值半径为0.007~0.020 μm ,平均0.012 μm ,最大喉道半径不超过

0.060 μm ,说明盖层的孔喉半径小,不利于气体的运移。且能封闭的气藏高度满足储气库的要求,因此本研究工区的盖层是有效的。

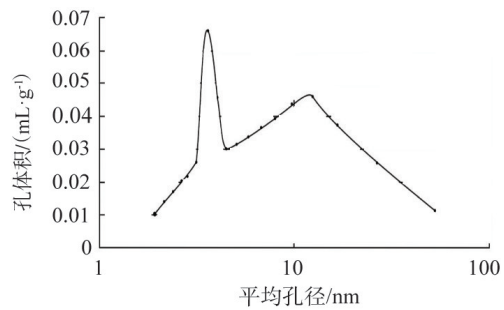


图9 资料井盖层孔径分布曲线

Fig. 9 Cap rock pore diameter distribution curve of cap rock of data well

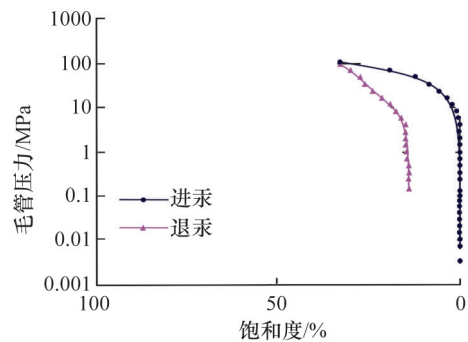


图10 资料井盖层压汞分析结果

Fig. 10 Cap rock mercury analysis of data well

3.3.2 夹层评价

从宏观看,各盐群的底部均有稳定分布的夹层,以资料井为例,0~20盐群内夹层厚度2~13.2 m,平均4.1 m。最薄夹层厚度为0.36 m,最厚为13.2 m,其中7、10、13盐群底部夹层厚度均大于10 m;14~20盐群夹层厚度为2~8 m,平均为5.1 m,一共含有8个夹层。由于夹层个数多,厚度偏大,可能对储气库的密封性存在着潜在的影响,因此需要对夹层的微观特性进行分析。

从微观评价看,通过对资料井夹层岩心利用MR-ML型低磁场便携式磁共振仪分析得出孔径分布关系(图11),夹层石膏质泥、灰质泥结构为主,平均孔径为9.669 nm,孔隙分布形态属于相对较分散型,这种类型反映的孔隙分散且略微偏大,封盖能力仅次于集中型分布的孔隙类型,封闭条件好;对资料井的夹层压汞分析结果(图12),可以看出夹层样品的排驱压力较高,值域范围为12~49.6 MPa,平均值为27 MPa,毛管的中值压力为78~99.5 MPa,孔喉半径为0.007~0.024 μm ,平均为0.011 μm ,最大孔喉半径不超过0.093 μm ,认为夹层的孔喉半径小,不易于气体的运移。因此本研究工区夹层的密封性是有效的。

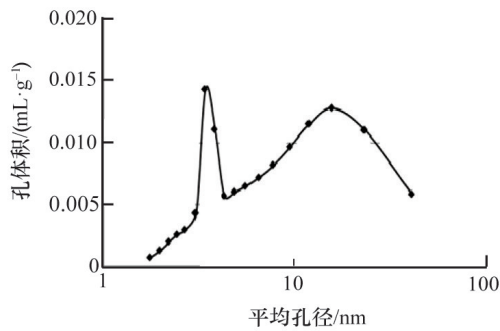


图 11 资料井夹层孔径分布曲线

Fig. 11 Themezzanine pore diameter distribution curve of cap rock of information well

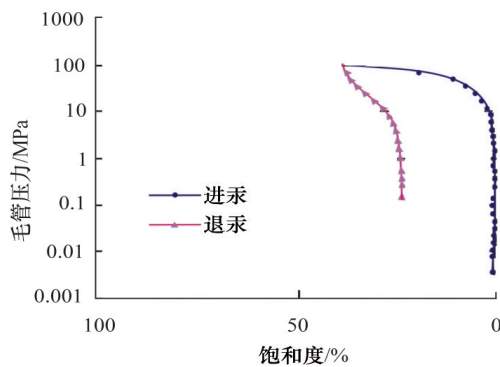


图 12 资料井夹层压汞分析结果

Fig. 12 Themezzanine mercury analysis of information well

4 结论

1) 平顶山盐矿总体构造形态简单,盐矿凹陷内部小断层发育,但断距小,数量少,不会对腔体的密封性产生影响,从构造形态来看凹陷内部区域利于建库。

2) 平顶山盐矿盐岩地层厚度大,且分布稳定。纵向上,14~20盐群厚度较大,含矿率较高,夹层数目少,为建库有利层位。

3) 平顶山地区核一段含盐层段夹层主要为石膏质泥岩、泥岩、含灰泥岩,夹层数量多,单层夹层厚度大,但夹层孔隙度低和渗透率低,连通性差,不利于气体的运移,密封性好。

4) 平顶山盐矿盖层厚度大,岩性致密,建库区内断层不发育,封闭性能良好,为建库区良好盖层。

参考文献(References)

[1] Barron T F. Regulatory, technical pressures prompt more US salt-cavern gas storage[J]. Petroleum Society of CIM, 1995(2): 169-171.
 [2] 井文君, 杨春和, 李银平, 等. 基于层次分析法的盐穴储气库选址评价方法研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(9): 2683-2690.
 Jin Wenjun, Yang Chunhe, Li Yinping. Research on site selection evaluation method of saltcavern gas storage with analytic hierarchy process [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(9): 2683-2690.

[3] 郑雅丽, 赵艳杰. 盐穴储气库国内外发展概况[J]. 油气储运, 2010, 29(9): 652-655.
 Zheng Yali, Zhao Yanjie. General situation of salt cavern gas storage worldwide[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2010, 29(9): 652-655.
 [4] 丁国生. 中国地下储气库的需求与挑战[J]. 天然气工业, 2011, 31(12): 90-93.
 Ding Guosheng. Demand and challenges for underground gas storages in China[J]. Natural Gas Industry. 2011, 31(12): 90-93.
 [5] 吴文, 侯正猛, 杨春和. 盐岩中能源(石油和天然气)地下储存库稳定性评价标准研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(14): 2497-2505.
 Wu Wen, Hou Zhengmeng, Yang Chunhe. Investigation on evaluating criteria of stabilities forenergy(petroleum and natural gas) storage caverns inrock salt[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(14): 2497-2505.
 [6] 完颜祺琪, 冉莉娜, 韩冰洁, 等. 盐穴地下储气库库址地质评价与建库区优选[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2015, 37(1): 57-64.
 Wanyan Qiqi, Ran Lina, Han Bingjie, et al. Study on site selection and valuation of underground gas storage in salt cavern[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2015, 37(1): 57-64.
 [7] 李建中. 利用岩盐层建设盐穴地下储气库[J]. 天然气工业, 2004, 24(9): 119-121.
 Li Jianzhong. Using salt beds to build underground gas storages with salt caves[J]. Natural Gas Industry. 2004, 24(9): 119-121.
 [8] 刘凯, 宋茜茜, 蒋海斌. 盐穴储气库建设的影响因素分析[J]. 中国井矿盐, 2013, 44(6): 24-26.
 Liu Kai, Song Qianqian, Jiang Haibin. Analysis in factors influencing the construction of Salt cavern gas storage[J]. China Well and Rock Salt, 2013, 44(6): 24-26.
 [9] Iain K, Cross K G. Gas storage canverns in East Yorkshire Zechste in Salt: Some geological and engineering aspects of site selection[C]. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Washington DC, October 4-7, 1992.
 [10] 袁光杰, 田中蓝, 袁进平. 盐穴储气库密封性能影响因素[J]. 天然气工业, 2008, 28(4): 1-3.
 Yuan Guangjie, Tian Zhonglan, Yuan Jingping. Salt cavern gas storage sealed performance influencing factors[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(4): 1-3.
 [11] Berest P, Brouard B, Durup G. Tightness tests in salt cavern wells[J]. Oil & Gas Science and Technology, 2001, 56(5): 451-469.
 [12] 丁国生, 冉莉娜, 董颖. 西气东输二线平顶山盐穴储气库建设可行性[J]. 油气储运, 2010, 29(4): 255-258.
 Ding Guosheng, Ran Lina, Dong Ying. Feasibility of pingdingshan salt cavern gas storage for the 2nd westeast gas pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2010, 29(4): 255-258.
 [13] 姚亚明, 赵红格, 杨斌谊, 等. 周口拗陷油气地质特征[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2004, 34(3): 331-336.
 Yao Yaming, Zhao Hongge, Yang Bingyi. Characteristics of petroleum geology of Zhoukou Depression[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2004, 34(3): 331-336.
 [14] 白桦, 杨明慧, 曾鹏, 等. 周口拗陷叶鲁断裂带构造特征及其演化[J]. 现代地质, 2010, 24(6): 1035-1041.
 BaiHua, Yang Minghui, Zeng Peng. Structural features and evolution of yelu fault belt in Zhoukou depression, southern north China[J]. Geoscience, 2010, 24(6): 1035-1041.
 [15] 解东宁. 南华北盆地古生代依赖构造沉积演化与天然气形成条件研

究[D]. 西安: 西北大学, 2007.
Xie Dongning. Tectono-sedimentary evolution since the late paleozoic and natural gas formation in the southern north- China basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2007.
[16] 孔敏, 石万忠, 宋志峰, 等. 舞阳凹陷盐岩沉积与构造的响应关系[J].

沉积学报, 2010, 28(2): 299-306.

Kong Min, Shi Wanzhong, Song Zhifeng, et al. The response relation between salt sediment and tectonic activity in wuyang depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(2): 299-306.

Geological condition evaluation for establishing gas storage in Pingdingshan salt cavern

CHEN Bo¹, SHEN Xueming^{1,2}, WANYAN Qiqi², SUN Chunliu²

1. Hubei Cooperative Innovation Center of Unconventional Oil and Gas, Wuhan 430100, China

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development-Langfang, Langfang 065007, China

Abstract In this paper, research is taken on the characteristics of fault, structure and salt layer distribution both on horizontal and vertical surfaces in Pingdingshan area, based on previous achievement such as three-dimensional seismic interpretation, drilling well and old well data. The sealing ability of the cap and the mezzanine is assessed by indoor experiment. Through the above comprehensive evaluation on geological condition, the underground gas storage construction is considered feasible. The study shows the followings. Firstly, the overall structure of the study field salt ore is simple with a small amount of faults and a large thickness of salt layer in the center of deposition. Secondly, the salt is thick and the lateral distribution is stable, where the average thickness of 14 to 20 salt groups is more than 200 meters. What's more, the salt ore content is high and the mezzanine number is little. Therefore, the object layer can be chosen to be there for database building. Thirdly, the sealing ability is also good enough to establish the gas storage, as the lithology of cap and mezzanine is mainly mudstone, with small microscopic pore throat in size, poor connectivity and permeability and bad transportation ability of gas.

Keywords salt rock; geological condition; structural features; center of deposition; underground gas storage

(责任编辑 刘志远)