

液体矿产资源估算中储卤介质孔隙 (给水) 度参数的计算分析

顾新鲁¹, 于咏梅², 李 明¹, 刘小星¹, 徐 明¹, 曾永刚¹, 韩芳芳¹
(1. 新疆地矿局第二水文工程地质大队, 新疆 昌吉 831100;
国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司, 新疆 哈密 839000)

摘 要:通过对盐类地层储卤介质孔隙度和给水度的室内测试和野外抽水试验、示踪法测试对比分析, 得出比较客观的分析数据, 提出推荐的计算参数, 为盐类矿产 (液体矿) 的资源估算评价提供基础依据。
关键词:储卤介质; 孔隙度; 给水度; 抽水试验
中图分类号: P641.464 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-858X (2009) 04-0032-05

随着新疆第四纪盐湖资源的勘探开发, 盐类矿产的经济价值正在凸显, 而盐类矿产的资源量评价小到可以决定企业的发展, 大到可以影响新疆乃至中国西部的战略决策^[1]。

影响盐类地区矿产 (液体矿) 资源评价的 5 个重要参数是面积、矿体厚度、品位、波美比重和孔隙度^[1-2]。前 4 个参数测试方法较成熟, 结果可靠, 准确性高, 而孔隙度的测试则受储卤介质的性质、测试温度及样品的封存、代表性等影响较大。为保证野外现场测试数据的真实性及准确性, 需从测试工作各环节进行质量监控, 并采用不同方法进行对比验证。以新疆罗布泊罗北凹地液体钾盐矿区为例^[1-2], 对其盐类地层中的孔隙度数据的测试原理及测试结果进行对比分析。

1 矿区简述

矿区位于新疆若羌县罗布泊北部, 距罗布泊镇约 28 km, 地理中心座标北纬 40°44′, 东经 90°57′ (见图 1)。第四系盐湖地层特点为盐类地层和碎屑层呈有规律的重复出现, 在本区主

要勘探深度 (90 m) 内主要的盐类地层中出现 4 层液体 (卤水) 矿, 从上至下依次为 W₁ 潜卤水矿体和 W₂—W₄ 承压卤水矿体^[1] (见图 2)。

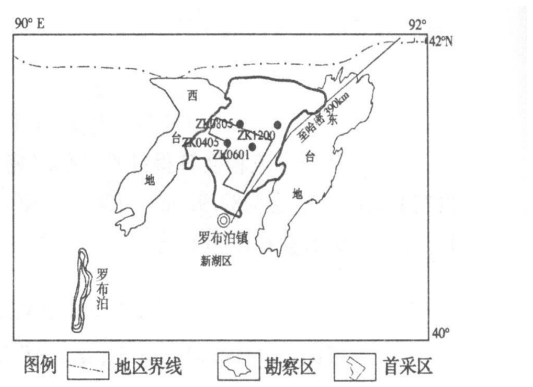


图 1 交通位置图
Fig 1 Traffic position map

2 储卤介质特征

矿床储卤层主要由钙芒硝层组成, 部分为石盐、石膏层等。富钾卤水主要赋存于盐类矿物的晶间、晶洞或溶蚀孔洞中, 属晶间卤水,

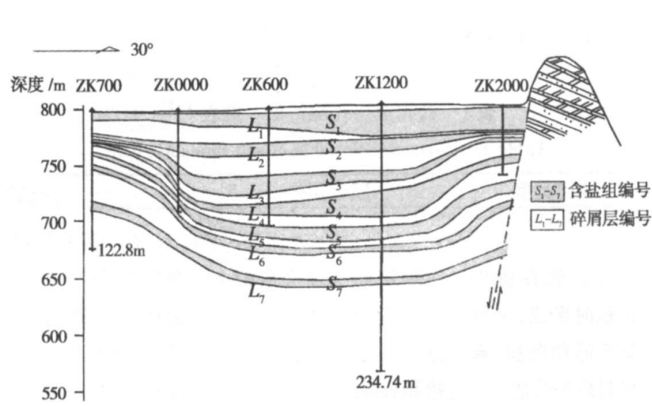


图 2 罗北凹地含盐系剖面示意图

Fig 2 Salt-bearing series profile of Luobei depression

少量赋存于粉砂、细砂等碎屑岩类孔隙中。盐类晶体晶内结合水由于结合作用较强,一般不构成可利用的工业卤水矿体。由于储卤层主要由结晶较好的盐类矿物组成,因此晶间孔隙相对发育,受地层压力影响,一般上部储卤层的孔隙度和给水度相对较大,向下逐渐减少。

根据孔隙的成因和地层发育情况,将矿区储卤层中的孔隙分为原生晶间孔隙、次生晶间孔隙两大类,其中次生晶间孔隙又由于卤水的溶蚀作用进一步细分为次生晶间孔隙、晶洞孔隙和溶洞或孔洞 3 种^[1-4],各类孔隙特征见表 1。

3 孔隙(给水)度测试方法

3.1 室内试验测试孔隙度

1)操作方法。把钻孔取出来的岩芯(样长 10~15 cm,直径 113~130 mm)样品及时用石蜡密封住,使其不与空气接触;把石蜡封好以后冷却的样品,放入盛满水的大烧杯中,计算溢出的水的体积 V_1 ;测试使用石蜡的体积 V_2 ;在样品上部中间留一拇指大小的眼,用注射器往里注入煤油,直到再也无法注入为止,得出共注入多少煤油的体积 ($V_{注入}$);在注完煤油(已标定)之后,把样品倒挂起来,使样品里面的液体充分控干,记录出总共流出液体的体积 ($V_{流出}$)。

2)计算方法。孔隙度等于注入的煤油的体积除以样品的体积,孔隙度 = $V_{注入} / (V_1 - V_2)$;

给水度等于样品倒置后流出水的体积除以样品的体积,给水度 = $V_{流出} / (V_1 - V_2)^{[1-2]}$ 。

3.2 抽水试验测试给水度

对潜水、承压含水层抽水,利用稳定流抽水、非稳定流观测的数据,标注在双对数坐标纸上,与泰斯标准曲线进行最佳拟合,求取水文地质参数(包括给水度参数)^[1-6]。

对于承压含水层,采用承压水泰斯公式:

$$S=QW(u)/4\pi T, u=r^2/4at$$

$$W(u)=\ln(2.25at/r^2)。$$

$T=KH$ 导水系数,单位 m^2/d ; $a=T/u$ 压力传导系数,单位 m^2/d ; u 给水度,无量纲。

潜水采用仿泰斯公式,表述较复杂,此处略,可参照地下水动力学或供水水文地质勘察规范^[6]。

3.3 化学示踪方法测定给水度

借助抽水试验所形成的稳定速度分布场,在观测孔中投放化学示踪源并监测,根据观测结果计算含水层的某一段或整个含水层给水度。

多孔示踪法观测均质单一含水层的前提条件有:流入抽水井的水流为稳定辐射流;下降漏斗范围内的渗流速度显著大于面上天然渗流深度;投源孔与抽水孔的距离大于含水层的厚度;

与抽出的水体积相比,抽水孔下降漏斗的容积 不大。

表 1 盐类地层孔隙特征一览表^[1-3]
Table 1 Characteristic table of salt formation hole

盐类地层孔隙类型	成因类型	赋存层位	孔隙特征
原生晶间孔隙	盐类矿物在析出沉积时形成,多数属于同期沉积,未经过后期改造。	一般发育于含盐系的上部层位,多在 14 m 以上,分布于松散的钙芒硝、石盐和石膏层中。	孔隙视晶间构形一般呈三角形、长条形等形状,孔隙 0.5~1.5 mm 左右,连通性相对较好,孔隙度一般 12%~25%,最大 38.45%,平均 19.87%;给水度一般 7%~15%,最大 18.51%,平均 9.66%。
			孔隙较大,孔隙度和给水度小于原生晶间孔隙,孔隙多呈三角形、多边形、圆形等,孔隙一般 0.5~2.5 mm,最大可达 5 mm×2 mm×2 mm,孔隙度一般 9%~20%,最大达 40%,平均 10%;给水度一般 5%~15%,最大 25.89%,平均 8.95%。此类孔隙常顺层或呈层状产出,连通性极好。
			孔隙呈圆形、椭圆形等,一般 1~3 mm,最大可见有 5.5 mm。孔隙度一般 15%~25%,最大 40.9%,平均 21.45%;给水度一般 10%~20%,平均 11.82%。
			此类孔隙是其自身发育和溶蚀作用所形成的较大的孔洞,在罗中盐田输卤渠断面可见明显的溶洞,极易形成采卤时的导水通道。
次生晶间孔隙	盐类矿物经后期改造形成。	主要见于钙芒硝层中,大致呈层状零星分布。	
次生晶间孔隙			
晶洞、孔洞			
溶洞、孔洞		主要见于钙芒硝层、石盐层中。	

当主孔以定流量抽水时,在汇水型辐射流场内的一个观测孔中瞬时投源,然后在另一个观测孔或抽水孔取样,检测示踪剂浓度随时间的变化关系,对均质各向同性的单一含水层层流状态,可用下列公式计算给水度(μ)^[2]:

$$\mu=\frac{Q_t}{\pi\left(\frac{Z_1-Z_2}{2}\right)^2}。$$

式中 Q 为钻孔涌水量; t 为示踪剂从投入孔流到检测孔的时间(示踪剂平均运移时间); Z_1 、 Z_2 为漏斗范围内距抽水孔 r_1 、 r_2 处的潜卤水(W_1)层厚度。

4 罗北凹地液体钾矿孔隙度测试结果及分析

各种方法测试结果详见表 2。试验室测试给水度: W_1 潜卤水加权值一般为 8.84%~9.79%, $W_2 \sim W_4$ 承压卤水加权值一般为 5.90%~8.14%。抽水试验求出的给水度: W_1 潜卤水一般为 14.1%~14.8%, $W_2 \sim W_4$ 承压卤水一般为 2.39%~6.15%。化学示踪法测试给水度结果^[2]: 1) ZK1200B 潜卤层抽水时,在观测孔 2 中投入化学示踪剂硫氰酸铵和亚硝酸钠,在观测孔 1 中检测示踪剂。根据示踪结

果确定出 20.5 h 将数据 $Q=138.96\text{ m}^3/\text{h}$ $t=20.5\text{ h}$ $Z_1=16.88\text{ m}$ $Z_2=18.62\text{ m}$ $r_1=5.25\text{ m}$ $r_2=20.65\text{ m}$ 带入给水度计算式,计算结果 $\mu=12.7\%$ 。2)人工放射性同位素测得 ZK1200B 孔 2.0~15.5 m 段潜卤水 (W_1) 的渗透速度为 2.078 m/d 采用化学示踪法测得潜卤水 (W_1) 由 ZK1200B 观 2 孔至 ZK1200B 观 1

孔的实际平均流速为 18.03 m/d 根据测得的渗透速度和实际平均流速算得潜卤层的给水度 $\mu=V_f/V=2.078/18.03=11.5\%$ 。由以上两种方法测得的给水度值较一致,故可以认为 ZK1200B 孔一带潜卤水 (W_1) 层的平均给水度为 12.1% [2]。

表 2 各测试验方法给水度成果表 [1-2]
Table 2 Water supplying degree results under different test method

孔号	层位	孔给度实验 (室内测试)				抽水试验		示踪法测试	
		试段样深度 / m	给水度 / %	测试段岩性	加权平 均值 %	试段深度 / m	给水度 / %	试段 深度 / m	给水 度 / %
ZK0405	W ₁	6.80~6.90	9.50	钙芒硝	8.84	2.0~19.40	14.14		
		10.10~10.20	10.00						
		15.80~15.90	7.56	粉砂质石膏					
	W ₂	36.80~36.90	12.40	粉砂质钙芒硝	10.14	34.50~38.65	6.15		
		38.15~38.20	5.00						
	W ₃	61.50~61.60	11.59	钙芒硝	11.59	60.46~62.81	2.39		
ZK0805	W ₁	5.50~5.20	7.37	石盐粉砂钙 芒硝	6.54	0~22.70	14.9		
		11.00~11.20	6.84	含石盐粉砂					
		19.80~20.00	6.02	钙芒硝					
	W ₂	36.00~36.24	7.70	含粘土钙芒硝	7.70	35.39~37.24	0.3		
	W ₃	52.50~52.70	8.14		8.14	52.00~63.24	0.5		
	W ₄	80.00~80.20	7.58		7.58	79.98~81.37	3.7		
ZK0601	W ₁	7.40~7.50	14.32	钙芒硝	9.79	2.0~23.40	14.84		
		14.40~14.50	12.48						
		21.20~21.30	3.18	松散含钙芒硝 粉细砂					
	W ₂	39.10~39.20	5.50	含粘土钙芒	5.50	38.65~41.15	18.82		
	W ₃	47.10~47.20	8.80	硝,部分地段	8.80	46.55~49.05	0.75		
	W ₄	89.60~89.70	5.90	较松散	5.90	87.85~90.35	8.63		
ZK1200B	W ₁	2.70~22.75		钙芒硝、石盐	9.89	1.58~26.72	17.02	2.0~ 15.5	12.1

从测试结果分析,对 W_1 层潜卤水而言,抽水试验计算数据一般比室内测试的结果大 1.5~1.8 倍,比示踪法测试数据结果大 1.1~1.4 倍。
可以认为, (1)示踪法测试与抽水试验方法原理相类似,对储卤介质更具有代表性(代表一段储卤介质的孔隙发育特征),较室内测试数据代表性强,建议在《盐湖和盐类矿产地

质勘查规范》 [5] 中引用此评价参数的方法。
(2)对 $W_2\sim W_4$ 层承压卤水则没有可比性,因为对下伏承压卤水利用抽水试验计算出的数据,反映的是地层的弹性释水系数,比潜水层的给水度小约 1 个数量级 (0.1 倍) [6],其参数只能用于计算弹性储存量,推荐其静储量仍采用室内测试数据。
(3)从测试数据 ZK0405 的 W_2 试段和 ZK0601 的 W_4 试段,室内测试与抽水试

验数据求取的参数可比性不强,主要是样品采集中的代表性问题,选取试段样品偏大或偏小^[5],对局部松散段样品而言结果偏差会更大。

5 结论及建议

从室内测试和抽水试验、示踪法测试数据对比分析得出:

- 1)矿产(液体)资源评价中采用储矿介质样长一般为 10~20 cm,但代表性长度无法与抽水试验代表的整个储矿卤水相比,推荐对潜卤水层的给水度采用抽水试验数据;
 - 2)对于承压水层中给水度参数的测试应包括室内试验的给水度和抽水试验计算的弹性释水系数。矿产(液体)资源评价中一直采用前者求取的给水度,实际上是保守资源量,应增加弹性释水系数估算的资源量;
 - 3)对于孔隙度参数,由于目前只能采取现场取样测试,因此其资源量估算中仍旧采用此试验室参数。
- 鉴于盐类地层孔隙度测试中影响因素较多,室内控制测试温度以 25℃为宜,避免卤水因粘滞系数变化产生的影响。选择样品需具有代表性,避免选取钻头已灼烧的或不完整的岩

芯。储卤介质主要为钙芒硝,化学分子式为 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$,沉积中常会被石膏交代而相互转化,而其中的硬石膏 CaSO_4 和石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 在一定温度也可相互转化,导致结晶水的变化^[5],从而影响测试结果。

采用稳定流抽水非稳定流观测时,对前期数据必须加密,因盐类地区潜卤水富水性相当大,降深小,前期观测时间段不超过 10 s 一次;配线方法^[6]可采用人工配线和计算机配线,但对于前期的异常点需作处理。

参考文献:

[1] 顾新鲁,等.新疆若羌县罗北凹地钾盐矿详查地质报告及附件[R].昌吉:新疆地矿局第二水文工程地质大队,2006.

[2] 王弭力,刘成林,焦鹏程,等.罗布泊盐湖钾盐资源[M].北京:地质出版社,2001.

[3] 刘成林,王弭力,焦鹏程,等.罗布泊第四纪卤水钾矿储层孔隙成因与储集机制研究[J].地质论评,2002,48(4):439—440

[4] 焦鹏程,刘成林,王弭力,等.罗布泊盐湖晶间卤水运动特征及其动力学分析[J].地球学报,2003,24(3):255—260.

[5] DZ/T0212—2002.盐湖和盐类矿产地质勘查规范[S].

[6] GB50027—2001.供水水文地质勘察规范[S].

Parameters Calculation and Analysis of Porosity and Water Supplying Degree of Brine Storage Medium in the Estimation of Liquid Mineral Resources

GU Xin-lu¹, YU Yongmei², LIMing¹, LIU Xiao-xing¹, XU Ming
ZENG Yong-gang¹, HAN Fang-fang¹

(1. The Second Hydrology Engineering Brigade of Xinjiang Geological and Mineral Resources Bureau, Changji 831100, China; 2. Guotou Xinjing Lop Nur Potassium Salt Co Ltd Hami 839000, China)

Abstract: Comparatively objective data are obtained by the comparison and analysis of field pumping test and tracer method on porosity and water supplying degree of brine storage medium. The paper puts forward recommended calculated parameters and provides the basis of the estimation of liquid mineral resources.

Key words: Brine storage medium; Porosity; Water supplying degree; Water pumping experiment