

Surfer 软件在卤水储量计算及 可视化中的应用简介

黄河远,薛传东,刘 琴

(昆明理工大学地球科学系,云南 昆明 650093)

摘要:作为一种宝贵的液态矿产,卤水的用途广泛。卤水具有流动性、不可再生性及贮存空间是孔隙介质而非整个地层空间的特殊性,其资源量应按液态卤水资源和固态矿物资源两部分计算。介绍了基于 Surfer 的网格法储量计算方法,卤水资源储量计算模型及其三维可视化模型的建立,为卤水资源储量计算提供了一种更为直观、快捷的方法。

关键词: 卤水资源; Surfer 软件; 储量计算; 网格法; 可视化

中图分类号: P624

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2013)01-0062-05

1 引言

卤水资源一直是我国经济发展所需的重要资源。地下卤水是指矿化度大于 50 g/L 的地下水,是一种富含矿物质与碘、溴等贵重工业元素的液体矿藏,并作为一种重要的盐化工业原料,广泛应用于氯碱制造(PVC、烧碱)、石油工业、制药、制盐等多个行业,具有很高的经济价值^[1]。地下水资源是一种流动性的、可循环的资源,因此主要从补给条件来评价其资源潜力;固体矿资源是静态的、不可再生的资源,因此主要从圈闭空间范围来评价其资源量。而卤水中的矿物资源是赋存于地下水中的一种矿产,其开采具有流动性,并在开采过程中无法及时得到补给,短期内不具有可再生性,且其贮存空间是含水层孔隙介质,并非整个地层空间。因此,对卤水资源评价的原则和方法,不同于地下水资源和固体矿产资源,既不能套用地下水资源评价的方法,也不能套用固体矿资源的方法,必须考虑卤水特殊的资源属性^[2]。

对深层地下卤水资源的评价研究多结合油

田水文地质学、古水文地质学等,且侧重于形成因素、埋藏条件、水化学景观、水动力特征等。对其资源量评价的研究有借用石油储量计算的体积法、利用浅层地下水资源评价的稳定流和非稳定流计算方法等。在深层卤水资源量的评价方面,周训用有限单元法对深层储卤层卤水进行模拟计算并作出预报,提供了相应的结果^[3]。鉴于单个钻井自喷阶段的开采动态数据综合反映了深层储卤层的特性,实际动态数据之间又存在着一定的统计规律,周训又提出利用单一自喷钻井生产深层卤水时,根据卤水累积产量与压力降之间的线性关系预测单个钻井的最大可采资源量的方法,这种方法适用于深埋封闭状态和原始地层压力很高的储卤层^[4]。杨立中针对国内外深层地下卤水资源量评价中的弊病,提出了深层地下卤水资源量评价的时间序列分析方法,基于储卤系统的输出信息—开采量,建立了 ARMA(n,m) 平稳随机模型,进而预测地下卤水资源量。以时间序列分析为基础的随机数学模型,不考虑水文地质条件的复杂因素,利用实际开采量动态直接进行资源量预测,可靠性较高,因此这种方法很

收稿日期: 2012-09-14; 修回日期: 2012-10-30

作者简介: 黄河远(1986-),男,硕士研究生,主要研究方向为地球化学。E-mail: 541866057@qq.com。

适合于深层地下卤水资源量的评价^[5]。

预测一个储卤层可开采的卤水资源量,需从卤水的基本特点出发,深层地下卤水主要赋存于如背斜核部、断层带等一定构造部位,相对处于一个封闭状态,天然条件下不易发生侧向运移。对进行过较多勘探和试验工作的储卤层,通过对其生产资料的分析概括,有可能利用浅层地下水资源评价中常用的评价方法进行相关的储量计算;但由于深层储卤层的测压水头很高,在实际计算中过大的水位降深致使计算水头和实测水头不拟合,而且计算所需的数据量大,计算过程复杂,不能及时反映资源量的变化,同时,目前国内还没有卤水矿物资源评价的专门规范,因此在卤水资源量计算方面,需要一种更简便、快捷、准确的评价方法。

本文将卤水资源分为液态卤水资源和固态矿物资源两部分,介绍了利用 Surfer 软件的网格法功能,实现卤水资源储量计算及其三维可视化,为其资源储量计算提供了一种更为直观、快捷的方法。

2 卤水储量计算方法

从卤水资源开采、加工的不同阶段看,其表现为两种资源属性,即在开采阶段是液体矿资源,以地下水的形式存在,但其矿化度必须达到一定的标准;加工阶段是固体矿或特殊溶液资源,以结晶盐矿、元素粉末或专门溶液形式存在,反映真实的可利用矿物资源。由于液体矿资源是以地下水的总量计算的,不能真实地反映由矿化度不同而导致的矿物资源差别。因此,进行矿物资源储量的评价是有必要的。

本文介绍的对卤水储量的评价分为液态卤水资源和固态矿物资源两个部分^[2],分别进行计算。

2.1 液态卤水资源储量计算

以液态卤水作为储量计算对象,卤水资源储量的计算公式可表示如下。

$$V_L = A_L \cdot D_{\text{sand}} \cdot \phi_{\text{sand}},$$

其中, V_L 为卤水资源储量, m^3 ; A_L 为分布面积, m^2 ; D_{sand} 为卤水矿床含水层砂层厚度, m ; ϕ_{sand} 为

卤水矿床含水层砂层孔隙度, %。

在卤水开采过程中,含水层由开采部位的卤水抽取到地表,而矿区周围的低矿化度地下水在降落漏斗的驱动下逐渐取代矿区边缘的卤水,这是一种主动驱替作用。被抽取的卤水主要来自强透水的砂层,粘性土层渗透性很小,对流作用微弱,并且已经在地质历史时期发生了压密释水作用,此时对卤水资源的贡献基本可以忽略。因此,该计算只考虑砂层中的地下水,不考虑粘性土层。

2.2 固态矿物资源储量计算

结晶盐矿资源储量可由下式表示。

$$M_X = A_L \cdot D_{\text{sand}} \cdot \phi_{\text{sand}} \cdot C_X / 1000,$$

其中, M_X 为结晶盐矿资源储量, t ; A_L 为分布面积, m^2 ; D_{sand} 为矿床含水层砂层厚度, m ; ϕ_{sand} 为矿床含水层砂层孔隙度, %; C_X 为卤水矿化度, g/L 。

对于大多数卤水矿床,含水层的砂层厚度、矿化度等都是随空间位置而变化的,而砂层厚度也不相同。为了考虑这种空间分布特征,使储量的计算更加准确,需要建立卤水矿床三维分布式结构模型,而建立矿床三维分布式结构模型必须依赖大量的钻孔数据资料和计算软件支持。

3 卤水矿床三维分布式结构建模方法

3.1 软件介绍

Surfer 软件是美国 Golden Software 软件公司的产品,广泛应用于测绘、矿业、土木工程、地学等领域。Surfer 软件强大的插值功能和绘制图件能力,已经使它成为用来处理三维数据首选的软件,能迅速将离散点的测量数据通过插值转换为连续的数据曲面,进一步绘制等值线图、矢量地图、线框图和表面图等。Surfer 软件具有趋势面分析、体积和面积计算、坡度分析、坡向分析、剖面曲率、平面曲率和水平曲率分析以及剖面计算等空间分析功能^[6]。

3.2 建模过程

在基本查清卤水矿床含水层的结构特征的基础上,根据绘制的砂层厚度分布图、矿化度分布图,采用 Surfer 软件可建立储量计算的三维模型。这种计算模型是把卤水含水层划分为大量细小的长方体,在每个长方体单元内按照上述储量分析的基本公式计算单元储量,然后求出总和。矿区边界以外的单元不参与计算。

Surfer 强大的插值功能能将离散的数据转换为连续的数据曲面,解决了勘测数据少,难以真实反映地质体属性的问题。当然,如果相应的数据量越多,绘制出来的曲面也就越精准。由于 Surfer 软件将离散数据网格化之后形成的等值线遍布于整个坐标构成的矩形内,而在实际工作中,评价区边界范围往往是不规则的封闭曲线,因此需要按照实际评价区边界线对等高线进行裁剪,即 Surfer 软件的“白化”过程。Surfer 软件“白化”过程需要的“.bin”格式边界线文件,将离散的含水层地板高标和边界线文件的数据网格化,然后选择相应的差值方法,应用 Surfer 软件中的 3D 功能生成基面图。白化的具体操作过程为:格网→数据→白化→插值法生成的格网文件→选择边界文件→输入白化后的文件名与保存目录→保存^[7]。

在资源储量计算时,首要的是确定含水层体积。Surfer 软件中体积计算方法通常是确定 2 个格网之间的实体体积。所谓的体积是指空间曲面与基准平面之间的空间体积,在绝大多数情况下,基准平面是一水平面,基准平面的高度不同,尤其是当高度升高时,空间曲面的高度可能会低于基准平面,此时出现负体积。在对地形数据的处理中,应按照“实体体积 = 正体积 - 负体积”^[8]确定。在勘查数据充足的情况下,可直接利用含水层厚度建立三维模型计算该体积,可避免出现负体积。

4 应用实例

下面以内蒙古乌拉特前旗新安镇南的潜藏地下盐卤水矿床为例,运用上述方法进行三维可视化模型展示和储量计算,数据来源于肖长

来等对该矿床的研究工作^[9]。

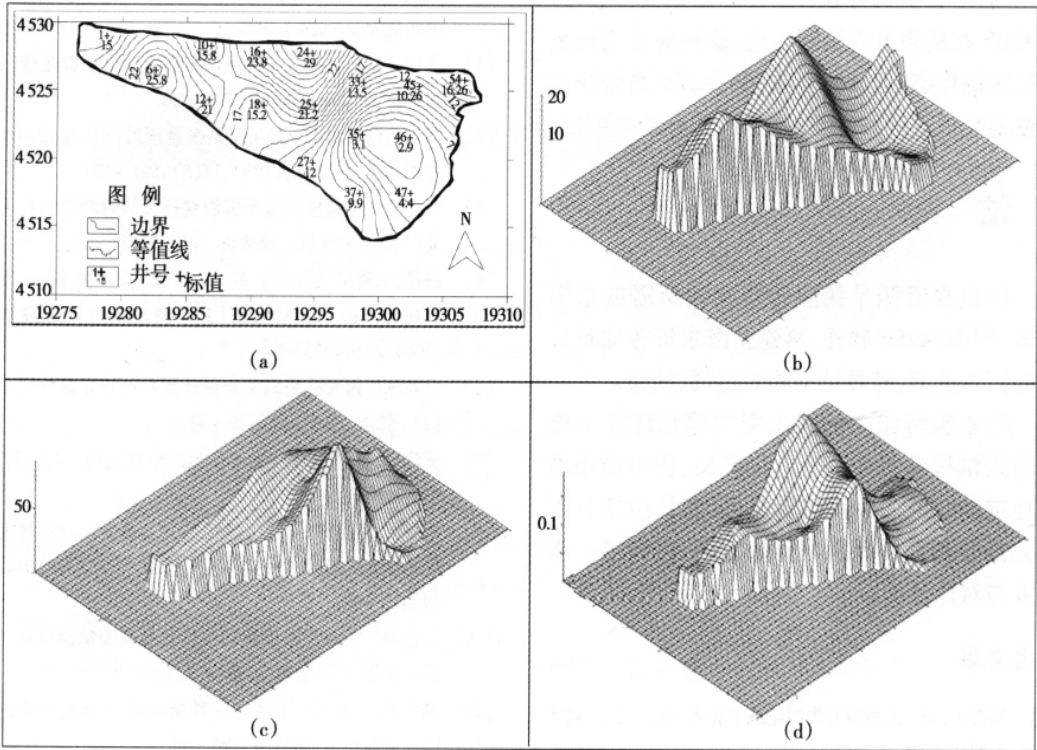
该盐卤水矿床位于河套盆地的东部黄河冲湖积平原。平均年降水量为 144.08 mm,多年平均年蒸发量为 2 268.10 mm,属温带大陆性干旱气候,在地质构造上位于华北地台(I 级构造单元)下属的鄂尔多斯台向斜(II 级构造单元)的河套新断陷(III 级构造单元)中的西山咀潜伏乌拉山隆起带(VI 级构造单元)。

地下卤水主要分布在第四系上更新统含水层中,岩性以中细砂岩、粉细砂岩为主,形成湖积含水系统,赋存有孔隙半承压水或孔隙潜水。由钻探结果分析,含水层的厚度由西向东,由北向南变薄;盐卤水含水层渗透系数 5~10 m/d,给水度为 0.14;地下水动态类型为入渗-蒸发型,降水入渗和灌溉水入渗是其主要补给源,蒸发和排水沟排水是研究区地下水的主要排泄途径。根据物探资料,深度愈深,视电阻率愈低,说明愈往深部矿化度或地层含盐量愈高^[9-10]。

浅层和深层卤水含水层的有效砂层厚度,可根据测井曲线电阻率特征进行确定,凡是电阻率大于 $5.0 \Omega \cdot m$ 的砂层不计入卤水砂层。将有效砂层厚度数据输入 Surfer 软件, Surfer 将数据转化为连续的数据面。Surfer 8.0 内自带 12 种插值法^[11],包括加权反距离插值法、克里格插值法、最小曲率法、最近邻点插值法、改进谢别德法、自然邻点插值法、多元回归法、径向基函数插值法、线性插值三角网法、移动平均插值法、局部多项式插值法和数据度量插值法等。根据不同的情况,可选择不同的插值法。本次采用克里格插值法,生成有效砂层厚度分布图,白化边缘后如图 1-a 所示。

应用 Surfer 中的 3D 功能生成研究区卤水矿床三维分布式结构模型的样式图(图 1-b),实际储量计算采用的单元水平尺寸是 404 m × 731 m。计算单元的尺寸能够满足储量评价的精度要求。

在进行结晶盐矿资源量评价时,利用矿化度分布特点,模拟研究区块卤水矿化度三维分布式结构模型(图 1-c),将其与液态卤水储量计算三维分布式结构进行整合,得出该区块结晶盐矿储量计算三维分布式结构模型(图 1-d)。



a - 有效砂层厚度/m; b - 液态卤水/m³; c - 卤水矿化度/(g/L); d - 结晶盐矿/t

图 1 盐卤水矿床储量计算的三维分布式结构模型

Fig. 1 The 3D distribute architecture of brine resources reserves calculation

利用 Surfer 对上述三维分布式结构模型进行计算,得到了研究区块卤水资源储量(表 1)。由于卤水粘滞性大,在求解时以给水度代替孔隙度进行计算,更能体现卤水储存量与供给能

力。砂层给水度取 0.14,范围数值是 0.12 ~ 0.16。计算结果表明,研究区卤水资源总量达到 4.79 亿 m³,根据矿化度得到结晶盐矿资源储量达到 0.18 亿 t(表 1)。

表 1 卤水矿床资源储量计算结果

Table 1 Brine deposits in reserves calculations

卤水矿区面积/ km ²	有效砂层均厚/ m	砂层总体积 /10 ⁸ m ³	液态卤水 矿储量 /10 ⁸ m	结晶盐矿资源	
				平均矿化度/ (g/L)	储量 /10 ⁸ t
215.1	15.9	34.2	4.79	37.1	0.18

刘金峰在评价该区的盐卤水资源量时,主要按储存于含水层中的盐卤水和开采过程中深层高矿化水的向上涌水量两部分计算,计算过程中将研究区按矿化度的大小分为 3 个区,即:

I 卤水区,矿化度 ≥ 50g/L; II 盐水区,50g/L ≥ 矿化度 ≥ 10g/L; III 咸水区,矿化度 ≤ 10g/L。采用 GMS 软件进行 3D 化模拟和储量计算,结果见表 2。

表 2 卤水矿床盐卤水储量 GMS 软件计算结果^[10]

Table 2 The Calculation results of salt brine reserves based on the the GMS software

卤水矿区面积/ km ²	砂层总体积/ 10 ⁸ m ³	液态卤水矿储量/ 10 ⁸ m ³	结晶盐矿资源	
			平均矿化度/ (g/L)	储量 /10 ⁸ t
240.98	35.54	4.98	35.78	0.185

对比可见,两种软件的计算结果较一致,虽然 GMS 在建模方面表现出色,能相对真实地反映矿床的形态,但操作复杂;而 Surfer 则能快速简便地完成建模和计算的任务,计算结果可信。

5 结 论

1) 卤水资源是我国经济发展所需的重要资源,利用 Surfer 软件,可建立卤水资源储量计算的三维模型,计算结果相对简便、快捷。

2) 本次所建立的卤水资源储量计算三维分布式结构模型是一个简化模型,仍不能很准确地描绘研究区卤水的资源量,建议应用有限单元法等其他资源量评价的方法,进行进一步计算与对比分析。

参考文献:

- [1] 韩有松,等. 北方沿海第四纪地下卤水[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [2] 夏强. 下辽河平原卤水特征及资源评价[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- [3] 周训. 试用有限单元法评价深层地下卤水资源量[J]. 地质论评, 1990, 36(4): 376-380.
- [4] 周训. 深层卤水单井可采资源量预测[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1992, 17(5): 581-584.
- [5] 杨立中. 深层地下卤水资源量评价的时间序列分析研究[J]. 水文地质工程地质, 1990(5): 11-14.
- [6] 杨俊, 李雪铭, 祝国瑞, 等. AutoCAD 文件向 Surfer 文件转化的一种方法及应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2004, 27(4): 23-24.
- [7] 罗亦泳. 露天矿采剥工程量计算与可视化新方法研究[J]. 黄金, 2008, 5(2): 30-33.
- [8] 王建, 白世彪, 陈晔. Surfer8 地理信息制图[M]. 北京: 中国地图出版社, 2004.
- [9] 肖长来, 刘金峰, 邱淑伟, 等. 内蒙古自治区乌拉特前旗浅层盐卤水成因分析[J]. 西安石油大学学报, 2012, 27(4): 13-18.
- [10] 刘金峰. 内蒙古自治区乌拉特前旗新安镇南浅藏层盐卤水评价[D]. 吉林: 吉林大学, 2009.
- [11] 刘树惠, 王献勇, 丁浩. 一种新的矿产储量计算方法[J]. 金属矿山, 2008(4): 96-98.

Application of Surfer Software to Brine Calculation and Visualization

HUANG He-yuan, XUE Chuan-dong, LIU Qin

(Department of Earth Science, Kunming University of Science and Technology,
Kunming, Yunnan 650093, China)

Abstract: Brine is a kind of rare liquid resources, which has been extensively used international economy. Brine is characterized by mining with mobility, no renewability, and storage space is the porosity of the aquifer media, not the entire strata space. During the resource reserves calculation, it should be divided into two parts, that is liquid brine resources and solid mineral resources. Gridding method, calculation model and three-dimensional visualization model based on Surfer software is provided for brine resources reserves calculation in this paper. It is a more intuitive and efficient method for the brine resource reserves calculation.

Key words: Brine resource; Surfer software; Reserves calculation; Gridding method; Visualization