河北省雄县地热信息系统的设计及实施

韩 征 孙 颖 刘久荣

（北京市水文地质工程地质大队 北京 100195）

摘 要：河北省雄县拥有丰富的中低温地热资源，主要用于采暖、温室、温泉疗养和康体娱乐，已经取得了良好的经济、社会和环境效益。其地热系统属于典型的以热传导为主的低温沉积盆地型，热储包含新近系砂岩孔隙热储和基岩岩溶裂隙热储。为了加强雄县地热资源的管理，同时便于地热工作者对本区域热储特性的实时了解和动态规划，我们建立了用于地热资源评价和管理的地热信息系统，该系统使用先进的ROAM视点相关地层动态生成算法，将各个地层按照同一参照系统置于三维场景中，并解决了拓扑关系、地层尖灭、断裂带模拟等难点，实现了三维热储分析、热储统计计算、地热水统计计算等空间分析功能；同时系统的二维部分还实现了数据读取转换、专题地图分析、空间属性双向查询、专题地图制作、投影变换、统计分析决策等空间属性查询分析功能，并对热储可视化问题进行了专项研究。

关键词：空间分析，可视化，热储，ROAM算法

1 绪 论

地热是一种清洁的绿色能源，在当前能源紧张、环境问题日益受到重视的情况下，加强地热资源评价和研究具有极其重要的意义[1]。我国地热工程管理技术的发展已经经历了三代技术，最新的地热管理技术使得地热利用率大幅度提高，地热利用工艺显著优化，设计理念现代化，设计方法先进化，尽管国内的这些管理方法已经十分成熟，但使用地理信息系统的技术手段来管理地热资源，在国内还是处于发展阶段。大部分的管理还是依靠传统方法或有赖于普通商业软件。

因此为了实现地热资源的科学开发、利用、管理、保护，需要建立一个用于地热监测和管理的地理信息系统，对热储的空间和属性数据进行有效的存储和管理，并对这些数据进行统计分析和空间分析。这将为今后的地热资源开发利用提供决策依据，使雄县地热资源管理模式产生飞跃性的发展，帮助管理者更有效地制定开发利用规划，提高管理者统筹全局的能力。

2 雄县地热地质条件概况

2.1 区域地质概况

雄县位于中朝准地台（Ⅰ级）华北盆地（Ⅱ级）内的冀中凹陷（Ⅲ级）的北部。区域内新生界随突起和凹陷的分布呈披盖式沉积，第四系松散层和新近系砂岩、砾岩和泥岩近乎水平，古近系砂岩、砾岩和泥岩倾角平缓。雄县行政区划大部分属于牛坨镇地热田，

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

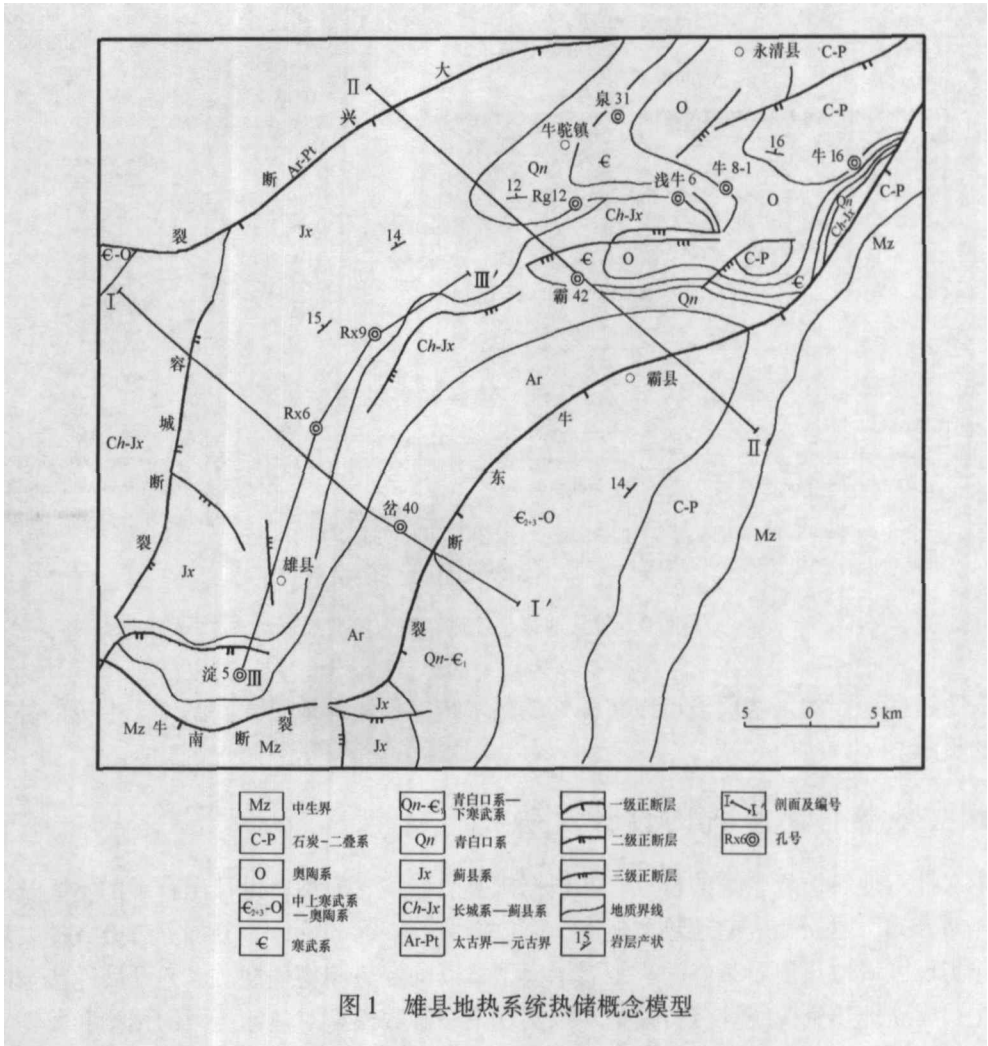

图1　雄县地热系统热储概念模型

在该地热田具有重要影响的断裂构造主要包括牛东断裂、大兴断裂、容城断裂、牛南断裂和雄县西断裂（图1）。

2.2　热储概念模型

概念模型为热储系统或部分系统中用于定量描述的模型，该模型将包含热储中绝大多数的物理性质并有能力匹配系统模拟器所关心的某些具有显著物理特征热储性质[2]。因此概念模型主要是基于热储的水文地质、地球物理、热储温度、压力及热流体化学成分的信息，目标是揭示热储内部的渗流模式、热源及渗透结构。

雄县地热田的概念模型如图2所示，具体描述如下：

第四系地层平均厚度为400 m且水热交替条件较差，组成下伏热储的良好盖层。根据热储的岩性及物理性质，我们可将整个热储分为3个彼此相连的子系统。首先由砂岩和泥岩组成的新近系可以被划分为第一个热储子系统，在雄县范围内其平均有效厚度为225 m；第二个热储子系统为下伏的蓟县系白云岩热储，其平均有效厚度为285～315 m；而位于雄县东南部属霸县凹陷范围内的新近系和古近系为第三个热储子系统，其平均有效厚度为2500 m。本地区的开采历史和动态监测数据表明，牛东断裂、容城断裂、大兴断裂和牛南断裂均可视为第一类边界（供水边界），上述四组断裂拥有相对较高的渗透率，且有

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

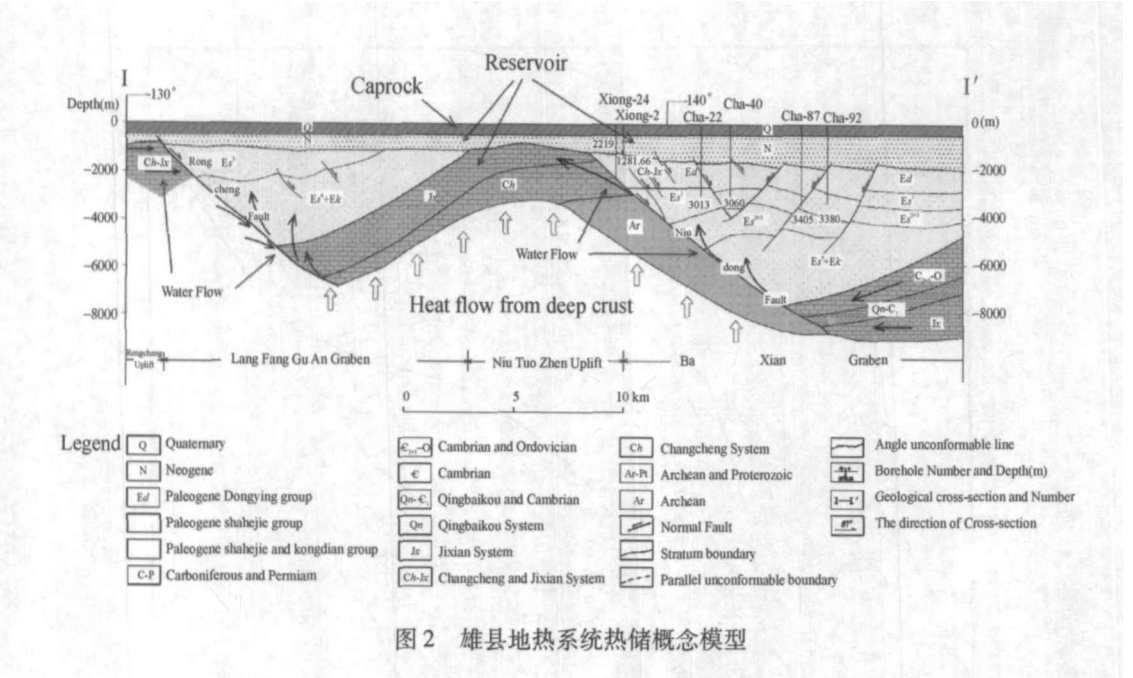

图2　雄县地热系统热储概念模型

证据表明这些断裂的某些层段可以将深处的热水传输到浅部地层，因此对于系统的补给有一定的贡献。

3　雄县地热信息系统的设计及研究

本文针对地热信息系统的特点，并根据雄县热储概念模型，设计出合理的空间及属性数据存储方式，建立相应的地热数据库，完成浏览、查询、统计、分析等二维数据处理功能；并实现区域地热地质条件的三维展示模型，以确定热储物理性质，并开展地热空间分析功能；建立地热资源统计分析模型，以实现集中参数模型对热储压力的预测和蒙特卡洛法对热能储量的评价；系统预留了数据输入输出接口，以支持各种格式的数据导入和导出；最后建立用户友好的人机界面，以方便用户使用。

3.1　系统框架结构设计

作者采用微软 .NET 作为软件的集成开发平台。.NET 平台提供了一个公共的框架，能够轻松的开发基于 Web 的应用程序和其他不同于传统应用程序的服务，比如基于 Windows 的应用程序。这个公共的框架就是 .NET Framework，它是多种语言的公共框架，例如，Visual Basic. NET，Visual C#. NET，Visual C + + . NET，这样便提供了更高层次上的互操作性，同时也极大地促进了组件的通用性。除此之外，它还提供了一套新的高级功能特征，例如垃圾收集，可以使我们创建高度安全的应用程序。

三维展示系统将利用微软基础类库（MFC），ContourOCX 函数库，OpenGL 函数库以及 GDAL/ OGR 函数库作为开发基础，微软基础类（Microsoft Foundation Classes）实际上是微软提供的用于在 C + + 环境下编写应用程序的一个框架和引擎，用以对系统框架进行辅助支持。ContourOCX 库函数封装了 TIN 生成以及克里金插值等常用曲线曲面的生成算法，能够将已知的离散点插值，然后进行曲面的构造。OpenGL 函数库封装了图像渲染处理相关的算法，可以将构造的 DEM 分层显示，然后通过缝合算法构造体模型。我们将采用基于 .NET 框架的 Visual C + + 语言作为系统的开发语言，这样既可以使用功能及可扩

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

展性强大的.NET运行环境，又可以对Windows应用程序和基于Web的应用程序给予很好的支持。GDAL/OGR（Geospatial Data Abstraction Library）是一个在X/MIT许可协议下的开源栅格空间数据转换库。它利用抽象数据模型来表达所支持的各种文件格式。它还有一系列命令行工具来进行数据转换和处理[3]。

系统中空间及属性查询分析功能将基于ESRI的ArcObjects组件库来进行开发，该组件库是一套庞大的COM组件集合，ArcGIS9.0的Desktop版本中的AO枚举对象为647个，结构对象35个，接口3073个，组件类2389个，一共是6144个对象[4]，完全可以满足一般系统的开发需要。数据库采用.NET平台原生支持的ACCESS数据库管理系统，以增加地热相关数据的查询与存储效率，同时便于将图像信息数据通过空间数据引擎导入数据库中，且该数据库支持所有的常用字段类型，具有稳健、灵活和高效的优点。

3.2 系统基本功能设计及实施功能

雄县地热地理信息系统将包括二维热储模拟分析子系统，三维地层展示及分析子系统。这两个子平台相互连接，又各自分工，实现不同的功能，以对雄县地热开发利用决策进行指导。

3.2.1 二维热储模拟分析子系统实现的图件分析功能

1）数据读取与转换功能。雄县地热原始数据以不同介质及不同格式存放，需要将其转换成统一格式或相关格式存入数据库。本系统通过使用VC对GDAL/OGR库的底层引用，现在可以对多种栅格与矢量数据进行读取、转换与保存。GDAL提供了一整套读写不同栅格数据格式的功能的抽象类库，而OGR则是一个读写诸多矢量数据格式功能的抽象类库[5]。

2）专题地图分析功能。对专题图进行拓扑分析、叠加分析、几何网络分析，以及提供不同着色方案。该功能的实现借助于对ArcObjects组件库的二次开发，其中专题图渲染着色使用了SimpleRenderer、ClassBreakRenderer、UniqueValueRenderer、ProportionalSymbolRenderer、ChartRenderer及DotDensityRenderer对象，实现地图不同的着色效果。对地图拓扑关系分析及几何网络分析功能的实现，使用了Geometry组件库中ITopologicalOperator接口实现，使系统可以对Point，MultiPoint、Polyline、Polygon等几何对象进行较为复杂的拓扑分析及对几何对象的几何网络进行空间分析。

3）空间与属性双向查询功能。显示空间对象的属性信息，或根据属性系统查找空间位置。实现该功能需要使用MapControl控件来对专题地图进行展示与编辑，并使用esriCarto组件库的IFeatureLayer对象、ILayerFields对象、IField对象、ILayer对象及接口来实现空间与属性的双向查询。

4）专题地图制作。绘制点元、线元、面元，生成专题地图，加入地图修饰单元。绘制点元功能使用Geometry组件库的Point对象、MultiPoint对象加以实现；绘制线元功能使用Geometry组件库的CircularArc、Line、EllipticArc、BezierCurve等对象实现；绘制面元功能同样使用该库的Polygon对象加以实现。并使用MapGrid、MapGridBorder、MapGridLabel、MapGridFactory、MapSurround、Legend、MarkerNorthArrows、ScaleBar等对象及从属的接口实现地图单元的修饰。

5）投影变换。设置地图的空间参考，设定投影坐标系统和地理坐标系统。地理坐标

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

系统是以经纬度为存储单位来确定地物在地球上的精确位置。

6）统计分析决策功能。使用 IFeatureLayer 对象、ILayerFields 对象、IField 对象、ILayer 对象、ITopologicalOperator 对象、IRalationalOperator 接口实现对相关属性及空间关系进行统计分析。

3.2.2 二维热储模拟分析子系统实现的地热井设计功能

系统制图方面应包括对地热井井身结构及柱状图等的快速绘制，钻探设备（钻头，钻具，钻杆）选择与优化，并为这些设计预备图库。这使得工作人员通过输入地热井的各类信息，能构轻松得出井身结构图和地层柱状图，本系统将对地热井结构的建立方式、地层柱状图的表达方法、图库的组织方式进行研究，以使得这些工作可以在计算机上完成，该功能将在二维热储模拟分析子系统中实现。

3.2.3 三维地层展示及分析子系统实现的空间分析功能

首先在 VS. NET 2005 平台下，使用 VC 与 OpenGL 搭建地层三维显示系统，该系统使用先进的 ROAM 地表形态动态生成算法将地表、第四系下界、古近系下界、蓟县系下界分别进行动态生成（如图 3 所示），然后将多个生成的 DEM 进行空间叠加并消除界面重合及地层尖灭等空间逻辑问题，然后将各个地层使用三角形进行动态缝合，最后同样使用 ROAM 算法对断裂带建构的上下盘 DEM 并加以渲染。

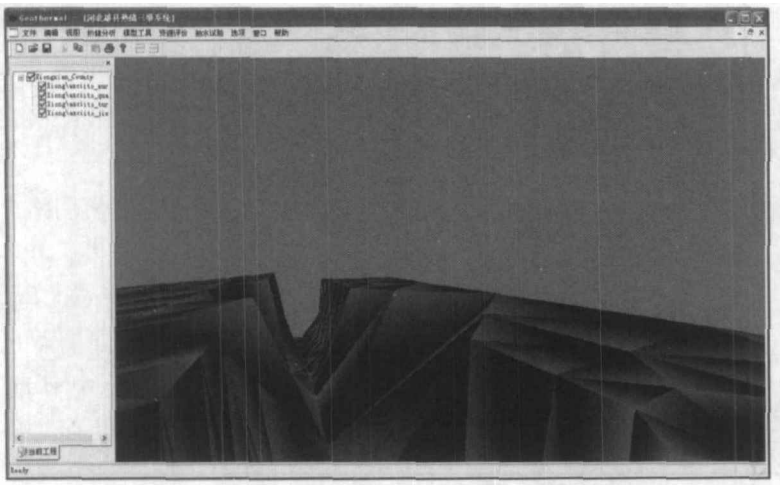

图 3 使用 ROAM 算法渲染的三维地层模型

三维地层展示及分析子系统实现了许多热储空间分析功能。其中包括对雄县地热田热储岩层结构进行的直观渲染，和针对特定区域进行二维截取所得的剖面，该剖面可以揭示含水层裂隙发育情况、热储类型、盖层岩性、盖层深度、盖层性质、热储埋深、热储层厚、热储岩性等物理特征；同时系统还可以对抽水试验数据进行模拟，对地温梯度进行计算，并可以对地热井回灌试验进行示意性模拟显示。这些功能的实现借助于 OPENGL 图形渲染函数库和 GDAL/OGR 栅格矢量数据函数库的支持。

3.2.4 三维地层展示及分析子系统实现的热储统计分析功能

本系统的数据库系统中存储了大量地热地质数据，如地层结构、热储埋深及厚度、盖层岩性、断裂带的空间分布、地温梯度、地热井数据、开采量数据等，以上数据均可以进

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

行分类统计，并使用相关分析方法、回归分析方法、聚类分析方法、非线性迭代最小二乘法、多元统计分析法等方法进行统计运算，为决策者提供有效的决策支持。本系统已根据雄县不同地域对数据进行分类汇总和推导模拟，并使用上述算法得出预测数据，并以图表方式加以显示。热储资源评价的集中参数模型是其中一个用于热储压力模拟预测的模块，该模型根据热储埋藏条件自动对其进行三维体块划分，然后根据内外热储的联通与贮存性质，对热储压力和开采潜力进行精确的预测与计算。系统还实现了抽水试验模拟模块，该模块将计算抽水试验中水量与降深的关系并生成 Q－S 图，从而对地热地质条件或回灌效果进行评价。模块中的热储体积法实现了对热储存量大致的估计计算，热储蒙特卡洛体积法实现了对非均质热储地层中所蕴藏的能量进行准确的计算，而计算结果均以概率直方图形式表示。

3.2.5 地热系统数据库设计

在 ACCESS 数据库中将设计 11 张相互关联的表格，分别是：地热井井身结构数据表、地热井设计数据表、地下水化学数据表、地下水水位变化数据表、地热井钻探数据表、行政区划数据表、区域地层信息数据表、断裂带数据表、热储盖层数据表、区域开采量数据表、地表标高数据表。这些数据表将对该系统的三维空间展示及二维统计分析进行数据支持，并使用 ACCESS 数据库管理系统进行实现。最后根据用户的需求可以生成数据报表，用来帮助政府企业访问、格式化数据，并把数据信息以可靠和安全的方式呈现给使用者。

4 总 结

为了加强雄县地热资源的管理，我们建立了用于热储资源评价和管理的地热信息系统，实现了地图浏览、查询、统计、分析等二维数据处理分析功能；并对区域地热地质条件建立了三维热储模型，实现地热地质的空间分析功能；建立了地热资源分析管理模型，实现常用的统计计算和相关分析功能；并预留栅格属性数据输入输出接口，以支持各种格式的数据导入导出，本系统同时实现了集中参数模型和热储蒙特卡洛法对雄县热储压力变化和热能储量进行了预测和评价，模拟预测的结果表明雄县地热田具有良好的热储条件和开发潜力。为了防止热储压力骤降及其引发的一系列环境地质问题，我们应该针对地热田的开发利用制定具有指导性开发计划，加强区域开采的统一管理，实时对开采井及回灌井进行长期动态监测，使之可以实现可持续发展。

参 考 文 献

[1] 刘久荣，王树芳．河北省雄县地热资源评价报告［R］．北京：北京市地质工程勘察院，2005：11～12

[2] Grant, M. A., Donaldson, I. G. and Bixley, P. F., 1982: Geothermal reservoir engineering. Academic Press, New York, 369 pp

[3] Open Source Geospatial Foundation., 2008: GDAL-Geospatial Data Abstraction Library. http://www.gdal.org/, 2008.10/2008.11

[4] 蒋波涛．ArcObjects 开发基础与技巧-基于 VisualBasic.NET［M］．武汉：武汉大学出版社，2006：14～15

[5] ESRI., 2004: ArcGIS Engine Developer Guide［R］［M］. Environmental Systems Research Institute, Inc, 176pp

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

The Design and Implementation of Geothermal Information System for Xiong County, Hebei Province

Han Zheng, Sun Ying, Liu Jiurong

(Beijing Hydrogeology and Engineering Geology Team, Beijing 100195)

Abstract: There is a rich low-temperature geothermal resource in Xiong County, Hebei Province. It is mainly used for space heating, greenhouse, spa and recreation. It has brought excellent economic, social and environmental benefits. The geothermal system belongs to typical low-temperature sedimental basin system, including the Tertiary sandstone reservoir and the dolomite reservoir of basement rock. In order to strengthen the management of the geothermal resources, at the same times, to facilitate the real-time understanding and dynamic programming for the staffs, the geothermal information system has been set up for geothermal resource assessment and management in Xiong County, and the system uses advanced ROAM Dynamic View-Dependent surface generation algorithm for placing various strata in the 3-dimensional scene in accordance with the same reference system. In this system some difficult problems have been resolved such as topological relations, stratigraphic pinch-out, fault zone simulation, and realizes the space analysis function such as profile building, reservoir analysis, reservoir statistical computation. At the same times, the system has realized the space-attribute search and analysis function for 2-dimension section, such as data conversion, thematic maps analysis, space-attribute bi-directional query, thematic map production, projection transformation, statistical analysis in decision-making and thematic maps publish function etc. and making the special research on the visualization of the reservoir.

Key words: space analysis, visualization, reservoir, ROAM algorithm

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net