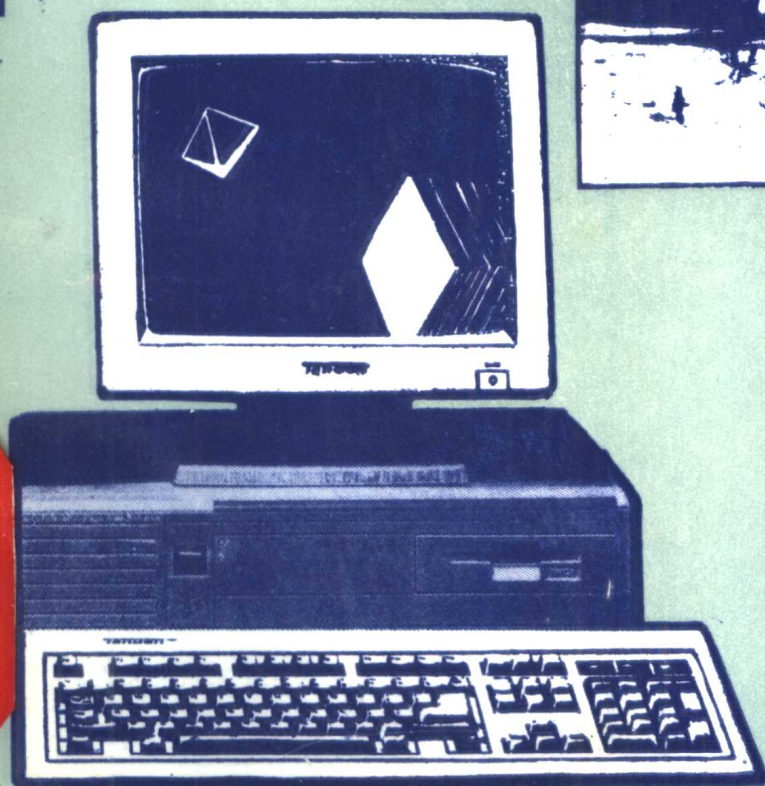
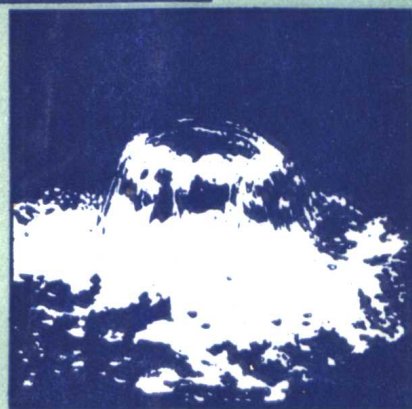



地热资源数据库系统

● 熊亮萍 林锦璇 编著



地震出版社



地热资源数据库系统

熊亮萍 编著
林锦璇

地震出版社

1993

(京) 新登字 095 号

内 容 提 要

本书是一本系统介绍“七五”攻关研究成果——《地热资源数据库系统》的专著。作者在阐述该数据库系统设计、构成、调试和运行的基础上，详细介绍了地温和岩石热物理参数、热水水文地质试验参数和地下热水点、地热区热流体化学组分三个子系统的功能。并指出该系统不仅能储存、修改和编辑进行热水资源评价所需的参数，而且还配备有计算热水水文地质参数、计算热水的地球化学温标、进行水质类型判别和地热流体中主要离子的相关分析，以及绘制等值线图、直方图和三角图的软件，并设计了各种类型的输出表格。由于该系统功能齐全、操作方便，因此，具有较大的推广价值。

本书为介绍实用性科技成果的专著，可供从事地热和水文地质工作和科研的人员参考。

地热资源数据库系统

熊亮萍 编著
林锦璇

责任编辑：马 兰

责任校对：李 珺

*

地质出版社出版

北京民族学院南路9号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 11 印张 278 千字

1993年11月第一版 1993年11月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-0969-4/P·598

(1362) 定价：8.50 元

前 言

数据库是对数据进行收集、贮存、加工和传播等一系列工作的总和。它是通用化的综合性的数据集合，可为各种不同要求的用户提供数据，具有最小的冗余度和较好的数据独立性，允许多用户开发利用，并提供完整性与安全性保护的软件系统。随着科学技术的发展和计算机应用于管理系统后，人们对数据的共享问题提出了迫切要求，从而出现了数据库管理系统。

地热资源数据库系统是地球科学信息的重要组成部分，美国和意大利率先成立。其中美国能源部的“地热资源区数据库”（GRAD）及附属的数据库系统，是由美国加州大学劳伦斯-伯克利（LBL）实验室建立的（1981）。该库储存有美国 31 个州总共 800 多个地热区（包括已证实的潜在的和推测的地热区）的数据，主要数据项目有地区名称及地址、区域环境描述、地热井参数、勘探调查资料、区域地热资源评价结论、应用状态，以及有关开发和利用的问题和限制条件。最近日本地质调查所的地热数据库也宣告建成，它包括地热地质、地球物理勘探（重、磁、电、地震）、地球化学勘探、地热井测量（温度和压力）等，可为地热区勘探和开发利用提供必不可少的区域地质和地球物理方面的资料。

从 70 年代开始，我国地热能的勘探和开发利用工作发展较快，地质矿产部所属各省、市的水文地质和工程地质大队在全国温泉调查的基础上，开展了地热普查工作，发现并勘探开发了一批有开采价值的地热田，其中有发电装机容量达 2.5 万千瓦的西藏羊八井高温热田，直接利用热水养鱼、温室栽培、地热采暖等，如北京、天津、河北雄县和沧州、福建省福州市和漳州市。另外还有一些有较大开发前景的高温水热区，如云南腾冲。这些热田和水热区在勘探和开发过程中积累了一大批实际资料，将这些资料进行科学地分析和整理，可为热田可采资源的评价和优化管理模型的建立提供科学的依据。另外原石油工业部和煤炭工业部在勘探和开发石油和煤炭的过程中也发现许多有开采价值的中低温热水资源，例如华北地区；原冶金工业部和原核工业部在勘探开采放射性矿床和金属矿床的过程中也发现一些中低温热水区，如江西的相山和湖南的郴州。因此建立“地热资源数据库系统”，对各类地热资料进行规范化管理，将有利于我国地热工作水平的提高和各部门之间信息的交流。

地热资源数据库系统为便于不同用户使用，设有地温和岩石热物性参数、热水水文地质试验参数和地下热水点、地热区热流体化学组分等 3 个子系统。各子系统都设有录入数据、编辑数据和输出数据的模块。各模块的运行均由菜单引导及屏幕提示，用户不必熟悉数据库结构和程序，就可进入各子系统查询、修改或列表输出所需的数据。

“地热资源数据库系统”包括数据库和软件包两大部分。在数据库内可储存 300 多项原始数据和集合数据；软件包有地热工作常用的绘图程序和多元分析程序。由于本系统能为广大水文地质和地热工作者提供一套完整的软件系统，最近被收入“中国实用科技成果大辞典”中。

本书系统地介绍了“地热资源数据库系统”的设计、结构和功能，并简单地介绍了系统使用方法。全书共分为六章：第一章地热资源数据库系统的设计，详细分析了进行不同类型热

水资源评价所需的参数，在此基础上建立了系统的概念模型；并选择关系数据模型作为该系统的逻辑模型。同时叙述了系统的库文件结构和数据处理功能；第二章至第四章分别介绍了3个子系统的结构和功能；第五章专门阐述系统的图形处理功能，其中包括绘制等值线图和测温钻孔基本图件的绘制；第六章简单介绍系统的安装、运行和操作方法。

该书第一章由熊亮萍、林锦璇、过帼颖、张菊明编写；第二章由熊亮萍、张菊明、刘素华、柴俊杰编写；第三章由林锦璇、任立全、纪真真、梁国玲编写；第四章由过帼颖、任重编写；第五章由张菊明、孙惠文编写；第六章由熊亮萍、林锦璇、孙惠文编写。

需要说明的是，“地热资源数据库系统”一书为“农村可再生能源技术开发”攻关项目的研究成果，在中国农业部环境保护能源司的领导下，由中国科学院地质研究所、中国地质矿产部水文地质和工程地质研究所和北京大学地质系共同完成。因为该系统是在 IBM-PC/XT 和长城 0520 微机上建立起来的，数据容量受到限制，还有待今后运行过程中逐渐地扩大和完善。希望广大的用户向我们提出宝贵的意见。

目 录

第一章 地热资源数据库系统的设计	(1)
第一节 数据的分析	(1)
(一) 地热资源类型和评价方法	(1)
(二) 热水水质评价	(5)
(三) 热储温度的推算	(5)
(四) 热田的成因分析	(6)
第二节 概念模型的建立和逻辑模型的选择	(7)
(一) 概念模型的建立	(7)
(二) 逻辑模型的选择	(8)
第三节 数据库系统的库文件结构及数据处理功能	(8)
(一) 地温和岩石热物理参数子系统	(8)
(二) 热水水文地质试验参数和地下热水点子系统	(9)
(三) 地热区热流体化学组分子系统	(10)
第四节 数据库的管理软件系统	(10)
(一) DBASEⅢ软件系统的简介	(10)
(二) 数据库系统的构成	(12)
(三) 数据库系统的调试、运行和安装	(14)
第二章 地温和岩石热物理参数子系统	(16)
第一节 数据分析和库文件结构	(16)
(一) 数据分析	(16)
(二) 数据库文件结构	(17)
(三) 数据库索引文件	(20)
第二节 子系统的结构	(20)
(一) 用户登记的模块	(20)
(二) 录入数据模块	(22)
(三) 编辑数据模块	(25)
(四) 数据表格输出模块	(27)
第三节 子系统的的功能	(34)
(一) 钻孔温度数据	(34)
(二) 岩石放射性元素和热物性数据	(38)
第三章 热水水文地质试验参数和地下热水点子系统	(42)
第一节 数据分析和库文件结构	(42)
(一) 数据分析	(42)
(二) 库文件结构	(43)

第二节	子系统的的功能处理功能.....	(48)
(一)	根据抽水试验资料计算水文地质参数.....	(48)
(二)	根据含水层的不同边界条件计算水文地质参数及其导数.....	(50)
(三)	放喷试验数据的处理.....	(58)
(四)	绘制长观孔水位动态曲线图.....	(58)
(五)	地下热水点统计及放热量的计算.....	(58)
第三节	子系统的的管理软件.....	(59)
(一)	用户资格审查与录入数据模块.....	(59)
(二)	编辑数据模块.....	(61)
(三)	查询数据模块.....	(61)
第四章	地热区热流体化学组分子系统.....	(67)
第一节	数据分析.....	(67)
(一)	宏量元素.....	(67)
(二)	微量元素.....	(68)
(三)	同位素组分.....	(68)
(四)	气体成分.....	(69)
(五)	蚀变矿物.....	(69)
第二节	子系统的的库文件结构.....	(70)
(一)	地热区基本数据库文件.....	(70)
(二)	阴离子库文件.....	(71)
(三)	阳离子库文件.....	(72)
(四)	气体成份库文件.....	(73)
(五)	同位素库文件.....	(73)
(六)	水热蚀变矿物库文件.....	(73)
(七)	中间数据库文件.....	(75)
第三节	子系统的的功能处理功能.....	(76)
(一)	水质类型的判别.....	(76)
(二)	水质类型的派珀图解.....	(76)
(三)	地热流体温度和离子的频率分布图.....	(77)
(四)	地热流体主要离子的相关分析.....	(77)
(五)	地球化学温标.....	(79)
第四节	子系统的的管理软件.....	(80)
(一)	数据录入和修改模块.....	(80)
(二)	数据检索模块.....	(81)
(三)	数据管理模块.....	(81)
(四)	数据显示和打印模块.....	(81)
第五章	地热资源数据库系统的图形处理软件.....	(85)
第一节	二维图形的绘制.....	(85)
(一)	二维离散点数据拟合曲面的建立.....	(85)

(二) 离散点数据的网格化.....	(86)
(三) 等值线程序的设计.....	(86)
第二节 曲面立体图形的绘制.....	(93)
(一) 确定观察角度, 建立空间投影.....	(93)
(二) 隐藏线的处理.....	(94)
(三) 利用二维网格点数组绘制曲面立体图.....	(96)
(四) 程序功能及框图.....	(97)
(五) 二维数据图形算例.....	(99)
第三节 测温钻孔基本图件的绘制.....	(100)
(一) 原理和方法.....	(100)
(二) 绘制图件的步骤.....	(115)
第六章 地热资源数据库系统操作指南.....	(120)
第一节 数据库的使用.....	(120)
(一) 系统的启动与退出.....	(120)
(二) 菜单操作方法.....	(120)
(三) 数据的录入、编辑和输出.....	(122)
第二节 数据处理方法.....	(124)
(一) GFCAP 数据处理软件的使用方法.....	(124)
(二) 水文地质参数的计算.....	(127)
(三) 测温钻孔基本图件的绘制.....	(128)
(四) 钻孔温度数据的处理.....	(130)
附录.....	(135)
参考文献.....	(166)

CONTENTS

Chapter 1	The design of geothermal resources database system	(1)
Section 1	Data analysis	(1)
Section 2	Creation of conceptual model and Selection of logical model	(7)
Section 3	Structure of data file of the database system and data processing function	(8)
Section 4	Database management software system	(10)
Chapter 2	Subsystem of geotemperature and thermo-physical properties of rocks	(16)
Section 1	Data analysis and structure of data file	(16)
Section 2	Structure of subsystem	(20)
Section 3	Function of data processing	(34)
Chapter 3	Subsystem of hydrogeological parameters and statistic of thermal water sites	(42)
Section 1	Data analysis and structure of data file	(42)
Section 2	Data processing function of subsystem	(48)
Section 3	Management software of subsystem	(59)
Chapter 4	Subsystem of thermal fluid chemistry in geothermal areas	(67)
Section 1	Data analysis	(67)
Section 2	Construction of data file of subsystem	(70)
Section 3	Data processing function of subsystem	(76)
Section 4	Management software of subsystem	(80)
Chapter 5	Graph function of database system of geothermal resources	(85)
Section 1	Plotting of 2-D graph	(85)
Section 2	Plotting of space graph of curved surface	(93)
Section 3	Plotting basic graphs of temperature measurement borehole	(100)
Chapter 6	Operation directory of geothermal resources database system	(120)
Section 1	Database use	(120)
Section 2	Data processing method	(124)
Appendix		(135)
Reference		(166)

第一章 地热资源数据库系统的设计

数据库的设计首先是根据用户对数据的需求和所储存数据的特点，建立概念模型，然后选择适合的逻辑模型，并把概念模型映射到逻辑模型。至于物理模型就采用通用的 DBASE III 关系数据库系统。

第一节 数据的分析

地热资源数据库系统主要储存地热资源评价所需的原始数据和集合数据。原始数据是经过一次或多次测量的数据，如温度、流量、SiO₂ 含量等；集合数据是根据原始数据计算出的数据，如地温梯度、生热率、渗透系数、地球化学温标等。

地热资源的评价包括热量的评价、水量的评价和水质的评价（图 1-1）。因此地热资源数据库系统必须储存地温和岩石热物理参数的数据、热水水文地质参数的数据、热水化学成分、热水同位素成分和气体成分的数据。为了在地热资源评价的基础上，进一步指出不同类型热水应用于工业、农业和医疗方面的价值，以及热水开采后可能引起的环境问题，数据库系统必须储存微量元素的数据；为了对热水资源的开采前景进行科学的预测，必须研究热水的补给来源和热水的成因，并估算热储的温度，因此数据库系统还储存水热蚀变矿物的数据。

地热资源量的计算往往与水热系统物理模型的建立有密切的关系，对热水成因或者热水分布规律持有不同观点的人，所计算的资源量是不相同的，有时可相差几倍，甚至几十倍，因此作为地热资源评价的数据库不储存这种受人因素为影响极大的数据，而只储存在进行热水资源评价时所需要的原始数据，以保证数据库系统的可靠性和科学性。

（一）地热资源类型和评价方法

1. 地热资源的类型

地热资源的类型常用麦凯尔维（Mckelvey）图来表示（图 1-2）。图中竖轴代表经济可行程度，水平轴代表地质上的保证程度，它描述了所有地热资源的类别，并说明了储量、资

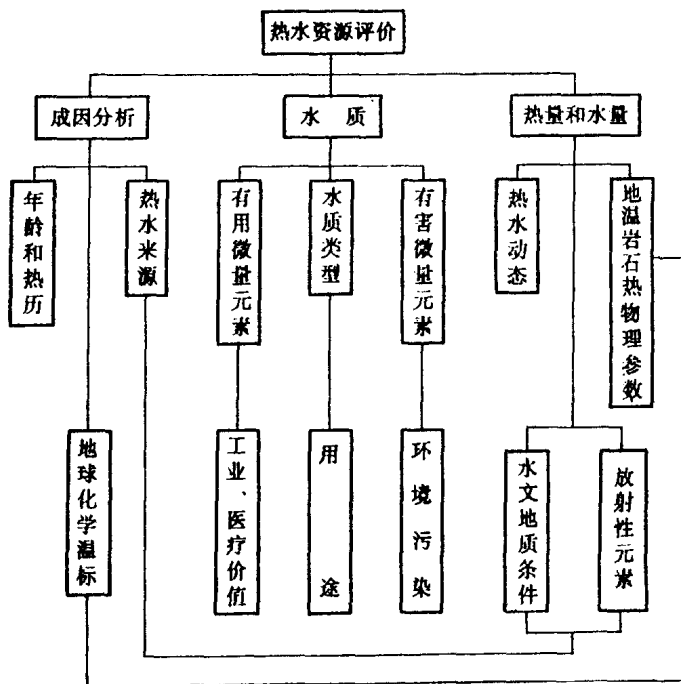


图 1-1 数据分析示意图

源和基础资源的重叠性。

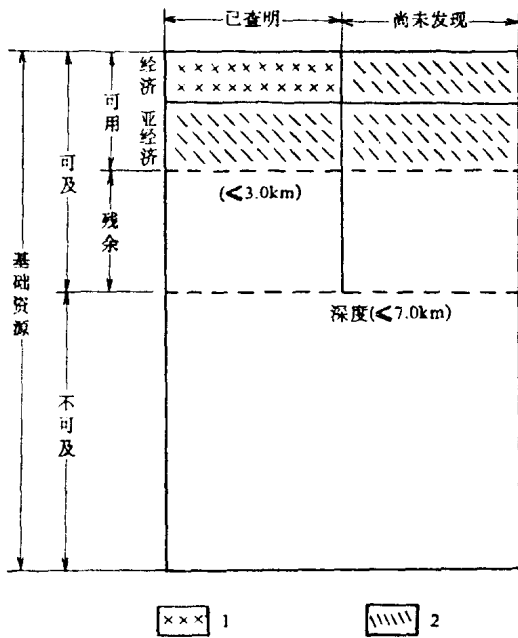


图 1-2 地热资源的麦凯尔维(Mckelvey)图解

1.储量; 2.资源

1) 基础资源 从当地年平均地表温度起算, 在某一指定地区下面地球中所含的全部热量。

2) 可及的基础资源 从当地年平均地表温度起算, 在某一指定地区下面, 地表和指定深度之间所储存的全部热量。现在最大的钻探深度约 7.0km。

3) 不可及的基础资源 从当地年平均地表温度起算, 在某一指定地区, 地壳中指定深度和地壳底部之间所储存的全部热量。

4) 残留的可及的基础资源 在未来的某一时间内不可能经济、合法地开采出来的那部分可及资源。

5) 有用的可及的基础资源 在未来的某一时间内 ($t < 100a$) 能被经济地、合法地开采出来的那部分可及资源, 图 1-2 中的斜线部分。

6) 已查明的资源 在现今或将来能够开采

的那部分资源。

7) 亚经济的地热资源 当今尚不能合法的、且价格不能和其他能源竞争的地热资源, 但可能在未来某一确定时期内经济、合法地开采的地热资源。

8) 经济的地热资源 在确定的时间内能合法、经济地开采, 且价格能和其他能源竞争的地热资源。

9) 已查明的经济的地热资源(储量) 通过钻探、地球化学、地球物理和地质工作所探明的经济的地热资源。图 1-2 中的网格部, 深度一般 $< 3.0km$ 。

10) 尚未探明的经济的地热资源 在已知的地热资源区, 或估计拥有地热资源的地区, 尚未探明的经济的地热资源。

地热资源的评价主要是可及的基础资源, 其中包括经济的和亚经济的可用基础资源的评价。对于尚未查明的地热区, 一般进行 D 级的资源评价; 对已查明的地热区, 根据勘探程度进行 C 至 A 级的资源评价; 对于已经开发利用的地热区, 除评价可及的基础资源外, 还要进行开采资源的评价, 为地面热储工程的设计提供依据。

2. 地热基础资源的评价方法

穆夫勒尔 (Muffler) 和卡泰尔迪 (Cataldi) 将地热资源的评价方法分为四种: 体积法、地表热流量法、平面裂隙法、岩浆热量框算法。

1) 体积法 计算某一指定地区的岩层和水中所含的全部热能量, 即地下热能的积存量, 它等于地热储的体积、平均温度、孔隙率和岩石与水比热的乘积。如果知道回采率时, 还可以根据积存量计算可采资源。

2) 地表热流量法 测量地表通过传导、冒汽地面、热泉、喷气孔和热流体直接向溪流排放等所导致的热能量损耗率, 然后再根据已开发热田的热能量损耗率和通过钻孔产出的热

能量产率之间的经验关系,推算指定热田的热能量产率。

3) 平面裂隙法 假设不透水岩体内的热能量依靠沿平面裂隙流动的水被汲取出来,已知裂隙的面积、裂隙的间距、岩体的初始温度和岩石的热导率、裂隙水最小的出流量等,就可直接计算可采收的热能量。

4) 岩浆热量框算法 计算仍然留存在年轻火成侵入体及其围岩中的热能量。该法必须已知侵入体大小、温度、侵位深度、侵入体年龄及冷却机制等。用这种方法所计算的年轻火山区的热能量并不等于地热资源。

上述四种地热基础资源评价方法中,以体积法最为适用,它所需要的参数原则上都可测量出来或者估算出来,因此数据库是以体积法为基础设计储存的数据项目。

体积法常用的计算公式为:

$$\begin{aligned} Q &= \rho_r AD(1-\varphi)C_r(\bar{T}-T_0) + \rho_w ADC_w(\bar{T}-T_0) \\ &= AD(\bar{T}-T_0)[\rho_r C_r(1-\varphi) + \rho_w C_w] \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中 Q ——热量(kJ/s);

C_r 、 ρ_r ——岩石的比热和密度(kcal/m³·°C、kg/m³);

C_w 、 ρ_w ——水的比热和密度(kcal/m³·°C、kg/m³);

φ ——岩层的孔隙度(或裂隙度)(%);

\bar{T} ——指定体积内岩石和水的平均温度(°C);

T_0 ——基准温度,一般采用当地年平均气温加10°C。

由于我国现有的地热资源埋深浅,且多为中低温热水,因此在地热资源评价中暂不考虑岩石和水的比热和密度,以及岩层的孔隙度(或裂隙度)随深度和温度的变化。

3. 地热资源和储量的评价方法

1) 地热资源(有用的可及的基础资源)的评价 众所周知,储存在岩石和水中的热量不能全部开采出来加以利用,其中可开采出来的一小部分称为可采资源,即有用的可及的基础资源。它等于可及的地热基础资源乘以回采系数,一般热储层体积大,回采系数低,热储层体积小,回采系数高,回采系数与热储的岩性、孔隙、裂隙发育程度有关。回采系数常采用经验数据(≈0.25)。

2) 储量(已查明的经济的地热资源)的评价

① 地下热水热能量的计算 包括储存热量 Q 和天然放热量 Q_n 两部分,其中储存热量可按公式 1-1 计算。

天然放热量 Q_n 是水和汽载热流体及热传导作用在单位时间内从地下深处带到地表的热量:

$$Q_n = Q_d + Q_s + Q_k + Q_p + Q_r \quad (1-2)$$

式中 Q_d ——热传导放热量;

Q_s ——温泉放热量;

Q_k ——喷气孔放热量;

Q_p ——冒汽地面放热量;

Q_r ——在河流中用断面法求出的放热量(应减去温泉流入量)。

上述所有项目的量纲均为 kJ/s。

② 地下热水水量的计算 包括热水储存量和补给量的计算。热水储存量 W_c 等于热储的体积乘以给水度:

$$W_c = AD\mu \quad (1-3)$$

式中 A ——热储层的分布面积 (km^2);

D ——无压热储层的有效厚度, 或承压热储层多年最低水位到含水层顶板的压差 (m);

μ ——无压热储层的给水度, 或承压热储层的弹性释水系数。

地下热水的补给量 W_c 包括垂直下渗的补给量 W_m 和侧向径流的补给量 W_h 两部分:

$$W_c = W_m + W_h \quad (1-4)$$

其中

$$W_m = W_a + W_g + W_q \quad (1-5)$$

式中 W_a ——大气降雨直接的人渗补给量 (m^3/d);

W_g ——地表水入渗补给量 (m^3/d);

W_q ——地下含水层补给量 (m^3/d)

$$W_h = \sum_{i=1}^n K_i M_i B_i I_i \quad (1-6)$$

式中 K_i ——第 i 含水层的渗透系数 (m/d);

B_i ——第 i 含水层的宽度 (m);

M_i ——第 i 含水层的厚度 (m);

I_i ——第 i 含水层的压力坡度。

③ 允许开采量的评价 储存在地壳中的热量只有通过热水(或汽)的开采才能取出来, 因此必须在计算地热水热量和水量、地热水补给量和储存量的基础上, 结合热田的开采技术条件、开采方案和开采年限等来评价热田的允许开采量。

允许开采量的评价是资源评价中的核心问题。它是指通过技术经济合理的建筑物(钻孔), 在整个开采期内水量和动水位不超过设计要求, 水温和水质的变化在允许范围内, 不产生地面沉降和地面塌陷, 不破坏生态平衡的前提下, 可以从热储中取出来的热水量。允许开采量有下列几种计算方法。

(i) 均衡法 地下热水资源包括补给量(天然补给量、人工补给量和开采补给量)、储存量(体积储存量和弹性储存量)、消耗量(天然消耗量和允许开采量)。一般消耗量应小于补给量, 否则造成地下水位不断下降, 区域漏斗不断扩大, 从而使水源地的水量减少, 造成地面沉降和塌陷, 引起海水入侵。因此允许开采量应满足下列均衡方程:

$$\mu\Delta h = \frac{Q_i - Q_o}{A} + W - V \quad (1-7)$$

式中 μ ——地下水水位变化范围内岩层的给水度;

Δh ——地下水水位变化幅度;

Q_o 、 Q_i ——均衡区地下水的出流量和流入量;

A ——均衡区面积;

W ——均衡区补给量和天然消耗量之和, 包括降雨入渗、地表水入渗、越流补给和蒸发等;

V ——储存量的变化。

式中的各均衡要素可以根据长期地下水动态观测资料来确定,例如利用降雨期间的观测资料推求降雨补给量,利用无降雨期间观测资料和开采量资料推算潜水蒸发量等。

(ii) 地下水非稳定流算法 在均衡法中没有考虑在开采条件下资源变化的情况,因而只是一种粗略的估算。目前常用的开采资源评价方法有两种。

a. 解析法 由于地下水非稳定流的计算非常复杂,为了求得在各种开采条件下的解析解,需要将计算条件进行简化,例如将群井视为沿直线均匀分布,用平均到单位长度上的开采量代替各个单井集中的开采量。而且对含水层的结构和计算区的边界条件也要大大地简化,因此解析解具有很大的近似性。

b. 数值法(有限单元法和有限差分法) 数值法是根据水文、水文地质、开采方式、补给等条件,以及计算精度要求将计算区域划分成有限个小区(有限个单元或有限个差分网格区),由于每个区域有其相应的计算参数,因而它是一个分布参数模型。

数学模型的建立和模型中包含参数的选定是水资源计算中的关键问题。为了保证计算精度,必须力求使选用的模型和参数符合热储的实际情况,并根据计算区的特点选定微分方程,确定区域的边界条件和初始条件,以及微分方程中所包含的水文地质参数在空间上的分布和时间上的变化过程。一般除根据局部地区的抽水试验求取参数外,还需要区域内长期动态资料,通过逆运算(反演法)求水文地质参数,其中包括含水层的给水度、渗透系数和导水系数、弹性释水系数、降雨下渗系数等。

(二) 热水水质评价

热水的化学成分和水质类型的划分是热水水质评价的重要内容。因为不同类型的热水具有不同的用途,例如热能水、工业原料水、医疗和饮用矿泉水、农业灌溉用水等,对于水质和各种微量元素的含量都有着不同的要求。而且在开采热水时,热储工程系统所出现的腐蚀、结垢,以及热田及其邻区所产生的环境污染等问题都与它们有着密切的关系。

1. 水质类型的划分

地热流体中已发现的化学元素有70种以上,有人将热水中的化学元素按含量多少划分成3组。第一组大(宏)量组分的元素主要有Na、Ca、Mg、K、Cl、 SO_4 、 HCO_3 ;第二组微量组分的元素有Br、Sr、B、F、Li、As、Rb;第三组超微量组分的元素有Cu、Au、Bi。地下热水的水质类型主要决定于第一组大量组分化学元素的含量。一般说来,灰岩地区大多为 HCO_3 -Ca-Na型热水;近海地区为Cl-Na型热水。而由大气降雨渗透到地壳深部,被围岩加热并溶滤而形成的微矿化 N_2 热水,水质类型以 HCO_3 -Na型为主,部分为 CO_3 - SO_4 -Na或 SO_4 - HCO_3 -Na型。

2. 微量元素的含量

热水中Br、Sr、B、F、Li、Rb、Cs、As等微量元素的含量决定热水的用途及其经济价值。例如F和Sr元素对于牙齿和骨骼的形成均有重要作用,而过量的F会引起斑牙甚至氟骨症。另外有些微量元素具有较高的经济价值,例如意大利拉德瑞罗热田很早就从热蒸汽中回收硼。

(三) 热储温度的推算

热储温度是评价热水资源的重要参数。众所周知,热流体的对流循环运动总是伴随各种矿物的溶解-沉淀反应,当某种反应物的平衡浓度和反应温度相关时,就可以根据这一浓度来反推反应场的温度,热储温度的推算方法就是建立在这一原理的基础上,称为地球

化学温标。至目前为止，现有的地球化学温标有 10 余种，然而大多数只有定性的意义，如硅华属于高温显示，而钙华属于低温显示等。其他具有定量意义且广泛使用的地球化学温标有 SiO_2 、Na-K-Ca、K-Mg 等。

(四) 热田的成因分析

热水资源的评价与热田的成因类型有着十分密切的关系。热水中的同位素成分是划分热田成因类型的重要依据之一。随着同位素分析技术的发展，根据热田区的地下水和地下热水中同位素的研究，不仅可以探讨地下水的起源、形成、埋藏和质与量的时空变化等理论问题，还可以判定地下水的补给来源、补给强度、补给位置高度，以及地下水年龄、流向和流速等。

1. 用热水同位素研究热流体的起源和成因

热流体按其成因和生成环境可分为大气成因溶滤水，海相成因沉积水、变质成因再生水和岩浆成因初生水等，这四种类型的热流体来源和生成环境的不同在氢、氧同位素的组成上也存在很大差异，不同成因热流体中有一定的变化范围，而且漂移值可以作为热流体迁移过程的指示物。

2. 用 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值分析热流体补给区的海拔高程

热流体中 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值与当地的海拔高程有关，这就是所谓高程效应，它相当于海拔高程每变化 100m 时 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化量。热水运移过程中 δD 值一般不会发生变化，因此在研究水热系统时，可以利用 δD 值作为天然示踪物，以了解地下热水的运动情况。

3. 用热水同位素成分研究物质来源

大地硫同位素的丰度并不保持恒定，其中 $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 比值的变化范围在 20.4—23.6 之间，变幅可以高达 15%，而陨石硫的 $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 的变幅只比同位素测量精度稍大一点，约为 1.5%。因此可利用硫同位素组成上的变异来探讨与硫化物伴生的物质来源问题。例如地幔物质能反映地球物质的原始状态，因此地幔硫和陨石硫具有相同或相近的同位素组成。当地热水中的硫同位素具有地幔流特征时，就可以推断该地热区存在岩浆热源。同样岩石圈中碳酸有多种成因，如岩浆成因、变质成因、化学成因和有机成因，不同成因的碳酸其轻、重范围不同，因此地热水中有机质沉积物分解后得到的碳同位素，可用于判别与碳酸盐有关的物质来源。

4. 用热水的放射性同位素测定热流体的年龄

^{14}C 、 ^3H 、 ^{36}Cl 放射性同位素可以计算热流体的年龄，例如 ^{14}C 的半衰期为 5760a， ^{36}Cl 的半衰期为 $4 \times 10^5\text{a}$ 。

5. 用热流体的气体成分研究物质来源

现代火山区热流体的活动十分强烈，且具有独特的水文地质条件。例如火山口逸出的气体有 CO_2 、 CO 、 SO_2 、 H_2 、 HCl 、 HF 、 CH_4 、 NH_3 、 Cl 、 N_2 、 Ar 和 He 等，且大部分为蒸汽，其中高温喷气孔(180—700℃)以 HCl 、 SO_2 、 CO_2 、 H_2 、 NH_3 、 B 、 CH_4 、 H_2S 和 N_2 为主；中温喷气孔 (<180℃) 以 H_2S 、 CO 、 CO_2 、 CH_4 、 N_2 、 SO_2 和 H_2 为主；而在低温状态下 (<100℃) 以 H_2S 、 CO 、 CH_4 和 N_2 为主。

6. 用水热蚀变矿物研究地热区的热历史和热流体的通道

水热蚀变矿物是围岩和热流体之间化学反应的结果，蚀变矿物可以指示围岩的蚀变程度，从而反映出热流体的原始温度，例如地表的硅华反映深部为高温流体，而钙华反映深部

为低温流体。另外蚀变矿物的分带性可作为研究热流体通道的依据。

第二节 概念模型的建立和逻辑模型的选择

(一) 概念模型的建立

数据库设计的第一步是在数据分析的基础上，把用户的要求集中为一个共同的“视图”，称为概念模型，它表示实体及其关系，并以组织的数据处理为基础。

在数据分析的基础上，确定“地热资源数据库系统”包括地温和岩石热物理参数、热水水文地质试验参数和地下热水点、地热区热流体化学组分等 3 个子系统和 21 个库文件（图 1-3）。3 个子系统共有 389 个字段、105 个命令文件、33 个应用程序（表 1-1）。

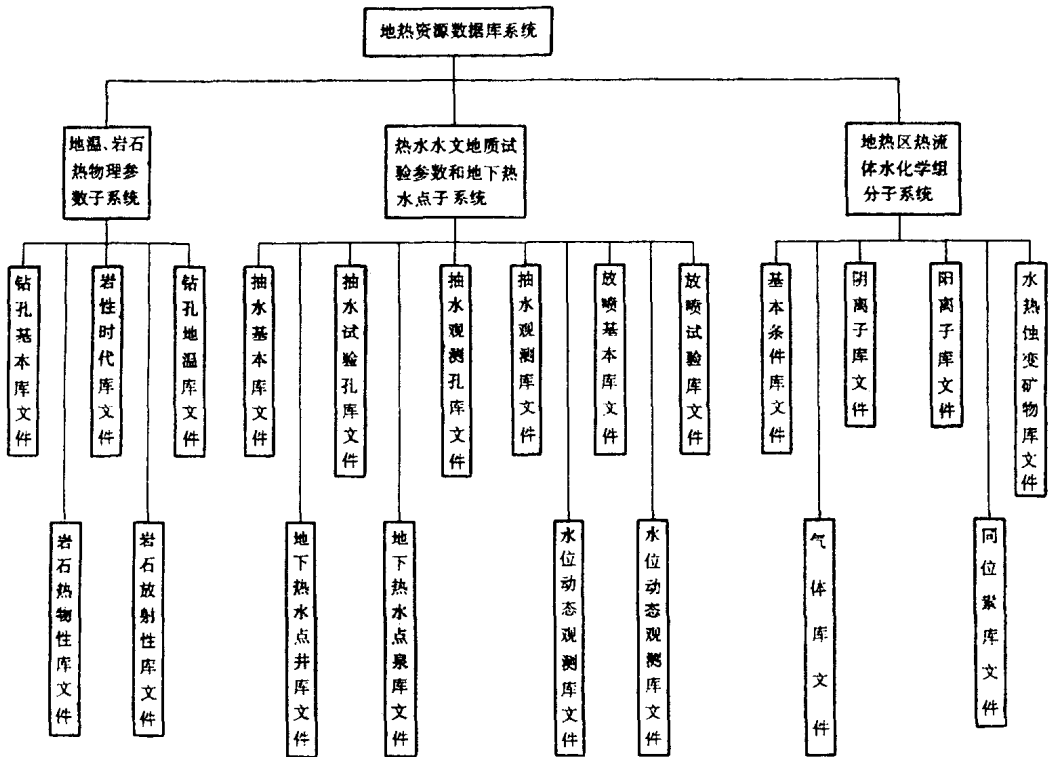


图 1-3 地热资源数据库系统概念模型

表 1-1 “示范性地热资源数据库”各类文件统计表

项 目	子系统名称	I	II	III	总计
库文件	(个 数)	25	30	7	62
	(内存量 kB)	111.149	228.185	53.836	393.17
命令文件	(个 数)	39	50	16	105
	(内存量 kB)	63.615	161.332	104.485	329.4
字 段		89	166	134	389
应用程序		2	26	5	33

根据我国地热工作的现状，各部门地热研究工作的重点有所侧重，因此3个子系统具有相对的独立性，有各自录入数据、编辑数据和数据管理的模块。从数据库的结构来看显然不够合理，但从方便用户来说显得更为灵活。

数据库中数据的存取有物理顺序法、索引顺序法、倒置法、直接法、散列法等，“地热资源数据库系统”采用索引随机存取法。这种存取方法可以随机地存储记录，用实际关键字的表目和地址，即称作“索引表目”或“菜单”。在这种存取方法中，每个数据库记录都在索引中有一个表目（菜单）。地热资源数据库系统采用多级菜单，用户可根据菜单的提示进入任意的库文件存取数据。

（二）逻辑模型的选择

数据库设计的第二阶段就是将概念模型映射到逻辑模型。逻辑模型是数据库管理系统（DBMS）的基本结构，常用的逻辑模型有关系数据模型、层次数据模型和网状数据模型，它们表示出组织的实体及其间的关系。三种数据模型的主要差别是信息的表示方式。在表示与用户有关的信息时，关系模型只用了数据记录的内容。而层次模型和网状模型要用到数据记录间的联系，以及它们在存储结构中的布局。根据地热资源数据库的特点，地热资源数据库系统的逻辑模型采用关系数据模型。

1. 关系数据模型的性质

关系数据模型常用二维表来表示数据，表中的列表示数据元，表中的行表示数据记录。在表中没有任何两行是相同的。当一列或列的集合值唯一标识表的行时，我们称为“关键字”，例如深度是地温和岩石热物理参数数据表的“关键字”。因此关系数据模型中，在任何一个关系内都有如下性质：

- 1) 不存在完全相同的行。
- 2) 行和列的顺序都可以颠倒。
- 3) 所有的值都是最基本的，即不能再把它们细分。

2. 关系数据模型的主要优缺点

1) 关系方法的主要优点之一是简单，便于用户掌握。用户无须关心物理存储结构，他们侧重于数据的信息内容，而不向用户反映属于面向系统方面的任何复杂事物。

2) 非过程请求。由于关系之间不存在位置依赖，用户的要求不必反映任何优先选择的结构，因此请求是非过程的。

3) 数据的独立性。用户不必了解表达细节而使用数据库的能力称为数据的独立性，这是任何数据库管理系统的主要目标之一。关系数据模型去掉了用户接口中的存储结构和存取方法的细节，比其他数据模型具有更好的数据独立性。

第三节 数据库系统的库文件结构及数据处理功能

本地热资源数据库系统共分为地温和岩石、热物理参数子系统、热水水文地质试验参数和地下热水点子系统、地热区热流体化学组分子系统。各子系统的库文件名及数据处理功能如下：

（一）地温和岩石热物理参数子系统

1. 库文件字段名