

# Summarization on Calculation and Assessment for Geothermal Resources

Donghuai Li<sup>1</sup>, Xuguang Yuan<sup>1</sup>, Jun Han<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CNNP (Tibet) Industrial Development Co., Ltd., Lhasa Tibet

<sup>2</sup>CNNC Key Laboratory of Uranium Resource Exploration and Evaluation, Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing

Email: 2901582@qq.com

Received: May 26<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jun. 12<sup>th</sup>, 2018; published: Jun. 19<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Based on comprehensive discussion on popularized method for geothermal resource evaluation, as well as taken the China geothermal criterion on geothermal resource exploration and assessment as reference, the authors introduced in detail to the condition, applicability and reliability for these mentioned methods. As a result, this paper can be considered as the comprehensive technique guidance for geothermal resource calculation and assessment.

## Keywords

Geothermal Resource, Calculation and Assessment, Condition, Applicability, Reliability

---

# 地热资源量评价计算方法评述

李冬怀<sup>1</sup>, 袁旭光<sup>1</sup>, 韩 军<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中核(西藏)实业发展有限公司, 西藏 拉萨

<sup>2</sup>核工业北京地质研究院, 中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室, 北京

Email: 2901582@qq.com

收稿日期: 2018年5月26日; 录用日期: 2018年6月12日; 发布日期: 2018年6月19日

---

## 摘 要

笔者通过对比国内外地热田资源量计算采用的不同方法, 参照我国地热勘查标准和地热资源评价标准, 对这些方法的条件、适用性、可靠程度等作了详细介绍, 可作为目前我国地热资源评价中采用资源量计算方法的较为全面的基础资料。

## 关键词

地热资源, 评价计算方法, 条件, 适用性, 可靠性

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

地热资源量及可开采地热资源量是地热资源评价、开发主要的技术参数之一。资源量及可开采量是确定地热开发模式、地热开发利用方式、主要应用领域、拟采用开发技术方法的基础。

地热资源量评价(计算)按不同的勘探阶段采用不同的方法, 参照地热勘查规范《地热资源地质勘查规范》(GB11615-2010)、现今国内外通用方法[1]可分为:

- 1) 勘探程度低的地区采用热储法、热流量法、类比法等方法;
- 2) 勘探程度高的地区可采用热储法、热流量法、开采动态法、数值模拟法等法。

地热田主要受热储类型、埋深及连通条件确定的, 热储类型是主要控制因素, 也是地热资源量评价的基础。根据热储埋藏条件和特征, 参照《地热资源地质勘查规范》(GB11615-2010), 将热储分为隆起山地对流型、沉积盆地传导型两大类。

隆起山地对流型地热资源又可细分为板缘火山型、板缘非火山型和板内深循环型三类地热资源, 沉积盆地传导型地热资源又可细分为断陷盆地型和拗陷盆地型两类地热资源。

根据地热资源梯级开发利用的温度, 热储类型可划分为:

- I 高温型: 热流体温度大于 150°C, 主要用于发电、烘干等工业利用和采暖。
- II 中温型: 热流体温度在 90°C~150°C, 主要用于烘干、发电和采暖等。
- III 低温型: 热流体温度小于 60°C, 主要用于采暖、医疗、洗浴、和温室种植。

除上述温度范围以外, 在广大平原地区, 由于热流体温度较低, 一般出水温度小于 40°C时, 还可利用于: 医疗、休闲洗浴、采暖、温室种植、农灌、养殖, 以及采用热泵技术的制冷供热。

## 2. 基本原理

地热资源开发利用潜力评价主要根据各地热田、热显示区的主要热储层段的开采热量、流体开采量、流体盈余量、盈余热量和热量开采程度的分布情况以及各开发利用方向耗热结构等, 确定地热资源开发利用潜力[2]。

依据地热资源分类, 可将热储类型划分为孔隙型、裂隙型两大类。地热资源量及可开采量计算方法主要有: 热储法、体积法、解析法、比拟法、统计分析法、数值模拟法等。

尽管不同勘探阶段和所掌握的资料不同, 地热资源量计算大多是建立在概念模型基础上, 根据地热条件和工作程度计算(评价)的。

### 2.1. 地热资源综合评价原则

根据流体温度、质量和数量, 依据综合利用的原则, 按可能的利用方向对地热能与地热流体的可开采量进行综合评价。基本原则为:

1) 在资料较少的情况下, 可根据天然补给量或天然排放量, 论证可开采量的保证程度, 并根据流体温度、质量和数量, 论证可能的综合利用方向。

2) 在资料较丰富或勘探程度较高的情况下, 可根据技术经济条件和综合利用方向, 对不同计算方案进行对比、论证, 确定合理的开采方案和利用方案, 并根据确定的开采方案和利用方案, 预测地热田的地温场、渗流场(具有流体质量长观数据的研究程度较高地区, 还应包括流体质量)的变化趋势, 论证可开采量的保证程度和地热资源开发利用方案。

3) 对计算依据的原始数据、地热田模型、计算方法、计算参数及计算结果的准确性、合理性、可靠性做出评价。

4) 地热流体质量和环境影响评价应以“地热资源地质勘查规范”(GB11615-2010)和“地热资源评价方法”(DZ 40-85)为基础, 根据实际情况做针对性评价计算。

## 2.2. 资源量计算方法要求

本文涉及的资源量评价范围为: 热储埋深在 4000 m 以内, 一般评价流体温度(井口、泉口)不低于 40°C, 或平均地温梯度不少于 3°C/100m (已勘探地区的热储盖层的平均地温梯度不少于 2°C/100m)的地区。

1) 应在建立地热地质模型的基础上, 选择相应的计算方法进行计算。完整的地热地质模型应能反映地热资源的热源、地热流体的补给、运移、相态变化以及混合过程。具有流体质量长观数据的研究程度较高地区, 完整的地热地质模型应能反映流体质量的分布规律和形成、演化机制。

2) 根据资料情况, 选择精度高的两种以上方法计算地热能及地热流体的允许开采量。具有流体质量长观数据的研究程度较高地区, 还应定量研究流体质量的分布规律和形成、演化机制。

3) 针对地热资源储量应采用热储法计算, 隆起山地对流型地热资源允许开采量采用热流量法计算, 沉积盆地传导型地热资源采用允许开采量法、开采动态法等计算。在采用解析模型法和比拟法等, 根据勘查和动态资料, 计算地热资源允许开采量。

## 2.3. 资源量计算主要参数

地热资源量计算需要的参数或条件主要有: 热储空间分布、边界条件、渗透特征、孔隙/裂隙度、地热流体流量、基础热力学、水力学、岩石学参数等。

具体来说主要有热储层孔隙度、裂隙率、热水流量、岩石/水密度热容比、热储体积、弹性释水系数、热储温度、恒温层温度、地热利用下限温度。为修正计算的地热资源量, 还需要了解流体采收率、发电效率、储层效率等修正系数。

## 3. 国内外地热资源量评价方法概述

地热资源量计算在上世纪初地热田开发初期就已经有, 早期是根据水文地质原理, 按照流量计算资源量。现阶段由于数字模拟技术的突飞猛进, 已经可以对生产热田做到精确的开采模拟。

### 3.1. 国外主要方法

美国系统开展地热资源评价始于上世纪 70 年代。采用的方法是[3] [4], 首先将地热资源分成四大类: 区域传导为主的环境; 地压地热系统; 与火成活动有关的系统; 温度  $\geq 90^{\circ}\text{C}$  的水热对流系统。随后对每一类型的评价都采用两步过程: 1) 计算地下所含有的热能量(称之为“热含量”), 2) 计算可以采收的热能量(称之为“资源”)。

对区域上传导型地热资源评价, 依据大地热流值推算地温梯度后计算 10 km 以浅的全部地下热能。以放射性衰变产热能作为该法的背景值或下限值。随后, Renner 等(1975)对水热系统热能采用体积法(热

储法)计算。

1978年, Nathenson、Brook等[3]等采用统计学方法计算热能。该法要求为每一个地热系统的每一个参量(温度、面积和厚度)估计出三个数值,他们是三角形概率密度的最小、最可能和最大估计值。然后这些三角形概率密度的平均值和标准偏差能够用解析方法相加,从而给出所有已查明水热系统的温度、体积以及能量的平均值和标准差,并给出总能量的综合概率分布。这也是蒙特卡罗法最早应用。

墨西哥蕴藏有丰富的地热资源,1978年, Muffler和 Iglesias [4] [5]等选用热储评价中的体积法。用这种方法首先计算包含于一个给定体积的岩石和水中的热量,然后再计算多少热量为可回收的。

为了量化参数的不确定性,前人[3] [4] [5] [6]在热量的计算中采用了统计方法。该法不确定性主要是由评价面积、厚度、温度和利用温度过程中出现的不确定性造成。除了利用温度外,其它值都是基于地质、地球物理、地球化学、钻孔测量及温标计的理论判断得到的。利用温度的不确定性是由一个地区长期的温度平均值引起的,由于地形或其它原因,都会导致其不同于当地的平均温度。

土耳其 Balçova 低温地热田主要采用体积法评价地热资源。2005年, Serkan Arkan和 Mahmut Parlaktuna [6]在评价过程中,利用蒙特卡罗模拟法对资源进行了评价研究。

意大利 Cataldi 等在1977年和1978年曾用体积法评价托斯卡纳中部和南部的地热资源。

肯尼亚 Olkaria 地热田采用热储法[7],结合各项利用率、回收率参数经验值评价理科地热发电量。

新西兰的 Donaldson和 Grant 等在1977~1978年运用一种完全不同的方法(类比法)估算了新西兰有可能的地热发电容量。该法是基于新西兰绝大多数已查明热田的温度都没有越出怀拉基和布罗德兰兹的温度范围(最高温度分别是260°C和300°C),所以待评价地热田单位面积发电容量也应该落在布罗德兰兹和怀拉基的容量范围(分别为10~11 MW/km<sup>2</sup>和13~14 MW/km<sup>2</sup>)之内。它们假设都有足够的渗透率,然后根据面积(主要依据电阻率测量)和地下温度(根基直接测量或地热温标计算)的估计值,估算了每个已查明但尚未开发的地热田的发电潜力。

### 3.2. 国内采用的方法

我国地热资源评价早期是引进国外的方法。1985年地矿部发布了《地热资源评价方法》(DZ40-85)部颁标准,正规勘探项目基本执行《DZ40-85》规定的方法,该法把热储法作为资源评价的基本方法,其缺点是对热田开发动态无法预测,按回收率计算可采资源,回收率的确定根据经验值或参比相似热田,在勘探程度较低的地区其准确性无法验证。因此随后开发了以压力场和温度场为源函数的二维和三维的有限元数值解法,取得了较好的结果。并能对回灌进行有效的预测。对高温热田参照新西兰的以热焓为原函数的三维有限元模型计算。

地热资源潜力评价就是以年平均温度为基准,估算出地下深部地热能的储存量,并预测近期可供开采并具有经济效益的热量。主要采用体积法和天然放热量法。

对隆起的基岩山区,采用放热量法进行了计算,该法一般仅作为资源量下限的参考值。

## 4. 主要方法

现阶段主要的资源量估算方法介绍如下。

### 4.1. 热储法(体积法)

这是目前应用最为广泛的一种方法。适用于地热资源储存量的评价。该法基于以下原理。大部分浅层热储可视为圈闭型热储,即热能补给充分、水补给少,基本为不可再生型地热资源。地热资源量就是地热流体存储量,也就是热储及流体范围内的静态储量的估算,不考虑侧向补给、越流补给,将热储层概化为平面上无限延伸的,垂向上为一个主要含水层,其上下均为隔水层的三层结构体系。根据热储面

积和热储有效厚度(评价基准面顶底面埋深、孔隙度、有效厚度孔隙度、的深度,确定热储几何形状、温度、孔隙度,将评价区分为若干个子区,分别计算每个子区热流体储量后分别计入权重后加和,得到评价区热流体总储量。一般计算公式如下:

$$Q = Cr\rho r(1-\varphi)V(T_1 - T_0) + Cw\rho wq(T_1 - T_0)$$

$$qw = \varphi V + mA(h - H)$$

式中:  $Q$ ——地热热储量(kJ);  $Cr$ 、 $Cw$ ——分别为热储岩石和流体的热导率(kJ/m<sup>3</sup>\*°C);  $\varphi$ ——热储岩石(层)孔隙度或裂隙率,无量纲;  $T_1$ 、 $T_0$ ——分别为热储温度和利用温度、尾水温度或恒温层温度(°C);  $qw$ ——地热流体弹性热储量(m<sup>3</sup>),包括弹性储量和静态储量;  $A$ ——热储面积(m<sup>2</sup>);  $V$ ——热储体积(m<sup>3</sup>);  $h$ ——平均承压水头高度;  $H$ ——平均热储顶板算起的水头高度(一般用开采后允许的最大降深代替);  $\mu$ ——含水层弹性释水系数,无量纲。

一般平原盆地型热储浅层水的开采系数  $X$  一般取 1%~2%之间; 深层水稍大于浅层水; 山地形开采系数一般取小于 25%值。

#### 4.2. 流量法

热流量法主要适用于隆起山地对流型地热资源的评价,通过对温泉或地热井的流量来对其放热量进行计算。一般表达式为:

$$Q = Cw\rho wq(T_1 - T_0)$$

式中  $q$  为出露的热水或地热井热流体总流量(m<sup>3</sup>)。其它参数与热储法相同。

此公式可以将泉井混合开采地区的温度和地热井一并计算。如果水位(或压力)、流量基本稳定,则此时的放热量就是隆起山地对流型地热资源的允许开采量。

#### 4.3. 统计分析法(开采动态法)

统计分析法(开采动态法)适用于经历了一定时间的开发利用并有完善动态监测的地区,对隆起山地对流型地热资源和沉积盆地传导型地热资源均适用。该法是成熟地热田评价地热水可开采量和可开采热量的主要方法。

该法利用相关分析、回归分析、时间序列分析等方法,采用统计模型,包括多元统计方法,根据压力(或压力降低)和开采量之间的相关分析,评价地热资源可开采用量。

该法基于开采量与水位降低值之间的统计模型计算的地热流体可开采量,用来预测地热田在定量开采条件下的水位变化趋势。统计方法中包括:相关分析法、回归分析法、时间序列分析法等。用于预测的模型应有较高的相关系数(>0.8),并且预测的时间不应超过实际监测资料的时段长度。

已经生产一定时间的热田一般根据实际监测建立地热井水位与地下水降深的关系函数:

$$Q = f(s)$$

式中:  $Q$ ——累积地热流体开采量(万 m<sup>3</sup>/a);  $s$ ——区域水位降深(m)。

区域水位降深为区域水位下降值与单井水位下降值之和。

例如[8],北京小汤山地热资源评价是根据小汤山热田多年水位动态资料和逐年开采量建立的一种关系,预测未来在一定水位降深条件的可开采量。依据不同深度增加的单位降深开采量与对应的地热水位累计降深做相关分析可得到相关方程,其方程式为:

$$Y = 1.473X^2 + 98.065X + 1340.7$$

式中  $Y$  为单位降深的开采量(万  $\text{m}^3/\text{a}$ );  $X$  为地热井使用以来的累计平均水位降深(m)。

#### 4.4. 解析法

基本原理是将热储层化为均质、各项同性、等厚、各初始压力相等的无限承压含水层, 采用非稳态流泰斯公式计算单井开采量、水位随开采时间的变化量, 计算出在给定压力允许降深下热流体的可开采量, 其计算精度不高。该法适用于资料较少, 但有抽水试验数据的地热田, 其计算公式如下:

$$Q_{\text{可}} = 4\pi TS_1 / \ln(6.11t) = 4\pi TS_1 / \ln(6.11Tt / mR_1^2)$$

$$Q_{\text{单}} = 2\pi TS_2 / \ln(0.473R^2 / r)$$

式中:  $Q_{\text{可}}$ ——可开采的地热流体量( $\text{m}^3/\text{d}$ );  $Q_{\text{单}}$ ——单井地热流体可开采量( $\text{m}^3/\text{d}$ );  $S_1$ ——计算区水位降深(m);  $S_2$ ——附加单井水位降深(m);  $R_1$ ——开采区半径(m);  $R_2$ ——单井控制半径(m);  $\mu$ ——热储含水层弹性释水系数, 无量纲;  $T$ ——开采时间(d);  $t$ ——导水系数( $\text{m}^2/\text{d}$ );  $r$ ——抽水半径(m)。

根据上述两种解析模型就可以计算出单井或热储层给定压力允许降值下的流体允许开采量, 进而采用以下公式可换算成允许开采热量。

#### 4.5. 数值模拟法

本法首先建立热储三维模型, 该模型应反应热储空间位置、几何尺寸、地热流体补迳排通道和条件、水动力特征等主要参数。数值模拟求解方法包括: 有限差分法、有限单元法、边界元法等。

需要掌握的其它参数有: 热田温度场特征、热储渗透率、孔隙度、储存系数, 以及已开采井的各项监测参数。

经过校正的模型可预测地热田对未来一定开采量条件下的压力变化趋势, 从而可以计算出热流体流量变化, 达到预测未来开采量的目的。本法理论基础是在达西定律和质量守恒定律基础上, 得到地下水运动的基本微分方程:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \omega = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

式中,  $K_{xx}$ 、 $K_{yy}$ 、 $K_{zz}$  分别是  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的渗透系数( $\text{m/s}$ );  $h$ ——水头, 为源汇项, 表示单位时间从单位体积含水层流入或流出的水量( $\text{m}^3/\text{s}$ ), 正值为流入(源), 负值为流出(汇);  $S_s$ ——储水率, 指含水层水头降低(或升高)一个单位时, 由于含水层垂向压缩和地下水弹性膨胀而从单位体积含水层释放(或储存)的水体积数。

例如[9], 某浅层热储含水层数值模拟。开采井群连接后向外扩张 1 km 作为研究区, 垂向上含水层为浅部某组地层, 将该组地层概化为热储含水层, 本次暂不考虑上覆和下伏各热储层对研究区的影响。因此, 模型顶部和底部边界为零流量边界。

研究区不是一个封闭的水文地质单元, 边界范围需设定, 因开采多年, 整个边界可视为补给边界。计算区水文地质概念模型为: 由均质各向同性的承压水孔隙含水层组成的具有二类边界的二维地下水渗流模型, 边界条件公式如下:

$$T \frac{\partial H(x, y, t)}{\partial n} = Q(x, y, t) \quad (X, Y) \in \Sigma, t > 0$$

式中,  $T$ —导水系数( $\text{m/s}$ )。

研究区平面上有效网格单元为 4592 个, 单个单元面积  $0.1 \times 0.1 \text{ km}$ , 垂向上为 1 层, 模型建立后:

初始水位渗透系数、储水率、地热井开采量、边界条件等初始值带入模型,计算出各井孔在各时段水位,与实测水位比较,反复调整渗透系数、储水率、边界条件等参数,当计算值和实际值误差小于5%时,即认为参数符合真实地热条件。

模拟期间的实测数据越完善、时间段越长,模拟越可靠。

#### 4.6. 统计分析法

美国1975年和1978年的地热资源评价在方法上有所不同,由体积法(即我国所称热储量法)进步为蒙特卡洛法。进步之处在于其根据各参数的不同权重来得到一个平均值,将评价的精度提高。其是增加了统计学的方法,以便能够用具有标准偏差的平均值来表示提价法中的三个重要参数温度、体积和热能量,这个由Nathenson在1978年详加研究的方法要求为每一个系统的每一个参量(热储温度、面积、厚度)估计出三个数值,他们是三角形概率密度的最小、最可能和最大的估计值。它最接近于该变量真实概率密度所考虑的估计值。然后这些三角形概率密度的平均值和标准偏差能够用解析方法相加,从而给出所有已查明水热对流系统的温度、体积以及能量的平均值和标准差。蒙特卡罗法能够用来求出总能量的结合概率分布。

#### 4.7. 回灌条件下可开采量计算

目前还不成熟,没有统一的方法,此处介绍2种较为普遍采用的方法:

##### 1) 考虑回灌量的计算方法

该条件下可开采量为无回灌下开采量与折算后回灌量之和,即

$$Q_{可} = Q_{无} + XQ_{回}$$

X为折算系数,一般取0.5~0.8,单井时取小值,区域评价时可取大值。

##### 2) 考虑温度影响的计算方法

在一定开采年限时(一般50年),由于低温地热水回灌使热储层温度下降1℃时的会灌水量,此时回灌水上限计算公式为:

$$Q_{回} = AdDt(C_{rr}(1-f) + C_{wrw}) / C_{wrw}(t_r - t_0)$$

式中:  $Q_{回}$ 为1年回灌量( $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ); A——计算区面积( $\text{km}^2$ ); d——热储层厚度(m);  $\Delta t$ ——热储温差,取1℃;  $C_r$ ——岩石比热容( $\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$ );  $C_w$ ——水比热容( $\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$ );  $\rho_r$ ——岩石的密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $\rho_w$ ——水的密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $t_r$ ——热储温度( $^\circ\text{C}$ );  $t_0$ ——回灌水温度( $^\circ\text{C}$ )。

#### 4.8. 计算方法适用条件

以下对不同方法进行对比,分析其适用范围和条件。

##### 4.8.1. 基础条件

1) 热储面积和厚度的确定:结合钻孔资料、简易水文观测、地球物理测井以及水热蚀变等资料确定,在资料缺乏时,可根据地面测绘、物化探资料分析推定。

2) 热储温度的确定:根据钻孔实测温度或地球化学温标确定。地球化学温标适用于温泉地区。

3) 岩石密度、比热、热导率和孔隙度等物性参数:一般应采取实验室测定或野外实测确定值。

4) 地热流体计算参数的确定:一般应根据以往的勘探资料确定。当具有较长系列的动态监测资料时,应通过动态资料反求有关计算参数。具有流体质量长观数据的研究程度较高地区,还应获取分析流体质量分布和形成、演化机制的相关参数。

#### 4.8.2. 不同方法适用条件

1) 热储法——实际是对“静储量”的估算,不考虑补给,是勘查程度较低、热储条件仅有大致数据、无探井情况下的热田。

可采系数受热储层岩性、厚度、孔隙度等控制,对区域性评价具有简单易得,较为准确的特点。

2) 解析法——适用于地下水无限边界局部开采条件,考虑了地下水侧向补给因素,未考虑水力梯度对测向补给的影响。

该法适合勘探程度较低、有少量地热井、有产能试验数据的热田。计算结果受面积、热储类型、埋深、压力、岩性等条件控制,该法更适用于周边无开采井的集中开采区的地热资源评价。

3) 统计分析法——是一种以开采量与水位监测实测数据为基础的评价方法。该法对资料准确性和有效性要求较高,适用于勘探程度较高、已开发利用、具有多年动态监测资料的热田。

计算初期要求资料的合理性、水位监测数值的多年有效性、准确性、开采量是否符合实际等问题。此外,选择不同的回归方程会得到不同的结果。该法适用于开采时间较长,监测资料齐全的成熟开采区,且预测时间不应超过监测时间。

4) 数值模拟法——采用有限单元法或有限差分法对剖分单元进行离散,可将动态的水位、水量、补给情况、水温等因素输入模型中,也可对渗透率、储水率等进行分区、反演,从而调整不合理的参数,使其符合实际监测值。该法是一种高精度评价方法,适用于勘查程度较高、较长时段完备的监测资料的热田。

由于热储层、地温场分布、边界条件和水文地质参数具有各向异性和非均质性特点,拟合后的数值模型很难对热储层作出准确的模拟,只能是对地热条件的概化模拟,经校正后的模型可认为是在当前勘探程度下的可靠模型。

## 5. 结论

根据对地热资源量计算评价方法的使用条件、适用性、可靠性等的综合分析,结合国内外已有地热田评价结果,笔者对所讨论的方法作出以下结论。

1) 地热田前期勘探阶段可采用热储法、天然流量法进行资源量估算;开采初期可采用解析法初步评价地热资源量,作为控制开采量的依据,防止地热超采;大规模生产开采阶段,采用统计分析法或数值模拟法,结合回灌参数进行开采量回灌补给量综合评价,可实现可持续条件下的地热开采评价。

2) 储量评价是指在当今技术条件下能够合法、经济提取出来的、已查明存储热量的一部分。通常都是由存储热量与回收系数或综合利用系数相乘所得。该系数由回收率、发电效率、利用率等系数综合而得,一般取值范围早 0.1%~10%之间。

3) 对于未勘查区或勘查程度较低的地区,天然流量作为可开采储量过于保守。由于其在开发过程中通过钻孔所得到的储量都会变得很大,因此在评价过程中通常对所调查的天然流量进行外推预测,即通过已调调热流体流量乘上一个倍数,来得到其外推预测量。该倍数的确定是一个复杂的过程,一般根据评价流量与天然流量的倍数与热田面积之间的相关关系作加权平均,以此得到一个平均倍数,通过天然流量乘以这个倍数来得到可开采储量。

外推流量还可参照已有条件相似热田作对比较准,或者根据已有地热井观测数据做修整,这样获得的结果可靠性大大提高。

4) 地热生产阶段,应在完整的地热流体观测资料的基础上,以热储法、模拟法、解析法等三种方法中的两种作为地热资源可开采量的评价计算方法,以实现地热资源综合利用最大化目标。

5) 上述地热资料计算评价方法中热储几何参数、热储温度,地热流体流量、回灌量,地热井董涛水位变化等参数是关键参数。



## 参考文献

- [1] 中国地质调查局. 中国地热资源及其开发利用现状报告[R]. 2006.1.
- [2] 田廷山, 李明朗, 白治. 中国地热资源及开发利用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [3] Natheson, M. and Muffler, L.P.J. (1975) Geothermal Resources in Hydrothermal Convection Systems and Conduction-Dominated Areas. In: White, D.E. and Williams, D.L., Eds., *US Geological 30. Survey Circular 726*, US Geological Survey, 104-121.
- [4] Muffler, L.J.P. (1978) Assessment of Geothermal Resources of the United States. Geological Survey Circular 790.
- [5] Iglesias, E.R. and Torres, R.J. (2003) Low- to Medium-Temperature Geothermal Reserves in Mexico: A First Assessment. *Geothermics*, **32**, 711-719. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2003.07.002>
- [6] Arkan, S. and Parlaktuna, M. (2005) Resource Assessment of Balçova Geothermal. *Proceedings World Geothermal Congress*, Antalya, 24-29 April 2005, 10 p.
- [7] Ofwona, C.O. (2005) Resource Assessment of Olkaria I Geothermal Field, Kenya. *Proceedings World Geothermal Congress*, Antalya, 24-29 April 2005, 5 p.
- [8] 北京市地质工程勘察院. 北京市小汤山地热田地热资源评价报告[R]. 2005.4.
- [9] 西藏地热大队. 西藏地热资源现状评价与区划报告[R]. 2011.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)