

DB 13

河 北 省 地 方 标 准

DB 13/T 2554—2022

代替 DB13/T 2554-2017

单井地热资源评价规范

Technical procedures of Single-well provide geothermal resources evaluation

2022 - 08 - 10 发布

2022 - 09 - 10 实施

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替DB13/T 2554-2017《单井地热资源评价技术规程》，与DB13/T 2554-2017相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 根据实际需要，将术语和定义的条款进行了补充和删减；
- b) 资料收集中添加了对地热井钻探资料的收集内容；
- c) 增加了回灌试验的技术要求；
- d) 对地热流体可开采量计算方法进行了修订。

本文件由河北省自然资源厅提出并归口。

本文件起草单位：河北省地热资源开发研究所、河北省地矿局地质勘查技术中心。

本文件要起草人：苏永强、刘福东、郜洪强、陈穆贤、李德祺、宋倩、赵素杰、李郡、李国记、鞠照亮、景龙、姚金宇、邢凯荣、田万强、赵琳如。

单井地热资源评价规范

1 范围

本文件规定了单井地热资源评价的资料收集、降压试验、回灌试验、热储层水文地质参数计算、单井地热流体可开采量计算、采灌井距计算、地热流体质量评价、报告编制等要求。

本文件适用于层状热储水热型单井地热资源评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 5084 农田灌溉水质标准
- GB 5749 生活饮用水卫生标准
- GB 8537 饮用天然矿泉水标准
- GB 11607 渔业水质标准
- GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范
- GB 50027 供水水文地质勘察规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热突破 thermal breakthrough

通过回灌井灌入较低温度的水使附近同层地热井地热水温度明显降低的现象。

3.2

回灌试验 injection test

向回灌井中连续注水，并记录回灌量、水位及水温随时间的变化来测定热储层回灌能力的试验。

3.3

利用热储层段 segment of exploiting geothermal reservoir

地热井止水位置以下，下入筛管段或射孔所对应的热储层段或裸眼段。

3.4

最小热水位埋深 minimum buried depth of water level in the borehole

在地热井口水温达到最高且稳定时的最小水位埋深。

3.5

多井降压试验 multi-well pumping test

一个地热井抽水，带有一个或多个观测井的降压试验。

4 总则

4.1 单井地热资源评价应在掌握区域地热地质资料，已有地热井钻探、地球物理测井、降压试验、回灌试验、水质检测、动态监测等数据的基础上进行。

4.2 地热井应按勘查孔技术要求取全取准各项钻井地质参数，并开展降压试验、回灌试验及水质检测等工作，查明利用热储层的岩性、空间结构、空隙率、渗透性、地热流体物理性质与化学组分，计算评价地热流体可开采量和采灌井距。

4.3 单井地热资源评价按 100 年计算，以保证地热流体连续稳定的开采。

5 资料收集

5.1 收集区域地质、水文地质、地热地质、地球物理测井、近似稳态地温、降压试验、回灌试验、水温、水位、水质及其动态等资料。

5.2 5.2 收集地热井钻探施工阶段取得的各项资料，包括地层结构、岩性、地温、热储层空隙率、渗透率、井身结构、钻井液配比、地质编录、地球物理测井、洗井等资料，并对资料的可靠性和代表性进行分析评价。

6 降压试验

6.1 一般要求

6.1.1 降压试验前要进行试降压，初步确定地热井最大出水能力，并采用水位恢复法观测最小热水位埋深，试降压时间不应小于 2 h。

6.1.2 降压试验前应制定试验方案，根据试验目的确定试验方法。

6.1.3 流量、水温、水位宜使用仪器自动观测并用人工观测进行校核，以保证获取数据的及时、可靠、准确。

6.1.4 试验时应做好现场记录，并绘制 S—t、Q—t 曲线草图，确定试验数据是否正常，发现问题及时纠正。

6.2 单井降压试验

6.2.1 宜进行 3 次降深的稳定流或非稳定流试验，先进行最大降深降压试验，再进行中、小降深降压试验，中、小降深比例分别为最大降深的 2/3 和 1/3 左右。

6.2.2 最大一次降深试验的延续时间不少于 48 h，其他两次试验延续时间分别不少于 12 h。

6.3 多井降压试验

条件允许时，宜开展多井降压试验。宜进行 1~2 次降深的稳定流或非稳定流试验，最大一次降深试验的延续时间不少于 120h。抽水井抽水对最近观测井引起的水位下降值不应小于 20cm。

6.4 观测记录

6.4.1 水位观测时间为降压开始后第 1、2、3、5、7、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120 min，之后每 30 min 观测一次。恢复水位观测频率与降压观测频率相同。多井降压试验抽水井和观测井的水位同步观测。

6.4.2 降压试验过程中，要求流量、水温、气温同步观测。

6.4.3 水位观测单位为 m，精确到 0.01 m；流量单位为 m³/h，精确到 0.01 m³/h；水温、气温单位为℃，精确到 0.1℃。

6.5 资料整理

6.5.1 降压试验结束后，及时检查流量、水温、水位等数据，发现异常分析原因并及时纠正，原始观测数据严禁改动。

6.5.2 根据观测数据绘制涌水量历时曲线(Q—t 曲线)、降深历时曲线(S—t 曲线、S—lgt 曲线)、涌水量降深关系曲线(Q—f(S))等曲线图，并依据涌水量—降深关系，确定曲线类型，计算给定降深的涌水量。

6.6 最小热水位埋深的确定方法

6.6.1 公式计算法

$$h = H - \frac{\rho_{平} \times [H - (h_1 - h_0)]}{\rho_{高}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

h——校正后最小热水位埋深(m)；

H——利用热储层段中点的埋深(m)；

h₁——观测水位埋深(m)；

- h_0 ——基点高度 (m)；
 $\rho_{平}$ ——地热井筒内水柱平均密度 (kg/m^3)；
 $\rho_{高}$ ——热储中部温度对应水的密度 (kg/m^3)。

6.6.2 水位恢复法

试降压时，停泵后立即观测恢复水位，观测的最小水位埋深即为最小热水位埋深。

7 回灌试验

7.1 技术要求

7.1.1 回灌试验一般为对井同层回灌，即一个地热井抽水，另一个地热井回灌，回灌水源可为供暖降温后未受污染的地热原水。如果利用未降温的原水进行回灌，应将回灌水位换算到水温为 20°C 时的水位。

7.1.2 在不具备同层回灌条件时，可采用第四系冷水或其他清洁水源进行回灌，但应保证回灌水质优于回灌井水质，且在回灌前宜进行配伍试验，确保回灌水不会对热储层造成不良影响。

7.1.3 回灌系统应为密闭的系统，进行除砂、粗过滤（过滤精度小于 $50\ \mu\text{m}$ ）、精过滤（过滤精度小于 $5\ \mu\text{m}$ ）、排气后进行回灌，回灌水管应下入回灌井水位液面 $5\ \text{m}$ 以下。

7.1.4 宜进行 3 个以上升程的回灌试验，首先进行最小升程的回灌试验，最小升程采用的回灌水量参照单井降压试验最大稳定涌水量的 $1/3$ 进行回灌，其后各回灌水量逐步增大；确定最大自然回灌量时，回灌水位距井口一般不应大于 $10\ \text{m}$ 。最大升程的稳定时间不少于 $48\ \text{h}$ ，其余升程稳定时间分别不少于 $8\ \text{h}$ 。

7.1.5 回灌时，回灌量和回灌水位按照稳定流降压试验的要求进行观测，在回灌开始后的第 5 、 10 、 15 、 20 、 25 、 $30\ \text{min}$ 各观测一次，以后每隔 $30\ \text{min}$ 观测一次，抽水井进行同步观测，同时做好现场记录，并绘制 $S_{升}-t$ 、 $Q_{灌}-t$ 草图，判断确定回灌试验是否正常，发现问题及时纠正。

7.2 资料整理

7.2.1 回灌试验结束后，及时检查涌水量、回灌量、水位、水温等数据，发现异常分析原因并及时纠正。

7.2.2 根据观测数据绘制回灌量历时曲线 ($Q_{灌}-t$ 曲线)、升程历时曲线 ($S_{升}-t$ 曲线)、回灌量升程关系曲线 ($Q_{灌}-f(S_{升})$) 等曲线图，并依据回灌量—升程关系，确定曲线类型，可采用内插法（外推法）计算回灌水位距地面 $10\ \text{m}$ 时的回灌量，作为最大稳定回灌量。用外推法计算时，外推的升程值不宜超过最大升程值的 $1/3$ ，且不大于 $20\ \text{m}$ 。

8 热储层水文地质参数计算

热储层水文地质参数可利用降压试验数据通过计算求取，具体方法参照附录A。

9 单井地热流体可开采量计算

9.1 计算原则

9.1.1 计算深度下限一般为 $4000\ \text{m}$ ，计算单井利用热储层热储的地热流体可开采量，并估算未利用热储的地热资源储量。若仅对主要利用热储层的地热资源进行计算，其计算深度下限为主要利用热储层的底界。

9.1.2 热储层顶底板埋深、水位埋深均以自然地面算起。

9.1.3 计算时将热储层概化为均质、等厚、各向同性、各处初始压力相等的无限承压含水层，各热储层间均有稳定的隔水层，垂向上无明显的水力联系。

9.1.4 热储层隔水隔热，热量只靠对流方式传递，除了抽取和回灌的热量外，系统与外界没有能量交换。

9.1.5 地热资源开采年限按 100 年计算。

9.1.6 计算范围根据行政主管部门批准的矿业权范围确定。

9.2 计算方法

不考虑回灌条件下地热流体可开采量，可采用降压试验法、可采系数法、最大降深法、统计分析法和类比法进行计算；考虑回灌条件下地热流体可开采量，可采用回收率法、解析法和数值模型法进行计算。计算方法参见附录B。

10 采灌井距计算

回灌井与开采井的距离主要取决于冷热水的混合峰面自回灌井向开采井的运移时间和速度，概化研究区内地热地质条件后，采灌井距计算公式为：

$$D = \sqrt{\frac{3Q_h t f}{\pi M}} \dots\dots\dots (2)$$

$$f = \frac{\rho_w C_w}{\phi \rho_w C_w + (1-\phi) \rho_r C_r} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- D——回灌井与开采井的最小间距（m）；
- Q_h ——回灌量（ m^3/a ），取开采期平均回灌水量；
- t——冷热水的混合峰面到达开采井的时间，取100年，若利用方向已确定为建筑物冬季供暖，则每年开采（回灌）时间为120天；
- M——热储层有效厚度（m）；
- ρ_w ——地热流体的密度（ kg/m^3 ）；
- ρ_r ——热储岩石的密度（ kg/m^3 ）；
- C_w ——地热流体的比热（ $kJ/kg \cdot ^\circ C$ ）；
- C_r ——热储岩石的比热（ $kJ/kg \cdot ^\circ C$ ）；
- ϕ ——热储岩石空隙率，无量纲。

11 地热流体质量评价

11.1 用途评价

- 11.1.1 地热流体可作为理疗热矿水的，按照 GB/T11615-2010 附录 E 对其属于何种类型的理疗热矿水做出评价。
- 11.1.2 地热流体符合饮用天然矿泉水界限指标及限量指标的，按照 GB 8537 对其是否适用于生活饮用水做出评价。
- 11.1.3 地热流体可作为生活饮用水源的，按照 GB 5749 对其是否适用于生活饮用水做出评价。
- 11.1.4 地热流体用于农田灌溉的，按照 GB 5084 对其是否适用于农业灌溉用水做出评价。
- 11.1.5 地热流体用于水产养殖的，按照 GB 11607 对其是否符合水产养殖做出评价。

11.2 腐蚀性评价

11.2.1 对氯离子含量高（ $\geq 25\%$ 摩尔当量）的地热流体，宜采用拉申指数进行评价。

计算公式：

$$LI = \frac{[Cl] + [SO_4]}{[ALK]} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

LI——拉申指数（无量纲）；

[Cl]——氯化物浓度；

[SO₄]——硫酸盐浓度；

[ALK]——总碱度。

以上三项均以等当量的CaCO₃计，单位为毫克每升（mg/L）表示。

当LI≤0.5时，可能结垢，没有腐蚀性；

0.5<LI≤3.0时，有轻微腐蚀性；

3.0<LI≤10.0时，有中等腐蚀性；

LI>10.0时，有强腐蚀性。

11.2.2 对氯离子含量低（<25%摩尔当量）的地热流体，地热流体的腐蚀性宜参照工业上用腐蚀系数来衡量。

计算公式：

对碱性水：

$$K_k=1.008(rMg^{2+}-rHCO_3^-) \cdots \cdots (5)$$

对酸性水：

$$K_k=1.008(rH^++rAl^{3+}+rFe^{2+}+rMg^{2+}-rHCO_3^- - rCO_3^{2-}) \cdots \cdots (6)$$

式中：

K_k——腐蚀系数；

r——离子含量的每升毫克当量（毫摩尔）数。

判别标准：

腐蚀系数 K_k>0，称为腐蚀性水；

腐蚀系数 K_k<0，并且 K_k+0.0503Ca²⁺>0，称为半腐蚀性水；

腐蚀系数 K_k<0，并且 K_k+0.0503Ca²⁺<0，称为非腐蚀性水。

11.3 结垢评价

11.3.1 地热流体中的二氧化硅、钙和铁等组分因温度变化而结垢，可参照工业上用锅垢总量 H₀ 来评价其的结垢性：

计算公式：

$$H_0=S+C+36rFe^{2+}+17rAl^{3+}+20rMg^{2+}+59rCa^{2+} \cdots \cdots (7)$$

式中：

H₀——锅垢总量（mg/L）；

S——地热流体中的悬浮物含量（mg/L）；

C——胶体含量 C=SiO₂+Fe₂O₃+Al₂O₃（mg/L）。

判别标准：

H₀<125为锅垢很少的水；

125≤H₀≤250为锅垢少的水；

250<H₀≤500为锅垢多的水；

H₀>500为锅垢很多的水。

11.3.2 硬垢评价

计算公式：

$$K_n=H_n/H_0 \cdots \cdots (8)$$

式中:

K_n ——硬垢系数 (无量纲) ;

$H_n = SiO_2 + 20rMg^{2+} + 68(rCl^- + rSO_4^{2-} - rNa^+ - rK^+)$;

H_0 ——锅垢总重量 (mg/L) ;

SiO_2 ——二氧化硅的含量 (mg/L) ;

判别标准:

$K_n < 0.25$ 为具有软沉淀物的水;

$0.25 \leq K_n \leq 0.5$ 为具有中等沉淀物的水;

$K_n > 0.5$ 为具有硬沉淀物的水。

11.3.3 起泡评价

计算公式:

$$F = 62rNa^+ + 78rk^+ \dots \dots \dots (9)$$

式中:

F ——起泡系数 (mmol/L) ;

判别标准:

$F < 60$ 为不起泡的水;

$60 \leq F \leq 200$ 为半起泡的水;

$F > 200$ 为起泡的水。

12 报告编制

地热资源勘查评价报告编写提纲参见附录C。

附 录 A
(资料性)
水文地质参数计算方法

A.1 单井降压试验求参方法

利用地热井单井稳定流降压试验资料,采用裘布依Dupuit公式及奚哈特W. Sihadrt影响半径经验公式,采用叠代法求取热储渗透系数、影响半径和导水系数。

用叠代法求取热储渗透系数、影响半径和导水系数。

$$K = \frac{0.366Q}{S_w M} \lg \frac{R}{r_w} \dots\dots\dots (A. 1)$$

$$R = 10S_w \sqrt{K} \dots\dots\dots (A. 2)$$

$$T = KM \dots\dots\dots (A. 3)$$

式中:

- K——热储层平均渗透系数 (m/d) ;
- Q——单井涌水量 (m³/d) ;
- M——热储层厚度 (m) ;
- R——影响半径 (m) ;
- S_w——抽水井稳定水位降深 (m) ;
- r_w——抽水井利用热储层段井径 (m) ;
- T——导水系数 (m²/d) 。

A.2 多井降压试验求参方法

A.2.1 当带有一个观测井时,如果观测井受抽水井影响水位有变化时,影响半径和渗透系数的计算公式如下。

$$\lg R = \frac{S_w \lg r - S_1 \lg r_w}{S_w - S_1} \dots\dots\dots (A. 4)$$

$$K = \frac{0.366Q}{M(S_w - S_1)} \lg \frac{r}{r_w} \dots\dots\dots (A. 5)$$

式中:

- K——热储层平均渗透系数 (m/d) ;
- R——影响半径 (m) ;
- S₁——观测井稳定水位降深 (m) ;
- r——观测井与抽水井距离 (m) ;
- S_w——抽水井稳定水位降深 (m) ;
- M——热储层厚度 (m) ;
- Q——单井涌水量 (m³/d) ;
- r_w——抽水井利用热储层段井径 (m) 。

A.2.2 当带有两个观测井时,影响半径和渗透系数的计算公式如下。

$$\lg R = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{S_1 - S_2} \dots \dots \dots (A.6)$$

$$K = \frac{0.366Q}{M(S_1 - S_2)} \lg \frac{r_2}{r_1} \dots \dots \dots (A.7)$$

式中:

K——热储层平均渗透系数 (m/d) ;

R——影响半径 (m) ;

M——热储层厚度 (m) ;

Q——单井涌水量 (m³/d) ;

S₁——近观测井稳定水位降深 (m) ;

S₂——远观测井稳定水位降深 (m) ;

r₁——近观测井与抽水井距离 (m) ;

r₂——远观测井与抽水井距离 (m) 。

A.3 非稳定流降压试验求参方法

A.3.1 Theis 配线法

通过绘制W(u) —1/u标准曲线, 以及实测的s—t/r²曲线或s—t曲线, 采用Theis配线法计算相关参数, 计算公式如下:

$$K = \frac{0.08Q}{sM} W(u) \dots \dots \dots (A.8)$$

$$\mu^* = \frac{r^2}{4tu} \dots \dots \dots (A.9)$$

$$a = \frac{T}{\mu^*} \dots \dots \dots (A.10)$$

$$\mu = \frac{r^2}{4at} \dots \dots \dots (A.11)$$

式中:

K——热储层平均渗透系数 (m/d) ;

Q——单井涌水量 (m³/d) ;

W(u) ——井函数;

s——抽水任一时刻的水位降深 (m) ;

μ*——含水层的弹性释水系数, 无量纲;

a——含水层的导压系数 (m²/d) ;

t——抽水开始到计算时的延续时间 (d) ;

r——观测孔与抽水孔距离 (m) ;

T——导水系数 (m²/d) 。

A.3.2 Jacob直线图解法

当降压试验时间较长, $u=r^2/(4at) < 0.01$ 时, 可采用Jacob公式计算参数。

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25Tt}{r^2\mu^*} = \frac{0.183Q}{T} \lg \frac{2.25Tt}{r^2\mu^*} \dots\dots\dots (A. 12)$$

式中：

s——抽水任一时刻的水位降深（m）；

Q——单井涌水量（m³/d）；

T——导水系数（m²/d）；

r——观测孔与抽水孔距离（m）；

μ^{*}——含水层的弹性释水系数，无量纲。

附 录 B
(资料性)
地热流体可开采量计算方法

B.1 不考虑回灌条件下地热流体可开采量计算

B.1.1 降压试验法

根据三次降深降压试验拟合的 $Q-f(S)$ 曲线,用内插法计算水位降深20m时的单井涌水量作为地热井的可开采量。单井产量小于 $10\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ 时可按水位降深30m时的涌水量作为可开采量。

B.1.2 平均布井法

对于地热勘查区块,其地热流体可开采量为单井地热流体可开采量与可布井数的乘积。

$$Q_a = \frac{Q_d A}{\pi R^2} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$R = \sqrt{\frac{36500 Q_d f}{0.15 M \pi}} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- Q_a ——勘查区块地热流体可开采量 (m^3/a) ;
- Q_d ——单井地热流体可开采量 (m^3/a) , 利用B.1.1降压试验法计算确定;
- A ——勘查区块区面积 (m^2) ;
- R ——单井权益保护半径 (m) ;
- M ——热储层厚度 (m) ;
- f ——水比热与热储岩石比热的比值

B.1.3 可采系数法

对于地热远景区采用可采系数法计算地热流体可开采量,可采系数的大小,取决于热储岩性、孔隙裂隙发育情况以及补给情况,有补给情况下取大值,无补给情况下取小值。

$$Q_{ws} = \varphi V + S(h - H)A \dots\dots\dots (B.3)$$

$$Q_{wk} = Q_{ws} \cdot X \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

- Q_{ws} ——地热流体储量 (m^3) ;
- φ ——热储岩石空隙率;
- V ——热储体积 (m^3) ;
- S ——弹性释水系数;
- h ——地热井静水位标高 (m) ;
- H ——热储顶面标高 (m) ;
- A ——计算区面积 (m^2) ;
- Q_{wk} ——地热流体可开采量 (m^3/a) ;
- X ——可采系数,对于孔隙型层状热储,取值为3~5%(100a),岩溶型层状热储取值为5%(100a),裂隙型层状热储取值为1~2%(100a)。

B.1.4 最大降深法

自评价基准年开始100年内，计算区中心水位降深与单井开采附加水位降深之和不大于100m时，求得的最大开采量为计算区地热流体可开采量。

$$Q_{ws} = \varphi V + S(h - H)A \cdots \cdots (B.3)$$

$$Q_{wk} = Q_{ws} \cdot X \cdots \cdots (B.4)$$

式中：

Q_{wk} ——地热流体可开采量 (m^3/a)；

Q_{wd} ——单井地热流体可开采量 (m^3/a)，为单井最大回灌量或满足生产条件下的单井开采量；

T ——导水系数 (m^2/a)；

S_k ——计算区中心水位降深 (m)；

t ——开采时间 (a)；

μ^* ——含水层的弹性释水系数，无量纲；

R_k ——开采区半径 (m)；

S_d ——单井附加水位降深 (m)；

R_d ——单井控制半径 (m)，为开采条件下计算的影响半径；

r ——降压井半径 (m)。

B.1.5 统计分析法

对具有多年动态监测资料的计算区，可用统计分析法建立的统计模型预测计算区在定(变)量开采条件下水位变化趋势，并确定一定降深条件下地热流体可开采量。统计分析法可采用相关分析、回归分析、时间序列分析等方法。宜采用水位降低值和累计开采量之间建立的相关统计模型对计算区进行预测。监测数据不宜少于5年，且用于预测的模型应具有较高的相关系数，预测的时限不应超过实际监测资料的时间段长度。

B.1.6 类比法

利用已知地热田的地热流体可开采量推算地热地质条件相似地热田的地热流体可开采量，或者用同一地热田内已知地热流体可开采量的部分来推算其他部分的地热流体可开采量。类比法应是在地热的储藏、分布条件相似的两之间进行，否则类比的结果与实际情况可能会存在很大的差异。

B.2 考虑回灌条件下地热流体可开采量计算

B.2.1 回收率法

计算区内热储层地热资源量乘以回收率，求取地热井开采100年可利用热能，进而反推地热流体可开采量。

$$Q_k = R_E \cdot Q_R / \rho_w C_w (T_r - T_0) \cdots \cdots (B.7)$$

式中：

Q_k ——地热流体可开采量 (m^3)；

R_E ——回收率 (%)，一般取值15%；

Q_R ——地热资源储存热量 (J)；

ρ_w ——地热流体的密度 (kg/m^3)；

C_w ——地热流体的比热 ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)；

T_r ——回灌前热储温度 ($^\circ C$)；

T_0 ——恒温层温度 ($^\circ C$)。

B.2.2 解析法

对于采灌对井，取以下三个约束条件的最小值作为采灌对井地热流体可开采量。①在满足回灌条件下开采100年不会产生热突破；②开采出的热量不超过热储层总热量的15%；③以回灌试验取得的最大稳定回灌量。

对于采灌对井，回灌条件下不产生热突破时地热流体可开采量计算公式为：

$$Q_a = \frac{\pi R_1^2 M}{3tf} \dots\dots\dots (B. 8)$$

$$f = \frac{\rho_w C_w}{\rho_e C_e} \dots\dots\dots (B. 9)$$

$$\rho_e C_e = \rho_w C_w + (1 - \varphi)\rho_r C_r \dots\dots\dots (B. 10)$$

开采出的热量占热储层总热量的比例计算公式为：

$$\frac{Q_a(1-\alpha\beta)tf}{\pi R_1^2 M} \dots\dots\dots (B. 11)$$

$$\alpha = \frac{Q_h}{Q_p} \dots\dots\dots (B. 12)$$

$$\beta = \frac{T_h - T_0}{T_r - T_0} \dots\dots\dots (B. 13)$$

式中：

- Q_a ——回灌条件下采灌对井允许开采量 (m³/d)；
- R_1 ——采灌井距 (m)；
- M ——热储层厚度 (m)；
- t ——热突破时间 (d)，取36500d (若已确定利用方向为建筑物冬季供暖，则取12000d)；
- ρ_w ——水的密度 (kg/m³)；
- C_w ——水的比热 (kJ/kg·°C)；
- ρ_r ——热储岩石的密度 (kg/m³)；
- C_r ——热储岩石的比热 (kJ/kg·°C)；
- φ ——热储岩石空隙率；
- K ——开采出的热量占热储层总热量的比例；
- Q_h ——回灌量 (m³/d)；
- Q_p ——开采量 (m³/d)；
- T_h ——回灌温度 (°C)，取20°C；
- T_r ——回灌前热储温度 (°C)；
- T_0 ——恒温层温度 (°C)。

B. 2. 3 平均布井法

对于地热勘查区块，其地热流体可开采量为采灌对井地热流体可开采量与可布井数的乘积。

$$Q_a = \frac{Q_d A}{\pi R^2} \dots\dots\dots (B. 14)$$

$$R = \sqrt{(1 - \alpha\beta) \frac{Q_d t f}{0.15 M \pi}} \dots\dots\dots (B. 15)$$

式中：

Q_a ——回灌条件下勘查区块地热流体可开采量 (m^3/a)；

Q_d ——采灌对井地热流体可开采量 (m^3/a)，利用B.2.2解析法计算确定；

A ——勘查区块面积 (m^2)；

R ——回灌条件下采灌对井对热储的影响半径 (m)；

其他同上。

B.2.4 数值模型法

数值模型的求解方法主要包括有限差分法、有限单元法和边界元法等。数值模型法基本步骤包括建立概念模型、地质体的剖分、进行天然状态的模拟、开采状态的模拟，经过矫正的模型可认为在当前勘查程度下模型是可靠的，可用来预测地热田对将来开采的反映。应选择多个可能的地热田管理方案，计算各方案对地热田带来的长期反映，包括压力场和温度场的变化趋势，预测可能带来的不利影响，预测为了保持稳定开采量是否需要开凿新井以及新井的位置，预测回灌的效果和可能引起的地热田冷却。然后对各开采方案结果进行比较，提出地热流体的可开采量。

B.3 地热流体可开采热量计算

地热流体可开采热量可用下式计算：

$$Q_{wt} = Q_{wk} C_w \rho_w (t_r - t_0) \dots\dots\dots (B.16)$$

式中：

Q_{wt} ——地热流体可开采热量 (J/a)；

Q_{wk} ——地热流体可开采量 (m^3/a)；

C_w ——地热流体比热容 (KJ/(kg·K))；

ρ_w ——地热流体的密度 (kg/m^3)；

t_r ——热储温度 (°C)；

t_0 ——恒温层温度 (°C)。

附录 C
(资料性)
单井地热资源勘查报

C.1 报告提纲

示例：

1 前言
1.1 任务来源
1.2 目的任务
1.3 自然地理概况
2 地热地质研究程度及勘查工作质量评述
2.1 地热地质研究程度
2.2 勘查工作质量评述
3 区域地热地质条件
3.1 地质构造
3.2 地层
3.3 热储层地热地质特征
4 勘查区地热地质条件
4.1 地层特征
4.2 地温场特征
4.3 热储层特征及埋藏条件
4.4 地热流体流场特征及动态
5 地热流体化学特征
5.1 地热流体化学组分特征
5.2 同位素化学与地热资源成因分析
6 地热资源计算与评价
6.1 热储模型
6.2 主要参数计算
6.3 地热资源可开采量计算与评价
7 地热流体质量评价
8 经济与环境影响评价
9 地热资源保护与开发利用方案建议
10 结论

C.2 报告附图

示例：

1 实际材料图
2 地热地质条件图
3 地热井动态曲线图
4 地热井综合地质柱状图

C.3 报告附表

示例：

1 水质检测报告表
2 地热井降压（回灌）试验成果资料汇总表
3 地热井动态观测资料汇总表
4 地热井开采（回灌）量统计表