

天津地热资源开采情况实际与理论计算对比研究

于彦,秦莉红,林澈,康楠,刘杰,孟祥博
(天津地热勘查开发设计院,天津 300250)

摘要:天津地热资源丰富,为研究天津地热资源的开采潜力,通过热储法对天津平原区沉积盆地型地热资源进行比较,其中涵盖4 000 m以浅的6个热储层的地热资源量、地热流体储存量、可回收地热资源量,同时利用开采系数法和热量平衡对不同开采条件下的地热流体可采量进行计算,以2013年的实际开采量为样本,对多个计算指标的合理性进行了分析研究。结果证明实际开采量只占理论值的极小部分。人工回灌可以极大地提高地热资源利用率。

关键词:开采潜力;地热资源量;地热流体储存量;可回收地热资源量;回灌

中图分类号: P314

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2016)03-0221-05

天津地区地热资源的开发利用自1936年始^[1],从孔隙型热储至基岩裂隙型热储,由浅及深,开采层位埋深606~3658 m、出水温度40~102℃,均为中低温地热资源。从开始时的粗放型开采到统一规划管理,经过了近80年的发展,2001年起建立的地热井动态长观系统数据表明,开采量总体呈增长态势,从2001年至2013年,累计开采约3.5亿m³。有成果曾对天津市4 535 km²的地热资源集中开采利用区的资源量进行了计算,其计算的地热资源量为63.21×10⁹ J,可回收地热资源量为3.72×10⁹ J,地热流体储存量为64.30×10¹⁰ m³^[2]。那么天津热储层中蕴含的热量和流体量有多大?实际开发利用的量又占到多少?而且随着地热资源的开采,形成了大小不一的降落漏斗,天津的地热资源开采潜力还有多大?这些都是我们一直研究的课题。本文就上述问题进行讨论研究。

1 研究区概况及热储层分布

1.1 研究区概况

天津市位于华北平原东北部,距北京120 km,全境面积11 919 km²。以成因分类,天津地热资源分为隆起山地型和沉积盆地型两类,并以后者为主,隆起山地型占比极小,在此不做讨论。

沉积盆地型地热资源分布于宝坻-宁河断裂以南的平原区,面积9 541 km²;赋存于孔隙型热储层和

基岩裂隙型热储层两大地热流体系统中^[3]。已开发利用的6个热储层,自上而下分别为:新近系明化镇组(Nm)、馆陶组(Ng)和古近系东营组(Ed)孔隙型热储层;古生界奥陶系(O)和寒武系(Є)、中元古界蓟县系雾迷山组(Jxw)基岩裂隙型热储层。

1.2 热储层分布

平原区在构造上分属于冀中拗陷、沧县隆起和黄骅拗陷3个Ⅲ级构造单元,共包括10个Ⅳ级构造单元(图1)。受区域地质构造控制,孔隙型热储层在沧县隆起区分布厚度较小,而基岩热储层顶板埋深在拗陷区普遍大于4 000 m,具体情况为:Nm全区分布,Ng在隆起区的高凸起部位小范围缺失,Ed只在两侧的拗陷区分布;O在隆起区的高凸起部位大面积缺失,Є小面积缺失,Jxw在全区均有分布。

2 地热资源评价方法

2.1 评价范围

温度大于25℃、4 000 m以浅的沉积盆地型地热资源。根据各热储层的实际情况,各层的计算深度分别为:Nm和Ng至实际深度、Ed至3 000 m、O至3 500 m(该层>3 500 m多为干眼)、Є和Jxw至4 000 m。热量只计算孔(裂)隙发育段的骨架和水包含的热量,其上下的隔水层(干层)热量未计入。

2.2 评价方法

(1)地热资源量和地热流体储存量:采用热储法

收稿日期:2016-05-25

资助项目:中国地质调查项目:“天津市地热资源现状调查评价与区划(12120113077300)”

作者简介:于彦(1980-),女,工程师,工程硕士,毕业于中国地质大学(北京),研究方向为地热地质及资源评价,E-mail:yuyan0034@126.com。

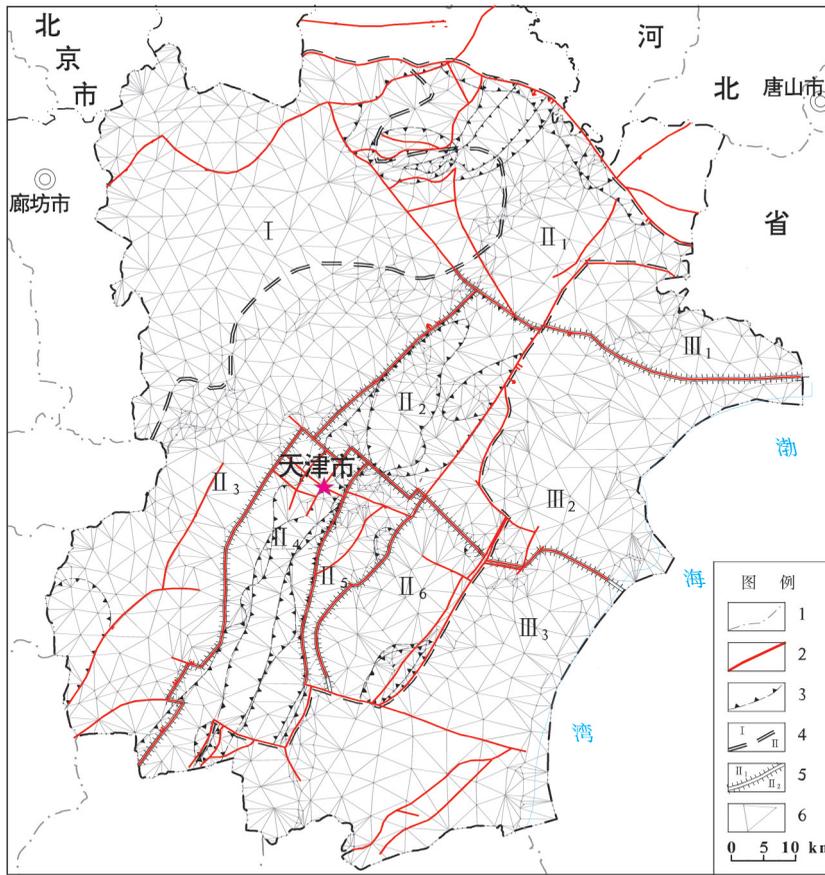


图1 天津构造单元及计算分区图

Fig.1 The distribution map of tectonic units and calculator zones

1.区界;2.断裂;3.地层缺失线;4.Ⅲ级构造单元界线;5.Ⅳ级构造单元界线;6.剖分三角形及节点

(热流体参数参照(DZ40-85))。

因为每个区内的水位、热储层厚度、温度仍存在较大差异,为使计算结果较为准确,对全区进行了三角形剖分。剖分工作一次完成,6个热储层共用一个剖分文件(图1)。以剖分三角形为基本单元进行资源量计算,再按照构造单元进行累加求和。剖分节点的确定同时考虑了Ⅳ级构造单元、行政区、断裂、各热储层的分布区及缺失线等主要界线。

3 地热资源量计算

3.1 地热资源量、地热流体储存量

基准温度按 13.5℃ 计,不同温度等级及热储层的地热资源量、地热流体储存量和可回收热资源量如表2。可见,天津地区的孔隙型热储层蕴含着巨大的流体量($13\ 770.83 \times 10^8 \text{ m}^3$)、而基岩裂隙型热储层蕴含着更多的热量($472.024 \times 10^{18} \text{ J}$)。根据分布面积推算,单位面积孔隙型热储层蕴含的流体量是基岩的4.15倍;而基岩裂隙型热储层蕴含的热量是

进行计算。

(2)可回收热资源量:根据《地热资源评价方法(DZ40-85)》,大型沉积盆地的新生界热储层以砂岩为主,当孔隙度大于20%时,热储回收率为0.25;碳酸盐岩型裂隙热储回收率定为0.15^[4]。

2.3 评价分区

主要考虑热储层的砂泥比(储厚比)、孔(裂)隙率、岩石密度、岩石比热等计算参数的一致性,参数分区以Ⅳ级构造单元为准分为10个区,参数如表1

表1 天津沉积盆地型热储层物性参数表

Tab.1 The physical characteristic parameter of geothermal reservoir of sedimentary basin in Tianjin

主要参数	分布面积 (km ²)	热储层厚度 (m)	砂泥比/储厚比	岩石密度 (kg/m ³)	岩石比热 (J/kg·℃)	孔隙率/裂隙率 (%)
明化镇组	9 467	289 ~ 1 696	0.25 ~ 0.59	2 109	958	25 ~ 26.5
馆陶组	8 451	0 ~ 2 070	0.39 ~ 0.6	2 103	908	27 ~ 34.5
东营组	4 883	0 ~ 500	0.13 ~ 0.16	2 103	910	27
奥陶系	3 548	0 ~ 1 511	0.13 ~ 0.3	2 695	920	5.6 ~ 6
寒武系	2 754	0 ~ 1 160	0.13 ~ 0.4	2 688	827	5
雾迷山组	3 441	0 ~ 3 100	0.13 ~ 0.42	2 677	838	5.2

孔隙型的2.6倍,如果算上干层热量将更大。

对于热储层中所蕴含的热量和地热流体量的计算,一般来说,只要工作区的研究程度较高,计算分

表2 天津沉积盆地型地热资源计算结果

Tab.2 The calculator result of geothermal resources of sedimentary basin in Tianjin

温度等级 (℃)	热储层	地热资源量 ($\times 10^{18} \text{ J}$)	地热流体储存量 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)	可回收热资源量 ($\times 10^{18} \text{ J}$)
25 ~ 40	明化镇组	111.311	4 893.96	27.828
	明化镇组	149.066	4 977.42	37.266
40 ~ 60	馆陶组	47.682	1 435.16	11.921
	东营组	5.492	151.25	1.373
	馆陶组	79.241	1 701.87	19.810
60 ~ 90	东营组	33.668	611.17	8.417
	奥陶系	125.372	494.51	18.806
	寒武系	43.780	113.48	6.567
	雾迷山组	31.952	97.22	4.793
90 ~ 150	寒武系	10.954	27.79	1.643
	雾迷山组	259.966	684.98	38.995
孔隙型合计		426.46	13 770.83	106.615
裂隙型合计		472.024	1 417.98	70.804
总计		898.484	15 188.81	177.419

区满足精度要求,利用热储法计算的结果是准确可靠的。但对于热储层所蕴藏的巨大热能,实际开发利用能占到多少?很少见有文献述及,本文就天津的情况进行讨论。

归根结底,目前对于水热型地热资源的利用仍要依赋于对流体的开采,即热水可采资源量是最具有实用价值的资源量^[5],所以下面首先对流体可采量进行计算,再换算成热量。

3.2 地热流体可采量

根据本次《天津市地热资源现状调查评价与区划》(简称《区划》)要求,计算了2种情况下的地热流体可采量,分别为:

(1)不考虑回灌(利用开采系数法)

$$Q_{开} = Q_{储} \cdot X \quad (1)$$

式中: $Q_{开}$ —地热流体可采量, m^3/a ;

$Q_{储}$ —地热流体储量, m^3 ;

X —开采系数。

天津地区 X 值:孔隙型热储层取 0.000 3/a、基岩裂隙型热储层取 0.000 2/a,结果如表 3。

(2)回灌条件下

对于沉积盆地型地热田,按回灌条件下开采 100 年,消耗 15% 的地热储量,根据热量平衡计算允许开采量,计算公式如下:

$$Q_{允} = \frac{0.15AH}{(1-\alpha\beta)tf} \quad (2)$$

$$\text{其中: } \alpha = \frac{Q_{回灌}}{Q_{抽}}; \beta = \frac{T_2 - T_0}{T_1 - T_0}; f = \frac{\rho_w C_w}{\phi \rho_w C_w + (1-\phi)\rho_r C_r}$$

式中: $Q_{允}$ —回灌条件下允许开采量, m^3/a ;

A —评价区面积, m^2 ;

H —热储层厚度, m ;

α —回灌率;

t —时间,取 100 年;

ϕ —热储岩石孔隙度;

T_1 —热储温度, $^{\circ}C$;

T_2 —回灌温度,取 $25^{\circ}C$;

T_0 —恒温层温度,天津取 $13.5^{\circ}C$;

ρ_w 、 ρ_r —热储层流体密度,岩石的密度, kg/m^3 ;

C_w 、 C_r —热储层流体比热,岩石的比热, $kJ/kg \cdot ^{\circ}C$ 。

根据此次《区划》要求,并参照天津市国土资源和房屋管理局 2014 年 3 月下发的《地热资源管理法规文件汇编》^[6],结合天津回灌的实际情况,此次评价

的 α 值:孔隙型热储层取 30%、基岩岩溶裂隙型热储层取 90%。

(3)地热流体实际开采量

根据天津 2013 年的监测数据,共开采地热流体 $0.370 6 \times 10^8 m^3$,其中孔隙型 $0.11 \times 10^8 m^3$ 、基岩裂隙型为 $0.261 \times 10^8 m^3$ 。

3.3 可回收热量

根据物理学定义,回收的热量可由下式计算:

$$Q = C \cdot V \cdot (T_i - T_0) \quad (3)$$

式中: Q —地热资源可回收热量, J/a ;

V —地热流体开采量, m^3 ;

T_i —地热流体的温度, $^{\circ}C$;

T_0 —基准温度(天津取 $13.5^{\circ}C$);

C —地热流体的比热容, $J/g \cdot ^{\circ}C$ 。

前两种方法中 T_i 按热储层的平均温度计;2013 年的实际回收热量,按各井的实际出口温度逐井计算,计算结果如表 3。

表 3 三种情况下地热流体可采量及可回收热量对比表
Tab.3 Contrast the exploitable yield of geothermal fluid with the recyclable heat under three conditions

计算 方法	(1)开采系数法		(2)回灌条件下		(3)2013年实际	
	地热流体 可采量 $\times 10^8 m^3/a$	可回收 热量 $\times 10^{16} J/a$	地热流体 可采量 $\times 10^8 m^3/a$	可回收 热量 $\times 10^{16} J/a$	地热流体 可采量 $\times 10^8 m^3/a$	可回收 热量 $\times 10^{16} J/a$
热储层						
明化镇组	2.961	3.275	39.564	43.824	0.0393	0.062
馆陶组	0.940	1.828	10.574	20.486	0.0686	0.146
东营组	0.229	0.527	3.194	7.316	0.0020	0.005
奥陶系	0.099	0.234	8.804	20.762	0.0393	0.091
寒武系	0.028	0.079	3.243	8.869	0.0166	0.045
雾迷山组	0.156	0.522	14.108	47.021	0.2048	0.613
孔隙型合计	4.130	5.630	53.332	71.626	0.1099	0.213
裂隙型合计	0.283	0.835	26.155	76.652	0.2607	0.749
总计	4.413	6.464	79.484	148.278	0.3706	0.962

从表 3 中可以看出:

(1)孔隙型地热流体:利用开采系数法计算的地热流体可采量($4.130 \times 10^8 m^3/a$)远大于地热流体的实际年开采量($0.1099 \times 10^8 m^3/a$)。考虑到实际监测数据和理论计算的偏差,笔者认为孔隙型所取的开采系数 0.0003/a 明显偏大,此值应随着地热田的开采年限增加而减小。因为水位埋深的增大显然影响了同一热储层的出水能力。

(2)裂隙型地热流体:利用开采系数法计算的地热流体可采量($0.283 \times 10^8 m^3/a$)基本接近地热流体的实际年开采量($0.2607 \times 10^8 m^3/a$)。可以认为裂隙型地热流体所取的开采系数 0.0002/a 基本合理。

(3)不论是孔隙型地热流体还是裂隙型地热流体,回灌条件下的地热流体可采量、可回收热量都远远大于未回灌条件的量。所以回灌可以极大地提高地热资源利用率。

表3中3种情况下的可回收热量占地热资源量和可回收热资源量(表2)的比例如表4。从中可以看出,即使是基岩在回灌率达到90%的情况下开采,每年的可回收热量仅占热储层地热资源量的0.16%、占可回收热资源量的1.08%,其它两种情况则更小。可见实际可开发利用的热量只占热储层蕴含热量的极小部分。

表4 三种情况下的可回收热量比率表

Tab.4 The ratio of recyclable heat under three conditions

计算 方法	占地热资源量比例 (1/万·a)			占可回收热资源量比例 (1/万·a)		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
热储层						
明化镇组	1.258	16.831	0.024	5.031	67.324	0.095
馆陶组	1.440	16.139	0.115	5.761	64.555	0.460
东营组	1.346	18.682	0.013	5.383	74.729	0.051
奥陶系	0.187	16.560	0.073	1.244	110.401	0.484
寒武系	0.144	16.207	0.082	0.962	108.051	0.548
雾迷山组	0.179	16.107	0.210	1.192	107.379	1.400
孔隙型合计	1.320	16.795	0.050	5.281	67.182	0.200
裂隙型合计	0.177	16.239	0.159	1.179	108.259	1.058
总计	0.719	15.972	0.107	3.643	80.883	0.542

事实上,根据天津自2001年开始积累的长观资料,近13年开采的地热流体量总计 $3.48 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图2)。若以2013年孔隙型/裂隙型的开采比例计算,地热流体利用温度均至 13.5°C ,那么天津13年共回收热量约 $9.06 \times 10^{16} \text{ J}$,仅占热储层地热资源量的万分之一,占可回收地热资源量的万分之五。如何最大限度地利用地热资源量将成为以后研究的重点。根据相关资料证明,回灌可以极大地提高地热资源利用率,而且回灌对于维持或恢复热储压力,稳定地热田的开采条件,具有重要意义^[7]。同时也是保持地热资

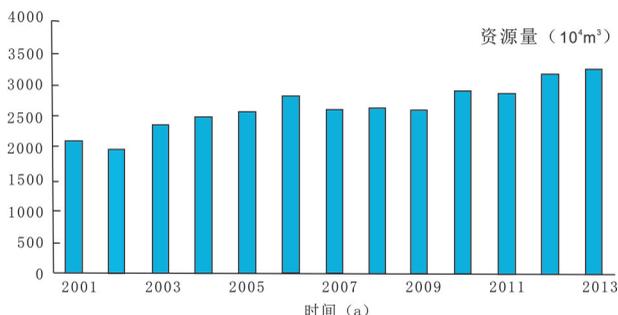


图2 开采量多年统计图

Fig.2 The statistic map of exploitable reserve

源可持续发展的有效手段之一。

4 地热资源可持续开发策略

根据以上分析可知,孔隙型热储层和基岩裂隙型热储层因为物性特征及空间分布的不同而致其赋水性和赋存热量有较大差异。天津孔隙型热储层的地热流体静储量占94%、基岩仅占6%;而热储层热量相应地分别为47%、53%。在目前的地热资源赋存状况及回灌条件下,对不同类型的热储层应制定不同的开发策略。

4.1 孔隙型热储层

根据地下水侧向径流的特点及地下水动力学理论可知,合理布置井位,在开采等量地热流体的情况下,使区域水位缓慢下降而可避免形成局部的较大漏斗,回灌对于维持或恢复热储压力,稳定地热田的开采条件,具有重要意义^[7]。也可以避免应“过量开采地下水,破坏地层内的应力平衡”,“出现压缩变形而引起地面沉降”^[2]。在孔隙型热储层、尤其是明化镇组热储层成层状连续分布、温度较低、回灌困难的情况下,合理布置井位是保持地热资源可持续开发利用的较优措施。

4.2 基岩裂隙型热储层

因为基岩较低的裂隙率和储厚比(表1),其储水空间有限,但巨厚的基岩层是热的良导体及存储空间,利用其良好的回灌效果,以水为载体,可以做到只取热不取水,所以对井采、灌系统和地表水集中回灌是保持基岩地热资源可持续发展的有效手段。

5 结论与建议

(1)利用规范中热储法所计算的地热资源量是以 13.5°C 为基准温度,实际上不可能将热储温度降至此温度,所以该计算方法更偏重于一种理论应用,其了解地热资源的分布状况具有理论意义、对制定开发政策具有指导意义。实际生产中通过地热流体开采而利用的热量只占储层热量的极小部分。

(2)根据天津监测数据统计,孔隙型地热流体的实际年开采量远小于利用开采系数法计算的地热流体可采量,考虑实际监测数据和理论计算的偏差,笔者认为孔隙型所取的 $0.0003/\text{a}$ 明显偏大,此值应随着热田的开采年限增加而减小,因为水位埋深的增大显然影响了同一热储层的出水能力;基岩裂隙型所取的 $0.0002/\text{a}$,目前基本合理。

(3)针对天津地区孔隙型热储层地热流体储量丰富、温度低、水质好、难回灌、水平连续分布的特点,可以开凿单采井,但应充分考虑井位布局。针对基岩裂隙型热储层裂隙率低、温度高、单井出水量大、易回灌等特点,要严格执行对井审批制度,做到“只取热、不取水”。

(4)回灌可以极大地提高地热资源利用率。在鼓励企业加大回灌力度的同时,应加强政府引导,充分发挥市场作用,推动地热科学开发利用^[8];国家应给予适当的资金支持^[9]和一定的优惠政策。

参考文献:

[1]侯福志,李四光与天津地热会战[J].地热能,2010,(6):23-25.

[2]胡燕,林黎,林建旺,等.天津市地热资源可持续开发潜力评价报告[R].天津地热勘查开发设计院,2007.

[3]于彦,刘杰,康楠,等.地热流体水化学特征与地质构造关系的Q型聚类分析[J].水文地质工程地质,2013,40(3):131-135.

[4]地热资源评价方法(DZ40-85)[S].

[5]张中祥,韩建江,徐健,等.沉积盆地型层状热储可采资源量计算方法探索[J].水文地质工程地质,2005,32(1):73-77.

[6]地热资源管理法规文件汇编[M].

[7]刘久荣.地热回灌的发展现状[J].水文地质工程地质,2003,30(3):100-104.

[8]李秀芬,王健,孙君.冰岛地热资源管理对我国地热发展的启示[J].矿产保护与利用,2014,(6):6-9.

[9]武选民,柏琴,苑惠明,等.冰岛地热资源开发利用现状[J].水文地质工程地质,2007,34(5):1-2.

Practical and theoretical calculation comparative study on the geothermal resources development in Tianjin

YU Yan, QIN Li-hong, LIN Wei, KANG Nan, LIU Jie, MENG Xiang-bo

(Tianjin Institute of Geothermal Exploration and Development Design, Tianjin 300250, China)

Abstract: It is great necessary to study the geothermal development potential in Tianjin since it contains abundant geothermal resources. In this study, we analysed geothermal reserve, geothermal fluid reserve and recycled geothermal reserve of the six reservoirs, which are lower than 4 000 meters by geothermal reserve method. Based on the actual production in 2013, we applied to production coefficient method and heat balance to calculate the geothermal fluid production under various conditions. We found that the actual production is significantly smaller than the theoretical values. Artificial reinjection can increase the use ratio of the geothermal resource.

Key words: development potential; geothermal reserve; geothermal fluid reserve; recycled geothermal reserve; re-injection