

西安地下热水开采现状与合理开发利用探讨

金海峰<sup>1</sup>, 张益谦<sup>2</sup>

(1. 陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 西安市的热水井井深较大, 投资费用高, 延长地热井的使用寿命, 对经济合理的开发地下热水则十分重要。根据对西安市多年地下热水动态的监测资料分析, 西安市的地热井水头下降速度过大, 尤以第三和第四热储层段更大, 年均下降 10 余米, 个别甚至达到 37 m。依据地下热水的埋藏特征和各井的分布及开采量情况分析, 造成上述现象的主要原因是由于井距较近、开采层段集中和单井开采量过大所致。为使西安市的地下热水能可持续开发利用, 提出合理布井、限量开采及地下热水的回灌等措施。

[关键词] 地热田; 埋藏特征; 开发利用现状; 合理开发; 西安

[中图分类号] P641.5 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)03-0040-04

[作者简介] 金海峰(1954—), 男, 陕西礼泉人, 高级工程师, 现从事地质环境监测研究工作。

地热是中国 20 世纪 70 年代新开发的一种清洁能源, 其研究领域已拓展到了对热储工程、尾水回灌与综合利用的应用与开发, 通过实践, 掌握了一套热田评价和合理开发、资源保护、环境保护的方法。

西安地区地热勘察始于 20 世纪 70 年代, 开采则起步于 80 年代, 90 年代地热开发利用发展迅速, 现已初具规模。全地区现有地热井 130 余眼, 仅西安市区就达 70 余眼, 遍及全市。现年开采地下水超过  $300 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 约占全地区采水量的 60%, 取得了一定的经济效益和社会效益。然而, 西安市地热资源开发利用仍处于早期阶段, 由于对一些问题认识不足, 开采不合理, 导致水位大幅度下降, 水量衰减。因此, 西安市地下热水可持续开发利用已引起人们的高度关注, 近年来各方面的研究力度在不断加大。笔者曾参与了西安市地下热水动态等研究工作。

1 地热资源概况

西安市地热资源涉及范围西起泾河、东至灞河, 北临渭河, 南部以临潼—长安断裂为界, 面积约 466.6 km<sup>2</sup>; 热储深度为 2 500 m 以内, 主要是

1 800 m 以内的热储层段。

区内地热资源赋存于新生界碎屑岩类, 砂岩是主要的富水层段, 热储类型属中低温孔隙裂隙型。第四系秦川群为热储盖层, 其下三门组( $Q_{1s}$ )、第三系张家坡组( $N_{2z}$ )、蓝田灞河组( $N_{2l+b}$ )、高陵群( $N_{1gl}$ )为 4 个热储段, 各热储段在平面上的分布比较稳定, 均属层状, 埋深及厚度如表 1。

表 1 各热储层段埋深及厚度

Table 1 Depth and thickness of geothermal aquifers

层段	顶板埋深/m	厚度/m	地层时代
1	311.5~806.5	96.7~475.5	三门组 $Q_{1s}$
2	511.0~1 282.0	412~1 027.0	张家坡组 $N_{2z}$
3	923.0~1 747.0	373~1 025.0	蓝田灞河组 $N_{2l+b}$
4	1 595.0~2 391.0	711.6~	高陵群 $N_{1gl}$

各热储层段由于在总地层厚度中砂岩的厚度与粒度的差别, 其富水性能差异较大: 第一热储层段( $Q_{1s}$ ), 厚度相对较薄, 但砂层颗粒较粗, 砂厚比较大, 富水性强; 第二热储层段( $N_{2z}$ ), 岩性为泥岩与砂岩互层, 砂岩颗粒较细, 厚度小, 中等富水; 第三热储层段( $N_{2l+b}$ ), 岩性为泥岩与砂岩互层, 但砂岩颗粒较粗, 砂岩厚度及砂厚比相对较大, 富水性较强; 第四热储层段( $N_{1gl}$ ), 所揭露的地层是以泥岩为主, 夹薄层细砂岩及中粒砂岩, 砂岩厚度及砂厚比均较小, 富水性弱。各层段砂岩厚度、渗透系数及涌水量如表 2。

表 2 热储层段富水性评价  
Table 2 Assessment of the hydrogeological characteristics of the geothermal aquifers

热诸 层段	砂岩厚度 /m	渗透系数 /(m <sup>2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	单井涌水量 /(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	富水性 评价
1	7.5~180.6	0.96	94.9	强富水
2	4.9~158.1	0.14~0.3	22.5~34	中等富水
3	93.7~278.8	0.2~0.57	28.8~91.1	较强富水
4	81~	0.07~0.24	8.04~21.1	弱富水

据计算,城郊区 466.6 km<sup>2</sup>, 2 500 m 深度以内热储层的地热总资源量为 2.108×10<sup>19</sup>J,折合标准煤 7.18×10<sup>8</sup> t,热水井水温 40℃~104℃。地下热水可采总量为 5.31×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>;其中第一热储层段为 2.86×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,第二热储层段为 0.88×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,第三热储层段为 1.26×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,第四热储层段可采量为 0.31×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。

根据同位素特征分析和<sup>14</sup>C测定,区内地下热水为大气降水补给,第三系地层内热水的年龄为 1.6~3 万年左右。

根据初始水位分析,区内地下热水流向的总趋势为由 SW 向 NE,受开采和构造断裂的影响,局部地段方向可能发生变化。

2 地下热水开发利用现状

(1) 地热井分布特征。据统计,自 1973 年至今已竣工地热井 70 眼,其中 1973 年至 1989 年间竣工的地热井仅有 6 眼;1993 年至 1996 年间竣工的地热井为 35 眼,1997 年至今已竣工地热井 29 眼。

地热井分布为:南郊 22 眼、东郊 21 眼、北郊 16 眼、西郊 10 眼,城区仅有 1 眼。

(2) 地热井深度与取水段特征。区内地热井深度区间为 1 103~3 900 m,深度主要集中在 1 700~3 000 m,其中井深<1 200 m 的只有 1 眼,1 200~1 700 m 的 9 眼,1 700~2 000 m 的 26 眼,>2 000 m 的 30 余眼。目前最深的井位于西南郊,深 3 900 m,开采深度 2 871~3 900 m。

各地热井的开采层段不同,主要开采第三系地层中的热水,单一热储层段的地热井较少,多为混合层段。蓝田灞河组(N<sub>2</sub>l+b)是最主要的开采层段,近年来第四热储层开采量有增大之趋势。

(3) 地下热水开发利用现状。在西安地热井

中,用于地震监测及其他原因未开采的井有 7 眼,其余 63 眼井不同程度地被开采。在开采井中,目前用于医疗洗浴并开展游泳健身、旅游度假的地热井占绝大多数,约 50 余眼,不同程度地综合用于供暖、洗浴的地热井 20 余眼。

自 1994 年 7 月起,对已投产地热井的开采量进行了监测统计工作,当时开采的地热井已有 7 眼,12 月底已增加到 9 眼。1995 年开发利用的地热井有 17 眼,1997 年为 36 眼,1999 年增加到 51 眼,到 2000 年,投入开采使用的地热井约 54 眼。据已统计的水量监测资料,经综合分析初步估算,1994 年开采量约 30×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,1995 年开采量约 90×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,1996 年开采量约 180×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,1997 年开采量约 200×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,1998 年开采量约 240×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,1999~2000 年每年开采量均超过 300×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,目前可达(320~350)×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。

上述统计资料说明,地下热水开采井数及采水总量在逐年增加,平均年单井开采量亦由不足 3.5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup> 增大到约 6×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,呈逐年增加之趋势。

3 地下热水水位动态规律

多年来,西安地热田各热储开采层段水头呈持续下降趋势。由于各开采层段开采井数、井的密度、开采量以及透水性的差异,下降幅度不同。各层段代表井的水位变化如表 3。

表 3 多年年平均水头变化  
Table 3 Average decreasing rates of some geothermal wells in Xi'an

热储 地热 层段 井号	年平均水头埋深 /m						下降值年均降速	
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	/m	/(m <sup>2</sup> a <sup>-1</sup> )
2	XR16	16.84	22.00	18.44	20.84	24.62	36.85	20.01 4
	XR17			6.42	10.12	13.49	13.67	7.25 2.42
3	XR21		9.56	20.48	38.79	78.77	117.35	107.79 26.95
	XR14	+9.62	+3.76		46.34	67.51	95.86	105.48 21.1
	XR31		5.67	15.94	29.83	51.42	73.44	68.66 17.17
	XR32		31.12	51.42	80.64	93.74	110.14	79.02 19.76
	XR23	17.38	47.54	75.73	78.84	88.56	107.35	90.24 18.00
	XR18	23.76	33.17	48.36	65.91	74.68	107.43	83.67 16.74
4	XR36		+10.30	39.08	101.93	124.71	137.98	148.28 37.07

从表 3 可知:

(1) 目前西安市地下热水水头总体呈持续下降趋势。

(2) 第三和第四热储层的水头下降过大, 一般超过 70 m。

(3) 各井平均年降速也过大, 均超过 15 m。

(4) 除了 XR36 井在 1999 年后调低开采量, 其后下降趋势减小外, 其余各井的水位下降速率逐年增大。

(5) 水头下降值是第四层段最大, 其次是第三层段, 而以第二层段最小。

## 4 存在问题

西安地热资源由于开发太快, 使科学评价地热资源及合理开发利用规划在一定时期内落后于实际开发利用, 因此, 在地热资源的早期开发利用中, 难免会存在一些问题。

(1) 地热井分布不均匀, 井位相对集中。主要集中在东、南郊经济文化发达区, 分别达 21 和 22 眼井, 间距大多为 2~3 km, 个别井间距仅为 0.5~1.5 km。由于井距较近, 加大井间干扰, 地下热水经多年开采已引起水头大幅度下降, 形成的开采降落漏斗有逐年不断向纵深发展与扩大态势, 而且漏斗中心的位置也随之发生变化。如 1998 年漏斗中心在 XR32 井, 水头高程 348.13 m, 而到 1999 年后漏斗中心向东北位移约 1 km, 在东郊已形成了以 XR21 井为中心的开采降落大漏斗。漏斗中心水位: 1999 年 328.18 m, 2000 年 291.27 m, 分别较 1998 年下降了 38.56 m 和 75.47 m。

由于水位大幅度下降, 导致部分地热开采井水量骤减, 出现抽空或频繁换泵现象, 加重了企业的负担及开采费用。

(2) 地热井深度及开采段过于集中, 分层开采不够。已竣工地热井约 60% 以上的井深在 1 200~2 500 m 之间, 开采层段多集中在上新统张家坡组 ( $N_{2z}$ ) 和蓝田灞河组 ( $N_{2l+b}$ ) 热储层段。采水段长度普遍较长, 一般在 500 m 左右, 个别井可达 900~1 000 m。由于开采层段集中, 加剧了水头下降速度, 尤其是近几年开采蓝田灞河组 ( $N_{2l+b}$ ) 下部和高陵群 ( $N_{1gl}$ ) 热储层段的 2 500 m 深度以内的地热井, 水头下降幅度更大, 地热井水头埋深普遍大于百米, 个别水位埋深可达 150 m 左右, 减少了地热

井使用年限。

(3) 地热资源开发利用单一, 能源浪费严重 区内地下热水目前主要用于洗浴健身, 部分用于供暖、养殖等, 尚没有实现梯级开发、综合利用。弃水排放温度普遍  $> 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 使有限的地下热水资源浪费现象较为严重。

(4) 环境影响研究滞后。利用地热水采暖代替燃煤锅炉供暖, 对降低空气粉尘、改善空气环境起到一定作用, 但地热开发对其他环境的影响, 目前尚未研究。

## 5 合理开发与可持续利用建议

综上所述, 西安市地热水年龄约为 1.6~3 年左右, 几乎是不可再生地有限地宝贵资源, 然而在开发利用过程中尚存在诸多问题, 为了使西安市地下热水资源得到持续开发利用, 建议采取以下措施:

(1) 加强对热储基本条件及有关理论研究。导致现今西安市地热开发中出现的一系列问题, 其实质是由于对基本条件认识并不完全清楚, 因而造成对井数量及开采层位的决策不力, 为此需投入一定的勘探工作量, 研究基本条件。另外, 对地下热水资源和地热能资源计算理论与方法应进一步探索完善, 调整修正地热资源的可采量, 为地下热水的合理开发与可持续利用提供基础性资料。

(2) 地热水资源管理有待加强。要结合地下热水动态监测资料, 严格按照“西安地热资源开发利用规划”及有关规定布设地热井, 使井位适当, 分层开采, 目前应特别控制开采第三热储层新井的审批。要从技术、经济、法律、行政、教育和政策等方面提高管理水平, 进一步完善各种规章制度及管理措施, 通过地热井的监测、模拟、预测, 有效控制地热水的开采量, 为西安地热水资源管理逐步走向科学化奠定基础。

(3) 实行梯级开发, 提高综合利用率。近年来地热井数量与开采量逐年增加, 虽然开发项目增多, 但梯级开发、综合利用率相当低, 采暖尾水直接排入下水道或高温水自然散热与机械散热后洗浴, 既对周围环境产生不同程度地热污染, 又浪费掉宝贵的资源, 因此要在地热水的综合利用上下功夫。如直接供暖的单位其尾水补充其他单位的供暖锅炉等, 既可充分利用热能, 又可节约水资源。同时

加强对低温水的直接利用途径的研究, 使开发出的地热水资源得到充分利用。

(4)开源节流, 限量开采。西安市的热水井普遍较深, 成井费用高, 而且成井时多采用在 300 m 深度左右变径结构, 如以每年几十米的速度下降, 一眼热水井的使用寿命可能不到 10 年, 对企业造成大的损失。为了地下热水的可持续开发利用, 提高热水井使用年限, 科学限量是必要的。对部分年开采量大、水头下降快的地热井, 要实施限量开采, 实行以供定需, 优化配置, 节约保护地热水资源。

(5)地热田回灌试验势在必行。地热资源是有限的、不可再生的宝贵资源, 结合西安地下热水水位下降过快的现实, 有必要进行回灌, 而且应尽早做好这方面的试验研究工作。通过试验研究, 确定相关参数、方法, 为以后实质性的回灌寻求经验与依据, 充分发挥地球这一巨大热库的作用, 使西安市的地热资源实现长久利用, 最大限度地发挥其社会效益和经济效益。

(6)注重加强研究地热开发中的环境效应问

题。在西安虽有 1 500 m 深的地热井成井后, 考虑到对大雁塔的影响而未开采的实例, 对此学术界尚有争论, 但在开发利用中是否会诱发或加剧地面沉降和地裂缝等地质灾害, 地热尾水高温排放是否会造成热污染等, 目前并不清楚, 因此对地热开发中的环境效应问题应开展深入研究, 以防患于未然。

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 谢振乾. 论西安市地下热水资源的开发与管理[ J ]. 陕西地质, 1999 17( 2 ): 72 ~ 76.  
[ 2 ] 李喜安, 刘玉洁, 蔚远江, 等. 西安地区地下热水资源开发利用现状及展望[ J ]. 水资源保护, 2003 ( 3 ): 50 ~ 52.  
[ 3 ] 谈树成, 薛传东, 赵筱青, 等. 昆明盆地地下热水资源可持续利用研究[ J ]. 云南大学学报(自然科学版), 2001, 23(4): 310 ~ 315.  
[ 4 ] 何京生. 地下热水开发的几点商榷[ J ]. 四川地质学报, 2002, 20(2): 140 ~ 143.  
[ 5 ] 何满潮, 刘斌, 姚磊华, 等. 地下热水回灌过程中的渗透系数研究[ J ]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(4): 324 ~ 377.  
[ 6 ] 陕西工程勘察研究院, 陕西地质环境监测总站. 西安地热水源开发利用规划[ R ]. 西安: 陕西地质环境监测总站, 1998

Current state of geothermal water use in Xi'an  
and Its reasonable exploitation

JIN Hai-feng<sup>1</sup>, ZHANG Yi-qian<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Institute of Geo-environmental Monitoring, Xi'an 710054, China;

2. School of Environmental Science and Engineering Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** It is important to expand the life of geothermal wells in Xi'an, because depths of the wells are relatively big, and the drilling investment is comparatively high. According to the monitoring results of geothermal water heads, the decreasing rates of geothermal water heads in Xi'an are too fast, especially the third and fourth geothermal reservoir, their average decreasing rate is more than 10 m/yr, and the biggest one reached to 37 m/yr. It is found from the analysis of the characteristics of geothermal reservoirs, the distribution and the pumping rates of the wells, the reason for this is that the wells are too close, the exploitation is too centralized, and the pumping rates are too high. For the sustainable exploitation of geothermal waters in Xi'an, the measures of reasonably distributing geothermal wells, limiting the pumping rates as well as artificial recharge of geothermal waters should be taken.

**Key words:** geothermal field; characteristics of geothermal aquifer; status quo of exploitation; reasonable exploitation; Xi'an

[ 英文审定: 苏生瑞 ]