

天津地热资源现状与可持续性开发利用问题

马凤如¹，林黎¹，王颖萍²，程万庆¹，赵苏民¹

(1.天津地热勘查开发设计院，天津 300250；2.河北省水利水电勘测设计研究院，天津，300250)

摘要：天津地区地热资源十分丰富，至 2005 年底，已有地热井 269 眼，年开采量 2564 万 m³。但地热资源利用率最高为 62.4%，地热尾水回灌率不到 8%，是一种粗放的开发利用模式。笔者从实现地热资源可持续开发利用角度出发，针对天津地区不同热储层的特征，在阐述天津地热资源开发利用现状的基础上，针对所存在的缺乏统一规划、地热利用率低和回灌量少等问题，针对不同的开采类型区制订了相应的保护措施及保护目标，提出了分区管理、总量控制、强度控制、利用方式控制和优化配置的保护原则，为有限、宝贵的地热水可持续开发利用提供技术保证；并提出地热资源必须走回灌开发道路，增加回灌井，提高回灌率是实现地热资源可持续开发利用的重要保障。

关键词：地热资源；开发利用；回灌；保护对策；天津市

中图分类号：P641.25

文献标识码：A

文章编号：1672-4135(2006)03-0222-07

1. 地热资源概况

在华北断陷盆地，地下蕴藏着丰富的地热资源。通过普查，在宁河-宝坻断裂以南，天津地区地热资源分布面积达 8 700 km²，据估算全区可采资源量 85.41 × 10⁸ m³，按盖层平均地温梯度大于 3.5 °C/100 m 划分，共圈定了 10 个地热异常区，中低温地热资源十分可观^[1]（表 1，图 1）。

表 1 天津市地热异常区一览表

Table 1 Geothermal anomaly areas in Tianjin City

地热异常区	构造部位	行政区位置	面积 (km ²)	盖层最大地温梯度 (°C/100m)
王兰庄	双窑凸起	市区中南部及西区东部	534	8.0
山岭子	大、小东庄凸起	市区东北部，东丽区	315	8.3
万家码头	小韩庄凸起	津南区，大港区西部	235	8.8
潘庄	潘庄凸起	宁河县西部	610	6.9
周良庄	王草庄凸起	宝坻区东南部	180	5.5
桥沽	构造带	汉沽区北部	90	5.5
王庆坨	大城凸起	武清区西南部	114	5.0
沙井子	北大港凸起	大港区东南部	190	4.5
唐官屯	构造带	静海县南端	40	7.6
看财庄	构造带	汉沽区东部	20	5.5
¹ 合计			2328	

天津地热资源按其赋存特征划分为孔隙型热储和基岩岩溶裂隙型热储，二者顶板埋深多在 1 000 ~ 2 000 m 和 1 000 ~ 1 500 m 以下^[2]。天津目前地热探采深度已达 4 041 m，井口流体温度最高达 102 °C。截至 2005 年底，已进行勘查评价并经国家储量认定的有七大地热田：王兰

收稿日期：2006 - 07 - 10

基金项目：天津市地热资源开发利用规划研究（2003556）

作者简介：马凤如（1953—），男，高级工程师，长期从事地热资源勘查开发工作。

庄、山岭子、滨海地区、武清杨村、芦台潘庄、芦台含钴和万家码头地热田。按《地热资源地质

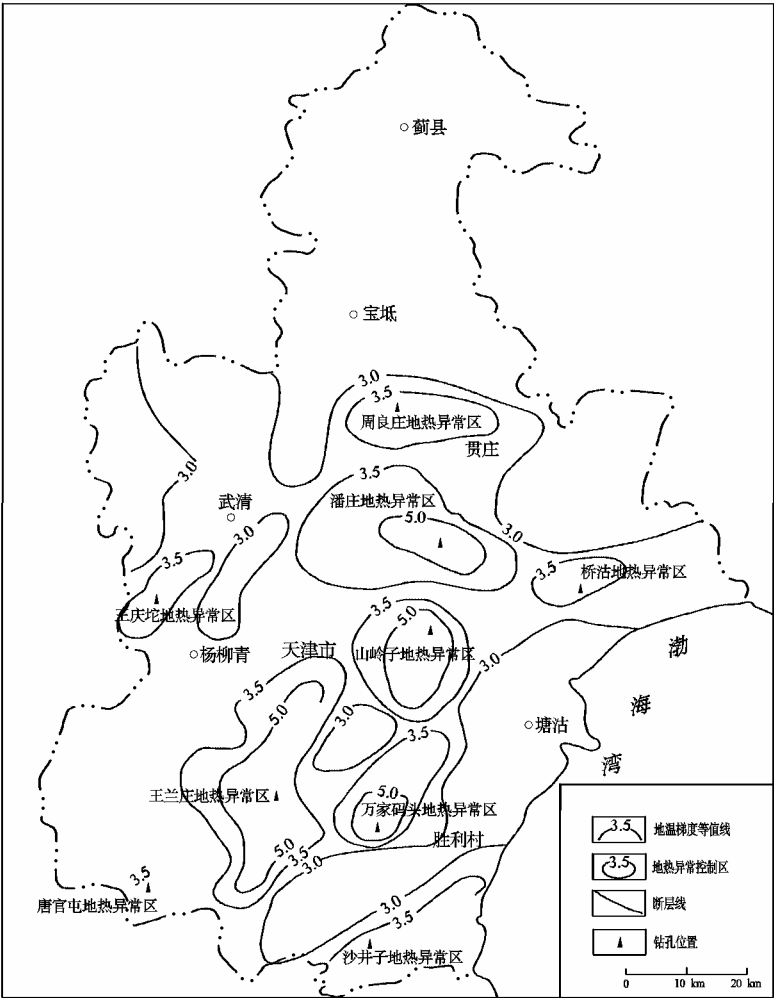


图 1 天津市地热异常区分布图

Fig.1 Distribution of geothermal anomaly areas in Tianjin city

勘查规范》规定，25℃ 地下热水为地热资源的低温下限^[3]，则上述七个地热田地热流体总可采量为 $7\,245 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ，其中新近系孔隙型热储地热水可采量 $5\,231 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ，基岩岩溶裂隙型热储 $2\,014 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

2．开发利用现状

上个世纪七十年代，天津开始了大规模开发利用地热资源，至今已形成了研究程度最深、开发利用规模最大的“地热城”。目前，天津地热开发利用主要集中在市区、塘沽、大港和武清城区。

2.1 地热井概况

据统计，截止 2005 年底，天津市共有地热井 269 眼，其中回灌井 14 眼。地热水年开采量达 2 564 万方，回灌量为 177.6 万方，占开采总量的 6.93%^[4]。各热储层地热井分布情况如表 2。显然：天津市地热开发目的层集中在明化镇组、馆陶组及雾迷山组三个热储层；回灌井主要分布于奥陶系和雾迷山组，且回灌井比例小；回灌量偏小，存在开采量与回灌量比例严重失调的现象。

2.2 地热资源利用现状

天津市地热水主要用于供暖、洗浴、生活用水、种植、养殖、矿泉水开发以及康乐旅游等领域。

(1) 供暖 目前,天津市有 116 个单位利用地热水进行居民采暖,供暖总面积 1000 万 m²,是我国利用地热采暖规模最大的城市。图 2 为各热储层供暖面积分布图。

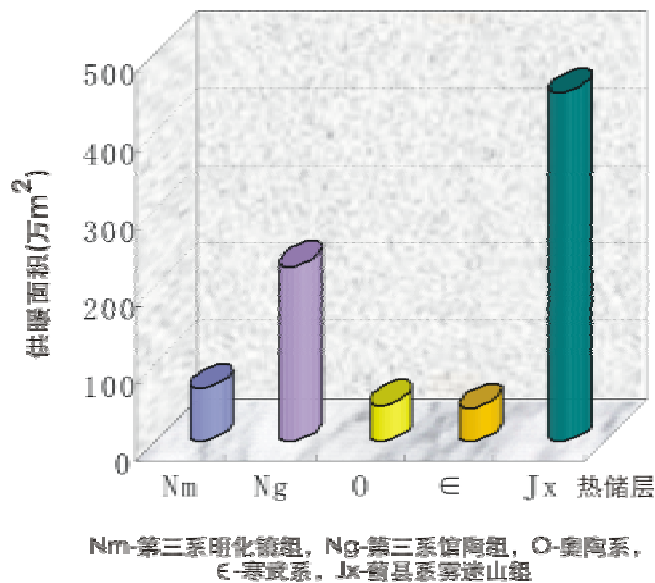


图 2 各热储层供暖面积分配图

Fig.2 The heating areas of different reservoirs

Nm. 明化镇组; Ng. 馆陶组; O. 奥陶系; E. 寒武系; Jx.. 蓟县系雾迷山组

表 2 2005 年各热储层地热井参数表

Table 2 The well information of the different reservoirs in 2005

热储层	井总数 (眼)	回灌井数 (眼)	温度范围 ()	开采总量 (万 m ³)	回灌总量 (万 m ³)	回灌量/开采量 (%)
明化镇组 (Nm)	81	0	42 ~ 72	768.9	0	0
馆陶组 (Ng)	95	2	46 ~ 80	722.4	0	0
奥陶组 (O)	12	1	53 ~ 62	107.9	59	54.68
寒武系 (E)	5	0	68 ~ 92	72.4	0	0
雾迷山组 (Jx)	69	11	75 ~ 95	891.9	118.6	13.29
总 计	262	14		2563.5	177.6	6.93

(2) 生活用水 据 2005 年统计,全市有 81.92 万户居民使用地热水,月平均 85 万人次利用地热水洗浴。由于明化镇组热储层地热水温度在 42 ~ 72 之间,平均温度 52.13 ,加之水质良好,被居民洗浴利用较广。

(3) 其它方面

21 家单位开发地热水用于温泉娱乐。

3 个较大型利用地热水进行农业种植的基地,种植面积 508.9 亩。

7 家单位利用地热水进行水产养殖,养殖面积 243.16 亩。

6 家单位利用地热水生产矿泉水。

16 家单位将地热水用于洗涤、印染、空调等工业生产上。

3 . 地热资源开发利用存在的问题

3.1 地热利用率低

由于各热储层的水温、流量、水质的不同,其地热利用率也存在差异。据统计,2005 年各热储

层地热尾水排放普遍在 40 左右，表 3 列出了各热储层地热尾水为 40 时的热利用率。从表中可以看出，尽管雾迷山组、寒武系及馆陶组水温较高，相对利用温差大，地热利用率也明显高于明化镇组与奥陶系，但地热利用率仅在 50.75 % ~ 62.41 % 之间，显然还十分低。

地热利用率低的主要原因是： 利用结构单一，地热资源消耗量大； 利用技术、工艺及配套设备尚需优化； 地热尾水排放温度过高。

3.2 回灌率低

回灌是将地热水中的热利用后，把原地热水回注到热储层。地热回灌的主要优点是将地热资源储量由静态变为动态，真正成为再生能源，同时有效地延长地热田生产寿命，避免尾水排放造成热污染及土壤污染^[5]。

表 3 2005 年各热储层地热利用率（ % ）
Table 3 The utilization efficiency of different reservoirs in 2005(%)

热储层		尾水排放温度（ 40 ）
新近系	明化镇组	26.19%
孔隙型	馆陶组	50.75%
基岩岩溶裂隙型	奥陶系	43.04%
	寒武系	62.41%
	雾迷山组	57.58%

天津市 2001 ~ 2004 年的地热回灌率分别为 6.58%、7.94%、5.33%和 6%。回灌率严重偏低，采灌失衡，导致热储层流体压力大幅度下降，形成区域性的降落漏斗。据监测^[4]，2002 年天津市新近系明化镇组、馆陶组、奥陶系、蓟县系雾迷山组的地热水水位降幅分别为 :2 ~ 2.8 m、1.6 ~ 10 m、1.6 ~ 3 m、2.6 ~ 13 m；2003 年降幅分别为：2 ~ 3 m、2 ~ 10 m、2 ~ 4 m、3 ~ 13 m，可见，若不增加回灌井，加大地热尾水的回灌量，各热储层将面临水位下降速率更快。

4．地热资源可持续发展原则

4.1 分区管理

针对每个热储层，利用实际水位埋深等值线，根据下列式子可计算分区界限指标：

$$\Delta H = H - H_0$$

$$L_0 = \Delta H / N$$

$$L_1 = 1.5L_0$$

式中： H 为保护期末地热水允许降幅，m；H 为保护期末地热水设计埋深，m；H₀ 为保护期初地热水埋深，m；L₀ 为保护期内地热水年允许降幅，m/a；N 为保护期，30 年。

考虑当前地热水开采的技术及经济条件，并避免因地热水位快速下降而产生环境水文地质问题，同时也防止保护期结束后地热井的报废，保护期末新近系水位设计埋深为 150 m、基岩水位设计埋深为 200 m。求得 L₀ 及 L₁ 后，根据实际水位下降速率等值线，划定开采区类型：L_f ≥ L₁ 为限制开采区；L₀ ≤ L_f ≤ L₁ 为控制开采区；L_f < L₀ 为鼓励开采区；探采结合区为资源待勘区。其中的 L_f 为实际水位下降速率，m/a。

按照该方法，根据上一年度动态资料，将每一热储层划分成四个开采类型区，作为本年度地热水保护依据。不同类型区应采取不同的保护方案。

4.2 开采总量控制

总量控制原则是指：同一热储层中，待批的地热井开采量与现有地热井开采量之和不应超过该热储层审批的年可采资源量。若年拟开采总量大于年可采资源量，原则上不予批准。战略性项目、市重点项目需要经开采布局调整，待具有储量可采空间后再行审批。资源待勘区范围内原则上允许新建项目，以便于探（查）明新的地热资源储量。

表 4 是经国家矿产储量委员会审批的分层年可采资源量，是新项目审批的总量控制条件。各热储层的年开采总量，不突破该层的年可采储量；已经突破的，即使局部开采强度不高也要控制审批，在保护期内达到总量控制不突破的要求。

表 4 天津可采地热资源量（万 m³/a）
Table 4 The exploitable reserves in Tianjin (10⁴m³/a)

热储层	明化镇组	馆陶组	奥陶系	寒武系	雾迷山组	合计
可采地热资源量	4081.6	1149.4	523.16	18.04	1 472.8	7 245

4.3 开采强度控制

强度控制就是根据各分区控制措施对该区域的水位下降速率进行调控。在满足总量控制的前提下，对照新项目所处的热储层分区类型，确定该项目的地热利用是否符合所在区域开采强度的控制条件，即“强度总量双控”条件。

4.4 利用方式控制

根据各热储层资源类型及特点，确定相对适合的利用方式，对新项目的利用方案经可行性论证后，确定批准与否。

明化镇组及馆陶组热储：适用于高级酒店、高档商住区的生活用水，温泉疗养、旅游度假，矿泉水生产等。禁止大规模供热，小规模供热（2 万 m² 以下）时必须利用热泵技术和采取回灌开发模式。一般居民小区不宜用地热集中供应生活用水。奥陶系热储：适用于建筑物的采暖，采用间接供热工艺，必须建设回灌式开发系统，必要情况下利用热泵技术，增大系统负荷能力；利用高矿水的特点，开发医学理疗项目。禁止该类高矿水直接排放，禁止采用金属管道输送该类地热水。寒武系热储：适用于建筑物采暖，采用间接供热工艺，必须建设回灌式开发系统，采取回灌开发模式（回灌量不少于开采量的 80%），必要情况下采用热泵技术，增大系统负荷能力和热利用率。供热规模不宜过大，以免资源量不足造成工程风险。原则上不用于普通民宅供热。一般居民小区不宜用该层地热资源集中供应生活用水。雾迷山组热储：适用于建筑物集中供热，必须建设回灌式开发系统，采取回灌开发模式（回灌量不少于开采量的 80%）；采取梯级综合利用方式，尾水可供生活用水与生产饮用矿泉水等。一般居民小区不宜用地热集中供应生活用水。

4.5 优化配置

地热资源的优化配置应遵循如下原则，通过科学配置地热资源，坚持科技创新，提高地热资源综合利用水平。

（1）战略性项目优先配置 战略性项目是指影响天津市社会经济发展的战略产业、城市发展新的空间和重大基础设施项目。为了配合社会整体经济发展要求，地热开发利用必须优先满足上述项目的需求。

（2）重要项目保证配置 重要项目是指在天津市社会经济发展中具有龙头作用的产业、影响城镇发展定位的工程项目以及标志性工程项目。为促进经济的快速发展，地热开发利用规划必须保证重要项目的需求。

（3）一般项目控制配置 为充分发挥地热资源在天津市社会经济发展中的效用，从地热资源的稀缺性方面考虑，应控制地热资源在一般项目中的应用，一般项目应优先考虑利用常规能源。

5．保护措施

针对四种开采类型区，分别实施如下保护措施。

5.1 限制开采区

(1) 总量控制措施 现有地热井要限量开采, 严格控制开采指标, 执行超采加价收费制度, 推广应用节能新技术。 禁止新增地热开采井, 鼓励增补地热回灌井。

(2) 利用方式控制措施 不具备回灌条件的原有地热井, 采用梯级、综合利用新技术、热泵技术, 进行系统改造, 提高利用率, 减少开采量。 无法建成回灌系统的单井系统, 地热尾水要充分利用, 提高尾水的重复利用率, 将排放量减到最低, 2010 年尾水直接排放量低于当年开采量的 50%, 2015 年尾水直接排放量低于当年开采量的 30%。 推进建筑节能措施的实施, 降低系统能耗, 节约资源, 减少开采量。

(3) 保护方式控制措施 具备回灌井施工条件的必须补建回灌井, 加大回灌量。 有城市热网条件的, 将供热负荷并入城市热网, 地热资源转为其他用途, 以发挥其更大的价值。③通过节能降耗和补建回灌井加大回灌量两种途径, 使水位下降速率过快情况得以缓解, 2010 年基本实现低于规划年下降速率的目标。

5.2 控制开采区

(1) 总量及强度控制措施 严格控制新井审批, 原则上掌握在采灌平衡条件下审批, 即新增项目资源消耗量小于该区域内增加的回灌量。 优先考虑战略性项目和市重点项目需求, 控制一般项目审批。 新增项目的审批要满足“强度总量双控”条件。

(2) 利用方式控制措施 采用梯级、综合、高效利用新技术, 提高资源利用率, 地热供热项目采用回灌开发模式。 原有地热井不具备回灌条件的, 进行系统改造, 地热尾水重复利用率达到 80% 以上, 排放温度达到规定标准。 生活用水限于公共建筑及高档商品住宅小区, 一般住宅小区禁止使用。④系统工艺技术要达到国内先进水平。

(3) 保护方式控制措施 新批地热供热项目必须采用回灌开发模式。 原有地热单井系统具备回灌井施工条件的必须补建回灌井, 加大本区回灌总量。 结合新项目需求, 采取组合方式, 建成采灌系统。即有条件情况下尽可能将新项目需求与原有单井系统组合成采灌系统, 既满足新需求又解决老问题。

5.3 鼓励开采区

(1) 开采强度控制措施 考虑到热储层对开采强度反应的滞后现象, 遵循稳步推开的原则, 使地热井布局科学合理。在建设规划程度较高地区, 完成区域开发利用规划, 不宜采取单一分散式开发模式。按照地热井合理间距及强度控制原则, 审批项目布局的合理性。 优先考虑建设规划程度高、集约化技术水平高、综合效益高的项目。

(2) 利用方式控制措施 采用梯级、综合、高效利用新技术, 提高资源利用率。地热采暖项目必须采用回灌开发模式。 新增项目要高起点、高水平、高效益。鼓励高附加值开发项目, 利用工艺技术应达到国内先进水平。 生活用水限于公共建筑及高档商住小区, 一般住宅小区禁止使用。

(3) 保护方式控制措施 有尾水直接排放的利用项目, 必须采取回灌开发模式。 避免出现地热井布局不合理现象。

5.4 探采结合区

探采结合区是指资源勘查程度低, 有待于进一步探明与评价的区域。

(1) 开采方式控制措施 结合市场需求, 鼓励开发项目利用地热资源。以“探采结合”的方式, 促进该区域资源评价与开发利用的同步发展。允许该区域内先布 1~3 眼勘探单井, 分步实施回灌, 同时开展资源勘查和评价工作。提交储量批准后, 根据储量情况将该区升级为其他类型区。 地热勘探井施工前, 必须依法办理打井审批手续。勘探工作要按照有关国家规范实施。

(2) 利用方式控制措施 在勘探井成井后, 根据资源实际情况确定, 利用方案与工艺符合综合、高效、节能要求。

(3) 保护方式控制措施 单井系统在建成规范系统投入使用后, 限期补建回灌设施, 提高资源利用率和资源保护程度。

6. 保护目标

(1) 提高热利用率 提高地热利用率，必须控制尾水排放温度：至 2010 年，60%地热站排放温度不高于 25℃；至 2015 年，75%地热站实现排放温度不高于 25℃；有条件的地热站，排放温度不高于 15℃。该目标首先在限制开采区强制实行，逐步向其他区域推广。

(2) 提高回灌率 在全市整个区域通过积极推行地热回灌开采模式来提高回灌率^[6]。至 2010 年，在所有对井回灌开采系统中，回灌率达到 70%；在地热供热系统中，回灌开采系统占供热系统总数的 15%，新增地热供热项目采灌系统为 100%；在地热资源开发总量方面，回灌率达到 25%；至 2015 年，在对井回灌开采系统中，回灌率达到 80%；在地热供热系统中，回灌开采系统占供热系统总数的 20%，新增地热供热项目采灌系统为 100%；在地热资源开发总量方面，回灌率达到 30%。

(3) 改造地热利用系统 一些传统地热站，某种程度上存在不合理、不规范的问题，必须有计划地进行改造，特别是要对资源浪费严重、效益低下的地热利用系统进行必要的强制性改造，并予以政策和技术支持。首先对限制开采区中的地热利用系统进行改造，至 2010 年 100%完成系统改造；控制开采区的改造工作要积极引导，至 2010 年 50%的地热利用系统完成改造，2015 年全部完成改造。鼓励开采区中多数地热项目为新建系统，要本着高起点、高标准建站，同时至 2010 年完成对个别老系统改造工作。探采结合区在审批时，要求按最新规范和技术标准建设。

(4) 改建动态监测网 目前，天津市地热井动态监测网在均衡、全面、稳定等方面存在问题。数据采集手段原始、效率低、受外界因素影响大、不能满足资源评价和规划编制的要求，故动态监测网布局调整和建设要纳入保护之中。采取动态监测“双轨制”，即传统的人工方法和自动化监测同时使用，避免由于自动监测技术方面的不稳定而丢失原始数据。；在自动化监测系统稳定性达到标准后，全面建立网络化、自动化监测系统，人工方法的重点是检查、补测、维护。2006 年对动态监测布局进行调整，满足平面均匀分布，纵向兼顾各热储的实际需要。④二年内完成动态监测网的布局调整和建设。

(5) 建设示范工程 地热资源的开发利用涉及众多领域，尤其是有些新技术、新工艺尚处于探索阶段，在发展中非常需要示范工程的带动。选择不同的热储类型扩大利用领域，建立起集约化利用方式的旅游、农业及医疗矿泉等地热示范工程 2 ~ 3 个，并在管理过程中以示范工程为样板，推广应用示范工程技术，起到以点带面，全面提高的作用。

(6) 加大地热资源勘查力度 依据《天津市矿产资源总体规划》的要求，加大地热资源的勘查力度。在探采结合区要进一步进行勘查工作，力争在探明 2 ~ 3 处大型地热田、2 ~ 3 处中型地热田的基础上，2010 年实现地热资源实际开采量 3300 万 m³。在限制开采区、控制开采区和鼓励开采区进一步加大科学研究工作。

(7) 落实生态环境保护 开发利用地热水可能会引发土壤盐碱化、热污染和地面沉降等环境问题。

土壤盐碱化 天津除部分区域奥陶系地下热水矿化度较高（4 ~ 5 g/L）外，其它地区地热水的矿化度均在 2 g/L 左右。因此，除部分区域奥陶系地热水外，天津市地热资源开发利用一般不会引发土壤盐碱化问题。对于矿化度较高的奥陶系地下热水，可采取回灌措施，避免对周围土壤环境的影响。

热污染 国家对热污染的界定标准是 35℃，目前天津市地热尾水排放温度均高于 35℃，存在热污染。解决办法有两种：一是采用地板辐射供热、热泵供热等新技术和新工艺，提高地热资源利用技术水平，降低地热尾水排放温度；二是采取回灌措施，不向环境排放。

地面沉降 已有研究成果表明，埋深小于 600 m 的地下水开采会引起地面沉降，600m 以下新近系热储及基岩热储的开采一般不会造成地面沉降。一般可通过回灌维持热储压力，以减缓地面沉降。

6 结论

天津地热资源开发利用存在缺乏统一规划、地热利用率低和回灌量少等问题，只有依据分区管理、总量控制、强度控制、利用方式控制和优化配置的保护原则，针对不同的开采类型区制订相应的保护措施及保护目标，并且地热资源必须走回灌开发道路，增加回灌井，提高回灌率才能实现地热资源可持续开发利用。

参考文献：

- [1] 董建军 李春华 王坤,等. 天津市地热资源开发利用规划技术报告[R]. 天津地热勘查开发设计院, 2004.
- [2] 陈墨香. 华北地热[M], 北京：科学出版社, 1988, 89-106.
- [3] 杨统桐、陈培钧、郑克联, 等. 地热资源地质勘查规范[GB 11615 - 89][M]. 北京：国家技术监督局, 1989.
- [4] 李俊, 阮传侠, 田光辉, 等. 2002 ~ 2005 年度天津地下热水动态监测年报[R]. 天津地热勘查开发设计院, 2005.
- [5] 蔡义汉. 地热直接利用[M]. 天津：天津古文出版社, 2004, 488-628.
- [6] 孙宝成, 曾梅香, 林黎, 等. 天津地热对井回灌系统中的同位素示踪技术[J]. 地质调查与研究, 2005, 28 (3): 187 - 191 .

Discussion on Sustainable Exploitation and Utilization of Geothermal Resources in Tianjin

MA Feng-ru¹, LIN Li¹, CHENG Wan-qing², ZHAO Su-min¹, ZHAO Sun-min¹

(1 . Tianjin geothermal exploration and designing institute, Tianjin 300250, China; 2. Hebei investigation design and research institute of water conservancy and hydropower ministry of water resources, Tianjin 300250, China)

Abstract: Geothermal resources is very rich in Tianjin, and exploited about 25.64 Mm³ every year. There has been 269 geothermal wells in the end of 2005. The highest use rate of geothermal resources is 62.4% and the re-injection rate of geothermal used water is less than 8%. Based on the present situation of geothermal development and the characters of different reservoir, analyses the problems such as lacking of use plan, the low geothermal use rate and the less re-injection amount, some proper using ways are put forward in order to realize the continual exploitation use of geothermal resources in this paper. These measures include the subarea management, the control of capacity and intension and utilization mode and the optimal allocation. According to the principles and the type of exploitations, some measures and objects are established to protect the limited and valuable geothermal resources to be exploited continually in the future. The paper points out that increasing the re-injection wells and enhancing the re-injection rate is the important guarantee to implement the continual exploitation use of geothermal resources.

Key words: Geothermal resources ; Tianjin; Exploitation; the use rate; re-injection; countermeasure