

# 油田产出水型地热资源利用探讨 ——以大庆油田为例

翟志伟, 施尚明, 朱焕来

(东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318)

**摘要:** 地热是一种清洁的可再生能源,随着传统能源的日益枯竭和人类对环境保护的意识增强,进入中高含水期后的油田在油气生产中携带的大量热能受到了人们的重视。论文以松辽盆地北部的大庆油田为例,根据含油气沉积盆地中地下赋存的载体不同将地热资源分为纯地下水型和油田产出水型地热资源两种。通过分析热源的形成机制,调查油田产出水型地热资源的利用现状,统计出大庆油田年油田产出水量为  $3.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,按照利用  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  温差的热能计算,相当于  $56.95 \times 10^4 \text{ t}$  标准煤的能量,潜力十分巨大,并比较了油田产出水型地热资源热泵供暖与传统锅炉供暖的设备成本和运行费用,以 15 a 为周期稳定运行可以节约  $572 \times 10^4$  元,经济效益也较为可观,而且地热资源清洁、环保、可循环利用,在油田实际生产中可广泛应用于生活设施等建筑的供暖,以及原油集输伴热等流程中。

**关键词:** 地热资源; 油田产出水; 沉积盆地; 热泵; 循环利用

**中图分类号:** TK529

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3037(2011)03-0382-07

随着人类社会突飞猛进的发展,生产生活中对能源的极大需求使得人们加快了寻找替代能源的步伐,来应对日趋紧张的能源危机。地热资源,作为一种清洁的可再生能源,由于其持续稳定、可直接利用、成本低等特点<sup>[1]</sup>,无疑将成为当代以“珍惜地球资源、转变发展方式、倡导低碳生活”为主题的能源“新贵”。

地热资源在广义上是指能够为人类经济开发和利用的地热能、地热流体及其有用组分<sup>[2]</sup>。而在含油气的沉积盆地中可以根据地下赋存载体的类型不同将地热资源分为纯地下水地热资源和油田产出水型地热资源两种类型。油田产出水系指地下含水原油经过脱油处理后形成的脱油热水,通常温度为  $35 \sim 42 \text{ }^\circ\text{C}$ ,是低温地热资源的一种特殊类型。

人类对纯地下水地热资源的勘探、开发及规模化利用已有百年多的历史<sup>[3]</sup>,从上世纪中后期开始,各国政府及组织机构就将寻求可再生的替代能源放在首要位置,而且一些跨国石油公司,如壳牌、优尼科、雪弗龙等公司在寻求可再生能源方面也走在世界前列,并且在许多国家建立了地热项目<sup>[4-5]</sup>。我国地热资源的利用从上世纪 70 年代初起步<sup>[6]</sup>,到 80 年代末取得了较大进展,但基本都是纯地下水地热资源的勘查及利用。目前我国年利用地热能约  $4.45 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,居世界第一位,而且每年以近 10% 的速度增长<sup>[7]</sup>。从 1998 年开始,施尚明等人才对松辽盆地北部大庆油田的非油区区块进行了详细的地热资源勘查及综合评价<sup>[8-9]</sup>,结果表明,在松辽盆地地下蕴藏着丰富的中低温地热资源。经过多年的地热开发项目建设,已见到了较好的经济效益及社会效益。

收稿日期: 2010-07-28; 修订日期: 2010-12-01。

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(ZJG0606-02); 国家自然科学基金项目(40872076)。

第一作者简介: 翟志伟(1982-),男,山西晋中人,在读博士,主要研究油气田开发地质及地热资源综合评价。

考虑到地热能源的探矿权和开采地热资源对油气生产可能带来的影响,在油田主力产区内一直没有进行过规模化的地热资源开发利用,但随着技术的不断改进,油田产出水型地热资源也可以为高含水期油田生产提供更多的能源补给<sup>[10]</sup>,使油田工业也能更加绿色环保。

## 1 松辽盆地北部地热资源地质特征

### 1.1 热源形成机制

大庆油田所处的松辽盆地北部地壳厚度较薄,莫霍面埋深相对较浅,在 29~33 km 之间,9~17 km 和 20 km 之下还存在两个低电阻率、低密度的高导层,可能是构造薄弱带,大庆地区刚好处在地幔高导层隆起区,上地幔高导层埋深在 60~70 km 之间<sup>[11]</sup>。这些都是导致松辽盆地高地温梯度及高大地热流值的深部原因,而且盆地基底广泛分布的华力西及燕山期花岗岩,含放射性元素高,放射性元素衰变过程中释放大量的热量,对现今地温场有一定的贡献;同时,基底深大断裂发育,可以成为深部热源的良好通道,对浅部地温场有重要控制作用。

### 1.2 热储特征

大庆油田地层自下而上发育石炭-二叠系基底,白垩系登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组、明水组,第三系和第四系。主要热储为姚一段、姚二三段、青二三段及泉三四段砂岩储层。热储层骨架颗粒主要由石英、长石和岩屑组成,其含量各层相差不大,其中石英含量 22%~37%,长石含量 26%~41%,岩屑含量 15%~38%,为岩屑质长石砂岩,杂基含量一般小于 10%,砂岩主要为粉砂岩和中砂岩,另外有部分细砂岩。主要为粘土矿物和方解石胶结,砂岩分选为中-好,储层的物性较好,利于地热资源的保存。钻遇主要热储层井深一般 1 200~1 800 m,温度在 50~70 °C 之间,2 300~3 800 m 的深部地层虽然砂砾岩热储厚度很大,而且裂隙发育,井底温度可达 80~120 °C 以上,但由于产水量偏低,目前技术经济条件下不利于开发。

根据前人的研究成果,结合热储层的分布,所处构造位置及产能、水性等因素,将松辽盆地北部的地热田初步划分为林甸地热田、杜尔伯特蒙古族自治县地热田、大庆市区东风新村地热田、大庆市让胡路区让西地热田(图 1)。

## 2 油田产出水型地热资源潜力

大庆油田原油开发已经到了高含水后期。笔者的统计结果表明,年油田产出水量呈上升趋势,1987 年,年油田产出水为  $1.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,而到了 2006 年,年油田产出水已达到  $3.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。年油田产出水上升过程可分为四个阶段:1987—1996 年为缓慢上升阶段,年平均油田产出水量增加  $514.67 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;1996—2001 年为快速上升阶段,年平均油田产出水量增加  $2\,621.53 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;2001—2004 年为又一个缓慢上升阶段,年平均油田产出水量增加  $454.79 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;2004—2006 年为中速上升阶段,年平均油田产出水量增加  $1\,446.23 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图 2)。因此,日益增长的油田产出水是地热资源开发利用的物质保障。据 2006 年 7 月至 2007 年 6 月统计:大庆油田日油田产出水约为  $109.14 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,年油田产出水约为  $3.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,在油田的实际生产中伴随原油的产出水温度也在 35~42 °C 之间,按提取 10 °C 度温差热能计,年油田产出水热能相当于  $56.95 \times 10^4 \text{ t}$  标准煤。通过油田产出水的日、月产量分配情况分析,老区的萨尔图、喇嘛甸、杏树岗油田是油田产出水的主要产区,占全油田总油田

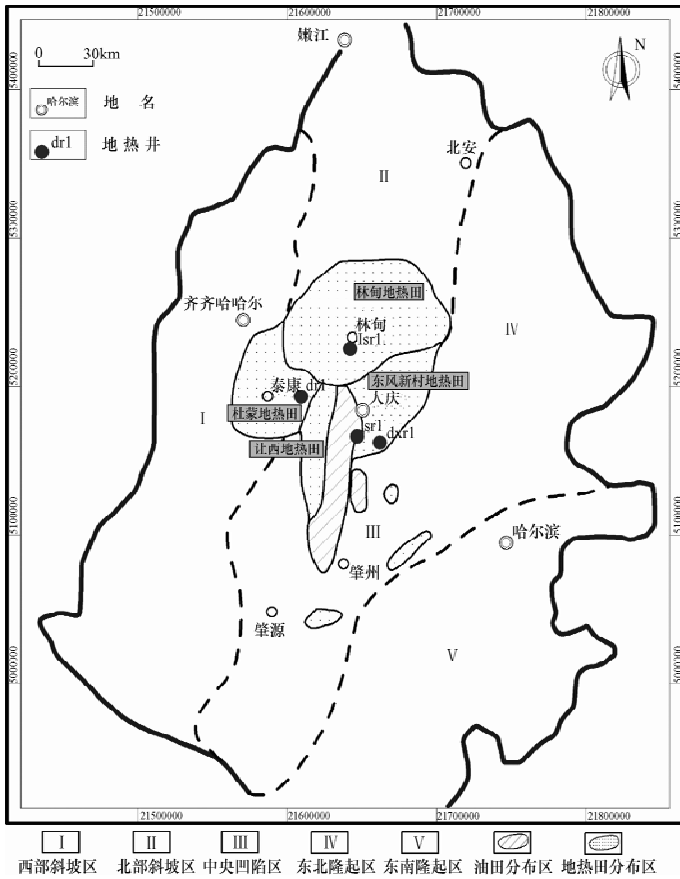


图1 松辽盆地北部地热田分布

Fig. 1 Geothermal fields distribution in northern Songliao Basin

产出水的 96.4%，因此，这些人口相对密集区将是油田产出水开发利用的主要场所。如果能将油田产出的热量加以利用，那么大庆油田地热资源的利用将有更加广阔的前景。

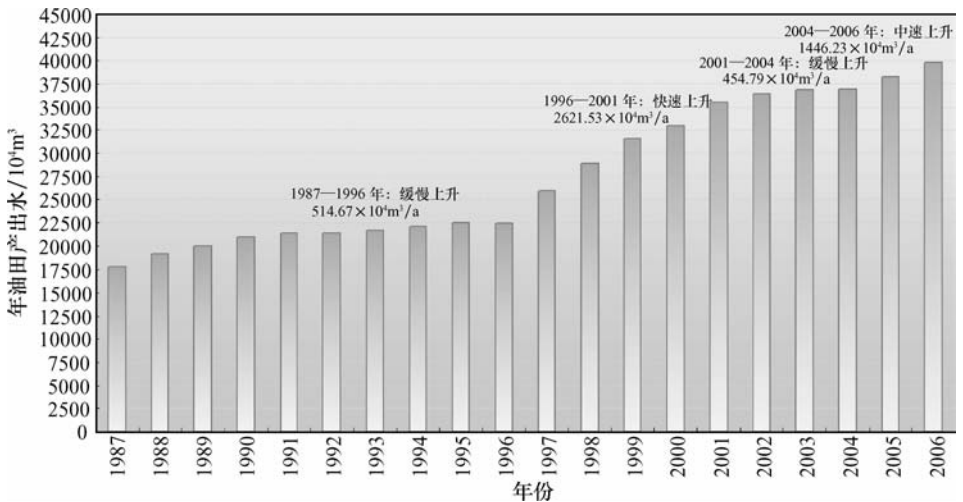


图2 大庆油田 1987—2006 年油田产出水变化趋势

Fig. 2 Variation trend of Oilfield production water in Daqing Oilfield during 1987 - 2006

### 3 油田产出水型地热资源利用调查

目前,大庆油田采用比较典型的三级布站石油生产流程,即石油从地下产出到地面后,需要经过计量站、中转站、联合站三级站后,才能成为成品原油输出,从产出到成为成品原油输出系统的过程中,有向井口提供热水、对油水混合液加热、对成品原油加热等三种用热需求,此外,还有生产厂矿的宿舍、值班房间、泵房等的采暖用热,目前这些用热需求都是由以天然气为燃料的加热炉提供的,消耗了大量的天然气。正是由于石油生产系统既存在大量的低温余热,同时又需要大量的温度较低的用热需求(温度高于余热温度 $30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),所以可以通过热泵技术回收余热,用于生产、生活过程,节约天然气消耗,获得经济效益<sup>[12-13]</sup>。

近几年来,大庆油田在利用地热资源供暖方面积极地开展了一些工作,利用地热资源解决了部分油田基础设施,如注水站、办公楼等的供暖,取得了很好的效果<sup>[14]</sup>。采油二厂南七联利用油田产出水作为低温热源,通过热泵技术取代锅炉,实现了全站的采暖。该供热系统于2001年12月完工并投入使用,从运行情况看,采暖效果较好,室温始终保持在 $18\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (室外温度为 $-10\sim -26\text{ }^{\circ}\text{C}$ );采油三厂采用水源热泵技术,利用油田产出水作为低温热量来源,油田产出水流量约为 $100\text{ m}^3/\text{h}$ ,为三厂机关楼、食堂、招待所、活动中心等单位供热和制冷,受益面积 $17\,218\text{ m}^2$ ;采油九厂采用了典型的地源热泵,通过埋地热交换器从土壤吸热或向土壤放热,现有2台热泵机组工作,为九厂地质大队、工技大队、设计规划所等单位供热和制冷,受益面积 $24\,546\text{ m}^2$ 。通过多年实践证明,油田产出水型地热资源的工业化利用技术可行、运行稳定,随着油田作业区的合理规划发展,油田产出水型地热资源的利用价值也将逐步显现。

### 4 油田产出水型地热资源利用探讨

石油是深埋于地下的宝贵资源,在石油生产过程中需要消耗大量的能源,因此,石油生产企业具有较大节能潜力。目前大庆油田原油开发已经进入高含水后期,每天产出约 $109.14\times 10^4\text{ m}^3$ 的油田产出水,水温一般为 $35\sim 42\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。利用热泵技术完全可以满足石油生产过程需要的大量 $70\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热水,用于原油集输过程掺水、脱水、生活采暖等。

在地热供暖方面,以采油二厂南七联油田产出水型地热资源的利用为实例,经过查询及统计,从南七联热泵采暖与锅炉房采暖的经济对比以及热泵与传统锅炉房采暖的消耗对比可以看出(表1),采用热泵与锅炉相比,虽然多消耗一些电,但可节约大量天然气,二者相抵

表1 热泵采暖与锅炉采暖的经济对比

Table 1 Economic contrast between heat pump and boiler heat supply

项目	热泵采暖	锅炉采暖
采暖负荷/kW	592.1	592.1
耗气量/ $(10^4\text{ m}^3/\text{a})$	0	32.6
耗电量/ $(10^4\text{ m}^3\cdot\text{h}/\text{a})$	45.26	12.1
耗气费用/ $(10^4\text{ 元}/\text{a})$	0	29.34
耗电费用/ $(10^4\text{ 元}/\text{a})$	20.14	5.39
生产维护费用/ $(10^4\text{ 元}/\text{a})$	0.55	1
人工费/ $10^4\text{ 元}$	0	27
费用合计/ $(10^4\text{ 元}/\text{a})$	20.69	62.73
使用寿命15 a 费用合计/ $10^4\text{ 元}$	310.35	940.95
初投资/ $10^4\text{ 元}$	165.6	107
初投资及15 a 费用合计/ $10^4\text{ 元}$	475.95	1 047.95

还相当于节约电能约  $130 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$ , 从而降低了运行和维护费用<sup>[15-16]</sup>。热泵采暖初投资比锅炉多  $58.6 \times 10^4$  元, 按节约的运行和维护费计算, 只需 1.39 a 即可收回投资。按运行 15 a 考虑, 热泵采暖总费用比锅炉节约  $572 \times 10^4$  元, 经济效益较为可观。而且热泵使用清洁的电力能源作为辅助能源, 不造成环境污染。并且与传统锅炉采暖相比, 地热采暖还具有以下硬件设施方面的优点(表 2)。

表 2 热泵采暖与传统锅炉采暖的设备需求对比

Table 2 Equipment requirements contrast between heat pump and boiler heat supply

项目	分类	水源热泵	燃煤锅炉
占地面积	需要机房		需要锅炉房
设备寿命	20 a		燃煤锅炉 10 a
水资源消耗量	利用地下水的热量采用回灌技术, 不消耗水资源		冬季锅炉的排污补水
驱动能源方式	冬季用电		冬季用煤
环境保护	无燃烧污染, 要注意避免回灌污染		有轻微燃烧污染, 要做烟囱
末端控制	风机盘管, 末端只能进行开关和风量控制, 启动慢		暖气片, 控制困难
备注	需要一定量的水资源		需要设置两套机组和人员, 运行维护复杂锅炉房, 需要设置自动安全报警装置

在原油集输方面, 联合站是热量消耗较大的一个环节。利用热泵技术将油田产出水温度提高后进入联合站, 首先给外输原油加热, 随后高温地热水又给站内热力系统换热, 为循环水提供热量。经两级换热后的地热水直接进入储油罐, 给含水原油加热, 与供暖组成一体系统, 减少了热损耗, 可以为企业节约大量的油气。以华北油田采油五厂荆二联为例, 停运了 3 台加热炉, 实现日节油 5 t, 节气  $3\,485 \text{ m}^3$ , 大庆油田目前 68 座联合站可以实现日节油 340 t, 节气  $23.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 经济效益显而易见。

大量的油田产出水型地热资源可以在不破坏油气生产的前提下替代传统锅炉为油田生产基础设施、办公场所及职工住宅等建筑物供暖, 还可以替代天然气加热炉或电加热炉为原油集输伴热, 降低原油粘度, 尤其在大庆这样的高纬度地区, 合理地利用油田产出水中的余热, 不仅能很好地满足油田上的生产、生活的供热需求, 而且在使用过程中也不消耗各种不可再生资源, 对水的利用也是循环利用, 对环境的损害也是轻微的, 在很大程度上可以替代传统的采暖所需的大量的不可再生资源。

## 5 结论

(1) 莫霍面埋深较浅及基底深大断裂是大庆油田地热形成机制的主要因素, 发育的姚一段、姚二三段、青二三段及泉三四段的厚层砂岩油气储层更有利于地热资源的储存, 当井深在 1 200~1 800 m 之间, 井底温度可达  $50 \sim 70 \text{ }^\circ\text{C}$ , 2 300 m 及更深处可以达到  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  以上, 完全可以作为中低温地热资源加以利用。

(2) 大庆油田日油田产出水约为  $109.14 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 年油田产出水约为  $3.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 日益增长的油田产出水是地热资源开发利用的物质保障。在油田的实际生产中伴随原油的产出水温度也在  $35 \sim 42 \text{ }^\circ\text{C}$  之间, 按提取  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  温差热能计, 年油田产出水热能相当于  $56.95 \times 10^4 \text{ t}$  标准煤。油田产出水型地热资源具有巨大开发潜力。

(3) 利用油田产出水的热泵技术在运行成本及能耗方面都较传统锅炉节省, 虽然初期

投资较大,但回收期短,长期效益可观。并且在设备寿命及热量控制方面都优于传统锅炉供暖,更为重要的是油田产出水型的地热资源合理利用不会造成环境污染,而且可以循环利用。大庆油田产出水的合理利用也为其他同类型盆地中的地热资源开发利用研究提供了借鉴的科学依据。

## 参考文献(References):

- [1] 黄索逸. 能源与节能技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 1-20. [HUANG Suo-yi. Energy and Energy-saving Technology. Beijing: China Electric Power Press, 2004: 1-20.]
- [2] 汪集喙, 马伟斌, 龚宇烈, 等. 地热利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. [WANG Ji-yang, MA Wei-bin, GONG Yu-lie, et al. Utilizing Technology of Geothermal. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.]
- [3] 林丽, 郑秀华, 詹美萍. 地热能源利用现状及发展前景[J]. 资源与产业, 2006, 8(3): 20-22. [LIN Li, ZHENG Xiu-hua, ZHAN Mei-ping. The utilization and development prospect of geothermal energy resource. Resources & Industries, 2006, 8(3): 20-22.]
- [4] Mark Milliken. Geothermal resources at Naval Petroleum Reserve-3 (NPR-3), Wyoming[C]//Proceedings, Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Stanford, California, January 22-24, 2007.
- [5] Tomasz Śliwa, Andrzej Gonet. The closing wells as heat source [J]. Acta Montanistica Slovaca, 2004, 9(3): 300-302.
- [6] 王贵玲, 张发旺, 刘志明. 国内外地热能开发利用现状及前景分析[J]. 地球学报, 2004, 21(2): 134-139. [WANG Gui-ling, ZHANG Fa-wang, LIU Zhi-ming. An analysis of present situation and prospects of geothermal energy development and utilization in the world. Acta Geoscientica Sinica, 2004, 21(2): 134-139.]
- [7] 石定寰. 我国地热年利用量居世界第一位[J]. 可再生能源, 2007(6): 119. [SHI Ding-huan. The facilitation amount of geothermal energy in China ranks first in the world. Renewable Energy Resources, 2007(6): 119.]
- [8] 施尚明, 孙小洁, 于清华. 松辽盆地林甸地区地温场特征[J]. 大庆石油学院学报, 1998, 22(4): 77-79. [SHI Shang-ming, SUN Xiao-jie, YU Qing-hua. Geotemperature field characteristics in Lindian region of Songliao Basin. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1998, 22(4): 77-79.]
- [9] 施龙, 李自安, 施尚明. 松辽盆地杜蒙地区地热田的形成及资源量[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(3): 26-28. [SHI Long, LI Zi-an, SHI Shang-ming. Geothermal reservoir forming and geothermal resources appraisal of Dumeng area in Songliao Basin. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2004, 23(3): 26-28.]
- [10] 王晶政, 王玉珍. 做好油田产出水这篇文章——一种经营管理新理念[R]. 石油科技论坛, 2005. [WANG Jing-mei, WANG Yu-zhen. Do good article of the oilfield produced water—A new management ideas. Oil Forum, 2005.]
- [11] 韩湘君, 金旭. 中国东北地区地热资源及热结构分析[J]. 地质与勘探, 2002, 38(1): 74-76. [HAN Xiang-jun, JIN Xu. Geothermal resource and thermal structure in northeastern China. Geology and Prospecting, 2002, 38(1): 74-76.]
- [12] 邓寿禄, 王强. 热泵系统应用于油田废水余热回收的探讨[J]. 现代测量与实验室管理, 2003(1): 21-22. [DENG Shou-lu, WANG Qiang. Discussion on recovery of residual heat of oilfield wastewater by heat pump system. Modern Measurement and Test, 2003(1): 21-22.]
- [13] George R Watzlaf, Terry E Ackman. Underground mine water for heating and cooling using geothermal heat pump systems [J]. Mine Water and the Environment, 2006, 25: 1-14.
- [14] 于海泉. 热泵技术在萨南油田的应用[J]. 油气田地面工程, 2006, 25(3): 30. [YU Hai-quan. Utilization of heat pump technology in Sanan Oilfield. Oil-gasfield Surface Engineering, 2006, 25(3): 30.]
- [15] 李新国, 赵军. 低温地热运用热泵供热的技术经济分析[J]. 太阳能学报, 2000(1): 447-450. [LI Xin-guo, ZHAO Jun. Feasibility of low temperature geothermal heat pump heating system. Acta Energetica Solaris Sinica, 2000(1): 447-450.]
- [16] 刘雪玲, 李宁. 低温地热水源热泵供暖技术[J]. 煤气与热力, 2004, 24(10): 567-569. [LIU Xue-ling, LI Ning. Heat-supply technology of water-source heat pump with low-temperature geothermal energy. Gas & Heat, 2004, 24(10): 567-569.]

# Discussion on Utilization of Oilfield Production Water Type Geothermal Resource —Take Daqing Oilfield as an Example

ZHAI Zhi-wei, SHI Shang-ming, ZHU Huan-lai

(Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

**Abstract:** Geotherm is a clean and renewable energy. With the increasing of traditional energy sources depletion and enhancing of human awareness to environmental protection, the huge heat energy carried by oil and gas production of middle or high water cut oilfield draws much attention. This paper takes Daqing Oilfield in the northern Songliao Basin for example, and divides the geothermal resources into pure underground water and oilfield produced water based on different vectors of geothermal resources in sedimentary basins with oil and gas. By analyzing the formation mechanism of the heat source, investigating current utilization of oilfield production water, the amount of oilfield production water in Daqing oilfield is  $3.98 \times 10^8 \text{ m}^3$  every year, equivalent to  $56.95 \times 10^4 \text{ t}$  standard coal in using  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  range of temperature terms, and has huge potential. By comparing the equipment and operating costs between heat pump heating used oilfield production water and traditional boiler heating,  $572 \times 10^4$  yuan are saved in 15 years by stable running, and the economic benefits are also considerable, and furthermore, geothermal resource can be reused to heat buildings of oilfield production and living facilities, as well as heat for crude oil gathering and transportation such as clean, environmental and recycling.

**Key words:** geothermal resource; oilfield production water; sedimentary basin; heat pump; circular utilization