

鲁北地区地热资源区划研究

王彦俊, 刘桂仪, 胡松涛

(山东省地矿工程集团有限公司, 济南 250013)

摘 要: 本文分析了新近系馆陶组热储、古近系东营组热储和下古生界寒武—奥陶系基岩热储三个热储层组, 认为这些层组属具有勘探和开发意义的热储目的层组, 特别是新近系馆陶组热储组具有良好的热储地质条件。并根据地质构造条件、热储类型、地温梯度特征进行了鲁北地热资源区划分。在地热资源区划区基础上, 按优先开发、次优先开发、一般开发、远景开发四级原则进行地热资源亚区划分, 将鲁北地热资源划分为 6 个区划区 16 个区划亚区。

关键词: 热储类型; 热储层; 热储条件; 地热资源区划

中图分类号: P314.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2008)02-0270-08

鲁北地热资源开发利用已形成了一定规模。但是, 仅在德州市城区局部做过详细的地热勘查工作^①, 其他大部分城区仅是以矿权调查为目的地热地质工作, 区域上也仅是以地热地质条件调查研究^②为目的地热地质工作, 研究程度较低, 远不能适应鲁北地热开发利用的需要。为适应鲁北地热资源开发利用的需要, 有效管理和指导鲁北地热资源开发, 2005 年山东省地质矿产勘查开发局向国家地调局提出“山东鲁北地热资源区划”项目立项。2006 年, “山东鲁北地区地热资源区划”纳入国家地质调查计划项目《全国地下水资源及其环境问题调查评价》的工作项目批准实施。由山东省地矿工程集团有限公司具体组织实施。鲁北地热资源区划范围为鲁北平原区, 行政区划包括聊城、德州、滨州、东营市的全部及济南市、淄博市、潍坊市的部分地区, 总面积 44 515 km²。

1 地热资源开发利用现状

1997 年山东省地勘局第二水文地质工程地质大队在德州市驻地院内成功施工 1 口 1 479 m 的探采结合孔^③, 次年又在德州市开发区凯元度假村施工完成 1 口 1 499 m 的探采结合孔, 揭开了鲁北地

区地热勘查开发的序幕。自 20 世纪 90 年代末以来, 特别是进入 21 世纪以来, 在德州市的武城、夏津、平原、陵县、临邑、宁津、乐陵、庆云、齐河、东营市的东营区、河口、孤岛、仙鹤、滨州市的滨城、博兴、沾化、惠民、无棣、阳信, 聊城市的东昌府、临清、高唐等城镇区, 陆续进行了地热资源的开发利用。

目前, 全区共有 131 口开采地热井, 其中, 馆陶组地热井 100 眼, 东营组地热井 8 眼, 馆陶组与东营组混合井 17 眼, 奥陶系地热井 5 眼; 开采井 126 眼, 以冬季供暖期(11~翌年 3 月)开采为主; 地热水总开采量 $2\,758.30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ^③, 现馆陶组热储开采量 $2\,306.15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、东营组热储开采量 $341.25 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、奥陶系热储开采量 $110.90 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。开采主要集中在德州城区、东营市城区、孤岛—仙鹤、聊城市城区等地, 用于生活供暖、温泉洗浴、浴池游泳、养殖等, 特别是生活供暖形成了一定的规模, 总供暖面积达 $400 \times 10^4 \text{ m}^2$, 取得了显著的社会、经济和环境效益。

2 热储地质条件

2.1 地热资源类型及热储划分

2.1.1 热储层组划分

收稿日期: 2008-8-7

责任编辑: 林晓辉

基金项目: 国家地质调查计划项目(项目编号: 1212010634111)

作者简介: 王彦俊(1958-), 男, 高级工程师, 从事水工环地质勘查和研究工作。

^①山东省鲁北地质工程勘察院. 山东省德州市城区地热资源勘查. 1998.

^②山东省鲁北地质工程勘察院. 鲁北地区地热资源远景预测报告. 2001.

^③山东省地质矿产勘查开发局. 山东鲁北地区地热资源区划报告. 2007.

在热储系统内依据地层时代、热储孔隙、空间分布,划分为新近系明化镇组热储、新近系馆陶组热储、古近系东营组热储、古近系沙河街组热储、古近系孔店组热储、白垩系-侏罗系热储、二叠系-石炭系热储、奥陶系-寒武系碳酸岩岩溶-裂隙热储、太古宙泰山群变质岩系块状裂隙热储等9个热储层组。在可及深度2 000 m范围内,具有勘探和开发意义的热储目的层组为新近系馆陶组热储、古近系东营组热储和下古生界寒武-奥陶系基岩热储三个主要热储层组,特别是新近系馆陶组热储是目前主要开采研究热储层。馆陶组热储全区均有分布,东营组热储分布在北部德州潜凹和南部莘县潜凹中南部,寒武-奥陶系热储零星分布于潜陷区的潜凸部位。

2.1.2 地热资源类型

鲁北地区在地质构造上属太古宇及古生界基底构造基础上发育起来的中、新生代断陷盆地。按地层时代、沉积建造将鲁北地区热储类型分为新生界碎屑岩孔隙裂隙热储、中生界-上古生界碎屑岩裂隙热储、下古生界奥陶-寒武系碳酸岩岩溶-裂隙热储、太古宇泰山群变质岩系块状裂隙热储四类

热储类型系统。由四种基本热储类型系统所处的层位不同,又派生出上部碎屑岩孔隙裂隙热储下部碳酸盐岩溶热储、上部碎屑岩裂隙热储下部碳酸盐岩热储、上部碎屑岩孔隙裂隙热储下部变质岩热储、上部碎屑岩孔隙裂隙热储下部碎屑岩裂隙热储四种不同组合^[2](图1)。

鲁北地热资源为中低温地热资源温热水型。地下热水富集在新近系和古近系层状砂岩的孔隙-裂隙和古生界石灰岩的岩溶-裂隙内,热储类型为层状孔隙-裂隙和岩溶-裂隙型。地热资源类型属沉积盆地热传导型,局部为深循环对流型。

2.2 馆陶组热储条件

新近系馆陶组热储除南部山前边缘地带和北部埕子-宁津潜隆局部段有部分缺失外,其余地区皆有分布。顶板埋深一般300~1 100 m。鲁中隆块区一般小于500 m,华北坳陷潜陷潜凹区大于1 000 m,埕子-宁津潜坳和华北潜陷潜凸区800~1 000 m,南部潜坳斜坡地带500~1 000 m。地层厚度一般300~600 m,鲁中隆块和埕子-宁津潜隆小于300 m,华北坳陷潜凹区一般大于400 m。热储厚度一般100~200 m,鲁中隆块区小于100 m,埕子-

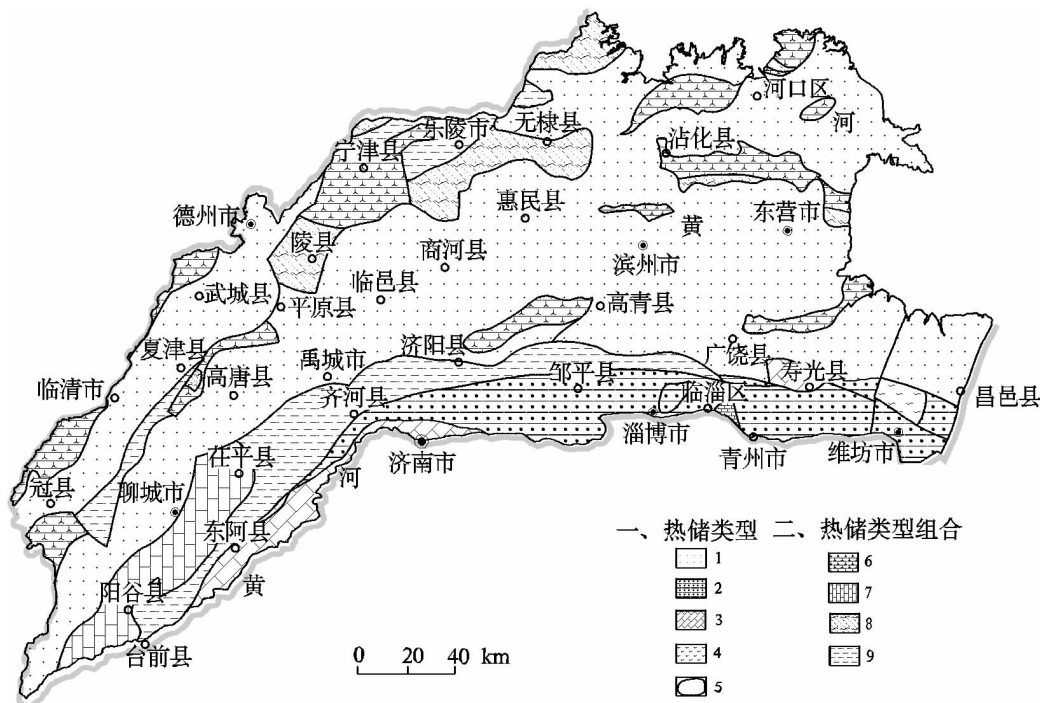


图1 鲁北地热资源类型图

Fig.1 Type of the geothermal resources in the northern Shandong Province

1. 碎屑岩孔隙裂隙热储; 2. 碎屑岩裂隙热储; 3. 碳酸盐岩岩溶裂隙热储; 4. 变质岩裂隙热储; 5. 热储及热储类型组合分区界限;
6. 上部碎屑岩孔隙裂隙热储, 下部碳酸盐岩岩溶热储; 7. 上部碎屑岩裂隙热储, 下部碳酸盐岩岩溶热储; 8. 上部碎屑岩孔隙裂隙热储, 下部变质岩裂隙热储; 9. 上部碎屑岩孔隙裂隙热储, 下部碎屑岩裂隙热储

宁津潜隆 100 ~ 200 m; 华北拗陷潜凸区 100 ~ 150 m, 潜凹区一般大于 150 m, 以临清潜陷潜凹区和沾化潜凹热储层厚度最大(大于 200 m), 惠民潜陷潜凹区最小(100 ~ 150 m)。

热储层岩性主要为细砂岩、粗砂岩、含砾砂岩、砂砾岩, 以馆陶组下段大段砂砾岩为特点。在取水段 1 000 ~ 1 500 m 深度内单井出水量为 30 ~ 80 m³/h(降深 20 m), 以临清潜陷潜凹区和沾化 - 东营潜陷潜凹区富水性最好, 埕子 - 宁津潜隆次之, 鲁中隆块区和边缘斜坡带最差。热水水化学类型以 Cl-Na 和 Cl-Ca 型; 矿化度为 4 ~ 20 g/l, 由南向北、由南向西、由西向东逐渐增加。热储温度 45 ~ 75 °C, 由南向北、由中间向东西两侧逐渐升高, 以沾化潜陷热储温度最高。

2.3 古近系东营组热储层组

古近系东营组热储主要分布在潜陷区的潜凹内, 在泰山 - 沂山隆起、埕子 - 宁津潜隆, 以及济阳断拗和临清潜陷的凸起区缺失。顶底板埋深一般 1 000 ~ 2 000 m。沾化潜凹埋深大于 1 800 m, 德州潜凹、临清 - 冠县潜凹和临邑潜凹一般大于 1 500 m, 东营潜凹中心地带 1 500 ± m, 惠民潜凹 1 300 ± m, 南部潜拗斜坡地带和潜陷构造中的潜凸区边缘地带 1 000 ~ 1 300 m。地层厚度 0 ~ 800 m, 总的分布特征是, 在潜凹盆地中心厚度最大, 向边缘地带渐薄, 自西向东、自南向北有由薄变厚的趋势, 形成了以东营潜凹、沾化潜凹、德州潜凹、临清 - 冠县潜凹、临邑潜凹等为中心的东营组热储发育区。热储含水层岩性为细砂岩、砂砾岩, 在潜凹盆地中心地带热储层厚度一般 50 ~ 150 m, 单井涌水量 50 ~ 80 m³/h; 在潜凹盆地边缘地带热储层厚度一般小于 50 m, 单井涌水量小于 50 m³/h。水化学特征和分布规律与馆陶组相近, 但矿化度比馆陶组热储为高, 以东营附近矿化度最高。热储温度 55 ~ 85 °C^[3]。

2.4 奥陶系 - 寒武系碳酸盐岩岩溶 - 裂隙热储层组

奥陶系 - 寒武系碳酸盐岩岩溶 - 裂隙热储主要分布在泰山 - 沂山隆起、埕子 - 宁津潜隆中西部、济阳拗陷和临清拗陷潜凸区, 在泰山 - 沂山隆起区一般隐伏在石炭 - 二叠系之下, 断拗区一般隐伏在新生界之下。顶界面起伏大, 埋深一般 100 ~ 1 800 m, 由南向北、由西向东逐渐增大; 目前钻孔揭露热储层厚度 30 ~ 700 m(未穿)。热储层主要是碳酸盐岩系石灰岩、白云岩类岩溶 - 裂隙空隙及岩

石的古风化壳, 岩溶 - 裂隙发育程度和古风化壳发育厚度具不均匀性。热储取水段在 1 000 ~ 2 000 m 的深度内, 单井出水量一般为 50 ~ 1 000 m³/d(最高可达 3 000 m³/d 以上)。地热水矿化度一般为 4 ~ 15 g/l, 水化学类型为 HCO₃-Ca·Mg, Cl-Ca, HCO₃·SO₄-Na, HCO₃-Na 型。地热水温一般为 50 ~ 100 °C, 东营孤岛地区最高 85 ~ 90 °C, 在聊城 - 兰考和齐河 - 广饶深大断裂附近 55 ~ 58 °C, 向南温度逐渐降低而接近于浅层地下水。

3 地热资源区划方法

3.1 地热资源区划原则

主要从地热资源条件和地热资源量两方面入手, 以地温梯度大于 2.5 °C/100 m 作为地热区划起始值, 地热资源区划目的层定为为新近系馆陶组、古近系东营组和寒武 - 奥陶系热储。在当前经济技术条件下, 确定参加区划热储深度为 2 000 m, 热储层勘探和开发利用不能与石油开采发生矛盾和破坏油田采油, 不得引发地质环境问题。

3.2 地热资源区划分级

根据上述原则, 主要侧重于地热资源条件, 按热储层所处的地质构造条件、热储类型组合、地温梯度特征化分为: 临清潜陷区、埕子 - 宁津潜隆区、沾化 - 东营潜陷区、惠民潜陷区、泰山 - 沂山隆起区与沂沭断裂带 6 个地热资源区划大区(表 1)。

优先开发区(A), 以新近系馆陶组 - 古近系东营组双层碎屑岩孔隙 - 裂隙型热储为主, 地热资源丰富, 热储层厚度和出水量大, 分布均匀, 埋藏浅, 开采技术条件优越; 地热资源潜力大, 有广阔的开发空间, 可优先开发利用。

次优先开发区(B), 以新近系馆陶组碎屑岩孔隙 - 裂隙型热储为主, 新近系馆陶组 - 古近系东营组双层碎屑岩孔隙 - 裂隙型热储为辅, 地热资源较丰富, 分布均匀, 热储层厚度和出水量较大, 埋藏浅、易于开发, 开采技术条件良好; 地热资源现状潜力较大, 作为较为丰富的绿色能源可大力提倡开发利用。

一般开发区(C), 以新近系馆陶组碎屑岩孔隙 - 裂隙型热储为主, 埋藏浅, 热储层厚度和出水量较小, 热储温度也较低, 地热资源、开采技术条件和地热资源潜力一般, 可根据当地经济条件和建设水平酌情开发利用。

表 1 地热资源区划分区表

Table 1 Regional division of geothermal resources

地热资源区域分区		分区依据		
分区名称	代号	构造部位	热储层	地温梯度(℃)
临清潜陷地热资源区	I	临清潜陷	馆陶组、东营组、奥陶-寒武系	3.0 ~ 4.0
埕子-宁津潜隆地热资源区	II	埕子-宁津潜隆	馆陶组、奥陶-寒武系	3.5 ~ 5.5
惠民潜陷地热资源区	IV	惠民潜陷	馆陶组、东营组、奥陶-寒武系	3.0 ~ 4.0
沾化-东营潜陷地热资源区	III	沾化-车镇潜陷、东营潜陷	馆陶组、东营组、奥陶-寒武系	3.0 ~ 4.5
泰山-沂山隆起地热资源区	V	泰山-沂山隆起	奥陶-寒武系、馆陶组	<3.5
沂沭断裂带地热资源	VI	沂沭断裂带	馆陶组、东营组、奥陶-寒武系	3.0 ~ 4.0

远景开发区(D),地热资源以寒武-奥陶系灰岩岩溶-裂隙型热储为主,裸露区热储温度一般较低,隐伏区埋深大,赋存条件差异性较大,现状潜力较小;开采技术条件较差,有一定的投资风险;根据当地经济条件和建设水平可进行局部开发利用。随着地热资源的开发利用和开发技术的提高,具有一定的远景开发潜力。

在地热资源区划区基础上,按优先开发、次优先开发、一般开发、远景开发四级进行亚区区划(图2)。

3.3 区划因子

主要侧重于地热资源的数量和质量,综合选取主要热储层组合(U_1)、孔隙裂隙热储砂层厚度(U_2)、地热资源量(U_3)、地热水资源潜力(U_4)、地热水质量

(U_5)、主要热储层温度(U_6)等6个因子,采用综合指数和模糊数学综合评判方法,进行地热资源资源亚区划。

主要热储层组合(U_1):主要热储层在垂向上有馆陶组单层热储、馆陶-东营组双层热储、馆陶组-奥陶-寒武系双层热储、奥陶-寒武系单层热储四个组合。不同热储层组合地热资源条件和开采条件不同。采用打分法确定主要热储层组合(表2)。

孔隙裂隙热储砂层厚度(U_2):砂层厚度反映了热储层的赋存空间条件,是影响地热资源的主要因素。孔隙裂隙热储砂层厚度为新近系馆陶组和古近系东营组砂层厚度之和。区划分值确定见表3。

地热资源量(U_3):地热资源量是为可利用地热资源量,包括馆陶组热储、东营组热储和奥陶-寒

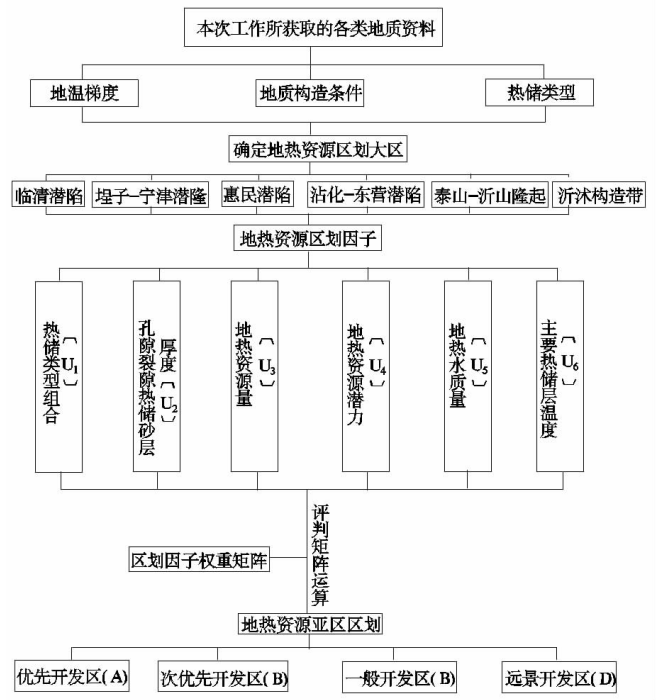


图 2 鲁北地区地热资源区划流程图

Fig.2 The flow chat of regional division of geothermal resources in Northern Shandong

武系热储三个热储层组可利用地热资源量,是反映地热资源的主要指标之一。区划分值确定见表4。

在各热储层可利用地热资源量分值确定的基础上,利用确公式(1)计算可利用地热资源量总分值(U_3)。

$$U_3 = 0.6u_{3-1} + 0.3u_{3-2} + 0.1u_{3-3} \dots\dots\dots(1)$$

地热水资源潜力(U_4):地热水资源潜力反映了地热资源水量,包括馆陶组热储、东营组热储和奥陶-寒武系热储三个热储层组地热水资源潜力之和,是地热资源的主要指标之一。区划分值确定见表4。

在各热储层地热水资源潜力分值确定的基础上,利用确公式(2)计算地热水资源潜力总分值(U_4)。

$$U_4 = 0.5u_{4-1} + 0.3u_{4-2} + 0.2u_{4-3} \dots\dots\dots(2)$$

地热水质量(U_5):地热水质对地热资源的影响,主要表现在地热水对金属(输水管路)的腐蚀性和结垢性,以及可以作为热矿泉水的程度。根据鲁北地区地热水实际,地热水不结垢,但对金属有很

强的腐蚀性,含有锶、偏硅酸、偏硼酸等对人体有益的微量元素,许多地热井达到了医疗热矿水的标准。因此,选取反映腐蚀性指标拉伸指数(LI),以及反映医疗热矿泉水的锶(u_{5-1})、偏硅酸(u_{5-2})、偏硼酸(u_3)含量作为地热水质因子单项指标分值确定的主控因素,各主控因素分值确定见表5。在主控因素分值确定的基础上,利用确公式(3)计算地热水质分值(U_5)。

$$U_5 = 0.45u_{5-1} + 0.3u_{5-2} + 0.25u_{5-3} \dots\dots\dots(3)$$

主要热储层温度(U_6):鲁北地区主要热储层为馆陶组。区划分值确定见表6。

4.4 区划因子权重

根据地热水资源区划因子在地质环境评价中的贡献程度,并参考傅勒德三角形法^[4](表7)确定权重(表8)。

4.5 区划亚区划分方法

4.5.1 综合指数法

$$P_z = \sum (W_{zi} \cdot C_{zi}) \dots\dots\dots(4)$$

式中: W_{zi} -地质环境评价权重, C_{zi} -地质环境评

表2 主要热储层组合分值标准表

Table 2 Standard of the combination of main thermal reservoirs

热储层组合	馆陶组单层热储	馆陶-东营组双层热储	馆陶组-奥陶-寒武系双层热储	奥陶-寒武系单层热储
分值	7	10	8.5	3.5

表3 孔隙裂隙热储砂层厚度分值标准表

Table 3 Value of the pore fissure thermal sand layer

孔隙裂隙热储 砂层厚度(m)	≤50	50~75	75~100	100~125	125~150	150~175	175~200	200~225	225~250	≥250
分值	1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	10

表4 地热资源量(U_3)及地热水资源潜力(U_4)分值标准表

Table 4 Value of the thermal resources(U_3) and potential(U_4)

可利用地 热资源量	$10^8 \text{MJ}/\text{km}^2$	≤10	10~16	16~22	22~28	28~34	34~40	40~46	46~52	52~60	≥60
分值		1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	10
地热水 资源潜力	$10^4 \text{m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$	≤1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5~5.0	≥5
分值		1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10

表5 地热水质量(u_5)分值标准表

Table 5 Value of the thermal quality(u_5)

锶	含量(mg/L)	≤1	1~5	5~10	10~20	20~30	30~40	≥40
(u_{5-1})	分值	1	1~5	5~9.25	9.25~9.5	9.5~9.75	9.75~10	10
偏硅酸	含量(mg/L)	≤25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	≥50
(u_{5-2})	分值	5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10
偏硼酸	含量(mg/L)	≤5	5~15	15~25	25~35	35~45	45~50	≥50
(u_{5-3})	分值	2.5~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10

表 6 主要热储层温度(u_6)分值标准表

Table 6 Standard of temperature for the main thermal reservoirs

热储层温度($^{\circ}\text{C}$)	≤ 40	40~45	45~50	50~55	55~60	60~65	≥ 65
分值	4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	10

表 7 各因子权重傅勒德三角形

Table 7 Robert fludd-triangle of the factor weight

0		5		3		4		1	2
U_1	$[U_6]$	$[U_2]$	U_6	$[U_3]$	U_6	$[U_4]$	U_6	U_5	$[U_6]$
U_1	$[U_5]$	$[U_2]$	U_5	$[U_3]$	U_5	$[U_4]$	U_5		
U_1	$[U_4]$	$[U_2]$	U_4	U_3	$[U_4]$				
U_1	$[U_3]$	$[U_2]$	U_3						
U_1	$[U_2]$								
U_1	$[U_2]$								
基准因子	比较因子	基准因子	比较因子	基准因子	比较因子	基准因子	比较因子	基准因子	比较因子

备注: “[]” 为比较重要的因子, 求权结果: $U_2>U_4>U_3>U_6>U_5>U_1$

表 8 地热区划因子权重表

Table 8 Factor weight of the geothermal division

区划因子	名称	主要热储	孔隙裂隙	地热	地热水	地热水	主要
		类型组合	热储砂层厚度	资源量	资源潜力	质量	热储温度
	符号	权重表 U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6
权重(a)		0.05	0.28	0.2	0.25	0.1	0.12

表 9 地热资源区划亚区分级标准表

Table 9 Standard of the subregion division of geothermal resources

区划亚区	名称	优先开发区 (V_1)	次优先开发区 (V_2)	一般开发区 (V_3)	远景开发区 (V_4)
	代号	A	B	C	D
综合指数(Pz)		>6	4.5~6	3.5~4.5	<3.5

价因子分值,按五级标准评价,评价分级标准见表 9。

4.5.2 模糊数学评判

对各地热资源区划因子进行分析,建立区划亚区矩阵 R;根据傅勒三角形等^[5]方法确定各区划因子权重,建立权重矩阵 A。在此基础上,进行矩阵运算,得到地热资源区划亚区评判矩阵 B ($B=A\times R$),对矩阵 B 进行归一化处理,按最大隶属度原则,确定地热资源区划亚区级别。评判矩阵运算过程如下:

$$B=A\cdot R=[a_1,a_2,\dots a_n]$$

$$\begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1m} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nm} \end{bmatrix}$$

$[b_1, b_2, \dots b_n]$

归一化

(5)

式中:B- 区划评判矩阵,A- 评价因子权重矩阵 a_i - 第 i 评价因子权重值,R- 评价矩阵, u_{ij} - 第 i 评价因子在 j 级的隶属度, b_j - 区划亚区在 j 级的隶属度。

根据鲁北地热地质条件和资源现状特点,在将地热资源区划分优良区(A 区)、良好区(B 区)、一般区(C 区)、较差区(D 区)及差区(E 区)五级,各因子级分值标准见表 10。

根据区划因子数据分布特征,可以得到各因子隶属于各级分区标准值的隶属函数:

对 I 级标准隶属函数为: $u_{i2} =$

$$\begin{cases} 1 & (x_i \geq v_1) \\ (x_i-v_2)/(v_1-v_2) & (v_1 > x_i > v_2) \\ 0 & (x_i \leq v_2) \end{cases}$$

(1)

对 II 级标准隶属函数为: $u_{i2} =$

万方数据

$$\begin{cases} 0 & (x_i \geq v_1 \text{ 或 } x_i < v_3) \\ (v_1 - x_i) / (v_1 - v_2) & (v_2 < x_i < v_1) \\ (x_i - v_3) / (v_2 - v_3) & (v_3 \geq x_i \geq v_2) \end{cases} \quad (2)$$

对Ⅲ级标准隶属函数为：

$$u_{i2} = \begin{cases} 0 & (x_i \geq v_2 \text{ 或 } x_i < v_4) \\ (v_2 - x_i) / (v_2 - v_3) & (v_2 < x_i < v_3) \\ (x_i - v_4) / (v_3 - v_4) & (v_3 \geq x_i \geq v_4) \end{cases} \quad (3)$$

对Ⅳ级标准隶属函数为：

$$u_{i2} = \begin{cases} 0 & (x_i \geq v_3) \\ (v_4 - x_i) / (v_3 - v_2) & (v_3 < x_i < v_4) \\ 1 & (x_i \leq v_4) \end{cases} \quad (4)$$

4 地热资源区划

全区选取了 76 个区划评价点,根据以上确定的模型和区划因子,分别赋值计算评价。综合指数法和模糊数学评判区划评价结果基本一致。而本次所采用的综合指数法区划分级,是在综合指数“归十化”处理后进行的,其区划结果更接近于实际。在综合指数分级和模糊数学评判基础上,进行了综合评价,根据评价结果进行了地热资源区划亚区划分,总共划分为 16 个亚区(表 11 和图 3)。

5 结论

根据热储层所处的地质构造条件、热储类型、地温梯度特征化分为:临清潜陷区、埕子-宁津潜隆区、惠民潜陷区、沾化-东营潜陷区、泰山-沂山隆起区与沂沭断裂带 6 个地热资源区划大区。在 6 大地热资源区划区基础上,按优先开发、次优先开发、一般开发、远景开发四级进行亚区区划,划分为 16 个地热资源区划亚区。德州潜凹、临邑潜凹、沾化潜凹、东营潜凹以新近系馆陶组-古近系东营组双层热储为主,热储层埋藏浅,分布均匀,地热资源丰富,开采技术条件优越,有广阔的开发空间,可优先开发利用。冠县-莘县潜凹、宁津-庆云潜凸、埕子潜凸、惠民潜凹、沾化-东营潜陷以新近系馆陶组热储为主,地热资源较丰富,热储层埋藏浅,分布均匀,开采技术条件良好,作为较为丰富的绿色能源可大力提倡开发利用。冠县梁唐地段、惠民潜陷南部斜坡带、寿光凸起附近、昌邑北部以新近系馆陶组碎屑岩孔隙-裂隙型热储为主,热储层埋藏浅,热储温度也较低,地热资源、开采技术条件一般,可根据当地经济条件和建设水平酌情开发利用。东阿-齐河潜凸、泰山-沂山隆起北部、昌邑南地热资源以寒武-奥陶系热储为主,裸露区热储温度一般较低,隐伏区埋深大,赋存条件差异性大,开采技术条件较差,根据当地经济条件和建设水平可

表 10 地热资源区划亚区分值表
Table 10 Sub-regional values of geothermal resources

区划亚区	名称	优先开发区 (V ₁)	次优先开发区 (V ₂)	一般开发区 (V ₃)	远景区 (V ₄)
	代号	A	B	C	D
区划因子 (U) 分值		7	5	3	1

表 11 地热资源亚区划分表
Table 11 Sub-regional division of geothermal resources

地热资源区		地热资源区划亚区		地热资源区		地热资源区划亚区	
名称	代号	名称	代号	名称	代号	名称	代号
临清潜陷	I	德州潜凹优先开发区	I-A	沾化-东营潜陷	IV	沾化潜凹优先开发区	IV-A1
		冠县-莘县潜凹次优先开发区	I-B			东营潜凹优先开发区	IV-A2
		冠县梁唐一般开发区	I-C			沾化-东营潜陷次优先开发区	IV-B
埕子-宁津潜隆	II	宁津-庆云潜凸次优先开发区	II-B1			寿光凸起附近一般开发区	IV-C
		埕子潜凸次优先开发区	II-B2	泰山-沂山隆起	V	东阿-齐河潜凸远景区	IV-D1
惠民潜陷	III	临邑潜凹优先开发区	III-A			泰山-沂山隆起北部远景区	IV-D2
		惠民潜凹次优先开发区	III-B	沂沭断裂带	VI	昌邑北一般开发区	IV-C
		惠民潜陷南部斜坡带一般开发区	III-C			昌邑南远景区	IV-D

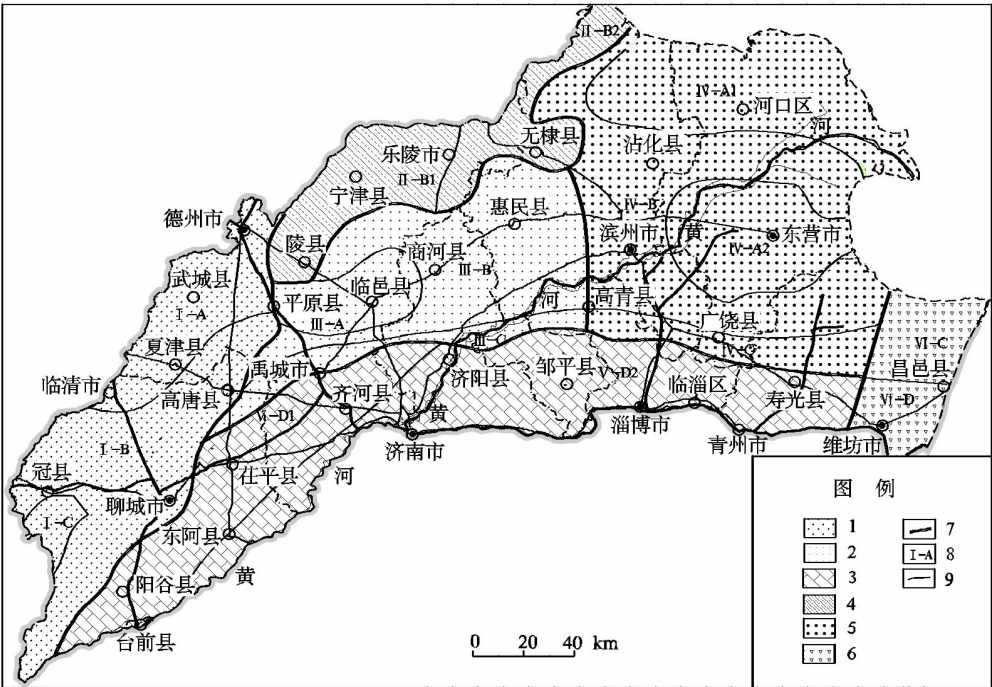


图 3 地热资源区划图

Fig.3 Regional division of the geothermal resources in Shandong

1.临清潜陷区; 2.惠民潜陷区; 3.泰山 – 沂山隆起区; 4.埕子 – 宁津潜隆区; 5.沾化 – 东营潜陷区; 6.沂沭断裂带;
7.区划区界线; 8.区划区编号; 9.区划分区界线

进行局部开发利用,随着地热资源的开发利用和开发技术的提高,具有一定的远景开发潜力。

参考文献:

[1] 颜世强,刘桂仪,孟庆峰,等.德州市地热资源及开发利用[J].山东地质,2001, 17(2):48 – 52.
[2] 王彦俊,王贞国,王岩.德州市地热资源开发与保护[J].山

东国土资源,2005, (5):31 – 35.
[3] 汤杰,王彦俊,郝宝国,等.滨州市城区地热地质条件与开发利用前景[J].山东国土资源,2007, 23(6–7):29 – 32.
[4] 董华,王彦俊,阎震鹏,等.黄河下游浅层地下水资源潜力与含水层系统调蓄能力分析[J].地理与地理信息科学, 2004, (3):92–95.
[5] 胡宝清.模糊理论基础[M].武汉:武汉大学出版社,2004.

Division of the Geothermal Resources in the Northern Shandong Province

WANG Yan-jun, LIU Gui-yi, HU Song-tao

(Geological Engineering Limited company of Shandong Province, Jinan 250013, China)

Abstract: This paper analyzes geological conditions of geothermal reservoirs in the Neogene Guantao Formation, Paleogene Dongying Formation and Cambrian–Ordovician of Lower Paleozoic, and suggests that they are of great value to develop geotherm, especially in the Neogene Guantao Formation geothermal reservoirs. Based on the geological structure, type of geothermal reservoirs and grades of geothermal gradient, and the principle of prior–exploitation, junior–exploitation, common–exploitation and prospect exploitation, the geothermal reservoirs can be divided into 6 geothermal areas and 16 sub–areas.

Key words: type of geothermal reservoirs; geothermal reservoirs; reservoir condition; geothermal resource division