

天津市静海新城地质构造特征和地热成因探讨

庞海¹,杨永江²,靳宝珍²,刘九龙²,王继革²

(1. 天津地质工程勘察院,天津 300191;2. 天津地热勘查开发设计院,天津 300250)

摘要:天津市静海新城地下蕴藏着丰富的地热资源。为了查明该区地热来源,更好地寻找和利用好当地的地热资源,对该区地质背景、热储特征、同位素、地热成因等进行了综合分析,得知该区地热属沉积盆地型层状热储,主要分为孔隙型热储和基岩裂隙型热储两个类型,共有三个热储层,即新近系的明化镇组和馆陶组、古生界的奥陶系热储层。水源来自北部山区的大气降水。该区热储条件较好,发育新生界盖层较厚,能使深部热量更好地得到保存。

关键词:热储分析;地热成因;同位素

中图分类号: P641.11

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2010)02-0149-06

1 引言

静海新城位于天津市西南部,距天津市区约40 km,素有“津南门户”之称。随着该区经济发展的迅速崛起,能源价格的不断提升,其地热需求呈逐年增加之势。该区位于沧县隆起的西南部,地处王兰庄地热异常区的西侧,地质构造较为复杂。天津地热勘查开发设计院于2005年完成了该区地热普查,表明本区地热资源丰富。区内基岩热储和明化镇组热储目前还没有开发,仅有的一眼馆陶组地热井的出水温度约48℃,出水量约120 m³/h,水质类型为Cl·SO₄-Na型水,矿化度较高,达5 800~5 916 mg/L。该井成井初期曾用于洗浴,后来进行了医疗矿泉水开发的论证,但由于水质太差等原因该项目未能实施。许多学者就天津的地热资源现状与可持续性开发利用问题^[1]、地热对井回灌系统^[2]、天津地热流体水化学分布特征及形成机理^[3]、静海县史家庄一带馆陶组地热流体质量及实用性^[4]等方面进行了研究,还有一些区域上地热成因研究^[5],但本区馆陶组地热流体与天津市同层水质相比,存在突变现象^[6,7]。为了促进该区地热资源的开发利用,笔者对该区地热勘查成果和同位素资料等做了综合分析,并对地质构造特征和地热成因进行初步探讨。

2 地质构造特征

2.1 地层发育概况

本区为第四系覆盖区,属新生代冲积平原^[8],基岩顶板埋深1 040~1 300 m(图1),据地震剖面特征和钻孔资料分析,该区地层发育较全,由老至新为中元古界的蓟县系(Jx)和青白口系(Qn)、下古生界的寒武系(Є)和奥陶系(O)、上古生界的石炭-二叠系(C-P)、新生界的新近系(N)和第四系(Q)。

2.2 地质构造特征

该区位于沧县隆起西侧斜坡的大城凸起之上(图1),该凸起西以古近系尖灭线为界与冀中拗陷相连(已出区),东以天津断裂为界与双窑凸起相邻,为一个走向北北东(NNE),倾向北西西(NWW)的单斜断块构造。基岩顶板主要为石炭-二叠系(C-P),基岩顶板埋深总体表现为东浅西深,但倾角比较平缓。该区内主要发育有三条断裂:分别为北北东向的天津断裂、近南北向的前杨庄断裂和近东西向的静海断裂。

3 热储特征

3.1 新近系明化镇组热储层

该层在天津市广大平原区普遍分布,富水段岩

收稿日期: 2010-03-31

基金项目: 天津市国土资源与房屋管理局勘查项目:天津市静海县地热资源普查(津地任[2002]11)

作者简介: 庞海(1965-),男,河北省平泉县人,工程师,1988年6月毕业于长春地质学院,长期从事地质勘察工作,
E-mail: YangyongjiangTJ@126.com。

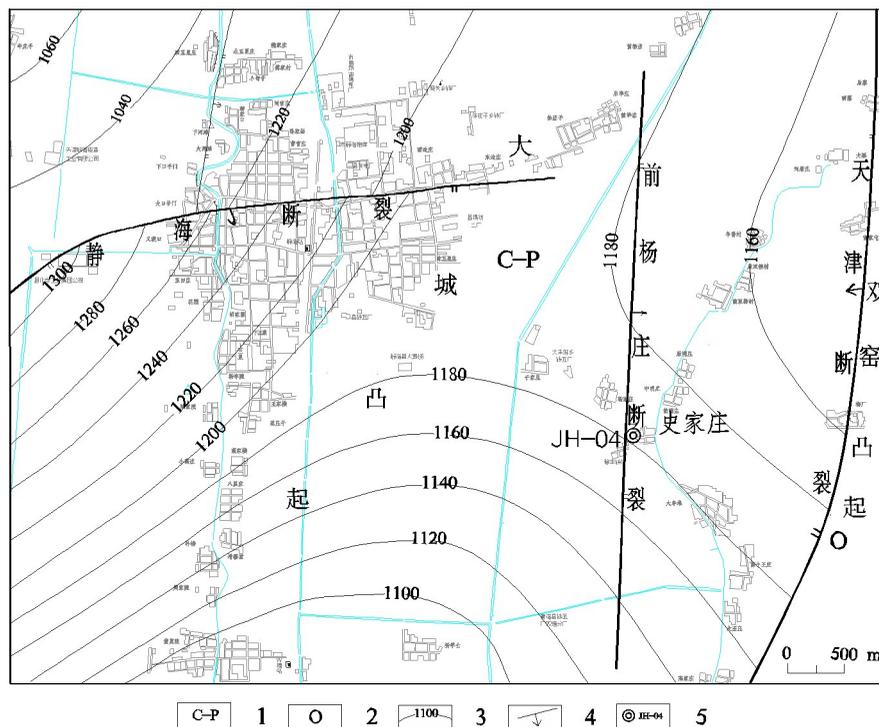


图1 静海地区基岩地质图

Fig.1 Bedrock geological map of the Jinghai area

1. 石炭-二叠系; 2. 奥陶系; 3. 基岩埋深线; 4. 断裂; 5. 井位号

性为砂质泥岩与砂岩不等厚互层,以粉细砂岩为主^[9]。该区内该热储顶板埋深420 m左右,厚约520 m,水位埋深61~68 m,孔隙度约27%,单井涌水量50~80 m³/h,热储平均温度32℃,水质类型为SO₄·Cl-Na型,矿化度约2 000 mg/L,pH值为7.8~8.8,拉申指数9.95~10.06,为强腐蚀性水。该层储集条件良好,而且发育稳定,具有砂层发育、孔隙度大、渗透性好、埋藏浅、出水量大的特点,有一定的开发利用价值。

3.2 新近系馆陶组热储层

该层在全区均有发育,不整合于上古生代石炭-二叠系之上,为一套河流相碎屑岩,富水段岩性以中粗砂岩、砂岩为主,热储平均温度41.5℃,热储特征及开采动态与周边相关连,是本区一个重要的热储层,水位埋深32~36 m。区内史家庄JH-04地热井即以该层为目的层,揭露顶板埋深为940 m,揭露厚120m。孔隙度为26%,渗透率在430~1 250 mD之间,单位降深涌水量4.55 m³/h·m,单井涌水量120 m³/h左右,出水温度48℃,水质类型为Cl·SO₄-Na型,矿化度5 916 mg/L,拉申指数大于35,为强腐蚀性水,目前静水位埋深为33~35 m。

3.3 古生界奥陶系热储层

该层全区均有分布,从区域资料分析,该层成井

段多为马家沟组,岩性为灰黄、灰色白云质灰岩、灰岩及薄层泥质灰岩、灰黑、紫红色泥岩。岩溶裂隙发育层段占总厚度20%~37%,其孔隙度为8%~9%,单井涌水量一般在40~130 m³/h之间,单位涌水量2.1~4.3 m³/h·m,出水温度为52~70℃,矿化度变化范围较大,为1~40 g/L。受地层分布、厚度不均、水温及水质(属腐蚀性强的极硬水)的制约。该组热储层在天津地区的开采量不太。该区西南与河北省的大城、青县相邻,同处地质构造单元大城凸起上。根据区域水质分析,静海县城以北,矿化度3 000~5 000 mg/L,pH值小于8,水质由北部的SO₄-Na·Ca型向南渐变为SO₄·Cl-Na·Ca型。静海县城以南,由于缺少钻孔,水质情况不详,但根据静海县唐官屯雾迷山组和大城县城附近奥陶系的水质资料推测^[6],大城凸起南部的水质应以Cl·SO₄-Na型为主,矿化度>5 000 mg/L,pH值偏小,略大于7。

4 地热成因

本区属于传导型的大地热流作用机制下形成的以中、低温热水型为主的地热资源区。地热流体形成及赋存具备的条件是有水源、热源、储层、盖层四个条件,有中巨厚的碎屑岩沉积的盖层和孔隙、裂隙

岩层中发育的地下水库容。依据本区地热流体同位素、水文地球化学等资料和地下水动力场特征分析,本区地热流体主要分为两个不同的热水系统。

4.1 热储条件

(1) 热源:来自地壳深部,并以传导方式为主;对本区热储影响较大的断裂主要有白塘口西断裂、天津断裂、前杨庄断裂和静海断裂。

(2) 热储层:主要发育有:新近系明化镇组、馆陶组和奥陶系,厚度水平展布,新近系明化镇组热储厚度为900~1 200 m,馆陶组厚度180~220 m,奥陶系热储厚度为700~800 m。

(3) 盖层:第四系和新近系有着较低的导热率,形成地热系统的盖层,同时新近系也是本区的储热、储水的孔隙型热储层。

(4) 水源:地热流体来自北部山区,以大气降水为主,通过地下深部向南径流,受地层围岩加热形成地热流体。

4.2 补给来源

1980年北京大学根据中国北京、南京、广州、武汉、昆明、拉萨、乌鲁木齐等8个地区107个雨雪样品得出中国大气降水线方程:

$$\delta D = 7.9 \delta^{18}O + 8.2 \quad (1)$$

将样品数据投到 $\delta D - \delta^{18}O$ 关系图上(图2),可以看出,该热储层的水热点落在了大气降水线附近(图中Nm为该区周边数据),说明地热水来源于大气降水,是大气降水在正常地温梯度下循环加热而成。

一般来说,地热流体与富氧岩石间存在着不同

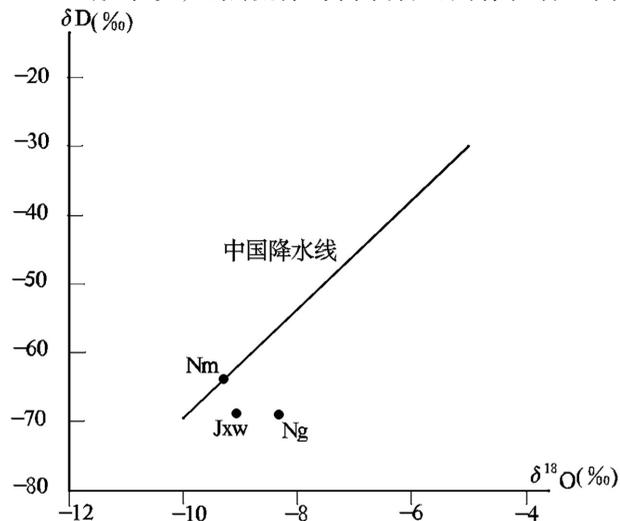


图2 静海地区地热流体 δD 和 $\delta^{18}O$ 与降水线关系图
Fig.2 Relationship of the $\delta D - \delta^{18}O$ in the Jinghai area geothermal fluid and the precipitation line

程度的氧同位素交换而发生氧漂移现象,漂移程度受着岩性、温度等因素的影响。从图2可以看出:明化镇组温度低,岩性为松散的砂岩或粘性土,几乎没有氧漂移,仍保持了补给时雨水的 $\delta D - \delta^{18}O$ 构成。馆陶组热水(图2中Ng)发生了明显的正向氧漂移^[7],即岩石中的¹⁸O值降低而水中的¹⁸O值增高。其结果说明Ng受到了基岩水的影响,结合Ng高矿化度等综合分析,馆陶组热水受到了奥陶系热水的顶托补给,这与前面水化学的分析结论一致。

4.3 地热流体中氢、氧同位素的组成及分布特征

4.3.1 地热流体的补给高程

由于氘有敏感的高程和纬度效应,在运移过程中又不受热储岩性和温度的影响,因此它是理想的反映地下水运动的天然示踪剂。 δD 与高程的关系为:

$$gradD = \Delta \delta D / \Delta H \quad \text{或} \quad H_{补} = (\delta D_{补} - \delta D_{地}) / gradD + H_{地} \quad (2)$$

式中: $gradD$ - 区域的 δD 随高程的递减梯度值($\text{‰}/100 \text{ m}$); $\Delta \delta D$ - 补给区降水的 $\delta D_{补}$ 值与取样点当地的 $\delta D_{地}$ 值之差(‰); ΔH - 补给区地面高程 $H_{补}$ 与取样点地面高程 $H_{地}$ 之差(m); $\delta D_{补}$ - 补给区降水的 δD 值(相当于样品的实测值)(‰); $\delta D_{地}$ - 取样点当地大气降水的 δD 值(‰)。

本次未取得本区附近降水的 $\delta D_{地}$ 值,所以在此依据天津市区和黄骅市的资料估算,其值在-50‰左右;据前人资料,天津地区的 $\Delta \delta D$ 梯度值一般为-2.0‰~-2.5‰/100 m,据此推算取样点附近的补给高度为840~1 050 m(表1)。虽然计算结果与实际情况可能存在着一定的误差,但从中仍可得出定性结论:即北部山区是本区地热水的主要补给来源。

4.3.2 地热流体中放射性同位素特征

每一种放射性同位素均具有固定的衰变概率或衰变速度,它不受温度、压力、电磁以及离心度等因素的影响,也与同位素的地质历史、年龄和所处的化学状态无关。放射性衰变服从以下的衰变定律:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{其中} \quad \lambda = \ln 2 / T \quad (3)$$

式中: N_t - 经过 t 时间衰变后的剩余浓度(Tu);

N_0 - $t = 0$ 时刻的浓度(Tu);

λ - 放射性元素的衰变常数;

T - 半衰期;

t - 从 $t = 0$ 时刻到样品测定的衰变时间(a)。

由式(3)可以导出:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N_0}{N_t} \quad (4)$$

(1)同位素氡年龄分析

大气降水中的氡来源于同温层宇宙射线产生的中子与氮原子的相互作用、热核装置爆炸和核泄漏等。1952年以前,大气降水中的氡仅来源于宇宙射线,其浓度为5 Tu(低纬度沿海地区)至20 Tu(高纬度内陆地区),构成大气降水氡浓度的天然场。

1952年以后,由于核试验产生了大量的核爆氡,使北半球大气降水中氡的浓度在1963年后极大地增加。1986~1990年的监测数据显示,中国的大气降水中氡浓度的高值区在北纬40度附近,天津地区在20~40 Tu之间。

已知氡的半衰期为12.43年,导出的 $\lambda = 0.05576$,推导出氡的测年公式:

$$t = 17.93 \ln \frac{N_0}{N_t} \quad (5)$$

式中:t—地下水的年龄;

N_0 —地下水中氡的初始浓度(Tu);

N_t —经过t时刻后地下水中的氡浓度(Tu)。

根据样品的化验结果,取初始浓度20 Tu或40 Tu,可算出地热流体的补给年龄(表2)。

在没有新近降水补给的情况下,地热流体的氡浓度一般较低,甚至检测不出。但根据表2中的计算结果,推测所取样品可能受到第四系水的混入。

(2)根据¹⁴C浓度推算地下水年龄

已知¹⁴C的半衰期为5730年,由放射性衰变定律(4)推导出的¹⁴C测年公式:

$$t = 8267 \ln \frac{N_0}{N_t} \quad (6)$$

式中:t—地下水的¹⁴C年龄;

N_0 —地下水总溶解无机碳(TDIC)的初始放射性(PMC);

N_t —t时刻地下水中总溶解无机碳(TDIC)的放射性(PMC)。

将化验结果¹³C(‰)、¹⁴C计算的¹⁴C年龄(表3)与区域资料对比分析,认为馆陶组样品的¹⁴C年龄偏小,为16.91±0.20千年,是目前所测得的天津地区最小的馆陶组地下水年龄。分析其原因有二:①样品可能受到了新水的混入;②受到了奥陶系热水的顶托补给。因为天津地区基岩热水的地下水年龄普遍小于馆陶组热水。这两点推论与根据³H及水化学的分析结论一致。

总之,该区的地热流体补给源自北部山区,自北向南,水质变差,符合地下水的迳流原理。但该区的馆陶组水质与北部地区相比,存在着突变现象。根据特征元素及同位素分析(表4),该层除了得到北部山区的侧向补给外,还受到了下伏的水质较差的奥陶系的顶托补给^[6]。

4.4 地热形成和运动规律

地下水的形成和运动受地层的岩性组合、裂隙发育程度、沉积厚度和空间展布所限,有其相对独立的赋存空间及运移规律。华北盆地的中低温地热资源属沉积盆地型,含水热储层多呈层状分布。从总体上看,该区地热资源属传导型大地热流作用机制下形成的中、低温地热流体型,处于平缓稳定

表1 根据δD值推算地热流体的补给高程

Table 1 Recharge elevation of geothermal fluids calculating with δD data

井号	热储层	取水段位(m)	δD _样 (‰)	ΔδD(‰)	补给高程估算(m)
JH-04	Ng	959~983	-71	-2.0~-2.5	840~1050

表2 不同氡背景浓度下热水的补给时间推算

Table 2 replenishment time of the geothermal fluid at the different background tritium concentrations

井号	热储层	取水段位(m)	氡含量(Tu)	背景浓度20Tu时补给时间(ka)	背景浓度40Tu时补给时间(ka)
JH-04	Ng	59~983	9.59±3.08	13.18	25.61

表3 静海新城区新近系馆陶组热储层地热流体的¹³C、¹⁴C含量

Table 3 ¹³C、¹⁴C content of the Neogene Guantao geothermal fluids in Jinghai new areas

井号	热储层	取水段位(m)	¹³ C(‰)PDB	A ¹⁴ C(PMC)	地下水年龄(ka)
JH-04	Ng	959~983	-8.2	12.924±0.31	16.91±0.20

表4 静海新城区地下热流体氢氧同位素成分

Table 4 Hydrogen and oxygen isotopic composition of the geothermal fluids in Jinghai new areas

井号	热储层	取水段位 (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
JH-04	Ng	959 ~ 983	-8.3	-71

区域水动力系统条件下的水弱交替-滞缓慢-承压区^[6]。

新近纪开始,本区随华北地区整体沉降,普遍接受了新近纪和第四纪的陆相沉积,其中新近系沉积了较厚的陆相碎屑岩,岩性为泥岩与砂岩互层,胶结差,结构松散,砂层相对较厚,孔隙发育,渗透性好,为地热流体提供了良好的储集空间;其后随着第四纪沉积层的加厚,新近系逐渐被埋藏于第四系地层之下,第四系的松散堆积为新近系地下水提供了盖层条件,从而使新近系储层中的水最终发育成低温热水,造就了本区新近系的明化镇组和馆陶组两个热储层。

区域西部和北部山区的中、新元古界和古生界地层裸露地表,接受大气降水的淋滤、补给,为平原区地热流体的补给提供了来源。该区地热流体一部分来自沉积物形成时保存下来的封存水,或泥岩在沉积过程中,由于固结压实而排出的沉积水,但大部分是在漫长的地质时期,由大气降水、地表水补给及浅层地下水越流补给而来^[9],根据水化学及同位素资料,补给来源于北部和西北部山区。

新近系明化镇组在本区表现为半开启型的水文地质系统,受北部山区侧向大气降水的补给。新近系馆陶组是个开放型系统。当时沧县隆起剥蚀区向西侧形成河流,发育了山前冲积扇。新近系馆陶组同沉积水本身矿化度很低,随着埋藏深度的增加,地层压力和温度增高,岩石溶滤和粘土矿物脱水,使地层水矿化度增高。

喜山运动以来,由于地壳构造活动使老断层复活,奥陶系岩溶水在地应力的作用下向上运移,同新近系馆陶组的同生水混合,使馆陶组水质类型变为 $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4-\text{Na}$ 型水,矿化度达5 916mg/L,是典型的混合水型。说明新近系馆陶组含水层的水在本区是由侧向补给和后期的奥陶系岩溶水顶托对流混合形成的。奥陶系地热流体的补给主要来自大气降水,其补给区在北部、东北部的燕山区,排泄区在南部平原区,该区位于下游区,水动力条件相对较弱,流体矿化度较高,总体反映地下水运动以与构

造展布相一致的侧向迳流为主。

5 结论与建议

5.1 结论

本区属于传导型的大地热流作用机制下形成的以中、低温热水型为主的沉积盆地型中低温地热田。地下热水形成及赋存具备的条件是有水源、热源、储层、盖层四个条件,主要发育两大不同的热水系统的三个热储层,新近系明化镇组在本区表现为半开启型的水文地质系统,受北部山区侧向大气降水的补给。新近系馆陶组是个开放型系统,是由侧向补给和后期的奥陶系岩溶水顶托对流混合形成的。基岩奥陶系地热流体的补给主要来自大气降水,其补给区在北部、东北部的燕山区,地下水运动以与构造展布相一致的侧向迳流为主。

5.2 建议

(1)静海新城位于天津市西南部,地热资源较为丰富,开发条件优越,应加强本区的地热开发利用,以促进地方的经济发展。为了更好的评价该区地热资源,便于更进一步的勘查及以后地热相关工作的开展,建议在静海新城开凿一眼奥陶系地热井。同时建立一个高矿化度地热利用示范工程,并结合当今抗腐蚀热泵技术,提高地热利用率,以带动当地地热开发。

(2)本区地热开采井较少,而且原有的开采方式也是粗放型的单井开采方式,建议在以后的开发利用中采取对井回灌开采措施,并进行跟踪评价,以保护资源,增加可采资源量。同时本区地热流体水质较差,要注意优化开发利用,维护地热资源的可持续开发^[10]。

(3)建立和完善地热流体动态监测系统,提高监测质量,掌握地热流体的动态变化规律,为本区地热资源的跟踪评价提供基础数据。

(4)静海发展的定位是现代化中等工业城市,能源的需求也预示着静海地区地热开发的未来将有着

十分美好的前景。当前静海新城区地热开发程度较低,因此我们建议对全区地热进行统一开发和管理,它对合理地开发地热资源,实现地热资源的可持续发展将起到积极的促进作用,这种模式在全国的地热开发利用工作中也将起到非常重要的示范作用。

参考文献:

- [1] 马凤如,林黎,王颖萍,等.天津地热资源现状与可持续性开发利用问题[J].地质调查与研究,2007,29(3):222-228.
- [2] 孙宝成,曾梅香,林黎,等.同位素示踪技术在地热对井回灌系统中的运用[J].地质调查与研究,2007,28(3):187-191.
- [3] 胡燕,高宝珠,靳宝珍,等.天津地热流体水化学分布特征及形成机理[J].地质调查与研究,2007,30(3).
- [4] 靳宝珍,杨永江,李俊峰,等.天津市静海县史家庄一带馆陶组地热流体质量及实用性[J].地质调查与研究,2007,30(3).
- [5] 高宝珠,王心义,曾梅香,等.天津市地热流体成因、年龄及补给条件研究[R].天津地热勘查开发设计院,2002.
- [6] 靳宝珍,张淑清,高宝珠,等.天津市西南部地热资源调查[R].天津地热勘查开发设计院,2004.
- [7] 靳宝珍,曾梅香,高宝珠,等.天津市静海县地热资源普查[R].天津地热勘查开发设计院,2005.
- [8] 天津市地质矿产局.天津市区域地质志[M].北京:地质出版社,1992.
- [9] 陈墨香.华北地热[M].北京:科学出版社,1988.
- [10] 蔡义汉.地热直接利用[M].天津:天津古文出版社,2004,488-628.

Discussion on the Geological Structure Characteristics and the Geothermal Formation in Jinghai County, Tianjin

PANG Hai, YANG Yong-jiang, JIN Bao-zhen, LIU Jiu-long, WANG Ji-ge

(1.Tianjin Geological Engineering Investigation Institute, Tianjin 300191,China;

2. Tianjin Geothermal Exploration and Development-Designing Institute, Tianjin 300250, China)

Abstract: There are abundant under ground geothermal resources in the Jinghai district, southwest Tianjin. In order to identify geothermal origin and make better use of local geothermal resources, the geological background, geothermal reservoir characteristics, isotope and geothermal genesis are studied. It is suggested that the geothermal reservoirs belong to a sedimentary basin type reservoir, which can be divided into two kinds. One is sandstone porosity type, and the other is bedrock fissure type. Three different geothermal reservoirs can be distinguished, namely, the Minghuazhen and Guantao group of the Neogene, and Ordovician Group of Paleozoic geothermal reservoirs. The water is from atmospheric precipitation of the northern mountainous area. The geothermal reservoirs have a good development condition, because there is thick Cenozoic cap rock which can preserve the deep heat for the deep geothermal reservoirs.

Keywords: geothermal reservoir analysis; geothermal formation; isotope