

天津地区奥陶系热储层上覆地层对其储层特征影响分析

孙晓林, 杨宝美, 王震凯

(天津地热勘查开发设计院, 天津 300250)

摘要:奥陶系热储层埋深浅、温度高、水质好,是天津市具有很大开发潜力的地热资源优质储层,经过多年钻井数据统计发现,不同地区的奥陶系热储层赋水差异非常大,其开发利用存在很大的潜在风险。为此,通过揭露奥陶系热储层的地热井资料分析对比,总结在不同上覆地层条件下,奥陶系热储层的出水能力、裂隙发育度、水化学类型、水动力条件、储层温度之间的差异性。研究结果表明:当上覆地层为新近系或中生界时,奥陶系储层裂隙比较发育,水动力条件优越,影响储层赋水性主要因素为风化淋滤作用,储层特征受区域构造影响;当上覆地层为石炭系时,奥陶系裂隙发育比较弱,影响储层赋水性主要因素为构造裂隙,地层赋水性差异很大。本文利用不同因素之间的耦合关系,分析了上覆地层对奥陶系热储层的特征影响,为地热开发利用提供可靠依据。

关键词:奥陶系;上覆地层;裂隙发育;水动力;赋水性

中图分类号: P314

文献标识码: A

文章编号: 2097-0188(2023)02-0031-07

天津地区目前开发的奥陶系主要分布在Ⅲ级构造单元沧县隆起内^[1],是天津市城区优质热储层^[2],出水量大且具有较好的回灌能力^[3-4]。经过多年奥陶系热储开发数据的积累总结,对奥陶系热储层的认识也逐渐加深。奥陶系热储层钻井过程中,往往在揭露奥陶系顶板时即发生漏失,漏失段主要集中在奥陶系顶层0~400 m范围内^[5]。漏失导致奥陶系热储层赋水性极不均匀,给地热资源开发利用带来经济风险。数据显示^[6]JNR-09成井时最大涌水量39 m³/h,上覆地层为中生界(Mz);NK-28成井时最大涌水量为68 m³/h,上覆地层为石炭-二叠系(C-P);DLR-49D成井时最大涌水量为30 m³/h,上覆地层为中生界(Mz)。然而通过对奥陶系顶部岩性特征、沉积特征、不整合接触关系的研究^[7-9],总结分析地层漏失规律,避免或减少地质风险对地热井施工安全的影响。

本文通过对岩性录井资料、降压试验数据、水质分析、测井解析等多方面进行对比研究,结合历年科研成果^[10],探讨当奥陶系热储上覆地层不同时,不同地质构造单元奥陶系热储发育特征,弄清不同构造单元奥陶系热储层控制影响因素,减少地质风险,提高奥陶系地热资源勘查成功率,科学合理进行地热资源的开发利用。

1 区域地质背景

天津市古生界奥陶系缺失上奥陶统,中、下奥陶统岩性以碳酸盐岩为主,厚度一般为650~1 000 m^[11],在隆起边缘与上古生界石炭系呈平行不整合接触,在隆起核部与新近系、中生界呈角度不整合接触。天津地区古生代为地台盖层稳定发育时期,地壳经历了两次沉降和两次大规模抬升,第一次沉降发生在寒武纪至奥陶纪之间,形成了一个滨海-浅海环境,并发育了一套海侵旋回的碳酸盐岩沉积建造。之后,从中奥陶世晚期一直到早石炭世,地壳大规模整体抬升,未接受沉积。地壳第二次沉降始于中石炭世本溪期,形成海陆交互的环境及相应的沉积建造,晚石炭世太原期地壳再次抬升。古生界寒武系、奥陶系海相地层,在其形成后都紧随着一次构造抬升,地层遭受风化、淋滤、剥蚀,形成一系列裂隙及溶沟^[12]。印支运动将上述地层纳入同一褶皱系列,之后再次隆起剥蚀,并且随着断裂的发生发展,使溶蚀的历史更加漫长。奥陶系经历了多期岩溶叠加和构造作用改造,造成不同构造部位沉积地层及岩性有较大差异,形成了天津地区奥陶系分布的差异性,也导致了热储层的赋水性具有很大差异,为地层储水创

收稿日期:2023-01-03

资助项目:国家科技部重点研发计划“砂岩储层水-热-化动态监测与模拟方法(2019YFB1504204)”;天津市规划和自然资源局项目“天津市矿产资源规划(2021-2025年)(HYGP-2020-C-037)”

作者简介:孙晓林(1985-),男,硕士,工程师,主要从事地热资源评价等研究,E-mail:93049482@qq.com。

造了先决条件^[13]。

天津市可开发利用奥陶系热储主要分布在Ⅲ级构造单元沧县隆起区域(图1)。沧县隆起受风化剥蚀影响,核部至翼部基岩出露由老到新为寒武系-奥陶系-石炭二叠系-中生界,这也导致隆起核部构造裂隙发育强烈。其中,潘庄凸起和双窑凸起奥陶系大部分缺失,只有在翼部保留有奥陶系,埋深较浅,上覆地层主要为新近系和中生界。而在冀中坳陷和黄骅坳陷区,奥陶系普遍发育且埋深较深,上覆地层为中生界或石炭二叠系,奥陶系整个分布特征受断裂分区明显^[14]。

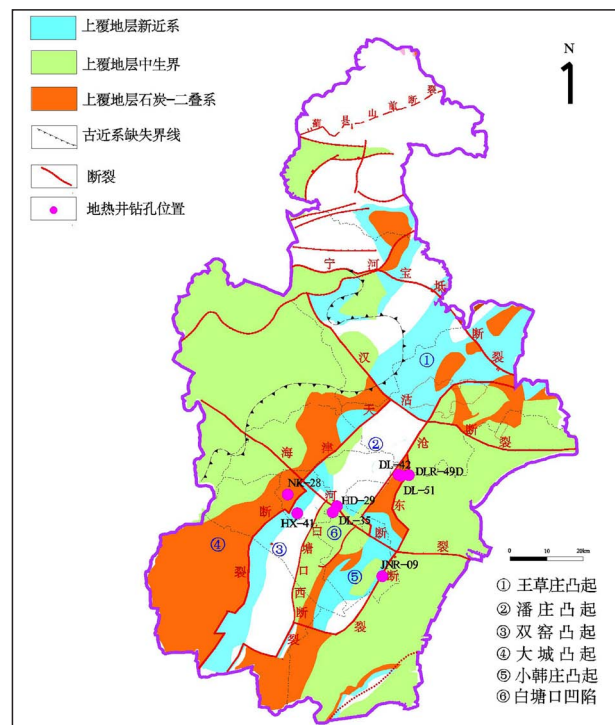


图1 奥陶系上覆地层分布图

Fig.1 Distribution map of upper Ordovician strata

2 奥陶系裂隙发育特征

2.1 上覆地层为新近系

当上覆地层为新近系时,奥陶系埋深一般较浅,顶板埋深为1 050~1 350 m之间,且埋深变化不大,主要分布在Ⅳ级构造单元潘庄凸起与双窑凸起构造内。依据天津市地热钻孔数据,上覆地层为新近系时,奥陶系储层裂隙发育段的厚度相差较大,不具有统计学规律,这主要受不整合面风化壳的岩性影响;同时,通过综合测井解释,当奥陶系缺失峰峰组时,裂隙比较发育,钻井过程中往往发生漏失现象;当奥陶系揭露峰峰组时,由于峰峰组厚层泥岩的存在,受

淋滤作用影响,奥陶系构造裂隙往往被泥质成分填充,显示裂隙不发育。

本此研究,还针对当上覆地层新近系馆陶组是否缺失进行统计,图2表明,奥陶系地热流体矿化度不受新近系地层影响,主要受所处构造单元影响;而涌水量通过所取样本显示,当缺失馆陶组时,奥陶系储层涌水量明显增加,分析认为缺失馆陶组表征奥陶系上部风化剥蚀程度比较高。

2.2 上覆地层为中生界

当上覆地层为中生界时,奥陶系埋深一般超过1 600 m(图3)。奥陶系上覆地层厚度一般为100~800 m,奥陶系裂隙层厚度一般为28.5~145 m,揭露奥陶系热储厚度约为144~399 m,裂隙发育度12%~49%。由图我们可以看出,随着上覆地层厚度加大裂隙层厚度随之增大,裂隙发育程度减缓,与上覆地层为新近系相比,其裂隙发育厚度增大^[15-16]。

2.3 上覆地层为石炭系

当上覆地层为石炭系时,奥陶系埋深多大于1 700 m。如图3,上覆地层厚度为33~830 m,奥陶系裂隙层厚度一般为25.5~219 m,揭露奥陶系热储层厚度约为364~729 m,裂隙发育度9.6%~30.1%。与上覆地层为中生界时相似,随着埋深增大,裂隙层厚度增大。但由于热储层埋深增大,裂隙发育度相较于上覆地层为中生界时,裂隙发育度降低。

综上,奥陶系裂隙发育度与上覆地层关系密切,裂隙发育从高到低的顺序是中生界>石炭系>新近系;同时还受自身风化剥蚀程度影响,当奥陶系缺失峰峰组时,裂隙发育度较高。

3 奥陶系水化学特征

天津地区古生界奥陶系热储层水化学类型的总体特征为水平方向上自北东向南西逐渐增高^[17],由简单的 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型逐渐过渡到复杂的 $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 型;垂直方向上基岩地热流体的矿化度主要受构造影响。在天津断裂附近,上层的奥陶系地热流体矿化度普遍高于下层的雾迷山组热储层,水质的差异主要来自 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 含量的增高和 HCO_3^- 含量的降低,水质类型为 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 型。而天津南部矿化度更高的雾迷山组地热流体的水质仍为 $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{-Na}$ 。造成差异的原因主要有岩性差异、后期的剥蚀淋滤强度、现在的径流条件等因素,使奥陶系地热流体有更多的 CaSO_4 来源,并因径流滞缓而保持下来。而在

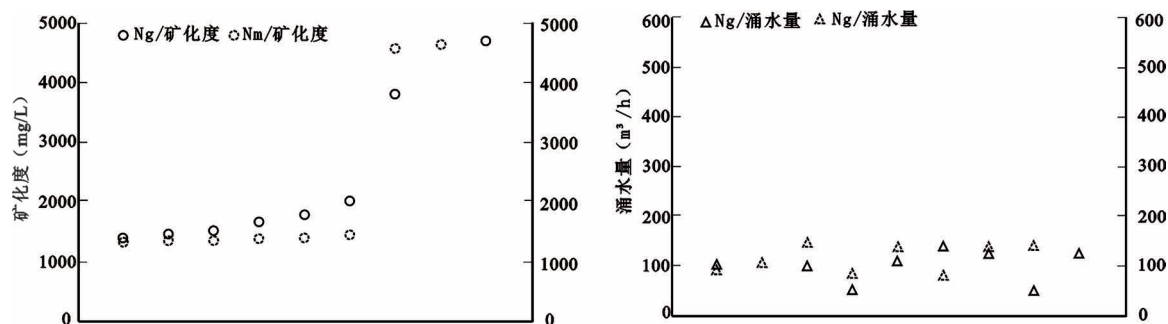


图2 馆陶组缺失对奥陶系储层特征影响

Fig.2 Influence of the absence of Guantao Formation on the characteristics of Ordovician reservoirs

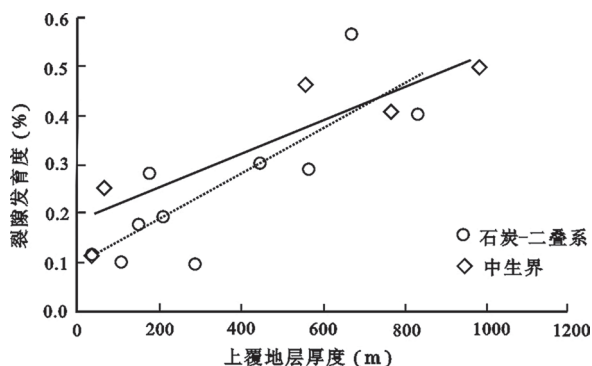


图3 上覆地层与奥陶系裂隙发育程度关系

Fig.3 The relationship between the overlying strata and the development degree of Ordovician fractures

沧县隆起的其它地区,尤其在沧东断裂附近,各个基岩热储层的水质普遍良好,与埋深及储层的关系不大,主要因基岩裂隙发育,垂向上连通性较好,使地热流体对流强烈^[18]。根据已有资料表明^[19],JNR-09(位于沧东断裂以西)和DL-35(白塘口西断裂以东),

地热水的水化学类型以 $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型为主;而HX-41(位于天津断裂以东),由于径流慢,多种离子在地下水中交换富集,水化学类型以 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl-Na}\cdot\text{Ca}$ 型为主。

地热流体中大部分离子的含量都与矿化度有直接关系,影响着碳酸盐岩的岩溶发育。通常情况下,地下水的矿化度越低,水对岩石的溶蚀能力越强。根据本次统计的奥陶系地热井主要离子含量值与矿化度关系图(图4)可以看出,阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和阳离子 Na^+ 、 Ca^{2+} 离子浓度与矿化度均呈正相关,只有 HCO_3^- 含量与矿化度呈负相关,主要是随着矿化度的增大, HCO_3^- 会与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 沉淀释出。

同时,奥陶系储层地热流体呈现出以白塘口西断裂为界,东西两侧呈现较大的差异。白塘口西断裂以东,矿化度较低($<3\,500\text{ mg/L}$),地热流体中硫酸根离子浓度较低;氯离子的占比随着矿化度的增大而

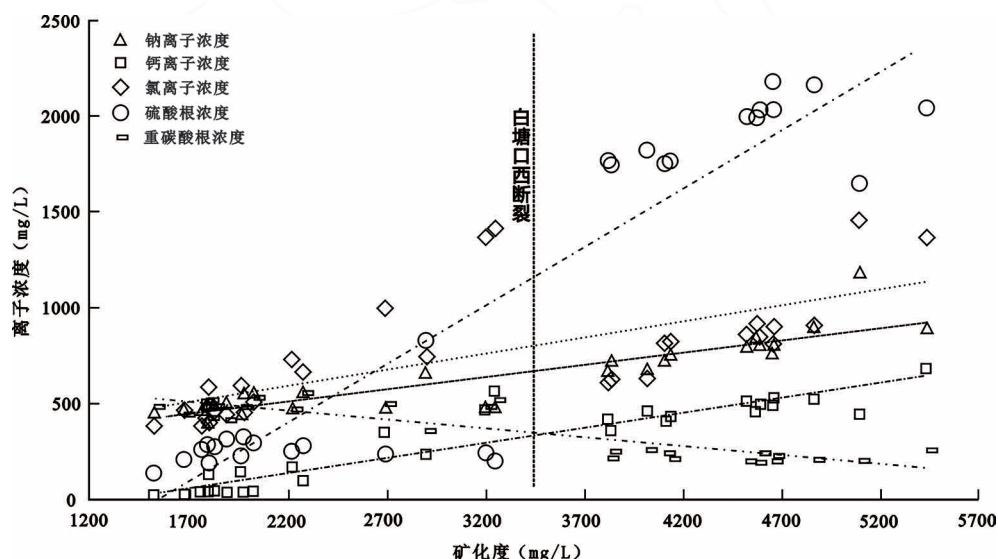


图4 奥陶系热储层地热流体矿化度与主要离子浓度关系图

Fig.4 The relationship between the salinity of the geothermal fluid in the Ordovician thermal reservoir and the main ion concentration

增大,且相较白塘口西断裂以西明显浓度较高;钙离子(Ca^{2+})维持在一个较低的浓度(20~168 mg/L)。而白塘口西断裂以西,矿化度显著增大,普遍大于4 000 mg/L,最高达到5 500 mg/L,最明显的变化是硫酸根离子浓度梯级增加(>1 500 mg/L);同样氯离子的占比随着矿化度的增大而增大;钙离子(Ca^{2+})相对白塘口西断裂以东明显增大(358~681 mg/L)。

主要因为地热流体是地球内部物质迁移和能量传递的关键媒介,在地球的演化历史中扮演着重要的角色^[20],而流体中的离子分布以及浓度变化,则表征地热流体间的运移以及交换关系。

Cl^- :通常氯离子(Cl^-)在水动力条件滞缓的区域富集,奥陶系上覆地层与构造密切相关,当上覆地层为石炭系时浓度最高,中生界次之,新近系最低。

Ca^{2+} 、 HCO_3^- :主要来源于碳酸盐岩的溶解,与地层的裂隙发育相关,一般情况下裂隙(溶洞)越发育,离子浓度越低,同一构造单元下,当上覆地层为石炭系时离子浓度最高。

SO_4^{2-} :地热流体中的硫酸根主要来源于地层中的石膏或深部地层中 H_2S 的氧化生成。天津奥陶系大城凸起与北塘凹陷地热流体中硫酸根含量较高,上覆地层均为石炭系。分析主要是石炭二叠系中火成岩侵入带来的 H_2S ,在地热流体的溶滤过程中进入奥陶系,导致硫酸根浓度增加,加上埋深较深以及隔水边界的存在,造成硫酸根离子的富集。这也是奥陶系地热流体分区的主要影响离子因素。

4 奥陶系热储水动力特征

本次水动力条件分析主要侧重于钻井过程中漏失位置所表征的水动力特征,即有漏失(岩溶发育)的地区视为水动力条件强烈,反之较弱^[21]。

奥陶系储层岩溶的发育受构造变形与溶蚀作用多种因素的影响。不整合面岩性、岩溶古地貌、沉积相及断裂对沧县隆起构造单元内奥陶系岩溶储层发育均有不同程度的控制作用^[22]。

4.1 上覆地层为新近系

该区域主要分布在IV级双窑凸起、潘庄凸起和王草庄凸起构造单元上,最浅漏失段距离奥陶系顶板距离一般为2~390 m,主要集中在200 m之内(图5),更多的是揭露奥陶系顶板就发生漏失^[23-25]。通过分析这些发生漏失的地热井测井资料,奥陶系顶部一般缺失峰峰组。本文认为当奥陶系上覆地层为新

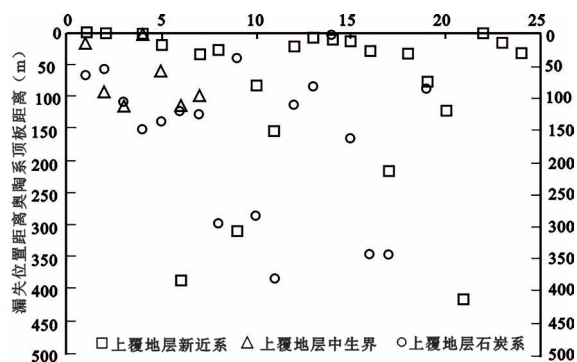


图5 漏失位置距奥陶顶板距离分布图

Fig.5 Distribution map of the distance between the missing position and the top plate of the Ordovician

近系时,奥陶系垂向水动力条件较强,主要集中在奥陶系50 m埋深范围内,不整合面是岩性以土黄色砂岩、砂质灰岩为主的风化壳,正是在这种条件下,由于淋滤作用比较强烈,泥质成分大量进入裂隙中导致水平方向裂隙条件差异性较大,所以当上覆地层为新近系,地层垂向水动力条件强烈,而水平方向上水动力条件较弱时,储层赋水性差异较大。

4.2 上覆地层为中生界

主要分布在IV级白塘口凹陷和小韩庄凸起构造单元上,最浅漏失段主要发生在距奥陶系顶板20~135 m范围内,本次统计以奥陶系为目的热储层的地热井7眼:DL-42、DL-42B、DL-51B、DL-35、HD-29B、JN-09、JN-09B井,初始涌水量分别为128.8 m³/h、112.8 m³/h、30 m³/h、108.9 m³/h、135.1 m³/h、36.9 m³/h、34.37 m³/h。可以看出该区域储层出水条件差异性较大,其中赋水条件较差的地热井DL-51B、JN-09、JN-09B井集中分布在沧东断裂附近。

研究表明沧东断裂是一条导水断裂^[26],我们一般认为导水断裂附近储层赋水性较好,推测造成该结果的主要原因是由于沧东断裂以及同生断裂的存在,在断裂附近形成错综复杂的断裂带,使得靠近沧东断裂附近的储层地层层序发生改变、水力联系通道连续性被破坏,进而影响了储层原有的赋水条件。因缺乏直接的数据支持,后期可以对该异常原因进行重点分析。

4.3 上覆地层为石炭系

沧县隆起构造单元内除双窑凸起与潘庄凸起核部地区外,该类储层均有分布,漏失段主要发生在距奥陶系顶板5~435 m范围内,分布比较随机,不具有规律性。分析原因主要是当上覆地层为石炭系时,奥陶系埋深、构造位置、盖层岩性差异很大。本次研

究选择19眼地热井(图6),其中无漏失地热井9眼,上覆地层厚度为200~1400 m,涌水量不超过20 m³/h;其它10眼地热井在钻井过程中发生不同程度的漏失(或钻井液失返),一般位于断裂附近,涌水量30~140 m³/h,且随着上覆地层厚度的增加涌水量呈增大趋势。此结果也与前文裂隙度与上覆地层关系规律相一致。

笔者认为,当上覆地层为石炭系时,奥陶系储层自身赋水性没有较大差异,但受断裂构造以及沉积相特征影响,奥陶系储层在平面上的水力联系强弱分布不均,影响持续的供水能力。所以当上覆地层为石炭系,且出水效果不佳的时候,可以尝试进行酸化压裂增产作业,改造储层层与层之间的水力联系通道,达到增产预期。如NK-28地热井,通过酸化压裂增产,储层涌水量由68 m³/h增大至110 m³/h^[27]。

5 奥陶系热储温度差异特征

通常情况下同一构造单元以及同一深度热储层温度相差不大。如图7,同一埋深各选定2组数据,裂隙发育程度与热储温度呈负相关关系,不同裂隙发育条件下,热储温度相差(2~19℃)。

沧县隆起储层温度在凸起区较高而在凹陷区一般比较低,同一储层在同一构造单元中,地层温度主要受盖层厚度以及储层埋深影响。奥陶系地层温度局部差异主要受裂隙发育影响,一方面,裂隙发育带地下水动力场比较活跃,热交换强烈导致热量散失、传递较强;另一方面,裂隙中填充的泥质成分对热量具有保温作用。

5.1 上覆地层为新近系

上覆地层为新近系的奥陶系热储分布地区,其间缺失了晚奥陶至古近纪地层,地层埋深较浅,经历了三次以上岩溶,风化淋滤时间大约是4.2亿年^[28],裂隙发育较好。同时,该区域奥陶系上覆地层岩性以砂岩、砂砾岩为主,裂隙泥质含量较低,水力联系较好,所以奥陶系热储层温度较低。

5.2 上覆地层为中生界

上覆地温为中生界时,主要分布在沧县隆起的翼部,受区域温度场影响,该区域地温较低,由图8可以看出,同等埋深条件下,上覆地层为中生界时,奥陶系热储层温度为50~53℃,低于核部上覆地层为新近系的地区,储层温度为55~70℃。同时,上覆地层为中生界的地区,其间缺失了晚奥陶至三叠纪地

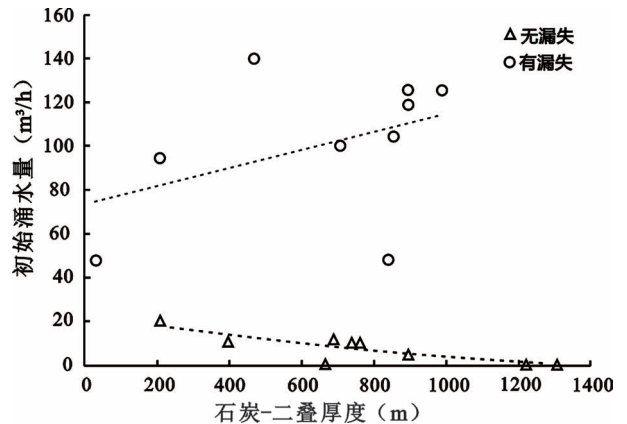


图6 上覆地层厚度与涌水量关系图

Fig.6 Relationship between the thickness of the overlying strata and the water inflow

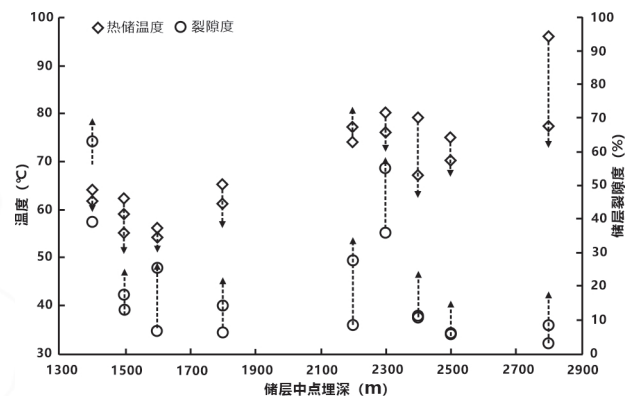


图7 奥陶系裂隙发育与地层温度关系

Fig.7 The relationship between Ordovician fracture development and formation temperature

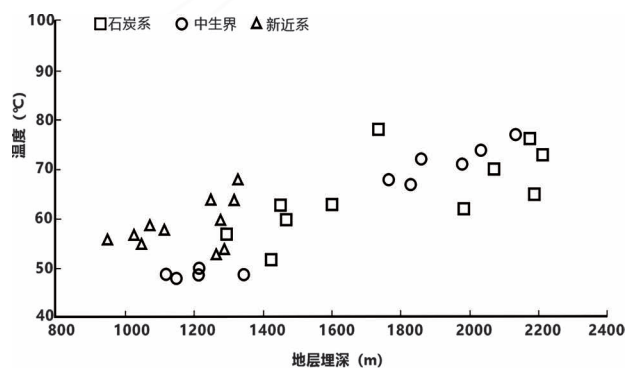


图8 不同上覆地层条件下奥陶系储层温度

Fig.8 Ordovician reservoir temperature under different overlying strata conditions

层,经历了两次以上的岩溶,风化淋滤时间大约是2.5亿年,淋滤时间也较长,热源散失较明显。受多方因素影响,上覆地层为中生界的奥陶系热储温度条件较差。

5.3 上覆地层为石炭系

由图8可以看出,在埋深较浅的地区当上覆地层

为石炭系时,储层温度高于上覆地层为中生界的区域,但当在埋深较深的地区,上覆地层为石炭系的区域地温却略低于上覆地层为中生界的区域。

分析原因,钻孔揭露奥陶系埋深较浅区域,靠近背斜核部,地温梯度最高,在揭露相同深度条件下,上覆地层为石炭系的奥陶系热储层,靠近核部,所以地温较高;而奥陶系埋深较深的区域,远离背斜核部,在揭露相同深度条件下,揭露石炭系地层相较中生界地层远离背斜核部,所以地层温度较低。

6 结论

(1)当奥陶系热储层上覆地层为石炭系时,且钻井过程中奥陶系未发生钻井液漏失,储层出水预期效果较差,涌水量一般不超过 20 m^3 ,部分钻孔涌水量为0;但一般认为通过储层改造,可以增加储层涌水量。

(2)奥陶系裂隙发育度与上覆地层关系密切,裂隙发育由高至低的顺序是中生界>石炭系>新近系,由构造裂隙影响转为淋滤作用影响;同时当奥陶系缺失峰峰组时,地层易发生漏失,裂隙发育度较高。

(3)奥陶系储层地热流体中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 及 Ca^{2+} 含量与矿化度均呈正相关关系, HCO_3^- 含量与矿化度呈负相关关系,当上覆地层为石炭二叠系时,地热流体中 SO_4^{2-} 显著提高,表明该区域地热流体运动缓慢、离子富集,矿化度增高。

(4)奥陶系热储层地温场的差异,主要受温度场区域分布影响;但上覆地层的改变,引起奥陶系储层水力联系和构造裂隙中填充岩性改变,引起局部温度差异,温差一般 $2\sim 19\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(5)本次研究主要数据来源于沧县隆起区域钻井资料,其他地区及深部奥陶系储层数据缺乏,影响了本次研究的精度。

参考文献:

- [1] 地质矿产部地质专报.天津市区域地质志[M].北京:地质出版社,1982,205-230.
- [2] 林建旺,陈瑞军,宗振海,等.天津中南部地区奥陶系地热流体层控性[J].世界地质,2012,31(02):433-440.
- [3] 何欣,马悦.华北板块奥陶系碳酸盐岩热储的水化学特征及其成因机制[J].安全与环境工程,2019,26(03):9-15.
- [4] 陈瑞军,李嫒嫒,唐永香,等.天津附近奥陶系地热流体成因与补排分析[J].世界地质,2009,28(04):539-545.
- [5] 江国胜,赵苏民,李虎,等.天津市奥陶系热储赋水规律研究[R].天津:天津地热勘查开发设计院,2015:9-12.
- [6] 宗振海,高新智,蔡芸,等.天津市动态监测2017年报告[R].天津:天津地热勘查开发设计院,2017:94-102.
- [7] 赵玉琳,尹世才,王海泉.奥陶系灰岩富水区带划分的综合水文地质研究[J].煤炭技术,2008,27(11):114-116.
- [8] 王继革,陈瑞军,易志东,等.潘庄凸起奥陶系地热井施工风险分析[J].地质调查与研究,2013,36(01):71-75.
- [9] 马永生,梅冥相.碳酸盐岩储层沉积学[M].北京:地质出版社,1999:218-229.
- [10] 陈瑞军,李嫒嫒,唐永香,等.天津市区附近奥陶系地热流体形成条件和利用研究报告[R].天津:天津地热勘查开发设计院,2004:124-171.
- [11] 田树信,翟子梅.天津市岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1996.
- [12] 中国科学院地质研究所岩溶研究组.中国岩溶研究[M].北京:科学出版社,1987.
- [13] 薛禹群.地下水动力学[M].北京:地质出版社,1997.
- [14] 赵维明.天津城区基岩热储构造研究[D].北京:中国地质大学(北京),2001.
- [15] 刘春华,王威,卫政润.山东省水热型地热资源及其开发利用前景[J].中国地质调查,2018,5(2):51-56.
- [16] 崔煜烽,张杰,殷焘,等.鲁东地区地热资源分布规律及勘查定井方法探讨[J].中国地质调查,2018,5(2):86-92.
- [17] 赵苏民.天津地区地热资源形成与特征研究[D].北京:中国地质大学(北京),2006.
- [18] 宋美钰,刘杰,秦莉红,等.天津地热流体水化学特征及同位素分析[J].地质调查与研究,2018,41(02):138-144.
- [19] 刘杰,赵苏民,高宝珠,等.天津市地热资源潜力评价[R].天津:天津地热勘查开发设计院.
- [20] 中国科学院地质研究所岩溶研究组.中国岩溶研究[M].北京:科学出版社,1987.
- [21] 钱洪强,王娟,孙玉东,等.天津地区地热钻井中地层漏失分析及堵漏方法选择[J].地质调查与研究,2016,39(03):226-230.
- [22] 方秀泽,范柱国.断裂及成岩作用对塔中奥陶系岩溶发育影响[J].当代化工,2020,49(5):915-918.
- [23] 钱洪强,王震凯.地热钻井中录井及各地层界面的判定方法探讨—以天津市东丽区民和巷DL-81地热井为例[J].地质调查与研究,2016,39(02):157-160.
- [24] 杨吉龙,汪大明,牛文超,等.天津地热资源开发利用前景及存在问题[J].华北地质,2022,45(03):1-6.
- [25] 耿明奇,王新喜.王行庄井田岩溶特征及富水性[J].能源技术与管理,2006,(5):42-44.
- [26] 卢润,杜宝金,蔡冠英,等.天津市区及王兰庄地热田勘探报告[R].天津:天津地热勘查开发设计院,1987.
- [27] 孙晓林,杨宝美,高新智,等.天津城区奥陶系灰岩热储层酸化压裂增产试验研究[J].河北工业大学学报,2019,48(06):87-92.
- [28] 吴永平,杨池银.渤海湾盆地北部奥陶系潜山[M].北京:地质出版社,2002.
- [29] 马哲民,仝路,贾琛,等.山东省菏泽市城区岩溶热储回灌试验[J].山东国土资源,2018,34(11):52-58.

- [30] 刘东林,李义曼,庞忠和,等.碳酸盐岩热储对湖水回灌的响应[J].工程地质学报,2019,27(01):178-183.
- [31] 张德忠,马云青,苏永强.河北平原地热流体可采量计算方法及岩溶热储分布规律研究[J].中国地质调查,2018,5(2):78-85.
- [32] 靳宝珍,张淑清,高宝珠,等.天津市西南部地热资源调查报告[R].天津:天津地热勘查开发设计院,2004.
- [33] 江国胜,黄贤龙,李晓晖.天津地区奥陶系热储赋水规律研究[J].地下水,2021,43(1):10-11,56.
- [34] LI J. Reservoir evaluation of the Zhouliangzhuang geothermal field, Tianjin, China[R]. Reykjavik, Iceland: Geothermal Training Programme, 2003.

Analysis of the influence of the overlying strata on the reservoir characteristics of the Ordovician thermal reservoir in Tianjin area

SUN Xiaolin, YANG Baomei, WANG Zhenkai

(Tianjin Geothermal Exploration and Design Institute, Tianjin 300250, China)

Abstract: The Ordovician thermal reservoir is a high-quality reservoir with great development potential in Tianjin. It has the characteristics of shallow burial depth, high temperature and high water quality. After years of drilling data statistics, it is found that the Ordovician thermal reservoir in different areas has a great difference in water-bearing condition, and its development and utilization has a great potential risk. Therefore, through the analysis and comparison of geothermal well data revealing the Ordovician thermal reservoirs, the differences among the water outlet capacity, fracture development degree, hydrochemical type, hydrodynamic conditions and reservoir temperature of the Ordovician thermal reservoirs are summarized under different overlying strata conditions. The results show that when the overlying strata are neogene or Mesozoic, the Ordovician reservoirs have relatively developed fractures and superior hydrodynamic conditions. The main factors affecting reservoir water-bearing capacity are weathering and leaching, and the reservoir characteristics are affected by regional structure. When the overlying strata are carboniferous, the Ordovician fractures are relatively weak, and the main factors affecting water-bearing capacity are structural fractures. Based on the coupling relationship through different factors, this paper analyzes the influence of the overlying strata on the characteristics of Ordovician thermal reservoirs, providing reliable basis for geothermal development and utilization.

Key words: Ordovician; overlying strata; fracture development; hydrodynamics; water content