

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2019.02.11

引用格式: 靳宝珍, 杨云霄, 邱京卫, 等. 天津市古潜山奥陶系岩溶裂隙发育规律研究[J]. 中国地质调查, 2019, 6(2): 94 - 99.

天津市古潜山奥陶系岩溶裂隙发育规律研究

靳宝珍, 杨云霄, 邱京卫, 田信民, 贾志

(天津地热勘查开发设计院, 天津 300250)

摘要: 奥陶系在天津平原区是具有开发前景的基岩热储,但是在开发过程中发现,该层岩溶裂隙发育极不均匀,富水性相差较大,给施工带来一定的难度,严重阻碍着地热资源的开发进程。为此,对全市近百眼揭露奥陶系地热井的资料进行对比分析,对不同构造单元奥陶系一、二类裂缝发育和原始出水量情况进行统计,总结其岩溶裂隙发育规律。研究表明:岩溶裂隙多分布于灰岩较纯的马家沟组,泥质灰岩较发育的亮甲山组和冶里组次之;在埋深小于2 300 m的地区,奥陶系裂隙发育随地层厚度的增大而增大;上覆地层为新近系和中生界的岩溶裂隙发育厚度大于上覆地层为石炭系的;双窑和潘庄凸起岩溶裂隙较发育,富水性较好;张性断裂附近岩溶裂隙最发育。据此可知,岩溶裂隙多分布在张性断裂附近、灰岩较纯的马家沟组,以及埋深较浅、上覆地层为新近系和中生界的凸起区,这些地区富水性较好,可为地热开发提供可靠依据。

关键词: 一、二类裂缝; 岩溶裂隙; 地热开发; 天津

中图分类号: P642.25

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2019)02-0094-06

0 引言

天津平原区地热资源丰富^[1],属沉积盆地传导型中、低温地热资源,其在分布区域和资源特征上有着很大优势^[2]。随着“京津冀经济圈”和“美丽天津”的建设发展及国家“十三五”地热能规划的实施,市政府加大了地热的勘查开发利用力度。目前,地热开采层位多集中在馆陶组和雾迷山组,开采地区多集中在城区。但随着地热开发规模的加大和开采深度的加深,该层位出现了热储压力下降过快和严重的开采漏斗等问题^[3],因此需要寻找新的资源层位。而回灌效果较好的奥陶系基岩热储得到了更多关注^[4]。但目前对基岩深埋区奥陶系热储开发相对较少,研究程度较低,且在钻探施工过程中遇到了许多新问题,比如钻遇奥陶系时泥浆漏失量相差较大、漏失位置不尽相同、出水量相差悬殊等等,有的甚至出现埋钻等事故,严重影响了

市场开发进程。究其上述原因,主要是对奥陶系岩溶裂隙发育规律掌握不够^[5],缺乏开发的基础依据,对施工风险和开发难度预判不足,进而影响了后期开发和资源评价质量^[6-7]。

目前,国内外学者对奥陶系各组岩性^[8]、垂向富水区分带^[9]及顶部风化壳^[10-11]等科学问题进行过一定的研究,但由于工作侧重点及掌握实测资料不同,尤其是对深埋区关于奥陶系岩溶裂隙的实测资料掌握较少,进而对奥陶系岩溶裂隙发育规律性的研究不够系统和深入,加之不同地区沉积环境存在差异,尚不能作为地热开发的可操作性依据。因此,在奥陶系热储的开发中,研究掌握奥陶系岩溶发育规律是极其重要的。

本文以天津基岩深埋区钻遇奥陶系时进行的裂隙发育厚度、位置和上覆地层岩性及原始出水量等相关实测数据的统计对比为基础,综合历年科研成果,探索奥陶系热储岩溶裂隙发育规律及其主控因素,为富水规律研究和地热开发、规划及管理提供依据。

收稿日期: 2018-10-16; 修订日期: 2018-12-27。

基金项目: 中国地质调查局“天津市基岩地质构造调查与区域地壳稳定性评价(编号: 1212011220232)”项目资助。

第一作者简介: 靳宝珍(1966—),女,教授级高级工程师,长期从事地热地质研究工作。Email: Jinying26@126.com。

1 地热地质概况

1.1 构造特征

在大地构造位置上,天津处于Ⅰ级构造单元华北陆块北缘,纵跨了燕辽裂陷带和华北盆地两个Ⅱ级构造单元^[5]。宝坻断裂以北为基岩裸露区或浅埋区,以南即华北盆地,为新生界覆盖区,是中新生代以来的断陷、拗陷盆地,总体构造线多呈NNE向展布(图1)。

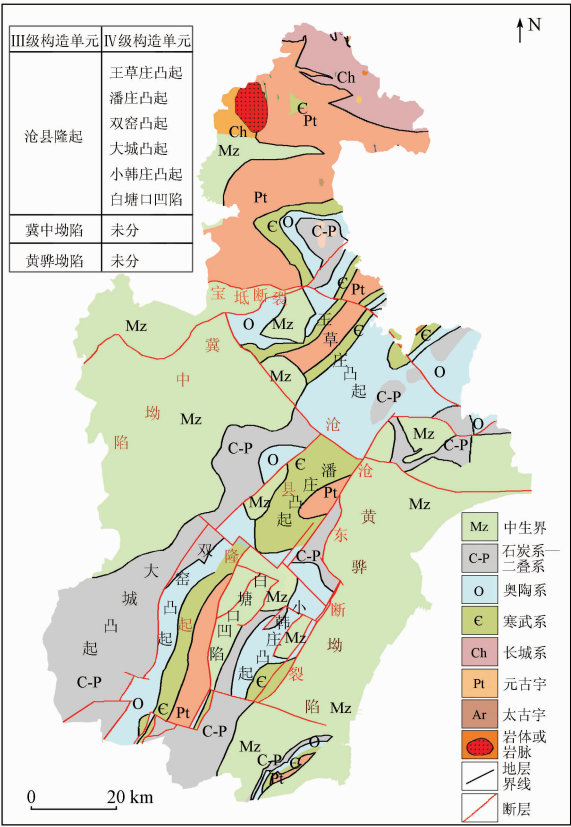


图1 天津市基岩地质简图

Fig.1 Geological sketch of the bedrock in Tianjin

奥陶系为华北地台稳定时期的沉积盖层,经历过加里东、海西和燕山期等多期构造运动^[12]。早古生代末期的加里东运动使本区整体上升,缺失晚奥陶世、志留纪、泥盆纪和早石炭世的沉积,共经历了1.3亿年的沉积间断。海西末期构造运动波及整个华北地台,使古生界发生平缓褶皱。中、下奥陶统巨厚的碳酸盐岩经过长期的岩溶作用,逐渐准平原化^[13]。

1.2 区域奥陶系分布概况

在天津地区揭露奥陶系的钻孔主要分布于宝

坻断裂以南的沧县隆起区,钻孔揭露的奥陶系埋深多在1 000 m以上,呈层状分布,区域地层岩性相对稳定。纵向上岩性差别主要体现为岩石结构的变化,且岩性复杂;横向上总体呈现岩相的变化;顶部多遭受剥蚀^[14],不同构造部位有不同程度的地层缺失,使区内奥陶系沉积发育不全。由于长期遭受风化剥蚀及复杂构造作用改造,一般在背斜核部奥陶系多缺失,翼部在基岩浅埋区形成碳酸盐岩古潜山,中、下奥陶统之间为假整合接触。本区奥陶系经历了多期岩溶叠加和构造作用改造^[15],因此,不同构造部位的岩溶裂隙发育具有明显的差异^[4]。

2 奥陶系岩溶裂隙发育规律统计

岩溶裂隙是地热流体储存、运移的通道^[16],是决定奥陶系富水性的重要因素。本文对不同构造单元钻遇奥陶系的地热井资料中的一、二类裂缝发育段总厚度、泥浆漏失情况和漏失点进行统计,采用奥陶系岩溶裂隙发育段厚度作为岩溶裂隙发育程度的定量指标,分析了岩溶裂隙发育程度与岩层顶板埋深、上覆地层岩性以及原始出水量(成井后未经酸化压裂的单井出水量)的关系,以探寻奥陶系岩溶裂隙发育规律。

2.1 钻遇奥陶系的地热井分布

天津市钻遇奥陶系的地热井共43眼^[5],其中目的层为奥陶系的有16眼(表1),主要位于基岩埋深相对较浅的Ⅲ级构造单元(沧县隆起)的潘庄凸起、双窑凸起、小韩庄凸起、白塘口凹陷、大城凸起及王草庄凸起5个Ⅳ级构造单元内(各单元位置见图1)。

表1 各构造单元钻遇奥陶系井数

Tab.1 Statistics of Ordovician wells in each tectonic unit

构造单元	钻遇奥陶系井数	以奥陶系为目的层的井数
潘庄凸起	13	2
双窑凸起	20	8
小韩庄凸起	4	2
白塘口凹陷	6	4
合计	43	16

2.2 奥陶系岩溶裂隙发育规律分析

2.2.1 岩溶裂隙发育与顶板埋深的关系

(1)潘庄凸起区:本构造单元中地热井钻遇的奥陶系顶板埋深相对较小(图2),均小于1 300 m,裂隙发育段厚度相差较大,岩溶裂隙发育极不均

匀,说明奥陶系埋藏较浅地区裂隙发育与埋深的关系不大,但总体上裂隙较发育,裂隙发育段厚度多大于 40 m。局部地区裂隙发育段厚度较小的原因主要是其原生岩溶仍比较发育。在漫长的地质历史发展过程中,地下水的溶蚀和搬运作用导致裂隙被后期沉积物或风化剥蚀物质充填,充填程度随着深度的增加而减弱。如果上覆地层是砂岩类岩石,则充填物对储层富水性影响不大;如果上覆地层是泥页岩,则充填物对地下水的流动起到了阻碍作用,使其富水程度大大降低。

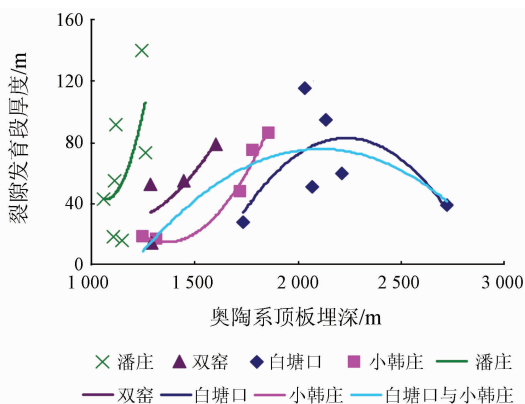


图2 奥陶系地热井裂隙发育段厚度与奥陶系顶板埋深关系散点图

Fig.2 Plot of top plate burial depth vs. fissure thickness in Ordovician geothermal well

(2) 双窑凸起区: 该区地热井钻遇的奥陶系顶板埋深相对较小,均小于 1 600 m(图 2)^[5],裂隙发育段厚度较大,多在 50 ~ 80 m 之间,随顶板埋深的增大,断裂发育段略有增大。

(3) 白塘口凹陷与小韩庄凸起区: 该区地热井钻遇的奥陶系顶板埋深小于 2 720 m(图 2),裂隙发育段厚度变化较大,在 16.5 ~ 94.4 m 之间,主要集中在 50 ~ 90 m 之间,裂隙发育段厚度随顶板埋深的增大而增大,当埋深超过 2 300 m 时,裂隙发育厚度随顶板埋深增大而略有减小。

(4) 大城凸起区: 该区地热井钻遇的奥陶系顶板埋深为 1 755 ~ 2 400 m,裂隙发育段厚度 68.6 m,由于只有一眼井统计了裂隙,因此无法得出奥陶系顶板埋深与裂隙发育段厚度的相关性。

总体上看,奥陶系顶板埋深总体为 950 ~ 2 720 m,裂隙发育段厚度 14 ~ 140 m,主要集中在 40 ~ 90 m;岩溶裂隙最发育的是埋深较浅的双窑和潘庄凸起及小韩庄凸起,其次为白塘口凹陷,最差是大城凸起;不同构造单元的奥陶系裂隙发育

程度随顶板埋深的增大而略有增大,可能是受到深部热储温度较高、溶蚀作用较强的影响^[6];但是超过 2 300 m 后裂隙的发育则随顶板埋深的增大而减小,主要原因应该是超过一定埋深时,地应力达到 20 MPa 以上,岩石压实作用较强,岩石更加致密,不利于岩溶的发育;另外,埋深越大,地下水循环交替条件越差,蚀变、岩溶裂隙发育及其连通性也较差,因而储层的富水性也较差。

2.2.2 岩溶裂隙发育与上覆地层岩性的关系

(1) Nm/O 和 Ng/O 型(上覆地层分别为明化镇组 and 馆陶组)。从图 3 可以看出: 上覆地层为 Nm 和 Ng 的奥陶系埋深最小,为 1 062 ~ 1 316 m,且埋深变化不大,而对应的裂隙发育段的厚度却相差较大,说明同样埋深岩溶裂隙发育极不均匀,这与其新生界底部岩性相关,若是泥岩则裂隙被后期充填显示裂隙不发育。

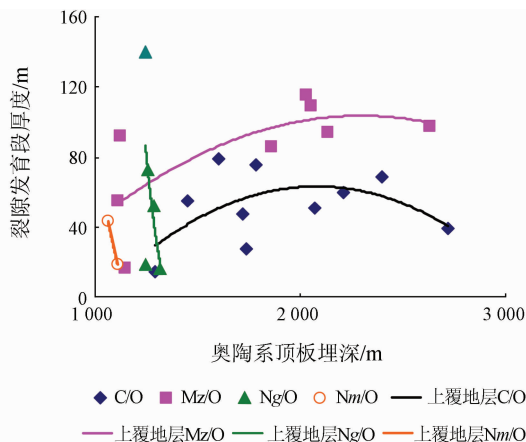


图3 不同上覆地层的裂隙发育段厚度与奥陶系顶板埋深关系散点图

Fig.3 Plot of Ordovician top plate burial depth vs. fissure thickness in different overlying strata

(2) Mz/O 型(上覆地层为中生界)。从图 3 可以看出: 上覆地层为 Mz 的奥陶系埋深多大于 1 500 m,裂隙发育段的厚度相对最大,一般为 80 ~ 120 m;埋深小于 1 500 m 的裂隙发育规律与上覆新生界的相近,即随着埋深的加大裂隙发育厚度随之增大,至 2 300 m 之后增幅略有减缓。总体上,与上覆其他地层的类型相比,其裂隙发育厚度相对较大。

(3) C/O 型(上覆地层为石炭系)。从图 3 可以看出: 上覆地层为 C 的奥陶系埋深多大于 1 500 m,该类裂隙发育段厚度 20 ~ 80 m,在达到埋深 2 300 m 之前,裂隙发育段随奥陶系顶板埋深增

大而增大,埋深达到2 400 m之后,裂隙发育段厚度的增幅略有减少。

总之,上覆为新近系(N)的奥陶系埋深最小,裂隙发育厚度相差较大;上覆中生界(Mz)的奥陶系埋深相差较大,岩溶裂隙最为发育;上覆石炭系(C)的奥陶系埋深大但岩溶裂隙最不发育。在顶板埋深基本相同的情况下,上覆地层为Mz的地热井裂隙发育厚度远大于上覆地层为C的裂隙发育厚度,且其厚度随顶板埋深的增大而先增后减,转折端为2 100~2 300 m,原因应是,与上覆地层为中生界和新生界的奥陶系相比,上覆地层为石炭系的奥陶系仅遭受1次剥蚀,而上覆为中生界和新生界的奥陶系则遭受了2次以上风化剥蚀。

2.2.3 岩溶裂隙发育与原始出水量的关系

(1)双窑凸起区。该区奥陶系裂隙发育段厚度14.5~78.9 m,原始出水量20~108.98 m³/h。从图4趋势线可以看出:裂隙发育厚度增大,原始出水量也增大。其中有相邻的地热井裂隙发育段厚度虽然较大,但原始出水量相差较大。

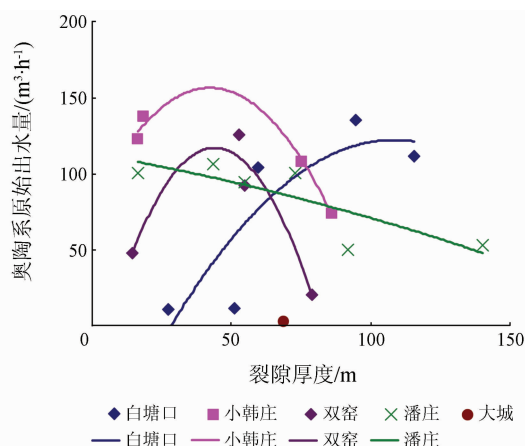


图4 奥陶系裂隙发育段厚度与原始出水量相关统计图

Fig.4 Statistics of the relation between Ordovician fissure thickness and primary water output

(2)潘庄凸起区。该区奥陶系裂隙发育段厚度16.3~109.2 m,原始出水量50.1~106.48 m³/h。从图4散点图可以看出:一般裂隙发育段厚度80 m以下的井原始出水量都在100 m³/h左右,可能是地层中裂隙较发育且连通性较好导致的。仅有少量井裂隙发育段厚度虽然大,原始出水量却相对较小(约50 m³/h)。

(3)小韩庄凸起与白塘口凹陷区。该区奥陶系裂隙发育段厚度16.5~94.4 m,原始出水量10.38~

137.29 m³/h,从散点图可以看出,裂隙发育段厚度与原始出水量呈正相关关系;仅在小韩庄凸起区有些裂隙发育段厚度虽然较大,但是原始出水量却中等。

(4)大城凸起区。该区奥陶系裂隙发育段厚度68.8m,原始出水量2 m³/h,因为只有一眼井有资料,该井位于单斜平缓部位,埋藏较深且远离深大断裂带,奥陶系岩性为灰岩但泥质含量较高,不利于岩溶裂隙发育,富水性较差,导致了地热井原始出水量较小。

总之,热储的原始出水量随热储裂隙发育段厚度的增大而增大,但是由于构造^[7]、岩性、补给来源等因素的影响,使这两者之间的线性关系出现异常;出水量较小的出现在埋深较大且裂隙发育较差的大城凸起和白塘口凹陷。

对比出水量,埋深较浅的奥陶系出水量与裂隙发育段厚度关系不大,埋深较深的奥陶系原始出水量与裂隙发育段厚度呈正相关关系;总体上裂隙比较发育的双窑凸起、小韩庄凸起和潘庄凸起原始出水量最高,富水性最好,白塘口凹陷次之,大城凸起最少,出水量小于80 m³/h的多位于后2个构造单元里,其他单元里只有少数井出水量小于80 m³/h。

2.3 影响因素分析

岩溶裂隙受多种因素控制,此处主要对岩性及断裂2种影响因素进行初步分析。

2.3.1 岩性影响

在空间上,不同构造位置、不同的沉积环境形成的岩性和岩层结构特征不一,往往会导致奥陶系岩溶裂隙发育不尽相同。横向上在大城凸起南部揭露奥陶系灰岩泥质含量较高,泥浆漏失较少,岩溶裂隙极不发育;而在东部及北部双窑和潘庄凸起区灰岩较纯,岩溶裂隙比较发育;在垂向上,岩溶裂隙发育位置也存在差异^[8],一般奥陶系马家沟组灰岩较纯,而下奥陶统泥质含量相对较高,一类裂缝大部分分布于奥陶系马家沟组,少部分埋藏较浅的亮甲山组和冶里组也有发育,因其遭受了相对更长时间的风化剥蚀,其岩溶裂隙相对较为发育。总体上纯灰岩和白云岩裂隙发育程度好于泥质灰岩和泥质白云岩。

2.3.2 断裂影响

在张性断裂或断裂交汇复合部位,裂隙极为发育^[17-18],基本不受埋深因素制约。经统计,地热井钻至断裂带时泥浆漏失量较大,原始出水量也大;而附近未钻遇断裂的地热井漏失较小,出水量也较小。这说明在断裂附近裂隙明显发育,断裂对裂隙的影响范围随着断裂性质及规模有所不同(由于背斜核部附近奥陶系缺失,因此未对此进行统计)。

3 结 论

(1)奥陶系岩溶裂隙发育部位主要受断裂构造控制,无论深部还是浅部,岩溶裂隙在张性断裂构造带或断裂交汇部位都最发育。

(2)奥陶系顶板埋深较浅、相对暴露地表时间较长(上覆地层为非泥页岩)的双窑、潘庄及小韩庄凸起区,岩溶裂隙比较发育。裂隙发育段厚度随着埋深的加大而增大,但是埋深超过 2 300 m 后,埋深越大裂隙越少。

(3)奥陶系岩溶裂隙受岩性影响较大,灰岩较纯的马家沟组岩溶裂隙最为发育,亮甲山组和冶里组次之。

(4)在天津古潜山奥陶系岩溶裂隙发育较好的地区主要是在埋藏较浅且上覆地层为 Nm、Ng、Mz 的双窑凸起、潘庄凸起和小韩庄凸起区;岩溶裂隙不发育的地段在埋藏较深且上覆地层为 C 的大城凸起和白塘口凹陷。

(5)原始出水量受裂隙发育影响较大,在奥陶系埋深较浅的双窑和潘庄及小韩庄凸起岩溶裂隙最发育,原始出水量最大;白塘口凹陷次之;埋深较大的大城凸起裂隙发育最差,原始出水量最少。出水量小于 80 m³/h 的地热井多位于岩溶裂隙发育较差的后两个构造单元里,其他单元里只有少数井原始出水量小于 80 m³/h。

(6)该研究成果在不同构造部位、不同埋深、不同上覆地层的奥陶系地热井施工中已得到了实际应用,减少了开发风险,为今后指导同类地区地热开发及相关研究提供了依据。

深埋区实测资料不完善且数量有限,以及岩石

成分测试缺乏等原因,影响了本次研究的精度。今后在条件具备的情况下还需加强热储沉积建造、岩石成分和水动力条件影响及构造因素对岩溶裂隙影响的研究,使该热储的研究更加精细化,提高岩溶裂隙发育预测的精准度,使基础地质研究更好地服务于当地经济发展。

参考文献:

- [1] 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,1987:23-49.
- [2] 陈振霞,陈朝生,王福江,等. 天津市山岭子地热资源详查报告[R]. 天津:天津地热勘查开发设计院,1990:15-23.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 靳宝珍,张子亮,刘斐,等. 天津市能源矿产资源成矿规律调查与研究[R]. 天津:天津地热勘查开发设计院,2015:131-190.
- [6] 茹洪久,刘东林,胡慧川,等. 天津地热资源评价与综合研究[J]. 中国地质调查,2018,5(2):25-31.
- [7] Li J. Reservoir evaluation of the Zhouliangzhuang geothermal field, Tianjin, China [R]. Reykjavik, Island: Geothermal Training Programme, 2003:358-380.
- [8] 天津市地质矿产局. 天津市区地质志[M]. 北京:地质出版社,1992:73-77.
- [9] 王建华. 淄博地区岩溶垂直分带规律[J]. 长春地质学院学报,1990,20(3):301-305.
- [10] 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.
- [11] 潘国营,聂新良,王长文. 焦作矿区底板岩溶突水特征与预测[J]. 焦作工学院学报,1999,18(2):89-92.
- [12] 林黎,王坤,林建旺,等. 天津市深部地热资源普查报告[R]. 天津:天津地热勘查开发设计院,1999:31-47.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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,2004:13-20.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.

Research on karst fissure development pattern of
the Ordovician buried hills in Tianjin

JIN Baozhen, YANG Yunxiao, QIU Jingwei, TIAN Xinmin, JIA Zhi
(Tianjin Geothermal Exploration and Development – Designing Institute, Tianjin 300250, China)

Abstract: Ordovician is a promising bedrock thermal reservoir in Tianjin Plain. However, during the process of development, it is found that the karst fractures in this stratum are very uneven and the aquosity is quite different, which may bring difficulties to the construction and seriously hinder the development of geothermal resources. Therefore, the data of nearly 100 Ordovician geothermal wells in this city were compared and analyzed, and the development of Ordovician type I and type II fractures and the original water output in different tectonic units were statistically analyzed to summarize the development law of the karst fissure. The results show that the karst fissures are mainly distributed in Majiagou Formation with relatively pure limestone, followed by Liangjiashan Formation and Yeli Formation with relatively developed argillaceous limestone. In the areas with burial depth less than 2 300 m, the fissure development of Ordovician System increases with the increasing of formation thickness. The thickness of karst fissures in the overlying strata of Neogene and Mesozoic is thicker than that in the overlying strata of Carboniferous. The karst fissures in Shuangyao and Panzhuang uplifts are well developed and water-rich. Karst fissures are most developed near tensional faults. According to this, karst fissures are mostly distributed near tensional faults and Majiagou Formation with pure limestone, mainly uplift areas with shallow burial depth and Neogene and Mesozoic overlying strata. These areas are rich in water, which can provide reliable basis for geothermal development.

Key words: type I and type II fractures; karst fissure; geothermal exploitation; Tianjin

(责任编辑: 刁淑娟)