

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.04.10

引用格式: 邱京卫, 辛玉齐, 邵炳松, 等. 天津市南部平原区雾迷山组热储岩溶裂隙发育规律[J]. 中国地质调查, 2023, 10(4): 81–88. (Qiu J W, Xin Y Q, Shao B S, et al. Development law of karst fractures in the thermal storage of Wumishan Formation in Southern Plain District of Tianjin[J]. China Geological Survey, 2023, 10(4): 81–88.)

天津市南部平原区雾迷山组热储岩溶裂隙发育规律

邱京卫, 辛玉齐, 邵炳松, 刘 赞

(天津地热勘查开发设计院, 天津 300250)

摘要: 蓟县系雾迷山组是天津主力开发的热储层位, 对这套地层的研究主要集中在热储层温度场、动力场、水化学场和地表水回灌等方面, 在热储岩溶裂隙方面的研究较少。通过对天津市 138 眼雾迷山组地热井的完井和测井资料进行对比分析, 统计了不同构造单元雾迷山组一、二类裂缝发育, 热储顶板埋深, 地热井单位涌水量和上覆不同地层的情况, 总结了其岩溶裂隙发育规律。结果表明: 雾迷山组岩溶裂隙较发育, 漏失部位距热储顶板埋深距离集中在 100 m 以内; 热储顶部岩溶发育, 裂隙发育受上覆不同地层的影响不大, 裂隙发育与该层顶板埋深的相关性不明显, 但整体上有裂隙发育随顶板埋深加大而略有减小的趋势; 地热井的单位涌水量随裂隙发育程度的增大而变大; 热储裂隙比集中在 0.1~0.4, 受构造影响, 在张性断裂构造带、断裂交汇和背斜轴部热储构造裂隙较发育。研究结果可为天津市雾迷山组地热的有效开发利用与地热钻探提供参考。

关键词: 岩溶裂隙; 雾迷山组; 天津市

中图分类号: P314

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2023)04–0081–08

0 引言

天津市地热资源丰富, 开发利用较早, 至 2021 年, 地热资源开采量超过了 4 000 万 m^3 , 减少排放污染物 110 万 t (含二氧化碳 109 万 t), 是助力天津实现双碳目标的重要手段之一。天津市已有地热井 700 多眼, 其中雾迷山组地热井 300 多眼, 占据了总井数量的近一半, 因该层的热储条件好, 发育稳定, 成为了天津开发利用的主要热储层。但该层热储岩溶裂隙发育, 给地热钻探带来了许多的施工风险, 当钻遇漏失地层时, 井内的地热流体液面会迅速下降^[1], 导致液柱压力降低, 井壁失稳, 造成地层坍塌出现埋钻事故。研究雾迷山组岩溶裂隙发育规律, 对避免或减轻施工和开发风险尤为重要。

目前, 前人对雾迷山组热储温度场变化^[2]、非原水回灌^[3]、岩溶非均一性^[4]、热储水化学特征和

赋存环境^[5]、水动力场^[6]开展了一定的研究, 但在雾迷山组裂隙发育方面的研究较少。分析裂隙发育与热储埋深、热储厚度、热储水文参数之间的关系, 寻找裂隙发育规律, 是合理、高效利用岩溶地热资源的重要前提^[7]。

本文在前人研究的基础上, 结合基础地质、地球物理测井(一、二类裂隙)、钻井等资料, 整理统计雾迷山组裂隙发育位置 and 不同上覆地层及漏失情况等实测数据, 探索雾迷山组热储岩溶发育规律, 分析裂隙发育的主控因素, 旨在为地热开发及研究地热资源富集提供依据。

1 研究区地质概况

天津市南部平原区位于华北盆地北部, 是中朝地台经历古生代沉积, 并在印支期、燕山期和喜马拉雅期构造运动的基础上发展起来的中生代—新生代断陷盆地, 整体构造线呈 NNE 向展布(图 1)。

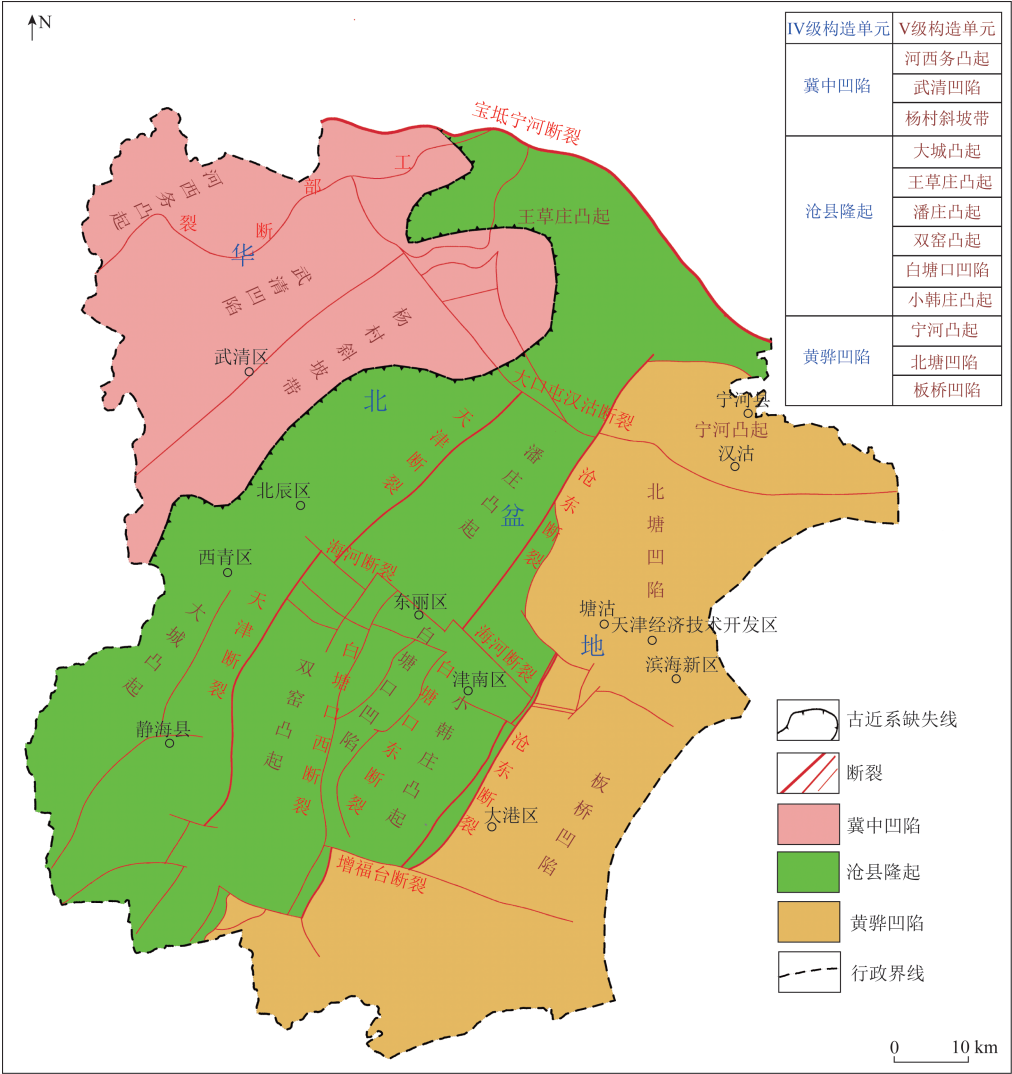


图1 天津市南部平原区构造图

Fig.1 Region structure of Southern Plain District of Tianjin

研究区自太古宙至第四纪历时 30 多亿年,期间经历了漫长而复杂的地质演化过程。太古宙和元古代期间发育的岩石,在经历迁西运动、阜平运动、吕梁运动等多次构造热事件后,不断增生、扩大、形变、固化,形成了统一的结晶基底;中元古代至中生代三叠纪是地台盖层沉积期,中元古代一新元古代的强烈凹陷沉积了巨厚的海相地层,雾迷山组的碳酸盐岩就在此时形成,之后蓟县运动使地壳上升,地层遭受一定程度剥蚀,至古生代进入稳定的海相沉积阶段;中生代三叠纪的印支期使盆地形成一系列大型的由背斜和向斜组成的隆凹相间的构造格局,燕山期太平洋板块俯冲使得陆块活化、破坏,产生了强烈的构造活动,陆块发生了大规模的拉张开裂、裂陷解体,表现为中小型张性断裂发育并伴有强烈的岩浆活动,盆地内凸起与凹陷相

间发育的格局便形成于此时。古新世是凸起和凹陷形成的雏形时期,渐新世至中新世期间,沧县隆起凸起区保持抬升,上部地层从古近系至雾迷山组受到不同程度的风化剥蚀,直至上新世明化镇期进入坳陷盆地阶段^[8],地层接受新近系至第四系的稳定沉积,最终形成现代的平原地貌。

2 平原区裂隙形成

平原区岩溶裂隙的形成主要经历 3 个阶段:一是原始空隙形成阶段,雾迷山组沉积期,海平面下降,在大气降水淋滤和溶蚀作用下,形成岩石的原始溶孔、溶洞和溶缝;二是次生空隙形成阶段,芹峪运动使地层抬升,在经历了短暂的风化淋滤作用后,原始空隙经扩大和增加后形成次生孔隙;三是

大量裂隙形成阶段,燕山期至喜马拉雅期,强烈的构造作用使得地层抬升,经受了长期的风化剥蚀和大气降水淋滤,形成了大量的孔、洞、缝,风化壳发育明显,与上覆地层呈不整合接触。

中元古界—新元古界和下古生界(前述的第一和第二阶段)形成的空隙和风化壳,因形成时间较早,多数的空隙被后期的物质填充,形成的岩溶裂隙发育不明显。中生界—新生界以来形成的空隙和风化壳是地下水最好的储集体(前述的第三阶段)^[9],这个时期构造活动强烈,产生了大量的断裂、岩石裂隙和风化壳,构造活动时间长,加深了岩溶作用深度,促进了岩溶裂隙发育,形成了有利于热储发育的储集空间和运移通道。

3 雾迷山组岩溶裂隙发育规律

岩溶裂隙是地热流体储存、运移的通道^[10],是决定雾迷山组富水性的重要因素。本研究对钻遇

雾迷山组的地热井资料进行整理分析,根据各井的综合测井解译图中划分的一、二类裂隙发育段,统计一、二类裂隙发育段位置和一、二类裂隙总厚度,并揭露热储的厚度。用裂隙比(裂隙发育厚度占揭露热储厚度的比值)作为裂隙发育指标^[11],分析裂隙发育与顶板埋深和上覆不同地层的关系。从一、二类裂隙距雾迷山组顶板距离,地热井单位涌水量,漏失情况和漏失点距地层顶板距离等多个方面入手,对平原区雾迷山组地热井的钻孔分层数据及测井资料进行综合分析整理,以探寻基岩热储岩溶裂隙发育规律。

3.1 雾迷山组地热井分布

钻遇雾迷山组的地热井主要位于Ⅳ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、大城凸起及冀中拗陷的杨村斜坡带 6 个Ⅴ级构造单元内,这些地区为基岩埋藏相对较浅的地区。本次搜集到的雾迷山组资料较全的地热井有 138 眼(图 2),各构造单元内的地热井数见表 1。

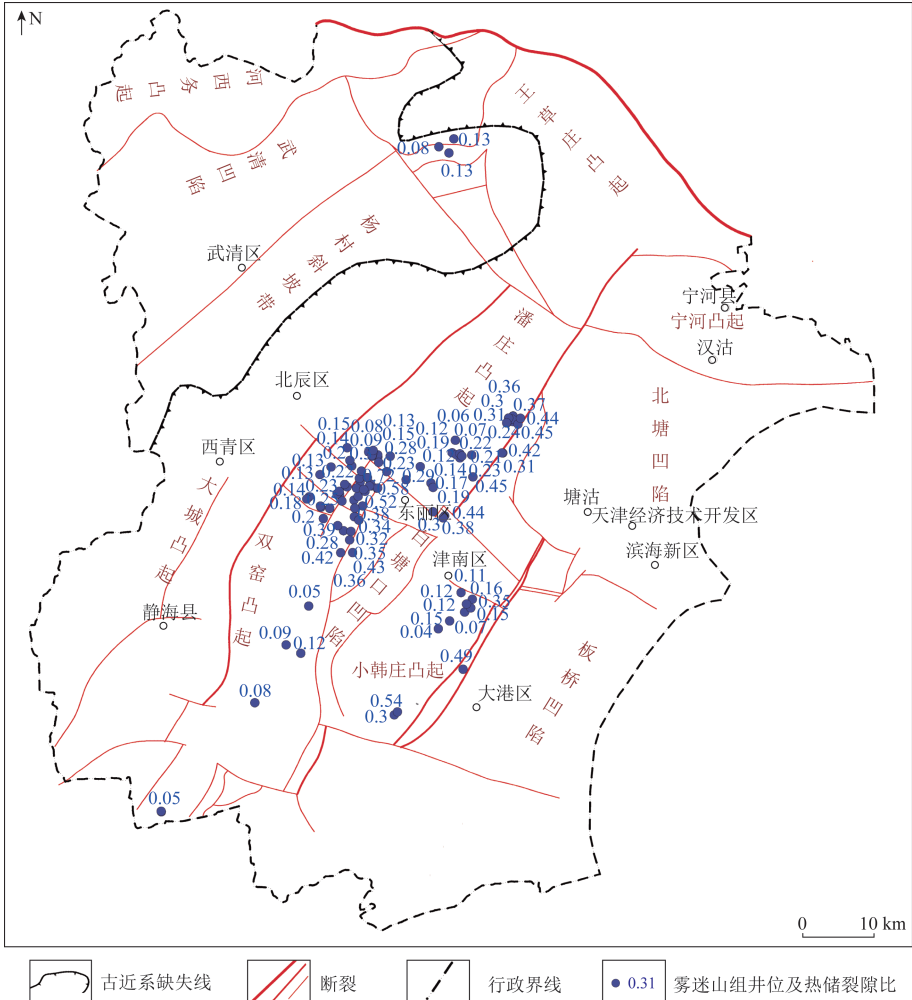


图 2 雾迷山组地热井裂隙比分布

Fig.2 Fracture ratio of the geothermal wells in Wumishan Formation

表 1 各构造单元雾迷山组井数

Tab.1 Number of wells in Wumishan Formation for each structural unit

构造单元	雾迷山组地热井数/个
杨村斜坡带	3
潘庄凸起	33
双窑凸起	50
白塘口凹陷	11
小韩庄凸起	40
大城凸起	1
合计	138

3.2 雾迷山组岩溶裂隙发育规律

3.2.1 岩溶裂隙发育与顶板埋深的关系

雾迷山组地热井裂隙比与顶板埋深关系如图 3 所示。

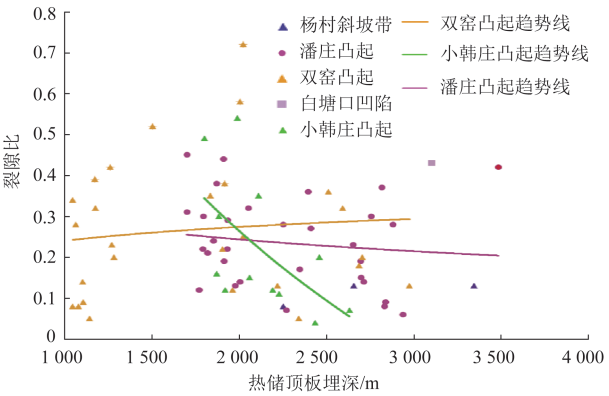


图 3 雾迷山组地热井裂隙比与顶板埋深关系

Fig.3 Relationship between the fracture ratio of geothermal wells and the buried depth of the roof for Wumishan Formation

(1)杨村斜坡带。从图 3 可以看出,该区雾迷山组揭露顶板埋深为 2 250 ~ 3 344 m,裂隙比为 0.08 ~ 0.13。该单元雾迷山组地热井位于杨村斜坡带东侧,顶板埋深均较深,岩溶裂隙发育相对较差。

(2)潘庄凸起。从图 3 可以看出,该区雾迷山组揭露顶板埋深为 1 698 ~ 3 481 m,裂隙比为 0.06 ~ 0.45,裂隙比随顶板埋深的增大而减小。从散点分布可以看出,大部分裂隙比主要集中在 0.1 ~ 0.4。裂隙比偏高的地热井位于断裂交汇部位或是背斜轴部,背斜轴部和断裂附近岩溶裂隙较发育。

(3)双窑凸起。从图 3 可以看出,该区雾迷山组揭露顶板埋深为 1 045.3 ~ 2 974 m,裂隙比为 0.05 ~ 0.72。和盛 3 井裂隙比为 0.72(图 2),由华北石油管理局进行测井,该井于 1999 年完井,测井曲线显示该井的一、二类裂隙厚度为 322 m,雾迷山组热储厚度为 447 m,该井位于白塘口断裂带上,钻

遇热储层时地层漏失严重。由双窑凸起趋势线可以看出,埋藏较浅地区岩溶发育相差较大,明显受到上覆地层岩性的影响,埋藏较深地区随着埋深的增大裂隙比趋于平稳。由散点分布可以看出,这些地热井雾迷山组顶板埋深多小于 3 000 m,裂隙比集中在 0.1 ~ 0.4。裂隙发育受埋深的影响不大,裂隙较发育的地热井位于断裂附近。

(4)白塘口凹陷。该区大部分地区雾迷山组埋深较深,多大于 4 000 m。仅有一眼井揭露顶板埋深为 3 100.8 m,裂隙比为 0.43(图 2)。雾迷山组埋深较深,裂隙较发育。

(5)小韩庄凸起。从图 3 可以看出,该区雾迷山组揭露顶板埋深为 1 798 ~ 2 630 m,裂隙比为 0.04 ~ 0.54。由小韩庄凸起趋势线可以看出,裂隙比随顶板埋深的增大而减小。由散点分布可以看出,大部分地热井的裂隙比主要集中在 0.1 ~ 0.4。岩溶裂隙比较发育的地区位于白塘口东断裂与海河断裂交汇部位及沧东断裂附近。

经上统计,揭露雾迷山组顶板埋深为 1 045.3 ~ 3 481 m,裂隙比为 0.04 ~ 0.72,裂隙比主要集中在 0.1 ~ 0.4,除杨村斜坡带上局部埋深较大地区裂隙发育相对较差外,岩溶裂隙普遍发育,且总体随着埋深的增大裂隙比略有减小,在背斜轴部和断裂及断裂交汇部位裂隙最为发育(图 2)。总体来说,雾迷山组岩溶裂隙较发育,受构造的影响较大。

3.2.2 岩溶裂隙发育与上覆地层岩性的关系

雾迷山组地热井裂隙比与上覆地层关系如图 4 所示。

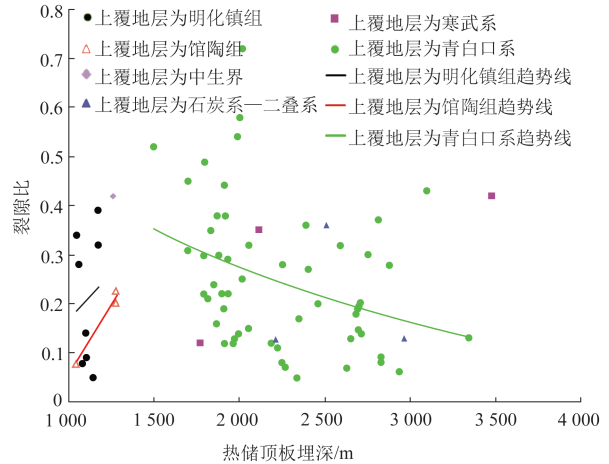


图 4 雾迷山组地热井裂隙比与上覆地层关系

Fig.4 Relationship between the fracture ratio of geothermal wells and the overlying stratigraphy for Wumishan Formation

(1)上覆地层为明化镇组(Nm)。从图4可以看出,上覆地层为明代镇组的雾迷山组地热井的埋深较小,为1 046~1 174.8 m,且埋深变化不大,而对应的裂隙比相差却较大,说明同样埋深岩溶裂隙发育不均匀,裂隙比均小于0.4。

(2)上覆地层为馆陶组(Ng)。从图4可以看出,上覆地层为馆陶组的雾迷山组地热井埋深较小,为1 045.3~1 280 m,裂隙比为0.08~0.23。总体上看,该类型的地热井只有3眼,均位于双窑凸起东侧的雾迷山隆起区,雾迷山组埋深较浅,裂隙比均小于0.3。

(3)上覆地层为中生界(Mz)、上覆地层为石炭系一二叠系(C-P)、上覆地层为寒武系(Є)。这3种属于穿断裂型,从图4可以看出,明显走两个极端,一些大于0.35,裂隙较发育,一些约0.13,裂隙发育较差,说明断裂不同部位裂隙发育也不一样。其中:上覆地层为中生界的雾迷山组地热井只有一眼,裂隙较发育,位于白塘口凹陷的白塘口西断裂带附近,埋深为1 260 m,裂隙比为0.42;上覆地层为石炭系一二叠系的雾迷山组地热井位于双窑凸起区东侧的王兰庄背斜轴部,埋深为2 218~2 974 m,裂隙比为0.13~0.36,地热井为雾迷山组二、三段混采利用,因此裂隙比小;上覆地层为寒武系的雾迷山组地热井埋深为1 770~3 481 m,裂隙比为0.12~0.42,该类型的地热井有3眼,两眼位于潘庄凸起的岭头断裂附近,一眼位于小韩庄凸起上。

(4)上覆地层为青白口系(Qb)。从图4可以看出,上覆地层为青白口系的雾迷山组地热井埋深为1 502~3 344 m,裂隙比为0.04~0.72。该类地热井较多,裂隙比随着热储顶板埋深的增大而减小,裂隙比集中在0.1~0.4。岩溶裂隙比较发育的地区为岭头断裂与海河断裂交汇部位及海河断裂与白塘口西断裂交汇部位。

总之,雾迷山组岩溶裂隙较发育:上覆新生界的雾迷山组埋深最小,裂隙发育相差较大;上覆中生界和古生界的雾迷山组埋深较浅,受断裂性质影响较大,岩溶裂隙较发育;上覆青白口系的雾迷山组热储层顶板埋深较深,裂隙比集中在0.1~0.4,裂隙发育随顶板埋深的加大而略有减小;断裂带交汇部位裂隙相对于背斜轴部和断裂带附近的裂隙更发育。

3.2.3 岩溶裂隙发育与单位涌水量的关系

雾迷山组地热井裂隙比与单位涌水量关系如

图5所示。

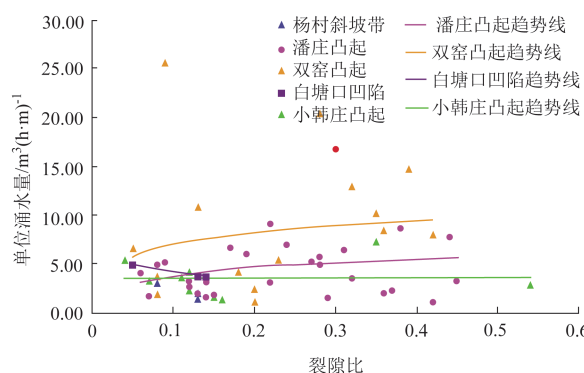


图5 雾迷山组地热井裂隙比与单位涌水量关系

Fig.5 Relationship between the fissure development and unit water inflow for Wumishan Formation

(1)杨村斜坡带。从图5可以看出,该区雾迷山组裂隙比为0.08~0.13,单位涌水量为1.45~3.19 m³/h·m。该区有3眼地热井,由于地热井较少,单位涌水量与裂隙比的关系不明显。

(2)潘庄凸起。从图5可以看出:该区雾迷山组裂隙比为0.06~0.45,单位涌水量为1.07~16.74 m³/h·m;该区热储单位涌水量随着裂隙比的增加而增大,单位涌水量集中在3~7 m³/h·m。岩溶裂隙较发育,出水能力较好的地热井主要位于白塘口西断裂带附近。

(3)双窑凸起。从图5可以看出:该区雾迷山组裂隙比为0.05~0.43,单位涌水量为1.11~25.63 m³/h·m;该区热储单位涌水量随着热储裂隙比的增加而增大,单位涌水量集中在3~11 m³/h·m之间。该区单位涌水量大且裂隙发育的地热井位于王兰庄背斜轴部和白塘口西断裂附近,白塘口西断裂沟通了雾迷山组和奥陶系热储的水力联系,该断裂附近的,尤其是断裂下盘地热井裂隙更发育。

(4)白塘口凹陷。从图5可以看出,该区雾迷山组裂隙比为0.05~0.14,单位涌水量为3.80~4.97 m³/h·m,该区热储的单位涌水量不大,热储裂隙比较小,单位涌水量与裂隙比的关系不明显。

(5)小韩庄凸起。从图5可以看出:该区雾迷山组裂隙比为0.04~0.54,单位涌水量为1.36~7.31 m³/h·m;该区热储单位涌水量与裂隙比的相关性不明显,单位涌水量集中在2.39~5.4 m³/h·m之间。

经上统计,雾迷山组裂隙比为 0.04 ~ 0.54,热储单位涌水量为 1.11 ~ 25.63 m³/h · m。总体来说,雾迷山组地热井的单位涌水量随热储裂隙比的增加而增大。除杨村斜坡带外,总体上,双窑凸起地热井的出水条件最好,潘庄凸起次之,小韩庄凸起最差,但各单元内位于断裂带附近及背斜核部的地热井构造裂隙均较发育,单位涌水量均较大。

3.2.4 钻探漏失处与顶板距离的关系

地热井成井后,钻探过程中的漏失情况和完井后的测井结果是选择取水段的重要依据,因此本研究对所有钻遇雾迷山组热储层的地热井一、二类裂隙发育情况及钻进过程中的漏失情况进行了统计(图 6)。

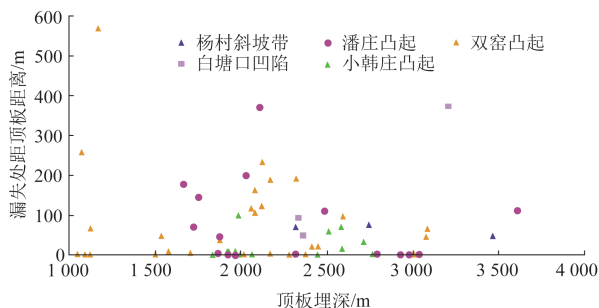


图 6 雾迷山组顶板埋深与漏失段距顶板距离散点图

Fig.6 Scatter plot of the buried depth of the roof in Wumishan Formation and the distance between the top plate and the missing section

(1)杨村斜坡带。从图 6 可以看出,该区雾迷山组顶板埋深为 2 250 ~ 3 344 m,漏失处距顶板距离为 46 ~ 73.5 m,漏失处距顶板距离多小于 74 m,表明该类地区主要为顶部岩溶裂隙发育。

(2)潘庄凸起。从图 6 可以看出,该区雾迷山组顶板埋深为 1 698 ~ 3 481 m,漏失处距顶板距离为 0 ~ 369 m。漏失处距顶板距离较大的地热井位于东丽区空港,但大部分还是集中在距顶板距离 200 m 范围内,因此说明该类地区岩溶裂隙发育主要在顶部。

(3)双窑凸起区。从图 6 可以看出,该区雾迷山组顶板埋深为 1 045.3 ~ 2 977 m,漏失处距顶板距离为 0 ~ 569 m。除团泊东区 3 眼地热井漏失处距顶板距离较远外,均集中在 200 m 以浅。

(4)白塘口凹陷。从图 6 中可以看出,该区雾迷山组顶板埋深为 2 268 ~ 3 100.8 m,漏失处距顶板距离为 47 ~ 370 m。除团泊东区 1 眼地热井漏失

处距顶板距离较远外,均集中在 100 m 以浅。

(5)小韩庄凸起。从图 6 可以看出,该区雾迷山组顶板埋深为 1 792 ~ 2 704 m,漏失处距顶板距离为 0 ~ 98 m。漏失处距顶板距离较大的地热井位于天津市空港,顶部岩溶发育。

经上统计,揭露雾迷山组顶板埋深为 1 045.3 ~ 3 481 m,漏失部位距顶板距离为 0 ~ 569 m,各构造单元内地热井漏失处距顶板距离主要集中在 100 m 以浅,地热井漏失部位主要位于热储顶部,漏失较严重的地热井主要分布于断裂带附近。

3.3 雾迷山组岩溶裂隙发育影响因素分析

岩性和断裂是控制岩溶裂隙发育的主要因素,本文主要分析这两种因素对岩溶发育的影响。

3.3.1 岩性影响

雾迷山组岩性总体以白云岩为主,岩性和层序稳定,富镁碳酸盐岩占绝对优势,夹少量碎屑岩和黏土岩,单岩类碳酸盐岩型沉积韵律发育,燧石含量高,形态复杂,富含叠层石和有机质。在雾迷山组基本韵律层中,灰白色页片状含砂泥晶白云岩含水性较差,经实验室分析化验,其物化与水理性质与其他岩层有明显差异。野外水文地质现象也证实了该岩层为岩溶裂隙不发育层,可见雾迷山组岩性韵律的不同,造就了雾迷山组岩溶发育的不均一性。

3.3.2 断裂影响

天津平原区发育了大量以 NNE 向和近 EW 向为主的张性正断裂,这些断裂具有规模大、控制性强和长期继承性多动的特点^[12]。一般来说,张性断裂活动使岩石破碎,易造成裂隙发育^[13],而断裂的透水性和导水性,会加强区域地下流体的径流强度,这也更有利于岩溶裂隙的发育,因此,在断裂带附近及交汇部位裂隙更发育。地热钻探时,断裂带附近钻井液漏失严重,也说明断裂附近岩溶作用强烈,岩溶裂隙更发育^[14],且断裂带附近裂隙发育程度基本不受埋深因素制约。

4 结论

(1)无论是深部还是浅部,雾迷山组岩溶裂隙在张性断裂构造带,断裂交汇和背斜轴部最发育。

(2)热储顶部岩溶发育,漏失部位距热储顶板埋深距离集中在 100 m 以浅,钻井施工过程中要注意进入雾迷山组后有漏失风险,提前做好防漏堵漏工作,以保证施工安全和成井质量。

(3)雾迷山组岩溶裂隙发育受上覆不同地层的影响不大,裂隙发育与该层顶板埋深的相关性不明显,但整体上有裂隙发育随顶板埋深加大而略有减小的趋势。雾迷山组热储裂隙比集中在0.1~0.4,总体来说,岩溶裂隙较为发育。

(4)雾迷山组地热井的单位涌水量为1.11~25.63 m³/h·m,地热井的单位涌水量随裂隙发育程度的增大而变大,断裂带附近及王兰庄背斜核部的地热井构造裂隙均较发育,单位涌水量均较大。

(5)本研究主要根据以往地热井的成井资料,整理热储顶板埋深、裂隙发育厚度、单井涌水量等数据,对比分析它们之间的关联,探索岩溶裂隙发育规律,由于在成岩建造和岩相方面的研究不多,影响了本次研究的精度。在今后工作中,还需加强对岩石薄片鉴定、井下裂隙成像、岩相古地理和岩溶裂隙垂向分带等方面的研究,使岩溶裂隙研究更加全面、更加精细。

参考文献(References):

- [1] 李国栋. 地热钻井技术的若干问题[J]. 地下水, 2008, 30(1): 85-86, 88.
Li G D. Some problems of geothermal drilling technology [J]. Ground Water, 2008, 30(1): 85-86, 88.
- [2] 蔡芸, 田光辉, 刘东林. 天津市雾迷山组热储层温度场动态特征分析[J]. 地下水, 2015, 37(6): 1-2, 57.
Cai Y, Tian G H, Liu D L. Dynamic characteristics of Wumishan Formation temperature field in Tianjin [J]. Ground Water, 2015, 37(6): 1-2, 57.
- [3] 阮传侠, 沈健, 李立亮, 等. 天津市滨海新区东丽湖地区基岩热储回灌研究[J]. 地质通报, 2017, 36(8): 1439-1449.
Ruan C X, Shen J, Li L L, et al. Researches on the reinjection of Dongli Lake bedrock reservoir in Binhai New Area, Tianjin [J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(8): 1439-1449.
- [4] 林黎, 赵苏民, 阮传侠, 等. 天津地区深部蓟县系雾迷山组热储岩溶非均一性特征研究[J]. 现代地质, 2007, 21(4): 600-604.
Lin L, Zhao S M, Ruan C X, et al. The inhomogeneity characteristics of geothermal storing karst caves of Wumishan reservoir of Jixian system in the deep part of Tianjin [J]. Geoscience, 2007, 21(4): 600-604.
- [5] 赵娜, 王光辉, 江国胜, 等. 天津东丽湖地区地热流体地球化学特征及其赋存环境[J]. 地质找矿论丛, 2016, 31(1): 142-146.
Zhao N, Wang G H, Jiang G S, et al. Geochemical characteristics and occurrence environment of geothermal water in Dongli Lake area, Tianjin, China [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2016, 31(1): 142-146.
- [6] 宗振海, 闫佳贤, 殷肖肖, 等. 天津地区雾迷山组水位降落漏斗演化特征及合理开发利用探讨[J]. 地质调查与研究, 2018, 41(4): 312-317.
Zong Z H, Yan J X, Yin X X, et al. Evolution characteristics of the Wumishan Formation depression cones in Tianjin area and discussion of rational development and utilization [J]. Geological Survey and Research, 2018, 41(4): 312-317.
- [7] 唐博宁, 朱传庆, 邱楠生, 等. 雄安新区雾迷山组岩溶裂隙发育特征[J]. 地质学报, 2020, 94(7): 2002-2012.
Tang B N, Zhu C Q, Qiu N S, et al. Characteristics of the karst thermal reservoir in Wumishan Formation in Xiong'an New Area [J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(7): 2002-2012.
- [8] 赵苏民, 孙宝成, 林黎, 等. 沉积盆地型地热田勘查开发与利用[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 15-18.
Zhao S M, Sun B C, Lin L, et al. Exploration, Development and Utilization of Geothermal Field in Sedimentary Basin [M]. Beijing: Geology Press, 2013: 15-18.
- [9] 林黎. 天津地区雾迷山组热储地下水热水资源可持续开发利用研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006: 17-24.
Lin L. Sustainable Development and Utilization of Thermal Groundwater Resources in the Geothermal Reservoir of the Wumishan Group in Tianjin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006: 17-24.
- [10] 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.
Geng M Q, Wang X X. Karst characteristics and water-rich in Wangxingzhuang, the well-field system of ancient China [J]. Energy Technology and Management, 2006(5): 42-44.
- [11] 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: 150-153.
Jin B Z, Zhang Z L, Liu F, et al. Investigation and Study on Metallogenic Regularity of Energy Mineral Resources in Tianjin [R]. Tianjin: Tianjin Geothermal Exploration and Development Institute, 2015: 150-153.
- [12] 姜夫爵, 陈敏, 王正科. 天津地区的断裂构造特征[J]. 西北地质, 2010, 43(2): 143-149.
Jiang F J, Chen M, Wang Z K. Characteristics of fault structure in Tianjin area [J]. Northwestern Geology, 2010, 43(2): 143-149.
- [13] 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: 194-196.
Tianjin Bureau of Geology and Mineral Resources. Tianjin Regional Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 194-196.
- [14] 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.
Liu C H, Wang W, Wei Z R. Analysis of hydrothermal geothermal resources and its prospect of development and utilization in Shandong [J]. Geological Survey of China, 2018, 5(2): 51-56.

Development law of karst fractures in the thermal storage of Wumishan Formation in Southern Plain District of Tianjin

QIU Jingwei, XIN Yuqi, SHAO Bingsong, LIU Zan

(*Tianjin Geothermal Exploration and Development Designing Institute, Tianjin 300250, China*)

Abstract: Wumishan Formation in Jixian System is the main – developed thermal storage formation in Tianjin, and the research on this layer mainly focuses on the temperature field, dynamic field, water chemistry field and surface water reinjection of the thermal reservoir, with little research on the karst fracture of thermal storage. In this paper, the authors analyzed and compared the completion and logging data of over 100 geothermal wells in Wumishan Formation in Tianjin to summarize the development of karst fractures of Class I and II in different structural units of Wumishan Formation, the burial depth of the thermal storage roof, the water inflow per unit of geothermal wells, the overlying different strata, and the development law of karst fractures. The results show that the karst fractures of Wumishan Formation are relatively developed, and the distance between the leakage site and the buried depth of the thermal storage roof plate is concentrated at a shallow distance of 100 m. The karst at the top of the hot reservoir is relatively developed, and fracture development is not greatly affected by different strata overlying the layer. The correlation between the fracture development and the burial depth of the roof of the layer is not obvious, but the overall fracture development tends to decrease slightly with the increase of the burial depth of the roof plate. The unit water inflow of geothermal wells increases with the increase of fracture development, and the heat storage fracture ratio is concentrated between 0.1 and 0.4. Under the influence of structure, the fractures of heat storage structure are more developed in the tensile fault structural zone, fault intersection and anticline axis. The research results could provide some references for the effective development and utilization of geothermal energy and geothermal drilling in Wumishan Formation of Tianjin.

Keywords: karst fractures; Wumishan Formation; Tianjin

(责任编辑: 刘丹)