

山东省深部岩溶热储埋藏分布及岩溶发育特征

* 杨询昌,周世海,王成明

(山东省鲁北地质工程勘察院,山东德州 253015)

摘要:根据大量已有资料,对山东省深部岩溶热储的埋藏分布及岩溶发育特征进行了分析阐述,圈定了全省深部岩溶热储分布范围为4.4万km²,共12个地热区,岩溶类型包括岩溶-裂隙和裂隙-岩溶2种类型,对全省深部岩溶热储的进一步研究以及山东省今后深部岩溶热储地热资源的勘探与开发利用具有一定指导意义和参考价值。

关键词:深部岩溶;热储;发育规律;山东省

中图分类号:P641.3 **文献标识码:**A

山东省地热资源丰富,特别是隐伏裂隙岩溶水由于径流条件好,储存量、可开采量大等而备受关注^[1]。由于深部岩溶热储埋藏较深,地质条件复杂,开采难度较大,加之技术条件所限,过去人们对其了解较少,研究程度不高。目前开展了“山东省深部岩溶热储研究”项目工作,根据该项目研究成果,以地层学、地热学、岩溶学等理论为基础,结合大量已有资料分析,对山东省深部岩溶热储埋藏分布及岩溶发育特征进行了简要阐述,对全省深部岩溶热储的进一步研究以及山东省今后深部岩溶热储地热资源的勘探与开发利用具有一定指导意义和参考价值。

1 深部岩溶热储定义及类型的划分

1.1 深部岩溶热储的定义

“深部岩溶热储”一般指赋存于深部可溶岩地层内的热储。由深部岩溶热储特征可知,它必须满足2个条件:一是赋存在一定深度内的可溶岩地层中;二是具备热储的一般性质。由于目前各研究者对“深部岩溶”的定义说法不一^[2],因此“深部岩溶热储”也无法明确界定。就山东省而言,以寒武—奥陶纪碳酸盐岩地层的埋藏深度和热储温度划界较为合适。根据正常地温梯度推算,一般埋深在大于500m深度内,热储温度才能满足地热规范要求(大于25℃)。因此,该文所指深部岩溶热储主要指埋深

500m以下赋存于寒武—奥陶纪碳酸盐岩地层中的岩溶热储。对于受断裂构造控制明显,在空间上具层状兼带状特征,其热储盖层厚度虽然小于500m,但其热储温度很高,且具有岩溶热储的一般特征,因此也属该文研究的深部岩溶热储范畴。

1.2 深部岩溶热储类型的划分

目前,山东省地热资源热储类型主要有孔隙、裂隙、岩溶3种类型,根据山东省区域地层和地质钻孔资料,山东省岩溶地层以寒武系和奥陶系为主,奥陶纪地层岩溶形态以溶蚀、裂隙、溶孔、溶洞为主,构造裂隙次之,热储层在空间上多呈层状或似层状分布,代表性岩性为灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩等;寒武纪地层岩溶形态类型以构造裂隙、风化裂隙为主,空间上具层状及层状兼带状特征,代表性岩性为灰岩、白云岩、泥质灰岩、泥质白云岩与砂、页岩互层等。因此,根据山东省深部岩溶发育的空间形态、孔隙类型及地热流体在可溶岩中的赋存状态等,并参考岩溶含水岩组的划分方法,可将区内深部岩溶热储细分为2种类型,即裂隙-岩溶和岩溶-裂隙,裂隙-岩溶型热储主要赋存于奥陶纪地层中,而岩溶-裂隙型热储主要赋存于寒武纪地层中。

2 深部岩溶热储埋藏分布及其特征

* 收稿日期:2012-10-25;修订日期:2012-11-27;编辑:陶卫卫

作者简介:杨询昌(1977—),男,贵州镇远人,工程师,主要从事水、工、环地质等方面工作;E-mail: yangxunchang@sohu.com。

2.1 深部岩溶热储分布范围

由于深部岩溶主要发育于寒武—奥陶纪碳酸盐岩地层中,因此其分布大体与寒武—奥陶纪地层一致。当前,山东省地热资源的开采技术条件一般都小于 3 000 m,因此该次以 3 000 m 为界,根据寒武—奥陶纪地层的分布,结合物探、钻探、地震等资料,可以圈定出全省深部岩溶热储的分布范围。根

据划分结果,全省 3 000 m 以浅深部岩溶热储主要分布在沂沭断裂带以西的鲁西北、鲁西南凸起区和鲁中南、沂沭断裂带局部凹陷区,包括 12 个地热区,面积约 4.4 万 km²,寒武—奥陶纪碳酸盐岩地层是区内深部岩溶热储发育的基础,其各热储及分布特征见图 1、表 1。

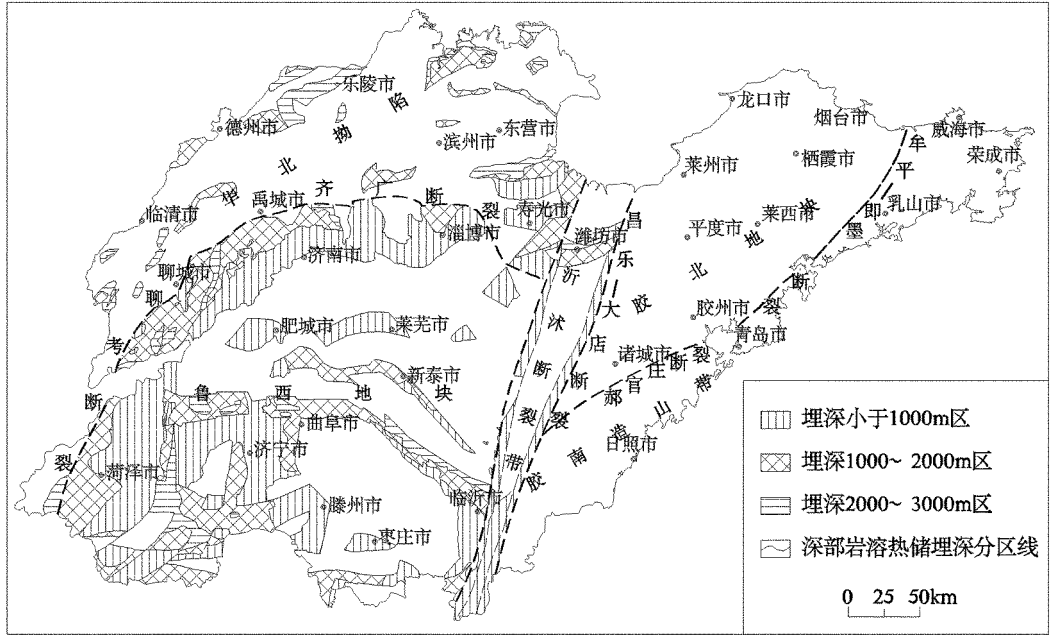


图 1 山东省深部岩溶热储埋藏分布图

表 1 山东省深部岩溶热储分布及特征

地热分区及编号	面积(km ²)	热储顶板埋深(m)	热储地层厚(m)	水温(℃)
埕子口-宁津隆起地热区(I)	1309.7	1000~3000	800~1300	62.5~98.5
沾化-车镇拗陷地热区(II)	1325.8	1000~3000	200~1500	52.0~98.5
东营拗陷地热区(III)	3040.3	500~3000	200~1500	39.0~98.5
惠民拗陷地热区(IV)	344.6	1000~1500	1000~1300	65.0~70.0
临清拗陷地热区(V)	1216.1	1000~3000	1000~1500	67.0~98.5
泰山-沂山隆起地热区(VI)	9461.2	500~3000	600~1500	32.5~92.8
肥城-泰莱拗陷地热区(VII)	1365.6	500~2200	500~850	31.0~82.3
大汶口-蒙阴拗陷地热区(VIII)	1316.0	500~1500	300~850	32.5~46.5
泗水-平邑拗陷地热区(IX)	2955.4	500~2500	300~1600	28.5~65.0
枣庄-韩庄拗陷地热区(X)	1031.2	500~1500	500~1000	31.0~55.5
菏泽-兖州隆起地热区(XI)	16896.7	500~3000	500~1300	31.0~98.5
沂沭断裂带地热区(XII)	4094.4	500~3000	300~1200	39.3~84.3

2.2 深部岩溶热储埋藏分布特征

2.2.1 垂向埋藏分布特征

前述深部岩溶热储主要分布于寒武—奥陶纪碳酸盐岩地层中,因此其垂向埋藏分布也与寒武—奥陶纪地层的埋藏分布有关,并受控于断裂构造条件。根据图 1 可知,全省深部岩溶热储埋藏变化较大,其

埋藏深度从凸起区的数百米到凹陷区的数千米不等,这显示了研究区深部岩溶热储埋藏的差异性。

根据煤炭、石油、地热钻探等成果资料统计分析,在鲁西北拗陷地热区,岩溶热储受断裂构造控制明显,埋藏深度普遍较大,凸起区一般在 1 000~2 000m,如埕子口-宁津隆起的徐 10 井钻孔揭露岩

溶热储埋深为 1 339.0 m; 凹陷区一般大于 2 000 m, 如东营拗陷和临清拗陷的王斜 95、华 4 井钻孔揭露岩溶热储埋深分别为 2 717.0 m, 2 225.0 m; 局部地区最深超过 4 000 m, 如在临清拗陷的桩古 41 井钻孔揭露岩溶热储埋深达 4 413.5 m。在鲁西南潜隆起、鲁中南地热区, 深部岩溶热储埋深差异更加明显, 其总的变化特征是: 由西向东和由北向南, 深部岩溶热储埋藏深度越来越浅, 其深度由数千米到数百米不等; 聊考-齐广断裂一带, 深部岩溶热储埋藏最深, 一般大于 2 000 m, 且表现为离断裂越远, 热储埋藏越浅; 在郓城-泗水-临邑北一带及曹县-武城等凹陷区, 深部岩溶热储埋藏也较深, 一般都在 2 000~3 000 m, 热储构造单元多以单斜和向斜断块为主, 岩溶埋深差异明显, 其热储垂向埋藏特点多表现为沿向斜两翼至轴部及单斜断块倾向方向, 热储埋藏越来越深。除上述地区外, 其他地区深部岩溶热储埋藏深度一般都在 2 000 m 以浅, 部分地区在 500 m 左右, 如肥城凹陷、泰莱凹陷等。

沂沭断裂带地热区热储主要受断裂与岩浆活动影响, 目前钻孔资料揭露较少。推测断裂带内热储主要为寒武-奥陶纪灰岩, 一般为地下水经深循环加热后富集于该层中, 其埋藏条件、热储富水性差异较大^[3]。根据煤炭、石油钻孔资料揭露, 北部潍坊一带凹陷区深部岩溶热储埋藏深度大于 1 000 m, 钻孔揭露埋深大于 900 m; 中南部深部岩溶热储埋藏较浅, 上覆主要为侏罗-白垩纪碎屑岩, 深部岩溶热储顶板埋深一般 500~1 000 m, 沂水县地热钻孔揭露埋深小于 1 000 m, 揭露寒武纪地层厚度达 1 100 m, 揭露奥陶纪地层厚度达 1 200 m, 出水量为 1 320~1 440 m³/d; 铜井、松山一带, 深部岩溶热储在空间上具典型的带状热储特征, 其类型属岩溶-裂隙型, 热储分布面积较小, 埋深较浅, 一般小于 500 m, 铜热 1 井钻孔揭露埋深为 148 m, 上覆为铜井岩体覆盖。

2.2.2 区域埋藏分布特征

由图 1 可以看出: 全省埋深 2 000~3 000 m 深部岩溶热储主要分布在鲁西北、鲁西南等凹陷区, 多呈片连续分布, 分布面积较广。埋深小于 2 000 m 的深部岩溶热储主要分布在鲁西北凸起、鲁西南潜隆起及鲁中南、沂沭断裂带等凹陷区。在鲁西北拗陷区, 深部岩溶热储埋藏较深, 平面上大多呈区块状不连续分布, 热储条件差异大, 地热资源开发利用程度不高。鲁西南潜隆起区, 北部及中西部深部岩溶

埋藏相对较深, 平面上多成片连续分布, 分布面积较广, 热储地地质条件总体较好, 目前该区地热资源开发利用程度相对较高。鲁中南与沂沭断裂带地热区, 由于受断裂构造及岩浆活动影响, 深部岩溶热储多呈带状、点状分布, 分布面积相对较小, 该区热储地地质条件各地差异很大, 总体条件较差, 目前地热资源勘探及开发利用程度不高, 部分地区以自流量形式出现, 如临沂铜井温泉、肥城安驾庄温泉等。

3 深部岩溶发育一般规律

3.1 深部岩溶垂向发育规律

深部岩溶可在可溶性岩层分布的较大的深度内形成, 由于深部地下水的循环交替条件较为微弱, 通常深部岩溶的规模不大, 多以溶孔、溶隙为主, 然而在地下水循环交替条件、水化学条件以及地质地貌条件适宜的部位, 也可能出现洞穴型的深部岩溶形态^[4]。根据石油钻孔放空、漏失资料统计分析(表 2), 区内深部岩溶发育主要受加里东期和燕山-喜山期影响^[5], 岩溶发育程度一般随着深度的增加而逐渐减弱, 垂向上具有强、中、弱、极弱分带的共同规律, 其发育深度一般在侵蚀面以下 500 m 以内^[6-7]。

表 2 钻孔漏失频率分布统计

时期	侵蚀面以	钻遇该深度	放空、漏失	频率
	下深度(m)	总钻井数(口)	井数(口)	
加里东	0~50	115	10	8.7
	50~200	104	23	22.1
	>200	65	8	12.3
燕山期	0~50	145	46	31.7
	50~200	98	10	10.2
	>200	57	3	5.3
喜山期	115	32	27.9	115
	39	8	20.5	39
	13	2	15.4	13

在加里东期, 侵蚀面以下 0~50 m, 50~200 m, >200 m 三个深度带内放空、漏失频率分别为 8.7%、22.12% 和 12.3%, 即该期岩溶作用在地层侵蚀面以下 50~200 m 岩溶发育最好, 0~50 m 和大于 200 m 两个深度带内岩溶发育程度相对较差。燕山-喜山期的岩溶作用多发生在迂回返型和中隆新凹型地质结构的高部位, 侵蚀面以下 0~50 m, 50~200 m, >200 m 三个深度带内放空、漏失频率分别为 31.7%, 10.2%, 5.3% 和 27.9%, 20.5%, 15.4%, 即在侵蚀面以下 0~50 m 岩溶发育最好, 50

~200 m 发育较好,大于 200 m 发育相对较差。当然,不同时期其垂向发育规律并不完全一致,特别受断裂活动影响,其岩溶发育深度可达侵蚀面以下上千米^[8]。

从地层及岩性来看,以车镇凹陷与莘县凹陷区的车古 209、梁古 1 井为例,从测井曲线可以看出(图 2);区内侵蚀面以下寒武—奥陶系不同深度层位内均有岩溶发育,其中 200 m 以上奥陶纪八陡组与马家沟群顶部岩溶发育最强,岩溶平均孔隙率一般大于 5%。马家沟群下部和寒武纪张夏组、朱砂洞组、馒头组岩溶也较发育,岩溶平均孔隙率一般为 3%~5%,其他层段岩溶发育程度相对较弱,岩溶平均孔隙率一般小于 3%。

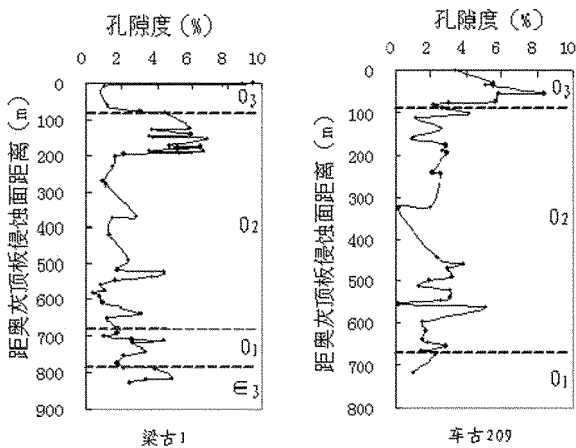


图 2 深部岩溶热储孔隙垂向变化图

3.2 深部岩溶区域发育规律

根据区内石油钻孔测井资料统计,区内加里东和燕山、喜山 3 期岩溶作用中,加里东晚期对岩溶作用影响最强,其中加里东早期济阳平均孔隙度约 0.99% 左右,而晚期平均孔隙度达 4.43%~6.2%。燕山—喜山期孔隙度一般大于 6%,这主要是由于该期断裂、裂缝比较发育,又受到多期岩溶作用的叠加,因此岩溶发育最为明显。根据两期岩溶作用叠加情况,岩溶发育最强的地区多位于隆起的高部位或断层上升盘,其地层顺序上常表现为下古生界被古近系所覆盖,而缺失中生界的地区,如菏泽高断块带,钻孔测井资料显示平均孔隙度达 8.9%;较弱岩溶区多位于上覆具有中生界的地区或断裂带附近,虽受到两期岩溶作用叠加,但受喜山期岩溶作用很小,如义和庄、武城断块等地区,岩溶发育程度较差,其孔隙度一般小于 4%。岩溶发育极弱区主要

是中新生代以来的拗陷区,燕山—喜山作用极弱,如临清—馆陶低断块带,其平均孔隙度在 1%~2%。从局部及岩层内部来看,根据鲁中南部分地热井钻孔资料分析,区内深部岩溶多沿碳酸盐岩与非碳酸盐岩的接触带、含膏岩层、水动力活跃部位及断裂带、构造破碎带分布。

4 结论

(1) 山东省深部岩溶热储可划分为 2 种类型,即深部裂隙—岩溶热储和深部岩溶—裂隙热储,裂隙—岩溶型热储主要赋存于奥陶纪地层中,而岩溶—裂隙型热储主要赋存于寒武纪地层中。

(2) 山东省 3 000 m 以浅深部岩溶热储主要分布在沂沭断裂及其以西,包括 12 个地热区,面积约 4.4 万 km²。

(3) 山东省深部岩溶热储埋藏分布具明显的差异性,凸起区一般在 500~2 000 m,凹陷区一般大于 2 000 m,局部地区最深超过 4 000 m。

(4) 山东省深部岩溶发育受加里东期和燕山—喜山三期岩溶作用影响,垂向上具有强、中、弱、极弱分带的共同规律,其发育深度一般在侵蚀面以下 500 m。加里东期岩溶作用在地层侵蚀面以下 50~200 m 岩溶发育最好,0~50 m 和 >200 m 两个深度带内岩溶发育程度相对较差;燕山—喜山期侵蚀面以下 0~50 m 岩溶发育最好,50~200 m 发育较好,大于 200 m 发育相对较差。

(5) 从地层及岩性来看,侵蚀面以下寒武—奥陶系不同深度层位内均有岩溶发育,其中 200 m 以上奥陶纪八陡组与马家沟群顶部岩溶发育最强,岩溶平均孔隙率一般大于 5%。马家沟群下部和寒武纪张夏组、朱砂洞组、馒头组岩溶也较发育,岩溶平均孔隙率一般为 3%~5%,其他层段岩溶发育程度相对较弱,岩溶平均孔隙率一般小于 3%。

(6) 沂沭断裂带凹陷区揭露深部岩溶热储的钻孔资料较少,建议在该区施工深层地热地质钻孔,加强该区深部岩溶热储研究。

参考文献:

- [1] 高宗军,吴立进,李宁. 山东省地热资源及其开发利用[J]. 山东科技大学学报,2009,28(2):1-7.
- [2] 贾秀梅. 华北平原深部岩溶和岩溶水[J]. 中国地质科学院水文地质工程地质研究所刊,1993,(9):118-128.

- [3] 杨启俭, 杨明, 李宁. 沂沭断裂带成热地质条件研究[J]. 地质调查与研究, 2008, 31(3): 278 - 283.
- [4] 许模, 毛邦燕, 张强. 现代深部岩溶研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 2008, 23(5): 495 - 500.
- [5] 黄继新, 彭仕宓, 宋来明. 车镇地区下古生界碳酸盐岩潜山岩溶模式初探[J]. 煤田地质与勘查, 2006, 34(2): 1 - 4.
- [6] 熊道锬, 傅荣华. 岩溶发育强度垂直分带方法[J]. 岩土工程技术, 2005, 19(3): 113 - 117.
- [7] 郭建华. 塔北、塔中地区下古生界深埋藏古岩溶[J]. 中国岩溶, 1996, 15(3): 207 - 215.
- [8] 陈墨香, 邓孝, 王钧, 等. 华北平原地下水形成条件与赋存特征[J]. 地球科学, 1985, 10(1): 83 - 89.

Distribution of Deep Karst Thermal Reservoir and Karst Development Characteristics in Shandong Province

YANG Xunchang, ZHOU Shihai, WANG Chengming

(Lubei Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253015, China)

Abstract: According to lots of the former information, distribution and development characteristics of deep karst thermal reservoir in Shandong province have been analyzed. The delineated scope of deep karst geothermal reservoir is 44000km², including 12 geothermal areas in total. Karst types are karst - fissure type and fissure - karst type. It has a guiding significance and reference value for further study, exploration and development and utilization of deep karst geothermal reservoir in Shandong province.

Key words: Deep karst; thermal reservoir; development laws; Shandong province