

# 渤海湾盆地乐陵地热田地热地质条件与成井分析

刘健<sup>1,2</sup> 卢星辰<sup>1,2</sup> 梁凯旋<sup>2</sup> 许勇<sup>2</sup> 刘小育<sup>3</sup>

1 中国石化集团新星石油有限责任公司 2 中石化绿源地热能开发有限公司

3 中石化绿源地热能(山东)开发有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i3.1688

**[摘要]** 本文通过搜集资料,并结合研究区内已掌握的地热井成井参数,对山东乐陵地区地质背景、地层沉积特征、储盖组合、地热井成井结构以及抽水试验数据等展开分析,并对地热井整体性能进行评价。研究区主要热储层为馆陶组砂岩,地热井显示馆陶组顶板埋深1070m左右,沉积厚度约270m,成井深度1453m,完钻层位东营组,出水温度52℃,涌水量115m<sup>3</sup>/h,综合认为该区域拥有较为优质的地热资源。根据拟合误差计算公式,确定 $\lg Q=f(\lg S)$ 曲线为最合适的涌水量拟合方程,并得出流量和水位降深关系为对数曲线,方程式为 $\lg Q=1.3823+0.4841 \star \lg S$ 。

**[关键词]** 渤海湾盆地; 乐陵地热田; 地热资源

中图分类号: P314 文献标识码: A

## Analysis of geothermal geological conditions and well formation in Leling Sag of Bohai Bay Basin

Jian Liu<sup>1,2</sup> Xingchen Lu<sup>1,2</sup> Kaixuan Liang<sup>2</sup> Yong Xu<sup>2</sup> Xiaoyu Liu<sup>3</sup>

1 Sinopec Star Petroleum Co.Ltd 2 Sinopec Green Energy Geothermal Development Co., Ltd

3 Sinopec Green Energy Geothermal(Shandong) Development Co., Ltd

**[Abstract]** This article analyzes the geological background, sedimentary characteristics, reservoir cap combination, geothermal well completion structure, and pumping test data of the Leling area in Shandong Province by collecting data and combining with the known geothermal well completion parameters in the research area. The overall performance of geothermal wells is evaluated. The main thermal reservoir in the research area is the Guantao Formation sandstone. The geothermal well shows that the top plate of the Guantao Formation is buried at a depth of about 1070m, with a sedimentary thickness of about 270m and a completion depth of 1453m. The completed drilling layer is in the Dongying Formation, with a water outlet temperature of 52 °C and a water inflow of 115m<sup>3</sup>/h. It is comprehensively believed that the area has relatively high-quality geothermal resources. According to the fitting error calculation formula, the  $\lg Q=f(\lg S)$  curve is determined as the most suitable fitting equation for water inflow, and the relationship between flow rate and water level drop is obtained as a logarithmic curve. The equation is  $\lg Q=1.3823+0.4841 \star \lg S$ .

**[Key words]** Bohai Bay Basin; Leling geothermal field; Geothermal resources

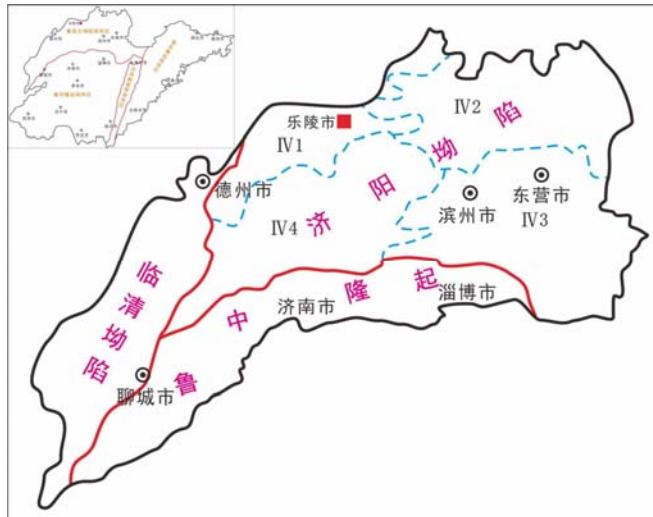
## 1 概况

乐陵市位于山东省最北部,是省内地热开发利用的主要城市之一。山东地热资源勘查工作起步相对较早,在1958年完成了全国首个地热能勘查项目—墨东温泉勘查项目,20世纪90年代,在德州市首次进行了孔隙型热储地热田的勘查工作,揭露了馆陶组砂岩热储为鲁西北区域最有价值的热储层。近年来,山东省地热资源发展迅速,地热井数量从2013年850眼增长到2018年1160眼,分布于全省16地市,助力了山东省能源转型和经济市场高质量发展。

## 2 区域地质背景

研究区位于华北地台(I级)—华北断陷(II级)—济阳坳陷区(III级)—埕子口—宁津凸起(IV级)中部。在构造上,凸起西部为临清坳陷,东部与沾化—车镇凹陷相临,南部与惠民凹陷相接。在古生代以来多期的地质构造运动下形成了如今凹凸相间的构造格局,区内主要发育NNE、NE、EW方向断裂,以隐伏型为主,主要断裂包括聊考断裂、沧东断裂、庆云断裂、齐河—广饶断裂、边临镇断裂、陵县—老黄河断裂,断裂切割至太古界变质岩基底,共同控制了研究区的地层沉积。根据省内地热地质条件和构造特征,又将全省分为四大地热区,分别为鲁西北坳陷地热区、鲁

西隆起地热区、沂沐断裂带地热区和鲁东隆起地热区,其边界断裂依次为齐河-广饶断裂、聊考断裂、沂沐断裂带。



IV1—埕子口-宁津凸起; IV2—沾化-车镇凹陷; IV3—东营凹陷;

IV4—惠民凹陷

图1 鲁西北坳陷地热区地质构造图

### 3 地层特征

自中新世以来,鲁西北地区构造运动表现为差异升降,研究区经历了长时间的下降阶段,发育了厚度超1000m的新生界地层,遭受早期因构造抬升产生的剥蚀作用,研究区缺失早古近系地层。地层自下而上依次为东营组、馆陶组、明化镇组和第四系,地层具体特征如下。

(1) 东营组(Ed): 东营组属于第三纪渐新世晚期地层。岩性表现为紫红色、灰色厚层泥岩与西砂岩、粉砂岩互层,局部含有炭质泥岩、油页岩和少量白云质灰岩。顶板埋深1400~1600m。

(2) 馆陶组(Ng): 馆陶组上部岩性表现为灰绿色、灰白色泥岩与厚层灰色砂岩互层沉积,下部岩性以灰白色泥质粗砂岩、砂岩为主,底部以砂砾岩为主,分选性较差,表现出较为明显的正旋回沉积特点。厚度400~600m。该层为本次工作的目的热储层,热储类型为层状热储。

(3) 明化镇组(Nm): 该组岩性与上下地层岩性明显不同,其主要表现为棕红色、紫红色泥岩、夹粘土岩、粘土砂岩,代表着当时为水体较浅的强氧化环境,砂岩层以粉细砂岩为主,主要成分为石英和长石,其余矿物为岩屑。与下伏馆陶组呈整合或假整合接触。该套泥岩层构成了下伏热储层的良好盖层,顶板埋深为200~400m,底板埋深为950~1150m。

(4) 第四系(Q): 区内普遍分布,为一套河流相沉积物,地层上部主要为浅棕黄、浅绿、灰色砂质粘土、粘质砂土,下部为浅黄、浅灰绿色粉砂质粘土与砂岩、细砂岩、粉砂岩互层沉积,局部发育钙质结合。地层厚度200~400m,与下伏地层呈不整合接触。

### 4 储盖组合

通过对区内已有地热井揭露地层岩性特征、测井数据解释结果及前人资料对比分析,第四系地层为研究区主要盖层,新近

系馆陶组地层为主要热储层,新近系明化镇组和古近系东营组地层为次要热储层,具体情况描述如下:

(1) 第四系保温盖层: 地层厚度为407.10m。岩性以浅棕黄、浅绿、灰色砂质粘土、粘质砂土为主,局部表现为浅黄、浅灰绿色粉砂质粘土与砂岩、细砂岩、粉砂岩互层沉积,细粒相粘土层导热条件相对较差,有效阻止了下部热量传递和散失。

(2) 新近系上新统明化镇组隔热保温层: 上新统明化镇组(N2m)厚度990m。岩性棕红色、紫红色泥岩、夹粘土岩、粘土砂岩,构成了区域内第二套盖层,对下部地热层也起到了良好保温作用。

(3) 新近系中新统馆陶组热储层: 馆陶组热储层埋藏深度1070~1440m,厚度约370m,整体上表现为上下分层的特点,上部呈砂质泥岩与中细、中粗砂岩互层沉积,局部砂岩含砾。下部岩性以灰白色泥质粗砂岩、砂岩为主,底部以砂砾岩为主,且分选性较差,组成了研究区内优质的热储层。

根据已知井测井数据,砂岩热储孔隙度为21.39~31.72%,渗透率为170.74~912.89mD,顶底板温度实测值分别为41.3℃和45.6℃,平均温度为43.45℃。

### 5 成井结构

以区域内某小区内1口回灌井为例展开分析,回灌井为直井结构,成井井深修改为1453m,施工历时41天。

回灌井采用二开成井结构(详见井身结构示意图2及表1)。本次套管类型为石油专用钢管。井深0.00~300m,井径为Φ444.50mm,下入Φ339.7mm石油套管,长度297.05m,防止井口地层坍塌,套管高出地面0.5米。在Φ339.7mm套管与裸眼的环形空间内,注入42.5高标号水泥进行固井,水泥上返至地面。井深300~1453m,井径为Φ241.3mm;下入Φ177.8mm石油套管1185.13m,其中隔水管长度1053.83m,滤水管有效长度131.3m,且滤水管与含水层的吻合率达99%以上。

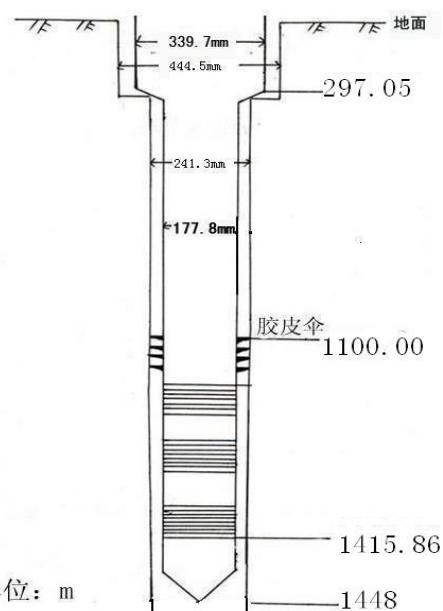


图2 地热井井身结构图

止水位置自上而下分别设在泵室段, 泵室管与生产管, 馆陶组上部, 取水段上部, 具体深度0.00~297.05m、1110.76~1230.91m。泵室管外环空采用水泥固井止水, 1110.76~1230.91m处采用10组橡胶材料制成的孟式止水器进行止水。

表1 某地热井井身结构及套管程序

开次	井段(m)	钻头直径(mm)	下入套管直径(mm)	壁厚(mm)	钢级	套管下入长度(m)
一开	0~300	444.5	339.7	9.65	J55	297.05
二开	300~1453	311.2	177.8	9.19	N80	1448

## 6 地热井抽水试验数据分析

6.1 抽水试验。在洗井工作结束后, 利用测绳对井内初始静止水位进行测定, 根据地热资源勘查规范相关要求, 对该井进行了大落程、中落程和小落程抽水试验, 稳定抽水时间分别为49h、27h、25h, 记录下液位值、涌水量等数据。

表2 抽水试验基础数据表

抽水试段(m)	1230.91~1448		
含水层厚度(m)	131.3		
初始水头高度(m)	-9.6		
恢复水位(m)	-9.6		
抽水落程	大落程	中落程	小落程
延续时间 (时:分)	50时00分	28时00分	26时00分
稳定时间 (时:分)	49时00分	27时00分	25时00分
降深(m)	17.7	10.4	5.4
涌水量 (Q) L/s	31.94	23.61	18.06
	115	85	65
	2760	2040	1560
单位涌水量 q(L/s·m)	1.80	2.27	3.34
水温(℃)	52.5	52	50
日期	9月22日14时 30分~9月24日16时30分 9月25日20时30分	9月24日16时30分~9月25日20时 30分	9月25日20时30分

6.2 最大涌水量计算。拟合误差是指采用直线和圆弧线对非圆曲线进行拟合处理, 而产生的误差。根据三次降深抽水试验数据, 分别绘制了 $S/Q=f(Q)$ 、 $\lg Q=f(\lg S)$ 及 $Q=f(\lg S)$ 三条曲线, 同时对三条曲线进行拟合误差比较, 从而确定最合适涌水量方程。通过表3-5的拟合误差计算公式, 拟合误差C值的计算结果为C指<C抛<C对, 从而确定最合适涌水量方程为指数方程 $\lg Q=\lg n+1/m\lg S$ , 其中m、n值可通过一般方法求得:

$$1/m=0.4841, \lg n=1.3823, \lg Q = 1.3823 + 0.4841 * \lg S.$$

按最大动水位为110米计算, 则 $S=110-9.6=100.4m$

$$\lg Q=1.3823+0.4841 * \lg S=2.351$$

$$Q=224.5m^3/h$$

## 7 结论与建议

(1) 研究区位于华北地台(I级)—华北断陷(II级)—济阳坳陷区(III级)—埕子口-宁津凸起(IV级)中部, 研究区开发热储层为新近系馆陶组砂岩, 地热井揭露热储层顶板埋深1070m, 厚度370m。

(2) 该地热井抽水试验结果表明, 地热井成井深度1453m, 井口水温52.5℃, 出水量115m³/h, 水位降深17.7m, 出水量以及井口水温达到设计要求, 进一步证明了该地区拥有较好的地热资源。

(3) 利用抽水试验参数, 采用误差拟合公式计算, 确定了最合适涌水量方程, 出流量和水位降深关系方程为对数曲线类型:  $\lg Q=1.3823+0.4841 * \lg S$ 。

## 参考文献

- [1]陈墨香.华北地热[M].北京:科学出版社,1988.
- [2]阴建新.山东乐陵地区地热开发动态分析研究[J].科技创新与应用,2020,06(02):65~66.
- [3]周念沪.地热资源开发利用实物全书[M].北京:中国地质科学出版社,2006.
- [4]张平平.回灌水温对砂岩热储回灌效果的影响分析[J].山东国土资源,2015,31(06):64~67.
- [5]颜世强,刘桂仪,孟庆峰,等.德州市地热资源及开发利用[J].山东地质,2001,17(01):17~19.
- [6]刘仕娟.内蒙古自治区地热资源特征及可采资源评价[J].中国井矿盐,2024,55(06):1074~1085.
- [7]宾得智,刘延忠,郑克楼.GB/T11615-2010地质资源地质勘查规范[S].北京:中国国家标准化管理委员会,2011.
- [8]王来宾,李郡,张银妹,等.关于地热井抽水试验中“井损”得一些探讨[J].地下水,2023,45(06):140~144.
- [9]王彦俊,王贞国,王岩,等.德州市地热资源开发与保护[J].山东国土资源,2005,21(5):31~35.
- [10]李洪奎,杨永波,耿科,等.山东大地构造相研究方法划分方案与基本特征[J].山东国土资源,2014,30(4):1~12.
- [11]李肖兰,杜炤伟,张玲,等.山东省地热资源分布与开发利用[J].山东国土资源,2021,37(1):37~43.
- [12]罗霖.乐陵地热田热储特征、示踪与优化开采研究[D].中国科学院大学,2017.

## 作者简介:

刘健(1987--)男,汉族,山西省忻州市人,硕士研究生,高级工程师,从事地热勘探开发工程技术研究。

## 通讯作者:

梁凯旋(1997--)男,汉族,河北省秦皇岛市人,硕士研究生,助理工程师,从事地热资源评价研究。