

陶系。

区内第四纪及新近纪地层厚度达 950 m, 多为粘土和砂性土, 结构较致密, 热导率低, 可视为阻热良好的热储保温盖层。第四系主要是冲洪积黄色粘土、粉质粘土夹不等粒之砂层; 新近系主要以棕色为主的粘土岩夹粉质粘土岩和粉、细砂岩。石炭-二叠系岩性为泥岩、页岩、砂岩及少量灰岩和煤层。巨厚的以粉质粘土、粘土、泥岩为主的不透层, 切断了含水层间的垂向运移, 防止地下热能的扩散。

奥陶纪灰岩热储层组, 是一套浅海相沉积, 岩性以灰岩、白云质灰岩为主, 是主要的地热资源取水层。奥陶纪灰岩历经强烈构造运动、风化侵蚀和多次溶蚀, 形成断裂、裂隙和破碎带, 在奥陶纪碳酸盐岩地层中, 洞、缝相当发育, 灰岩裂隙是深层地下水体循环运移的通道, 大型溶洞是奥灰岩溶裂隙热储的空间。该热储层单井涌水量 500 ~ 1 000 m³/d, 富水性中等, 水化学类型为 SO₄ - Ca · Na 型, 矿化度大于 1 000 mg/L, 水温 50 ~ 58℃。该热储层具有埋藏深、水量丰富、水质清澈、水温较高等特点。

2 地热单井产能测试

2.1 地热单井稳定流抽水试验

抽水试验是确定含水层水文地质参数最直接有效的方法, 通过有规律的抽取地下水, 降低开采井中的地下水位, 可以测定含水层涌水量与地下水位的关系, 求解含水层渗透系数、导水系数以及确定影响半径的大小等。对于地热单井可开采量的确定一般可依据地热单井抽水试验资料绘制 $Q=f(s)$ 曲线, 井流方程以内插法确定^[5]。

抽水试验设备的选用含变频装置的深层地热潜水泵, 以保证能够进行大流量、大降深抽水试验, 以确定单井最大涌水量, 以提高试验结果的保证程度。

地热单井抽水试验的特点:

(1) 由于抽水后水温快速上升, 井筒内水的密度变小, 造成水位升高, 这一温度引起的水位上升速度又大于抽水造成水位下降速度, 会出现地热井抽水开始后首先快速下降然后又向上回升的现象。水温升到一定值后, 其上升速度明显变慢, 并逐渐稳定, 此时水位变化起主要作用的是抽水造成的水位下降, 最终水位趋于稳定。

(2) 地热井稳定静水位是指井筒中水的温度与

地层温度平衡后的静水位, 此时井筒中水的温度由上至下增高, 顶部可以认为是恒温带温度, 底部是热储层温度。抽水至水温稳定后, 水温约等于热储层中部温度。稳定静水位与动水位值处于不同状态, 因此需要将稳定静水位换算为稳定水温时的水位值^[3]。

2.2 地热单井流量方程的确定

根据 3 次降深与流量的实测数据按照稳定流抽水试验公式计算水文地质参数, 并绘制 $Q=f(s)$ 和 $q=f(s)$ 关系曲线图。利用计算曲线的曲度值 (n) 和曲线拟合误差 2 种方法对 $Q=f(S)$ 曲线类型进行判别, 经对比分析后确定曲线类型。根据 2 种方法推算的曲线方程, 代入产能测试第二落程水位降深 (S_2), 计算 Q_2 与实际第二落程流量 (Q_2) 进行对比分析, 以误差较小者确定为产能测试推算的井流方程。

3 可开采量及开采权益保护范围

3.1 地热单井可开采量

根据《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615 - 2010) 第 8.3.4 条规定, “对单个地热开采井, 应依据井产能测试资料按井流量方程计算单井的稳定产量, 或以抽水试验资料采用内插法确定。计算使用的压力降低值一般不大于 0.3 MPa, 最大不大于 0.5 MPa, 年压力下降速率不大于 0.02 MPa”^[5]。

根据菏泽地区地热单井 (HR₁) 抽水试验资料, 推算压力降低值 0.3 MPa 时的出水量为 2 200 m³/d, 水温为 58℃。菏泽地区地热水均属于温热水型低温地热资源, 主要适用于供暖、洗浴、医疗等方面。冬季供暖期为 120 d, 洗浴、医疗等用水在供暖期主要利用供暖尾水。非供暖期 (245 d) 用水量较小, 主要用于洗浴和医疗, 每天用水时间一般为 3 ~ 5 h, 平均按 4 h 计算, 则每年取用热水时间按 24 h 换算的总日数为 160 d。根据目前已开采地热井现有配套取水设备能力及已开采利用地热井实际开采量, 区内地热单井开采量约 60 m³/h。因此, 经加权平均计算区内单眼地热井每天实际开采量约为 634.5 m³/d。综合分析确定奥陶系热储层单井可开采量平均取 650 m³/d。

3.2 单井开采权益保护范围的确定

根据规范规定, 对盆地型地热田, 可接单井允许

开采量开采 100 a、消耗 15% 左右地热储量,采用公式(1)^[5]估算地热井开采对热储的影响半径(R),视其为单井开采权益保护半径。

$$R = \sqrt{\frac{36500Qf}{0.15H\pi}} \quad (1)$$

式中: R —地热井开采 100 a 排出热量对热储的影响半径,m; Q —地热井产量, m^3/d ; f —水比热和热储岩石比热的比值,介于 3~5 之间; H —热储层厚度,m。

地热单井稳定产量根据区内已开采地热井实际开采量及综合分析,确定平均取 650 m^3/d 进行估算,可利用热储层厚度按 600 m 计算。经计算热储层地热井开采对热储的影响半径为 617.37 m。具体计算结果见表 2。

表 2 地热井开采对热储的影响半径计算结果

热储层	$Q/$ (m^3/d)	$C_w/J/$ $kg \cdot ^\circ C$	$C_r/J/$ $kg \cdot ^\circ C$	f	H/m	R/m
奥陶系	650	4180	920	4.54	600	617.37

注: Q 为单井可开采量; C_w 为水比热; C_r 为热储岩石比热; f 为水比热和热储岩石比热的比值; H 为热储层厚度; R 为热储的影响半径。

考虑到随着开采年限的增加,可能造成地热井间相互干扰和涌水量的减小,在计算的单井开采对热储影响半径的基础上,适当增大一定的距离作为单井开采权益保护半径,以此该区奥陶系热储地热井的开采权益保护半径均取为 650 m,合理井距为 1 300m,若按正方形计算,每眼地热井的权益保护范围为 1.69 km^2 。

4 结论与建议

(1) 菏泽地区地处鲁西南黄泛平原,中低温地

热资源丰富,具有较好的开发应用前景。目前菏泽地热的开发利用正处于起步阶段,地热资源的开发利用主要以奥陶系热储层地热水为主。

(2) 奥陶纪灰岩热储层具有较好的开发利用价值。奥陶纪灰岩热储层,盖层为第四系、新近系和石炭—二叠系。该地热水水化学类型为 $SO_4 - Ca \cdot Na$ 型。

(3) 对于地热单井可开采量的确定一般可依据地热单井抽水试验资料绘制 $Q = f(s)$ 曲线,井流方程以内插法确定。整理抽水试验数据时,需要将稳定静水位换算为稳定水温时的水位值,然后参与水位降深计算。

(4) 区内应根据地热单井的影响半径范围,合理布设地热井。对地热井井距、井的数量及开采量均应控制在合理的范围内。

(5) 加强地热单井日常监测工作。应建立地热单井动态监测系统,对开采量及其引起的水位、水温、水质变化及环境影响实行有效监测,保证地热资源的可持续开发与利用。

参考文献:

- [1] 孔庆友,张天祯,于学峰,等. 山东矿床[M]. 济南:山东科学技术出版社,2006:199-201.
- [2] 陈墨香. 华北地热[M]. 北京:科学出版社,1988:94-102.
- [3] 沈俊超,王朝辉. 地热井抽水试验的特点[J]. 地热能,2005,(4):3-6.
- [4] 冯超臣,马龙,张旭. 山东省定陶县城区地热资源分析及开发利用[J]. 城市地质,2012,7(4):28-31.
- [5] GB/T 11615-2010. 地热资源地质勘查规范[S].

Study on Rights and Interests Scope Protection of Ordovician Geothermal Single Well in Heze City

MA long, FENG Chaochen

(Lunan Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Yanzhou 272100, China)

Abstract: Heze area locates in the yellow flood plain in southwest of Shandong province. Low temperature geothermal resource is very rich and has very good development prospect. At present, geothermal exploitation and utilization is in starting stage. Development and utilization of geothermal resources are mainly composed of Ordovician heat reservoir geothermal water. In this paper, single well deliverability test of Ordovician geothermal and protection scope of mining rights have been described. It will guide the development and utilization and formal management of geothermal resources.

Key words: Ordovician; geothermal resources; pumping test; rights and interests