

地热井抽水试验中井损的确定

王立东,赵季初,于溪,李鑫宇,张平平

(山东省鲁北地质工程勘察院,山东德州 253072)

摘要:地下水资源评价通常是对地热异常区域地热水可开采量进行估算,比较成熟的方法相对较少,多数是依照抽水试验资料,进而确定含水层水文地质参数,如渗透系数、导水系数、贮水系数、给水度等,水文地质参数确定的是否合理,直接影响到最终成果的可信度,进而关系到水资源论证评价的科学性。参数计算中为使计算结果更贴近实际,井损是一个不容忽视的问题,该文采用2种计算方法,结合多个工程实例抽水试验进行分析验算,选取相对准确的计算方法。

关键词:水文地质;井损;抽水试验

中图分类号:P641.2 **文献标识码:**B

引文格式:王立东,赵季初,于溪,等.地热井抽水试验中井损的确定[J].山东国土资源,2016,32(10):65-68. WANG Lidong, ZHAO Jichu, YU Xi, etc. Determination of Well Loss in Pumping Test of Geothermal Well[J]. Shandong Land and Resources, 2016,32(10):65-68.

0 引言

井损是指在进行管井抽水时,由于地下水自含水层的水平运动转化为滤水管的垂直运动以及井壁与滤水管的阻力所造成的井管内外的水位差。它是在抽水过程中必然发生的,且随出水量或降深的增加而增大,是客观存在的^[1]。

地下水资源评价工作通常是对地热异常区域地热水可开采量进行估算,以满足制定有关地下水开发利用规划的需要。业内现在普遍认为深层承压含水层组地下水尤其是埋藏1000 m以下的深层地热水可开采量的计算,比较成熟的方法相对较少,多数是依照抽水试验资料,进而确定含水层水文地质参数,如渗透系数(k)、导水系数(T)、贮水系数(μ)、给水度(μ)等^[2],水文地质参数确定的是否合理,直接影响到最终成果的可信度,进而关系到水资源论证评价的科学性^[3]。该次重点研究区位于山东德州、河北霸州、故城等地,均处于华北平原地热田,多年来,区内已开发近百眼地热井,形成了一定的开采规模。但是,在开发利用中,特别是抽水试验中参数的取得往往依照业主方自行动态监测或人工观测,

没有忽略掉井损的存在,没有真实地反映区域的地热水动态特征,不能够准确的求取地热水水文地质参数。

该次结合几个地区的多眼地热井,重新进行抽水试验观测,利用实际取得的结果,采用不同方法进行抽水试验井损确定,以期能够更精确地反映抽水情况,为后续计算提供准确依据。

1 井损的确定方式

确定井损及其参数,一种方法是根据常规的单孔稳定流抽水试验3次降深,绘制 $S/Q-Q$ 关联曲线的方法,近似的求出井损值,但这种连线的方式是不合理的,只有在每次抽水试验的背景水位变化不大时才能近似精确的求出井损值,由此确定的井损值也是不甚准确的。另外一种方法是利用带观测孔的抽水孔进行3个以上降深的稳定流试验;根据观测数据进行拟合求取井损值。但该方法要求至少带有1个观测孔,一般要求有2个观测孔才能保证数据的精确性,由于实际抽水试验工程中要满足2个以上观测孔的数量要求、不仅不现实,而其还存在许多投资和观测等多方面的困难,无形中增加了项目

收稿日期:2016-03-21;修订日期:2016-04-11;编辑:陶卫卫

作者简介:王立东(1984—),男,吉林梨树人,工程师,主要从事深部资源勘探及地热资源的勘查开发工作;E-mail:swdwd@126.com

的开支。第三种方法是根据单孔抽水试验的水位降 S 与其流量 Q 的多次曲线方程确定的经验公式法, 即根据 $S = S_w + CQ^n = A + BQ^2 + CQ^3$ 进行多元方程计算^[4]。由于井损求取相对较繁琐, 因此, 实践中都很少使用。

这也导致了实际工作中基本不考虑井损, 直接应用 Dupuit 公式。但井损却确实存在, 为保证计算的准确性不得不考虑。根据单孔 3 个降深抽水试验利用方法一和方法三进行井损的计算, 为验算数据的准确程度, 对方法一和方法三的计算结果进行对比验证。

2 井损的计算

2.1 地热井抽水试验数据的收集

为保证计算数据的代表性, 该次选取霸州、故城、德州 3 地的地热井抽水试验数据进行拟合计算。地热井勘探过程中采用单孔稳定流抽水试验求解水文地质参数^[5], 各地热井抽水情况见表 1。

表 1 收集相关地热井抽水试验资料统计

序号	降深次序	静水位 S (m)	动水位 S (m)	井水位降深 S (m)	流量 Q (m ³ /h)	S/Q
霸热 8 井	1	28.00	36.95	8.95	32.00	0.2797
	2	28.00	48.20	20.20	62.00	0.3258
	3	28.00	56.00	28.00	80.00	0.3500
霸热 10 井	1	53.57	59.75	6.18	28.403	0.2176
	2	53.57	65.23	14.66	55.398	0.2646
	3	53.57	77.65	24.08	79.308	0.3036
霸热 12 井	1	36.50	42.09	4.59	30.711	0.1495
	2	36.50	56.30	19.80	81.411	0.2432
	3	36.50	66.10	29.60	103.07	0.2872
DR25 井	1	17.10	38.20	21.10	56.50	0.3735
	2	17.10	47.75	30.65	73.10	0.4193
	3	17.10	58.90	41.80	88.00	0.4750
霸热 13 井	1	31.25	66.20	34.95	35.013	0.9982
	2	31.25	90.05	58.80	51.610	1.1393
	3	31.25	105.00	73.75	60.056	1.2280
故热 23 井	1	17.80	39.80	22.00	58.00	0.3793
	2	17.80	46.40	28.60	67.00	0.4269
	3	17.80	68.60	50.80	94.00	0.5404
DR40 井	1	17.30	35.80	18.50	51.40	0.3599
	2	17.30	45.10	27.80	70.20	0.3960
	3	17.30	56.40	39.10	88.00	0.4443
DR15 井	1	18.10	37.70	19.60	56.40	0.3475
	2	18.10	48.50	30.40	76.50	0.3974
	3	18.10	63.90	45.80	98.00	0.4673

2.2 $S/Q-Q$ 关联曲线计算

目前行业研究认为在井损明显发生时, 承压水

$Q=f(S)$ 关系曲线变为抛物线, 根据公式 $S = BQ + CQ^n$, 进行等价变换后有:

$$S/Q = B + CQ^{n-1} \quad (1)$$

现行规范中规定单孔稳定流抽水试验要求有 3 次降深。这样以 S/Q 为纵坐标, Q 为横坐标就可以得到 3 个点, 并在 $S/Q-Q$ 图上表示出来; 然后用曲线拟合的方法可以将这 3 个点连成曲线^[6]。根据表 1 中各井抽水资料, 进行 $S/Q-Q$ 曲线图的制作, 如图 1 所示。

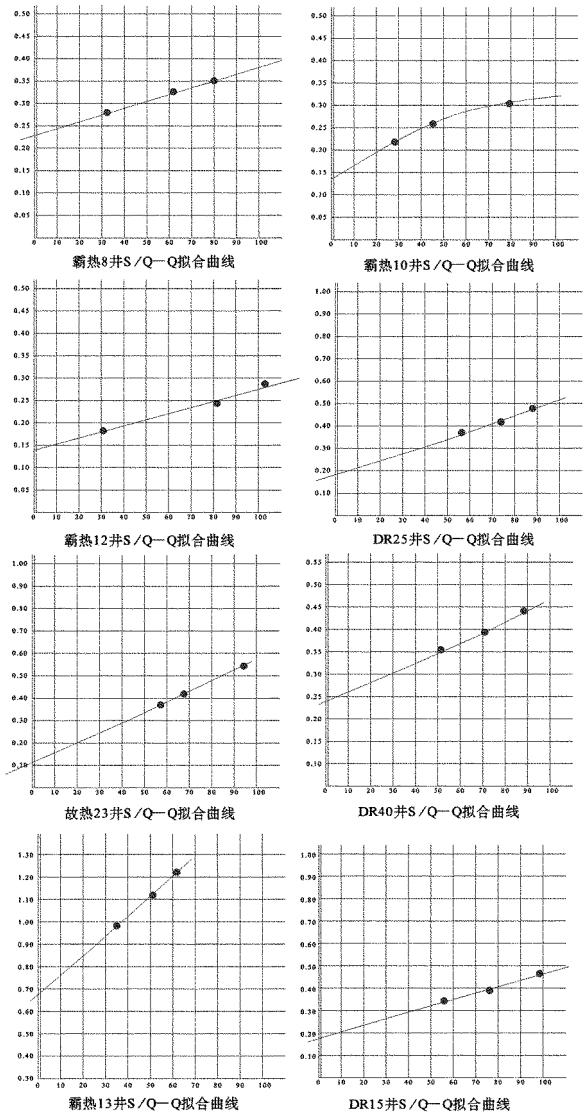


图 1 各井井损计算图

从图 1 可以看出, 以霸热 8 井为例, 量得纵截距 $B=0.2284$, 对应于 $Q=1$, 纵坐标 $S/Q=0.2300$, 因此有 $C=0.2300 - 0.2284 = 0.0016$ 。其 $S/Q-Q$ 近似为一条直线, $n = 1.9948 \approx 2$ 。各井综合计算成果见表 2。

表 2 各井理论降深计算成果

序号	降深次序	井降深 S(m)	理论降深 BQ(m)	井损 CQ ⁿ (m)	井损占井降深比例(%)
霸热 8 井	1	8.95	7.3088	1.6384	18.31
	2	20.20	14.1608	6.1504	30.45
	3	28.00	18.2720	10.2400	36.57
霸热 10 井	1	6.18	3.8401	2.3399	37.86
	2	14.66	6.1378	8.5222	51.26
	3	24.08	10.7224	13.3576	75.75
霸热 12 井	1	4.59	4.3026	1.0375	18.56
	2	19.80	11.4057	7.2905	36.82
	3	29.60	14.4401	11.6858	39.48
DR25 井	1	21.10	7.3088	11.4921	54.46
	2	30.65	14.1608	19.2370	62.76
	3	41.80	18.2720	27.8784	66.69
霸热 13 井	1	34.95	4.3026	13.8528	39.64
	2	58.80	11.4057	30.0986	51.19
	3	73.75	14.4401	40.7560	55.26
故热 23 井	1	22.00	3.8401	19.1748	87.16
	2	28.60	6.1378	25.5873	89.47
	3	50.80	10.7224	50.3652	99.14
DR40 井	1	18.50	14.2995	11.6246	62.84
	2	27.80	19.5296	21.6834	78.00
	3	39.10	24.4816	34.0736	87.14
DR15 井	1	19.60	9.8023	9.2248	47.07
	2	30.40	13.2957	16.9715	55.83
	3	45.80	17.0324	27.8516	60.81

2.3 多元经验公式计算

根据公式 $S=AQ+BQ^2+CQ^3$, 两边同时除以 Q 进行等价变换后有:

$$S_0 = A + BQ + CQ^2 \quad (2)$$

式中: $S_0 = S/Q$, A, B, C 分别是未知参数, Q 为涌水量。将表 1 中各井降深数据带入式 2, 求取各井的井损值, 见表 3。

3 工程实际中井损的检验

由于仅霸热 10 井完井时建设方在管外设计了测压管进行地层水位观测, 故再进行抽水试验时, 根据测得的井内降深和外部测压管测得的真实地层水位降深可以计算出井损值。通过收集相关资料, 对霸热 10 井的计算井损和测量值进行对比见表 4。

通过对比发现, 方法三计算出的井损值与实测值较接近, 偏差小, 说明计算值可信度较高。

4 结论

通过对成果分析, 可以看到井损在抽水试验降深中占有一定的比例, 甚至可达到 30%~60%, 这也

证实了井损在抽水试验井中确实存在。通过分析对比, 该井损变化规律随降深、流量的增大, 井损值也同样增大。因此, 在工程实践中, 抽水试验后进行参数计算时应该考虑井损的存在, 直接根据实测降深用 Dupuit 公式计算的水文地质参数是不正确的^[7], 同时通过 2 种方法的分析对比计算, 现行经济合理的计算方法应采用多元经验公式计算, 结果相对准确, 能够更加真实地反映水文地质参数情况。

表 3 各井理论降深计算成果

序号	降深次序	井降深 S(m)	理论降深 AQ(m)	井损 BQ ² +CQ ³ (m)	井损比例(%)
霸热 8 井	1	8.95	5.8425	3.1075	34.72
	2	20.20	11.3198	8.8802	43.96
	3	28.00	14.6062	13.3938	47.84
霸热 10 井	1	6.18	4.3463	1.8337	29.67
	2	14.66	8.4771	6.1829	42.18
	3	24.08	12.1358	11.9442	49.60
霸热 12 井	1	4.59	3.2421	1.3479	29.37
	2	19.80	8.5945	11.2055	56.59
	3	29.60	10.8810	18.7190	63.24
DR25 井	1	21.10	5.9395	15.1605	71.85
	2	30.65	7.6846	22.9654	74.93
	3	41.80	9.2509	32.5491	77.87
霸热 13 井	1	34.95	16.0447	18.9053	54.09
	2	58.80	23.6502	35.1498	59.78
	3	73.75	27.5206	46.2294	62.68
故热 23 井	1	22.00	9.6260	12.3740	56.25
	2	28.60	11.1197	17.4803	61.12
	3	50.80	15.6008	35.1992	69.29
DR40 井	1	18.50	8.0013	10.4987	56.75
	2	27.80	10.9279	16.8721	60.69
	3	39.10	13.6987	25.4013	64.96
DR15 井	1	19.60	5.4293	14.1707	72.30
	2	30.40	7.3642	23.0358	75.78
	3	45.80	9.4339	36.3661	79.40

表 4 霸热 10 井计算井损与实测井损对比

降深次序	井降深 S(m)	实测井损 (m)	方法一			方法三		
			理论降深 BQ(m)	计算井损 CQ ⁿ (m)	偏差 (%)	理论降深 BQ(m)	计算井损 CQ ⁿ (m)	偏差 (%)
			1	3.8401	2.3399	23.13	4.3463	1.8337
2	6.1378	8.5222	40.86	8.4771	6.1829	2.20		
3	10.7224	13.3576	10.76	12.1358	11.9442	0.96		

延伸考虑, 一般普遍认为在成井过程中, 滤水管半径 r 的大小对抽水井的降深影响不大, 这主要是指 B 值, 但对 C 值是有相当影响的。因为水在井内的流速同井管截面大小有关, 而截面又和井半径的平方成正比, 所以滤水管半径对井损有较大的影响。通过确定某一地区的井损经验百分比后, 结

合区域已有的地层渗透率等相关参数,反算出合理的滤水管直径,使实测水位降深与理论降深无限接近,将井损降到最小,使得抽水试验更加真实。

参考文献:

- [1] 高海东.井损对水文地质参数计算的影响[J].中国煤炭地质,2010,(3):24-27.
- [2] 蒋辉.基于 AquiferTest 的抽水试验参数计算方法分析[J].水文地质工程地质,2011,(2):35-38.
- [3] 聂庆林,高广东,轩华山,等.抽水试验确定承压含水层参数方法探讨[J].水文地质工程地质,2009,(4):37-40.
- [4] 肖有才,靳向红,杨兰和.井损的消除方法及其在抽水试验中的作用[J].工程勘察,2009,(11):44-47.
- [5] 中国地质调查局.水文地质手册(第二版)[M].北京:地质出版社,2012.

- [6] 鄂春勇,潘树仁,潘邦君.基于图解技法的井损参数求解[J].江苏煤炭,2003,(1):8-9.
- [7] 刘忠贤,秦毅,赵尔慧,等.利用单井抽水试验确定含水层系数[J].地下水,1995,(2):57-59.
- [8] 赵琳琳,肖长来,陈昌亮,等.基于抽水试验的多种方法确定水文地质参数[J].地下空间与工程学报,2015,(2):306-309.
- [9] 赵季初.鲁北地区热储弹性释水系数计算方法探讨[J].山东国土资源,2006,22(3):49-51.
- [10] 朱宏军,黄选明,胡莉莉,等.煤矿水温地质勘探中稳定流抽水试验确定水文地质参数探讨[J].中国安全生产科学技术,2014,(3):24-29.
- [11] 黄建明,潘建旭,薛培.煤田水文勘查抽水资料处理时降低井损影响的解决方法探讨[J].中国西部科技,2010,(18):7-8.

Determination of Well Loss in Pumping Test of Geothermal Well

WANG Lidong, ZHAO Jichu, YU Xi, LI Xinyu, ZHANG Pingping

(Lubei Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253072, China)

Abstract: The evaluation of groundwater resources is usually to estimate water exploitation quantity in geothermal anomaly areas. Mature method is relatively small. Major method is to determine the hydrogeological parameters of aquifer in accordance with the pumping test data, such as permeability, transmissivity, storage coefficient and degree of water supply. Determination of hydrogeological parameters is reasonable or not will directly affect the final results of the credibility, and in relation to scientific evaluation of water resources demonstration. In calculating the parameters, in order to make the calculation results more close to reality, well loss can not be ignored. In this paper, 2 kinds of calculation methods have been calculated. Combining with pumping test analysis and calculation, a relatively accurate calculation method should be choosed.

Key words: Hydrogeology; well loss; pumping test