

张辉,董敏,马娟,等.山东昌邑区深层地下水开采与地面沉降关系分析[J].地震工程学报,2018,40(增刊):214-218.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.214

ZHANG Hui,DONG Min,MA Juan,et al.Relationship Between the Deep Groundwater Exploitation and Land Subsidence in Changyi District of Shandong Province[J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(Supp):214-218.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.214

山东昌邑区深层地下水开采与地面沉降关系分析

张辉¹,董敏¹,马娟¹,刘英昊²,刘凯³

(1. 山东省地震局昌邑地震台, 山东 潍坊 261300; 2. 山东省潍坊市水文局, 山东 潍坊 261300;
3. 山东省德州市地震局, 山东 德州 252300)

摘要: 研究深层承压水控制水位的含义以及山东昌邑区深层承压水的实际开发情况, 详细分析控制水位和地面沉降之间的相互印证作用; 深层承压水控制水位不仅是控制水位的数据, 而且能合理制定水位的波动范围。随着科学技术的发展及管理水平的提升, 应该及时调节水位波动的范围。在制定平原地区控制水位时应详细到每一个区县或者是乡镇, 控制单元越小越有利于监测工作, 且要做好整体控制工作, 并对其及时进行调整。

关键词: 深层承压水; 水位; 开采量; 地面沉降; 地下水

中图分类号: P641

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)增刊-0214-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.214

Relationship between the Deep Groundwater Exploitation and Land Subsidence in Changyi District of Shandong Province

ZHANG Hui¹, DONG Min¹, MA Juan¹, LIU Yinghao², LIU Kai³

(1.Changyi Seismic Station, Earthquake Agency of Shandong Province, Weifang 261300, Shandong, China;
2.Weifang Hydrological Bureau of Shandong Province, Weifang 261300, Shandong, China;
3.Earthquake Agency of Dezhou City, Dezhou 252300, Shandong, China)

Abstract: In this paper, the actual exploitation situation of deep confined water in Changyi district, Shandong Province is studied, and the relationship between the deep groundwater exploitation and land subsidence in the study area is analyzed in detail. It is found that the control water level of deep confined water is not only the data for controlling water level, but also the reasonable range of water level fluctuation. With the developments in science and technology and the improvement of management level, the fluctuation range of water level can be adjusted timely. In formulating the control water level in plain areas, it should be detailed to each county or township, and the overall control and adjustment should be timely performed.

Keywords: deep confined water; water level; exploitation; land subsidence; groundwater

0 引言

为了科学地管理水资源,水利部制定了严格的水资源管理制度。通过对地下水战略宏观的研究,明确了对地下水加强保护的各种要求,尽可能使传统的思路 and 措施得到创新和完善,精细化研究合理开采、利用水位保持动态平衡的双重管理机制,使管理地下水资源的工作向更高的台阶迈进。作为昌邑市重要的用水来源——深层地下水,因其非常复杂的水文地质条件和埋藏较深的承压水含水层,使其运移机理和赋存形式比较模糊,较长的补给周期导致其开发利用对存储量消耗较多。另外,一直以来对地下深层承压水的大量开采导致地下水位不断下降,使地面沉降现象进一步恶化,引发了许多环境地质问题。为了使这些问题得到有效的缓解,本文以山东昌邑区整个平原区的深层承压水为例,利用现代化技术手段对地下水的开采量、地下水位及地面沉降的定量关系进行详细的研究,并按照实际经济和环境状况对各区县含水组控制深层承压水位的范围进行科学预测,以期为制定“三条红线”提供依据,对昌邑市管理深层承压水的工作提供重要的借鉴。

1 昌邑市的基本概况

1.1 地理位置

昌邑市位于山东半岛西北部、莱州湾畔、潍河下游,是潍坊市下辖的县级市,位于 $36^{\circ}25' \sim 37^{\circ}08'N$ 、 $119^{\circ}13' \sim 119^{\circ}37'E$ 间。以胶莱河为界,东临掖县、平度县,南连高密县、安丘县,西和潍坊市坊子区、寒亭区毗邻,北边濒临莱州湾,南北长75 km,东西较宽的地方有32.5 km,较窄的地方有7.5 km,市域总面积为1 578.7 km²,占山东省面积的1%。市域中部偏西北是市区,西边距离潍坊和济南分别为30 km及215 km。

1.2 气候特征

昌邑区属于温带季风性半湿润气候,具有较长时间的日照,气候适宜,四季比较分明,雨量主要集中在夏季。研究区域是背靠陆地、面向海的北温带季风区,受欧亚大陆与太平洋的影响,是暖温带半湿润大陆性季风气候区,冬冷夏热,有分明的四季。春天雨多风少,早春冷暖不定,经常发生暖春现象,暮春回暖迅速;夏天降雨多且较炎热,昼夜温差相对较大,湿度较高;冬天主要刮寒冷的偏北风。

1.3 水文地质特征

研究区域沿海,主要是地势平缓的平原地区,陆

地和海洋沉积物叠加。含水层的岩性厚度和颗粒都相对较小,但是层次非常多,在研究区域内分布比较广泛。富集的地下水形式主要包括松散的岩石孔隙水和基岩裂隙水。沿海平原和山前冲积平原主要分布着松散的岩石孔隙水,主要因冲积、冲洪积而形成,沿海以北地区主要形成原因则是海积、冲海积。在山前平原地带含水层岩石的主要性质是中粗砂、砾石等,到沿海地区逐步过渡为中砂、细砂和粉砂,并且其集水能力自南向北从强—极强逐步向中—强过渡。浅层淡水广泛分布在山前平原,咸水地界面下主要分布着深层淡水。

1.4 地下水补、径、排条件

昌邑地势相对平坦,属于平原地区,大致地形为北低南高。研究区域的水文地质条件比较复杂,淡水水体分布在不同深度,因此在一定的区域范围内地下水水质存在比较明显的横向和垂直分带特征。昌邑市北部一半以上的地区都是咸水区,在暖和的半干旱季风气候影响下,很少降雨,缺水现象比较严重。近期国家大力支持该区经济的发展,开发与利用地下水资源的力度也不断加大,因此导致开采地下水的过程中产生了许多突出的问题,如开采量超过了可开采承受的范围等^[1]。以潍河为界可以把研究区域划分为开采地下水的两个水源地,研究区域以大气降水渗水、侧向径流的地下水补给、河流入渗补给、越流补给及地表灌溉的回渗补给等为主要补给来源,排泄的项目主要包括城市供水量、工业用水量、蒸发的地下水量、排泄的地表水量及开采的农业地下水量等。

2 区域地下水开采与地下水漏斗

昌邑漏斗形成于1984年,为一近南北向展布的长圆形。漏斗中心为昌7点,最大水位埋深8.59 m,最低水位标高-2.00 m,以0 m线圈闭,漏斗面积170.0 km²。漏斗形成后,随着地下水开采量的不断增加,地下水位一直处于下降状态。昌邑市自1993年开始从第二水源地供水后,原漏斗面积较以前有所减小,1996年时缩小为65.5 km²,其后因工农业用水量增大,漏斗面积又逐年增大,形状未变,其展布方向向东北方偏移。2000年漏斗中心点最大水位埋深20.50 m,丰水期以0 m线圈闭的漏斗面积为248.6 km²。2001—2005年为昌邑漏斗稳定发展阶段。水源地开采量在经过了一段时间的陡增之后开始变缓,地下水位降落漏斗有夷平作用。2005年该漏斗向北西方向偏移。2006—2011年是

昌邑漏斗急剧扩张阶段。进入 21 世纪以来,随着工农业生产的发展,需水量不断增加,漏斗形态已经由点状漏斗群向群状发展,降落漏斗夷平作用显得更加明显。2010 年丰水期水位与 2005 年同期比较,平均水位下降了 5.38 m。地下水由四周向漏斗中心汇集;丰水期漏斗以-2 m 线闭合,面积达 160.32 km²。2010 年枯水期漏斗中心水位-18.18 m,埋深 26.11 m,以-4 m 线封闭的漏斗面积 120.84 km²。

3 深层地下水位与地面沉降的关系

3.1 地面沉降的因素分析

地面沉降是自然和人为因素共同影响下的地面标高的降低,是一种永久性的无法挽回的资源和环境丧失,是严重威胁环境保护、经济发展、城市建设及人们工作生活的一种地质灾害。自然和人为因素是对地面沉降造成影响的重要因素。人为因素主要有地下水、固体矿产、天然气、石油的开采和工程施工等。这些因素中天然气、石油、地下水的开采导致的地面沉降现象比较明显^[3]。根据研究区矿产和土体资源的开采情况分析,工程施工、构造沉降、地下流体开采这些因素都会使地面产生沉降现象。工程施工因素指的是向高层建筑施加荷载而使地面发生

沉降的现象。这类沉降情况主要发生在水面之上的表土层,是人类主要工程活动的层次。

3.2 深层地下水位与地面沉降的关系分析

(1) 准备数据。昌邑不同的漏斗区,地面沉降和深层地下水位下降的程度不同。本文从沉降中心、沉降边缘区分别对地下水位和地面沉降的关系进行研究,分别选择两个区域的观测井 A、B 并对其水位埋深数据进行实测,计算出可以代表三个区域的水位值的水位埋深进行相应的分析;另选择 D、E 两个区域地面沉降量为测量点,按照 2001—2014 年的实测数据,计算每年的累积沉降量^[4](表 1,这些资料都来自于山东省地矿局和环境监测总站)。

(2) 深层地下水位与地面沉降的关系分析。分别以沉降中心、边缘区为基础建立深层地下水位与地面沉降量关系的.sav 数据文件,合理运行 SPSS-forwingdows11.5 软件中的 Analyse 模块来分析其结果(表 2)。根据表 2 分析,任何区域使用任何分析方法,深层地下水水位与地面沉降量相关系数都超过 0.960,零相关概率都是 0.000,得出两者具有非常高的相关程度。对比分析三个区域的数据,相关系数最高的是沉降中心,达到 0.995。

表 1 深层地下水位降落漏斗 2000—2014 年水位与地面沉降数据表

年份	开采量/m ³	漏斗中心区		漏斗边缘区	
		水位标高/m	累计沉降量/m	水位标高/m	累计沉降量/m
2001	33 819.8	-63.10	14.1	-26.10	2.8
2002	35 350.3	-65.77	21.3	-28.42	6.5
2003	37 750.3	-66.74	28.4	-30.65	9.6
2004	39 900.3	-71.42	35.6	-34.66	12.7
2005	42 000.3	-74.52	42.8	-37.78	15.8
2006	44 105.3	-78.13	50.0	-39.76	18.9
2007	46 205.3	-82.25	57.2	-41.55	21.9
2008	48 335.3	-85.96	64.4	-42.49	25.0
2009	51 791.3	-90.05	71.5	-46.62	28.1
2010	55 117.3	-94.07	82.0	-44.92	33.8
2011	58 496.0	-98.60	92.5	-48.84	39.5
2012	61 819.0	-102.88	102.9	-49.66	45.2
2013	65 019.3	-106.08	108.4	-51.32	50.8
2014	68 119.3	-109.04	123.9	-53.08	56.5

表 2 深层地下水位与地面沉降相关性分析

沉降区	数组个数 N	零相关概率 P	相关系数
沉降中心	16	0.000	-0.995
沉降边缘区	16	0.000	-0.962

3.3 开采深层地下水引起地面沉降的机理

3.3.1 有效应力原理分析

任一平面的饱和土体承受的总应力包括两部分:孔隙水压力与有效应力。在固定总应力的条件

下,土体内的有效应力和孔隙水压力的增减呈反比例关系,进而对土体的固结情况造成一定的影响。但土体因压缩产生的变形与变化强度都和有效应力的变化有直接关系。另外土体的有效应力会受渗流作用发生方向的影响,如果因抽取地下水使水位降低,导致由上而下产生渗流,会增加其有效应力,使土层因密压而产生变形,这也是导致地面产生沉降

的最主要原因。

实际上土体密压变形即为缩小土体积的过程,假设忽略水与土粒的变形,那么土体积的缩小也是缩小其空隙体积,是由孔隙比降低造成的。饱和砂土具有相对较大较强的孔隙及透水性,随着承压水位逐渐降低,排出多余水分后迅速使有效应力增加到相适应降低的承压水位的程度,因此转瞬便实现了砂层的压密过程。由于砂土总的孔隙体积不大,因此其具有较小的压缩量;而饱和黏性土空隙虽然多,但压缩量相对较小,透水性相对薄弱,因此孔隙中的水在压力的作用下排出可能较慢,加上相对较大的压缩量使其压缩过程通常需经历几个月、几年甚至几十年。

3.3.2 昌邑漏斗地面沉降机理分析

当前昌邑漏斗区抽汲的地下水为100~300 m,黏性土是其底层结构的主要构成材料,砂性土所占比例仅为10%~15%,包含饱水砂层5个及饱和黏性土6个。这种地层形成由历史地质时期较长时间的沉积造就了其较大深度的埋藏,使其固结的时间较长,对上覆的承受压力较大。密实的土层使其压缩性能相对较低,是一种超固结土。如果因外荷增加或失水导致产生的附加应力比前期固结应力大时会形成新的压密固结。

地面沉降实际上是压密或压缩固结松散岩层的过程,其降低了地层的厚度,减小了土体的体积、给水度、孔隙度及渗透系数。含水砂层利用颗粒接触点对应力进行承受,降低了孔隙水压力,提高了其有效应力,使产生位移的颗粒增加了接触面积,从而更加紧密地排列,使砂层被压密。在此过程中因减压使地下水体积产生膨胀,而体积变化释放的水量在漏斗范围内形成一部分开采量,随着降落漏斗不断地扩展其广度和深度,释放的水会持续不断地由漏斗边缘向开采井汇聚^[5]。黏性土层也会发生相同的过程,沿层面边界的压力会随着相邻含水层水位的降低而下降,并向纵深发展,产生结构和黏粒孔隙压密释放的水量向含水层补给,因此使黏性土层变薄。该部分释放水是另一部分开采量,两部分释放水都会直接降低地层厚度。

4 控制地下水开采与地面沉降

4.1 合理掌控深层承压的水位指标

华北平原深层承压水的逐渐扩大为我国区域经济的快速发展奠定了坚实基础。据相关统计显示,深层地下水开采量较多的区域有沧州、天津及衡水,

这三个区域分别占地下水总开采量的52.8%、83.6%及47.7%。一旦对深层承压水开采过度,就会使得深层承压水位快速下降、水资源流失、地面出现沉降现象及水质下降等问题。另外,大批量的开采会加速水资源流失和地面沉降,这是非常严重的问题。对此,合理掌控深层承压的水位指标才能降低本区域内深层承压水资源大量开采及地面沉降现象的发生概率,科学合理地对深层承压水进行开采。

结合深层承压的水位指标和本区域内深层承压的环境地质条件,分三种不同管理区域类型对各个区域水位动态和地面沉降演化阶段的情况进行分析。

4.1.1 没有出现地面沉降区

当水位埋深在25~35 m间时水位不会发生太大的沉降现象,地面累计沉降量非常小。在这种情况下,临界水位指的是水位从原来的状态下降到规定范围及地面沉降量增大时的水位值。当地质历史时期的海平面出现下降情况并且地层出现预压缩,且在天然状态下存在了超固结情况时,那么就与临界值有很大关系。

4.1.2 出现地面沉降区

当地面沉降量增大,深层承压水位急速下降时,临界水位指的是在水位急速下降时,水位值会随着地面沉降的速度而变化。当有效应力上升到一定高度时,黏性土层自身的结构框架被损坏,这和临界值有一定的联系。

4.1.3 沉降后的反弹区

深层承压水位和地面沉降量都经历过从上升到下降的过程,临界水位值在这种情况下指的是当前期人工开采量减少时,水位会下降到一定范围后再上升,地层就会变成超固结土。当水位下降到与前期水位值相同时,并不会出现太大的地面沉降现象,如塘沽区、天津市区。

要合理掌控深层承压的水位指标,必须充分考虑社会经济以及生态技术环境,明确水位指标的范围是深层承压水位的重点。在水位指标范围内生态环境可以进行良性循环,不会出现生态环境负效应的现象。深层承压的水位指标是一个动态的临界值。随着我国经济的不断发展,地下水开发利用技术也在逐渐完善,生态环境正渐渐往好的方向发展。要想创建一套完整的深层承压水位控制指标制度,其原则是科学性、可行性、全面性和目的性,必须包括地面沉降临界水位、临界地面沉降量、地面沉降速率、开采潜力系数和深层承压水头下降速率。在华

北平原深层承压水的开发扩建过程中,导致生态环境出现问题的主要原因就是水资源严重浪费和地面出现严重沉降现象^[8]。对此,合理掌控深层承压的水位指标,减少地面沉降的几率是当前我国需要重点研究的课题。

4.2 开采过度对于环境的影响

过度开采地下水对于开采地区的生态环境有重要影响,主要体现在植被零落和水生态环境恶化。地下水对于植物的生长有着巨大作用,地下水位的深度直接影响本地区植物的生长状态,因此过度开采地下水将直接影响植物的生长密度与生长质量,即影响植物的生长状态与分布情况。而生态环境质量又直接影响我国社会与经济的发展。过度开采地下水将会造成一系列的生态问题,主要表现为河流径流变小、湿地不断退化、水质被污染等,这些都会对生态平衡造成不利的影响。

4.3 严格控制开采量、地下水位与地面沉降

要采用严格的水资源管理机制,即采用开采量、地下水位、地面沉降三重控制管理方式。详细分析三者之间的关系是水资源管理工作中应该重视的问题。

(1) 观察水位时,应增设地面沉降标。由于地面沉降资料历史比较短,又缺少分层观察资料,不利于建立地下水流固耦合模型的地面沉降模拟。在分析地面沉降与地下水位之间的关系时,只使用地表沉降数据很难解决地下水不同开采层对于地面沉降的影响问题。因此应该增设地面沉降分层标,为分析地面沉降问题提供准确的数据资料。

(2) 要依据各个地区的实际情况选择合适的方法。每个地区的水文地质条件不尽相同,因而应该依据不同地区的实际情况与方法的适用范围,划分区域内三者之间的关系,并进行可行性研究。

(3) 开采量观察工作具有人为性的特点,且开

采量的误差很可能会被累加,因此在研究三者之间的关系时,还存在地下水开采量统计不准确、地下水分层监测但开采量没有进行分层统计等问题,因而应该加大对开采量统计工作的管理力度,并且研究开采量随机计算的方法,有效地提高开采量分层统计的精确度。

5 认识与讨论

本文研究了深层承压水控制水位的含义以及研究地区深层承压水的实际开发情况,详细分析了控制水位和地面沉降之间的相互印证作用;深层承压水控制水位不仅是控制水位的数据,更是合理制定水位波动的范围。随着科学技术的发展及管理水平的提升,应该及时调节水位波动范围。在制定平原地区控制水位时应该详细到每一个区县或者是乡镇。控制单元越小越有利于监测工作,并且要做好整体控制工作,并及时进行调整。

参考文献

- [1] 王鸿.基于 MATLAB 改进的 BP 神经网络在地下水水质评价中的应用[J],地下水,2013(3):35-39.
- [2] 王淼,陆阳,郑玉萍,等.基于线性回归分析的地下水开采与地面沉降相关关系研究[J].中国水运,2015,15(7):108-110.
- [3] 王礼春.天津市深层地下水资源及地面沉降数值模拟研究[D].北京:中国地质大学,2010.
- [4] 王巍,朱庆川,石绍玮,等.天津西青区地下水开采与地面沉降的关系[J].地质灾害与环境保护,2014,25(1):76-81.
- [5] 卓中文,王山东,杨松,等.基于 BP 神经网络的矿山地下水位预测研究[J].计算机与数字工程,2012,40(10):40-42.
- [6] 赵莹,卢文喜,罗建男,等.基于改进时间序列分析法的镇赉地区地下水位动态分析[J].水利学报,2013,44(11):1372-1379.
- [7] 徐鸣,王威,于强.天津市滨海新区地下水开采与地面沉降优化控制数值模型[J].城市地质,2010,51(1):11-16.
- [8] 伊燕平,许晓鸿,田立生.BP 神经网络在地下水水质评价中的应用[C]//东北三省水利学会 2013 年学术年会论文集,2013:171-174.