

成果与方法

济宁城区地面沉降演变规律及经济损失估算方法

贾德旺, 岳跃华, 叶进霞, 王学森, 孙英波

(山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 兖州 272100)

摘要: 济宁城区位于汶泗河冲积平原的前缘地带, 孔隙地下水资源丰富, 开采量多年来处于超采状态, 1988 年以来发生了地面沉降。经采取调整地下水开采井布局等措施后, 城区地面沉降速率逐渐减小, 而沉降漏斗随地下水的开采向城区北部、东北部转移, 地面沉降值大于 60mm 的范围达到了 145 km², 证实地面沉降的发生完全受控制于地下水的开采程度。根据济宁市地面沉降的危害程度和破坏性, 可将其造成的经济损失分为直接和间接经济损失, 其中间接经济损失为全部经济损失的 75% 以上。

关键词: 地面沉降; 演化规律; 危害性; 经济损失; 估算; 济宁城区

中图分类号: P642.26

文献标识码: A

济宁市位于山东省西南部。济宁城区地面沉降最早发现于 1988 年, 是山东省地矿局测绘队进行城市控制测量时发现的。地面沉降已引发了不同程度的房屋开裂、水源地井管上升破坏、城市环境调节功能降低等不良地质环境问题, 地面沉降的发生发展与地下水开采量逐年增大、超采地下水引起水位下降密切相关。山东省鲁南地质工程勘察院前些年针对地面沉降已作过专门的研究工作, 但缺少济宁城区地面沉降的现状、演变规律等资料以及灾害造成的经济损失估算方法, 该文针对上述存在的问题进行了一定的探讨, 得出沉降现状及演变规律, 提出了经济损失估算的方法。

1 孔隙含水系统水文地质特征

济宁市位于汶泗河冲洪积扇的前缘, 第四系大面积分布, 岩性以粉土、粉质粘土、粘土、砂和松砂岩为主, 沉积厚度总体上由北东至南西逐渐增厚, 颗粒由粗变细。主要含水砂层埋深多大于 110m, 一般发育 2~8 层, 累计厚度 4~40m。从冲洪积扇东部扇顶到西部前缘, 从扇轴部向两侧, 含水砂层呈颗粒渐

细、层次增多、厚度减小、富水性变弱的规律。在兖州—济宁市李营以东的冲洪积扇轴部地带, 含水砂层以中细、中粗、砾砂为主, 厚度一般大于 20m, 形成含水层单位涌水量 500~1000m³/(d·m) 的较强富水地段; 在冲洪积扇前缘及两侧地带, 含水砂层以中粗、细、粉砂为主, 厚度一般小于 20m, 富水性相对较弱, 单位涌水量一般在 100~500m³/(d·m) 之间。

孔隙水的水位埋深一般在 2~35m, 近湖地段水位埋深最浅, 济宁市城区附近水位埋深最大。浅层地下水的补给来源主要有大气降水、侧向径流、灌溉回灌、河流侧渗等; 排泄以向深层地下水越流排泄、农业开采为主。深层地下水的补给来源主要有侧向径流及接受浅层地下水的越流补给; 排泄方式为人工开采。

2 城区地下水开采现状

1958 年济宁城区水源地开始开采孔隙地下水, 当时需水量约为 1 万 m³/d, 主要是作为市区和近郊区的工业及生活用水水源, 开采井深度一般小于 100m; 随着城市规模迅速扩大和工矿企业的增多,

收稿日期: 2006-07-31; 修订日期: 2006-11-15; 编辑: 孟舞平

作者简介: 贾德旺 (1971-), 男, 山东临清人, 工程师, 主要从事水工环地质勘察与研究。

山东省鲁南地质工程勘察院, 山东省汶泗河冲洪积平原地下水资源潜力勘查报告, 2005 年。

对地下水的需求量逐年增大,开采井成井深度多达 150m 左右。供水水源地开采规模愈来愈大,开采范围已扩展到包括市中区的全部和任城区的南张、许庄、李营、柳行等乡镇,面积约 178km²。除济宁市供水集团总公司 5 个自来水厂开采外,各大中型企业自备水源地井遍布市区,地下水开采量不断增加。据资料统计,1980 年开采地下水 17.5 万 m³/d,1992 年 21.2 万 m³/d;目前开采井总数在 410 眼左右,地下水总开采量约 37 万 m³/d。目前济宁市地下水的使用,工业用水约占 81%,生活用水约占 15%,其他用水包括环境绿化、消防等约占 4%。

3 地面沉降演变规律及危害性分析

3.1 地面沉降演变规律

济宁市地面沉降分为 4 个阶段,即发现、沉降缓慢、沉降发展及地面沉降漏斗转移阶段。

3.1.1 发现阶段

大致为 1989 年以前时期,1988 年山东省地矿局测绘队进行水准测量时发现地面沉降的产生,随后山东省鲁南地质工程勘察院有针对性地开展地面沉降监测工作,在 15 个月监测期内地表下沉了约 65mm,由此伴生了房裂、地裂及井管上升等现象,这一时期为沉降发现阶段。这与 1986—1989 年是连续枯水年,城区地下水位大幅下降有关。

3.1.2 沉降缓慢阶段

1989 年 11 月—1991 年,该时期内降水量丰富,地下水位回升幅度较大,同时地下水的开采量较以往减少,地下水位抬升后减缓了沉降速度,城区地面最大沉降量约 6~7mm,说明了地下水位的升降对地面沉降起着明显的控制作用。

3.1.3 沉降发展阶段

1991 年—1998 年 5 月为地面沉降发展阶段。

1991 年—1992 年 8 月又出现新的枯水年,同时城区地下水开采量猛增,造成全市区沉降量均大于 20mm,特别是在城区西北的师范学校—董庄一带,沉降量达到 50mm 以上,最大沉降点(师范学校西侧)沉降量达 62.6mm,城区南部的化肥厂东厂和东部的染料厂附近沉降量也均大于 40mm。

1992 年 9 月—1998 年 5 月约 6 年的时间内,在建设路以西、太白楼西路以北、济安桥路以东,北至济宁酒厂和曹营一线的城西北大部分地区及沿

国道到柳行一线,地面沉降量均大于 80mm,最大点沉降量达 140.5mm,相当于每年沉降 25.2mm。

3.1.4 地面沉降漏斗转移阶段

1998 年 6 月至今,由于开采井的位置逐步向市区北部、东北部转移,该时段内城区地面沉降量不大,沉降速率多数在 4~10mm/a。地面沉降区逐渐向北部转移,沉降量大者位于刘堤头,沉降量达到了 172mm,沉降速率为 23.2mm(图 1)。目前地面沉降值大于 60mm 的范围约为 145km²(图 2)。

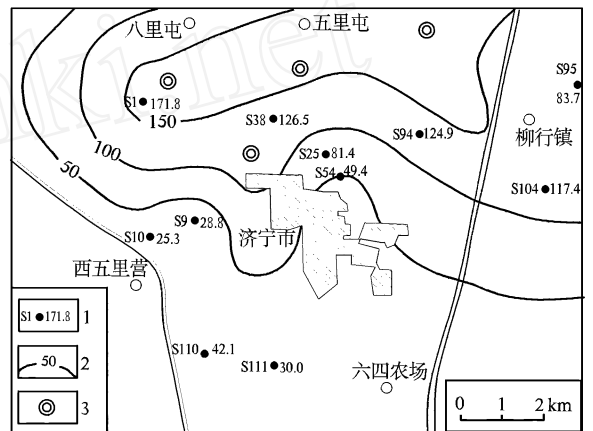


图 1 1998 年—2005 年济宁城区地面沉降等值线图
1—水准点编号及沉降量(mm); 2—沉降等值线及沉降值(mm); 3—开采井

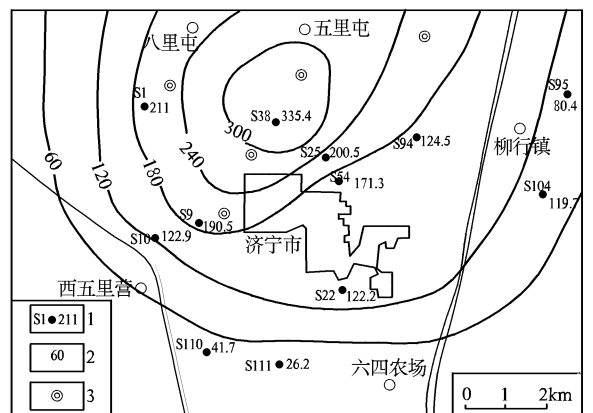


图 2 1988 年—2005 年济宁城区地面沉降等值线图
1—水准点编号及沉降量(mm); 2—沉降等值线及沉降值(mm); 3—开采井

根据多次精密水准测量结果来看(表 1),随着城区地下水开采量的逐年变化,地面沉降范围、沉降量亦发生相应的变化。

山东省鲁南地质工程勘察院,南水北调东线工程南四湖调蓄区地质灾害防治报告,2006 年。

3.2 地面沉降影响因素

1991 年—1998 年 5 月期间,市区地面沉降量超过 60mm 的范围已扩大到 79km²。1998 年以后随着市区内开采井关停和开采水源地的位置逐步向城区北部转移,据 2005 年 10 月对济宁市城区地面沉降的测量结果,该时段内市区地面沉降量不大,由此可以看出,随着城区地下水开采量、开采位置的逐年变化,地面沉降范围、沉降量亦发生相应的变化,说明了地面沉降的发生和发展明显受控于地下水的开采量。

表 1 济宁城区水准测量结果 (m)

点号	1988年	1998年	2005年	1998—2005年	1988—2005年
	高程	高程	高程	沉降量	沉降量
S ₁	37.212	37.1728	37.0010	0.1718	0.2110
S ₉	40.199	40.0473	40.0085	0.0288	0.1905
S ₁₀	37.238	37.1404	37.1151	0.0253	0.1229
S ₂₅	38.4262	38.3071	38.2257	0.0814	0.2005
S ₂₇	38.1384	38.0399	38.0057	0.0342	0.1327
S ₃₈	39.5257	39.3168	39.1903	0.1265	0.3354
S ₅₄	38.0543	37.9324	37.8830	0.0494	0.1713
S ₉₄	37.8843	37.8847	37.7598	0.1249	0.1245
S ₉₅	37.8116	37.8149	37.7312	0.0837	0.0804
S ₁₀₄	37.1320	37.1297	37.0123	0.1174	0.1197
S ₁₁₀	36.1680	36.1684	36.1263	0.0421	0.0417
S ₁₁₁	36.1017	36.1055	36.0755	0.0300	0.0262

区域上地面沉降的分布范围基本与地下水位的降落漏斗分布范围一致,说明地面沉降与地下水位关系密切,随着地下水位的持续降低,地面沉降量随之加大,沉降范围相应增大。

3.3 地面沉降形成机理

济宁城区位于汶泗河冲洪扇的中前缘地带,第四纪砂层厚度大,深层孔隙水富水性好,水质优良,多年以前已被开采利用。当承压水头降低后,向上作用的水头压力也随之减小,使原土层中的压力平衡受到破坏,含水层与粘性土层中的孔隙水大量外流,土体中的地下水渗出使其浮托力减小,有效应力增大,粘性土层进一步固结,土颗粒骨架中的孔隙压缩,对砂层而言则使砂层压密,从而引起地面沉降,因此地下水的超量开采造成承压含水层水位大幅下降是引起地面沉降的外因。具有较大可压缩性土层

则是产生地面沉降的内因。

3.4 地面沉降危害性

3.4.1 地面标高损失城市功能降低和破坏

地面沉降破坏了原有的地面水准高程,增加了城市规划的难度,为安全生产埋下了隐患,2005 年地面沉降水准测量可利用的基准点由 1998 年的 50 多个锐减为 18 个,同时地面沉降形成相对低洼地带,在雨季易造成地表积水。济宁市城区污水通过管网全部进入济宁污水处理厂,经处理后排入南阳湖,下水道废水排泄系统水位高程约 35m 左右,目前市区地表水与南阳湖水的水力坡度约为 0.15×10^{-3} ,排水已不很通畅,南水北调调水后会使得城市排污口与湖水位之间的高差减小,城市重力排污失效,加剧湖水倒灌,若在雨季形成地表积水,造成城市防泄洪能力下降^[1]。

3.4.2 造成地面建筑物的破坏

由于受地质构造不均匀性控制,地面沉降在区域上是不均匀的,因此往往造成地面开裂、建筑物的破坏等,从而增大建筑物的维修成本和监测费用,对新建筑物还需进行地基基础工程处理等,间接提高了投资成本。

3.4.3 对城市管道系统、道路的破坏

当地面沉降越来越严重时,可引起上、下水及煤气管道系统断裂,道路变形等,在增加政府资金投入的同时,也为城市居民的生产和生活带来不便。

3.4.4 对河道运输业的影响

地面沉降的产生可使地表桥梁、堤坝、涵洞等工程在正常水位时的净空减小,制约了河道运输业的发展,并且危及到河道的通航能力及堤坝的安全。

3.4.5 对农业生产的影响

地面沉降的产生使郊区农田标高降低,地下水水位埋深变小,形成土壤盐渍化的概率增高,从而导致农作物减产。

4 地面沉降经济损失估算方法探讨

地面沉降作为一种缓变型地质灾害,发生后具有不可逆转性,虽然在形成过程中不会发生突发灾害,但长期累积后造成的经济损失巨大^[2]。根据济宁市地面沉降的危害程度和破坏性,可将其造成的经济损失分为直接和间接损失 2 种。由于地面沉降区主要位于城市区,对农村建筑、农田设施产生的影

响较小,因此计算时主要考虑市区的经济损失。

4.1 直接经济损失 (S_z)

根据对地面沉降危害性分析,直接经济损失主要由地面标高损失、市政基础设施、开采井破坏等损失,地面建筑物损失和地下水资源量损失 4 项组成。

(1)地面标高损失 (S_1):利用工程替代法采用人工回填土并夯实将沉降区填平的工程造价来计算该项损失,损失破坏值则为沉降漏斗的体积与回填土的单位造价乘积。

(2)市政基础设施、开采井等损失 (S_2):采用建造成本或工程费用法,市政基础设施损失为自沉降发生以来市政部门对受地面沉降影响的城市管道、道路、桥梁、排水工程等所产生的维修费之和;开采井损失主要为废弃管井按其工程造价计算,管井维修按其修复费用计算。

(3)地面建筑物损失 (S_3):采用统计推断法,根据灾害破坏程度、建筑密度、人口密集程度、修复难易程度等因素,调查统计不同区域自灾害发生以来受到的损失量,加权平均后求出单位面积损失量,以此推断出沉降区域内的地面建筑物损失量。

(4)地下水资源量损失 (S_4):使用工程替代法计算,地面沉降的产生使岩层结构被压缩,地下水储水空间变小,可采地下水资源量变得匮乏,该项损失费用可按建筑同样库容的地表水库的费用代替,水库建造费用以水利建设费用定额标准计算;也可在南水北调调水工程实施后,以取用同样体积的调水所需费用计算。

地面沉降直接经济损失: $S_z = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$

4.2 间接经济损失 (S_j)

间接损失是直接损失的发展延续,其影响程度和破坏程度是无尽的、长远的,如水资源减少和水质恶化给居民生活用水带来不便和对身体健康带来的损失,市政基础设施的破坏给人们生活、生产的不便和损失,地面标高的损失给城市规划、建筑设计等带来的损失等等。因此间接损失值是巨大和无法计算的,在此可采用间接损失和直接损失比例法进行估算,根据专家经验,地面沉降的间接损失一般可取直接损失的 3 倍,即: $S_j = S_z \times 3$

综上所述,地面沉降产生的经济损失 (S) 估算公式为: $S = S_z + S_j$

5 结论

济宁城区地面沉降经过 1998 年有针对性的调查评价工作后,有关部门采取了相应的防治对策,调整了地下水开采布局,市区内年沉降量逐渐减小,沉降漏斗向城区北部、东北部转移,说明地面沉降完全受控于地下水的开采量及地下水位的持续下降,目前地面沉降值超过 60mm 的范围已达 145 km²。

根据地面沉降的危害对象和破坏程度,其产生的经济损失主要由直接损失和间接损失构成,其中间接损失占全部损失的 75% 以上。

参考文献:

- [1] 刘杜娟,叶银灿.长江三角洲地区的相对海平面上升与地面沉降[J].地质灾害与环境保护,2005,16(4):400-404.
- [2] 朱晓曦,孙乐岭,叶兴永.温岭市西部平原地面沉降特征及防治对策[J].地质灾害与环境保护,2005,16(4):358-362.

Study on Evolution Rule of Surface Subsidence and Method of Estimating Economy Loss in Jinjing District

JIA De-wang, YUE Yue-hua, Ye Jin-xia, WANG Xue-sen, SUN Ying-bo

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

Abstract: Jining district locates in the front part of Wensihe alluvial plain and pore underground water is very rich. Due to many years over-mining, surface subsidence happened in 1998. By adjusting underground water exploitation wells distribution, surface subsidence rate in districts is descending gradually. Accompanying with underground water exploitation, subsidence funnels transferred to south and southeast part, and the scope with the settlement value more than 60mm has reached 145 km². It is proved that surface subsidence is controlled by exploitation degree of underground water completely. According to damage degree of surface subsidence in Jining city, economic loss can be divided into direct and indirect loss, and indirect loss is over 75%.

Key words: Surface subsidence; evolution rule; damage degree; economic loss; estimate; Jining district