doi：10.19388/j.zgdzdc.2020.03.13
引用格式：王明珠，万军伟.山东省德州市地面沉降控沉分析及建议[J].中国地质调查，2020，7(3)：96－103.

山东省德州市地面沉降控沉分析及建议

王明珠，万军伟
（山东省地勘局第二水文地质工程地质大队（山东省鲁北地质工程勘察院），德州 253015）

摘要：山东省德州市地面沉降具有发展历史久、沉降量大、分布范围广、持续发展等特征，地面沉降防治工作形势紧迫。为分析《山东省德州市地面沉降防治规划（2018—2025年）》控沉目标如期实现的可能性，以德州市地面沉降现状及现有防治手段为基础，通过区域地面沉降速率公式量化计算及中心沉降速率预测进行控沉目标可行性分析。结果表明，在最严格的水资源管理制度条件下，控沉目标可以实现。针对地面沉降防治存在的问题，如地面沉降监测手段及监测频率有待提高、防治经费缺乏保障、地面沉降成因机理研究不深入、治理欠缺等，从管理和技术两方面出发，提出了包括健全监测网络、控采地下水、加大地面沉降知识宣传等控沉建议。该研究可为德州市切实有效进行地面沉降防治工作提供参考。

关键词：德州市；地面沉降；控沉目标；防治手段；控沉建议
中图分类号：P642.26 **文献标志码：**A **文章编号：**2095－8706(2020)03－0096－08

0 引言

地面沉降是指由自然因素或人类活动引发的地下松散岩层固结压缩并导致一定区域范围内地面高程降低的地质现象，是一种缓变性地质灾害[1]。德州市地处鲁北地区，位于“环渤海经济圈”、“京津冀经济圈”、“山东半岛蓝色经济区”以及“黄河三角洲高效生态经济区”的交汇区域，地理位置优越。近年来，随着经济、社会的快速发展，地下水的开采量急剧增加，导致德州市普遍发生不同程度的地面沉降，地面沉降已成为该市主要的地质灾害之一[2]。德州市地面沉降在1978年就已经出现，到目前为止，沉降范围已基本覆盖全市，且与河北省沧州地面沉降连成一片，沉降中心由国棉二厂转移至袁桥镇附近，中心沉降速率达44.33 mm/a，德城区东部沉降速率较大，沉降速率>30 mm/a的面积约297 km^2，沉降特点为出现时间早、累计沉降量大、沉降范围广[3]。本文从德州市地面沉降现状、地面沉降控沉目标等方面着手，分析《山东省德州市地面沉降防治规划（2018—2025年）》[4]（简称《市规划》）控沉目标如期实现的可能性，并针对地面沉降防治中存在的问题提出了相应的建议，可为德州市进一步开展地面沉降防治工作提供参考。

1 地质背景

1.1 地层

德州市800 m以浅地层较松散，是其地面沉降发生的基本条件[5-6]。其中，300 m以浅地层主要为第四系平原组，该层上部为浅黄色、浅灰色砂质粉土、黏土及粉砂，下部为浅灰色、浅灰绿色砂质黏土、粉砂、细砂及中砂互层，厚度为160～300 m；300～800 m深度处地层主要为新近系明化镇组，该层以土黄色、棕红色、棕黄色泥岩和灰白色、浅灰色砂岩为主，局部夹灰绿色泥岩及钙质结核层，压性结构面发育，厚度为870～890 m。

1.2 水文地质

1.2.1 水文地质概况

（1）地下水系统划分。德州市位于鲁西北平

收稿日期：2019－08－16；**修订日期：**2019－12－07。
第一作者简介：王明珠（1990—），女，工程师，主要从事水文地质、工程地质及环境地质研究工作。Email：674758024@qq.com。
通信作者简介：万军伟（1989—），男，工程师，主要从事水文地质、工程地质及环境地质研究工作。Email：1252463830@qq.com。

原松散岩类水文地质区,地下水主要赋存于第四系与新近系明化镇组松散沉积物孔隙中,含水层岩性主要为粉细砂和细砂。地下水在垂向上具有明显的分带性,根据地下水水质结构、含水层组划分以及地下水赋存条件等,将 60 m 以浅的地下水划为浅层地下水,60 ~ 250 m 深的地下水划为中层(咸水)地下水,250 ~ 800 m 深的地下水划分为深层地下水。浅层地下水系统为开放型地下水系统,直接接受大气降水、灌溉回渗和河渠侧渗等垂直入渗补给,通过蒸发、人工开采等向外排泄,与外部环境关系密切,环境条件的改变直接影响着系统功能的变化,且反应迅速;中层(咸水)地下水系统为半封闭型地下水系统,分布于除全淡水区外的广大区域,基本未被开发利用;深层地下水系统(图 1)为半封闭型地下水系统,在天然状态下,仅有微量侧向径流输入,并通过越流输出,在开采条件下,则以消耗不同形式的储变量为主,以侧向径流与来自相邻含水层组的微弱越流补给为辅,人工开采是唯一的消耗方式。深层地下水的超量开采为地面沉降的主要外在原因,因此,本文对该层进行了详细论述。

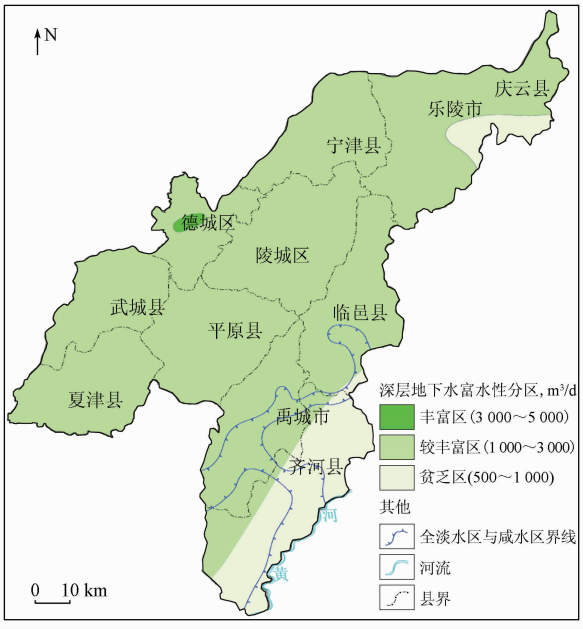


图 1　德州市深层地下水水文地质图

Fig. 1　Hydrogeological map of deep groundwater in Dezhou

(2)深层地下水特征。深层地下水丰富区主要分布在德城区一带,砂层累计厚度为 40 ~ 60 m,岩性以粉砂、细砂和中砂、中细砂为主,单位涌水量为 50 ~ 200 $m^3/(d \cdot m)$;深层地下水较丰富区主要分布在庆云、乐陵两县(市)的东北角和齐河仁里—安头一带,砂层累计厚度为 20 ~ 40 m,岩性为细砂、中砂夹砂岩,单位涌水量 < 50 $m^3/(d \cdot m)$;深层地下水贫乏区主要分布在齐河—广饶大断裂南侧的齐河沿黄河一带,呈 NE 向条带状展布,含水砂层很薄,累计厚度 < 20 m,岩性为中砂和中细砂,由于其中多含泥质砂或形成半胶结状砂岩,富水性较差,单位涌水量 < 50 $m^3/(d \cdot m)$(图 1)。

1.2.2　深层地下水开采历史及现状

德州市德城区深层地下水开采始于 1965 年,成井深度为 350 m 左右;1980—1985 年,成井深度增加至 400 ~ 500 m;目前,开采深度已达到 800 m。自 1985 年以来,区内深层地下水开采量远远超过可开采资源量,一直处于超采状态,深层地下水降落漏斗持续向纵深发展。德城区地下水开采量统计资料显示:2010 年,区内共有深层地下水开采井 226 眼,其开采总量为 2 669.4 万 m^3;2015 年,区内共有深层地下水开采井 376 眼,其开采总量为 484 万 m^3(表 1)。

表 1　2015 年德州市深层地下水开采量统计

Tab. 1　Statistics of deep groundwater exploitation in Dezhou in 2015

县(市、区)	深井数量/眼	开采量/(万 $m^3 \cdot a^{-1}$)
德城区	376	484
陵城区	16	269
乐陵市	91	176
禹城市	49	807
宁津县	157	799
齐河县	108	1 078
临邑县	75	123
武城县	297	171
夏津县	188	122
平原县	55	1 328
庆云县	30	428
合计	1 442	5 785

随着《德州市地下水超采区综合整治实施方案》[7](简称《实施方案》)的实施,2016 年和 2017 年,各县(市、区)每月都会进行深层地下水开采井的封存工作,对封存进度以月报形式进行总结汇报(表 2)。

表 2　德州市深层地下水开采井封存情况统计

Tab. 2　Sealing condition of deep groundwater exploitation wells in Dezhou

县(市、区)	《实施方案》规划期预计封存井数/眼	2016 年封存井数/眼	2017 年封存井数/眼
德城区	153	26	167
陵城区	66	20	29
乐陵市	133	21	21
禹城市	64	6	9
宁津市	193	17	19
齐河县	150	18	18
临邑县	122	29	16
武城县	412	48	40
夏津县	197	1	8
平原县	111	19	37
庆云县	39	4	4
合计	1 640	209	368

1.2.3　深层地下水降落漏斗现状

德州市深层地下水降落漏斗是一个以德城区为中心的区域性地下水降落漏斗[8]。根据 2017 年水位资料分析圈定,德州市深层地下水降落漏斗范围包括德州市德城区、武城县、平原县、陵城区、临邑县、宁津县和河北省吴桥县、景县、故城县的部分地区。西部和北部以衡水漏斗和沧州漏斗分水岭为界。在德州市范围内,-40 m 等水位线圈定的漏斗范围涵盖整个德城区、陵城区、武城县、平原县、临邑县大部分地区以及夏津县部分地区(图 2)。

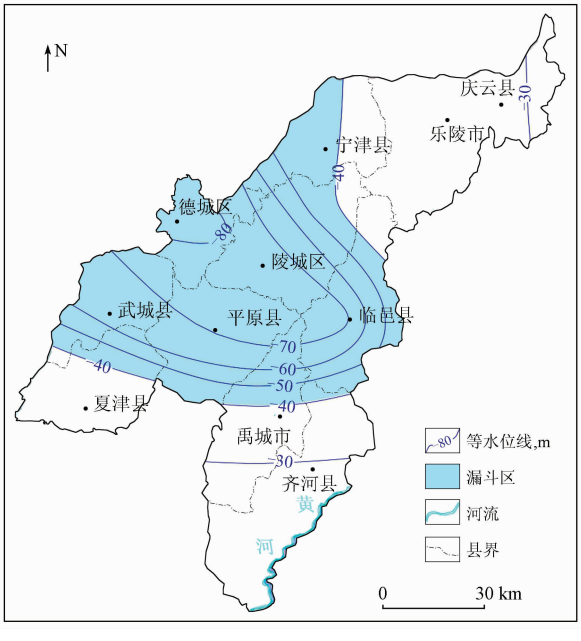


图 2　德州市 2017 年深层地下水降落漏斗图

Fig. 2　Depression cone of deep groundwater in Dezhou in 2017

德城区深层地下水开采量自 2012 年以后大幅下降[9],但因其历史开采程度较大,且深层地下水补给较差,因此开采量虽有大幅下降,但是深层地下水漏斗仍继续发展。目前,最大水位埋深已达 120 m 左右。

2　地面沉降现状及防治分区

2.1　地面沉降现状

德州市地面沉降监测以二等水准监测资料为基础,结合 GPS 及 InSAR 监测等资料进行校正,以 2012—2017 年近 5 a 的监测数据[10-11]进行地面沉降速率等值线(图 3)的绘制。

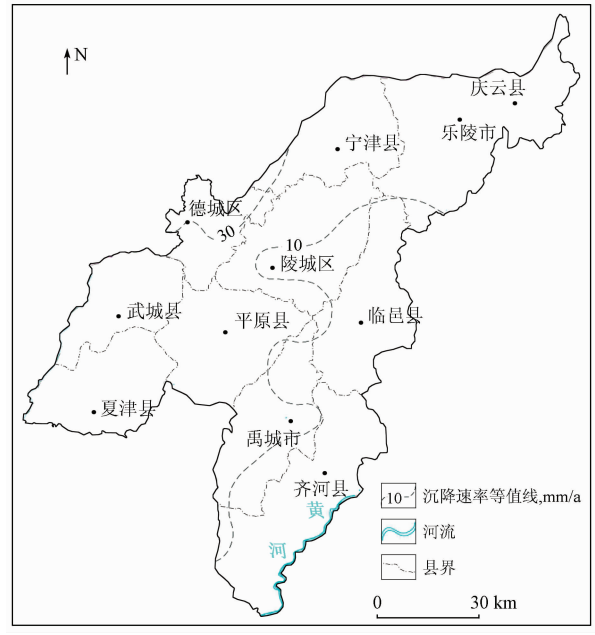


图 3　德州市 2012—2017 年地面沉降速率

Fig. 3　Land subsidence rate in Dezhou from 2012 to 2017

德州市地面沉降速率 >30 mm/a 的区域主要分布在德城区运河街道—广川街道—长河街道—袁桥镇—赵虎镇—宁津县大曹镇一线以北,面积约 297 km^2,该区沉降中心点位于德城区袁桥镇附近,多年平均沉降速率为 44.33 mm/a;沉降速率为 10 ~ 30 mm/a 的区域主要分布在齐河县潘店镇—禹城市李屯乡—安仁镇—市中街道—十里望回族镇—张店镇—平原县前曹镇—禹城市辛店镇—临邑县临盘街道—陵城区郑家寨镇—临齐街道—神头镇—糜镇—临邑县德平镇一线以西,面积约 6 755 km^2,该区沉降中心点位于德城区袁桥镇后赵村附近,多年平均沉降速率为 27.67 mm/a;地面沉降速率 <10 mm/a 的区域主要分布在陵城区—临邑县—

禹城市—齐河县一带,面积约 3 304 km^2。

2.2　地面沉降防治区划分原则与依据

根据《山东省地面沉降防治规划(2012—2020年)》[12](简称《省规划》)防治区划分原则,将地面沉降较为明显、经济发达且人口密集的中心城区、城市规划区、京沪高铁沿线、石济高铁沿线及南水北调沿线等重要工程建设区划定为重点防治区。根据《市规划》[4],将现状中心城区及未来城市规划区划定为重点防治区,同时将高速铁路、南水北调工程(城市规划区段)向两侧各外扩 1 km 作为重点防治区。本文综合以上文件资料,基于德州市地面沉降发育形势及区位优势,根据地面沉降现状和趋势分析,结合城市建设及经济发展方向,本着把防治工作重点放到经济发达、人口稠密、交通干线分布集中、地面沉降发育程度高的地区的原则,综合考虑地质环境和人为工程两方面因素,对重点防治区与一般防治区进行划分。同时,遵循加强重点地区并兼顾一般地区的原则,部署地面沉降监测、评价和防治工作[13]。

2.3　地面沉降防治分区

2.3.1　重点防治区

重点防治区总面积约 993 km^2,主要包括沉降发育区、人口密集且经济发达的中心城区、城市规划区、高速铁路沿线和南水北调沿线(图 4)。

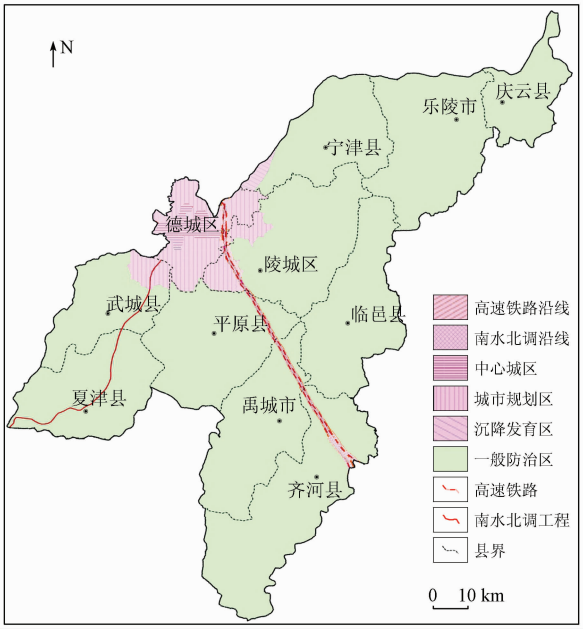


图 4　德州市地面沉降防治分区

Fig. 4　Division of land subsidence prevention and control areas in Dezhou

(1)沉降发育区。该区地面沉降发育程度高,多年平均年沉降速率≥30 mm/a,人口密度大,人类活动频繁,面积约 297 km^2。

(2)中心城区。该区人口密度大,地面沉降发育程度高,重大工程集中,人类活动频繁,面积约 170 km^2。

(3)城市规划区。该区经济较发达,地面沉降发育程度较高,人口密度较大,地下水开采集中,面积约 789 km^2。

(4)高速铁路沿线。以区内已经建成的高速铁路干线为轴,分别向两侧延扩 1 km 作为重点防治区,面积约 219 km^2。区内已建成高速铁路主要包括京沪高铁和石济客运专线。

(5)南水北调沿线城市规划区段。根据《德州市城市总体规划(2011—2020)年》[14]中《德州市现代水网规划调水工程布置图》,以南水北调工程为轴线,向两侧分别外扩 500 m 作为重点防治区。结合地面沉降发育程度及人类活动频繁程度等情况,将南水北调沿线城市规划区段划为重点防治区,面积约 9 km^2。

2.3.2　一般防治区

主要为人口密度较低的平原地区,目前开发强度相对较低,地面沉降相对较轻,面积约 9 363 km^2。

3　控沉目标可行性分析

3.1　地面沉降控沉目标

《市规划》[4]根据区域地质环境条件、地面沉降现状及发展趋势,结合当地经济、社会发展水平及替代水源条件,综合确定了各防治区地面沉降防治目标,具体包括 2 项控沉技术指标：区域地面沉降速率(即区域地面沉降年均沉降量,用区域范围内每年发生的地面沉降总体积与区域面积的比值表示)和沉降中心地面沉降速率(即沉降中心每年沉降量,用区域内每年最大沉降数据表示)[15-17]。

(1)重点防治区目标。2020 年,区域地面沉降速率控制在 35 mm/a 以内,沉降中心沉降速率控制在 40 mm/a 以内；2025 年,区域地面沉降速率控制在 25 mm/a 以内,沉降中心沉降速率控制在 35 mm/a 以内。

(2)一般防治区目标。2020 年,区域地面沉降速率控制在 20 mm/a 以内；2025 年,区域地面沉降

速率控制在 10 mm/a 以内。

3.2　地面沉降控沉目标可行性分析

3.2.1　区域地面沉降速率计算方法

根据《省规划》[12],区域地面沉降速率的计算公式为

$$v_a = \frac{\sum_{k=1}^{n} V_k}{\sum_{k=1}^{n} S_k} = \frac{\sum_{k=1}^{n} v_{ak} S_k}{\sum_{k=1}^{n} S_k}, \qquad (1)$$

式中:v_a为年沉降速率(年均沉降量),mm/a;V_k为第 k 个地面沉降分区的沉降体积,10^6 m^3;v_{ak}为第 k 个地面沉降分区的年沉降速率,mm/a;S_k为第 k 个地面沉降分区的面积,km^2。

在实际工作中,将每一地面沉降分区内发生的沉降视为均匀的,并选取各分区沉降量的中值进行计算。

3.2.2　区域地面沉降速率控沉目标可行性分析

按照上述计算方法,以 10 mm/a 为间隔线进行沉降速率计算分区(图 5),计算德州市地面沉降速率。

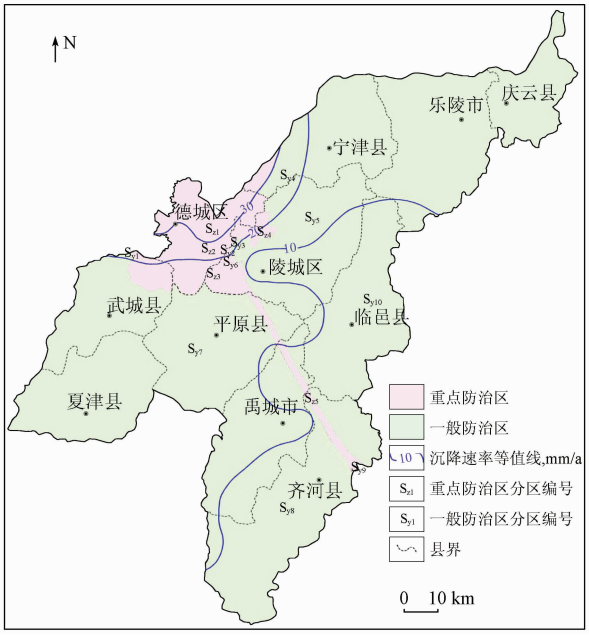


图 5　德州市 2012—2017 年地面沉降速率计算分区

Fig. 5　Zoning of land subsidence rate calculation in Dezhou from 2012 to 2017

将各分区地面沉降速率计算结果(表 3)与《市规划》[4]控沉目标要求进行对照分析,其中分区面积依据德州市 2012—2017 年地面沉降速率计算分区图(图 5)计算得出,重点防治区和一般防治区区域沉降速率由公式(1)求得。

表 3　德州市 2012—2017 年各分区地面沉降速率计算结果

Tab. 3　Calculation results of regional land subsidence rate in Dezhou from 2012 to 2017

防治分区	分区编号	分区面积 S_k/km^2	分区沉降速率 v_{ak}/(mm·a^{-1})	分区沉降体积 V_k/(10^6 m^3)
重点防治区	S_{z1}	296.55	35	10 379.25
	S_{z2}	244.90	25	6 122.50
	S_{z3}	315.28	15	4 729.20
	S_{z4}	28.90	15	433.50
	S_{z5}	108.53	5	542.65
一般防治区	S_{y1}	7.45	25	186.25
	S_{y2}	0.63	25	15.75
	S_{y3}	3.14	25	78.50
	S_{y4}	214.74	25	5 368.50
	S_{y5}	2 696.41	15	40 446.15
	S_{y6}	2.45	15	36.75
	S_{y7}	3 075.64	15	46 134.60
	S_{y8}	1 597.93	5	7 989.65
	S_{y9}	0.34	5	1.70
	S_{y10}	1 763.11	5	8 815.55

2012—2017 年重点防治区地面沉降速率计算结果为 22.34 mm/a(由分区沉降体积总和/分区面积总和所得),该区域地面沉降速率已满足《市规划》[4]2025 年控沉目标要求。故在规划期内,在实行最严格的水资源管理制度条件下,可确保地面沉降速率不增长,重点防治区控沉目标可实现。

2012—2017 年一般防治区地面沉降速率计算结果为 11.65 mm/a(由分区沉降体积总和/分区面积总和所得),近期(2020 年)目标已实现,距中远期(2025 年)目标相差 1.65 mm/a。《实施方案》[7]要求,至 2025 年,对深层地下水实现全部压采,按照压采方案及压采量,中远期目标也可实现。

3.2.3　沉降中心地面沉降速率控沉目标可行性分析

2012—2017 年监测资料[10-11]显示,德州市沉降中心点位于德城区袁桥镇附近,多年平均沉降速率为 44.33 mm/a。基于此,对该点地面累计沉降量进行预测。

(1)水位预测。利用距沉降中心点较近的跃华中学水位标高和多年开采量数据(表 4),进行水位预测。《实施方案》[7]要求,至 2025 年,对深层地下水实现全部压采。根据调查,漏斗中心水位点所在德城区开采地下水的主要用途是生活饮水和企业生产用水,在压采过程中可能会出现开采井漏封现象,故对压采方案预计压采量进行漏封折算,折算系数为 5%(表 5)。

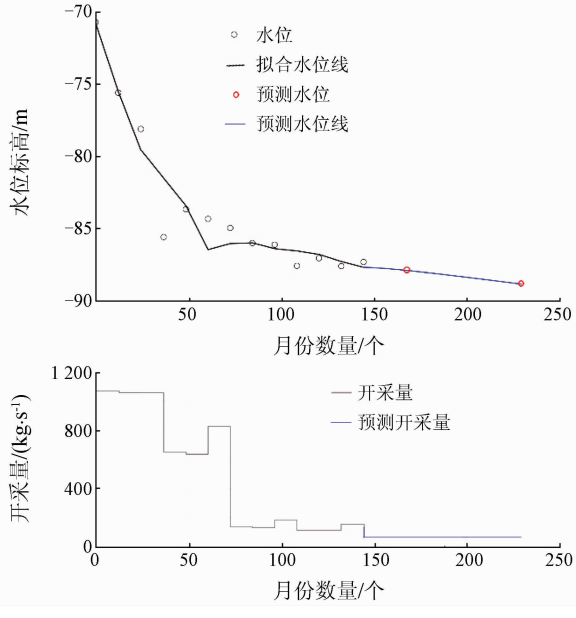
表 4　沉降中心 2006—2018 年水位标高和开采量统计
Tab. 4　Water level and mining scale in the subsidence center from 2006 to 2018

监测年份	水位标高/m	年开采量/(万 $m^3 \cdot a^{-1}$)
2006	-70.69	3 397.00
2007	-75.56	3 367.00
2008	-78.08	3 360.00
2009	-85.57	2 060.00
2010	-83.64	2 010.00
2011	-84.31	2 780.00
2012	-84.93	425.00
2013	-85.98	408.00
2014	-86.09	574.00
2015	-87.57	345.60
2016	-87.02	347.10
2017	-87.58	484.12
2018	-87.29	426.62

表 5　沉降中心 2019—2025 年开采量预测
Tab. 5　Mining scale forecast in the subsidence center from 2019 to 2025

年份	规划开采量/(万 $m^3 \cdot a^{-1}$)	折算开采量/(万 $m^3 \cdot a^{-1}$)
2019	363.090	369.12
2020	302.575	311.62
2021	242.060	254.12
2022	181.545	196.62
2023	121.030	139.12
2024	60.515	81.62
2025	0.000	24.12

利用 Lumpfit 软件,采用折算开采量对 2020 年(第 168 个月)和 2025 年(第 228 个月)地下水水位进行预测(图 6)。根据数据分析,2020 年地下水水位为 -87.6 m,2025 年地下水水位为 -88.8 m。



(注：1 万 $m^3/a = 0.317$ kg/s)

图 6　沉降中心水位及开采量预测
Fig. 6　Prediction of water level and mining scale in the subsidence center

(2)相关关系分析及沉降量预测。利用水位标高、多年开采量及多年累计沉降量数据做图,利用 Excel 的数据分析功能进行回归分析,其拟合度判断系数 R^2 为 0.965 235 120 545 57,拟合程度较高。地面累计沉降量预测公式为

$$S = -721.28 - 20.50H - 0.18Q \text{ 。} \quad (2)$$

式中：S 为地面累计沉降量,mm；Q 为沉降发生期间的累计开采量,万 m^3；H 为对应的水位标高,m。

将 2020 年及 2025 年累计开采量及水位标高数值(表 5、图 6)代入,得出地面累计沉降量分别为1 018.4 mm 和 1 094.8 mm。根据德州市多年水准监测数据,计算 2012—2017 年沉降中心累计沉降量约为 913 mm。在沉降中心位置不变的条件下,根据累计沉降量,计算 2017—2020 年年均沉降速率为 35.13 mm/a,2020—2025 年年均沉降速率为 15.28 mm/a,其沉降中心沉降速率均低于《市规划》[4] 的要求,控沉目标可以实现。

4　地面沉降防治存在的问题及建议

4.1　存在的问题

(1)地面沉降联防联控机制有待健全。地面沉降防治工作具有区域性,同时涉及国土、水利、交通、住建、气象等多个部门,要求各区政府间、各部门间、各相关单位间做到联防联控。目前,地面沉降数据的分享率低,监测设施共享率低,造成监测数据利用率不高,测量工作重复进行。因此,应合理提高沉降监测数据的共享率,进一步健全地面沉降联防联控机制。

(2)地面沉降监测手段及监测频率有待提高,防治经费缺乏保障。目前,地面沉降监测周期不固定,省内各地监测时间及周期不统一,无法形成系统、长效的测量数据供地面沉降机理研究。地面沉降防治尚未形成稳定的资金投入渠道,没有资金保障,地面沉降监测网络建设、地面沉降定期监测、地面沉降机理研究等工作都相对滞后,影响了地面沉降防治工作的进度。

(3)地面沉降成因机理及危害研究尚不深入。由于资料及技术支撑所限,目前对地面沉降机理的研究只是定性分析,即明确了造成地面沉降的原因,但各成因的影响因子大小尚无较准确的定量分析。地面沉降危害尚不明确,因而未能引起大众的

重视,应进一步对地面沉降的长远危害进行预测,明确其不可逆特性,推动对地面沉降的深入研究。

(4)地面沉降治理欠缺。在地面沉降防治中,重“防”轻“治”。地下水压采方案的实施,对预防地面沉降进一步恶化起到了很大的推动作用,但对已形成的区域不均匀沉降未能采取有效的治理措施。目前,沉降治理方式单一,治理技术尚不成熟。尽早开展对地面沉降治理的研究,可为地面沉降问题突显时提供应急方案。

4.2 建议

(1)健全监测网络,确保常态化监测。地面沉降机理研究和防治措施研究都离不开基础监测数据的支撑,系统、连续、真实可靠的地面监测数据可为地面沉降宏观及微观机理研究提供支撑。地面沉降监测网络的完善及地面沉降常态化监测是地面沉降防治的基础性工作,只有掌握大量系统、有效的第一手数据,才能为地面沉降防治工作提供支撑。

(2)地下水限采、控采到位。深层地下水超量开采是地面沉降主要原因。对地下水超采进行综合整治,改善地下水生态环境,增加地下水源的储备总量,不仅对地面沉降治理具有重要意义,同时对实现地下水资源可持续利用,保障德州市非常时期用水和应急供水,也具有重要的现实意义和长远的战略意义。确保地下水限采、控采到位,改善深层地下水超量开采情况,可有效遏制地面沉降的发展。

(3)加大地面沉降知识宣传。鼓励并支持有关地面沉降防治科学技术的研究,推广先进的地面沉降防治技术,普及地面沉降危害及防治科学知识。利用多种媒体,通过各种形式,加强有关地面沉降灾害防治和地下水资源保护的政策、法规和科普知识的宣传教育,普及地面沉降长期潜在、难以逆转的危害性,加强公众对地面沉降防治工作的重要性、必要性和迫切性的认识,进一步增强防治地面沉降的意识[18-22]。

5 结论

(1)2012—2017 年近 5 a 沉降资料表明,德州市地面沉降速率已控制在 50 mm/a 之内,沉降中心位于袁桥镇附近。地面沉降速率 >30 mm/a 的区域主要分布在德城区一带,面积约 297 km^2;地面沉降速率为 10 ~ 30 mm/a 的区域分布在德州市大部分地区,面积约 6 755 km^2;地面沉降速率 <10 mm/a 的区域主要分布在德州东南一带,面积约 3 304 km^2。

(2)将德州市沉降发育区、中心城区、城市规划区、高速铁路沿线、南水北调沿线城市规划区段划为重点防治区,其他区域划为一般防治区。

(3)按照区域地面沉降计算方法,在最严格的水资源管理制度条件下,德州市重点防治区和一般防治区的控沉目标均可实现;利用 Lumpfit 软件及回归分析方程对德州市地下水开采量进行控采预测分析,结果表明,沉降中心地面沉降速率的控沉目标也可以实现。

参考文献:

[1] 薛禹群. 论地下水超采与地面沉降[J]. 地下水,2012,34(6):1-5.

[2] 孙晓晓,段晓飞. 鲁西北平原区地下水开采诱发地面沉降机理及防控措施研究[R]. 济南:山东省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质大队,2017.

[3] 王小刚,陈松,王秀芹,等. 德州市地面沉降成因及防治对策浅析[J]. 地质灾害与环境保护,2006,17(3):62-66.

[4] 德州市国土局,德州市水利局. 山东省德州市地面沉降防治规划(2018—2025 年)[R]. 德州:德州市人民政府,2018.

[5] 纪洪磊. 滨州市地面沉降成因浅析[J]. 山东国土资源,2017,33(12):37-42.

[6] 王胜岭,宋波,王德生,等. 德州市临盘采油区地面沉降监测[J]. 山东国土资源,2009,25(1):25-27,32.

[7] 德州市水利局. 德州市地下水超采区综合整治实施方案[R]. 德州:德州市人民政府,2016.

[8] 杨亚宾,赵季初,李志恒,等. 山东省德州市地面沉降地质调查与评价报告[R]. 德州:山东省鲁北地质工程勘察院,2007.

[9] 贾超,张国荣,何奔,等. 德州市地面沉降数值模型[R]. 济南:山东大学,2014.

[10] 王明珠. 德州市地面沉降防治规划专题研究[R]. 德州:山东省地勘局第二水文地质工程地质大队,2018.

[11] 何国荣,冯在敏,冯克印,等. 水准测量网监测在德州市地面沉降中的应用[J]. 山东国土资源,2012,28(6):28-30.

[12] 山东省国土资源厅. 山东省地面沉降防治规划(2012—2020 年)[R]. 济南:山东省人民政府,2014.

[13] 张永伟,邵明,肖敏. 山东省地面沉降监测与防治工作进展[J]. 山东国土资源,2018,34(8):62-66.

[14] 德州市规划局. 德州市城市总体规划(2011—2020 年)[R]. 德州:德州市人民政府,2017.

[15] 杨天亮,王寒梅,焦珣. 上海地面沉降防治分区管控方法研究[J]. 上海国土资源,2014,35(4):105-109.

[16] 郭萌,田芳,王荣,等. 北京市地面沉降控沉目标分析[J]. 城市地质,2013,8(3):1-5.

[17] 亓协全,张强,袁超,等. 济南市地面沉降调查监测与防治工作进展[J]. 山东国土资源,2019,35(2):53 - 57.
[18] 张进才,褚立峰,肖震,等. 河北平原地面沉降调查与监测主要进展及成果[J]. 中国地质调查,2014,1(2):45 - 50.
[19] 刘斌,葛大庆,李曼,等. 地基 InSAR 技术及其典型边坡监测应用[J]. 中国地质调查,2018,5(1):73 - 81.
[20] 周丹,邢雪,王宏沛. 江苏省徐州市睢宁县城区地面沉降稳定性分析与评价[J]. 中国地质调查,2016,3(1):58 - 64.
[21] 朱菊艳. 沧州地区地面沉降成因机理及沉降量预测研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2014:32 - 44.
[22] 韩彦霞. 沧州市地面沉降分析及防治措施研究[J]. 地下水,2012,34(2):82 - 84.

Analysis and suggestions on land subsidence control in Dezhou of Shandong Province

WANG Mingzhu, WAN Junwei

(*No.* 2 *Hydrogeology and Engineering Geological Brigade*, *Shandong Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources* (*Lubei Geo-engineering Exploration Institute*), *Dezhou* 253015, *China*)

Abstract: The land subsidence in Dezhou of Shandong Province has a long history with the characteristics of large amount, wide distribution and ongoing development. The prevention and control situation of land subsidence is becoming urgent. In order to analyze the possibility of realizing the goal in *Subsidence Control Program in Dezhou*, *Shandong Province* (*from* 2018 *to* 2025) on schedule, based on the current situation of land subsidence in Dezhou and the existing prevention and control means, the authors analyzed the subsidence control target feasibility through the quantitative calculation of regional subsidence rate formulas and the prediction of central subsidence rate. The analysis results show that under the strictest water resource management system, the subsidence control goal could be realized. At present, there are some problems in the prevention and control of land subsidence, for example, the monitoring means and frequency of land subsidence need to be improved, the prevention and control funds is lack of guarantee, and the subsidence mechanism research and govemance is still not enough. Then from the aspects of governance and technology, the authors put forward some suggestions, including improving the monitoring network, controlling the exploitation of groundwater, and expanding the propaganda of land subsidence knowledge. The study can provide some reference for the effective prevention and control of land subsidence in Dezhou.

Keywords: Dezhou; land subsidence; subsidence control target; prevention and control means; suggestions on land subsidence control

(责任编辑: 刘丹)