

# 河北平原地面沉降调查与监测主要进展及成果

张进才, 褚立峰, 肖震, 卢泽昌, 沈荣辉, 陈英杰

(河北省环境地质勘察院, 河北 石家庄 050021)

**摘要:** 介绍了“河北平原地面沉降调查与监测”项目的研究背景、研究思路、完成的主要工作量及研究的意义,并总结了河北平原地下水状况、地裂缝状况及地面沉降监测网特点,分析研究了地面沉降的分布规律、影响因素、成因机制及危害特征,预测了河北平原地面沉降中心沧州市的地面沉降发展趋势,针对地面沉降现状,提出了合理的防治对策。

**关键词:** 河北平原;地面沉降;主要进展;成果

**中图分类号:** P642.26

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2014)02-0045-06

## 0 引言

河北平原北靠燕山、西依太行山、东临渤海、环绕京津,包括石家庄、唐山、秦皇岛、邯郸、邢台、保定、沧州、廊坊、衡水九市119县(市),面积73 129 km<sup>2</sup>,是我国政治、经济、科技、文化较发达的地区,也是最具竞争力的经济区域之一。但是本地区水资源相对贫乏、人口密度大、城市规划和建设缺乏系统完整的地质环境资料支撑,城市发展建设的不断加快、人类工程和经济活动的不断加剧,加重了对地质资源的索取和干扰,由此引发了许多城市地质环境问题,已成为当前河北平原地区面临和亟待解决的重要问题。

河北平原是整个华北平原乃至全国地面沉降面积最大、类型最为复杂的地区之一。由于地下水长期超量开采,华北平原成为世界上地下水超采最严重的地区,也是地下水降落漏斗面积最大、地面沉降面积最大、类型最复杂的地区,其中又以京津冀鲁地区表现最为突出。大面积的地面沉降给当地人民生命财产安全造成了严重威胁,成为制约当地经济可持续发展的重要因素之一。前人研究了典型区的地面沉降,本文分析了全区的分布、成因与趋势,以期推动防治工作深入。

## 1 项目概况

“河北平原地面沉降调查与监测”项目由中国地质调查局于2003年下达并开始实施,完成于2007年。主要任务是开展河北平原地面沉降现状调查,逐步建成区域地面沉降监测网;引进自动化监测和网络传输技术,建立地面沉降监测信息系统;实现河北平原地面沉降的有效监测,综合研究地面沉降机理与发展趋势,提出地面沉降防控对策建议,为区域经济社会可持续发展提供基础地质依据。

在项目实施期间,开展了地面沉降调查工作,主要调查地下水状况、地面沉降灾害现象、地裂缝分布与危害。初步建成了2座基岩标、3组分层标、2座GPS基准站、91座GPS观测墩及大量水准点、地下水动态监测点组成的地面沉降监测网,并安装了分层标自动化监测传输系统。完成了大量的水准测量、GPS测量工作,通过对基岩标、分层标、GPS基准站、水准点、GPS点、三角点进行监测,取得了大量的基础监测数据。在完成实物工作量的基础上,进行地面沉降综合研究工作,编制完成了“河北平原地面沉降等值线图”、“河北平原地面沉降监测网图”、“河北平原第三含水组黏性土厚度等值线

收稿日期: 2014-10-13; 改回日期: 2014-10-21。

基金项目: 中国地质调查“河北平原地面沉降调查与监测(编号:1212010540901)”项目资助。

作者简介: 张进才(1975—),男,硕士,高级工程师,主要从事水文地质、工程地质、环境地质方面科研和生产工作。Email: zjcsjz@126.com。

图”、“河北平原第三含水组砂性土厚度等值线图”等图件,开展了地面沉降分布规律、成因机制与防治对策等方面的研究,为地面沉降防治工作奠定了坚实基础。

## 2 主要进展和成果

### 2.1 总结了河北平原地下水位变化状况

河北平原地下水的开采大致可分为 4 个时期<sup>[1]</sup>:20 世纪 60 年代以前(浅层地下水开采阶段)、60 年代至 70 年代(以浅层地下水开发为主,深层地下水开发起步阶段)、70 年代至 90 年代中期(浅深层地下水大量开发阶段)、90 年代中期至今(地下水开发利用管理阶段)。伴随着地下水的大量开采,地下水水位相应呈持续大幅度下降趋势。

1975—2005 年,浅层地下水水位总体呈下降趋势,水位降幅从山前倾斜平原到滨海平原逐步变小。其中宁柏隆漏斗中心水位降幅最大,中心水位降幅 57.72 m,石家庄漏斗、辛集漏斗、霸州漏斗、肥乡漏斗中心水位降幅大于 40 m。中东部平原地区浅层地下水降幅一般小于 10 m,滨海平原地区浅层地下水水位降幅小于 2 m。

1975—2005 年,深层地下水水位变化基本呈下降趋势,地下水下降重点区在两个大型漏斗区,其一为冀枣衡漏斗、巨新漏斗复合漏斗,其二为沧州漏斗、青县漏斗、任丘漏斗、大城漏斗、黄骅漏斗巨型复合漏斗,以廊坊、霸县、任丘、河间、饶阳、深州东、新河、巨鹿、威县一线为界,该线以西山前平原区深层地下水水位埋深从小于 8 m 发展到目前的小于 40 m,水位降幅在 32 m 左右。该线以东地区为巨型漏斗区影响范围,深层地下水降幅大于 50 m,衡水市中心水位降幅达到 90 m 以上<sup>[2]</sup>。

### 2.2 初步建立了河北平原地面沉降监测网

通过本项目建立了 2 座基岩标、3 组分层标、2 座 GPS 基准站、角反射器(航遥中心)及 91 座 GPS 观测墩,结合已有水准点、地下水位监测点,共同组成河北平原地面沉降监测网(图 1)。其具有以下特点:

(1)控制区域广,持续监测将改变地面沉降数据缺乏的状况。

河北平原地面沉降监测网络是目前河北省最大的地面沉降专业监测网,以往地面沉降监测范围小,时间周期不固定,而新建的地面沉降监测网,将

定期开展测量工作,监测数据系列化,从而改变河北平原地面沉降数值主要依靠推测的状况。

(2)在建设过程中,监测网采用了多种新技术、新方法,一些监测设施在河北省尚属首次。

沧州兴济基岩标埋深 811.83 m,是河北省最深的基岩标;唐山王官屯基岩标位于唐山断裂带东侧的冀东平原,标深 113.21 m。新建的基岩标解决了测量工作需引测外省市基岩标的问题,作为测量的起始点,为地面沉降监测工作提供了测量基准,大大减少了工作量,提高了地面沉降监测效率。

2005 年完成的沧州兴济 GPS 基准站为河北平原第一座 GPS 基准站,2007 年完成唐海 GPS 基准站,GPS 基准站的建立将大大提高今后该区域 GPS 测量的速度与精度,作为连续运行的虚拟参考站,为动态 GPS 测量开展提供了便利。

本项目共建立了 3 组分层标,唐海分层标为河北省第一组分层标,完成于 2005 年 12 月;另外两座为沧州、衡水分层标,在唐海、衡水均安装了自动化监测传输系统,实现了监测数据的无人值守实时监测传输。沧州分层标组的孔隙水压力孔施工采用了一孔多个传感测头的技术,唐海、衡水分层标组分层标孔与地下水位观测孔共用一孔,在全国尚属首次。

### 2.3 基本查清了河北平原地裂缝分布状况

构造活动和浅层地下水强烈开采导致河北平原出现了大量地裂缝,其主要分布于京津以南山前和中部平原区,至 2007 年,共发现地裂缝 547 条,其中本项目新发现 90 条。本区因构造活动产生的地裂缝占 75%,其中,1996 年之前为 79.3%,1997—2007 年间下降为 58%,表明浅层地下水开采引发的地裂缝显著增多。

地裂缝的危害主要体现在对农田、建筑物的破坏和对该区域交通干线建设与运营的影响。

### 2.4 基本查清了河北平原地面沉降分布状况

河北平原地面沉降形成于 20 世纪 50 年代中期以后,1965—1975 年期间,地面沉降仅发生在沧州市深层地下水漏斗的中心地带,下降速率一般小于 10 mm/a;1975—1985 年随着深层地下水的大规模开采,地面沉降的范围不断扩展,分别出现了以沧州、任丘、衡水、河间、南宫、威县、平乡为代表的中东部平原地面沉降中心和以保定、邯郸为代表的山前平原地面沉降中心。

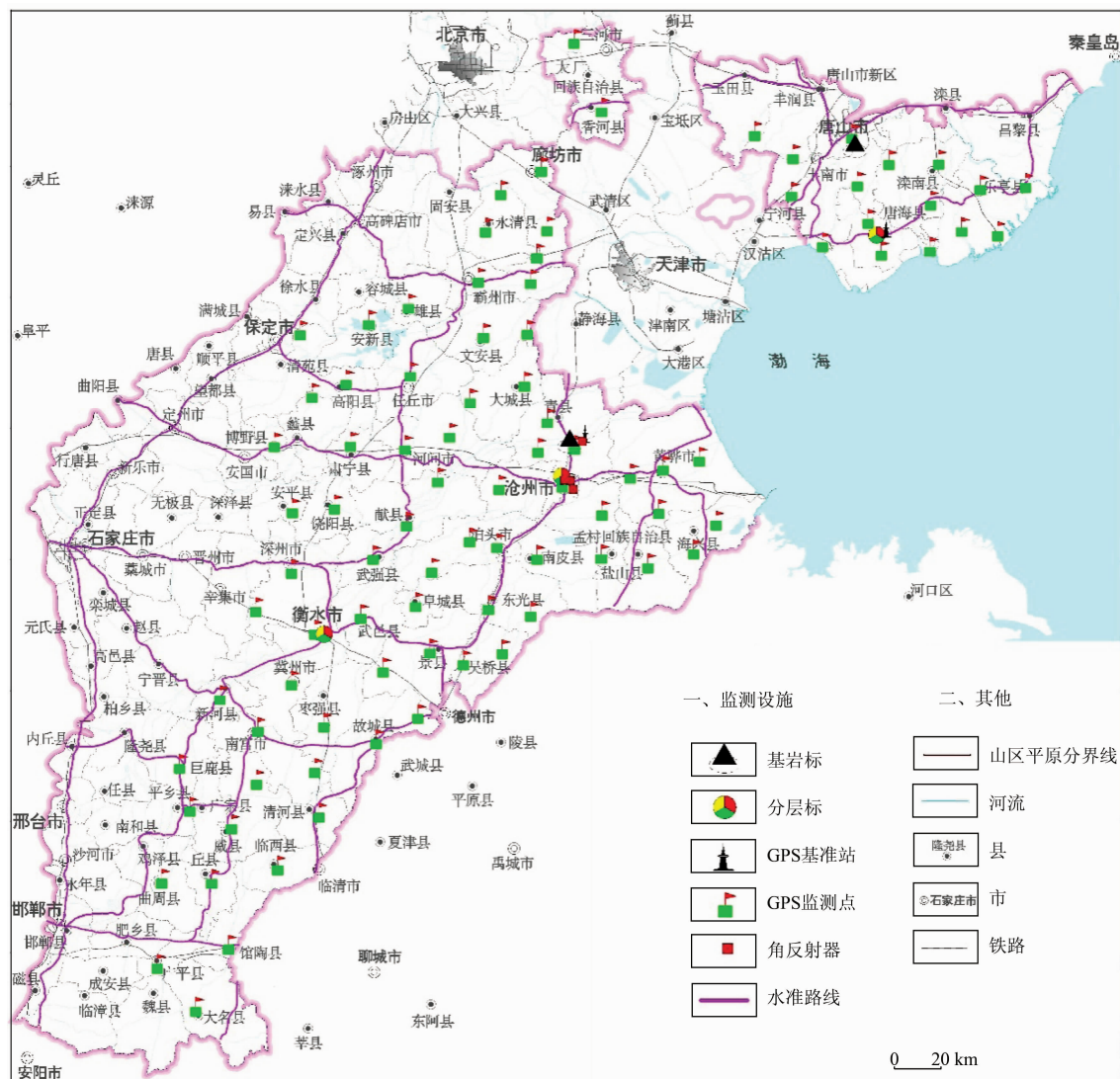


图1 河北平原地面沉降监测网分布图

Fig. 1 Distribution of land subsidence monitoring network in Hebei Plain

至2005年底,河北平原大于2 m的沉降面积为7.41 km<sup>2</sup>,仅分布在沧州市;1~2 m的沉降面积达1 519.65 km<sup>2</sup>,分布在沧州、邢台、廊坊、保定、衡水、唐山等地;0.5~1 m的沉降面积达20 600.47 km<sup>2</sup>,广泛分布于沧州、衡水、邢台、廊坊、邯郸、保定、唐山等广大地区;0.3~0.5 m的沉降面积达15 497.04 km<sup>2</sup>,除秦皇岛外均有分布(图2)。河北平原不同区域的沉降中心仍在不断发展,并且有连成一片的趋势。

地下水位的持续下降导致地面沉降的产生与加剧,其发生过程具有不可逆性,一旦形成难以恢复。地面沉降造成地面高程降低、城市堤坝防洪能力降低、建筑基础下沉、城区内涝积水,加剧沿海地区风暴潮灾害;引起河床下沉,南水北调等水利工

程输水能力降低;导致井管抬升,甚至影响采油采水井的使用;地面不均匀沉降还造成墙体开裂和市政管道断裂,乃至影响京沪高速铁路、京广高速铁路和曹妃甸等重大工程的安全运营。

## 2.5 分析研究了河北平原地面沉降产生的特点

### 2.5.1 地面沉降在不同地形地貌区的分布特点

山前冲洪积平原处于太行山抬升、河北平原地面下沉过渡地带,基岩埋深较浅,松散堆积物较薄,地面沉降的特点是地面沉降量小,形成孤立型的沉降漏斗。

中部冲积湖积平原位于山前平原与滨海平原之间,地面沉降的发生晚于滨海平原主要沉降区,但目前其整体沉降速率高于山前平原与滨海平原,地面沉降漏斗多集中于此,中心沉降量多超过1 m。

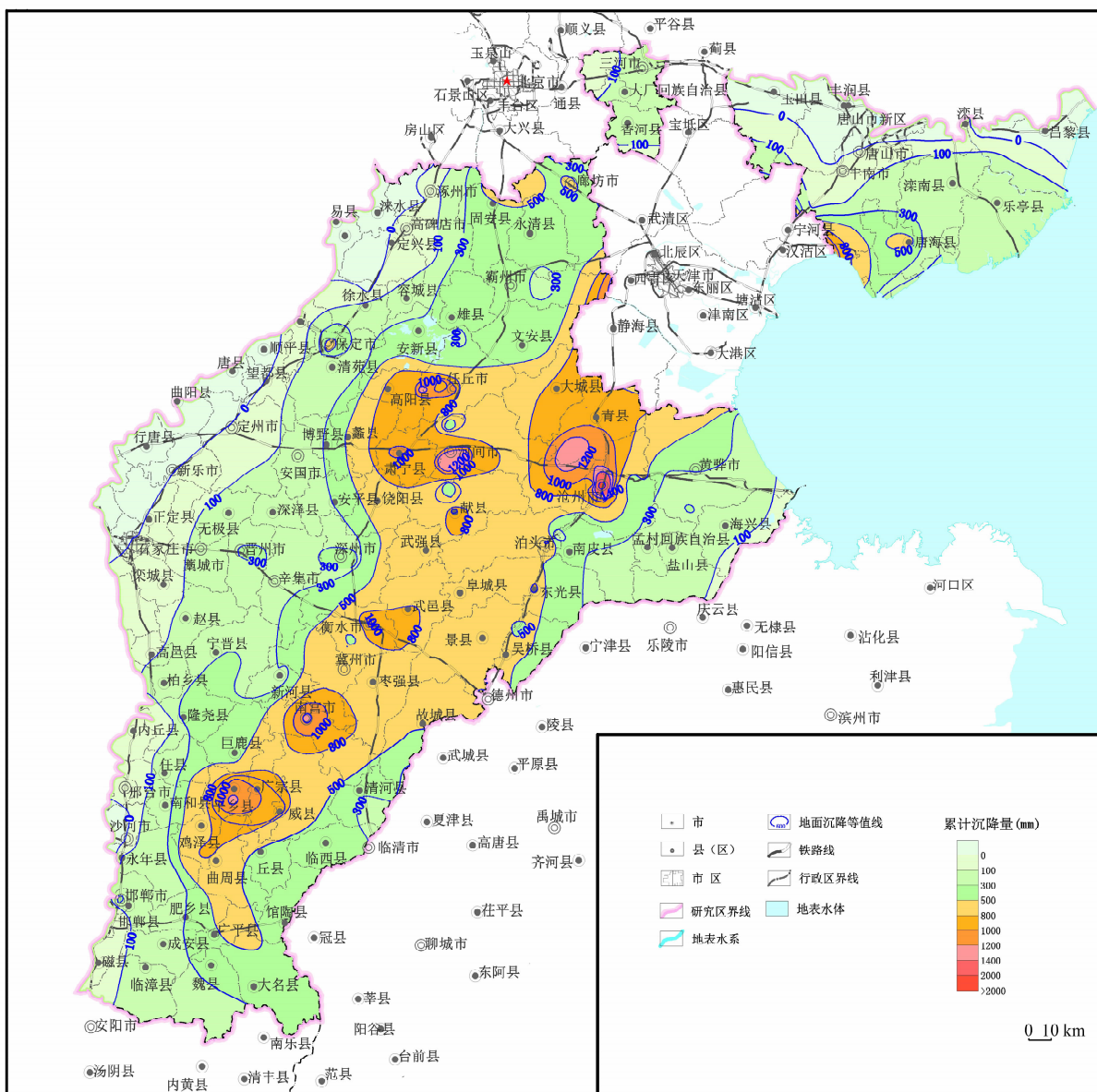


图2 河北平原地面沉降现状分布图

Fig.2 Distribution of current land subsidence situation in Hebei Plain

滨海冲积海积平原区大体分布在沿渤海湾西岸和北岸,地面沉降严重地区主要集中在中部平原与滨海平原交界区域,地面沉降的发生时间较早,中心沉降量较大,靠近渤海的区域沉降量变化较小。

#### 2.5.2 地面沉降与地下水开采的关系

河北平原地面沉降中心位置与深层地下水降落漏斗中心位置大致对应,但又具有不同特点。水位降深小于 50 m,地面沉降滞后于水位降深约 3 年,水位降深超过 50 m,随着地层压密增加,延迟时间延长,特别是当水位降深大于 70 m,地面沉降进入快速发展时期,其与水位降深的变化延迟约 4 年。地面沉降是由不同层位的地层压缩共同导致

的,主压缩层位发生于主要开采层组。

#### 2.5.3 地面沉降中心与黏性土和砂分布的关系

地面沉降量由砂、黏性土压缩量构成,与主要开采层位的黏性土厚度呈正相关关系,与砂层厚度呈负相关关系。在地面沉降量构成中,黏性土压缩量占主要部分。在地下水变化相似条件下,地层中砂、黏性土的厚度比及其在垂直方向上的分布对地面沉降的形成起到主要的控制作用。黏性土与砂相间的多层结构更易产生地面沉降。

#### 2.6 分析研究了地面沉降形成的影响因素

引起地面沉降的因素可分为自然因素及人为因素。自然因素包括构造活动、软弱土层的自重压

密固结,海平面上升等;人为因素包括过量开采地下水、地下热水及油气资源等<sup>[3]</sup>。

### 2.6.1 自然因素影响

构造活动影响:本区因区域构造活动导致的地面变形年沉降速率为1~3 mm。

断层蠕动:部分区域地面沉降带与区域构造线的延伸方向一致,分布位置上也与第四纪断层出现部位大体相同,其地面沉降形成受断裂构造位置及其活动所控制。

土层的自重压密固结:河北平原分布有巨厚的第四系松散沉积层,固结程度较低,尤其在沧州沿海和唐山沿海,地层形成时间较短,在自身重力作用下会产生自然压缩变形,从而形成地面沉降<sup>[4]</sup>。

地震活动影响:强烈地震是新构造运动的一种突发事件,在短期内可以引起变幅较大的区域性地面垂直变形,可使软土地基震陷和古河道新近沉积液化,导致地面相对下降。

### 2.6.2 人为活动影响

地下水超采:长期大量超采地下水是形成地面沉降的主要原因。开采地下水会引起松散地层大量释水,使地层压缩、固结而产生沉降。地面沉降的产生和发展过程与地下水的开采过程基本保持一致且滞后一个时段,与地下水降幅正相关,其分布范围与地下水漏斗基本一致。

液体类矿产资源开采:本区地热、矿泉水分布较为广泛,开采规模逐年加大,开采层位以上新近系为主,底界埋深1 350~2 080 m,下古近系是本区石油、天然气的主要聚集层,底界埋深1 480~3 300 m。液体类矿产资源的大量开采势必引起地下水水位下降,地层内孔隙水压力减少,导致地层进一步压实,加重地面沉降。

地表载荷增加:城市规模扩展和重大工程的建设,使得地表荷载加重,工程建设的地面沉降效应逐渐凸显,成为近年来新的沉降制约因素之一。

### 2.7 预测了河北平原地面沉降中心发展趋势

预测结果表明,在维持现状开采量情况下,2010年沧州市累计地面沉降量达到2 598 mm,2020年将达到2 830 mm;在削减深层地下水开采量情况下,2010年累计地面沉降量达到2 584 mm,2020年将达到2 767 mm。沧州市区深层地下水开采量的控制方式除压缩用水量之外,一部分是引入替代水源,一部分是将市区的原有开采量转移至市区外围,因此,在市区地面沉降得到一定控制的同时,

市区外围尤其是南部水源地将进入快速沉降期。

### 2.8 提出了河北平原地面沉降防治对策

地面沉降是整个社会系统的变化在地质环境中的反映,其防治决非是单一的技术问题,河北平原的地面沉降防治应在政府主导和支持下,以监测研究为技术支撑、区域经济社会发展和产业政策调整为指导、市场调节为直接手段、控制地下水超量开采为突破方能取得应有的效果。具体防治对策如下:

(1)成立地面沉降综合治理领导机构,研究制定地面沉降综合防治总体规划,分步分区实施治理工作。

(2)加强地面沉降防治相关的地方法规建设,加大宣传力度,使地面沉降防治工作得到全社会的认知和响应。

(3)加强省级地面沉降监测网络的建设,使之基本覆盖河北平原所有的重点地面沉降区域,并达到一定控制精度;继续推进地面沉降的研究,为地面沉降的防治提供技术支持。

(4)全面强化水资源的有效利用与管理,以产生地面沉降的临界水位为指标,严格控制地下水开采量。

(5)调整开采层位,开发利用微咸水、半咸水、海水,增加水源,加快外流域调水。

(6)通过政策鼓励引导和政府推动,选择典型地区开展地下水人工回灌,增加地下水补给,提高水位,控制地面沉降的快速发展。

## 3 项目成果应用

本项目是在河北平原首次系统开展的地面沉降防治工作,项目建成了包含基岩标、分层标、GPS基准站、水准点、GPS点、地下水动态监测点的河北平原地面沉降监测网络,通过对网络的监测,获取了大量的地面沉降监测数据,以数据为支撑,分析研究了地面沉降分布规律、成因机制与防治对策,为下一步地面沉降防治工作奠定了坚实的基础。项目的圆满完成,提高了河北平原区域性缓变性地质灾害研究与预警能力,其成果为京沪高速铁路、京广高速铁路、曹妃甸新区等国家重大工程建设提供基础地质依据,为国家、省级地面沉降防治规划编制提供真实可靠的数据;成果的应用将有利于地下水监督管理,遏制地下水超采,保护地质环境,实

现经济-资源-环境的协调与可持续发展,创造长久的经济效益、社会效益和环境效益。

#### 参考文献:

- [1] 河北省地质调查院. 华北平原(河北部分)地下水资源调查评价报告[R]. 石家庄: 河北省地质调查院, 2003.
- [2] 河北省环境地质勘查院. 河北省地质环境监测报告(2001—2005)[R]. 石家庄: 河北省环境地质勘查院, 2006.
- [3] 崔小东, 牛修俊, 白晋武. 天津市地面沉降防治[M]//全国地面沉降学术研讨会论文集. 上海出版社. 2012: 338—345.
- [4] 牛修俊. 地层的固结特性与地面沉降临界水位控沉[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(2): 68—74.

## Main Progress and Achievements of Land Subsidence Survey and Monitoring in Hebei Plain

ZHANG Jin-cai, CHU Li-feng, XIAO Zhen, LU Ze-chang, SHEN Rong-hui, CHEN Ying-jie  
(Hebei Survey Institute of Environmental Geology, Shijiazhuang, Hebei 050021, China)

**Abstract:** In this paper, the research background, research ideas, main work completed and research significance of “land subsidence survey and monitoring in Hebei Plain” are introduced, while the groundwater and ground fissure conditions of Hebei Plain, characteristics of the land subsidence monitoring network are summed up. The distribution rule, influencing factors, formation mechanism and harm characteristics of land subsidence are analyzed, and development trend of land subsidence in Cangzhou City, as the center of land subsidence in Hebei Plain, is forecasted also. In addition, reasonable countermeasures are put forward according to current situation of land subsidence.

**Key words:** Hebei Plain; land subsidence; main progress; achievements