

doi: 10.12029/gc20170503

马震, 谢海澜, 林良俊, 胡秋韵, 钱永, 张素荣, 王贵玲, 李建国, 谭成轩, 郭海朋, 张福存, 赵长荣, 刘宏伟. 2017. 京津冀地区国土资源环境地质条件分析[J]. 中国地质, 44(5): 857–873.

Ma Zhen, Xie Hailan, Lin Liangjun, Hu Qiuyun, Qian Yong, Zhang Surong, Wang Guiling, Li Jianguo, Tan Chengxuan, Guo Haipeng, Zhang Fucun, Zhao Changrong, Liu Hongwei. 2017. The environmental geological conditions of Land resources in the Beijing–Tianjin–Hebei region[J]. *Geology in China*, 44(5): 857–873(in Chinese with English abstract).

## 京津冀地区国土资源环境地质条件分析

马震<sup>1</sup> 谢海澜<sup>1</sup> 林良俊<sup>2</sup> 胡秋韵<sup>2</sup> 钱永<sup>3</sup> 张素荣<sup>1</sup> 王贵玲<sup>3</sup> 李建国<sup>1</sup> 谭成轩<sup>4</sup>  
郭海朋<sup>5</sup> 张福存<sup>6</sup> 赵长荣<sup>1</sup> 刘宏伟<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 中国地质调查局, 北京 100037; 3. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061; 4. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 5. 中国地质调查局地质环境监测院, 北京 100081; 6. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051)

**摘要:** 统计分析了京津冀地区土地资源、地下水、湿地、矿产、地热和地质景观等资源条件分布, 结果显示, 平原区土壤质量总体良好, 良好及以上等级土壤分布面积约占平原区面积的 80.89%, 适宜种植绿色农产品的面积为 96363 km<sup>2</sup>, 富硒耕(园)地面积为 1894 km<sup>2</sup>; 地下水可开采资源总量为 188 亿 m<sup>3</sup>/a, 但呈现空间分布不均的特征; 衡水湖等五大湿地分布面积约为 614 km<sup>2</sup>, 近 30 年来减少了 35.57%; 金属矿产和非金属矿产资源丰富, 例如铁矿资源储量 98.4 亿 t, 铜矿资源量 111.50 万 t, 石油地质储量 249635.02 万 t; 地热资源丰富, 开发利用地热资源可替代 3.43 亿 t 标准煤; 地质遗迹资源丰富, 约有 300 余处可纳入环首都国家公园规划建设。同时, 分析了活动断裂与地震、地面沉降、地裂缝、崩滑流和地面塌陷、地下水污染和湿地退化等主要环境地质问题现状; 在此基础上, 针对城镇发展和重要基础设施建设、湿地保护与修复、地下水资源开发利用、优质耕地资源保护和地质遗迹开发利用等方面提出了地学建议, 为区域规划建设提供地质安全保障和资源保障。

**关键词:** 资源分布; 环境地质问题; 地学建议; 京津冀地区

中图分类号: P64, P66 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2017)05-0857-17

## The environmental geological conditions of Land resources in the Beijing–Tianjin–Hebei region

MA Zhen<sup>1</sup>, XIE Hailan<sup>1</sup>, LIN Liangjun<sup>2</sup>, HU Qiuyun<sup>2</sup>, QIAN Yong<sup>3</sup>, ZHANG Surong<sup>1</sup>,  
WANG Guiling<sup>3</sup>, LI Jianguo<sup>1</sup>, TAN Chengxuan<sup>4</sup>, GUO Haipeng<sup>5</sup>, ZHANG Fucun<sup>6</sup>,  
ZHAO Changrong<sup>1</sup>, LIU Hongwei<sup>1</sup>

(1. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170 China; 2. China Geological Survey, Beijing 100037, China; 3. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, Hebei, China; 4. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 5. China Institute of

收稿日期: 2017-09-16; 改回日期: 2017-10-08

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20160229)资助。

作者简介: 马震, 男, 1966年生, 教授级高级工和师, 主要从事水工环地质相关调查与研究; E-mail: tjmazhen@126.com。

*Geo-Environment Monitoring, China Geological Survey, Beijing 100081, China; 6. Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding 071051, Hebei, China)*

**Abstract:** The statistics of such resources as land resources, groundwater, wetland, minerals, geothermal and geological relics show that the soil quality is very good and the area of good and above-good grade possesses about 81%, in which the area of green agricultural products is 96363 km<sup>2</sup>, the area of selenium-rich cultivated and garden lands is 1894 km<sup>2</sup>; and the total amount of groundwater exploitation is 188 billion m<sup>3</sup>/a, suggesting characteristics of uneven spatial distribution; the area of five biggest wetlands including Hengshui Lake is about 614 km<sup>2</sup>, which has been reduced by about 35.57% in the past 30 years; the metal mineral and non-metallic mineral resources are abundant: iron ore reserves have reached 9840 million tons, the amount of copper mineral resources is 111.50 million tons, and oil geological reserves are about 2496.35 million tons; geothermal resources are rich, and the development and utilization of geothermal resources can replace 343 million tons of standard coal; geological relics are abundant, and 300 sites can be included in the Central Capital National Park Planning. Meanwhile, based on an analysis of main environmental geological problems such as active faults and earthquakes, ground collapse and fissures, landslides, land subsidence, groundwater pollution and wetland degradation in the Beijing-Tianjin-Hebei region, the authors put forward some geoscience suggestions for the urban and important infrastructure planning, wetland protection and restoration, groundwater exploitation, high-quality arable land resources protection and geological relics development with the purpose of providing geological and resource safeguard for regional planning and construction.

**Key words:** distribution of resources; environmental geological problems; geoscience suggestions; Beijing-Tianjin-Hebei region

**About the first author:** MA Zhen, born in 1966, male, professor, engages in survey and study of hydrogeology and engineering geology and environmental geology; E-mail: tjmazhen@126.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Project (No. DD20160229).

## 1 前 言

京津冀地区地处京畿重地,北倚高原、东临渤海,携揽“三北”,战略地位十分重要,是中国北方经济规模最大、最具活力的地区。随着京津冀协同发展的深入,它成为全国创新驱动经济增长新引擎、生态修复环境改善示范区。京津冀地区自然条件优越、自然资源丰富,但地质条件复杂、环境地质问题突出,在很大程度上限制了京津冀协同发展进程。因此,系统掌握京津冀地区资源条件分布和主要环境地质问题发育现状显得尤为重要。

本文在梳理已有地质成果资料基础上,系统分析了京津冀地区资源的分布特征和主要环境地质问题现状,提出了支撑服务城镇发展、重要基础设施布局和资源合理开发利用的地学建议,旨在为统筹规划京津冀资源-环境要素、提高资源环境承载力、扩大环境容量生态空间、加强生态环境保护提供地质科学依据。

## 2 研究区概况

京津冀地区位于华北地区,包括北京市、天津市和河北省全境,地理范围:36°05′~42°37′N, 113°11′~119°45′E,面积约21.6万km<sup>2</sup>(图1)。

京津冀地区地形条件复杂,总体地势为西北高、东南低,自西北向东南依次分布坝上高原、燕山-太行山山地和东南部平原。其中,东南部平原又可分为冲洪积扇、泛滥平原、黄泛平原、冲海积平原和海积平原5种类型。区内地面高程变化明显,其中坝上高原地面高程为1300~1700 m,燕山-太行山山地高程多在500~1000 m以上,东南部平原高程均在200 m以下,沿海地区地面高程多低于4 m。

京津冀地区属暖温带大陆性季风型气候,位于海河流域,地表水系发育,主要包括永定河、大清河、子牙河、南运河、滦河等河流。区域上,研究区属华北地层大区晋冀鲁豫地层区的燕辽地层分区和华北平原地层分区,新生代地层发育,地表大部

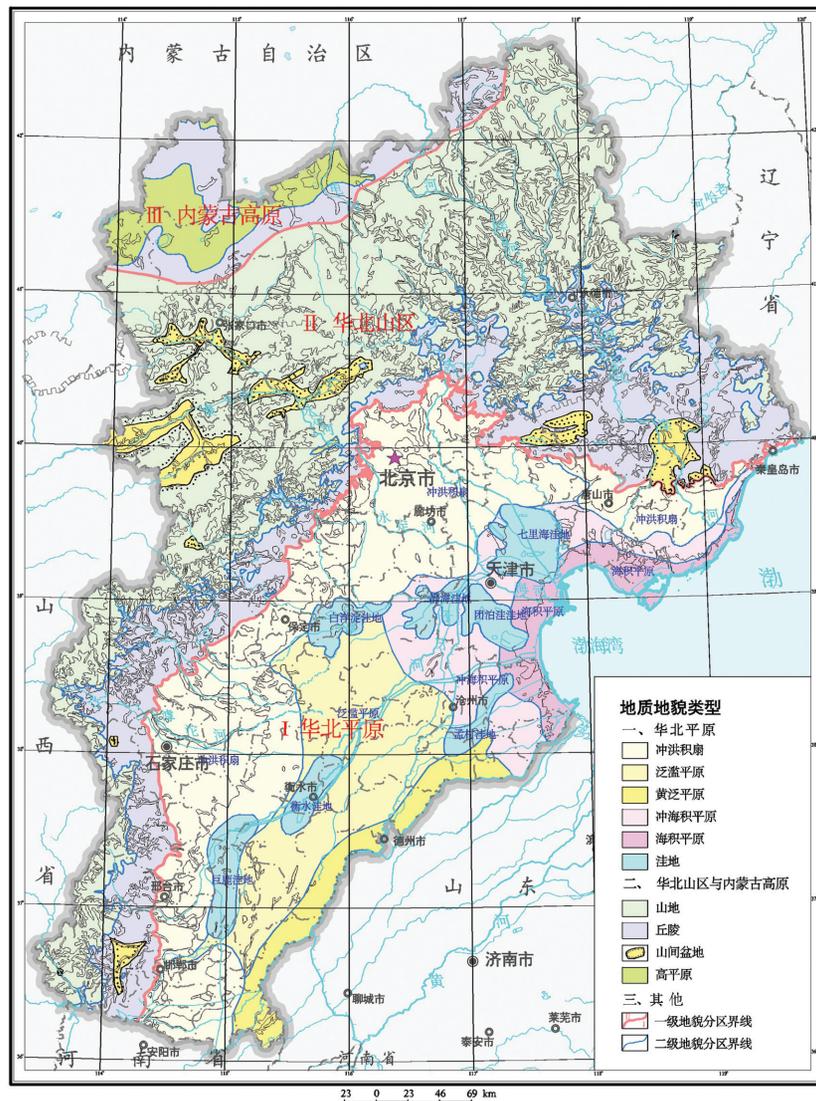


图1 研究区位置及地质地貌图

Fig.1 Location and geological-geomorphologic map of the study area

分地区被第四系覆盖。已有资料显示,在第四系之下存在的基岩地层基本齐全,缺失新元古界震旦系以及古生界志留系与泥盆系;在新生代时期内产生强烈的断陷及拗陷,沉积了巨厚的新生代堆积物。

### 3 国土资源分布特征

#### 3.1 土地资源分布

##### 3.1.1 土壤类型特征

京津冀地区土地资源类型多样,不同地貌单元的土壤类型差异较大(图2,表1)。其中,坝上高原区主要土壤类型为钙层土,山地区主要分布淋溶土、半淋溶土、钙层土和初育土,山前冲洪积扇地区以半

淋溶土为主,泛滥平原、黄泛平原主要分布半水成土,海积平原主要发育盐碱土。

##### 3.1.2 土壤质量特征

###### (1) 土壤质量状况

多目标区域地球化学调查成果显示(图3,表2),京津冀平原区土壤质量总体很好,良好及以上等级土壤分布面积约占80.89%。其中,优质等级土壤占比为1.72%,主要分布在河北省三河、鸡泽和天津市宁河等部分地区;优良等级土壤占比为67.10%,广泛分布于全区;良好等级土壤占比为12.07%,主要分布于沿海滩涂和滦河流域地区。

此外,受人类活动和工业污染影响,中等级别的

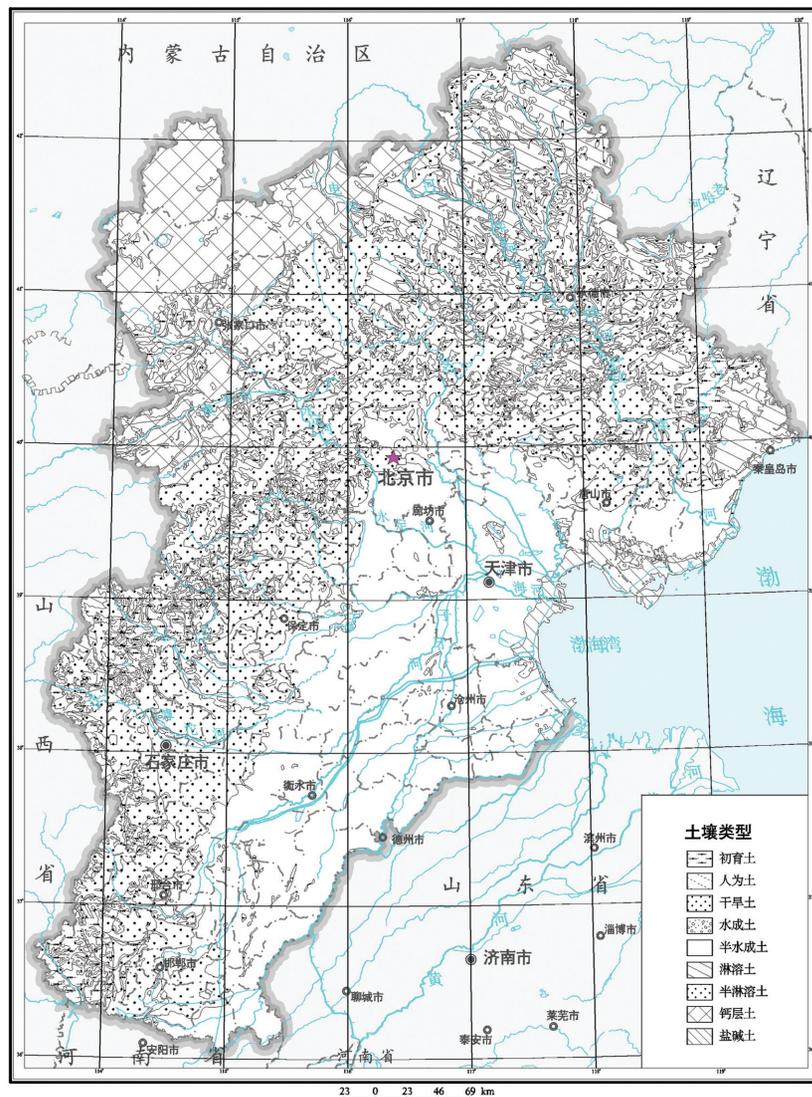


图2 研究区土壤类型分区图

Fig.2 Soil types of the study area

表1 土壤类型分布  
Table 1 Distribution of soil types

地貌类型	土壤类型
坝上高原	钙层土
山地区	淋溶土、半淋溶土、钙层土和初育土
山前冲洪积扇	半淋溶土
泛滥平原	半水成土
黄泛平原	半水成土
海积平原	盐碱土

土壤主要集中分布在工业发达和人口密集区,约占全区面积的19.11%。

### (2)绿色农产品种植适宜性

京津冀平原区适宜种植绿色农产品的土地面积为96363 km<sup>2</sup>,占平原区面积的97.01%。其中,最适宜区即符合AA级绿色食品的土地面积为20603 km<sup>2</sup>,占平原区面积的20.74%,主要分布在太行山山前冲洪积平原和天津市北部的蓟县、宝坻、武清地区;适宜区即符合A级绿色食品的土地面积为75760 km<sup>2</sup>,占平原区面积的76.27%,广泛分布于大部分地区。不适宜区约占平原区面积的2.98%,分

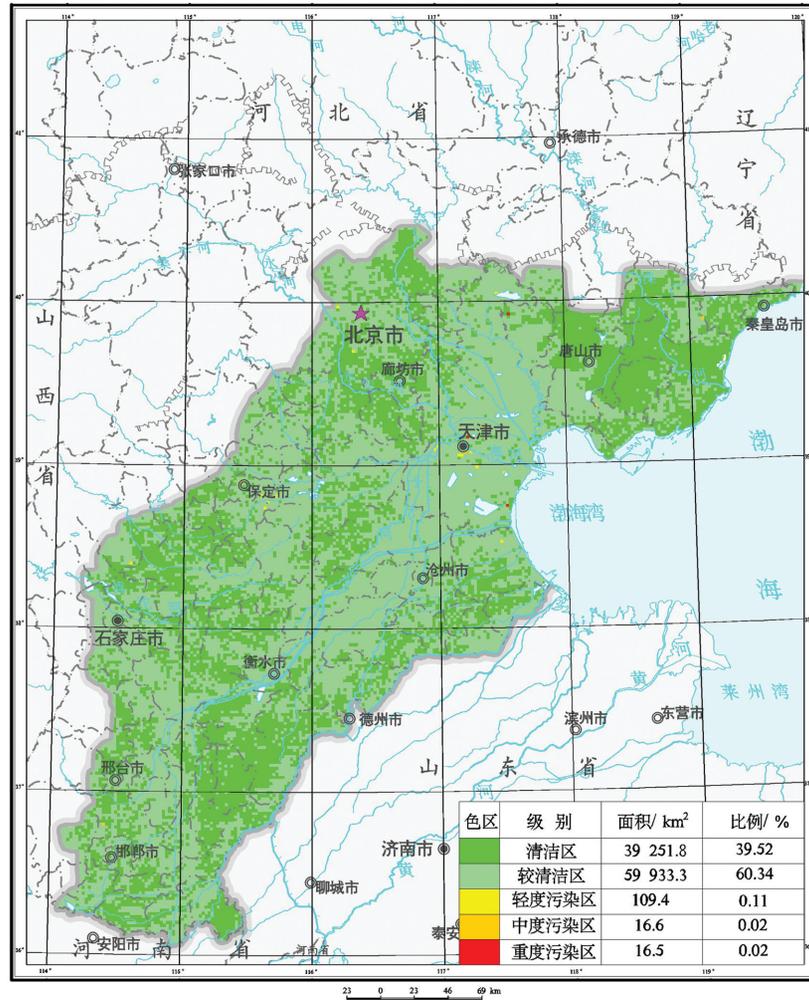


图3 研究区土壤质量分区图

Fig.3 Soil quality distribution of the study area

表2 不同质量等级土壤分布

Table 2 Soil distribution of different quality grades

土壤质量等级	占比/%	主要分布地区
优质等级	1.72	河北省三河、鸡泽和天津市宁河地区
优良等级	67.10	广泛分布于全区
良好等级	12.07	沿海滩涂和滦河流域地区
中等等级	19.11	工业发达和人口密集区

布于北京市、天津市、石家庄和唐山市等人口密集、人类活动频繁的地段(图4)。

(3)富硒耕地分布

京津冀平原区富硒耕(园)地面积为1894 km<sup>2</sup>,其中富硒耕地面积为1853 km<sup>2</sup>,富硒园地41 km<sup>2</sup>。

主要分布在天津市周边、唐山市东部、保定市周边、石家庄东南部的藁城—赵县—宁晋—柏乡地区、邢台南部和邯郸西部地区。

3.2 地下水资源分布

3.2.1 地下水类型及其分布

京津冀地区地下水可分为孔隙水、岩溶水和裂隙水三种类型。其中,孔隙水广泛分布于平原区,岩溶水主要分布在太行山南段、北京西山—玉泉山及天津北部的蓟县,裂隙水主要分布在冀西北山区、坝上高原区(表3)。

3.2.2 地下水可开采资源量

京津冀地区地下水可开采资源总量187.77亿 m<sup>3</sup>/a,呈现空间分布不均的特征。其中,山区地下水可开采资源量42亿 m<sup>3</sup>/a,平原区100 m以浅(浅层)

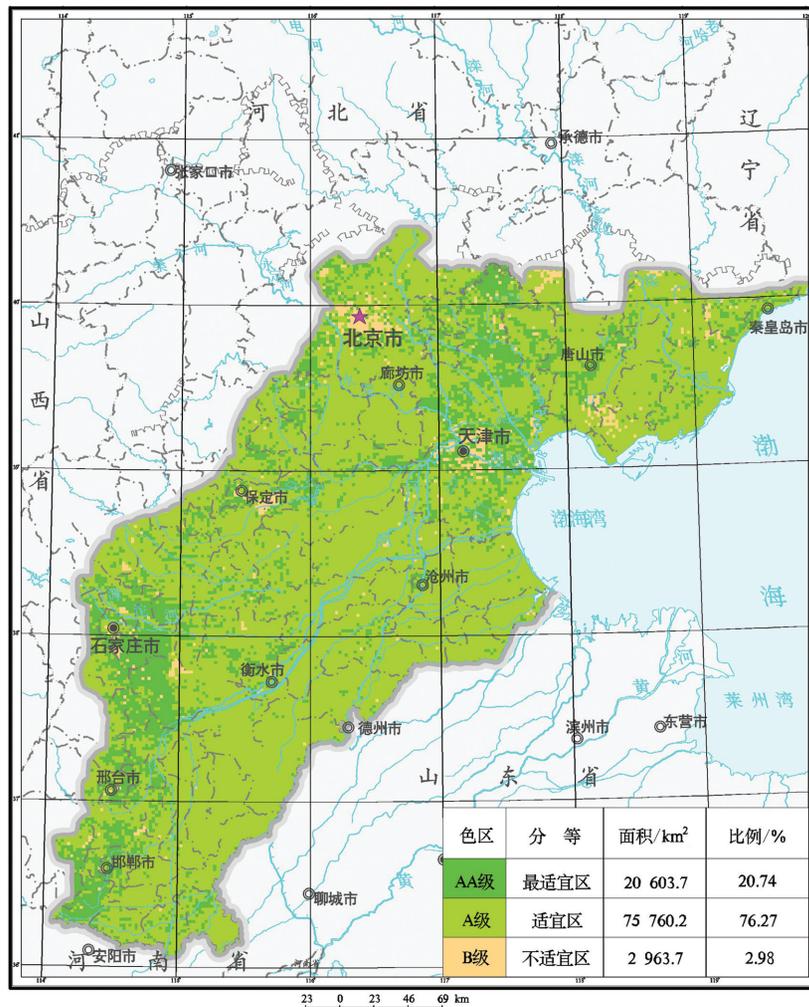


图4 研究区绿色农产品种植适宜性分区图

Fig.4 Suitability map of green agricultural products in the study area

表3 京津冀平原区地下水资源数据统计

Table 3 Statistics of groundwater resources in Beijing-Tianjin-Hebei plain region

行政区	可利用资源总量/(亿 m <sup>3</sup> /a)		开采量/(亿 m <sup>3</sup> /a)		开采程度/%		超采量/(亿 m <sup>3</sup> /a)	
	浅层	深层	浅层	深层	浅层	深层	浅层	深层
北京市	21.32	0.00	25.21	0.00	118.25	--	-3.89	--
天津市	9.74	2.16	2.27	3.31	23.31	153.24	7.47	-1.15
石家庄	12.46	1.16	13.61	1.58	109.23	136.21	-1.15	-0.42
唐山	13.87	1.21	12.80	2.47	92.29	204.13	1.07	-1.26
秦皇岛	4.34	0.21	4.52	0.37	104.15	176.19	-0.18	-0.16
邯郸市	10.53	1.68	9.52	2.36	90.41	140.48	1.01	-0.68
邢台市	11.58	1.39	11.22	2.75	96.89	197.84	0.36	-1.36
保定市	28.01	1.70	30.69	3.45	109.57	202.94	-2.68	-1.75
沧州市	6.61	2.34	9.72	5.29	147.05	226.07	-3.11	-2.95
廊坊市	5.05	1.30	7.37	2.42	145.94	186.15	-2.32	-1.12
衡水市	7.04	2.07	8.76	3.93	124.43	189.86	-1.72	-1.86
小计	99.49	13.06	108.21	24.62	108.76	188.51	-8.72	-11.56
京津冀合计	130.55	15.22	135.69	27.93	103.94	183.51	-5.14	-12.71

地下水可开采资源量为 130.55 亿  $m^3/a$ , 100 m 以深(深层)地下水可开采资源量为 15.22 亿  $m^3/a$ 。从行政分区来看,北京平原区地下水全部为浅层水,可开采资源量为 21.32 亿  $m^3/a$ ;天津平原区浅层地下水可开采资源量为 9.74 亿  $m^3/a$ ,深层为 2.16 亿  $m^3/a$ ;河北平原浅层地下水可开采资源量为 99.49 亿  $m^3/a$ ,深层为 13.06 亿  $m^3/a$ 。

### 3.2.3 地下水开采程度

京津冀地区地下水开采程度偏高,大部分地区处于超采状态(图 5)。以东南部平原地区为例,在河北大名—邢台深州—雄县—高碑店和北京大兴—通州区以西的太行山山前冲洪积平原,以及河北景县

河间、丰南玉田和天津宁河等地已形成浅层地下水超采区;其中,河北丰润、定兴—徐水、元氏—赵县—宁晋—柏乡、成安地区已处于严重超采状态。在河北丰南—文安—献县—深州—宁晋以东、以南的东南部地区,以及天津津南—西青、保定清苑—安国等地已形成深层地下水超采区;其中,河北衡水—泊头、青县,天津宁河等地已处于严重超采状态。

### 3.3 湿地资源分布

利用遥感技术,参照《湿地公约》和《全国湿地资源调查与监测技术规程》规范要求,对京津冀地区衡水湖、白洋淀、团泊大港(含南大港、北大港)、七里海五大重要湖泊湿地分布情况进行了统计。结果

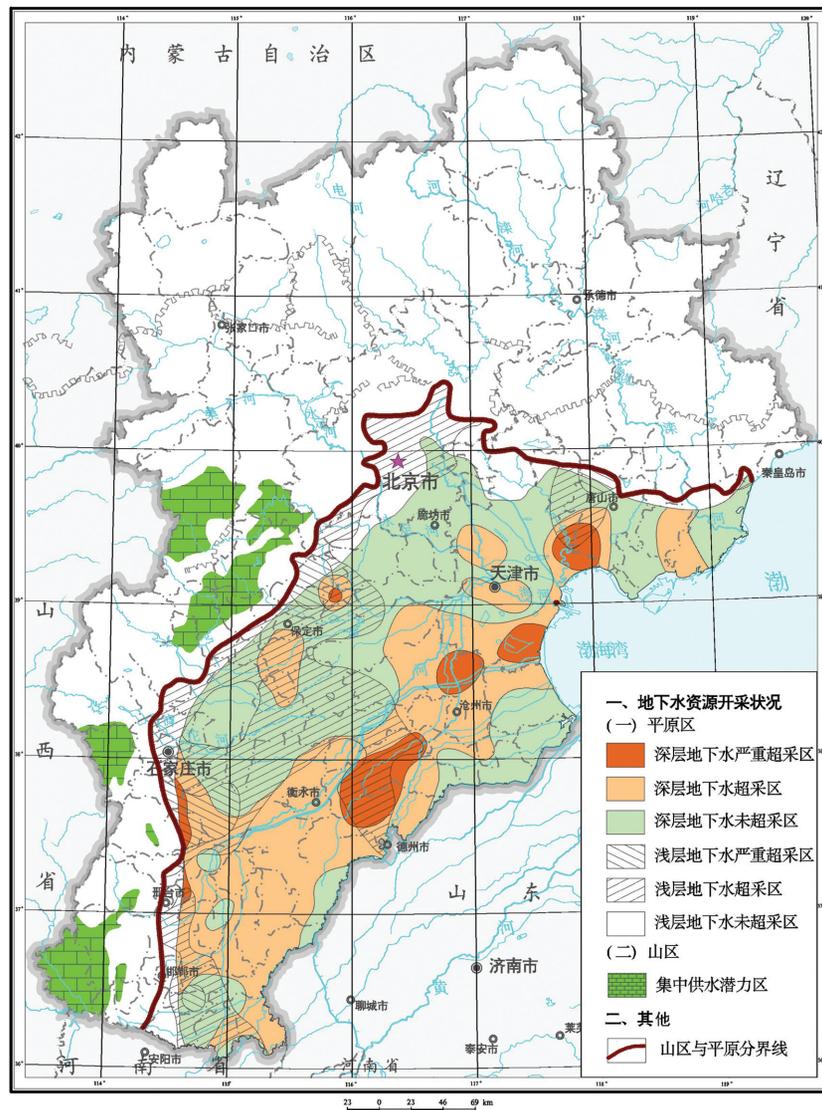


图 5 研究区地下水资源开采状况图

Fig.5 Exploitation situation of groundwater resources in the study area

显示,1975年五大湿地分布面积为953 km<sup>2</sup>,2007年五大湿地分布面积为614.01 km<sup>2</sup>,湿地面积减少了338.99 km<sup>2</sup>,减少了35.57%。

### 3.4 矿产资源分布

京津冀地区赋存有较丰富的金属矿产和非金属矿产(图6)。其中,金属矿产包括黑色金属、有色金属和贵金属矿产。黑色金属矿产以铁、钛、钒为主,锰、铬次之,铁矿资源丰富,矿床类型多样,主要集中分布于冀东、邯邢地区;截至2012年,铁矿累计探明资源储量98.4亿t。有色金属矿产以铜、铅、锌、钼、铝土矿等为主,主要分布于冀北和太行山地区;

累计探明资源量铜矿111.50万t,钼矿78.54万t,铅矿87万t,锌矿340.19万t。贵金属矿产以金矿为主,主要分布于冀东和冀西北,及北京密怀地区和天津蓟县北部局部地区;累计探明金矿资源量219t。

非金属矿产以建材灰岩、熔剂灰岩、化工灰岩等为主,其次为耐火黏土、玻璃用石英砂岩、膨润土、萤石、石膏、硫铁矿等;能源矿产主要为煤、油页岩、石油、天然气等。其中,煤矿主要分布于冀东、北京门头沟、蔚县、邯邢地区,油田分布于冀东、冀中地区。已探明煤矿保有储量为174.2余亿t,石油地质储量249635.02万t,天然气探明量1618亿m<sup>3</sup>。

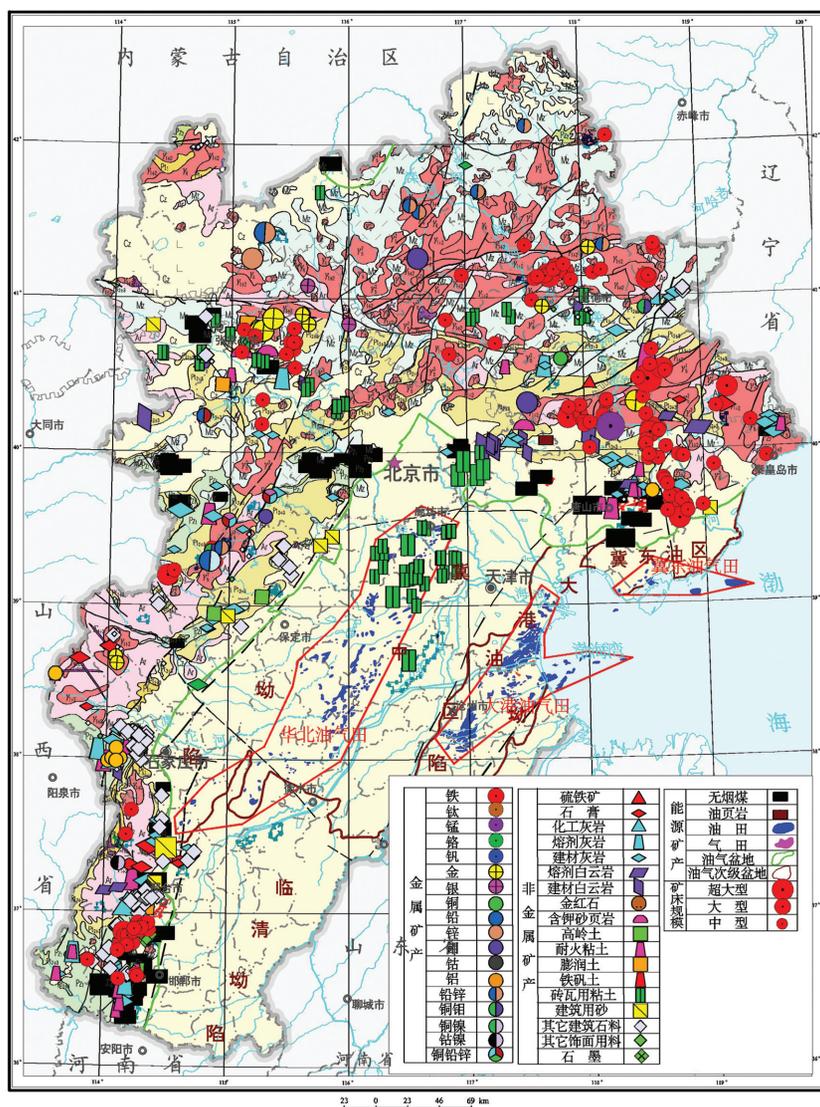


图6 研究区矿产资源分布图

Fig.6 Distribution of mineral resources in the study area

### 3.5 地热资源分布

京津冀地区地热资源丰富,可分为浅层地温能资源、水热型地热资源与干热岩资源三大类。其中,浅层地温能资源可再分为水源热泵系统与地源热泵系统;水热型地热资源可再分为隆起山地型与沉积盆地型地热资源(图7,表4)。

#### 3.5.1 浅层地温能资源

据现有浅层地温能调查结果,京津冀地区地下水源热泵系统适宜区、较适宜区和不适宜区的面积分别为2014 km<sup>2</sup>、6735 km<sup>2</sup>和11091 km<sup>2</sup>,占总评价面积的比例分别为10%、34%和56%。埋管地源热

泵系统适宜区、较适宜区和不适宜区的面积分别为2684 km<sup>2</sup>、14070 km<sup>2</sup>和3085 km<sup>2</sup>,占总评价面积的比例分别为13%、71%和16%。

京津冀地区13个地级以上城市统计数据显示,地源热泵系统夏季总的换热功率为2.42亿kW,冬季为1.45亿kW;夏季可制冷面积为35亿m<sup>2</sup>,冬季可供暖面积为29亿m<sup>2</sup>。浅层地温能每年可开采量折合标准煤0.92亿t。

#### 3.5.2 水热型地热资源

水热型地热资源可分为隆起山地型与沉积盆地型地热资源。隆起山地型地热资源主要分布于

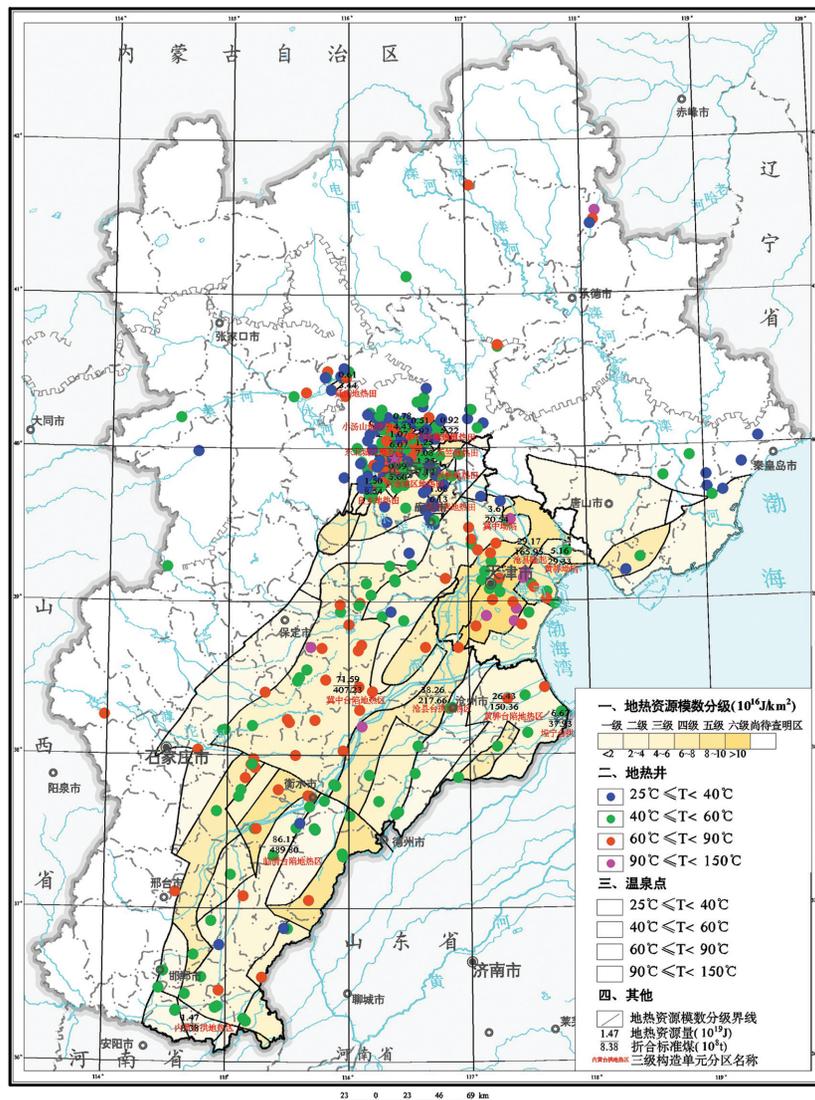


图7 研究区地热资源分布图

Fig.7 Distribution of geothermal resources in the study area

表4 水热型地热资源数据统计  
Table 4 Statistics of hydrothermal geotherm resources

行政区	资源类型	地热资源储存量/kJ	地热流体可开采量/(m <sup>3</sup> /a)	地热流体可开采热量/(kJ/a)	回灌条件下地热流体可开采热量/(kJ/a)
北京	沉积盆地	9.94×10 <sup>16</sup>	7.38×10 <sup>7</sup>	1.31×10 <sup>13</sup>	1.23×10 <sup>15</sup>
天津	沉积盆地	8.98×10 <sup>17</sup>	4.41×10 <sup>8</sup>	6.46×10 <sup>13</sup>	1.48×10 <sup>15</sup>
	隆起山地	9.33×10 <sup>12</sup>	1.85×10 <sup>6</sup>	1.66×10 <sup>11</sup>	3.32×10 <sup>11</sup>
河北	沉积盆地	3.05×10 <sup>18</sup>	1.74×10 <sup>9</sup>	2.43×10 <sup>14</sup>	4.63×10 <sup>15</sup>
	隆起山地	1.97×10 <sup>15</sup>	1.13×10 <sup>7</sup>	1.96×10 <sup>12</sup>	3.91×10 <sup>12</sup>
合计		4.05×10 <sup>18</sup>	2.26×10 <sup>9</sup>	3.22×10 <sup>14</sup>	7.35×10 <sup>15</sup>

西部与北部的太行山—燕山地区,主要以温泉形式出露,温泉温度以40~60℃居多。沉积盆地型地热资源主要赋存于平原区新近系明化镇组热储层、馆陶组热储层、古近系东营组热储层、寒武—奥陶系热储层、中新元古界热储层5个热储层。

新近系明化镇组热储在区内广泛分布,底界埋深一般在1200~1400 m,热储温度25~90℃,单井涌水量一般1000~1500 m<sup>3</sup>/d。新近系馆陶组热储底界埋深一般在1400~1600 m,厚度200~900 m,分布在河北平原的断陷部位,而在断凸部位大多缺失或厚度较薄,热储温度25~90℃。单井涌水量在平原区西部山前地区和沧州市附近小于1000 m<sup>3</sup>/d,中东部地区一般大于1000 m<sup>3</sup>/d,部分地区单井涌水量大于2000 m<sup>3</sup>/d。古近系东营组热储主要分布在天津等沉降中心内,揭露顶板埋深为1412~2181 m,厚度为100~600 m,热储温度40~150℃。古生界奥陶—寒武系热储主要分布于沧县台拱部分地区和冀中台陷的牛驼镇、霸州,临清台陷的宁晋以及黄骅台陷的马头营、黑龙村、孔店等地。厚度在河北省境内较薄,为600~800 m,在北京、天津较厚,可达2000~3000 m。单井涌水量150~1500 m<sup>3</sup>/d,是京津冀地区富水性较好的热储之一,热储温度25~150℃。元古宇蓟县—长城系雾迷山组热储是本地区年代最古老的热储层。主要分布在北京、天津、沧县、宁晋一带,总厚度300~1000 m以上,热储温度25~150℃,单井涌水量400~2000 m<sup>3</sup>/d。

京津冀地区现有温泉56个,地热井1558个。北京地热井最多,达到563个;其次是河北521个、

天津474个,地热资源开发利用均已成规模。温泉分布河北最多为52个,北京4个,天津无温泉出露。

京津冀地区水热型地热资源量折合标准煤1383亿t,地热流体年可开采热量折合标准煤1100万t,回灌条件下地热流体年可开采热量折合标准煤2.51亿t。目前京津冀地区地热流体开采热量折合标准煤为114万t,开采热量仅为总量的0.4%,地热资源开发利用潜力巨大。

### 3.6 地质景观资源分布

京津冀地区地质遗迹主要有古生物化石遗址、山区地质遗迹、唐山地震遗址、环渤海滩涂海岛地质遗迹和平原湖淀湿地等景观。其中,古生物化石遗址主要为千家店侏罗纪恐龙足迹化石和周口店古人类遗址;山区地质遗迹主要有天津蓟县中、新元古界地层剖面,熔岩地貌、丹霞地貌、花岗岩山岳地貌、太行山东麓碳酸盐岩峡谷峰林地貌、太行山中段变质岩山岳地貌、太行山南段嶂石岩地貌等典型地质与地貌景观,以及构造盆地等地质构造形迹。

河北省地质遗迹及地质旅游资源有246处,依照其重要性确定属于一级地质遗迹的有17处,二级有91处,三级有138处。河北省已建立地质遗迹保护区4个,其中国家级地质遗迹保护区2个,省级地质遗迹保护区2个。已建立地质公园16个,其中世界级地质公园1个,国家级地质公园10个,省级地质公园5个。河北省地质遗迹与地质景观资源无论是在科学价值、美学价值、历史文化价值,还是在社会经济、生态环境等方面都具有特殊的重要性,在中外地质学届享有极高声誉。

北京市重要地质遗迹有50处,包含3大类、12类、24亚类。其中,基础地质大类有25处,包括地层剖面类4处、岩石剖面2处、构造剖面6处、重要化石产地7处、重要岩矿石产地6处;地貌景观大类有23处,包括岩土体地貌11处、水体地貌4处、火山地貌2处、冰川地貌1处、构造地貌5处;地质灾害大类有2处,包括地震遗迹1处和其他地质灾害类1处。50处地质遗迹中已确定为世界级的有2处,分别为千家店侏罗纪恐龙足迹化石和周口店古人类遗址;国家级的有7处,包括十渡岩溶地貌、东关上一上方山洞穴群岩溶地貌、佛子庄洞穴群岩溶地貌、下苇甸寒武系地质事件剖面、云蒙山花岗岩地貌、千家店侏罗纪木化石群和周口店动物群化石等。

天津市重要地质遗迹有30处,包含北部山区地质遗迹和古海岸与湿地地质遗迹。类型包括地质剖面、地质构造、花岗岩地质遗迹、峡谷峰林类自然景观、断崖地貌、峰丛地貌,以及贝壳堤、牡蛎和七里海湿地等古海岸与湿地类型。已有地质景观中已建成蓟县国家地质公园和七里海湿地国家公园,极大地促进了当地的旅游经济发展。

依据地质旅游资源的地质基础,燕山—太行山集中连片特困区内地质资源可划分为6个大区,即坝上熔岩地貌及生态为主的地质旅游资源区,冀北(承德)丹霞地貌为主的地质旅游资源区,冀东(承

德、秦皇岛)花岗岩山岳地貌为主的地质旅游资源区,冀西北(张家口坝下)构造盆地地学、人文科考为主的地质旅游资源区,太行山东麓碳酸盐岩峡谷峰林地貌为主的地质旅游资源区,太行山中段变质岩山岳地貌为主的地质旅游资源区。

## 4 环境地质特征

京津冀地区主要存在活动断裂与地震、地面沉降、地裂缝、崩滑流和地面塌陷、地下水污染等环境地质问题(表5)。其中,崩塌、滑坡、泥石流等突发性环境地质问题主要分布于燕山—太行山区,地面沉降、地裂缝、地下水污染、海(咸)水入侵等缓变性环境地质问题主要分布在平原区。

### 4.1 活动断裂与地震发育特征

京津冀地区发育2条NNE向和1条NW向的区域性活动构造带,其包括31条主要活动断裂带(图8)。NNE向活动构造带分布广、规模大、活动幅度大,断裂力学性质以压扭性为主,与地震活动关系密切,对京津冀地区新生代主要构造单元和地震分布起着制约作用,主要有邢台—河间—唐山活动构造带和石家庄—通州活动构造带;NW向活动构造带主要为张家口—蓬莱活动构造带,构成了华北活动地块的北边界,晚更新世以来具有明显的活动性,且多为新生断裂,断裂力学性质以张扭性为主,对近

表5 主要环境地质问题特征表  
Table 5 Characteristics of main environmental geological problems

环境地质问题	主要特征	主要影响
活动断裂	2条NNE向和1条NW向的区域性活动构造带,包括31条主要活动断裂带	直接威胁城市和重要工程设施的安全
地面沉降	地面沉降较严重,累计沉降量大于200mm的面积约6.4万km <sup>2</sup>	造成建筑物地基下沉、房屋开裂、地下管道破损、井管抬升、洪涝及风暴潮灾害加剧等一系列问题,影响部分高铁线路和南水北调东线工程
地裂缝	主要分布在河北平原区的保定、沧州、廊坊、石家庄、衡水、邢台、邯郸及北京平原区,京津冀地区地裂缝发育总体仍呈增长趋势	影响建筑物和构筑物安全
崩滑流和地面塌陷	崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害主要分布在北京地区的延庆县、房山区、怀柔区、门头沟区、昌平区和密云县,天津地区的蓟县,河北地区的承德、唐山、秦皇岛、保定、石家庄、邢台、邯郸和张家口等地。煤矿采空区地面塌陷主要分布于邯邢峰峰煤矿区、邢台煤矿区、石家庄井陘煤矿区、张家口蔚县煤矿区、张家口下花园煤矿区、唐山开平煤田、东欢坨煤田、林南仓煤田煤矿区等矿产资源集中开采区	造成人员伤亡,破坏城镇、矿山、铁路、公路等工程设施;破坏国土资源和流域生态环境加剧水土流失以及洪水、干旱等自然灾害活动
浅层地下水污染特征	局部地区污染严重,主要污染组分为氮、重金属和有毒有害有机物	污染土壤,威胁工农业生产和人体健康
湿地退化特征	湿地面积持续减少	破坏生态环境

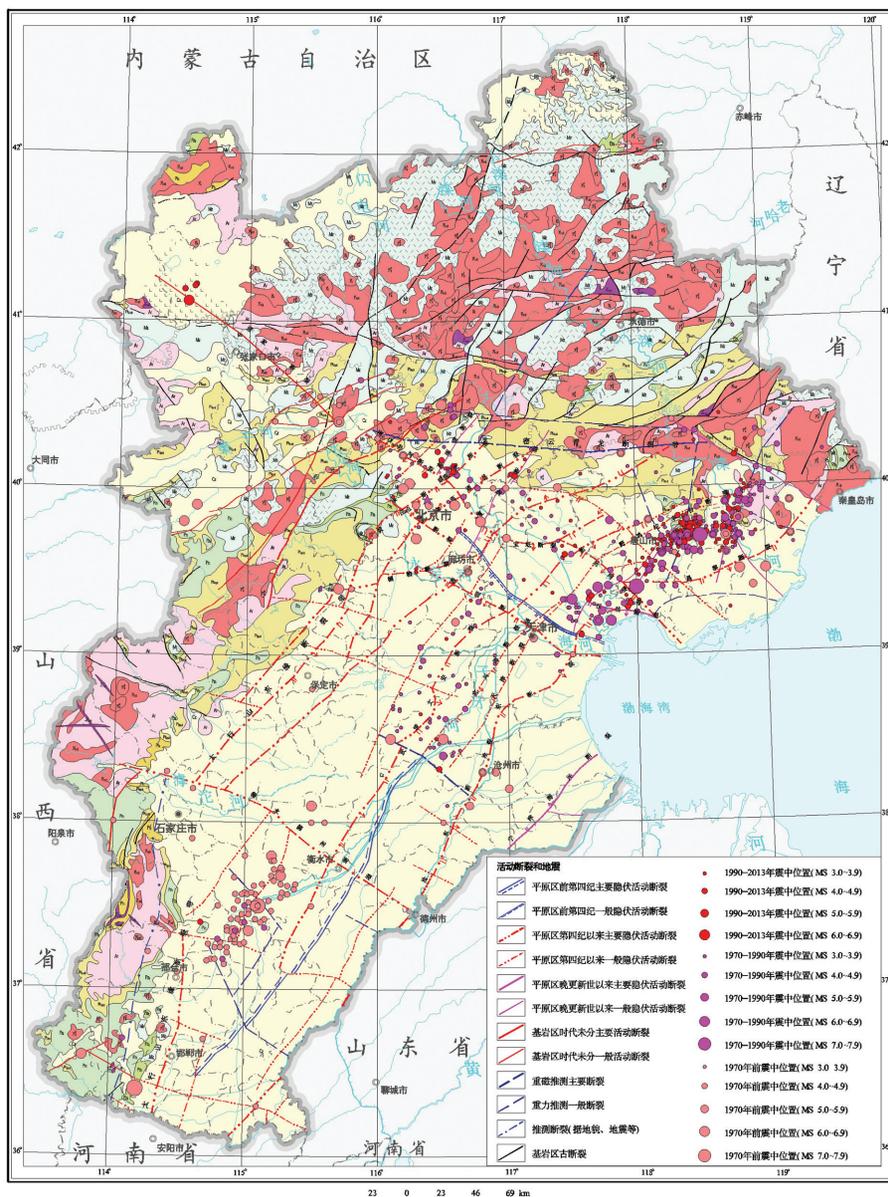


图8 研究区活动断裂与地震分布图

Fig.8 Active faults and seismic distribution in the study area

代的地震活动具有明显控制作用,特别是20世纪90年代以来的地震主要发生在该活动构造带与其他活动构造带交汇处或附近。研究表明,区域性活动构造带对地裂缝、地面沉降等区域性地质灾害也具有控制作用。

京津冀地区地震活动频繁、震级较大,现今小震活跃。据资料统计,从公元前231年至今,本区共发生 $M_s \geq 3.0$ 级地震709次,其中1970—2013年,7.0~7.9级地震10次,6.0~6.9级地震18次。邢台—河间

—唐山活动构造带发生6.0级以上地震17次,其中7.0~7.9级地震4次,以1976年唐山7.8级地震最大。张家口—蓬莱活动构造带发生6.0级以上地震22次,其中8级地震1次,7.0~7.9级地震6次。1990—2013年所发生的3.0级以上地震主要在张家口—蓬莱断裂带和唐山—河间—磁县地震构造带上。

以构造稳定性评价为主,考虑岩土体稳定性评价和地面稳定性评价,初步完成的京津冀地区区域地壳稳定性评价分区显示,稳定区为54.6%,次稳定

区为29.9%,次不稳定区为13.3%,不稳定区为2.2%。稳定区和次稳定区主要分布在北部山区和华北平原;次不稳定区和不稳定区主要分布在邢台、河间、唐山、马坊、张家口等地区。

#### 4.2 地面沉降发育特征

京津冀平原区累计沉降量大于200 mm的面积约为6.4万 $\text{km}^2$ 。京津冀地区近十年来连续5期(2008—2010年、2012—2015年)InSAR地面沉降调查发现,区域内严重沉降区(年沉降速率大于50 mm/a)所占比例逐年增加,分别为0.67%、4.34%、5.67%、11.67%和13%,2014年度增速尤其明显;较严重沉降区(年沉降速率为30~50 mm/a)所占比重2012—2015年基本持平,介于16%~20%。截至2015年底,京津冀地区地面沉降速率大于50 mm/a的严重区面积1.15万 $\text{km}^2$ ,主要分布在北京平原东部、北部,天津西部、南部和东部,以及河北平原中东部,与2010年相比增长了18.4倍。

地面沉降是缓变性地质灾害,造成建筑物地底下沉、房屋开裂、地下管道破损、井管抬升、洪涝及风暴潮灾害加剧等一系列问题,具有形成时间长、影响范围广、防治难度大、难以恢复等特点。目前,京津冀平原重点城市中心城区地面沉降已经得到有效控制,但城市周边地区和县(市)级城镇地面沉降问题日渐突出。其中地下水超采是产生地面沉降的主要原因,实现对地下水的合理开发是防控地面沉降的根本途径。建议在城镇规划建设区要高度关注地面沉降问题,加强地面沉降联防联控,统筹配置地表水、地下水和其他水源,合理开发地下水,实现区域水资源的合理开发和地面沉降有效防控。

#### 4.3 地裂缝发育特征

京津冀地区地裂缝主要分布在河北平原区的保定、沧州、廊坊、石家庄、衡水、邢台、邯郸及北京平原区。1966年邢台地震和1976年唐山地震后,在河北平原广泛出现地裂缝,已发现地裂缝822条,分布在72个县(市);其中,长度大于1 km的地裂缝有62条。河北隆尧地裂缝全长38 km,穿越16个村庄,水平错动10 mm/a,垂直错动35~40 mm/a。北京平原区已发现地裂缝39条,分布在顺义、昌平、怀柔、平谷、通州等地区;其中长度大于1 km的地裂缝11条,主要分布在顺义、昌平一带,发育比较严重的地裂缝有高丽营地裂缝和顺义地裂缝。目前,京津冀

地区地裂缝发育总体仍呈增长趋势。

#### 4.4 崩滑流和地面塌陷发育特征

京津冀地区共调查确认崩滑流等突发性地质灾害及隐患点3953处,其中崩塌978处、滑坡868处、泥石流1974处、不稳定斜坡133处。其中,崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害主要分布在北京地区的延庆县、房山区、怀柔区、门头沟区、昌平区和密云县,天津地区的蓟县,河北地区的承德、唐山、秦皇岛、保定、石家庄、邢台、邯郸和张家口等地。

京津冀地区矿产资源开发引发的地质灾害及隐患累计达1300多处,大部分分布在河北省。主要为地面塌陷及伴生的地裂缝,成规模的地面塌陷有127处,塌陷面积1.7万 $\text{hm}^2$ ,影响区面积4.4万 $\text{hm}^2$ 多,其中以煤矿采空区地面塌陷为主。煤矿采空区地面塌陷主要分布于邯郸峰峰煤矿区、邢台煤矿区、石家庄井陘煤矿区、张家口蔚县煤矿区、张家口下花园煤矿区、唐山开平煤田、东欢坨煤田、林南仓煤田煤矿区等矿产资源集中开采区。

#### 4.5 浅层地下水污染特征

由于地表河流纳污、污水灌溉、工业和生活污水不达标排放、农业过量施用化肥和农药等原因,造成京津冀平原区浅层地下水污染。

据2006—2009年资料,京津冀平原区浅层地下水水质相对较好,局部地区污染严重。全区未污染点占比为68.3%,严重污染和极重污染占比为13.2%,主要污染组分为氮、重金属和有毒有害有机物。

#### 4.6 湿地退化特征

以研究区环渤海地段为例,遥感解译的海岸带现状湿地面积为19450  $\text{km}^2$ ,比20世纪70年代减少2410  $\text{km}^2$ ,减少比例为11%。其中,自然湿地面积比1970年代减少6292  $\text{km}^2$ ,减少比例约为38%;人工湿地面积增加3882  $\text{km}^2$ ,增加比例约为74%。

## 5 结 论

(1)京津冀平原区土壤质量总体很好,土地资源类型多样,良好及以上等级土壤分布面积达到80.89%。

(2)京津冀地区地下水可开采资源总量188亿 $\text{km}^3/\text{a}$ ,地下水资源相对丰富,但区域分布不均,且普遍超采;浅层地下水质量总体较好,未污染区域占比约为68.3%。

(3)京津冀地区地热资源丰富,开发利用地热资源可替代3.43亿t标准煤,占京津冀燃煤总量的87%,每年可减排二氧化碳8.18亿t,节能减排效果明显,可有效缓解雾霾的产生。

(4)京津冀地区发育2条NNE向和1条NW向的区域性活动构造带,其包括31条主要活动断裂带,均直接威胁京津冀协同发展区城市和重要工程设施安全。

(5)京津冀平原区地面沉降较为严重,累计沉降量大于200 mm的面积约6.4万km<sup>2</sup>,沉降速率大于50 mm/a的区域面积达1.15万km<sup>2</sup>;矿山地面塌陷灾害严重,成规模的地面塌陷有127处,塌陷面积达1.7万hm<sup>2</sup>。

(6)京津冀地区地裂缝发育,活动性强,长度大

于1 km的地裂缝有72条;且直接威胁部分高速铁路和南水北调东线工程安全。

(7)湿地退化等生态环境地质问题现状不容乐观,需要进一步加强防控措施。

## 6 讨 论

本文在宏观上阐述了主要环境地质问题的分布特征,为京津冀地区规划建设和重要工程布局提供了地质依据。以规划建设地质安全保障和资源保障为着眼点,针对研究区城镇发展和区域重要基础设施建设适宜性、湿地保护与修复、地下水资源开发利用、优质耕地资源保护和地质遗迹开发利用提出如下建议:

(1)综合考虑地震与活动断裂、地面沉降、地裂

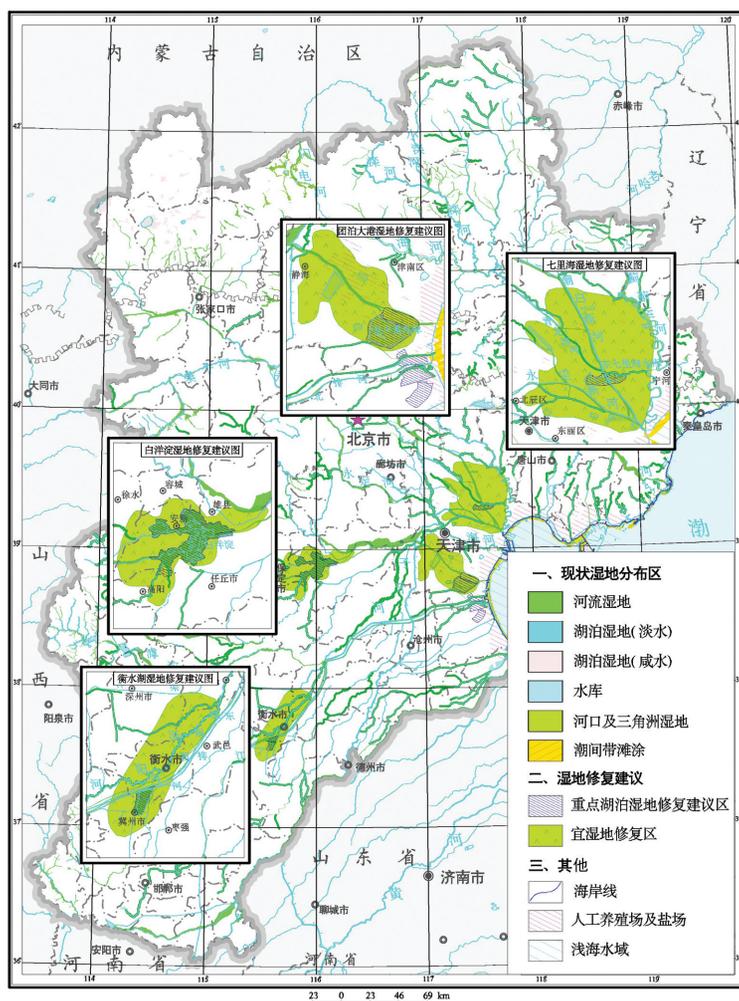


图9 研究区重要湖泊湿地修复建议图

Fig.9 Suggestions for restoration of important lakes and wetlands

缝、崩塌滑坡泥石流等环境地质问题,针对城镇发展和区域重要基础设施建设,从地质安全考虑提出规划建设适宜性建议为:

一是将有发生6级及以上地震危险的活动断裂两侧地区、采矿造成的地面塌陷区划为规划建设不适宜区,城镇与重要基础设施建设规划应避免此类区域,确实无法避让时,必须开展专门勘查评价,采取严格措施进行安全设防。

二是将崩塌滑坡泥石流易发区、地裂缝易发区和不适宜区之外的其他活动断裂带划为适宜性较差区,需要详细勘查地质条件,查明地质灾害隐患并采取有效防治措施,才能作为城镇与重要基础设施建设区。

三是将地面沉降地区划为应采取防控措施区,可以作为城镇与重要基础设施规划建设区,但需要采取措施控制地面沉降,同时对建筑物自身进行设防。

(2)以衡水湖、白洋淀、团泊大港(含南大港、北大港)、七里海五大湿地历史分布情况为依据,以湿地周边地形地貌条件为参考,将1975年五大湿地分布范围作为现状湿地修复的目标范围,将现状条件下遥感DEM数据的5 m间距等高线和遥感影像圈出的五大湿地周边低洼地带作为宜湿地修复区范围(图9)。

(3)京津冀地区地下水可开采资源量188亿 $m^3/a$ ,地下淡水质量总体较好,可作为支撑京津冀地区经济社会持续发展和城乡生活用水的主要供水水源。天津、唐山、保定的部分地区浅层地下水尚有12.5亿 $m^3/a$ 的开采潜力,可以适度加大开发利用。北京、天津、石家庄、保定、唐山等地分布21处具备建立应急水源地条件的远景区,初步评价日供水量可达234万 $m^3$ 。京津冀平原区地下水超采量18亿 $m^3/a$ ,其中深层地下水超采面积占平原区面积68%,诱发了地面沉降等地质灾害。建议尽快开展应急水源地勘查和规划建设,构建城市应急地下水源安全保障体系。严格控制深层地下水开采。充分利用浅层地下水降落漏斗和含水层的调蓄能力,规划建设南水北调工程地下调蓄水库和“海绵城市”。

(4)京津冀地区调查的99%以上耕地无重金属污染,富硒耕地1894 $km^2$ 、最适宜种植绿色农产品的土地面积为20603 $km^2$ ,有利于发展生态农业和特色优质农业。建议将富硒耕地和最适宜种植绿色农

产品的土地资源优先划为永久基本农田,实施最严格的“红线”管控。

(5)京津冀地区分布有300余处地质遗迹可纳入环首都国家公园规划建设。燕山—太行山集中连片特困区分布有可供开发利用的地质遗迹240余处,地热田、温泉40余处。建议充分利用丰富多样的地质遗迹资源禀赋,统筹规划建设环首都国家公园。

**致谢:** 本文撰写过程中得到了中国地质调查局水环部郝爱兵主任,中国地质调查局地质环境监测院孟晖教授级高工,天津地质调查中心孙晓明主任、刘永顺教授级高工、俞初安高工等专家的指导和帮助,在此表示感谢!

## References

- Bao Chao, He Dongmei. 2017. Spatiotemporal characteristics of water resources exploitation and policy implications in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration [J]. *Progress in Geography*, 36(1): 58-67(in Chinese with English abstract).
- Dang Lijuan, Xu Yong. 2015. Review of research progress in carrying capacity of water resources [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 22(3): 341-348(in Chinese with English abstract).
- Fan Jie. 2015. Draft of major function oriented zoning of China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 70(2): 186-201(in Chinese with English abstract).
- Fan Jie, Zhou Kan, Chen Dong. 2016. Reasonable organization of spatial framework for Bohai Rim-Beijing-Tianjin-Hebei-Capital (Circle) [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 31(1): 70-79(in Chinese with English abstract).
- Fang Chuanglin. 2011. New structure and new trend of formation and development of urban agglomerations in China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 31(9): 1025-1034(in Chinese with English abstract).
- Gao Jingchun, Zhao Yingping, Xu Zhiguo, Mao Guoliang, Zhang Congzhen, Li Dongsheng. 2011. Study on moment magnitude of small and moderate earthquakes located by Hebei seismic network [J]. *North China Earthquake Sciences*, 29(2): 1-5(in Chinese with English abstract).
- Hao Xiaoli. 2015. Thoughts and counter-measures on excessively exploration of Groundwater Resources in Shijiazhuang City [J]. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 5(12): 54-56(in Chinese with English abstract).
- Hu Beibei, Jiang Yanxiang, Zhou Jun, Wang Jun, Xu Shiyuan. Assessment and Zonation of Land Subsidence Disaster Risk of Tianjin Binhai Area [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 28(5): 693-697(in Chinese with English abstract).
- Huang Chengfu, Liu Aanlin, Wang Ye. 2010. A discussion on basic

- definition of disaster risk [J]. *Journal of Natural Disasters*, 19(6): 8–16(in Chinese with English abstract).
- Jia Huihui, Fu Daqing, Yang Lin, Chen Fenfen, Yin Lan. 2016. Geological disaster characteristics and treatment measures of rock collapse in Chengde mountain area [J]. *Resources Economization & Environment Protection*, 6: 279–281(in Chinese with English abstract).
- Jiang Manqi. 2013. Reinterpret urban agglomeration and related concepts[J]. *Urban Development Studies*, 20(5): 30–35(in Chinese with English abstract).
- Jiang Yuan, Yang Yan, Wang Haigang, Tian Fang. 2014. Factors controlling land subsidence on the Beijing plain[J]. *Shanghai Land & Resources*, 4(35): 130–131(in Chinese with English abstract).
- Jiao Qing, Qiu Zehua. 2006. Research progress of major active faults in Beijing Plain area[J]. *Corpus of Crustal Structure and Crustal Stress*, (18):72–84(in Chinese with English abstract).
- Li Jiuyi, Li Lijuan. 2012. Water resources supporting capacity to regional socio-economic development of China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 67(3): 410–419(in Chinese with English abstract).
- Li Xindou, Xi Zhimin. 2013. Evaluation of deep groundwater exploitation degree in Hebei Plain[J]. *South-to-north Water Transfers and Water Science & Technology*, 11(6): 129–132(in Chinese with English abstract).
- Liu Fangcui, Qi Shengwen, Peng Jianbing, Luo Yong, Zhang Bin. 2016. Characters of the ground fissures developing in Beijing[J]. *Journal of Engineering Geology*, 24(6) 1269–1277(in Chinese with English abstract).
- Liu Hongwei, Ma Zhen, Chen Sheming, Guo Xu, Su Yongjun, Du Dong, Hu Yunzhuang. 2015. Saltwater Intrusion Measurement in Laizhou Bay southern area based on hydro-chemical and geophysical methods[J]. *Geoscience*, 29(2): 337–343(in Chinese with English abstract).
- Liu Liangang, Sun Xiaohua, Hao Chunyan, Jiao Runcheng. 2015. The research of present situation of geoheritage and protection measures in Beijing area [J]. *Urban Geology*, 10(4): 1–5(in Chinese with English abstract).
- Liu Yuan. 2003. Risk analysis and zoning of geological hazards (chiefly landslide, rock fall and debris flow) in China[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 14(1): 95–99 (in Chinese with English abstract).
- Lu Dadao. 2015. Function orientation and coordinating development of subregions within the Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration [J]. *Progress in Geography*, 34(3): 265–270(in Chinese with English abstract).
- Meng Hui, Li Chunyan, Zhang Ruolin, Li Yamin. 2017. Risk assessment of geological hazards for counties and districts of the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Progress in geography*, 36(3): 327–334(in Chinese with English abstract).
- Shi Jusong, Shi Ling, Wu Shuren. 2007. Difficulties and problematical aspects of landslide risk assessment: An overview[J]. *Geological Review*, 53(6): 797–806(in Chinese with English abstract).
- Wang Chenglong, Liu Hui, Zhang Mengtian. 2016. The influence of administrative boundary on the spatial expansion of urban land: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. *Geographical Research*, 35(1): 173–183(in Chinese with English abstract).
- Wang Lanhua, Ma Wuming, Li Mingming, Zhang Ying, Cui Kaipeng. 2015. Suitability evaluation for underground space development in Binhai New Area, Tianjin [J]. *Geological Survey and Research*, 38(4): 299–304(in Chinese with English abstract).
- Wang Min, Liu Dongyan. 2001. Study on evaluation of damage susceptibility and failure loss in analyzing landslide disaster [J]. *Geotechnical Investigation and Surveying*, (3): 7–11 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Bin, Song Xianfang, Han Dongmei, Guo Zhanrong, Xiao Guoqiang, Yang Jilong. 2013. Seawater intrusion degree evaluation based on mathematical statistics and fuzzy mathematics in Qinhuangdao Yangdai River plain[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 33(3): 342–348(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jincai, Chu Lifeng, Xiao Zhen, Lu Zechang, Shen Ronghui, Chen Yingjie. 2014. Main progress and achievements of land subsidence survey and monitoring in Hebei Plain[J]. *Geological Survey of China*, 1(2): 45–50(in Chinese with English abstract).
- Zhang Liang. 2002. The theory and method of risk zonation of geo-hazard [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2002, 11(4): 323–328 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Maosheng, Tang Yaming. 2008. Risk investigation method and practice of geohazards [J]. *Geological Bulletin of China*, 27(8): 1205–1216(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xue. 2017. Study on the risk assessment of land subsidence in Beijing plain based on 3D modeling[J]. *South to North Water Transfers and Water Science & technology*, 15(1): 126–130(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yingping, Yang Rui, Gao Jingchun, Wang Ning, Jia Jiong, Li Xueying, Cai Lingling, Wang Lichan. 2016. Attenuation of ground motion and site response in Hebei region [J]. *North China Earthquake Sciences*, 29(2): 1–5. *China earthquake engineering journal*, 38(supp.2): 330–338(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 鲍超, 贺东梅. 2017. 京津冀城市群水资源开发利用的时空特征与政策启示[J]. *地理科学进展*, 36(1): 58–67.
- 党丽娟, 徐勇. 2015. 水资源承载力研究进展及启示[J]. *水土保持研究*, 22(3): 341–348.
- 樊杰. 2015. 中国主体功能区划方案[J]. *地理学报*, 70(2): 186–201.

- 樊杰,周侃,陈东. 2016. 环渤海—京津冀—首都(圈)空间格局的合理组织[J]. 中国科学院院刊, 31(1): 70-79.
- 方创琳. 2011. 中国城市群形成发育的新格局及新趋向[J]. 地理科学, 31(9): 1025-1034.
- 高景春,赵英萍,徐志国,毛国良,张从珍,李冬圣. 2011. 河北省测震台网中小地震矩震级的测定[J]. 华北地震科学, 29(2): 1-5.
- 郝晓莉. 2015. 石家庄市地下水资源的过量开采引发的思考及对策[J]. 农业灾害研究, 5(12): 54-56.
- 胡蓓蓓,姜衍祥,周俊,王军,许世远. 2008. 天津市滨海地区地面沉降灾害风险评估与区划[J]. 地理科学, 28(5): 693-697.
- 黄崇福,刘安林,王野. 2010. 灾害风险基本定义的探讨[J]. 自然灾害学报, 19(6): 8-16.
- 焦青,邱泽华. 2006. 北京平原地区主要活动断裂带研究进展[J]. 地壳构造与地应力文集, (18): 72-84.
- 贾会会,傅大庆,杨林,陈芬芬,尹岚. 2016. 承德山区岩质崩塌地质灾害特征及治理措施[J]. 资源节约与环保, 6: 279-281.
- 江曼琦. 2013. 对城市群及其相关概念的重新认识[J]. 城市发展研究, 20(5): 30-35.
- 姜媛,杨艳,王海刚,田芳. 2014. 北京平原区地面沉降的控制与影响因素[J]. 上海国土资源, 4(35): 130-131.
- 李九一,李丽娟. 2012. 中国水资源对区域社会经济发展的支撑能力[J]. 地理学报, 67(3): 410-419.
- 李新斗,席志敏. 2013. 河北平原深层地下水开采程度评价[J]. 南水北调与水利科技, 11(6): 129-132.
- 刘方翠,祁生文,彭建兵,罗勇,张彬. 2016. 北京市地裂缝分布与发育规律[J]. 工程地质学报, 24(6): 1269-1277.
- 刘宏伟,马震,陈社明,郭旭,苏永军,杜东,胡云壮. 2015. 基于水化学与地球物理法的莱州湾南岸海(咸)水入侵勘查[J]. 现代地质, 29(2): 337-343.
- 刘连刚,孙小华,郝春燕,焦润成. 2015. 北京地区地质遗迹现状与保护对策研究[J]. 城市地质, 10(4): 1-5.
- 柳源. 2003. 中国地质灾害(以崩滑、流为主)危险性分析与区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 14(1): 95-99.
- 陆大道. 2015. 京津冀城市群功能定位及协同发展[J]. 地理科学进展, 34(3): 265-270.
- 孟晖,李春燕,张若琳,李亚民. 2017. 京津冀地区县域单元地质灾害风险评估[J]. 地理科学进展, 36(3): 327-334.
- 石菊松,石玲,吴树仁. 2007. 滑坡风险评估的难点和进展[J]. 地质论评, 53(6): 797-806.
- 王成龙,刘慧,张梦天. 2016. 行政边界对城市群城市用地空间扩张的影响: 基于京津冀城市群的实证研究[J]. 地理研究, 35(1): 173-183.
- 王兰化,马武明,李明明,张莺,崔凯鹏. 2015. 天津滨海新区地下空间开发适宜性评价[J]. 地质调查与研究, 38(4): 299-304.
- 汪敏,刘东燕. 2001. 滑坡灾害风险分析中的易损性及破坏损失评价研究[J]. 工程勘察, (3): 7-11.
- 章斌,宋献方,韩冬梅,郭占荣,肖国强,杨吉龙. 2013. 运用数理统计和模糊数学评价秦皇岛洋戴河平原的海水入侵程度[J]. 地理科学, 33(3): 342-348.
- 张进才,褚立峰,肖震,卢泽昌,沈荣辉,陈英杰. 2014. 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, (2): 45-50.
- 张茂省,唐亚明. 2008. 地质灾害风险调查的方法与实践[J]. 地质通报, 27(8): 1205-1216.
- 张梁. 2002. 地质灾害风险区划理论与方法[J]. 地质灾害与环境保护, 11(4): 323-328.
- 张雪. 2017. 基于三维地质建模的北京市平原区地面沉降风险性评价[J]. 南水北调与水利科技, 15(1): 126-130.
- 赵英萍,杨锐,高景春,王宁,贾炯,李雪英,蔡玲玲,王莉婵. 2016. 河北地区地震动衰减和场地响应的研究[J]. 地震工程学报, 38(增2): 330-338.