



## 基于 GIS 的牡丹江市主城区建设用地图适宜性评价

王建伟, 陈桂虎, 宋立东, 宋林旭, 佟智强, 高 博

中国地质调查局 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157021

**摘 要:** 根据研究区内地质环境特征, 选取地貌类型、地面坡度、地下水位埋深、地下水腐蚀性、地基承载力、土体压缩模量和地质灾害易发性 7 个评价指标, 利用层次分析法(AHP)和 GIS 空间分析对主城区建设用地图适宜性进行了评价分析。结果表明, 牡丹江市主城区建设用地图适宜性良好, 适宜区和较适宜区占主城区总面积的 58.2%, 并以主城区南部区域地质环境最为优越, 建议牡丹江市适度向南发展, 同时做好生态环境和永久基本农田的保护工作。

**关键词:** 地理信息系统; 层次分析法; 城市地质; 适宜性评价; 牡丹江市; 黑龙江省

## SUITABILITY EVALUATION OF CONSTRUCTION LAND IN MAIN URBAN AREA OF MUDANJIANG CITY BASED ON GIS

WANG Jian-wei, CHEN Gui-hu, SONG Li-dong, SONG Lin-xu, TONG Zhi-qiang, GAO Bo  
*Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Mudanjiang 157021, Heilongjiang Province, China*

**Abstract:** According to the geological environment characteristics of the study area, seven indexes are selected, including geomorphic types, surface slope, groundwater depth, groundwater corrosivity, foundation bearing capacity, soil compression modulus and geohazard susceptibility, to evaluate the suitability of construction land in the main urban area of Mudanjiang City based on analytic hierarchy process (AHP) and geographic information system (GIS) spatial analysis. The results show that the suitability of construction land in the main urban area is good, with the suitable and relatively suitable areas accounting for 58.2% of the total area, and the geological environment in the south of the main urban area is the most superior. Thus it is suggested that Mudanjiang City develop moderately to the south, and protect the ecoenvironment and permanent basic farmland.

**Key words:** GIS; AHP; urban geology; suitability evaluation; Mudanjiang City; Heilongjiang Province

### 0 引言

城市是人类活动对自然环境干预最为强烈的地

区, 也是各种环境工程地质问题和地质灾害多发区域<sup>[1]</sup>。地质环境是城市规划建设的载体, 如何避免地

收稿日期: 2020-10-09; 修回日期: 2020-11-03. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“牡丹江市多要素城市地质调查”(DD2019021).

作者简介: 王建伟(1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事工程地质调查、城市地质调查工作, 通信地址 黑龙江省牡丹江市东安区卧龙街 43 号, E-mail//870080982@qq.com

通信作者: 陈桂虎(1974—), 男, 高级工程师, 主要从事地质工程、矿产资源勘查方面的研究, 通信地址 黑龙江省牡丹江市东安区卧龙街 43 号, E-mail//1394560355@163.com

质灾害,高效合理地开发利用,是决定规划设计方案是否科学合理的主要因素之一<sup>[2]</sup>。土地利用适宜性评价的目的就是根据人类的需求和意愿确定合理的土地利用空间格局<sup>[3]</sup>。建设用地适宜性评价,属城市土地利用规划的基础研究<sup>[4]</sup>,其中,地质地貌条件对建设用地适宜性的限制是建设用地适宜性指标体系最重要的组成部分<sup>[5-6]</sup>,因此,能否有效利用地学知识评价城市建设用地适宜性,对指导城市建设与规划具有重要影响<sup>[7-8]</sup>。

本文以“牡丹江市多要素城市地质调查”项目调查成果为依托,通过重点研究牡丹江市主城区地质地貌条件,结合主城区建设用地规划需要,利用GIS和层次分析法(AHP)对牡丹江市主城区建设用地适宜性进行评价,以期对牡丹江市主城区建设和发展提供参考。

## 1 研究区概况

牡丹江市是黑龙江省东南部区域性中心城市,是我国面向东北亚地区和俄罗斯对外开放的重要门户。市区下设西安区、东安区、爱民区和阳明区4个城区,其中主城区面积约136 km<sup>2</sup>(图1),位置129°32′06.37″—129°41′48.18″E、44°30′06.37″—44°38′16.91″N。该市属大陆性湿润季风气候,四季分明,年均气温为2.7℃,多年平均降水量547.9 mm。主城区内地势四周高,中部低,有河谷平原和丘陵,以河谷平原为主。

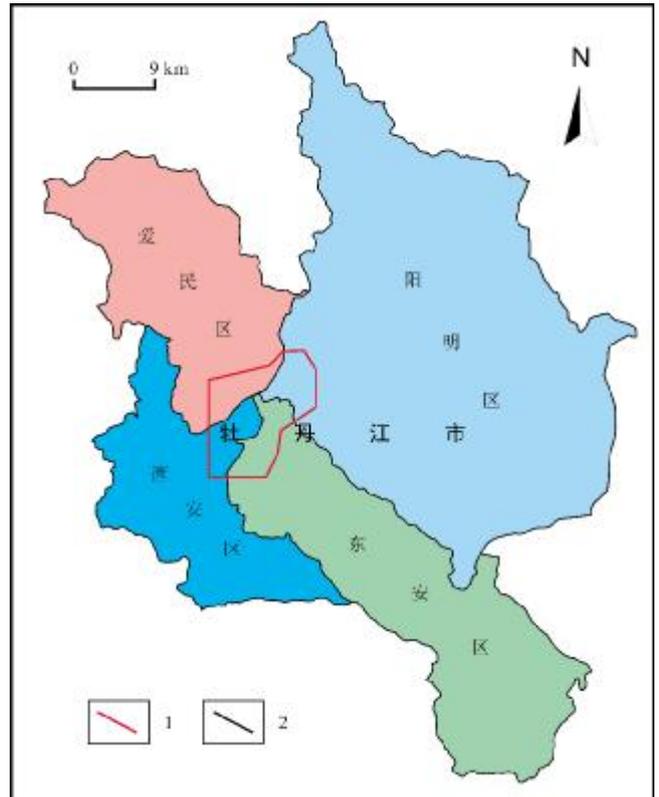


图1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location sketch map of the study area  
1—主城区范围(main urban area); 2—城区范围(urban area)

## 2 评价方法

### 2.1 评价体系建立

主城区内岩体分布较为广泛,发育有新近系上新

表1 牡丹江市主城区建设用地适宜性评价体系表

Table 1 Suitability evaluation indexes of construction land in main urban area of Mudanjiang City

一级指标	二级指标	分级标准			
		1分	3分	6分	10分
地形地貌	地貌类型	丘陵	漫滩	一级阶地	高平原
	地面坡度	≥50%	25%-50%	10%-25%	≤10%
水文地质条件	地下水埋深/m	≤1.0	1.0-3.0	3.0-6.0	≥6.0
	地下水腐蚀性	强腐蚀	中等腐蚀	弱腐蚀	微腐蚀
工程地质条件	地基承载力/kPa	≤80	80-150	150-200	≥200
	土体压缩模量/MPa	≤4	4-7	7-10	≥10
地质灾害	易发性分区	高易发区	中易发区	低易发区	不易发区

统富锦组 (Nf) 泥岩、粉砂岩,白垩系下统猴石沟组 (Kh) 砂岩、含砾砂岩,二叠纪中晚期中酸性侵入岩<sup>①</sup>;第四系土体厚度平均约 15 m。区内地震烈度小于 VI 度,历史上记载无破坏性地震发生,属于稳定程度相对较高的基本稳定区<sup>[9-10]</sup>,地壳稳定性适宜开展工程建设。

根据牡丹江市主城区地质环境条件,参考规范<sup>[11-13]</sup>选取地形地貌、水文地质条件、工程地质条件和地质灾害 4 个指标作为此次建设用地适宜性评价的一级评价指标。二级评价指标包括地貌类型、地面坡度、地下水埋深、地下水腐蚀性、地基承载力、土体压缩模量和地质灾害易发性 7 个指标。根据评价指标对建设用地的影响程度,经专家咨询后确定量化级别,将建设用地适宜性评价结果划分为适宜、较适宜、适宜性差和不适宜 4 个级别,对应量化标准为 10 分、6 分、3 分和 1 分(表 1)。

2.2 权重的确定和一致性检验

利用层次分析法,依据各评价指标的重要性,采用 1~9 标度法对评价指标两两做出比较,建立量化判断矩阵(表 2),然后确定各级指标权重<sup>[14-20]</sup>(表 3)。

根据表 2,指标值  $CI = 0.0498, RI = 0.90, CR =$

表 2 一级评价指标判断矩阵

Table 2 Judgment matrix of first-level evaluation index

	地形地貌	水文地质条件	工程地质条件	地质灾害	指标值
地形地貌	1	8	6	4	$\lambda_{max}=4.1494$
水文地质条件	1/8	1	1/3	1/5	$CI=0.0498$
工程地质条件	1/6	3	1	1/3	$RI=0.90$
地质灾害	1/4	5	3	1	$CR=0.0543$

表 3 各评价指标权重表

Table 3 Weights of each evaluation index

一级评价指标	权重	二级评价指标	权重
地形地貌	0.6057	地貌类型	0.4543
		地面坡度	0.1514
水文地质条件	0.0521	地下水埋深	0.0417
		地下水腐蚀性	0.0104
工程地质条件	0.1104	地基承载力	0.0883
		土体压缩模量	0.0221
地质灾害	0.2318	易发性分区	0.2318

$0.0543 < 0.1$ ,判断矩阵满足随机一致性检验,计算得到的权重分布合理;权向量  $V=(0.4543, 0.1514, 0.0417, 0.0104, 0.0883, 0.0221, 0.2318)$ ,即为所有评价指标权重。

2.3 评价模型

对 136 km<sup>2</sup> 主城区采用 CGCS2000 标准 1:50 000 地理底图,按照 500 m × 500 m 单元划分(边界不足 500 m × 500 m 的网格也算为一个单元格),共将主城区划分为 606 个评价单元格(图 2),将各二级评价指标按适宜性评价量化标准在所有单元格中赋值,分别制作各二级指标适宜性程度分区图(图 3、4)。

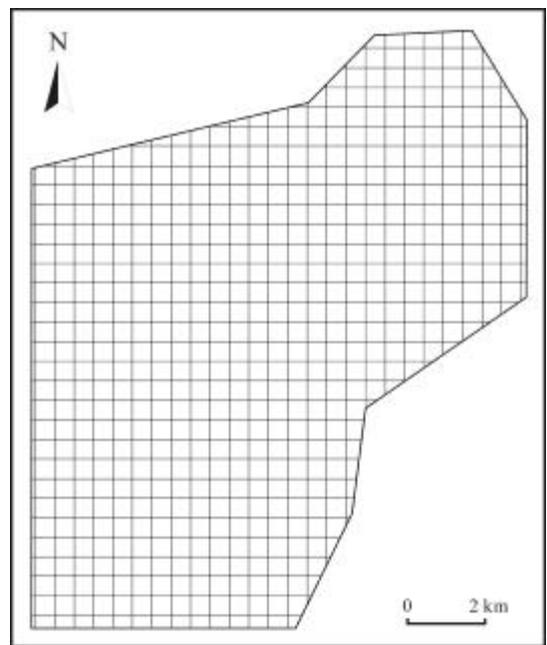


图 2 主城区评价单元格划分

Fig. 2 Evaluation grid division of main urban area

应用加权平均综合指数模型,按式(1)计算所有单元格综合适宜性评分 PI,按表 4 对主城区进行适宜性分区。

$$PI = \sum_{i=1}^n W_i P_i \tag{1}$$

式中:  $n$  为二级指标总数;  $W_i$  为第  $i$  个二级指标权重;  $P_i$  为第  $i$  个二级指标量化分值。

表 4 评价单元的工程建设适宜性判定标准

Table 4 Evaluation criterion of engineering construction suitability

适宜性分级	不适宜	适宜性差	较适宜	适宜
PI	$1 \leq PI < 3$	$3 \leq PI < 6$	$6 \leq PI < 8$	$8 \leq PI \leq 10$

①黑龙江省地质调查研究总院. 牡丹江市幅 1:25 万区域地质调查报告. 2007.

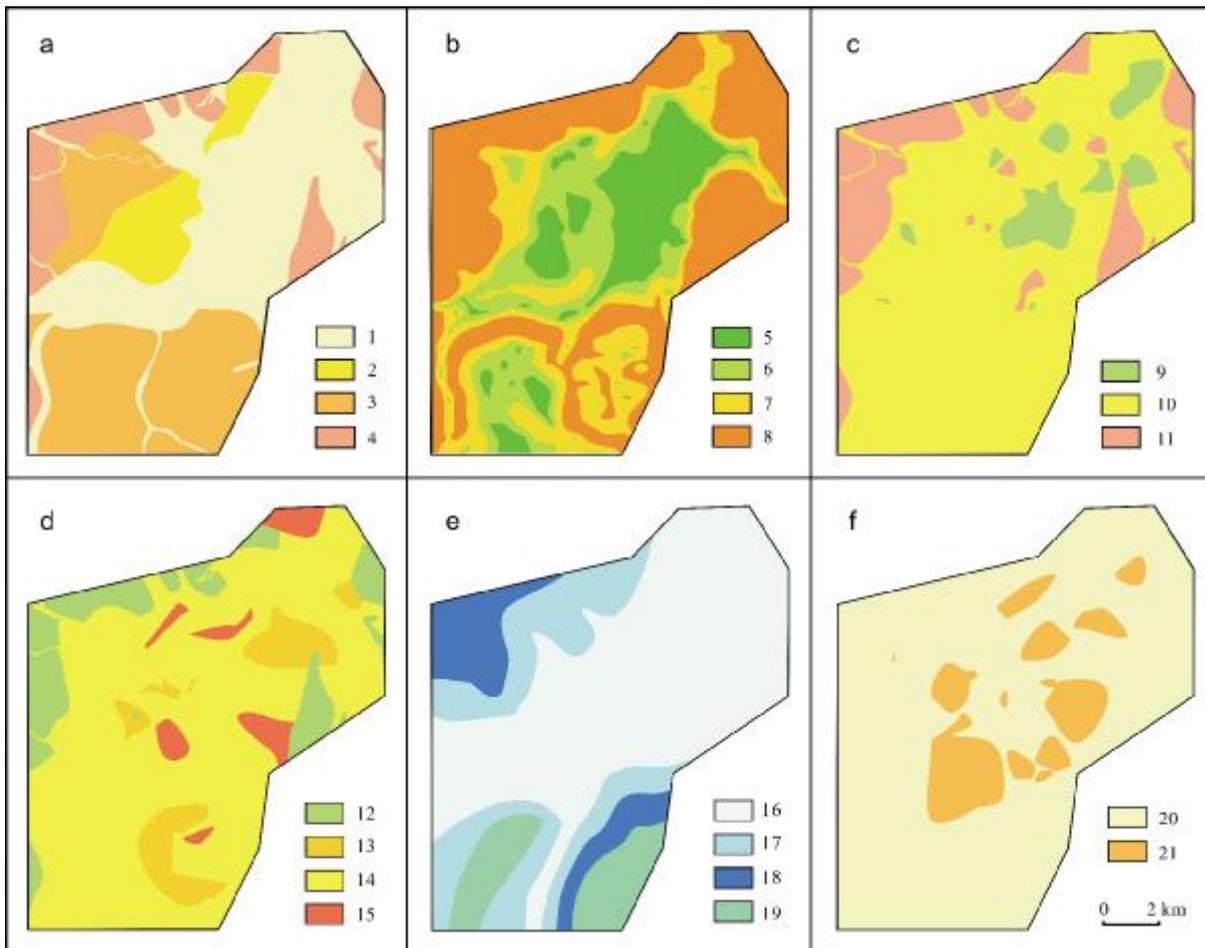


图3 评价指标分区图

Fig. 3 Zoning maps of evaluation indexes

a—地貌分区(geomorphologic zoning): 1—漫滩区(flood plain), 2—一级阶地(first terrace), 3—高平原区(high plain), 4—丘陵区(hills); b—地面坡度分区(zoning of surface slope): 5— $<10\%$ , 6— $10\% \sim 25\%$ , 7— $25\% \sim 50\%$ , 8— $>50\%$ ; c—地基承载力分区(zoning of foundation bearing capacity): 9— $80 \sim 150$  kPa, 10— $150 \sim 200$  kPa, 11— $>200$  kPa; d—压缩模量分区(zoning of compression modulus): 12— $>10$  MPa, 13— $7 \sim 10$  MPa, 14— $4 \sim 7$  MPa, 15— $<4$  MPa; e—地下水埋深分区(zoning of groundwater depth): 16— $3 \sim 6$  m, 17— $6 \sim 10$  m, 18— $10 \sim 15$  m, 19— $>15$  m; f—地下水腐蚀性分区(zoning of groundwater corrosivity): 20—微腐蚀区(microcorrosion zone), 21—弱腐蚀区(weak corrosion zone)

## 2.4 评价结果

评价结果(图5)表明,牡丹江市主城区建设用地的适宜性分为建设用地适宜区、建设用地较适宜区、建设用地适宜性差区和建设用地不适宜区。建设用地不适宜区主要是主城区内丘陵地带,面积 $11.64 \text{ km}^2$ ,占牡丹江市主城区总面积的 $8.6\%$ ;建设用地适宜性差区主要是低漫滩、丘陵沟谷地带,坡度较陡、地下水位埋深较浅及地质灾害中易发区域,主要集中在主城区北部和东北部,面积 $45.13 \text{ km}^2$ ,占牡丹江市主城区总面积的 $33.2\%$ ;工程建设较适宜区主要为牡丹江高漫滩、I级阶地和坡度较缓的地带,面积 $44.52 \text{ km}^2$ ,占牡丹江

市主城区总面积的 $32.7\%$ ;工程建设适宜区主要为主城区高平原区域,面积 $34.69 \text{ km}^2$ ,占牡丹江市主城区总面积的 $25.5\%$ 。

## 3 结论与建议

牡丹江市主城区建设用地适宜区和较适宜区占主城区总面积的 $58.2\%$ ,总体适宜性良好;建设用地不适宜区主要为丘陵地区,植被覆盖率高,坡度大于 $50\%$ ,工程建设开发难度较大;建设用地适宜性差区主要为地下水位埋深较浅及地质灾害中易发区域,建议开发时应重点做好崩塌、滑坡、泥石流的预防治理工作;建

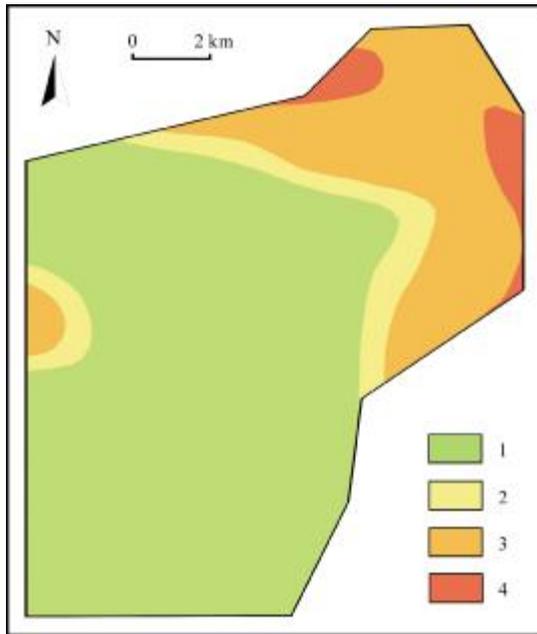


图 4 地质灾害易发分区图

Fig. 4 Zoning map of geohazard susceptibility

1—不易发区(non-susceptibility); 2—低易发区(low susceptibility); 3—中易发区(medium susceptibility); 4—高易发区(high susceptibility)

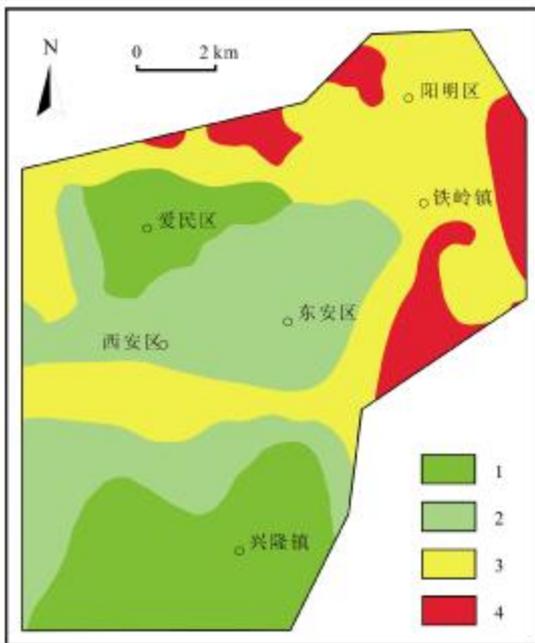


图 5 牡丹江市主城区建设用地适宜性评价分区图

Fig. 5 Suitability evaluation zoning map of construction land in main urban area of Mudanjiang City

1—适宜区(suitable area); 2—较适宜区(relatively suitable area); 3—适宜性差区(low suitability area); 4—不适宜区(unsuitable area)

设用地较适宜区和适宜区主要为地质环境较好的一级

阶地和高平原区,工程地质条件好,地形平坦开阔,岩土体承载力高,有利于工程建设.主城区北部区域开发程度较高,人口密集,空间利用有限,限制了城市的进一步发展.主城区南部区域地质环境条件更为优越,适宜区面积更为广阔,有助于城区的进一步扩大升级.建议牡丹江市适度向南发展,做好规划,合理利用,开发建设的同时做好生态环境和永久基本农田的保护工作.

参考文献(References):

[1]张彩红. 基于 GIS 的银川市建设用地适宜性评价研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2019.  
Zhang C H. Study on suitability assessment of build landuse in Yinchuan City based on GIS [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2019.

[2]古晓雯,邓钟尉,李志伟. 层次分析法在工程建设适宜性评价中的应用——以广州市某镇为例[J]. 城市勘测,2019(2):181-185.  
Gu X W, Deng Z W, Li Z W. The analysis of hierarchy process (AHP) in suitability evaluation of engineering construction: A case study of a town in Guangzhou [J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2019(2):181-185.

[3]赵筱青,普军伟,饶辉,等. 云南喀斯特山区城乡建设用地开发适宜性及分区[J]. 水土保持研究,2020,27(1):240-248.  
Zhao X Q, Pu J W, Rao H, et al. Development suitability and zoning of urban-rural construction land in typical karst mountain areas in Yunnan [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020,27(1): 240-248.

[4]许嘉巍,刘惠清. 长春市城市建设用地适宜性评价[J]. 经济地理, 1999,19(6):101-104.  
Xu J W, Liu H Q. Evaluation on the suitability of land used for construction in Changchun City [J]. Economic Geography, 1999,19 (6):101-104.

[5]邢怀学,葛伟亚,李亮,等. 基于 GIS 的丹阳城镇工程建设适宜性评价[J]. 华东地质,2019,40(1):59-66.  
Xing H X, Ge W Y, Li L, et al. GIS-based suitability evaluation on constructive lands in the city of Danyang [J]. East China Geology, 2019,40(1):59-66.

[6]吴恒. 城市用地的影响因素分析及其评价系统[J]. 地理研究,1995, 14(4):69-77.  
Wu H. Influential factors and the evaluating system of urban area land-use [J]. Geographical Research, 1995,14(4):69-77.

[7]李崇博,宋玉,郝应龙. 基于 GIS 的乌鲁木齐市城区建设用地适宜性评价的应用分析[J]. 新疆地质,2020,38(1):119-123.  
Li C B, Song Y, Hao Y L. Application analysis of suitability evaluation of construction land in Urumqi City based on GIS [J].

- Xinjiang Geology, 2020,38(1):119-123.
- [8] 张晓晖, 王辉. 可持续发展下的工程建设与地质环境相互关系研究[J]. 地球科学进展, 1998, 13(5):495-500.
- Zhang X H, Wang H. On the relationship between engineering construction and geo-environment [J]. Advances in Earth Sciences, 1998, 13(5):495-500.
- [9] 佟智强, 杨洪祥, 刘浩, 等. 牡丹江市城市地质特征及调查研究方向分析[J]. 城市地质, 2019, 14(3):38-44.
- Tong Z Q, Yang H X, Liu H, et al. Analysis on urban geological characteristics and research direction of Mudanjiang City [J]. Urban Geology, 2019, 14(3):38-44.
- [10] 崔业林, 马宝君. 牡丹江地区地震趋势分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2002, 23(4):46-50.
- Cui Y L, Ma B J. The earth quake tendency analysis in Mudanjiang area [J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2002, 23(4):46-50.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ57—2012 城乡规划工程地质勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. CJJ57—2012 Code for geo-engineering site investigation and evaluation of urban and rural planning [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2013.
- [12] 岩土工程手册编委会. 岩土工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- Editorial Board of Geotechnical Engineering Manual. Geotechnical engineering manual [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.(in Chinese)
- [13] 中华人民共和国建设部. GB50021—2001 岩土工程勘察规范(2009 版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- Ministry of Construction of the People's Republic of China. GB50021—2001 Code for investigation of geotechnical engineering (2009) [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004.
- [14] 陈雯, 柴波, 童军, 等. 曹妃甸滨海新区建设用地质环境适宜性评价[J]. 安全与环境工程, 2012, 19(3):45-49.
- Chen W, Chai B, Tong J, et al. Evaluation study on the geological environment suitability of urban construction in Caofeidian newly-developed area [J]. Safety and Environmental Engineering, 2012, 19(3):45-49.
- [15] 秦先燕, 彭苗枝, 焦团理, 等. 基于 GIS 的环巢湖地区地质环境承载能力评价[J]. 地质与资源, 2020, 29(2):180-186.
- Qin X Y, Peng M Z, Jiao T L, et al. Assessment of GIS-based geological environment carrying capacity in circum-Chaohu Lake area, Anhui, China [J]. Geology and Resources, 2020, 29(2):180-186.
- [16] 彭苗枝, 秦先燕, 何苗. 基于 GIS 和 AHP 的灰色评估法在工程建设适宜性评价中的应用——以黄山市中心城区为例[J]. 地质与资源, 2019, 28(1):85-89.
- Peng M Z, Qin X Y, He M. Application of gray evaluation method in engineering construction suitability evaluation based on GIS and AHP: A case study of the downtown Huangshan City [J]. Geology and Resources, 2019, 28(1):85-89.
- [17] 程慧红. 曹妃甸滨海新区工程建设适宜性评价[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.
- Cheng H H. Appraisals of suitability to project on structural in new region in Caofeidian [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.
- [18] 张堃. 基于 GIS 的山地城镇工程建设场地适宜性评价系统设计与开发研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- Zhang K. Engineering construction site in mountainous town suitability evaluation system design and development of research based on GIS [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [19] 康明敏. 城市工程建设地质环境适宜性评价指标体系集成与应用[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2019.
- Kang M M. Integration and application of geological environment suitability evaluation index system for urban engineering construction [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2019.
- [20] 娄本军, 田大勇, 孔庆轩, 等. 运用综合指数方法对黑河市地质环境质量的初步评价[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(5):77-80.
- Lou B J, Tian D Y, Kong Q X, et al. Indicator system for evaluation of geologic environment quality of Heihe [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2007, 34(5):77-80.