

# 济南城市发展的工程地质适宜性评价研究

唐永光<sup>1</sup>, 于世林<sup>2</sup>, 陆书南<sup>2</sup>, 赵振华<sup>2</sup>, 韩琳<sup>2</sup>

(1. 山东省地矿工程集团有限公司, 济南 250014; 2. 山东省地矿工程勘察院, 济南 250014)

**摘要:**根据济南市总体发展规划, 针对济南城区和 400 km<sup>2</sup> 的规划新区, 结合济南地区地质条件和地形、地貌特征, 通过对济南地区工程地质特征分析、不良工程地质问题及地质灾害评价, 论述了济南地区不同地段的工程地质特点及工程地质性质, 利用加权平均值法对工程建设适宜性进行了评价, 将济南城区和 400 km<sup>2</sup> 的规划新区划分为适宜区、较适宜区、适宜性差区和不适宜建设区四类。根据济南城市规划, 划分为中心城区、东部产业带、西部片区、北部片区 4 个主要功能区, 按不同区域工程地质条件对城市规划建设提出了建设建议。

**关键词:**工程地质; 适宜性; 评价; 加权平均值; 济南市

**中图分类号:** P642

**文献标识码:** B

济南市地质条件较为复杂, 南部为低山丘陵区, 基岩裸露, 北部为黄泛平原区, 第四系厚度达上百米, 不同地段的工程地质条件差异性大, 对工程建设的影响较大。通过对济南市城区及发展规划区工程地质条件综合分析研究, 对不同地段工程建设进行适宜性评价, 并进行适宜性分区, 可以为济南市城市规划合理布局, 有效减少工程问题的发生, 减少地质灾害和不良工程地质问题对城市规划建设造成的潜在威胁提供基础性地质资料, 为济南市的城市发展方向提供决策性依据。

## 1 区域工程地质概况

### 1.1 地质地貌特点

研究区西起济南市的长清, 东至孙村, 北至遥墙, 南至仲宫-西营一线, 包括济南城区和 400 km<sup>2</sup> 的规划新区<sup>①</sup>。

济南市地处鲁中山地的北缘, 南依泰山, 北临黄河, 地形南高北低。南部为绵延起伏的山区, 山势陡峻, 深沟峡谷, 绝对标高 500~600 m; 中部为山前倾斜平原, 绝对标高一般 25~50 m; 北部为冲积平原, 绝对标高一般 20 m 左右。工程地质分区属鲁中南低山丘陵工程地质区和鲁西北黄泛平原工程地质

区, 平面分布具有明显的 EW 向带状分布特征。南部低山丘陵区, 属平阴-济南碳酸盐岩稳定工程地质亚区, 广泛分布寒武至奥陶系坚硬较坚硬中厚层状灰岩, 地表岩溶发育, 岩石力学强度高, 地下水埋藏深, 工程地质条件较好, 但地形起伏大, 存在崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害隐患; 中部山前倾斜平原区, 属山前冲洪积地层, 岩性为黄土、粉质粘土、粘土及碎石土、卵砾石等, 工程地质条件较好, 存在黄土湿陷、采空塌陷、岩溶塌陷及伴生地裂缝等地质灾害隐患; 北部黄泛平原区, 第四系厚度大, 广泛分布黄河冲积物, 岩性为粉土、粉质粘土及粉细砂等, 上部地层松散、欠固结, 物理力学性质差, 承载力低, 地下水埋藏浅, 存在软土及砂土液化等不良工程地质问题。济南市多年平均降水量为 647 mm, 主要集中在每年的 6—9 月份。

### 1.2 工程地质特征

分为土体和岩体 2 种工程地质特征<sup>[1]</sup>进行论述。

#### 1.2.1 土体工程地质特征

根据土体的成因类型及结构特征, 土体又可分为 3 种类型: 山间谷地松散堆积层、山前冲洪积平原堆积层和北部黄泛平原新近土堆积层(图 1)。

\* 收稿日期: 2012-09-05; 修订日期: 2012-10-06; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 唐永光(1963—), 男, 山东文登人, 高级工程师, 主要从事水工环地质工作; E-mail: tyg66@126.com。

①山东省地矿工程勘察院, 邢立亭、于世林、张伟等, 山东省济南城市多参数立体化综合地质调查报告, 2005 年。

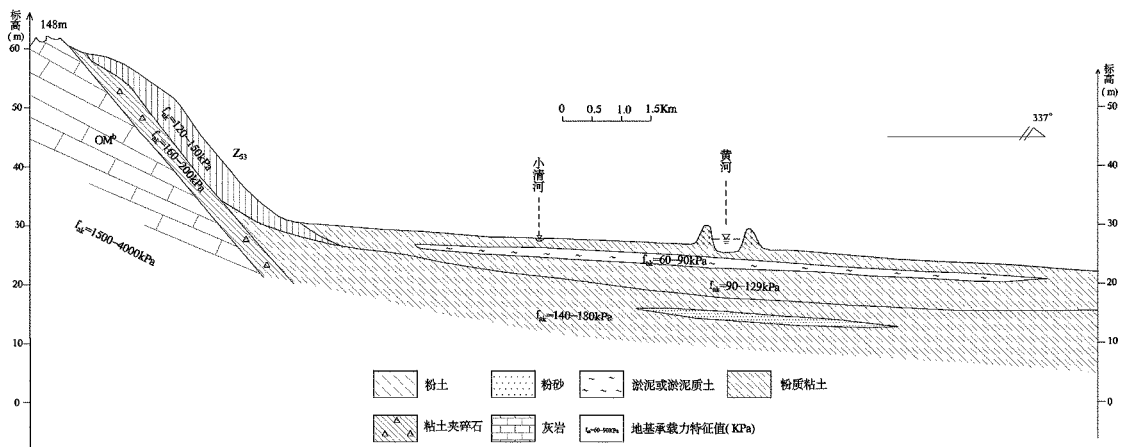


图 1 济南市南北向工程地质剖面示意图

(1) 山间谷地松散堆积层: 分布在山间地带。地层结构自上而下为: 第一层黄土: 具中等压缩性<sup>①</sup>, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 140 \sim 160$  kPa; 第二层粉质粘土: 具中等—低压缩性, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 150 \sim 190$  kPa; 第三层砂(卵)砾石(或碎石土): 具低压缩性, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 260 \sim 300$  kPa, 该层底部与基岩接触。该地区多层建筑及一般高层建筑可采用天然地基。

(2) 山前冲洪积平原堆积层: 分布在山前冲洪积平原地段。分为 4 个工程地质层, 自上而下为: 第一层黄土: 具中等压缩性, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 120 \sim 150$  kPa; 第二层粉质粘土: 具中等压缩性, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 140 \sim 180$  kPa; 第三层粘土: 属低压缩性土, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 160 \sim 200$  kPa; 第四层碎石土: 部分地段钙质胶结, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 200 \sim 300$  kPa。该区域内多层建筑一般可采用天然地基, 高层建筑南部地区及无影山附近基础可深埋, 采用筏基或箱形基础, 北部高层建筑多采用桩基基础。

(3) 黄泛平原新近土堆积层: 分布于济南地区北部黄河两岸的广大地区。20 m 深度内土层主要分为 4 个工程地质层: 第一层粉土: 具高压缩性, 摇摆反应迅速, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 80 \sim 110$  kPa; 第二层为粉质粘土或粘土: 厚度较薄, 具高压缩性, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 90 \sim 120$  kPa; 第三层粉土: 具高压缩性, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 110 \sim 150$  kPa, 该层部分地段夹淤泥及淤泥质土; 第四层粉质粘土: 具中等压缩性, 地基承载力特征值  $f_{ak} = 160 \sim 220$  kPa。

### 1.2.2 岩体工程地质特征

根据岩石成因类型及坚硬程度<sup>[6]</sup>, 岩体可分为 4 种类型: 坚硬—较坚硬的中厚层—厚层状灰岩岩组: 饱和抗压强度在 72~120 MPa, 抗拉强度在 4~8 MPa 之间, 容许承载力在 1 500~4 000 kPa 之间; 较坚硬的薄层状页岩及薄层状灰岩岩组: 页岩夹泥灰岩  $f_c = 30 \sim 40$  MPa,  $f_r = 10 \sim 15$  MPa; 坚硬的块状侵入岩岩组:  $f_c = 130 \sim 170$  MPa,  $f_r = 90 \sim 130$  MPa, 但岩石易风化, 使其强度降低, 根据风化程度分为: 残积土  $f_{ak} = 180 \sim 260$  kPa, 全风化层  $f_{ak} = 300 \sim 500$  kPa, 强风化层  $f_{ak} = 500 \sim 800$  kPa, 中等风化层  $f_{ak} = 1 000 \sim 1 500$  kPa, 微风化层  $f_{ak} = 2 500 \sim 3 000$  kPa; 坚硬较坚硬的薄层状页岩砂岩夹灰岩岩组: 砂岩  $f_c = 70 \sim 170$  MPa,  $f_r = 50 \sim 90$  MPa, 页岩  $f_c = 20 \sim 80$  MPa。

### 1.3 不良工程地质问题及地质灾害论述

#### 1.3.1 不良工程地质问题<sup>[3]</sup>

(1) 黄土: 山前地带及山间谷地存在轻微非自重湿陷黄土, 厚度一般小于 5 m, 湿陷系数一般为 0.015~0.030 之间, 总湿陷量一般小于 30 cm, 属全新世黄土, 易造成房屋开裂等建筑问题。

(2) 软土: 分布在黄河两岸、小清河附近及市区大明湖附近。厚度较小, 一般小于 2 m, 具有明显的触变性, 灵敏度 St 一般在 3~8 之间, 易造成建(构)筑物不均匀沉降及变形<sup>[4]</sup>。

(3) 液化土: 分布在黄河以北广大地区, 液化等级一般为轻微至中等, 易造成建(构)筑物沉降变形。

① 济南市人民政府, 济南市城市总体规划, 2005 年。

1.3.2 地质灾害

济南地区地质灾害种类较多,尤以突发性地质灾害居首位。崩塌、滑坡、泥石流主要集中在南部山区及山前地带,多为人类工程活动引起。地面塌陷、地裂缝主要分布在济南东部地区,其他地区零星分布,多为人类开采煤矿、铁矿等采矿活动及大量开采地下水形成。

2 工程建设适宜性评价方法

2.1 评价模型

根据制约工程建设作用强度的因子作为评价因子,利用加权平均值法和专家打分法相结合计算工程建设适宜程度:

$$A = \sum_{i=1}^n a_i b_i$$

式中:A—工程建设适宜程度指数; $a_i$ —评价因子权重; $b_i$ —评价因子强度指数。

2.2 评价因子

根据制约工程建设的地表稳定性、地基稳定性以及地基处理的难易程度、工程建设可能受到的不良工程地质问题等因素综合确定评价因子为:地基土的承载力、地形坡度、地质灾害、地面塌陷等级、软土厚度、黄土湿陷等级、液化土等级、地下水<sup>[5]</sup>位埋深等。

评价因子权重由层次分析法获取,通过 Yaahp 软件求得各因子权重,评价因子强度采用专家打分方法赋值。

表 1 评价因子权重

适宜性分区	不适宜区	适宜性差区	较适宜区	适宜区	评价标准
地基土承载力(kPa)	<80	80~120	120~150	>150	0.4
地形坡度(度)	>30	15~30	5~15	<5	0.2
地质灾害分区	高易发区	中易发区	低易发区	不易发区	1.5
地面塌陷等级	严重	较严重	轻微	无	2.0
软土厚度(m)	>2	0.5~2	<0.5	无	0.2
黄土湿陷等级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级	无	0.15
液化土等级	严重	中等	轻微	无	0.15
地下水位埋深(m)	<1	1~5	5~10	>10	0.1
权重指数	4	3	2	1	

2.3 模型参数

参数选择原则:建设安全性优先的原则。

分级原则:综合考虑评价因子的原则。主要考虑建设的适宜性、地基处理成本、地质灾害对建筑物的威胁程度等。

分级标准:根据计算结果,取  $A \geq 6.0$  为不适宜区, $A = 5.5 \sim 6.0$  为适宜差区, $A = 5.0 \sim 5.5$  为较适宜性区, $A \leq 5.0$  为适宜区。

3 工程建设适宜性评价结果及讨论

3.1 评价结果

根据工程建设地基处理的难易程度和工程建设的经济性,从工程地质条件分析可将济南主要建设区划分为适宜区、较适宜区、适宜性差区<sup>[3]</sup>和不适宜建设区 4 类。

表 2 工程建设适宜性评价结果

适宜性分区	适宜性程度指数	位置	地质灾害	不良工程地质现象	地下水埋藏情况	承载力 kPa
适宜区	$\leq 5.0$	城区中南部山前平原地带	不发育	黄土轻微湿陷	埋深较大	>150
较适宜区	5.0~5.5	山间沟谷地带 山前冲洪积平原与黄河冲积平原接触地带 黄河以北地区	不发育 不发育 不发育	黄土轻微湿陷 软土 软土	埋深大 埋深较浅 埋深浅	>150 120~150 80~120
适宜性差区	5.5~6.0	低山丘陵区 黄河两岸地带	低易发 低易发	地形坡度大 软土	埋深浅 埋深浅	>200 <80
不适宜区	$\geq 6.0$	低山丘陵区、采空塌陷区	高易发	采空塌陷		

3.2 结果讨论

(1)适宜区(I区)

工程建设适宜程度指数小于 5.0。主要分布在

城区中南部山前平原地带,呈 EW 向带状展布,为山前冲洪积平原或山间坡洪积形成的稳定工程地质环境区(图 2)。该区域适宜建设多层建筑及高层建



岩溶塌陷的危险性,工程建设适宜性差,以上地带应以规划为绿地、公园等为主;中间地段地基承载力大,为工程建设适宜区或较适宜区,可进行合理规划建设。长清城区及平安店经济开发区地基承载力较大,为工程建设适宜区或较适宜区,可进行规划建设。

#### 4.4 北部片区

面积约 190 km<sup>2</sup>。黄河附近软土厚度大,地基承载力低,工程建设适宜性差,可规划为绿地、公园等;桑梓店镇及大桥镇北,地基承载力一般,地下水位埋藏浅,较适宜工程建设,建议该区域规划为多层建筑,可采用天然地基筏基础或复合地基,不宜建设高层建筑。

## 5 结语

从与济南城市建设有关的工程地质环境条件出发,利用加权平均值法对工程建设适宜性进行了评价,对工程建设的适宜性进行了分区,评价方法基本符合济南市地质情况,评价结果与济南目前的已建项目情况相吻合。济南市自南部山区至黄河北部总

的趋势为适宜性差区—较适宜区—适宜区—较适宜区—适宜性差区—较适宜区,不适宜区零星分布于城区东部及南部。该文对济南市工程建设适宜性进行了总的概括,旨在为济南城市建设的合理规划提出参考建议。但是,与济南城市工程建设相关的许多工程地质问题仍然需要进行进一步的探索,同时济南市建设还涉及到保泉问题,希望有关部门、行业携手共同为济南城市建设提出宝贵意见。

## 参考文献:

- [1] 王贵荣. 工程地质学[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 徐军祥,邢立亭,佟光玉,范立芹. 济南泉域地下水环境演化与保护[J]. 水文地质工程地质,2004,31(6):69-73.
- [3] 田洪水,陈启辉. 济南市区的地基土层及地基适宜性评价[J]. 水文地质工程地质,2009,36(5):49-52.
- [4] GB50021-2001. 岩土工程勘察规范[S]. 2001.
- [5] CJJ57-2011. 城市规划工程地质勘察规范[S]. 2011.
- [6] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007,449-484.
- [7] 陈启辉,田洪水,孙振波,宋金平. 济南市工程地质特征分析及问题探索[J]. 工程力学,2010,27(增II):96-104.

## Study on Suitability Evaluation of Engineering Geology in Urban Development in Jinan City

TANG Yongguang<sup>1</sup>, YU Shilin<sup>2</sup>, LU Shunan<sup>2</sup>, ZHAO Zhenhua<sup>2</sup>, HAN Lin<sup>2</sup>

(1. Shandong Geo-engineering Limited Corporation, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract:** According to overall development planning of Jinan city, in view of 400km<sup>2</sup> planning areas, combining with geological conditions and characteristics of topography and geomorphology, and based on engineering geological characteristics analysis, bad engineering geology problems and the evaluation of geological disasters, engineering geological characteristics and engineering geologic properties in different sections in Jinan city have been discussed. By using the weighted average method, engineering construction suitability evaluation has been carried out, and planning areas with the square of 400 km<sup>2</sup> have been divided into four types as appropriate area, more appropriate area, suitability of poor areas and not suitable for the construction area. According to city planning in Jinan city, different suggestions have been put forward for city construction due to four function areas, such as east industrial zone, western area, the northern area.

**Key words:** Engineering geology; suitability; evaluation; weighted average; Jinan city