

聚类分析在土地工程能力评价中的应用

王珊珊¹, 刘 凯², 刘 飞³, 李洪文⁴, 胡伏生³

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195;
3. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083; 4. 江苏省镇江市勘察测绘研究院, 江苏镇江 212004)

摘要:随着城市化进程的加快,城市地质环境所受的压力和影响与日俱增,工程地质环境的状况直接影响着城市工程建设。本文通过实例研究,从岩土体承载力入手,确定不同高度建筑物的适宜性,利用聚类分析划分不同高度建筑物适宜区。评价结果合理,有利于指导工程建设,扬长避短,因地制宜,对城市规划和城市发展具有重要意义。

关键词:土地工程能力;岩土体承载力;工程地质条件;聚类分析;建筑适宜区

文章编号:1003-8035(2009)03-0112-06

中图分类号:P642.5;X141

文献标识码:A

1 引言

土地工程能力评价以工程地质条件的各种评价信息为基础,以协调土地资源的最佳利用为目标,是城市工程地质环境分析的最后阶段,也是城市规划控制的重要依据之一。随着城市化的快速发展和工程开发技术的进步,人们往往无视土地的工程能力,通过高强度土地开发来降低土地的单位成本,这种行为往往带来城市环境的失衡和不良效应,大大降低土地的利用效益,甚至造成难以弥补的损失^[1]。因此,土地开发利用要以土地工程能力为依据,既要避免由于超过土地工程能力而造成的失衡或灾害,又要充分利用其工程能力避免土地资源的浪费。如何客观综合评价土地的工程能力,成为工程地质学工作者十分关注的问题。

土地工程能力的评价研究在国外开展已久。20世纪50年代,美国和西欧探索用数学方法结合GIS技术描述城市空间模型,土地工程能力的研究开始引起人们的关注;90年代英国伦敦实施了为伦敦城市地区的土地利用规划、环境管理、工程项目设计和土木工程建设提供支持的“伦敦计算机化与地表地质”项目^[2]。近20年来,我国的海口、唐山、南京、西安等城市都先后完成了土地工程系列图件的编制,土地工程能力评价工作蓬勃发展^[2-5],评价方法和体系也多种多样。咸阳市土地工程能力评价主要从经济角度出发,利用费用损失法,构建出土地工程评价的多元信息叠加模型,编制了咸阳土地工程能力系列图^[2]。西安城市工程地质编图利用地质环境对比分析,建立了与层次关系相适应的单层和多层综合评判结构模

型,进行土地工程能力评价^[3]。青岛市开展的城市土地工程评价是以系统科学理论为指导,将地质环境—工程建筑纳入一个大系统进行研究,建立不同用地类型适宜性的层次结构分析模型,对青岛市用地管理进行了决策优化^[4]。

综上所述,土地工程能力研究中侧重评价模型的建立和分析,对模型输出结果的分类工作做得较少。聚类分析以其结果直观、形式简明等优点成为目前应用最广泛的分类方法,可以弥补土地工程能力研究中的不足。南徐新城土地工程能力研究,在借鉴前人研究经验基础上,以地基土承载力为主要依据,结合基础类型和建筑物类型,引入聚类分析方法对计算结果分类,划分不同建筑的适宜区。

2 聚类方法的具体过程

土地工程能力评价过程中,对各种指标叠加结果的分析属于分类问题,如场地综合建设分区、建筑适宜性分区等。从广义上说对单变量的分级也是分类。常用的分类分析方法就是聚类分析,其前提是对分类起决定作用的标识变量和各变量的权重明确。为了将样品(或指标)进行分类,就需要研究样品之间关系。目前用得最多的方法有两种:一种方法是用相似系数,性质越接近的样品,它们的相似系数的绝对值越接近1,而彼此无关的样品,它们的相似系数的绝对值越接近于零。比较相似的样品归为一类,不怎么

收稿日期:2008-12-11;修回日期:2009-02-22

作者简介:王珊珊(1983—),女,博士,主要从事工程地质方面的研究。

相似的样品归为不同的类。另一种方法是将一个样品看作 P 维空间的一个点,并在空间定义距离,距离越近的点归为一类,距离较远的点归为不同的类。凡是具有数值特征的变量和样品都可以通过选择距离或相似系数作为分类的依据,获得满意的数值分类效果。在计算过程上常分为三个步骤:数据标准化,计算分类统计量,建立分类系统,其结果以分类谱系图形表示。具体过程如下:

a. 数据标准化。采用总和标准化。分别求出各聚类要素所对应的数据总和,以各要素的数据除以该要素的数据总和,即

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (1)$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

标准化后的新数据满足

$$\sum_{i=1}^m x'_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

b. 计算距离。距离是事物之间差异性的测度,差异性越大,则相似性越小,所以距离是系统聚类分析的依据和基础。系统聚类方法里常用的距离计算有马氏(Mahalanobis)距离、兰氏距离、明科夫斯基距离等。仅以明氏距离为例介绍。

明氏(Minkowski)距离表达公式如下:

$$d_{ij}(q) = \left(\sum_{a=1}^p |x_{ia} - x_{ja}|^q \right)^{1/q} \quad (3)$$

当 $q = 1$ 时

$$d_{ij}(1) = \sum_{a=1}^p |x_{ia} - x_{ja}| \quad \text{即绝对距离}$$

当 $q = \infty$ 时

$$d_{ij}(\infty) = \max_{1 \leq a \leq p} |x_{ia} - x_{ja}| \quad \text{即切比雪夫距离}$$

当 $q = 2$ 时

$$d_{ij}(2) = \left(\sum_{a=1}^p (x_{ia} - x_{ja})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{即欧氏距离}$$

欧氏距离要求一个向量的 n 个分量是不相关的且具有相同的方差,或者说各坐标对欧氏距离的贡献是同等的且变差大小也是相同的,这时使用欧氏距离才合适,效果也较好。

c. 建立分类系统图谱。常用的聚类方法有直接聚类法、最短距离聚类法、最长距离聚类法、中间距离法等。最短距离聚类法的原理是在原来的 $m \times m$ 距离矩阵的非对角元素中找出 $d_{pq} = \min\{d_{ij}\}$, 把分类

对象 G_p 和 G_q 归并为一新类 G_r , 然后按计算公式

$$d_{rk} = \min\{d_{pl}, d_{qk}\} \quad (k \neq p, q) \quad (4)$$

不同的方法有不同的特点,例如最短距离聚类法具有空间压缩性,而最远距离聚类法具有空间扩张性,在实际计算中可以选用几种方法,通过比较得到最适合样本的聚类方法,计算原来各类与新类之间的距离,这样就得到一个新的 $(m-1)$ 阶距离矩阵;再从新的距离矩阵中选出最小者 d_{ij} , 把 G_i 和 G_j 归并成新类;再计算各类与新类的距离,这样一直下去,直至各分类对象被归为一类为止。选用最短距离法,得到聚类图谱。值得注意的是,分类距离的选取要与实际问题的定性变化取得较好的协调,分类才有意义。

3 南徐新城实现过程

镇江市位于江苏省西南部,长江下游南岸,地处长江三角洲的顶端,西邻南京,东南连接常州,北滨长江,与扬州隔江相望。南徐新城中心区位于镇江市市区西南 2km 处,面积为 8.54km²,交通便利(图 1)。近年来,随着产业结构的调整和优化,镇江市经济发展迅速,已融入长江三角洲经济区,依托交通、港口等地理优势,承接南北经济发展的桥梁作用。为保证科学、合理、经济地利用土地,更好地发展城市的效能,提高城市的环境质量与生活质量,开展了南徐新城中心区土地工程能力评价工作。

在镇江南徐新城中心区土地工程能力的研究中,首先分析工程建设层的性质并计算承载力,从岩土体和不同高度建筑物的基础选择入手,选取 2m、3m 和 6m 三个不同深度的切面和桩基础持力层埋深作为评价指标,然后建立不同高度建筑物适宜性的评价体系,从地基承载力和经济适用性角度对评价指标量化,最后通过建立聚类分析模型对叠加结果进行分类,划分不同高度建筑物的适宜区,完成评价(图 2)。

3.1 工程建设层分析

城市土地工程能力评价是为了确定土地作为某种使用功能时所具有的自然的或经改造后的价值。进行土地工程地质能力评价,首先要进行工程地质条件分析。南徐新城中心区位于长江三角洲的后缘,宁镇山脉东段,地势为东高西低,地貌表现为低山丘陵区,属河流侵蚀堆积地貌,长期的侵蚀作用使岗地地势起伏较大,发育有许多冲沟,冲沟内沉积物为次生粉质粘土及淤泥质土等。岩土性质多为下蜀组粉质粘土,冲沟内沉积物为次生粉质粘土及淤泥质土等,



图1 镇江南徐新城中心区位置示意图

Fig.1 Scheme map of Nanxu Central Area in Zhenjiang

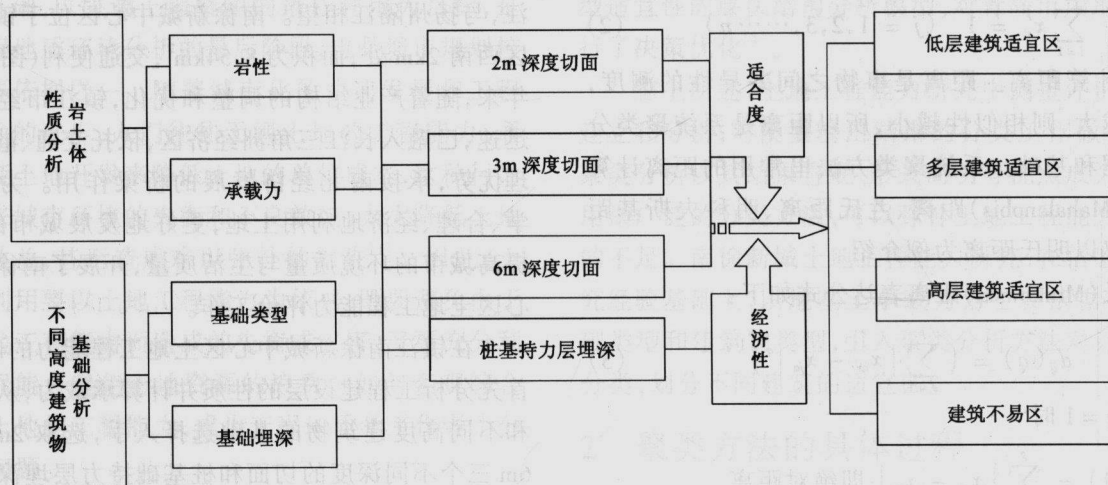


图2 技术路线图

Fig.2 Technology chart

总体工程地质条件较好(表1)。

3.2 不同高度建筑物基础类型分析

南徐新城中心研究区的土地工程能力,可以根据天然浅基础、片筏基础、箱型基础和桩基础的适应性等级,以及不同的基础造价,来区划低层、多层和高层建筑物的适宜性。结合规划的高度控制,把0~12m的建筑物作为低层,12~24m的建筑物作为多层,24~50m的建筑物作为高层,50~150m的建筑物作为超高层。在分析过程中,把高层和超高层建筑物合并一起考虑。

考虑不同高度建筑物可能采用的基础形式(浅

基、片筏基础、箱基及桩基等)及基础埋置深度,例如低层建筑一般采用埋深2m左右的浅基础,多层建筑多采用埋深3m左右的片筏基础,高层建筑一般采用埋深6m左右的箱型基础,超高层建筑则要选用桩基础。因此选取三个深度(2m、3m、6m)切面的强度和桩基础埋深作为评价因素。

对三个深度切面的地基土分别进行岩性和强度分析,分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个大区。3m深度切面岩性分布如图3所示,Ⅰ区为Ⅰ₁粉质粘土和Ⅰ₂粉土夹粉砂,承载力为100~150kPa;Ⅱ区为淤泥质粘土,承载力为50~90kPa;Ⅲ区为性质良好的粉质粘土,承载力

表 1 松散(软)土体主要物理力学指标统计表

Table 1 Sedimentary (soft) Soil physical and mechanical indicators

地层时代	土层代号	土层名称	厚度(m)	W (%)	ρ (g/c^3)	C (kPa)	φ (度)	a_{v1-2} (MPa^{-1})	f_a (kPa)
Q ₄	(2)-1	粉质粘土	1~12.4	24	1.98	38.4	12.9	0.272	191.9
	(2)-2	粉土夹粉砂	0.7~2.7	25.7	1.96	16	20	0.265	121.4
	(3)-1	泥炭质粘土	2.2~28.1	125	1.46	25	3	4.633	58.7
	(3)-2	淤泥质粉质粘土		33.3	1.88	8.5	11	0.512	98.4
	(3)-3	粉质粘土	0.7~10.9	26.8	1.97	17	12	0.316	171.8
	(3)-4	粉土	9~11.3	24	2			0.238	143.2
	(4)	粉质粘土	0.7~16	24.1	2	49.6	13.5	0.225	223.5
Q ₃	(5)	粉质粘土	1.4~7.6	27.4	1.97	40.7	11.8	0.318	198.2
	(6)	粉质粘土	0.2~24	23.9	2.02	58.7	15.5	0.217	238.5
	(7)	残积土	0.2~11.7	26	1.97	89.8	11.7	0.212	—

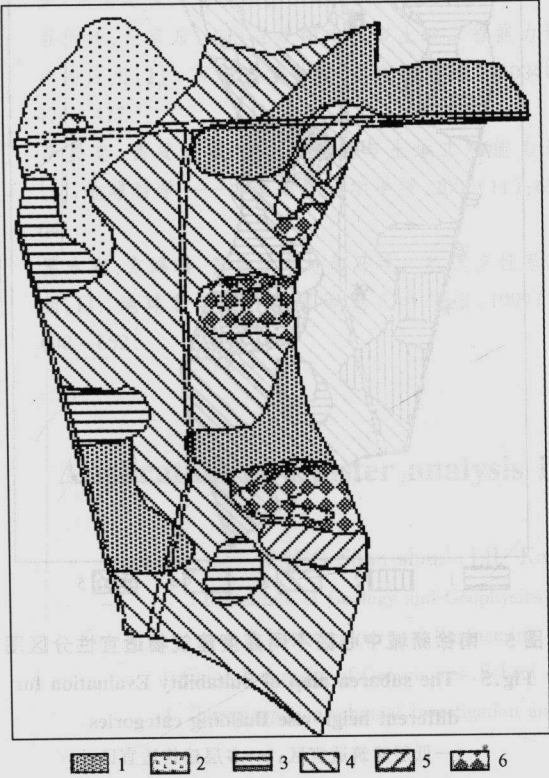


图 3 南徐新城中心区 3m 深度切面岩性分区图

Fig.3 Lithology zoning map of the 3-meter depth plane in the foundation soils

1—I₁ 粉质粘土;2—I₂ 粉土夹粉砂;3—II 淤泥质粘土;
4—III₁(4)层粉质粘土;5—III₂(6)层粉质粘土;6—基岩

为 200kPa 左右,其中 III₁ 区是(4)层出露区,III₂ 是(6)层出露区。桩基持力层埋深图按埋深 < 10m, 10 ~ 30m, > 30m 分为三个区。

3.3 确定不同建筑物的适宜性

首先,从地基承载力角度确定不同基础类型(天

然浅基础、片筏基础、箱型基础和桩基础)对不同高度建筑物(高层、多层和低层)的适合度系数 a_{ij} (i 代表建筑类型, j 代表岩性分区), a_{ij} 反映出地基基础类型和承载力能否满足建筑物的要求。例如,对于 I 区来说,承载力值在 100 ~ 150kPa 之间,可以满足多低层建筑物的要求,但如果修建高层建筑地基承载力不足,所以 a_{ij} 分别为(0.2,0.8,1)。

然后,根据基础处理费用及土地工程能力损失角度,确定采用不同基础型式时各类型建筑物的经济适应性权值 m_{ij} 。一般土地能力正好在该类建筑的所需承载力范围内取经济适应性值为 1,如超出所需的承载力范围根据超出部分浪费率给予折减,或不满足所需承载力时需采用诸如强夯、水泥土桩、搅拌桩等地基处理方法处理提高到所需承载力值,这时也要根据费用给予相应折减。例如,3m 深度适合采用片筏基础,修建多层建筑最经济,如果用于低层建筑不能充分发挥土地能力,如果用于高层建筑又要处理地基,所以 m_{ij} 分别为(0.8,1,0.8)。

当采用某种基础形式时,各高度建筑物在某一深度切面岩性分区的适宜性系数 $z_{ij} = a_{ij} \times m_{ij}$ (i 代表建筑类型, j 代表岩性分区)。二者相乘得到的不同高度(高层、多层、低层)建筑物对各区的适宜性系数(表 2)。

3.4 利用聚类分析分区

为保证单元格相应类型建筑物适宜性相加,将 z_i 的值进行编码,编码原则为:各区的三个小数均用两位整数表示,首位省略 0,1 用 10 表示,如 III 区 z_i 值为(1,0.8,0.5),编码为 100805。以不同切面(2m, 3m, 6m)地基土岩性分布图和桩基持力层顶面埋深图为基础,对研究区栅格化(单元大小为 20m × 20m),将 z_i

表 2 3m 深度切面 a_{ij} , m_{ij} , z_{ij} 数值表

Table 2 a_{ij} , m_{ij} , z_{ij} of 3-meter depth plane in the foundation soils

系数		分区		
		I	II	III
a_{ij}	高层	0.2	0	1
	多层	0.8	0	1
	低层	1	0.3	1
m_{ij}	高层	0.8	0.5	1
	多层	1	0.5	0.8
	低层	0.8	0.8	0.5
$z_{ij} = a_{ij} \times m_{ij}$	高层	0.2	0	1
	多层	0.8	0	0.8
	低层	0.8	0.2	0.5

以编码形式赋值给各个单元。

通过栅格叠加计算,共得到 20217 个栅格 24 个不同的原始值。为保证较好的聚类结果,因此要先对原始值基于以下几个原则进行合并:(1)数量少的栅格值;(2)近似的栅格值;(3)由于栅格划分得较小,一个栅格在最终的图上反应不出来,所以,如果某个栅格与周围栅格的值不同,可以将该栅格与周围栅格合并。

经过初步合并后得到 9 个栅格值,应用系统聚类方法对其分析,选取欧式距离和最短距离法做出分类谱系图(图 4)。纵轴代表单元格编码,横轴代表样本之间的距离 d 。

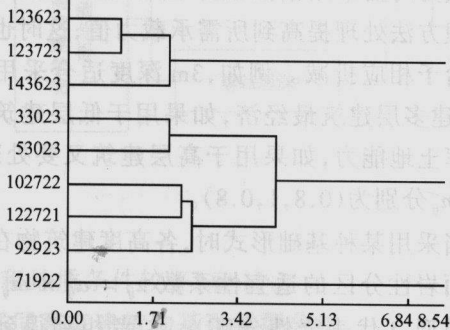


图 4 叠加结果系统聚类图

Fig.4 Cluster map of raster nesitification result

根据分类谱系图当分类距离 $d \leq 3.42$ 时,可以划分为 4 类。在分类时考虑到高层建筑物要满足的条件高,建成后经济效益大,因此在同样条件下优先考虑。结合实际情况稍作调整,得到研究区的不同高度建筑物的适宜区(表 3 和图 5)。从前面工程地质条件分析可知,研究区在西侧长山灌渠东侧及低凹地段

分布有古冲沟的淤积层,软土厚度大,工程地质条件差。从图 5 上看出,建筑不宜区正位于这些区域,因此,总体看来评价结果正确。

表 3 叠加结果分类表

Table 3 classification of nestification result

分区	高层	多层	低层	不宜
编码	143623	33023	92923	71922
	123623	53023	102722	
	123723		122721	

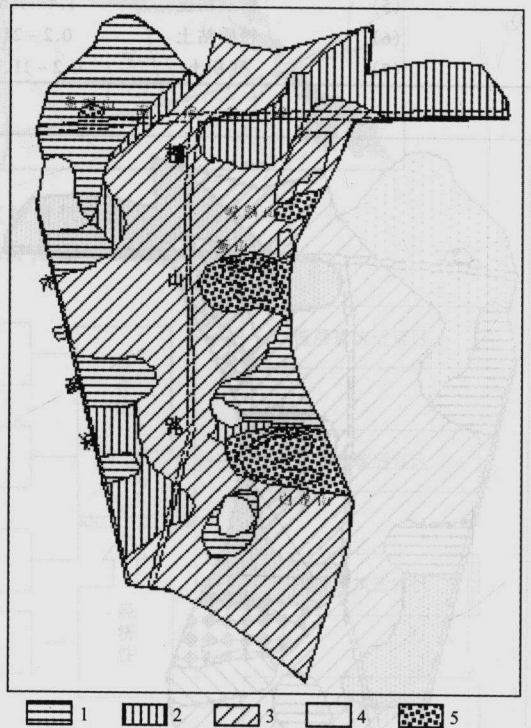


图 5 南徐新城中心区不同高度建筑物适宜性分区图

Fig.5 The subarea map of Suitability Evaluation for different heigh-rise Building categories

1—低层建筑适宜区;2—多层建筑适宜区;
3—高层建筑适宜区;4—建筑不宜区;5—基岩区

4 结论

(1)以工程地质学、环境地质学理论为基础,以 Arcview GIS 为实现平台,以土地过程能力评价系列图表现形式,实现了地质信息向规划信息的传递。

(2)聚类分析方法和 DPS 数据处理系统的引入,操作简便,减少了很多繁琐的计算,而且结果直观、易懂,评价分区结果更加科学。在实施聚类过程中有三个要点要注意:一是根据样本类型选择聚类依据,二是选择合适的距离公式进行计算,三是选择恰当的聚

类方法进行分类。在实际计算中,可以选取多种距离和方法的组合,通过比较得到最适合样本的聚类方法。

(3)此次研究成果已经在南徐新城控制性详细规划修编和修建性详细规划中得到应用。根据该部分的研究成果,在土地工程能力不能满足规划高度要求的位置,变更了原先规划的部分重大建筑物,证明了该研究成果对城市规划具有重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 方鸿琪,杨闽中.城市工程地质环境分析原理[M].北京:中国建筑工业出版社.1999:387-438.
- [2] 谷天峰,王家鼎. GIS在咸阳市城市土地工程能力评价中的应用[J]. 西北大学学报(自然科学版),2004(8):474-477.
- [2] 李显忠.西安市城市地质环境与土地工程能力评价[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2000(11):638-641.
- [4] 贾永刚,方鸿琪.青岛城市地质环境工程适宜性系统分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1999(11):648-652.
- [5] 温瑞智,周正华,卢滔,等. GIS在城市土地工程能力分析中的应用[J]. 地震工程与工程振动,2002(10):132-136.
- [6] 方鸿琪,杨闽中.土地利用工程控制原理[J]. 工程勘察,2002(2):8-11.
- [7] 李相然,曹振斌,孙岩松.工程地质质量评价在城市规划中的应用[J]. 世界地质,2000(9):258-264.
- [8] 姜洪涛,王宝军.基于gis的工程地质环境评价系统分析. 防灾减灾工程学报,2005(12):451-457.
- [9] 王思敬,戴福初.环境工程地质评价、预测与对策分析[J]. 地质灾害与环境保护,1997(3):27-34.
- [10] M A Aurelio. Engineering Geological and Geohazard Assessment (EGGA) system for sustainable infrastructure development; the Philippine experience [J]. Bulletin - Geological Society of Hong Kong, 2004(7):33-39.
- [11] M G Culshaw. From concept towards reality: developing the attributed 3D geological model of the shallow subsurface[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology, 2005, 38(3): 231-284.
- [12] D Croot, J S Griffiths. Engineering geological significance of relict periglacial activity in South and East Devon [J]. Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology, 2001, 34(3): 269-281.

Application of Cluster analysis in the land engineering capacity evaluation

WANG Shan-shan¹, LIU Kai², LIU Fei³, LI Hong-wen⁴, HU Fu-sheng³

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2. Hydrogeology and Engineering Geology Team of Beijing, Beijing 100195, China;

3. China University of Geosciences, School of Water Resources & Environment, Beijing 100083, China;

4. Zhengjiang Geotechnical Investigation and Surveying Research Institute, zhengjiang 214004, China)

Abstract: Along with the accelerating process of urbanization, the pressure and impact on the city's geological environment has grown greatly. Engineering geological conditions directly affect the city projects. Through case study, the appropriateness of buildings of different heights was determined based on fundamental bearing capacity, and especially. Cluster analysis was used to divide different areas suitable for buildings of different heights. The evaluation results are reasonable, which would guide the construction of projects. It is of great significance for urban planning and development.

Key words: land engineering capacity; bearing capacity of ground; engineering geology condition, clustering analysis; suitability for buildings