

青岛市主体功能区工程地质环境适宜性综合评价*

贺可强 张永平 郭 栋

(青岛理工大学岩土工程研究所 青岛 266033)

摘 要 通过对青岛市工程地质环境特征的系统分析,运用层次分析法,通过因素之间的两两比较,将定性判断与定量计算相结合确定了影响工程地质环境质量的 15 个指标因子的权重,使结果更科学合理、更符合事物本身的特点。运用处理模糊事物的有力工具——模糊数学对主体功能区的工程地质环境质量进行了综合评价,得出了青岛市主体功能区的工程地质环境质量评价图,为青岛市的工程建设规划和经济发展布局提供参考依据。实现工程地质工作服务于地区建设、服务于地区宏观决策和经济社会发展的方针。

关键词 工程地质环境质量 层次分析法 模糊数学 评价

COMPREHENSIVE EVALUATION ON THE GEO - ENVIRONMENTAL QUALITY OF THE ENGINEERING AND SUITABILITY OF MAIN FUNCTION ZONES OF QINGDAO CITY

HE Keqiang ZHANG Yongping GUO Dong

(Geotechnical Engineering Institute, Qingdao Technical University, Qingdao 266033)

Abstract The characteristics of engineering geology environment of Qingdao City are systematically analyzed by using the Analytic Hierarchy Process. The weight of the fifteen index factor affecting the engineering geo - environmental quality can be ascertained through determining the nature and calculation, and the results are more reasonable and scientific. The Fuzzy mathematics, a powerful tool dealing with the fuzzy problems, has been comprehensively used to evaluate the engineering geo - environmental quality of the main functional zone of Qingdao City, and the evaluation map of the urban engineering geo - environmental quality of the main functional zone of Qingdao City can be the basis of engineering construction plan and economic development's arrangement.

Key words The geo - environmental quality of the engineering, The analytic hierarchy process, The fuzzy mathematics, Evaluation

1 引 言

城市工程地质环境是城市环境的基本组成部分,是与城市布局、建设、土地功能区划等有关的原生地质环境与人类工程活动造就的次生地质环境的

总体。对城市工程地质环境质量的评价是综合多种地质环境的影响因素,运用系统论的方法做出的科学判断。城市工程地质环境的评价是工程地质理论的主要研究目的之一,同时又是工程实践与工程规划的基础条件。目前评价的方法很多,如回归分析法、神经网络理论分析法等,然而,一般的统计方法

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:40672182)支助。

第一作者简介:贺可强,工程地质专业. Email:keqianghe@163.com

对指标权重的确定多采用经验法,存在较大人为性;本文采用层次分析法(AHP)把决策者的推理过程进行量化描述,将定性分析与定量计算相结合,从而使权重的分配更为科学、合理。地质环境质量的好坏是个相对的概念,各因素划分级别的界线也是模糊的,因此,采用模糊数学(Fuzzy)能使问题得到很好的解决。

伴随着青岛市经济迅猛发展,城市建设呈现出高层建筑增多、规模加大,城市向多功能、复杂化方向发展的趋势,给城市的地质环境与可持续发展带来巨大压力。青岛市在“十一五”规划中将土地空间划分为3类主体功能区,按照主体功能定位调整、优化产业发展空间布局,规范空间开发秩序,形成合理的空间开发结构。

2 评价指标的建立

狭义的工程地质环境指工程地质条件,是与工程建筑有关的地质要素之综合,包括岩土类型及其工程地质性质,地质结构及构造,不良地质现象,水文地质条件,地形地貌以及天然建筑材料等要素,工程地质条件是指上述6个要素的总和、而不是指任何单一要素。单独一两个要素不能称之为工程地质条件。

2.1 一级评价因子的选择

2.1.1 岩土特征及其强度

这是城市工程地质环境最主要的三维实体,岩土体作为工程建筑物的载体,其力学特征一般来说决定了土地工程利用的最主要方面,坚硬完整的岩石如花岗岩、厚层石英砂岩等,强度高、遇水不易软化、渗透性小,性质优良。页岩、黏土岩等遇水软弱易变,性质不良。岩土体性质的优劣对建筑物的安全、经济具有重要意义,大型建筑常要建在性质优良的岩土体上。软弱的场地将大大增加工程建筑的造价与规模。

2.1.2 地质结构特征

包含地质构造、岩体结构、土体结构等,含义较广,对工程建筑意义重大,对岩体尤为重要。地质构造确定了一个地区的构造格架、地貌特征和岩土分布状况。断层对工程的危害甚大,工程人员最为担心,活断层更为可怕,在选择建筑场地时必须注意断

层的规模、性质、产状及其活动性。土体结构主要是指不同土层的组合关系、厚度及其空间变化。岩体结构除岩层构造外,更主要的是各种结构面的特征、组数、分布规律和组合关系。总之,地质结构对建筑物的施工和稳定性影响不容忽视。

2.1.3 不良地质现象

是指对建筑物有影响的自然地质作用与现象。地壳表层经常处于内动力地质作用与外动力地质作用的影响之下,对建筑物的安全构成威胁。有时破坏规模较大,是区域性的,例如地震的破坏性就是如此。滑坡、崩塌、泥石流的发生,都给工程和环境带来影响甚至灾难。在这些不良地质现象面前,只考虑工程本身的坚固性是不够的,必须充分注意其周围有哪些不良地质现象的存在,对工程和环境有何影响,如何防治。

2.1.4 水文地质条件

这是赋存于岩土体中甚至浸没岩土体的重要外在因素,对岩土体的承载能力、场地利用的疏干等影响显著。地下水可软化岩石;粘性土含水量增加就会处于塑态,甚至流态,使地基土的承载力大大降低;受污染的地下水还对钢筋、混凝土等建筑材料有强烈的腐蚀作用。

2.1.5 地形地貌

这是所研究区域最基本的面貌特征,在很大程度上决定它的质量好坏与土地利用的实用性。如能合理利用地形地貌条件,不但能大量节约挖填方量,减少工程投资,而且对建筑物群体的合理布局、结构类型和规模以及施工条件等也有直接影响。

2.1.6 人类工程活动特征

这是人类工程开发作用于岩土体上的外在环境最主要的作用因素,人类活动对环境的重要干扰,既有改变环境的一面,又有诱发地质灾害的一面,人类工程活动与地质环境之间,处于相互联系又相互制约的矛盾之中。

2.2 二级评价因子的选择

青岛市主体功能区工程地质环境质量综合评价选取了6个一级评价因子,由于工程地质环境质量的因素较多,为突出主要因子的作用,避免参与评价因子过多造成评价结果失真,每个一级评价因子下选取了2~4个二级评价因子,共选取15个评价因子(图1)。

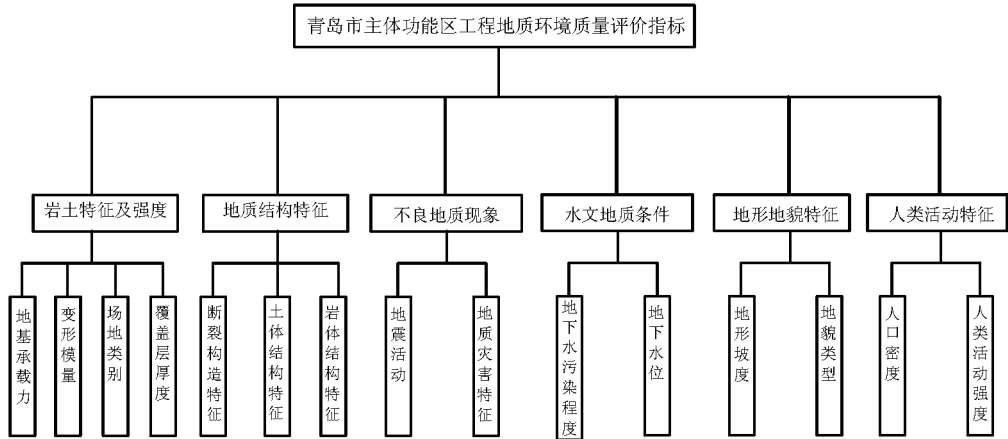


图1 青岛市主体功能区地质环境质量评价指标

Fig. 1 The index factors of evaluation of the geo - environmental quality of the engineering of the main function zones of Qingdao city

2.3 评价指标体系分级标准

2.3.1 岩土承载力

组成的地基基础,岩土性质差异较大,承载能力也有很大的差别。岩土承载力表征地基的稳定性程度,地基基础的稳定性直接影响到建筑物的寿命和造价。在钻孔勘察时,各土层的承载力值均有变化,用任一层的值都不能全面反映该区域的承载力特征值,本文采用土层厚度加权平均值,即该层厚度占总厚度的比值与该层承载力的乘积,这样既考虑了土层承载力的变化,也考虑了由于土层薄厚不均给建筑物沉降带来的差异。

2.3.2 变形模量

变形模量是衡量建筑物地基沉降多少的一个重要指标,是建筑物正常使用极限状态控制的指标。

2.3.3 场地类别

建筑地基的震害大小与场地土的性质及类别有密切的关系。不同的建筑场地上的建筑物震害的差异十分明显。在地震区常可发现同一区域内的同类建筑,有的震害较重,有的震害较轻,重灾里有轻灾的“安全岛”,轻灾区中有“危险带”的烈度异常区,其主要原因是场地类别不同造成的。场地类别越高其场地土的刚性越大,场地的抗震能力相对越强。

2.3.4 覆盖层厚度

覆盖层厚度同样反映了工程建筑场地的优良及地基承载力的强弱。<5m 为 I 类,5~10m 为 II 类,10~15m 为 III 类,>15m 为 IV 类。

2.3.5 断裂构造特征

活动断裂是主要的孕震构造,地壳稳定性可按

断裂在地震作用下的潜在稳定性程度来确定,断裂活动受地震震级、断裂位移量、构造活动特征、活动年限及断裂规模等因素影响,

2.3.6 土体结构特征

土体结构特征是指土中固相物质成分存在形式的特征,它反映了土的形成和存在条件,是决定土的工程地质性质变化的基本内在因素。

2.3.7 岩体结构特征

岩体结构特征是指岩体中结构面和结构体的性质、形状、规模及其组成特征。岩体的工程性质首先取决于各种结构面的性质,其次才是组成岩体的岩石性质。岩体的稳定性、岩体的变形与破坏,主要取决于岩体内各种结构面的性质及其对岩体的切割程度。

2.3.8 地震活动

地震是一种破坏性很强的自然灾害,在工程活动中,必须考虑地震这个主要地质环境因素,地震活动性以最大震级作为分级标准。根据青岛市区近年来地震记录可以看出,最大地震震级 $M_s = 4.9$ 级,而且 3.5 级以下的地震重复性概率较高。

2.3.9 地质灾害特征

工程地质环境在自然地质作用和人类工程活动影响下会发生变化,产生各种地质现象,如斜坡体的滑坡或崩塌、泥石流、地面沉降等,对工程建设活动产生不同程度的不良影响。

2.3.10 地下水位

地下水的埋置深度对工程建设影响较大,水位抬升,土中有效应力减小,土体承载力减小,水位下降,土的自重应力加大,沉降加大。不但影响岩土体

的物理力学性质,而且对基坑开挖和基础施工带来困难。青岛市地下水平均水位为4m,枯水期与丰水期变化幅度为2~4m。

2.3.11 地下水污染程度

依据青岛市地下水污染状况,可分为无、轻度污染区,矿化度现状 $<0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,年均增量 $6.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;中度污染区,矿化度现状 $0.5\sim 1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,年均增量 $18.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;重度污染区,矿化度现状 $1.0\sim 1.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,年均增量 $34.1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;极重度污染区,矿化度现状 $>1.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,年均增量 $59.1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 四级。

2.3.12 地貌类型

青岛市自然地貌单元根据成因形态类型主要分为中浅度切割中低山区(海拔 $>50\text{ m}$),侵蚀、剥蚀低山丘陵区(海拔约 $20\sim 50\text{ m}$),堆积平原、山前、山间河谷冲积平原区(海拔约 $5\sim 20\text{ m}$)、滨海沉积、堆

积平原(海拔约 5 m)。

2.3.13 地形坡度

是表征地表形态的重要因素,以斜率(%)或倾斜角($^{\circ}$)来度量(地形坡度=两地间高差/两地间距离)。坡度不但影响城市布局,道路管网的布设,房屋建筑,而且对城市防灾也十分重要。

2.3.14 人口密度

单位面积内居住和流动人口的数量,对于青岛市,尤其东部地区,人口密集、流动性大,由于城市人口高度密集,一旦发生强烈地震,后果极为严重。

2.3.15 人类工程活动强度

工程建筑高度密集将带来一系列的工程地质问题,地质体过度加载和开挖引起地面变形,建筑物沉降或倾斜。城市工程活动的强弱与城市工程地质环境的优劣,是一个相互联系又相互制约的矛盾体。

各指标的量化分级标准如表1。

表1 工程地质环境评价指标量化分级标准

Table 1 The quantization grade standard of the index factors of the geo-environmental quality of the engineering

一级因子	二级因子	优等(I类)	良等(II类)	中等(III类)	差等(IV类)
岩土特征及其强度	地基承载力	$\geq 400\text{ kPa}$	200~400kPa	100~200kPa	$\leq 100\text{ kPa}$
	变形模量	$\geq 30\text{ MPa}$	20~30MPa	10~20MPa	$\leq 10\text{ MPa}$
	场地类别	I类	II类	III类	IV类
	覆盖层厚度	$\leq 2\text{ m}$	5~10m	10~15m	$\geq 20\text{ m}$
地质结构特征	断裂构造特征	不活动型	弱活动型	中活动型	强活动型
	土体结构特征	基岩裸露	土体单元结构	土体二元结构	土体多元结构
	岩体结构特征	I类	II类	III类	IV类
不良地质现象	地震活动	$M_L < 3.0$	$3.9 > M_L \geq 3.0$	$4.9 > M_L \geq 4.0$	$M_L \geq 4.9$
	地质灾害特征	微	弱	中	强
水文地质特征	地下水污染指数	无、轻度污染区	中度污染区	重度污染区	极重度污染区
	地下水位/m	≤ 2	2~4	4~6	≥ 6
地形地貌特征	地形坡度/ $^{\circ}$	≤ 10	10~20	20~30	≥ 30
	地貌类型	I类	II类	III类	IV类
人类工程特征	人口密度/人 $\cdot\text{km}^{-2}$	≤ 1000	1000~5000	5000~10000	≥ 10000
	工程活动强度	< 0.05 微	0.05~0.20 弱	0.20~0.35 中	≥ 0.35 强

3 用层次分析法确定评价指标权重

层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, 即AHP)基本思想是先按问题的要求建起一个描述系统功能或特征的内部独立的递阶层次结构,通过两两比较因素的相对重要性,给出相应的比例标度,构

造上层某要素对下层相关元素的判断矩阵,以给出相关元素对上层某要素的相对重要序列。

3.1 建立递阶层次结构模型

递阶层次是关于系统结构的抽象概念,是为研究系统各组成部分功能的相互作用以及他们对整个系统的影响而构造的。通常模型结构分为目标层、

准则层、指标层。

应用层次分析法解决决策中的权重分配问题,依据是两两比较的标度和判断原理,是集人类判断事物好坏、优劣、轻、缓急的经验方法,提出了1~9的比例标度(表2)。

表2 判断矩阵及其含义表

Table 2 The meanings of the estimation matrix

标度值	含 义
1	表示因素 u_i 与 u_j 比较,具有同等的重要性。
3	表示因素 u_i 与 u_j 比较, u_i 比 u_j 稍微的重要性。
5	表示因素 u_i 与 u_j 比较, u_i 比 u_j 明显的重要性。
7	表示因素 u_i 与 u_j 比较, u_i 比 u_j 强烈的重要性。
9	表示因素 u_i 与 u_j 比较, u_i 比 u_j 极端的重要性。
2,4,6,8	2,4,6,8 分别表示相邻判断 1~3,3~5,5~7,7~9 的中值。
倒数	表示因素 u_i 与 u_j 比较得判断 u_{ij} ,则 u_j 与 u_i 比较得判断 $u_{ji} = 1/u_{ij}$ 。

3.2 层次分析计算

对于两两比较得到的判断矩阵 W ,解特征根问题: $WA = \lambda_{\max} A$,所得到的 A 经正规化后作为元素的排序权重。数学上已证明,对于正定互反矩阵 W ,其最大特征根 λ_{\max} 存在且唯一,但对 W 很难求出精确的特征值 λ_{\max} 和特征向量 A ,只能求它们的近似值。计算方法一般有幂法、和积法以及根法,其中和积法

计算步骤如下:

(1)将判断矩阵的每一列正规化,有:

$$\bar{b}_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{k=1}^n b_{kj}}, (i, j, k = 1, 2, \dots, n)$$

(2)将每列规范化后的判断矩阵按行求和

$$\bar{w}_i = \sum_{j=1}^n \bar{b}_{ij}$$

(3)将 \bar{w}_i 规范化,得到 $w_i, w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i}, (i = 1, 2, \dots, n)$

所得到的 w_i 即特征向量 w 的第 i 个分量。

(4)单排序的一致性检验,在得到判断矩阵 W 时,有时免不了出现判断上的不一致性。将其归一化,利用一致性指标 $C \cdot I$ 进行检验,公式: $C \cdot I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$,若有 $C \cdot I \leq 0.1$,就可认为判断矩阵 W 是满意的;否则,说明所给各判断数有矛盾,不一致,需要重新调整。

3.3 评价指标权重的确定

运用层次分析法原理,由青岛市岩土工程与地质工程专家对各指标对城市工程地质环境质量的贡献通过元素间相互比较进行打分,并取其平均值(表3)。

表3 青岛市工程地质环境质量评价指标权重表

Table 3 The weight of the index factor affecting the geo-environmental quality of the engineering of Qingdao city

一级因子(准则层)	一级因子权重	二级因子(指标层)	二级因子权重单排序	二级因子权重总排序
岩土特征及其强度 B_1	0.311	地基承载力 C_1	0.356	0.110
		变形模量 C_2	0.325	0.101
		场地类别 C_3	0.194	0.060
		覆盖层厚度 C_4	0.125	0.039
地质结构特征 B_2	0.120	断裂构造特征 C_5	0.164	0.020
		土体结构特征 C_6	0.297	0.036
		岩体结构特征 C_7	0.539	0.065
不良地质现象 B_3	0.049	地震活动 C_8	0.333	0.016
		地质灾害特征 C_9	0.667	0.033
水文地质特征 B_4	0.076	地下水污染指数 C_{10}	0.667	0.051
		地下水位 C_{11}	0.333	0.025
地形地貌特征 B_5	0.175	地形坡度 C_{12}	0.333	0.058
		地貌类型 C_{13}	0.667	0.117
人类工程活动特征 B_6	0.269	人口密度 C_{14}	0.333	0.090
		人类工程强度 C_{15}	0.667	0.179

W 经上述运算后,确定的城市工程地质环境质量的权重如下。

确定的权重向量

$$\tilde{A} = \{0.11, 0.101, 0.06, 0.039, 0.02, 0.036, \\ 0.065, 0.016, 0.033, 0.051, 0.025, \\ 0.058, 0.117, 0.09, 0.179\}$$

4 模糊评判模型的建立

步骤一 确定评价对象集、因素集和评语集。

根据实际需要确定评价的对象集、评价的因素集和评语集(即决断集)。对象集 $O = (o_1, o_2, o_3, \dots, o_m)$, 因素集: $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, 决断集: $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。

在青岛市 1:100000 行政地理底图上以 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 为单位,网格化底图,共划得 225 个评价单元,即对象集 $O = (o_1, o_2, o_3, \dots, o_{225})$, 因素集为指标层,共 15 个指标,即 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{15}, m = 15\}$ 。决断集为工程地质环境质量的好坏等级, I 级为优等, II 级为良等, III 级为中等, IV 级为差等。即目标层: $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, n = 4\}$ 。

步骤二 建立 m 个评价因素的权重分配向量 A 。

评价因素集中的每个因素在“评价目标”中有不同的地位和作用,各个评价因素在综合评价中占有不同的比重即权重,前文中采用层次分析法确定的权重向量 A 。

步骤三 各指标隶属度的确定

在对工程地质环境稳定性评判中,采用 0~1 之间的数来反映第 j 个影响因素对评价集中不同级别的影响程度(隶属度)。同一指标随数值变化,其隶属同一级别的隶属度也随着变化,而同一指标数值隶属于不同级别的隶属度也不同;

由此,建立了代表隶属度和指标数值之间的函数关系即隶属函数。评价指标中的连续变量的分布特征确定所采用的隶属函数应为正态分布函数,其一般式为: $\mu(X) = e^{-\frac{(X-s_0)^2}{2\sigma^2}}$ 当 $X = \frac{s_1 + s_0}{2}$ 时, $\mu(X) = 1$; 当 $X = s_1$ 时, $\mu(X) = 0.5$, 由此可以确定参数 $S = \frac{s_1 + s_0}{2}$ 和 $\sigma^2 = -\frac{(s_1 - s_0)^2}{8} \ln 0.5$, 最终得隶属函数(图 2):

$$\mu(X) = \exp\left[\ln 0.5 \frac{(2X - s_1 + s_0)^2}{(s_1 - s_0)^2}\right]$$

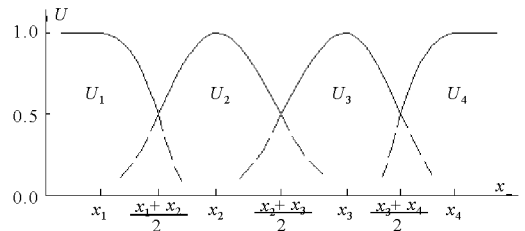


图 2 指标隶属函数计算图

Fig. 2 The scaling system of the membership function of the index factors

对于非连续变化的离散型指标,其属于某级别则该级别的隶属度为 1,其余级别的隶属度为 0。

步骤四 各单因素经隶属函数计算,求得隶属度从而获得模糊综合评判矩阵。

步骤五 进行复合运算可得到综合评价结果。

本文在工程地质环境质量评价中,运算模型采用加权平均型。为了简单明了,权数均进行归一化处理,对单因素评价矩阵 R 和权值矩阵 A ,采用加权平均模型后计算单元评价结果 B 如下: $B = A_0 \cdot R$ 。依最大隶属度原则,可求得该计算单元的工程地质环境质量级别。

5 评价结果

依据上述评判过程,对青岛市主体功能区各个评价单元的工程地质环境质量进行逐一计算评价,用圆滑的曲线在网格图上圈出同一质量等级的单元,得到青岛市主体功能区工程地质环境质量适宜性综合评价结果(图 3)。

6 结论

(1) 采用层次分析法确定城市工程地质环境质量评价指标的权重,比主观经验法、专家调查法等方法更加科学;由所得指标权重的大小,可以更好地分清哪些是主要因素,哪些是次要因素。

(2) 利用层次分析-模糊综合评判法对城市工程地质环境进行分区评价,是在对各因素特征及相对意义进行定性化与定量化研究后进行的,因而评判较全面地反映了各因素对地质环境的影响,从而使评价结果合理、可靠。

(3) 优化整合区内工程地质环境质量主要为中等,区内建筑密度大、工程建设强度高,不宜进行大规模开发。区内可以利用的土地越来越珍贵,建议以公共建筑为主,适宜发展会展商务、购物餐饮、总

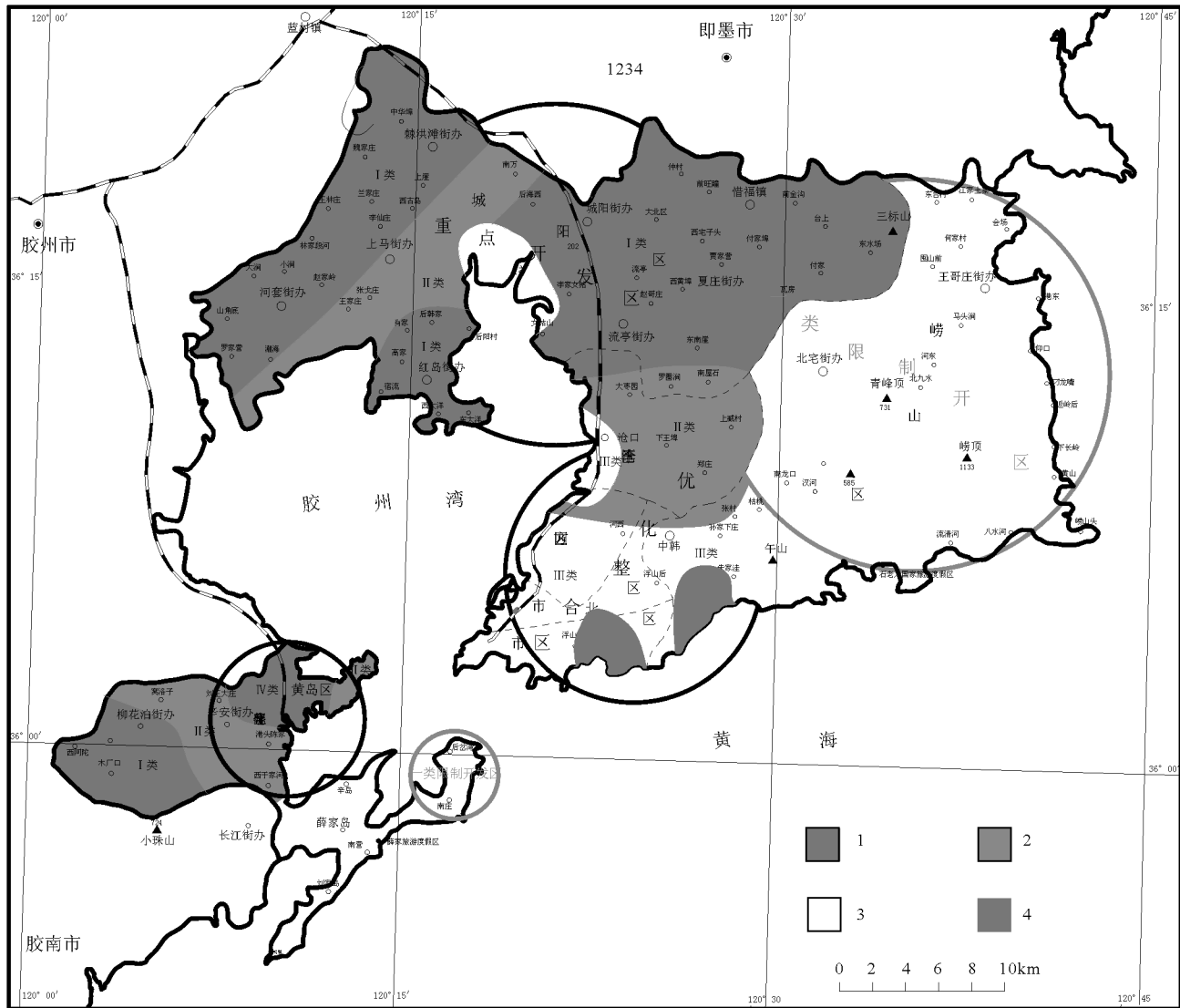


图3 青岛市主体功能区工程地质环境质量综合评价图

Fig. 3 The map of evaluation on the geo - environmental quality of the engineering of main functional zones of Qingdao city

1. 优等区 (I类); 2. 良好区 (II类); 3. 中等区 (III类); 4. 差等区 (IV类)

部经济等。重点开发区内工程地质环境质量为优等、良等。地形平坦开阔,适宜大规模开发,建设工业园区、住宅小区等。环胶州湾一带分布有盐渍土与淤泥质土,堆积大量的海相沉积物,岩土体的工程性质差,工程地质环境质量为中等,工程建设时要进行科学评估论证,合理规划。

参 考 文 献

[1] 王思敬,黄鼎成.中国工程地质世纪成就[M].中国地质学会工程地质专业委员会.北京:地质出版社,2004.
[2] 中国地质学会城市地质研究会编.中国城市地质[M].北京:中国大地出版社,2005.

[3] 周爱国等.地质环境生态适宜性评价指标体系研究[J].地质科技情报,2001,(2):71~74.
[4] 蔡鹤生,唐朝晖.地质环境质量综合评价中的敏感因子模型[J].地质科技情报,1998,17(2):71~75.
[5] 毛同夏,石宏仁等.区域地质环境质量的定量评价与预测[J].地质前缘,1996,3(1~2):141~146.
[6] 邵万强,贾信远.青岛市区第四系层序划分研究报告[R].青岛市勘察测绘研究院,2001.
[7] 山东半岛城市群地区典型城市地质环境综合分析与评价专题研究报告[R],2006.
[8] 栾光忠等.青岛地区NNW向断裂及其地质意义[J].海洋湖泊通报,1998,(4):10~14.
[9] 栾光忠等.青岛沧口-温泉断裂的空间展布及现代活动性研究[J].地震地质,2001,23(1):102~115.