



日照市城区工程地质特征及 工程建设适宜性评价

袁文杰,王英楠,郭本力,李小东*,冯启原,张霞,魏同政,吕有成,高铭宇,杨鹏

(山东省地质矿产勘查开发局第八地质大队(山东省第八地质矿产勘查院),山东省地矿局有色金属矿找矿与资源评价重点实验室,山东日照 276826)

摘要:随着城市经济的快速发展及城市化的进一步加快,对城市工程地质工作提出了更高的要求,本文以日照市城区为研究对象,通过单元多因子分级加权指数和法对城区工程建设进行适宜性评价。日照市城区工程地质层(组)共划分7个工程地质层组,44个工程地质层。根据工程建设适宜分区定量评价,选取地形地貌、工程地质、水文地质、场地稳定性作为一级评价因子,地面坡度、地层结构、承载力、桩端持力层、地下水埋深、腐蚀性、富水性、液化土、软土厚度、活动断裂作为二级评价因子,将研究划分为适宜区、较适宜区和适宜性差区,其中以工程建设适宜区和较适宜区分布最为广泛,可作为城市建设的主要区域。上述评价结果对服务于日照市城区规划布局、建设发展和工程选址,具有重要的理论和实践指导意义。

关键词:工程地质特征;单元多因子分级加权指数和法;工程建设适宜性评价;日照市城区

中图分类号:P64

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.08.007

0 引言

山东省日照市地处鲁东南沿海,是山东半岛蓝色经济区内的主要城市之一,以往开展了大量的地质工作^[1-2],取得了丰富的地质资料和研究成果^[3-8]。随着城市经济的快速发展以及城市化的进一步加快,日照市城区高层一超高建筑、高铁、城市地下空间等大型工程项目逐年增多,对日照市的工程地质工作提出了更高的要求。目前,日照市整体工程地质条件研究程度不高,缺少城区外工程建设的经验,遇到了诸如软土、桩端持力层选择、可液化土层、海水入侵等特殊复杂工程问题^[9-11],影响了城区建设的周期和成本投资^[12-13]。日照市城区(包括主城区和山海天旅游度假区)地形地貌简单地质环境条件好,以往适宜性的研究多集中在区域稳定性、特殊土分布、不良地质与地质灾害等方面。为进一步提高城市规划布局的科学性、可行性、经济性,辅助规划选址决策,规避和减轻

地质灾害对城市建设的影响,需进一步对日照市城区工程地质进行分区评价,因地制宜,为城市规划提供准确的地质基础保障。

城市工程建设适宜性分区已经在国内外范围展开深入研究,近年来,众多学者从影响因素、评价方法、指标体系及地域等方面对工程建设适宜性评价相关问题进行了探讨,积累了诸多宝贵经验^[14-17]。早期其评价方法多为定性评价^[18-19],近年来随着地理信息系统(GIS)空间分析技术的发展,借助GIS技术以多种评价方法对研究区进行定量评价的思路得到广泛运用^[20-22]。本次研究在日照市城市地质调查的基础上,利用MapGIS空间分析方法,采取单元多因子分级加权指数和法。分析了日照地区工程地质条件和主要环境地质问题,总结了影响日照市城区工程建设的地质因素主要为场地稳定性、工程地质条件、地下水条件,地形排水条件、地质灾害及其他因素,最终划分了日照市城区工程地质分区,评价了城市工程建设适宜性,为后期工作提供了基础

收稿日期:2025-04-10;修订日期:2025-05-16;编辑:王敏

基金项目:日照市城市地质调查项目,编号:SDGP371100202102000475

作者简介:袁文杰(1994—),女,山东日照人,工程师,主要从事水文地质、环境地质、城市地质工作;E-mail:542174628@qq.com

*通信作者:李小东(1990—),男,山东临沂人,工程师,主要从事水文地质、环境地质、城市地质工作;E-mail:183086472@qq.com

地质支撑。

1 区域地质背景

本次研究的日照市城区包括日照市主城区和山海天旅游度假区,极值地理坐标为东经 $119^{\circ}19'14'' \sim 119^{\circ}39'38''$,北纬 $35^{\circ}18'05'' \sim 35^{\circ}36'27''$,面积 439.0 km^2 。

1.1 地形地貌条件

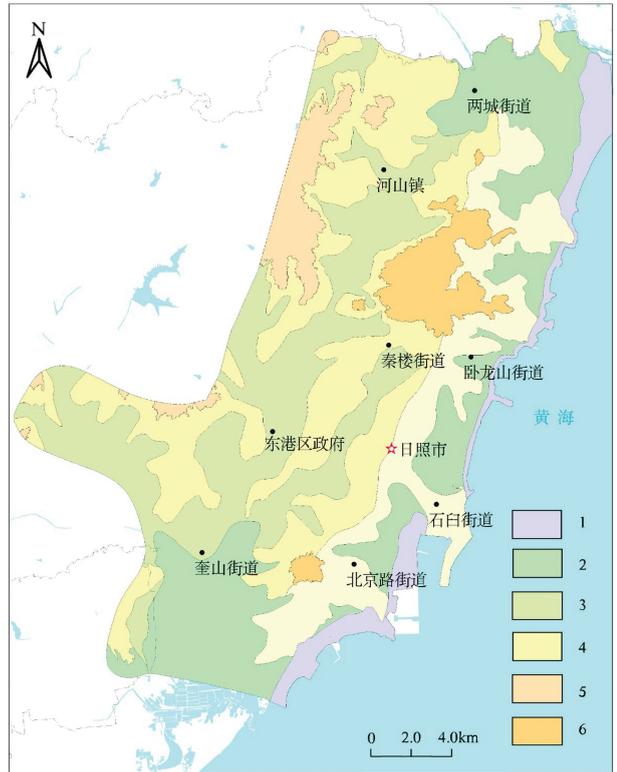
研究区地处鲁东丘陵区沭东丘陵带,为丘陵与滨海平原复合型地貌单元。整体地势呈西北高、东南低的缓倾单斜构造,西部及西北部主体为低山丘陵区,向东南逐渐过渡为冲海积平原。根据构造—岩性地层特征划分,丘陵区花岗岩广泛出露,地表强风化作用导致节理与卸荷裂隙集中发育,形成微切割强剥蚀地貌。海岸带及河谷区则受第四纪冲积、海积作用控制,发育瀉湖、砂质滩涂及河漫滩等低洼地貌组合,两类地貌单元在空间上呈显著差异分布特征。根据本次研究,以地貌单元、地层时代和地层岩性组合作为工程地质分区的主要依据^[23-24],将研究区划分为丘陵区(I区)、山间平原区(II区)、滨海平原区(III区)3个分区(表1,图1)。

表 1 日照市城区工程地质分区综合特征表

工程地质分区	工程地质亚区	工程地质条件
丘陵区 I	微弱切割丘陵 I ₁	该区为基岩区,植被发育,山青水秀,文化底蕴深厚,多为文化保护区
	微切割-强剥蚀丘陵 I ₂	
山间平原区 II	剥蚀-海蚀平原 II ₁	区内多为基岩风化带出露或浅埋区。剥蚀-海蚀平原主要分布于研究区西部及中部,标高 30~70 m。山间河谷平原主要沿河流及两侧分布,呈舌状或条带状,一般标高 < 30 m
	山间河谷平原 II ₂	
滨海平原区 III	冲积-海积平原 III ₁	冲积-海积平原多为现代河流冲积形成。海积平原呈条带状沿海岸带分布,一般宽约 1.3~2.0 km,最宽达 3.0 km,以海水沉积为主,地貌为海积平原,以滨海滩涂为特征
	海积平原 III ₂	

I 区丘陵区主要分布在日照市城区中部,在西部零星分布,山势低缓,以中等强度的构造作用及长期的侵蚀剥蚀地质作用为主,地面坡度大于 25%。主要出露花岗岩、花岗质片麻岩,揭示中生代中等强度差异升降背景下长期风化剥蚀作用。

II 区山间平原区分布于丘陵与滨海平原过度地带,区域分布广泛。地面坡度小于 10%。以准平原



1—海积平原 III₂; 2—冲积-海积平原 III₁; 3—山间河谷平原 II₂; 4—剥蚀-海蚀平原 II₁; 5—微切割-强剥蚀丘陵 I₂; 6—微弱切割丘陵 I₁。

图 1 日照市工程地质分区图

为特征,地形起伏不大,偶有孤山出现,形成中间高向两侧低缓的不对称低丘地形,其中部一般基岩出露,两侧堆积有残坡积及坡洪积物,主要受侵蚀、剥蚀、海蚀作用形成。

III 区滨海平原区主要发育于傅疃河、两城河下游河床两侧及河口三角洲地带,呈条带状或扇状展布。地形特征表现为地面标高普遍低于 30 m,地面平坦,微向海洋倾斜,地面标高 5.0 m 左右。形成过程以现代河流冲积作用为主导。岩性主要为灰黄、灰褐色粉土、粉砂、淤泥质粉质黏土等,富含生物贝壳,以海相沉积为主。在河口地段形成堆积三角洲和滩涂地貌。

1.2 水文地质条件

研究区地下水主要有松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两种类型。其中松散岩类孔隙水主要分布于山间河谷平原及滨海平原地区,沿河流和海岸线呈树枝状或条带状分布,含水层岩性主要为第四系冲积、冲洪积粗砂、砾砂、圆砾层,富水性较好。基岩裂隙水主要分布在以花岗岩、变质岩等为主的基岩出露

区,主要赋存于各期花岗质侵入岩、片麻岩的风化裂隙中,总体富水性较弱,水位埋深一般较浅。但在断裂附近,受构造条件影响,裂隙较为发育,受岩脉或断裂阻水作用,地下水位抬升,可见泉水出露。

1.3 不良地质作用

研究区主要的地质环境问题包括砂土液化、淤泥质软土分布、海水入侵和断裂带分布,不同程度的影响着地下空间资源的开发利用。

根据日照城市地质^[24]钻孔资料,区内粉、细砂等土体呈相对连续的、宽度不等的(总体较窄)条带状,一般厚 $<2.0\sim 10.0$ m,饱水,颗粒均匀、密实程度差。主要分布于两城河口及海岸带,液化层厚 $7.6\sim 15.5$ m,液化等级以中等—严重为主。

软土主要集中在北部两城河冲积平原及入海口区,中部万平口瀉湖区、日照港西港新近回填区,南部傅疃河冲积平原及入海口区,零星分布在崮河、沙墩河等内陆河道及水流平缓处。软土厚度 >5 m,压缩性高,易引发地基沉降。

研究区由于水环境发生变化而引起的环境地质问题突出,主要表现为沿海一带海水入侵发育。造成海水入侵的原因众多,总体可分为自然因素及人为因素,其中人为因素造成的地下水补给来源减少及超采地下水起主导作用。

研究区及其附近发育 NE、NW 和近 EW 向断裂,以 NE 向断裂为主,NW 和近 EW 为次级断裂。NE 向区域断裂主要有日照—青岛断裂、千里岩断裂、山相家—郝戈庄断裂和昌邑—大店断裂。区内推断断裂 19 条,均为非活动断裂,对工程建设影响较小。

2 研究区工程地质特征

2.1 岩土体类型及特征

研究区基岩分布在全区 80% 以上的区域。根据基岩出露情况及其岩性、力学性质、结构特征,出露的岩体可划分为 2 个岩性综合体,即花岗岩综合体、花岗片麻岩综合体。

土体类型为山麓地带坡洪积及残坡积层、山前平原及河谷阶地冲积层和滨海平原冲积海积层 3 种类型。按地质成因类型、岩性、状态,将研究区土体地层划分为:碎石土、砂土、粉土、软土、填土以及残积土。其中碎石土为全新统河流相冲洪积物,分布在第四系冲积土层或砂层之下($f_{ak} = 200 \sim$

300 kPa);砂土为全新统河流相冲洪积物,分布在河流及河流两侧,河流及河流两侧地表均有出露($f_{ak} = 100\sim 250$ kPa);粉土为全新统河流相冲洪积物,零星分布在研究区北部河流两侧,河流两侧地表均有出露($f_{ak} = 160\sim 200$ kPa);软土出露与研究区北部两城河冲积平原及入海口区,中部万平口瀉湖区、日照港西港新近回填区,南部傅疃河冲积平原及入海口区,零星分布在崮河、沙墩河等内陆河道及水流平缓处($f_{ak} = 80\sim 100$ kPa);填土主要有杂填土、素填土,多为砂性土,少量黏性土、建筑灰渣等;残积土多为黏性土,其中砂质黏性土 $f_{ak} = 160\sim 220$ kPa,砾质黏性土 $f_{ak} = 180\sim 280$ kPa。

2.2 岩土体工程特征

根据日照市城市地质调查成果^[25],日照市岩土体的地质时代与第四系年代时序、重大地质事件相应,沉积相、成因类型、沉积特征、岩土特性及物理力学性质指标等划分工程地质层,亚层则主要依据土体的力学性质指标的差异性进行划分。建立工程地质层(组)划分方案,共划分 6 个工程地质层组,44 个工程地质层(图 2)。

人工填土:以素填土、杂填土为主,层厚 $0.5\sim 9.7$ m,承载力特征值(f_{ak})为 $100\sim 130$ kPa,力学性质差异显著。

海陆交互相土体:包括粉砂、细砂、中砂、砾砂及淤泥质粉质黏土,层厚 $0.9\sim 7.3$ m,承载力特征值 $70\sim 260$ kPa,压缩模量(E_s)为 $3.75\sim 7.49$ MPa,局部含软弱夹层。

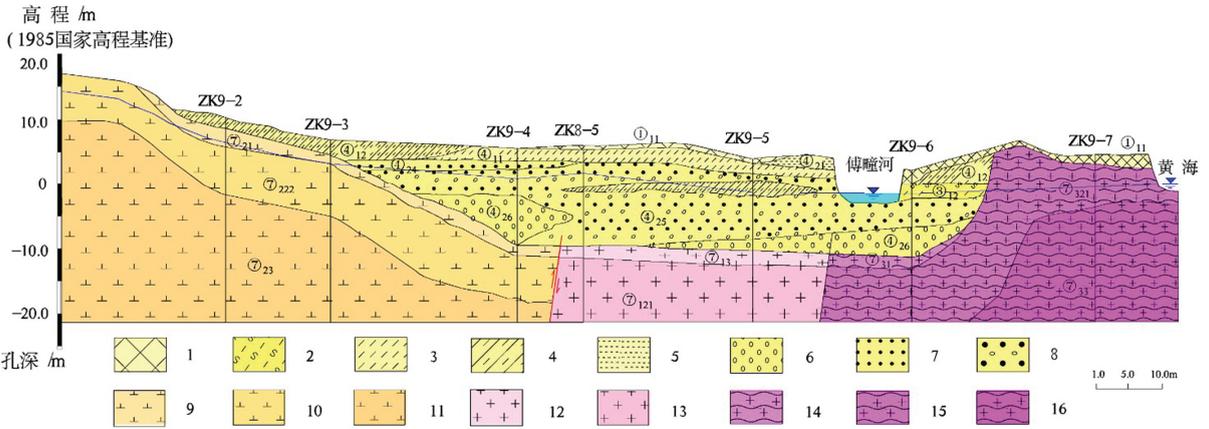
内陆河谷相土体:以粉土、粉质黏土及砂类土为主,层厚 $0.5\sim 13.9$ m,承载力特征值 $130\sim 300$ kPa,压缩模量(E_s)为 $3.29\sim 9.50$ MPa,砂层密度较高。

丘陵坡积土体:主要为粉质黏土,层厚 $0.6\sim 2.7$ m,承载力特征值 $200\sim 260$ kPa,力学性质受风化程度影响显著。

风化残积土体:包括砂质黏性土与砾质黏性土,层厚 $0.6\sim 3.7$ m,承载力特征值 $160\sim 280$ kPa,变形模量(E_0)为 $5\sim 10$ MPa。

基岩岩体:全风化—强风化花岗岩、片麻岩,层厚 $0.5\sim 32.7$ m,承载力特征值 $300\sim 500$ kPa,变形模量(E_0)为 $20\sim 40$ MPa,是理想的桩端持力层。

通过土工试验数据分析统计,总结各主要岩土层的主要物理力学性质详见表 2。



1—素填土①₁₁;2—淤泥质粉质黏土③₁₂;3—粉土④₁₁;4—粉质黏土④₁₂;5—粉砂④₂₁;6—粗砂④₂₄;7—砾砂④₂₅;8—圆砾④₂₆;
9—全风化闪长岩⑦₂₁;10—中风化闪长岩⑦₂₃;11—强风化闪长岩⑦₂₂₂;12—中风化花岗岩⑦₁₃;13—强风化花岗岩⑦₁₂₁;14—全
风化花岗岩片麻岩⑦₃₁;15—强风化花岗岩片麻岩⑦₃₂₁;16—中风化花岗岩片麻岩⑦₃₃。

图 2 日照市典型工程地质剖面图

表 2 典型工程地质层特征及基本物理力学指标

工程地质层	单位	岩土名称	分层编号	层厚/m	标贯击数量/击	承载力特征值 f_{ak} /kPa	E_s, E_0 /MPa
人工填土	人工填土	素填土	① ₁₁	0.5~9.7	5~33	100~130	—
		杂填土	① ₁₂	0.6~9.0	14~21	100~130	—
海陆交互相土体	旭口组	粉砂	② ₁₁	1.6~5.8	6~12	70~130	$E_0 = 15 \sim 20$
		细砂	② ₁₂	1.40	17	140~180	$E_0 = 15 \sim 20$
		中砂	② ₁₃	1.60	9~15	150~200	$E_0 = 25 \sim 30$
		砾砂	② ₁₄	4.50	18~20	250~260	$E_0 = 35 \sim 40$
	潍北组	淤泥质粉质黏土	③ ₁₂	1.9~4.0	1~5	100~120	$E_s = 3.75 \sim 4.48$
		粉质黏土	③ ₁₃	0.9~7.3	6~19	160~260	$E_s = 3.83 \sim 7.49$
		粗砂	③ ₂₁	2.50	23	160~270	$E_0 = 30 \sim 35$
内陆河谷相土体	临沂组	粉土	④ ₁₁	0.8~4.4	6~15	160~200	$E_s = 6.36 \sim 8.19$
		粉质黏土	④ ₁₂	0.9~10.4	5~20	140~220	$E_s = 3.29 \sim 9.50$
		粉砂	④ ₂₁	0.5~3.8	10~19	130~170	$E_0 = 15 \sim 20$
		细砂	④ ₂₂	1.20	13	130~150	$E_0 = 15 \sim 20$
		中砂	④ ₂₃	1.1~13.7	11~17	180~250	$E_0 = 25 \sim 30$
		粗砂	④ ₂₄	0.9~10.0	12~42	200~280	$E_0 = 30 \sim 35$
		砾砂	④ ₂₅	0.5~10.2	11~31	220~280	$E_0 = 35 \sim 40$
		圆砾	④ ₂₆	1.8~13.9	5~51	220~300	$E_0 = 40 \sim 50$
丘陵坡积土体	山前组	粉质黏土	⑤ ₁	0.6~2.7	9~23	200~260	$E_s = 3.49 \sim 8.52$
风化残积土体	残积土	砂质黏性土	⑥ ₁	1.5~3.1	8~30	160~220	$E_0 = 5 \sim 8$
		砾质黏性土	⑥ ₂	0.6~3.7	15~45	180~280	$E_0 = 8 \sim 10$
基岩岩体	侵入岩	全风化	⑦ ₁₁	0.5~11.8	24~53	300	$E_0 = 20 \sim 35$
		强风化(砂状)	⑦ ₁₂₁	1.1~32.7	35~306	500	$E_0 = 35 \sim 40$

3 工程建设适宜性评价方法

3.1 评价方法

通过对研究区工程地质条件与问题的调查和综合分析,评价各因素对城市工程建设适宜性限制的

影响程度,根据《城乡规划工程地质勘察规范》(CJJ57—2012)评价方法采用评价单元多因子分级加权指数和法,通过建立评价指标体系,构建单因素评价图层,再借助 GIS 技术进行综合加权叠加,计算公式(1)为:

$$I_s = \sum_{i=1}^n \omega'_i \left(\sum_{j=1}^m \omega''_{ij} \cdot X_j \right) \quad (1)$$

式中： I_s —评价单元适宜性指数； n —参评一级因子总数； m —隶属于第 i 项一级因子的参评二级因子总数； ω'_i —第 i 项一级因子权重； ω''_{ij} —隶属于第 i 项一级因子下的第 j 项二级因子的权重。 X_j —二级因子计算分值。

将 GIS 网格作为基本评价单元，研究区划分为 1 770 个 500 m×500 m 的单元格，边界不足 500 m×500 m 的网格算 1 个单元格。利用 MapGIS 软件对各评价单元的评价因子按量化标准和权重进行赋值。场地稳定性为主控因素，地形地貌和工程地质为次要因素，水文地质为一般因素，地形地貌计算各评价单元的适宜性指数。

各评价单元的工程建设适宜性可根据评价单元的适宜性指数，按表 3 判定。适宜性指数分为四级，分别为不适宜、适宜性差、较适宜、适宜。

表 3 工程建设适宜性判定标准

评价单元的适宜性指数	工程建设适宜分级
$I_s < 20$	不适宜
$20 \leq I_s < 45$	适宜性差
$45 \leq I_s < 70$	较适宜
$I_s \geq 70$	适宜

3.2 评价指标体系

本次工程建设适宜分区定量评价参考了国内其他城市建筑适宜性评价的标准^[26-29]，结合本次工程地质分层和工程地质分区，最终选取一级因子为：地形地貌、工程地质、水文地质和场地稳定性。二级因子为：地面坡度、地层结构、承载力、桩端持力层、地下水埋深、腐蚀性、富水性、液化土、软土厚度、活动断裂。按照各因子对工程建设适宜行的影响程度对二级评价因子赋分，影响程度越大，分值越小（表 4）。

表 4 工程建设适宜性评价因子分级量化表

一级因子	二级因子	量化标准			
		$1 \leq X_j < 3$	$3 \leq X_j < 6$	$6 \leq X_j < 8$	$8 \leq X_j \leq 10$
地形地貌	地面坡度	$i \geq 50\%$	$25\% \leq i < 50\%$	$10\% < i < 25\%$	$i \leq 10\%$
工程地质	地层结构	岩土多层结构	双层结构	岩土单层结构	基岩区
	承载力/kPa	< 80	80~150	150~200	≥ 200
	桩端持力层/m	$d > 50$	$30 < d \leq 50$	$5 \leq d < 30$	< 5
水文地质	地下水埋深/m	< 1.0	1.0~3.0	3.0~6.0	> 6
	腐蚀性	强	中等	弱	微
	富水性/(m^3/d)	< 100	100~500	500~1000	> 1000
场地稳定性	液化土	严重液化	中等液化	轻微液化	不液化
	软土厚度/m	> 5.0	2.0~5.0	1.0~2.0	0
	活动断裂	强烈全新	微弱、中等	非全新	无

评价因子权重的确定：研究区主要的地质环境问题包括砂土液化、淤泥质软土分布和断裂带分布，不同程度的影响着地下空间资源的开发利用，是日照城区城市发展的主要限制性因素。研究区内液化层岩性为粉砂、细砂、中砂，分为轻微液化和中等液化两个级别，砂土液化中等区主要分布于工作区东北部两城河和海湾地带，面积为 11.48 km^2 ，液化层厚 7.6~15.5 m，液化等级以中等—严重为主。软土分布广泛，集中在两城河冲积平原及入海口区，万平口瀉湖区、日照港西港新近回填区，傅疃河冲积平原及入海口区，软土厚度 > 5 m，压缩性高，易引发地基沉降。

作为主控因子（权重 ≥ 0.50 ），地形地貌和工程地质为次要因素，水文地质为一般因素。权重由层次分析法确定，确定一级评价因子和二级评价因子的权重，一级、二级因子的权重根据《城乡规划工程地质勘察规范》（CJJ57—2012）表 8.3.5 取值（表 2），取值标准见表 5。每项二级因子总权重取 10，其中主控因素权重取值大于等于 5，次要因素取值 2~5，一般因素取值小于 2。各级因子权重取值见表 6。

表 5 评价因子权重取值标准

因子类别	一级因子权重(ω'_i)	二级因子权重(ω''_{ij})
主控因素	$\omega'_i \geq 0.50$	$\omega''_{ij} \geq 5.00$
次要因素	$0.20 \leq \omega'_i < 0.50$	$2.00 \leq \omega''_{ij} < 5.00$
一般因素	$\omega'_i < 0.20$	$\omega''_{ij} < 2.00$

根据地区经验，将包含砂土液化的场地稳定性

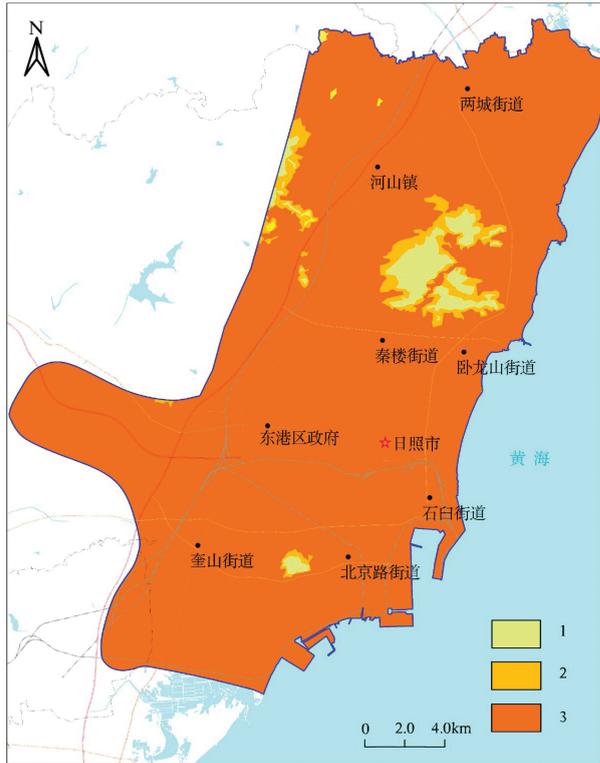
表 6 评价指标体系及权重

一级因子	二级因子	主控因素	次要因素	一般因素
地形地貌	地面坡度	10.00	0.25	
工程地质	地层结构	5.00		
	承载力		0.20 3.00	
	桩端持力层		2.00	
水文地质	地下水埋深	6.00		
	腐蚀性		3.00	0.05
	富水性			1.00
场地稳定性	液化土		4.00	
	软土厚度	0.5 5.00		
	活动断裂			1.00

4 地质影响因素

4.1 地形地貌

区内地面坡度多小于 10%，区域地势平缓。两城河、傅疃河冲积区域、乔家墩子村至瀉湖至灯塔一带，场地地面坡度小，一般小于 15%。丝山、奎山等地面坡度大于 25%。10%~25% 及 25%~50% 分布在丝山、奎山周边区域，河山东侧区域等(图 3)。



1—25% ≤ i < 50% ; 2—10% < i < 25% ; 3—i ≤ 10%。

图 3 研究区地面坡度分级图

4.2 工程地质条件

根据区内岩土体性质对地层结构进行综合赋值。区内岩土多层结构分布在北部两城河流域，南部傅疃河流域，岩土单层、双层结构主要分布在研究区地势平缓处，基岩区主要分布在研究区地势起伏较大、地面坡度变化区域(图 4a)。

根据工程地质层不同，和区内工程地质资料^[1-8]划分工程建设层的地基土承载力特征值为 80~150 kPa, 150~200 kPa 和 ≥200 kPa 3 个区域(图 4b)，承载力 80~150 kPa 主要分布在两城河、傅疃河及其支流冲积区域以其东部瀉湖、西南部港口区域，承载力 150~200 kPa 主要分布在丘陵缓坡区，承载力大于 200 kPa 主要分布在基岩出露区。

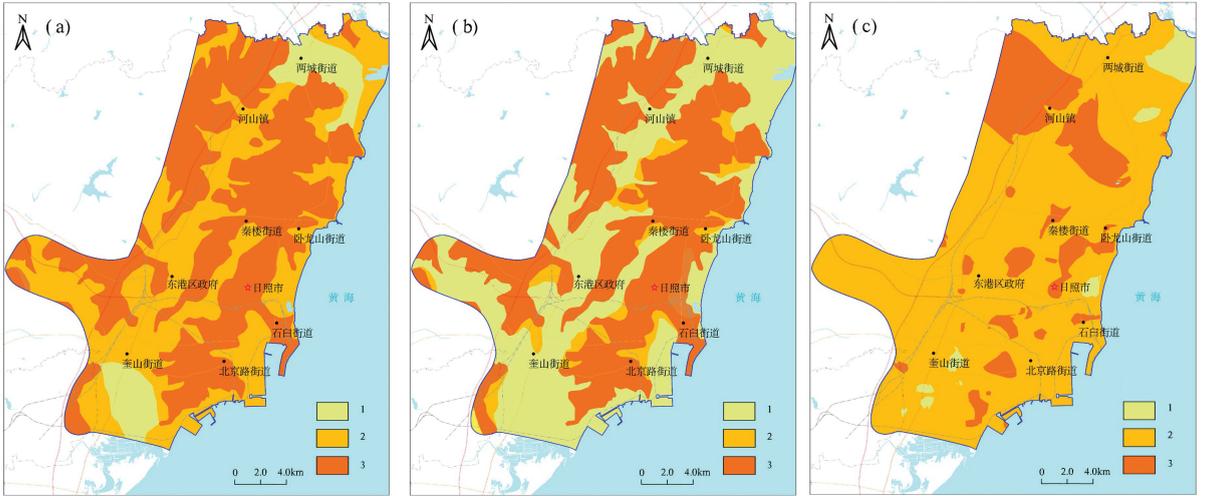
研究区桩端持力层 30~50 m 主要分布在北部两城河入海口区域，中部瀉湖，南部傅疃村、工业邻里中心区域，桩端持力层小于 5 m 主要分布在丝山、奎山周边区域、河山东侧区域等基岩浅埋区(图 4c)。

4.3 水文地质条件

地下水位埋深及其动态变化是影响工程建设适宜性的重要因素。当地下水水位在地基基础底面以上的某一范围发生变化时，地下水位的下降会增加基础的自重，上升时则可能导致基础上浮，使建筑物失稳。区内地下水埋深大于 6 m 分布在西灶子村、南岭村一带，主要受养殖区抽取地下水影响，3~6 m 主要分布在北部两城河入海口区域，研究区南部丘陵区，小于 1 m 主要分布在北部两城镇东西两侧区域，1~3 m 分布在研究区广大区域(图 5a)。

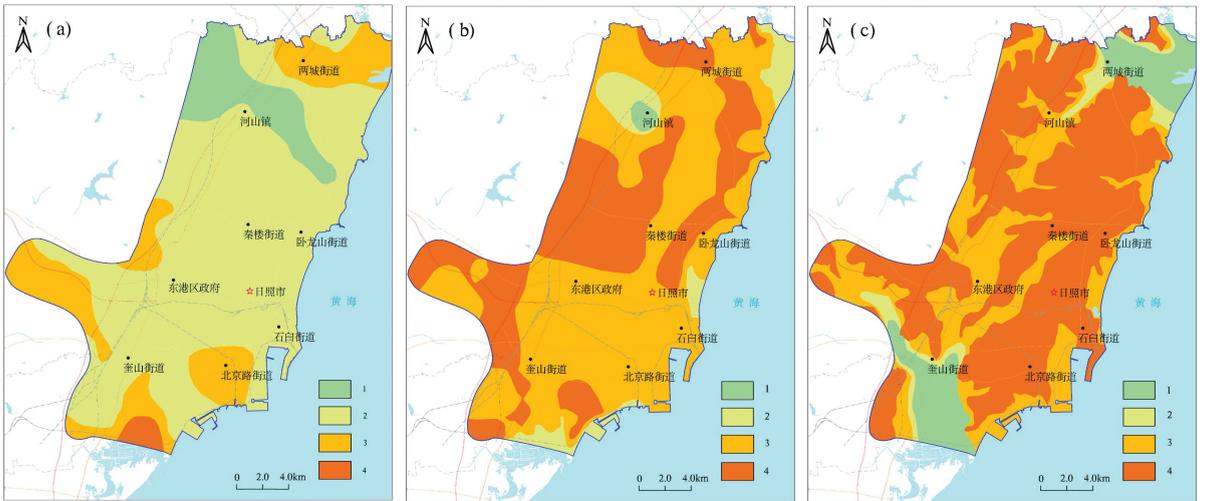
地下水中 SO₄²⁻、Mg²⁺、Cl⁻、侵蚀性 CO₂ 等指标往往对钢筋混凝土结构具有腐蚀性，影响工程结构的安全性和耐久性，腐蚀性越强，对地基基础的稳定性越不利。强腐蚀性仅在河山小镇小洼村一处采样点发现，为侵蚀性 CO₂ 引起，中腐蚀性主要分布在两城河入海口、万平口瀉湖周边、傅疃河入海口等沿海区域，受海水入侵引起 Cl⁻ 过高，其他区域为微—弱腐蚀性(图 5b)。

研究区富水性大于 1 000 m³/d 主要分布在北部两城河、南部傅疃河流域，500~1 000 m³/d 零星分布在研究区，100~500 m³/d。主要分布在两城河、傅疃河上游冲积平原区，小于 100 m³/d 分布在研究区广大丘陵地区(图 5c)。



a—地层结构分区图(1—岩土多层结构;2—岩土单层、双层结构;3—基岩区);b—承载力分区图(1— $80\text{kPa} \leq f_{ak} < 150\text{kPa}$;2— $150\text{kPa} \leq f_{ak} < 200\text{kPa}$;3— $f_{ak} \geq 200\text{kPa}$);c—桩端持力层分区图(1— $30\text{ m} < d \leq 50\text{ m}$;2— $5\text{ m} \leq d \leq 30\text{ m}$;3— $d < 5\text{ m}$)。

图 4 研究区工程地质影响因子分区图



a—地下水埋深分区图(1— $< 1.0\text{ m}$;2— $1.0 \sim 3.0\text{ m}$;3— $3.0 \sim 6.0\text{ m}$;4— $> 6\text{ m}$);b—地下水腐蚀性分区图(1—强腐蚀;2—中等腐蚀;3—弱腐蚀;4—微腐蚀);c—地下水富水性分区图(1— $> 1000\text{ m}^3/\text{d}$;2— $500 \sim 1000\text{ m}^3/\text{d}$;3— $100 \sim 500\text{ m}^3/\text{d}$;4— $< 100\text{ m}^3/\text{d}$)。

图 5 研究区水文地质影响因子分区图

4.4 场地稳定性

研究区主要的地质环境问题包括砂土液化、淤泥质软土分布、海水入侵和断裂带分布,不同程度的影响着地下空间资源的开发利用。

研究区砂土液化严重区主要分布在两城河河口,中等区主要分布于工作区东北部两城河和海湾地带,面积为 11.48 km^2 。该地段液化砂层沉积范围广,厚度大,厚度为 $7.60 \sim 15.5\text{ m}$,液化指数 I_{LE} 为 $11.74 \sim 14.5$ 。轻微区主要分布于工作区东南部石臼港附近海岸线一带,面积为 9.92 km^2 。该地段第

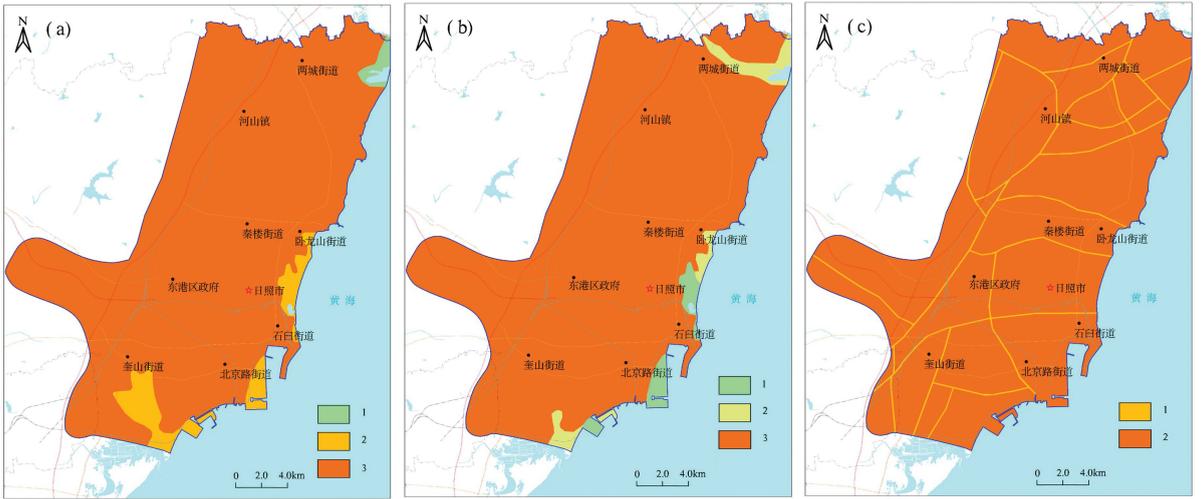
四纪厚度较薄,平均厚度 $< 8.0\text{ m}$,液化层多分布于表层,平均厚度 $< 2.5\text{ m}$,液化指数 I_{LE} 为 $0.31 \sim 4.58$ 。其他地段均为非液化区(图 6a)。

区内软土厚度大于 5 m 区主要分布在万平口瀉湖区、日照港西港新近回填区、南部电厂粉煤灰堆放区。 $2 \sim 5\text{ m}$ 区主要分布在北部两城河冲积平原及入海口区,中部山海天东部,南部傅疃河冲积平原及入海口(图 6b)。

根据日照市城市地质调查^[25]项目 1:5 万重力测量,在研究区内推断断裂 19 条,均为非活动断裂。

断裂影响大区分布在断裂两侧,日照-青岛断裂外扩 50 m 的范围,其他小断裂外扩 10 m 的范围,面积 3.61 km²,占总面积的 0.94%。断裂影响中等区分布在差区外围,为日照-青岛断裂外扩 250 m 的范围,其他小断裂外扩 50 m 的范围,面积 11.67 km²,

占总面积的 3.04%。断裂影响较小区分布在中等区外围,为日照-青岛断裂外扩 500 m 的范围,其他小断裂外扩 100 m 的范围,面积 12.48 km²,占总面积的 3.25%(图 6c)。



a—液化土分区图(1—严重液化;2—中等、轻微液化;3—不液化);b—软土厚度分区图(1—>5.0m;2—2.0~5.0m;3—0m);c—活动断裂分区图(1—非全新活动断裂;2—无活动断裂)。

图 6 研究区场地稳定型影响因子分区图

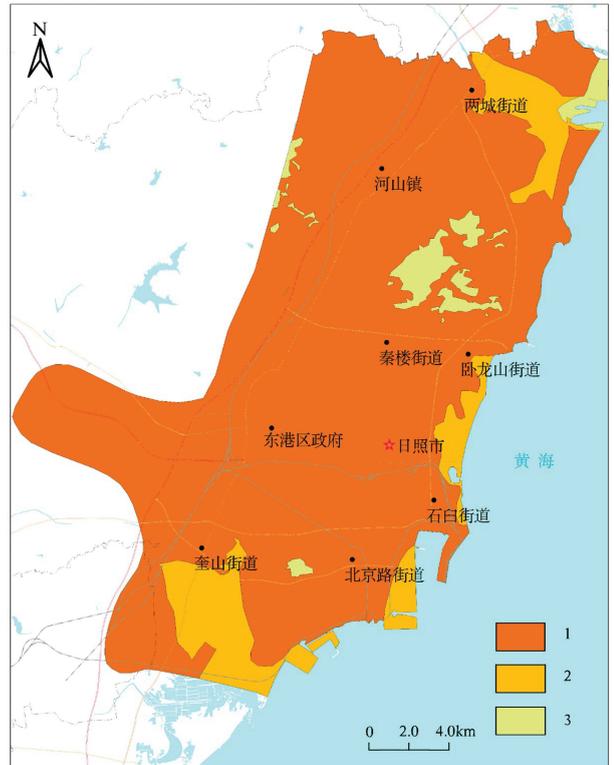
5 评价结果

根据工程建设适宜性评价所确定的研究区各影响因子适宜性评价分级加权结果,日照市城区工程建设适宜性可划分为适宜区、较适宜区和适宜差区 3 类,无不适宜区(表 7、图 7)。

表 7 场地工程建设适宜性分区评价结果

适宜性分区	各类区所占面积/km ²	各类区所占面积/%
适宜区	368.52	83.94
较适宜区	54.32	12.37
适宜性差区	16.16	3.68

其中城市建设的适宜性差区主要分布于日照两城河入海口,现为滩涂养殖区,其下部为淤泥质软土区、砂土液化严重区,为抗震不利地段,地基条件和施工条件较差,地基处理及基础工程费用较高,建设成本较高。适宜性差区占研究区 3.68%, 16.16 km²。同时在丝山、奎山等地面坡度大于 25% 的区域,植被发育,且多为风景区,不宜改变其自然生态,若进行工程建设不仅会破坏自然环境,而且场地平整较困难,施工条件较差,工程建设诱发次生地质灾害的机率较大,需要采取较大规模工程防护措



1—适宜区;2—较适宜区;3—适宜差区。

图 7 研究区适宜性分区图

施,建设成本较高。

较适宜区主要分布在两城河下游红旗村、张王庄村、安家村、东河南村、肖家村、吴家台村北一带,乔家墩子村至瀉湖至灯塔一带,日照港西港区、黄海中心渔港、电厂煤灰场,傅疃河下游牟家小庄、后两河村、许家园、夹仓、北王家村、南岭村一带,该区场地基本稳定,场地地面坡度小,一般小于 15%,平整较简单。较适宜区占研究区 12.37%,54.32 km²,岩土种类较多,第四系覆盖层较厚,该区地基条件和施工条件一般,基础工程费用较低,建设成本较低。

适宜区分布范围较广,主要为日照主城区以及各乡镇街道村庄驻地,场地地面坡度小,一般小于 10%,平整简单。适宜区占研究区 83.94%,368.52 km²,研究区适宜性差区和较适宜区以外广大区域,岩土种类较单一,多为基岩浅埋区,地基条件和施工条件优良,基础工程费用低廉,工程建设不会诱发次生地质灾害,建设成本低廉,为城市建设的主要区域。

6 结论

(1)建立岩土体划分标准,将日照市城区工程地质层(组)划分为 6 个工程地质层组,44 个工程地质层,并进行了统一编号命名。这一分层体系为城市工程建设提供了详细的工程地质依据,推进了日照市工程地质层标准化工作。

(2)根据工程建设适宜分区评价,影响日照市城区工程建设适宜性的一级影响因子分别为地形地貌、工程地质、水文地质和场地稳定性,二级因子分别为地面坡度、地层结构、承载力、桩端持力层、地下水埋深、腐蚀性、富水性、液化土、软土厚度、活动断裂。

(3)根据影响因子适宜性评价,研究区划分为适宜性差区、较适宜区和适宜区,适宜区和较适宜区的分布面积最为广泛,是城市建设的主要区域。

参考文献:

[1] 朱伟,李玲,杨鹏,等.山东省日照市蓝色经济区工程建设适宜性评价[J].地球学报,2024,45(1):112-122.

[2] 杨鹏,袁杰,秦鹏.日照市地下水动态特征及演化规律[J].地质学报,2019,93(增刊1):100-110.

[3] GUO B, YANG P, ZHOU Y, et al. Numerical simulation of carbon tetrachloride pollution - traceability in groundwater

system of an industrial city[J]. Sustainability, 2022, 14(23): 16113.

- [4] 郭本力,杨鹏,袁杰.日照市松柏地热井水化学特征及地热成因分析[J].山东科技大学学报(自然科学版),2022,41(6):15-23.
- [5] 周立国,郭本力.综合地球物理方法在煤矿采空区中的应用效果探析[J].山东国土资源,2023,39(10):56-61.
- [6] GUO B, ZHANG S, LIU K, et al. Prediction of groundwater level under the influence of groundwater exploitation using a data-driven method with the combination of time series analysis and long short-term memory: a case study of a coastal aquifer in Rizhao City, Northern China[J]. Frontiers in Environmental Science, 2023, 11: 1253949.
- [7] 杨鹏,张寿川,郭本力,等.山东日照地区不同类型含水层地下水位多年动态变化特征及其影响因素[J].吉林大学学报(地球科学版),2024(3):967-979.
- [8] 秦泗伟,刘荔.日照市地质灾害现状及防治建议[J].山东国土资源,2020,36(7):64-69.
- [9] 张婉,张玄杰,佟晶,等.日照连云港地区重磁异常特征及其构造意义[J].地球科学,2018,43(12):4490-4497.
- [10] 秦泗伟,王光栋.日照市西赵村崩塌地质灾害评估及治理方法[J].山东国土资源,2014,30(12):51-53.
- [11] 侯新文.环胶州湾地区城市地质及工程建设适宜性研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2011.
- [12] 王文韬,郭明伟.商丘市规划区工程地质分区及工程建设适宜性评价[J].矿产勘查,2022,13(1):130-138.
- [13] 余敏,赵健.长江铜陵段工程地质条件与工程建设适宜性评价[J].工程与建设,2020,34(4):697-699.
- [14] 彭苗枝,秦先燕,何苗.影响黄山市中心城区工程建设的地质因素及工程建设适宜性评价[J].华东地质,2019,40(1):67-73.
- [15] 王根龙,董英,曾庆铭,等.基于 GIS 的西咸新区城市建设用地适宜性评价[C]//2015 年全国工程地质学术年会论文集.北京:地质出版社,2015:7.
- [16] 俞跃平,唐柏安.绍兴中心城区工程地质特征及场地工程建设适宜性评价[J].水文地质工程地质,2011,38(2):84-88.
- [17] 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.
- [18] 刘宗明,刘连刚,郑桂森,等.北京城市地质条件适宜性评价体系研究[J].城市地质,2022,17(2):164-174.
- [19] 董永智,魏勇齐,霍瑜剑.城市建设用地地质环境适宜性评价[J].能源与环保,2021,43(6):35-39.
- [20] 苏惠敏,张学宝,薛亮.基于 GIS 的西安市工程地质环境评价研究[J].干旱区资源与环境,2006,20(3):43-47.
- [21] 梁艳平,刘兴权,刘越,等.基于 GIS 的城市总体规划用地适宜性评价探讨[J].地质与勘探,2001,37(3):64-67.
- [22] 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.
- [23] 程维明,周成虎,李炳元,等.中国地貌区划理论与分区体系研究[J].地理学报,2019,74(5):839-856.

- [24] 范士凯. 土体工程地质的宏观控制论[J]. 资源环境与工程, 2006(增刊 1): 585-594.
- [25] 山东省地质矿产勘查开发局第八地质大队(山东省第八地质矿产勘查院). 日照市城市地质调查成果报告[R]. 2023.
- [26] 中化地质矿山总局山东地质勘查院. 山东省泰安市城区城市地质调查报告(城市地下空间地质调查评价部分)[R]. 2022.
- [27] 王辉, 崔可锐. 宣城工程地质分区初步研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2015, 38(3): 383-386.
- [28] 卜令方, 金忠良, 汪明元. 杭州市平原地区的工程地质分区[J]. 科技通报, 2018, 34(4): 62-66.
- [29] 金艳平. 浅析珠江三角洲地区工程地质分区评价及规划建议[J]. 城市勘测, 2020(1): 186-188.

Engineering Geological Characteristics and Construction Suitability Evaluation in Urban Area in Rizhao City

YUAN Wenjie, WANG Yingnan, GUO Benli, LI Xiaodong, FENG Qiyuan, ZHANG Xia, WEI Tongzheng, LV Youcheng, GAO Mingyu, YANG Peng

(1.No.8 Geological Team of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources(No.8 Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Shandong Province), Key Laboratory of Nonferrous Metal Ore Exploration and Resource Evaluation of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Rizhao 276826, China)

Abstract: Accompanying with rapid development of urban economy and further acceleration of urbanization, higher demands have been placed on urban engineering geological work. Taking urban area of Rizhao city as the research subject, by using multi-factor hierarchical weighted index summation method, a suitability evaluation of the engineering construction zoning in the urban area has been conducted. The urban engineering geological layers (groups) in Rizhao city are divided into 7 engineering geological layer groups and 44 engineering geological layers. Based on quantitative evaluation of engineering construction suitability zoning, selecting topography, engineering geology, hydrogeology, and site stability as first level evaluation factor, selecting ground slope, stratum structure, bearing capacity, pile end-bearing layer, groundwater depth, corrosivity, water abundance, liquefiable soil, soft soil thickness, and active faults as second evaluation factors, the study area is classified into suitable zones, moderately suitable zones, and poorly suitable zones. The suitable and moderately suitable zones are the most widely distributed. They can be regarded as main areas for urban construction. The above evaluation results have significant theoretical and practical guiding importance for serving urban planning layout, construction development, and engineering site selection in Rizhao city.

Key words: Engineering geological characteristics; unit multi-factor graded weighted index summation method; engineering construction suitability evaluation; urban areas of Rizhao city