

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.03.012

引用格式:陈泉霖,葛晓明,陈文林,等. 基于城市工程建设的福建莆田城区地质环境承载力评价[J]. 华东地质, 2020, 41(3): 295-304.

# 基于城市工程建设的福建莆田城区地质环境承载力评价

陈泉霖<sup>1</sup>, 葛晓明<sup>2</sup>, 陈文林<sup>2</sup>, 刘鑫尧<sup>2</sup>, 吴敏<sup>2</sup>

(1.福建省煤田地质局,福州 350005;2.福建省197地质大队,泉州 362000)

**摘要:** 为了研究福建莆田城区人类工程建设活动与地质环境承载力之间的关系,选取软土埋深、软土厚度、砂土液化、卵石及砂卵石层埋深、基岩埋深、地下水咸水与淡水分界、地下水腐蚀性、地震(场地类别)和推测断层9个评价因子,以500 m×500 m网格为评价单元,利用GIS软件和模糊数学评价方法评价福建莆田城区地质环境承载力。福建莆田城区地质环境承载力属于中等—高的区域占全区面积的90.18%,地质环境承载力属于低的区域占全区面积的9.82%,主要位于木兰溪入海口附近。地质环境承载力低的区域,不适合规划、布置大型建筑。建议对已完成的重大工程实时监测,掌握工程动态,避免因地质环境问题造成损失。

**关键词:** 城市工程建设;地质环境承载力;模糊数学评价方法;福建莆田

**中图分类号:** P642

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2020)03-295-10

城市地质环境是城市发展的基础,人类工程活动必须运行在地质环境承受的范围内才能保证城市建设的可持续发展<sup>[1-5]</sup>。在城市建设规划中,应根据城市地质环境条件,科学、合理地规划城市发展方向和规模,充分发挥地质环境效应和潜能,使城市地质环境与城市经济结构及发展相协调<sup>[6-9]</sup>。城市地质环境承载力指在特定时空条件和科技发展水平下,地质环境允许人类改造的极限值<sup>[10-11]</sup>。如何解决城市发展引发的地质环境问题,在城市规划中如何规避地质环境限量,确定合理的城市建设强度是当前城市规划建设的重点。进行定量的城市地质环境承载力综合评价可进一步把握城市发展中的地质环境限制性因素,了解城市地质环境阈值,为城市规划提供地质依据,对城市发展中规避地质环境限量具有重要意义。目前,城市地质环境承载力评价多以流域、图幅等大区域研究居多<sup>[12-13]</sup>,对城市某一城区地质环境承载力评价的报

道相对较少。

地质环境承载力包含地面建筑、地下空间和地下水环境。基于城市工程建设的地质环境承载力是维持城市地质环境自身结构有序工作的表征,总体以不发生质变为目的<sup>[14-15]</sup>。基于城市工程建设的地质环境承载力评价是针对支持城市工程建设特性而言的,主要反映人类生产、生活对地质环境的依赖性。

随着科学技术水平和社会生产力的快速发展,人类活动对地质环境开发、利用、改造的规模、强度及速度将越来越大,城市地质环境面临着巨大压力,探讨地质环境对人类工程活动影响的最大可支持能力是非常有必要的。本文以“福建省莆田市城市地质调查”项目实际成果资料为基础,以莆田城区为例进行基于城市工程建设的地质环境承载力评价研究,为福建莆田城区可持续发展、规划布局建设及重大工程选址提供参考。

\* 收稿日期:2019-05-28 修订日期:2020-03-11 责任编辑:谭桂丽

**基金项目:** 中国地质调查局“福建省莆田市城市地质调查(编号:水[2014]02-012-010)”和福建省广义地质调查“福建省莆田市木兰溪两岸城市规划区工程地质调查与评价(编号:201410、201502)”项目联合资助。

**第一作者简介:** 陈泉霖,1964年生,男,教授级高级工程师,主要从事地质勘查与管理工作。

### 1 研究区概况

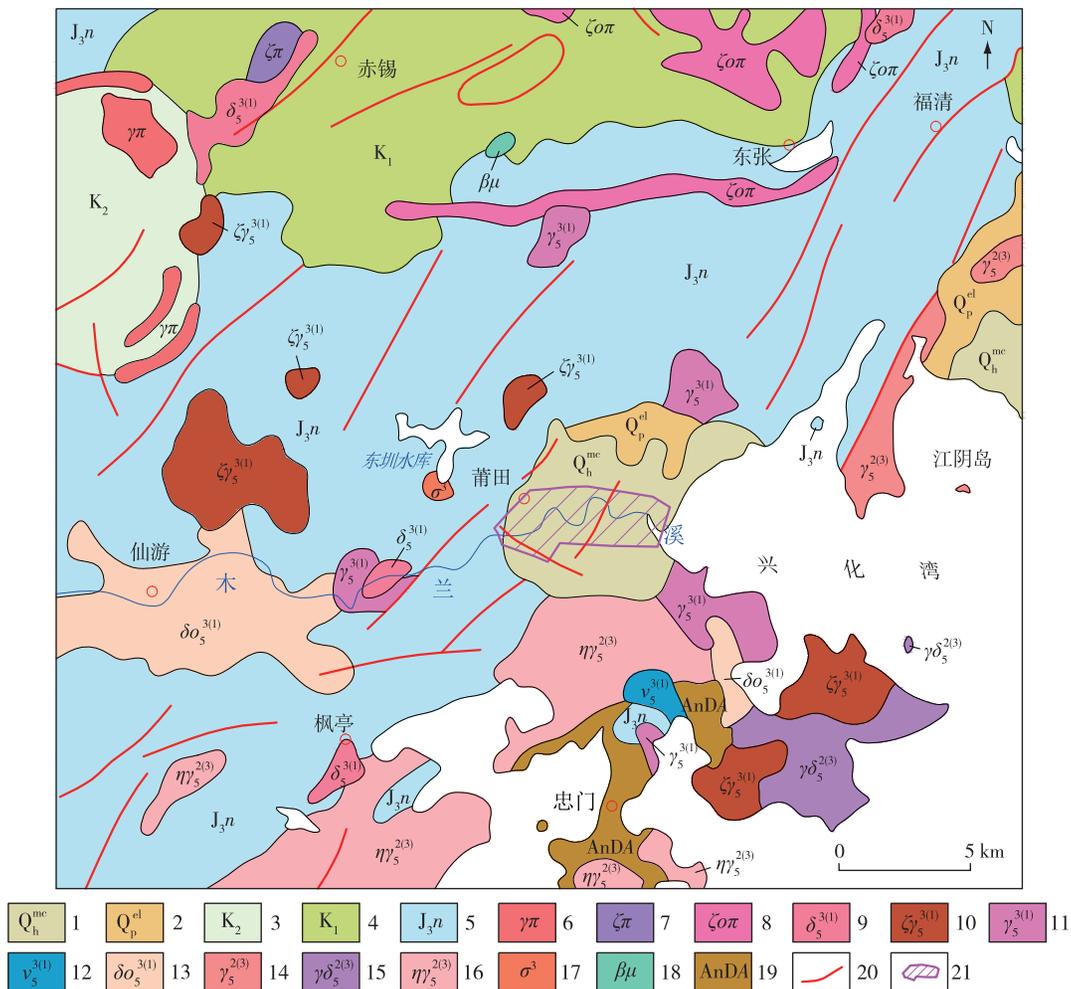
福建莆田城区(莆田城市地质调查重点区)总面积约 80 km<sup>2</sup>,行政区划含城厢区霞林街道、凤凰山街道,荔城区镇海街道、拱辰街道、新度镇、黄石镇,涵江区白塘镇、三江口镇及木兰溪两侧大部分区域。

研究区主要地层为白垩纪石帽山群、侏罗纪南园组、前奥陶纪澳角(岩)群及第四系。侏罗纪南园组主要分布在研究区西部壶公山及莆田平原北部山区;前奥陶纪澳角(岩)群出露在研究区南部山亭乡,是区内最老的地层。第四系主要为海陆相交互沉积,岩性主要为粉质黏土、淤泥及淤泥质土、砂。

研究区北部有砂质黏土类残积层分布。

侵入岩广泛分布于莆田南部、笏石半岛、鹭峰山及平海湾后海附近大柑山,岩浆-侵入活动受区域构造制约,具多个构造-岩浆旋回活动特征。构造主要由一系列 NE 向断裂破碎带、变质带、火山喷发带、岩体侵入带、岩脉及片麻理构成。长乐—南澳断裂带位于研究区南东部沿海,陂头—西天尾高角度推测正断层在研究区北西部及外围延伸而过,东郊—涵江高角度推测正断层贯穿研究区中部,沙县—南日岛断裂带梧桐—长基高角度推测正断层位于研究区西南部霞林街道和新度镇(图 1)。

研究区位于莆田平原,平均坡度 < 2%,处于地质灾害不易发区,下部淤泥及淤泥质土等软土分布



- 1.海陆交互层粉质黏土;2.残积性砂质黏土;3.晚白垩世熔结凝灰岩、钾长流纹岩;4.早白垩世英安岩、凝灰质砂岩、粉砂岩;
- 5.晚侏罗世南园组;6.花岗斑岩;7.正长斑岩;8.石英正长斑岩;9.闪长岩;10.晶洞钾长花岗岩;11.细粒花岗岩;12.辉长岩;
- 13.石英闪长岩;14.黑云母花岗岩;15.花岗闪长岩;16.碎裂二长花岗岩;17.片麻状橄榄岩;18.辉绿玢岩;19.变粒岩、浅粒岩;
- 20.区域实(推)测断层;21.研究区

图 1 研究区地质简图(据福建省地质图修编)

Fig. 1 Geological sketch map of the study area (Modified from the Geological Map of Fujian Province)

广且厚,局部地区存在地面沉降,多因早期建筑地基未有效处理所致。

## 2 水文及工程地质特征

### 2.1 水文地质特征

研究区位于莆田平原,沉积了一套粗细叠置、厚薄不一的第四纪松散堆积物,构成海积平原,平原后缘与丘陵台地相连,含孔隙潜水。山前地带主要为垂直补给和侧向补给,即大气降水和基岩裂隙水补给。滨海地区由于上部黏土、淤泥或淤泥质土为相对隔水层岩组,不利于地表水渗入,透水性差、富水性弱,以侧向补给为主,大气降水和基岩裂隙水通过山前松散堆积物渗入地下补给平原区下部含水层,主要以地下径流方式向木兰溪侧向排泄或直接向海域排泄。

研究区与兴化湾地区的地下水具有垂直分带性:表层第四纪孔隙含水层为淡水,中、下部第四纪孔隙含水层为微咸水、咸水,下部风化基岩孔隙裂隙层地下水的分布特征为“上淡、中咸、下淡”,近岸区域地下水的分布特征为“上咸、中咸、下淡、底咸”。

### 2.2 工程地质特征

研究区大部分土层上部为海相沉积,下部为河相沉积,沉积物自上而下由人工填土、粉质黏土(黏土)、淤泥、砂、卵石等组成,第四纪沉积物厚度为 10~30 m。淤泥、淤泥质土等软土天然含水量高、孔隙比大、压缩性强,承载力低。强度低,搅动后易产生流塑状,在剪应力作用下,土体产生缓慢而长

期的剪切变形,对地基的沉降影响较大,对堤岸、码头、地基稳定性不利。砂土层为轻微、中等液化,主要为轻微液化。一般情况下,不宜将未经处理的液化土层作为天然地基持力层。

## 3 研究方法

### 3.1 评价方法

模糊数学是研究和处理模糊性现象的一种数学理论和方法,已在医学、气象、心理、经济管理、石油、地质、环境等方面取得了相关研究成果<sup>[16]</sup>。模糊数学用精确的数学手段对现实世界中存在的模糊概念和模糊现象进行描述、建模,以达到对其恰当处理的目的<sup>[17]</sup>。

采用模糊数学评价方法,数学模型采用综合指数评价模型,按一定标准赋予评价区域(评价单元)中地质环境要素的不同评价因子一定的评价值,再加权求和<sup>[18-19]</sup>,其数学模型为

$$Z_{承载力} = \sum_{i=1}^m a_i \cdot X_i,$$

式中: $Z_{承载力}$ 为评价单元地质环境承载力综合指数; $X_i$ 为评价因子性状数据; $a_i$ 为 $X_i$ 评价因子权重; $m$ 为评价因子总数。

### 3.2 评价指标体系构建

采用 500 m×500 m(单元格面积为 0.25 km<sup>2</sup>)的正方形网格对研究区进行划分,共划分评价单元 361 个(图 2)。

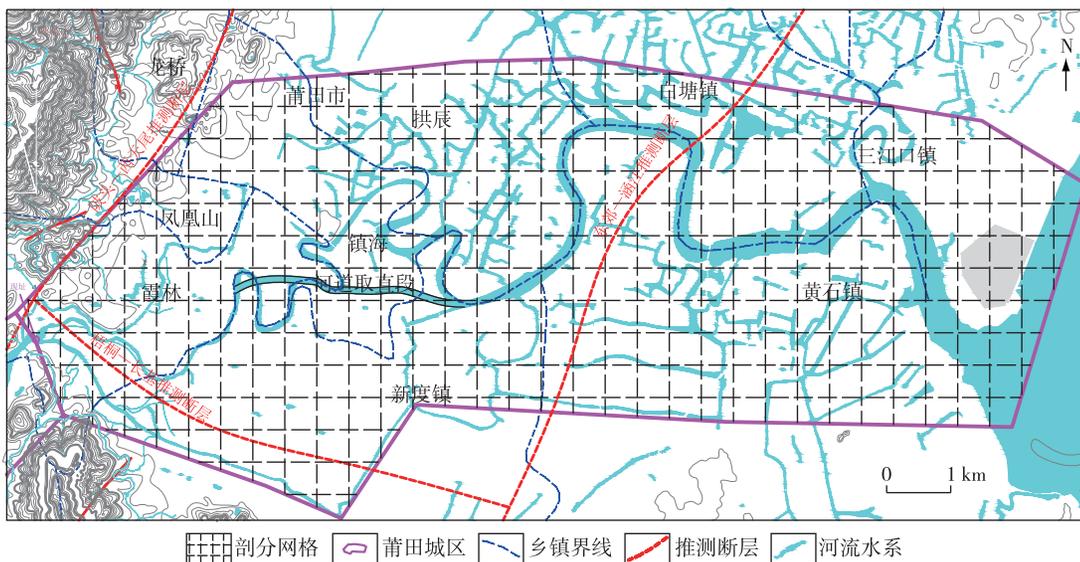


图 2 研究区网格剖分图

Fig. 2 Mesh generation map of the study area

研究区位于莆田平原,地形地貌均一,地下水埋深多数为5 m以内,对城市工程建设地下空间部分不具有指向性。针对福建莆田城区地质环境特点和存在的主要地质环境问题,选取软土埋深、软土厚度、砂土液化、卵石及砂卵石层埋深、基岩埋深、地下水咸水与淡水分界、地下水腐蚀性、地震(场地类别)和推断层9个评价因子,采用专家定权法对评价因子进行定权(表1)。

表1 福建莆田城区评价因子划分及权重  
Table 1 Assessment factor division and weights of the urban area in Putian City, Fujian Province

评价因子	区间	评分标准	权重
软土埋深/m	<2	2	0.15
	2~5	3	
	>5	6	
	无	10	
软土厚度/m	>10	6	0.05
	<10	9	
砂土液化	有	3	0.10
	无	10	
卵石及砂卵石层埋深/m	5~10	2	0.10
	10~15	6	
	>15	8	
	无	10	
基岩埋深/m	>30	2	0.20
	20~30	4	
	10~20	6	
	<10	8	
地下水咸水与淡水分界	咸水区	6	0.05
	淡水区	9	
地下水腐蚀性	强腐蚀	3	0.20
	中腐蚀	6	
	弱腐蚀	8	
	无腐蚀	10	
地震(场地类别)	地震烈度Ⅶ度区(Ⅲ)	3	0.10
	地震烈度Ⅶ度区(Ⅱ)	5	
推断层	两侧200 m以内	3	0.05
	两侧200 m以外	10	

注:液化砂土分布无规律,仅作有、无判断;地下水腐蚀性按干湿交替工况下进行因子区间分类;区域地壳稳定性按钻孔波速测试成果进行场地类别因子划分。

根据计算结果,选择模糊子集计算公式,参照“福建省莆田市城市环境地质调查评价报告”<sup>[20-21]</sup>中采用的标准区间,确定等级分区区间。根据地质环境承载力综合指数,将地质环境承载力分为四级(表2)。

表2 基于城市工程建设的地质环境承载力分区分级表  
Table 2 Zoning and grading of the geological environment carrying capacity based on urban engineering construction

综合评价因子	分级
$Z_{承载力} > 7.0$	高
$Z_{承载力} = 6.4 \sim 7.0$	较高
$Z_{承载力} = 5.0 \sim 6.4$	中等
$Z_{承载力} < 5.0$	低

## 4 结果及讨论

### 4.1 单因子评价

#### 4.1.1 软土埋深

软土埋深<2 m的区域分布面积为24.29 km<sup>2</sup>,占软土分布区总面积的31.16%。主要分布在莆田市胜利街与八二一大街之间,拱辰街道莘郊、濠浦—新度镇灰壁、海尾—黄石镇清前、华堤、海滨一线及三江口镇哆头沿海一线。

软土埋深2~5 m的区域分布较广,面积为47.52 km<sup>2</sup>,占软土分布区总面积的60.97%。主要分布于霞林街道、镇海街道、拱辰街道辰门兜—城郊中学一线,新度镇溪东—梧塘—洋埕—后湖一线,白塘镇陈桥—黄石镇西利、西洪、桥兜—三江口美尾、新浦—黄石遮浪及东甲一带。

软土埋深>5 m的区域分布面积为6.13 km<sup>2</sup>,占软土分布区总面积的7.87%。主要分布于霞林街道陂头、铁灶、肖厝、下黄—新度镇沟西、沟东、渠桥一线(图3)。

#### 4.1.2 软土厚度

软土最厚区为三江口镇哆头盐场附近,厚22.7 m。整体上看,莆田重点区自西向东软土层逐渐增厚,反映该区海进、海退软土层(淤泥与淤泥质土)沉积的自然规律(图4)。

#### 4.1.3 砂土液化及场地类别

根据施工钻孔及相关资料<sup>[22]</sup>,福建莆田城区

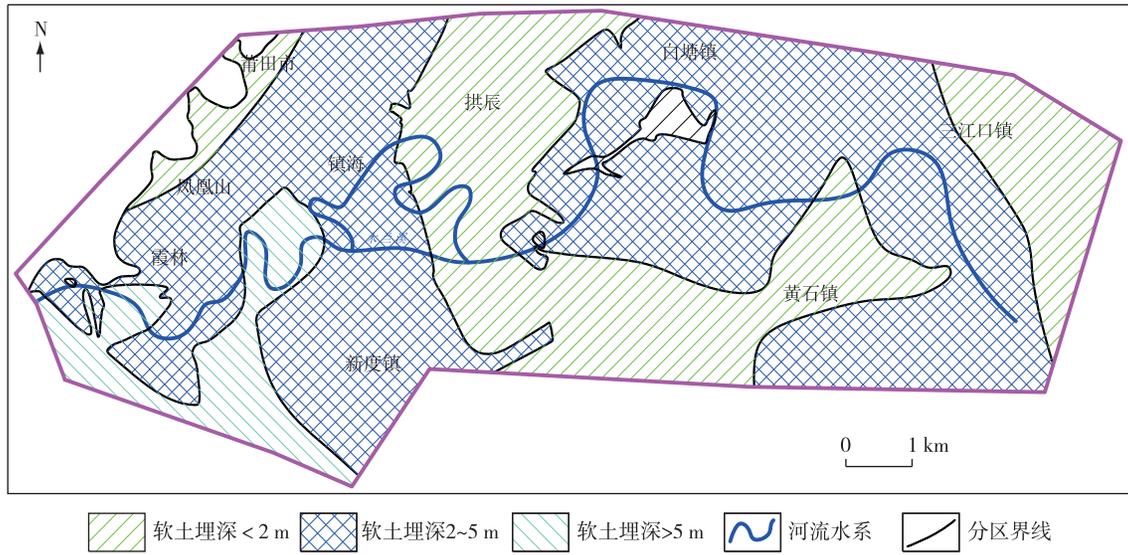


图 3 软土埋深分区图

Fig. 3 Zoning map of soft soil burial depth

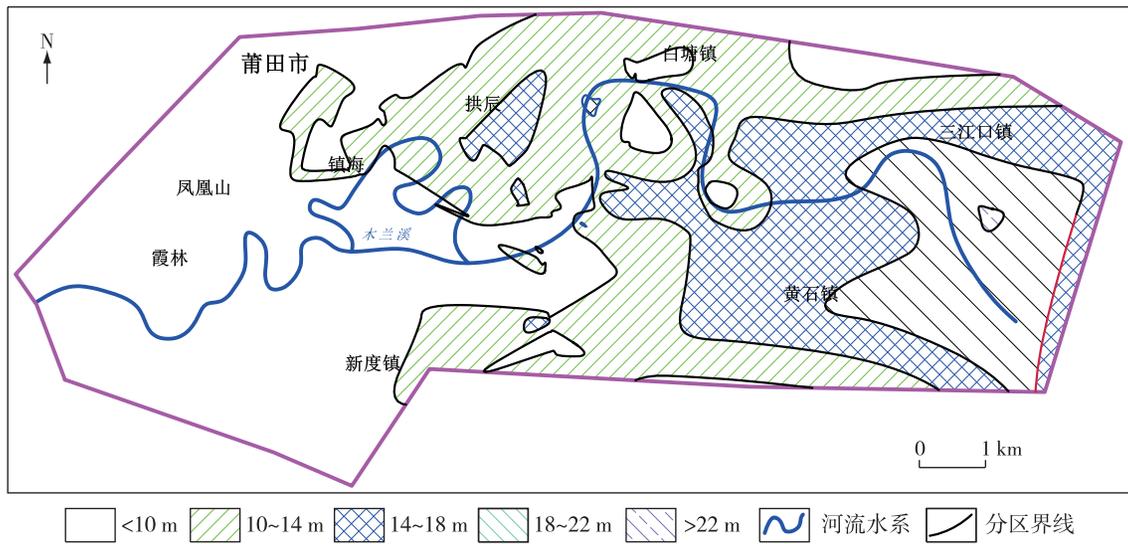


图 4 软土厚度分区图

Fig. 4 Zoning map of soft soil thickness

(重点区)液化砂土分布无规律性,仅在木兰溪两岸饱和砂土分布较多,主要呈散点状、斑状不均匀分布,液化等级为轻微液化—中等液化,主要为轻微液化。自莆田市区辰门兜—凤凰山街道—霞林街道—新度镇西部沿线以西木兰溪上游地区均为 II 类场地,沿线以东为 III 类场地(图 5)。

#### 4.1.4 卵石及砂卵石层埋深

该层为主要含水层,厚度大、透水性强、连通性好、水量丰富,卵石层渗透系数为 0.022 cm/s,均为

强透水含水层,具有一定的承压性,对地下建筑物影响较大。地下水通过地下径流由高向低排泄,部分地区与市区内河及木兰溪存在一定水力联系,相互补给。卵石及砂卵石层的承载力特征值为 300~360 kPa,部分较厚卵石层呈中密或密实状。

柳桥—社厝—沟西—线以西,卵石及砂卵石层埋深 5.0~10.0 m。东墩—浦南—南箕—尾厝以西,卵石及砂卵石层埋深 5.0~15.0 m。东墩—浦南—南箕—尾厝以东,卵石及砂卵石层埋深 15.0 m 以上(图 6)。

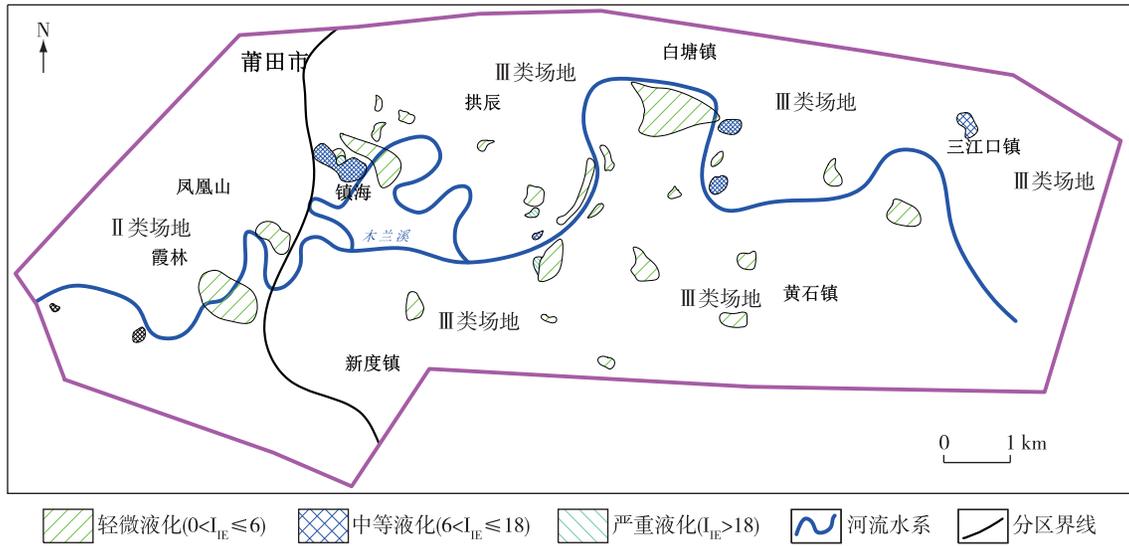


图5 砂土液化特征分布及场地类别划分图

Fig. 5 Characteristic distribution and site classification map of sand liquefaction

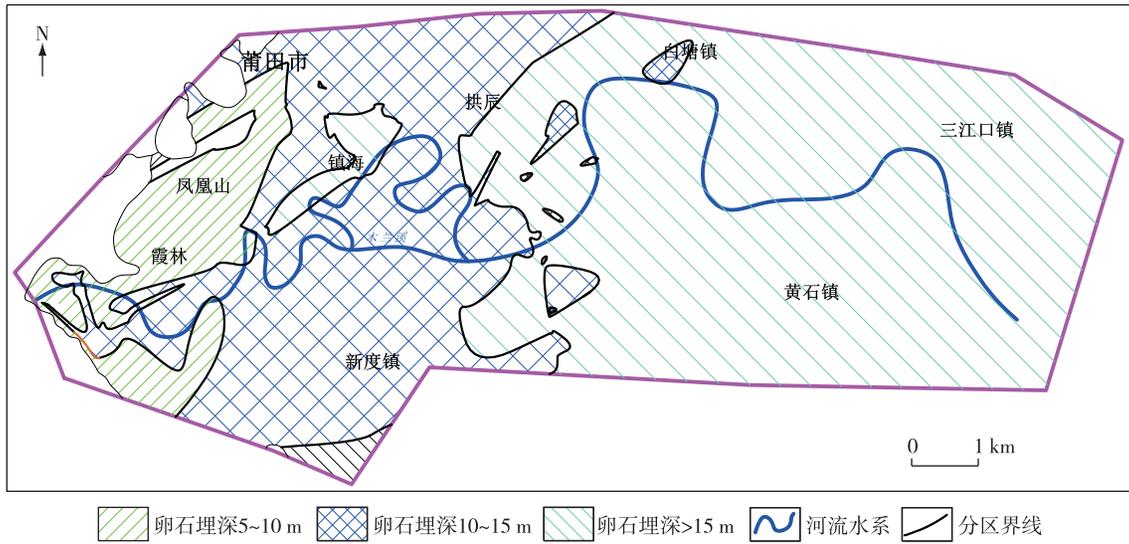


图6 卵石及砂卵石层埋深分区图

Fig. 6 Burial depth zoning map of pebbles and sand-cobble layer

4.1.5 基岩埋深

福建莆田城区淤泥层较厚,通常选用基岩作为持力层,基岩埋深是重要的参考因子。基岩埋深越深,工程施工难度越大。研究区基岩埋深为20~30 m区域分布较广泛(图7)。

4.1.6 地下水咸水与淡水分界

莆田城区地下水大致以荔城区镇海街道为界,西部为淡水区,东部为咸水区(图8)。

4.1.7 地下水腐蚀性

以地下水对混凝土结构中钢筋的腐蚀性为例,在干湿交替工况下,莆田主城区小范围存在中腐蚀性,凤凰山、霞林街道、镇海街道南东部及拱辰街道西部存在弱腐蚀性。凤凰山、霞林街道、镇海街道南东部及拱辰街道以东大面积存在中腐蚀性,拱辰街道濠浦、莘郊一带及黄石镇、三江口镇沿海大部地区存在强腐蚀性,强腐蚀性区主要分布于木兰溪两岸沿海地区(图9)。

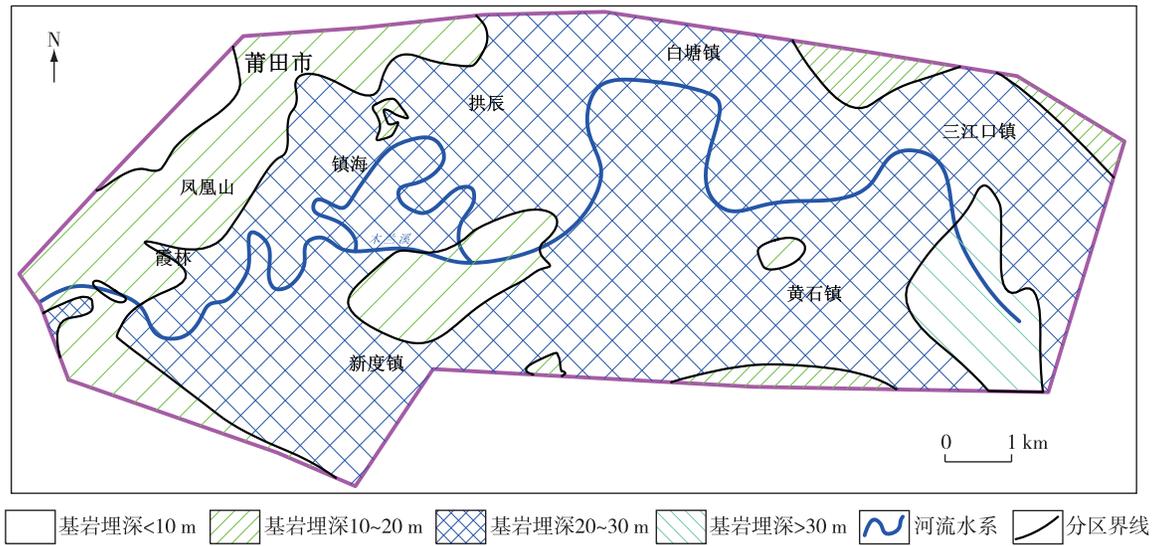


图 7 基岩埋深分区图

Fig. 7 Zoning map of bedrock burial depth



图 8 地下水咸水、淡水分界分区图

Fig. 8 Interface and zoning of fresh-saline groundwater

#### 4.1.8 推测断层

根据莆田地区经验及防震相关工程规范<sup>[22-23]</sup>,研究区推测断层两侧 200 m 为不适宜布局高层建筑地段。绘图统计发现,不适宜布局高层建筑的地段共计约 5.47 km<sup>2</sup>,约占研究区总面积的 6.84% (图 10)。

#### 4.2 综合评价

根据表 1 中的评价因子,按单因子等级做出单因子分区图,并按对应分值赋属性,将 8 项单因子分

区图叠加,输出属性后,乘以各因子相应权重,得出各评价单元综合地质环境承载力指数。借助 MAPGIS 软件中 DTM 空间分析模块进行功能叠加整合分析,按照等级区间,经修饰后,形成莆田城区城市建设地质环境承载力综合评价图(图 11)。可知,福建莆田城区地质环境承载力属于中等—高的区域占全区面积的 90.18%;地质环境承载力低的区域占全区面积的 9.81%,主要位于木兰溪入海口附近。地质环境承载力低的区域不适合规划、布置大

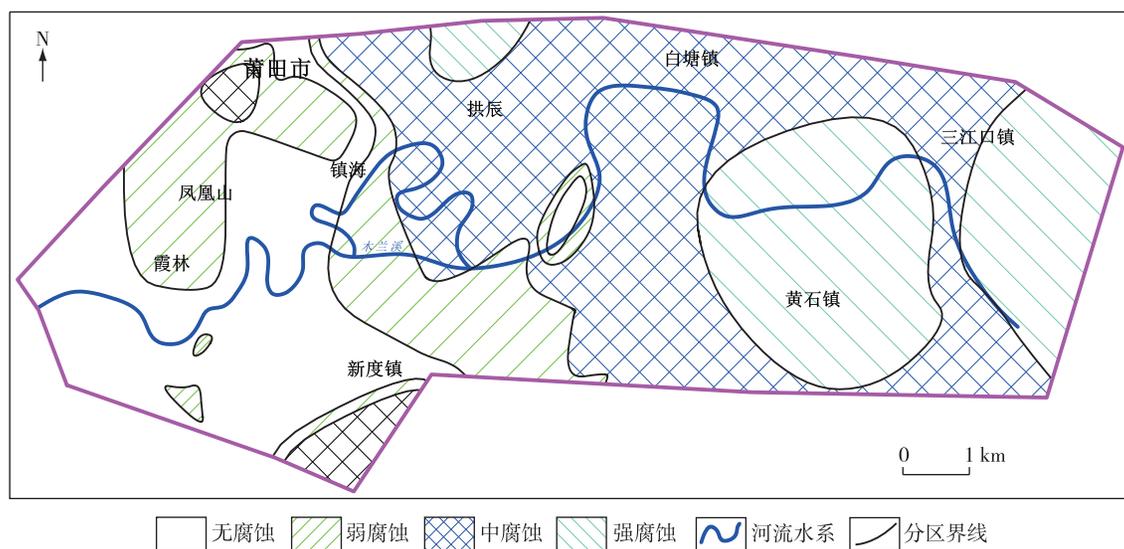


图9 地下水腐蚀性分区图

Fig. 9 Zoning map of groundwater corrosivity

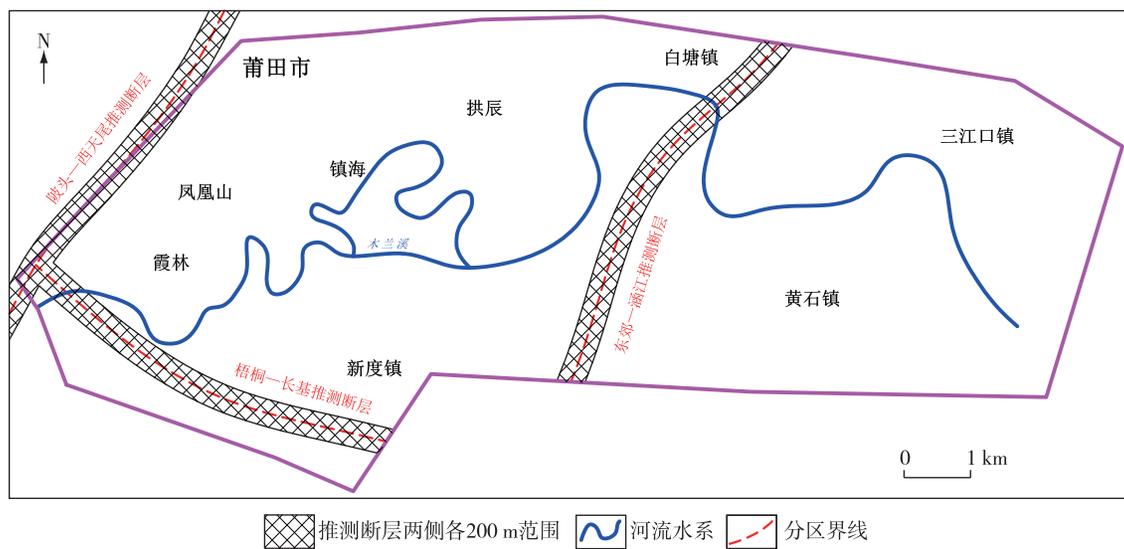


图10 推测断层两侧各200 m内分区图

Fig. 10 Zoning map of 200 m on both sides of inferred fault

型建筑,对已完成的重大工程实时监测,掌握工程动态情况,避免因地质环境问题造成损失。

## 5 结论

(1)福建莆田城区地质环境承载力中等—承载力高的区域占全区面积的90.18%,承载力低的区域占全区面积的9.82%,主要位于木兰溪入海口附近。

(2)莆田城区地质环境承载力分带明显。地质

环境承载力高的区域呈条带状分布,承载力中等的区域呈不规则状分布。承载力低的区域呈岛状零散分布于木兰溪入海口两岸地区,这些地区分布较厚软土,基岩埋深较大,地下水腐蚀性强,不适合规划与布置大型建筑。

(3)在城市建设规划中,对地质环境依赖程度较高的建设应尽量避免木兰溪入海口附近地质环境承载力低的区域,加强防范,提高地质环境承载力,确保城市建设的安全性。在贯穿莆田市NE向

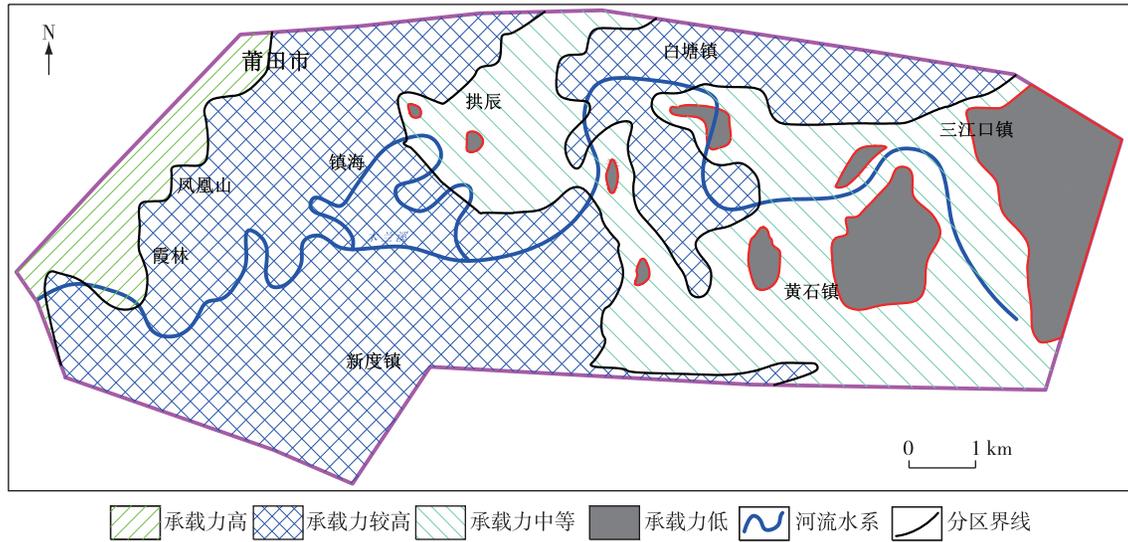


图 11 莆田城区(重点区)城市建设地质环境承载力综合评价图

Fig. 11 Comprehensive assessment of geological environment carrying capacity of construction in the urban area of Putian City (key area)

及 SE 向推测断层两侧各 200 m 范围内为高层建筑慎盖区。在木兰溪入海口附近地质环境承载力低的区域,应对已完工的重大工程实时监测,掌握工程动态,避免因地质环境问题造成损失。

参考文献

[1] CHEN J Y. Geoenvironment in the sustainable development of Chinese cities[J]. Geo-Spatial Information Science, 2002, 5(4): 1-4.  
 [2] MULDER E F D, CORDANI U G. Geoscience provides assets for sustainable development[J]. Episodes, 1999, 22(2): 78-83.  
 [3] 吕敦玉, 余楚, 侯宏冰, 等. 国外城市地质工作进展与趋势及其对我国的启示[J]. 现代地质, 2015, 29(2): 466-473.  
 [4] 黄玉清. 北京大兴规划新城地质环境容量评价研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.  
 [5] 韩景敏, 邵明, 秦品瑞. 山东省地质环境承载力现状及对策[J]. 山东国土资源, 2015, 31(3): 33-37.  
 [6] 李相然. 城市规划地质工作研究的几个基本问题[J]. 中国地质, 1995(12): 25-26.  
 [7] 胡庆国. 地质环境与建设项目规划、技术和管理应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008.  
 [8] 李兰. 地质环境在城市规划中的作用及其管理模式——以辽宁抚顺市为例[J]. 国土资源, 2002(8): 29-31.  
 [9] 王国强, 刘刚, 吴道祥, 等. 城市地质环境与环境地质问

题[J]. 合肥工业大学学报(社会科学版), 2007, 21(4): 19-24.  
 [10] 杜蕾, 谢婉丽. 城市地质环境承载力研究进展及展望[J]. 防灾科技学院学报, 2018, 20(2): 15-20.  
 [11] 石忆邵, 尹昌应, 王贺封, 等. 城市综合承载力的研究进展及展望[J]. 地理研究, 2013, 32(1): 133-145.  
 [12] 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.  
 [13] 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.  
 [14] 沈大庆, 沈利英, 刘亚轻, 等. 应用数学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015.  
 [15] 张长江. 数字图像处理及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.  
 [16] 叶云林. 基于地面建筑的福州市地质环境承载力研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2008.  
 [17] 王奎峰, 李娜, 于学峰, 等. 山东半岛生态环境承载力评价指标体系构建及应用研究[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 1018-1027.  
 [18] 廖国礼, 吴超. 模糊数学方法在矿山环境综合评价中的应用[J]. 环境科学动态, 2004(3): 15-17.  
 [19] 杨凯. 模糊数学在矿山环境影响评价中的应用[J]. 四川环境, 2010, 29(3): 127-130.  
 [20] 葛晓明, 陈文林, 罗大富, 等. 福建省莆田市木兰溪两岸城市规划区工程地质调查与评价[R]. 泉州: 福建省 197 地质大队, 2016.  
 [21] 林建平, 何道金. 福建省莆田市城市环境地质调查评价

- 报告[R].福州:福建省地质调查研究院,2009.
- [22] 侯莉莉,陈文林,林玉和,等.福建省莆田市城市地质调查成果报告[R].南京:中国地质调查局南京地质调查中心,2017.
- [23] 福建省建筑设计研究院.DBJ13-84—2006 福建省工程建设地方标准:岩土工程勘察规范[S].福州:福建科学技术出版社,2006.

## Assessment of urban engineering construction-based geological environment carrying capacity in the urban area of Putian City, Fujian Province

CHEN Quan-lin<sup>1</sup>, GE Xiao-ming<sup>2</sup>, CHEN Wen-lin<sup>2</sup>, LIU Xin-yao<sup>2</sup>, WU Min<sup>2</sup>

(1. *The Coalfield Geology Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350005, China;*

2. *The 197 Geological Brigade of Fujian Province, Quanzhou 362000, China*)

**Abstract:** To study the relation between human engineering construction activities and geological environment carrying capacity in the urban area of Putian City, Fujian Province, nine assessment factors are selected, including the soft soil burial depth, thickness, sand liquefaction, burial depth of pebble and sand-cobble layer, bedrock burial depth, fresh-saline groundwater interface, groundwater corrosivity, earthquakes (site classification) and inferred fault, taking 500 m×500 m grid as the assessment unit, to assess the geological environment carrying capacity of the study area with the GIS software and fuzzy mathematics evaluation method. The results show that the areas with medium-high carrying capacity account for 90.18% of the total area, while the areas with low carrying capacity occupy 9.82%, mainly located near the mouth of Mulan river, not suitable for planning and layout of large buildings. It is suggested that the completed major projects be monitored in real time and engineering dynamics be grasped to avoid loss caused by geological environment.

**Key words:** urban engineering construction; geological environment carrying capacity; fuzzy comprehensive evaluation method; Putian City, Fujian Province