

莱州湾海岸带工程地质特征 及特殊问题分析

吴 振,王松涛,祝子惠

(山东省第四地质矿产勘查院,山东潍坊 261021;山东省地矿局海岸带地质环境保护重点实验室,山东潍坊 261021)

摘 要:依据本次工程地质调查和钻探工作取得的大量数据,结合以往研究资料,对研究区土体工程地质层进行了系统研究,依据①沉积时代、成因类型和形成环境;②物质成分和结构特征;③工程特性指标等 3 个方面,对研究区地表以下 50 m 深度范围内的土层进行分层排序,将研究区土体划分为 9 个工程地质层,并对各层工程地质特征进行了分析;分析了研究区软土、盐渍土的分布范围、物理力学性质等;对研究区地基土液化等级、地下水和土的腐蚀性进行了综合评价。研究区 7 度地震作用下饱和砂土液化严重区和中等区主要分布在潍坊港北部莱州湾海域及东营市东部一带;轻微区和不液化区主要分布在莱州湾南岸、东岸一带。盐渍土主要分布在黄河三角洲、莱州湾滨海平原区。研究区地下水对混凝土结构的腐蚀性以弱腐蚀和微腐蚀为主;对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性强腐蚀和中等腐蚀主要分布在莱州湾海域及其西岸、南岸一带,弱腐蚀和微腐蚀主要分布在莱州湾东岸。

关键词:海岸带;工程地质特征;莱州湾

中图分类号:P642 **文献标识码:**A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2018.09001

海岸带是人类开发强度最大的地区之一,目前全世界约有 1/2 的人口集中在距海岸线 50 km 的海岸带范围内^[1,2]。随着莱州湾沿岸工程建设的逐渐增多,对工程地质问题的讨论及其稳定性的研究显得尤为重要。特别是近些年来,我国的工程地质研究取得了显著成就,在海岸工程应用方面取得了新进展,但陆域、海域多单独进行调查,海陆联合研究的较少^[3]。本文在对莱州湾海岸带进行工程地质调查和钻探工作的基础上,结合以往资料,对研究区土体

工程地质层进行了系统研究,在第四纪研究成果的基础上,对土体工程地质层进行了统一分层,并结合 MAPGIS K9 软件,建立了三维工程地质模型,为莱州湾海岸带开发利用提供详细可视化的工程地质支撑。

1 概况

研究区主要集中在莱州湾及其沿岸,36°55′—37°40′N,118°40′—120°05′E,总面积约 10 259 km²,陆域约 5 092 km²,海域约 5 167 km²。山东省第四地质矿产勘查院于 2015—2016 年共施工工程地质钻孔 24 孔(孔深 40~50 m)、水文地质钻孔 10 孔(孔深 100~112 m),采集土工试验样品 389 件、标准贯入试验 357 次,收集各类钻孔 202 个(图 1)。

收稿日期:2018-05-31

基金项目:中国地质调查项目“山东陆域及潮间带工程地质钻探与综合研究”(QCZ2016-010514049)

作者简介:吴 振(1985—),男,高级工程师,主要从事水文地质、环境地质、海洋地质方面的研究工作. E-mail:sdwfwz@126.com

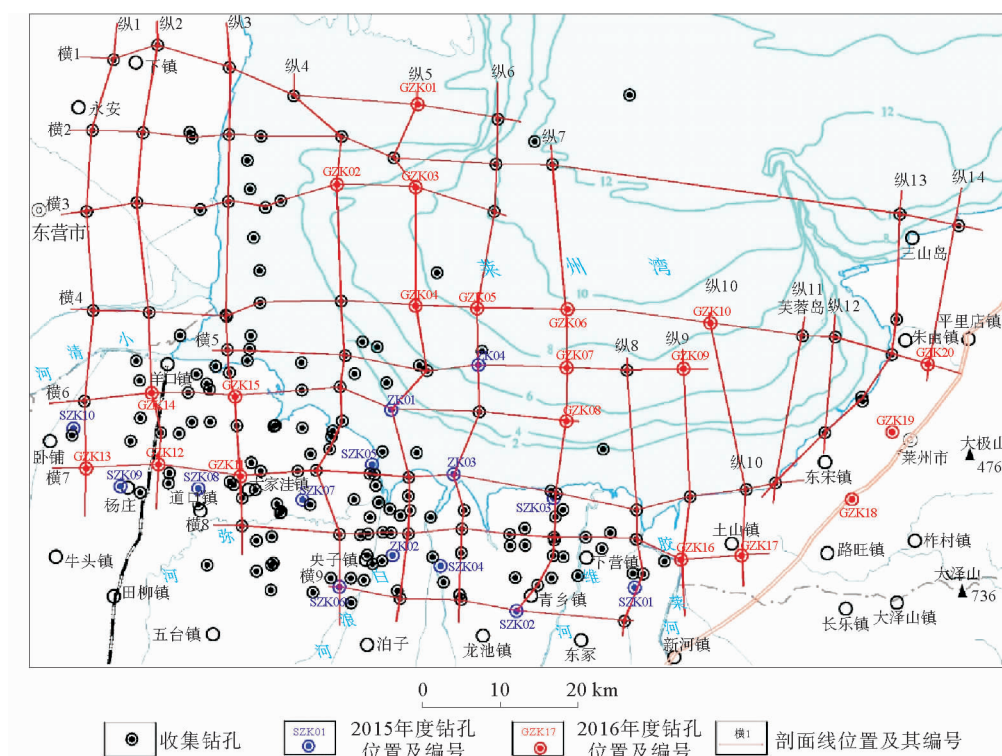


图 1 主要钻孔位置示意图

Fig. 1 Location map of drilling holes

为了研究其地下水和土的腐蚀性,采集了地下水样品 5 件,易溶盐样品 214 件。研究区东部(陆域)5 个钻孔(GZK16-GZK20)地下水静水位埋深较浅,因而采集地下水样品进行腐蚀性试验,测试分析项目包括 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 OH^- 、侵蚀性 CO_2 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、pH、矿化度等。研究区西部(陆域)5 个钻孔(GZK11-GZK15)处于地下卤水区,周边盐场、溴素厂不断抽取地下水,地下水静水位埋深均 >40 m,因而采集土样品进行腐蚀性试验;海域 10 个钻孔(GZK01-GZK10),因无法采集相应的海底地下水,因而也采集土样品进行腐蚀性试验;测试分析项目包括 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、全盐量和 pH。

2 研究区工程地质特征

2.1 工程地质层划分

2.1.1 划分原则

研究区南部和西部地表几乎全是全新世沉

积,第四系地层厚度一般为 250~400 m,成因类型主要为冲积和海积,岩性以粉砂、黏土质粉砂和黏性土等为主,另有细砂、粉细砂等。根据研究区现状,本次工程地质层划分原则与标准如下:

(1)沉积时代、成因类型和形成环境 土是自然历史的产物,其性质与其自然历史(包括土的成因、形成年代、沉积环境、以及形成后的变化等)密切相关,静水中沉积的土与流水中沉积的土性质不同,干燥环境下形成的土与温暖潮湿环境中形成的土形成不同;不同时代、不同成因类型的土体,即使其物理力学指标相近,其工程特性亦可能相差悬殊^[4-7]。

(2)物质成分和结构特征 土的物质成分和结构,是决定土的工程地质性质的最本质的因素,土的物质成分和结构不同,其工程特性亦不同,物质成分和结构特征是层组划分的重要因素^[6]。

(3)工程特性指标 不同土性需分析测试的参数评价方法不同,时代、成因类型以及岩性与结构特征相同或相近的土体,其工程特性指标也可能在空间上变化很大,工程特性指标是工程地质

层组划分的需要考虑的重要因素之一^[6-7]。

2.1.2 划分结果

根据上述工程地质层组划分原则与标准,采用绘制工程地质剖面的方法,对研究区地表以下 50 m 深度范围内的土层进行分层排序,将研究区土体划分为 9 个工程地质层,其中第 2 工程地质层根据物质成分和工程特性指标的差异,又划分为 2 个亚层(表 1、图 2);莱州湾东岸地区因第四

系较薄,且海拔较高,因而将其划为了 1 层,即基岩层。需要说明的是,第 1、3、5、7、9 层,粉土与粉砂本属于不同的土体类型,但因其工程性质相似,且区域内这些层位从研究区南部向北至海域内由粉砂逐渐过渡到粉土,为了海陆统一划分层位,考虑其沉积时代、成因类型相似,故将其划分为同一层位。从图 3 中可以看出,第 1、3、5、7、9 层,自 ZK01 孔向北逐渐由粉砂变为粉土。

表 1 土(岩)体工程地质层划分简表

Table 1 Engineering geological stratigraphic division of soils (or rocks)

时代	层号	亚层	名称	平均厚度/m	顶板埋深/m	特征简述	分布特征	沉积环境
全新统	0		填土	2.55	0	素填土为主,局部为杂填土,主要成分为粉土,局部为建筑垃圾	陆域普遍分布	人工回填
	1		粉土、粉砂	7.48	0~4.30	灰色,湿润,松散	普遍分布	海陆交互
	2	2-1	淤泥质土	2.76	0~12.68	黄灰色,饱和,软塑一流塑,切面光滑,有臭味	莱州湾北部、东营市一带	
		2-2	粉质黏土	5.63	3.00~24.30	灰黑—浅灰色,可塑,湿,干强度中等,韧性中等,切面光滑	莱州湾南部、潍坊市北部一带	
	3		粉土、粉砂	6.02	0~27.00	灰—青灰色,湿润,松散,贝壳碎屑较多,干强度弱,韧性差	莱州湾、南岸、西岸普遍分布	河流、潮间带沉积
更新统	4		粉质黏土	6.15	6.30~29.50	黄灰色,稍湿,可塑—硬塑,干强度中等,韧性中等,有大量锈痕	莱州湾、南岸、西岸	
	5		粉土、粉砂	5.41	14.80~38.65	黄灰—灰黄色,湿润—饱和,稍密—密实,干强度弱,韧性差	莱州湾、南岸、西岸	
	6		粉质黏土	5.76	19.00~42.00	深灰色,稍湿,可塑—硬塑,干强度中等—强,韧性中等—强	莱州湾、南岸、西岸	海相沉积
	7		粉土、粉砂	5.04	26.00~56.00	黄灰色,饱和,密实	莱州湾、南岸、西岸	
	8		粉质黏土	7.27	28.60~58.00	灰色,湿润,可塑—硬塑,锈斑较多,干强度强,韧性强	莱州湾、南岸、西岸	河流、潮间带沉积
	9		粉土、粉砂	6.40	34.80~68.50	黄灰—灰色,饱和,密实	莱州湾、南岸、西岸	
	J		二长花岗岩		0~24.30	灰黑色,中细粒结构,弱片麻状构造;主要成分为长石、石英、黑云母等	莱州湾东岸	侵入岩

2.2 各工程地质层组分布特征

2.2.1 第 1 工程地质层

该层岩性为粉土、粉砂,在研究区内广泛分布;灰色,湿润,松散;顶板埋深 0~4.30 m,层厚 0.67~24.30 m,平均厚度 7.48 m。自莱州湾向

陆逐渐变厚,在潍河两岸达到最厚。该层承载力一般为 60~120 kPa,工程地质性质多数较差,仅研究区东部和南部青乡镇一带砂层较致密,工程地质性质相对较好。

2.2.2 第 2 工程地质层

为全新世海相沉积,分为 2 个亚层:

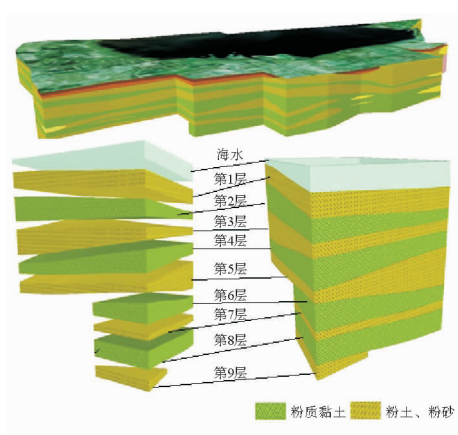


图2 研究区三维工程地质结构图

Fig. 2 Three-dimensional engineering geological structure of the study area

2-1 层为淤泥质土,在莱州湾北部、东营市一带广泛分布。黄灰色,饱和,软塑—流塑,切面光滑,有臭味^[8]。顶板埋深 0~12.68 m,大部分埋深 <5 m,仅在下镇一带 >5 m;层厚 1.44~12.30 m,平均厚度 6.39 m,自南向北、自东向西逐渐变厚,最厚处分布在黄河入海口一带(图 3)。压缩模量 0.54~1.19 MPa,孔隙比为 1.07~1.673,黏聚力为 1.0~9.1 kPa,内摩擦角为 1.2°~8.6°,承载力一般为 60~80 kPa,工程地质性质较差。

2-2 层为粉质黏土(黏土),在莱州湾南部、潍坊市北部一带广泛分布。灰黑—浅灰色,可塑,湿,干强度中等,韧性中等,切面光滑^[9]。顶板埋深 3.00~24.30 m,自北向南埋深逐渐变大,最深处分布在潍河两岸;层厚 0.70~13.00 m,平均厚

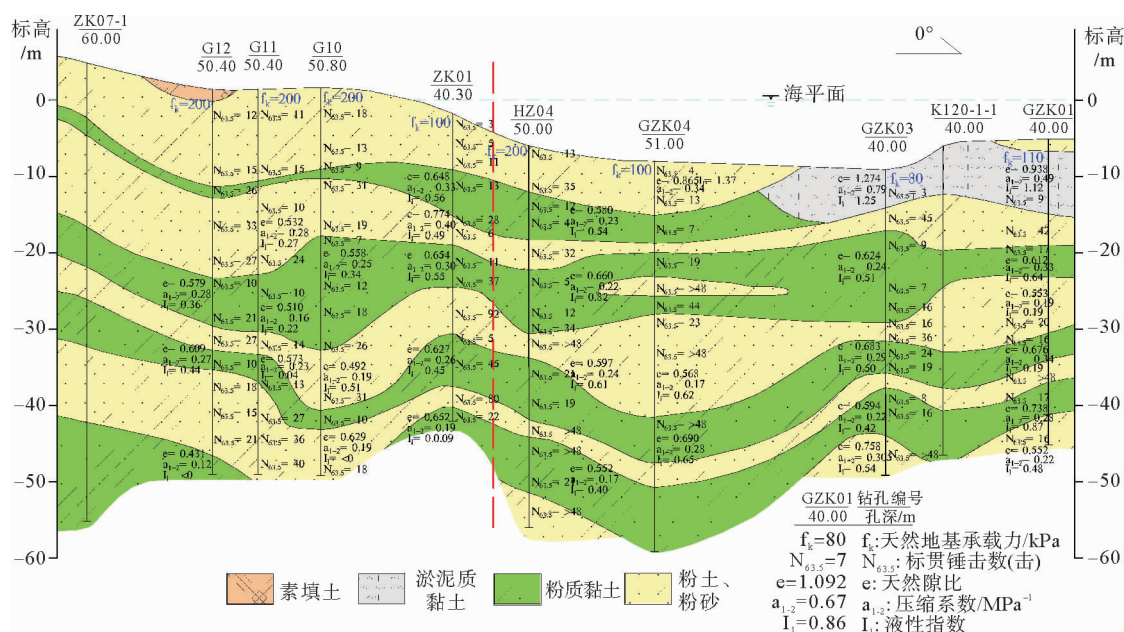


图3 纵5剖面示意图

Fig. 3 Schematic diagram of longitudinal profile 5

度 5.63 m,厚度呈现中间高,南北低的特点(图 3)。压缩模量 3.00~18.60 MPa,孔隙比为 0.509~1.070,黏聚力为 6.90~52.20 kPa,内摩擦角为 5.1°~27.2°,承载力一般为 120~280 kPa,工程地质性质较好。

2.2.3 第3工程地质层

该层岩性为粉土、粉砂,在莱州湾中部、西部、南部广泛分布。灰—青灰色,湿润,松散,贝壳碎屑较多,干强度弱,韧性差。顶板埋深 0~27.00 m,

埋深自研究区东北部海域向西南部陆域逐渐变深;层厚 0.22~16.60 m,平均厚度 6.02 m,厚度自北向南逐渐变厚,最厚处分布在潍河西岸(图 3)。压缩模量 6.40~26.30 MPa,孔隙比为 0.516~0.675,黏聚力为 4.4~13.5 kPa,内摩擦角为 4.1°~26.1°,承载力一般为 120~280 kPa,海域工程性质较差,陆域相对较好。该层位处于地下空间开发深度范围内,工程建设过程中应采取相应的处治措施,以消除其对工程的不利影响^[10]。

2.2.4 第4工程地质层

该层为粉质黏土,在莱州湾中部、西部、南部广泛分布。黄灰色,稍湿,可塑—硬塑,干强度中等,韧性中等,有大量锈痕^[11]。顶板埋深6.30~29.50 m,埋深自研究区东北部海域向西南部陆域逐渐变深;层厚1.20~17.00 m,平均厚度6.15 m,下镇—土山镇一线厚度较薄,往两侧逐渐变厚(图3)。压缩模量3.60~21.10 MPa,孔隙比为0.408~0.834,黏聚力为8.4~48.8 kPa,内摩擦角为5.1°~30.1°,工程地质性质较好,承载力200~480 kPa,可做为持力层。

2.2.5 第5工程地质层

该层为粉土、粉砂层,在莱州湾中部、西部、南部广泛分布^[12]。黄灰—灰黄色,湿润—饱和,稍密—密实,干强度弱,韧性差。顶板埋深14.80~38.65 m,自研究区东北部向西南部逐渐变深;层厚0.60~13.65 m,平均厚度5.41 m,下镇—东冢镇厚度较大,两侧厚度逐渐变薄(图3)。压缩模量4.40~19.50 MPa,孔隙比为0.470~0.902,黏聚力为2.70~36.70 kPa,内摩擦角为3.1°~27.3°,工程地质性质较好,承载力150~280 kPa,工程地质性质较好,分布普遍且厚度较大。

2.2.6 第6工程地质层

该层为粉质黏土(黏土),在莱州湾中部、西部、南部广泛分布。深灰色,稍湿,可塑—硬塑,干强度中等—强,韧性中等—强^[11]。顶板埋深34.80~68.50 m,自研究区东北部向西南部逐渐变深;层厚1.40~15.10 m,平均厚度5.76 m,羊口—下营镇一线较厚,两侧逐渐变薄(图3)。压缩模量3.90~17.70 MPa,孔隙比为0.413~0.861,黏聚力为12.80~56.00 kPa,内摩擦角为8.1°~27.4°,工程地质性质较好,承载力200~440 kPa,工程地质性质较好,分布普遍且厚度较大。

2.2.7 第7工程地质层

该层为粉土、粉砂层,在莱州湾中部、西部、南部广泛分布。黄灰色,饱和,密实,主要矿物成分为石英、长石,夹薄层粉质黏土和粉土^[13]。顶板埋深26.00~56.00 m,自研究区东北部向西南部逐渐变深;层厚0.60~16.64 m,平均厚度5.04 m,莱州湾东北部、土山镇—新河镇、卧铺镇北部、央子镇一带较厚,厚度一般>8 m,其余地方较薄

(图3)。压缩模量7.2~8.5 MPa,承载力200~300 kPa,工程地质性质较好。

2.2.8 第8工程地质层

该层为粉质黏土,在莱州湾中部、西部、南部广泛分布。灰色,稍湿,可塑—硬塑,锈斑较多,干强度强,韧性强。顶板埋深28.60~58.00 m,自研究区东北部向西南部埋深逐渐增大;层厚0.95~33.70 m,平均厚度7.27 m,自东北部向西南部逐渐变厚,另外下镇一带也较厚(图3)。压缩模量4.60~14.60 MPa,孔隙比为0.431~0.900,黏聚力为10.50~90.40 kPa,内摩擦角为8.4°~22.7°,工程地质性质较好,承载力250~480 kPa,工程地质性质较好,分布普遍且厚度较大,为良好的桩端持力层。

2.2.9 第9工程地质层

该层岩性为粉土、粉砂,在莱州湾中部、西部、南部广泛分布。黄灰—灰色,饱和,松散。顶板埋深28.60~58.00 m,揭露层厚0.95~33.70 m,平均揭露厚度6.40 m。因该层较深,研究区内工程地质钻孔大都没有穿透,因此工程地质参数不详。

2.2.10 基岩层

主要分布在研究区东部莱州一带,岩性以花岗岩类、闪长岩类及正长岩类为主。岩石坚硬、致密、性脆、块状结构、力学强度高^[14]。山区风化带一般<3 m,其他地区为10~20 m。该岩组抗压强度一般为120~200 MPa。

3 研究区工程地质问题

研究区东部分布有坚硬的侵入岩及变质岩,工程地质条件良好;南部和西部地表几乎全是全新世沉积,成因类型主要为冲积和海积,岩性以第四纪粉细砂、粉土、粉质黏土等为主,工程地质条件较复杂。根据本次施工钻孔及收集资料,研究区存在的工程地质问题主要有饱和砂土液化、软土、盐渍土和水土腐蚀等。

3.1 砂土液化性评价

根据《建筑抗震设计规范(2016年版)》(GB50011—2010)^[15],莱州湾西岸东营市、东岸莱州市抗震设防烈度为7度,设计基本地震加速

度值为 0.10 g ; 莱州湾南岸寿光市、潍坊滨海开发区、昌邑市抗震设防烈度为 7 度, 设计基本地震加速度值为 0.15 g ; 海域规范中未规定, 因研究区海域均在潍坊北部, 断裂构造也是潍坊市陆域构造在海里的延伸, 因此抗震设防烈度、设计基本地震速度同莱州湾南岸。本次地震作用下地基土液化可能性评价到 20 m 范围。

首先按《建筑抗震设计规范 (2016 年版)》(GB50011—2010) 对研究区内饱和砂土进行初步液化判别; 当初步判别认为需要进一步进行液化判别时, 采用标准贯入试验判别法对研究区地下 20 m 范围内的饱和砂土层进行液化判别^[15,16]。

经计算, 将研究区划分为饱和砂土液化严重区、中等区、轻微区和不液化区等 (图 4)。具体如下:

饱和砂土严重液化区: 海域主要分布在潍坊森达美港北部往东北呈环形分布, 陆域主要分布在东营市永安镇一带, 液化指数最高可达 74.76。

饱和砂土中等液化区: 在莱州湾及其西岸广泛分布, 液化指数在 9.67~16.00 之间。

饱和砂土轻微液化区: 主要分布在莱州湾近海岸区, 液化指数在 2.29~5.39 之间。

饱和砂土不液化区: 主要分布在莱州湾南岸、东岸的广大区域, 液化指数均 <6 , 地下水位埋深普遍 $>20\text{ m}$ 。

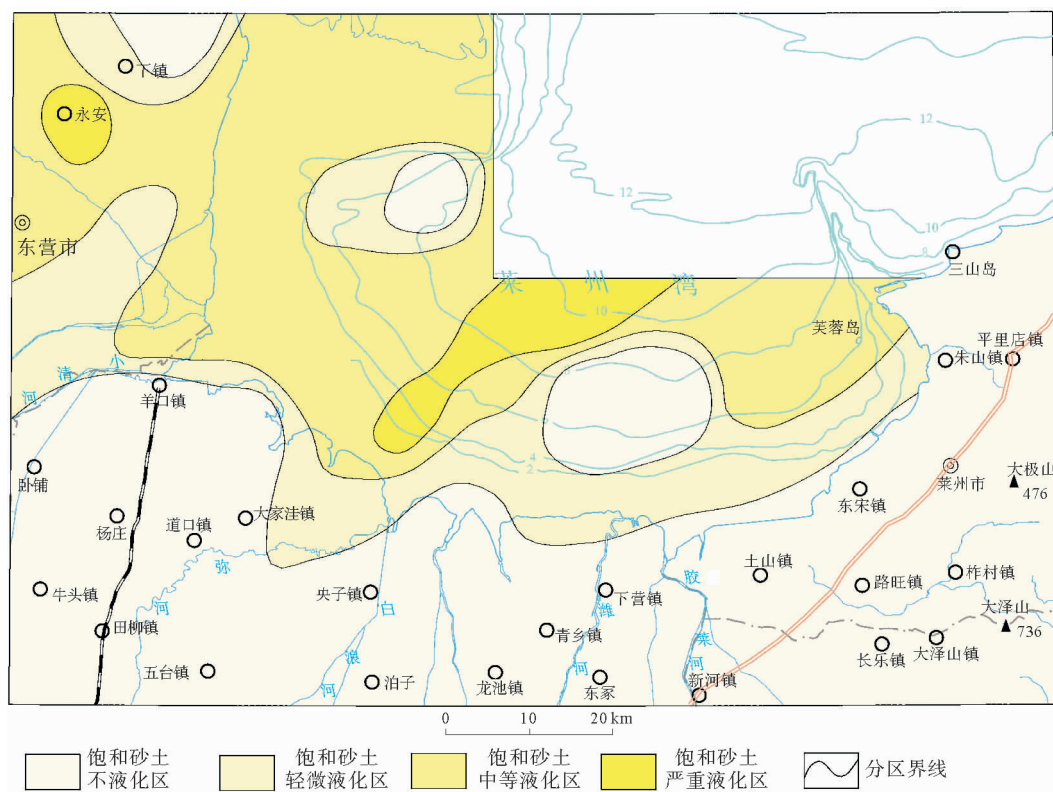


图 4 研究区 7 度地震作用下液化程度分区图

Fig. 4 Regional map of possible liquefaction under 7 grade earthquake in the study area

3.2 软弱土层(淤泥类土)

研究区内软土一般是指天然含水量大、压缩性高、承载能力低的软塑到流塑状态的黏性土, 如淤泥、淤泥质土以及其他高压缩性饱和黏性土、粉

土等^[17-19]。莱州湾及黄河三角洲地区地处渤海之滨, 具有软土的沉积环境, 钻探资料亦表明, 研究区北部呈片状分布着软土, 即第 2-1 工程地质层。软土顶板埋深多在 5 m 左右, 0~20 m 深度范围内软土单层厚度大多小于 2 m, 累计厚度 5 m 左右。

3.3 盐渍土

研究区盐渍土主要分布在黄河三角洲、莱州湾滨海平原区,地貌类型为冲积海积平原和黄河三角洲平原区,地面标高一般小于 $10\text{ m}^{[20]}$;另外,在莱州湾东岸主要河流入海口附近滨海平原地带也有分布。土壤含盐量一般在 $0.60\% \sim 1.50\%$,有的大于 1.50% 。盐化类型以氯化物或氯化物、硫化物为主,其厚度及埋藏深度一般小于 4 m 。其工程地质性质是干燥状态时强度较高,浸水后盐分溶解,强度降低,压缩性增大,影响建筑的稳定性,一般对管道及混凝土具腐蚀作用^[21](图5)。



图5 研究区盐渍土分布示意图

Fig. 5 Distribution map of saline soil in the study area

3.4 水和土腐蚀性评价

地下水和土的腐蚀性评价按《岩土工程勘察规范(GB 50021—2001)》^[22]进行评价,考虑水文气象、场地地层与水文地质条件,确定研究区的场地类型为湿润区;场地环境类型为Ⅱ类;地层属于弱透水,地层渗透类别按B类,建筑基础结构按长期浸水考虑。

3.4.1 单因子评价

通过对研究区内地下水和土成分分析得出以下认识:

(1)区域内地下水和土的阴离子以 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 为主,不含 OH^- 和 CO_3^{2-} ;阳离子主要为 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 和 K^+ 。GZK01-GZK15 为土的易溶盐含量,单位为 mg/kg ;GZK16-GZK20 为地下水的离子含量,单位为 mg/L 。

(2) SO_4^{2-} 是地下水和土的主要阴离子成分之一,也是混凝土结构腐蚀的主要因子之一^[23]。研究区内 GZK17、GZK18、GZK20 孔的 SO_4^{2-} 含量显示地下水对混凝土结构具有微腐蚀性;GZK01-GZK13、GZK15、GZK19 孔的 SO_4^{2-} 离子含量 $392.44 \sim 2\,206.67\text{ mg/L}(\text{mg/kg})$ 之间,地下水和土对混凝土结构具有弱腐蚀性;GZK14 孔 SO_4^{2-} 含量 $2\,420.26\text{ mg/kg}$,地下水和土对混凝土结构具有中等腐蚀性;GZK16 孔 SO_4^{2-} 含量达到 $5\,546.76\text{ mg/L}$,地下水对混凝土结构具有强腐蚀性。

(3)区内地下水和土的总矿化度由主要阴离子 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 与阳离子 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 等离子的含量共同决定。研究区地下水和土中总矿化度最高的为 GZK16 孔,含量达到 $66\,505.86\text{ mg/L}$,地下水和土对混凝土结构具有强腐蚀性;其余钻孔中地下水中总矿化度含量均 $< 20\,000\text{ mg/L}$,土中总矿化度含量均 $< 30\,000\text{ mg/kg}$,地下水和土对混凝土结构具有微腐蚀性。

(4)研究区内地下水和土中 Mg^{2+} 含量仅 GZK16 孔较高,达到 $3\,059.03\text{ mg/L}$,地下水对混凝土结构具有中等腐蚀性;其余钻孔 Mg^{2+} 含量在 $18.04 \sim 870.65\text{ mg/L}(\text{mg/kg})$ 之间,地下水和土对混凝土结构具有微腐蚀性。

(5)区内地下水和土的 pH 值在 $6.95 \sim 9.25$ 之间,平均值为 8.62 。据 pH 值含量显示该区域地下水对混凝土的腐蚀性均为微腐蚀。

(6)研究区的 Cl^- 高浓度主要分布在 GZK11、GZK14-GZK16 孔,地下土中 Cl^- 含量在 $10\,104.46 \sim 12\,970.90\text{ mg/kg}$ 之间,地下水中 Cl^- 含量最高达到 $37\,582.71\text{ mg/L}$,地下水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性为强腐蚀;GZK01-GZK10、GZK12、GZK13 孔中 Cl^- 离子含量在 $2\,595.19 \sim 7\,018.95\text{ mg/kg}$ 之间,地下水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性为中等腐蚀;GZK17-GZK20 孔中 Cl^- 含量较低,含量在 $93.37 \sim 337.31\text{ mg/L}$ 之间,地下水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性为微腐蚀。

3.4.2 综合评价结果

通过对研究区施工的 20 个钻孔内地下水和土腐蚀性分析得出地下水和土腐蚀性分布(图 6、7)及如下结果:

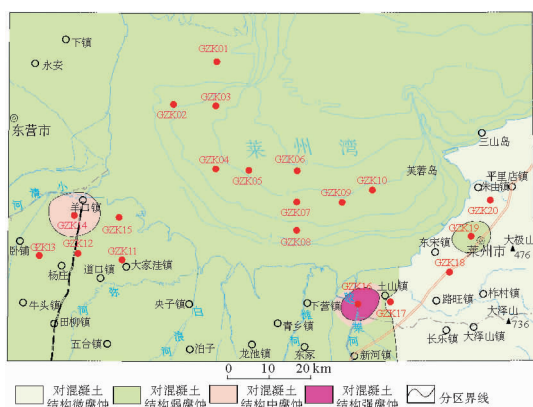


图6 地下水和土对混凝土结构腐蚀性评价分布图

Fig. 6 Assessment map of ground water and/or soil corrosion to concrete structures

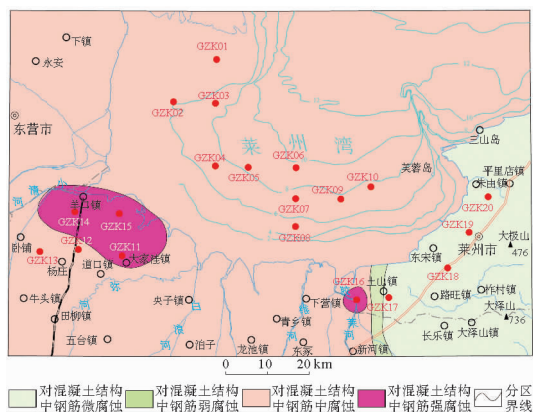


图7 地下水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价分布图

Fig. 7 Assessment map on corrosion of reinforced concrete structures by groundwater and soil

(1) GZK16孔地下水和土对混凝土结构的腐蚀性为强腐蚀性; GZK14孔地下水和土对混凝土结构的腐蚀性为中腐蚀性; GZK01-GZK13、GZK15、GZK19孔地下水和土对混凝土结构的腐蚀性为弱腐蚀性; GZK17、GZK18、GZK20孔地下水和土对混凝土结构的腐蚀性为微腐蚀。

(2) GZK11、GZK14-GZK16孔地下水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性为强腐蚀; GZK01-GZK10、GZK12、GZK13孔地下水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性为中等腐蚀; GZK17-GZK20孔地下水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性为微腐蚀。

4 结论

(1) 在搜集资料和综合对比的基础上, 分析了研究区的工程地质特征, 依据①沉积时代、成因类型和形成环境; ②物质成分和结构特征; ③工程特性指标等3个方面, 采用绘制工程地质剖面的方法, 对研究区地表以下50 m深度范围内的土层进行了分层排序, 将研究区土体划分为9个工程地质层, 其中第2工程地质层又根据物质成分和工程特性指标的差异, 分为2个亚层。

(2) 分析评价了研究区软土、盐渍土的分布范围、物理力学性质; 分析研究了研究区液化土的分布及液化等级; 对地下水和土的腐蚀性进行了分析评价。

(3) 在进行海岸带开发利用时, 要充分考虑研究区内存在的饱和砂土液化、软土以及盐渍土等工程地质问题, 及早做好防范工作。

参考文献:

- [1] 李志强. 莱州半岛海岸带生态环境脆弱性初探[J]. 资源开发与市场, 2008, 24(10): 905-907.
- [2] 宋晓帅, 王松涛, 吴振, 等. 莱州湾海岸带工程地质分区及其特征[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(1): 43-52.
- [3] 郑继民. 中国海洋工程地质研究[J]. 工程地质学报, 1994, 2(1): 90-96.
- [4] 唐大雄. 关于我国细粒土分类的探讨[J]. 长春地质学院学报, 1981(3): 69-77.
- [5] 常银生. 粘性土应力路径的试验研究与分析[D]. 南京: 南京工业大学, 2005.
- [6] 李晓昭, 罗国煜, 龚洪祥, 等. 土体工程地质层组的划分[J]. 岩土力学, 2004, 25(5): 759-763.
- [7] 杨辉, 刘红樱, 许乃政, 等. 江苏省洋口港地区工程地质特征及分区评价[C]//2016年全国工程地质学术年会论文集. 2016.
- [8] 李兵. 淤泥质土大规模施工技术初探[J]. 中国水利, 2013(16): 39-40.
- [9] 张宏亮, 杨贵永. 复合土钉墙支护在超深基坑中应用[J]. 福建建筑, 2008(4): 29-31.
- [10] 齐波, 张一飞. 天津市中心城区地下空间资源开发利用适宜性评价探讨[J]. 城市地质, 2010, 5(2): 1-5.
- [11] 魏臣. 钻机成孔人工扩底灌注桩施工技术的应用[J]. 煤炭工程, 2007(7): 38-40.
- [12] 李琰. 28 ka以来莱州湾南岸的沉积学记录及环境意义[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.
- [13] 张月东. 横穿机场跑道捷运通道施工沉降控制研究[D]. 石

- 家庄:石家庄铁道大学,2012.
- [14] 阳生全,周健,陈秋南,等. 爆破震动作用下的地下结构及围岩幅频特性[J]. 地下空间与工程学报,2006,2(1):104-107.
- [15] 中华人民共和国国家标准 GB 50011—2010 建筑抗震设计规范(2016年版)[S]. 北京:中华人民共和国住房和城乡建设部等,2016.
- [16] 凌红杰. 宿迁某建筑地基液化评价与处理措施研究[J]. 江苏建筑,2011(增刊2):58-61.
- [17] 武卫星,陈超敏. 公路软土地基处理方法及施工特性[J]. 交通科技,2001(4):27-29.
- [18] 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.
- [19] 卢春华,李艳松. 浅谈软土路基处理[J]. 科技信息,2012(9):347-347.
- [20] 李念春. 基于PSR模型的土壤环境承载力综合评价——以黄河三角洲高效生态经济区为例[J]. 国土资源科技管理,2016,33(5):117-125.
- [21] 张志超,李萍,许金良. 基于ArcGIS的山东省公路岩土区划研究[J]. 公路工程,2014(1):263-268.
- [22] 中华人民共和国国家标准 GB 50021-2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京:中华人民共和国建设部,2001.
- [23] 程祖锋. 建筑基础腐蚀性试验与评价研究[D]. 长春:吉林大学,2006.

COASTAL ENGINEERING GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LAIZHOU BAY AND SOME SPECIAL PROBLEMS

WU Zhen, WANG Songtao, ZHU Zihui

(Fourth Shandong Institute of Geology and mineral resources exploration, Weifang 261021, Shandong, China;

Key Laboratory of Coastal Zone Geological Environment Protection, Shandong Geology and Mineral

Exploration and Development Bureau, Weifang 261021, Shandong, China)

Abstract: Based on the recent engineering geological investigation and the drilling data from previous studies, further research is devoted to the classification of engineering geological layers for the coastal sediments of Laizhou Bay according to the following criteria: (1) age, genetic types and forming environment of the sediments; (2) composition and texture of the sediments; (3) engineering characteristics. The first 50m of the soil layers below the ground of the study area can be subdivided into 9 layers. Engineering geological characteristics are analyzed for each layer. Attention is specifically paid to the distribution of the sediments and the physical and mechanical properties of soft soil and saline soil. Soil liquefaction grade, groundwater fluctuation and soil corrosion are evaluated. The severe and moderate areas, which may be damaged by saturated sandy soil liquefaction under a 7-grade earthquake in the study area are mainly distributed in Laizhou Bay to the north of Weifang port and the east of Dongying city. The areas with weak liquefaction or without liquefaction are mainly distributed along the south and east coast of Laizhou Bay. The saline soil is mainly distributed in the Yellow River delta and the coastal plain of Laizhou Bay. The corrosion of concrete structures by soil and water is weak in the study area in general. Strong and medium corrosion of reinforcement in the reinforced concrete structures mainly occur in the west and south of Laizhou Bay, while weak and very weak corrosion and corrosion occur in the east.

Key words: coastal zone; engineering geological characteristics; Laizhou Bay