天津市滨海新区地基土类型及工程地质分区研究

周玉明[1],郭进京[2],温伟光[1],刘晓磊[1],赵建军[2],刘寒鹏[2]
(1.天津市勘察院,天津 300191; 2.天津城建大学地质与测绘学院,天津 300384)

摘 要:天津市滨海新区晚更新世-全新世以来,海水进退、河流迁徙改道等形成了包括海相淤积、泻湖相沉积、河流冲积、三角洲沉积等多种成因的地基土。这些不同成因的地基土,不仅工程性质差异大,而且三维空间分布变化显著。本文在搜集了大量工程勘察资料的基础上,依据地基土的地质成因类型和空间分布、不同类型地基土的埋深和厚度以及工程性质指标的变化,把滨海新区上更新统五组(Q_3^eal)及其以上地基土分成了4个工程地质分区,编绘了滨海新区地基土工程地质分区图。滨海新区地基土工程地质分区图可为滨海新区的基础设施建设规划、地基土标准层序的建立以及合理利用天然地基土的承载力等提供依据。

关键词:滨海新区;地基土;工程特性;工程地质分区
中图分类号:P642.11+6 **文献标识码**:A **文章编号**:1672-4135(2016)04-0293-07

天津市滨海新区位于环渤海经济圈的中心地带,是国务院批准的国家综合改革创新区,是中国北方第一个自由贸易试验区,总面积约2 270 km^2。滨海新区晚更新世-全新世以来海水进退、河流迁徙改道等形成了包括海相淤积、泻湖相沉积、河流冲积、三角洲沉积等多种成因的地基土[1]。天津市有关单位对天津地区工程地质环境及第四纪地基土的层序做了较系统的总结,但研究成果的时代跨度大、精度低,对工程勘察中地基土层的时代、成因划分、工程特性评价等尚难以满足滨海地区勘察设计的需要。杜东菊[2]、刘举[3]、宋盛渊[4]、王兰化[5]、裴艳东[6]等曾对滨海新区地基土工程地质分区、工程特性及工程适宜性等做了研究,但其研究主要是围绕滨海新区的海积软土的工程分区。目前为止,对滨海新区地基土尚缺乏综合系统性研究。本文在搜集了大量工程勘察资料的基础上,依据地基土的地质成因类型和空间分布、不同类型地基土的埋深和厚度以及工程性质指标的变化,对滨海新区上更新统五组(Q_3^eal)及其以上地基土进行了较系统研究,提出滨海新区地基土工程地质分区的原则和方案,编绘了滨海新区地基土工程地质分区图,以期填补该领域研究的空白。

1 滨海新区地基土的基本类型

1.1 滨海新区的地貌单元划分

根据滨海新区的地貌基本形态和成因类型,滨海新区西部为海积冲积低平原,中部为海积低平原,东部为海岸潮间带[7]。主要微地貌有贝壳堤和深切古河道,其中,深切古河道目前在滨海新区内仅发现三条,均为晚更新世末期至全新世中期古河流冲切形成,其沉积物的工程地质特性较相同埋深的正常沉积地基土有明显差异。各地貌单元的空间分布及特征见图1和表1。

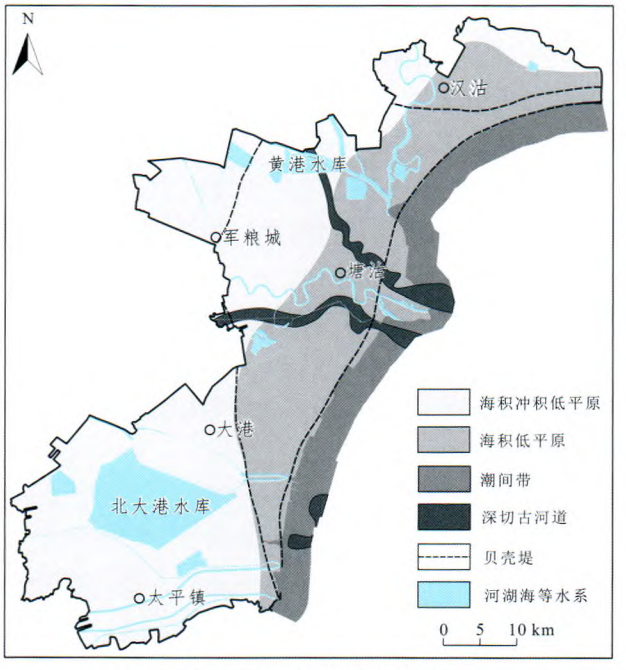

图1 天津滨海新区地貌图
Fig.1 The geomorphology map of the Binhai New Area,Tianjin

收稿日期:2016-07-26
资助项目:天津市重大科技专项"天津市滨海新区地基土标准地层的建立及工程特性研究(14ZCDZGX00828)"
作者简介:周玉明(1963-),男,学士,正高级工程师,主要从事岩土工程勘察、设计及地基处理等方面的工作,E-mail:zym3355@sina.com。

万方数据

表1 天津滨海新区地貌分区表

Tab.1 Illustration about geomorphology map of the Binhai New Area,Tianjin

地貌分区	海积冲积低平原区	海积低平原区	潮间带区	深切古河道区
分布特征	北部汉沽以北地区;中部黄港水库-官港水库以西地区;南部第Ⅱ贝壳堤以西地区	茶淀镇-胡家园-南港工业区沿线以东,滨海新区行政区界以西地区	现海岸线以东地区,以中心渔港北部、马棚口东部地区为主	北部黄港水库-经济技术开发区-天津港沿线;中部葛沽-新城-临港工业区沿线;南部南港工业区西部地区

1.2 滨海新区地基土的基本类型

滨海新区第四纪以来经多次海侵、海退和河流迁徙改道以及海陆交互作用,在不同时期、不同部位沉积了不同性质的沉积地层。这些地质上的沉积层也就是滨海新区的地基土。从地质成因上分为两大类,即陆相沉积层和海相沉积层。滨海新区东西向各陆相沉积层和海相沉积层的厚度差异很大;总体上各陆相地基土层呈现出西部厚度大、东部厚度小的楔形沉积结构;海相地基土层则与之相反。综合滨海新区地基土的资料,可划分为多个地基土层类型。

1.2.1人工填土层(Qml)

人工填土层在滨海新区内均有分布;常见厚度为1.0~5.0 m,受原始地貌形态控制,天然地面低洼处厚度较大,较高处较薄,总体上自西向东逐渐增大;由于受海河、黄河、蓟运河等主要河流的影响,滨海新区现状河流两侧以及西南部地区形成较高的地形,人工填土层相对较薄。该层土土质松散,总体强度较低,压缩性高,对工程建设影响较大。

1.2.2新近沉积层(Q_4^{3N}al)

新近沉积层在第Ⅰ道贝壳堤以东地区零星分布,其余地区遍布;常见厚度为1.0~3.0 m,中部现海河两侧、南部海滨街以南地区以及太平镇以西地区较厚,北部杨家泊镇、汉沽工业园区以及北塘水库周边地区较薄。其形成年代较短,属欠固结土,承载力较低,工程性质较差,一般不能作为建筑物天然地基的持力层。

1.2.3第Ⅰ海相层(Q_4^2m)

第Ⅰ海相层在全区内普遍分布;常见厚度为10.0~16.0 m,在北部汉沽工业园区以东的大部分地区、中部海河两侧的深切古河道区等厚度较大,钱圈水库-北大港水库-港西街沿线以西地区厚度较小,总体上该层土自西向东厚度逐渐增大。因整体工程性质较差,厚度越大,对围护桩墙施工、基坑开挖及支护等影响越大。

1.2.4第Ⅱ陆相层(Q_4^1h、Q_4^1al)

第Ⅱ陆相层在全区内基本遍布,但在深切古河道内基本无分布;常见厚度为5.0~9.0 m,一般底板埋深为20.0~30.0 m,天津东疆保税港区北部以及中心渔港以北地区该层底板埋深较大,西部滨海国际机场以及南部大苏庄附近该层底板埋深较小。该层中的粉土、粉砂呈密实状态,标贯击数一般为16~45击,可作为多层或中高层建筑桩端持力层。

1.2.5第Ⅲ陆相层(Q_3^eal)

第Ⅲ陆相层在全区内基本遍布,受深切古河道的影响,仅在葛沽镇-新城镇-大沽街沿线一带以及天津港东部地区、天津东疆保税港区南部地区无分布;常见厚度为4.0~10.0 m,一般底板埋深为27.0~38.0 m,中部天津经济技术开发区、东部天津东疆保税港区、北部北塘街附近该层底板埋深较大,西部滨海高新区附近该层底板埋深较小。该层中的粉土、粉砂呈密实状态,一般标贯击数20~65击,可作为中高层或高层建筑桩端持力层。

1.2.6软土

滨海新区的软土按其成因可分为吹填软土、坑底淤积软土、古河道沉积软土以及海积软土4类,在全区内基本遍布,常见厚度为3.0~12.0 m,总体上自西向东逐渐增大,天津经济技术开发区、天津港、天津东疆保税港区南部以及南港工业区附近厚度较大,天津滨海国际机场以及北大港水库以南地区较薄。其强度低、灵敏度高、透水性差,桩基容易产生负摩阻力;在厚度较大地区施工时,容易产生基坑支护结构变形失稳、盾构掘进土压平衡保持困难等问题。

2滨海新区主要地基土层厚度变化

滨海新区人工填土层、新近沉积层、第Ⅰ海相层以及软土厚度分区如图2~5所示,其说明见表2。

3滨海新区主要地基土层底板埋深

滨海新区新近沉积层、第Ⅰ海相层、第Ⅱ陆相层以及第Ⅲ陆相层底板埋深分布如图6~9所示,其分区说明见表3。

万方数据

4 滨海新区地基土的工程特性

地基土的物理力学性质直接反映了其工程地质特性。全新统下组Q_4^1及其下部地基土层埋深较大、固结时间较长,同成因层内、相同岩性层的物理力学性质差异很小,工程性质差别不大;全新统中组Q_4^2及其上部地基土层固结时间较短,各岩性层物理力学性质及工程特性差别较大,其中以新近沉积层和海相软土层最为明显。

在综合分析滨海新区地基土物理力学性质的基础上,以工程勘察钻孔数据为基础,统计分析了新近沉积层、上部软土层(标准地层标号⑥$_1$)、下部软土层(标准地层标号⑥$_4$)的物理力学指标[8],其平均值统计结果及分区情况见表4。

5 滨海新区地基土的工程地质分区

工程地质分区是工程地质环境评价的主要内容之一,是工程建设规划和岩土工程勘察的基础[9-10]。

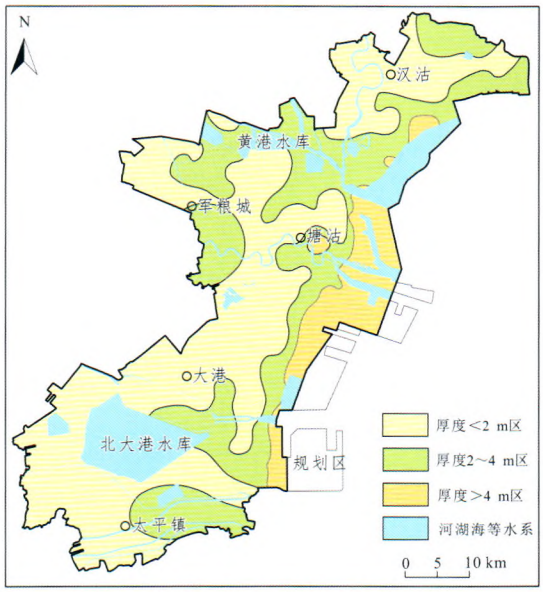

图2 滨海新区人工填土层厚度分区图
Fig.2 Thickness zoning of artificial fill in Binhai New Area

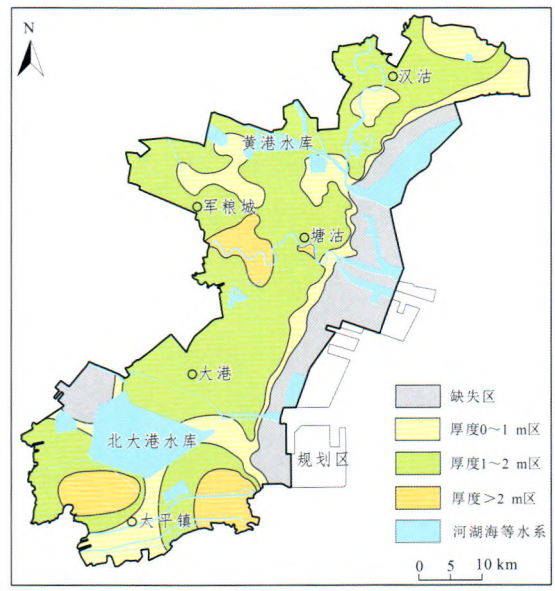

图3 滨海新区新近沉积层厚度分区图
Fig.3 Thickness zoning of recently deposited soil in Binhai New Area

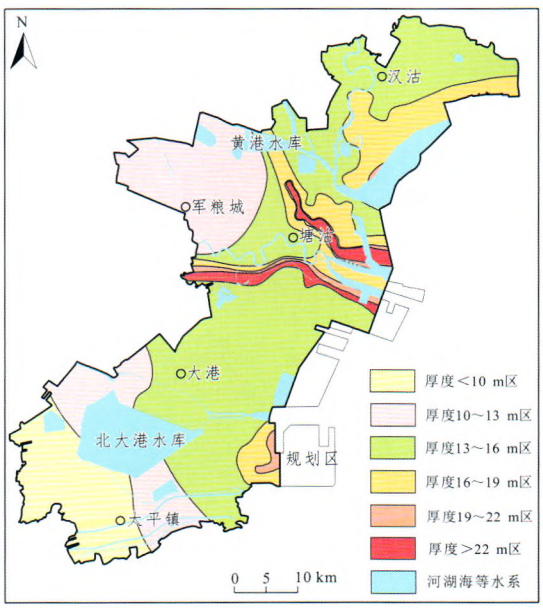

图4 滨海新区第Ⅰ海相层厚度分区图
Fig.4 Thickness zoning of the first marine in Binhai New Area

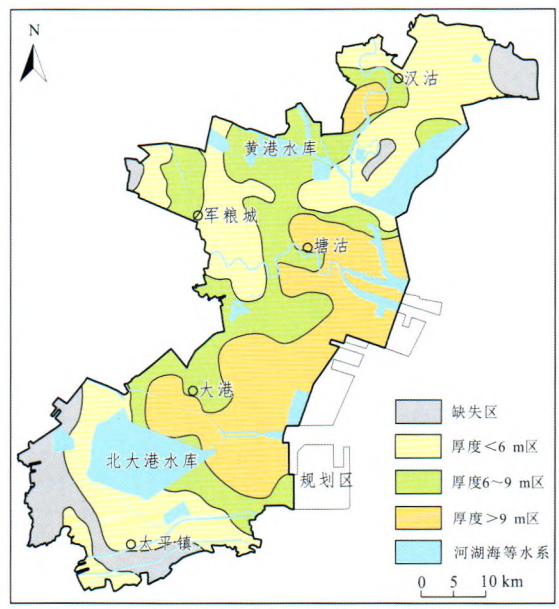

图5 滨海新区软土厚度分区图
Fig.5 Thickness zoning of soft soil in Binhai New Area

万方数据

表2 滨海新区重要地基土厚度分区图说明

Tab.2 Illustration about thickness zoning of the important foundation soil in Binhai New Area

地基土厚度分区		较小厚度区	中等厚度区	较大厚度区
人工填土层	厚度	< 2.0 m	2.0 ~ 4.0 m	> 4.0 m
	分布	以黄港水库-散货物流中心-北大港水库沿线以西地区为主	以北塘水库-塘沽-南港沿线以东、第Ⅰ贝壳堤以西地区为主	以第Ⅰ贝壳堤以东地区为主
新近沉积层	厚度	< 1.0 m	1.0 ~ 2.0 m	> 2.0 m
	分布	第Ⅰ贝壳堤以东地区;高庄水库以北地区;开发区西区等	第Ⅰ贝壳堤以西大部分地区	海河古河道;大苏庄农场;马棚口地区等
第Ⅰ海相层	厚度	< 13.0 m	13.0 ~ 16.0 m	> 16.0 m
	分布	第Ⅱ贝壳堤中、南部以西地区等	以第Ⅱ贝壳堤以东大部分地区为主	深切古河道区;滨海旅游区以北的近海地区等
软土	厚度	< 6.0 m	6.0 ~ 9.0 m	> 9.0 m
	分布	汉沽北部;滨海旅游区;无瑕街;北大港水库以南地区等	以黄港水库-胡家园-大港沿线地区为主	塘沽-临港-南港沿线以东地区;茶淀镇等

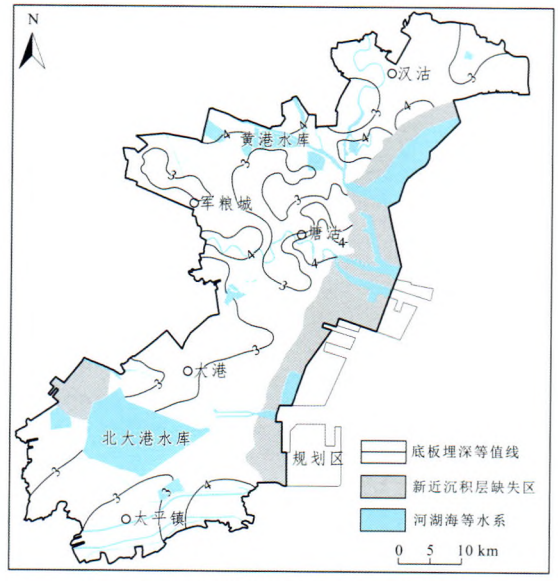

图6 滨海新区新近沉积层埋深分布图

Fig.6 Buried depth distribution of the bottom plate in Binhai New Area(recently deposited soil)

图7 滨海新区第Ⅰ海相层埋深分布图

Fig.7 Buried depth distribution of the bottom plate in Binhai New Area(the first marine facies)

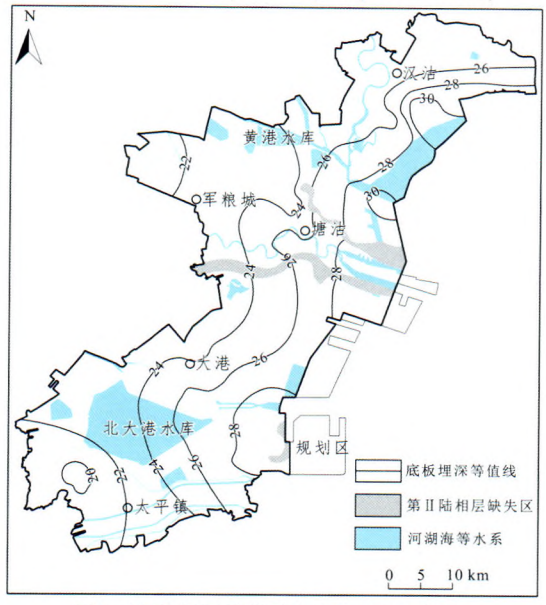

图8 滨海新区第Ⅱ陆相层埋深分布图

Fig.8 Buried depth distribution of the bottom plate in Binhai New Area(the second continental facies)

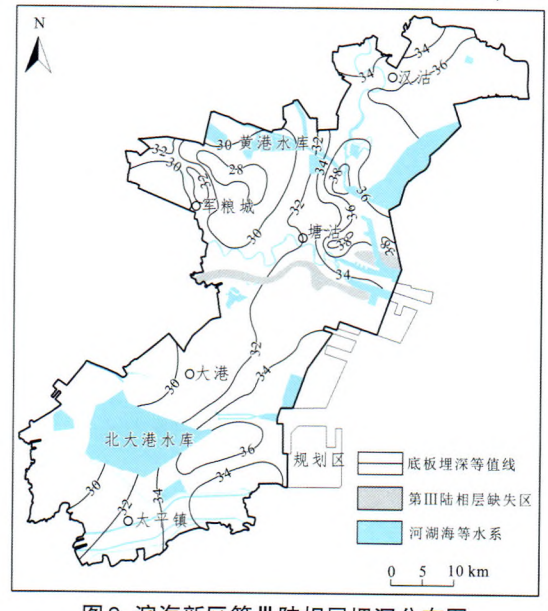

图9 滨海新区第Ⅲ陆相层埋深分布图

Fig.9 Buried depth distribution of the bottom plate in Binhai New Area(the third continental facies)

万方数据

表3 滨海新区重要地基土埋深分布图说明

Tab.3 Illustration about buried depth distribution of the important foundation soil in Binhai New Area

地基土埋深分区		较小埋深区	中等埋深区	较大埋深区
新近沉积层	埋深	< 3.0 m	3.0 ~ 4.0 m	> 4.0 m
	分布	高庄水库周边;营城镇;中塘镇;小王庄镇;太平镇等	汉沽大部地区;官港水库-大港-北大港水库沿线以西大部分地区	滨海旅游区;塘沽东部地区;马棚口附近等
第Ⅰ海相层	埋深	< 16.0 m	16.0 ~ 22.0 m	> 22.0 m
	分布	第Ⅱ贝壳堤中部以西地区;北大港水库-沙井子水库沿线以南地区	第Ⅱ贝壳堤中、南部以东大部分地区	深切古河道区;滨海旅游区等
第Ⅱ陆相层	埋深	< 24.0 m	24.0 ~ 28.0 m	> 28.0 m
	分布	黄港水库-官港水库-北大港水库沿线以西地区	黄港水库-官港水库-北大港水库沿线以东,第Ⅰ贝壳堤以西大部分地区	以第Ⅰ贝壳堤以东大部分地区为主
第Ⅲ陆相层	埋深	< 30.0 m	30.0 ~ 36.0 m	> 36.0 m
	分布	黄港水库-无瑕街,中塘镇-大苏庄农场以西大部分地区	第Ⅱ贝壳堤与第Ⅰ贝壳堤之间的大部分地区	高庄水库-中心渔港,北塘-天津港沿线以东地区;大港油田等

表4 滨海新区浅层土物理力学性质分区说明

Tab.4 Illustration about physical and mechanical properties zoning of the shallow soil in Binhai New Area

物理力学性质分区		第Ⅱ贝壳堤以西地区	第Ⅰ、Ⅱ贝壳堤之间地区	第Ⅰ贝壳堤以东地区
新近沉积层	孔隙比(e)	0.86	0.94	0.96
	压缩模量(E_s/MPa)	4.64	4.08	3.78
	标贯击数(N/击)	2.93	2.79	2.61
上部软土	孔隙比(e)	1.20	1.27	1.28
	压缩模量(E_s/MPa)	2.92	2.70	2.68
	标贯击数(N/击)	1.43	1.29	1.14
下部软土	孔隙比(e)	1.10	1.19	1.24
	压缩模量(E_s/MPa)	3.19	2.92	2.85
	标贯击数(N/击)	1.75	1.58	1.33

不同区域的工程地质环境不同,不同角度的工程地质分区结果也不相同,因此工程地质分区的原则也没有统一性[11-16]。滨海地区地基土工程地质分区前人多把软土类型和空间分布及工程特性作为工程地质分区的主要依据[4-7],缺乏全要素的综合分区。本次滨海新区地基土的工程地质分区目的是服务于工程规划和工程勘察,特别是地基土天然承载力的利用,工程场地的适宜性的评价。因此,分区的原则既要考虑地貌单元划分,又要充分考虑地基土的地质成因类型及工程特性,特别是地基土的三维空间分布特征,如不同地基土层的埋深、厚度及物理力学指标特征等。根据上述分区思路和分区原则,把滨海新区上更新统五组(Q_3^5al)及其以上地基土分为四个区(图10),并对每个分区的主要工程特性和工程适应性进行了初步评价(表5)。滨海新区地基土的工程地质分区综合性和适用性可以更好的指导工程规划和勘察设计,特别是地下工程的规划与建设。

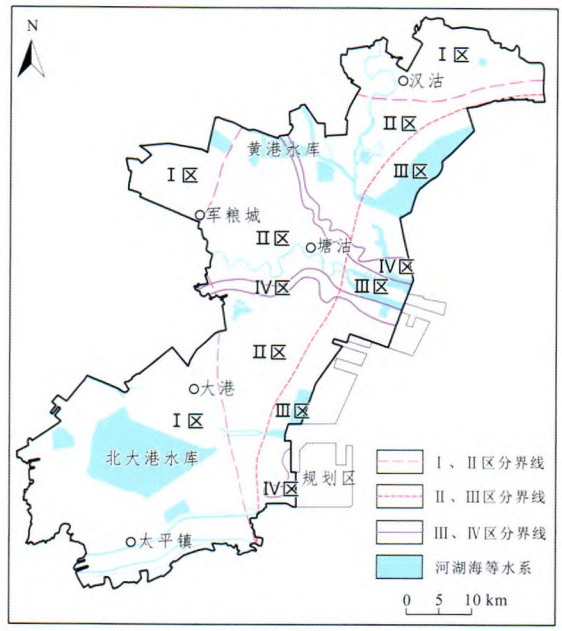

图10 滨海新区地基土工程地质分区图

Fig.10 The engineering geological zoning of foundation soil in Binhai New Area

6结论

(1)天津市滨海新区地基土成因类型多样,包括海相淤积、泻湖相沉积、河流冲积、三角洲沉积等多种成因。从工程的角度可以划分为人工填土层、新近沉积层、第Ⅰ海相层、第Ⅱ陆相层、第Ⅲ陆相层。不同地基土层的工程物理力学性质指标差异大,并且三维空间分布具有一定规律性。

(2)依据滨海新区地貌特征、地基土成因类型、地基土物理力学指标、不同类型地基土厚度、埋深及三维空间变化等,对滨海新区上更新统五组(Q_3^5al)及其以上地基土进行了工程地质分区,编绘了滨海新区地基土工程地质分区图,对各分区工程特性和工程适应性做了定性评价。

(3)滨海新区地基土层综合分区客观揭示地基土的沉积特征及物理力学性质,准确反映各区内不

万方数据

表5 滨海新区地基土工程地质分区说明

Tab.5 Illustration about the engineering geological zoning of foundation soil in Binhai New Area

分区号			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
地貌	地貌形态		海积冲积低平原	海积低平原	潮间带	与周边分区基本一致
	微地貌		第Ⅱ贝壳堤为东边界	第Ⅱ贝壳堤为西边界；第Ⅰ贝壳堤为东边界	第Ⅰ贝壳堤为西边界	深切古河道区
沉积环境	沉积时间		海相较短；陆相较长	海相中等；陆相中等	海相较长；陆相较短	与周边分区基本一致
	沉积厚度		陆相较厚；海相较薄	陆相中等；海相中等	陆相较薄；海相较厚	与周边分区基本一致
厚度	人工填土层		1.0～3.0 m	1.0～5.0 m	4.0～7.0 m	与周边分区基本一致
	第Ⅰ海相层		10.0～13.0 m	13.0～16.0 m	16.0～20.0 m	>22.0 m
	软土		<6.0 m	6.0～9.0 m	9～12 m	与周边分区基本一致
	粉(砂)土(埋深<30 m)		<5.0 m	<5.0 m	<5.0 m	8.0～15.0 m
埋深	第Ⅰ海相层		14.0～18.0 m	16.0～20.0 m	18.0～24.0 m	28.0～34.0 m
	第Ⅱ陆相层		20.0～26.0 m	24.0～28.0 m	28.0～30.0 m	缺失
	第Ⅲ陆相层		28.0～34.0 m	30.0～36.0 m	34.0～38.0 m	局部缺失
物理力学性质	软土	e	1.10～1.20	1.19～1.27	1.24～1.28	与周边分区基本一致
		Es /MPa	2.92～3.19	2.70～2.92	2.68～2.85	与周边分区基本一致
		N/击	1.43～1.75	1.29～1.58	1.14～1.33	与周边分区基本一致
	粉质粘土(Q_4^2)	e	0.79～0.88	0.83～0.93	0.88～0.99	与周边分区基本一致
		Es /MPa	4.66～5.29	4.48～5.17	3.82～4.13	与周边分区基本一致
		N/击	3.82～5.31	3.73～5.17	3.08～5.13	与周边分区基本一致
	粉(砂)土(Q_4^2)	e	0.65～0.69	0.67～0.69	0.67～0.68	0.62～0.64
		Es /MPa	13.28～13.67	13.66～14.41	13.48～14.62	15.19～17.24
		N/击	11.82～18.05	12.14～18.89	11.79～19.52	29.36～29.65
	粉质粘土(Q_4^1)	e	0.65～0.66	0.66～0.69	0.67～0.69	缺失
		Es /MPa	5.52～6.74	5.28～6.41	5.19～6.26	缺失
		N/击	7.61～10.65	7.93～10.68	8.07～10.98	缺失
	粉(砂)土(Q_4^1)	e	0.58～0.65	0.63～0.65	0.60～0.65	缺失
		Es /MPa	12.85～14.18	14.31～14.85	15.08～16.13	缺失
		N/击	18.95～25.13	21.84～26.78	20.52～28.95	缺失
分布	分布界限		第Ⅱ贝壳堤以西	第Ⅱ贝壳堤以东；第Ⅰ贝壳堤以西	第Ⅰ贝壳堤以东	深切古河道区
	主要区域		茶淀镇-汉南路，军粮城-东丽湖，大港-津岐公路沿线以西	茶淀镇-汉南路，军粮城-东丽湖，大港-津岐公路沿线以东；老海防公路沿线以西	老海防公路沿线以东	北部黄港水库-天津港沿线；中部葛沽镇-临港沿线；南部南港工业区内
工程地质特性评价			工程地质特性较好区，表层地基土沉积时间较长，陆相沉积层相对较厚，重要地基土厚度、埋深均较小，地基条件和施工条件相对较好	工程地质特性相对较好区，表层地基土沉积时间中等，陆相沉积厚度中等，重要地基土厚度、埋深中等，地基条件和施工条件一般	工程地质特性相对较差区，表层地基土沉积时间较短，陆相沉积厚度较薄，重要地基土厚度、埋深均较大，地基条件和施工条件相对较差	表层土工程地质特性与周边分区基本一致，但第Ⅰ海相层粉(砂)土厚度较大，工程性质较第Ⅱ、Ⅲ陆相层粉质粘土好，较第Ⅱ、Ⅲ陆相层粉(砂)土差

同岩土体的工程地质特性，为滨海新区的地基土层标准化建立提供了基础，可满足岩土工程勘察、规划工程地质勘察等的需要。滨海新区地基土工程地质分区图可为滨海新区的基础设建设规划、地基土标准层序的建立以及合理利用天然地基土的承载力提供依据。

参考文献：

[1] 周玉明，路清，赵志峰，等.天津市滨海新区地基土标准地层的建立及工程特性研究[R].天津：天津市勘察院，2016.

[2] 杜东菊，杨爱武，等.天津滨海软土[M].北京：科学出版社，2012：29-104.

[3] 刘举，杜东菊.天津滨海新区软土工程地质分区多级模糊综合评判模型[J].工程地质学报，2013，21(4)：487-491.

[4] 宋盛渊，王清，等.天津滨海新区地基土工程地质分区的可拓学评价[J].东北大学学报(自然科学版)，2014，35(10)：1502-1506.

[5] 王兰化，马武明，等.天津滨海新区地下空间开发适宜性评价[J].地质调查与研究，2015，38(4)：299-303.

[6] 裴艳东，王国明.天津滨海新区南部海岸带晚第四纪沉积物工程地质特性研究[J].地质调查与研究，2016，39(3)，215-220.

[7] 天津市地质矿产局.天津市地质环境图集[M].北京：地质出版社，2004：13-28.

[8] GB 50021-2001 岩土工程勘察规范[s].北京：中国建筑工业出版社，2009.

万方数据

[9] 方鸿琪,杨闽中.工程场地的特征与工程地质分区[J].工程地质学报,2002,10(3):244-247.
[10] 孙毅力.工程地质分区与岩土工程问题[J].地质灾害与环境保护,2015,26(2):86-89.
[11] 张文龙,史玉金.上海市工程地质分区问题[J].上海国土资源,2013,34(1):5-8.
[12] 孙健,吴良芳,等.南京浦口地区工程地质分区及其评价[J].江苏地质,2006,30(3):226-230.
[13] 张永军,李松,等.兰州城市区工程地质分区研究[J].兰州大学学报(自然科学版),2014,50(5):599-603.
[14] 孙快忠.奉化江、姚江流域工程地质分区和工程地质问题[J].地质调查与研究,2013,36(4):305-310.
[15] 陈继灿,崔可锐,等.安徽宣城市工程地质分区研究[J].安徽地质,2015,25(2):145-148.
[16] 于慧丽,龙建辉,等.吕梁山区黄土边坡工程地质分区及强度参数选取[J].工程地质学报,2014,22(1):152-159.

Research on the engineering geological zoning of foundation soil in Binhai New Area, Tianjin

ZHOU Yu-ming[1], GUO Jin-jing[2], WEN Wei-guang[1], LIU Xiao-lei[1], ZHAO jian-jun[2], LIU han-peng[2]

(*1. Tianjin Institute of Geotechnical Investigation Surveying, Tianjin 300191, China;*
2. School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: Since the late Pleistocene and Holocene, the foundation soil, including marine facies, lake and paludal facies, fluvial facies and deltaic facies, is formed by marine transgression and regression, river migration in Binhai New Area, Tianjin. Different causes of foundation soil lead to a large difference in the engineering properties and three-dimensional spatial distribution. On the basis of collecting a great amount of engineering investigation data, according to the geological genetic types and spatial distribution of the foundation soil, the thickness and buried depth distribution of the important foundation soil and properties of the shallow soil, the engineering geological zoning of foundation soil in Binhai New Area is divided into 4 subdivisions, and we also completed the map of the engineering geological zoning of foundation soil. It provided a scientific basis for the planning of infrastructure construction, the establishment of the standard subsoil sequence and the rational use of the natural foundation bearing capacity.

Key words: Binhai New Area; foundation soils; engineering properties of foundation soils; engineering geological zoning of foundation soil

万方数据