

滨海新区建筑场地的地震效应研究

王 鹏 刘晓磊 张博夫 周世冲 王 磊

(天津市勘察设计院集团有限公司, 天津 300191)

【摘要】 在对滨海新区区域地质背景进行分析的基础上,统计了滨海新区百余项工程的地基土等效剪切波速、场地覆盖层厚度,并对滨海新区的场地类别进行了划分,给出了滨海新区不同建筑场地的分布范围及地震动参数;对滨海新区 3932 个岩土工程勘察钻孔进行了液化判定,综合滨海新区地震调查实际喷水冒砂调查点位及非液化勘察钻孔分布情况,给出了滨海新区液化土层的分布范围及液化等级分区。研究结果表明:(1)滨海新区埋深 20 m 以内的地基土等效剪切波速一般介于 140.0~170.0 m/s,均属软弱—中软土,场地覆盖层厚度多在 90~100 m;(2)滨海新区大部分地区场地类别为Ⅳ类场地,仅北部滨海旅游区、西部空港经济区以及北大港水库以西地区为Ⅲ类场地;(3)滨海新区液化区域主要分布在汉沽、塘沽及大港部分地区,其中,中等液化区主要分布在大港、汉沽南部、军粮城及塘沽海河附近,严重液化区仅在中新生态城附近分布。

【关键词】 滨海新区;地震效应;场地类别;地震动参数;粉土液化

【中图分类号】 P641

【文献标识码】 A

doi: 10.20265/j.cnki.issn.1007-2993.2025-0077

Seismic effects of construction sites in Binhai New Area

WANG Peng LIU Xiaolei ZHANG Bofu ZHOU Shichong WANG Lei

(Tianjin Survey Design Institute Group Co., Ltd., Tianjin 300191, China)

【Abstract】 Based on the analysis of the regional geological background of the Binhai New Area, this paper statistically analyzed the equivalent shear wave velocity of foundation soils and the site overburden thickness from more than a hundred projects in the Binhai New Area. It also classified the site categories of the Binhai New Area and provided the distribution range and ground motion parameters for different architectural sites. Furthermore, the paper conducted liquefaction determination for 3932 geotechnical investigation boreholes in the Binhai New Area. By integrating the actual spouting sand investigation points from seismic surveys and the distribution of non-liquefaction investigation boreholes in the Binhai New Area, the paper delineated the distribution range and liquefaction grade zoning of the liquefiable soil layers. The study results indicate: (1) The equivalent shear wave velocity of foundation soil above 20 m depth is generally 140.0~170.0 m/s, corresponding to soft to medium-soft soils. The site overburden thickness is mostly 90~100 m. (2) Most areas in the Binhai New Area are categorized as Class Ⅳ sites, with only the northern Binhai Tourism Area, the western Airport Economic Area, and the area west of Beidagang Reservoir classified as Class Ⅲ sites. (3) Liquefiable zones are primarily distributed in parts of Hangu, Tanggu, and Dagang, with moderate liquefaction areas mainly in the Dagang District, southern Hangu District, Junliangcheng, and near the Haihe River in Tanggu. Severe liquefaction areas are only distributed near the Sino-Singapore Tianjin Eco-City.

【Key words】 Binhai New Area; seismic effects; site category; ground motion parameters; silt liquefaction

0 引言

建筑场地的地震效应是指在地震动作用下,建筑场地上出现的各种地震灾害和地表破坏现象,主要体现为场地地表破坏、场地地基沉陷、粉(砂)土液化、地基失效变形以及建筑物倾斜、下沉、滑移等。

自 20 世纪以来,天津地区众多工程勘察设计单

位、地质调查研究机构及部分科研院所等对天津地区建筑场地的地震效应进行了大量研究,取得了丰硕的成果。潘品蒸^[1]在对滨海新区区域地壳稳定性、地震烈度、地面沉降、软土、盐渍土等不稳定地质环境分析的基础上,开展了天津滨海地区工程地质稳定性分析评价,并提出了相关对策与措施;王志强等^[2]

基金项目:天津市科技支撑计划项目(14ZCDZGX00828)

作者简介:王 鹏,男,1988 年生,硕士,高级工程师,主要从事岩土设计方面工作。E-mail: 878845244@qq.com

通信作者:刘晓磊,男,1986 年生,硕士,高级工程师,从事岩土勘察工作。E-mail: xiaogoudagou@163.com

根据中新天津生态城现场地质调查和勘测结果,利用地质环境适宜性评价因子建立了评价指标体系,并采用 ANN 与 GIS 耦合技术对中新天津生态城进行了场地地质环境适宜性评价;高梓旺等^[3]针对天津地区的岩土工程勘察实际状况,对天津建筑抗震地段的划分、粉(砂)土液化以及软土地基在地震作用下的沉降等关键问题进行了深入分析。房万领等^[4]根据天津市活动断裂及地壳稳定性调查资料,应用地理信息系统(GIS)的分层分析技术,对天津地区的工程地质稳定性进行了全面评估。乔丽红等^[5]对天津中心城区建筑场地与地基的地震效应开展了系统研究。

综上所述,现有研究多聚焦于天津中心城区或某一建设项目,针对滨海新区整体的建筑场地地震效应研究较少,且天津地区抗震设防烈度调整后,以往场地地震效应评价成果与现行标准规范实施后差异较大^[6-9],不能完全满足滨海新区岩土工程勘察设计以及城市规划决策管理等工作的需要。为此,本文对滨海新区的建筑场地地震效应进行了研究,以期对滨海新区的工程勘察、建筑抗震设计、项目场址选择等提供参考。

1 区域地质背景

滨海新区位于华北平原北部,坐落于海河流域的末端,紧邻渤海湾,北部与河北省丰南区接壤,南部与河北省黄骅市相邻,总面积 2270 km²。在地貌形态上属于海积冲积低平原、海积低平原、潮间带浅滩,整体地势较为平坦,且地下水位较高。滨海新区主要发育有两组断裂带,其中沧东断裂、汉沟断裂属北北东向压性断裂带;海河断裂、汉沽断裂属北西西向张性断裂带。

1.1 工程地质、水文地质条件

滨海新区第四纪下界距今约 248 万年,沉积厚度一般在 260 ~ 420 m。受第四纪冰川期的影响,滨海新区经历了 6 次海侵、海退;6 次海洋的入侵与退却形成了滨海新区海洋与陆地沉积物的交替层序,其自下而上依次可分为杨柳青组(Q_p^{1y})、佟楼组(Q_p^{2t})、塘沽组(Q_p^{3t})以及天津组(Q_n^{4t})。杨柳青组(Q_p^{1y})底界埋深 267 ~ 425 m,岩性主要为棕色、灰绿色黏土与砂、粉砂不规则互层;佟楼组(Q_p^{2t})底界埋深 151 ~ 204 m,岩性主要为灰色细砂、粉砂及粉土、粉质黏土,夹深灰色、黑灰色黏土,砂层较多;塘沽组(Q_p^{3t})底界埋深 60 ~ 88 m,岩性为灰色为主的粉质黏土、粉土与细砂、粉砂不规则互层;天津组(Q_n^{4t})底界埋深 14 ~ 24 m,三分性明显,顶部为河漫滩相与湖沼相黏土,中部为灰色粉质黏土、淤泥质土等海侵层,下部

为灰黄色、灰白色粉质黏土层。

滨海新区地下水受多种因素的共同作用,包括地壳结构、岩层性质、地形地貌、气候条件以及海进海退等,导致其水文地质条件较为复杂。其地下水最高水位埋深一般为 0.4 ~ 3.0 m,总体中北部、中东部及南部局部深,西北部、中部局部及西南部浅。

1.2 工程地质分区

由于滨海新区面积较广,区内分布的软土、液化土及微地貌等不良地质条件及特殊性岩土复杂多变,为确保本次研究成果的准确、合理、科学,本文以工程地质条件相似或相近的原则,采用相关滨海新区工程地质分区成果^[10]对滨海新区建筑场地的地震效应进行研究,其地质分区见图 1,各区分布及工程地质特性见表 1。

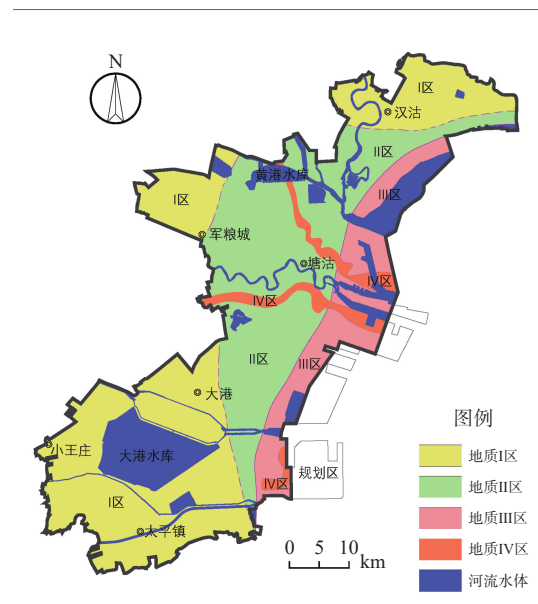


图 1 滨海新区工程地质分区图

Fig. 1 Engineering geological zonation map of Binhai New Area

2 滨海新区场地类别

2.1 地基土等效剪切波速

本次研究共收集滨海新区剪切波速孔资料 478 个,基本覆盖了滨海新区陆域范围,各剪切波速孔位置见图 2。

按式(1)、式(2)计算上述 478 个剪切波速孔的地基土层等效剪切波速:

$$v_{se} = d_0 / t \quad (1)$$

$$t = \sum_{i=1}^n (d_i / v_{si}) \quad (2)$$

式中: v_{se} 为土层的等效剪切波速, m/s; d_0 为计算深度, m; t 为剪切波由地面传至计算点的时间, s; d_i 为第 i

表 1 滨海新区工程地质分区特征

Tab. 1 Characteristics of engineering geological zonation in Binhai New Area

特征	工程地质 I 区	工程地质 II 区	工程地质 III 区	工程地质 IV 区
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
分布	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 陆相层粉质黏土好,较第 II、III 陆相层粉(砂)土差

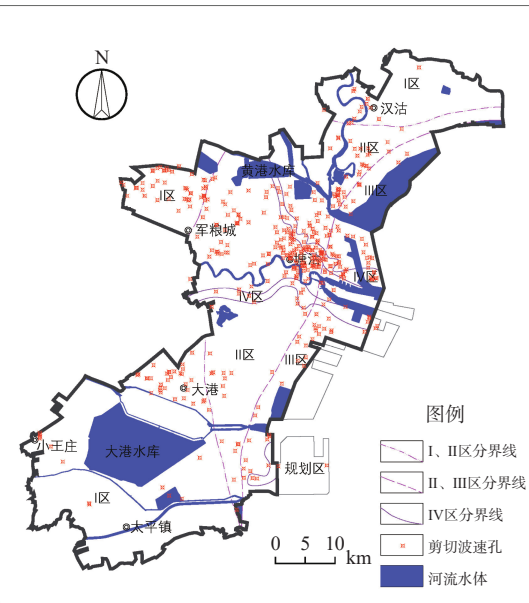


图 2 滨海新区等效剪切波速试验实际材料图
Fig. 2 Actual material map of equivalent shear wave velocity test in Binhai New Area

层土的厚度, m ; V_{si} 为第 i 层土的剪切波速, m/s ; n 为土层数。

整理各剪切波速孔的地基土等效剪切波速值计算结果,并按照 $V_{se} \leq 150 \text{ m/s}$ 属软弱土、 $150 < V_{se} \leq 250 \text{ m/s}$ 属中软土等进行统计,结果如表 2 所示。

表 2 埋深 20 m 以内地基土等效剪切波速计算结果表
Tab. 2 Calculation results of equivalent shear wave velocity of foundation soil in 20 m buried depth

场地土类别	区间值/($m \cdot s^{-1}$)	钻孔数	所占比例/%
软弱土	103.2 ~ 149.6	383	80
中软土	150.4 ~ 196.2	95	20

总体上,滨海新区埋深 20 m 以内地基土等效剪切波速一般介于 140.0 ~ 170.0 m/s,均属软弱土、中软土,其中软弱土钻孔占比 80% 左右。

为查清滨海新区 20 m 以内地基土等效剪切波速分布规律,本文对上述计算结果进行插值分析,绘制了滨海新区 20 m 以内地基土等效剪切波速等值线及分区图(见图 3)。

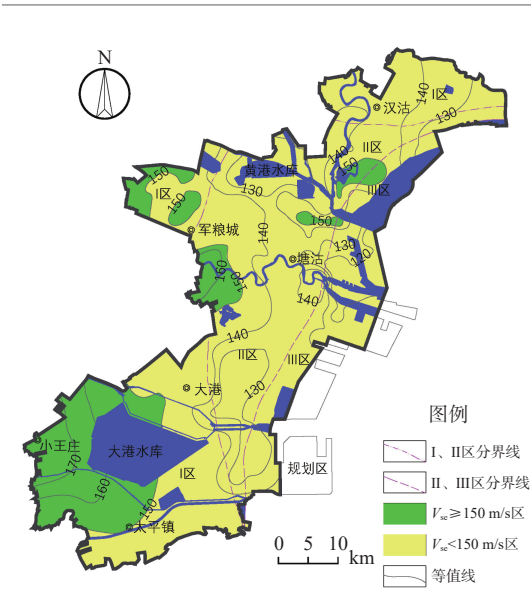


图 3 地基土等效剪切波速等值线及分区图
Fig. 3 Contour and zonation map of equivalent shear wave velocity of foundation soil

可以看出,滨海新区地质 I 区地基土等效剪切波速多在 140.0 ~ 170.0 m/s;北部茶淀镇、高庄水库以及洒金坨附近较小,多小于 140.0 m/s;中部及南部普遍较大,多在 150.0 ~ 170.0 m/s;小王庄镇西南部地区等效剪切波速多大于 170 m/s。II 区地基土等效剪切波速一般介于 130.0 ~ 150.0 m/s;黄港水库附近、天津港散货物流中心以及古林街东部地区较小,多小于 130 m/s;葛沽镇西部、中心生态城附近等效剪切波速较大,多在 150.0 ~ 160.0 m/s。III 区地基土等效剪切波速一般介于 125.0 ~ 150.0 m/s;天津港、东疆港南部以及南疆港部分地区等效剪切波速较小,多小

于 125 m/s; 滨海旅游区北部地区等效剪切波速较大, 多大于 150 m/s。

2.2 场地覆盖层厚度

依据收集到的滨海新区 85 个深孔剪切波速资料, 进行滨海新区场地覆盖层厚度研究, 各剪切波速孔位置见图 4。

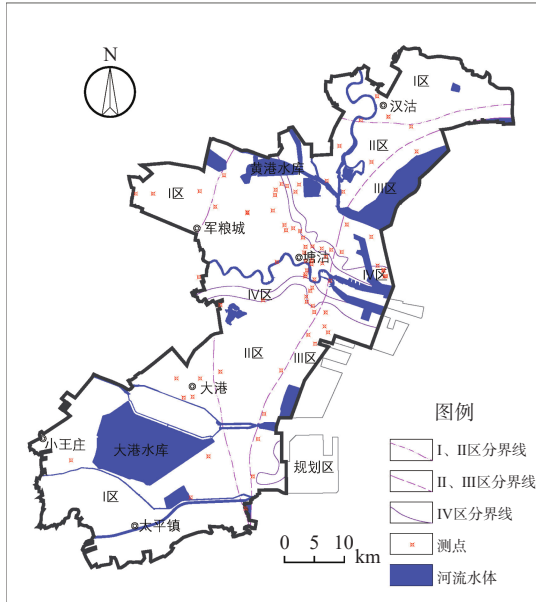


图 4 滨海新区场地覆盖层厚度试验实际材料图
Fig. 4 Actual material map of site overburden thickness test in Binhai New Area

对上述 85 个剪切波速孔的场地覆盖层厚度进行统计, 可知滨海新区场地覆盖层厚度均大于 80 m, 厚度最大值为 109.0 m, 最小值为 80.3 m, 各钻孔揭示的场地覆盖层厚度多在 90 ~ 100 m, 占钻孔比例的 61%。具体统计结果如表 3 所示。

表 3 滨海新区场地覆盖层厚度统计表
Tab. 3 Statistical table of site overburden thickness in Binhai New Area

序号	区间值/m	钻孔数	所占比例/%
1	<90	24	28
2	90 ~ 100	52	61
3	>100	9	11

为了查清滨海新区场地覆盖层厚度分布规律, 本文对上述统计结果进行插值分析, 绘制了滨海新区场地覆盖层厚度等值线图(见图 5)。

可以看出, 总体上滨海新区场地覆盖层厚度一般为 86.0 ~ 101.0 m, 各地质分区之间差异不大。其中 I 区场地覆盖层厚度一般为 86.0 ~ 101.0 m; 大田镇东部、东丽湖以及沙井子水库附近较小, 多在 83.0 ~ 86.0 m; 南部中塘镇、岐口附近较大, 多在

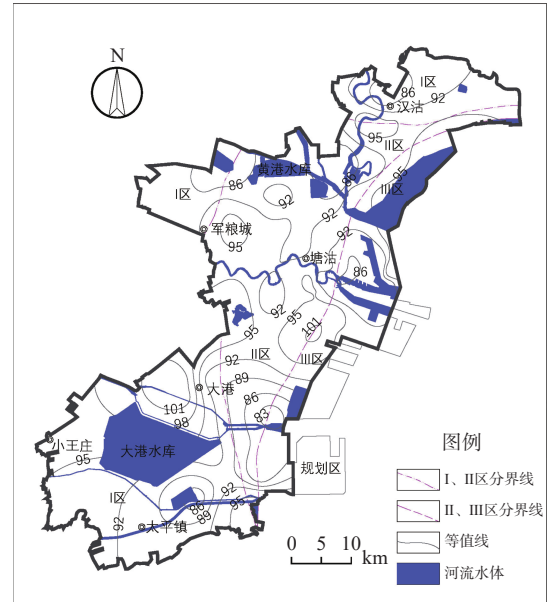


图 5 滨海新区场地覆盖层厚度等值线图
Fig. 5 Contour map of site overburden thickness in Binhai New Area

101.0 ~ 104.0 m。II 区场地覆盖层厚度一般为 86.0 ~ 98.0 m; 黄港水库西部、北塘水库北部以及轻纺经济区南部独流减河附近较小, 多在 83.0 ~ 86.0 m; 官港水库、驴驹河附近较大, 多大于 98.0 m。III 区场地覆盖层厚度一般为 86.0 ~ 101.0 m; 天津港、南港工业区北部以及独流减河入海处附近较小, 多小于 86.0 m; 东疆港、塘沽机场附近较大, 多大于 101.0 m。

2.3 滨海新区场地类别的划分

依据 505 个剪切波速孔实测剪切波速值的分析, 确定滨海新区场地土类型为中软—中硬土, 按照《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(2016 年版)相关规定进行分析评价, 滨海新区大部分地区场地类别为 IV 类场地, 仅北部滨海旅游区附近、西部空港经济区附近、葛沽镇以及北大港水库—太平镇沿线以西地区为 III 类场地(见图 6)。

3 滨海新区的地震动参数

近年来, 天津地区的抗震设防标准经历了一系列的变更。1976 年唐山大地震之后, 天津地区的抗震设防烈度被定为 8 度。随后在 1992 年被下调至 7 度。进入 21 世纪, 天津中东部地区大部分的抗震设防烈度被调整为 7 度(0.15g), 并且被归入第一设计地震分组。到了 2010 年, 抗震设防烈度虽然仍保持在 7 度(0.15g), 但被重新分类为第二组。2016 年至今, 天津地区的抗震设防烈度再次被提升至 8 度(0.20g), 属于第二组。综合近 30 年来的 3 次调整, 可以看出天津地区的抗震设防要求呈现出逐渐增强的趋势, 这也意味着工程抗震设计标准得到了相应的提升。

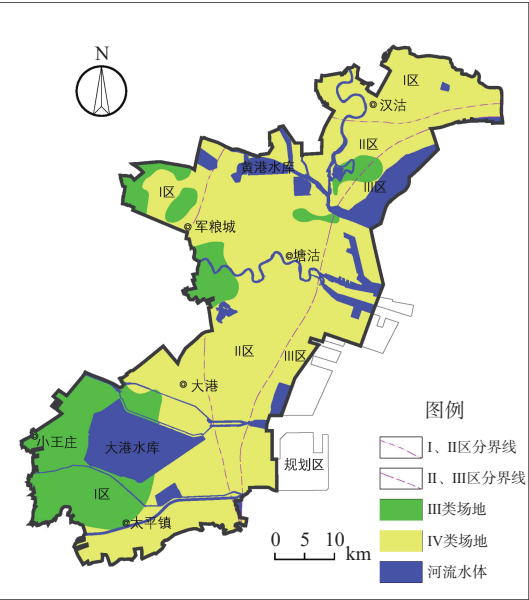


图 6 滨海新区场地类别分区图
Fig. 6 Site classification zonation map of Binhai New Area

当前滨海新区按地震动参数(Ⅱ类场地基本地震动峰值加速度和基本地震动加速度反应谱特征周期)可划分为以下 3 个区域:第一区域为汉沽、塘沽、开发区、东丽区、津南局部及大港局部,位于抗震设防烈度为 8 度区,第二组(0.40 s),设计基本地震加速度为 0.20g。第二区域为津南部分区域及大港部分区域,抗震设防烈度为 7 度区,第二组(0.40 s)。第三区域为大港部分区域,抗震设防烈度为 7 度区,第三组(0.45 s),加速度为 0.15g。各区的具体分布见图 7。

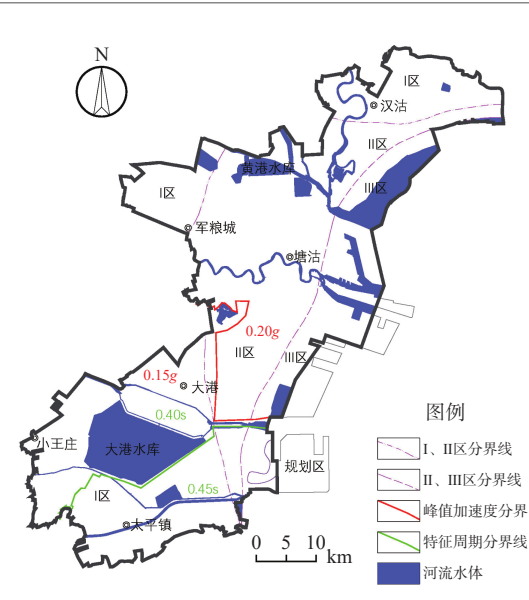


图 7 滨海新区地震动参数区划图
Fig. 7 Seismic ground motion parameter zonation map of Binhai New Area

结合图 6 可知,滨海新区为Ⅲ类、Ⅳ类场地,工程建设中,其地震动参数需按照Ⅱ类场基本地震动峰值加速度和基本地震动加速度反应谱特征周期进行调整,场地特征周期调整方法如表 4 所示。

表 4 滨海新区场地特征周期调整表
Tab. 4 Adjustment table of site characteristic period in Binhai New Area

Ⅱ类场地基本地震动 反应谱特征周期分区值	场地类别	
	Ⅲ	Ⅳ
0.40	0.55	0.75
0.45	0.65	0.90

对于Ⅲ类、Ⅳ类场地的地震动峰值加速度可按照Ⅱ类场地基本地震动峰值加速度与表 5 中调整系数的乘积确定。

表 5 滨海新区场地地震动峰值加速度调整系数表
Tab. 5 Adjustment coefficient of peak ground acceleration for sites in Binhai New Area

Ⅱ类场地基本地震动 峰值加速度值	场地类别	
	Ⅲ	Ⅳ
0.15g	1.15	1.10
0.20g	1.00	1.00

4 饱和粉(砂)土地震液化

4.1 液化土层

滨海新区埋深 20 m 范围内主要分布有 5 层饱和粉土(局部粉砂),分别是人工填土①₃₋₁层粉土质冲填土、新近沉积③₂层粉土、第Ⅰ陆相中④₂层粉土以及第Ⅰ海相沉积的⑥₃、⑥₆层粉土。现对各层饱和粉土(局部粉砂)的分布情况及工程特性进行分析。

(1)人工填土①₃₋₁粉土质冲填土层:常见厚度为 4.0~7.0 m,该层土底板埋深一般在 4.0~7.0 m,总体上自西向东逐渐增大,一般呈松散—稍密状态,为中等(偏低)压缩性土,地震时易液化,在工程中易引发工程质量事故,应引起足够重视。

(2)新近沉积③₂粉土层:一般岩性为粉土,在滨海新区内零星分布,主要集中在汉沽茶淀镇、经济技术开发区西区、古林街、临港经济区东部以及北大港水库以南地区等,常见厚度为 1.0~2.0 m,一般底板埋深为 3.0~5.0 m,多呈稍密状态,无层理,含铁质,为中等(偏低)压缩性土,地震时易液化,该层土工程性质自西部向东部性质逐渐变差。

(3)第Ⅰ陆相④₂粉土层:该层土仅零星分布于钱圈水库以北地区、小王庄镇及郭庄子村附近,常见厚度为 1.0~2.0 m,一般底板埋深为 3.0~6.0 m,一

般呈稍密—中密状态,无层理,含铁质,为中等(偏低)压缩性土,工程性质较好,为浅基础良好的天然地基持力层。

(4)海相沉积⑥₃粉土层:位于第Ⅰ海相层中上部,一般岩性为粉土,在滨海新区内局部分布,北部主要分布于海洋高新区以北、茶淀镇以东的大部分地区,中南部主要集中在散货物流中心—官港水库—北大港水库沿线一带,常见厚度为1.0~5.0 m,底板埋深为6.0~12.0 m,呈稍密—中密状态,有层理,含贝壳,土质一般,为中等(偏低)压缩性土,是滨海新区海相沉积层中的较好土层。

(5)海相沉积⑥₄粉土层:位于第Ⅰ海相层下部,岩性一般以粉土、粉砂为主,全区内局部分布,Ⅳ区内常见厚度为8.0~15.0 m,其余地区常见厚度为1.0~5.0 m,受深切古河道影响,Ⅳ区内底板埋深变化较大,Ⅳ区内一般底板埋深为28.0~34.0 m,其余地区一般底板埋深为16.0~23.0 m,呈稍密—中密状态,有层理,含贝壳,土质较好,为中等(偏低)压缩性土,是一般建筑物良好的桩端持力层。

4.2 基础资料的选取

4.2.1 钻孔资料

此次研究工作基于天津市1989年以来覆盖滨海新区范围的4万多个钻孔数据资料,从中选取出埋深20 m以内存在于饱和粉(砂)土地层的3932个标准贯入试验孔用于液化判别。

4.2.2 地下水位选取

本次液化判别采用1979年以来的历史最高水位,其历史最高水位埋深一般在0.4~1.6 m,总体呈中部浅、四周深的态势。其中天津临港经济区、太平镇南侧等地区水位较深,一般大于2.4 m;北塘水库以东、中新生态城以西等地区次之,埋深一般在1.6~2.4 m;汉沽、塘沽北大港水库以东等地区,水位较浅,一般小于0.4 m。

4.3 液化判别采用的方法

依据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(2016年版)进行液化判别,判别公式如下:

$$N_{cr} = N_0 \beta [\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w] \sqrt{3/\rho_c} \quad (3)$$

式中: N_{cr} 为标准贯入锤击数临界值; N_0 为标准贯入锤击数基准值; d_s 为饱和土标准贯入深度, m; d_w 为地下水位, m; ρ_c 为黏粒含量百分率; β 为调整系数。

4.4 饱和粉(砂)土液化判定结果

按照式(3)对滨海新区埋深20.0 m以内饱和粉(砂)土进行液化判定,液化的岩土工程勘察钻孔点

306个,非液化钻孔点3626个,典型钻孔液化判定统计结果见表6。

表6 埋深20 m以上饱和粉土地震液化判别表
Tab. 6 Seismic liquefaction identification of saturated silt in 20 m buried depth

液化判别	液化等级	液化指数	钻孔数	占比(液化点内部占比)/%
液化点	轻微	0.1~5.8	162	4(53)
	中等	6.0~17.2	105	3(34)
	严重	18.1~43.2	39	1(13)
非液化点			3626	92

可以看出,本次搜集到的滨海新区大部分钻孔不液化,占比可达92%,可推测出滨海新区粉(砂)土液化区域较非液化区域分布少。在液化的钻孔点位中,轻微液化占比53%,中等液化占比34%,严重液化占比13%,液化等级以轻微、中等液化为主,严重液化钻孔点位较少,推测其粉砂土液化严重区域分布范围较小。

4.5 滨海新区地震液化调查

为了准确判定出滨海新区粉砂土液化的范围,本文对1976年唐山大地震后天津滨海新区进行的地震液化调查工作进行了整理分析,唐山地震时滨海新区的粉(砂)土液化喷水冒砂点位分布见图8。

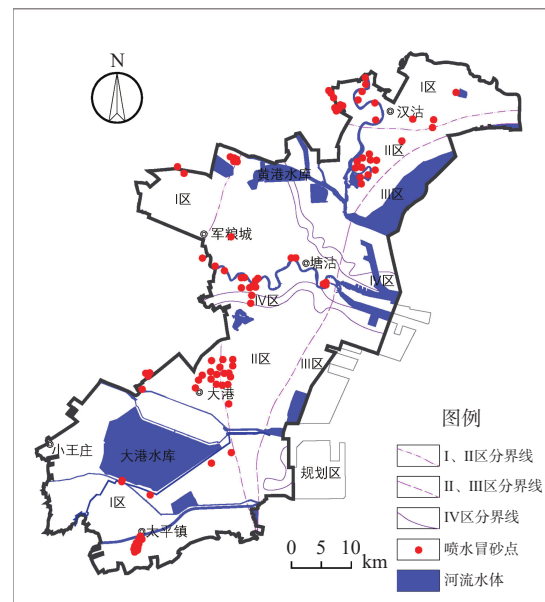


图8 滨海新区地震喷水冒砂点位图
Fig. 8 Distribution map of sand-blowing points induced by earthquake in Binhai New Area

可以看出,1976年唐山大地震时,滨海新区喷水冒砂点位主要集中在汉沽蓟运河两岸、中新生态城、塘沽海河两岸、大港北大港水库以北、上古林以西、

万家码头以东区域等。此喷水冒砂点可作为滨海新区液化土分布范围的重要参考。

4.6 饱和粉(砂)土液化区分布

根据前文对滨海新区埋深 20 m 以内饱和粉(砂)土液化判别结果,采用 ArcGis 对相关钻孔点位进行插值分析,插值方法采用克里金法,并结合滨海新区地震调查实际喷水冒砂调查点位及非液化勘察钻孔分布情况,绘制出滨海新区埋深 20.0 m 以内液化土层分布及液化等级分区图(见图 9)。

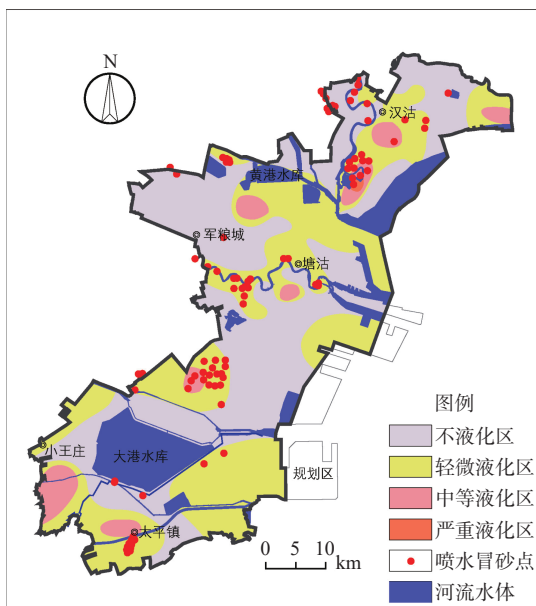


图 9 滨海新区液化土层分布及液化等级分区图

Fig. 9 Distribution of liquefied soil layers and liquefaction grade zonation map of Binhai New Area

可以看出,滨海新区判定为液化的钻孔点位与 1976 年唐山地震时震害调查喷水冒砂点的位置基本吻合。轻微液化区分布较广,主要分布在汉沽、塘沽及大港水库东南部,在地质 I 区、II 区、III 区均有分布,其中地质 I 区主要液化土层为第 I 陆相中④₂层粉土及第 I 海相沉积的⑥₃层粉土,III 区主要为人工填土①_{3,1}层粉土质冲填土;中等液化区分布较分散,主要位于大港、汉沽南部、军粮城及塘沽海河附近,液化土层多为地质 I 区的④₂层粉土及地质 II 区的新近沉积③₂层粉土和⑥₃层粉土;严重液化区分布范围较小,仅在地质 II 区的中生态城附近分布,液化土层为第 I 海相沉积的⑥₃层粉土。

需进一步说明的是,本次研究的汉沽大田镇附近和大港古林街附近等部分区域内,1976 年唐山地震时调查有喷水冒砂,图 9 中却判定为非液化土层。这与上述喷水冒砂区域附近后期几十年来在中低地震作用下饱和粉土颗粒的重新排列、土层固结密实、

周边地下水位下降等因素有关。这在王步云^[11]对 1976 年唐山大地震发生喷水冒砂的区域重新进行液化研究中得到证实,其研究表明,1976 年唐山大地震发生喷砂冒水的局部区域 30 年后在同等地震力作用下可能不会再发生饱和砂(粉)土液化。为此,本文搜集整理该区域近 10 年典型地下潜水观测井最高水位标高动态变化情况(见图 10)。

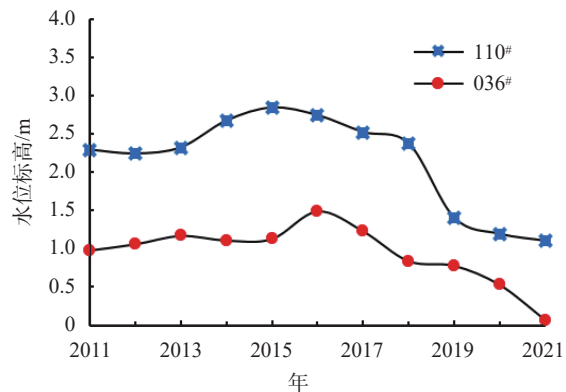


图 10 近 10 年滨海新区典型地下潜水观测井水位动态变化图

Fig. 10 Dynamic variation of groundwater level in typical phreatic observation wells in Binhai New Area in the past 10 years

可以看出,近年来滨海新区地下潜水最高水位整体呈下降趋势,其中大田镇附近 036#潜水观测井最高水位标高 10 年内下降近 1.42 m,古林街附近 110#潜水观测井最高水位标高 10 年内下降近 1.74 m。区域地下水位下降使得该区域原喷水冒砂点被判定为非液化土层。综合考虑该区域近 40 年的土层固结密实、大面积地面沉降及地下水位动态下降等因素^[12-13],依据液化判定结果,本次研究将原来调查时有喷砂冒水的部分区域判定为非液化土层。

5 结论

(1)滨海新区埋深 20 m 以内地基土等效剪切波速一般介于 140.0 ~ 170.0 m/s,均属软弱—中软土,场地覆盖层厚度多在 90 ~ 100 m,厚度最大值为 109.0 m,最小值为 80.3 m。

(2)滨海新区大部分地区场地类别为 IV 类场地,仅北部滨海旅游区附近、西部空港经济区附近、葛沽镇以及北大港水库—太平镇沿线以西地区为 III 类场地。

(3)滨海新区埋深 20 m 范围内主要分布有 5 层饱和粉土(局部粉砂),分别为人工填土①_{3,1}层粉土质冲填土、新近沉积③₂层粉土、第 I 陆相中④₂层粉土以及第 I 海相沉积的⑥₃、⑥₆层粉土。

(4)滨海新区液化区域主要分布在汉沽、塘沽及

大港部分地区,与唐山地震震害调查喷水冒砂区基本吻合。中等液化区主要分布在大港、汉沽南部、军粮城及塘沽海河附近,严重液化区仅在中生态城附近分布。

参 考 文 献

- [1] 潘品蒸. 天津滨海区工程地质稳定性分析及其开发对策 [C]//全国第三次工程地质大会论文选集(下卷). 成都: 成都科技大学出版社, 1988: 256-262. (PAN P Z. Engineering geological stability analysis and development strategies for Tianjin Binhai Area[C]//Proceedings of the Third National Conference on Engineering Geology. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1988: 926-932. (in Chinese))
- [2] 王志强, 蒋晓冬, 赵增敏, 等. 基于 ANN 与 GIS 技术的中新天津生态城地质环境适宜性评价 [J]. *河北工业大学学报*, 2010, 39(6): 87-91. (WANG Z Q, JIANG X D, ZHAO Z M, et al. Geological environmental sustainability assessment on China-Singapore Tianjin Ecological City by ANN and GIS coupling technology[J]. *Journal of Hebei University of Technology*, 2010, 39(6): 87-91. (in Chinese))
- [3] 高梓旺, 黄艳萍, 李亚飞. 天津地区岩土工程勘察中地震效应重点问题分析 [J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2012, 39(11): 72-74. (GAO Z W, HUANG Y P, LI Y F. Analysis on key problems in evaluation of site and foundation seismic effect in geotechnical engineering investigation in Tianjin Area[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2012, 39(11): 72-74. (in Chinese))
- [4] 房万领, 李学云, 田德培, 等. 天津城市建设工程地质稳定性综合分析 [J]. *地质调查与研究*, 2016, 39(1): 64-70. (FANG W L, LI X Y, TIAN D P, et al. Comprehensive evaluation and analysis on the engineering geological stability of Tianjin urban construction[J]. *Geological Survey and Research*, 2016, 39(1): 64-70. (in Chinese))
- [5] 乔丽红, 张博夫, 刘晓磊, 等. 天津中心城区建筑场地与地基的地震效应研究 [C]//第十五届全国边坡工程技术大会, 2023. (QIAO L H, ZHANG B F, LIU X L, et al. Study on seismic effects of building sites and foundations in Tianjin central urban area[J]. 15th National Conference on Slope Engineering Technology, 2023. (in Chinese))
- [6] 天津市住房和城乡建设委员会. 天津市地基土层序划分技术规程: DB/T 29—191—2021[S]. 天津: 天津市建设管理委员会, 2009. (Tianjin Housing and Urban-Rural Construction Commission. Technical specification for division of subsoil sequence in Tianjin: DB/T 29—191—2021[S]. Tianjin: Tianjin Construction Administration Committee, 2009. (in Chinese))
- [7] 天津市城乡建设委员会. 天津市岩土工程技术规范: DB/T 29—20—2017[S]. 天津: 天津市建设管理委员会, 2017. (Tianjin Urban-Rural Construction Commission. Tianjin technical code for geotechnical engineering: DB/T 29—20—2017[S]. Tianjin: Tianjin Construction Administration Committee, 2017. (in Chinese))
- [8] 天津市城乡建设委员会. 天津市岩土工程勘察规范: DB/T 29—247—2017[S]. 天津: 天津市建设管理委员会, 2017. (Tianjin Urban-Rural Construction Commission. Code for investigation of geotechnical engineering in Tianjin: DB/T 29—247—2017[S]. Tianjin: Tianjin Construction Administration Committee, 2017. (in Chinese))
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑抗震设计规范: GB 50011—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010. (Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for seismic design of buildings: GB 50011—2010[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese))
- [10] 周玉明, 郭进京, 温伟光, 等. 天津市滨海新区地基土类型及工程地质分区研究 [J]. *地质调查与研究*, 2016, 39(4): 293-299. (ZHOU Y M, GUO J J, WEN W G, et al. Research on the engineering geological zoning of foundation soil in Binhai New Area, Tianjin[J]. *Geological Survey and Research*, 2016, 39(4): 293-299. (in Chinese))
- [11] 王步云. 唐山开滦吕家坨等矿区液化砂基再调查 [J]. *工程勘察*, 2010, 38(S1): 963-978. (WANG B Y. Reinvestigation on liquefied sand foundations in Tangshan Kailuan Lyjiatuo and other mines[J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 2010, 38(S1): 963-978. (in Chinese))
- [12] 李佳琦, 徐 佳, 刘 杰, 等. 天津地面沉降严重区分布特征及变化规律 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2023, 34(2): 53-60. (LI J Q, XU J, LIU J, et al. Distribution characteristics and evolution trend of severe land subsidence areas in Tianjin City[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2023, 34(2): 53-60. (in Chinese))
- [13] 陈国兴, 金丹丹, 常向东, 等. 最近 20 年地震中场地液化现象的回顾与土体液化可能性的评价准则 [J]. *岩土力学*, 2013, 34(10): 2737-2755, 2795. (CHEN G X, JIN D D, CHANG X D, et al. Review of soil liquefaction characteristics during major earthquakes in recent twenty years and liquefaction susceptibility criteria for soils[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2013, 34(10): 2737-2755, 2795. (in Chinese))

收稿日期: 2025-02-25