

## 东营港地区工程地质环境适宜性分析

黄岩岩, 姚英强, 张永伟

(山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014)

**摘要:** 东营港是国家一类开放口岸, 由于该地区沉积时间短, 工程地质条件较差, 不良工程地质条件严重地制约了港口的发展。该文查明了东营港地区工程地质问题, 以区域地壳、地面和地基稳定性评价为基础, 采用综合评价法进行工程地质环境适宜性分析, 分别针对一般工业与民用建筑和高层重型建筑, 划分出基本适宜区和较不适宜区。

**关键词:** 工程地质环境; 适宜性分析; 东营港地区

中图分类号: P642.5

文献标识码: A

东营港位于渤海湾和莱州湾的交界处, 东营市的东北部, 黄河三角洲东北端, 现黄河入海口以北约 32 km 处, 属地方区域性港口, 是国家一类开放口岸 (图 1)。东营港地区沉积时间短, 工程地质条件较差, 有饱和粉土、软土等分布, 不良的工程地质条件严重制约了港口的发展。该文在查明东营港地区工程地质问题的基础上, 进行工程地质环境适宜性分析, 可为东营港地区一般工程建设规划提供科学依据<sup>①</sup>。

## 1 工程地质条件概况

东营港位于黄河三角洲平原区, 影响区内工程地质条件的主要因素是地层的岩性、浅埋的地下水位、地震活动以及沿海的海潮盐碱化等。由于在黄河的最末端, 沉积颗粒细, 且往往有较厚的淤积层分布, 地下水位一般小于 2 m, 地基土承载力比较低。工作区基岩埋深在数百米以下, 表层均为第四纪松散沉积物, 鉴于一般工业与民用建筑物地基持力层均在 15 m 以上, 中高层建筑物持力层一般在 25 m 以上的特点, 以 0~25 m 的土体为研究对象, 进行分析和研究。

区内 0~25 m 深度内的地层多为第四纪全新统地层, 其沉积环境受黄河和海洋交互或共同影响, 形成了以细颗粒为主的地层。所表现出的岩性以粉土

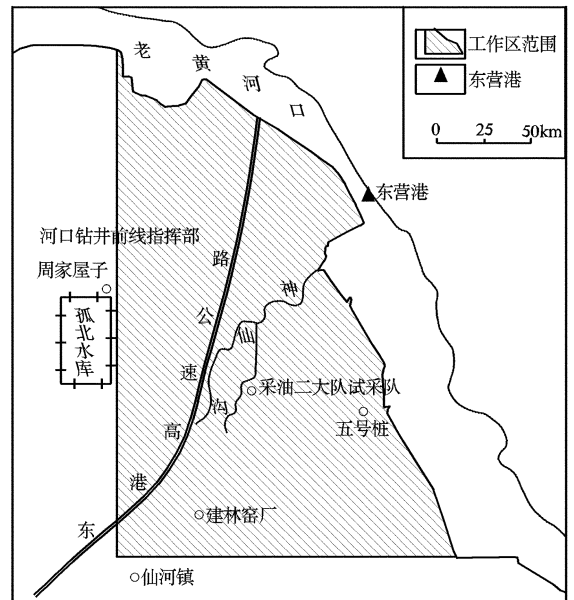


图 1 工作区位置图

最为广泛, 其次为粉质黏土、粉砂、黏土, 局部有细砂 (表 1)。

区内土体结构无单层结构, 多为多层结构 (多层结构是指一定深度内由 3 层或 3 层以上的地层构成), 这也是区内的沉积环境所决定的。该区濒临渤海, 是河流的最下游, 河道游荡较频繁, 古地貌特点反复变化, 携带泥、砂的水动力特点也随之变化。因此, 区内一般无巨厚的单层岩性沉积。

\* 收稿日期: 2009-07-07; 修订日期: 2009-07-29; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 黄岩岩 (1973—), 女, 山东章丘人, 工程师, 主要从事国土资源管理工作。

① 山东省地质环境监测总站, 山东省东营市港口区地质环境调查与评价报告, 2007 年 4 月。

表1 现代黄河三角洲土层主要物理力学指标统计结果

指标	岩性	0~5m	5~10m	10~15m	15~25m
液性指数 $I_L$	黏土	0.6	1.3	1.3	1
	粉质黏土	1.2	1.1	1.1	0.6
	粉土	0.7	1.12	1.4	0.7
孔隙比 $e$	黏土	1.286	1.281	1.15	1.292
	粉质黏土	1.084	1.053	1.054	0.917
	粉土	0.781	1.362	1.01	0.765
压缩系数 $A(\text{MPa}^{-1})$	黏土	0.73	0.85	0.57	0.57
	粉质黏土	0.39	0.45	0.52	0.35
	粉土	0.14	0.28	0.21	0.13
压缩模数 $E_s(\text{MPa})$	黏土	2.66	2.48	3.22	3.22
	粉质黏土	3.79	3.71	3.83	5.16
	粉土	6.13	6.32	6.77	9
内聚力 $c(\text{KPa})$	黏土	10.5	3.9	5	5
	粉质黏土	9.3	7.6	6.8	11.3
	粉土	6.1	5.3	5	5.3
内摩擦角 $\varphi(\text{度})$	黏土	9	4	6	6
	粉质黏土	16	12	10	13
	粉土	16	19	22	20

土层的物理力学性质在水平和垂向上变化均较大。从地表向下随深度的增加,土层的物理力学指标以较好—较差—好发生变化。一般较差的深度段在5~10m和10~15m。这一变化规律也与区内的沉积环境相吻合,力学指标较差的深度段为1855年黄河改道以前沉积的冲湖积冲海积相为主的地层。

## 2 存在的主要工程地质问题

### 2.1 砂土液化

区内饱和砂土、饱和粉土分布广泛,且具有液化的客观条件,为查清是否存在砂土液化现象,须进行液化判别。

液化判别就是根据土的物理力学性质及其他工程地质条件,对土层在地震过程中发生液化的可能性的判别。其液化程度受以下因素影响:土的颗粒特征、密度、渗透性、结构、压密状态、上覆土层、地下水位埋深、排水条件、应力历史、地震强度和地震持续时间等。国家标准《建筑基础抗震设计规范》(GBJ11-89)中规定了饱和砂土、饱和粉土的液化判别方法,依照前述规范提供的方法,在液化势宏观判定的基础上,采用了原位测试资料—标准贯入试验进行了液化临界值(1)和液化指数(2)的计算。

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{\frac{3}{P_c}} \quad (1)$$

$$I_{LE} = \sum_i^n (1 - \frac{N_i}{N_{cri}}) d_i w_i \quad (2)$$

(1)中: $N_{cr}$ —饱和土液化临界标准贯入锤击数,当实测标准贯入锤击数  $N_{63.5}$  值小于  $N_{cr}$  时,判为可液化,否则为不液化;

$d_s$ —饱和土标准贯入点深度(m);

$d_w$ —地下水位埋深(m);

$P_c$ —粉土黏粒( $<0.005\text{mm}$ )含量百分率;

$N_0$ —当  $d_s = 3\text{m}$ ,  $d_w = 2\text{m}$ ,  $P_c(\%) < 3$  时饱和土的液化临界标准贯入锤击数;近震区,当地震烈度为VII, VIII, IX度时,分别取6, 10和16;远震区,当地震烈度为VII、VIII度时,分别取8, 12。

(2)中: $I_{LE}$ —液化指数;

$N$ —饱和粉土、饱和砂土层标准贯入试验点总数;

$N_i$ —第  $i$  个标准贯入试验点的锤击数;

$N_{cri}$ —第  $i$  个标准贯入试验点的临界锤击数;

$d_i$ —第  $i$  个标准贯入试验点所代表的土层深度权重系数。

依据上述判别方法及野外工作取得数据,得出判别结果:区内未发现严重液化现象;中等液化区主要分布于五号桩附近地段;轻微液化区位于中等液化区的外围。

### 2.2 软土

软土一般是指天然含水量大、压缩性大、承载力低的一种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。东营港地处渤海之滨,具有软土的沉积环境。当满足:①承载力标准值  $f_k < 80\text{kPa}$ ;②标贯锤击数  $N_{63.5} \leq 2$ ;③静力触探锥头阻力  $q_c < 0.5\text{MPa}$ ;④流塑状态条件之一时,并且厚度大于0.50m,就将其确定为软土。经资料分析及野外施工判断;区内软土主要分布于西南部建林窑厂一带。

## 3 工程地质环境适宜性分析

工程地质环境适宜性分析是指地质环境在工程建设方面所表现素质的优劣程度,它既包括地质环境是否在对工程设施、建设、运行不利的自然因素和自然地质作用,也包括地质环境是否可能因工程建设而恶化或加剧诱发不良地质作用、现象甚至地质

灾害。

对东营港地区工程地质环境适宜性分析,主要从区域地壳稳定性、地面稳定性和地基稳定性3方面综合进行<sup>①</sup>。

### 3.1 区域稳定性评价

工作区按地貌单元划分属于鲁北平原工程地质区,黄河三角洲平原松散工程地质亚区。因此区域稳定性评价在侧重工作区的同时面对的是整个黄河三角洲区域。

#### 3.1.1 东营港地区断裂特征

东营港区域所在的济阳拗陷是一个新构造运动相对稳定的区域,该区域新生代断裂活动具有继承性和新生性的运动特点,主要包括埕子口断裂、义南断裂、孤北断裂、埕中断裂。

(1)埕子口断裂:该断裂为埕宁隆起和济阳拗陷的分界断裂,总体走向为NE向,呈折线状。断距可达5 000 m。新近纪晚期至第四纪,断裂仍有活动迹象,个别地段有第四纪玄武岩分布,但断裂位置处第四系沉积厚度变化不明显。沿断裂历史上没有发生过破坏性地震,但有小震活动。如1967年和1969年曾经分别发生过2.5级和3.2级地震。

(2)义南断裂:该断裂为义和庄凸起之南界,也是车镇凹陷和沾化凹陷间的分界断裂,走向NE,倾向SE。虽然第四纪地层厚度有变化,但新活动证据不足。

(3)孤北断裂:该断裂呈NEE—近EW向展布,倾向NNW,倾角60°~70°,断距从东到西由小变大(45~200 m)。古近纪为正断活动,新近纪一度出现反向活动,出现牵引构造,新近纪以来,断层仍有活动,垂直变形测量结果表明,断裂两侧地壳形变幅度不大。

(4)埕中断裂:该断裂分布于老黄河口外近海海域中,向NW方向延伸,倾向S,倾角上陡下缓,切割深度不大,一般在4~5 km深度以下趋于消失,向上切割到新近纪地层中部,断差在100 m以上,第四纪沉积地层没有受到断层切割改造,说明该断裂第四纪以来活动不明显。

上述断裂一般为构造单元的边界断裂,切割较深,新构造以来,断裂活动逐步减弱,对地震的控制作用不是很明显。历史上,在济阳拗陷内仅记载有2次4级地震和1次5级地震。由此可见,黄河三角洲地区的地震危险,主要来自邻区的地震构造带

内强震活动的影响。

#### 3.1.2 区域地震地质背景

东营港区域位于华北地震区,处于NE向的郯庐断裂带和NW向的燕山渤海断裂带的交叉地带,区域上受河北平原断裂带影响也较大。

(1)郯庐断裂带:郯庐断裂带位于三角洲东部,是我国东部规模最大的深大断裂带,是一条对三角洲地区地震危险性影响至关重要的断裂带。该断裂带南起湖北广济,北经安徽的庐江、嘉山,江苏的宿迁、新沂,山东的郯城、安丘,穿过渤海和下辽河平原,一直延伸到东北的吉林和黑龙江省。在我国境内长达2 400 km,总体走向为NNE向。断裂带经山东穿渤海湾地带对东营港区域影响很大。

断裂带主要由几条平行的主干断裂及分支断裂构成。主干断裂形成很早,经历了多期活动,控制着断裂带两侧的构造演化。在新构造运动时期,断裂仍表现出强烈的活动性。次级断裂主要包括山东地区的上五井NE向断裂,辽东半岛的金州大断裂以及与主干断裂斜交的一系列NW向断裂等。NW—NW向断裂常切割NE向断裂,表现出了强烈的活动性。渤海和山东的沂沭断裂的现代构造运动和地震活动十分强烈,强震活动主要分布在渤海中部NNE向和NW向活动断裂的交会区域以及NNE向沂沭断裂带与NW向活动断裂的交会区。

(2)河北平原断裂带:河北平原断裂带位于黄河三角洲地区的西侧,它是由一系列斜列状断裂构成的活动断裂带。主要包括:太行山山前断裂带、邢台—大城—唐山断裂带、沧东断裂带和聊城兰考断裂带。其中靠近东营港区域的邢台—大城—唐山断裂带,沿线发生过一系列强烈地震,如1830年磁县7.5级地震;1966年邢台7.2级地震;1967年河间6.3级地震和1976年唐山7.8级地震。

(3)燕山渤海断裂带:该断裂带位于胜利油田的北侧,是一条复合型断裂构造带。沿燕山南缘至渤海的NW向活动断裂带与河北平原断裂带北段,以及郯庐断裂带的渤海段相交(东营港区域西北部地区),该带构造十分复杂,构造运动也非常强烈。历史上在上述断裂带交会区域发生过多次强震,其中包括1679年三河平谷8级大地震,1976年

<sup>①</sup> 中国地质调查局,地质调查标准汇编,水文、工程、环境地质调查勘査(第一分册),2004年10月。

唐山7.8级大地震和渤海4次7级以上强震。

### 3.1.3 历史地震与地震烈度

根据2001年8月1日开始实施的“中国地震动参数区划图”划分,工作区地震影响烈度为Ⅶ度。

据历史记载,自公元692年以来,区内共感受地震54次,其中在区内发生的地震14次,遭受烈度Ⅶ度影响已达4次,分别为:①1668年7月25日山东郯城8.5级地震;②1888年6月13日渤海7.5级地震;③1969年7月18日渤海7.4级地震,震源深度水下35 km,波及面较广,境内大部地区震感强烈,有的地面出现裂缝带,带宽8~15 cm,有涌水、冒沙,部分旧土房和土坯墙倒塌、堤坝坍塌、人员伤亡等地震灾害;④1976年7月28日,唐山发生7.8级地震,该地有较强震感2次,8月7日又有2次震感。

区内未来地震危险性主要来自于郯城-渤海,燕山-渤海两地震带,特别是郯城-渤海地震带中的渤海海域段,它是两地震带的交会区。

### 3.1.4 稳定性评价

根据区内地震地质条件和历史地震对区内的影响,认为工作区五号桩一桩西至海港一带位于郯庐断裂地震带和燕山渤海断裂地震带的交会复合部位,新生代以来断陷幅度最大,历史上曾发生过3次7.0~7.5级地震,此区域为较不稳定区,其余地段为基本稳定地区。

## 3.2 地面稳定性评价

地面稳定性指地壳表面在内、外动力地质作用和人类工程经济活动影响下的相对稳定程度。包括岩溶、砂土液化、黄土湿陷、冻土融化、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、河、湖、海岸水流、波浪的冲刷、堆积作用和斜坡等主要地质作用或因素的发育规模、强度和速度。从现场勘查及收集资料分析,工作区内影响地面稳定性的主要因素是砂土液化、地面沉降和软土分布。

综合考虑上述各因素的影响,判定工作区内分布软土区域和砂土液化区域为较不稳定区,区内其他区域为基本稳定区。

## 3.3 地基适应性评价<sup>①</sup>

### 3.3.1 天然地基承载力

工作区天然地基土承载力在不同位置、不同层位均有较大变化,天然地基承载力指自地表算起的

第一层或第二层基土的承载力。

据资料显示,区内按承载力大小可划分为3个区:①承载力较低区( $f_k < 100$  kPa),分布于工作区北部和东南部的一小部分,稍做处理,可作为一般建筑的持力层。②承载力中等区( $100 \leq f_k < 120$  kPa),在工作区中南部分布比较广泛,不做或稍做处理,即可作为一般建筑的持力层。③承载力较高区( $f_k > 120$  kPa),小面积分布于工作区中西部,一般建筑物可直接采用天然地基。

### 3.3.2 适宜性评价

以持力层承载力、持力层埋深、持力层厚度、持力层压缩模量、持力层下卧层压缩模量、软土厚度、沉降因子、地貌单元、地震烈度、地下水侵蚀性、地基液化指数为评价因子,选用专家聚类法(亦称总分法)分别进行了一般工业与民用建筑和高层重型建筑地基适宜性评价分区。最终的评价结果是:一般工业与民用建筑地基适宜性评价分区:东营港地区全区属于基本适宜区。高层重型建筑地基适宜性评价分区:东营港地区东南部属于基本适宜区,其他区域为较不适宜区,不宜直接用作高层建筑物的桩端持力层。

## 4 结语

在分别对区域稳定性、地面稳定性和地基稳定性评价的基础上,进行工程地质环境适应性分区。采取综合评价方法,即将三者叠加表示:

$$S_E = S_c + S_s + S_f$$

式中: $S_E$ —工作区工程地质适宜性指标;

$S_c$ —工作区地壳稳定性指标;

$S_s$ —工作区地面稳定性指标;

$S_f$ —工作区地基稳定性指标。

每个分项评价均按4级处理,1~4级给定的单项因子基本分见表2<sup>[1]</sup>,在此基础上按表中所列的工程地质适宜性综合评价分级标准,对区内工程地质适宜性进行分级,并进行相应分区。

经综合评价,工作区工程地质适宜性分区共划分为2个区,因一般工业与民用建筑和高层重型建筑所需工程地质环境不同,所以将二者的适宜性分开进行评述:

① 中国地质环境监测院,黄河三角洲油气聚集区地质环境评价与预测报告,2002年6月。

表2 工程地质适宜性综合评价分级标准

指标	稳定	基本稳定	较不稳定	不稳定
$S_c$	1	2	4	8
$S_s$	1	2	4	8
$S_f$	1	2	4	8
$S_E$	(3~4) 适宜	(5~8) 基本适宜	(9~12) 较不适宜	(>12) 不适宜

(1)一般工业与民用建筑。①工程地质环境较不适宜区:五号桩至海港一带,区域稳定性较不稳定;有砂土液化现象;地基适宜性评价为基本适宜。综合评价  $S_E$  为 10 分,为工程地质环境较不适宜区。②工程地质环境基本适宜区:其余地段  $S_E$  为 6~8

分,为工程地质环境基本适宜区。

(2)高层重型建筑。①工程地质环境较不适宜区:五号桩一桩西至海港一带,区域较不稳定;存在砂土液化等不良现象;地基适宜性评价为较不适宜。综合评价  $S_E$  为 10~12 分,为工程地质环境较不适宜区。②工程地质环境基本适宜区:其余地段  $S_E$  为 6~8 分,为工程地质环境基本适宜区。

### 参考文献:

- [1] 常士骝,张苏民,项勃,等.工程地质手册(第四版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2007:595-598.

## Suitability Analysis on Geo - engineering Environment in Dongying Port Area

HUANG Yan - yan , YAO Ying - qiang , ZHANG Yong - wei

(Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract:** Dongying port area has short deposition history and poor geo - engineering environment condition, which has effected port development seriously. Geo - engineering problems occurred in Dongying port area are identified in this paper. On the basis of evaluating regional crust, surface and ground foundation stability, by using comprehensive evaluation method, suitability analysis of geo - engineering environment is carried out. Pointing to general industrial buildings, civil construction buildings and high - level heavy construction buildings, suitable or not suitable areas are divided as well.

**Key words:** Geo - engineering environment; suitability analysis; Dongying port