



墨西哥曼萨尼约 CMSA 集装箱码头设计

黄黎辉, 周俊辉, 邱兆山

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 曼萨尼约 CMSA 集装箱码头工程规模大、功能全、标准高。工程处于墨西哥西海岸强震区, 后方紧邻红树林保护区和旅游区海滩。针对上述特点, 围绕总体布局、结构抗震、环境保护等关键技术进行研究。按照国际设计标准和港区分期滚动开发思路, 码头结构设计采用“弱柱强梁”理念, 并埋设大断面过水生态箱涵保护环境。

关键词: 曼萨尼约; 集装箱码头; 结构抗震; 生态箱涵

中图分类号: U 656.1⁺35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2018)06-0115-05

Design of CMSA container terminal in Manzanillo, Mexico

HUANG Li-hui, ZHOU Jun-hui, QIU Zhao-shan

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The CMSA container terminal of Manzanillo port is large scaled, multi-functional and high standardized. The project is located in the meizoseismal area on the western coast of Mexico, and the rear is adjacent to mangrove reserve and the touristic beach. In view of the above characteristics, the key technologies such as general layout, earthquake resistance and environmental protection are studied. According to the international design standard and the idea of development in phases, the design of wharf structure adopts the concept of weak column and strong beam, and takes measures to protect environment like burying the ecological box culvert with large cross-section.

Keywords: Manzanillo; container terminal; earthquake-resistance; ecological box culvert

曼萨尼约港是墨西哥太平洋沿岸的最大港口, 是墨西哥通向太平洋同亚太各国和地区进行贸易往来的重要门户。曼萨尼约港距墨西哥第二大城市瓜达拉哈拉市直线距离仅 200 km, 两地之间有高速公路和铁路连接, 港口集疏运条件良好。随着巴拿马运河新航道通航, 曼萨尼约港的区位优势日渐凸显。在此背景下菲律宾 ICTSI 公司在曼萨尼约港西北部投资兴建 CMSA 集装箱码头。该码头是一个大型专业化集装箱码头, 也是一个按国际标准设计的综合性港口项目。码头最大靠泊船型为 17.5 万 DWT 超级超巴拿马型集装箱船, 最终年设计吞吐量达 150 万 TEU, 项目于 2014 年

9 月建成投产。

1 总体布局

1.1 码头选址

曼萨尼约港防波堤口门外为老城码头, 主要停靠邮轮和拖船等, 规模较小。防波堤口门内为主体码头, 主要为集装箱码头和海军码头^[1], 总计现有生产码头岸线约 4 675 m, 海军码头岸线约 660 m。防波堤口门总宽度约 220 m, 有效宽度仅 130 m。港内水域狭窄, 港池内有 2 个掉头水域, 1 个靠近口门附近, 另 1 个靠近港池北部, 回旋水域直径约 500 m, 水深超 16 m。

收稿日期: 2017-11-25

作者简介: 黄黎辉 (1972—), 男, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计与研究。

本项目选址于进港航道的左岸, 整个港池的北端。码头最大设计靠泊船型为 17.5 万 DWT 集装箱船。码头前方水域宽度为设计船长的 0.64 倍,

回旋水域直径为设计船长的 1.28 倍, 口门有效宽度为设计船长的 $1/3$, 故设计船型进出港操纵难度较大。码头选址见图 1。

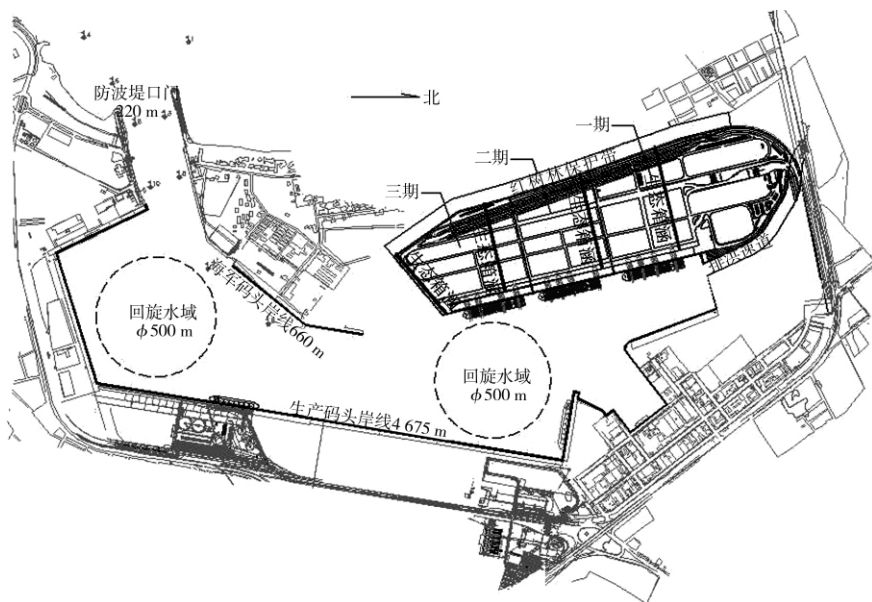


图1 码头位置

1.2 平面布置

本工程陆域由港池疏浚回填形成, 东侧为港池, 西侧为 60 m 宽的红树林保护带, 南侧与海军码头相邻, 北侧则是 54 m 宽的钢板桩排洪通道。港区陆域整体呈较规整狭长地形, 总计陆域面积约 73.25 万 m^2 , 纵深从南至北 415~500 m。港区闸口位于北端, 港内道路及铁路线通过排洪通道上的桥梁与港外衔接。港区主要由码头区、堆箱区、铁路装卸区和辅助区组成。

码头总长 1 080 m, 可同时停靠 3 艘 5 万吨级集装箱船。码头前方作业区总宽 54 m, 轨距 30.48 m, 共配置 12 台岸桥。码头通过接岸结构与后方堆箱区满膛连接。堆箱区又分重箱区、空

箱区及海关查验区。一般重箱集中堆放, 采用轮胎式龙门起重机装卸作业。冷藏箱和危险品箱布置在一般重箱区两端, 靠近主干道, 有利于分期建设和节约用地。

铁路装卸区位于港区陆域后方, 紧邻红树林保护带。铁路装卸线长度为 1 016 m, 共 6 线, 由 2 组轨道龙门吊起重机进行装卸作业。由于港外铁路和公路均从北端进入港区, 故辅助区均集中布置在港区北部。辅助区主要有闸口、机修、拆装箱库、行政管理楼、候工楼、食堂、浴室等。根据港内交通仿真模拟优化交通组织, 港区纵向、横向主干道以 4 车道为主, 箱区间次干道为 2 车道。进港、出港闸口前后错位布置, 均为 7 个车道。最终建成规模见图 2。

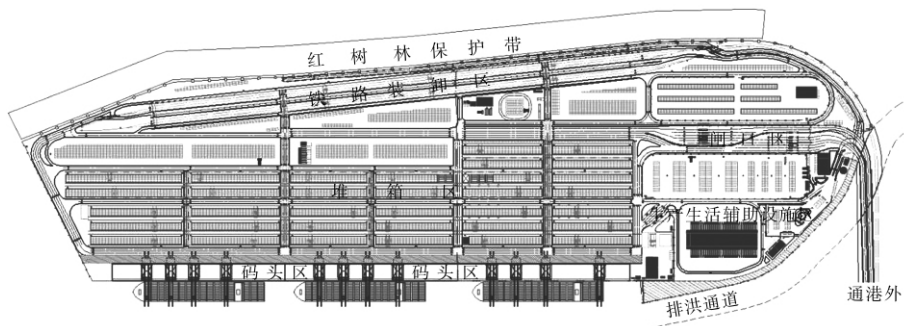


图2 最终建成规模

1.3 滚动开发

工程整体规划分三期实施,每期又分多阶段进行。起步工程主要建设 720 m 码头,陆域面积约 41.1 万 m^2 (含预留区),年设计吞吐量为 40 万 TEU^[2],建成规模见图 3。

这种滚动建设模式对设计提出了较高的要求,为了充分利用场地空间、节约投资以及避免后续扩建影响港区正常生产运营,对起步工程总平面布置做了统筹考虑。

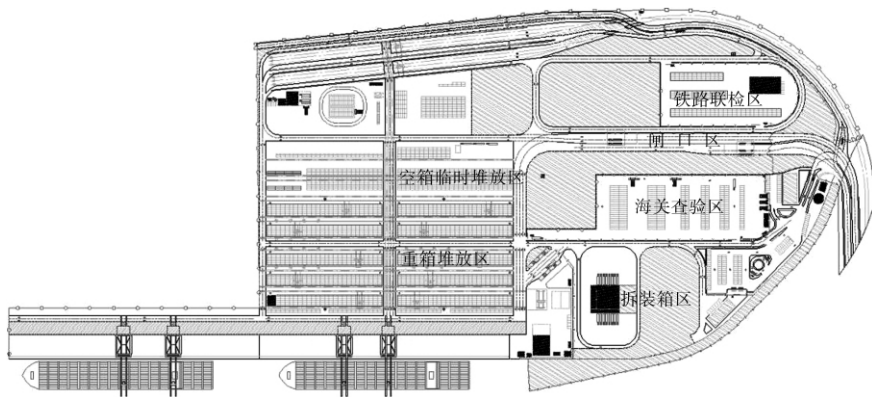


图3 起步工程规模

2 码头抗震设计

码头总长 720 m,为高桩梁板结构,桩基为钢管全直桩。码头为接岸结构,且地基为可液化砂土。工程位于墨西哥西海岸强震区,结构及岩土抗震设计是关键点。码头典型断面见图 4。

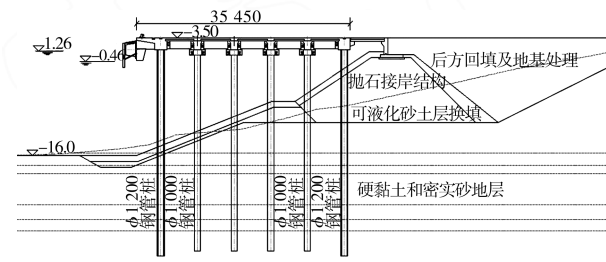


图4 码头典型断面(高程:m;尺寸:mm,下同)

本码头系泊计算、结构计算、岩土岸坡计算均按照国际通行标准,并采用国际通行计算软件设计。按要求本项目抗震设计必须采用当地标准,即墨西哥电力局 CFE 抗震设计手册(也称 MOC—2008)^[3],该设计手册在某些情况等同于设计规范的地位。

2.1 码头桩基选型及抗震设计理念

码头选型主要是选择最优的桩基类型和布置

1) 空箱临时堆放于 RTG(轮胎式集装箱门式起重机)重箱堆场区及码头后方部分道路区。

2) 进出港闸口车道 2 进 2 出,保留扩建至 7 进 7 出的建设条件,通向闸口的主干道根据交通流量的实际增长情况分期实施。

3) 海关查验区和铁路联检区按现阶段需求设置,预留部分场地。

4) 拆装箱库单体建筑规模较大,分期实施,建筑设计考虑了今后扩建的建设条件。

方式。钢管桩抗震性能好,且能适应本区域下部密实砂层打桩施工;桩基布置采用排架结构,并在排架间的岸桥轨道梁下加桩,即桩基布置与上部荷载相适应,桩力分布均匀。在直桩和斜桩选型方面,中国抗震设计规范^[4]仍秉承与建筑结构类似的“强柱弱梁”理念,并推荐在强震条件下采用斜桩。本项目采用基于性能的设计理念,与美国码头设计规范^[5]一致,即按重要性将桩基划分为不同的区段,在抗震验算中控制材料屈服或屈服后的应变限值。按照美国洛杉矶港及长滩港的设计经验,高桩码头设计采用“弱柱强梁”理念,且所有接岸码头必须采用直桩。本设计采用该先进设计理念,既保证结构安全,又不至于过于保守,以控制造价。

2.2 抗震设计参数选择

本项目规定了 3 个层次的抗震设计原则,即 OLE 运营水平地震、CLE 偶遇水平地震和地震波时程分析,但并未明确具体设计参数,需要依据墨西哥 MOC 规范和当地地震资料落实。墨西哥规

范与业主文件在理念上差异较大,与中国抗震规范更是完全不同^[6]。

MOC 规范同时采用概率性分析方法和确定性分析方法进行抗震设计,全国没有统一的重现期标准;其理念为墨西哥全国有很多高烈度地区,如果都按相同重现期基准(比如 475 a),且全部按照地区最大值设计,则可能导致抗震设计过于浪费。MOC 规范地震动参数取消了分区概念,所有的参数都编制成经纬坐标的函数,用随规范发行的 PRODISIS 软件确定所需工程地点的设计地震动参数。本工程编制了抗震设计参数专题文件。

2.3 抗地震液化及岸坡计算

本高桩码头及岸坡下方为可液化砂土地基。中国抗震设计规范主要通过计算标准贯入锤击数临界值(N_{cr})来进行液化判别。本项目采用国际上应用最为广泛的 NCEER 方法,综合考虑地震作用、砂土细颗粒含量及标贯击数修正等要素,计算等效循环应力比 CSR、震级修正系数 MSF 和地震震级为 7.5 时的循环阻力比 $CRR_{7.5}$ 共 3 个参数,按安全系数 1.25 为标准区分液化土层并采用块石进行换填。

本项目岸坡根据收集到的地震时程曲线,分别采用 Newmark 滑块法和 FLAC 差分法进行强震作用下边坡位移。采用滑块法简单易行,但 FLAC3D 的数值分析人为定义的参数过多,较难得出可信的计算成果。

2.4 码头结构计算

高桩码头桩基设计计算方法有基于作用力与抗力平衡的方法和基于桩应变或变形性能的方法。本项目设计同时采用拟静力振型分解反应谱法和非线性 Pushover 方法,对码头在强震作用下的位移、桩基应力、桩基应变等进行计算;根据计算结果对码头桩基的薄弱环节进行补强(部分钢管桩区段灌注混凝土),使所有计算指标均符合规定要求。

本项目规定的码头破坏准则为桩基在设计地震条件下塑性铰局限于桩顶。该破坏准则决定了结构计算必须采用能够包含桩基应变及变形性能

计算的推覆分析(Push-over)方法。依据一般经验,图 4 中所示形式的桩基塑性铰发生的顺序为:后排桩桩顶最先发生、次后排桩顶或后排桩底依次发生。码头在地震作用下的结构变形伴随塑性铰的发展而逐级增大;推覆分析方法常用的计算准则是限制码头总变形处于合理的水平,且防止所有桩顶都发展成塑性铰而使码头成为不稳定结构。从这里可以判定,将塑性铰局限于桩顶的破坏准则超出了推覆分析方法常用的计算准则。考虑到桩基与岸坡的相互作用,码头计算荷载除常规使用荷载、地震惯性力以外,本次计算还包括岸坡位移施加在桩基上的荷载。本项目地震作用下的桩土相互作用分析计算,体现了码头设计的国际先进水平。

3 陆域形成和地基处理

本工程原为红树林滩涂,原天然泥面高程为 -5~0 m,天然地质软土与砂层平面和竖向交错分布,天然地层中含有大量的泥炭质土,场地已吹填砂至 2 m 高程,场地最终设计高程 3.5 m。陆域形成和地基加固的关键点是如何解决泥炭质土等软土的沉降和砂土的液化问题,为场地上部重箱堆场、铁路货运区、生态箱涵等结构提供承载力,并确保后期工后沉降和差异沉降满足使用要求。方案主要特点如下:

1) 2 m 高程之上的回填料和沉降补填料考虑港池疏浚的砂,不足部分外购土石料,做到土方基本无外弃、造价最优。

2) 采用强夯法消除表层砂层液化,砂土液化判别采用 NCEER 方法,综合考虑地震作用、砂土细颗粒含量及标贯击数修正等参数,确定地基加固验收标准。

3) 采用排水固结法(塑料排水板+堆载预压)消除软土沉降。重箱堆场区存在较厚软土,在施工中对该区域进行超载预压,将原等载预压 120 d 的工期缩减为 60 d。实测沉降曲线验证了该方案可行性,后期沉降观测证明工后沉降也是可控的。

4) 码头驳岸后方回填砂区域采用振冲法加固,保证加固深度和效果,也避免地基加固对码头结构的影响。

5) 生态箱涵跨重箱、空箱和铁路区,将港区后方水域与港池连通。天然地基存在厚度不一的

软土,软土较厚区域采用碎石桩加固(图5),发挥复合地基作用,其余区域采用塑料排水板。堆载预压后开挖施工生态箱涵,箱涵采用底板预制,上部结构现浇。箱涵20 m分段,分段底部加设过渡板,减小不均匀沉降对结构分段的影响。

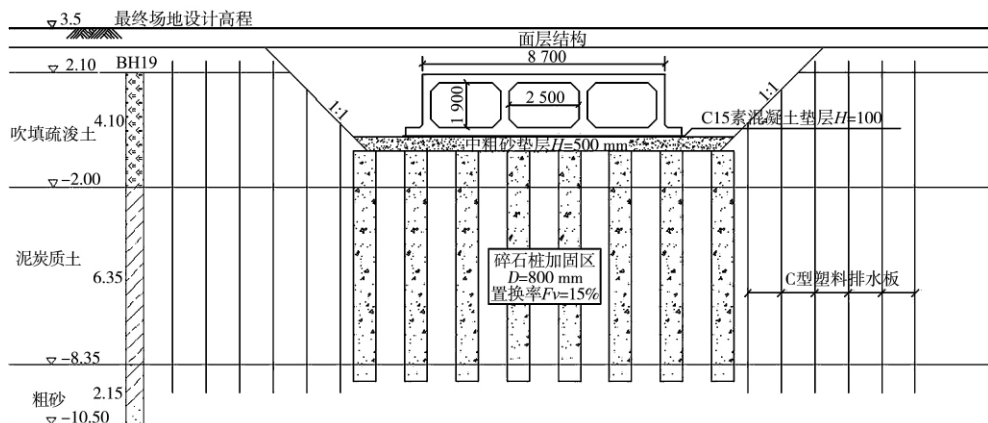


图5 生态箱涵及周边场地地基加固典型断面

4 道路堆场

道路堆场铺面采用以高强混凝土连锁块为主的结构形式,充分发挥其经济优势、对地基沉降的适应性及易于调整和修复的特点。本次连锁块设计对英国规范 *The Structural Design of Heavy Duty Pavement for Ports and other Industries*^[7] 和中国港口工程铺面设计规范^[8] 在理论基础、实际应用、材料差异进行分析对比,得出以下主要结论:

1) 中国规范连锁块面层采用有缝的半空间轴对称模型,而英美规范采用弹性层理论的有限元分析方法。

2) 两种规范对计算荷载、作用次数、作用因子等因素的不同考虑和修正,使其结果存在较大的差异。

3) 从计算结果对比来看,中国规范和英美规范对于轮子比较多的较小荷载(如拖挂车)和大荷载(如正面吊)结果差异在1.5~2.0倍。

4) 工程投资与使用寿命成正比关系,从计算结果及实际使用结果来看,采用中国标准设计的工程使用寿命一般只有按英美标准设计的40%~60%,这也是中国与西方发达国家在工程建设理念、资金等方面的差异。

5 结语

1) 港区滚动开发模式对设计提出较高要求,本工程采用前瞻性设计理念和思路对码头、场地、路网、闸口及其他辅助设施统筹规划,使之成为一座专业化高标准的现代集装箱码头。

2) 码头结构设计按照“基于性能的设计理念”和“弱柱强梁”理念,采用拟静力振型分解反应谱法和非线性 Pushover 方法进行计算,并考虑桩基与岸坡的相互作用。码头结构抗震设计理念和方

3) 本工程地基处理、抗地震液化、面层结构的设计均按照国际标准执行,利用国际通行软件 Plaxis 计算地基变形,利用 ANSYS、ROBOT 等软件 RTG 地基梁、箱脚梁进行受力分析,设计方法达到国际先进水平。

4) 本工程充分注重生态保护,在全港区跨越铁路和堆场区埋设4条总长约1600m的大断面过水生态箱涵,使红树林水体与港池水体相连。这种在港区设立箱涵进行水体保护工程措施以及箱涵下基础处理方法具有可推广性。(下转第141页)

考虑宽肩台防波堤堤身变形后的感观影响。

2) 宽肩台防波堤堤顶高程要求基本不越浪标准,而人工块体护面防波堤在满足功能要求的情况下,可以选择允许越浪标准,结构选型中要考虑两种不同标准产生的差异。

3) 宽肩台防波堤石料用量超过人工块体护面防波堤 40%以上,需要大量的质量较大的块石。考虑当地石料供应时,不仅要考虑总量,而且要考虑质量大、品质高、级配好的石料的供应量和供应速度。

4) 宽肩台防波堤采用陆上推进施工是一个比较关键的施工条件,如无法满足,需结合施工组织详细分析项目的工期、费用目标。

5) 对于水运工程质量验收相关规范,可对宽肩台防波堤护面施工完成后至验收前的时间区间内的动态变形进行相应规定,以便于工程施工安排及工程顺利验收。

6) 有资料显示,当地石料丰富的情况下,宽肩台防波堤工程造价可以低至常规人工块体护面防波堤的 50%~70%。随着国内环保要求的逐渐提高及开采运输成本的增加,工程造价节省比例可能比预想要低。当考虑基本不越浪和允许越浪设计标准之间的差异以后,工程造价节省程度还需要具体分析。

参考文献:

- [1] 交通部第一航务工程勘察设计院. 海港工程设计手册(中) [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999: 476.
- [2] 朴正, 马小舟, 董国海. 斜坡式建筑物上异形人工护面块体的发展及应用 [J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(7): 298-300.
- [3] 薛瑞龙, 王福强, 王玉平. 海外常用护面块体选型及设计 [J]. 中国港湾建设, 2014(12): 42-46.
- [4] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 防波堤设计与施工规范: JTS 154-1—2011 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [5] 谢世楞. 宽肩台斜坡式防波堤设计 [J]. 港工技术, 1996(2): 1-8.
- [6] 刘志远, 佟德胜, 张文忠. 宽肩台防波堤稳定性研究 [J]. 中国港湾建设, 2015, 35(1): 25-30.
- [7] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 福州港松下港区防波堤二期工程工程可行性研究报告 [R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2015.
- [8] 福建省港航勘察设计研究院, 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 福州港松下港区防波堤二期工程初步设计 [R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2016.
- [9] 河海大学. 福州港松下港区防波堤二期工程波浪断面物模试验研究报告 [R]. 南京: 河海大学, 2014.

(本文编辑 王璁)

(上接第 119 页)

参考文献:

- [1] 孙友林. 墨西哥曼萨尼约港及航路简介 [J]. 航海技术, 2015(3): 1-3.
- [2] 杭建忠, 胡雄伟, 黄黎辉, 等. 墨西哥曼萨尼约 CMSA 集装箱码头 1 阶段 1A 阶段工程初步设计 [R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2011.
- [3] Comision Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica. Manual de Diseño de Obras Civiles-Diseño por Sismo [M]. Mexico: CFE, 2008.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司. 水运工程抗震设计规范: JTS 146—2012 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
- [5] Minimum design loads for buildings and other structures :

ASCE/SEI 7-10 [S]. US: ASCE, 2010.

- [6] 任广杰, 邱兆山. 拉美抗震设计规范与中、美规范相关内容的对比研究 [J]. 中国港湾建设, 2013(4): 15-17+41.
- [7] KNAPTON J. The structural design of heavy duty pavement for ports and other industries [M]. Edition 4. UK: Interpave, 2008: 18-63.
- [8] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 港口道路、堆场铺面设计与施工规范: JTJ 296—1996 [S]. 北京: 人民交通出版社, 1996.

(本文编辑 武亚庆)