



海外港口工程挡土墙结构抗震设计 地震系数选取

孙 艺¹, 孙国罡²

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230;

2. 郑州铁路职业技术学院, 河南 郑州 450052)

摘要: 随着国外工程的开展, 越来越多的工程涉及到抗震设计, 而我国水运工程抗震规范与国际规范的规定相距甚远, 抗震设计成为设计审批通过的一大难题。基于此, 收集并归纳了国际上水运工程挡土墙抗震设计地震系数的规定, 为海外工程港工结构抗震设计提供参考, 为其顺利通过审批打下坚实基础。

关键词: 海外港口工程; 挡土墙结构; 抗震设计; 地震系数

中图分类号: TU 352

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)02-0200-04

Seismic coefficient study for seismic design of marine retaining structure of overseas project

SUN Yi¹, SUN Guo-gang²

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. Zhengzhou Railway Vocational and Technical College, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: With the development of overseas projects, more and more projects relate to seismic design. However, rules by the domestic seismic design of port and waterway engineering are far different from those by the international codes, thus the seismic design becomes a problem of design approval. Therefore, international regulations of seismic coefficients for the seismic design of retaining structure in the port and waterway engineering are collected and summarized, to serve as reference for the seismic design of marine structure of overseas projects and provide a solid foundation for the successful design approval.

Key words: overseas marine project; retaining structure; seismic design; seismic coefficient

随着海外工程的蓬勃发展, 港口工程建设区域不断扩大, 越来越多的工程区域位于高震区, 并且近年来, 地震活动频发, 给人类带来的影响和危害越来越引起国际社会的共同关注, 而我国的水运工程抗震规范与国际规范的规定相距甚远, 抗震设计成为设计审批通过的一大难题, 为了提高设计竞争力, 学习海外抗震相应规定刻不容缓。

抗震设计的关键是选取准确的抗震设计指标, 而抗震指标包括输入及输出指标两大类, 输入指标包括地震设防标准、地震参数(峰值加速

度、反应谱、时程曲线等)、结构和土的自身特性、荷载等, 输出指标则是针对不同结构的地震响应, 最后则是基于地震响应的抗震细部设计。

由此可见, 准确的抗震设计指标是抗震设计成功的前提, 而对于挡土墙结构来说, 地震系数是抗震设计的基础, 本文以PIANC为基础, 结合目前国际上流行的日本规范、美国规范、欧标归纳总结了国际上水运工程抗震拟静力分析情况下挡土墙设计地震系数的相关规定, 为海外港工结构抗震设计提供参考, 为设计顺利通过审批打下坚实基础。

收稿日期: 2013-11-12

作者简介: 孙艺(1981-), 女, 硕士, 工程师, 从事港口水工设计。

1 基于性能的抗震设计方法^[1]

从2000年起, 国际流行的抗震设计规范逐步转为基于性能的设计规范, 抗震设计过程复杂, 对于水运工程抗震设计, 国际航海协会汇集了世界各国水运专家, 编写了港口结构抗震设计指南, 纵观近年来所涉及到的海外工程抗震设计, 无论采取何种规范作为基础, 此指南都是最重要的参考资料。根据此指南的规定, 基于性能的抗震设计方法的设计流程如图1所示。由图1可知, 地震响应是地震设计时最重要的输入参数之一, 但是此指南中所涉及到的参数并不是硬性规定, 还要根据不同工程要求执行的规范进行适当调整。

2 地震设防标准^[1-5]

根据实际工程设计中的经验及搜集到的资料显示, 目前水运工程中主要用到的规范见表1。

根据Seismic Criteria For California Marine Oil Terminals的规定, 为了遏制阻止重大溢油事件发生, 燃料码头需要按照level4设防。而我国《液化天然气码头设计规范》^[11]规定, 液化天然气码头和储罐区护岸等水工建筑物的抗震应按下面两种工况验算: 操作基准地震OBE (Operation Basis Earthquake) 工况应采用50 a超越概率10%的地震作用水准作为设计地震, 安全停运地震SSE (Safe Shutdown Earthquake) 工况应采用50 a超越概率2%的地震作用水准作为设计地震。

需要注意的是, 美国标准中涉及抗震的规范颇多, 最权威的为IBC2012 (取代UBC, SBC 和NBC 等规范, 使美国的新建建筑规范达到统一) 和ASCE-7等, 但是相对比较适用于港口工程的规

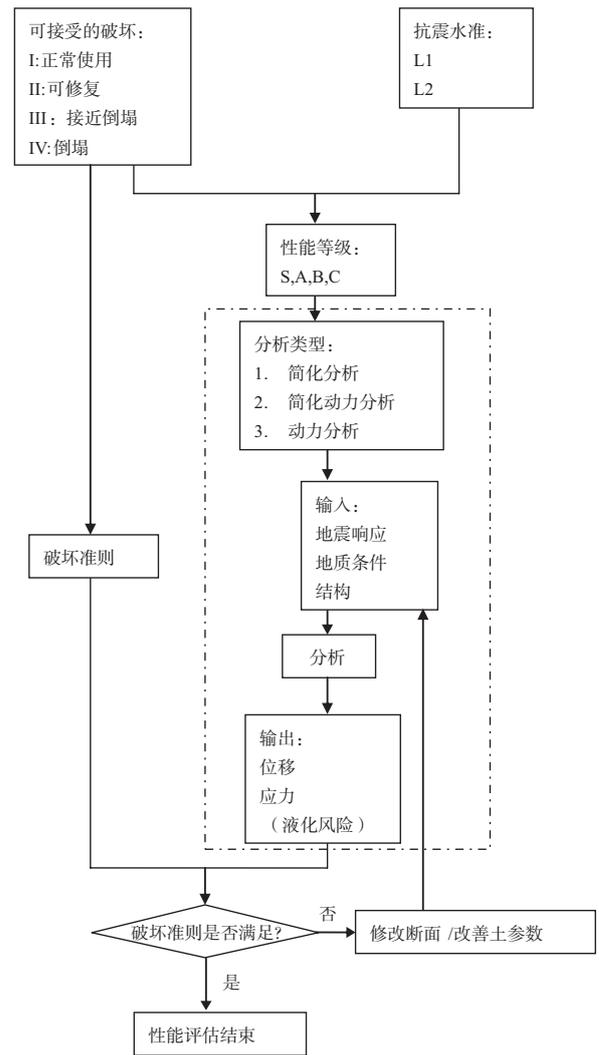


图1 地震性能评估流程^[2]

定为加州海洋油码头抗震准则、US NAVY(1997)、ASCE-TCLEE(1998)、UFC152。

由表1可以看出, 除了会发生重大溢油事件的燃料码头, 其他所有的港口结构基本都采取两阶段抗震水准的设计方法, 而我国水运工程抗震规范却是单一水准设计, 与国际流行做法不同。

表1 主要规范

Level	OCDI ^[2]	PIANC ^[1]	EN1998 ^[3]	加州海洋油码头抗震准则 ^[4]	水运工程抗震设计规范 ^[5]
Level 1	50 a超越概率50%, 重现期75 a	50 a超越概率50%, 重现期75 a	10 a超越概率10%, 重现期95 a	50 a超越概率50%, 重现期72 a	
Level 2	50 a超越概率10%, 重现期475 a	50 a超越概率10%, 重现期475 a			
Level 3				50 a超越概率5%, 重现期949 a	
Level 4				50 a超越概率3%, 重现期1641 a	50 a超越概率2%, 重现期为2 500 a

3 地震峰值加速度取值

地震峰值加速度是最基本的地震参数,设计中需要注意区分地表地面峰值加速度及基岩地面峰值加速度。每个国家会有自己的地震区划分布图,但不同国家的地震区划分布图表达的意义不同。如我国抗震设计是基于国家发布《中国地震动参数区划图(2001)》,但是此图所示为50 a超越概率10%的地表基本烈度值;委内瑞拉规范中的地震区划图中则显示的是50 a超越概率10%的基岩地面峰值加速度。目前了解到的海外工程中多数国家的地震区划都是以此为基础,但不同规范的基岩地震峰值加速度所对应的场地类别不同,如欧标以A类场地为基础,IBC及土耳其规范以B类场地为基础,OCDI以I类场地为基础等。另外,不同规范中会给出竖向及水平向地震加速度的相关关系。因此,进行抗震设计,了解所在国家的地震区划及相应规定是重中之重。

在缺乏资料的前提下,全球的地震分布,尤其是强震区的地震,都可以查询UBC_VOL2 SECTION 1653 或者<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/region.php>,需要注意的是,所查到地震峰值加速度也是基岩地震加速度。

重要工程需要进行场地安全性评价,并进行地震灾害性分析,以确定地震震级、地震动参数(地震动峰值、地震反应谱、地震动时间过程)。

设计地震加速度应为地表地面峰值加速度,纵观各种资料,地表地面峰值加速度和场地类别有关,各种规范中的场地类别均根据剪切波速或者标贯、不排水剪切强度等进行判定,但是不同规范规定不同,不同的场地对应不同的放大系数,另外IBC规定,如果场地的土壤特性具体信息不充分,不能确定场地的级别,则划分其为D类场地。

上述地震峰值加速度为L2的取值,对于L1,以及其他重现期标准对应的峰值加速度,根据不同规范的规定也不尽相同,如根据UFC4-152-01^[10],L1地震峰值加速度为L2的0.22~0.44倍,而欧标中以重要性系数来体现,对L2,取1.0,其他重现期标准对应的需根据重现期进行推导,详见BSEN1998-1:2004第2.1(4)条。

4 设计地震系数

不同的结构采用的设计方法不同,初步分析均可采用拟静力分析方法。对于挡土墙及岸坡结构,采取传统的地震系数法;而对于桩基码头,采用反应谱法。本文仅对挡土墙传统的地震系数法的地震系数进行讨论。

新版日本OCDI(2010版)中规定的地震系数,即使是初步分析,都要求按照地震时程曲线进行推导,日本发生大量的地震,有详尽的记录,因此该规范仅利于日本本国使用,对于其他国家而言,只有方法可以借鉴,真正利用很困难,但2002版日本OCDI规范、加州海洋油码头抗震准则^[4]和临水挡土强抗震设计手册^[9]及PIANC抗震指南^[1]都做了如下规定:

$$k_h = \begin{cases} \frac{a}{g} & a \leq 0.2g \\ \frac{1}{3} \left(\frac{a}{g} \right)^{1/3} & a > 0.2g \end{cases} \quad (1)$$

式中: a 为地表地面峰值加速度。

式(1)已经综合考虑竖向地震的影响,仅适用于结构性能等级为S的设施,其他类别的结构需要按照重要性参数进行折减。按照结构性能等级的分类,日本规范可以参照OCDI2002-表12.4.4进行取值,美标可以根据结构分类参照ASCE-7表1.5-1~1.5-2。见表1。

表1 结构重要性系数

结构重要性等级	OCDI2002 表12.4.4	ASCE-7表1.5-1~1.5-2	
	结构重要性系数	结构风险等级	结构重要性系数
S	1.5	IV	1.5
A	1.2	III	1.25
B	1.0	II	1.0
C	0.8	I	1.0

据PIANC^[1]引用所述,美国桥梁设计手册(AASHTO, 2007)中,对于挡土墙M-O方法,取值为0.5;美国联邦公路管理局文件——地锚锚碇系统(FHWA, 1999a)、临水挡土墙抗震设计手册推荐 k_h 为1/2~2/3;而美国港口抗震指南及加州海洋油码头抗震准则中,板桩码头中的 k_h 为1/3~1/2。

欧标EN1998-5^[3]规定:

$$k_h = a \frac{S}{r} \quad (2)$$

$$k_v = \begin{cases} \pm 0.5k_h & \frac{a_{vg}}{a_g} > 0.6 \\ \pm 0.33k_h & \frac{a_{vg}}{a_g} \leq 0.6 \end{cases} \quad (3)$$

式中: a 为场地类别为A时的设计地面峰值加速度 a_g 与重力加速度的比值, $a_g = \gamma_1 a_{gR}$, a_{gR} 可查工程所对应国家地震区划图; a_{vg} 为设计地面峰值加速度竖向分量, 按照当地抗震规范给定的数值; S 为土参数, 详见EN1998-1:2004, 3.2.2.2; r 为系数, 取决于挡土墙结构的类型, 见EN1998-5:2004表7.1。

另外, 欧标中特别提到, 对于非重力式挡土墙结构, 竖向地震加速度的影响可以忽略, 但是欧标中对于斜坡稳定计算, 地震系数直接取上述的0.5倍, 却没提及竖向地震加速度可以忽略的说法。但是, 实际海外工程设计经验表明, 高震区斜坡式结构地震设计是否考虑竖向地震的影响, 对结构造价影响很大, 如果采取欧标进行设计, 此项规定值得商榷。

5 结语

抗震系数计算与基岩地面峰值加速度、场地类别、结构等级等有关, 而这些因素在各规范中的规定又各有不同, 因此设计的前提是注意规范的选取, 并结合当地规范规定。日本、美国地处地震多发区, 地震引起的灾害造成的影响巨大, 地震研究也比较深入, 从节约成本角度, 建议强震区地震设计尽量采取日本及美国规范; 而欧洲

大部分地区的地震灾害引起的影响较小, 规定相对保守, 欧标适用于中小震地区设计。

参考文献:

- [1] PIANC. Seismic design Guidelines for Port Structures [S]. 2nd. 2006.
- [2] OCDI. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan[S]. Tokyo: Daikousha Printing Co., Ltd, 2010.
- [3] CEN.BS EN1998-5: 2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance —Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects[S].
- [4] MOTEMS. Marine Oil Terminal Engineering and Maintenance Standards[S]. 2003.
- [5] JTS 146—2012 水运工程抗震设计规范[S].
- [6] International Code Council. International Building Code[S]. 2012.
- [7] ASCE Monograph No 12, Seismic Guidelines for Ports[S]. 1998.
- [8] National cooperative highway research program. NCHRP Report 611, Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Buried Structures, Slopes, and Embankments [R]. USA:National cooperative highway research program, 2008.
- [9] Robert M Ebeling, Ernest E Morrison Jr. The Seismic Design of Waterfront Retaining Structures [R]. USA:U S Department of Commerce, 1992.
- [10] UFC 4-152-01 Design: Piers and Wharves, Change 1[S]. 2012.
- [11] JTS 165-5—2009 液化天然气码头设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)

~~~~~

(上接第184页)

## 参考文献:

- [1] 左新军, 刘勇. “CT”技术在岩溶地区桩基中的应用[J]. 中外公路, 2002, 22(5): 107 - 109.
- [2] 王玉海. 井地震CT技术在岩溶勘察中的应用研究[D]. 南京: 南京大学, 2011.
- [3] 张金莉. 岩溶灌浆效果检测中的弹性波CT技术[D]. 吉林: 吉林大学, 2007.
- [4] 牛建军, 杜立志, 谷成. 岩溶探测中的弹性波CT方法[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2004, 34(4): 630 - 633.
- [5] 王猛, 何华. 岩溶地层桥梁钻孔桩基础施工技术[J]. 施工技术, 2006, 35(S1): 34 - 37.
- [6] 任建国. 武汉岩溶地层钻孔灌注桩施工[J]. 地质装备, 2008(10): 33 - 35.
- [7] 陈光林. 超大直径波纹管空心桩的开发研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2012.
- [8] 王伯惠, 上官兴. 中国钻孔灌注桩新发展[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

(本文编辑 郭雪珍)