

文章编号: 0253-3782(2005)06-0647-09

# 探讨渤海及周边地区海洋平台 抗震设防水准<sup>\*</sup>

彭艳菊 吕悦军 唐荣余 沙海军

(中国北京 100085 中国地震局地壳应力研究所)

**摘要** 介绍了美国 API 规范的内容, 并将南加利福尼亚和中国渤海海域地震活动特征与地震危险性进行对比。对比结果表明, 无论在地震活动的频度与强度还是地震危险性分析结果上, 渤海都比南加州弱。API 规范指出, 对于南加利福尼亚地区的永久性建筑, 强度设计水准取重现期 200 a, 变形设计水准取几百至几千年。我国相关规范规定的海洋平台强度设计和变形设计水准分别取 500 a 和 10 000 a, 过于保守。同时, 与其它构筑物的抗震水平相比, 甲类建筑变形设计水准取设计基准期 100 a 内超越概率 2%~3%, 乙、丙类取 50 a 内 2%~3%, 考虑海洋平台易于引起严重的次生灾害, 变形设计水准取设计基准期 30 a 内 1% (相当于重现期 3 000 a) 应是安全的。基于上述对比分析, 同时考虑到经济承受能力以及与现行标准的连贯性, 建议我国海洋石油平台的强度设计水准和变形设计水准分别取 200 a 和 3 000 a。

**关键词** 渤海 海洋平台 RP2A-WSD 规范 抗震设防水准

中图分类号: P315.9 文献标识码: A

## 引言

海洋平台结构是海洋油气资源开发的基础性设施, 目前世界上已建造了近 6 000 座海洋石油开采平台, 我国业已建成 100 余座, 近 5 a 还将建设 100 余座海洋平台。目前世界海洋油气行业的现行抗震设计规范主要是美国石油协会 (API) 制定的 RP2A-WSD 规范 (American Petroleum Institute, 2002), 该规范是依据美国近海岸地震危险性区划结果制定的。受近海海域地震研究程度的限制, 我国尚未制定海洋石油平台的抗震设防规范。目前, 对一些地震活动性较高海域内规模较大的构筑物 (如石油平台), 依据国家规范《工程场地地震安全性评价技术规范 (GB17741-1999)》的要求 (国家质量技术监督局, 1999), 进行专门的地震动参数研究, 同时参照《建筑抗震设计规范 (GB50011-2001)》(中华人民共和国建设部, 国家质量监督检验检疫局, 2001) 和《海上平台场址工程地质勘察规范 (GB17503-1998)》(国家质量技术监督局, 1998)。但这些规范直接应用于平台设计时存在很多问题, 如与平台设计原则不一致、概率水准适应性等。

制定海洋平台的抗震设防地震动水准应考虑以下几个因素: ① 平台的服役期。海洋平台的服务期限为 30 a 左右, 多数小于 30 a, 过高估计了地震因素, 结构分析中会相对降低

\* 中国地震局“十五”重大课题“地震安全性评价与结构抗震”和“海洋平台抗震设防标准的可靠性分析”共同资助。中国地震局地壳应力研究所论著 2005A011。

2005-02-28 收到初稿, 2005-06-20 收到修改稿, 2005-06-27 决定采用。

风、浪、水流、潮汐等作用力的影响,这不利于平台的结构形状设计和材料选择;② 平台的重要性和设计准则。海洋平台属于易发生次生灾害的结构,一旦发生破坏,将会造成严重的环境污染,应根据其破坏效应的特殊性确定设计原则。按照国际惯例,要做到结构与基础在罕遇地震作用下确保安全,不发生生命损失和严重的次生灾害,容许结构有一些损坏,但不能倒塌;③ 地震活动环境,海域内的地震环境与陆地不同,地震危险性特征也不同。我国的渤海、黄海、东海、台湾海峡以及南海,受来自日本岛弧、琉球群岛—中国台湾岛—菲律宾群岛岛弧地带强震活动的影响,在抗震设防中应考虑这种情况。本文主要从地震活动环境的角度考虑海洋平台的抗震设防水准。

在我国海域中,渤海海域地震活动强度大、频度高,而且这一地区地震活动特征和海洋平台设计地震动参数的研究较深入(吕悦军等,2003)。因此本文以渤海海域为例,与美国南加利福尼亚近海岸的地震活动性和地震危险性区划结果进行对比分析,探讨适于渤海海域石油平台的设计地震水准。

## 1 美国石油协会(API)的 RP2A-WSD 规范

RP2A-WSD 规范规定,在海洋平台结构的服役期内,考虑设计地震与罕遇地震两级地震动水平,满足一定的强度和变形要求。设计地震动水准满足强度要求,结构物与基础在经受该水平地震动时无显著破坏,建议南加利福尼亚海域的永久性结构的设计地震重现期取 200 a(相当于 50 a 超越概率 22%);罕遇地震动水准满足变形设计要求,结构物经历此地震动不会造成生命损失和严重污染,容许结构有一些损坏,但不能倒塌,建议重现期取几百年至几千年。第一级水准为结构弹性设计提供地震动输入,第二级水准则是在有必要对结构进行罕遇强震作用分析时,提供地震动输入参数。

RP2A-WSD 规范要求,确定设计地震动参数按 4 个步骤进行:① 地震构造和场地特征分析,包括地震活动与地震发生的地质条件分析、潜在震源评价、震源至场地衰减关系的确定,以及场地土动力性能;② 地震危险性评价,根据地震活动水平以及①中的资料,对研究区进行地震危险性的概率分析,按历史地震和断层活动特征进行地震危险性确定性分析;③ 场地反应分析,即评价地震动参数的局部场地条件的效应,包括场地土性质、局部地质条件和土层厚度等;④ 设计地震动的确定,根据前 3 步的资料,针对具体的结构分析和设计,对地震动参数作出描述,包括设计反应谱和地震动时程等。这一技术途径与我国《工程场地地震安全性评价技术规范(GB17741-1999)》(国家质量技术监督局,1999)中的内容基本一致。

## 2 南加利福尼亚的地震活动和地震区划

### 2.1 地震活动特征

RP2A-WSD 规范是根据美国近海地震活动特征制定的,将海域地震危险性划分为 0~5 级,南加州海域为 3~4 级。规范中指出:关于设计地震地面运动强度的超越概率,特别提到在南加州地区的永久性建筑取 200 a。另外,著名的圣安德烈斯断层位于南加州地区,因此选择该地区与渤海进行对比。图 1 范围是根据南加州地震数据中心(<http://www.data.scec.org>)以及 Hauksson 和 Jones(2000)确定的。

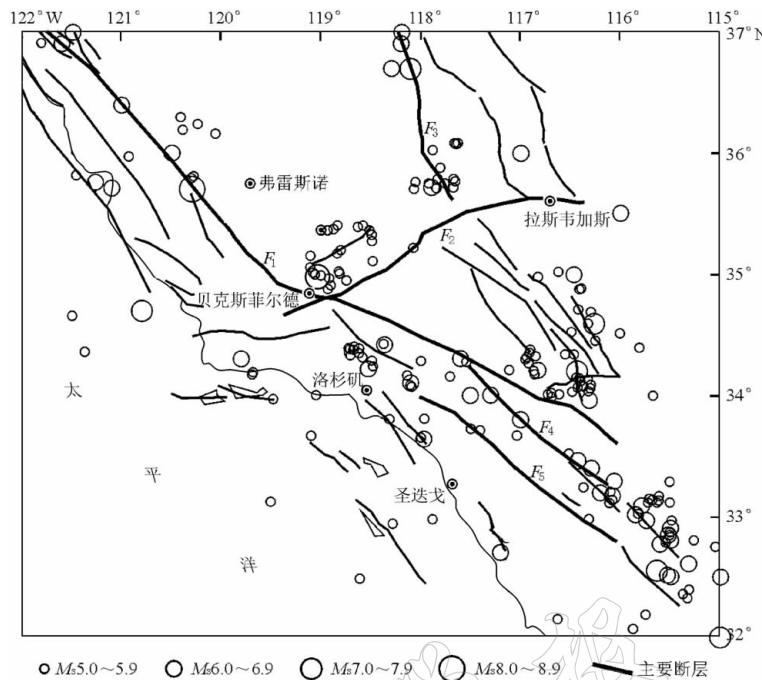


图 1 南加利福尼亚地震构造和强震分布图(1850—2003年)

F<sub>1</sub>. 圣安德烈斯断层; F<sub>2</sub>. 加罗克断层; F<sub>3</sub>. 内华达山断层; F<sub>4</sub>. 圣加辛托断层; F<sub>5</sub>. 艾尔斯诺断层  
(据南加利福尼亚地震数据中心(<http://www.data.scec.org>)及 Hauksson 和 Jones (2000)改编)

南加利福尼亚位于太平洋与北美洲板块边界, 地震活动频繁, 而且强震较多. 该地区分布着许多纵横交错的活断层, 著名的圣安德烈斯断层就穿越该地区. 圣安德烈斯断层属于右旋走滑断层, 其走向基本与海岸线平行. 大约在帕克菲尔德西南 60 km 处断层走向发生改变, 使断层两侧的相对滑动受阻, 在南加州地区的地壳内产生应力集中导致岩石破裂, 形成大量的活动断层(Steven, 1986).

自 1850 年(5 级以上地震完整的起始年)至今的 153 a 内, 南加州共记录到 42 次 6.0~6.9 级地震, 7 次 7.0~7.9 级地震, 最大地震为 1857 年发生在 Fort Tejon 的 8 1/4 级强震. 由于南加利福尼亚州处于两大板块边界上, 地震活动频繁, 而且强度大. 圣安德烈斯断层属走滑性质断层, 故而该区地震震源深度小, 破坏性大. 该区大震的复发周期短, 6 级以上地震平均发生周期大约为 3 a(Tiampo *et al*, 2002), 主要活动断层上强震复发间隔约 100~300 a, 帕克菲尔德地区的强震复发间隔不足 20 a.

该区强震空间分布极不均匀, 大部分强震都发生在活动的大断层上, 线性分布特征显著, 震中分布与断层走向一致性较好. 由图 1 可以看到, 多条断层上地震密集, 形成串状, 而且许多地方强震震中间距很小, 说明强震原地复发的概率较大.

## 2.2 地震区划研究

美国地震危险性区划图采用 Cornell 提出的概率地震危险性分析方法(Frankel *et al*, 2002). 该区划图是根据历史地震资料和现代地震资料, 建立多个空间光滑的地震活动性模型, 对历史上未发生过地震的地区, 根据地质条件建立均匀背景地震区模型, 对每个模型给予一定的权重, 采用不同权重的多组衰减关系进行地震危险性计算. 编图中对震源

深度大于 35 km 的地震, 单独进行网格空间光滑, 并采用不同的衰减关系进行计算.

根据上述方法进行地震危险性计算, 区划结果以重现期 475 a 和 2 475 a(相当于 50 a 超越概率 10% 和 2%) 的峰值加速度图, 以及阻尼比 5% 的 0.2 s 和 1.0 s 的加速度反应谱

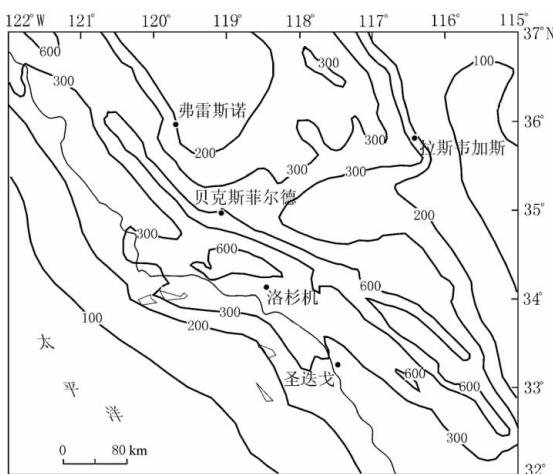


图 2 南加利福尼亚地区重现期 475 a 的峰值加速度区划图(单位为  $\text{cm/s}^2$ )

[据 Frankel 等(2002)插图改编]

峰值加速度大于  $300 \text{ cm/s}^2$ , 大于  $600 \text{ cm/s}^2$  的区域呈窄条带状, 与圣安德烈斯断层(或海岸线)平行, 大部分地区的

峰值加速度大于  $300 \text{ cm/s}^2$ , 大于  $600 \text{ cm/s}^2$  的区域呈窄条带状, 与圣安德烈斯断层(或海岸线)平行, 大部分地区的

表示, 同时还给出了 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 s 和 2.0 s 周期的加速度反应谱 (Frankel *et al*, 2002). 峰值加速度区划图是硬岩石场地上的结果, 这种场地上部 30 m 内的等效剪切波速为  $760 \text{ m/s}$  (相当于 NEHRP (Building Seismic Safety Council, 1998) 中规定的 B 类和 C 类场地分界). 在具体使用时根据 NEHRP 中的场地分类表确定场地类型, 然后根据不同场地的调整因子得到地表地震动参数.

图 2 是根据美国 2002 年地震区划结果改编的南加州地区重现期 475 a 的峰值加速度区划图. 从图中可以看出, 其峰值加速度等值线基本与圣安德烈斯断层(或海岸线)平行, 大部分地区的

### 3 渤海及周边地区地震活动与地震危险性分析结果

#### 3.1 地震活动特征

渤海处于著名的中国东部强震活动构造带——郯庐断裂带上, 郯庐断裂带活动存在明显的分段性, 渤海位于比较活跃的下辽河—莱州湾段, 该地区还受唐山—磁县断裂的影响.

自公元 1500 年以来, 渤海及周边地区 5 级以上地震记录基本完整. 1500 年至今, 共记录到 9 次 6~6.9 级地震, 7 次 7 级以上地震(其中有 4 次发生在海域内), 最大地震为 1976 年唐山 7.8 级地震. 渤海及周边地区位于北北东向与北西向断裂带的交汇部位, 地震活动比较频繁. 7 级以上大震多发生在活动断裂交汇区, 分布比较集中, 而且该地区是华北地区 7 级以上强震复发周期较短的地段.

由图 3 可以看出, 渤海及周边地区强震在空间分布上很不均匀, 4 次 7 级以上地震集中分布在渤海中部的  $38^\circ\text{--}39^\circ\text{N}$ 、 $119^\circ\text{--}121^\circ\text{E}$  地区, 形成了华北地震区 7 级以上大震最集中的地区. 另外, 1976 年唐山地震和 1975 年海城地震濒临海域, 对渤海地区的影响较大; 在渤海北部的辽东湾一带没有记录到大于 5 级的地震, 南部的莱州湾也仅有 5 级左右的中等地震发生(图 3).

渤海及周边地区的地震活动存在显著的周期性, 每个活动周期包括活跃期与平静期. 1548 年渤海 7 级地震标志着地震活动进入活跃阶段, 至今该地区经历了一个完整的地震活

动周期, 目前处于第二个活跃阶段的末期, 具体分期见表 1. 1548—1624 年为显著活跃阶段, 76 a 内发生 7 级以上地震 2 次, 5~6.9 级地震 11 次; 1625—1887 年为平静阶段, 262 a 内仅有 6 级以下地震; 1888 年至今为又一次显著活跃阶段, 已发生 5 次 7 级以上地震, 5~6.9 级地震 38 次。

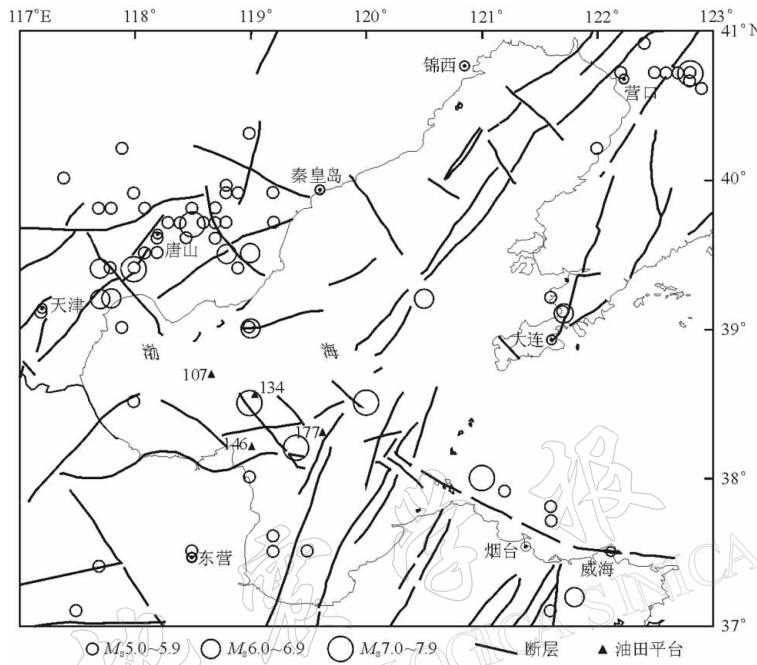


图 3 渤海及周边地区地震构造和强震分布图(1500—2003 年)

图中▲附近标注的数字表示该场点重现期 475 a 的基岩峰值加速度(单位为  $\text{cm/s}^2$ )

表 1 渤海及周边地区地震活动期统计表

活动时段	期限/a	活动期划分	各震级档地震次数	
			$M_s \geq 7$	$M_s 5.0 \sim 6.9$
1548—1624 年	76	活跃阶段	2	11
1625—1887 年	262	平静阶段	0	12
1888—?	>100	活跃阶段	5	38

### 3.2 地震危险性分析方法及结果

我国的地震危险性分析采用综合概率法(胡聿贤, 1999). 该方法在采用国际上通用的地震危险性概率分析方法的基础上, 针对我国地震活动时空非均匀分布特点, 假设在一个地震统计区内, 地震的发生在时间和空间上符合分段泊松分布模型. 也就是在空间上引进两级划分方案: 首先划分地震统计区; 其次在统计区内又划分出具有不同震级上限的潜在震源区, 以体现地震的空间不均匀性. 在时间上, 考虑地震活动的相对活跃与平静的特点, 确定未来百年地震活动的水平. 该方法避免了地震活跃期和大地震对场点影响的稀释效果, 有效地反映了场点地震危险性分析结果的合理性.

采用综合概率法, 吕悦军等(2003)研究了渤海地区 20 余个场点的地震危险性, 本文选取其渤海中部地震活动性较高地区的 4 个场点重现期 475 a 的基岩峰值加速度结果用于对

比分析(图 3). 该 4 个场点的基岩峰值加速度均大于  $100 \text{ cm/s}^2$ , 最大为  $177 \text{ cm/s}^2$ .

## 4 南加利福尼亚地区与渤海及周边地区的对比分析

### 4.1 地震活动性的对比

南加州地区的地震主要是发生在太平洋板块和北美洲板块间的板间地震, 而我国渤海及周边地区的地震为板内地震. 板内地震分布广、大震相对集中、震源浅、大震的复发周期较长, 而且经常在历史上未记载大震的新区发生; 而板间地震发生地点集中, 多沿板块边界呈线性分布, 其大震复发周期短、频度高、强度相对较大. 相同重现期的地震, 在板内场地的作用强度一般低于板块边界地区的场地.

本节选用地震频次与地震应变释放能  $E$  两个常用参数来对比分析南加州和渤海地区的地震活动水平.

1) 地震频次统计. 统计上述两个地区 5 级地震记录完整的起始时间至今 5 级以上的地震频次(表 2). 需要说明的是: 渤海及周边地区地震活动存在明显的周期性, 在本次统计时段内, 该地区经历了两个活跃期和一个平静期. 一个完整的地震活动周期约为 300 a, 目前所处的活跃期是从 1888 年开始的, 估计未来百年将进入相对平静时期. 由于选取时段经历了两个活跃期, 以此来统计渤海地区的平均地震活动水平会导致结果偏高, 而且未来百年将进入相对平静阶段. 南加州地区地震记载历史较短, 难以判断其地震活动的周期性, 但从主要断层的活动规律看, 未来百年活动强度以 1850 年以来的地震活动强度来考虑是合理的.

表 2 南加利福尼亚与渤海及周边地区地震活动对比

研究区	震 级 分 档					$t/a$	面积/ $\text{km}^2$
	$M_S 5.0 \sim 5.9$	$M_S 6.0 \sim 6.9$	$M_S 7.0 \sim 7.9$	$M_S > 8.0$	$M_{\max}$		
南加利福尼亚	150	42	7	1	$8\frac{1}{4}$	153	356, 500
渤海及周边地区	52	9	7	0	7.8	503	230, 500

渤海及周边地区的统计时段是南加州的 3.3 倍, 其面积是南加州的 0.65 倍, 在此基础上比较两地区的地震频度: 南加州  $M_S 5.0 \sim 6.9$  地震的次数远远大于渤海地区, 两地区  $M_S 7.0 \sim 7.9$  地震次数相等, 南加州最大震级为  $8\frac{1}{4}$  级地震, 而渤海地区的最大震级为 7.8 级. 由此可见, 南加州的地震频度远大于渤海地区(图 4).

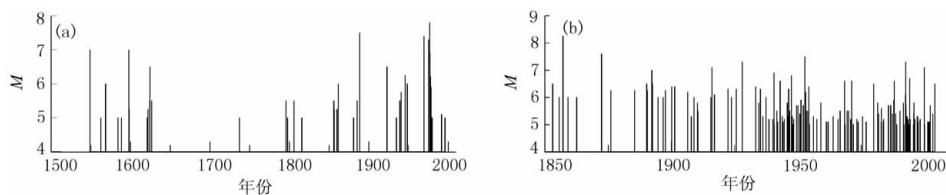


图 4 震级-时间分布图. (a) 渤海; (b) 南加州

2) 应变释放曲线. 一次地震中释放的能量可由古登堡-李克特经验关系式

$$\lg E = 4.8 + 1.5M$$

得出, 孕震体释放的应变能  $E$  与地震波能量  $E$  的平方根成正比, 应变能释放曲线的斜率

表示应变释放的平均速率, 也相当于应变累积速率.

由上述关系得出图 5 所示的两地区的应变释放曲线. 渤海及周边地区地震应变年平均释放速率为  $1.86 \times 10^6 \text{ J}^{1/2}$ , 南加州为  $1.3 \times 10^7 \text{ J}^{1/2}$ , 相当于渤海及周边地区的 7 倍. 南加州 153 a 释放的应变能是渤海 503 a 释放应变能的 2.3 倍. 由此可见, 渤海及周边地区地震能量释放强度也远低于南加州地区.

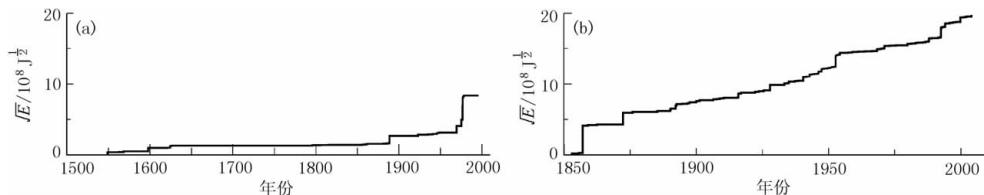


图 5 应变能释放曲线. (a) 渤海; (b) 南加州

#### 4.2 峰值加速度对比

将渤海单个场点的峰值加速度与南加州的峰值加速度区划进行对比可以发现, 尽管使用了适合我国地震活动特点的综合概率分析方法, 但两者重现期均为 475 a 的峰值加速度结果相差巨大: 渤海地区最高峰值加速度为  $177 \text{ cm/s}^2$ , 而南加州地区最高值则超过  $600 \text{ cm/s}^2$ , 而且南加州地区 80% 以上面积的峰值加速度大于  $200 \text{ cm/s}^2$ . 沿区内圣安德烈斯断层两侧宽度 8 km、长度约 650 km 范围内的峰值加速度大于  $600 \text{ cm/s}^2$ , 洛杉矶北部地区的峰值加速度也超过  $600 \text{ cm/s}^2$ . 而渤海地震活动水平较高地区的峰值加速度也不超过  $200 \text{ cm/s}^2$ . 因此, 南加利福尼亚地区的地震危险性也远高于渤海地区.

### 5 我国海洋石油平台抗震设防水准

#### 5.1 不同规范抗震设防水准的对比

结构物的抗震设防水准一般考虑区域地震活动特征、结构物的特征与服役期、社会经济承受能力等因素. 目前我国还未制定专业的海上平台抗震设防标准, 在《海上平台场址工程地质勘察规范(GB17503-1998)》规定中(国家质量技术监督局, 1998), 取 50 a 内超越概率 10% 和 0.5% 分别作为海上平台的强度设计和变形设计的概率水准(表 3). 《建筑抗震设计规范(GB50011-2001)》(中华人民共和国建设部, 国家质量监督检验检疫局, 2001)采用“三级水准(小震不坏, 中震可修, 大震不倒, 小、中、大震分别对应 50 a 内超越概率 63%, 10%, 2%~3%)、两阶段设计(第一阶段是承载力验算, 取第一水准的地震动参数, 既要满足第一水准下具有必要的承载力可靠度, 又要满足第二水准的损坏可修的目标, 第二阶段是弹塑性变形验算, 实现第三水准设防要求)”的思想. 在 GB17503-1998 以及 RP2A-WSD 中所指的强度设计水准和变形设计水准相当于《建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)》中的“中震可修、大震不倒”目标水准, 即 50 a 内超越概率 10% 和 2%~3% 的地震强度. 目前, 在我国海洋石油平台的抗震设计中, 强度设计一般取 50 a 内超越概率 10% 的地震动参数.

表 3 不同规范抗震设防标准对比

标 准	强度设计水准	变形设计水准
	重现期/a	重现期/a
GB 50011-2001	约 500	1 600~2 500
GB17503-1998	约 500	10 000
RP2A-WSD	200	几百~几千

## 5.2 海洋平台抗震设防水准标定的合理性

通过第4节南加州地区与渤海及周边地区的地震活动性、地震动参数的对比可以发现, 南加州地区地震频次、释放能量以及地震动峰值加速度均远高于渤海及周边地区。而且南加州地区的地震主要是发生在太平洋板块与北美洲板块间的板间地震, 而我国渤海及周边地区的地震为板内地震活动。相同重现期的地震, 在板内场地的作用强度也会低于板块边界地区的场地。

由上述分析可见, 我国海洋平台抗震强度设计水准的重现期取 RP2A-WSD 规范规定的 200 a 是安全的, 而我国相关规范规定的重现期 500 a 偏保守。关于抗震变形设计水准, 不同规范给出的结果差别较大(表 3)。根据《建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)》, 甲类建筑构筑物罕遇地震概率水平取 100 a 内 2%~3%, 相当于重现期 3 000~5 000 a; 乙、丙类取 50 a 内 2%~3%, 相当于重现期 2 000 a。海洋平台的设计基准期一般为 30 a, 考虑到海洋平台一旦遭受破坏, 可能造成较大的经济损失和严重的环境污染等次生灾害, 故其变形设计水准取 30 a 内 1%, 相当于重现期 3 000 a, 已经与甲类建筑持平, 并接近 RP2A-WSD 规定的上限。而 GB17503-1998 规定的重现期 10 000 a 似乎过于保守。

另外, 制定结构物的抗震设防水准, 不但要考虑区域地震活动特征、结构物的特征与服役期, 还要考虑社会经济承受能力以及与现行标准的连贯性。我国还属于发展中国家, 财力和物力有限, 设防标准与投入费用直接相关, 既要保证结构抗震安全, 又要适度投入抗震设防的费用, 使经济投入获得最大效益。因此, 国家总的抗震设防政策决定了各行业的设防标准不宜过高。从目前正在使用的《建筑抗震设计规范(GB50011-2001)》、《构筑物抗震设计规范(GB50191-93)》和《水工建筑物抗震设计规范(DL5073-1997)》等来看, 所采用的地震作用参数(加速度峰值、动力放大系数最大值  $\beta_m$  和反应谱特征周期  $T_g$ )都略小于观测平均值。所以, 海洋平台的抗震设防标准也不宜过于保守, 更没有必要高于美国等发达国家同类工程的设防标准。

我国海洋石油平台采用 50 a 内超越概率 10% 作为强度设计水准, 50 a 内超越概率 0.5% 作为变形设计水准, 均过于保守。参照美国 RP2A-WSD 规范, 将我国海洋石油平台设计地震的重现期取 200 a, 罕遇地震的重现期取 3 000 a, 是安全的、合理的。

## 6 小结

本文仅以渤海及周边地区为例, 结果存在局限性, 不能代表整个中国海域的特征。但随着资料的积累, 将继续对该地区以及整个中国海域开展更加深入的研究, 为制定我国海域工程抗震设防标准奠定基础, 为未来开展海域的地震区划工作积累经验。

本文得到中国地震局地球物理研究所鄢家全研究员的指导; 南加利福尼亚地震数据中心为本研究提供了数字地震资料。在此一并表示感谢。

## 参 考 文 献

- 国家质量技术监督局. 1999. 中华人民共和国国家标准《工程场地地震安全性评价技术规范(GB17741-1999)》[M]. 北京: 中国标准出版社, 1~16
- 国家质量技术监督局. 1998. 中国人民共和国国家标准《海上平台场址工程地质勘察规范(GB17503-1998)》[M]. 北京:

- 中国标准出版社, 15~16
- 胡聿贤. 1999. 地震安全性评价技术教程[M]. 北京: 地震出版社, 215~243
- 吕锐军, 唐荣余, 彭艳菊, 等. 2003. 渤南油田工程地震研究[M]. 北京: 地震出版社, 67~99
- 中华人民共和国建设部, 国家质量监督检验检疫局. 2001. 建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 195~201
- American Petroleum Institute. 2002. RP2A-WSD: Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design[M]. Houston: American Petroleum Institute, 124~128
- Building Seismic Safety Council. 1998. 1997 Edition NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, FEMA 302/303[M]. Washington D C: Developed for the Federal Emergency Management Agency, 32~35
- Frankel A, Petersen M, Mueller C, et al. 2002. Documentation for the 2002 Update of the National Seismic Hazard Maps[R]. Open-file Report 02-420, 2002. Washington D C: U S Geological Survey, 2~31
- Hauksson E, Jones L M. 2000. Interseismic background seismicity of the southern San Andreas Fault, California[A]. Proceedings of the 3rd Conference on Tectonic Problems of the San Andreas Fault System[C]. Stanford, California: September 6~8, 31~39
- Steven G Wesnousky. 1986. Earthquake, Quaternary faults and seismic hazard in California[J]. *J Geophys Res*, **91**(B12): 12 587~12 631
- Tiampo K F, Rundle J B, McGinnis S, et al. 2002. Eigenpatterns in southern California seismicity[J]. *J Geophys Res*, **107**(B12): 2 354

## RESEARCH ON THE SEISMIC FORTIFICATION LEVEL OF OFFSHORE PLATFORM IN BOHAI SEA AND ITS ADJACENT AREAS

Peng Yanju Lü Yuejun Tang Rongyu Sha Haijun

(Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China)

**Abstract:** API code is introduced at first, and then a comparison of seismic character and seismic hazard between Bohai and Southern California is carried out. The analysis indicates both the seismic frequency and intensity and the seismic hazard of Bohai are much weaker than that of Southern California. API code states the strength level and deformation level of permanent structures in Southern California takes 200 a and several hundred to a few thousand years respectively. But in the reference codes in China, the seismic levels take 500 a and 10 000 a for strength design and deformation design, and it seems too conservative. In China, the deformation level of class A structure takes 2%~3% probabilities of exceedance in reference period 100 a, and that of class B and C often takes 2%~3% in 50 a. Now that offshore platforms may cause server subsequent risk, it is safe to take 1% in 30 a as its deformation design level. On the basis of the analyses above and social economic level and the consistency with present codes, the strength design level and deformation design level of Chinese offshore platforms is suggested to take 200 a and 3 000 a respectively.

**Key words:** Bohai Sea; offshore platform; RP2A-WSD code; seismic fortification level