

能源部文件

能源技[1993]277号

关于批准发布《油气田工程测量规范》 等六十项石油天然气行业标准的通知

各有关单位:

《油气田工程测量规范》等六十项标准草案经审查通过,现批准为石油天然气行业标准,予以发布。各项标准的编号、名称如下:

序号	标准编号	标准名称
1	SY 0054—93	油气田工程测量规范 (代替 SYJ 0054—83)
2	SY 0070—93	油田注水配水间设计规范
3	SY / T 0071—93	油气集输管子及管路附件选用标准
4	SY 0075—93	油罐区防火堤设计规范
5	SY / T 0519—93	原油屈服值测定 U 形管法
6	SY / T 0520—93	原油粘度测定 旋转粘度平衡法
7	SY / T 0521—93	原油析蜡点测定 显微观测法
8	SY / T 0522—93	原油析蜡点测定 旋转粘度计法
9	SY 4008—93	抽油机安装施工及验收规范 (代替 SYJ 4008—86)
10	SY 4011—93	注水泵安装施工及验收规范 (代替 SYJ 4011—86)
11	SY 4014—93	埋地钢质管道聚乙烯胶粘带防腐层施工及验收规范 (代替 SYJ 4014—

- 87)
- 12 SY / T 4055—93 球形储罐 γ 射线全景曝光技术要求
(代替 SYJ 0054—83)
 - 13 SY 4056—93 石油天然气钢质管道对接焊缝射线照相及质量分级
 - 14 SY / T 4057—93 液体环氧涂料内防腐涂层钢管技术条件
 - 15 SY 4058—93 埋地钢质管道外防腐层和保温层现场补口补伤施工及验收规范
 - 16 SY / T 4059—93 钢质容器防腐和保温工程施工及验收规范
 - 17 SY 4060—93 天然气净化装置设备与管道安装工程施工及验收规范
 - 18 SY 4061—93 稠油热采管道施工及验收规范
 - 19 SY / T 4062—93 长输管道线路敷设流水作业施工工艺
 - 20 SY 4063—93 电气设施抗震鉴定技术要求
 - 21 SY 4064—93 常压立式储罐抗震鉴定技术要求
 - 22 SY 5030—93 石油钻机用 190 系列柴油机 (代替 SY 5030—83)
 - 23 SY / T 5102—93 石油勘探开发仪器基本环境试验方法
试验 K: 高温高压试验 (代替 SY 5102—85)
 - 24 SY / T 5134—93 石油勘探开发仪器基本环境试验方法
试验 G: 振动 (正弦试验代替 SY 5134—86)
 - 25 SY 5200—93 钻柱转换接头 (代替 SY 5200—87)
 - 26 SY / T 5563—93 DSZI 地震数据增音站
 - 27 SY / T 5564—93 可控震源编码扫描发生器
 - 28 SY / T 5565—93 掺水电子水表
 - 29 SY / T 5566—93 低能源原油含水分析仪

30	SY / T 5567—93	小直径流量含水测试仪检修规范
31	SY / T 5568—93	可控震源电子控制箱体
32	SY / T 5569—93	遥测地震仪电源站
33	SY / T 5570—93	YKZ480 遥测数控地震仪
34	SY 5571—93	固井水泥头
35	SY / T 5572—93	钻井用打捞工具分类与通用技术条件
36	SY / T 5573—93	石油物探企业计量器具配备规范
37	SY / T 5574—93	石油天然气地质录井企业计量器具配备规范
38	SY 5575—93	钻杆测试资料处理方法
39	SY 5576—93	钻井队野营房
40	SY 5577—93	套管装卸运输与贮存技术要求
41	SY / T 5578—93	油田地面建设工程施工企业计量器具配备规范
42	SY / T 5579—93	砾岩储集层描述方法
43	SY / T 5580—93	油田用原油破乳剂、污水处理剂技术管理规定
44	SY / T 5581—93	TA1031 原油破乳剂
45	SY / T 5582—93	石油勘探开发仪器基本环境试验方法 试验 N: 宽带随机振动
46	SY / T 5583—93	石油仪器仪表产品标准编写要求
47	SY / T 5584—93	石油勘探开发仪器基本环境试验方法 试验 J: 密封试验
48	SY / T 5585.1~ 4—93	地震数传电缆电参数测试方法特性阻抗和传播时间测试
49	SY / T 5586—93	石油工业成套设备引进合同规范
50	SY / T 5587.4—93	油水井常规修井作业 油层套管封器 查漏作业规程
51	SY / T 5587.11—93	油水井常规修井作业 可钻式封隔器 钻铤工艺作法

- 52 SY / T 5587.12—93 油水井常规修井作业 抽油泵打捞作业方法
- 53 SY 5589—93 管式磁防蜡器
- 54 SY / T 5590—93 冻胶调剖剂性能评价方法
- 55 SY / T 5591—93 石油企业物资仓储管理工作等级标准
- 56 SY 5592—93 聚合物冻胶型 PIA-605 调剖剂
- 57 SY 5593—93 钻井取心质量指标
- 58 SY / T 5594—93 水驱砂岩油田开发规划编制方法
- 59 SY 5490—93 钻井液试验用钠膨润土
- 60 SY 4065—93 石油天然气钢制管道对接焊缝超声波探伤及质量分级。

以上标准自一九九三年九月一日起施行。

中华人民共和国能源部
一九九三年三月二十七日

1 总 则

1.0.1 为贯彻地震工作“以防为主”的方针，在现有科学技术和经济条件下，减轻储罐的地震破坏和次生灾害，避免人员伤亡，减少经济损失，特制订本标准。

1.0.2 按本标准进行抗震鉴定和加固的储罐，当遭受本地区设防烈度的地震影响时，可能损坏，但经一般修理或不需修理仍可继续使用。

1.0.3 本标准适用于抗震设防烈度为6度至9度地区使用的常压立式钢制圆筒形储罐（以下简称储罐）抗震鉴定和加固。

1.0.4 一般情况下，抗震设防烈度可采用《中国地震烈度区划图（1990）》规定的本地区基本设防烈度；对做过抗震防灾规划的地区和厂矿，可按经批准的抗震设防区划确认的设防烈度或抗震设计地震动参数进行抗震鉴定和加固。

注：本标准一般略去“设防烈度”字样，如“设防烈度为6度、7度、8度、9度”简称为“6度、7度、8度、9度”

1.0.5 储罐的抗震鉴定，应考虑周围环境（如建筑物、构筑物倒塌，滑坡，危石等）可能引起的次生灾害。

1.0.6 储罐的抗震鉴定和加固应根据其重要性及地震灾害严重性，按下列情况处理：

1.0.6.1 一般储罐抗震鉴定和加固，应按设防烈度采用；

1.0.6.2 5度地区的年生产能力在 $200 \times 10^4 \text{t}$ 以上的油田或采油厂中的主要原油库、轻烃库、成品油库和长输管道首、末站的储罐，可按提高一度进行抗震鉴定和加固；

1.0.6.3 6度时，储罐可不进行抗震验算，但应满足构造措施。

1.0.7 凡不符合本标准要求的储罐，应按下列原则采取抗震加固对策与措施：

1.0.7.1 对有加固价值的储罐，应进行抗震加固。

1.0.7.2 经按本标准鉴定,对抗震能力不足，又没有加固价值的储罐，可采取降低液面高度等措施，且满足抗震要求。

2 术语、符号或代号

2.1 术语

2.1.1 地震基本烈度earthquake basic intensity

系指在50年期限内，一般场地条件下，可能遭遇超越概率为10%的烈度值，即现行《中国地震烈度区划图（1990）》上所示的地震的烈度值。

2.1.2 抗震设防烈度earthquake resistance protective-design intensity

按国家批准权限审定作为一个地区抗震设防依据的地震烈度。

2.1.3 场地site

大体相当于厂区、居民点和自然村的区域范围的构筑物所在地，应具有相近的反应谱特性。

2.1.4 地震影响系数earthquake influence coefficient

单质点弹性结构在地震作用下的最大加速度反应与重力加速度比值的统计平均值。

2.1.5 抗震设计的重力荷载代表值representative gravity load on earthquake resistance design

抗震设计时，在地震作用标准值的计算和结构构件作用效应的基本组合中，用以表示结构或构件永久荷载标准值与有关可变荷载的组合值之和。组合值系数根据地震时的遇合概率确定。

2.1.6 地震作用效应的折减系数reduce coefficient of effect of earthquake action

考虑抗震分析中结构计算模型的简化和弹、塑性内力重分布或其它因素的影响，在结构或构件设计时对地震作用效应（弯矩、剪力、轴力和变形）进行调整的系数。

2.2 符号或代号

符号或代号	意 义
A	底圈罐壁的截面面积
a	场地土层剪切波速统计系数
b	场地土层剪切波速统计系数
C_L	剥离影响系数
d	场地覆盖厚度
d_i	底圈罐壁平均直径
d_i	第 i 层土的厚度
E	罐壁材料操作温度下的弹性模量
F_{EN}	储罐的总水平地震作用标准值
G	场地土层平均剪切模量
g	重力加速度
h_k	土层中点处深度
h_A	储罐液面至罐壁顶部的最小距离
h_w	液面高度
$h_{w,1x}$	罐内液面晃动最大波高
M_1	总水平地震作用对罐壁底部产生的弯矩
m	产生地震作用的储液等价质量
m_1	罐内储液总质量
N	底圈罐壁所承受的最大轴向压力载荷；包括罐壁板、罐顶、保温层自重和雪荷载的1/2
r_1	底圈罐壁平均半径

符号或代号	意 义
r_d	底圈罐壁内半径
T	储罐自振周期
T_1	储罐与储液耦连振动基本自振周期
t_1	底圈罐壁有效壁厚、应扣除预计使用年限的腐蚀裕度
$T_1/3$	液面高度1/3处的罐壁厚度, 不包括腐蚀裕度
T_g	特征周期
T_R	罐内液体晃动基本自振周期
$V_{s i}$	第 <i>i</i> 层土的剪切波速
W	底圈罐壁的截面抵抗矩
α	地震影响系数
α_1	相应于储罐与储液耦连振动基本自振周期的水平地震影响系数
α_{max}	地震影响系数最大值
α_{w1}	相应于罐内液体晃动基本自振周期的水平地震影响系数
γ_d	场地覆盖层厚度对地震效应影响的权系数
γ_G	场地土层刚度对地震效应影响的权系数
γ_c	储罐体形系数
μ	场地指数
μ_G, μ_d	分别为场地土层的平均剪变模量和覆盖层厚度对场地指数的贡献参数
ξ	地震作用效应折减系数
ψ_w	动液系数

续表

符号或代号	意 义
ρ_i	第 <i>i</i> 层土的质量密度
σ_N	底圈罐壁的最大轴向压应力
[$\sigma_{\bar{\sigma}_t}$]	罐壁许用临界应力

3 基本规定

3.0.1 容积小于 100m^3 的储罐（不包括储存毒性为高度和极度危害物质的储罐），除严重腐蚀者外，可不进行抗震鉴定。储存毒性为高度和极度危害物质的储罐，应对罐壁和焊缝进行鉴定。

3.0.2 容积为 100m^3 及以上的储罐，应进行抗震鉴定。经鉴定罐壁厚度不足者，应采取加固措施。

3.0.3 储罐主要部位的焊缝，如罐壁焊缝、罐壁与罐底板的连接角焊缝，浮船底板、顶板与边缘板的连接焊缝应饱满，不应有裂纹等缺陷。

3.0.4 浮顶罐的浮船底板或边缘板腐蚀后的厚度，不应小于设计厚度的80%。

3.0.5 储存易燃物料的浮顶罐，浮顶与罐壁间的联接件（如导向装置，转动浮梯等）应接触良好，浮顶沿导向管和罐壁上下浮动时，其接触部位必须灵活可靠。

3.0.6 储罐的各种附件，如罐顶的呼吸阀、阻火器、透光孔盖、量油孔盖等应联结牢靠。

3.0.7 储罐应有良好的静电接地装置，浮顶、转动浮梯和罐壁间应导电良好。

3.0.8 储油罐进出口的管道，应有柔性联接措施。

3.0.9 储存易燃物料的储罐，应有可靠的防火堤，防火堤的容量应符合现行有关标准。

3.0.10 当管道直接穿过防火堤时，应采取措施。

4 场 地

4.0.1 储罐所在场地的评定,应以场地指数为依据,场地指数应按下列公式计算:

$$\mu = \gamma_G \mu_G + \gamma_d \mu_d \quad (4.0.1-1)$$

$$\mu_G = \begin{cases} 1 - e^{-0.6(G-30) \times 10^{-3}} \\ 0 \quad (\text{当 } G \leq 30 \text{ MPa 时}) \end{cases} \quad (4.0.1-2)$$

$$\mu_d = \begin{cases} e^{-0.5(d-5)^2 \times 10^{-3}} \\ 0 \quad (\text{当 } H > 80 \text{ m 时}) \end{cases} \quad (4.0.1-3)$$

式中 μ ——场地指数;

γ_G ——场地土层刚度对地震效应影响的权系数,可取,
0.7;

γ_d ——场地覆盖层厚度对地震效应影响的权系数,可取,
0.3;

μ_G, μ_d ——分别为场地土层的平均剪变模量和覆盖层厚度对场地指数的贡献参数;

G ——场地土层平均剪变模量,MPa,按本章第4.0.2条确定;

d ——场地覆盖层厚度,可采用地表至坚硬土层(剪变模量大于500MPa或剪切波速大于500m/s)顶面的距离,m。

当场地土层的平均剪变模量大于500MPa或覆盖层厚度不大于5m时,场地指数可采用1.0。

4.0.2 场地土层的平均剪变模量,一般可采用地表以下20m深度范围内的土层平均剪变模量,当覆盖层厚度小于20m时,可按

实际覆盖层厚度确定。

场地土层的平均剪变模量应按下式计算：

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \rho_i V_{s,i}^2}{\sum_{i=1}^n d_i} \times 10^{-3} \quad (4.0.2)$$

式中 d_i ——第*i*层土的厚度，m；

ρ_i ——第*i*层土的质量密度，t/m³；

$V_{s,i}$ ——第*i*层土的剪切波速，m/s；

场地土层剪切波速统计系数

表4.0.3

土名和状态	统计系数	土 的 名 称			
		粘性土	粉细砂	中粗砂	卵石碎石
湿结较差的软塑、软型粘性土、松散、稍密的砂土	a	70	90	80	—
	b	0.300	0.243	0.280	—
软塑、可塑粘性土，中密、稍密砂、砾、卵、碎石土	a	100	120	120	170
	b	0.300	0.243	0.280	0.243
硬塑、坚硬粘性土，密实的砂、砾、卵、碎石土	a	130	150	150	200
	b	0.300	0.243	0.280	0.243
弱胶结的砂、砾、卵、碎石、风化岩石	a	300~500			
	b	0			
未风化岩石	a	>500			
	b	0			

n ——覆盖层的分层层数。

4.0.3 场地土层剪切波速值，一般应通过现场实测确定，也可按下列公式计算：

$$V_{s,i} = ah_i^b \quad (4.0.3)$$

式中 h_i ——土层中点的深度（以米计、无量纲代入）；

a 、 b ——场地土层剪切波速统计系数，可按表4.0.3采用。

4.0.4 当没有条件测定土层剪切波速时，可根据场地名称按表4.0.4确定场地指数。

场地名称与场地指数的关系

表4.0.4

场地名称	坚硬场地	中硬场地	中软场地	软弱场地
场地指数 μ	1.0	0.5	0.2	0.0

4.0.5 场地名称可根据场地指数按表4.0.5确定。当有充分依据时，表4.0.5中场地名称的划分标准可作适当调整。

场地名称与场地指数的关系

表4.0.5

场地名称	坚硬场地	中硬场地	中软场地	软弱场地
场地指数 μ	$1 \geq \mu > 0.8$	$0.8 \geq \mu > 0.35$	$0.35 \geq \mu > 0.05$	$0.05 \geq \mu > 0$

5 地震作用及其作用效应计算

5.0.1 7度及以上时，容积为 100m^3 及以上的储罐应按本标准进行抗震验算。

5.0.2 储罐的地震影响系数 α ，应根据烈度、场地指数和储罐的基本自振周期，按图5.0.2采用。

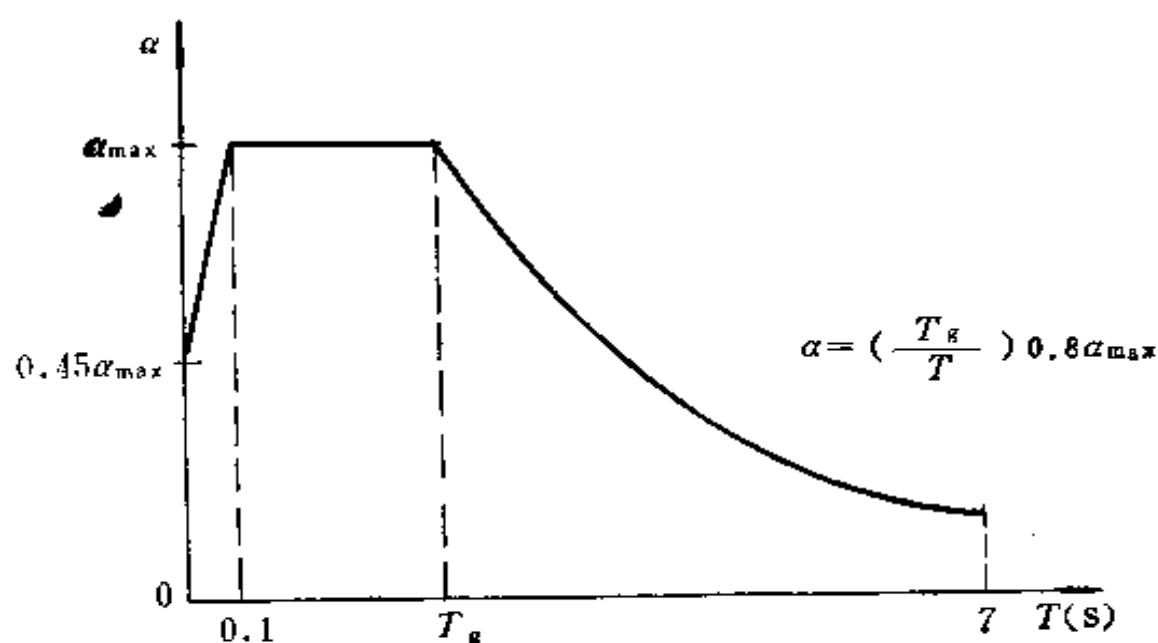


图5.0.2 地震影响系数曲线

注： α ——地震影响系数；

α_{\max} ——地震影响系数最大值，应按表5.0.2.1确定

T ——储罐自振周期；

T_g ——特征周期，应按式5.0.2.2确定

5.0.2.1 截面抗震验算时，储罐的水平地震影响系数最大值应按表5.0.2.1采用。

水平地震影响系数最大值

表5.0.2.1

烈 度	7	8	9
α_{max}	0.23	0.45	0.90

5.0.2.2 特征周期，应根据场地指数按下式确定：

$$T_g = 0.65 - 0.45\mu^{0.4} \quad (5.0.2.2)$$

5.0.3 储罐与储液耦连振动基本自振周期，应按下式计算：

$$T_1 = 0.374 \times 10^{-3} \gamma_c h_w (\gamma_1 / t_{1/3})^{1/2} \quad (5.0.3)$$

式中 T_1 ——储罐与储液耦连振动基本自振周期，s；

γ_1 ——底圈罐壁平均半径，m；

$t_{1/3}$ ——液面高度1/3处的罐壁厚度，不包括腐蚀裕度，m；

γ_c ——储罐体形系数，应按表5.0.3采用；

h_w ——液面高度，m。

储罐体形系数

表5.0.3

d_1/h_w	0.2	0.5	1	2	3	4	5	6
γ_c	2.97	1.61	1.18	1.10	1.11	1.55	1.82	2.12

注：① d_1 为底圈罐壁平均直径，m；

②中间值可采用线性内插法确定。

5.0.4 罐内液体晃动基本自振周期，应按下式确定：

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_1}{3.682g} \operatorname{cth}\left(\frac{3.682h_w}{d_1}\right)} \quad (5.0.4)$$

式中 T_s ——罐内液体晃动基本自振周期，s；

g ——重力加速度，取 $g=9.81$ ，m/s²。

5.0.5 储罐的总水平地震作用标准值，应按下列公式计算：

$$F_{EK} = \alpha_1 \eta m g \quad (5.0.5-1)$$

$$m = m_1 \psi_w \quad (5.0.5-2)$$

式中 F_{EK} ——储罐的总水平地震作用标准值, kN;
 η ——罐体影响系数, 采用1.1;
 α_1 ——相应于储罐与储液耦联振动基本自振周期的水平地震影响系数, 按图5.0.2采用; 对于公称容积小于10000m³的储罐, 采用 α_{max} 值;
 m ——产生地震作用的储液等价质量, t;
 m_1 ——罐内储液总质量, t;
 ψ_w ——动液系数, 应按表5.0.5采用。

动液系数

表5.0.5

d_1/h_w	0	1	1.33	2	3	4	5	6
ψ_w	1	0.78	0.71	0.54	0.38	0.28	0.23	0.19

5.0.6 总水平地震作用对罐壁底部产生的弯矩, 应按下列式计算:

$$M_1 = 0.45 \xi F_{EK} h_w \quad (5.0.6)$$

式中 M_1 ——总水平地震作用对罐壁底部产生的弯矩, kN·m;
 ξ ——地震作用效应折减系数, 取0.40。

5.0.7 罐壁底部的最大轴向压应力, 应按下列式计算:

$$\sigma_N = \frac{N}{A} + \frac{C_L M_1}{W} \quad (5.0.7)$$

式中 σ_N ——底圈罐壁底部的最大轴向压应力, kPa;
 N ——底圈罐壁所承受的最大轴向压力荷载, kN; 包括罐壁板、罐顶、保温层自重和雪荷载的1/2;
 A ——底圈罐壁的截面面积, m²;
 W ——底圈罐壁的截面抵抗矩, m³;
 C_L ——翘离影响系数, 取1.40。

5.0.8 在水平地震作用下, 罐内液面晃动最大波高应按下列式计算:

$$h_{m \cdot x} = 1.5 \alpha_{w1} r_2 \quad (5.0.8-1)$$

$$\text{当 } 0.85s < T_s \leq 3.5s \quad \alpha_{w1} = \frac{0.389}{T_s^{0.9}} \quad (5.0.9-2)$$

$$\text{当 } T_s > 3.5s \quad \alpha_{w1} = \frac{1.80}{T_s^{1.6}} \quad (5.0.8-3)$$

式中 $h_{m \cdot x}$ ——罐内液面晃动最大波高，m；

α_{w1} ——相应于罐内液体晃动基本自振周期的水平地震影响系数；

r_2 ——底圈罐壁内半径，m。

6 抗震验算

6.0.1 验算储罐底层罐壁的稳定时，许用临界应力值应按下列式计算：

$$[\sigma_{cr}] = 0.188Et_1/d_1 \quad (6.0.1)$$

式中 $[\sigma_{cr}]$ ——罐壁许用临界应力，kPa；

E ——罐壁材料操作温度下的弹性模量，kPa；

t_1 ——底圈罐壁的有效壁厚，应扣除预计使用年限的腐蚀裕度，m。

6.0.2 罐壁底部的最大轴向压应力，应符合下列式要求：

$$\sigma_N \leq [\sigma_{cr}] \quad (6.0.2)$$

6.0.3 储罐液面至罐壁顶部的最小距离，应符合下列式要求：

$$h_t > h_{max} \quad (6.0.3)$$

式中 h_t ——储罐液面至罐壁顶部的最小距离，m。

7 抗震加固措施

7.0.1 经抗震验算储罐底圈罐壁不符合要求时，应采取抗震加固措施。

7.0.2 储罐的抗震加固施工宜与维修相结合进行，可采取下列方案：

7.0.2.1 采取卡箍加固底圈罐壁。

7.0.2.2 底部罐壁焊接加强板或其它加固措施。

7.0.3 经鉴定不符合本标准第3.0.8条规定时，可采取改变连接管线形状（加U形管）或增设金属软管、波纹补偿器等安全措施。

7.0.4 经鉴定不符合本标准第3.0.9条规定时，可采取下列措施：

7.0.4.1 增设防火堤。

7.0.4.2 管道由堤顶跨越。

7.0.4.3 局部加固堤身或设置穿堤套管（或预留孔），套管（或预留孔）内径应大于管道外径50mm，并应填充柔性防渗材料。

附录A 本标准用词说明

A.0.1 执行本标准条文时，要求严格程度不同的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

A.0.1.1 表示很严格，非这样做不可的用词为：正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

A.0.1.2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词为：正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

A.0.1.3 表示允许稍有所选择，在条件许可时首先这样做的用词为：正面词采用“宜”或“可”；反面词采用“不宜”；

A.0.2 条文中必须按指定的标准、规范或其它有关规定执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……要求”。非必须按所指定的标准、规范或其它规定执行的，写法为“参照……”。

附 加 说 明

本标准主编单位、参加单位和主要起草人名单
主编单位：中国石油天然气总公司工程技术研究所
主要起草人：徐振贤 王意如 刘春山

中华人民共和国石油天然气行业标准

常压立式储罐抗震鉴定
技术要求

Standard for Earthquake Resistance Evaluation
of Upright Cylindrical Liquid Storage
Tanks Under Normal Pressure

SY 4064—93

条 文 说 明

石油工业出版社

1993·北京

制订说明

根据中国石油天然气总公司(91)中油科字第142号文通知的要求,由中国石油天然气总公司工程技术研究所负责编制的SY4064—93《常压立式储罐抗震鉴定标准》经能源部一九九三年九月一日以号文批准发布。

在编制过程中,编制人员遵照国家有关方针、政策,进行了比较广泛的调查研究,认真总结了我国储罐抗震工程方面的实践经验,并广泛地征求了有关单位的意见,反复讨论、修正,最后由中国石油天然气总公司基建工程局会同有关部门进行审查定稿。

本标准共分为七章一个附录,主要内容包括总则、术语、符号或代号、基本规定、场地、地震作用及其作用效应计算、抗震验算、抗震加固措施等。

为便于广大基建、设计、施工、科研、高等院校等有关部门和单位人员在使用本标准时,能正确理解和执行条文规定,本标准编写人员根据国家有关编制标准、规范条文说明的统一要求,按正文的章、节、条顺序编制了本条文说明,供各有关人员参考。

鉴于本标准系初次编制,希望各单位在执行过程中,结合工程实践,认真总结经验,注意积累资料,如发现需要修正和补充之处,请将意见和有关资料寄交天津市塘沽区津塘公路40号中国石油天然气总公司工程技术研究所结构室,以便今后修订时参考

中国石油天然气总公司工程技术研究所

一九九三年一月

目 次

1	总则	(1)
2	术语、符号或代号	(3)
3	基本规定	(4)
4	场地	(5)
5	地震作用及其作用效应计算	(7)
6	抗震验算	(17)

1 总 则

1.0.1 本条是制定本标准的**目的**，**指导思想**和**条件**。标准的科学依据只能是现有的震害防治经验和研究成果，目前对地震的规律性尚认识不足，随着地震工程科学水平的不断提高，本标准的内容将会不断完善和提高。根据国家的实际经济条件和承受能力，取用适当的设防水准，使其具有可行性。

1.0.2 本条所提的设防要求与建筑抗震设计规范的要求吻合。一般储罐也基本可以达到此项要求，历次震灾中尚无储罐倒塌的灾情。

1.0.3 本标准的适用范围除了7，8，9度地区外，还增加了6度地区。鉴于近数十年来很多6度地区发生了较大的地震，甚至特大地震，造成重大伤亡和破坏。储罐按本标准采取相应的抗震结构措施之后，可以提高设备的抗震能力，比不设防时有实质性提高。6度地区一般不需抗震验算。

1.0.4 本条体现了抗震设防依据的“双轨制”，即一般情况采用基本设防烈度，在一定条件下，也可采用抗震设防区划确认的设防烈度和地震动参数（如地面运动加速度峰值，反应谱值或地震影响系数曲线）进行抗震鉴定和加固。也是依据石油企业抗震设防区划的成果制定的。

1.0.5 地震造成储罐的破坏，除地震引起结构的直接破坏外，还有场地及储罐附件的破坏，例如地基土的不均匀下沉，管件的拉脱等，因此对储罐进行抗震鉴定时，要考虑这些因素。

1.0.6 如本章第1.0.3条说明中所述，近数十年来很多6度地区发生了较大地震，甚至特大地震，储罐内通常储存易燃，易爆物料，地震时遭到破坏后，还易造成火灾、爆炸、污染周围环境的严重次生灾害，为此，强调6度区的储罐采取提高一度的设防要

求，根据以往的大量计算分析结果，6度地区提高一度设防后，加固工作量与原设防条件相比，增加不大。而7，8，9度地区的储罐，则按本地区的基本设防烈度采用。

1.0.7 本条规定了储罐经鉴定不符合要求时，应采取抗震加固措施的基本原则。

2 术语、符号或代号

本标准是根据国家标准《工程结构设计统一标准》的规定编制，符号、计量单位和基本术语是按照国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》的规定选用的。

3 基本规定

3.0.1 容积小于 100m^3 的储罐,因结构需要,其壁厚均取与 100m^3 储罐相同。因此,除严重腐蚀外,已具有足够抗震能力,海城和唐山地震时,此类储罐未受到破坏,所以,一般可不进行抗震鉴定;但储酸罐和储存剧毒物料的储罐,考虑到物料的腐蚀性大以及发生次生灾害的严重性,仍应进行抗震鉴定。

3.0.3 储罐重要部位的焊缝,在地震作用下,将产生较大的应力,故要保证焊缝质量。

3.0.4 经对 $10000\sim 50000\text{m}^3$ 浮顶罐进行静力校核,当浮顶底板或边缘板厚度等于80%设计厚度时,一般可满足设计要求,即在正常操作状态下不发生强度或失稳破坏。否则应对浮顶采取加强措施。

3.0.5~3.0.6 考虑到国内外的震害中曾发生罐顶附件脱落或浮顶联结件碰撞产生火花而引起严重次生灾害的实例,故要求储罐上各种附件固定可靠,并避免地震时金属碰撞产生火花。

3.0.7 地震时液面和浮顶均发生晃动,有可能摩擦产生静电,故要求静电接地良好。

3.0.8 储罐与管道连接处,在地震时易发生破坏,增加管道与储罐连接处的柔性。例如,设置U形补偿器或柔性接头(金属软管、波形补偿器),可以减轻或避免地震灾害。

3.0.9 储罐周围设置防火堤,是防止地震灾害扩大的第二道防线,其目的是将灾害控制在尽可能小的范围内,防火堤的容量应按现行有关规定确定。

3.0.10 管道直接穿过防火堤时,会削弱堤身强度,地震时易造成破坏,应对堤身采取加固或防漏措施。

4 场 地

4.0.1~4.0.2 本条规定与国标《构筑物抗震设计规范》内容一致。随着强震观测资料的增加和国内外大地震震害经验的积累，人们逐渐认识到，场地条件是影响地震动特征和结构震害的重要因素，目前考虑这一因素的方法，是在抗震设计规范中通过场地分类，给出几条不同的反应谱曲线，不同国家的设计规范和不同研究者提出的场地评定指标和分类方法很不一致。

本标准建议的场地评定指标是平均剪变模量和覆盖土层厚度，平均剪变模量是各分层土的剪变模量对厚度的加权平均，它较好地反应了场地土层的刚度特性（如波速、分层厚度和土质密度等）覆盖层厚度和震害的关系以为多数研究者所认识，大量的震害现象都与覆盖层厚度有关。这里将选用的两个指标结合在一起，能较好地反映场地的动力特性，并便于给出场地评定结果的定量指标，即场地指数。

目前国内外的抗震规范，是根据场地分类指标进行场地分类的，当场地评定指标处在分类边界附近时，往往会因很小的差异而带来场地类别的一类甚至二类之差，相应的地震动设计参数也将造成很大的差异。众所周知，场地特性对设计反应谱有明显的影响。用场地指数表示场地评价结果，这实质上是一种连续的分类方法，采用场地指数的优点是可以把设计反应谱用一个统一的公式来表示，它是随场地指数连续变化的函数，使反应谱能较合理地反映场地的差异对地震作用的影响。

4.0.3~4.0.5 当需要采取抗震结构措施时，有必要引用四种场地类别，即坚硬场地、中硬场地、中软场地、软弱场地，场地土的剪切波速，是评定场地的一个重要指标，本标准规定对储罐进行鉴定时，一般情况下剪切波速均应通过专门仪器测定，如果场地土

层资料齐全，也可根据土的名称和状态，按式 4.0.3 计算土层剪切波速值；场地名称确定时也允许按表 4.0.4 直接确定场地指数值；本标准的场地指数与《建筑抗震设计规范》(GBJ —89)四类场地设计近震特征周期 T_g 的对应关系大致如下：

场地指数与特征周期关系

表 4.0.3

本标准的场地指数 μ	1.0	0.5	0.2	0.0
GBJ11的场地类别	I	II	III	IV
特征周期值 $T_g(s)$	0.2	0.3	0.4	0.65

如按场地指数 μ 或 T_g 的中值划分，中硬场地的 μ 值变化范围为0.75~0.35。鉴于GBJ 11中的Ⅱ类场地指数变化范围大，为与之协调，应扩大中硬场地 μ 值的变化范围，因此本标准将中硬场地的 μ 值变化范围调整为0.8~0.35，场地名称与场地指数的关系如正文中表4.0.5所示。

5 地震作用及其作用效应计算

5.0.1 本条规定储罐的抗震验算范围。

5.0.2 本条是关于设计反应谱的规定。与《构筑物抗震设计规范》的设计反应谱相同，它使用国内外 $M \geq 5$ 级的地震记录515条，可以更好地反映我国的地震地质特征。设计反应谱是场地指数的连续函数，可以用一个统一的公式通过反应谱形状参数确定。在三对数坐标上，用反应谱的加速度，速度和位移控制段平直包线的交点确定的周期（ T_A 、 T_V 和 T_d ）可以定义为反应谱形状参数。它们对反应谱的形状起决定作用，较好地反映了场地上的影响。

反应谱加速度控制段（平台）的起点周期 T_A 变化范围不大（0.08~0.20）。为了简化，对所有场地均取 $T_A=0.1$ 。标准中图5.0.2所示反应谱下降段（即速度控制段）的适用范围，应当是位移控制段的起点周期 T_d ，它随场地指数由大到小而变化，约介于4~7s之间，超过 T_d 值后，反应谱（或地震影响系数 α ）按 $1/T^2$ 比例衰减，为安全起见，对所有场地均取 $T_d=7s$ ，可满足储罐抗震计算。

经过上述简化，本标准给出了图5.0.2所示的反应谱曲线，图中特征周期 T_g （即 T_V ）与场地指数的关系如公式（5.0.2-2）所示，并且考虑了与《建筑抗震设计规范》的协调。

5.0.3 按反应谱理论计算储罐的地震作用，在确定地震影响系数 α_1 时，需要先计算储罐的基本自振周期，本条文所推荐的基本自振周期计算式（5.0.3）是依据梁式振动理论推导出来的近似计算式进行简化而得出的，主要考虑圆筒形储罐的剪切变形、弯曲变形及圆截面变形的影响。

其中系数 $\gamma_0 = \xi_1 \cdot \xi_2$

式中 ξ_1 ——截面变形系数，
 ξ_2 ——弯曲变形影响系数。

当 $d_1/h_w \leq 3.044$ 时，则：

$$\gamma_c = \frac{\sqrt{1 + 0.308(h_w/d_1)^2}}{1 - 0.027(d_1/h_w)^2} \quad (5.0.3-1)$$

当 $d_1/h_w > 3.044$ 时，则：

$$\gamma_c = \frac{\sqrt{1 + 0.308(h_w/d_1)^2}}{3.044(h_w/d_1)[1 - 2.316(h_w/d_1)^2]} \quad (5.0.3-2)$$

γ_c 与 d_1/h_w 的关系即为本标准正文中的表 5.0.3。

基本自振周期公式适用范围： $h_w \geq 0.75H$ （ H 为罐壁高度，下同），计算结果精确度高。当 $h_w < 0.75H$ 时，计算误差较大。

5.0.4 美国 Housner 教授根据刚性壁，罐底部固定的条件，按速度势理论推导的圆筒性储罐液面晃动固有周期计算式，其计算精度较高，在 3000m^2 、 5000m^2 、 50000m^2 模型罐的实验中，在罐底发生翘离，罐壁发生多波壳体反应时，计算值与模型试验结果相比，误差一般小于 5%，固推荐该式进行固有周期计算。

5.0.5 对于储罐的地震作用，国内外的规范均按反应谱理论进行计算，具体方法有以下几种：

a. 美国“API650”，将罐体的惯性力、脉冲压力、对流压力的最大值相叠加。众所周知，短周期地震作用和长周期地震作用是不会同时出现的，采用最大值相叠加的方法显然是偏于保守的。

b. 日本“JIS B 8501 标准”方法认为罐液耦连振动基本自振周期在 $0.1 \sim 0.5\text{s}$ 范围内，属短周期加速度型地震作用所引起的，导致罐内产生脉冲压力；液面晃动基本周期 $3 \sim 13\text{s}$ 范围内，系由长周期位移型地震所激发，使罐内产生对流压力，但这两种地震作用不会同时发生，故提出了应分别进行抗震验算，在计算地震荷载时均考虑了罐体惯性力的影响。

c. 我国“鉴定标准”通过大量计算结果统计得出的罐体惯性力，约占罐内动液压力的 1%~5%，为简化计算，认为可以

忽略罐体惯性力的影响，由于地震作用的卓越周期绝大部分在 1s 以内，罐内液体主要产生脉冲压力，因液面晃动产生的对流压力极小，可以忽略不计，故提出仅计算脉冲压力。

近年来储油罐抗震理论发展很快，计算分析方法较多，如壳体用有限元法、液体用解析法的半解析半数值解法；壳、液用有限元模拟的数值解析法等，这些方法均比较繁复，还无法在规范中应用。由于在理论上地震时储罐只出现 $n=1$ 的梁式振动，因此 Housner 等建议了简化的数学模型（见图 5.0.5-1）。

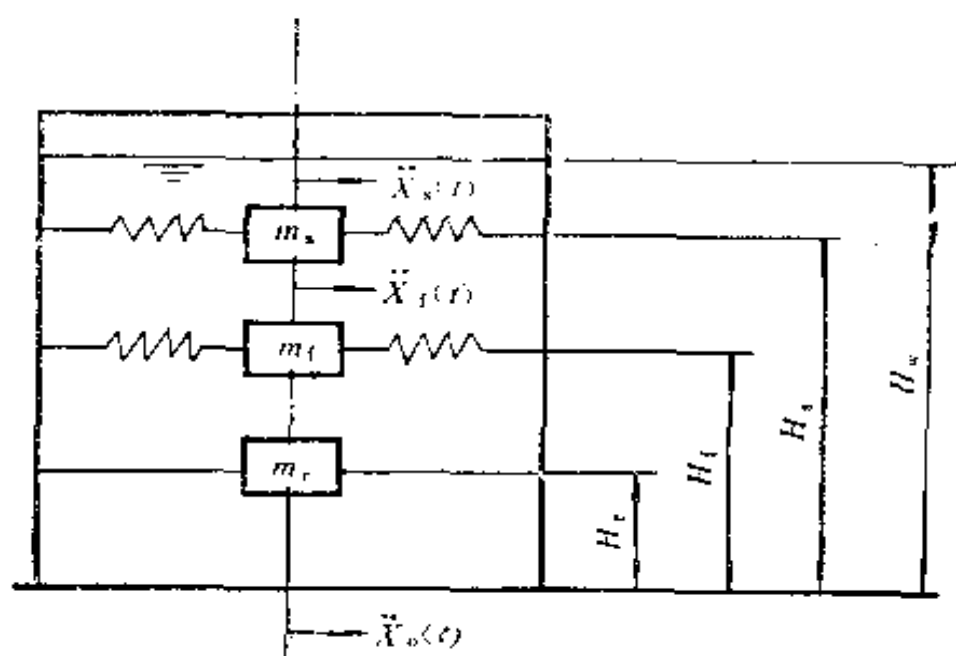


图 5.0.5-1 储罐计算简图

图中等价质量 m_r 、 m_l 和 m_s 分别为储液中对应于地面运动 $\ddot{x}_g(t)$ 、罐壁变形 $\ddot{x}_l(t)$ 以及液面晃动 $\ddot{x}_s(t)$ 的质量。

已经证明对流分量 m_s 及 H_s 的计算可以按照 Housner 刚性壁假设进行。脉冲分量中包括与地面一致运动 m_r 及 H_r ，已经由 Housner 按刚性壁假设导出；而与罐壁弹性变形对应的 m_l 及 H_l ，可以根据梁的理论导出，我们根据剪切梁的假设导出了罐液振动的解，Haroun 和 Housner 还给出了 m_l 及 H_l 相应的图表。

储罐底面地震剪力 $Q(t)$ 及地震弯矩 $M(t)$

$$\begin{aligned} Q(t) &= m_s \ddot{x}_g(t) + m_l \ddot{x}_l(t) + m_r \ddot{x}_g(t) \\ &= m_R \ddot{x}_R(t) + m_l [\ddot{x}_l(t) + \ddot{x}_g(t)] + (m_r - m_l) \end{aligned}$$

$$\times \ddot{X}_0(t) \quad (5.0.5-1)$$

$$\begin{aligned} M(t) &= m_s H_s \ddot{X}_s(t) + m_t H_t \ddot{X}_t(t) + m_r H_r \ddot{X}_0(t) \\ &= m_s H_s \ddot{X}_s(t) + m_t H_t [\ddot{X}_t(t) + \ddot{X}_0(t)] \\ &\quad + (m_r H_r - m_t H_t) \ddot{X}_0(t) \end{aligned} \quad (5.0.5-2)$$

式中 $\ddot{X}_0(t)$ ——晃动等价质量 m_s 的绝对加速度,

$\ddot{X}_t(t)$ ——罐壁相对加速度,

$\ddot{X}_s(t)$ ——地面加速度。

按照反应谱理论地震反应最大值可以用各分量的平方和开方来组合。

上两式中 m_r 项是主要的, 如果忽略其余两项误差小于1%, 而对常用储油罐系列, m_r 比 m_t 稍大, 二者相差一般为10%左右, 因此上两式可简化为:

$$Q_{\max} \approx m_t \alpha_t g \approx m_r \alpha_r g \quad (5.0.5-3)$$

$$M_{\max} \approx m_t H_t \alpha_t g \approx m_r H_r \alpha_r g \quad (5.0.5-4)$$

式中 α_s 、 α_t ——分别为晃动分量及罐壁变形的地震影响系数,

k ——地震系数,

g ——重力加速度。

由此可见计算罐壁应力时, 可以只用脉冲压力分量。

上述计算分析的数学模型均假定储罐与地基间为刚性连接, 不考虑弹性地基的影响, 但是, 实际储罐是浮放在基础上的。根据浮放的边界条件进行动液压力分析, 在理论上目前较为困难, 为此曾在5m×5m大型三向六自由度的地震模拟台上, 进行大比例模型罐的振动试验, 为了模拟实际储罐的安装条件, 模型罐浮放于混凝土圈梁上, 圈梁中间填满较密实的细砂, 试验时, 振动台分别输入两种地震波, 一是Elcentro波, 二是人工模拟地震波, 且将长周期波的影响显著加大, 目的是考虑远震条件下软土地基的影响, 其反应谱如图5.0.5-2。

试验结果表明:

(1) 在地震波作用下, 模型罐不仅有 $n=1$ 的梁式振动变形, 环向也有明显 $n>1$ 的多波变形。环向 $n=1$ 波的分量约为总量的

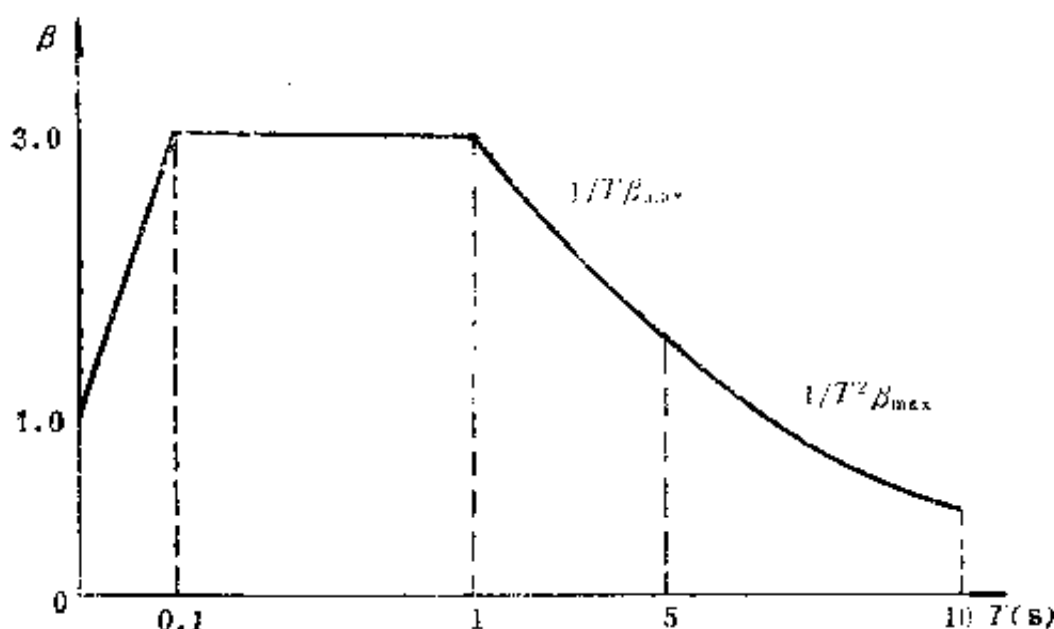


图 5.0.5-2 人工地震波反应谱

30%~50%;

(2) 三种模型罐（即高罐、矮罐、中等高度的罐）在振动台试验时，均发生翘离现象，但是高径比大的模型罐翘离现象尤为明显；

(3) 在地震波作用下，测量出的动液压力约为刚性罐理论计算的动液压力的二倍，也就是说动力系数约为 2，该动力系数含有多波效应、罐壁弹性变形、水的阻尼、环梁及地基、翘离等因素的综合影响。美国 Clough 的振动台上模型罐的试验也表明，储罐中部动液压力的动力系数约为 2，罐底部接近于 1，浮放罐动液压力再增大 35%，总的影响约为二倍。

(4) 叠加相当于 $1/2 \sim 1/3$ 水平分量的地震竖向分量后，动液压力一般增加 20%~30%，当有浮顶时，竖向地震影响要小些；

(5) 在长周期晃动时，浮顶随液面晃动，储液的晃动波高有浮顶时约为无浮顶时的 50%。

采用两种计算模型进行理论分析：一是采用有限元法，将模型罐视为圆柱壳，罐内液体为理想流体，并考虑圈梁基础和地基的影响，其动液压力的计算结果与振动台的试验结果比较接近。二是由于地震时罐体理论上只出现环向一个波的振动，故可简化

为圆截面剪切梁，根据液体速度势理论解析求解。由此得出的动液压力约为Housner刚性壁假设的计算值的1.7倍（即 $\beta=1.7$ ）

根据以上的试验及计算分析结果，本规范正文中推荐了式（5.0.5—1）中各项系数的确定原则分述如下：

（1）地震影响系数 α_1 （ $\beta_1 k$ ）。

地震影响系数 α 为动力系数 β 与地震系数 k 的乘积，储罐的地震动力系数只在底部固定的时候才有理论解，而且只对应于 $n=1$ 的梁式振动。美加州大学Clough等对阻尼比为0.02条件下，采用的动力系数 $\beta=4.3$ ；而日本一些抗震规范取 $\beta=3$ ；至于自由搁置的储罐，在地震作用下的动力系数，目前只有通过试验得出。如上所述，试验得出的动液压力大体为刚性壁理论的动液压力的二倍，已经综合反映了罐壁变形，水的阻尼，环梁及地基、翘离等因素的影响，因此本规范采用刚性壁振动液压力为基准，应该乘以2。因为储罐的耦连振动周期为0.3s左右，相应的动力系数为2~2.25；由于所推荐的反应谱动力系数最大值为2.25，与试验结果相接近，且考虑到与原储罐的抗震标准的延续性，所以仍采用反应谱的概念。由于试验结果 $\beta=2$ 已包括了水的阻尼影响在内，所以反应谱小于3.5s的短周期部分，不再进行阻尼修正。

（2）罐体影响系数 η 。

引入 η 是考虑罐壁惯性的影响，罐壁质量约为罐内储液的1%~5%，平均为2.5%。试验结果表明，罐壁顶部的反应加速度常为台面振动加速度的3~10倍，即其动力系数比储液的动力系数2大3~4倍，故罐体惯性力影响可达动液压力的10%左右，故取 η 为1.1。

（3）动液系数 ψ_w

储罐模型试验表明，地震时的动液压力在数值上约为刚性壁动液压力的二倍。在工程上刚性壁动液压力的计算一般都采用Housner近似理论的公式，美国API650、日本的几本标准以及我国“石油化工设备抗震鉴定标准”中大于5000m³的储油罐都采用了这种方法。

这一理论认为：地震时罐内储液的一部分产生晃动，等价质量为 m_e ；储液的另一部分随刚性壁运动，等价质量为 m ，对应刚性壁的脉冲动液压力。动液系数 F_r 为脉冲等价质量 m 和全部储液之量 m_L 之比，表示总质量 m_L 中只有 $F_r \cdot m_L$ 部产生脉冲动液压力。本标准中 F_r 的计算仍采用美国API 650附录E中的有关公式和图表。

5.0.6 总水平地震力的作用高度，主要考虑了以下几点：美国“API 650标准”采用Housner刚性壁理论分别计算脉冲和晃动液体等价质量及其作用高度，储罐脉冲压力重心高度对于现有国内的储罐，大体接近于 $0.375h_w$ ；日本“JIS B 8501标准”将重心提高到 0.42 至 0.46 之间；我国的“抗震鉴定标准”规定，动液压力沿罐壁高度均匀分布，故合力作用点于 $h_w/2$ 处；按壳液耦合振动理论，根据有限元法计算的脉冲压力沿高度近似于抛物线，重心位置距罐底 $0.44h_w$ 处；按梁理论用解析法得出的各种罐的动液压力合力作用点约 $0.44 \sim 0.5h_w$ 之间，与模型试验结果相近，为了简化计算，本标准采用 $0.45h_w$ 作为总水平地震力合力作用点的高度，并考虑地震效应折减，得出罐底的弯矩计算式（5.0.6），即

$$Mh_1 = 0.45\xi F_{EK}h_w \quad (5.0.6)$$

5.0.7 罐壁底部的最大压应力 σ_N 由两部分组成：即 N/A 和 $C_L M_1/W$ 。其中 N/A 为由罐体自重等产生的轴向压应力，第二项中的 M_1/W 为由地震弯矩引起的弯曲应力，使储罐一侧产生压应力，即为固定罐的弯曲应力，但实际储罐是浮放于环梁基础上的，在地震作用下，一侧罐底会产生翘离反应，而使另一侧罐壁承受了更大的压应力。此时罐壁的最大压应力要大于固定罐的 M/W ，故乘以翘离影响系数 C_L ， C_L 表示翘离后的压应力和固定罐的弯曲应力之比值。

由于储罐的动态翘离反应的复杂性，目前没有一种可行的理论分析方法能够计算翘离储罐的动力反应，故本条文采用基于过去大批储罐震害资料，用统计归纳的方法得出翘离影响系数 C_L ，以确定储罐的抗震能力，当 $C_L = 1.4$ 时，计算结果基本上符合震

害实际情况。这一计算方法也与国标《构筑物抗震设计规范》相同。

5.0.8 当储罐遭遇到的地震具有长周期分量,且与储液晃动基本周期相近时,将会激发很大的液面晃动。1983年5月26日在日本Nihonkai-chuhu发生的7.9级地震中,离震中270km的新泻,地面加速度仅0.1g,有一个储油罐的储液晃动基本周期约为10s,测得的晃动波高为4.5m;美国1983年Coalinga地震中,震中附近不少储油罐的浮顶受到损坏,为了防止储液外溢和减轻罐顶震害,需要计算晃动波高以设置安全的干弦高度。

Housner根据理想流体条件导出了晃动波高 h 的计算公式,经Clough修正后为 $h_{\max}=\alpha_1 R$,后来美国DIT7024在应用时改变成:

$$h_{\max}=0.343\alpha_1 T^2 \tanh(4.77h_w/d_1) \quad (5.0.8-1)$$

式中 α_1 ——地震影响系数;

d_1 ——罐直径;

T ——储液晃动基本周期;

h_w ——储液深度。

日本高压气体抗震设计标准采用三波法计算晃动高度,相应的计算式为:

$$\text{由浅井修导出的: } h_{\max}=0.837RA/gS \quad (5.0.8-2)$$

$$\text{由柴田碧导出的: } h_{\max}=[1-0.837S(n)]A/g \quad (5.0.8-3)$$

式中 A ——地面加速度,

$S(n)$ —— n 个波连续作用下的动力系数,当阻尼比小于等于0.005时,三波共振的动力系数 $S(3)=3\pi$;

R ——储罐半径。

采用势流理论且考虑流体粘性影响后,可导出液面晃动波高 h 为

$$h_{\max}=0.837R\alpha_1 \quad (5.0.8-4)$$

当采用反应谱理论计算波高时, α_1 由加速度反应谱求出,当采用三波共振法时 α_1 为 $S(n)$ 。

由于本标准中反应谱对应的阻尼比为5%,而晃动阻尼比为

0.5%，谱值 α_1 应该进行修改。如果按现有加速度记录分析阻尼修正系数，由于长周期分量严重失真，修正值为1。但是考虑到震源较远情况下可能存在长周期的位移型地震，故本标准仍采用日本规范中的阻尼修正系数，对0.5%阻尼比时的修正系数为1.79，根据墨西哥地震记录分析的结果，随不同土壤而异的阻尼修正值为1.7~2.3之间，我们的取值1.79也位于其间，所以按照本标准的反应谱计算波高 h 时，应采用修正式

$$h_{\max} = 1.79 \times 0.837 R \alpha_1 = 1.5 R \alpha_1 \quad (5.0.8-5)$$

考虑到液面晃动仅在远震情况较为激烈，震源较远情况的加速度不会很大，我们采用8度的0.2g作为设计标准；液面晃动在软土地基上才较明显，所以本标准只选四类场地土的谱曲线进行设计，四类场地土的特征周期 $T_f = 0.85s$ ，由之可以算得：

$$\text{当 } 0.85 < T_f \leq 3.5s \quad \alpha_{w1} = 0.389 / T_f^{0.9} \quad (5.0.8-6)$$

$$\text{当 } T_f > 3.5s \quad \alpha_{w1} = 1.20 / T_f^{1.8} \quad (5.0.8-7)$$

为了将本标准的反应谱长周期部分与各国反应谱相应部分作一比较，将加速度谱值换算成速度谱值或位移谱值，列在表5.0.8中。

适用范围及速度（或位移）谱值比

表 5.0.8

	本 标 准	美国API 650	美国NRC1.60	日本JIS B 8501
适用范围	$0.85 < T_f < 3.5s$	$T_f < 4.5s$		
速度谱值	107~123cm/s	45.7~70cm/s		
适用范围	$3.5 < T_f < 15s$	$T_f > 4.5s$	$T_f > 4.0s$	
位移谱值	59~68cm	33.5~50cm	45.7cm	100cm/s

由表5.0.8中可看出美国取值偏小，日本取值偏大，按日本规范计算，对于 T_f 为10s的大罐，晃动波高近2m，约为本规范计算

值的1.5~1.6倍，但是日本储油罐在构造上也有规定预留安全高度为1.5m的。由于晃动波高超过1.5m的情况多发生在远震的特殊情况，不宜在所有罐中采取。试验结果表明，浮顶能减少晃动波高，考虑到现有系列罐的计算波高一般不超过1.2m，构造上尚能处理，也由于长周期计算还不很成熟，计算时暂不考虑浮顶的影响。

6 抗震验算

6 0 1 浮放在基础上的储罐，在水平地震作用下会发生翘离反应，使壁受压端的压应力增大，可能导致储罐失稳破坏。现有的翘离理论很不成熟，采用了不同假设，得出的翘离程度只有试验结果的 $1/3 \sim 1/4$ ，各种理论的受压区大小差别很大，因此算得的翘离应力也差别很大，在编制本规范过程中，对Alaska、宫城、Imperial Valley及Coulunga等地震中七十几个储油罐的地震震害进行了统计和验算，采用本标准中给出的地震弯矩公式及各种近似理论进行验算，结果表明，当许用临界应力 $[\sigma_{cr}] = 0.12Et/d^3$ 时，有两种计算模型计算结果与实际震害现象基本符合，由此算得的计算翘离应力与按固端罐计算的弯曲应力之比 C_L （称为翘离影响系数）在 $1 \sim 1.5$ 之间。许用临界应力 $[\sigma_{cr}]$ 在压力容器计算规定中取 $0.12Et/d^3$ ，与震害反算结果一致，考虑到抗震鉴定时，许用应力容许提高55%，故本标准取 $[\sigma_{cr}] = 0.186Et/d^3$ ，这样取值，计算结果与储罐震害基本相符合。