

ICS 39.020

P 72

备案号: J386—2004



# 中华人民共和国石油化工有限公司标准

SH/T 3044—2004

代替SH 3044—1992

---

## 石油化工精密仪器抗震鉴定标准

Standard of aseismic evaluation for precision instrument  
in petrochemical industry

2004-10-20 发布

2005-04-01 实施

---

国家发展和改革委员会 发布

## 目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 主要符号	1
4 总则	2
5 抗震鉴定基本要求	2
6 抗震验算	3
6.1 地震作用计算	3
6.2 抗倾覆验算	4
6.3 抗滑移验算	5
6.4 地脚螺栓验算	6
7 加固与减震措施	7
7.1 加固措施	7
7.2 减震措施	7
附录 A (资料性附录) 材料的摩擦系数	9
附录 B (资料性附录) 抗震验算用碳钢膨胀螺栓许用拉力、剪力	10
附录 C (资料性附录) 加固、减震方案参考图	11
附录 D (资料性附录) 抗震验算示例	30
用词说明	36
附: 条文说明	37

# 前 言

本标准是根据原国家经贸委《关于下达 2002 年石化行业标准制修订项目计划的通知》(国经贸厅行业[2002]36 号),由中国石油化工集团公司石油化工科学研究院对原《石油化工精密仪器抗震鉴定标准》SH3044—1992 进行修订而成。

本标准共分 7 章和 4 个资料性附录。

本标准与《石油化工精密仪器抗震鉴定标准》SH3044—1992 相比,主要修订内容如下:

- 对抗震鉴定基本要求的有关内容进行了修改,鉴定范围由抗震设防烈度 6 度~8 度地区修改为 6 度~9 度地区;
- 对“地震作用计算”按新颁布的《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 和《中国地震动参数区划图》GB18306—2001 进行了修改;
- 对楼层上设备的计算方法进行了修改;
- 对标准中相关的条文进行了修改;
- 对“减震措施”进行了补充和完善。

本标准以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本标准由中国石油化工集团公司工程抗震振动技术中心站管理,中国石油化工集团公司石油化工科学研究院负责解释。

本标准在实施过程中,如发现需要修改补充之处,请将意见和有关资料提供给管理单位和主编单位,以便今后修订时参考。

管理单位:中国石油化工集团公司工程抗震振动技术中心站

通讯地址:北京市朝阳区安慧北里安园 21 号

邮政编码:100101

电 话:010—84877578

传 真:010—84878856

主编单位:中国石油化工集团公司石油化工科学研究院

通讯地址:北京市海淀区学院路 18 号

邮政编码:100083

主要起草人:谢德毅 孙祖康 左成林 杜仲瑞 王秋芬 袁汉平 刘玉兰 钮焕  
许垠圳 谭华

本标准于 1992 年首次发布,本次为第一次修订。

# 石油化工精密仪器抗震鉴定标准

## 1 范围

本标准规定了石油化工精密仪器及配套仪器抗震鉴定和减震措施要求。

本标准适用于抗震设防烈度为6度~9度地区的石油化工企业在役精密仪器及配套仪器的抗震鉴定和加固,不适用于抗震设防烈度大于9度地区的石油化工在役精密仪器及配套仪器的抗震鉴定和加固。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准中的引用而构成为本标准的条款。凡是注明日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GB 5044 职业性接触毒物危害程度分级
- GB 50011—2001 建设抗震设计规范
- GB 18306—2001 中国地震动参数区划图

## 3 主要符号

下列符号适用于本标准:

- $A$ ——螺栓的截面面积;
- $D$ ——直径;
- $H$ ——高度;
- $L$ ——距离;
- $P$ ——地脚螺栓所受的拉力;
- $T$ ——基本自振周期;
- $V$ ——地脚螺栓所受的剪力;
- $F_f$ ——接触面之间的摩擦力;
- $F_H$ ——水平地震作用;
- $F_o$ ——设备基底剪力;
- $K_d$ ——楼层放大系数;
- $M_E$ ——水平地震作用产生的倾覆力矩;
- $M_R$ ——地震作用产生的有效倾覆力矩;
- $M_w$ ——自重产生的抗倾覆力矩;
- $[P]$ ——膨胀螺栓的许用拉力;
- $[V]$ ——膨胀螺栓的许用剪力;
- $f$ ——静摩擦系数;
- $m$ ——质量;
- $a$ ——地震影响系数;

$a_{\max}$ ——地震影响系数的最大值；

$\sigma$ ——拉应力；

$[\sigma]$ ——许用拉应力；

$\tau$ ——剪应力；

$[\tau]$ ——许用剪应力。

## 4 总则

4.1 按本标准进行抗震鉴定的石油化工精密仪器及配套仪器，当遭遇到相当于本地区抗震设防烈度的地震影响时，经一般修理或不需修理仍可继续使用，当遭受高于本地区抗震设防烈度预估的罕遇地震影响时，不至于倾覆、滑移或危及人身安全和产生次生灾害。

4.2 抗震设防烈度为 6 度及以上地区的未进行抗震设防的石油化工精密仪器，必须进行抗震鉴定。

4.3 抗震设防烈度必须按国家规定的权限审批、颁发的文件（图件）确定。

4.4 抗震设防烈度可采用《中国地震动参数区划图》GB 18306—2001 的地震基本烈度（或与本标准设计基本加速度值对应的烈度值）；对已编制抗震设防区划的地区或已进行地震安全性评价的工程场地，可按批准的抗震设防烈度或设计地震动参数进行抗震鉴定。

## 5 抗震鉴定基本要求

5.1 精密仪器及配套仪器，符合下列条件之一者可不进行抗震鉴定：

a) 三年内将退役的仪器；

b) 不易产生次生灾害、精密度不高及价值较低的非关键仪器。

5.2 安放精密仪器的建（构）筑物及对精密仪器容易造成损坏的其他设施，均应符合抗震设防要求。

5.3 放置精密仪器的工作台、地面及楼板应坚固，无明显倾斜、变形和无严重腐蚀。

5.4 精密仪器的支撑结构和外罩应符合抗震要求；支撑结构和外罩应无缺损、整体性好，紧固件无松动和锈蚀。

5.5 叠放式仪器应逐层进行抗震鉴定和验算，不符合要求时，应采取抗震措施。

5.6 单独浮放的仪器应进行地震作用下倾覆或滑移验算，不符合要求时，应采取固定或限位措施。

5.7 抗震设防烈度和基本地震加速度取值的对应关系，应符合表 1 的规定；基本地震加速度为 0.15 g 和 0.30 g 地区内的仪器，应分别按抗震设防烈度 7 度和 8 度的要求进行抗震鉴定。

表 1 抗震设防烈度和基本地震加速度值的对应关系

抗震设防烈度	6	7	8	9
设计基本地震加速度值	0.05 g	0.10 g (0.15 g)	0.20 g (0.30 g)	0.40 g
注：g 为重力加速度。				

5.8 抗震设防烈度为 8 度及以上时，应考虑竖向地震作用的影响。

5.9 抗震设防烈度为 6 度时，安装在地面的精密仪器或工作台的质量中心高度和质心在水平面上的投影点至底面边缘的最小距离之比应大于 0.1，否则应采取抗震措施。

5.10 精密仪器使用的易燃、易爆、放射性物质或 GB 5044 规定的毒性为 I 级、II 级介质的储存容器及管线，应采取相应的抗震措施。

## 6 抗震验算

## 6.1 地震作用计算

6.1.1 精密仪器、配套仪器及工作台均可视为刚性结构，其水平地震作用应按公式（1）、公式（2）、公式（3）、公式（4）计算（计算简图见图1）。

$$F_{Hi} = a m_i g \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$a = a_{\max} K_d \quad (2)$$

$$K_d = \begin{cases} 1 + (\eta - 1) \frac{h_n}{H_s} & \text{(地面以上)} \\ 1 & \text{(地面及地面以下)} \end{cases} \quad (3)$$

$$\eta = \begin{cases} \frac{10}{3} & T < 0.6 \\ \frac{10}{3} - \frac{2}{3} \left( \frac{T}{0.6} - 1 \right)^2 & 0.6 \leq T < 1.2 \\ \frac{3.2}{T} & T \geq 1.2 \end{cases} \quad (4)$$

上列式中：

$T$ ——建构物基本自振周期，可按 6.1.2 条规定计算，s；

$F_{Hi}$ ——第  $i$  层仪器的水平地震作用，N；

$H_s$ ——建筑物的总高度，m；

$K_d$ ——楼层放大系数；

$g$ ——重力加速度，取  $9.81, \text{m/s}^2$ ；

$h_n$ ——安放仪器的楼层距地面的高度，m；

$m_i$ ——第  $i$  层仪器的等效质量，kg；

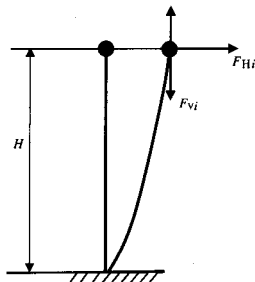
$a$ ——地震影响系数；

$\eta$ ——建筑物顶部放大系数；

$a_{\max}$ ——水平地震影响系数最大值，按表 2 采用。

表 2 水平地震影响系数最大值

抗震设防烈度	6	7	8	9
$a_{\max}$	0.04	0.08 (0.12)	0.16 (0.24)	0.32
注：括号中数值分别用于设计基本地震加速度为 $0.15g$ 和 $0.30g$ 的地区。				



图中符号:

$H$ —仪器质量中心的高度, m;

$F_{Vi}$ —第  $i$  层仪器的竖向地震作用, N;

$F_{Hi}$ —第  $i$  层仪器的水平地震作用, N。

图 1 地震作用计算示意

6.1.2 建(构)筑物的基本自振周期,当无条件确定其值时,可按下列规定确定:

a) 钢结构的基本自振周期按公式(5)计算:

$$T=0.03H_s \dots\dots\dots (5)$$

b) 钢筋混凝土结构的基本自振周期按公式(6)计算:

$$T=0.075H_s^{3/4} \dots\dots\dots (6)$$

c) 钢筋混凝土抗震墙结构的基本自振周期按公式(7)计算:

$$T=0.05H_s^{3/4} \dots\dots\dots (7)$$

上列式中:

$H_s$ ——建(构)筑物的总高度, m。

6.1.3 竖向地震作用应按公式(8)计算:

$$F_{Vi}=0.5F_{Hi} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$F_{Vi}$ ——第  $i$  层仪器的竖向地震作用, N。

## 6.2 抗倾覆验算

6.2.1 水平地震作用产生的倾覆力矩应按公式(9)计算(计算简图见图2):

$$M_{Ei} = \sum_{i=1}^n F_{Hi}(H_i - h_i) \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$F_{Hi}$ ——第  $i$  层仪器重心距地面的高度, m;

$H_i$ ——第  $i$  层仪器重心距地面的高度, m;

$h_i$ ——第  $i$  层仪器底面距地面高度, m;

$M_{Ei}$ ——第  $i$  层仪器的水平地震作用产生的倾覆力矩, N·m。

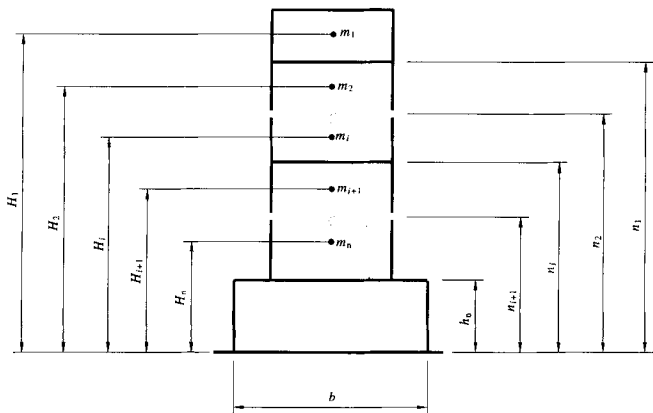


图2 叠放仪器计算示意

6.2.2 仪器的抗倾覆力矩，应按公式（10）计算。

$$M_{wi} = \sum_{i=1}^n (m_i g - F_{vi}) L_i \quad (10)$$

式中：

$M_{wi}$ ——第  $i$  层仪器产生的抗倾覆力矩， $N \cdot m$ ；

$L_i$ ——质量中心在水平面上的投影点至底面边缘的最小距离， $m$ 。

6.2.3 仪器在地震作用下的倾覆验算，应符合公式（11）要求：

$$\frac{M_{Ei}}{M_{wi}} \leq 1 \quad (11)$$

式中：

$M_{Ei}$ ——第  $i$  层仪器的水平地震作用产生的倾覆力矩， $N \cdot m$ ；

$M_{wi}$ ——第  $i$  层仪器产生的抗倾覆力矩， $N \cdot m$ 。

当不满足公式（11）要求时，应对仪器采取抗倾覆措施。

### 6.3 抗滑移验算

6.3.1 仪器与支撑接触面之间的摩擦力应按公式（12）计算。

$$F_{fi} = \sum_{i=1}^n (m_i g - F_{vi}) f \quad (12)$$

式中：

$F_{fi}$ ——第  $i$  层仪器接触面之间的摩擦力， $N$ ；

$f$ ——接触面之间的静摩擦系数，见附录 A。

6.3.2 仪器在地震作用下的抗滑移验算，应符合公式（13）要求。



$$\frac{\sum_{i=1}^n F_{Hi}}{F_{ti}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

$F_{ti}$ ——第  $i$  层仪器接触面之间的摩擦力, N;

$F_{Hi}$ ——第  $i$  层仪器重心距地面的高度, m。

当不满足公式 (13) 要求时, 应对仪器采取抗滑移措施。

#### 6.4 地脚螺栓验算

6.4.1 仪器采用地脚螺栓固定时, 在地震作用下产生的有效倾覆力矩和地脚螺栓的拉力、剪力应按下列规定计算:

a) 地震作用产生的有效倾覆力矩按公式 (14) 计算:

$$M_{Ri} = M_{Ei} - M_{Wi} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$M_{Ri}$ ——地震作用产生的有效倾覆力矩, N·m。

b) 地脚螺栓所受的拉力、剪力按公式 (15)、公式 (16) 计算。

$$P = \frac{2M_{Ri}}{nL_D} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$V = \frac{F_{Hi}}{n} \quad \dots\dots\dots (16)$$

上列式中:

$P$ ——地脚螺栓所受的拉力, N;

$V$ ——地脚螺栓所受的剪力, N;

$L_D$ ——沿倾覆方向的螺栓的中心距, m;

$n$ ——螺栓数量。

6.4.2 地脚螺栓的拉应力、剪应力应按公式 (17)、公式 (18) 计算。

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\tau = \frac{V}{A} \quad \dots\dots\dots (18)$$

上列式中:

$A$ ——地脚螺栓的截面积, m<sup>2</sup>;

$\sigma$ ——地脚螺栓所受的拉应力, Pa;

$\tau$ ——地脚螺栓所受的剪应力, Pa。

6.4.3 地脚螺栓的验算, 应符合公式 (19)~公式 (22) 要求:

a) 膨胀螺栓按公式 (19)、公式 (20) 计算:

$$P \leq [P] \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$V \leq [V] \quad \dots\dots\dots (20)$$

上列式中:

$[P]$ ——膨胀螺栓的许用拉力, N, 见附录 B;

[V]——膨胀螺栓的许用剪力, N, 见附录 B。

b) 普通地脚螺栓按公式 (21)、公式 (22) 计算。

$$\sigma \leq [\sigma] \dots\dots\dots (21)$$

$$\tau \leq [\tau] \dots\dots\dots (22)$$

上列式中:

[ $\sigma$ ]——地脚螺栓的许用拉应力, Pa, 对低碳钢取  $188 \times 10^6$ ;

[ $\tau$ ]——地脚螺栓的许用剪应力, Pa, 对低碳钢取  $131 \times 10^6$ 。

## 7 加固与减震措施

### 7.1 加固措施

7.1.1 对抗倾覆验算不符合要求的精密仪器应采取固定措施, 一般情况下可采用螺栓或粘结剂固定; 对特殊精密仪器 (如重要的玻璃仪器等) 的抗震加固措施, 可根据具体情况确定。

7.1.2 仪器采用粘结剂固定时, 粘结面的拉力、剪力验算可按照本标准 6.4 条进行; 粘结面的许用应力取其极限强度的 50%, 其面积不应小于  $400 \text{ mm}^2$ 。

7.1.3 对只产生滑移的仪器, 其支撑面可采用摩擦系数较大的材料 (如铺设橡胶垫板或在仪器底部粘贴橡胶垫块), 也可采取限位措施 (如防侧滑挡板等)。

7.1.4 对叠放或单独浮放的精密仪器, 经验算不符合要求时, 可参考附录 C 图 C.1~图 C.6 及图 C.8 的方案采取固定或防滑移措施。

7.1.5 带滚轮的精密仪器, 应设有防止移动的定位锁住机构, 可参考附录 C 图 C.7 进行固定。

7.1.6 精密仪器的工作台, 经验算不符合抗震要求时, 可参考附录 C 图 C.9~图 C.11 采取固定措施。

7.1.7 精密仪器的固定件应受力合理, 坚固可靠, 且应与精密仪器的外观相适应; 材质宜选用不锈钢、铝合金、硬质铜或经表面装饰处理的普通钢材等。

7.1.8 抗震验算与采取加固措施示例参见附录 D。

### 7.2 减震措施

7.2.1 对因震动易丧失使用功能的贵重精密仪器, 应采取减震措施。

7.2.2 减震措施可分为安装具有隔离地震能量的隔震器或消耗地震能量的减震器。

注: 常用的隔震器有橡胶隔震支座等; 常用的减震器有各类阻尼器、阻尼垫和减震平台等; 另外还有具有减震隔震功能的工作台等。

7.2.3 采用减震措施时, 应根据仪器的特点、使用要求和安装环境等因素, 选择隔震或减震装置。

7.2.4 采取隔震、减震措施后, 减震率不应小于 40%, 减震装置或其他减震结构的水平加速度减震系数应符合表 3 要求。

表 3 水平加速度减震系数  $\eta_a$ 。

抗震设防烈度	7	8	9
$\eta_a$	$\leq 0.5$	$\leq 0.25$	$\leq 0.125$

注: 水平加速度减震系数是减震装置顶部和底部水平加速度之比。

7.2.5 隔震、减震装置与仪器的连接部件应具有良好的耐久性和易维护性, 其使用寿命不宜低于仪器的使用周期。

7.2.6 长期作用在减震装置上的静荷载应小于减震装置的允许静荷载值。

- 7.2.7 应定期对减震装置进行检查与维护,对减震装置的易腐部件应定期进行防腐处理。
- 7.2.8 台式精密仪器的减震措施可参考附录 C 图 C.12~图 C.14。
- 7.2.9 落地式精密仪器的减震措施可参考附录 C 图 C.15~图 C.18。

附录 A  
(资料性附录)  
材料的摩擦系数

表 A.1 给出了材料的静摩擦系数。

表 A.1 材料的摩擦系数

材料名称	静摩擦系数 $f$	
	无润滑剂	有润滑剂
钢—钢	0.15	0.1~0.12
钢—铸铁	0.3	—
钢—青铜	0.15	0.1~0.15
钢—橡胶	0.9	—
钢—塑料	—	0.09~0.1
钢—软木	—	0.09~0.1
钢—混凝土	0.3	—
软钢—铝	0.2	—
软钢—玻璃	0.2	—
软钢—榆木	0.6	0.12
硬钢—电木	0.6	0.12
硬钢—玻璃	0.6	0.12
硬钢—硬质橡胶	0.6	0.12
铸铁—铸铁	—	0.18
铸铁—橡皮	—	0.18
铸铁—榆、杨木	0.65	—
玻璃—玻璃	0.6	—
玻璃—硬质橡胶	0.6	—
尼龙—尼龙	0.2	—
砖—木	0.6	—
木材—木材	0.4~0.6	0.1
软橡胶—抛光花岗石	1.3~1.5 <sup>a</sup>	—
<sup>a</sup> 为色登试验机上测出的数据。		

## 附录 B

(资料性附录)

## 抗震验算用碳钢膨胀螺栓许用拉力、剪力

表 B.1 给出了抗震验算用碳钢膨胀螺栓许用拉力、许用剪力。

表 B.1 抗震验算用碳钢膨胀螺栓许用拉力、剪力

序号	规格 mm	埋 深 mm	拉 力 kN	剪 力 kN
1	M6×55	35	3.00	0.98
2	M8×70	50	6.63	1.84
3	M10×85	55	11.53	2.88
4	M12×105	65	13.00	4.23
5	M16×140	90	15.33	7.98
注：表中拉力和剪力为螺栓埋置于强度等级为 C15 的混凝土中时的许用力。				

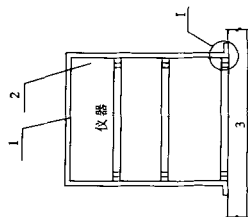
附录 C  
(资料性附录)  
加固、减震方案参考图

图 C.1~图 C.18 给出了石油化工精密仪器加固、减震方案:

- 图 C.1 叠放仪器抗震加固方案 (一);
- 图 C.2 叠放仪器抗震加固方案 (二);
- 图 C.3 叠放仪器抗震加固方案 (三);
- 图 C.4 落地式仪器抗震加固方案 (一);
- 图 C.5 落地式仪器抗震加固方案 (二);
- 图 C.6 落地式仪器抗震加固方案 (三);
- 图 C.7 落地式仪器抗震加固方案 (四);
- 图 C.8 仪器防滑移加固方案;
- 图 C.9 木质试验台加固方案;
- 图 C.10 钢结构试验台加固方案;
- 图 C.11 1.4m 钢木结构试验台及仪器固定方案;
- 图 C.12 3JT11-7-1 三自由度仪器减震平台;
- 图 C.13 精密仪器隔震减震基础示意;
- 图 C.14 移动式精密仪器隔震减震工作台示意;
- 图 C.15 线性减震地板结构 (一);
- 图 C.16 线性减震地板结构 (二);
- 图 C.17 非线性减震地板机构 (一);
- 图 C.18 非线性减震地板机构 (二)。

I

方案一 搭扣式固定

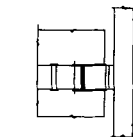
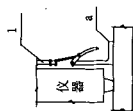


注 1: 紧面带可用皮革、金属带等, 共需两条紧面带。

注 2: 所用的金属联接采用不锈钢材料。

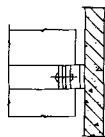
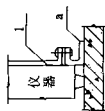
注 3: 本加固方案适用于台面上的叠放仪器固定。

a 粘结时可按粘结剂的技术要求进行, 要保证粘结牢固, 加固后的紧面带必须绷紧。



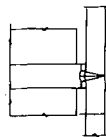
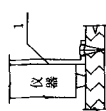
立体图: 搭扣式固定

方案二 瓷砖、水磨石面固定



立体图: 瓷砖、水磨石面固定

方案三 木质台面固定



立体图: 木质台面固定

1—紧面带; 2—仪器; 3—仪器台面

图 C.1 叠放仪器抗震加固方案图 (一)

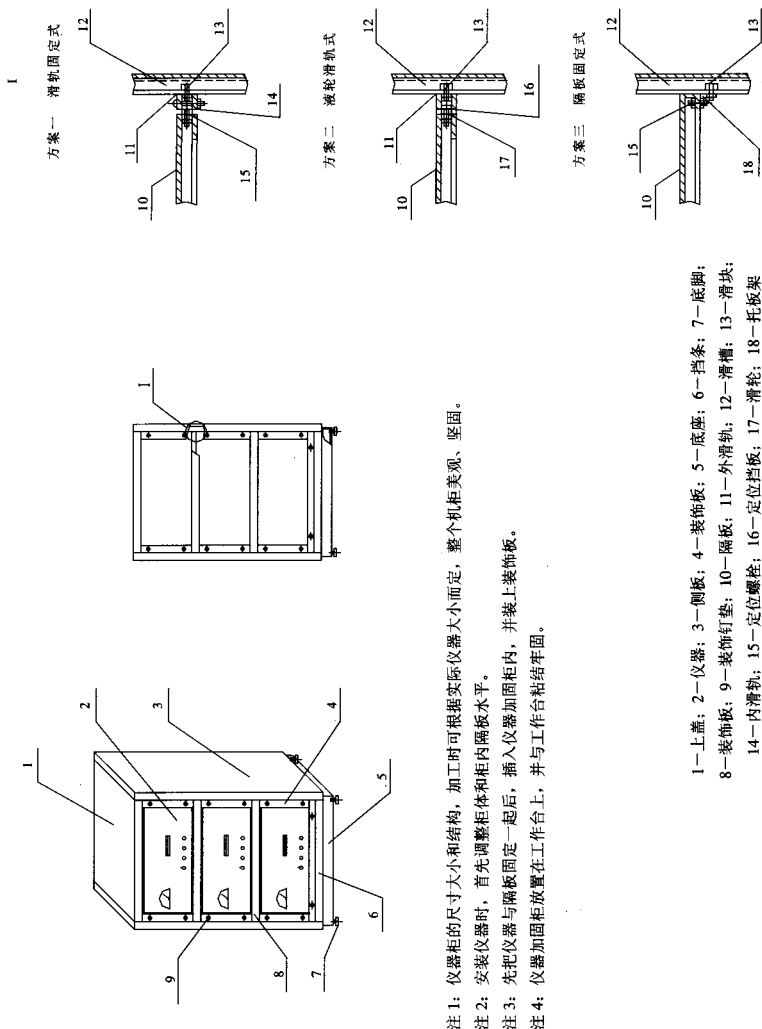
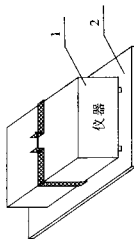


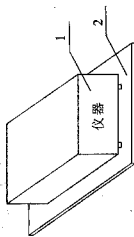
图 C.2 叠放仪器抗震加固方案图 (二)



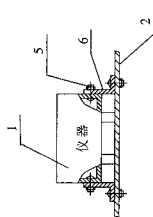
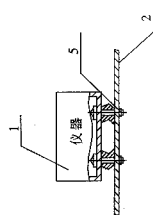
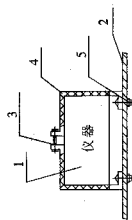
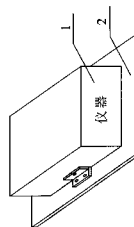
仪器与隔板固定方案一



仪器与隔板固定方案二



仪器与隔板固定方案三



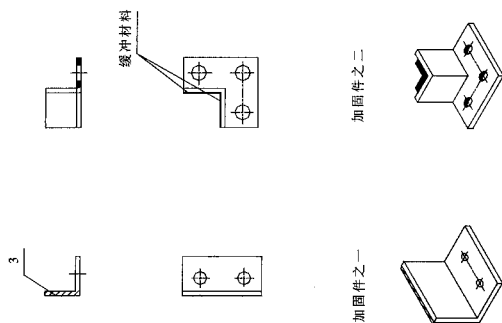
注 1: 仪器与隔板固定, 并考虑仪器正面在装入柜内后, 与柜面齐。

注 2: 较精密仪器不宜采用方案三的方法与隔板固定。

注 3: 固定螺栓规格根据实际情况确定。

1—仪器; 2—隔板; 3—紧固螺栓; 4—紧面带; 5—固定螺栓; 6—卡板

图 C.3 叠放仪器抗震加固方案图 (三)



加固件之二

加固件之一

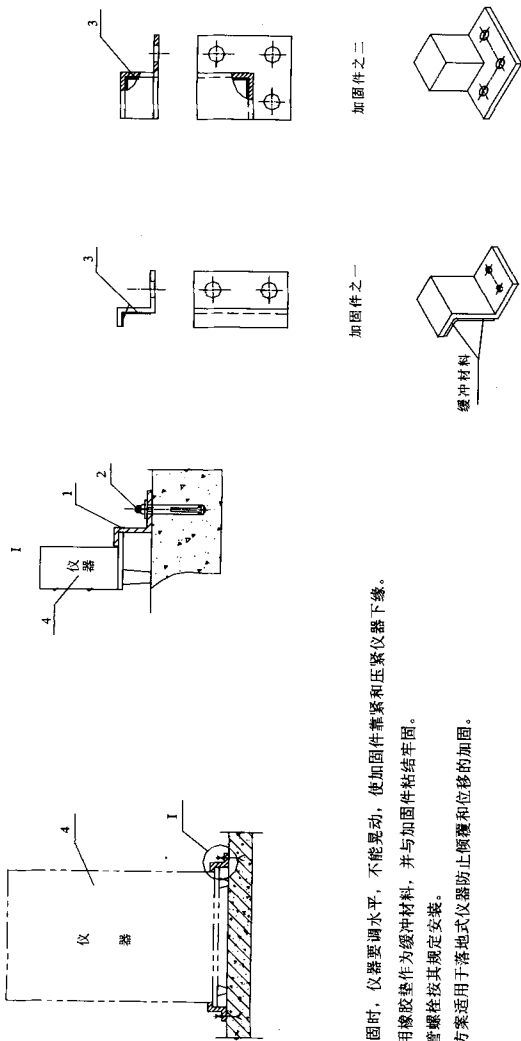
注 1: 加固时, 加固体靠紧仪器。  
 注 2: 采用橡胶垫作为缓冲材料, 并与加固件粘结牢固。

注 3: 胀管螺栓按其规定安装。

注 4: 本方案适用于落地式仪器防止滑移加固。

1—加固件; 2—胀管螺栓; 3—缓冲垫; 4—仪器

图 C.4 落地仪器抗震加固方案图 (一)



注 1: 加固时, 仪器要调水平, 不能晃动, 使加固件靠紧和压紧仪器下缘。

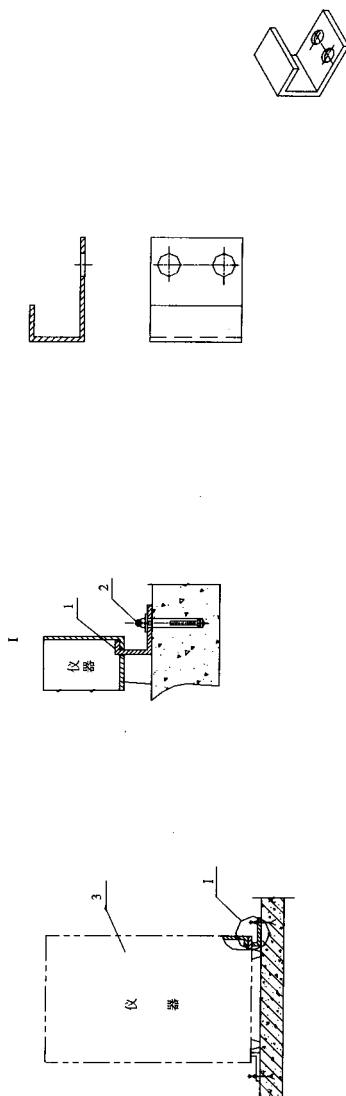
注 2: 采用橡胶垫作为缓冲材料, 并与加固件粘结牢固。

注 3: 胀管螺栓按其规定安装。

注 4: 本方案适用于落地式仪器防止倾覆和位移的加固。

1—加固件; 2—胀管螺栓; 3—缓冲垫; 4—仪器

图 C.5 落地仪器抗震加固加固方案图 (二)



注 1: 在加固前, 将仪器调水平, 并使其不晃动。

注 2: 固定时, 加固件与仪器底边扣紧、压紧。

注 3: 本方案适用于落地式仪器防止倾覆和位移的加固。

1—加固件; 2—胀管螺栓; 3—仪器

图 C.6 落地仪器抗震加固加固方案图 (三)

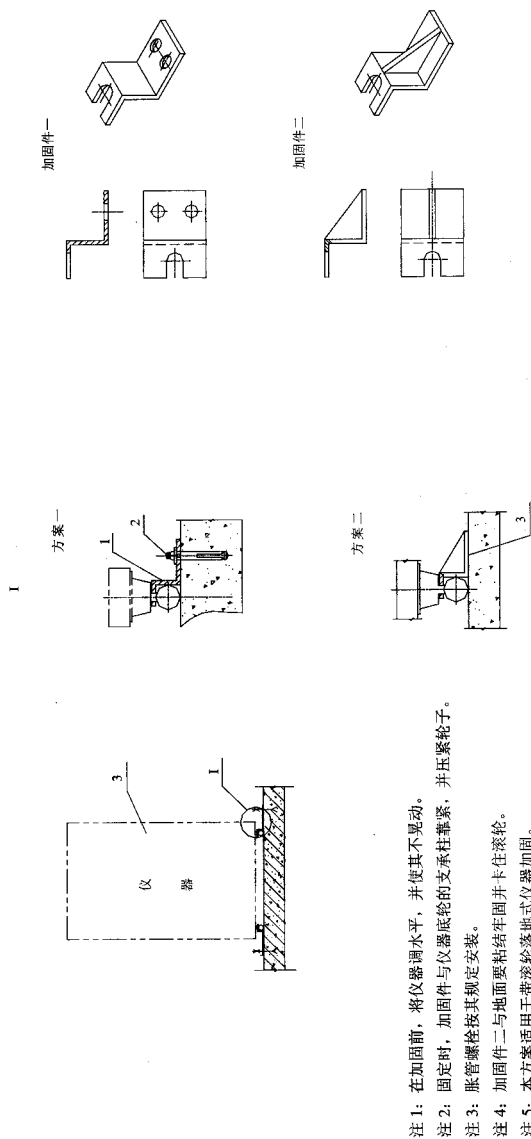
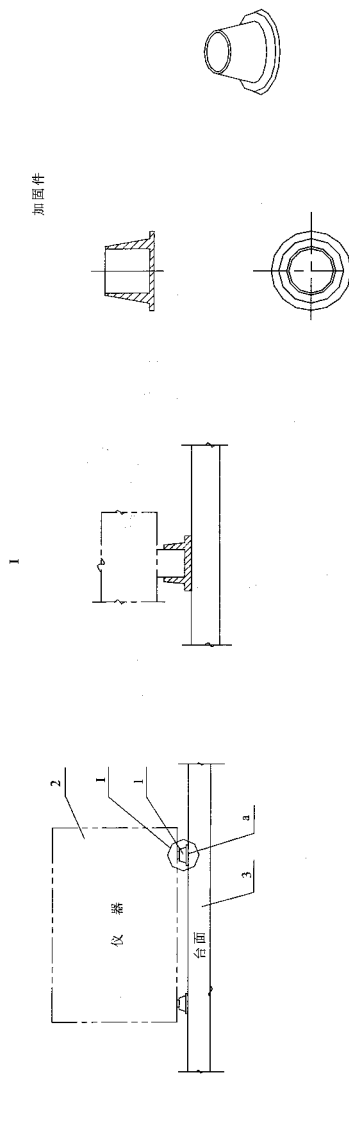


图 C.7 落地仪器抗震加固加固方案图 (四)

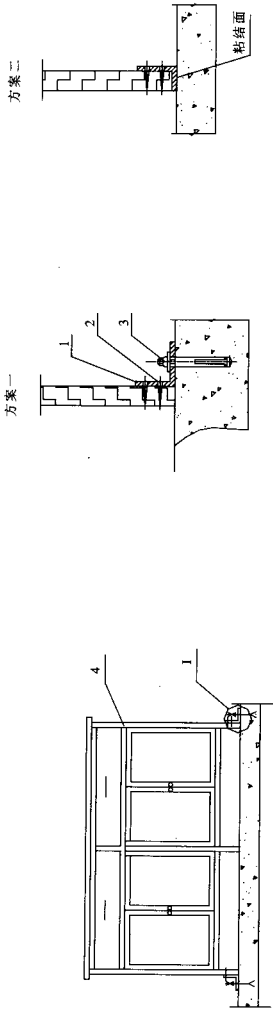


- 注 1: 加固件的材料采用不锈钢, 也可用硬聚氯乙烯、铝和铜。  
 注 2: 仪器的内脚都要准确座入加固件孔内, 并且仪器不能晃动, 保持水平。  
 注 3: 本方案适用于台面或落地式并重心较低的仪器, 以防止位移。  
 a 安装时, 加固件必须与台面粘结牢固。

1—加固件; 2—仪器; 3—台面

图 C.8 仪器防滑移加固方案图

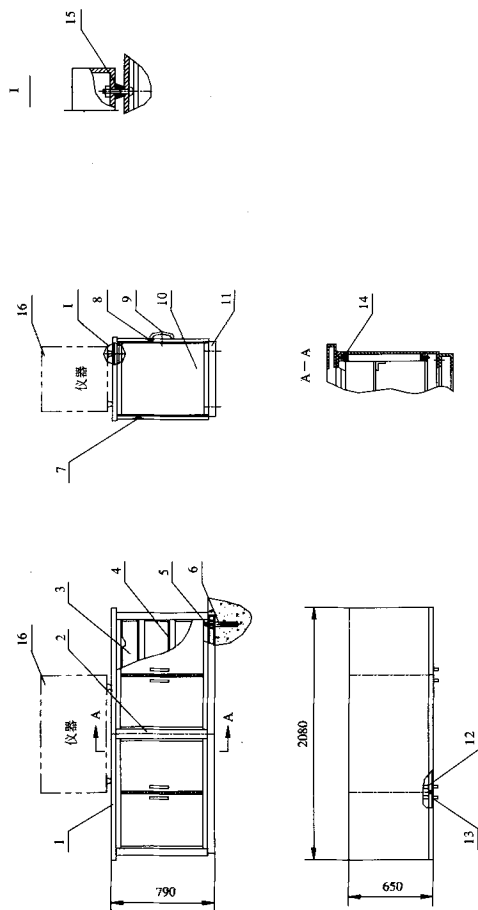
I



注 1：加固前，要保证工作台本身的牢固、平稳。  
注 2：加固时要紧靠工作台的四腿，安装时严防桌腿挤裂。

1—加固件；2—胀管螺栓；3—缓冲垫；4—台面

图 C.9 木质试验台加固方案图



注 1: 使用时, 用螺栓将仪器固定在试验台台面上, 试验台底座用胀管

螺栓固定在地基上。

注 2: 试验台的长度、安装尺寸和结构, 加工时可根据实际需要确定。

1—柜面; 2—柜架; 3—抽屉; 4—层板; 5—胀管螺栓; 6—套筒; 7—后面板; 8—螺母; 9—拉手;  
10—侧板; 11—底座; 12—碰珠; 13—柜门; 14—转轴; 15—螺钉; 16—仪器

图 C.10 钢结构试验台方案



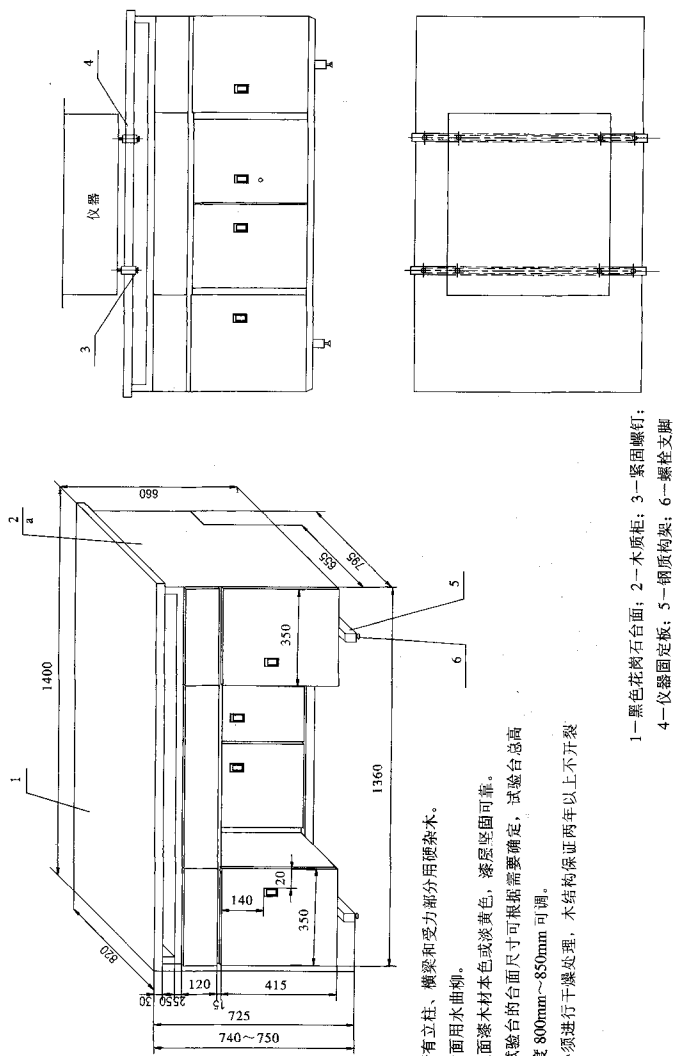
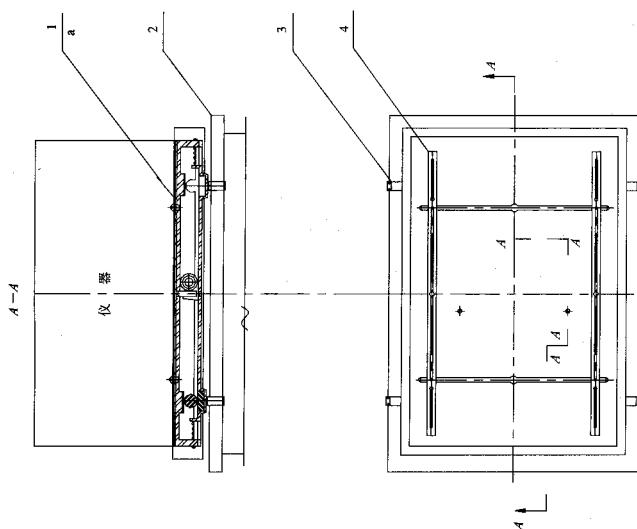


图 G.11 1.4m 钢结构试验台及仪器固定方案



1—三自由度仪器减震平台；2—桌面；  
3—连接卡板；4—仪器固定板

图 C.12 3JT11-7-1 三自由度仪器减震平台示意

注 1：本仪器减震平台的自振频率很低，远远低于一般地震的卓越频率，能有效地减弱地震力对仪器的冲击，在减震平台上放置减振橡胶垫，也可起减振隔离作用，更换与试验台上宽度和厚度相适应的连接卡板，仪器减震平台即可方便地安装在现有试验台上。

注 2：型号规格和性能参数

- 型号，3JT11-7-1；
- 外形尺寸， $L \times B \times H=1080 \text{ mm} \times 680 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$ ；
- 自振频率 X 向，0.35 Hz；Y 向，0.40 Hz；
- 减振系数与减震效率，当谐振频率为 12 Hz 荷载 1600 N，减振系数为 0.036，减震效率为 96%，荷载 3200 N，减振系数为 0.018，减震效率为 98%；
- 最大振动位移，在水平  $360^\circ$  范围内任意角度的最大位移为  $\pm 40 \text{ mm}$ ；
- 台面最大承载能力 1000 kg；
- 自重 75 kg。

a 本仪器减震平台安装时必须保证减震台台面的水平度，仪器减震平台可在试验台上水平方向  $360^\circ$  范围内任意调整固定，在安装或维修仪器时，减震台可用锁紧机构锁紧，松开锁紧机构，减震平台进入减震状态，减震平台设计有限位机构，防止振动超位和仪器倾倒。

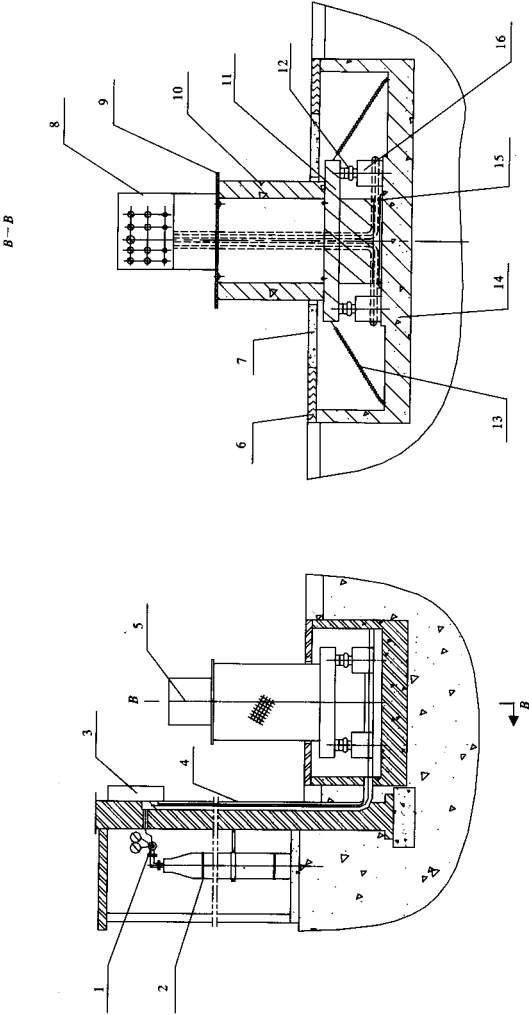
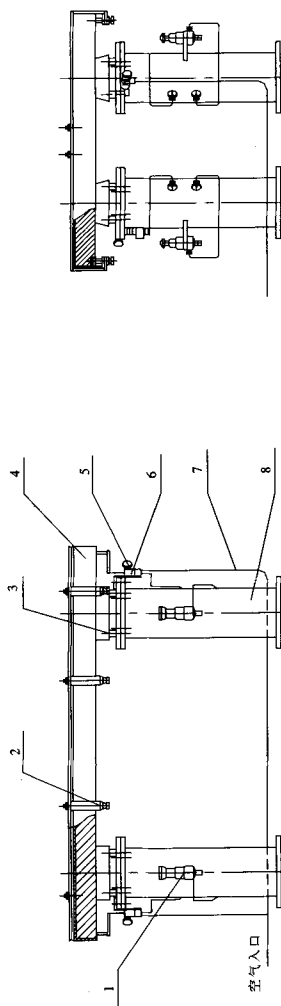


图 C.13 精密仪器隔震减震基础示意



1—背压阀；2—锁紧螺钉；3—限位器；4—台面；5—压力表；6—调平；  
7—空气管线；8—气缸支腿；9—仪器固定板；

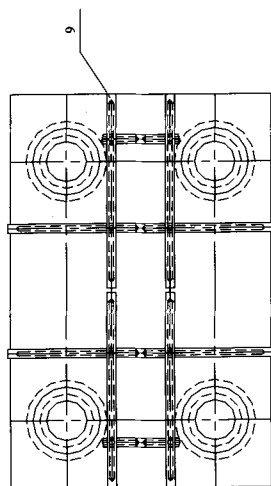
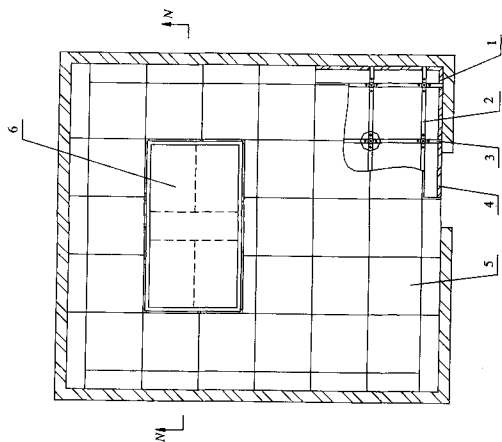
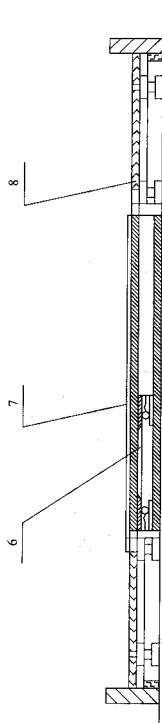


图 C.14 移动式精密仪器隔震减震工作台示意



1—支承梁；2—支承梁；3—支承梁；4—支撑板；5—地板；6—减震台

图 0.15 线性减震地板结构 (一)



N-N 剖视

注 1: 减震台设计有锁紧限位机构, 安装和调试仪器时, 推上锁紧机构, 减震台进入隔振状态, 放松锁紧机构减震台进入隔振和减震状态。

注 2: 减震台的自振周期  $T$  为 3.5s, 频率  $f$  为 0.29Hz。

\* 减震台 6 与防静电地板上表面均应安装在同一水平面内, 他们之间由间隙分开。

6—减震台; 7—隔震橡胶板; 8—防静电活动地板

图 C. 16 线性减震地板结构 (二)

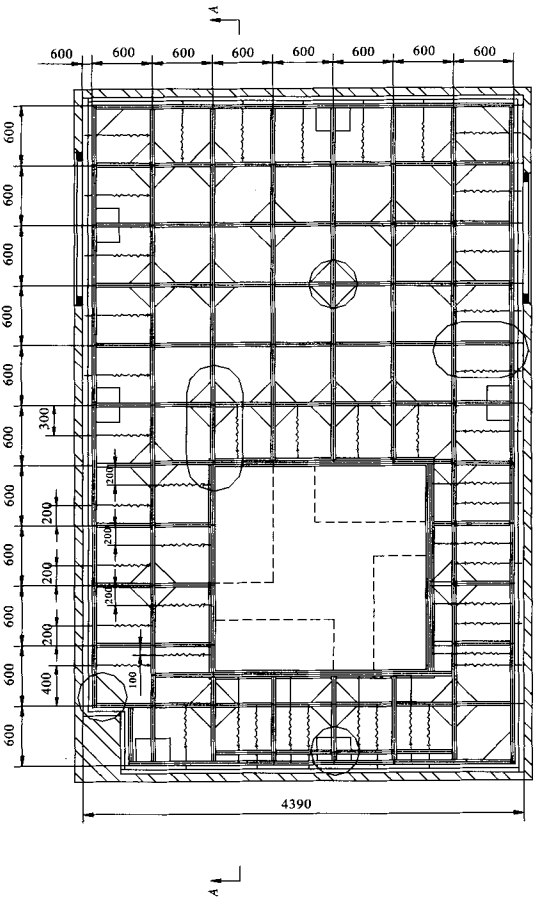
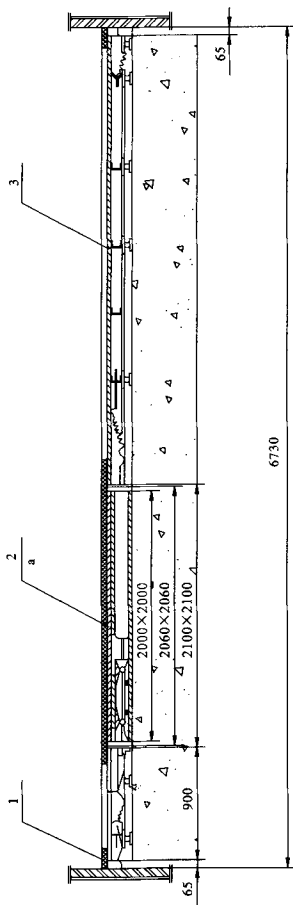


图 C.17 非线性减震地板机构（一）



注 1: 减震台总成周围是缓冲架, 用弹簧与活动地板钢架拉紧, 活动地板钢架又同弹簧与地基(环形槽钢圈)拉紧, 当遇较强地震减震台总成超位时, 缓冲架和地板四周弹簧对地震力进行进一步衰减。

注 2: 减震台总成设计有锁紧机构, 安装和调试仪器时, 可推上锁紧机构, 减震台总成进入隔振状态, 放松锁紧机构则进入隔振和减震状态。

注 3: 减震台总面的自振周期  $T$  为 2.95s, 频率  $f$  为 0.34Hz。

a 三自由度减震台总成与防静电活动地板上表面均应安装在同一水平面内, 他们之间由间隔分开。

1—减震橡胶; 2—三自由度减震台总成; 3—防静电活动地板

图 C.18 非线性减震地板机构 (二)



附录 D  
(资料性附录)  
抗震验算示例

示例 1 给出了地震设防烈度为 8 度区域叠放工作台上精密仪器抗震验算示例；示例 2 给出了地震设防烈度为 8 度地区独产放在建筑物楼板上精密仪器抗震验算示例。

示例 1:

GC-5A 气相色谱仪的四台控制器叠放在工作台上(见图 D.1), 工作台放置在地面上, 第一台的重量为 20 kg, 重心距地面的高度为 1.6 m; 第二台的重量为 20 kg, 重心距地面的高度为 1.4 m; 第三台的重量为 30 kg, 重心距地面的高度为 1.2 m; 第四台的重量为 30 kg, 重心距地面的高度为 1.0 m; 台子的重量为 50 kg, 重心距地面的高度为 0.8 m。四台控制器的外形尺寸相同, 即长×宽×高为 0.47 m×0.45 m×0.20 m; 台子的外形尺寸长×宽×高为 0.96 m×0.70 m×0.90 m。第一台与第二台之间为钢与钢接触, 台子与地面是钢与混凝土接触, 其余均为钢与橡胶接触。地震设防烈度为 8 度, 设计基本地震加速度为 0.30 g。

#### 一、抗震验算示意

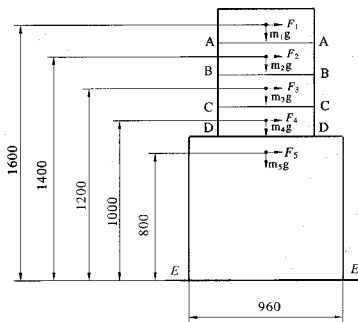


图 D.1 GC-5A 气相色谱仪抗震验算示意

#### 二、水平地震作用计算

$$F_{Hi} = \sigma m_i g = a_{\max} K_d m_i g \quad (i=1,2,3,4,5)$$

已知:  $a_{\max}=0.24$ ;  $K_d=1.25$ ;  $g=9.81\text{ m/s}^2$ ;  $m_1=m_2=20\text{ kg}$ ;  $m_3=m_4=30\text{ kg}$ ;  $m_5=20\text{ kg}$

所以:

$$F_{H1}=F_{H2}=0.24 \times 1.25 \times 20 \times 9.81=58.86 \text{ (N)}$$

$$F_{H3}=F_{H4}=0.24 \times 1.25 \times 30 \times 9.81=88.29 \text{ (N)}$$

$$F_{H5}=0.24 \times 1.25 \times 50 \times 9.81=147.15 \text{ (N)}$$

#### 三、A—A 面验算

##### 1. 倾覆验算

##### (1) 倾覆力矩

$$M_{E1}=F_{H1}H_1=58.86 \times 0.1=5.886 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

## (2) 抗倾覆力矩

$$M_{W1}=(m_1g-0.5F_{H1})L=(20\times 9.81-0.5\times 58.86)\times 0.225=37.52\text{ (N}\cdot\text{m)}$$

## (3) 判断

$$\frac{M_{E1}}{M_{W1}}=\frac{5.886}{37.52}=0.157<1 \quad \text{不倾覆}$$

## 2. 滑移验算

## (1) 摩擦力

$$F_{f1}=(m_1g-0.5F_{H1})f_1$$

查附录 B 得  $f_1=0.15$ , 故:

$$F_{f1}=(20\times 9.81-0.5\times 58.86)\times 0.15=25.02\text{ (N)}$$

## (2) 判断

$$\frac{F_{H1}}{F_{f1}}=\frac{58.86}{25.02}=2.35>1 \quad \text{滑移}$$

## 四、对 B—B 面验算

## 1. 倾覆验算

## (1) 倾覆力矩

$$M_{E2}=F_{H1}(H_1+h)+F_{H2}H_2=58.86\times (0.1+0.2)+58.86\times 0.1=23.544\text{ (N)}$$

## (2) 抗倾覆力矩

$$M_{W2}=[(m_1+m_2)g-0.5(F_{H1}+F_{H2})]L_2=(20\times 2\times 9.81-0.5\times 58.86\times 2)\times 0.225=75.04\text{ (N}\cdot\text{m)}$$

## (3) 判断

$$\frac{M_{E2}}{M_{W2}}=\frac{23.544}{75.05}=0.31<1 \quad \text{不倾覆}$$

## 2. 滑移验算

## (1) 摩擦力

$$F_{f2}=[(m_1+m_2)g-0.5(F_{H1}+F_{H2})]f_2$$

查附录 A 得  $f_2=f_3=f_4=0.9$  故:

$$F_{f2}=(20\times 2\times 9.81-0.5\times 58.86\times 2)\times 0.9=300.17\text{ (N)}$$

## (2) 判断

$$\frac{F_{H1}+F_{H2}}{F_{f2}}=\frac{2\times 58.86}{300.17}=0.392<1 \quad \text{不滑移}$$

## 五、对 C—C 面验算

## 1. 倾覆验算

## (1) 倾覆力矩

$$\begin{aligned}
 M_{E3} &= F_{H1}(H_1+2h) + F_{H2}(H_2+h) + F_{H3}H_3 \\
 &= 58.86 \times (0.1+0.4) + 58.86 \times (0.1+0.2) + 88.29 \times 0.1 \\
 &= 55.92 \text{ (N} \cdot \text{m)}
 \end{aligned}$$

(2) 抗倾覆力矩

$$\begin{aligned}
 M_{W3} &= [(m_1+m_2+m_3)g - 0.5(F_{H1}+F_{H2}+F_{H3})]L_3 \\
 &= (70 \times 9.81 - 0.5 \times 206.01) \times 0.225 \\
 &= 131.33 \text{ (N} \cdot \text{m)}
 \end{aligned}$$

(3) 判断

$$\frac{M_{E3}}{M_{W3}} = \frac{55.92}{131.33} = 0.425 < 1 \quad \text{不倾覆}$$

2. 滑移验算

(1) 摩擦力

$$\begin{aligned}
 F_{I3} &= [(m_1+m_2+m_3)g - 0.5(F_{H1}+F_{H2}+F_{H3})]f_3 \\
 &= (70 \times 9.81 - 0.5 \times 206.01) \times 0.9 = 525.32 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

(2) 判断

$$\frac{F_{H1} + F_{H2} + F_{H3}}{F_{I3}} = \frac{206.01}{525.32} = 0.392 < 1 \quad \text{不滑移}$$

六、对 D—D 面验算

1. 倾覆验算

(1) 倾覆力矩

$$\begin{aligned}
 M_{E4} &= F_{H1}(H_1+3h) + F_{H2}(H_2+h) + F_{H3}(H_3+h) + F_{H4}H_4 \\
 &= 58.86 \times 0.7 + 58.86 \times 0.5 + 88.29 \times 0.3 + 88.29 \times 0.1 = 105.95 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

(2) 抗倾覆力矩

$$\begin{aligned}
 M_{W4} &= [(m_1+m_2+m_3+m_4)g - 0.5(F_{H1}+F_{H2}+F_{H3}+F_{H4})]L_4 \\
 &= (100 \times 9.81 - 0.5 \times 294.3) \times 0.225 \\
 &= 187.62 \text{ (N} \cdot \text{m)}
 \end{aligned}$$

(3) 判断

$$\frac{M_{E4}}{M_{W4}} = \frac{105.95}{187.62} = 0.566 < 1 \quad \text{不倾覆}$$

2. 滑移验算

(1) 摩擦力

$$\begin{aligned}
 F_{I4} &= [(m_1+m_2+m_3+m_4)g - 0.5(F_{H1}+F_{H2}+F_{H3}+F_{H4})]f_4 \\
 &= (100 \times 9.81 - 0.5 \times 294.3) \times 0.9 \\
 &= 750.46 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

(2) 判断

$$\frac{F_{H1} + F_{H2} + F_{H3} + F_{H4}}{F_{I4}} = \frac{294.3}{750.46} = 0.392 < 1 \quad \text{不滑移}$$

七、对 E—E 面验算

1. 倾覆验算

(1) 倾覆力矩

$$\begin{aligned}
 M_{E5} &= F_{H1} \times 1.6 + F_{H2} \times 1.4 + F_{H3} \times 1.2 + F_{H4} \times 1.0 + F_{H5} \times 0.8 \\
 &= 58.86 \times 1.6 + 58.86 \times 1.4 + 88.29 \times 1.2 + 88.29 \times 1.2 + 147.15 \times 0.8 \\
 &= 488.54 \text{ (N} \cdot \text{m)}
 \end{aligned}$$

(2) 抗倾覆力矩

$$\begin{aligned}
 F_{W5} &= [(m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5)g - 0.5(F_{H1} + F_{H2} + F_{H3} + F_{H4} + F_{H5})]L_5 \\
 &= (150 \times 9.81 - 0.5 \times 441.45) \times 0.35 \\
 &= 437.77 \text{ (N} \cdot \text{m)}
 \end{aligned}$$

(3) 判断

$$\frac{M_{E5}}{M_{W5}} = \frac{488.54}{437.77} = 1.12 > 1 \quad \text{倾覆}$$

## 2. 滑移验算

(1) 摩擦力

$$F_{f5} = [(m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5)g - 0.5(F_{H1} + F_{H2} + F_{H3} + F_{H4} + F_{H5})]f_5$$

查附录 A 得  $f_5 = 0.3$  则:

$$F_{f5} = (150 \times 9.81 - 0.5 \times 441.45) \times 0.3 = 375.23 \text{ (N)}$$

(2) 判断

$$\frac{F_{H5}}{F_{f5}} = \frac{F_{H1} + F_{H2} + F_{H3} + F_{H4} + F_{H5}}{F_{f5}} = \frac{441.45}{375.23} = 1.176 > 1 \quad \text{滑移}$$

验算结果: 第一台仪器产生滑移, 其余均符合抗震要求。

采取措施: 在第一台仪器与第二台仪器之间加橡胶垫, 增大摩擦力; 工作台底部应与地面采取固定措施。

示例 2:

RE-10 控制柜为钢制 (见图 D.2), 外形尺寸为  $l \times b \times h = 0.89 \text{ m} \times 0.55 \text{ m} \times 1.25 \text{ m}$ , 质量为 100 kg, 重心高度  $H = 0.7 \text{ m}$ , 独立放在四层钢筋混凝土抗震墙结构建筑物 (总高  $H_S = 14 \text{ m}$ ) 的三层楼板上, 楼板距地面的高度为 7 m。地震设防烈度为 8 度。

一、抗震验算简图

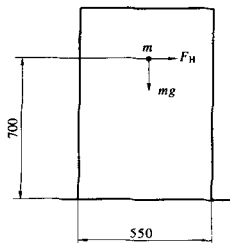


图 D.2 RE-10 控制柜抗震验算示意

## 二、抗震验算

### 1. 水平地震作用计算

已知: 建筑物总高  $H_S = 14 \text{ m}$ ; 仪器距地面高度  $H_a = 7 \text{ m}$ , 地面混凝土强度等级 C10。

建筑物的自振周期为:

$$T_s = 0.05H_s^{3/4} = 0.05 \times 14^{3/4} = 0.362 \text{ s}$$

建筑物顶部放大系数为:

$$\eta = 10/3$$

地震作用放大系数:

$$K_d = 1 + (\eta - 1) \frac{h_n}{H} = 1 + (10/3 - 1) \frac{7/14}{2.17} = 2.17$$

水平地震作用为:

$$F_{Hi} = a m_i g = a_{\max} K_d m_i g \quad (i=1)$$

因:

$$a_{\max} = 0.24; K_d = 2.17; g = 9.81 \text{ m/s}^2; m_i = 100 \text{ kg}$$

所以:

$$F_{H1} = 0.24 \times 2.17 \times 100 \times 9.81 = 510.9 \text{ (N)}$$

## 2. 倾覆力矩计算

$$M_{E1} = F_{H1} H = 510.9 \times 0.7 = 357.63 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

## 3. 抗倾覆力矩 (设计烈度为 8 度时考虑)

$$M_{W1} = M_{W1} = (mg - F_{V1})L = (mg - 0.5F_{H1})L = (100 \times 9.81 - 0.5 \times 510.9) \times 0.275 = 199.53 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

## 4. 判断

$$\frac{M_{E1}}{M_{W1}} = \frac{M_{E1}}{M_{W1}} = \frac{357.63}{199.53} = 1.79 > 1 \quad \text{倾覆}$$

## 三、滑移验算

### 1. 摩擦力

$$F_{f1} = [m(g - F_{V1})]f = (m(g - 0.5F_{H1}))f$$

查附录 A 得  $f=0.3$  则:

$$F_{f1} = (100 \times 9.81 - 0.5 \times 510.9) \times 0.3 = 217.67 \text{ (N)}$$

### 2. 判断

$$\frac{F_{H1}}{F_{f1}} = \frac{F_{H1}}{F_{f1}} = \frac{510.9}{217.67} = 2.343 > 1 \quad \text{滑移}$$

## 四、结果分析

根据验算结果看出, 此仪器既发生倾覆又产生滑移, 需采取加固措施。

## 五、加固设计验算

对示例题, 可采取两种方法进行加固, 即采取膨胀螺栓固定或采用粘结剂粘结。

### 1. 有效倾覆力矩

$$M_{R1} = M_{R1} = M_{E1} - M_{W1} = 357.63 - 199.53 = 158.1 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

### 2. 固定点的拉力 $P$ 、剪力 $V$ (固定 4 点)

#### (1) 采用膨胀螺栓

$$n=4, L_D=0.65\text{m}$$

拉力

$$P = \frac{2M_{Ri}}{nL_D} = \frac{2M_{R1}}{nL_D} = \frac{2 \times 158.1}{4 \times 0.65} = 121.62 \text{ (N)}$$

剪力

$$V = \frac{F_{Hi}}{n} = \frac{F_{H1}}{n} = \frac{510.9}{4} = 127.73 \text{ (N)}$$

查附录 B 可选规格为 M6×55 mm 的膨胀螺栓 4 个即可满足加固要求。

## (2) 采用粘结剂粘结

$$n=4; L_D=0.6\text{m}$$

拉力

$$P = \frac{2M_{Ri}}{nL_D} = \frac{2M_{R1}}{nL_D} = \frac{2 \times 158.1}{4 \times 0.6} = 131.75 \text{ (N)}$$

剪力

$$V = \frac{F_{Hi}}{n} = \frac{F_{H1}}{n} = \frac{510.9}{4} = 127.73 \text{ (N)}$$

粘结时, 粘结面的强度取决于混凝土楼板, 因为在混凝土、粘结剂和钢之间, 混凝土的强度最低。混凝土采用 C10, 即抗压强度 10 MPa。为偏于安全, 其抗拉强度取  $10 \times 4\% = 0.4 \text{ MPa}$ 。

$$[\sigma] = 0.4 \times 50\% = 0.2 \text{ MPa}$$

$$[\tau] = 10 \times 50\% = 5 \text{ MPa}$$

有效粘结面积按下式计算取大值:

$$A = \frac{P}{[\sigma]}$$

$$A = \frac{V}{[\tau]}$$

$$A = \frac{P}{[\sigma]} = \frac{131.75}{0.2} = 658.75 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$A = \frac{V}{[\tau]} = \frac{127.73}{5} = 25.55 \text{ (mm}^2\text{)}$$

因为:

$$A_{\max} = 658.75 \text{ (mm}^2\text{)}$$

所以:

$$\text{取 } A = 658 \text{ (mm}^2\text{)}$$

故每块粘结面积为  $658 \text{ mm}^2$  (或  $26 \text{ mm} \times 26 \text{ mm}$ ) 即可满足固定要求。

## 用 词 说 明

对本标准条文中要求执行严格程度用的助动词，说明如下：

（一）表示要求很严格、非这样做不可并具有法定责任时，用的助动词为“必须”（must）；

（二）表示要准确地符合标准而应严格遵守时，用的助动词为：

正面词采用“应”（shall）；

反面词采用“不应”或“不得”（shall not）。

（三）表示在几种可能性中推荐特别合适的一种，不提及也不排除其他可能性，或表示是首选的但未必是所要求的，或表示不赞成但也不禁止某种可能性时，用的助动词为：

正面词采用“宜”（should）；

反面词采用“不宜”（should not）。

（四）表示在标准的界限内所允许的行动步骤时，用的助动词为：

正面词采用“可”（may）；

反面词采用“不必”（need not）。

# 中华人民共和国石油化工有限公司行业标准

## 石油化工精密仪器抗震鉴定标准

SH/T 3044—2004

### 条 文 说 明

2004 北 京



目 次

4 总则.....39

5 抗震鉴定基本要求.....39

6 抗震验算.....40

6.1 地震作用计算.....40

6.4 地脚螺栓验算.....40

7 加固与减震措施.....41

7.1 加固措施.....41

7.2 减震措施.....41

## 4 总则

4.1 本标准抗震设防基本思想和原则与国家有关抗震标准基本一样，由于精密仪器不同于其他建筑物和工业设备，从抗震分析角度，可视为刚性体系。所以，本标准是以基本地震烈度（第二水准烈度）和预估罕遇地震（第三水准烈度）为抗震设防目标。

4.3~4.4 设防烈度或地震动参数应采用国家现行规定的该地区基本烈度或地震动参数，即中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局发布的《中国地震动参数区划图》的规定。

因为近几年来，石油化工建设工程项目按照《中华人民共和国防震减灾法》要求，陆续地开展了工程建设场地地震安全性评价工作，所以本标准规定可以采用地震安全性评价提供的地震动参数来进行抗震鉴定。

## 5 抗震鉴定基本要求

5.1 三年内将退役的仪器，因在继续使用期限内遭遇设防烈度地震的超越概率小于 1%，并从经济考虑，可不进行抗震鉴定。

5.2 地震中，精密仪器的破坏大多数是由于所在房屋的倒塌或由其他相邻附属设施的破坏而将设备砸坏。

5.3~5.4 对精密仪器的工作台或支撑结构提出了要求。外罩是仪器的保护物，对其抗震能力有影响，故应有相应的要求。

5.5 对于叠放式仪器，首先要鉴定最上面（即第一层）的仪器是否倾覆或滑移，然后把第一层和第二层视为一体进行抗震鉴定，依次类推直至放置仪器的工作台。

5.7 给出了抗震设防烈度和基本地震加速度取值的对应关系。

5.9 在地震烈度为 6 度区，精密仪器一般是安全的。但对他们的质量中心高度  $H$  和质心在水平面上的投影点至底面边缘的最小距离  $L$  有一定限制，即应符合公式（1）：

$$L \geq 0.05H \quad (1)$$

其推导过程如下：

水平地震作用产生的倾覆力矩为：

$$M_E = F_H H \quad (2)$$

$$F_H = \alpha mg \quad (3)$$

烈度为 6 度时，安装在地面上的精密仪器或工作台，其地震加速度值为 0.05g，对安装在楼层上的精密仪器或工作台，地震影响  $\alpha$  值还应乘以楼层放大系数  $K_d$ 。

将  $F_H$  和  $\alpha$  代入公式（2）则有：

$$M_E = 0.05mgH \quad (4)$$

自重产生的抗倾覆力矩按公式（5）~公式（7）计算：

$$M_W = mgF_V \quad (5)$$

$$F_V = 0.5F_H \quad (6)$$

$$F_H = 0.05mg \quad (7)$$

将  $F_H$  代入公式 (6) 则有公式 (8):

$$F_V = 0.5F_H = 0.5 \times 0.5mg = 0.25mg \dots\dots\dots (8)$$

将  $F_V$  代入公式 (5) 则有公式 (9):

$$M_w = (mg - F_V)L = (mg - 0.025mg)L = 0.975mgL \dots\dots\dots (9)$$

将  $M_E$  除以  $M_w$  则有公式 (10):

$$\frac{M_E}{M_w} = \frac{0.05mgH}{0.975mgL} \approx \frac{0.05H}{L} \dots\dots\dots (10)$$

在水平地震作用下精密仪器或工作台不倾覆的条件必须  $M_w > M_E$ , 即公式 (11):

$$\frac{M_E}{M_w} \leq 1 \dots\dots\dots (11)$$

于是:  $\frac{0.05H}{L} \leq 1$  或  $L \geq 0.05H$ , 从安全考虑, 最后取  $L \geq 0.1H$ 。

5.10 易燃、易爆、放射性物质或毒性为 I 级、II 级的化学危险物品的储存和使用, 安全部门都有相应的规定。在地震时, 上述物质溢散会发生次生灾害, 危及国家财产和人身安全, 必须有相应的安全应急措施。

6 抗震验算

6.1 地震作用计算

6.1.1 一般来讲, 精密仪器的质量较小, 重心较低, 为简化计算, 故假定为刚性结构, 其质量集中在重心处。

众所周知, 在计算地面及以下的刚性体的地震作用时, 应取基本地震加速度乘以设备的质量, 本条正文公式 (3) 给出的楼层放大系数  $K_d$  对安装在地面及以下的精密仪器取 1.25 是为了还原到基本地面加速度。对于楼层上精密仪器, 由于楼层为弹性体, 所以还应采用反应谱理论计算。

考虑到楼层的动力放大效应, 地震影响系数  $\alpha$  值为水平地震影响系数最大值  $\alpha_{max}$  的  $K_d$  倍,  $K_d$  值的大小应根据安放仪器的楼层距地面的高度  $h_n$  和楼层的总高度  $H$  以及建筑物的自振周期  $T$  进行计算。

6.1.2 正文公式 (5) 引自《石油化工钢制设备抗震设计规范》SH3048—1999, 公式 (6)、(7) 引自《建筑抗震设计规范》GB50011—2001。

6.1.3 由于竖向地震作用能减少抗倾覆力矩和摩擦力, 因此出于安全方面考虑, 8 度及 8 度以上时, 应考虑竖向地震作用的影响。

6.4 地脚螺栓验算

6.4.1~6.4.3 普通地脚螺栓的材料宜选用 Q235 钢, 其屈服极限  $\sigma_s$  取 240 MPa, 其许用拉应力按公式 (12) 计算:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s} \dots\dots\dots (12)$$

式中  $n_s$  为安全系数, 取值大于 1。对塑性材料  $n_s$  取 1.2~2.0; 对 Q235 钢,  $n_s$  取 1.6, 所以 Q235 钢的许用拉应力为:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s} = \frac{240}{1.6} = 150 \text{ (MPa)} = 150 \times 10^6 \text{ (Pa)} \dots\dots\dots (13)$$

许用剪应力为:

$$[\tau] = 0.7[\sigma] = 0.7 \times 150 \times 10^6 = 105 \times 10^6 \text{ (Pa)} \dots\dots\dots (14)$$

考虑到地震的瞬时冲击作用, 将 Q235 钢的许用应力放大 1.25 倍, 这样 Q235 钢普通地脚螺栓的许用应力的取值为:

$$[\sigma] = 188 \times 10^6 \text{ Pa} \dots\dots\dots (15)$$

$$[\tau] = 131 \times 10^6 \text{ Pa} \dots\dots\dots (16)$$

## 7 加固与减震措施

### 7.1 加固措施

7.1.1~7.1.2 粘结面强度与粘结剂和接触面材料强度有关, 必要时应通过试验确定粘结面的抗拉和抗剪切强度。

7.1.3 改变支撑面的材料以提高摩擦阻力, 防止出现滑移, 适用于重心不高而浮放在滑动平面上的台式仪器。对于有些精密仪器, 即使采用了摩擦系数较大的材料后, 仍可能出现滑移时, 应加设限位措施。

7.1.5 对于带滚轮需要经常移动的精密仪器, 要采取防止因移动而发生相互碰撞的措施。一般情况下可采用机械锁住机构, 对于不需要移动的精密仪器, 最好拆除滚轮或采取固定措施。

### 7.2 减震措施

7.2.1 石化行业中, 不少贵重的高精密仪器, 对限制环境振动的影响有不同的要求, 特别是一些高精度天平 and 真空系统的仪器, 例如超导核磁、真空吸附仪、热天平、电子天平、电子显微镜、色谱—质谱联用仪、拉曼光谱仪及激光仪器等, 其结构在遭受冲击作用时易损坏, 丧失功能。造成超导状态的破坏、真空度破坏、支撑刀口损失、游丝变形断裂、动圈轴尖变形损坏等。由于在正常工作时大多数精密仪器对震动影响十分敏感, 不能直接通过一般固定方式防止其在地震时的倾倒和滑移, 因此, 需要采取减震措施。

7.2.4 根据减震试验实测, 在设防烈度内的地震力作用下, 当减震率大于 40% 时, 减震效果比较明显。

在考虑精密仪器的减震时, 一般只考虑水平地震作用, 这是因为一般认为地震动在地表面引起的破坏力主要是横波的水平震动产生的。

此外精密仪器的支撑结构为保证其精度, 一般都有足够刚度, 他们的竖向刚度较侧向刚度大。因此, 承受竖向的能力较好, 而承受侧向力的能力较差。只有在对精密仪器验算其地震时的滑动或倾覆稳定性时, 才需考虑竖向地震作用的不利影响。

7.2.8~7.2.9 对台式和落地式精密仪器给出了减震措施参考图, 在落地式精密仪器的减震装置中, 附录 C 图 C15~图 C18 为组合减震装置。在台式精密仪器的减震装置中, 图 C12 为金属结构减震平台, 图 C14 为空气弹簧减震器组成。空气弹簧减震装置一般由三个或三个以上减震器组成, 以等边三角形或矩形对称布置。减震器出端由刚性大的支撑结构相连接。

台式减震装置安装后, 从地面到支撑结构面的总高度不宜大于 0.8m。