



T/CECS 1031—2022

---

中国工程建设标准化协会标准

**建筑机电抗震工程  
技术规程**

Technical specification for seismic engineering  
of mechanical and electrical equipment

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2018年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2018〕015号)的要求,编制组经深入调查研究,认真总结实践经验,参考国内外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本规程。

本规程共分为8章和2个附录,主要内容包括:总则,术语和符号,基本规定,材料与产品,设计,施工,验收,运行、维护与信息化建设等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利,本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑环境与节能专业委员会归口管理,由深圳市置华机电设备有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中,如有意见或建议,请反馈给深圳市置华机电设备有限公司(地址:广东省深圳市盐田区沙头角街道沙盐路3018号盐田现代产业服务中心22层A,邮编:518000,邮箱:bc@bc-seismic.com)。

**主编单位:** 深圳市置华机电设备有限公司

**参编单位:** 中国地震局工程力学研究所

中国建筑科学研究院有限公司

深圳防灾减灾技术研究院

中建三局集团有限公司

深圳市建筑工程质量安全监督总站

南京东南建筑机电抗震研究院有限公司

温州市建设工程质量监督站

浙江山力得新材料科技有限公司

申捷科技(苏州)有限公司

陕西建工安装集团有限公司

建研(北京)抗震工程结构设计事务所有限公司

宁波广泓科技有限公司

喜利得(上海)有限公司

**主要起草人:** 李平生 李学好 宋 波 陈 涛 孙 彬  
周晓夫 贺 军 戴君武 李吉超 宋廷苏  
杨鹏举 肖大森 曾 迪 丁 李 郑许冬  
黄卫苗 朱 彬 刘 琛 周敏乐 胡 静  
曾念翔 凌 云 王 野  
**主要审查人:** 任向东 徐玲献 高 鹏 刘连喜 秦永新  
白静国 叶 凌 张晓明

# 目 次

1	总 则 .....	( 1 )
2	术语和符号 .....	( 2 )
2.1	术语 .....	( 2 )
2.2	符号 .....	( 2 )
3	基本规定 .....	( 4 )
4	材料与产品 .....	( 5 )
4.1	一般规定 .....	( 5 )
4.2	材料 .....	( 5 )
4.3	产品 .....	( 6 )
4.4	检测要求 .....	( 6 )
5	设 计 .....	( 8 )
5.1	一般规定 .....	( 8 )
5.2	地震作用计算 .....	( 9 )
5.3	荷载验算 .....	( 10 )
5.4	设计范围 .....	( 11 )
5.5	设计原则 .....	( 12 )
5.6	产品选型 .....	( 13 )
6	施 工 .....	( 14 )
7	验 收 .....	( 16 )
7.1	一般规定 .....	( 16 )
7.2	进场验收 .....	( 16 )
7.3	主控项目 .....	( 17 )
7.4	一般项目 .....	( 17 )
8	运行、维护与信息化建设 .....	( 19 )

8.1 运行与维护 .....	( 19 )
8.2 信息化建设 .....	( 19 )
附录 A 检测方法 .....	( 20 )
附录 B 抗震支吊架产品性能说明书及验算报告 .....	( 31 )
用词说明 .....	( 33 )
引用标准名录 .....	( 34 )
附:条文说明 .....	( 35 )

## Contents

1	General provisions .....	( 1 )
2	Terms and symbols .....	( 2 )
2.1	Terms .....	( 2 )
2.2	Symbols .....	( 2 )
3	Basic requirements .....	( 4 )
4	Materials and products .....	( 5 )
4.1	General requirements .....	( 5 )
4.2	Materials .....	( 5 )
4.3	Products .....	( 6 )
4.4	Examination requirement .....	( 6 )
5	Design .....	( 8 )
5.1	General requirements .....	( 8 )
5.2	Calculation for earthquake action .....	( 9 )
5.3	Checking calculation .....	( 10 )
5.4	Scope of design .....	( 11 )
5.5	Scope of design .....	( 12 )
5.6	Selection of products .....	( 13 )
6	Construction .....	( 14 )
7	Acceptance .....	( 16 )
7.1	General requirements .....	( 16 )
7.2	Site acceptance .....	( 16 )
7.3	Dominant item .....	( 17 )
7.4	General item .....	( 17 )

8	Operation, maintenance and information construction .....	( 19 )
8.1	Operation and maintenance .....	( 19 )
8.2	Information construction .....	( 19 )
Appendix A	Detection method .....	( 20 )
Appendix B	Seismic support hanger product performance specification and checking report .....	( 31 )
	Explanation of wording .....	( 33 )
	List of quoted standards .....	( 34 )
	Addition; Explanation of provisions .....	( 35 )

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范建筑机电抗震工程的设计、施工、验收、运行维护，做到安全可靠、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于抗震设防烈度 6 度~9 度的建筑机电抗震工程的设计、施工、验收及运行维护。

**1.0.3** 建筑机电抗震工程的设计、施工、验收及运行维护除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。



## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

- 2.1.1 地震作用** earthquake action  
由地震动引起的设备动态作用,包括水平地震作用和竖向地震作用。
- 2.1.2 吊杆组件** hanger component  
由螺杆及螺杆加固件或 C 型槽钢与配件组成的组件。
- 2.1.3 抗震斜撑组件** seismic component  
由斜撑杆件和抗震连接构件组成的组件。
- 2.1.4 侧向抗震支吊架** lateral seismic support  
斜撑与管道横截面平行的抗震支吊架。
- 2.1.5 纵向抗震支吊架** longitudinal seismic support  
斜撑与管道横截面垂直的抗震支吊架。
- 2.1.6 抗震限位器** seismic limiter  
防止水泵、水箱、空调机组、电气箱柜发生位移而设置的抗震部件或组件。
- 2.1.7 预装式抗震斜撑组件** preframe seismic component  
无须现场切割或加工的抗震斜撑组件。

### 2.2 符 号

- 2.2.1 作用和作用效应:**
- $F$ ——沿最不利方向施加于机电工程设施重心处的水平地震作用标准值;
- $G$ ——非结构构件的重力;
- $S$ ——机电工程设施或构件内力组合的设计值;

$S_{GE}$ ——重力荷载代表值的效应；

$S_{Ehk}$ ——水平地震作用标准值的效应。

### 2.2.2 抗力和材料性能：

$R$ ——构件承载力设计值；

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值；

$\beta_s$ ——建筑机电工程设施或构件的楼面反应谱值。

### 2.2.3 几何参数：

$h$ ——计算楼层层高。

### 2.2.4 计算系数：

$\gamma$ ——非结构构件功能系数；

$\eta$ ——非结构构件类别系数；

$\zeta_1$ ——状态系数；

$\zeta_2$ ——位置系数；

$\alpha_{max}$ ——地震影响系数最大值；

$\gamma_{GE}$ ——重力荷载分项系数；

$\gamma_{Ehk}$ ——水平地震作用分项系数；

$\alpha_{Ek}$ ——水平地震作用综合系数。

### 3 基本规定

**3.0.1** 建筑机电抗震工程应包括管道、风道、电缆桥架等机电设施的抗震工程。

**3.0.2** 建筑机电抗震工程的措施应根据设防烈度、使用功能、建筑高度、结构类型、变形特征及设备位置与运行要求综合考虑。

**3.0.3** 建筑机电抗震工程的抗震设施应具有足够的刚度及强度，与结构应有可靠的连接或锚固。

**3.0.4** 建筑机电抗震工程的设计应符合所在建筑抗震设防要求，并应符合现行国家标准《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981的规定。

**3.0.5** 建筑机电抗震工程的锚固不应脱落，不应造成人员伤亡和危及主体结构安全的次生灾害。

**3.0.6** 抗震支吊架系统应以地震作用为主要荷载，抗震支吊架系统不应代替重力支吊架系统。

**3.0.7** 自振周期小于 0.1s 且重力不超过所在楼层重力 10% 的楼面设备与结构主体连接时，应由相关专业依据现行国家标准《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981 计算地震作用及采取相应抗震措施。

## 4 材料与产品

### 4.1 一般规定

4.1.1 用于建筑机电工程的抗震构件及部件应满足现行国家标准《建筑抗震支吊架通用技术条件》GB/T 37267 及本规程的要求。

4.1.2 管道、电缆、通风管和设备的洞口设置应减少对主要承重结构构件的削弱；洞口边缘应有补强措施。管道和设备与建筑结构的连接，应具有足够的变形能力。

4.1.3 建筑机电设备的基座或支架，以及相关连接件和锚固件应具有足够的刚度和强度，应能将设备承受的地震作用传递到建筑结构上。建筑结构中，用以固定建筑附属机电设备的预埋件、锚固件的部位，应采取加强措施，应能承受附属机电设备传给主体结构的地震作用。

4.1.4 常规检测项目应包括产品的尺寸检测、荷载性能检测、镀膜厚度检测、盐雾试验等。特殊检测项目应包括抗震支吊架整体组件循环加载性能检测、地震模拟检测、耐火试验检测及疲劳试验检测等。

4.1.5 产品的设计选用与安装应符合产品设计值的规定。

### 4.2 材 料

4.2.1 用于建筑机电工程的抗震构件及部件材料应采用 Q235B 级及以上碳钢或者不锈钢材料。碳钢材料化学成分应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的规定，不锈钢材料化学成分应符合现行国家标准《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878 的规定。

4.2.2 紧固件应符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1、《紧固件机械性能 螺母》GB/T 3098.2、《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6 及《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098.15 的规定。

4.2.3 锚栓应符合现行行业标准《混凝土用机械锚栓》JG/T 160 的规定。

4.2.4 抗震斜撑部件应符合现行国家标准《装配式支吊架通用技术要求》GB/T 38053 及《低压流体输送用焊接钢管》GB/T 3091 的规定。

4.2.5 柔性斜拉钢索的性能应符合现行国家标准《不锈钢钢丝绳》GB/T 9944 的规定。

### 4.3 产 品

4.3.1 落地式设备抗震措施应由多个抗震限位器构成。

4.3.2 落地式设备安装需要减振时,防滑部件或组件应具有减振作用。

4.3.3 抗震支架的抗震构件连接处应具有可靠的机械咬合,或采用具有扭剪型高强度紧固螺栓。

4.3.4 成套预装式抗震斜撑组件,其连接槽钢或杆件不得现场切割。连接螺栓应具有可视化安全检查设计。

4.3.5 有隔振要求的悬挂设备,抗震支吊架的构件或组件应具有隔振作用。

4.3.6 与结构连接的混凝土锚栓应采用可承受地震作用的锚栓。

4.3.7 与建筑结构采用预埋方式连接时,应采用预埋槽或预埋螺栓连接。

### 4.4 检 测 要 求

4.4.1 抗震支吊架各部件应进行外观及尺寸检测,尺寸公差应符合现行国家标准《一般公差未注公差的线性和角度尺寸的公差》

GB/T 1804 的规定。

**4.4.2** 抗震斜撑组件力学性能检测、连接部件疲劳试验应符合本规程附录 A 的规定。

**4.4.3** 产品防腐性能试验应符合现行国家标准《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》GB/T 10125 的规定。

**4.4.4** 抗震支吊架整体组件性能检测应根据产品的组成形式按照标准安装角度  $45^{\circ}$  进行试验,检测方法应符合本规程附录 A 的规定。

**4.4.5** 抗震支吊架应进行整体振动台模拟地震波测试。

**4.4.6** 振动台地震模拟应采用三向六自由度的地震试验台进行仿真试验,试验应满足罕遇地震烈度下楼面加速度值。

**4.4.7** 地震模拟试验中,管道应充水且应加压至额定压力,试件配载(含介质)应根据抗震支吊架设计承载力配置。

## 5 设计

### 5.1 一般规定

5.1.1 机电系统抗震的力学计算应采用等效侧力法和楼面反应谱法。等效侧力法可由机电专业设计,楼面反应谱法应由结构专业设计。

5.1.2 所有的抗震节点应根据建筑类型、楼层、专业要求等因素确定水平地震作用综合系数值。

5.1.3 设计文件应明确抗震设计的具体范围及产品的技术要求。

5.1.4 机电抗震设计应确定节点位置并应对节点进行编码,同一专业所有节点应有完整序列号。

5.1.5 抗震支吊架产品选型应根据节点编码逐一确定产品形式;应根据产品性能确定产品规格、使用数量等,并应绘制安装大样图。

5.1.6 抗震支吊架同时承受的水平地震作用和其他荷载作用应经计算确定。

5.1.7 抗震支吊架产品选型应根据节点序号逐一提供力学计算与验算结果。产品选型通过验算后,应在方案图中标注每个抗震节点的地震作用及产品承载力值,并按本规程附录 B 填写抗震支吊架产品性能说明书及验收表。

5.1.8 抗震支吊架应按承受的水平地震作用方向不同,分别设置侧向抗震斜撑组件、纵向抗震斜撑组件或同时设置侧向及纵向抗震支吊架。

5.1.9 抗震支吊架斜撑与竖向受力构件间的夹角宜为  $45^{\circ}$ ,且不应小于  $30^{\circ}$ 。抗震支吊架应以实际角度值进行计算。

5.1.10 抗震支吊架斜撑可采用刚性杆或柔性杆。采用刚性杆

时,可沿地震作用方向在支吊架一侧设置;采用柔性杆时,应沿地震作用方向在支吊架的两侧对称设置。

## 5.2 地震作用计算

5.2.1 水平地震影响系数最大值应按表 5.2.1 选取。

表 5.2.1 水平地震影响系数最大值

地震影响	6 度	7 度		8 度		9 度
	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
多遇地震	0.04	0.08	0.12	0.16	0.24	0.32
设防地震	0.12	0.23	0.34	0.45	0.68	0.90
罕遇地震	0.28	0.50	0.72	0.90	1.20	1.40

5.2.2 建筑机电设备的构件、部件类别系数和功能系数应按表 5.2.2 确定。

表 5.2.2 建筑机电设备的构件、部件类别系数和功能系数

系统分类	构件、部件所属系统	类别系数	功能系数		
			甲类建筑	乙类建筑	丙类建筑
生命线设备	消防系统、防排烟系统、燃气及其他气体系统;应急电源的主控系统、发电机等	1.0	2.0	1.4	1.4
特种设备	电梯的支承结构,导轨、支架,轿箱导向构件、高温、高压热力管道等	1.0	1.4	1.0	1.0
	锅炉、压力容器支座	1.0	1.4	1.0	1.0
重要功能设备	给排水管道、空调水管、空调风管及电缆桥架、悬挂式或链吊式灯具	0.9	1.4	1.0	0.6
一般功能设备	其他灯具	0.6	1.4	1.0	0.6
	柜式设备支座	0.6	1.4	1.0	0.6
特殊功能系统	水箱、冷却塔支座	1.2	1.4	1.0	1.0
	公用天线支座	1.2	1.4	1.0	1.0

5.2.3 等效侧力法计算地震作用标准值,可按下列式计算:

$$F = \gamma \eta \zeta_1 \zeta_2 \alpha_{\max} G \quad (5.2.3)$$

式中: $F$ ——沿最不利方向施加于机电设备质心处的水平地震作用标准值;



- $\gamma$ ——非结构构件功能系数,按表 5.2.2 确定;
- $\eta$ ——非结构构件类别系数,按表 5.2.2 确定;
- $\zeta_1$ ——状态系数,对于支撑点低于质心的任何设备和柔性体系宜取 2.0,其余情况取 1.0,设备吊架应按柔性体系取值,设备支架及地面设备固定按刚性体系取值;
- $\zeta_2$ ——位置系数,建筑的顶部宜取 3.0,底部取 1.0,并沿高度线性分布;对结构要求采用时程分析法补充计算的建筑,应按其计算结果调整;
- $\alpha_{\max}$ ——水平地震影响系数,取值按表 5.2.1 中的多遇地震确定;
- $G$ ——非结构构件的重力,应包括运行时有关的人员、容器和管道中的介质及储物柜中物品的重力。

### 5.3 荷载验算

5.3.1 建筑机电工程抗震验算时,部件之间的连接应采用可靠的机械咬合形式,摩擦力不应作为抵抗地震作用的抗力。承载力抗震调整系数,可取 1.0,并应满足下式要求:

$$S \leq R \quad (5.3.1)$$

式中: $S$ ——机电工程设施或构件内力组合的设计值,包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值;

$R$ ——构件承载力设计值。

5.3.2 当安装角度发生变化时,荷载验算应根据实际安装角度验算。

5.3.3 刚性抗震支撑的抗压杆件验算,吊杆长细比不应大于 100;斜撑杆件的长细比不应大于 200。

5.3.4 地震作用效应按下式计算:

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} \quad (5.3.4)$$

式中: $\gamma_G$ ——重力荷载分项系数,抗震支吊架在有承重要求时,一般取 1.3;

$S_{GE}$ ——重力荷载代表值效应；

$\gamma_{Eh}$ ——水平地震作用分项系数，取 1.4；

$S_{Ehk}$ ——水平地震标准值效应。

### 5.3.5 抗震支吊架的性能应符合下列规定：

1 抗震支撑组件的抗拉及抗压性能设计值不应小于 1.4 倍水平地震荷载标准值效应；

2 吊杆及部件连接的抗拉强度设计值不应小于 1.3 倍重力荷载代表值效应；

3 锚固件抗拉及抗剪强度设计值不应小于地震作用效应；

4 管束的强度设计值不应小于地震作用效应。

## 5.4 设计范围

5.4.1 对重力大于 1.8kN 的设备或吊杆计算长度大于 300mm 的吊杆悬挂管道应进行抗震设计。

5.4.2 对管道尺寸大于或等于 DN65 的生活给水、空调水、消防水、压力排水及中水系统等承压系统管道或泡沫系统管道应设置抗震支吊架。

5.4.3 对所有防排烟及事故通风管道应设置抗震支吊架。

5.4.4 对截面大于  $0.38\text{m}^2$  的空调风管应设置抗震支吊架。

5.4.5 对直径大于 60mm 的电气配管及重力大于 150N/m 的电气槽盒、母线槽等应设置抗震支吊架。

5.4.6 对管道尺寸大于或等于 DN25 的燃气管道、消防气体管道、医用气体管道以及有毒、有害、易燃易爆气体管道应进行抗震设计。

5.4.7 管道系统中重力大于 250N 或重力大于 90N 且与管道采用柔性连接的附属设备，应对其单独设置抗震支吊架。

5.4.8 对重力大于 1.8kN 且质心高于所在楼层地面 1.2m 的其他设备应设置防止水平位移的限位器。

5.4.9 管道穿越隔震缝时，应在一端设置抗震连接器，连接器应满足结构位移要求。

## 5.5 设计原则

**5.5.1** 水平直管应在两端设置侧向抗震支吊架。当两个侧向抗震支吊架间距超过表 5.5.1 的最大设计间距时,应增加侧向抗震支吊架。

表 5.5.1 抗震支吊架的最大设计间距

管道类别		抗震支吊架最大设计间距 (m)	
		侧向	纵向
给水、排水及消防管道	新建工程刚性连接金属管道	12.0	24.0
	新建工程柔性连接金属管道;非金属管道及复合管	6.0	12.0
燃气、热力管道	新建燃油、燃气、医用气体、真空管、压缩空气管、蒸汽管、高温热水管及其他有害气体管道	6.0	12.0
通风及排烟管道	新建工程刚性材质风管	9.0	18.0
	新建工程非金属风管	4.5	9.0
电线套管及电缆梯架、电缆托盘和电缆槽盒	新建工程刚性材质电线套管、电缆梯架、电缆托盘和电缆槽盒	12.0	24.0
	新建工程非金属材质电线套管、电缆梯架、电缆托盘和电缆槽盒	6.0	12.0

**5.5.2** 每一段水平直管应至少设置一个纵向抗震支吊架,当两个纵向抗震支吊架间距超过表 5.5.1 的最大设计间距时,应增加纵向抗震支吊架。

**5.5.3** 不同管径应分段设置抗震支吊架,未设抗震支吊架支管的纵向荷载应由主管的侧向抗震支吊架承担。

**5.5.4** 管道弯头处应设置抗震支吊架,且抗震斜撑组件距离弯头中心线不应超过 0.6m。

**5.5.5** 直接作用于管道弯头处的侧向抗震支吊架可作为另一侧管道的纵向抗震支吊架,节点间距应符合表 5.5.1 的规定。计算和验算时,应计算斜撑组件的双向作用受力。

**5.5.6** 刚性直线管道偏移量大于侧向抗震支吊架设置间距的

1/16 时,应按不同的管段考虑;刚性直线管道偏移量小于或等于侧向抗震支吊架设置间距的 1/16 时,可按同一管段考虑。

**5.5.7** 抗震支吊架不宜限制管道热应力位移。

**5.5.8** 有隔振要求的管道及设备,抗震支吊架部件形式应满足隔振要求,宜采用柔性钢索抗震支吊架。

**5.5.9** 刚性风管及电气槽盒偏移量大于其宽度 2 倍时,应按不同的管段考虑;刚性风管及电气槽盒偏移量小于或等于其宽度 2 倍时,可按同一管段考虑。

**5.5.10** 管道中的柔性接头或伸缩节应在管道两端 0.6m 范围内设置侧向及纵向抗震支吊架。

**5.5.11** 水平管道非 90°转弯时,应在转弯处两侧 0.6m 范围内设置侧向及纵向抗震节点,验算时只需计算各自管段范围内荷载,不考虑相邻管段的荷载。

**5.5.12** 当水平管道通过垂直管道与地面设备连接时,管道与设备之间应采用柔性连接,并在水平管道距垂直管道 0.6m 范围内设置侧向和纵向抗震支撑。

**5.5.13** 综合管线应分层设置抗震斜撑组件,抗震斜撑不应直接作用于管道上,管束应直接固定于槽钢上。

**5.5.14** 无隔振要求时,抗震支吊架不应增加隔振措施;非抗震要求的管道不宜固定于抗震支架上。

**5.5.15** 楼层地面设备的抗震限位器应直接与结构主体锚固,设备有减振基础的抗震限位器不应限制其减振功能。

## 5.6 产品选型

**5.6.1** 抗震支吊架应根据设计节点的型号合理利用空间要求选型。

**5.6.2** 抗震支吊架的抗震斜撑组件应根据设计值选用,设计抗震支撑数量应满足地震作用要求。

**5.6.3** 楼层地面设备应在设备基础四周设限位器固定。限位器类型应经计算确定,与其连接的管道应采用柔性连接。

## 6 施 工

**6.0.1** 建筑机电设备的抗震构件与钢构件、混凝土构件之间的连接,应根据设计、施工环境和条件等选择合适的连接方式。

**6.0.2** 机电抗震安装前,产品选型应由设计单位认可,产品性能验算应通过设计复核;应编制施工方案,并应经监理单位审核。

**6.0.3** 组成抗震支吊架的部件应为成品构件,施工过程中除型材与螺杆可现场下料外,其他任何构件不得现场生产加工。

**6.0.4** 抗震支吊架部件及组件应储存在通风良好、干燥的库房内,储存货架及卡板应摆放整齐。

**6.0.5** 现场制作与安装应符合下列规定:

1 安装的型材及螺杆应根据设计及现场需求下料切割,切割时应保证断面的垂直度,端口应打磨平滑。

2 锚固作业应符合设计要求。钻孔前应采用钢筋探测器检查,避免遇到钢筋、管线等隐蔽物。

3 锚栓的锚孔,应用压缩空气或手动气筒清除孔内粉屑。扩底锚栓的安装应使用专门的模具式钻头扩底,应将锚栓套筒敲至柱锥体规定位置,同时通过目测位移,判断安装是否到位。

4 切割型材并安装完成后,应将端口进行自喷锌防腐处理。

**6.0.6** 安装后的吊杆组件垂直度偏差不应大于 $2.5^{\circ}$ 。

**6.0.7** 抗震斜撑距离吊杆组件与设备管道连接点不应大于100mm。

**6.0.8** 抗震支撑斜撑安装不应偏移其中心线 $2.5^{\circ}$ 。

**6.0.9** 锚栓安装后,其套筒顶端至混凝土表面的距离应为 $1\text{mm}\sim 3\text{mm}$ ,钻孔偏差应符合下列规定:

1 孔深偏差应为正偏差,且不应大于5mm;

2 位置偏差应符合设计文件规定;当设计文件无规定时,不应大于 5mm。

**6.0.10** 设备抗震限位器安装位置及预留间隙应经计算确定,有隔振要求的限位器安装应符合现行国家标准《隔振设计规范》GB 50463 的规定。

## 7 验 收

### 7.1 一 般 规 定

7.1.1 抗震支吊架进入工地现场时,应分别由建设单位、监理单位、施工单位对其进行检查验收,并应形成相应的验收记录。

7.1.2 建设单位、监理单位、施工单位应按设计要求对进场的抗震支吊架的类型、材质、规格及外观等进行验收。生产企业应提供产品型式检验报告、该批次产品的出厂检验报告及产品合格证书等质量证明文件。

7.1.3 抗震支吊架竣工验收应在施工单位自检和监理单位组织的初验通过之后进行。

### 7.2 进 场 验 收

7.2.1 抗震支吊架进场后应从中抽样送有资质的第三方进行检测。当生产企业具有检测条件时,在客户见证下可在工厂进行检测。检测项目应包含外观及尺寸、涂层厚度或中性盐雾试验、部件及抗震斜撑组件的力学性能检测等。

7.2.2 进场检查验收时,送第三方进行检测的抽样应在监理单位见证下,抽样送检数量不应少于3组。

7.2.3 抽样送检至少应包括下列内容,检测方法应符合本规程附录A的规定:

- 1 抗震斜撑组件力学性能检测;
- 2 镀锌层或涂层厚度检测;
- 3 外观及尺寸检测。

### 7.3 主控项目

**7.3.1** 抗震支吊架、限位器等应进行进场验收,验收结果应经监理单位检查认可,且形成相应的验收记录。各种材料和构件的质量证明文件与相关技术资料应齐全,并符合设计要求和国家现行相关标准的规定。

检查方法:观察、尺量检查;核查质量证明文件及现场抽检的检测报告。

检查数量:按进场批次,每批次随机抽取3个试样进行检查;质量证明文件应按出厂检验批次进行核查。

**7.3.2** 抗震支吊架、限位器等应进行安装工程量的检查。核对现场安装数量与设计数量应一致,涉及变更应有变更文件。

检查方法:核对图纸及变更文件与现场安装量。

检查数量:全数检查。

**7.3.3** 抗震支吊架、限位器等应进行安装节点型号的检查。抗震支吊架、限位器等安装应符合设计大样要求并按照设计图纸安装,检查安装使用构件样式、型号及数量应与设计一致。

检查方法:对照设计图纸现场检查。

检查数量:按全部安装节点的3%且不少于50个;设备限位器应全数检查。

**7.3.4** 抗震支吊架、限位器等应进行力学性能检查。抗震支吊架的荷载根据抗震斜撑承载力及数量确定,限位器的荷载根据单个承载力和数量确定。检查设计荷载应满足地震作用要求。

检查方法:对照设计文件,核查抗震支吊架产品性能验算表,结果满足 $S \leq R$ 。

检查数量:按全部安装节点的5%且不少于50个。

### 7.4 一般项目

**7.4.1** 安装间距检查:抗震支吊架的安装间距与设计间距应一



致,满足设计要求。

检查方法:尺量检查。

检查数量:不少于全部抗震支吊架的5%。

**7.4.2 安装角度检查:**吊杆垂直度、斜撑安装角度等应符合本规程第5.1节、第6.2节的相关规定。

检查方法:尺量检查。

检查数量:不少于全部吊杆和斜撑的5%。

**7.4.3 安装牢固检查:**连接件安装应达到设计安装扭矩,扭剪螺栓栓头应剪断。

检查方法:扭矩扳手、目测。

检查数量:按全部连接件的3%且不少于50个。

**7.4.4 成品保护:**型材切割端口应采取保护,切口应做二次防腐处理并安装堵头,抗震支吊架及限位器等应有产品标识。

检查方法:目测。

检查数量:按全部型材的3%且不少于10个。

## 8 运行、维护与信息化建设

### 8.1 运行与维护

- 8.1.1 每两年应对机电抗震系统进行检查。相关零部件在运行中产生松动、脱落时,应及时采取紧固措施或将其更换。
- 8.1.2 根据系统的运行环境,每两年至少应检查一次各部件的耐腐蚀情况;发生锈蚀时,应及时采取除锈防腐或更换处理。
- 8.1.3 机电工程管道与设备进行维护、维修作业时,所更换的新抗震构件的性能不应低于原产品的设计要求。

### 8.2 信息化建设

- 8.2.1 机电抗震宜从设计端建立信息化平台,不同专业应能在同一设计平台协同工作。
- 8.2.2 建设单位应能通过信息化平台了解建筑机电抗震系统信息及维护情况。
- 8.2.3 施工单位应能通过信息化平台获得机电抗震设计的节点位置,便于与设计单位实时沟通现场环境。
- 8.2.4 生产商应根据信息化平台的方案并结合产品性能,配套生产适合标准要求的产品;设计单位和施工单位应通过信息化平台对产品选型结果进行审核与验证。
- 8.2.5 施工单位可结合信息化平台与供应商的产品选型方案进行施工,节点安装方案可在移动设备端下载,并可通过移动设备端协同设计来调整方案。
- 8.2.6 建设单位、监理单位、施工单位可通过信息化平台提供的节点参数与节点二维码进行比对验收。
- 8.2.7 信息化平台应能提供建筑机电抗震工程的所有数据服务。
- 8.2.8 信息化平台应能为地震灾后救援提供需要的大数据服务。

## 附录 A 检测方法

### A.1 部件力学性能检测方法

A.1.1 抗震部件的疲劳试验应按下列步骤进行：

1 对于预期荷载小于 4.0kN 的构件，试验加载的初始力值为 1.0kN；对于预期荷载大于 4.0kN 的构件，试验加载的初始力值为 4.0kN。

2 试件在加载过程中变形量超过  $\pm 25\text{mm}$  时，为终止条件；试件在加载中出现破坏时应终止试验(图 A.1.1-1)。

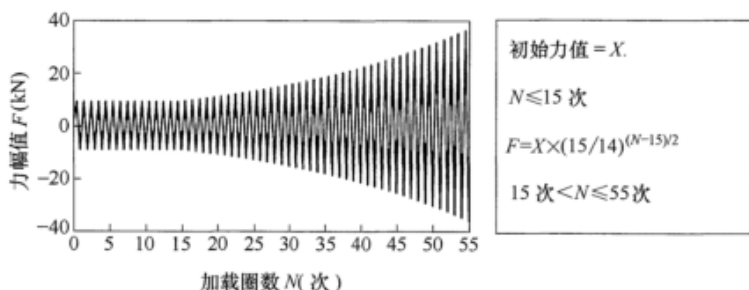
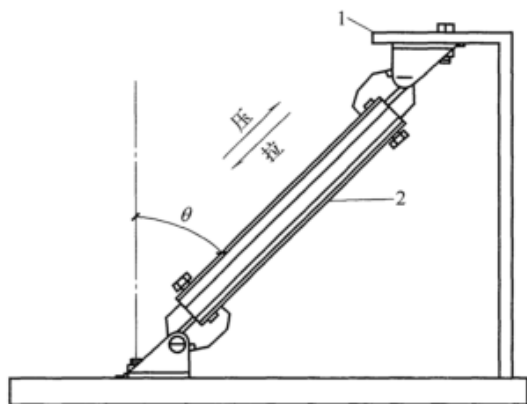


图 A.1.1-1 抗震部件疲劳试验加载历程示意图

3 抗震部件疲劳试验性能加载试样安装应按实际受力的方式进行试验，螺母安装扭矩值可由生产商提供或按  $50\text{N} \cdot \text{m}$ (图 A.1.1-2)。



1—试验台；2—抗震部件

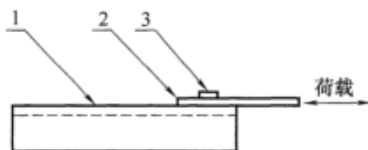
图 A.1.1-2 抗震部件的安装示意图

**A.1.2** 对于刚性部件的力学性能应进行抗拉与抗压检测的疲劳试验,试验角度  $\theta$  应按  $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$  分别安装测试,试验结果应根据本规程附录 A.3 进行评估。

**A.1.3** 槽钢螺母疲劳试验应按下列步骤进行,并应符合下列规定:

1 利用紧固螺母和六角头螺栓将平板配件连接于槽钢上(图 A.1.3),螺母安装扭矩值可由生产商提供或按  $50\text{N}\cdot\text{m}$  确定,测试荷载应沿着槽钢纵向施加于平板配件上。

2 荷载不增加而滑移继续发展时的荷载值应为抗滑失效荷载值。试验方法应按本规程附录 A.1.2 条进行。



1—槽钢；2—平板连接件；3—槽钢螺母

图 A.1.3 槽钢螺母疲劳试验示意图

**A. 1.4** 对于仅承受抗拉荷载的部件,试验中无须进行抗压试验。

**A. 1.5** 角连接件荷载试验应符合下列规定:

1 角连接件应与竖向槽钢和横向槽钢相连接(图 A. 1.5),竖向槽钢长度不应小于 300mm,并在顶部和底部固定,横向槽钢长度不应小于 300mm。施力点应位于横担中部位置。加载速率不应超过 12.7mm/min,螺母安装扭矩值可由生产商提供或按  $50\text{N}\cdot\text{m}$ 。

2 观察试验过程中的荷载和角连接件沿荷载方向的变形。当荷载不再增加而角连接件变形时,对应的荷载值即为角连接件承载力极限荷载值。记录荷载及位移曲线。

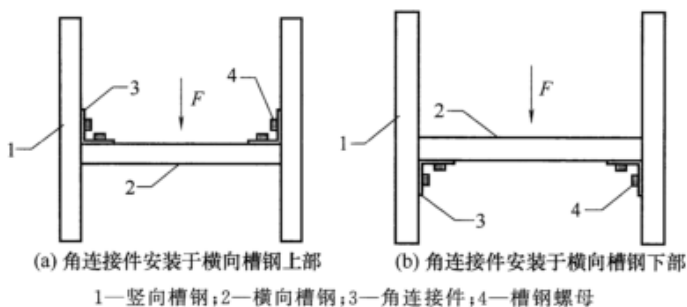
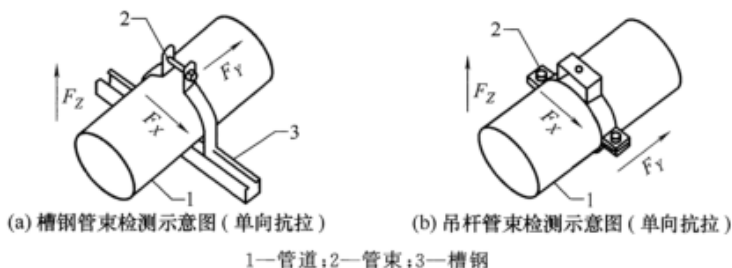


图 A. 1.5 角连接件荷载性能试验示意图

**A. 1.6** 管束荷载试验应按管束荷载根据受力的方向分别进行抗拉试验,螺母安装扭矩值可由生产商提供取  $50\text{N}\cdot\text{m}$ (图 A. 1.6)。



$F_x$ —侧向荷载; $F_y$ —纵向荷载; $F_z$ —垂直荷载

图 A. 1.6 管束荷载性能试验示意图

## A.2 组件力学性能检测方法

A.2.1 单套抗震斜撑组件的试验结果应按本规程附录 A.3 进行评估。

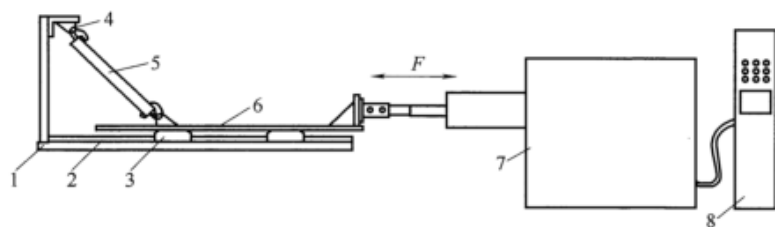
A.2.2 本试验方法适用于抗震支吊架抗震斜撑组件的性能检测及抗震支吊架整体组件的性能验证。

A.2.3 抗震支吊架整体性能验证试验时,斜撑组件安装方法应符合下列规定:

1 抗震支吊架整体性能验证试验的试件应采用单套抗震斜撑组件(图 A.2.3)。

2 抗震支吊架斜撑连接点距顶部垂直距离不应小于 500mm,安装角度应为  $45^{\circ} \pm 2^{\circ}$ ,螺母安装扭矩值可由生产商提供或按  $50\text{N} \cdot \text{m}$ 。

3 同一组试件安装角度及高度应相同。



1—试验台;2—导轨;3—滑块;4—抗震构件;5—抗震斜撑;  
6—连接板;7—动力源;8—控制柜

图 A.2.3 斜撑组件性能试验示意图

A.2.4 对于预期荷载小于  $4.0\text{kN}$  的构件,试验加载的初始力值应为  $1.0\text{kN}$ ;对于预期荷载大于  $4.0\text{kN}$  的构件,试验加载的初始力值应为  $4.0\text{kN}$ (图 A.2.4)。

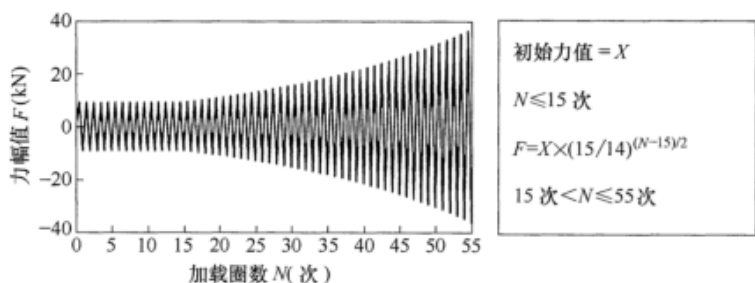
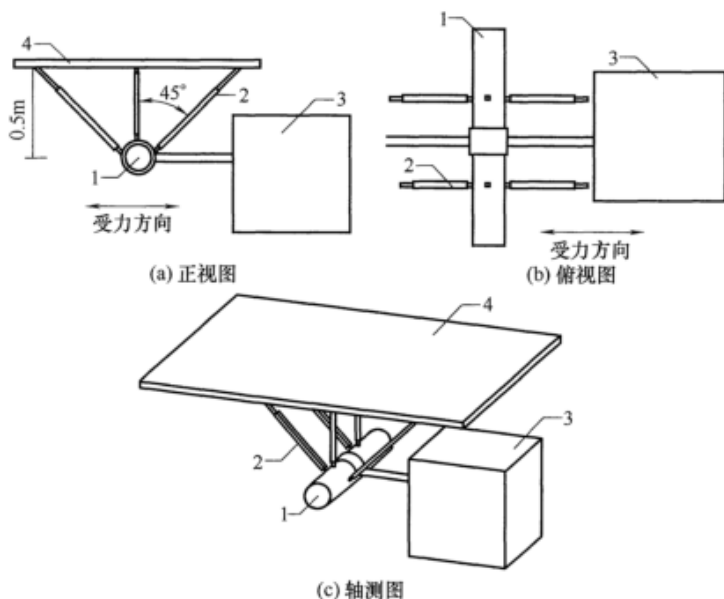


图 A. 2. 4 斜撑组件循环加载试验加载历程示意图

**A. 2. 5** 试件在加载过程中变形量超过 $\pm 50\text{mm}$ 时,应终止试验;试件在加载中出现破坏时应终止试验。

**A. 2. 6** 抗震支吊架组件性能加载试验应能反映出支吊架组件的实际受力方式。试样的安装应参照图 A. 2. 6。



1—DN150 管道;2—抗震组件;3—试验机;4—结构楼板  
图 A. 2. 6 抗震支吊架组件性能检测加载示意图

**A. 2. 7** 对于单套斜撑组件的设计荷载超过 2. 25kN 的支吊架组件,加在试件的初始力值应为 9. 0kN;设计荷载小于 2. 25kN 的,加在试件的初始力值应为 2. 25kN。当单套斜撑组件的荷载不在上述区间时,加载的初始力值可另行设置。螺母安装扭矩值可由生产商提供或按 50N·m。

**A. 2. 8** 试件安装完成后,应按规定的循环荷载进行加载,前 15 次应按固定幅值循环加载,其后每次循环加载的力值幅值都是前次循环加载的  $(15/14)^{1/2}$  倍,测量过程中的加载频率为 0. 1Hz。当在完成 55 次循环后试件未达到终止条件,可继续按上述方法加载直至达到试验终止条件。

**A. 2. 9** 测试中,当试件出现断裂或者变形量超过 50mm 时,即达到本试件测试终止条件,应将试件的断裂、脱落或变形量超过限值前一个循环的力值数作为该次试验值。

**A. 2. 10** 单套斜撑组件的试验值应为整体组件的试验值除以 4,且其值不应小于抗震支吊架的适用地震作用效应值。

### A. 3 试验结果评估

**A. 3. 1** 部件检测方案及抗震斜撑组件的检测方案应按本附录进行试验结果分析评估。

**A. 3. 2** 每类项目试验数量不应低于 5 套试件,每次试验应记录荷载-位移曲线,曲线荷载峰值点应为失效的极限荷载值。

**A. 3. 3** 承载力平均值应按下式计算:

$$F_{Ru,m} = \sum_{i=1}^n F_{Ru,i} / n \quad (\text{A. 3. 3})$$

式中: $F_{Ru,m}$ ——承载力平均值(kN);

$F_{Ru,i}$ ——第  $i$  个试验样品承载力值(kN);

$n$ ——试验样品数;

$i$ ——第  $i$  个试验样品, $i=1,2,\dots,n$ 。



**A. 3. 4** 承载力变异系数应按下式计算：

$$\nu = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (F_{Ru,i} - F_{Ru,m})^2 / (n - 1)}}{F_{Ru,m}} \quad (\text{A. 3. 4})$$

式中： $\nu$ ——承载力变异系数；

$F_{Ru,i}$ ——第  $i$  个试验样品承载力值(kN)；

$F_{Ru,m}$ ——承载力平均值(kN)；

$n$ ——试验样品数；

$i$ ——第  $i$  个试验样品,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。

**A. 3. 5** 承载力标准值应按式计算：

$$F_{Rk} = F_{Ru,m} (1 - k\nu) \quad (\text{A. 3. 5})$$

式中： $F_{Rk}$ ——承载力标准值；

$k$ ——系数, 当  $n = 5$  时,  $k = 3.40$ ; 当  $n = 10$  时,  $k = 2.57$ ;

当  $n = 15$  时,  $k = 2.33$ 。

**A. 3. 6** 承载力设计值应按下式计算：

$$F_{Rd} = F_{Rk} / \gamma \quad (\text{A. 3. 6})$$

式中： $F_{Rd}$ ——承载力设计值；

$\gamma$ ——承载力分项系数, 当试验中破坏形式为产品本体损坏时取 1.8, 其他情况取 1.5。

## **A. 4 振动台试验方法**

**A. 4. 1** 模拟试验框架应符合下列规定：

1 振动台应符合现行行业标准《建筑抗震试验规程》JGJ/T 101 的规定, 宜选用具有迭代修正功能的低频大位移数控模拟地震振动台, 振动台台面尺寸及空间应能满足模拟试验框架及支吊架的安装要求。

2 模拟试验框架用于模拟安装水平管道及抗震支吊架, 应能满足其安装要求及测量要求, 模拟试验框架应具有合适的刚度和

承载能力,在试验过程中宜保持弹性状态。

3 框架尺寸应为长 4.5m、宽 4.5m、高 1.5m~2.0m。

4 模拟试验框架应通过螺栓与振动台面刚性连接。

#### A.4.2 测试仪器应符合下列规定:

1 动态数据采集系统应与模拟地震振动台性能匹配,应具有动力反应以及相关参数的实时采集能力。

2 测试仪器的使用频率范围,其下限应低于试验用地震记录最低主要频率分量的 1/10,上限应大于最高有用频率分量值,动态范围应大于 60dB。

3 测量用传感器及其连接导线应具有良好的机械抗冲击性能,传感器的质量和体量不应影响试验的动力特性,测量用传感器的连接导线应采用屏蔽电缆。

#### A.4.3 加载方法应符合下列规定:

1 振动台试验加载时,应根据要求反应谱(RRS),生成包络反应谱的人工模拟加速度时程,并应用该人工时程作为振动台台面的输入。该时程的强震段(开始达到最大值 25%到最后下降到最大值 25%的时间历程)持续时间不应少于 20s。

2 输入加速度峰值不应小于要求反应谱的零周期加速度值(ZPA)。

3 由振动台产生的试验反应谱(TRS)应在整个试验频率范围内基本包络要求反应谱。试验反应谱和要求反应谱应有相同的阻尼比,台面输入加速度 ZPA(试验)应按式计算:

$$ZPA = \eta \gamma \zeta_1 \zeta_2 \alpha \quad (\text{A.4.3})$$

式中: $\eta$ ——类别系数,取 0.9;

$\gamma$ ——功能系数,取 0.6、1.0、1.4;

$\zeta_1$ ——状态系数,取 1.0;

$\zeta_2$ ——位置系数,应为建筑的顶部,取 2.0;

$\alpha$ ——加速度值(多遇、设防、罕遇)。

4 特征周期  $T_g$  取 0.9s, 阻尼比应分别为 2% 及 5% 的要求反应谱(零周期加速度值为  $1.0g$ )(图 A. 4. 3)。

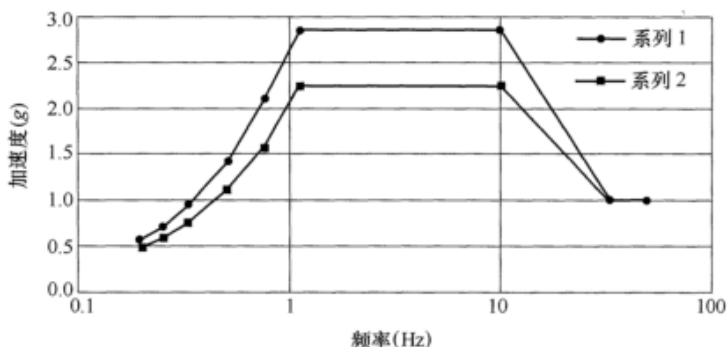


图 A. 4. 3 反应谱示意图

注: 系列 1 的阻尼比为 2%; 系列 2 的阻尼比为 5%。

#### A. 4. 4 迭代修正功能应符合下列规定:

1 振动台试验时, 管线通过支吊架安装在加载框架上, 支吊架附着点处的楼层反应谱(TRS)应在整个试验频率范围内基本包络要求反应谱(RRS), 应采用迭代修正方法确定地震模拟震动台输入。

2 双向或三向激励时, 为保证多向试验反应谱(MTRS)在整个试验频率范围内基本包络多向要求反应谱(MRRS), 地震模拟震动台迭代修正功能应具有解耦功能。

3 供应商应对机械和电气部件及其固定系统进行试验分析, 并提交三向地震模拟震动台试验、动力分析方法结果之一, 作为其抗震能力是否满足设计要求的依据。

#### A. 4. 5 抗震试验的报告要求及鉴定流程应符合下列规定:

1 试验应由有测试能力的实验室执行, 测试报告应符合下列规定:

1) 应标明测试构件的尺寸和质量。

- 2)应标明测试时使用的地震动时程、频谱和幅值信息。
  - 3)应包含结构完整性和功能性的要求和检查结果。
  - 4)应包含测试所在实验室信息以及试验参加人员信息。
  - 5)应描述测试装备的尺寸及加载能力,以及传感器的校准信息。
  - 6)试验前及试验后的所有连接安装细节,包括测试设备之间的连接、测试设备与振动台的连接、测试设备与试验支架的连接,都应详细拍照记录。
  - 7)应给出试验样品的安装方式,且符合设备部件的实际安装使用条件,支撑连接及试验配重是否满足设备部件的设计荷载要求及实现方法。
  - 8)现场测试数据应包括台面实际输出的加速度记录,测试设备关键位置的加速度、位移以及应变反应记录,测试构件的现场实测质量尺寸等信息。
  - 9)测试响应谱与需求响应谱的对比图中应标明对应的阻尼比,且应包含对应曲线的数据。
  - 10)试验应测试构件在地震动作用下的三向共振频率。
  - 11)试验应详细说明测试中可能出现的设备及其连接构件变形、破坏等,并应给出其是否满足要求的说明。
- 2 抗震鉴定试验要求及流程应符合下列规定:
- 1)应具有完整的试验大纲;
  - 2)在试验前,应对被检测设备的完好性进行检查;
  - 3)振动台试验前,应进行设备的功能性检查,并宜由实验室进行,测试描述及结果应详细记录;
  - 4)应采用三向地震动输入进行地震模拟振动台试验,试验时应安装足够的传感器以记录被测设备关键部位的动力响应,除记录被测设备本身的响应外,还应记录振动台台面、被测试构件与振动台或测试支架连接处的响应;
  - 5)应进行扫频试验以确定被测设备的自振频率和阻尼比;

- 6) 试验应考虑实际安装时楼层的动力放大效应,放大系数宜按照 $(1+2Z/H)$ 确定,三向输入地震动的峰值宜按照 $1:0.85:0.65$ 确定。

## 附录 B 抗震支吊架产品性能说明书 及验算报告

**表 B.0.1 抗震支吊架产品性能说明书**

抗震支吊架产品性能说明书			
			产品编号：
品牌信息： 产品商标： 生产厂家： 生产地址：			
产品性能参数表			
1. 抗震支撑组件	侧向性能：(kN)	4. 吊杆最大安装高度	
	纵向性能：(kN)	5. 抗震支撑安装角度	
2. 抗震锚栓	抗拉性能：(kN)	6. 吊杆/加固构件型号	
	抗剪性能：(kN)	7. 斜撑/加固构件型号	
3. 管束性能(DN)	侧向性能：(kN)	8. 吊杆构件最大长细比	
	纵向性能：(kN)	9. 斜撑构件最大长细比	
侧向抗震支撑配置	( )型( )组	纵向抗震支撑配置	( )型( )组
抗震支吊架大样图			抗震支撑样式： A 型
			抗震支撑样式： B 型
			抗震支撑样式： C 型
			抗震支撑样式： D 型
使用说明：			

表 B.0.2 抗震支吊架产品性能验算表

抗震支吊架产品性能验算表			
			产品编号：
项目名称：		分项子部：	
节点编号/设备型号	侧向地震作用 T(kN)	纵向地震作用 L(kN)	选用产品型号/编码
施工单位：	监理单位：	建设单位：	

## 用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1 表示很严格,非这样做不可的:  
正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;
- 2 表示严格,在正常情况下均应这样做的:  
正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;
- 3 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:  
正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;
- 4 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。



## 引用标准名录

本规程引用下列标准。其中,注日期的,仅对该日期的版本适用本规程;不注日期的,其最新版适用于本规程。

- 《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981
- 《隔振设计规范》GB 50463
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《一般公差未注公差的线性 and 角度尺寸的公差》GB/T 1804
- 《低压流体输送用焊接钢管》GB/T 3091
- 《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1
- 《紧固件机械性能 不锈钢螺母》GB/T 3098.15
- 《紧固件机械性能 螺母》GB/T 3098.2
- 《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6
- 《不锈钢丝绳》GB/T 9944
- 《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》GB/T 10125
- 《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878
- 《建筑抗震支吊架通用技术条件》GB/T 37267
- 《装配式支吊架通用技术要求》GB/T 38053
- 《建筑抗震试验规程》JGJ/T 101
- 《混凝土用机械锚栓》JG/T 160

中国工程建设标准化协会标准

建筑机电抗震工程  
技术规程

**T/CECS 1031—2022**

条文说明

## 制定说明

《建筑机电抗震工程技术规程》T/CECS 1031—2022 制定编制过程中,编制组进行了广泛深入的调查和研究,结合了我国建筑机电抗震工程的实践经验,同时考察了国外先进技术法规、技术标准,取得了建筑机电抗震工程应用的重要技术参数。

《建筑机电抗震工程技术规程》T/CECS 1031—2022 编制结合了《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981—2014、《建筑抗震支吊架通用技术条件》GB/T 36267—2018 等相关规范及标准,对于机电管道及设备抗震技术的应用、产品关键性能检测等提供了依据。但在模拟地震作用下产品抗震性能的验证,尚需深入研究。

为便于广大技术和管理人员在使用时能正确理解和执行条款规定,《建筑机电抗震工程技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条款规定的目的、依据以及执行中需要注意的事项进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

## 目 次

3	基本规定 .....	( 41 )
4	材料与产品 .....	( 42 )
4.1	一般规定 .....	( 42 )
4.3	产品 .....	( 44 )
4.4	检测要求 .....	( 45 )
5	设计 .....	( 47 )
5.1	一般规定 .....	( 47 )
5.2	地震作用计算 .....	( 48 )
5.3	荷载验算 .....	( 48 )
5.4	设计范围 .....	( 48 )
5.5	设计原则 .....	( 49 )
5.6	产品选型 .....	( 55 )
6	施 工 .....	( 69 )
7	验 收 .....	( 71 )
7.2	进场验收 .....	( 71 )
8	运行、维护与信息化建设 .....	( 72 )
8.2	信息化建设 .....	( 72 )
附录 A	检测方法 .....	( 73 )

### 3 基本规定

**3.0.2** 机电抗震系统的结构抗震设防要求应考虑不同系统的安全等级。

**3.0.3** 用于抵御地震作用的构配件承载力应大于地震作用,并与结构主体牢固连接。

**3.0.4** 当结构采用减、隔震技术时,机电抗震设备应以减、隔震后的结构抗震设防为基础,并符合现行国家标准《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981 的规定。

**3.0.6** 成品支吊架或装配式支吊架一般以重力荷载为主,抗震支吊架以地震作用为主要荷载,其吊杆可作为一个成品支吊架使用。

**3.0.7** 安装在地面或楼面的设备,应根据设备质量及运行参数进行抗震设计。此部分的抗震设计应由设备厂家依据本规程执行。

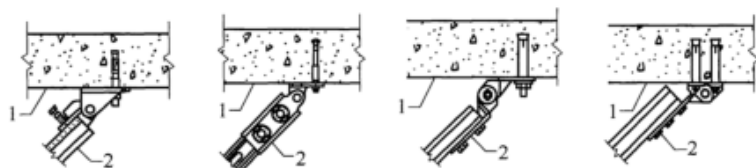
## 4 材料与产品

### 4.1 一般规定

4.1.1 产品的常规检测项目要求生产工厂及质检单位都具有相应的检测能力。由于特殊检测项目用的检测设备并不普及,出厂检验及现场抽检一般采用常规检测项目。

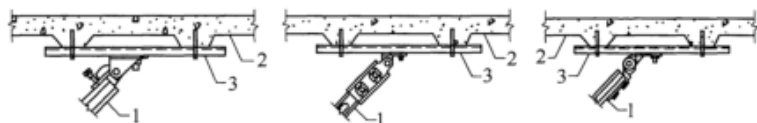
4.1.3 抗震部件及抗震斜撑组件性能检测是确定产品力学性能的有效方法,产品的力学性能也是确定产品选型及方案实施的重要依据,部件与抗震斜撑组件的力学性能检测应按本规程执行。

抗震斜撑组件与建筑结构的连接或锚固做法参见图 1~图 3,抗震斜撑组件与管道及设备部件连接形式参见图 4~图 6。



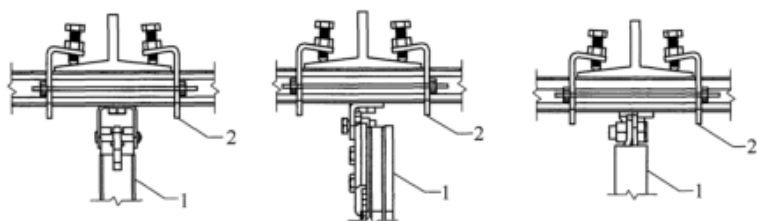
1—混凝土;2—抗震斜撑组件

图 1 抗震斜撑组件与混凝土连接示意图



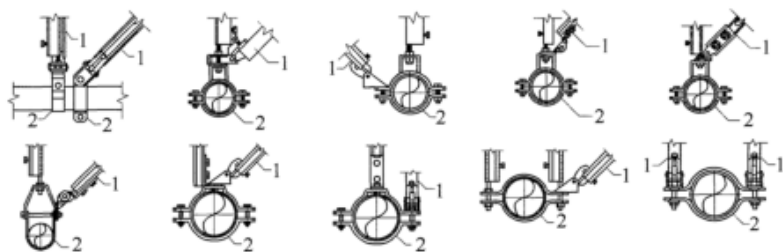
1—抗震斜撑组件;2—轻质楼板;3—槽钢

图 2 抗震斜撑组件与轻质楼板连接示意图



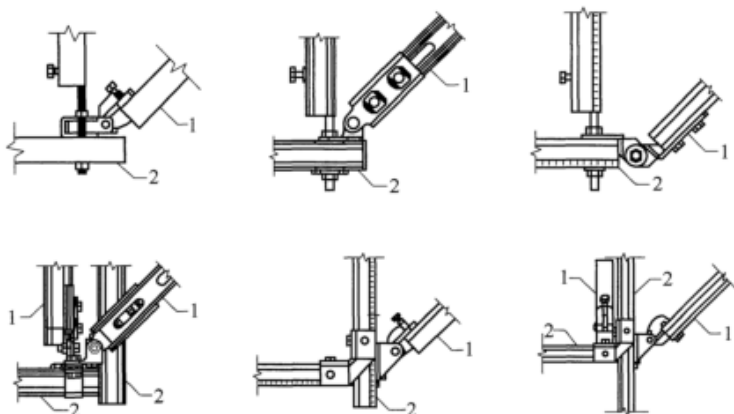
1—抗震斜撑组件；2—钢梁夹

图3 抗震斜撑组件与钢结构连接示意图



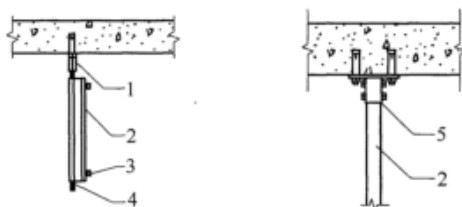
1—抗震斜撑组件；2—抗震管夹

图4 抗震斜撑组件与管道连接形式



1—抗震斜撑组件；2—槽钢

图5 抗震斜撑组件与槽钢连接示意图



(a) 柔性吊杆连接形式

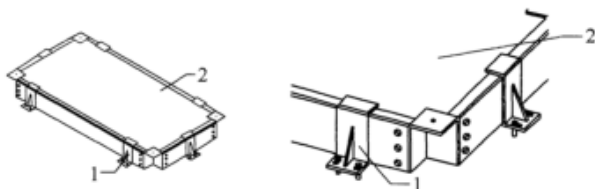
(b) 刚性吊杆连接形式

1—螺杆接头；2—槽钢；3—螺杆加固构件；4—全牙螺杆；5—槽钢底座

图 6 吊杆部件连接形式

### 4.3 产 品

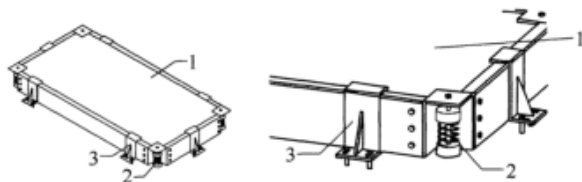
4.3.1 落地式设备抗震措施可参考图 7。



1—防滑构件；2—固定支座

图 7 落地式设备抗震措施示意图

4.3.2 对于有隔振要求的设备，抗震支撑也具有隔振或不传递振动的措施可参考图 8。

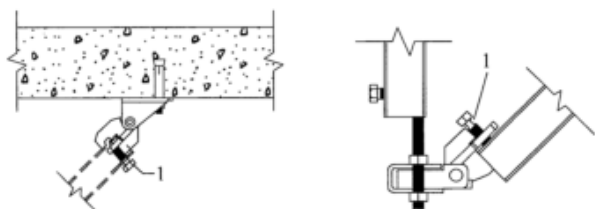


1—底座；2—减振器；3—防滑构件

图 8 落地式设备防滑部件示意图

4.3.3 抗震连接构件中的扭剪型高强度紧固螺栓可参考图 9。





1—扭剪型高强度紧固螺栓

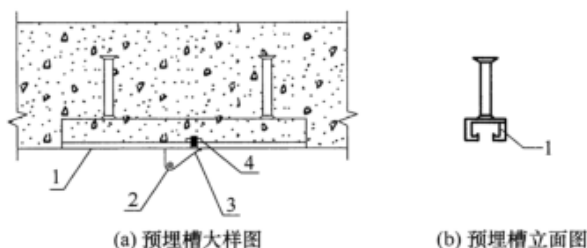
图9 抗震连接构件中的扭剪型高强度紧固螺栓示意图

4.3.4 抗震斜撑组件作为抗震支撑的重要受力部分,杆件切割或加工易造成防腐层破坏。在工厂生产镀锌的成套预装组件,可以保护锌层并提高施工效率。

4.3.5 对于有隔振要求的设备,抗震支撑应具有隔振或不传递振动的作用,防止设备与建筑结构之间发生谐振现象。

4.3.6 可承受地震作用的膨胀锚栓、扩底锚栓和自攻锚栓应符合现行行业标准《混凝土用机械锚栓》JG/T 160 的有关规定。

4.3.7 预埋槽可参考图 10。



(a) 预埋槽大样图

(b) 预埋槽立面图

1—预埋槽;2—抗震连接件;3—螺栓;4—螺母

图10 预埋件示意图

#### 4.4 检测要求

4.4.1 构件应表面工整、光洁,不应有锈蚀、折叠、裂纹、分层、滴瘤、漏镀等缺陷。出厂检验、型式检验都需要进行外观及尺寸检测。

**4.4.2** 产品力学性能检测包含抗震构件、吊杆、连接部件、管箍部件、锚固部件的检测。产品在额定荷载 1min 作用下,不应产生明显变形;当继续加载到 1.5 倍额定荷载时,不得失效。

**4.4.3** 防腐涂层通常选用电镀锌;防腐要求高的环境可采用与设备同等防腐级别的热镀锌、合金涂层或环氧喷涂等。作为常用的钢材防腐工艺,在室内空气环境中,电镀锌即可满足使用要求。电镀锌产品一般中性盐雾实验满足 90h 无红锈,热镀锌产品中盐雾实验满足 480h 无红锈,并作为出厂检验和型式检验要求。

**4.4.4** 抗震支吊架整体组件性能检测能够体现抗震斜撑在地震作用下的实际承载力,并根据本规程附录 A.2 方法委托检验。

**4.4.5** 地震模拟试验是最为科学的检测机电系统抗震性能的方法,试验方法参考本规程附录 A.3,模拟地震作用下承受三项六自由度的荷载以及高频率的振动,能够充分反映系统的耐震能力。

## 5 设 计

### 5.1 一 般 规 定

**5.1.1** 等效侧力法适用于机电专业的抗震计算。自振周期大于 0.1s 或设备质量大于所在楼层 10% (一般指高位水箱、DN400 以上管道、出屋面的大型设备或机组) 的抗震计算, 应采用楼面反应谱法。因涉及结构抗震的整体计算, 楼面反应谱法应由结构专业计算。

**5.1.2** 机电抗震设计满足现行国家标准《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981 的要求, 对于每一个抗震节点要逐一计算和验算, 因此采用最不利点计算不符合规范要求, 同时过大的安全值也会增加建筑成本。

**5.1.3** 由于机电系统的多样化, 在结合结构特征做抗震设计时, 在设计文件中需要具体规定本专业的抗震要求及范围, 避免造成误解和漏项。

**5.1.4** 对于所有抗震节点应逐一进行力学计算与验算, 在设计中应对每一个节点编码, 便于审核校验, 并符合现行国家标准《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981 的规定。辅助设计或计算软件应通过权威技术部门鉴定。

**5.1.5** 在方案设计中不宜指定产品参数或有明显的产品指向性。安装大样图及材料清单由供应商根据自身产品特性提供。

**5.1.6** 抗震支吊架在设计中仅单独承受水平地震作用, 若节点处同时考虑重力荷载时可作承重支吊架使用, 承重构件应满足重力荷载要求。当水平地震作用大于系统其他水平荷载或作用时, 抗震支吊架也可作为防晃支吊架使用。

## 5.2 地震作用计算

5.2.3 等效侧力法计算地震作用标准值的计算公式可简化为：

$$F = \alpha_{Ek} G \quad (1)$$

式中： $F$ ——沿最不利方向施加于机电设备重心处的水平地震作用标准值；

$\alpha_{Ek}$ ——地震作用综合系数，当本系数计算值小于 0.5 时按 0.5 取值，大于 0.5 时按实际值取值；

$G$ ——设备重力取值，应包括运行时有关的人员、设备及设备中的介质等重力。

## 5.3 荷载验算

5.3.1 抗震验算应以组件的额定荷载进行性能验算，各紧固件连接应以机械形式连接并辅以可视化安全检查的结构设计。验算或计算部件或组件性能时，不得以材料基础物理性能进行验算，应根据成品构件或组件经检测认定的额定荷载进行验算。

5.3.2 组件或部件的额定荷载是在安装角度  $45^\circ$  条件下的认证荷载，当实际使用角度发生变化时，应根据实际角度换算组件或部件的额定荷载。

5.3.3 对于柔性即仅受抗拉杆件不需要计算长细比。

## 5.4 设计范围

5.4.1 根据现行国家标准《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981 的规定，设防烈度 6 度及以上地区的建筑机电系统应进行抗震设计，但是如设备重力小于 1.8kN 或吊杆计算长度小于 300mm 的情况下可以不需要进行抗震设计。

5.4.2 根据现行国家标准《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981 中给水排水和暖通专业的相关规定，明确了所有常压管道的设计范围。

5.4.3 根据现行国家标准《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981 的规定,防排烟管道及其设备抗震要求属于单独强条,因此对其进行抗震设计的要求不受任何条件限制。

5.4.6 在满足现行国家标准《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981 要求的基础上,增加了医用气体管道以及有毒、有害、易燃易爆气体管道抗震设计要求。

5.4.7 管道附属设备如阀门、风机等在地震作用下易造成局部集中荷载,破坏设备的安全运行,因此对于管道附属设备应增加抗震设计。

5.4.9 柔性接头或柔性连接的门型构造措施如图 11 所示。

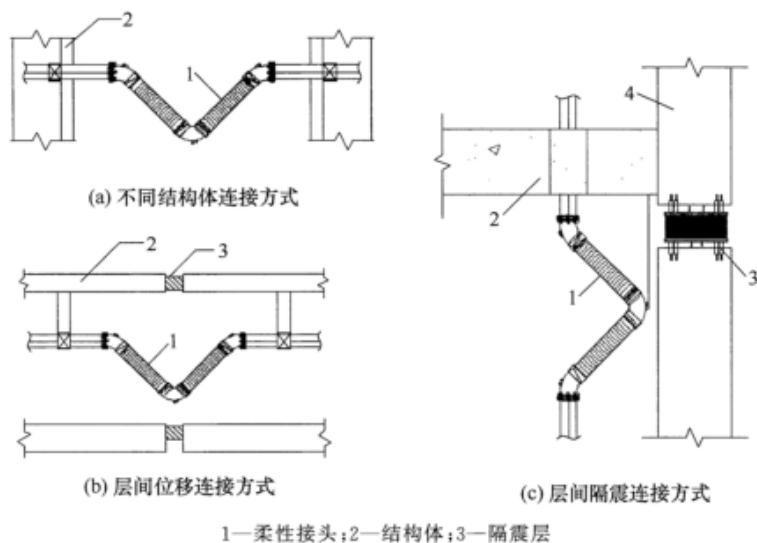
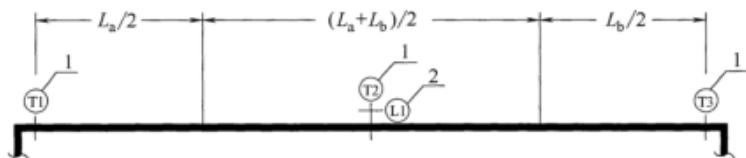


图 11 柔性接头或柔性连接的门型构造措施示意图

## 5.5 设计原则

5.5.1 侧向抗震支吊架的地震作用范围如图 12 所示;T1 的地震作用范围为  $L_a$  的一半;T2 的地震作用为  $L_a$  与  $L_b$  总和的一半;

T3 的地震作用为  $L_b$  的一半。

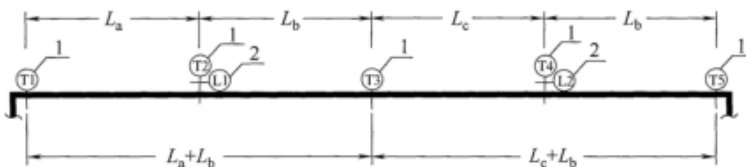


1—侧向抗震支吊架；2—纵向抗震支吊架

$L_a$ —抗震支吊架 T1 与抗震支吊架 T2 的间距； $L_b$ —抗震支吊架 T2 与抗震支吊架 T3 的间距

图 12 水平直管侧向抗震支吊架示意图

5.5.2 纵向抗震支吊架的地震作用范围如图 13 所示： $L_1$  的地震作用范围为  $L_b$  与  $L_c$  总和的一半加上  $L_a$ ， $L_2$  的地震作用范围为  $L_b$  与  $L_c$  总和的一半加上  $L_d$ 。

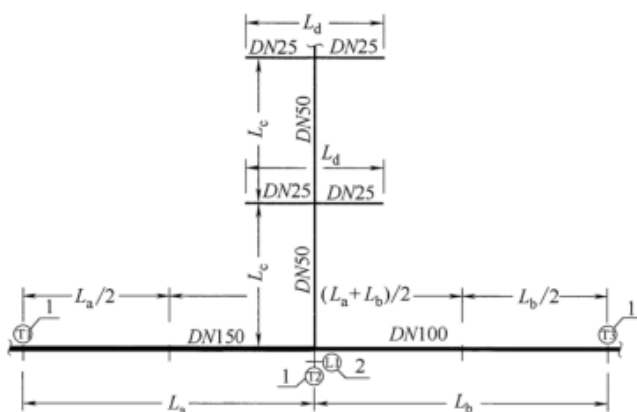


1—侧向抗震支吊架；2—纵向抗震支吊架

$L_a$ —抗震支吊架 T1 与抗震支吊架 T2 的间距； $L_b$ —抗震支吊架 T2 与抗震支吊架 T3 的间距； $L_c$ —抗震支吊架 T3 与抗震支吊架 T4 的间距； $L_d$ —抗震支吊架 T4 与抗震支吊架 T5 的间距

图 13 水平直管侧纵向抗震支吊架示意图

5.5.3 未经抗震设计的支管与主管刚性连接情况下，其纵向地震作用直接作用于主管，因此在计算主管荷载时应考虑支管的地震作用影响。抗震支吊架的地震作用如图 14 所示：T2 的地震作用范围为  $L_a$  与  $L_b$  总和的一半加上  $L_c$  与  $L_d$  总和的 2 倍。

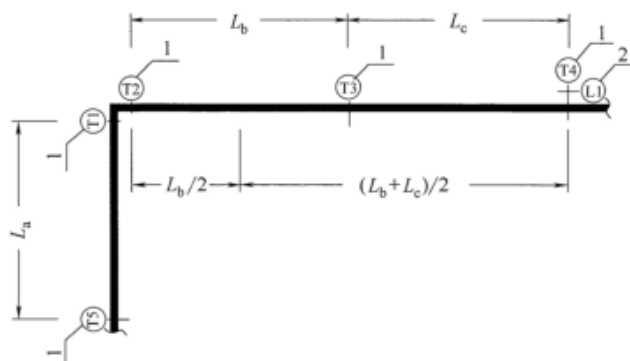


1—侧向抗震支吊架；2—纵向抗震支吊架

$L_a$ —抗震支吊架 T1 与抗震支吊架 T2 的间距； $L_b$ —抗震支吊架 T2 与抗震支吊架 T3 的间距； $L_c$ —支管 DN50 的长度； $L_d$ —支管 DN25 的长度

图 14 不同管径侧纵向抗震支吊架示意图

5.5.4 弯头处抗震支吊架的地震作用范围如图 15 所示：T1 的地震作用范围为  $L_a$  与  $L_b$  总和的一半。

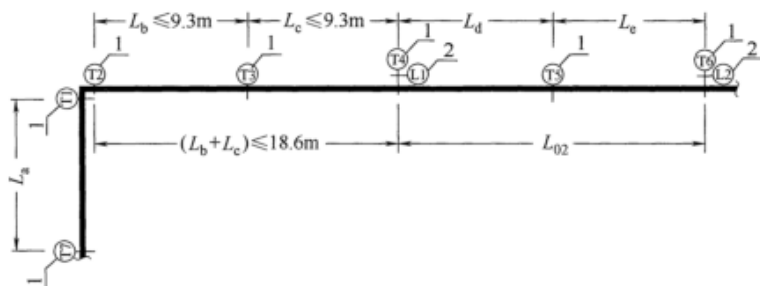


1—侧向抗震支吊架；2—纵向抗震支吊架

$L_a$ —抗震支吊架 T1 与抗震支吊架 T5 的间距； $L_b$ —抗震支吊架 T2 与抗震支吊架 T3 的间距； $L_c$ —抗震支吊架 T3 与抗震支吊架 T4 的间距

图 15 管道弯头处抗震支吊架示意图

5.5.5 弯头处双向作用抗震支吊架的地震作用如图 16 所示。T1 的地震作用范围为  $L_a$  的一半加上  $L_b$  与  $L_c$  的总和,其中  $L_b$  与  $L_c$  的总和的最大间距应符合本规程第 5.5.5 条规定。

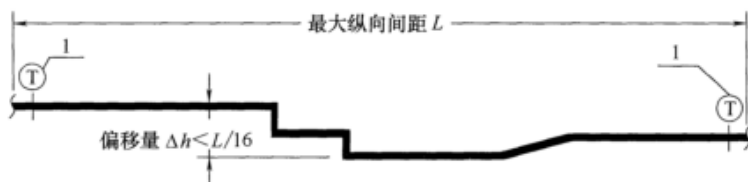


1—侧向抗震支吊架;2—纵向抗震支吊架

$L_a$ —抗震支吊架 T1 与抗震支吊架 T7 的间距; $L_b$ —抗震支吊架 T2 与抗震支吊架 T3 的间距; $L_c$ —抗震支吊架 T3 与抗震支吊架 T4 的间距;  
 $L_d$ —抗震支吊架 T4 与抗震支吊架 T5 的间距; $L_e$ —抗震支吊架 T5 与抗震支吊架 T6 的间距

图 16 弯头处双向作用抗震支吊架示意图

5.5.6 刚性直线偏移管道抗震支吊架示意图如图 17 所示。

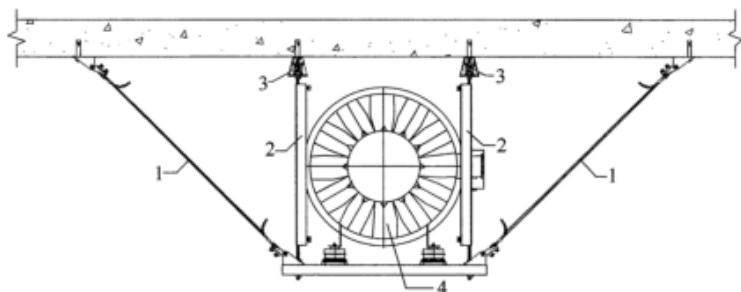


1—侧向抗震支吊架;2—纵向抗震支吊架

图 17 刚性直线偏移管道抗震支吊架示意图

5.5.8 悬吊风机的抗震支吊架示意图如图 18 所示。





1—柔性抗震支撑；2—加固吊杆；3—设备减振器；4—设备

图 18 悬吊风机的抗震支吊架示意图

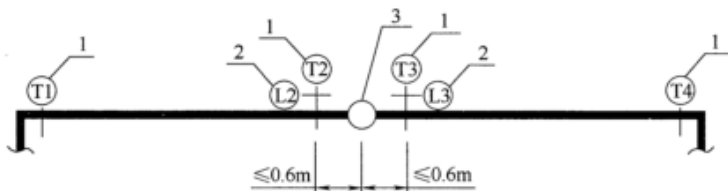
5.5.9 刚性风管及电气槽盒抗震支吊架示意图如图 19 所示。



1—侧向抗震支吊架

图 19 刚性风管及电气槽盒抗震支吊架示意图

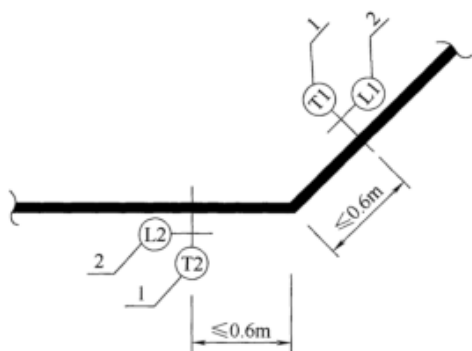
5.5.10 柔性接头及伸缩节管道抗震节点示意图如图 20 所示。



1—侧向抗震支吊架；2—纵向抗震支吊架；3—柔性接头或伸缩节

图 20 柔性接头及伸缩节管道抗震节点示意图

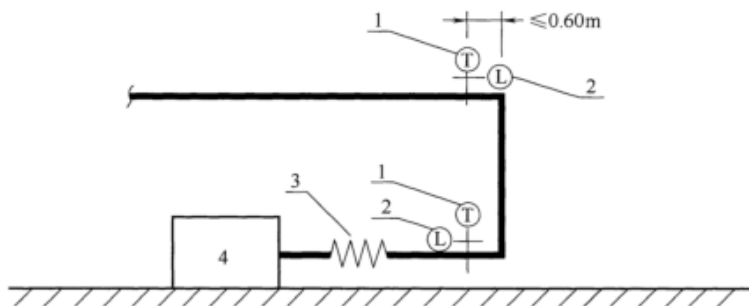
5.5.11 非 90°转弯处抗震支吊架示意图如图 21 所示。



1—侧向抗震支吊架；2—纵向抗震支吊架

图 21 非 90°转弯处抗震支吊架示意图

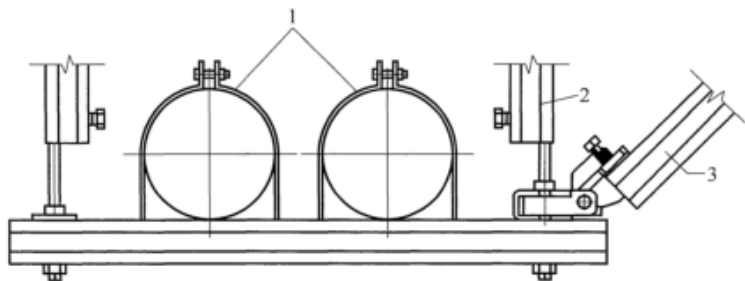
5.5.12 当水平管线通过垂直管线与地面设备连接时，管线与设备之间应采用柔性连接，水平管线距垂直管线 0.60m 范围内设置抗震支吊架，垂直管线底部距地面超过 0.15m 应设置抗震支吊架。管线与设备连接时抗震支吊架设置示意图如图 22 所示。



1—侧向抗震支吊架；2—纵向抗震支吊架；3—柔性连接；4—地面设备

图 22 管线与设备连接时抗震支吊架设置示意图

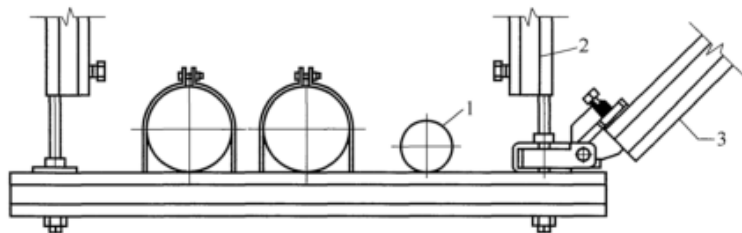
5.5.14 综合管线抗震支吊架示意图如图 23 所示。



1—管束；2—吊杆组件；3—抗震斜撑组件

图 23 综合管线抗震支吊架示意图

5.5.15 含非抗震要求管线的综合管线抗震支吊架示意图如图 24 所示。

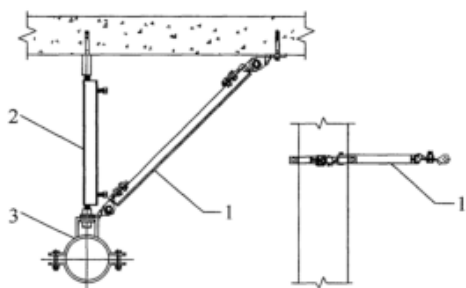


1—非抗震要求管道；2—加固吊杆；3—抗震斜撑组件

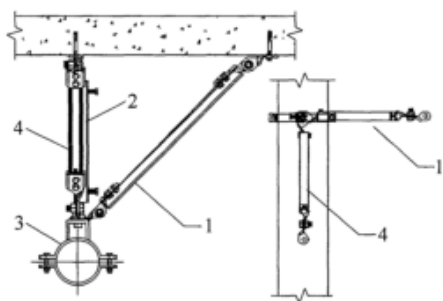
图 24 含非抗震要求管线的综合管线抗震支吊架示意图

## 5.6 产品选型

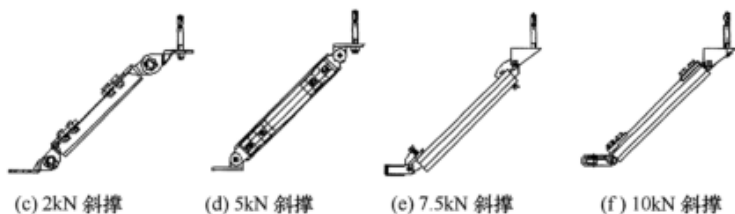
5.6.1 各专业抗震支吊架产品选型可参考图 25~图 37。



(a) 側向抗震支吊架



(b) 縱向抗震支吊架



(c) 2kN 斜撐

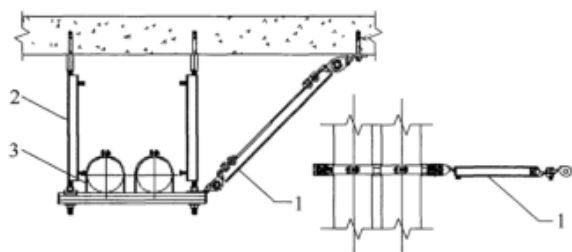
(d) 5kN 斜撐

(e) 7.5kN 斜撐

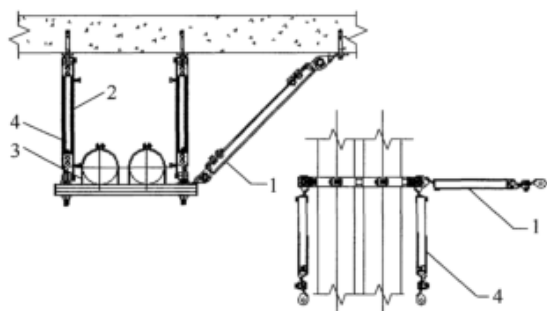
(f) 10kN 斜撐

1—側向抗震斜撐組件；2—加固吊杆；3—抗震管束；4—縱向抗震斜撐組件

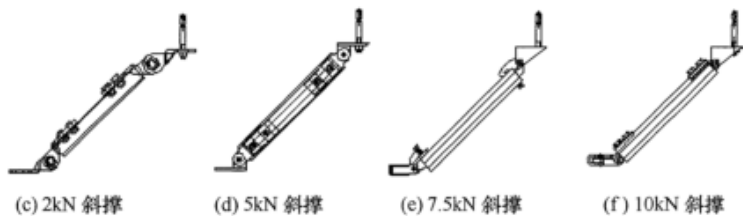
图 25 单管单側及单管单側纵向抗震支吊架示意图



(a) 侧向抗震支吊架

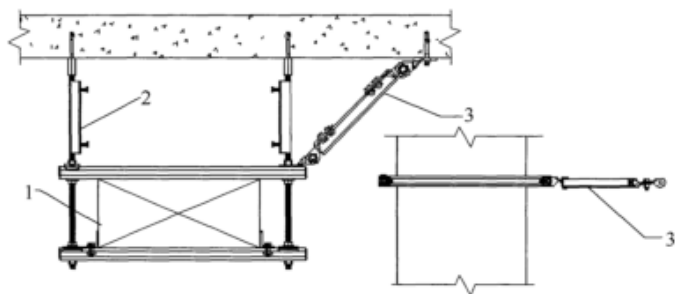


(b) 纵向抗震支吊架

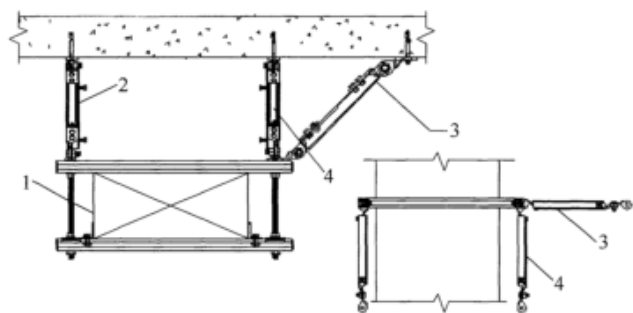


1—侧向抗震斜撑组件；2—加固吊杆；3—抗震管束；4—纵向抗震斜撑组件

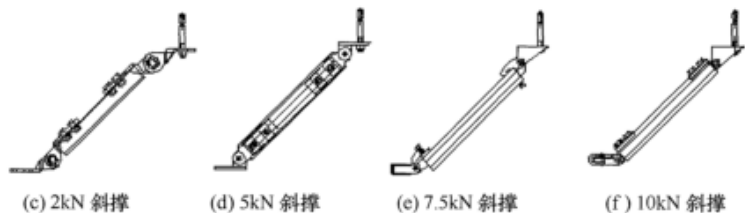
图 26 多管单侧及单侧纵向抗震支吊架示意图



(a) 侧向抗震支吊架



(b) 纵向抗震支吊架



(c) 2kN 斜撑

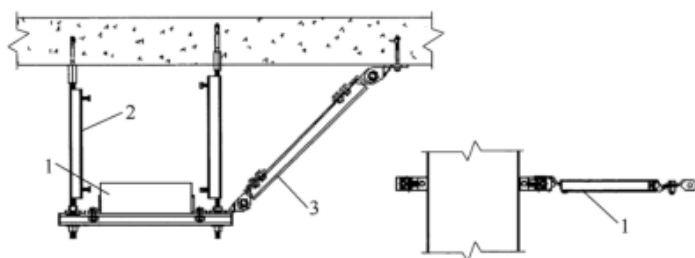
(d) 5kN 斜撑

(e) 7.5kN 斜撑

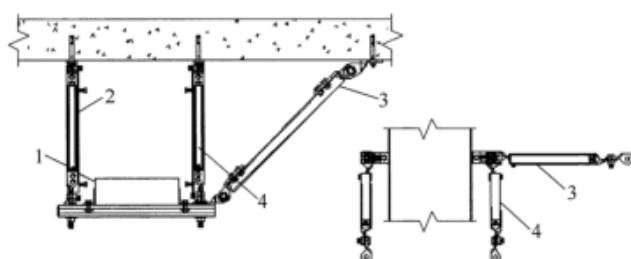
(f) 10kN 斜撑

1—风管;2—加固吊杆;3—侧向抗震斜撑组件;4—纵向抗震斜撑组件

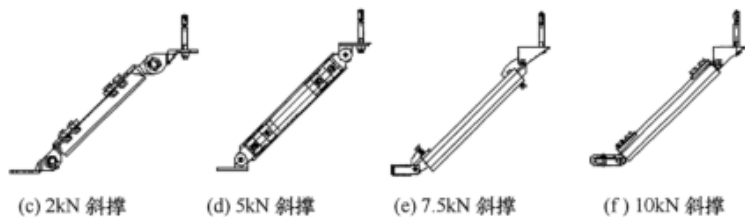
图 27 风管单侧及单侧纵向抗震支吊架示意图



(a) 側向抗震支吊架



(b) 縱向抗震支吊架



(c) 2kN 斜撐

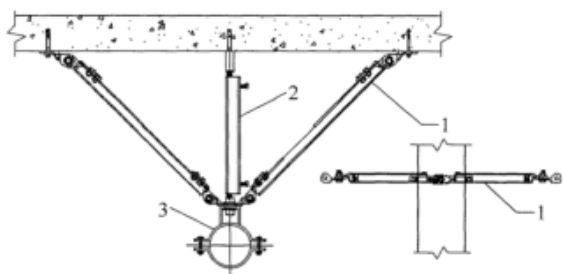
(d) 5kN 斜撐

(e) 7.5kN 斜撐

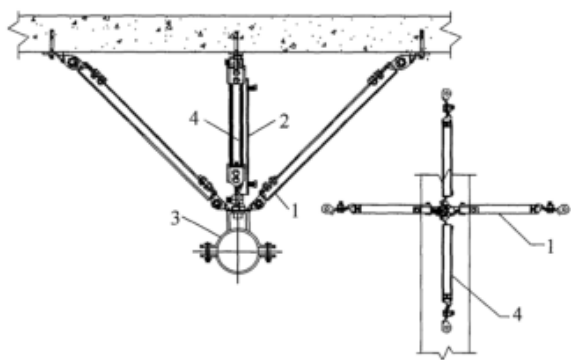
(f) 10kN 斜撐

1—电气管道;2—加固吊杆;3—側向抗震斜撐组件;4—縱向抗震斜撐组件

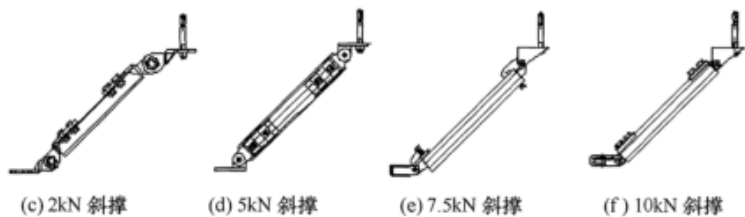
图 28 电气管道单側及单側纵向抗震支吊架示意图



(a) 側向抗震支吊架



(b) 縱向抗震支吊架



(c) 2kN 斜撐

(d) 5kN 斜撐

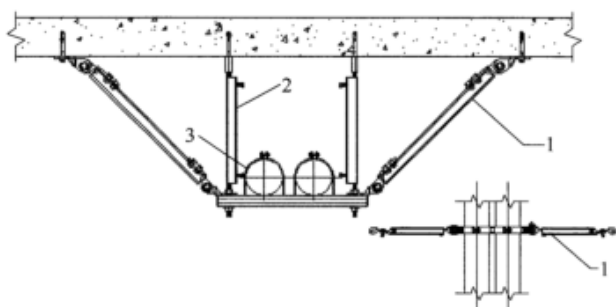
(e) 7.5kN 斜撐

(f) 10kN 斜撐

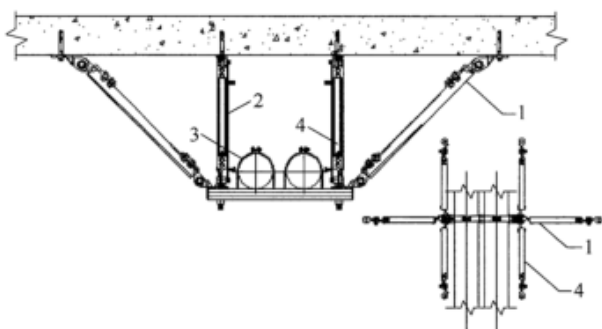
1—側向抗震斜撐組件；2—加固吊杆；3—抗震管束；4—縱向抗震斜撐組件

图 29 单管双侧及双侧纵向抗震支吊架示意图

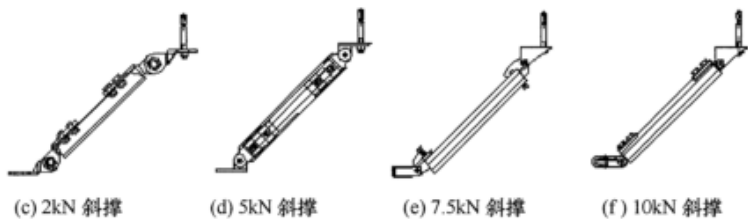




(a) 侧向抗震支吊架



(b) 纵向抗震支吊架



(c) 2kN 斜撑

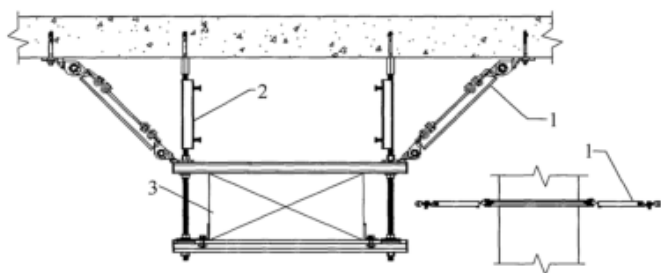
(d) 5kN 斜撑

(e) 7.5kN 斜撑

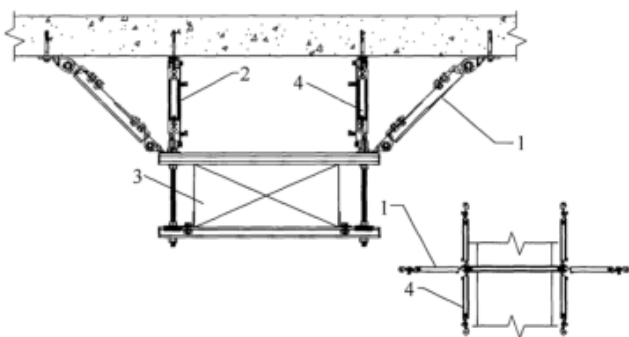
(f) 10kN 斜撑

1—侧向抗震斜撑组件；2—加固吊杆；3—抗震管束；4—纵向抗震斜撑组件

图 30 多管双侧及双侧纵向抗震支吊架示意图



(a) 側向抗震支吊架



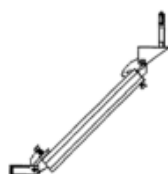
(b) 縱向抗震支吊架



(c) 2kN 斜撐



(d) 5kN 斜撐



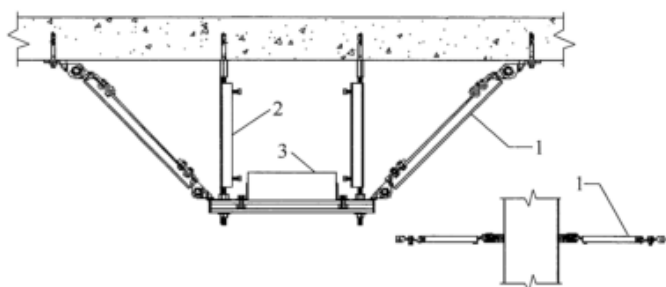
(e) 7.5kN 斜撐



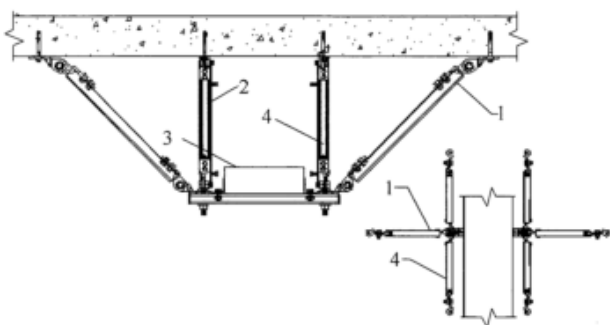
(f) 10kN 斜撐

1—側向抗震斜撐組件；2—加固吊杆；3—風管；4—縱向抗震斜撐組件

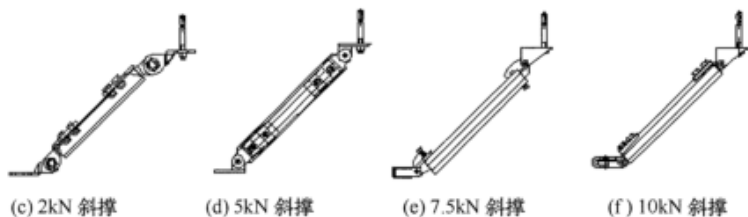
图 31 风管双侧及双侧纵向抗震支吊架示意图



(a) 側向抗震支吊架

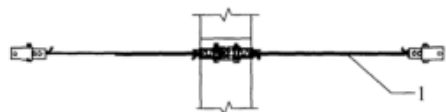
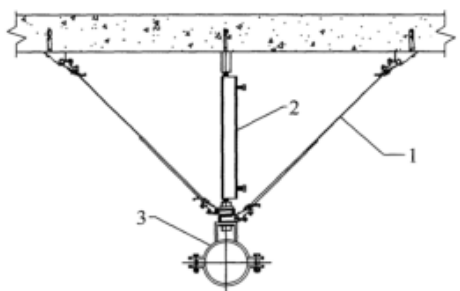


(b) 縱向抗震支吊架

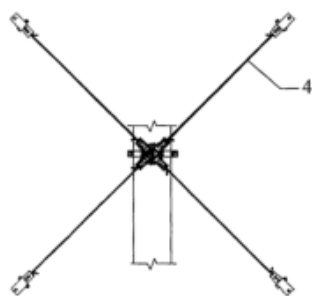
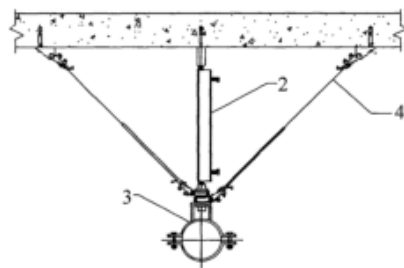


1—側向抗震斜撐组件; 2—加固吊杆; 3—电气管道; 4—縱向抗震斜撐组件

图 32 电气管道双侧及双侧纵向抗震支吊架示意图



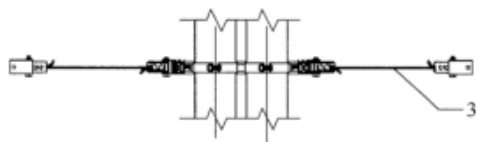
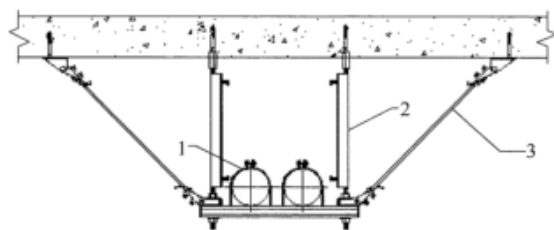
(a) 側向抗震支吊架



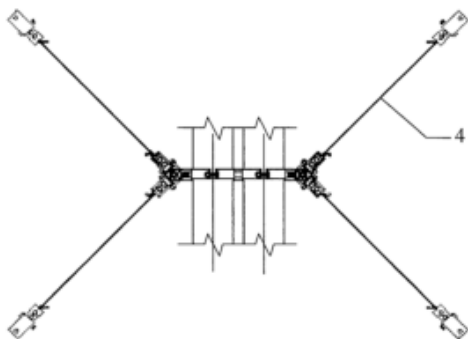
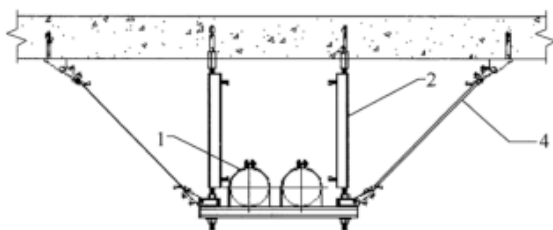
(b) 縱向抗震支吊架

1—側向抗震斜撐組件；2—加固吊杆；3—抗震管束；4—四向抗震斜撐組件

图 33 单管斜拉抗震支吊架示意图



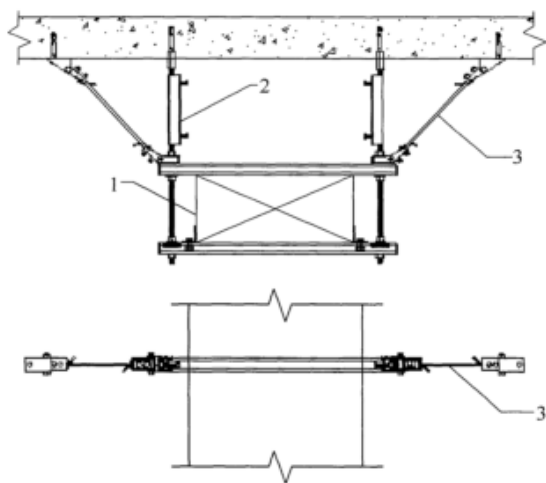
(a) 側向抗震支吊架



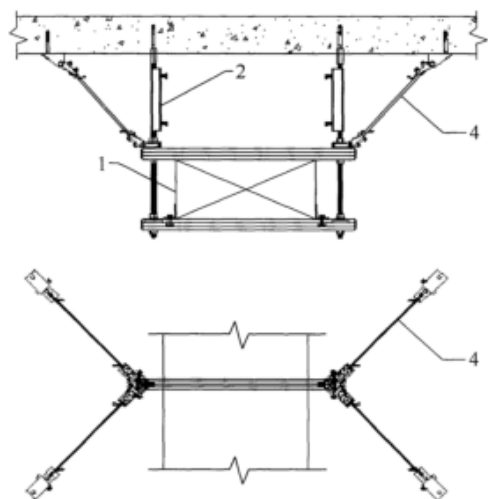
(b) 縱向抗震支吊架

1—抗震管束；2—加固吊杆；3—側向抗震斜撐組件；4—四向抗震斜撐組件

图 34 多管斜拉抗震支吊架示意图



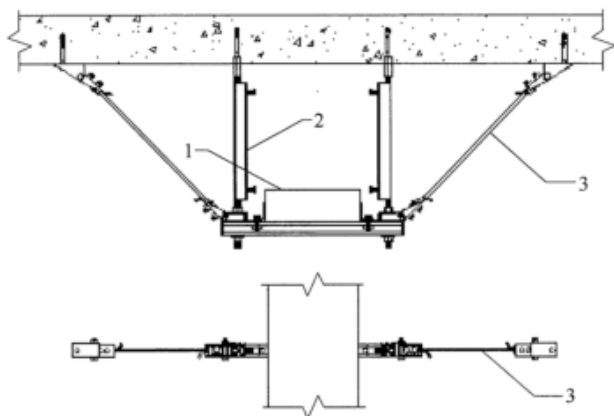
(a) 侧向抗震支吊架



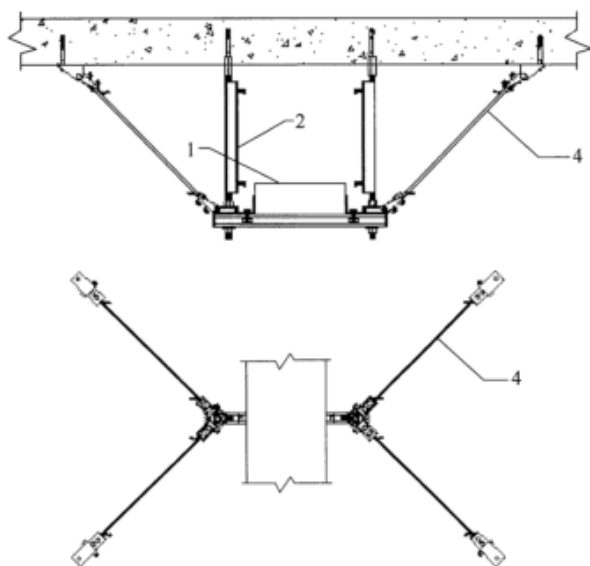
(b) 纵向抗震支吊架

1—风管；2—加固吊杆；3—侧向抗震斜撑组件；4—四向抗震斜撑组件

图 35 风管斜拉抗震支吊架示意图



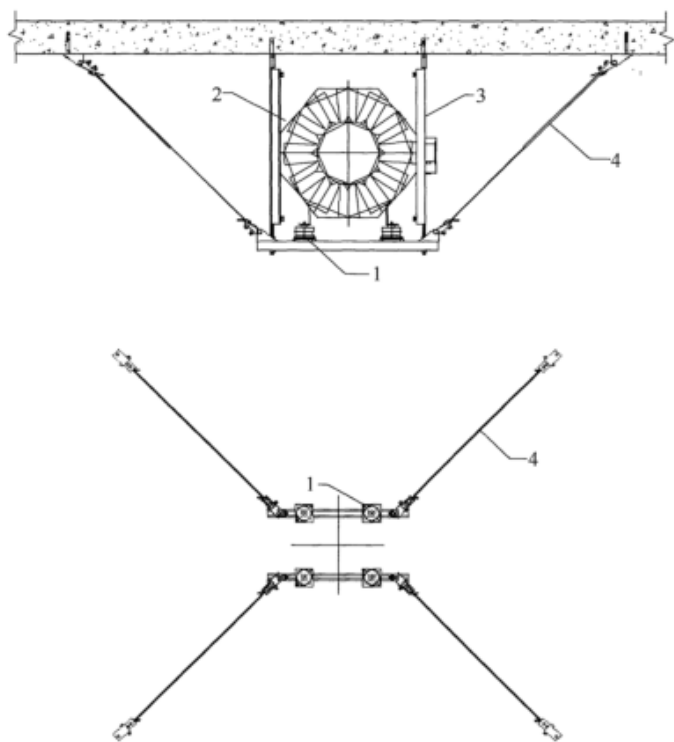
(a) 侧向抗震支吊架



(b) 四向抗震支吊架

1—电气管道；2—加固吊杆；3—侧向抗震斜撑组件；4—四向抗震斜撑组件

图 36 电气管道斜拉抗震支吊架示意图



1—隔振器；2—风机；3—加固吊杆；4—四向抗震斜撑组件

图 37 风机侧纵向抗震支吊架示意图



## 6 施 工

6.0.1 基于不同的结构、机电设备,抗震连接应满足设计及使用需求。承载能力、耐腐蚀能力、抗疲劳能力及耐火性能等均应满足现场实施与使用要求。

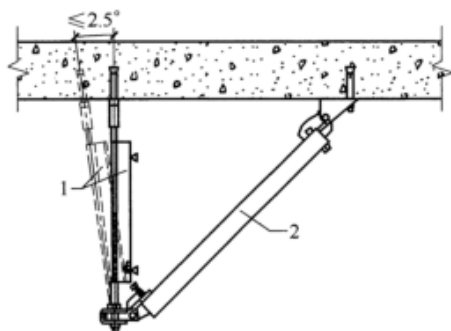
6.0.2 依据规范设计、施工、验收是确保工程质量的关键,因此机电抗震安装前产品选型、力学验算必须通过设计复核。

6.0.3 出厂时的成品构件具有稳定的性能,而现场加工制作无法保证产品力学性能及防腐性能。

6.0.4 产品暴露于高温、潮湿等恶劣环境中,易造成产品损坏。

6.0.5 由于杆件切割或加工时易造成防腐层破坏,故在工厂按尺寸生产镀锌的成套预装组件,可以保护锌层及提高施工效率。

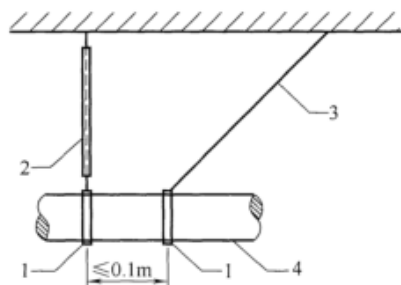
6.0.6 吊杆组件安装示意图如图 38 所示。



1—加固吊杆;2—抗震支撑

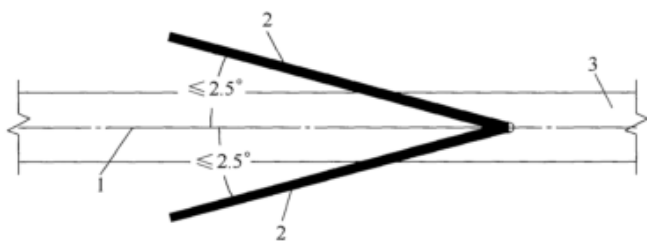
图 38 吊杆组件安装示意图

6.0.7 抗震斜撑组件与吊杆组件安装示意图如图 39 所示。



1—管夹；2—加固吊杆；3—纵向抗震斜撑组件；4—管道  
图 39 抗震斜撑组件与吊杆组件安装示意图

6.0.8 抗震斜撑组件安装示意图如图 40 所示。



1—纵向抗震斜撑组件；2—侧向抗震斜撑组件；3—管夹；4—管道  
图 40 抗震斜撑组件安装示意图

## 7 验 收

### 7.2 进 场 验 收

**7.2.1** 产品型式检验作为产品合格的基本依据,在材料进场时,除必须提供满足设计要求的产品型式检验报告外,还应对主要部件及组件单独进行委托检验或见证检验。

**7.2.2** 材料进场时随货同行的验收资料应符合质量要求及合同约定,如现场验收中出现质量存在疑异的产品时应进行抽样检验,对于首次抽检不合格产品应送权威检测机构复检,若复检不合格则判定该批次产品不合格。

## 8 运行、维护与信息化建设

### 8.2 信息化建设

8.2.5 建设单位、采购单位可通过信息化平台验证产品供应商。

## 附录 A 检测方法

### A. 2 组件力学性能检测方法

**A. 2. 10** 在抗震支吊架整体组件的性能验证中,测试荷载应除以抗震斜撑数量,获得单套抗震斜撑组件的实际荷载。

### A. 4 振动台试验方法

**A. 4. 4** 本条对迭代修正功能做出了规定。

(1)用迭代修正方法进行振动台试验的流程,具体步骤如下(图 41):

1)根据基本要求反应谱(RRS),生成包络反应谱的人工模拟加速度时程;

2)生成小幅值白噪声时程,采用此时程激励振动台、模拟试验框架和试验体,记录模拟试验框架上水平管道及抗震支吊架固定位置处响应,由激励和响应识别系统传递函数;

3)系统传递函数求逆得到修正增益函数,将人工模拟加速度时程乘以修正增益函数得到修正的人工模拟加速度时程;

4)采用修正的人工模拟加速度时程激励振动台、模拟试验框架和试验体,记录模拟试验框架上水平管道及抗震支吊架固定位置处响应,由响应计算试验反应谱(TRS);

5)校核振动台产生的试验反应谱(TRS)在试验频率范围内是否是基本要求反应谱(RRS)的 90%~130%,若满足,则表明试验反应谱(TRS)基本包络要求反应谱(RRS),试验完成;若不满足,则表明试验反应谱(TRS)不能基本包络要求反应谱(RRS),重复 3)、4)直到试验反应谱(TRS)基本包络要求反应谱(RRS)。

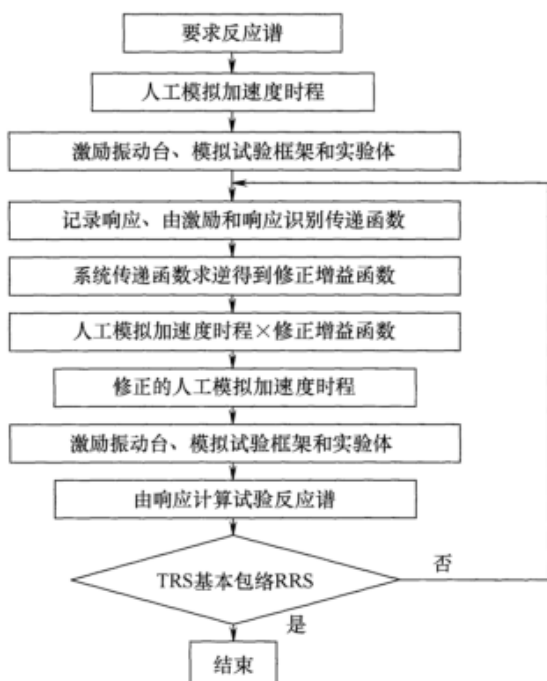


图 41 迭代修正方法流程图

(2)解耦迭代修正功能的过程如下(图 42):

1)根据多向要求反应谱(MRRS),生成包络反应谱的多向人工模拟加速度时程;

2)生成多向小幅值白噪声时程,采用此时程激励振动台(图 43)、模拟试验框架和试验体,记录模拟试验框架上水平管道及抗震支吊架固定位置处多向响应,由激励和响应识别系统传递函数矩阵;

3)系统传递函数矩阵求逆得到修正增益函数矩阵,将多向人工模拟加速度时程乘以修正增益函数矩阵得到修正的多向人工模拟加速度时程;

4)采用修正的多向人工模拟加速度时程激励振动台、模拟试

验框架和试验体,记录模拟试验框架上水平管道及抗震支吊架固定位置处多向响应,由响应计算多向试验反应谱(MTRS);

5)校核振动台产生的各个方向试验反应谱(TRS)在试验频率范围内是否全部对应要求反应谱(RRS)的90%~130%,若满足,则表明多向试验反应谱(MTRS)基本包络多向要求反应谱(MRRS),试验完成;若不满足,则表明多向试验反应谱(MTRS)不能基本包络多向要求反应谱(MRRS),重复3)、4)直到多向试验反应谱(MTRS)基本包络多向要求反应谱(MRRS)。

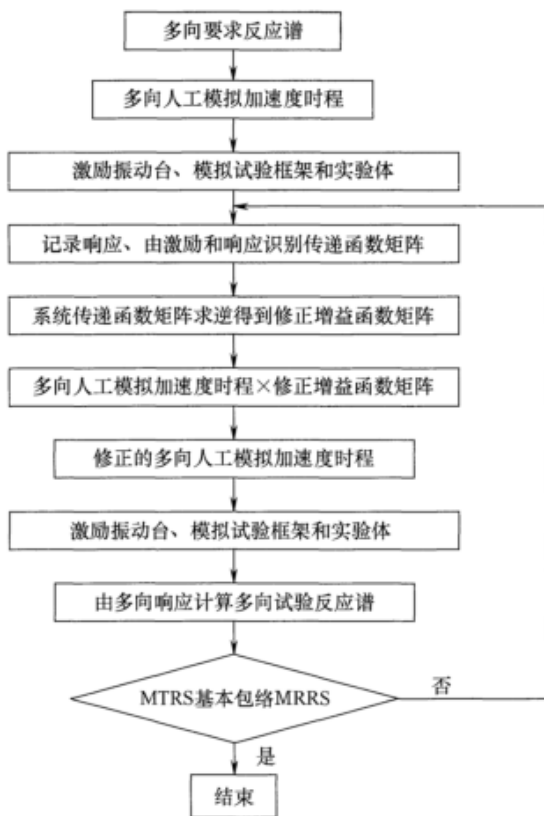
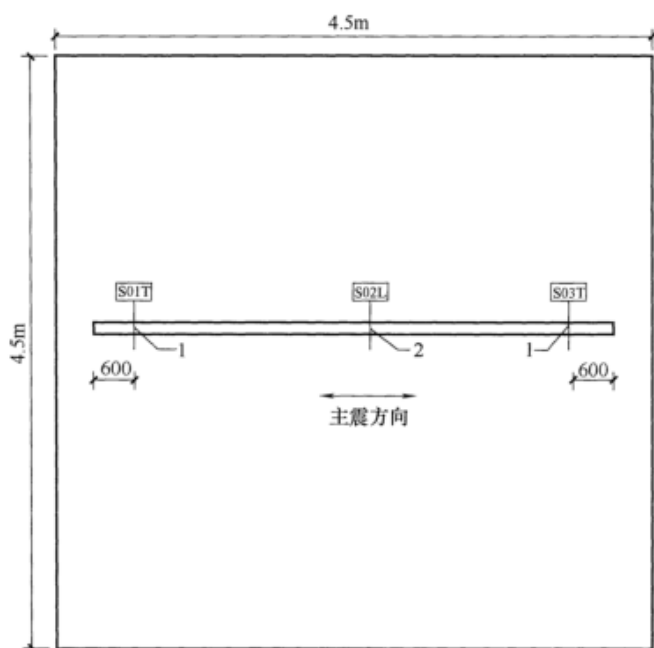


图 42 解耦迭代修正功能流程图



1—侧向抗震支吊架；2—纵向抗震支吊架

图 43 振动台试验示意图