
建筑设备抗震设计指南

日本设备抗震设计委员会编著

李先瑞 杨晓鸥 耿花荣 译

一九九一年·一

序 言

近些年来,为了改善生活环境条件和适应建筑形式多样化、充分利用建筑物空间的要求,在建筑物内设置方便生活,维持空间各种功能和确保防灾的建筑设备的重要性显得重要了。它表明依靠建筑设备的倾向越来越显著,今后将更重要。地震时不仅会破坏建筑结构,还会破坏建筑设备,因此必须确保建筑物具有综合的抗震性能。对建筑设备采取抗震措施,确保建筑物的使用功能,已被社会所公认。

1978年宫城县地震(M7.4)及近年来日本发生的地震灾害表明,地震不仅损伤建筑物的结构主体,而且高架水槽的倒塌,空调机器的移动等也直接破坏了建筑设备,并使给排水管、冷热水管、煤气管断裂等等,给生活造成了许多麻烦。这是一个社会问题。它揭示了直接保证建筑物具有高度化、多样化功能的建筑设备的重要性。从而也表明了对建筑设备采取抗震措施的重要性。

本学会对1978年6月12日发生的“1978年宫城县地震”进行了被害调查。之后,为了对设备采取有效的抗震措施,成立了设备抗震设计委员会。该委员会分为“配管分科会”和“机器分科会”,在1981年1月,委员会提交了包括有关设备抗震技术在内的设计、施工所需的手册“建筑设备抗震设计指南(案)”的报告书,连载在本学会杂志第55卷第4号~第5号,同时在同年秋天,召开了学术讨论会,听取了本学会会员的意见,并积极推广了设备抗震技术。

除本学会设备抗震设计委员会的活动之外,(财)日本建筑中心也以建筑设备抗震技术委员会编制的建筑标准法施行令及告示等作为指导书籍,发行了“建筑设备抗震设计、施工指南(1982年版)”。在本学会的指南(案)中包括了上述指南内容在内的具体的丰富的技术内容,并以它们作为本学会在抗震技术上的指导书。有关设备抗震设计中,最基本的因素,即设计用震度,建筑物和设备机器等的响应倍率及设备重要性降低系数等值,通过建筑抗震结构学、机械安全工程学及建筑设备抗震学各界学术专家的研究后,规定了我国建筑设备抗震设计中的取值。但是,在使用这些值的同时,与本学会其他相关的设备团体(日本内燃发电设备协会、日本电气设备工业协会、强化塑料协会等)进行了协商,统一了取值和计算方法。这些工作对建筑设备抗震设计,施工技术都具有重大的意义。同时还可相互采用各自的有关设备的抗震措施及计算方法及吸取各自的优点。

“建筑设备抗震设计指南(案)”发表之后,官厅及各团体、协会等相继发表了有关设备抗震设计的指南。参照其有关内容,采用了前面所述的设计用震度,设计用地震力以及有关设计用的系数,采用与建筑设备预埋件及吸收变位接头有关的HASS的内容,从整体对设备抗震进行了重新研究后,发行了这本“建筑设备设计指南和解说”。可以说本指南是本学会委员会共同的研究成果,而且与日本有关建筑设备抗震措施的各种规范紧密相联。本指南介绍了基本技术,也介绍了应用技术。若本指南能够促进提高建筑设备的抗震性能,则甚为荣幸。但是,使用时并不能只是盲目地采用本指南的数值,而是要弄懂基本想法,谨慎、细致地进行设计和施工,只有这样,才能确保设备的抗震性能。

本指南的制作、出版,承蒙下列各委员的帮助,在此表示衷心的感谢。

1985年10月

关于编制指南的要点

有各种各样的建筑设备,但是本文所指的设备是空调设备,换气设备、给排水、卫生设备以及以这些设备为基准的设备。在以这些设备为基准的设备中,有排烟设备、消防设备及煤气供给设备等等。总体上可分为机器设备和配管设备。

作为设备抗震设计的目标,是在发生频度较高的中地震时不破坏建筑设备;在发生大地震时,应保持机器设备的性能以保证包括与防灾系统相关的重要建筑物的使用功能;即使一般设备遭受了一些破坏,也应在地震后迅速地恢复它们的功能。

在分析地震力时,以建筑物和设备之间相关的动态状态为基础,基本上采用简便的允许应力设计法。

在地震加速度为300Gal时,以设计用水平震度为标准的设计用标准震度为0.3。实际应用上,设计水平震度的标准一层以下为0.4,屋面层为1.0,采用插入法计算出建筑物中间的数值。

采用设计用水平震度的值乘以设备振动相对于地板面的响应倍率和设备的重要性系数后即求出了水平震度。

以水平震度为基础,求出机器本体的地震力,但是,对于建筑物和设备 and 支撑材料的连接部以及由连接构件组成的高架台等,原则上,同时还应考虑垂直方向的地震力。

地震时必须使配管等具有跟踪建筑物层间变位的能力。层间变形角的界限值为1/200,但是若某些建筑物超过该值时,则希望与结构设计人员协商确定该值。

计算基础螺栓允许拉力值的依据,虽然与「家庭用发电设备抗震指南」(日本内燃发电设备协会),「建筑设备抗震设计、施工指南(1984年版)」(日本建筑中心)相同,但是对于安装在混凝土基础上的基础螺栓,为了便于使用,本指南以图表表示,但是设备抗震设计的资料完全相同。建筑设备用预埋件(以下简称预埋件),是根据本学会标准化的HASS009的资料编制的。

吸收变位管接头,与预埋件同样都是本学会的标准化产品。它们应符合“HASS006”金属管吸收变位管接头“HASS007机械形吸收变位管接头”,“HASS008橡胶吸收变位管接头”中的规定,但是,在设备抗震设计方面希望灵活使用。

本指南中涉及的设备的范围是指设置在距离地基表面60米以内的建筑物中的设备及前面所述的设备机器和配管等的安装及装配。机器和配管可固定在建筑物上,或者设置防振装置,在发生地震时,原则上应通过抗震限制器使机器不发生移动、翻倒的现象。因此,不固定在建筑物上的设备,可以自由移动非固定的设备器具等,不包括在本指南内。此外,有关设备机器类本体的抗震性能应由制造工厂确认。

对于建筑设备中的轻型机器(例如100kg以下),可按照机器制造工厂指定的抗震安装方法装配机器,此时,可不遵守本指南抗震设计的规定。但是,应确实按照制造工厂的指定方法安装和装配。

大地震时,为了尽量减少设备等遭受破坏,建筑物和设备等之间的连接部分,应确保韧性。在使用脆性高的材料时,为了避免发生脆性破坏,最好选定具有充分耐力的材料。

按照设备抗震设计的要求进行施工时,应细心地遵照抗震设计的基本方针进行施工。

最后,编制本指南时,采用了建筑设备各个部门提供的文献资料,在此表示感谢。

目 录

第一编 总 论

1. 建筑设备抗震设计的适用范围	(1)
2. 抗震设计、施工的目标	(1)
3. 设计用地震力	(2)
4. 允许应力的设计	(6)
5. 设备抗震的计划	(7)
6. 防止设置机器的地面部分与机器等发生共振的现象	(7)
7. 设备抗震的基本设计顺序	(8)

第二编 机 器

1. 基本事项	
1.1 适用范围	(9)
1.2 一般注意事项	(9)
2. 设计顺序和条件	
2.1 设计顺序	(10)
2.2 设计条件	(11)
3. 各部分的设计	
3.1 设计方针	(19)
3.2 固定螺栓等的种类和允许拉力	(19)
3.3 基础	(43)
3.4 固定机器的固定螺栓	(47)
3.5 抗震限制器	(50)
3.6 顶部支撑材料	(56)
3.7 高架台	(58)
4. 设计指南	
4.1 抗震设计顺序	(62)
4.2 基础	(63)
4.2.1 混凝土基础的施工要领	(63)
4.2.2 基础的种类	(64)
4.2.3 独立基础的选定法	(64)
4.3 固定螺栓的选定	(64)
4.3.1 固定螺栓拉力的运算	(64)
4.3.2 固定螺栓的选定	(64)
4.3.3 各种固定螺栓的允许拉力	(66)
4.4 架台	(66)
4.5 机器抗震安装标准图	(66)
4.5.1 非防振设置机器	(66)
4.5.2 防振设置机器	(69)
4.6 计算例题	(72)
4.6.1 机器重心位置的计算例	(72)

4.6.2 吸收式冷冻机	(73)
4.6.3 箱式空调机	(75)
4.6.4 防振设置泵	(76)
4.6.5 防振设置风机	(78)
附表: 建筑设备抗震设计符号、单位的说明	(79)

第三编 配管和风管

1. 基本事项

1.1 适用范围	(82)
1.2 一般注意事项	(83)

2. 设计顺序和条件

2.1 设计顺序	(85)
2.2 设计条件	(86)
2.3 允许应力	(91)

3. 各部分的设计

3.1 配管系统抗震设计	(94)
3.1.1 设计方针	(94)
3.1.2 配管本体的研究	(96)
3.1.3 支撑构件的设计	(106)
3.1.4 与结构主体连接部分的设计	(111)
3.1.5 预埋铁器的设计	(112)
3.2 与机器连接部分的抗震设计	(115)
3.2.1 设计方针	(115)
3.2.2 抗震支撑方法	(117)
3.3 建筑物的伸缩缝部分	(118)
3.3.1 设计方针	(118)
3.3.2 抗震支撑方法	(123)
3.4 导入建筑物部分的抗震设计	(123)

4. 设计指南

4.1 配管系统	(123)
4.1.1 设计指南的使用顺序	(123)
4.1.2 决定地震力的方法	(124)
4.1.3 水平配管的抗震支撑间距	(124)
4.1.4 垂直配管的应力度计算	(127)
4.1.5 计算垂直配管层间变位产生的反力	(127)
4.1.6 抗震支撑材料	(127)
4.1.7 安装在结构主体上的固定螺栓的允许荷载	(163)
4.2 与机器的连接部分、建筑物伸缩缝部分、导入建筑物部分	(163)
4.2.1 设计指南使用顺序	(163)
4.2.2 选定吸收变位接头的标准	(163)
4.2.3 标准图	(165)
4.3 计算例	(165)
4.3.1 水平配管	(165)

4.3.2 垂直配管	(175)
4.3.3 与机器的连接部分	(180)
4.3.4 建筑物的伸缩缝部分	(187)

附 录

附表—1 配管(煤气管(SGP)空管)	(189)
附表—2 配管(煤气管(SGP)满水管)	(190)
附表—3 配管(压力配管用炭钢钢管(STPG Sch 40)满水管)	(190)
附表—4 钢材(等边角钢的标准截面尺寸和其截面积、单位重量、截面特性)	(191)
附表—5 钢材(槽钢的标准截面尺寸与其截面积、单位重量、截面特性)	(192)
附表—6 钢材(条钢的标准截面尺寸及其截面积、单位重量)	(193)
附表—7 钢材(圆钢)	(194)
附表—8 型钢的形式、螺栓间距、最小边距	(195)
附表—9 配管的允许应力度	(196)
附表—10 钢材的允许应力度	(196)
附表—11 螺栓的允许应力度	(196)
附表—12 水平配管的最大抗震支撑间距(直管的计算结果)	(197)
附图—1 根据地震力计算的应力计算图(SGP空管、焊接连接时)	(198)
附图—2 地震力产生的应力计算图(SGP空管、螺纹连接时)	(198)
附图—3 地震力产生的应力计算图(SGP满水管、焊接连接时)	(198)
附图—4 地震力产生的应力计算图(SGP满水管、螺纹连接时)	(199)
附图—5 地震力产生的应力计算图(STPG Sch 40满水管、焊接连接时)	(199)
附图—6 建筑物层间变位产生的应力(SGP、STPG、焊接连接时)	(199)
附图—7 建筑物层间变位产生的应力(SGP、STPG、螺纹连接时)	(200)

第一编 总 论

1. 建筑设备抗震设计的适用范围

(1) 本指南中的建筑设备是指设置在距离地基表面高度小于60m的建筑物中的空调设备, 通风设备以及给排水、卫生设备等(可简称为设备)。

(2) 本指南主要介绍前项所指的设备机器配管等的安装以及支撑部分的抗震设计法。

〈解说〉

(1). 根据建筑标准法施行令(简称建标令), 距离地基表面高度大于60m时, 与一般的结构不同, 因此, 规定本指南的适用范围为按一般的结构和构造方法设计的, 距离地基表面高度小于60m建筑物内的设备。

(2). 适用范围为下述a)~d)项所示的设备, 用途功能不重要的临时设置建筑物中的设备等除外。

a). 容纳许多人的建筑物中的设备等。

b). 即使地震后, 也应保持功能的建筑物中的设备。

c). 收藏大量危险物品的建筑物中的设备。

d). 由于发生二次灾害, 有可能给建筑物的功能、用途带来障碍的某种设备等。

(3). 有各种各样的建筑设备。本指南在以空调设备、通风设备、给排水、卫生设备为中心的同时, 还包括以这些设备为基准的排烟设备、消防设备、煤气供应设备等。

(4). 设备等的抗震措施是以机器、配管等的安装及支撑等为主要对象。

从抗震措施方面考虑, 在制造、组装一般的机器及配管时, 要求它们具有充份的强度和刚性, 关于机器主体, 原则上是以不能因为地震而损害它们的结构为前提, 本指南内不直接涉及这些问题。

2. 抗震设计、施工的目标

本指南的目标是在确保地震后建筑物中设置的重要设备机能的同时, 直接或间接地保障人身安全和财产安全。

〈解说〉

(1). 对于中等地震, 抗震设计、施工的目的原则上是使所有的设备功能不受损害; 对于大地震, 抗震设计、施工的目的是在考虑建筑物社会的重要性之后, 为了确保建筑物的使用目的及维持功能, 必须维持这类重要设备的功能及保障人身安全方面必要的设备功能, 其二是对于容易发生二次灾害的设备, 在采取防止损伤及采取安全对策的同时, 应停止运转防止发生二次灾害。

(2). 为了维持设备的性能, 对应于设备的重要程度, 希望机器及配管等系统采取同等的

抗震措施。

另外,对采取抗震措施设备的周围设置物,还应采取同等程度的抗震措施,以免这类设置物掉下,翻倒而损坏该设备系统。

3. 设计用地震力

(1).设备等的设计用地震力中有水平地震力和垂直地震力。原则上,以上两种地震力同时作用在机器类的安装,支撑部分的固定部分以及混凝土基础和结构体部分。

(2).选定设备配管等支撑铁器的设计用地震力仅考虑水平地震力。必要时,可同时考虑垂直地震力。

(3).原则上设计用水平地震力 F_H 作用于机器等重心,其值如下列公式所示,为设计用水平震度 k_H 乘以机器等的运转重量。

$$F_H = k_H W \quad (1)$$

式中:

k_H : 设计用水平震度

W : 机器等的运转重量(kg)

(4).在必须考虑设计用垂直地震力 F_V 时,按下列公式计算。

$$F_V = (1/2)F_H \quad (2)$$

〈解说〉

(1).在考虑动态效果的修正震度法中,设计用水平震度 k_H 可以根据区域系数 Z 、设备重要性系数 I ,表示建筑物地面响应倍率的系数 k_1 ,表示设备机器等响应倍率的系数 k_2 ,设计用标准震度 k_0 求出。通常 k_H 值按下列公式计算。

$$k_H = Z I k_1 k_2 k_0 \quad (I.1)$$

(2).根据建筑标准法施行令第88条的规定,区域系数 Z 为昭和55年(1980)建设省告示第1793号规定的数值。

表I.1表示 Z 的数值。

(3).设备的重要性系数 I 是考虑设备使用功能方面重要性的系数,如表I.2所示。即按某种比例减轻设计用作用力,其目的是与设备系统抗震设计的要求相平衡。

a. $I=1.0$ 时,即,对人身安全有直接影响时,即使发生了大地震,也要求与防灾设备相关的设备防止二次灾害。对于饮用水槽等,根据各种建筑物使用功能的要求,而对于医院设施等,根据维持生活的重要性的要求,设计时以 $I=1.0$ 。

b. $I=2/3$ 时的目标是在发生中地震时也不要损伤一般的设备。一般来说,发生频度较高的中小地震的地震加速度为80~250Gal,极其偶然才发生的大地震为250~400Gal。即,中地震动的地动加速度大致为大地震动的2/3左右。由此,本指南以在中地震时不损害一般设备为目标的设备的重要性系数 I 为2/3。

在以一般设备等的重要性系数($I=2/3$)的条件下选定安装、装配部分的钢材,即若地震是300Gal时,虽然钢材部分有可能发生塑性变形,但是设备机器的移动不大。若能迅速恢复,则仍可采用该值。

表-1.1 地域系数Zの数值

	地 方	Zの数值
①	②~④以外的地方	1.0
	北海道内, 札幌市・函馆市・小樽市・室蘭市・北见市・夕张市・岩见沢市・网走市・苫小牧市・美 唄市・芦别市・江别市・赤平市・三笠市・千岁市・滝川市・砂川市・歌志内市・深川市・富良野市・ 登别市・惠庭市・伊达市, 札幌郡・石狩郡・厚田郡・浜益郡・松前郡・上磯郡・龟田郡・茅部郡・山 越郡・松山郡・雨志郡・久远郡・奥尻郡・濑棚郡・乌牧郡・寿都郡・磯谷郡・虻田郡・岩内郡・古宇 郡・积丹郡・古平郡・余市郡・空知郡・夕张郡・桦戸郡・雨竜郡, 上川郡(上川支厅)の东神乐町・上 川町・东川町及美瑛町, 勇払郡・网走郡・斜里郡・常吕郡・有珠郡・白老郡 青森县内青森市・弘前市・黑石市・五所川原市, 东津轻郡・西津轻郡・中津轻郡・南津轻郡・北津 轻郡・下北郡	
	秋田县	
	山形县	
	福岛县内, 会津若松市・郡山市・白河市・须贺川市・喜多方市, 岩瀬郡・南会津郡・北会津郡・耶 麻郡・河沼郡・大沼郡・西白河郡	
	新潟县	
	② 富川县内, 鱼津市・滑川市・黑部市, 下新川郡	0.9
	石川县内, 轮岛市・珠洲市, 鳳至郡, 珠洲郡	
	鸟取县内, 米子市・仓吉市・境港市, 东伯郡・白伯群・日野郡	
	岛根县	
	冈山县	
	広島县	
	德岛县内, 美马郡・三好郡	
	香川县内, 高松市・丸龟市・坂出市・普通寺市・观音寺市, 小豆郡・香川郡・绫歌郡・仲多度郡・ 三丰郡	
	爱媛县	
	高知县	
	熊本县(③市及郡除外)	
	大分县(③市及郡除外)	
	官崎县	
	北海道内, 旭川市・留萌市・稚内市・纹别市・士别市・名寄市, 上川郡(上川支厅)内鷹栖町・当麻 町・比布町・爱别町・和寒町・剑渊町・朝日町・风连町及下川町・中川郡(上川支厅), 増毛郡・留萌 郡・苫前郡・天盐郡・宗谷郡・枝幸郡・礼文郡・利尻郡・纹别郡 山口气 福冈县 ③ 佐贺县 长崎县 熊本县内・八代市・荒尾市・水俣市・玉名市・本渡市・山鹿市・牛深市・宇土市・饱託郡・宇土郡 ・玉名郡・鹿本郡・苇北郡・天草郡 大分县内, 中津市・日田市・丰后高田市・杵筑市・宇佐市, 西国东郡・东国东郡・速见郡・下毛郡 ・宇佐郡 鹿儿岛县(名瀬市・大岛郡, 除外)	0.8
④	冲绳县	0.7

表-I.2 设备等的重要性系数I及适用范围

I数值	分 类	适 用
1.0	必须采取充份的抗震措施	1) 防灾设备的机器等 2) 由于破损可能诱发产生重大二次灾害的机器和配管等。 3) 重要的设施(例如医院等)的饮用水槽等。
2/3	必须采取一般的抗震措施	1) 一般用途的空调设备、通风设备、给排水、卫生设备的机器和配管等。 2) 一般用途的饮用水槽等
1/2	抗震措施可低于一般要求的设施	1) 设备功能的目的是与社会生活及维持日常生活没有直接关系,从功能上看也不是重要的设备等的机器和配管等。 2) 设置在临时建筑物的设备等

c. $I=1/2$ 时, 相当于设计标准震度0.3的1/2倍, 即0.15G。此时, 可以认为在中地震及震度稍低的地震条件下, 不破坏设备等, 或破坏部分设备, 在中地震震级较高时, 可能或多或少发生破坏设备现象。 $I=1/2$ 值适用范围是, 与一般社会生活及维持日常生活没有直接关系, 从设备功能上看也不直接是重要的设备。例如, 临时建筑物内采用的设备等。

d. 输入地表面的地动力(地动加速度[Gal])有强有弱。将气象厅震度级V称为强震, 做为参考的地震加速度为80~250Gal。震度级VI称为烈震, 为250~400Gal。

中地震时一般设备的表现相当于气象厅V级震度级, 若用地动加速度表示, 则本指南中所说的中地震的强弱程度为200~250。这时, 设备等的安装部分、支撑部分等不产生破坏现象, 或既使发生若干破坏, 也是由于支撑部分等的塑性变形而发生偏移的现象, 一旦经过事后的检查, 并根据需要做些应急处理等修补之后, 就可以确保该设备的功能。

对于重要性高的设备, 原则上是在大地震时, 也应确保设备的功能, 若与气象厅震度级相对应, 则相当于VI烈震级。即, 参考VI级地震, 则地动加速度为250~400Gal, 由于 $I=1.0$, 输入地动力等于或小于400Gal时, 安装部分, 支撑部分等也不会发生破坏事故, 或即使发生破坏事故, 只要事后经检查采取应急处理之后, 就可以确保设备的功能。另外, 几乎不会发生与人身安全有关的二次破坏现象。

(4). 表示建筑物地面响应倍率的系数 k_1 , 是为了反映设置机器位置的高度对距离地面的设计用地震力影响的系数。对于建筑物来说, 地震时越是上层, 响应加速度越大。

本指南中, 其值如图-I.1所示。

即, 可用下列公式表示。

$$k_1 = \begin{cases} 1 + (A_B - 1)(h/H) & \text{地上层} \\ 1 & \text{地表及地下层} \end{cases}$$

式中:

H : 建筑物的地面高度[m]

h : 设置机器等层的地面高度[m]

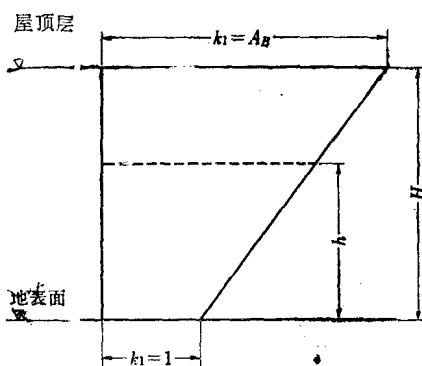


图-I.1 k_1 的值

注: 钢结构时 $H=20\text{m}$ 以下

$$A_B = 10/3,$$

钢筋混凝土结构, 劲性钢筋混凝土结构 $H=30\text{m}$ 以下 $A_B = 10/3$

A_B : 表示建筑物顶部响应倍率的系数, 在建筑物固有周期 T_B (s)的范围内, 按下列公式计算(参照图I.2)。

$$A_B = \begin{cases} 10/3 & : T_B < 0.6 \\ 10/3 - (2/3)(T_B/0.6 - 1)^2 & : 0.6 \leq T_B < 1.2 \\ 3.2/T_B & : T_B \geq 1.2 \end{cases}$$

式中, 建筑物固有周期 T_B (s), 可用下列公式计算。

$$T_B = (0.02 + 0.01\alpha)H$$

这里, α 是建筑物中钢框架结构的大部分由柱及梁组成的楼层(除地下室外)的高度之和与 H 之比。

地上层都是由钢框架结构构成时, $\alpha=1$; 地上层都是钢筋混凝土结构或者是钢骨钢筋混凝土结构时 $\alpha=0$ (参照图-I.3)。

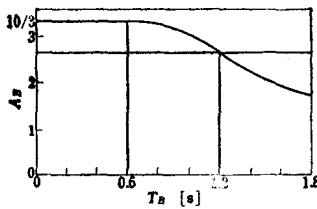


图-I.2 与 T_B 值相应的 A_B 值

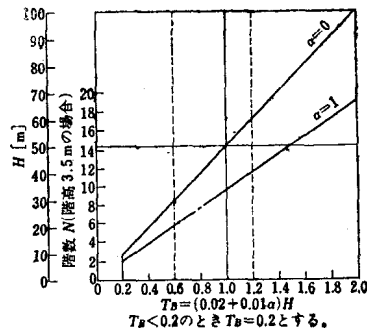


图-I.3 相应于层高的 T_B 值

(5). 表示设备机器等响应倍率的系数 k_2 , 是在建筑物地面响应加速度的作用下, 机器等产生响应加速度的倍率。机器等的内部结构部分及安装部分为一种弹性振动系统, 地震时作用于安装在建筑物的地面及墙上的机器等的响应加速度等随机器等的固有振动频率及衰减系数的变化而变化。

表-I.3 表示设备机器等响应倍率的系数 k_2 值

分 类	适用的机器等	k_2 值	补 充
直接固定在基础上的机器等	刚性机器	1.0	1) 刚性机器为: 制冷机、锅炉、泵等。 2) 铁制箱式机器有: 组装式空调装置, 柜式空调机, 风机盘管装置, 控制盘等。
	铁制箱式机器	1.5	
	槽类	1.5	
介于防振装置之间, 设置限制器安装机器等 以及固定在高架台上的机器等	刚性机器	1.5	
	铁制箱式机器	1.5~2.0	
	槽类	1.5~2.0	
固定支撑的配管等不产生较大的横向振动	配管等	1.0	

表中除带防振装置的之外 $k_1 k_2 k_0$ 的值超过1.5的时候, 取值为1.5。

因此，在基础上直接固定时或中间有防振装置时，或安装在钢框架高架台上等不同安装方法时， k_1 值随安装法不同而异。另外机器与建筑物的共振状况不同，其值也不同。

从设备机器等的振动实验中，可以获得机器等的固有振动频率 f_m [Hz]，但不具备所有机器的资料。在没有实验资料时，可以采用表-I.3所示的值。表中列出了 k_2 值，供各编参考。

一般以重心位置的响应倍率代表该机器的数值，但是，安装在地面时，机器类顶部的 k_2 值约增大3~8倍。重心位置 k_2 值随固定方法不同而异。但在实验中，有超过2.0的例子。从实用上看，最高的 $k_2 \leq 2.0$ 。

k_2 值与建筑物一次固有周期 T [s] ($T=1/f_b$) 有关。即，与建筑物固有振动频率 f_b (Hz) 和机器的固有振动频率 f_m (Hz) 之比 f_b/f_m 有关， T 值如图-I.4所示。

$$f_b = 1/T_B$$

式中， $f_b > 5$ 时，取 $f_b = 5$ 。

当已知机器等的 f_m (Hz)时，可通过图-I.4求 k_2 。另外 $f_b > 15$ 时， $k_2 = 1$ 。

(6). 对于固定支撑不产生太大的横向振动的配管类，表-I.3的 $k_2 = 1.0$ ，在像配管那样为棒状连接体时，作用于支撑部分的响应加速度可减轻至0.6左右，因此设定了作用于配管类支撑部分的上限 k_H ，本指南规定 $k_H \leq 1.0$ 。

(7). 设定了设计用水平震度 k_H 的下限值。这是因为地震动的短周期成份对建筑物1层和地下室的影响远远大于固有振动频率，这是因为10Hz左右固有振动频率常常容易与机器产生共振状态。因此本指南中规定，对于必须有充分抗震措施的机器($I=1.0$)， $k_1 k_2 k_0$ 的乘积不能低于0.6，

对于设置一般抗震措施的机器($I=2/3$)，不能低于0.4。

(8). 所谓设计用标准震度 k_0 ，指的是相当于作为抗震设计标准值的地动的震度值。当地动加速度为300Gal(cm/s^2)时，该值为0.3。

(9). 在必须考虑设计用垂直地震力 F_v 时，其值为设计用水平地震力 F_H 的1/2。从以往地震记录中， F_v 值多为 F_H 的1/3~1/2，但是，在垂直向下型地震中，可能超过 F_H 的1/2，所以规定为 F_H 的1/2。

(10). 用 $F = m\alpha$ = “质量×作用于重心的加速度”表示地震力，由于质量 $m = W/g$ = “重量/重力加速度”，所以为 $F = (\alpha/g)W = kW$ 。设计用水平震度 k_H 是用作用于机器重心的水平方向加速度 α 除以重力加速度 g 表示的无因次系数。

4. 允许应力的设计

(1). 设计设备机器等的安装、支撑等部分时，原则上应使作用于机器等处地震力在各构件上产生的应力和经常作用的应力之和不超过短期允许应力。关于固定螺栓等的容许张拉荷载，应符合第I编的规定。

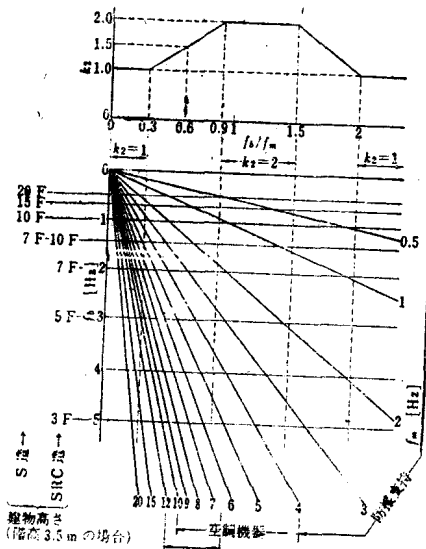


图-I.4 相应于 f_b/f_m 的 k_2 值

(2) 承受经常荷载的构件，应不超过长期允许应力，承受经常荷载和地震荷载的构件应不超过短期允许应力。

〈解说〉

(1) 钢材等允许应力的标准值一般为接近应力—应变曲线弹性界线点偏上一些的下屈服点的值。对于屈服点不明确的材料，通常以偏移0.2%的值作为标准。

(2) 一般钢材允许应力的标准强度为应力—应变曲线的下屈服点的值。该允许应力的标准强度已登载在1980建设省告示第1794号上。这类钢材长期允许应力的1.5倍即为短期允许应力(与1980年建设省告示第1794号所登载的标准强度的值相同)。

(3) 混凝土短期允许压应力一般为混凝土设计标准强度的2/3。短期允许压应力为长期允许压应力的2倍。

作用于构件上的力有因外力而产生的张力、压力、弯曲、剪切或上述两种力同时作用时组合产生的力等类。

5. 设备抗震的计划

(1) 在计划机器等的布置方案时，应使布置有效。①应布置在地震力及变位量较小的一层及以下的层内，②布置时应确保有易于进行检查和修理机器的空间，③应尽量地在不发生二次灾害破坏的场所布置机器。

(2) 结合使用脆性材料的韧性材料时，由于变形随韧性不同，脆性材料方面容易发生破损，对此，应加以注意。

(3) 螺栓与点焊接等连接点处，其构件大小应具有构件强度，还应尽量留有余量，使之充份连接，并注意局部不要集中应力。

(4) 地震时，中间有防振装置的机器等，容易大幅度摇动，对此应加以注意。

〈解说〉

(1) 一般，多层建筑物的低层，地震引起的加速度及建筑物的变位量较小。因此，从抗震上看，希望重要的机器等布置在1层或以下的层。

通过建筑物伸缩缝部分的配管等，也希望布置在变化量少的一层及以下的层。

(2) 地震后，原则上应进行确认检查，但是最好应预留必要的便于检查的空间。

(3) 连接部分越是刚性连接越好。面状连接优于点连接，角部使用加固材料(加强肋)及斜杆，使之具有更大的刚性。

(4) 对于有防振装置的机器等，设置限制器，以便于尽量限制地震时机器的摇动。即使设置限制器，机器主体、特别是接近顶部的地方仍会剧烈摇晃。因此应注意它们对附属配管等带来的影响。

6. 防止设置机器的地面部分与机器等发生共振的现象

应注意不要使设备机器、配管类等与建筑物发生共振现象。

〈解说〉

一般来说，至建筑物屋顶的高度越低，建筑物的固有振动频率 f_0 〔Hz〕就越大(3~4层建

筑物约为4~5Hz), 高层建筑 f_b 值变小(5层建筑物约为3Hz, 7层建筑物约为1.5~2Hz, 10层建筑约为1~1.5Hz, 20层建筑约为0.5Hz)。

设备机器的固有振动频率 f_m 通常为4~10Hz, 在5~6Hz时, 与中层以上的建筑物不会发生共振现象, 但是, 特别应注意低层建筑物, 它们容易接近共振状态。另外, 以 f_b/f_m 之比作为决定 k_2 值的参考值时, 望参见前面所示的图-I.4。

7. 设备抗震的基本设计顺序

设计设备抗震的顺序大致如下。

- 1). 根据不要计算过程的标准图(包括手册)进行设计的方法(标准图法)。
- 2). 根据建筑物高度, 固定机器的方法、修正设计用震度 k 值的动态修正震度法。
- 3). 动态解析法。

〈解说〉

(1) 虽然有上述1)~3)所示的顺序, 但是考虑到建筑物的规模、用途、设备功能的重要性, 通用机器等的类别等之后, 若认为可以进行切实的抗震设计时, 则可随便采用上述顺序中的任何一种。

(2) 标准图法的场合, 安装工厂通用产品机器时, 标准图中明确表示了作为抗震设计基础的安装部分和支撑部分, 因此可按厂家提供的图进行设计、施工。在必须充份的实施抗震措施($I=1.0$)时, 应注意确认厂家的资料和采用的标准图的内容。

(3) 按本指南进行设计时, 应按照图-I.5所示的顺序概要进行抗震设计, 对于一般建筑物则应按照性能用途区分重要性, 决定 I 值。决定建筑结构种类及设置设备机器等的位置, 通过 k_1k_2 或 $k_1k_2k_0$ 求出考虑 $Z \cdot I$ 后的 k_B 值。通过 k_B 值求出水平地震力 F_H , 垂直地震力 F_V , 设计安装部分及支撑部分。

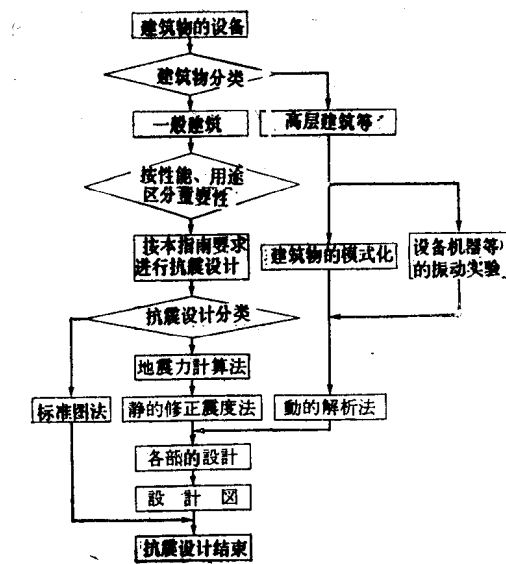


图-I.5 抗震设计顺序概要图

(4) 对于高层建筑等特殊情况, 应根据加振, 振动实验及动态分析法求各部分的应力, 然后设计安装部分等的构件。另外, 本指南不涉及振动实验方法及动态解析法。

第二编 机器

1. 基本事项

1.1 适用范围

本指南适合于对安装在建筑物内的空调、通风、给排水、卫生等各种设备的机器实施抗震措施的场合。

〈解说〉

本指南为建筑物内设备机器的抗震安装方法的指南。抗震设计计算方法大致分为静态分析法和动态分析法，但是，本编以静态分析计算方法为主，对用于空调、通风、给排水、卫生的各种设备中的机器，举例说明抗震设计方法。

动态分析法中有修正震度法及振形最大值法等。但是，在必须按动态分析法进行严密的抗震设计计算时，可不受本指南的任何约束。

1.2 一般注意事项

进行抗震设计时，必须注意下列一般事项。

- (1) 要充分考虑地震时受害的实际情况。
- (2) 在确认具有抗震性时，也可不实施本指南的抗震设计计算方法。
- (3) 在使用具有足够强度，精心管理的材料的同时，还必须特别注意施工。
- (4) 施工后，必须进行易维修的设计、施工。

〈解说〉

(1) 地震造成的设备机器的被害及原因

区分地震造成的设备机器的被害及原因如下。

a. 混凝土基础

现场浇灌混凝土基础，特别是地面上后浇的混凝土，常发生破坏事故。

由于地面和楼板上混凝土的粘附力不足引起偏移、浮起；由于混凝土的强度不足，引起基础破损；由于固定螺栓混凝土的保护层不够引起基础断裂、缺损。

b. 设置在地面上的机器(非防振机器)

固定螺栓强度不足时，机器因螺栓的脱落、剪切等产生移动、翻倒；特别是设置在架台上的卧式蓄水槽等产生主体脱落，或者发生架台偏移基础的被害事故。当基础上不使用固定螺栓时，则会发生机器移动的现象。

c. 设置在地面上的机器(防振机器)

在防振装置内若未有效地设置限制器时，则机器因移动、翻倒而破损。

d. 开式水箱类(贮水槽、高置水箱、补给水箱、膨胀水箱和冷却塔等)。

水箱因固定螺栓强度不足的脱出，剪切产生移动、翻倒(除此之外，FRP制水箱还会产生主体破坏、分支部分破损等现象)。

e. 顶棚悬吊机器

由于支撑加热器机组等铁器的强度不足使机器落下，或由于支撑架台上没有撑臂，使机器摇晃等，都可能切断机器连接部分的配管。

(2) 机器抗震设计及施工方法的基本方针

本指南 2 以后的章节表示抗震设计方法，施工的具体计算方法，但是，在采用这些方法之前，应当充份认识上述经常发生破坏的场所，严格遵守下列基本事项。

a) 安装时应使用符合 JIS 标准，或日本建筑学会编“钢结构设计标准”中规定的各种构件。

b) 基础中使用的混凝土应是日本建筑学会编“钢筋混凝土结构计算标准同解说”中规定的混凝土，应严格实施同一标准中规定的施工法和养护时间。

c) 重型机器应尽量地设置在建筑物下层。特别是离心式制冷机及大型泵等需要防振装置的重型旋转机器，应避免设置在中间层及上层。如不得已设在上层时，不仅应考虑防振性，还要设置防振装置。

d) 在各种设备中，应对同一系统的设备，包括到末端的机器和配管等，采取相同等级的抗震对策。对于在地震时也应维持功能的设备，必须特别注意。

e) 避免乱用防振装置。不必要的防振装置会降低抗震性能。对于设置在最下层不会产生噪音不会因振动而破坏的机器，即使是旋转机器也不要设置防振装置。尤其是对于设置在最下层的小型送风机，小形泵等，除特殊场合之外，也不要设置防振装置。

f) 用于防振机器中的防振装置必须是抗震方面有效的限制器或减震器。

g) 应尽量避免顶棚悬吊架台及托座等设置机器的方式。如不得已采用上述安装方法时，不采用圆钢单独顶棚悬吊施工方法，应使用型钢等刚性高的构架，或在混凝土墙壁上安装托架等方式，应避免安装在砌块墙，木结构墙上。

h) 对于较高的设备，或重心位置距离地面较高的机器，最好用支撑材料牢固固定机器的顶部。

i) 原则上用螺栓连接及焊接连接方式连接构件，详细情况应符合日本建筑学会编“钢结构设计标准”及“钢管工程技术指南”的规定，应尽量避免采用现场焊接方式。

j) 设置抗震装置时，在避免阻碍机器维修的同时，还要充份考虑便于保全和检查。

2. 设计顺序和条件

2.1 设计顺序

原则上按下列顺序进行机器的抗震设计。

(1) 在考虑建筑物的社会重要性后，确定设备机器抗震设计的目标。

(2) 在考虑设置机器的重要性时，应按重要性分类。

(3) 确认和决定机器的规格，抗震设计方面必须的各种条件。

(4) 按机器的安装方法进行分类。

(5) 决定设计用地震力。

(6) 确认机器主体的抗震性。

(7) 安装时必须的各种构件的验证。

(8) 根据综合判断决定基础和构件。

(9) 绘制包括详图在内的设计图

〈解说〉

(1) 抗震设计的目标

在考虑建筑物社会重要性后，确定抗震设计的目标是很重要的。判断对社会是否重要，随建设的建筑物的目的而异。其中一种方法是根据对地区社会贡献的大小来判断其重要性。

(2) 设备机器的重要性

按重要性区分设备系统的重要性。其分类方法如下。必须维持功能的；即使不维持功能但也必须防止二次灾害的；即使或多或少造成一些破坏，但经过简单的修理不会对建筑物的功能产生重大故障的，采取相应于各自的重要性的抗震措施(参照第一章)。

(3) 机器的规格和各项条件

设计前应详细调查列为抗震设计对象的机器的规格和各项条件，不明确时，应与厂家联系。

(4) 按照安装方法分类

分类为地面布置式、架台、顶棚悬吊式或分类为非防振机器和防振机器。

(5) 作用于机器上的设计用地震力

按2.2的规定决定。

(6) 确认机器主体的抗震性

本指南将机器主体的抗震设计除外，但是，必须与厂家等合作，实验验证机器主体的抗震性。

(7) 安装时对各种构件的验证

调查和验证基础、固定螺栓、架台、防振材料、限制器等强度及规格。

图-Ⅱ.1表示机器安装时抗震设计的顺序。

2.2 设计条件

(1) 设计用地震力应符合第一编中3的各项规定。

(2) 前项地震力集中作用于机器的重心，同时还应考虑水平、垂直方向的地震力。

(3) 各构件因地震力产生的应力必须低于“建筑标准法、施行令”上规定的短期允许应力。经常接受荷载的构件，其应力在满足长期允许应力的同时，还要把在其它荷载与地震荷重之和产生的应力控制在短期允许应力范围内。

〈解说〉

(1) 设计用标准震度

希望采用第一编3中规定的修正震度法，确定设计用震度 k 值。但是，实际上可以用表-Ⅱ.1的设计用标准震度 k_s 与表-Ⅱ.3的区域系数 Z 之积表示。

$$F_H = k_H W \quad (\text{I. 1})$$

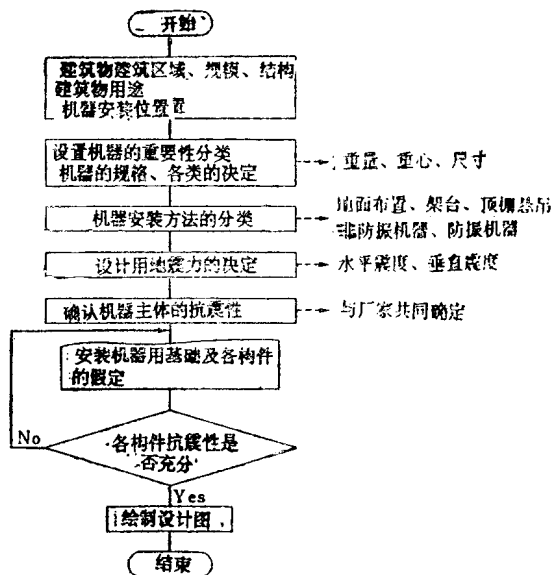


图-Ⅱ.1 机器的抗震设计顺序