

安全丛书

No. 50-SG-S2



国际原子能机构安全导则

安全导则

核动力厂的地震分析和试验



国际原子能机构，维也纳，1986

安全丛书 No.50-SG-S2

安全导则
核动力厂的地震分析和试验

国际原子能机构
维也纳，1986

序

总干事

不论发达国家还是发展中国家，其能源需求均在持续不断地增长。象石油和天然气这类传统能源，可能在今后几十年内耗尽，而现有的能源生产能力已日益难以满足当前世界范围的能源需求。据专家们估计，到本世纪末，我们就可能要面临能源短缺的局面。在新能源中，核能因其成熟的工艺而成为弥补未来能源缺口的唯一的、最重要的可靠能源。

在过去 25 年中，已有 19 个国家建造了核动力厂。现有 200 多座动力反应堆在运行，还有 150 座正在计划建造。从长远看，核能将在世界能源规划发展中发挥愈来愈重要的作用。

核工业从出现以来，始终保持着首屈一指的安全记录。鉴于核动力安全的重要性，并希望把这个记录保持下去，国际原子能机构制定了一项广泛的计划，在与热中子动力堆有关的许多安全问题上给成员国提供指导。这项计划就是众所周知的 NUSS 计划（NUSS 是 Nuclear Safety Standards 的缩写），即核安全标准计划。目前该计划包括以实施法规和安全导则的形式编写和出版的约 50 本书。这些书正在作为机构的安全丛书出版，每一本都有英文、法文、俄文和西班牙文版本^①。这些书在必要时将根据经验加以修订，使其内容得到更新。

这项计划面临的任务是繁杂而又艰巨的，需要组织大量的会议来起草、审查、修改、统一和批准这些文件。国际原子能机构感谢许多成员国，它们慷慨地提供了专家和资料；也感谢许多个人，他们的名字列在已发表的参与人员名单中，这些人花费了时间和精力来帮助实施这个计划；还真诚地向参与这项工作的国际组织致以谢意。

这些实施法规和安全导则，是本机构出版的推荐性文件，供成员国按自己的核安全要求加以利用。愿意与国际原子能机构签订协议，以便在核动力厂选址、建造、调试、运行或退役方面从本机构获得援助的成员国，将被要求遵守属于该协议规定活动范围的那部分实施法规和安全导则。但是应当承认，在任何许可证审批程序中的最终决定权和法律责任，总是属于该成员国的。

NUSS 出版物事先假定有一个全国性的体系，在这个体系内的各方，如管理机构、许可证申请者 / 持有者、供应者或制造者等，要各善其事。然

^① 从 1986 年起增补中文版本。

而，如涉及一个以上的成员国，那就可能有必要根据国情和成员国之间及各组织间的有关协议对所述程序作某些修改。

这些法规和导则是以这种形式编写的，即只要成员国决定采用，就能把这些文件的内容直接应用于它所管辖的各项活动。因此，根据法规和导则的惯例并按照高级顾问组的建议，行文中采用了“必须”和“应该”二词，使可能的使用者区别是坚持要求还是希望采用。

保证为子孙后代提供充足而安全的能源，从而对提高他们的福利和生活水平有所贡献这样一个任务，是我们大家都关心的事。希望本书以及根据 NUSS 计划正在出版的其他文件，能对实现这个任务有所裨益。

说 明

高级顾问组

国际原子能机构关于制定核动力厂实施法规和安全导则的计划，已载于 IAEA 文件 GC (XVIII) / 526 / Mod. 1。这个计划称作 NUSS 计划，它讨论放射安全问题，而且目前只限于陆上固定式热中子反应堆核动力厂。本书就是根据这个计划出版的。

总干事为实施该计划而在 1974 年 9 月设立的高级顾问组选定了实施法规的五个题目，并草拟了一份有助于实施这五种法规的安全导则的暂定书目。高级顾问组被委以在这项计划的各个阶段对其进行监督、审查和咨询的任务，以及批准将递交总干事的文件草案。已针对每个实施法规成立了一个相应的技术审查委员会，各委员会均由成员国的专家们组成。

按照上述 IAEA 文件所规定的程序，实施法规和安全导则——它们基于不同国家的组织体制和实践方面的文件和经验——由来自成员国的两三位专家同本机构的工作人员组成的专家工作组首先草拟。然后再由相应的技术审查委员会进行审查和修改。这项工作既利用公开的资料，也利用非公开的资料，如成员国对征求意见表的答复等。

经技术审查委员会修改后的文件草案，提交高级顾问组。在高级顾问组认可后，要把英、法、俄和西班牙文本送交各成员国征求意见。技术审查委员会根据这些意见进行修改与补充，再经高级顾问组进一步审查之后，文件草案就递交总干事，由他在适当的时候送交理事会，进行出版前的最后核准。

五种实施法规包括下列题目：

管理核动力厂的政府机构；
核动力厂选址的安全问题；
核动力厂安全设计；
核动力厂运行中的安全问题；
核动力厂安全方面的质量保证。

这五种实施法规确定了为实现核动力厂充分安全运行应达到的目标和最低要求。

出版安全导则，是为了说明并向成员国提供实施有关法规特定部分的可接受的方法。如果采用的方法和方案与这些导则中规定的不同，但它们提供了至少相当的保证，说明核动力厂可以安全运行而不会给广大公众和厂区人员的健康和安全带来过大的危险，那么这样的方法和方案也是可以接受的。虽然这些实施法规和安全导则为安全建立了必要的基础，但它们也可能不充分或不完全适用。必要时应参考国际原子能机构出版的其他安全方面的文件。

为了适应特殊情况，有时可能需要满足附加要求。而且，还会有一些特殊问题，必须由专家们根据具体情况加以分析。

易裂变物质和放射性物质以及整个核动力厂的实体保卫只在适当场合笼统提到，未加详细讨论。工业安全和环境保护的非放射性方面的问题，没有明确地加以考虑。

文件中的附件，要看作是文件的一个不可分割的组成部分，而且与正文具有同样的地位。

另一方面，附录、脚注、参与人员名单和参考书目仅仅是为了给使用者提供可能有帮助的资料或实际事例。补充的书目资料有时可从本机构得到。

每本书中都附有有关的定义。

出版这些书的目的是为了成员国的管理机构和有关单位在适合时使用。为了完整地理解这些书的内容，还应参阅其他有关实施法规和安全导则。

目 录

1. 引言	1
2. 关于抗震分类、荷载组合及许用极限的一般建议	2
2.1. 安全抗震的核动力厂	2
2.2. 系统、结构和部件的抗震分类	2
2.2.1. 一般考虑	
2.2.2. 1类抗震物项	
2.2.3. 2类抗震物项	
2.2.4. 不分类抗震物项	
2.2.5. 需由抗震设计保证的功能	
2.2.6. 不同类别物项的相互影响	
2.3. 1、2类物项的荷载情况与荷载组合	3
2.3.1. 地震输入	
2.3.2. 地震荷载与动力厂其他运行荷载情况的组合准则	
2.4. 1类物项的应力与变形的许用极限	4
2.4.1. 一般考虑	
2.4.2. 包含 S1 地面运动荷载的荷载组合的许用极限	
2.4.3. 包含 S2 地面运动荷载的荷载组合的许用极限	
2.4.4. 不丧失功能极限	
2.4.5. 低循环疲劳效应	
3. 地震分析方法	5
3.1. 概述	5
3.2. 土木工程结构	5
3.2.1. 安全重要建筑物	
3.2.2. 埋入式长结构	
3.2.3. 地基和土体结构	
3.3. 机械和电气部件	8
3.3.1. 地震输入	
3.3.2. 管道	
3.3.3. 机械设备	
3.3.4. 仪器仪表、电气设备及类似物项	
3.4. 水力效应	12
3.4.1. 晃动效应	
3.4.2. 其他水力效应	

4. 地震设计的内容	12
4.1. 地震设计的一般方法	12
4.1.1. 减小地震力的措施	
4.1.2. 减少结构间相对位移的措施	
4.1.3. 工艺设备布置	
4.2. 土木工程结构	13
4.2.1. 以往地震的经验	
4.2.2. 设计建议	
4.3. 土体结构	14
4.4. 管道及有关设备	14
4.4.1. 支承	
4.4.2. 改善部件的抗振动能力	
4.4.3. 新设备的可能失效方式	
4.4.4. 有关地震设计的功能方面的考虑	
4.5. 垂直地面运动效应	15
5. 地震试验与鉴定	15
5.1. 概述	15
5.2. 一般概念	16
5.3. 足尺试验	16
5.3.1. 实验室试验	
5.3.2. 动力厂试验	
5.4. 小比例模型试验	18
6. 地震检测仪器	18
6.1. 概述	18
6.2. 评定震后检查与分析的必要性的仪器	18
6.3. 收集设计校核资料的仪器	19
6.4. 震后检查	19
附件 A 地震分析方法	20
附件 B 模化技术	20
附件 C 材料特性	23
附件 D 土沉积层和土体结构的地震反应	24
附件 E 液化及地层破坏	26
附件 F 斜坡稳定性	28
附录 I 水池内的晃动效应	30
附录 II 用运输工具作鉴定试验	32

参考文献	33
定义	39
参与人员名单	43
NUSS 计划书目	47

1. 引言

本安全导则是对国际原子能机构《实施法规：核动力厂选址的安全问题》(IAEA 安全丛书 No. 50-C-S) 的补充，是本机构 NUSS 计划的组成部分。NUSS 计划的目的是为陆上固定式热中子核动力厂建立实施法规和安全导则。本书最后列出了 NUSS 计划书目。

本导则介绍了对核动力厂结构、系统和部件进行地震分析及鉴定试验的方法，文中也包括关于动力厂各物项的可能的抗震分类、可能的荷载组合以及作为地震分析工作依据的许用极限等方面的意见。在以往地震中得到的经验，凡是与地震分析和设计有关的，在各节中均有所反映，并在第 4 节中予以概括。也考虑了在主震后可能发生余震的问题。最后，有简短的一节（第 6 节）述及地震仪器，这些仪器都是为获得必要资料以评定在发生地震或其他地面振动现象后动力厂的安全性而应该采用的。本导则与另一导则《安全导则：涉及核动力厂选址的地震及有关问题》(IAEA 安全丛书 No. 50-SG-S1) 是一起制订的，因为二者内容密切相关。

本导则承认，可能用来解决问题的工程方法不止一种，并且一座核动力厂采用某种方法进行的动力厂设计与另一座采用不同方法的设计相比，可能有重大的差别。这种承认可能采用不同方法的想法，同实施法规是一致的。在实施法规的引言（第 1 节）中有如下陈述：

一个厂址的可接受性是与其拟建的核动力厂的设计密切相关的。从安全观点来看，如果与厂址有关的问题在技术上有办法解决，从而保证核动力厂的建设和运行给该地区居民带来的风险度能降低到可以被接受的程度，则这个厂址就是可接受的。

此外重要的是，解决有关地震问题所采用的方法应是完整的和自治的。

正如在安全丛书 No. 50-SG-S1 的“范围”一节中所指出的那样，本导则对低地震活动区的厂址未必适用。当然，所有核动力厂也都要遵循适用的国家法规和要求。

2. 关于抗震分类 荷载组合 及许用极限的一般建议

2.1. 安全抗震的核动力厂

本导则所述的方法和步骤应作为安全抗震核动力厂设计的基础，但在某些情况下尚需用其他方法予以补充。

2.2. 系统、结构和部件的抗震分类

2.2.1. 一般考虑

需要对核动力厂各物项进行抗震分类，以便为设计提供合理的依据。本导则中分类的根据是：

- (1) 在地震发生时保证安全的需要；
- (2) 在发生超过规定强度的地震后对某些物项进行检查的需要。

各个物项分为 1 类抗震、2 类抗震或不分类。

2.2.2. 1 类抗震物项

每个厂均应确定 1 类抗震物项^①。1 类物项应根据本导则和其他有关的 IAEA 实施法规和安全导则的规定，同时按 S1 和 S2 地震地面运动（见本导则 2.3.1 节和安全丛书 No. 50-SG-S1）进行设计。如按 S2 地面运动设计时所采用的方法和裕度满足或超过 S1 地面运动的设计要求，则不需要再按 S1 进行详细计算。

1 类物项应包括：

- (1) 核动力厂中破坏后会直接或间接造成事故工况的物项；
- (2) 核动力厂中使反应堆安全停堆、保持其处于停堆状态以及排出余热所需的物项；
- (3) 核动力厂中在地震期间或地震后为减轻破坏后果所需的物项，此类破坏是指在 (1) 条所述物项的设计中已采取了措施但仍认为可能发生的。

2.2.3. 2 类抗震物项

每个厂均可确定 2 类抗震物项。2 类物项应按不超过 S1 级的特定级别的地震地面运动进行设计。规定 2 类抗震物项的许用极限与荷载组合的准则，可参照 2.3 和 2.4 节中对 1 类物项所提出的原则、方法和技术来确定。2 类抗震物项应包括核动力厂中除 1 类物项外的所有在安全上必需的物项。

① 某些成员国将 1 类物项又分成更多的小类。

某些成员国采用另一种原则：在发生了设计允许但与地震发生无关的事故后，核动力厂中某些结构、系统和设备应在一段足够长的时期内维持其功能，以保持动力厂处于安全停堆状态，并应付事故所造成的后果。因为认为在此期间发生 S1 级地震的概率很高，所以某些不按 S2 地面运动设计的安全重要物项（结构、系统和设备）应包括在 2 类物项内。

2.2.4. 不分类抗震物项

核动力厂中不属于 1 类和 2 类抗震的物项，可按国家对非核物项的做法进行抗震设计。

2.2.5. 需由抗震设计保证的功能

判断一个物项属于 1 类还是 2 类抗震物项，应以弄清在地震期间、地震后或非地震事故后应保证哪些功能为基础。结构的完整性、密封程度、机械或电气功能以及几何尺寸是否得到保持，是应予考虑的几个方面的例子。

2.2.6. 不同类别物项的相互影响

当核动力厂中 2 类或不分类物项的破坏或丧失功能可能危及高一类物项（即分别为 1 类或 2 类物项）的功能时，则

- (1) 或者应将这类物项归入被危及物项的同一类别内；
- (2) 或者应证明该类物项在基准地面运动作用下没有破坏或没有丧失功能。

2.3. 1、2 类物项的荷载情况与荷载组合

2.3.1. 地震输入

对于荷载组合，应考虑两个级别的设计基准地面振动运动（见安全丛书 No. 50-SG-S1 第 3 节）：

- (1) 1 级地面运动 (S1)，为在核动力厂运行寿期内，厂区范围可合理预期受到的一次最大地面运动；
- (2) 2 级地面运动 (S2)，被认为是在厂区范围内的最大潜在地震。

2.3.2. 地震荷载与动力厂其他运行荷载情况的组合准则

核动力厂各物项的动力厂运行荷载情况可按如下分类：

- L1 为正常运行期间的荷载；
- L2 为预期运行事件下的荷载；
- L3 为事故工况下的荷载。

应考虑以下组合：

- (1) L1 荷载情况对于 1 类物项应与 S1 和 S2 地面运动组合，对于 2 类物项则应单与 S1 组合。

(2) 未按承受 S1 地面运动设计的物项, 因其失效或丧失功能所引起的 L2 荷载情况应与 S1 组合; 而未按承受 S2 地面运动设计的物项, 因其失效或丧失功能所引起的 L2 荷载情况应与 S2 组合。

(3) 对于按承受 S1 和 S2 地面运动设计的物项, 其失效或丧失功能所引起的 L2 和 L3 荷载情况, 也应考虑 S1 和 S2 与其进行适当组合的必要性(见 2.2.2 节中的第 (3) 条)。在进行这种组合时应考虑下列因素:

(a) 物项失效或丧失功能的概率, 这取决于:

- S1 和 S2 地面运动荷载与其他荷载比较的相对大小;
- 设计、建造、试验及运行中的保守程度和质量保证。

(b) 物项失效或丧失功能所造成的后果。

这些考虑已纳入不同国家的法规 and 实际工作中 (1 ~ 3)。

(4) 为进行本节各项计算而假定存在的环境条件和其他自然现象, 均应根据风险度评定来选择。

2.4. 1 类物项的应力与变形的许用极限

2.4.1. 一般考虑

包含地面运动振动荷载的荷载组合, 其许用极限应按动力厂各类物项设计中的通常做法来确定, 要考虑:

- (1) 发生一组事件的概率, 这取决于该组中每一事件的概率;
- (2) 结构反应的性质, 包括反应的类型, 例如是延性的还是非延性的;
- (3) 地震荷载在物项总荷载中所占的份额;
- (4) 物项失效的可能后果。

2.4.2. 包含 S1 地面运动荷载的荷载组合的许用极限

对于 S1 地面运动与 L1 或 L2 的荷载组合, 应选取通常的安全系数: 对于一般一次薄膜应力, 在极限状态情况下 (例如铁素体钢屈服状态), 一般取安全系数 1.5 左右; 但在某些成员国内对 S1 地面运动规定得非常保守, 经管理机构批准后降低了这些安全系数。

2.4.3. 包含 S2 地面运动荷载的荷载组合的许用极限

对于包含 S2 地面运动荷载的若干组事件, 因发生的概率极低, 其荷载组合的许用极限应与有关实践中采用的相同。按照一般的国家设计实践, 许用极限可确定在近屈服强度与近极限强度之间 (1 ~ 3)。

2.4.4. 不丧失功能极限

对于包含 S1 和 / 或 S2 地面运动的一组事件, 地震设计应符合 2.2.5 节中关于保持安全功能的规定。由于功能的保持取决于极限应力和

极限变形, 2.4.2 和 2.4.3 节规定的应力极限和变形极限可能需要适当降低〔1〕。

2.4.5. 低循环疲劳效应

地震荷载实质上是周期性的, 因此在具有足够的利用率份额从而在技术上证明合理的范围内, 应要求进行疲劳分析。

对于包含 S1 地面运动的若干组事件, 尤其要考虑疲劳效应。设计时可假定相应于若干个 S1 事件的一些等效周期和振幅, 它们与每个事件地面运动强振阶段的持续时间及所设计物项的动力特性相适应。这样假定是为了考虑发生余震及多个达到 S1 级地面运动事件的可能性。

3. 地震分析方法

3.1. 概述

本节概述了核动力厂物项地震计算和设计所采用的分析方法。某些方法的更多的细节连同其他有关说明和资料在附件内陈述。

3.2. 土木工程结构

3.2.1. 安全重要建筑物

3.2.1.1. 地震输入

应将地面运动的两个水平分量和垂直分量单独或组合起来作为动力分析的输入。当这些分量单独输入时, 相应的结构反应应进行适当组合 (见附件 A)。有些国家在垂直方向采用等效的静力输入。

3.2.1.2. 结构的模化

在结构模型中, 应适当地考虑基土和结构的相互作用 (见附件 B)。

应按情况单独地或耦联地考虑平移、摆动及扭转振型。

如果采用集中质量及刚度模型, 则应考虑选定的质量数和分布情况是否足以代表主结构 (见附件 B)。灵敏度分析能为这一判断提供依据; 当采用有限元模型时, 它也能用以选择有限元的尺寸和数目。

设置在建筑物内的子系统 (可包括内装液体的惯性效应) 应在建筑物的结构模型中予以考虑。按照子系统的性质, 可采用下列方法:

(a) 刚接于结构的刚性物项, 即符合附件B中所述的非耦联准则的子系统, 该子系统的质量应包括在结构支承部分的质量内。

(b) 用柔性很大的联结连于结构的部件, 这类子系统可不予考虑。

(c) 其他子系统则应包括在主结构模型的分析内。

凡能合理证明采用二维模型是恰当的, 例如存在非耦联的自由度, 就可采用二维模型, 否则宜用三维模型。

在同一基础结构上的相邻建筑物应包括在同一模型内。但是, 在分立基础上的相邻结构也可能相互影响, 在这种情况下应研究这一影响。必要时, 至少得作近似计算。

一般情况下, 常规的核动力厂建筑物可按其结构特性, 用下列方式之一来模拟:

(a) 具有内部结构的壳式建筑 (例如典型的安全壳建筑): 集中质量或有限元模型。

(b) 箱式建筑 (例如典型的辅助建筑): 通常可模拟为弹性基础上的刚性结构; 如果情况不是这样, 可以考虑用有限元或集中质量模型, 但是如果结构很复杂, 尺寸很大, 可能会遇到一些困难。

(c) 框架式建筑: 集中质量模型。

(d) 细长烟囱式构筑物: 任何一种合理的模型。

3. 2. 1. 3. 分析方法

为确定地震运动或荷载应进行动力分析。时程法和反应谱法原则上均可采用。等效静力荷载法如无平行的动力分析, 只有在充分证明其偏于安全时才能被采用。

线性动力分析一般对结构是适用的 (见附件C)。非线性动力分析也可采用, 但应特别注意以下问题:

(a) 所用方法的适宜性;

(b) 选用恰当的应力 - 应变关系。

3. 2. 1. 4. 阻尼

附件C讨论了各种结构和土的阻尼问题。动力分析时, 混合结构的振型阻尼系数可按能量加权法〔4〕确定。影响地基 - 结构系统阻尼的最重要的因素是能量在地层内的耗散。核动力厂实际的辐射阻尼可大至临界阻尼的20%到40%。一般认为用于结构地震分析的阻尼值需作偏保守的工程判断, 在所有情况下均应持保守的做法。如果结构是刚性的, 辐射阻尼取决于结构振型以及各有效振型的耦合。如果结构不是刚性的, 则同半空间接触的

结构可能需要用一种离散表示法〔5、6〕。可考虑阻尼系数随频率的变化,如果试验数据证明这样做是合理的话。

3. 2. 1. 5. 侧向土压力

应计算由地面运动引起的作用于结构地下部分的侧向土压力。这项计算可用如附件D和E中所述的方法进行。通常这些方法提供由地震引起的动压力增量值,然后将此增量加到静态侧向土压力上。也可用简化方法〔7、8〕计算此动压力增量。但是,这类简化方法未考虑相邻结构对该压力增量的影响;在某些情况下,这一影响可能是显著的,这取决于动力厂的布局。

3. 2. 1. 6. 其他考虑

应校核相邻结构部件间(见4. 4. 2节第(4)条)或相邻建筑物间结构缝摆动空间是否足够,要考虑留有足够的安全裕度。

3. 2. 2. 埋入式长结构

对于埋入式长结构(例如地下管道和风道、井壁)应考虑以下的地震效应:

- 地震时由周围基土引起的变形;
- 与建筑物或其他结构连接端的位移或荷载不同。

两种效应可用基土-结构综合体的整体模型来计算。但也可采用偏于保守的简化方法〔5、9〕。

3. 2. 3. 地基和土体结构

3. 2. 3. 1. 一般建议

支承核动力厂基础的所有基土和岩石以及所有土体结构(诸如天然或人工斜坡、堤、坝)的地震性能和稳定性,当它们影响安全时,均应进行计算。

3. 2. 3. 2. 液化

在设计基准振动地面运行下饱和颗粒状土层的液化可能性,应按限定的地震S1或S2地面运动进行计算,并应证明具有适当的安全裕度(见附件E)。如计算结果表明所需的安全裕度不足,则应采取适当措施来防止这些土层的液化。这类措施可包括就地处理(如压实、灌浆),挖除并换上适当压实的回填土或永久性超载,或者综合采取上述措施。应进行现场验证,证明土质确已得到预期的改善。

3. 2. 3. 3. 沉降

由振动引起的可能沉降(尤其是不均匀沉降)可能是显著的,在非匀质土的情况下尤为严重,因而应予计算。进行这种计算的一个有效方法,是利用反应分析的结果(附件D)和有关体积变化引起剪应变的资料〔10、11〕。该法只能计算自由场的沉降,在估计构筑物附近及下部的沉降时,应根据自由场的计算结果作出判断。

3. 2. 3. 4. 基土承载能力

应研究地震时或地震后基土丧失承载能力的可能性。通常,在静载条件下承载能力的安全系数取合理的高值。因此,除非地震荷载使基土强度有很大降低(例如颗粒状土的液化,或因形成高剪应变使软粘土强度降低),预计在静载和地震荷载的组合荷载下承载能力的安全系数仍然是足够高的。

安全系数可用一般方法计算〔12、13〕。计算时,由结构所施加的地震荷载也应考虑在内。这些荷载通常由结构的动力分析算出(3.2.1节),然后假定为静载作用。

位于斜坡附近的安全重要结构一般需进行这类计算。

3. 2. 3. 5. 斜坡稳定性

斜坡的地震稳定性可按附件F所述的方法计算。

3. 3. 机械和电气部件

3. 3. 1. 地震输入

对于未同支承结构一起模化的部件,用于分析的输入是楼层反应,可用设计楼层时程也可用设计楼层反应谱来表示。有些国家在垂直方向采用等效的静力输入。

3. 3. 1. 1. 设计楼层反应谱

根据结构对设计基准地面运动的反应,可以得到设计楼层反应谱。

已经有计算设计楼层反应谱的简化方法〔14〕,例如衰减正弦式地面运动法〔15〕、连续拍击的正弦波法〔16、17〕以及随机法〔18、19〕。对于小阻尼系统,在随机法中可采取平稳过程的假定,其结果是偏于安全的。

建议在采用简化方法以前,应确证在典型情况下其结果的保守程度与用时程法直接求得的结果的保守程度相差不大。

3. 3. 1. 2. 关于使用楼层反应谱法的建议

在得到建筑物某一楼层的楼层反应曲线后,就应根据正确的工程判断、建筑物振动特性与支承地面间的相互关系以及楼层反应曲线的形状,对计算的楼层反应谱进行严格审查,以评定其合理性。

为了计入估计建筑物各部分振动特性时可能存在的不确定性,计算的楼层反应谱应予调整。参考文献〔5〕及〔20〕的3.7.2节提出了现行方法的实例。对于具有密集共振的系统,为避免过分保守,在应用这种调整过的反应谱时可予以修正〔21〕。

对于连接在柔性很大的结构构件上的管道和设备,以及当建筑物出现显著的扭转运动时,对于那些偏离建筑物剪切中心的物项,其输入的楼层反应谱均应考虑修正。

3. 3. 1. 3. 设计楼层时程

根据结构对设计基准地面运动的反应,可以得到设计楼层时程。

用设计楼层反应谱分析机械和电气部件时,对由材料和结构特性引起的输入的不确定性,应通过展宽反应谱峰值的办法予以考虑。在用楼层运动时程而不是反应谱作分析时,类似的不确定性影响应通过改变时间的坐标尺度确定时程运动加以考虑(见参考文献〔20〕的3.7.1节和参考文献〔22〕)。

3. 3. 1. 4. 阻尼

附件C中简略地论述了材料阻尼问题。恒载支吊架、弹簧支吊架以及减振器都可增加管道系统的阻尼。

3. 3. 2. 管道

3. 3. 2. 1. 模化

模拟管道系统的常用方法有:

(1) 集中质量法;

(2) 有限元法;

(3) 转移矩阵法,矩阵系数按梁理论计算〔18、23〕。

必须计算弯管、三通管、弹簧支吊架以及液压减振器和机械减振器的柔度或刚度。恒载弹簧支吊架一般无刚度效应,但它们在其行程范围内相当于一个作用在系统上的固定外荷载。若在管道上有泵或阀门,则应估计其对反应的影响。诸如阀门、泵、减振器、管道内液体、保温层、机械减振器的有效质量等所有附加质量,均应予以考虑。应该考虑其他任何支承构件的刚度,除非能证明它们的刚度特性不显著改变管道系统的动力反应特性。