

工业与民用建筑

抗震验算与构造措施

86年设计规范背景资料、条文解说汇编

(上 册)

中国建筑科学研究院工程抗震研究所

工业与民用建筑

抗震验算与构造措施

86年设计规范背景资料、条文解说汇编

上 册

中国建筑科学研究院工程抗震所

工业与民用建筑

抗震验算与构造措施

86年设计规范背景资料、条文解说汇编

下 册

中国建筑科学研究院工程抗震所

内 容 简 介

本书由中国建筑科学院工程抗震研究所抗震规范研究室根据修订《工业与民用建筑抗震设计规范》所进行的震害调查、结构物抗震试验、理论分析等工作，基于征求意见修订稿，组织有关同志撰写的背景资料汇编而成。本书分为上、下册内容包括：抗震设防思想，场地、地基和基础，地震作用和结构抗震验算，多层砌体房屋，多层和高层钢筋混凝土房屋，底层框架——抗震墙和多层内框架房屋，单层厂房，单层空旷房屋，土、木、石结构房屋，烟囱等。

附录中汇编有关于《工业与民用建筑抗震设计规范》修订工作的部分研究报告题目以及国外抗震设计规范的一些与本次修订内容有关规定的摘编。

本书可做为从事工业与民用建筑抗震工作的广大工程技术人员和大专院校师生了解新规范内容及其修订依据的参考资料。

抗震验算与构造措施

中国建筑科学研究院工程抗震研究所

通县张家湾印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 字数：1000千字

1986年10月第一版 1986年10月第一次印刷

前 言

根据国家建设委员会(81)建发设字 546 号文关于1982~1985年工程建设国家标准规范编制、修订计划的通知要求,中国建筑科学研究院从1982年即着手进行这一项工作。

1982年2月中国建筑科学研究院在广东省海口市主持并召开了抗震规范修订工作预备会议。会上讨论了规范修订工作中的若干重大原则问题,包括抗震设防思想、地震烈度应用、抗震验算以及抗震规范使用范围和编排问题,草拟了修订要点以供修订工作全体会议审议和安排。

同年5月份在浙江省鄞县召开了《工业与民用建筑抗震设计规范》修订工作会议。讨论了三个议题:一、酝酿成立修订工作的各级组织;二、提出修订要点和纲目以及修订工作所必须开展的专题项目;三、任务分工协调和进度安排。

会议讨论并确定了各章节的修订要点和主要内容,包括有:

一、地震作用和抗震验算方面

1.新规范拟以“小震不坏,大震不倒”为抗震设计的指导思想,并在各个设计阶段加以具体体现;

2.新规范中就是否采用烈度概念的问题,提出了两种意见。一种是仍然保持现行规范烈度概念及相应物理参数,一种是主张直接采用地震动参数作为设计指标。会议建议在适当的时候,召开专家会议对此进行专题讨论,以求早日解决;

3.截面设计,拟采用弹性状态下基于概率可靠度分析的多系数截面设计表达式;

4.新规范中拟增加结构变形验算的内容,以弥补只用强度验算之不足,要求提出变形验算公式和结构防倒塌的允许变形值;

5.提出改进扭转效应、竖向地震作用以及结构与地基共同工作影响的具体计算方法。

二、场地和地基方面

1.场地土分类和反应谱的确定;

2.地基抗震验算方法和地震时承载力的确定;

3.砂土液化判别方法的改进;

4.轻亚粘土液化判别方法的建立;

5.关于软粘土的震陷;

6.抗震液化的措施以及桩的抗震验算。

三、多层砌体房屋方面

1. 增加非粘土砖和砌块内容;
2. 确定砖房总高度的限值并拟采用总高度和层数双控的方法;
3. 设置构造柱有关规定的修改和补充;
4. 重要建筑物设防标准的提高及增加构造措施的问题;
5. 抗震强度验算表达式的修改;
6. 开孔墙体各墙体间剪力分布的确定;
7. 增加有关村镇建筑的内容。

四、单层厂房方面

1. 突出屋面天窗架地震作用计算方法的改进;
2. 高低跨厂房中柱截面地震内力高振型修正系数的完善;
3. 纵向地震作用计算及柱列地震力分配方法;
4. 屋架与柱顶连接构造措施;
5. 柱间支撑布置及构造要求的改进;
6. 增加砖柱厂房抗震要求;
7. 增加钢结构单层厂房的抗震计算和构造措施。

五、钢筋混凝土结构房屋方面

1. 增加剪力墙及框架剪力墙结构的抗震设计;
2. 确定各类结构抗震性能的分级;
3. 各类结构总体抗震设计基本要求;
4. 构件、截面及节点的设计计算和相应的细部构造措施。

本次会议还按照国家建委关于工程建设标准规范编制程序的意见,决定聘请建筑抗震专家组,对修订工作中的重大问题进行讨论和提出意见。为加强修订工作的领导和有效开展各项修订工作,决定成立修订工作领导小组和五个修订小组。

领导小组由中国建筑科学研究院、国家地震局工程力学研究所、机械部设计研究总院、北京市建筑设计院、同济大学、中国建筑西北设计院等单位组成。组长单位由中国建筑科学研究院担任,成员包括主编单位的负责人和各修订小组组长。各修订小组组长分别为:

1. 地震作用抗震验算小组:

中国建筑科学院工程抗震研究所.....魏 珪
国家地震局工程力学研究所.....尹之潜

2. 场地和地基小组

国家地震局工程力学研究所.....谢君斐
中国建筑科学院工程抗震研究所.....周锡元

3. 多层砖、石及砌体房屋、内框架房屋、农村建筑小组:

北京市建筑设计院.....周炳章

同济大学.....吴明舜

4. 多层钢筋混凝土房屋小组:

北京市建筑设计院.....胡庆昌

中国建筑科学院工程抗震研究所.....钟益村

5. 单层工业厂房小组:

机械部设计研究总院.....裘民川

中国建筑西北设计院.....刘大海

领导小组负责修订工作的具体领导,协调汇总和审议各修订小组提交的文稿,起草和提出规范修订稿。各修订小组具体负责分章的起草和对相应的专题的组织联系工作。

这次会议之后各分组根据上述精神,加速进行各有关课题研究,震害经验总结 and 理论分析工作的进展。基于此分别于福州、上海、北京、烟台、湛江等地召开各分组会议,进行了学术交流、讨论了各自拟修订条文的内容。

1983年6月修订组在宁夏银川召开了《工业与民用建筑抗震设计规范》科研成果交流会。参加编制工作的有关单位共提供70余篇科研报告及条文修订建议,涉及到抗震规范拟修订内容的各个方面,为其修订提供了充分的依据。会议确定根据有关科研成果,尽快拟出各修订组所负责的条文。

1984年十月份在太原召开了《征求意见稿》定稿会。这之后于1985年2月向全国二百多个设计、勘察等单位发送出《征求意见稿》。同年9月在岳阳会议期间,将征求到的意见向专家组做以汇报,经审议专家们认为本次规范修订稿是一本较好,且符合国际趋势的规范。此次会议后,进行了各类结构的定性设计。

1986年5月在无锡召开了有关试设计的审定会。会议审定结果表明,新修订规范提供的条件是基本可行的。本次会议还听取了城乡建设环保部抗震办公室负责同志做的关于地震区抗震经验及烈度为6度及10度地震区应在规范中作出规定的讲话。代表们认真地讨论了这一问题。一致认为有必要将规范适用范围扩大到六度及十度地震区。根据现有经验,本次先就目前认识到的较有把握的问题在修订规范中作了补充。

多年来参加修订工作的广大科研、设计、勘察等部门的同志不辞辛苦、兢兢业业,埋头苦干,认真修订,在上级各主管部门直接指导下,终于制订出这样一本“征求意见修订稿”。这是我国广大科学技术人员汗水和智慧的结晶,反映了我国科研和实践工作的先进水准。

近年来,许多单位和个人向我们提出能否尽快编辑一本有关本次修订背景材料的资料,以便了解新规范的情况。基于这种要求,我们组织编写了这本书,目的在于向广大土建设计、施工、大专院校师生及进行地震工程研究的科技人员介绍本次修订的过程和依据。本书如能在这方面对读者有所裨益,则不胜荣幸。

本书系由参加规范工作的部分同志共同编写,并经各修订小组组长审阅,最后由工程抗震研究所规范室审编。由于时间较仓促,编辑水准有限,必然存在着某些不足,诚望诸位不吝赐教,并将其意见寄往“北京安外中国建筑科学院工程抗震研究所规范室”,以便改正。

本书形成过程中承蒙上级管理部门、院、所有关同志以及建筑和地震工程界广大人士的关

怀、支持和帮助，谨此表示衷心的感谢。

编者

1986年6月

主编：王广军

主要编写人员：王广军、魏珪、龚思礼、谢君斐、周锡元、黄存汉、尹之潜、戴国莹、
周炳章、吴明舜、胡庆昌、钟益村、裘民川、刘大海

编写人员及单位

中国建筑科学研究院工程抗震研究所：王开顺、高小旺、王有为、苏经宇、樊水荣、
谭健、刘长伶

国家地震局工程力学研究所：石兆吉、刘颖、李树楨、杨玉成

中国建筑西北设计院：钟锡根、杨翠如

冶金建筑科学研究总院：刘惠珊、秦权

哈尔滨建筑工程学院：刘季、何立民、黄文玉

同济大学：余安东、张琨联、程才渊、胡文尧

四川省建筑科学研究所：徐善藩、柏傲冬

西安冶金建筑工程学院：童岳生、钱国芳

北京市勘察处：董津城

天津市建筑设计院：施耀新、王承春

电力部西北电力设计院：文良模、王祖慧

铁道部铁道科学研究所：周神根

太原工业大学：乔天民

机械部第二设计研究院：陈麟书、丁龙章

福建泉州华侨大学：刘木忠

煤炭部规划设计院：蒋纯秋

辽宁省建筑科学研究所：楼永林

北京工业大学：田家骅

北京钢铁设计研究总院：汤吉庭

山西省基建办公室：乔太平

天津市勘察院：翁鹿年

吉林省建筑工程学院：张毅刚

广东省中山市建委：鲍霭斌

责任编辑：谭健、樊水荣、苏经宇

总 目 录

(上 册)

1. 关于改进我国抗震规范的一些意见·····	(1)
2. 关于修改工民建抗震规范的几点意见·····	(11)
3. 关于烈度和设防标准·····	(15)
4. 国外建筑抗震规范场地、地基、基础部分综合评述·····	(23)
5. 关于场地类别的划分·····	(34)
6. 地基土抗震容许承载力的调正与修正·····	(47)
7. 饱和砂土与轻亚粘土液化初步判别分析·····	(58)
8. 唐山地震砂土液化现场勘察资料研究报告·····	(65)
9. 关于修改抗震规范砂土液化判别式的几点意见·····	(86)
10. 论抗震规范的砂土液化判别方法·····	(113)
11. 轻亚粘土液化判别式的建立·····	(116)
12. 液化判别公式中水位与土深影响系数的推算·····	(123)
13. 液化场地的危害性分析与处理原则的探讨·····	(132)
14. 液化土中桩基的抗震性能·····	(142)
15. 层状地基剪切波速及其统计关系·····	(156)
16. 建筑结构抗震设计方法的建议·····	(164)
17. 我国部分地区基本烈度的概率标定·····	(172)
18. 同等烈度按震中距区分的讨论·····	(180)
19. 关于抗震设计反应谱修订介绍·····	(185)
20. 结构影响系数C的应用及变迁·····	(204)
21. 剪切型结构地震基底剪力和沿高度分布的简化计算·····	(216)
22. 竖向反应谱及结构竖向地震作用分析·····	(219)
23. 多层及高层扭转耦联建筑物的地震反应·····	(233)
24. 地震扭转效应简化计算的规范条文及说明·····	(240)
25. 地基与结构相互作用实用算法·····	(243)
26. 基于概率的抗震截面验算表达式的研究·····	(253)
27. 结构抗震的可靠度与位移控制设计·····	(261)
28. 建筑物楼层水平变位的计算方法和在抗震设计中的应用·····	(268)
29. 结构弹塑性变形计算工程方法的若干讨论·····	(275)
30. 结构抗震变形验算若干实例·····	(285)
31. 关于多层砌体房屋修订介绍·····	(292)
32. 砖墙体抗剪强度试验结果的统计分析·····	(297)
33. 关于多层砌块房屋条文修订的介绍·····	(304)

34. 混凝土空心小型砌块多层房屋自振基本周期脉动测试·····	(309)
附录一、国内外部分抗震规范关于场地、地基、基础规定摘编·····	(315)
附录二、国外部分抗震规范关于地震区划、变形验算和直接动力法规定摘编···	(352)
附录三、国外部分抗震规范关于地震作用沿高度分配的规定摘编·····	(372)
附录四、国内外部分抗震规范关于竖向地震作用规定摘编·····	(377)

(下 册)

35. 多层和高层钢筋混凝土房屋一般规定·····	(385)
36. 钢筋混凝土结构房屋容许变形指标·····	(390)
37. 钢筋混凝土框架的抗震设计·····	(394)
38. 钢筋混凝土框架——抗震墙结构和抗震墙结构的抗震设计·····	(405)
39. 实心砌体填充墙框架的刚度和强度分析·····	(411)
40. 填充墙框架的工作性能及设计计算·····	(417)
41. 几种钢筋混凝土房屋的抗震设计·····	(430)
42. 关于房屋自振周期的分析研究·····	(435)
43. 钢筋混凝土框架结构多层工业厂房自振周期近似公式·····	(442)
44. 弹性楼盖内框架砖房的抗震简化计算·····	(451)
45. 底层框架砖房的抗震计算和构造·····	(459)
46. 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计规定几个主要问题的修订·····	(465)
47. 关于单层钢结构厂房抗震设计规定的介绍·····	(473)
48. 考虑空间作用时单层厂房纵向抗震简化计算·····	(480)
49. 不等高单层厂房高低跨交接柱柱顶地震内力的研究·····	(490)
50. 竖向支撑的抗震设计·····	(502)
51. 单层厂房天窗水平地震作用的计算·····	(515)
52. 单层钢筋混凝土厂房动力特性测定及自振周期统计公式·····	(525)
53. 影剧院建筑在地震作用下的破坏机制·····	(532)
54. 空旷房屋高低跨排架交接处上柱内力修正的讨论·····	(535)
55. 料石墙体的抗剪强度·····	(541)
56. 石墙承重房屋抗震构造的措施·····	(547)
57. 多层石结构动力特性的测试与分析·····	(554)
58. 烟囱抗震设计的几个问题·····	(558)
附录一、国外部分抗震规范关于钢筋混凝土结构房屋设计与构造规定摘编·····	(584)
附录二、国外部分规范关于抗震墙截面设计摘编·····	(590)
附录三、有关《工业与民用建筑抗震设计规范》修订工作的部分研究报告 汇总·····	(599)
附录四、《工业与民用建筑抗震设计规范》各章修订负责人及单位·····	(607)
附录五、《工业与民用建筑抗震设计规范》编制说明主要撰写人员表·····	(607)
附录六、《工业与民用建筑抗震设计规范》参加试设计的主要人员·····	(608)
附录七、《工业与民用建筑抗震设计规范》修订讨论会各次会议代表名单·····	(609)

关于改进我国抗震规范的一些意见

一、抗震设计理论的发展与抗震规范的演变

最早的抗震设计理论可以说是1920年左右提出的静力理论,这一理论认为地震动对结构物的破坏作用相当于一个水平的静力,作用于弹性的结构物上,力的大小为 Kw , w 为结构物总重量, K 通常取为0.1或0.2,其数值与地震动的强弱和设计标准有关。 K 的物理意义可以理解为地震动水平最大加速度 a 与重力加速度 g 之比,即 $K = a/g$, 因此, $Kw = Ma$, 这里 M 为结构总质量, 所以 Kw 即为惯性力。由于 a 取常值, Kw 就相当于一个静力。大约在1950年左右,抗震设计理论进入了反应谱理论阶段。这一理论认为系数 K 不但与地震动有关,而且还与结构物的动力特性有关,这是“地震荷载”不同于一般荷载的主要特征,也是反应谱理论的第一个特点。一般荷载如活载、风载(指风静压力)、雪载等,其大小只决定于外部施加力的大小和结构的受力面,而与结构物的力学特性无关。影响“地震荷载”的结构动力性能是刚度、耗能能力和质量,在弹性假定下可以用结构自振周期 T 和阻尼比 ϵ 表示,即 $K = K(T, \epsilon)$, 这时,系数 K 可以理解为两部分的乘积,即 $K = a/g \cdot \beta(T, \epsilon)$, 第一部分 a/g 和静力理论中一样,新增加的第二部分 $\beta(T, \epsilon)$ 表示结构物的振动效应,它是结构物产生的最大加速度 a_1 与地面加速度 a 之比,所以它是结构动力特性的函数。人们有时将 $\beta(T, \epsilon)$, 有时将 $a_1(T, \epsilon)$ 称为反应谱。这一理论认为地震动中包含有许多不同频率的振动成分,因而需要用一种谱来反映其影响。这是反应谱理论的第二个特点。但是,在这一理论的初期,人们采用形状不变的反应谱,因而地震动还是只具有一个独立可变的物理量 a/g , 和静力理论一样。

大约在60年代,人们进一步认识到地震动频谱组成可变性的重要意义。人们认识到反应谱的形状可以随场地土壤条件,地震震级、震源特性、震源距离和局部地形而有较大的改变。与此同时,还认识到地震动持续时间也是一个独立可变的重要因素,它主要是随地震震级而变的。大约在70年代,基于上述认识,人们要求对重要结构物如核电站进行按地震动的过程进行真正的动力分析。由此可见,到了反应谱理论后期和动力过程阶段,一个重大的变化是:人们认为地震动中独立可变的参数不再是一个,而是多个,并要求在设计中考虑这种变化。这一变化对本文中所要讨论的地震烈度问题有重要影响。

在对地震动不断加深认识的同时,人们对结构物的动力特性和地震反应的认识也在不断地深入和发展。作者们认为,这一方面最重要的进展在于人们对结构非弹性有了更深入的认识和实际应用。实用的方法是以结构变形的延性概念为基础的。所谓延性,指的是结构物达到其弹性极限之后仍能在更大的变形下基本上还可以保有其强度的这种变形能力。通常将结构可以保有一定强度的最大变形 $\Delta_{\max}$ 与其弹性极限变形 Δ_y 之比定义为延性比,或称延性系数,即 $\mu = \Delta_{\max} / \Delta_y$ 。从结构所能吸收能量的观点来看,一个强度为 R 而 $\mu = 1$ 的脆性结构,和

一个弹性动力性能相同但强度为 $R/3$ 而 $\mu = 5$ 的另一结构，可以吸收相等的能量，因而抗震能力也相等。换言之，延性为 $\mu = 5$ 的结构物所需要的强度可以只为 $\mu = 1$ 而其它条件相同结构强度的 $1/\sqrt{2\mu-1}$ 倍，即 $1/3$ 倍，就可以受得住同样的地震动。到 70 年代，人们已普遍接受结构变形能力的这种重要的意义了。在这种认识下，结构强度就不再是决定结构物抗震能力的唯一力学因素，结构物的变形能力至少也是一个同等重要的因素

上述关于结构抗震设计理论发展的认识，在抗震设计的实际应用中已经有不同程度的反映。应用最为普遍的是反应谱理论，大约在 50 年代到 60 年代，主要的多地震国家如日、美、苏和我国，都采用了反应谱来规定“地震荷载”，而摒弃了过去的静力法；同时，用结构系数或构造系数的方式，考虑了结构变形的延性。到 70 年代，在抗震设计中又有了三项重大的应用，（1）摒弃了古老的地震烈度而直接代之以地震动参数；（2）对重要的特殊的结构物如核电站规定了采用振动过程的设计分析方法；（3）在强度设计的传统概念上，增加了变形设计的规定。

在地震烈度与地震动方面，当前国际上大约有半数以上的抗震规范是直接采用地震动参数的。这些规范大多是近一、二十年内制订或修订的，几个主要的多地震而且科技发达的国家的规范属于此类，如日、美。以美国为例，在 70 年代以前，其抗震分区是以地震烈度为基础的；在 70 年代中期，他们动员了全国 80 多名专家制订了一个样板规范 ATC—3，则摒弃了烈度分区而代之以地震动加速度 a 的等值线图。日本抗震规范则历来就未采用过烈度。直接采用地震动的需要还表现在场地土影响的调整上。美国过去是不考虑这一影响的，在 ATC—3 样板规范及使用甚广的 UBC 规范 1976 版本中都已采用了调整反应谱形状的方式来考虑这一影响。将场地土条件的影响归之为调整反应谱形状的还有墨西哥、智利、土耳其、日本等规范，苏联规范在 1979 年也开始有此考虑。我国则早在 1964 年规范草案中就开始采用这种规定，到 1974 年以后就正式采用了。

对于特殊而重要的结构物，美国规定应该考虑到地震动加速度的大小、反应谱形状及持续时间来设计。一般的方法是按上述参数的具体要求，制造一些加速度时间过程 $a(t)$ ，从而计算结构动力反应来进行设计或校核。这种设计分析方法只能是直接采用地震动参数的。

在是按强度还是按变形来进行抗震设计方面，日本从 1972 年起，组织了大批科技人员，完成了一个五年科研计划，已于 1975 年提出了一个新抗震设计法草案，考虑到结构延性的重要意义，明确规定按结构变形设计方法作为一个重要的补充，並称之为二次设计法；这就使过去隐藏于结构系数中的变形要求，变得明确、具体、而又合理了。美国也在其 ATC—3 样板规范中增加了变形要求的规定。

作者们认为，我国抗震规范应该尽早地抛弃那些不合理的陈旧概念，向这些新的正确的认识过渡，以达到真正安全而经济的设计。

二、用地震动参数代替地震烈度

对于抗震设计来说，有三个方面需要地震动的数据。第一，在初步设计前的建筑场地选择布局中，需要了解一个大地区内地震活动的强弱和频度。第二，在设计阶段，结构材料与结构类型的选择、平立面安排、和抗震构造措施，都需要了解地震动的特性。第三，在设计

的计算分析阶段, 需要根据地震动参数来计算结构反应。我国现行抗震规范在这三方面都是通过地震烈度来规定的。

地震烈度是两百年前提出的一个古老的概念。从一开始到现在, 它都是一个宏观的等级划分, 而不是一个物理量。虽然不时有人试图将它与某一物理量(如加速度)相联系。但始终成效甚微, 所以烈度一直是按照地震现场的人、器物、结构物和地表的反应的强烈程度来综合评定的。它虽然也可反映一些现象, 但对工程设计而言, 则过于粗略。

在抗震设计之外, 与地震有关的工作还包括地震灾区的救济和用地震来研究的地球物理问题。这两方面的工作都需要一个表示地震震害轻重和地震动大小的指标, 要求简便综合, 不拘粗细, 地震烈度就是为适应这一需要而提出的, 所以得到了广泛的应用而长期存在。但是, 本文讨论的问题只限于在结构抗震设计中是否有必要继续沿用这个等级划分的概念。

我国在50年代制订第一个抗震规范草案时, 采用了苏联当时的规定。烈度这个概念, 就是在这时进入我国抗震设计中的。抗震中有关烈度的规定有三个方面, 即: 考虑地震活动性, 确定全国地震烈度分区, 我们称此烈度为基本烈度; 然后按照麦德维杰夫1952年发表的研究成果, 把场地条件影响归结为烈度的调整, 调整后的烈度称为场地烈度; 最后按结构物的重要性再把场地烈度加以调整, 称之为设计烈度。

地震烈度只有等级这一指标, 它把地震动中的不同参数综合在一起来考虑, 不加区分。在50年代提出反应谱之前, 直到反应谱理论初期人们不考虑设计反应谱形状的变化时, 地震动也只具有一个可变的参数, 即最大水平加速度。这时, 地震动与烈度之间并不存在概念上的矛盾, 而只存在着粗与细的矛盾。但是, 现在人们已经要求区分地震动中的多个独立可变的重要因素, 如加速度, 反应谱形状、持续时间。于是只有一个可变指标的地震烈度与具有多个独立因素的地震动之间就产生了在概念上不可调和的矛盾。

地震动与地震烈度的这种矛盾可以用以下两组事例进一步加以说明。

在1975年海城地震震害调查中, 我们得到了表1与图1所示的数据。这里的震害指数是

不同地点震害与烈度的对比 表 1

地 点	烈度	场地类别	砖 烟 囱		砖 平 房		震 中 距 (KM)
			个数	震害指数	栋数	震害指数	
海 城	IX	II	51	0.58	152	0.26	17
大 石 桥	IX	II	24	0.51	55	0.30	17
营 口 市	VIII	III	34	0.51	189	0.15	38
田 庄 台	VIII	III	3	(0.78)	31	0.16	49
大 洼	VII	III	10	0.67	38	0.19	57
盘 山	VII	III	13	0.54	94	0.11	75
鞍 山	VII	II	40	0.15	—	—	51
辽 阳	VII	II	93	0.28	93	0.09	80

表示震害轻重的量。零表示结构物全无震害, 1表示结构物全部倒塌。图1是根据表1绘出的示意图, 两类结构物的震害用了不同的纵座标。这一组数据表明, 短周期砖平房的震害与烈度大致相对应, 而长周期砖烟囱的震害却与烈度似无关系。假若我们考虑到震害和场地对反应谱形状的影响, 而将图3中不同场地、不同烈度的关系用虚线绘于图1中, 就可以看到震

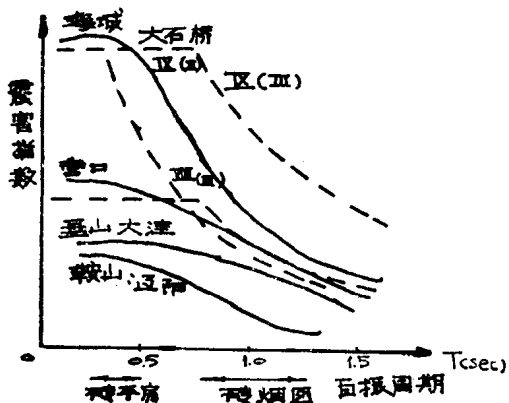


图1 震害的谱特性

害与反应谱形状变化的对应关系。这一结果从理论上也是容易理解的，因为长周期地震波要比短周期的随距离衰减得慢，在软地基中从下向上传播时又可能放大得多，所以在震中距较远的软地基上地震动中长周期成分要比短周期成分衰减得慢的多。这种现象也可以从强震记录中看到。图2绘出了我国1965年发表的结果和美国Seed等人1974年的结果。它们都表明硬场地上反应谱的主要峰点在短周期处，而软弱场地上反应谱的主要峰点则延伸到较长周期处，在较长周期如1s左右，软、硬场地上反应谱值可以相差几倍之多。我国现行

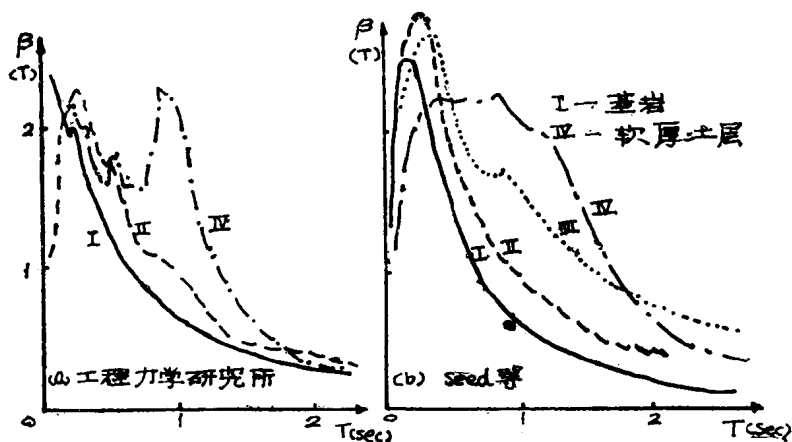


图2 不同场地上的反应谱

规范接受了这一观点，规定了按场地土调整反应谱的形状，如图3所示。

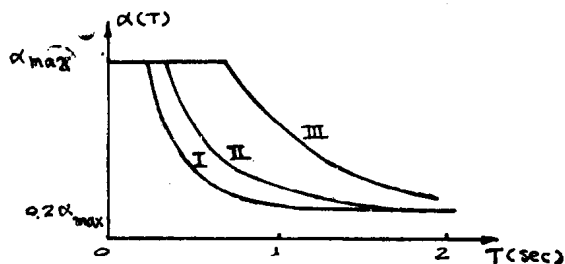


图3 我国抗震规范中的设计反应谱

我国规范虽然采用了不同形状的反应谱从而承认了反应谱形状的可变性，但是，由于还保留着50年代从苏联那里引过来的“传统”烈度的概念，我们的规范就在烈度与谱形状可变这一

点上容允了前述概念上的矛盾。如图 3 所示, 反应谱 $\alpha(T) = \frac{a}{g} \cdot \beta(T)$ 中包括了两个独立可变的因素, 一个是地震动最大水平加速度 a , 它随烈度而变, 另一个是反应谱形状 $\beta(T)$, 它与烈度无关, 而只是随场地条件而变, 图中 I 为基岩场地, II 为一般场地, III 为软而厚的场地, 按照这一规定, 假若烈度相同, 如均属 VIII 度, 从图 3 可知, III 类场地上 VIII 度的总震害应该远重于 I 类场地上的 VIII 度, 因为前者的反应谱对中长周期有较大的破坏作用, 即在 $T = 0.3 - 1.2s$ 之间, α 值在 III 类场地上要大得多。除了砖烟囱之外, 许多工业厂房与框架房屋也属中长周期结构。这表明, 同属一烈度, 不同场地上的震害却差别很大, 这显然与烈度是震害综合总评价的概念不相容的。

表 2 中列举了第二组事例。它说明地震动持续时间对震害的重要影响。表中前几项地震动的加速度虽然高达 $0.2 \sim 0.7g$, 但由于持续时间仅几秒钟, 故震害不重, 烈度不高; 相反, 后几次地震动的加速度多在 $0.2g$ 以下, 但由于持续时间长达 $20 \sim 30s$ 以上, 震害却都不轻, 烈度较高。虽然大多数人都认为持续时间是地震动的重要因素, 但由于缺少简便易行的方法, 目前尚未能在一般结构设计中考虑这一因素, 而只是对像核电站那样重要的工程中才有此要求。一旦考虑这一因素, 就会和反应谱形状可变性一样, 会产生与烈度概念不相容的矛盾, 因为持续时间主要决定于震级, 而与烈度无关, 同一烈度而持续时间不同时, 震害会有很大的差别。例如震级为 8, 震中距远的 VIII 度, 持续时间常达 $40s$ 以上, 而震级为 6, 震中区附近的 VIII 度, 持续时间在几秒钟左右, 两者的震害是颇不相同的。

上面我们通过两组事例说明了现有地震动认识与烈度在概念上的矛盾。我们认为, 产生这种矛盾的根本原因在于地震烈度是一个单一指标的等级划分, 而抗震设计中要求的地震动却是一个包括多个独立可变因素的物理量。解决这一矛盾的最好办法是在抗震设计中直接采用地震动的物理量。而不通过烈度这个引起矛盾的中间步骤, 让烈度这个概念专门为其它工作服务。这种分工方式是合理的, 也是有先例的。在结构抗风设计中, 设计者直接采用风压或风速而不用风级这个早已存在的概念, 而是让气象预报与广大群众去普遍使用风级这个简单宏观概念。风速与风压是风动力性能的物理量, 与地震动中的加速度等相似, 风级则与烈度酷似, 两种概念, 一精一粗, 分别应用, 各得其所, 不产生矛盾、不互相牵制而阻碍发展。

直接采用地震动的物理量来进行抗震设计是否可行呢? 是否能满足前述三方面的要求呢? 我们认为不仅可以, 而且可以满足得更好, 关键在于我们大家来努力。下面我们提出一个初步方案作为一个例子来说明这种可能性, 供大家讨论这一方案包括下述三点:

1. 用地震区划图作工程建设规划和布局。

地震区划图就是中长期预报的地震活动性图, 图中钩画出今后一定时期内可能发生地震的地区和震级, 甚至包括发生这一地震的概率。这个图件完全可以满足工程建设中规划布局的需要

前几年, 我国刚刚完成了这样一个全国性的图件, 现在就可以应用。图中给出的地震是今后一百年内可能发生的最大震级。全国烈度区划图就是在这个图件的基础上加上烈度衰减规律而绘制的。其精度控制了烈度区划的精度, 或者说, 烈度区划的精度不会高于地震区划的精度。

2. 直接采用地震动等加速度线图代替烈度区划图。

当我们还不具备足够数据直接从震级和距离来绘等加速度线时, 可以立即做到的事至少

几次地震动的对比

年 月 日	地 震 名	记 录 地 点	M	距 离 KM	烈 度	a/g	持 续 时 间 (S)	备 注
1964.11.14	日本茨城府湾外	东海村	5.1		V	0.22	1	日本烈度Ⅲ
1967.11.11	日本北海道东	钏路			Ⅵ	0.23	1	" Ⅳ
1967.11.19	日本茨城府湾	东海村			V	0.48	1	" Ⅲ
1972.9.4	美Stone Canyon	Malenay Ranch	4.7	0.1	—	0.69	2	无明显结构破坏
1973.11.4	希腊Leukas	Leukas	6.0	25	Ⅶ	0.45	3	
1966.8.4	日本松代	松代	4.7	2	V	0.39	3	
1966.4.5	日本松代	松代	5.1	4	Ⅵ	0.42	4	
1957.3.18	美Porf Hueneme	Porf Hueneme	4.7	7	Ⅵ	0.17	1-2	
1966.6.28	美Parkfield	No 2	5.6	0.08	Ⅶ	0.50	2-8	距离为断层距
1971.2.9	美San Fernando	Pacoima	6.6	震中区	Ⅸ	1.25	7	
1965.12.9	墨西哥	Acapulco	6.8	60	Ⅶ	0.27	8	
1949.4.13	美Olympia	Seaffie	7.1	40	Ⅶ	0.07	20-45	
1968.5.16	日本十胜冲	八戸	7.9	179	Ⅵ	0.23	20-30	日本烈度 V
"	"	室兰	"	310	Ⅶ-Ⅷ	0.21	"	" Ⅳ
1964.6.12	日本新泻	新潟	7.7	38	Ⅶ-Ⅷ	0.16	30	" V
1940.5.18	美Imperial Valley	El centro	7.0	20	Ⅶ	0.32	30	
1962.5.11	墨西哥	墨西哥城公园、	7.0	260	Ⅶ-Ⅷ	0.049	60	
1962.5.19	"	"	7.1	260	Ⅶ-Ⅷ	0.039	60	

是：直接按现行规范中采用的地震烈度与加速度的关系，将地震烈度区划图换算为等加速度线图。这种换算的根据与精度完全与现行规范相符，无可非议它不但没有什么缺点，而且还有下述三个优点。第一，它容许加速度有连续的合理的变化，不像现在这样受到烈度定义的限制。加速度只能作成倍的跳跃。第二，解决了不同场地条件下烈度定义的矛盾，更为今后采用更多的独立地震动参数如持续时间铺平了道路。第三，容许在可能条件下，参考或直接采用现有的地震衰减规律，从震级和距离推算加速度。在地震地质条件相似而烈度衰减规律也相似时，可以容许参考国外的地震动衰减规律。对于反对这种参考可能性的意见，作者们只想提出，我国规范中采用的烈度与加速度的换算关系也是从外国数据来的，而且它们之间的对应关系是非常差的。同一烈度所对应的加速度可以相差几十倍以上。产生这一巨大离散的主要原因在于地震动加速度并不是决定震害的唯一重要因素。

3. 通过震级和距离总结并规定抗震措施。

在我国现行规范中，抗震构造措施是按烈度规定的；在强震震害调查中，工程抗震经验是按烈度总结的。假若不用烈度，我们可以容易地用震级和距离这两个现成的参数来代替烈度，通过它们来总结抗震经验和规定抗震措施。首先，这样做是可行的，因为对于历史强震一般都可以知道震级和震中，对于近代强震，更可通过仪器来测定震级和震中。另外，抗震经验主要来自近代强震，即使那些从历史强震得到的经验，在近代强震中也大多可以再发现。其次，更为重要的是，通过震级和距离来总结经验要比通过烈度更为精确合理。前面已经讨论过，假若震级与距离不同，同一烈度的抗震经验可以有较大的差异，因为反应谱的形状与持续时间可以不同。根据现有抗震设计理论水平，用震级和距离，可以同时考虑地震动和加速度、速度的大小，频谱的形状和持续时间这三个要素全部在内。

直接采用地震动物理量于抗震设计的优点，除了上述可以消除烈度单一指标与地震动多变量的根本矛盾之外，还可以消除烈度中混淆地震动与地基失效两种不同震害原因的特点。早在60年代我们就曾指出，据以评定烈度的宏观现象是由多种原因引起的。例如建筑物的震害的外因就有两种：由于结构物抗振动能力不足而产生结构振动破坏，和由于结构物不能适应地基因振动导致的地基失效而产生结构变形破坏。地基失效包括滑坡、不均匀沉陷、地裂缝或地基承载力下降等现象。在宏观调查中，这些间接破坏也包括在震害中，从而使评定的烈度提高。苏联采用的场地烈度对软弱地基上的结构物采取提高烈度的设防方法，其结果主要是加强上部结构抗御振动的能力，无助于防止地基失效，也未对症下药地提高结构物抗御或适应地基变形的能力。这种不合理的措施在不采用烈度这个综合概念之后，就会消失。

三、用变形验算代替强度验算

建筑结构抗震设计最基本的要求，用通俗语言来说，就是要求做到“小震不坏，大震不倒”，也就是说设计目标着眼于结构物是否破坏。对弹性结构来说，结构反应中的内力与变形是等价的，是可以互相换算的。如图5所示，用强度验算的要求 $R \leq R_e$ 或变形验算的要求 $\Delta \leq \Delta_e$ ，都可以达到结构物不破坏的目的。这里 R 是结构内力， R_e 是弹性结构的相应强度极限， Δ 是结构变形， Δ_e 是弹性结构的相应变形极限。但是绝大多数常用建筑物，在不坏不倒条件下，都进入了非弹性阶段。在抗震理论中，常用图5所示的弹塑性简化，用延性来表示复杂的非弹性，对于具有一定延性的结构物，破坏是由变形控制的， $\Delta < \Delta_y$ 可以说是