

魏 璉◎著



魏璉建筑结构论文选

(二)

中国建筑工业出版社

魏琰建筑结构论文选

(二)

魏 琰 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

魏琰建筑结构论文选 (二) / 魏琰著. — 北京: 中国
建筑工业出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-112-15296-4

I. ①魏… II. ①魏… III. ①建筑结构-文集
IV. ①TU3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 059312 号

责任编辑: 王 梅 辛海丽

责任设计: 李志立

责任校对: 张 颖 王雪竹

魏琰建筑结构论文选 (二)

魏 琰 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 26 字数: 631 千字

2013 年 11 月第一版 2013 年 11 月第一次印刷

定价: 78.00 元

ISBN 978-7-112-15296-4

(23372)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

本人从事建筑结构分析和建筑结构抗震设计及研究数十载，先后写出数百篇学术论文，大都是结合工程设计需要解决的问题进行研究得出的一些成果。一次偶然的机遇，我的一些学生们热心帮助收集和整理了自 1954 年至今的有关论文，汇编成三本论文选集，现交付中国建筑工程出版社出版。希望三论文集能够对建筑结构界的设计工程师和研究人员在他们的工作中起到一定的参考和帮助作用。

第一本论文集主要汇集了 20 世纪 50 年代至 80 年代的一些结构理论分析工作，如刚构分析，薄壳内力、温度应力及非线性弹性稳定性分析，弹性地基板和地下结构计算，高耸塔架结构分析，单层厂房考虑屋面变形影响的分析等，都是与当时的社会主义建设发展的需要相结合，对当时的工程建设和设计理论水平的提高起到一些有益的作用。

第二本论文集主要汇集了 20 世纪 70 年代至 21 世纪初围绕着总结结构地震震害，改进结构抗震设计技术和 1989 抗震规范的编制所进行的研究工作，包括提出和制定了考虑小震、中震、大震作用的新的抗震设计理念和方法，更好地反映了地震随机性和对结构抗震设计带来的不同需求，并结合了建设成本符合国家经济能力的实际情况。还解决了结构扭转地震反应、地震作用下结构变形计算方法、高层建筑结构位移控制、剪重比剖析、建筑抗震设计屈服判别法、静力弹塑性分析方法、减震结构分析等，均对提高我国抗震设计规范水平及抗震设计技术，便于广大结构设计人员掌握、提高抗震设计技术有一定的帮助。

第三本论文集主要汇集了 20 世纪 90 年代至今在深圳的基本建设事业中，为解决遇到的一些结构技术问题和难题写出的论文，如地王大厦的位移控制、高层框筒结构的合理结构布置、柱型钢配置等设计技术、新世界中心底部独立角柱的设计、高层建筑转换层结构（含高位转换结构）设计方法、高层建筑结构弹塑性动力和静力分析等，都是结合具体的建筑工程项目进行，所以这些论文一方面对设计水平的提高起到一定作用，另外更是解决具体工程中的问题，做到结构可行和安全，还注意了结构设计经济性，进行了有效的优化设计，为工程明显降低了成本。深圳“龙雕”工程是另一个解决工程问题的案例，它是美术大师韩美林先生为龙城广场创作的一个标志形象，应韩

美林先生的邀请，我们帮助解决了相应的结构问题，受到了政府和广大群众的赞扬。

本论文集实际上是一本集体的创作，它是由我和我的许多学生和一些志同道合的同事共同努力合作完成的。在许多论文的写作过程中我还经常回忆起我国结构界前辈蔡方荫、钱令希、何广乾等诸位教授曾给予我的启发和淳淳教导。借此机会，我谨向他们表示由衷的感谢。

魏 琰

2013.06.25

目 录

前言

1. 工程抗震科学研究四十年	1
2. 建国以来建筑结构抗震取得显著成就	7
3. 试论建筑结构抗震设计的基本原则	11
4. 建筑抗震设计对策	19
5. 建筑抗震设计规范“地震作用和结构抗震验算”要点介绍	25
6. 钢筋混凝土高层建筑新抗震设计法	36
7. 以概率为基础的抗震设计方法若干问题	45
8. 现行抗震规范可靠度水平的校准	50
9. 基于概率的结构抗震设计方法	60
10. 高层建筑地震荷载计算中的若干问题	68
11. 高层建筑抗震设计中适宜自振周期的确定	78
12. 抗震设计中组合结构的应变能阻尼比计算方法	85
13. 高层建筑扭转耦连自由振动的计算	94
14. 高层建筑扭转耦连振动时的地震力及振型组合	105
15. 水平地震作用下不对称建筑的抗震计算	111
16. 论水平地震作用下对称和规则结构的抗扭设计	120
17. 水平地震作用下不对称不规则结构抗扭设计方法研究	128
18. 底部整体裙房上部多塔结构地震反应分析	138
19. 水平地震作用下大底盘多塔楼结构抗扭设计方法	147
20. 扭转不规则建筑竖向构件考虑扭矩影响的抗震验算方法	155
21. 地震作用下不对称高层建筑平移—扭转耦连振动的控制研究	161
22. 不对称高层建筑平移—扭转耦连振动的多振型控制研究	169
23. 地震作用下建筑结构变形计算方法	176
24. 高层建筑结构位移控制研讨	185

25. 高层建筑平动周期的控制问题	191
26. 高层建筑扭转周期比的剖析	195
27. 论高层建筑结构层间位移角限值的控制	198
28. 建筑结构抗震性能设计方法研讨	211
29. 高层建筑结构抗震设计中的剪重比问题	221
30. 建筑抗震设计的屈服判别法及其工程应用	228
31. 静力弹塑性分析方法的修正及其在抗震设计中的应用	237
32. 静力弹塑性分析方法在不对称结构抗震设计中的应用	248
33. 结构减震技术的现状与趋势	255
34. 低周反复荷载作用下摩擦阻尼支撑框架的试验研究	261
35. 摩擦耗能支撑钢筋混凝土框架结构的振动台试验研究	270
36. 单自由度黏滞阻尼减震结构计算方法及其参数相互关系	279
37. 黏滞阻尼减震结构振型分解法的研究	287
38. 多高层建筑采用黏滞阻尼器减震结构的扭转分析	296
39. 论黏滞阻尼减震结构及其抗震设计方法	305
40. 用规范反应谱计算减震结构的探讨	318
41. 阻尼减震结构反应谱法计算若干问题	325
42. 多自由度结构黏滞阻尼减震实用设计方法	335
43. 钢筋混凝土框架结构地震破坏机理探讨	341
44. 建筑结构的抗震变形验算	345
45. 现存钢筋混凝土框架建筑的抗震鉴定方法	352
46. 钢筋混凝土框架抗震加固方法	358
47. 钢筋混凝土框架层屈服抗剪强度的计算方法	368
48. 地震作用下多层剪切型结构层间弹塑性变形的计算	375
49. 唐山地震作用下一座三层钢筋混凝土框架结构倒塌的分析	381
50. 多层砖房扭转震害的分析	389
51. 砖石古塔的历史震害与抗震机制	394
52. 关于建筑结构抗震设计若干问题的讨论	401

1. 工程抗震科学研究四十年

魏 璉 周锡元

今年是新中国成立 40 周年。在党和政府的正确领导下,我国在科学研究的各个领域都得到了很大的发展,并在不少方面取得了举世瞩目的成就。我国是一个多地震的国家,人民深受地震灾害之苦,地震造成的人员伤亡和经济损失均居世界首位。解放前,我国在地震工程和工程抗震研究方面几乎是一片空白,经过新中国成立后这 40 年来的艰苦奋斗,我国在地震工程和工程抗震研究领域,取得了显著的成果,不但在理论研究方面作出了许多贡献,在解决工程抗震的实际问题方面,更是发展了自己独有的特色。

本文拟就以下八个方面简述新中国成立 40 年来,在地震工程和工程抗震领域中科学研究的主要成就。

1 强地面运动研究

强震观测是地震工程研究的基础,自问世 50 多年来,一直受到世界各国地震工程界的重视,并已成为国际地震学和地震工程学研究中最活跃的领域之一。

我国的强震观测工作始于 20 世纪 60 年代初,1962 年在广东省新丰江水库主坝上建立了我国第一个实验性强震观测台站。1966 年 3 月,河北邢台地震后,我国开创了在地震区捕捉余震记录的近场流动观测工作,并取得了有价值的记录。随后,在邢台、石家庄地区布设了我国首批固定台站,初步形成了一个强震观测台网。自此以后,又经过 20 年左右坚持不懈的努力,并随着我国自制强震仪的发展和国外先进仪器设备的引进,目前已在 7 个主要地震活动区内的地下、地面和结构物上先后布设了 250 多台强震仪,形成了一定规模和具有一定特色的强震观测台站,取得并出版了一批有价值的强震观测记录。

值得一提的是,在 1988 年 11 月云南澜沧、耿马地震中,我国地震工作者在事先布置的强震观测站及震后布设的流动观测台共获得了几百条强震记录,其中加速度峰值最大者超过 $0.5g$,不仅是我国自新中国成立以来所取得的最大加速度记录,而且在亚洲也是屈指可数的。

强震观测记录需要经过技术处理才能有效地应用于地震工程的研究与技术。20 世纪 70 年代后期,我国开始了对强震观测记录的数据处理技术进行较为系统的研究,并在引进国外先进技术的基础上,逐步形成了适合国产及进口仪器记录的数据处理技术,其中包括数字化随机噪声的研究、仪器失真校正、基线误差修正、反应谱快速计算方法等。同时,还发展了相应的计算机软件,处理了多年来搜集到的外国强震记录,并于 1984 年建成了我国第一个强震加速度记录数据库。

总的来说,我国自己的强震加速度记录还不多,且大多是余震近场记录,所以在地震

动衰减关系的研究中,还不得不引用一些国外的数据。鉴于我国广大地区缺乏强震记录,因此,研究工作的重点之一是充分利用我国丰富的历史地震资料,其中包括从震害调查中得到的宏观地震烈度资料。1980年,我国修订出版了“新中国地震烈度表”,其后不久,又在考虑椭圆形衰减规律的基础上,给出了我国各地区地震烈度衰减关系。为了便于工程抗震设计应用,我国还利用回归统计方法研究了烈度与加速度或其他地震动参数的对应关系,提出了有价值的研究成果。

在近场地面运动方面,我国还卓有成效地发展了波动理论的工程应用,其中包括应用解析和有限元、有限差分等方法分析地震动的传播、结构和土层的动力相互作用。在波动理论方面,我国还发展了透射边界的离散数学模型,取得了满意的结果。

2 场地效应与土壤液化

我国的地震工程学者们对于场地对地震动参数影响的研究,一直是十分重视的。早在20世纪60年代初期就指出,场地影响应区分地基失效和振动效应两种不同的情况,前者应采用场地选择和地基处理方式来解决;对于后者,当时建议将场地土分类,对不同的场地采用不同的设计反应谱,并将软弱场地上的长周期部分加大。这一规定相当于加速度峰值不变,但速度与位移的峰值则在软弱场地上加大,这不但符合当时已取得的实测数据规律,而且为此后更多的宏观和仪器数据所证实。这一重要研究成果的提出,约比美、日等国早10年。

在断层的研究方面,我国学者将断层区分为“发震”和“非发震”两类,具有实际意义。因为后者仍可作一般工程场地应用,改变了过去不分情况在活动断层上一律按提高设防烈度考虑的规定。对于局部地形影响的研究,也取得了很好的成果。震害分析与有限元理论分析均表明,与平坦的自由场相比,山顶的地震动可放大5倍(水平向)和1.4~2.2倍(竖向);凹陷区边缘略有放大,底部则略有减小。这些成果对于工程抗震设计是很有参考价值的。

我国在土壤液化的研究方面,在世界上占有较高的地位,特别是近20年来在分析历次大地震提供的丰富资料方面,在世界上堪称是独树一帜。早在20世纪60年代初期,我国已开始在试验室探索砂土受振液化的问题,但对地震时土壤液化的重大危害,则尚未充分认识。1964年的日本新潟地震和美国阿拉斯加地震,揭示了地震土壤液化的巨大破坏性,从而导致了对此一问题的重视和广泛研究。

从1966年到1976年,我国先后发生了邢台地震、阳江地震、海城地震、唐山地震等几次破坏性地震。通过对这些地震中所暴露出来的大量喷砂冒水、地面开裂及大面积砂土和粉土液化等问题的深入细致的研究,使我国在土壤液化问题的研究水平进入了一个更高层次的阶段。例如我国78抗震设计规范仅规定了以标准贯入锤击数为基础的砂土液化判别公式,经过近10多年来的研究,在最近颁布的《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)中,有关土壤液化的规定有了进一步的发展,将原来的一次判别改为二次判别,既经济又有效;其判别式既适用于砂土,又适用于粉土,并增加了液化等级的判别,考虑了不同震级、远震近震等因素的影响。可以认为,我国在这方面的研究成果,在世界上也是居于前列的。

3 抗震分析理论

我国的地震工程学者们对于结构抗震分析计算理论的研究,一向给予较多的重视。从20世纪50年代开始就进行了考虑结构空间作用的抗震计算方法和结构随机振动的研究,所取得的研究成果,与当时国际上的研究水平相当。20世纪70年代末期,我国又对众多的抗震分析理论与方法问题进行了研究。对不对称多高层建筑,应用反应谱振型分解方法,给出了每个楼层在质心处两个水平方向的地震力及绕质心轴的地震扭矩计算公式以及CQC组合法,并以此代替SRSS组合,其振型数一般取前9~15个。对于竖向地震作用问题,研究了竖向地震反应谱,给出了简捷的计算高耸结构竖向地震力的公式及大跨度屋盖结构地震内力影响值,便于工程应用。对量大面广的单层厂房的整体抗震计算,也取得了很好的可供应用的成果。

我国学者对弹塑性地震反应计算方面的研究有其独到之处,先后发展了弹塑性位移谱、弹塑性位移比谱的概念,并扩大了它们的应用范围。近10年来,在采用时程分析法计算了大量不同参数的算例结果的基础上,提出了结构薄弱层的概念及确定方法,给出了多层框架薄弱层弹塑性位移的实用计算公式。此外,还成功地应用塑性内力重分布原理,提出了框剪结构薄弱层层间弹塑性位移的计算方法。在隔震结构的抗震计算方面,也取得了初步的成果。

进入20世纪80年代以来,模糊数学在我国地震工程领域的应用,得到了迅速发展,较有代表性的研究成果有地震烈度的模糊综合评判、地震作用下结构模糊随机地震反应分析方法、抗震结构的模糊动力可靠性计算公式等,还创造性地提出了抗震结构软设计理论。

为了使所研究的各种新计算方法能方便地应用于实际,已研制出一些配套的抗震应用软件,这对推广抗震科研成果和今后进一步发展都是很有意义的。

4 结构与设备抗震

砌体结构是我国使用历史最久、应用最广的一种结构形式。这类结构在历次地震中都遭受严重破坏或倒塌。我国对多层砌体结构的抗震研究始终给予极大关注,具有重大价值的成果是研究出了一整套构造柱配合圈梁的抗震措施,试验及实际地震都证明,它是这类结构防止倒塌的有效方法。此外,对配筋砖砌体和中小型砌块结构的抗震性能问题,也进行了不少的研究,取得了一定的成果。

在钢筋混凝土结构方面,我国更是进行了大量的试验与理论研究,对框架梁、柱及节点以及抗震墙等的计算与构造,提出了较为完整的抗震设计技术。在我国地震区的高层建筑中,框-剪结构、剪力墙结构及筒中筒结构已成为普遍采用的形式。关于钢筋混凝土梁、柱及剪力墙构件进入塑性阶段后的抗震性能与变形估计方法的研究,也取得了不少进展。

单层工业厂房结构抗震研究的主要成就表现在考虑空间作用的计算方法。同时,对天窗架的地震反应以及支撑系统、围护墙等的构造措施的研究,也都取得了较大的进步,已基本形成了这类结构较为完整的抗震设计技术。

我国的科学工作者们对各类桥梁结构,如梁式桥、曲梁桥、拱桥、斜拉桥等的抗震性能和计算方法进行了较为深入的研究,取得了高水平的研究成果,在国际上也有一定的影响。

在水工结构方面,对包括土石坝、拱坝、各类市政设施和工业构筑物等的抗震性能进行了理论分析和试验研究,所取得的科研成果已纳入有关的抗震设计规范。

我国从 20 世纪 60 年代后期开始对石油化工、冶金、电力等设备的抗震性能进行研究。尤其是在海城地震和唐山地震中,大量工业设备损坏,经济损失严重,有的还酿成了其他次生灾害,从而更加引起了人们的重视,并进行了大量的原型结构的动力性能实测,通过理论分析和震害经验总结,在各类罐、塔、炉等设备和装置的抗震性能与设计技术方面,取得了显著进步。

5 抗震设计规范与标准

1959 年和 1964 年,我国先后两次编制了“地震区建筑抗震设计规范(草案)”,填补了我国在抗震设计规范方面的空白,但限于当时的条件均未正式颁布实行。1966 年以后,我国连续发生了邢台地震等多次强烈地震。随着大量震害经验的积累和抗震理论研究的不断进步,我国第一本《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ 11—74)终于在 1974 年问世,这对促进我国广大地震区建筑的抗震设计起了巨大指导作用。1978 年又在总结唐山大地震经验的基础上进行了修订,这就是我国现行的《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ 11—78),修订内容中关于土壤液化判别、反应谱按场地土分类及多层砖房采用钢筋混凝土构造柱、单层厂房的抗震验算和构造措施等方面均具有我国自己的特色。

从 20 世纪 80 年代初开始,我国在吸取国内外最新科研成果、进一步总结震害经验的基础上,根据我国建筑统一标准的要求,对“78 规范”进行了全面的修订,明确提出了设防要求为“小震不坏,中震(设防烈度)可修,大震不倒”,在地震危险性概率分析基础上,分别具体定义了与不同设防水准相对应的烈度与加速度取值;场地分类由过去的三类场地土改为四类场地土,考虑了场地覆盖层厚度的影响;新的反应谱还可区别远震、近震的影响。不对称建筑抗震计算问题得到了圆满解决,抗震强度验算公式是在可靠度理论基础上研究提出的,对框架等延性结构,提供了大震作用下薄弱层层间弹塑性变形验算公式。对抗震构造措施给予了更多的重视,如多层砖房设置构造柱已由过去的超高弥补措施改为防止倒塌的必备措施。新的《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)已经得到批准,将于 1990 年 1 月 1 日起与现有“78 规范”并行执行,并在一年后将代替现行规范。可以认为,新规范是当今世界上较为先进、科学而合理的抗震设计规范之一。

除了房屋建筑抗震设计规范外,我国还相继编制了构筑物、水工结构、水运工程、铁路工程、公路工程、市政工程设计以及冶金、机械、煤炭、化工、石油、电力工程和通讯、工业设备等方面的专业抗震设计规范或标准,使我国各类工程结构的抗震设计逐步有法可依,有章可循,对保证工程质量,促进社会主义建设事业起到了很大的作用。

6 抗震鉴定与加固

1966 年邢台地震和 1967 年河间地震以后,我国北京、天津等地区为了预防地震破坏,开始对部分房屋进行抗震普查与鉴定,并开展了抗震加固的试点工作。1975 年海城地震后,进一步引起了人们对于京津地区大量的现有建筑,特别是对砖木房屋和其他老旧建筑抗震能力的忧虑,为了解决这一问题,我国组织编制了《京津地区工业与民用建筑抗震鉴定标准》。1976 年唐山大地震证实了加固后的建筑取得了大为改善其抗震能力的效果,通过总结经验与有关科研成果,我国于 1977 年编制与颁发了第一本适用于全国地震区的《工业与民用建筑抗震鉴定标准》(TJ 23—77),其中关于砖墙面积率的验算方法、框架与烟囱抗震鉴定方法,都具有一定特色,为使用者提供了合理而又简便的抗震鉴定方法。

我国采用的抗震鉴定设防烈度同新建设计,但设防标准略低于新建工程,在 8、9 度时强度验算的安全系数可降低 15%~30% (7 度不降),其要求为在遭遇设防烈度的地震影响时,一般不致倒塌伤人或砸坏重要生产设备,经修理后仍可继续使用。按这一标准加固的建筑,已有不少经受了地震考验,效果一般都比较良好。通过试验研究对于多层砖房提出了补设钢筋混凝土构造柱加固、单面或双面夹板墙加固以及局部加混凝土墙的加固技术;对于多层钢筋混凝土框架,提出了后加剪力墙加固方法,单柱延性加固技术以及外加劲型钢角钢加固砖柱、钢筋混凝土柱等方法。试验证明,这些加固方法均能显著提高现有建筑的抗震能力。

我国还发展了石油化工设备、铁路桥梁、水工建筑、地下埋管等工程结构的抗震鉴定与加固技术,编制了相应的技术标准,并取得了很好的效果。

7 试验仪器和设备的研制

我国于 1962 年首次研制成功动圈式加速度仪、具有机械触发装置和相对时标的光记录 6 线强震仪,并随即应用于新丰江大坝的实测。1966 年研制成 RDZ1-12-66 型强震仪,先后制成百余台,分别架设于我国各主要地震活动区,并取得一批记录。同一时期,我国还先后研制成 QZY 型强震仪和 SG-4-12 型地震仪。

最近 10 多年来,我国强震仪的研制有了新的进展,已从单一的多道光记录发展到包括多种光记录、模拟磁带记录、数字磁带记录的各种类型的强震仪,如各种 GQ 型强震仪及 SCQ-1 型强震仪等。

在动力和拟动力试验设备方面,建国以来,从无到有独立开发了环境脉动的现场测试仪器,同步起振机等现场测试设备,还发展了实验室抗震试验的自动数据采集系统,研制设计了拟动力伺服加载装置。

关于地震模拟振动台的研制,我国在 20 世纪 60 年代成功地建立了机械式正弦振动台。从 20 世纪 70 年代开始研制成功一批电磁激振的小型振动台,并逐步开展了电液伺服的中型模拟地震振动台的研制工作。我国还从国外引进了一些技术先进的地震模拟振动台。利用已建成的各种模拟地震振动台,进行了一大批各类工程结构的振动实验,取得了宝贵的数据,为提高我国工程抗震科学研究水平与抗震设计技术水平,起到了很大的

作用。

8 城市和工矿企业抗震防灾规划

新中国成立 40 年来,从基本不设防到单体工程结构设防、抗震鉴定加固,逐步发展成为一门新的学科——抗震防灾学。通过从多方面的研究和论证,全面规划,逐步采取各种防范措施,从而达到减轻城市和工矿企业的地震灾害的目的。

我国利用概率理论及模糊数学方法,研究了地震危险性的评定方法,结合场地条件与效应,进而发展形成了一套完整的地震小区划的技术与方法。与此相配合,我国又发展了一套建筑物及地下管网的震害预测技术,如经验总结法、直接统计法、当量统计法、震害潜势法和结构地震反应分析法等,分别适用于多层砖房、单层厂房和钢筋混凝土框架房屋等。此外,还以模糊数学方法为基础,建立了老旧民房震害预测法、城市地下管网抗震能力评定方法等。并进一步发展和建立了城市总体分析模型的计算方法,编制了相应的软件。运用以上科研成果,结合重要建筑抗震鉴定技术和抗震防灾对策的决策分析、地震灾害损失分析以及次生灾害分析等,为城市及工矿企业的抗震防灾规划编制奠定了基础。

1979 年我国首先在烟台、徐州两市试点开展了城市抗震防灾规划基础资料的研究工作及规划编制工作。通过边实践边研究,初步总结出了一套适合我国目前情况的城市抗震防灾规划编制程序与方法。自此以后,已有不少城市开展了这一工作。据统计,全国迄今已完成抗震防灾规划编制工作的城市已超过 70 个,其中一些城市在编制过程中就抓紧了规划的实施准备,目前已在有计划有步骤地实施,预期必将取得有益的成效。

本文原载于《工程抗震》1989 年 9 月第 3 期

2. 建国以来建筑结构抗震取得显著成就

魏 璉

解放前,我国抗震科学技术十分落后。建国 35 年来,在党和政府的重视与领导下,取得了很大的进步,尤其是在 1955 至 1966 年以及 1976 年唐山大地震以后,取得的成就更为显著。现就以下六个方面略加阐述。

1 地震荷载

解放初期,我国采用静力法,即用侧力系数乘以结构自重来确定地震荷载。20 世纪 60 年代初期,提出了单质点系统弹性反应谱,考虑三类不同场地土条件,按地震烈度及结构自振周期来确定地震力,并引入结构系数 C 将弹性地震力折减,以计入结构塑性及其他一些因素的影响,比原有静力法大大前进了一步。随后,又在假定地运动为平稳随机过程等前提下,提出了平方和开方 (SRSS) 的内力与位移组合法,使反应谱与振型分解法应用于多质点平面结构趋于成熟。这一成果已在 1974 年颁布的“工业与民用建筑抗震设计规范”中采用。

进一步的理论研究及近 20 年来历次大地震中建筑物的震害调查与分析表明,震源特性及传播途径等因素对谱形状也有一定影响,尤其是大震级、大震中距及软厚场地土条件,对于较长周期结构有较大的影响。目前已提出按烈度和震中距来考虑修改规范反应谱,将反应谱曲线按不同条件区分为五类,这是对反应谱理论计算地震荷载的一项改进。

对于扭转耦连的多层及高层建筑,反应谱及振型分解法的原理依然适用,假定楼板在平面内为无限刚,取每一楼层为三个自由度,可求得任意层 i 在第 j 振型的沿 x 、 y 及扭转三个方向的地震力公式,其形式与平面结构相同,振型组合采用完整二次项 (CQC) 法,一般取不少于 9~15 个振型。

我国对竖向地震荷载的研究作出了很大的努力,早在 20 世纪 50 年代末期,就有学者提出竖向地震力是影响结构破坏的主要因素,对此有的学者持不同看法,但对竖向地震荷载的重视与研究与日俱增,在 1976 年唐山地震之后的余震中实测地运动竖向加速度峰值平均达水平加速度峰值的 $2/3 \sim 1.0$,也说明了竖向地震的影响是不可忽视的,许多实际震害也需要考虑竖向地震的影响才能较好地加以解释。近年来,已根据大量地震记录作出了竖向地震反应谱,提出了竖向地震力的简化计算公式。

现有地震力计算理论系以刚性基础为假定,近年来研究了地基为柔性时地震力的计算问题,提出了工程实用计算方法。

还有的学者认为地震烈度与地震动指标存在着矛盾,建议在规范中不用烈度而直接采用地震动参数来进行地震力的计算。

2 抗震计算理论

地震作用具有强烈的随机性,我国从 20 世纪 50 年代即研究用随机振动理论来分析结构弹性地震反应,近年来,开展了弹塑性随机地震反应分析的研究,对马尔可夫扩散过程的福克—普朗克方程求解及等代线性化方法等得到了一些成果。对蒙特卡罗法仍给予较大的注意,采用拟合规范反应谱的人工地震波作为输入,将结构弹塑性反应分析结果统计得出最大层间位移统计参数,在此基础上,建立了以概率为基础的可靠度抗震计算方法,可求得结构的失效概率 P_f 及相应的可靠指标 β 。

模糊数学是一门年轻的新兴数学学科,近年来在地震工程中的应用取得了迅速的进展,开拓了可喜的前景,已在模糊烈度综合评定、震害预测及多层砖房高限值等多项课题中取得了成就。

结构优化理论也在建筑结构抗震中获得应用,在解决多层剪切型结构、烟囱、框剪结构中剪力墙数量等优化问题中发挥了效益。

近年来,还大力研究了直接动力法及地震波的选用,取得了一定的成果,还研究了大跨网架、悬索、复杂体型结构的抗震计算及多维地震作用下烟囱、塔架、斜交型结构的计算方法,均取得了有价值的进展。

3 结构弹塑性地震反应分析

结构在强震作用下的弹塑性地震反应分析是了解建筑结构抗震能力的一项基本方法。我国在 20 世纪 50 年代即对单质点结构进行研究,取得一定的成果。1977 年,原国家建委科教局下达了“地震作用下结构破坏机理研究”的课题,几年来已进行了钢筋混凝土梁、柱、梁柱节点组合件、环形截面构件、框架、剪力墙、填充砖墙框架、砖墙、砌块墙、构造柱砖墙等多种构件在反复侧力作用下的滞回性能的试验研究,提出了构件符合多段折线型恢复力模型时弹塑性参数的计算公式。

对不同恢复力模型,研究了构件在弹塑性阶段位置的判别法则,提出了弹塑性地震反应的计算方法,编制了计算机程序。目前,已能使用的有单杆件及多杆件剪切型结构,剪弯型结构,杆系框架(包括壁式框架),多层扭转耦连剪切型结构、单层厂房、高层框剪结构等多种结构形式。

在处理恢复力曲线转折点时,采用了对分法、内插迭代及折线段过渡法等多种有效方法,弹塑性地震反应能找出结构潜在的抗震薄弱环节(楼层),这对改善结构抗震设计提高结构抗震能力有较重大的意义。

4 抗震变形验算方法

我国自 1973 年开始研究结构抗震变形验算方法,此法以显式计算结构的变形,按结构许可变形指标进行变形验算,主要适用于钢筋混凝土框架、填充墙框架,框剪等延性结构。研究表明一般延性结构,顶点位移往往不是控制因素,危险在于薄弱层的弹塑性层间

变形可能出现较大的集中。

理论分析证明结构的强度水准及均匀性对结构在地震作用下弹塑性层间变形有关,提高强度水准可减小结构在大震作用下的层间变形,改善结构层刚度及抗剪屈服强度沿高分布的均匀性,也有利于缓和薄弱层弹塑性层间变形的集中。

经过近 5 年来的大量计算比较与统计分析,已提出多层剪切型结构弹塑性层间变形在统计平均意义上的实用计算公式。试验研究与整理分析国内外有关钢筋混凝土柱、剪力墙等构件变形试验数据,提出了构件的极限变形指标,还提出了以概率为基础的分项系数表达式改进结构截面设计。

为了提高结构的变形能力,开展了大量的试验研究工作,结果表明采用各种横向拉结或增加环向约束的箍筋构造,可以大大提高柱变形能力,带边柱或翼缘或暗栓的剪力墙,在弯曲破坏条件下,其变形能力可接近于柱子;剪跨比较大时,柱变形能力亦有所增长。

可以认为,变形验算方法是强度抗震设计的必要补充。

5 现有建筑物抗震鉴定与加固

我国现有建筑物的抗震鉴定与加固始于 1966 年邢台地震后。1975 年海城地震后原国家建委抗震办公室组织有关单位研究、编制了“京津地区工业与民用建筑抗震鉴定标准”。1977 年又进一步组织编制了适用于全国地震区的“工业与民用建筑抗震鉴定标准”,认真地汲取了唐山地震的经验与教训。

为了使现有建筑的抗震鉴定与加固具有更好的科学依据,近年来不少单位开展了试验研究与理论分析工作。对多层砖房常用的外加柱加固、配筋夹片墙加固、钢筋混凝土框架鉴定与加固等都提出了合理的设计计算公式。抗震鉴定的目的在于找出建筑物潜在的(隐含)危险、对症下药地采取加固措施,保证建筑物必要的抗震能力,防止隐含危险的转移。对加固前及加固后的建筑都应进行整体抗震能力的分析,确认加固方案的有效性。

1983 年,编制了以构件加固计算及构造为中心内容的“抗震加固技术措施”,现正着手编制“工业与民用建筑抗震鉴定与加固设计规程”。

甘肃、陕西、北京等地还对某些重要的古建筑与古文物进行了抗震试验研究与加固处理,取得了可喜的成果。

6 隔震与减震结构

震害调查发现多层砖房底部出现水平剪断通缝或设有柔性防潮层可导致滑移减震,使上部房屋得以保全,因而在底部设置摩擦力较小的滑动层是一种有效的减震措施。通过整体房屋模型基底设置滑动层时的振动试验及振动台上基底设有滑动层的振动试验,证明结构基底的隔震措施能有效地隔阻地震力向上传播。

对于单层厂房排架,在柱顶设置滞后阻尼器,它在设计地震力作用下保持在弹性状态,但在高烈度地震作用下将进入塑性,通过阻尼器的变形发展耗散地震能量,只将较小的地震力传给柱顶。这种减震装置已在试点工程中采用。

以竖向预应力为拼装手段,在钢筋混凝土框架梁底与墙板顶面处形成水平摩擦缝,当

较小地震作用时,墙板与框架可整体工作,当强烈地震作用时,水平摩擦缝将随地震作用而产生往复滑动,达到耗能减震。试验表明预应力摩擦水平缝构造有效,滑动机制可靠,已在一幢五层建筑中采用了这种预应力摩擦剪力墙结构。

7 结束语

建筑结构抗震的领域是十分广阔的,以上仅是笔者管见所及,已足见我国 35 年来在这方面的成就。抗震研究和有关工作正在党的领导下进一步开展,它们必将为四化建设作出新的贡献。

本文原载于《建筑结构学报》1985 年