

竖向地震力和 抗震砌块建筑

Vertical Seismic Load and
Earthquake Resistant Block Building

钱培风 著

中国大地出版社



图书在版编目(CIP)数据

竖向地震力和抗震砌块建筑/钱培风著. - 北京:中国大地出版社, 1997. 3

ISBN 7-80097-133-3

I. 竖… II. 钱… III. ①竖向力:地震力-影响-建筑物-研究②抗震结构:砌块结构-研究 IV. TU352.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 03497 号

竖向地震力和抗震砌块建筑

责任编辑 沈霞 咎文林

中国大地出版社 出版发行

(100081 北京市海淀区大柳树路 21 号)

北京市双桥印刷厂印刷 新华书店发行所经销

1997 年 3 月第 1 版 1997 年 3 月北京第 1 次印刷

开本 787 × 1092 1/16 印张 12.25

数字 210 千字 印数 0-5000 册

ISBN7-80097-133-3/TU·1

定 价: 22.00 元

大地版图书印、装错误可随时退换

前 言

强烈地震是极为严重的自然灾害,它不仅使人民遭到重大的经济损失,还要夺去很多人的生命和健康。我国唐山并不是太大的城市,建筑标准也不很高,1976年发生7.8级地震造成的直接经济损失就达96亿多元。死亡24万2千多人,重伤16万4千多人。最近几十年来很多国家对结构抗震研究都非常重视。经过很多学者的长期努力,现在已收到数以千计的强震记录,可以算出结构在任何时刻的内力或变形,给人以非常精确的感觉;进行试验时,也可以让振动台按照强震记录进行振动,对于地震工程的研究,似乎已相当完善。十分遗憾的是用实际震害来检验,无论在定量或定性上,都矛盾重重。所以根据计算结果采取的抗震措施,常常不能发挥应有的抗震效果,强烈地震造成的震害仍然十分严重。1994年1月17日美国洛杉矶地震仅6.6级,直接经济损失约为二百亿美元。1995年1月17日日本南兵库地震的震级虽为7.2级,但神戸市距震中三十公里以上,经济损失更高达一千亿美元左右,房屋倒塌将近一万栋,6000多人死亡,近30万人无家可归。1984年8月斯坦福大学一些专家们对下列三大城市未来五十年内可能发生大地震造成的经济损失进行预测如下,其数值之大更难以想象,人们对结构抗震似乎已失去信心。但笔者却非常乐观,认为如何使结构具有较高的抗震能力而造价又不太高,肯定是完全可能的,而且已是曙光在望了。

美国洛杉矶: 1250亿至1450亿美元。

美国旧金山: 超过1150亿美元。

日本东京: 8000亿至12000亿美元。

笔者认为结构抗震问题尚未很好解决的主要原因是:水平地震力对结构破坏起决定性作用的传统观点不符合实际。由于地震工程存在着很多无法确定的因素,所以按传统观点分析的结果有多大可靠性?必须用实际震害来检验。1957年我国第一次全国抗震学术会议时笔者就首次指出:传统观点不能很好地解释实际震害,并提出:“竖向地震力起主要作用”的新观点。新观点完全以实际震害为依据,1975年海城地震及次年唐山地震发生在工业较发达的地区,震害资料极为丰富,新观点才突然得到很多学者的积极支持,二十年来笔者从八个方面全面系统地论证传统观点不符合实际,新观点才能较好地解释实际震害的几十篇文章和专著,也得到很多期刊和出版社的支持,加以发表或出版,并应邀在国内外报告五十多次,引起了很多学者的兴趣。

最近二十年来国内外很多学者也发表了不少关于新观点的文章。1985年墨西哥地震和上述日本南兵库地震等,很多学者也指出竖向地震力对结构破坏起主要作用,美国的一些专家还提出要从南兵库地震中吸取经验修订他们的规范……。看来新观点取代传统观点的时间不会太长了。但要纠正那些不符合实际的想法和关于水平与竖向地震力如何定量等问题,可能还需要经过较长时间的研究,才能逐步解决。笔者认为大量震害的统计资料可能是解决这些问题的唯一根据。外国专家们虽然也非常重视震害调查,但他们没有大量科技人员进行这种工作。我国近30年来发生的数十次强烈地震,很多对工程结构十分熟悉的工程师们搜集到十分丰富的震害资料,目前可能是全世界唯一仅有的宝贵材料,非常希望能受到更高的重视和利用。后面将会看到,这些资料解决的问题是最接近实际的,是任何计算和试验都无法取代的。我国搜集到的资料虽然非常多,但仍嫌不够。因为有些问题,还需要更多的资料。

笔者应邀在各地报告时,很多工程人员希望能对竖向地震力提出一套具体计算办法。十多年来虽然进行过一些探索,限于水平,错误及不当之处一定很多。本书加以介绍,希望能作

为引玉之砖,请多加批评和指正。

在此还想说明一点:由于地震工程存在着一些无法确定的因素,笔者认为在一个相当长的时期内,它都是一个非常粗糙的学科。输入强震记录虽然可以得出形式上比较精密的结果,但假设条件的可靠性多大?谁都无法回答。有些学者选择适合的假设条件,寻找比较符合震害的分析结果,好处是分析计算显得严密,但由于不同的假设条件引起的差异很大,所以实际上仍然非常粗糙。笔者采取的办法是直接根据震害现象反算地震力,好处是不涉及上述无法确定的因素,分析结果比较接近实际,缺点是分析比较粗糙。有些好心的学者劝笔者也采取输入强震记录的办法进行分析。选择适当的假设条件,当然也可以得到笔者希望得到的结果,但笔者认为这是一门非常粗糙的学科,在分析时保持粗糙的本来面目,具体情况读者一望而知,任何人用实际震害来检验、讨论和改进,都十分方便。更为重要的是我们提出的新观点,完全是分析实际震害得出的结论,目前决不能让人误会认为:我们提出的新观点,也是分析强震记录得到的结果,所以笔者对上述建议表示非常感谢,但未采纳。

对于量大面广的民用建筑,本书最后一章推荐一种新型的墙体材料。虽然限于条件,很多工作尚未做完,但从已进行的试验和在很多地区修建的几百栋房屋看来,它不仅具有较高的抗震能力,还有很好的社会效益和经济效益。

内容简介

1. 根据我国丰富的震害资料:从八方面全面系统地证明有关地震力的传统学术观点(文中简称传统观点)是错误的;按竖向地震力起主要作用的新观点研究和考虑抗震措施,可以使严重的地震灾害大大减轻。

2. 根据大量震害统计资料,总结出任何分析计算或试验都不可能得到的下述重要结果或结论:

(1)证明近 30 年来受到各国极大重视的某些科研成果或结论是错误和有害的;

(2)对某些问题提供定量的根据;

(3)对震害预测提出简便而又可靠的办法;

(4)提出一些出人预料的统计结果,纠正不符合实际的想法。

3. 对某些行之有效的措施或概念设计提出合理的解释,供推广时参考。

4. 对水平与竖向地震力提出比较接近实际的新建议和计算办法。

5. 推荐一项抗震能力、社会效益和经济效益都很好的建筑材料。

目 录

第一章 概论

- 第一节 本书研究和讨论的主要内容..... (1)
- 第二节 强烈地震造成的严重震害是可以大大减轻甚至避免的..... (2)
- 第三节 我国 1974 年及 1978 年的抗震规范简介..... (7)
- 第四节 我国 1990 年开始执行的新规范的某些特点..... (10)
- 第五节 柔性地基对结构震害的影响..... (11)
- 第六节 结构不同高度或房屋不同楼层数的震害与传统观点的矛盾..... (15)
- 第七节 关于震害预测..... (16)
- 第八节 几点说明..... (18)

第二章 各种砖房及土墙房屋的震害与初步分析

- 第一节 砖住宅及办公楼的震害与传统观点的矛盾..... (20)
- 第二节 内框架砖房的震害与传统观点的矛盾..... (24)
- 第三节 单层砖排架房屋的震害与传统观点的矛盾..... (26)
- 第四节 砖墙承重空矿房屋的某些震害现象和传统观点的矛盾..... (30)
- 第五节 土墙房屋的某些震害现象和传统观点的矛盾..... (31)

第三章 各种钢筋砼房屋的震害与初步分析

- 第一节 钢筋砼单层厂房的震害与传统观点的矛盾..... (34)
- 第二节 钢筋砼柱或框架承重的空旷房屋的震害与传统观点的矛盾..... (39)
- 第三节 钢筋砼框架结构的震害与传统观点的矛盾..... (40)
- 第四节 对钢筋砼结构与砖结构的变形能力和抗倒塌能力的讨论..... (44)

第四章 各种高柔结构及某些名胜古迹的震害与初步分析

- 第一节 砖烟囱的震害与传统观点的矛盾..... (46)
- 第二节 砖烟囱的纵波应力和产生多条环缝的破坏机理..... (50)
- 第三节 钢筋砼烟囱的震害与传统观点的矛盾..... (57)
- 第四节 热风炉等高柔结构的震害与分析..... (59)
- 第五节 我国古塔和某些名胜古迹的震害与传统观点的矛盾..... (60)

第五章 各种倒摆结构的震害与初步分析

- 第一节 砖筒水塔与砖筒沉淀塔的震害与传统观点的矛盾..... (64)
- 第二节 钢筋砼筒壁支承水塔的震害与传统观点的矛盾..... (68)
- 第三节 砖柱水塔的震害与传统观点的矛盾..... (69)
- 第四节 唐山新风井塔等的震害与传统观点的矛盾..... (70)
- 第五节 高位料仓的震害与传统观点的矛盾..... (72)
- 第六节 圆筒仓的震害与传统观点的矛盾..... (77)
- 第七节 加水箱烟囱的震害与传统观点的矛盾..... (81)

第六章 桥梁、通廊、路堤、土水坝、挡土墙、油罐、独立砖柱和地下建筑等的震害与初步分析	
第一节 桥梁的震害与传统观点的矛盾	(84)
第二节 通廊的震害与传统观点的矛盾	(88)
第三节 路堤、土水坝、与挡土墙的震害和传统观点的矛盾	(92)
第四节 油罐、独立砖柱、地下建筑……的震害与传统观点的矛盾	(94)
第七章 对竖向与水平地震力的初步建议	
第一节 地震时地面上物体和人的运动现象与分析	(96)
第二节 地震时房屋结构上物体和人的运动现象与分析	(101)
第三节 对竖向地震力的初步建议	(104)
第四节 对水平地震力的初步建议	(105)
第八章 竖向地震力的简化算法	
第一节 倒摆结构竖向地震力的简化算法	(110)
第二节 单层厂房竖向地震力的简化算法	(115)
第三节 多层建筑竖向地震力的简化算法	(119)
第四节 独立烟囱竖向地震力的简化算法	(123)
第九章 对某些问题的讨论	
第一节 研究新观点的实际意义	(126)
第二节 传统观点长期令人相信的原因之探讨	(130)
第三节 研究水平与竖向地震力的某些情况	(131)
第四节 实际震害反应的某些问题	(134)
第十章 抗震砌块与抗震保温砌块建筑	
第一节 原型与新型抗震砌块建筑	(136)
第二节 抗震防裂砌块建筑	(138)
第三节 抗震砌块建筑的社会效益与经济效益	(144)
第四节 抗震保温砌块	(146)
参考文献	(148)
插图	(151)

第一章 概 论

第一节 本书研究和讨论的主要内容

地震工程的传统观点认为:水平地震力是引起结构破坏的决定性因素,竖向地震力等则微不足道。若干年来很多学者按照传统观点进行研究,取得了十分丰富的成果。现在已收到数以千计的强震记录,对结构输入强震记录进行计算,可以得出结构在任一瞬间的内力或变形,但由于地震工程存在着很多一时无法弄清的因素,例如:在强地震作用下结构的力学性能、阻力的大小和性质、地基柔性的复杂影响以及强震记录的失真等,直到现在还不得不依靠某些无法证实的假设进行工作,所以对结构反应的分析结果有多大可靠性,谁也说不清楚。目前还不能进行和实际地震完全相同的实验,只有实际震害现象,才是真正的地震反应,所以学者们都非常重视对实际震害的调查和分析研究。

最近三十年来,我国发生的多次破坏性地震,都有很多科技人员前往调查,积累了大量的震害资料。常见的民房和烟囱、水塔等,基本上都是素砖结构,破坏现象和破坏机理十分明确,最易于分析研究,所以笔者认为它们对于地震工程这门学科是非常宝贵的资料。最近 20 年来我国很多学者分析这些资料,在他们的论文、著作和调查报告中也明确指出:传统观点与实际震害之间,存在着很多无法解决的矛盾。现在传统观点不符合实际的问题已引起普遍质疑。相信不久的将来,传统观点将会被新的观点取代。但这是传统观点本身的问题,学者们对它进行的研究成果仍然非常宝贵,应当受到充分尊重。如果没有这些成果,人们就无法用实际震害来检验传统观点是否正确,新观点也就无法得到支持了。

1957 年我国第一次全国抗震学术会议时,笔者分析日本一些砖烟囱出现多条环缝而不倒塌等现象就首次指出:“传统观点无法加以解释”,并提出是地面竖向运动引起烟囱的纵波应力造成的。当时国内还没有什么震害资料,这一观点没有引起学者们的重视,是毫不奇怪的。后来发生过几次破坏性地震,笔者虽然重复提出上述观点,但震害资料不多,也未引起注意。1975 年海城地震时,很多科技人员调查和搜集到各种类型结构的大量震害资料,在当年的海城地震会议上,笔者更明确而肯定地指出传统观点是错误的,并提出“竖向地震力起主要作用”的新观点,在小组会上报告后,各小组都约去报告,很多科技人员当场列举了很多震害现象加以证明,新观点才引起大家极大的重视。次年世界最著名的地震工程专家 E. Rosenblueth 来我国访问,对笔者的报告进行了长时间的讨论,最后表示完全同意所有论证。1976 年唐山大地震的震害资料更加丰富,支持新观点的科技人员也越来越多。笔者分析各种类型结构的震害从结构的破坏内力、破坏部位、某些破坏现象、在软硬地基上的破坏程度、结构高度或房屋楼层数对震害的影响和结构的抗倒塌能力以及地面上与结构上物体和人的运动现象共 8 个方面与传统观点都矛盾重重,只有新观点才能给出较合理的解释。几十篇文章,承《力学学报》、《建筑结构》、《地震研究》、《地震学报》、《地震工程动态》、《中国建筑文选》、《地震工程与工程振动》、《北京建筑工程学院学报》、《云南工学院学报》、《云南建工》、《大连建工》、《北京建材》、《四川建筑科学研究》及《云南市政》等杂志的大力支持并加以发表,对广泛宣传新观点,起了很大的作用。《地震研究》和《中国建筑文选》将文章译为英文发表,新观点才有机会和国外的专家们见

面。很多学术团体和大专院校邀笔者作学术报告共五十多次,引起了很多科技人员的很大兴趣。1985年四川自贡地震时,进行震害调查的很多科技人员对新观点给予支持。1985墨西哥地震及1995年日本南兵库地震等,很多学者也提出或支持新观点……。最近20年来和海城地震以前的情况比较,已经是大不相同了。但限于水平和条件,笔者的很多工作还做得很差,这是十分遗憾的。

作为新观点的首先提出者,笔者对所有支持者都表示衷心感谢。这里要特别提到的是学部委员胡聿贤研究员,当时他并不支持我的观点,但当我向 E. Rosenblueth 专家介绍新观点及讨论时,他非常热心地进行极为准确的翻译,还积极推荐我们的文章^[2]在国际学术会议上发表,更使我难忘。

现在支持新观点的人越来越多,虽然各国的抗震规范对于抗震验算,仍然是按照传统观点制定的,但也有了很大的改变。以前人们常将输入强震记录分析结构的反应视为精确解答,现在已认为它并不符合实际。文献^[2]是我国1990年开始执行的“建筑抗震设计规范”(简称新规定)的前身,它明确指出:“在高烈度下,结构进入破坏、倒塌阶段,计算是极不可靠的;”“新规范条文说明”也提出:“由于地震的不确定性和复杂性、以及结构计算模型的假设与实际情况的差异,使计算设计很难有效地控制结构的抗震性能。”另外,有些国家和我国的新规范对竖向地震力之值都有不同程度的增加,对水平地震力之值也根据某些理由加以大幅度降低,但这些增大或降低的数字和本书根据实际震害大致分析的结果比较相差还很大。

新规范除了对竖向地震力也有所增大之外,还提出了很多“概念设计”,并十分强调它的重要意义。所谓概念设计,就是根据实际震害的统计规律,提出与按规范计算结果相矛盾的规范。概念设计来自实际震害,显然是比较正确的。

大量的历史事实证明:这种新观点每前进半步,都会遇到极大的阻力。最近二十多年来情况已大大好转,新观点已在不断向取代传统观点的方面前进。本书进行较全面系统的论证,希望能加快它的前进速度。限于笔者的水平,其中错误及不当之处很多,衷心欢迎大家指正和批评并进行讨论。

第二节 强烈地震造成的严重震害是可以大大减轻甚至避免的

1. 按传统观点考虑的抗震措施常不能发挥很好的抗震作用,有时甚至毫无作用。

后面各章分析各种类型结构的大量震害证明:按传统观点计算的结果与实际震害在破坏内力、破坏部位、某些破坏现象和抗倒塌能力等方面都是矛盾的。不难想象,按传统观点采取的措施,自然不能发挥较好的抗震作用。这里先作简单的讨论如下:

(1) 关于破坏内力的问题。

按传统观点计算,几乎所有结构都是弯矩起控制作用,采取的抗震措施当然应以加强结构的抗弯能力为主,下述的震害现象(后面各章将详细叙述)说明,这种措施的作用不大,有时甚至是无用的。

唐山地震时,倒塌的多层砖房、框架、砖烟囱和头重脚轻对水平地震力最敏感的倒摆结构如砖筒水塔、高位料仓、圆筒仓等都是竖直下落。1985年墨西哥地震时,很多十多层的框架结构,都是上部塌落于残存底部的一二层之上……。多地震的日本对结构抗震十分重视,施工水平也很高,但1995年1月日本神户地震时,结构的破坏方式和震害的严重程度,使学者们深感惊讶。神户市政府的八层框架办公楼,第六层被压扁,上部竖直下落重叠在一起;其它十多栋框架也产生相同的破坏,仅被压扁的楼层和楼层数不同而已;有一栋各层皆被压缩,呈“压饼

式”的震害^[91];加强抗弯的能力,对抵抗拉力虽然有些好处,但加强的部位以及其它问题还很多,对防止这类破坏并不能发挥较大作用。

按传统观点计算,砖筒水塔和砖烟囱的抗剪能力高于抗弯四五倍以上,但实际震害出现水平扭转,水平错位及较平斜缝的现象不少,稍加分析就可以知道它们是上部跳起或处于拉剪状态下形成的。增强结构的抗弯能力,对防止这种震害虽然也有点作用却不会很大。上述神户地震时,有一个桥墩被扒出地面很长一段^[91],足以说明竖向地震力是多么的强大,显然是考虑结构抗震的主要地震破坏力。

地震使很多砖筒水塔、砖房和砖烟囱产生竖缝,增加抗弯能力的措施,不产生副作用已是万幸。R、C、结构也有产生竖缝者,只是数量较少而已。

地震时有些砖结构发生酥裂和砖块破碎等现象,容易理解提高抗弯能力的措施,也是作用不大的。

R、C 柱常出现砼破碎掉落、主筋屈曲呈灯笼状以及柱端发生移位后主筋被压曲、砼破碎掉落等现象,更不是加强结构抗弯能力所能解决的。日本神户地震时,很多 R、C、桥墩也出现此类现象^[91]。

(2) 关于破坏部位的问题。

按传统观点计算,多层砖房无论验算抗弯或抗剪,都是底部最危险,顶层最安全,所以工程师们常常只增加底部墙体的厚度或砂浆强度。但实际震害却是顶层破坏得最多也最重,可见增加底部抗震强度的措施,对大多数震害是无益的。多层框架结构按传统观点计算也是下部较危险,顶部较安全,实际震害也多数是上重下轻。R、C 单层厂房按传统观点计算,是大柱底最危险,小柱底其次,屋顶最安全,所以大柱底必然是抗震设计加强的重点,但实际震害却常常相反。1975 年海城地震时,第三章介绍的营口市老边钢板厂的这种厂房,大柱仅破坏 15%,小柱却破坏 80%,屋顶除中央一跨残存外,其余 18 跨全部竖直掉落于厂房内。可见加强大柱底抗震能力的措施,只不过给人一个不切合实际的安慰而已。我国古塔也常破坏在计算较安全的顶端,可见按传统观点采取的措施也不可能发挥较好的作用,这里不再多谈。

(3) 关于抗倒塌能力与提高结构延性的问题。

最近 30 年来很多学者按照传统观点,根据强震记录进行复杂的分析得出:“延性很好的 R、C、结构破坏之后,还有很好的变形能力和抗倒塌能力;延性很差的砖结构破坏后很容易倒塌或抗倒塌能力很低”的结论,受到学术界极大的重视,几乎所有国家的规范都加以采用。因此人们常将结构延性好坏视为抗震能力高低的主要标志之一。不少人曾积极研究提高结构延性的措施,有时甚至不惜牺牲结构的刚度或强度以换取结构的延性。笔者认为这是上述结论造成的严重后果,它不仅将浪费一定的建设投资,还可能降低结构的抗震能力。笔者曾多次发表文章指出:结构抗震能力的好坏与延性毫无关系,有一篇曾获优秀论文一等奖。但直到现在,上述结论仍然有很大影响,很多人仍认为 R、C、结构的抗倒塌能力高于砖房,现以表 1—1 的资料略加讨论如下:

表 1—1 是我国唐山地震砖房震害的统计资料^[33](二)。如果将大约 50% 发生破坏的烈度视为它的破坏烈度(或抗破坏能力),可见砖房的最大弱点是抗破坏能力太低,还不到烈度 6 度,远远低于 R、C、框架结构的破坏烈度,所以地震时后者破坏的数量比前者少很多,但这与抗倒塌能力毫无关系。如果我们将 30% 发生倒塌的烈度称为它的倒塌烈度(或总的抗震能力),则砖房的倒塌烈度高于 9 度。这说明砖房破坏后还能抵抗高达 3.5 度左右的地震(参考表 3—4 可见:R、C、框架破坏之后只能抵抗 2 度左右的地震),而且接近倒塌烈度时,砖房严重破坏的数量很多,这说明它们在倒塌之前,已和强烈地震进行了顽强的搏斗,流尽了最后一滴

“血”才“壮烈牺牲”，不少人认为它们的抗倒塌能力很差，岂不是天大的冤案。这一情况按传统观点计算和考虑当然无法理解，但按新观点则是顺理成章的事。如果我们采取提高它的延性的措施，很可能是好心干了“坏事”，所以笔者特郑重提请注意。有的学者为了使框架结构具有较好的延性或变形能力，将梁端做成塑性铰，以降低其刚度或强度，这也是好心干“坏事”。这好象《红楼梦》中的贾敬听了某种传说，妄想长生不老，终日参星拜礼斗、吞金服砂，反而弄坏了身体一样。

唐山地区多层砖房的震害统计(%)

表 1-1

烈度	震 害 的 百 分 比 (%)				
	倒塌	严重	中等	轻微	完好
6	0	1.4	12.2	40.2	46.2
7	0	13.1	21.7	21.7	43.5
8	0	23.5	29.4	35.3	11.8
9	15.1	32.5	34.3	6.8	1.3
10	68.0	19.9	6.5	5.0	0.6
11	81.8	11.7	4.7	1.5	0.3

根据以上所述，笔者认为结构抗震未能很好解决的主要原因是传统观点造成的。好心干“坏事”的例子还很多，例如为了加强砖房的抗剪强度，按传统观点考虑、配横筋的效果应优于配竖筋。但如上述，砖结构常产生水平扭转、水平错位与平缝等，配横筋实际上是反而起了降低抗剪能力的坏作用。

2. 按新观点或实际震害情况考虑的抗震措施必然会产生较好的抗震效果。

如前所述，目前新观点不讲求形式上的精密，而以计算结果接近震害实际为唯一要求。根据震害实际考虑的抗震措施，势必会产生对症下药和较好的抗震效果。现在新观点已得到越来越多学者的支持，我国新规范也根据震害提出了很多概念设计，所以笔者相信强烈地震造成的严重灾害将会大大减轻甚至避免。这里也先简单讨论一些情况以示一斑。

根据震害现象和第七与第八章讨论的情况看来，几乎所有结构受到的主要地震力都是轴向力而不是弯矩，所以应将抗震措施由加强抗弯改为加强抗轴向力。如果这一观点得到大家的认可，纠正了主要方向之后，工程师们对各种结构的抗震措施，都可以根据他们丰富的工程经验和各种结构不同的特点提出很好的办法。这里也以砖房为例略加讨论如下：

提高砖房的抗拉能力是非常困难的，但我们可以让它地震时自由上跳以消耗大量能量，保持它良好的抗倒塌能力(参看第三章)，但采取防止它跳起落下时互相砸坏倒塌以及跳起时位移过大掉落于地的措施。这说明按两种观点采取的抗震措施差异很大。参看本章讨论的震害情况，笔者认为采取这种措施，将会使震害大大降低。

在实践中有些有效的抗震措施，传统观点不能给出很好的解释，有些科技人员就可能盲目推广，这里举一个常见的例子以供参考。砖房在水平地震力作用下的内力，主要是弯矩与剪力，如果重心与刚心相距较远，也可能需要考虑扭矩的作用(扭矩也是产生剪力)。圈梁对砖房抗弯、抗剪和抗扭都没有什么帮助，但很多实际震害表明：圈梁对砖房抗震却有较大好处。表 1-2 是 1966 年云南东川地震时某工厂在浪田坝一小块地面上修建同一式样 2 层砖房的震害情况。其中 17 栋为砖房：16 栋有一道圈梁，2 栋完好，产生中等及轻微破坏者各 7 栋；一栋有两道圈梁完好。虽然数量不多，但由于各种条件大致相同，所以也能说明圈梁对砖房确有较好

的抗震作用。另两栋土坯房屋无圈梁,分别遭到中等及严重破坏。由于这种房屋灰缝强度的影响较大,主要材料的影响较小,所以也录供参考。

东川地震二层住宅的震害情况

表 1-2

结构情况	破坏程度				
	倒塌	严重	中等	轻微	完好
砖墙砖柱承重(顶层一道圈梁)	0	0	7(44)	7(44)	2(12)
砖墙砖柱承重(上部二道圈梁)	0	0	0	0	1(100)
土坯墙承重(无圈梁)	0	1(50)	1(50)	0	0

很多国家和我国的抗震规范都很重视砖房加圈梁的抗震措施,这当然也是一种概念设计,因为按传统观点算不出它对抗震有什么好处。

新观点和概念设计都是来自实际震害,所以新观点对于概念设计常能给出较合理的解释,现就砖房加圈梁的作用讨论如下。由于房屋的重量分布不均,墙体又有门窗孔洞等,所以不同部位墙体的自重压应力和竖向地震力差异很大。按新观点:竖向地震力很大的部位(如窗间墙、屋架和梁的下面等)将首先发生破坏或砖块松动破碎等现象,然后再逐渐扩展到其它部位;无论是横墙或纵墙承重,横墙与纵墙承受的自重和竖向地震力相差也很大,由于它们上下运动不协调,纵横墙联接处砖块的搭接长度又较短,灰缝容易松动,所以很容易引起外墙外闪或外倒;在很大的自重压力和竖向地震压力共同作用下,使砖墙或砖柱横向受拉,也常出现竖缝……。当地震烈度较高或持续时间较长,上述各种破坏现象进一步恶化,就可能引起砖房竖直塌落。圈梁可以使房屋的自重与竖向地震力的分布较为均匀,不易破坏;可以加强房屋的整体性,使房屋内外墙的联结得到加强,外墙不易外闪或外倒;还可使砖块破坏或松动之后不易散落,墙体仍能保持一定的抗压与抗剪能力;所以圈梁对砖房抗破坏与抗倒塌能力都是有利的。但在墙体与圈梁上下接触处,也将形成易于滑动和容易被拉断的薄弱面。唐山地震时陡河电站水处理室东南面圈梁以上的砖墙发生倒塌(文献^[88]照片 139);照片 1-1 的圈梁被甩出;照片 1-2 及文献^[89]照片 II-12 圈梁下墙体向内滑动;都是圈梁产生的副作用。总的说来,圈梁对于砖房抗震是好处很多,虽然也有副作用,但与好处比较显得次要。

笔者在全国各地曾看到很多砖烟囱、砖筒水塔及矩形砌块房屋也都加设圈梁,对抗震是否有利,就值得研究了。如前所述、圈梁对结构抗弯、抗剪和抗扭都没有什么帮助,所以按传统观点或我国规范进行抗震验算时,工程师们从未考虑有圈梁和无圈梁有何差异?现在再按新观点或实际震害情况对上述结构加圈梁的问题略加讨论如下:砖筒水塔和砖烟囱的整体性都很好,各部位承受的自重压力和竖向地震力较为均匀,也没有外墙外倒或外闪等问题,加圈梁可能形成易于破坏的薄弱面(照片 1-3),文献^[33](二)顾纯武、宋绍先、俞祖范等也指出:在圈梁上下常出现水平裂缝和水平错位等。可见这类结构加圈梁对抗震是否有利,颇值得考虑。但砖烟囱、特别是砖筒水塔,常出现一条或多条竖缝,圈梁对防止竖缝显然是有好处的。矩形砌块房屋与砖房比较,最大的缺点是抗剪强度较低,圈梁并不能帮助克服这一缺点;前者的灰缝数量比后者少很多,纵横墙联接处砌块的搭结长度也较长,可见矩形砌块房屋的整体性比砖房好,增设圈梁的好处显然不如砖房,但却要增加房屋的造价和形成上述薄弱面,所以笔者认为矩形砌块房屋加圈梁是害多于利。第十章介绍的抗震砌块房屋与砖房和矩形砌块房屋比较,抗剪强度和整体性都高得多,外墙不易外闪,墙体或柱也不易出现竖缝,加圈梁虽然可以使

自重和竖向地震力的分布比较均匀,但不仅要增加造价,而且将形成上述薄弱面,对抗震产生不利的作用,总的说来是害多利少,所以在推广过程中笔者常指出:除顶层及底层因防止温度应力及基础不均匀沉陷需加圈梁外,中间各层均不设圈梁。但有些学者认为:“绝不可省去所有的圈梁”,也不提出什么理由。如果上面的分析没有太大的问题,那就说明这种意见并没有经过慎重地分析研究,是不可取的。

砖房具有设计施工灵活、居住舒适、特别是造价低廉等优点,所以很多国家现在还在大量使用。我国最近几十年来修建的民用建筑,几乎百分之九十为砖房。由于烧砖要破坏大量耕地,消耗大量热能,很多学者又在积极研究和推广砌块建筑,也修建了大量住宅,它的造价比砖房还低,房屋的使用面积也比砖房高,遗憾的是抗剪强度比砖房低很多,所以我国规范规定在地震区使用,除了要增加某些措施外,房屋的高度也受到一定的限制。

我国是一个多地震的国家,各省的省会和较大的城市最低都是按7度设防。砖房是最容易遭到地震破坏的,5.5度至6度就有一半左右发生破坏,但表1-1等大量的震害统计资料证明:延性很低的素砖房屋(或其它砌体房屋)的抗倒塌能力非常高,施工质量得到保证的砖房,9度也不至倒塌。这一结论告诉我们,有些学者认为:素砖(或砌块)建筑不宜用于地震区的说法并不完全正确。如果我们对它的优缺点有了正确了解之后再加以研究,就可能取得良好的抗震成果。

1976年唐山地震后,我国很多科研单位都在进行提高砖房及矩形砌块房屋抗震能力的研究。早已订入规范并在全国广泛使用的加构造柱(包括圈梁)砖房,14年前根据5个科研单位进行大量试验的结果表明:每间(隔间)加构造柱的砖房,按传统观点计算,能提高抗震能力15%(6.4%),笔者认为按新观点考虑,对抗倒塌能力将提高较多。矩形砌块房屋加芯柱的措施,也已订入新规范,今后也会得到大力推广,但从规范对它的高度或楼层数限制看来,其抗震能力可能稍低于加构造砖房。上述两种建筑若再按新观点增加某些措施,还可能会增加一定抗震效果。

笔者1957年就开始从事改变砖或砌块形状(抗震砖或抗震砌块)以提高房屋抗震能力的研究,但从未考虑提高延性的问题。1982年以后,先后得到云南工学院(现云南工业大学),云南省建工局、建科所、云南省科委、建委、抗震办、下关市建委、下关水泥制品厂、大理州建委、国家建委抗震办、黔西南州科委与建委、贵州省科委、贵阳市科委、晴隆县科委的大力支持,我们学院(北京建筑工程学院)也允许我长期在遥远的西南和各单位合作,进行了不少工作。1982年云南工学院用木块做成小模型,由科研处与建工系的一些同志和笔者带着到各地震区去宣传介绍。云南交通学校也派出教师沈蕴芬参加这些工作。由于它具有良好的整体性,在各地介绍后都得到好评。最初设计的抗震砌块(这是统称。后来经过两次修改,为了区别,最初设计的称为原型抗震砌块,第一次修改后的称为新型抗震砌块,第二次修改后的称为抗震防裂砌块),首先是下关水泥制品厂免费试制的,经过多次探索,终于非常成功的做成第一批抗震砌块,并免费运送两车到昆明。在特别热心科研工作的云南建工局李铎局长的积极支持下,由云南建科所免费进行与砖墙片对比的抗剪试验,后来在下关(9度区)修建了两栋4层试验楼。最后核算,除按规范计算抗震能力超过加构造柱砖房22%以上之外,还有很高的经济效益(仅墙体费用就减少13.2元/m²)和社会效益(如保护农田、节约热能及提高房屋使用面积7%等)。1983年3月科研协作组的负责单位云南工学院在偏僻的下关市召开鉴定会,很多专家学者都不辞辛苦,来到现场。在积极支持此项工作的党中央政策研究室梅行主任的特别代邀下,国家科委和国家计委还派了两位工程师来参加会议。全国著名专家吴中伟、陶启坤、周炳章、严理宽等在鉴定书上给予全面肯定。丁大钧教授因病未参加,也写了书面材料加以好评,并对孔洞

位置提出了十分宝贵的意见。鉴定会后笔者和罗永康同志曾先后应邀在全国各地(包括改进后的抗震砌块)及国际学术会议上介绍了七八十次。很多期刊杂志如:《昆明市政》、《建筑结构》、《中国建筑文选》、《建筑砌块与砌块建筑》、《云南建工》、《四川建筑科学研究》、《大连建工》、《北京建材》、《国外地震工程》、《工程抗震》、《贵阳科技》、《第七届国际砖石结构会议论文集》、《中美砖结构抗震学术会议论文集》和我们学院的《北京建筑工程学院学报》等,也极积支持发表有关文章共二十多篇,在云南和贵州修建了几十栋房屋,引起了很多学者和工程师们的很大兴趣。

新型抗震砌块的孔洞形状和位置都有所改变,已不能采用下关试制成功的横向抽孔办法生产。1984年以后在黔西南州科委、建委、贵州省科委及晴隆县科委的大力支持下,黔西南州建委开始研究竖向抽孔,经反复试制和改进,也很成功。后来晴隆县科委改在地面上做地模,生产更加方便,也做过不少抗压和抗剪试验并召开鉴定会,得到大家的好评。在兴义、晴隆及毕节等地也修建了不少房子。

抗震防裂砌块及抗震保温砌块建筑,1988年得到贵阳市科委的大力支持,定为攻关项目,以4万元作为研究费,并以一栋7层办公楼作为试验楼。施工过程中引起了省内外很多地方的工程师们前来参观。在中建四局科研所(贵州进行试验的权威单位)等进行过多次抗压试验、普通抗剪试验及抗震保温砌块墙片的稳定试验等,结果都很理想。晴隆县科委还请云南工学院抗震所进行了一批墙片抗剪试验,取得了这种砌块的重要试验数据。对贵阳市科委试验楼按规范分析的结果,可以抵抗8度地震,超过贵阳的地震烈度(7度)一度,与笔者设计的强度十分接近。这种砌块在四川、山东、北京及贵州很多地方已建房数百栋。抗震保温砌块也在贵阳、山东及北京等地试用,据说保温效果不错,但至今尚缺热工试验数据。

对于这种新型建筑材料的生产与施工技术,经过很多工程技术人员努力,一开始就很成功,后来又不断改进,到1988年人工生产的技术可以说已完全成熟。在修建实际工程的过程中,曾碰到某些实际问题,也不断得到解决。贵阳市科委后来又修建一栋5层办公楼和8层住宅,现在还在修建三层楼的厂房和一些辅助楼房等。实践证明它的社会效益、经济效益都很高,还有很高的抗震能力,所以本书将在第十章加以详细介绍。笔者认为按新观点考虑再增加某些措施,抗十度甚至再强一点的地震是有希望的,这里不再多述。

最后,还要说明一点:抗震砌块在全国各地已建房数百栋(有十多栋建于非地震区,虽然经济效益稍低一些,但房屋特别坚固),原材料都是混凝土。昆明市环保局何德全局长,特别关心利用工业废料、减少污染的问题,在他的热心支持下,十年前在昆明新闻路修建了一栋粉煤灰抗震砌块6层住宅,后来很多地方都很感兴趣,想来今后一定会在较多的地区修建工业废料抗震砌块房屋。

笔者相信,对其它结构非常熟悉的工程师们,也肯定能按新观点想出很多真正有效的措施来。笔者对此是信心十足的,问题是本书对新观点的证明可靠性多大?则需要专家们加以审核、评定和指正。

第三节 我国1974年及1978年的抗震规范简介

人们对地震工程的研究,长期是遵循传统观点,虽然取得了很多成果,但用实际震害来检验,却是矛盾重重,所以很多国家的规范都在不断修改,一方面不断吸收新的科研成果,一方面也广泛参考其它各国的规范。各国规范在定量等方面,有时会出现较大的差异,但最近三四十年来,对于水平地震力的计算办法却是大致相同的。我国规范对于地震力,也一直是按传统观

点制定的。笔者常将按我国规范计算的结果作为传统观点的代表考虑,因为在讨论传统观点与实际震害存在矛盾时,我们着重注意定性方面的矛盾,并不很关心定量问题。也就是说,如果将计算结果放大或缩小某一倍数,就和实际震害大致符合,我们并不认为二者存在严重的矛盾。后面引用的很多计算结果,都是按我国 1974 年及 1978 年规范计算的,所以这里对这两个规范的计算情况略加介绍,以供参考。虽然新规范和过去规范的计算结果并没有太大的差异,但在概念上却有很大的改变,还增加了一些新内容,下一节也进行大致的介绍。

我国 1974 年及 1978 年的规范,对结构竖向地震力的规定,都是按静力理论计算:8 度取为结构自重的 10%,9 度为自重的 20%。对于非常粗糙的地震工程而言,它的影响是微不足道的,所以工程师们进行抗震验算时,一般都不考虑。

关于水平地震力,系采用反应谱理论进行计算:

1. 对于高柔及重要的结构,规范要求采用振型分解法,计算两三个甚至更多振型的反应。首先是分别求出各振型的地震荷载,再求各振型的地震内力(弯矩或剪力等),然后再加以组合。

以 $S_j(i)$ 表示第 j 振型 i 点的地震荷载, $X_j(i)$ 表示第 j 振型, Q_i 表示 i 点的重量, r_j 表示第 j 振型的参与系数, α_j 表示第 j 振型的地震影响系数, C 表示主要考虑结构延性等因素影响,对水平地震力加以拆减的结构系数。按(1-1)式求出 $S_j(i)$ 后当作静力作用于结构,即可计算 j 振型各截面的弯矩与剪力等内力。

$$S_j(i) = C\alpha_j r_j X_j(i) Q_i \quad (1-1)$$

$$r_j = \frac{\sum_i Q_i X_j(i)}{\sum_i Q_i X_j^2(i)} \quad (1-2)$$

$$\alpha_{\max} \geq \alpha_j \leq 0.2\alpha_{\max} \quad (1-3)$$

α_j 之值与地基软硬有关,可按图 1-1 或(1-4)式至(1-6)式求取。地基共分为三类:

(1) 对于硬地基或 I 类地基(卓越周期约为 0.2 秒)

$$\alpha_j = \frac{0.2\alpha_{\max}}{T_j} \quad (1-4)$$

(2) 对于稍硬的 II 类地基(卓越周期约为 0.3 秒)

$$\alpha_j = \frac{0.3\alpha_{\max}}{T_j} \quad (1-5)$$

(3) 对于 III 类软地基(卓越周期约为 0.7 秒)

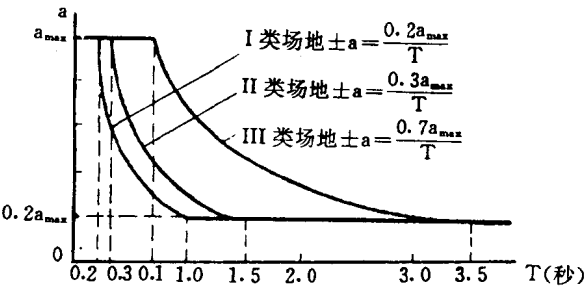


图 1-1 地震影响系数 α

$$\alpha_j = \frac{0.7\alpha_{\max}}{T_j} \quad (1-6)$$

式中: T_j 为结构第 j 振型的周期。

$\alpha_{\max}$ 之值,随地震烈度而异,如表 1-3 所示。

表 1-3

烈度	7°	8°	9°
$\alpha_{\max}$	0.23	0.45	0.90

以 $\Delta_j(i)$ 表示第 j 振型 i 点的任一种内力, Δ_i 表示 i 点各振型组合后的总内力, 则:

$$\Delta_i = \sqrt{\sum_j \Delta_j^2(i)} \quad (1-7)$$

这里需要说明的是: 用(1—7)式求出各点的剪力或弯矩之值, 只表示该点振型组合后的剪力或弯矩, 如果绘成剪力图或弯矩图, 它们并不互相对应, 也没有对应的地震荷载。需要特别注意的是(1—7)式不能用来组合地震荷载, 因为平方后负的地震荷载也变为正值, 算出的剪力及弯矩都将比按(1—7)式算出者大很多。实际上振型分解法系线性微分方程的解答, 需要采取线性组合的方式求出的地震荷载、剪力、弯矩或变形等才有对应关系。(1—7)式为非线性组合, 按说是不合理的, 但用来计算最后的地震内力, 并没有什么关系。笔者也曾研究过线性组合的办法, 但规范未采用, 这里不加以介绍, 将在最后一节略加讨论。

结构系数 C 之值见表 1—4, 虽然规范说明主要是考虑结构的延性, 但砖结构与钢筋混凝土结构或钢结构的 C 值相差很小, 说明我国规范对延性好坏实际上并不太重视。另外, 对两种材料的烟囱与水塔的 C 值都取为 0.4, 表示完全是其它因素的影响, 它们使水平地震力降低一半左右。

表 1—4

结构与材料		C
砖结构	多层房屋	0.35
	单层厂房及空旷房屋	0.35
	烟囱与水塔	0.40
钢筋混凝土及钢结构	多层房屋及不等高层房屋	0.30
	烟囱与水塔	0.40

2. 对于高度不超过 50m、刚度沿高度比较均匀、以剪切变形为主的建筑物以及单层厂房等接近单质点体系的结构, 均可采用下述的简便法(又称为基底剪力法或底部剪力法)进行计算:

$$V_0 = C\alpha_1 Q \quad (1-8)$$

式中: V_0 表示结构底部的剪力, 即总的剪力;

Q 为结构总的重量;

α_1 为第 1 振型的地震影响系数。

求出底部剪力 V_0 后, 将它按下式分配于结构的各高程处, 最后再计算结构各截面的各种内力。

$$S_i = \frac{Q_i H_i}{\sum_i Q_i H_i} V_0 \quad (1-9)$$

式中: S_i 为 i 点的地震荷载, H_i 为 i 点的高度。

若 C 值完全为考虑结构进入塑性变形后地震力的折减系数, 则计算弹性反应时, 应取 $C = 1$, 但我国规范说明 C 值还包括其它因素的影响。根据表 1—3 对延性很低的砖结构规定的 C 值看来, 其它因素至少要使水平地震力降低一半, 所以输入强震记录计算弹性反应时, 也应该将计算结果最少降低一半才能互相对应, 但一般都没有考虑这些问题。另外, 结构进入塑性变