

《建筑工程抗震设防分类标准》和
《建筑抗震设计规范》

2008年修订
统一培训教材

国家标准建筑抗震设计规范管理组 编

中国建筑工业出版社

**《建筑工程抗震设防分类标准》和
《建筑抗震设计规范》
2008年修订统一培训教材**

国家标准建筑抗震设计规范管理组 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

《建筑工程抗震设防分类标准》和《建筑抗震设计规范》、
2008年修订统一培训教材/国家标准建筑抗震设计规范管理
组编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

ISBN 978-7-112-10534-2

I. 建… II. 国… III. ①建筑工程-抗震结构-抗震规范-
中国-技术培训-教材②建筑结构-抗震设计-设计规范-中国-技
术培训-教材 IV. TU352.1-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 185822 号

本培训教材由国家标准建筑抗震设计规范管理组编写。对《建
筑工程抗震设防分类标准》GB 50223—2004、《建筑抗震设计规范》
GB 50011—2001的修订内容作了介绍; 包括新旧标准和规范相关条
文的比较; 还有关于汶川地震建筑震害的启示和专家针对典型震害
的探讨。

责任编辑: 赵梦梅 刘婷婷

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 安东 王爽

**《建筑工程抗震设防分类标准》和
《建筑抗震设计规范》
2008年修订统一培训教材
国家标准建筑抗震设计规范管理组 编**

*

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

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 7¼ 字数: 180 千字

2009年1月第一版 2009年1月第一次印刷

定价: 24.00 元

ISBN 978-7-112-10534-2
(17459)

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

为落实国务院对汶川地震重建工作的指示，根据住房和城乡建设部建标标函[2008] 65号（关于开展《建筑工程抗震设防分类标准》等三项国家标准局部修订工作的通知）的要求，由中国建筑科学研究院会同有关单位组成修订编制组，于2008年6月4日起开展了相关的修订工作。

修订编制组的任务是，落实国务院《汶川地震灾后恢复重建条例》等有关规定和要求，初步总结汶川地震的经验教训，适应灾区恢复重建工作的需要，对《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223—2004、《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001中需要和可能应急修订的内容加以研究、讨论，尽快完成修订。

新的国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223—2008和《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001（2008年版）已由住房和城乡建设部和国家质量监督检验检疫总局联合于2008年7月30日发布，自发布之日起施行。凡施工图文件尚未通过审查的工程项目，均必须按新标准的要求修改。

本次修订，集中反映了初步收集到的汶川地震房屋建筑工程震害的经验和教训：

1. 汶川地震的震中烈度高达11度，远高于其抗震设防烈度。因此，灾区建筑恢复重建的抗震设防烈度，需要依据《中国地震动参数区划图》GB 18306—2001第1号修改单（国标委服务函[2008] 57号）加以调整。

2. 灾区的设防烈度大多仅为6~7度，比实际遭遇的地震影响低得多，但倒塌和严重破坏需要拆除的比重，除了震中和建造在危险地段的房屋外，总体约10%~15%；严格按照现行规范进行设计、施工和使用的建筑（包括中小学），在遭遇比当地设防烈度高一度的地震作用下，没有出现倒塌破坏，有效地保护了人民的生命安全。说明我国在1976年唐山地震后，建设行政主管部门作出房屋从6度开始抗震设防和按高于设防烈度的预估“大震”不倒塌的设防目标进行抗震设计的决策是正确的。因此，针对迄今为止抗震设防烈度具有很大不确定性的事实，在汶川灾区恢复重建工作中，只要房屋建筑按重建的设防烈度严格执行抗震规范的有关规定，总体上可在高于重建烈度的预期罕遇地震下达到在现有技术经济条件下安全、牢靠——确保生命安全的目标。

3. 汶川地震中小学教学用房倒塌和严重破坏需要拆除的比重略小于其他房屋，但地震发生在学校上课的时间，学生伤亡人数的比例明显大于普通房屋。因此，在经济较大发展的条件下，特别加强对地震中自救能力较弱的未成年人的保护，是必要和可能的；除了提高建筑的抗震设防类别外，还需强调，学校建筑应按抗震规范概念设计的要求，采用体系合理、具有多道抗震防线、楼屋盖整体性强的结构，才能确实保证抗震安

全。对于属于人员密集的公共服务设施的其他建筑工程，也需要采取措施进一步提高其抗震防灾能力。

4. 汶川地震中，一些结构体系不合理的房屋，以及采用预制楼板的楼盖、现浇楼梯的梯板、框架结构的填充墙和隔墙，特别是设计、施工质量不符合规范要求的，均有明显的破坏。鉴于详细的震害分析尚需要时日，在本次修订中仅从概念设计的角度提出改进措施。

本次修订，《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223—2008 涉及的主要修订的条文共 30 条，《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001（2008 年版）涉及的修订条文共 31 条。其中新增和修改的强制性条文有 17 条，所有参与建筑活动的规划、勘察、设计、施工、监理、质检单位和责任人都应严格执行，管理部门应监管到位。

本次修订，住房和城乡建设部由标准定额司、质量安全司的有关领导组成领导小组直接指导修订工作。修订过程中，国家发改委、教育部、卫生部、铁道部、工业和信息化部 and 广电总局的相关司局提出了宝贵的修改意见，许多工程院院士、设计大师和工程抗震专家也提出修改意见并参与了标准修订的审查。修订工作的完成，包含了各级行政领导、修编人员和许多关心抗震规范的工程技术人员的大量心血与贡献，特予记载。

这两个新标准对保证新建、扩建、改建的建筑工程质量、指导地震灾区恢复重建、提高我国建筑工程抗震能力、保护人民生命财产安全具有重要意义。为帮助各有关单位和个人正确理解、准确掌握和应用新的标准，参加修订的主要人员编写了本书，供有关人员了解修订的震害背景、修订条文的变化、逐条对照和施行的注意事项。

此外，地震灾区现有建筑的设防烈度应按局部修订调整后的设防烈度采用，而抗震鉴定、修复和加固，应注意按国家和地方有关建筑鉴定和加固的法律、法规和技术标准规范执行。

国家标准建筑抗震设计规范管理组

2008 年 12 月

目 录

前 言

第一篇 从汶川地震看工程建设标准的修订

第一章 汶川地震建筑震害启示	2
第二章 汶川地震建筑典型震害探讨	16
附录一 汶川地震灾后恢复重建条例	31
附录二 关于做好《建筑工程抗震设防分类标准》和 《建筑抗震设计规范》实施工作的通知	41

第二篇 2008 年修订简介

第三章 《建筑工程抗震设防分类标准》修订介绍	44
第四章 《建筑抗震设计规范》局部修订介绍	50
附录三 《建筑工程抗震设防分类标准》修订(送审稿)审查会议纪要	57
附录四 《建筑抗震设计规范》局部修订(送审稿)审查会议纪要	59

第三篇 2008 年修订条文对照

第五章 新旧《建筑工程抗震设防分类标准》的比较(GB 50223—2008 与 GB 50223—2004 对照)	62
第六章 《建筑抗震设计规范》(2008 局部修订)相关条文比较	81

第一篇

从汶川地震看工程建设标准的修订

第一章

汶川地震建筑震害启示

中国建筑科学研究院 王亚勇

【摘要】 汶川大地震造成大量房屋建筑破坏倒塌。通过在地震区对遭受“中震”、“大震”影响烈度地震作用下的砌体和钢筋混凝土结构、空旷房屋、地基基础、设备以及非结构构件的震害调查与分析，以典型的结构破坏为例，针对多道抗震防线、强柱弱梁、剪力墙连梁、砌体结构整体性、传力路径等问题，对照《建筑抗震设计规范》所规定的抗震概念设计原则进行讨论，总结经验教训，提出改进建议。震害调查与分析结果表明，只要严格按照规范设计，保障施工质量，房屋建筑就能达到“小震不坏，中震可修，大震不倒”的三水准设防目标。

第一节 引言

2008年5月12日汶川大地震！这是1976年唐山大地震时隔32年后，发生在我国的又一次毁灭性地震，造成了重大人员伤亡和经济损失。

科学研究已经证明，地震是伴随着地球的一种自然灾害，只要地球存在一日，地震就存在一天，威胁着人类。在人对地震的认知有限、无法预报地震的时代，如何把房屋建得坚固耐震，是全世界科学家和工程师的历史使命。我国的工程技术人员历经数代人的努力奋斗，吸取历次大地震震害的经验教训，在工程建设中，提出了适合国情的各类工程抗震技术。从1966年邢台地震以后提出的“基础深一点、墙壁厚一点、屋顶轻一点”的概念，到1976年唐山地震以后创造的砖房加“构造柱圈梁”技术，直到今天的“小震不坏，中震可修，大震不倒”的“三水准”抗震设防理论，不断改进和完善了工程抗震设计的标准规范。

由于汶川地震的实际影响烈度远远高出该地区预计的设防烈度，导致大量房屋建筑严重破坏和倒塌。但是，震害调查也证明，只要严格按照国家工程建设标准《建筑抗震设计规范》设计、严格保证工程质量的房屋建筑、以及震前经过抗震加固的既有房屋，都能达到“三水准”抗震设防的要求，在实际地震烈度超过“大震”烈度的情况下，房屋建筑依然可以做到“不倒”。例如，在北川和平武等极震区，仍然有一些房屋“裂而不倒”；另外，一些在震前进行了结构加固的房屋，也没有倒塌或严重破坏。但是，也有一些房屋建筑，由于设计或施工的问题，即使在“中震”（即设防烈度）情况下，也严重破坏或倒塌，达不到“可修”的目标。

“5·12”汶川大地震中，在地震区各个不同时期设计建造的各类房屋建筑和工程设

施经受了考验。震害调查表明,经过抗震设防、特别是在 1990 年代以后设计建造的建筑表现良好,即使在极震区实际烈度高出设防烈度 3~4 度(地震动强度超出预计的 10 倍)的情况下,除了极个别建筑物外,绝大多数建筑受到中等至严重破坏,但不倒塌,达到了“小震不坏,中震可修,大震不倒”的三水准抗震设防目标;而在“89 规范”之前的建筑物多数遭受严重破坏,直至倒塌。因此,认真研究震害特征,总结经验,思考设计与施工中的问题,对于灾后恢复重建和设计规范修订,具有重要意义。面对如此严重的破坏,我们应该清醒地认识到,除了实际地震烈度高于预计的设防烈度、特殊的地震动衰减规律、地震波传播特征及地形反应等原因之外,针对建筑结构本身的特点,对照规范规定和施工中存在的问题,加以客观的、科学的分析,对解释和认识震害是十分必要的。

在地震区对各类房屋建筑震害的调查发现,在高烈度区,理论上抗震性能较好的钢筋混凝土结构倒塌了,而抗震性能相对较差的砌体结构却“裂而不倒”;抗震设计要求钢筋混凝土框架结构的“梁铰机制”没有出现,而是出现了大量的“柱铰”;砌体结构由于整体性不好而破坏倒塌;高层建筑剪力墙结构连梁出现不同的破坏形态;防震缝设置带来的问题等等。在同一地点,有的建筑损坏严重、甚至倒塌,有的则表现良好,有其内在原因。本文不局限于对震害现象进行简单描述,而以砌体结构、钢筋混凝土结构等各类建筑、及地基基础和设备的震害为例,对照抗震概念设计的“多道防线”、“结构整体性”、“强柱弱梁”等要求进行检讨,希望能得到一些启示,供工程技术人员在进行结构抗震设计时参考。

第二节 抗震概念设计与震害之对比

1. 多道抗震防线问题

《建筑抗震设计规范》对结构体系提出了多道抗震防线的要求,对于在大震作用下结构抗倒塌具有重要意义^[1]。这项要求的目的在于,当结构受到超过设防烈度的所谓“大震”作用时,作为第一道防线的某些构件,如:框排架结构的柱间支撑或柱子的翼墙、剪力墙结构的连梁等首先破坏,消耗了地震能量并改变了整体结构的动力特性,从而减低了地震力;作为第二道防线的构件,如:框、排架结构的柱子、剪力墙结构的墙体,它们的存在避免了结构倒塌。砌体结构的构造柱、圈梁除作为砌体的约束构件,可以提高墙体延性之外,也可视为第二道防线,在“大震”作用下,砌体墙可能严重破坏,但是由于构造柱和圈梁的存在,结构不会倒塌。图 1.1 所示为位于极震区的映秀镇(设防烈度 7 度,实际烈度 11 度,远高于“大震”的水准)采用钢筋混凝土框架结构的学校建筑,由于教室空间较大(标准教室大小为 7m×9m)又缺少纵向柱间支撑或柱子的翼墙,结构纵向刚度较弱,在竖向分量大于水平分量的大震作用下,柱子破坏而倒塌;而在同一地点相邻的多层砖混结构住宅房屋,由于合理地设置了构造柱和圈梁,在竖向和水平地震先后作用下,砌体严重开裂却裂而不倒(见图 1.2)。

我国的工业厂房建筑大多采用框、排架结构加柱间钢支撑的形式,在地震中,由于支撑屈曲消能,保护了柱子,图 1.3 所示为位于安县(设防烈度 7 度、实际烈度 8~9

度，相当于“大震水准”)某厂房的破坏状况，整体结构达到“大震不倒”的目标。由于意识到多道防线的重要性，日本的许多学校建筑普遍采用设置钢或钢筋混凝土支撑的方式，这样做并不会影响教室采光和建筑外观，如图 1.4 所示。



图 1.1 映秀镇漩口中学教学楼倒塌 (7/11)*



图 1.2 附近的砌体结构住宅楼裂而不倒 (7/11)

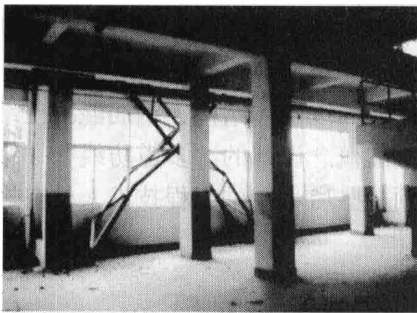


图 1.3 安县某厂房柱间支撑屈曲 (7/8~9)

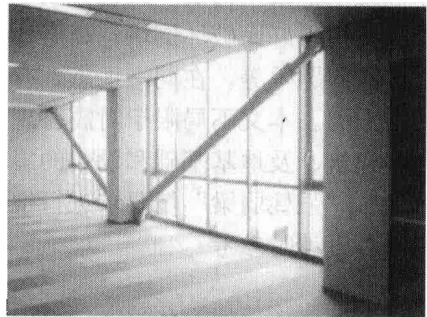


图 1.4 柱间设置钢支撑 (日本)

2. 强柱弱梁问题

《建筑抗震设计规范》定义的“强柱弱梁”是指，节点处左右梁端实际受弯承载力 M_{by} 和上下柱端实际受弯承载力 M_{cy} 之间满足不等式：

$$\sum M_{cy} > \sum M_{by}$$

由于地震作用的复杂性、现浇楼板的影响和钢筋屈服时的超强等因素的影响，难以通过精确的计算实现。因此，规范采用增大柱端弯矩设计值，即提高柱端的弯矩增大系数 η_c 的方法，取等式：

$$\sum M_c = \eta_c \sum M_b$$

在计算梁端弯矩和配筋时，考虑部分楼板作用形成 T 形梁，将框架梁抗弯刚度乘以 1.5~2.0 的放大系数后，计算梁的配筋超强，再加上板的钢筋，使 T 形梁不但刚度加大，实际承载力大于梁端弯矩，而且与之正交的另一向 T 形梁对柱子形成约束，在双向水平地震作用下，柱截面处于复杂的双向受力状态；一般情况下，框架柱即使增大了柱端弯矩设计值，计算结果一般只按构造要求配筋；只有当构件抗震等级为 9 度一级时，规范才要求按照梁的实配钢筋反算柱端弯矩。因此，对于抗震等级为二、三级的构

* 注：7/11 表示设防烈度一分组/实际烈度（下同）；除特别注明外，照片均由笔者提供。

件，实际的结构设计形成的是“强梁弱柱”。本次地震中，钢筋混凝土框架结构大量出现的是柱铰机制而不是梁铰机制，如图 1.5 所示为濠口中学主教学楼未完全倒塌的侧楼底层破坏情况，图 1.6 为濠口镇某商住楼底层，塑性铰均出现在框架柱柱顶和柱底，而梁与楼板共同工作，没有任何损坏，可是结构已接近倒塌。因此，设计时有必要加大柱子截面和配筋，参与工作的楼板配筋不能加入梁的配筋，从而适当减小梁的截面尺寸和配筋。



图 1.5 濠口中学框架结构柱铰机制破坏 (7/11)

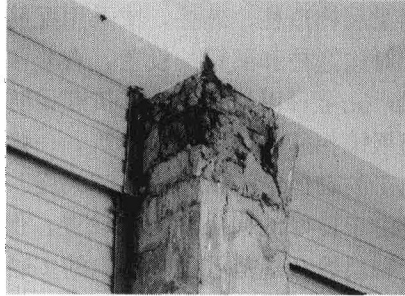


图 1.6 濠口镇某商住楼底层框架柱柱顶塑性铰

3. 高层建筑剪力墙结构的连梁设置问题

高层建筑剪力墙结构中的连梁作为抗震体系的第一道防线，起着“保险丝”的作用，当地震作用超过“小震”时，连梁首先开裂和屈服，出现耗能机制，起到保护墙体的作用。《建筑抗震设计规范》规定，“一、二级抗震墙跨高比不大于 2 且墙厚不大于 200mm 的连梁，除普通箍筋外宜另设置斜向交叉构造钢筋”。这样做是为了改善连梁的抗剪性能，满足“强剪弱弯”的要求，并经过试验验证。在“5·12”汶川地震中，位于设防烈度和实际烈度均为 7 度（相当于“中震”水准）的彭州市的一幢高层建筑剪力墙结构的高连梁产生了严重的剪切破坏，如图 1.7 所示；而位于设防烈度 7 度、实际烈度为 6~7 度（相当于“小到中震”水准）的成都市和设防烈度为 8 度、实际烈度为 6 度（相当于“小震”水准）的西安市的二幢框架-剪力墙结构采用的双连梁却起到了良好的耗能作用，填充砖砌体的破坏保护了连梁和墙体（见图 1.8 和图 1.9）。



图 1.7 彭州市剪力墙结构高连梁破坏 (7/7 照片由李学兰提供)

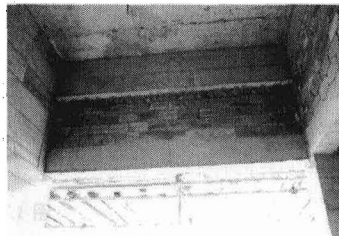


图 1.8 成都市框架-剪力墙结构双连梁 (7/6~7 照片由白雪霜提供)

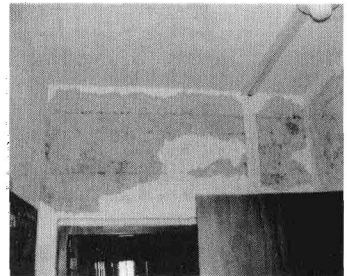


图 1.9 西安市框架-剪力墙结构双连梁 (8/6 照片由张耀提供)

4. 砌体结构的整体性和构造柱圈梁设置问题

《建筑抗震设计规范》第 3.5.5 条第 3 款规定，装配式结构构件的连接，应能保证

结构的整体性。但是，砌体结构本身是一种由脆性材料构成的结构，非常不利于抗震。1976年唐山地震以来，我国的工程技术人员发明了砌体加混凝土构造柱和圈梁的结构形式，既可提高砌体的延性，又加强了结构的整体性，也可视为第二道抗震防线。经多次地震检验，证明这种独特的抗震结构形式非常适合国情，已在我国地震区得到广泛应用。

《建筑抗震设计规范》第3.5.4条第1款规定^[1]，“砌体结构应按规定设置钢筋混凝土圈梁和构造柱、芯柱，或采用配筋砌体等”。第7.3.1条和第7.3.3条作为强制性条文，对构造柱和圈梁的设置，有非常详细的规定。只要严格按照规范要求设置构造柱和圈梁，完全可以达到三水准抗震设防目标要求。位于设防烈度7度、实际烈度9度的平武南坝镇相邻的二幢四层建筑，一幢为钢筋混凝土单跨框架结构医院，另一幢为主体接近完工的砌体结构宿舍。在“大震”作用下，医院严重破坏接近倒塌（图1.10），而住宅楼由于良好的构造柱圈梁设置，保持完好（图1.11）。可见，只要做好构造柱圈梁，高度和层数在规范限定范围内的多层砌体结构房屋同样具有良好的抗震性能。反过来，则会产生严重破坏，甚至倒塌，如图1.12和图1.13所示。



图 1.10 平武南坝镇相邻的医院和住宅楼 (7/9)



图 1.11 砌体结构住宅楼完好 (7/9)



图 1.12 不设构造柱圈梁的砌体结构局部倒塌 (7/8~9)



图 1.13 预制空心板滑动塌落 (7/8~9)
(照片由裴友法提供)

严重问题是，地震区大量的砌体结构学校和住宅普遍采用预制空心楼板。由于不按规范要求设置构造柱和圈梁，或施工中不按要求将预制空心板与圈梁或楼面大梁可靠拉结，地震中，由于墙体破坏或外闪、预制板滑动、折断，导致楼板塌落，造成结构局部或整体倒塌（图1.13和图1.14）。图1.15所示为塌落的预制空心板，可以看到，楼板

简单搁置在梁上，根本不存在拉结。但是，也有做得好的例子，如绵阳市游仙中心小学三层砖混结构教学楼，采用预制空心板楼、屋盖。由于预制板之间拉结良好、灌缝密实，虽然承重墙倒塌了，楼盖却未塌落（图 1.16）。



图 1.14 承重墙破坏
导致预制板塌落 (7/8~9)



图 1.15 完全没有
拉结的预制板 (7/9)



图 1.16 拉结良好的
预制楼板未塌落 (6/7)

5. 房屋楼梯间的抗震问题

楼梯间是建筑的出入口，也是地震时人群疏散的通道。震害调查发现，由于设计和施工问题，造成楼梯间的倒塌破坏，直接伤人或堵塞疏散通道，阻碍人员逃生。由于楼梯段侧向刚度较大、山墙较高、休息平台与楼层存在错层，地震时最容易破坏。因此，对于楼梯间的抗震设计，《建筑抗震设计规范》第 7.3.1 条要求，楼、电梯间的四角，错层部位横墙与外纵墙交接处要设置构造柱；第 7.3.8 条要求，“装配式楼梯段应与平台板的梁可靠连接……；突出屋面的楼、电梯间，构造柱应伸到顶部，并与顶部圈梁连接……”。

图 1.17 所示的绵竹市一幢三层教学楼，由于楼梯间未按要求设置构造柱和圈梁，地震时墙体破坏导致楼梯间倒塌。图 1.18 为楼梯踏步板破坏情况，由于施工缝设在梯段三分之一高度处，地震时在该处折断，墙体大部分破坏倒塌。图 1.19 为塌落的梯段。因此，对于教学楼和医院等人群较集中的建筑，有必要另设室外疏散楼梯，以便室内楼梯间破坏时有第二个逃生通道（见图 1.20）。

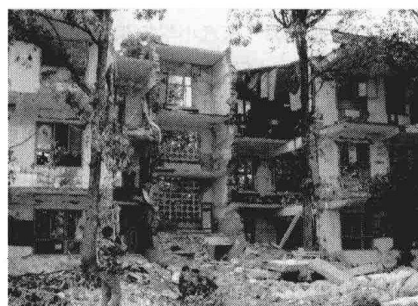


图 1.17 绵竹市一幢三层教学楼
楼梯间倒塌 (7/8~9)
(照片由裴友法提供)



图 1.18 都江堰中学教学楼
楼梯间破坏 (7-1/8~9)



图 1.19 塌落的梯段

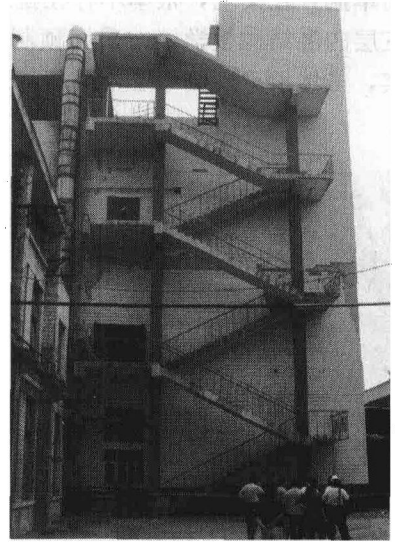


图 1.20 室外疏散楼梯

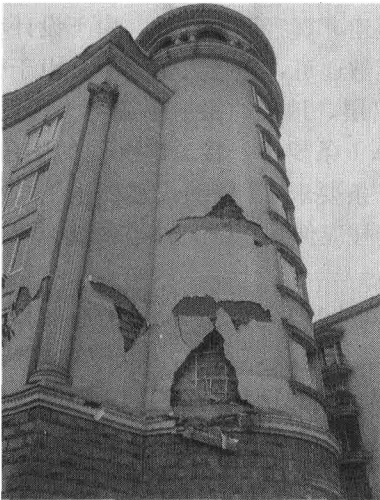


图 1.21 绵竹工行框架结构
转角圆弧墙破坏 (7/8)



图 1.22 东汽小学框架结构
转角填充墙破坏 (7/8)

6. 传力路径问题

《建筑抗震设计规范》第 3.5.2 条规定，结构体系“应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径”；第 3.5.3 条规定，结构体系“应具有合理的刚度和承载力分布，避免因局部削弱或突变形成薄弱部位，产生过大的应力集中或塑性变形集中”。不论是钢筋混凝土结构还是砌体结构，均要求结构体系完整，传力路径明确。但是在设计中，建筑师为了达到建筑功能上对大空间、好景观的要求，不惜“拔除”结构构件，或在承重墙开大洞，或在房屋四角开门、窗洞，设计所谓“飘窗”、“转角阳台”和圆形楼梯

间，其结果是破坏了结构整体性及传力路径，最终导致地震时破坏。这种震害几乎在国内外的许多地震中都能发现，而在汶川地震中，则比比皆是，需要引起我们的注意。图 1. 21~图 1. 24 表示了形形色色的转角墙体没有相互咬砌所导致的破坏。

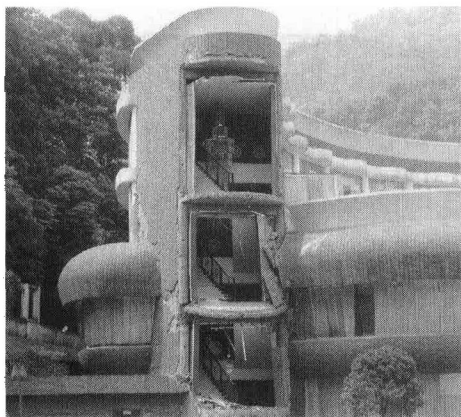


图 1.23 都江堰金叶酒店屋角破坏 (7/8)



图 1.24 绵竹中行屋角破坏 (7/8 照片由裴友法提供)

7. 地基基础抗震设计问题

《建筑抗震设计规范》第 3.3.4 条规定，“地基和基础设计应符合下列要求：1 同一结构单元的基础不宜设置在性质截然不同的地基上；2 同一结构单元不宜部分采用天然地基部分采用桩基”。图 1.25 和图 1.26 所示为距北川极震区直线距离仅为 10km 的安县某工厂，三个车间分别采用钻孔灌注桩和振动碎石地基两种性质不同的基础，所造成的结果是采用振动碎石地基的厂房（图 1.25 左侧）在地震前就已发生沉降，地震（达到大震作用）时沉降差达到 300mm，主体排架结构遭到严重破坏，局部倒塌。

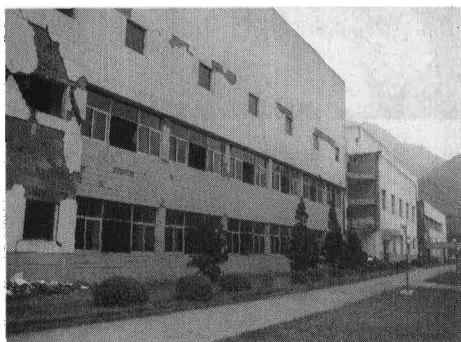


图 1.25 厂房采用不同基础导致破坏 (7/8~9)



图 1.26 相邻厂房地面沉降差约 30cm (7/8~9)

8. 设备支座抗震设计问题

《建筑抗震设计规范》第 3.7.1 条规定，“非结构构件，包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备，自身及其与结构主体的连接，应进行抗震设计”；第 3.7.3 条规定，“附着于楼屋面结构上的非结构构件，应与主体结构有可靠的连接或锚固，避免地震时倒塌

伤人或砸坏重要设备”；第 3.7.6 条规定，“安装在建筑上的附属机械、电气设备系统的支座和连接，应符合地震时使用功能的要求，且不应导致相关部件的损坏”。

位于实际烈度 9 度的阿坝铝厂，冷却风机组由于采用轨道滚动支座，地震时脱轨滑出和倾覆，造成破坏。如图 1.27 和图 1.28 所示。

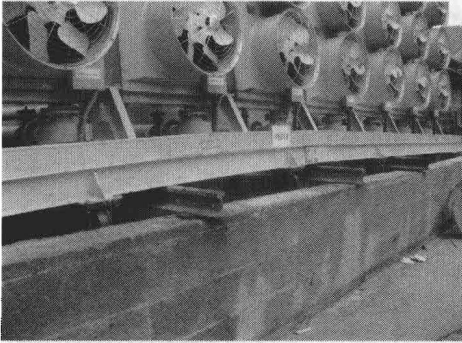


图 1.27 冷却风机组侧立面

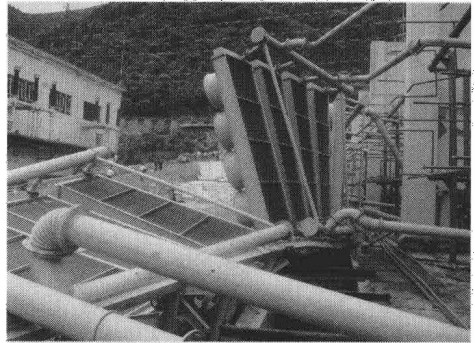


图 1.28 冷却风机组从轨道上倾覆 (7/9)

安县某厂一大型管道通过滑移支座放置在钢支架上，管道端部设置限位钢支架，限位支架与钢筋混凝土基础承台固定，承台以下设两根 $\phi 600$ 钻孔灌注桩，桩身强度为 C25。地震时，安装在滑移支座上的大型设备滑移 15cm，撞击限位支架（见图 1.29 和图 1.30），造成灌注桩断裂（图 1.31），基础承台梁剪坏（图 1.32）。

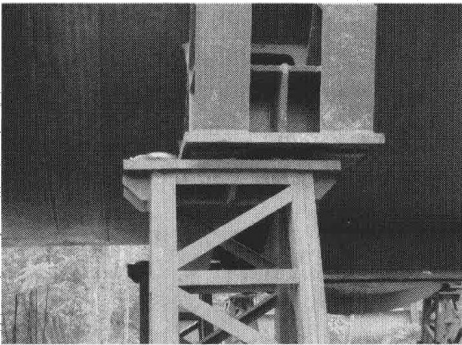


图 1.29 设备支座滑移 (7/8~9)

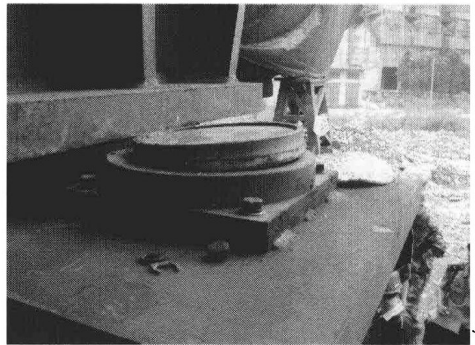


图 1.30 盆式滑移支座损坏 (7/8~9)



图 1.31 设备基础灌注桩剪断 (7/8~9)



图 1.32 设备基础承台梁剪断 (7/8~9)

由于无法得到当地的强震记录，不能知道地面加速度峰值。可以作个简单的估算。假定限位钢支架将设备水平惯性力传到桩基础，管道重量为 420t，设地面加速度峰值为 \ddot{u}_g ，则桩受水平地震力为：

$$Q = m\ddot{u}_g = 4.2 \times 10^5 \ddot{u}_g$$

桩的总水平受剪承载力为：

$$R = 2f_{vk}A_c = 4f_{tk}A_c = 4 \times 1.78 \times 3.14 \times 600 \times 600 \div 4 = 2.0 \times 10^6 \text{ N}$$

桩身破坏条件为：

$$Q > R$$

由此估计地面加速度峰值为：

$$\ddot{u}_g > 4.8 \text{ m/s}^2 = 0.49g$$

相应的实际地震烈度约为 9 度强，与该厂所在地的建筑震害和地质破坏现象一致。以此加速度峰值来验算图 1.32 所示的该厂同一地点另外两个设备基础承台（设备未安装）之间的连系梁的受剪承载力。连系梁左边设备基础重 750t，右边设备基础重 1000t，基础梁断面 400mm×600mm，混凝土强度为 C25，计算受剪承载力等于：

$$R = f_{vk}A_b = 2f_{tk}A_b = 2 \times 1.78 \times 400 \times 600 = 8.544 \times 10^5 \text{ N}$$

假设地表地面运动加速度为 4.8m/s²，则基础承台惯性力、即连系梁所受到的水平剪力等于：

$$Q = m\ddot{u}_g = 1.0 \times 10^6 \times 4.8 = 4.8 \times 10^6 \text{ N}$$

可见， $Q > R$ ，连系梁剪切破坏。

9. 防震缝问题

《抗震规范》规定，“防震缝应根据抗震设防烈度、结构材料种类、结构类型、结构单元的高度和高差情况，留有足够的宽度，其两侧的上部结构应完全分开。”正确理解本条规定应该是，建筑平、立面布置应尽可能规则，尽量避免采用防震缝；如果必须留的话，宽度应该留够。实际工程中，往往碰到稍微不规则的结构就留缝，留的缝又不够宽；还有是在施工中，浇捣混凝土后的防震缝两侧的模板没有拆除，或留下许多杂物堵塞，结果等于没留，地震时必然撞坏。图 1.33 为 2007 年 6 月 3 日云南宁洱 6.4 级地震公安局大楼防震缝碰撞（7/8），缝宽达 15cm。本次地震中，绝大多数防震缝均造成碰撞破坏，如图 1.34 所示。

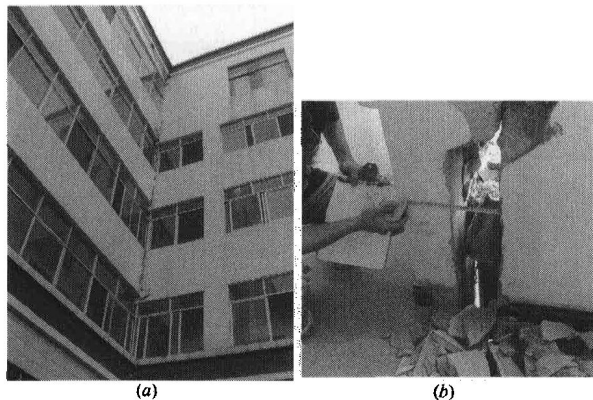


图 1.33 2007.6.3 宁洱 6.4 级地震防震缝震害（葛学礼提供）
(a) 公安局大楼防震缝碰撞（7/8）；(b) 防震缝宽度约 15cm



图 1.34 高层建筑防震缝碰撞（7/8）