

多层混凝土结构的抗震

加固方法与实例

张 瀑 田中礼治 鲁兆红 淡 浩 崔正龙 编著

中国建筑工业出版社

多层混凝土结构的抗震加固 方法与实例

张 瀑 田中礼治 鲁兆红 谈 浩 崔正龙 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

多层混凝土结构的抗震加固方法与实例/张瀑等编著.

北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-112-14248-4

I. ①多… II. ①张… III. ①多层结构-混凝土结构-抗震加固 IV. ①TU37②TU352.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 077409 号

本书介绍了多层混凝土框架结构的地震破坏特点、地震损伤评价、结构和构件的抗震加固及损伤修复方法, 以及在加固中需要注意的问题。此外, 对日本 2011 年 3·11 大地震震害调查情况和日本的抗震加固技术也进行了重点介绍, 对加固建筑物在 3·11 大地震中的加固效果进行了评估。本书针对常用的加固方法还提供了大量翔实的工程实例和计算案例, 能为读者提供方便快捷且直观的指导, 为震后实现结构的快速加固和修复提供帮助。

本书可供政府部门、设计单位、检测机构等与既有建筑管理、检测、鉴定、改造工作相关的单位及人员参考, 也可供高等院校结构工程专业的师生学习参考。

* * *

责任编辑: 万 李

责任设计: 李志立

责任校对: 肖 剑 赵 颖

多层混凝土结构的抗震加固方法与实例

张 瀑 田中礼治 鲁兆红 谈 浩 崔正龙 编著

*

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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12 字数: 300 千字

2012 年 7 月第一版 2012 年 7 月第一次印刷

定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-14248-4

(22331)

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

2008年5月12日汶川M8.0级大地震使四川遭受了重大的伤害，地震灾区大量建筑物遭到破坏，在应急抢险工作告一段落后，灾区的重建成为工作的重点。由于地震影响的区域达到40万 km^2 ，数千万平方米的建筑物受到影响，在一个相对集中的时间段中要完成灾区大量受损建筑物的抗震加固无疑是非常艰巨的任务，尤其是在技术人员对建筑物抗震加固缺少足够认识的情况下就更为困难。地震后，四川得到国内、国外业内同行的鼎力支持，特别是台湾地区土木技师公会倾力帮助，带来他们的地震应急处置办法和建筑抗震经验。为了给四川各地开展的建筑物抗震加固工作提供支持，在四川省土木建筑学会的领导下，我们参考台湾地区和日本在抗震加固方面的经验，结合国家现行的标准规范要求，总结地震中建筑物震害的实地调查经验，在2008年年底编写了《混凝土结构抗震加固技术参考手册》，并免费提供给四川各地方学会及会员，为本书的编写打下基础。

2009年，为了总结汶川地震中建筑破坏的经验教训，我们在四川省土木建筑学会的领导下，开展了《地震受损多层框架结构抗震性能评价》课题的研究工作，课题于2010年年初通过了四川省城乡和住房建设厅组织的鉴定，课题研究的部分内容也反映在本书中。

作者长期从事建筑结构的研究工作及建筑结构的鉴定、加固工作。在汶川地震后数次亲历灾区，取得了大量的建筑物震害第一手资料，足迹遍布都江堰、绵竹、什邡、绵阳、江油等四川各重灾区。同时还承担了大量的建筑物抗震鉴定和抗震加固工作，并接受了四川各地大量的建筑物抗震加固咨询，在这项工作中，反映出一些比较突出的问题，如：1) 如何恰当地评价建筑物的抗震能力；2) 可否直接将静力加固的方法用于抗震加固；3) 抗震加固的间接费用过高，甚至超过了抗震加固直接费用。尽管地震灾区大量的建筑物抗震加固工作已经基本完成，但我们同样需要总结经验教训，为今后的工作提供帮助。

2011年3月在确定了本书的编写后，发生了3·11东日本M9.0级大地震，地震后我们一直通过各种途径收集日本各种抗震加固方法在地震中的表现，恰巧在9月日本东北工业大学的田中礼治教授来成都访问，在四川省建筑科学研究院举办了《东日本大地震震害》的学术报告。日本东北工业大学的田中礼治教授是日本建筑学会东北支会的理事长，在中日培训抗震技术人才计划中担当教师，2008年汶川地震后一直关注与支持四川的建筑抗震工作，每年数次往返于成都与日本之间，致力于介绍日本在建筑抗震方面的经验。发生了3·11东日本大地震后，田中礼治教授组织日本建筑学会东北支会成员开展了灾后调查工作，深入地地震重灾区开展调查工作。在与田中教授交流的过程中，我们提出希望田中教授能够提供一些地震重灾区已进行过抗震加固的建筑物地震震害情况，并对共同完成本书的编著达成共识。

由于高烈度地震区大多处于经济不发达地区，建筑物的高度不高，因此，本书讨论的对象为多层框架结构。本书的主要目的是根据多层框架的抗震性能特点，介绍多层框架结

构抗震性能评价的一些研究成果、抗震加固中常用的方法和需要注意的问题，并对日本 3·11 大地震的震害情况及日本抗震加固技术进行有重点的介绍。本书着眼于为从事建筑物抗震加固的技术人员提供一些参考，开阔视野，期望有利于其在加固方案的选择上不拘泥于通常的办法。希望读者在阅读本书的过程中，对多层框架结构的抗震加固能够有更多、更深刻的认识，为我国建筑物抗震加固事业的发展作出努力。

本书在作者们的共同努力下完成，其中张瀑负责第 1、3 章的编写，鲁兆红负责第 4、7、8 章及附录的编写，淡浩负责第 2、5、6 章的编写，田中礼治、崔正龙负责完成第 9、10 章以及第 1 章部分内容的编写和翻译，成都木原建筑设计有限公司总工程师李彦，四川省建筑科学研究院高级工程师姚盛德、赵干荣、汪锦林、牛宝，中国建筑西南设计研究院有限公司副总工程师毕琼，上海隆诚实业有限公司陈清祥等为本书提供了抗震加固实例，四川省建筑科学研究院高级工程师何林，四川省土木建筑学会秘书长项玲珍，台湾地区土木技师公会技师林永裕、高原为本书的完成提供了帮助，在此深表谢意。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑物抗震加固的目的	1
1.2 建筑物抗震加固的基本原则	2
1.3 我国抗震加固技术的发展	3
1.4 日本抗震加固技术的发展	5
1.5 我国抗震加固中存在的问题与展望	6
1.5.1 抗震加固的目标	6
1.5.2 结构地震损伤评估	7
1.5.3 抗震加固设计与新建建筑设计的关系	7
1.5.4 选择合适的抗震加固方法	7
1.5.5 多层框架结构抗震加固技术展望	7
第 2 章 多层框架结构地震破坏特点	9
2.1 框架结构构件地震破坏形态	9
2.1.1 柱的破坏	9
2.1.2 梁的破坏	11
2.1.3 剪力墙的破坏	12
2.1.4 楼梯间的破坏	13
2.1.5 填充墙的破坏	14
2.1.6 预制装配式结构的震害	15
2.2 多层框架结构震害的启示	17
2.2.1 建筑形体的规则性	17
2.2.2 框架柱的抗震能力	18
2.2.3 短柱效应	19
2.2.4 楼梯间的影响	19
2.2.5 填充墙的影响	19
2.3 有效提高多层框架结构抗震能力的重点	24
第 3 章 多层框架结构地震损伤评价	25
3.1 构件地震损伤程度评价	25
3.1.1 多层框架主要抗侧力构件的地震损伤特点	26
3.1.2 构件损伤与承载能力的关系	26
3.1.3 构件地震损伤程度的划分	27
3.1.4 混凝土构件地震损伤程度分类图	28
3.1.5 损伤程度的影响及恢复	33
3.2 多层框架结构地震损伤评价	34
3.2.1 结构安全性评价方法	34

3.2.2	结构的地震损伤程度评价方法	35
3.2.3	灾损建筑物损伤评价	35
3.2.4	多层框架结构损伤程度评价方法	36
3.2.5	多层框架结构地震损伤程度评价实例	36
3.3	地震受损多层框架结构的抗震性能评价	41
第4章	多层框架结构抗震加固设计	42
4.1	多层框架结构基本受力分析	42
4.1.1	框架结构屈服破坏机制	42
4.1.2	多层框架结构地震作用的计算	43
4.1.3	地震作用下多层框架结构的内力特征	44
4.2	多层框架结构抗震加固设计的基本要求	46
4.2.1	强柱弱梁	46
4.2.2	强剪弱弯	47
4.2.3	构造措施	47
4.3	抗震加固设计中关键问题的处理	47
4.3.1	抗震加固设计的基本要求	47
4.3.2	不同时期建造的多层框架结构的基本特点	48
4.3.3	多层框架结构抗震加固的基本方法	49
4.3.4	加固设计中地震作用分析	49
4.3.5	填充墙的作用	50
4.3.6	楼梯间作用	52
4.3.7	单向框架	53
4.3.8	新增钢筋需要注意的问题	53
第5章	结构构件的损伤修复方法	55
5.1	概要	55
5.2	裂缝灌注	55
5.3	裂缝表面封闭	56
5.4	表层混凝土修补	57
5.5	局部混凝土(钢筋)置换	57
第6章	构件的抗震加固方法	59
6.1	概要	59
6.2	梁增加箍筋加固法	59
6.3	梁粘贴U形钢板加固法	60
6.4	梁底粘贴钢板加固法	62
6.5	梁顶粘贴钢板加固法	63
6.6	梁粘贴纤维加固法	65
6.7	梁增大截面加固法	67
6.8	柱增加箍筋加固法	68
6.9	柱粘贴钢板箍约束加固法	69
6.10	柱粘贴纤维箍约束加固法	71
6.11	柱钢板围套加固法	72

6.12	柱纤维围套加固法	73
6.13	柱增大截面加固法	74
6.14	柱外粘型钢加固法	75
6.15	剪力墙增大截面加固法	77
6.16	预制楼板的加固法	78
第7章	结构的抗震加固方法	79
7.1	增设剪力墙法	79
7.2	增设翼墙法	81
7.3	增设钢框架斜撑法	82
7.4	设置外部框架法	83
7.5	增设中间柱法	84
7.6	设置消能装置法	85
第8章	抗震加固实例	89
8.1	增设翼墙加固	89
8.2	加大截面法加固	91
8.3	框架柱抗震构造措施补强	92
8.4	利用填充墙框架加固	94
8.5	改变结构体系	96
8.6	增设减震元件进行加固	97
8.7	增设屈曲支撑	99
8.8	增设位移型金属阻尼器	102
第9章	东日本大地震(2011年3月11日)震害调查	105
9.1	东日本大地震的地震规模及震度分布	105
9.2	地震灾害	109
9.2.1	学校建筑	109
9.2.2	都市建筑	109
9.3	住宅	111
9.4	砌体围墙	112
9.5	抗震加固建筑	113
9.6	地下街	113
9.7	地铁	114
9.8	新干线	114
9.9	供水、供气	115
9.10	地质灾害	115
9.11	非结构构件	116
9.12	隔震建筑震害	116
9.12.1	A建筑物	117
9.12.2	I建筑物	118
9.12.3	L建筑物	119

9.13 建筑抗震加固及加固效果调查	120
9.13.1 A 学校	120
9.13.2 A 医院	121
9.13.3 MS 中学	124
9.13.4 S 市办公楼	126
9.13.5 T 大学	128
9.13.6 TT 大学	132
9.13.7 日本东北工业大学 5 号馆	135
第 10 章 日本抗震加固设计的基本方法	137
10.1 日本的《建筑基准法》概要	137
10.1.1 《建筑基准法》中有关混凝土结构的规定条文	137
10.1.2 材料	137
10.2 钢筋混凝土结构的设计流程与构件验算	138
10.3 日本抗震加固鉴定的基本方法	140
10.3.1 钢筋混凝土结构抗震加固设计依据	140
10.3.2 钢筋混凝土结构抗震鉴定方法	140
10.4 抗震加固的计算方法	142
10.4.1 外包钢加固柱的计算	142
10.4.2 碳纤维布加固柱的计算	143
10.4.3 增设钢筋混凝土剪力墙加固的计算	144
10.4.4 增设钢框架单元加固的计算	145
10.4.5 后施工锚栓的设计	146
10.5 各种抗震加固工法的结构计算案例	151
10.5.1 外包钢加固柱的计算案例	151
10.5.2 碳纤维布加固柱的计算案例	153
10.5.3 增设钢框架单元加固的计算案例	154
10.6 外贴子结构的抗震加固方法	156
10.6.1 外贴子结构的抗震加固方法的基本原理	157
10.6.2 外贴子结构抗震加固工法的实施案例	158
10.6.3 外贴子结构的抗震加固工法的计算案例	161
10.6.4 在外侧增设子结构, 并与既有框架相结合的计算实例	169
附录 A 常用加固材料性能	178
附录 B 粘结锚栓的受剪承载力	183
附录 C 粘结锚栓的受拉承载力	184
参考文献	185

第 1 章 绪 论

1.1 建筑物抗震加固的目的

我国是世界上地震活动最强烈和地震灾害最严重的国家之一，统计表明，20 世纪世界上约 35% 的 M7.0 级以上陆地地震发生在我国，全球因地震死亡的 120 万人中，我国有 59 万人。1900~2008 年，我国大陆地区已经发生 M7.0~M7.9 级地震 70 次，M8.0 级及以上地震 6 次，这些地震造成的灾害涉及 28 个省份，死亡 59 万人，伤残 76 万人，受灾达数亿人次。其中，1976 年的唐山大地震和 2008 年的汶川大地震都对社会造成了巨大的影响，地震不仅仅造成了巨大的经济损失，更严重的是造成了大量人员的伤亡。在造成人员伤亡的诸多因素中，有两个因素无疑是最为重要的：一是地震造成的地质灾害，如滑坡等，它属于自然灾害的范畴，人类难以消除；二是建筑物的倒塌。建筑物原本是人类生产活动的产物，目的是为人们正常的生产、生活提供保障，但在地震中却可能成为人类的杀手。各类建筑物在地震中的破坏是导致人民生命财产损失的主要原因之一。总结历次地震中建筑物破坏的原因，其中首要的原因是建筑物自身抗震能力过低，或者说建筑物抗震设防目标过低。

建筑物抗震设防目标的确定不是一个纯技术问题，它与社会经济发展水平密切相关，抗震设防目标的确定是为了控制地震所带来的人员伤亡及财产损失。我国的地震区划从 1956 年的第一版已编制修订到目前的第四版，每一次地震区划的调整都反映了人们对地震风险认识水平的提高以及社会经济水平的提高，地震区划的调整只有一个方向，即抗震设防目标的不断提高。依据现行的地震区划图，我国大陆面积的 79% 位于地震烈度 6 度及以上区域；50% 的大陆面积位于 7 度及以上的地震高烈度区域，其中包括了 23 个省会城市和 2/3 的百万人口以上的大城市。而正在编制的第五版地震区划图，可能将消除非抗震设防的区域，并将进一步提高我国大陆地区的建筑物抗震设防标准的水平。

我国目前既有建筑的保有量为 400 亿 m^2 左右，按照现行抗震设防标准的要求，其中有相当部分的建筑物不能满足抗震要求。即使如此，与经济发达国家相比较，我国的抗震设防标准仍然偏低，考虑到随着经济的发展，建筑物的破坏可能造成的损失会进一步增大，我国的建筑物抗震设防目标无疑还会进一步的提高。

在提高建筑物抗震设防标准的同时会使得大量的既有建筑不能满足抗震要求，因此，建筑物的抗震加固是一个渐进的过程。建筑抗震设防标准过高，现实的经济条件难以承受，其目标必然难以实现；而抗震设防标准的不断提高，又会导致不断有建筑物不能满足抗震设防要求。在这样的状态中，对既有建筑进行适当的抗震性能评价，并依据评价结果进行建筑物的抗震加固，就成为保证公众安全的重要环节。

1.2 建筑物抗震加固的基本原则

在需要进行抗震加固的建筑物中,大致可分为两种情形:一是建筑物在地震作用中受到损伤,需要进行抗震加固;二是由于建筑功能改变、抗震设防标准提高等其他因素造成建筑物抗震性能不能满足要求。

对于经历过地震作用的建筑物,在加固前首先应进行结构的地震损伤评价,然后修复结构损伤,按照已修复结构的实际状况进行结构鉴定和抗震加固设计,再进行加固处理。

对于未经历过地震的建筑物,应先按照预设的抗震目标进行结构抗震鉴定,经抗震加固设计后再进行抗震加固处理。

在结构抗震加固中,应当遵循以下的基本原则:

1) 全面掌握待加固建筑的现状

对需要抗震加固的结构进行深入调查,并进行抗震鉴定与抗震能力评估,为抗震加固提供可靠的依据。

2) 尽量减少加固对原结构的损伤

建筑物的抗震加固是在既有结构上进行的工作,加固工作不可避免地需要在原有结构上进行操作,但过度损伤原结构,会使后续加固工作的效果大打折扣。

3) 要避免在加固后形成薄弱环节的转移

在进行抗震加固设计中,常需要在局部增加构件的承载力、刚度或需要新增设抗侧力构件,这些都有可能导致原结构的承载力和刚度发生变化,从而使建筑物抗震薄弱环节发生变化。设计中,应避免出现承载力或刚度过大的变化。

4) 遵守钢筋混凝土框架结构抗震设计原则

在加固设计中,要重视结构整体抗震能力的概念设计和构造,良好的结构规则性是建筑物具有良好抗震性能的基础。在抗震加固设计中同样要遵循强柱弱梁、强剪弱弯、强节点、强锚固以及钢筋连续的原则,以保证加固后的结构有较好的延性,在地震作用下具有较大的内力重分布和耗散地震能量的能力。

5) 新旧结构的连接必须可靠

新旧结构的连接是加固设计中极为重要的环节,对于抗震加固,连接是保证加固后的建筑能够发挥其抗震能力的基础,连接失效不仅会导致连接部分的破坏,而且可能使结构失去整体性。在连接方式上,还要注意考虑新增构件或配筋与原结构的连接,应当能够适应地震反复作用的特点。

6) 选择适当的抗震加固方法

根据多层框架结构的抗震性能特点,提高多层框架结构的抗震能力的途径大致可以分为提高承载力、提高延性以及设置消能减震装置三种主要方式。提高承载力是通过增加支撑、增设抗震墙、增设外部构架、加大原结构构件截面尺寸等方式,提高结构的抗震承载能力;提高延性是通过构件进行延性加固,如对柱增加箍筋、外包钢板箍、碳纤维围束等方式提高构件延性从而提高结构的延性;设置消能减震装置则是通过设置阻尼器、隔震垫等,以减轻地震造成的结构反应。

1.3 我国抗震加固技术的发展

我国抗震加固技术的发展与震害调查和研究工作密切相关。1966年,在河北省邢台地震的震害调查中,发现一些民房由于采取了简单加固措施而大大减轻了震害,随后在北京、天津地区开展了部分房屋的抗震普查与鉴定,1968年编制了京津地区建(构)筑物的抗震鉴定标准(草案)和抗震措施要点,并在京津地区开展了抗震加固的试点工作。1975年海城地震以后,制定了《京津地区工业与民用建筑抗震鉴定标准》(试行),并于1975年9月正式实施,京津两市据此进行了部分建筑的抗震鉴定与加固,经过加固的建筑在1976年唐山大地震中经受了考验。1976年唐山大地震以后,在总结大量震害经验的基础上,于1977年12月颁布了《工业与民用建筑抗震鉴定标准》TJ 23—77以及配合该标准的《工业建筑抗震加固参考图集》GC—01和《民用建筑抗震加固参考图集》GC—02,成为指导全国建筑抗震鉴定与加固工作的规范文件,标志着我国抗震加固工作已从局部地区试点推进到全国,也标志着抗震鉴定与加固工作已成为防震减灾的重要组成部分。1977~1978年,针对砖混结构开展了各种加固方法的试验研究,并编制了《民用砖房抗震加固技术措施》。1980年后,抗震加固技术研究不断深入,并于1985年编制了《工业与民用建筑抗震加固技术措施》。1994年12月1日,建设部正式颁布并实施了《建筑工程抗御地震灾害管理规定》,该规定指出:“对列入城市近期改建、企业改造计划的房屋、工程设施和设备可不进行抗震加固,对临时性建筑不进行抗震鉴定、加固,除此之外,凡未经抗震设防的房屋、工程设施和设备,均应按现行抗震鉴定标准和加固技术规程进行鉴定和加固,以达到应有的抗震能力。”这是我国第一次将抗震加固以行政法规的名义加以规范、规定。1996年6月1日,《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—1995正式实施。1997年2月,全国人民代表大会常务委员会通过了《中华人民共和国防震减灾法》,第一次将抗震鉴定与加固工作写进法律,明确了既有建筑进行抗震鉴定与加固的范围,充分体现出抗震鉴定与加固工作的重要性。1999年3月1日,《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116—1998也正式实施。

汶川地震后,2008年12月27日,《中华人民共和国防震减灾法》于第十一届全国人民代表大会常务委员会第六次会议修订通过,自2009年5月1日起施行;2009年6月5日,《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—2009由住房和城乡建设部发布,自2009年7月1日起实施;6月18日,《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116—2009发布,自2009年8月1日起实施。这两个规范性文件是我国最新的科研成果和工程经验的总结,是目前开展建筑物抗震加固的基础。

回顾我国建筑物抗震加固技术发展的历程,1976年唐山大地震后,在大量震害调查和试验研究的基础上,抗震加固技术得到了较快的发展,其重要的标志是1996年开始执行的《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—1995和1999年开始执行的《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116—1998;在这一阶段,与我国的经济发展相对应,抗震加固考虑的对象为未进行抗震设防设计的多层建筑,抗震加固的基本目标低于现行建筑物抗震设计的设防目标。2008年汶川地震后,建筑物的抗震加固成为一项重要的工作,2009年6月颁布了建筑物的抗震鉴定及抗震加固设计标准,标准的适用面基本覆盖了所有的既有建筑物,抗震

加固设计的目标也适当进行了提高。

在《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116—2009 中,钢筋混凝土结构的抗震加固方法主要有以下两大类:

1) 直接加固梁、柱构件的方法

针对钢筋混凝土梁受弯承载力不足,可采用增大截面、外粘型钢、粘贴钢板或纤维复合材、钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层以及增设支点等方法予以加固补强;针对钢筋混凝土柱受弯承载力不足,可采用增大截面、外粘型钢、钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层等方法予以加固补强;针对梁、柱构件的受剪承载力不足,可采用增加箍筋、包钢板箍、粘贴纤维箍、钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层等方法进行加固补强;当构件受压区混凝土强度偏低或有严重缺陷时,可采用置换混凝土法对构件进行加固补强。

2) 改变结构受力体系的方法

主要是在框架原有围护墙及分隔墙位置增设一定数量的剪力墙或在框架柱两侧设置翼墙,使原来的柔性框架结构改变为框架-剪力墙结构或壁式框架结构。该方法通过改变结构抗侧力体系,降低原有框架分担的地震作用,在减少加固原框架梁、柱工作量的前提下提高结构抗震能力,达到抗震设防要求。该方法关键在于解决好新增墙体与原框架的连接问题以及新增墙体的基础处理问题,确保新增抗侧力构件与原框架能共同工作。在《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—2009 中,针对 B 类建筑还提供了考虑砖填充墙作用,以提高多层框架结构的抗震能力的方法。

总体而言,现行的建筑抗震鉴定以及抗震加固标准,是通过提高构件的抗震能力来提高结构的抗震能力。

在《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 中,隔震和消能减震设计是可供多层框架结构抗震加固利用的结构加固方法,具体可分为隔震加固和消能减震加固。

1) 隔震加固方法

这种方法是在建筑物的基础上部设置隔震装置,使建筑物在大震作用下,上部结构的运动类似于置于隔震支座上的刚体运动,从而使整个上部结构在地震中完全处于弹性状态。隔震支座具有很大的竖向刚度和相对较小的水平刚度,在非灾害荷载作用下,隔震支座处于弹性状态,变形很小;在灾害荷载(大震)作用下,由于支座的水平刚度较小,支座发生较大的变形,进入塑性状态,此时整个结构体系的基本周期很大(相对于固定基础的结构),结构受到的地震作用也相对很小。当对房屋抗震性能要求较高时,可采用隔震方法进行加固。

2) 消能减震加固方法

这种方法是在结构的适当部位附加消能减震装置,小震时减震装置如处于弹性状态,建筑物仍具有足够的侧向刚度,以满足正常使用的要求;在强烈地震作用时,随着结构受力和变形的增大,让消能减震装置首先进入非弹性变形状态,产生较大的阻尼,大量耗散输入结构的地震能量并迅速衰减结构地震反应。地震能量的主要部分由控制装置来耗散而非借助主体结构的塑性变形来耗散,从而使主体结构避免进入明显的非弹性状态而免遭破坏。消能减震装置作为非承重构件,其损伤过程也是保护主体结构的过程。这种被动控制技术能兼顾侧向刚度的提高和抗侧能力的增大,特别在大震时能有效减少地震能量的输入,明显降低结构侧移,达到控制结构地震反应的目的。

1.4 日本抗震加固技术的发展

日本是一个多地震的国家，国家与民众的防灾减灾的意识非常强，目前日本建筑物的抗震设计是基于 1981 年颁布执行的建筑基准法。1981 年日本的建筑基准法修改后，抗震设计规范也随即进行了修改，修改后导致许多既有建筑物不满足现行抗震设计规范的要求，即在 1981 年以前建造的大多数建筑物其抗震性能低于现行抗震设计规范要求。这些不满足现行抗震设计规范要求的既有建筑物需经过抗震加固后，才能够满足现行的抗震设计规范。

1995 年日本发生了阪神大地震，地震中许多建筑物遭受了破坏，特别是 1981 年以前的建筑物发生了诸多破坏。因此，日本 1995 年施行了《建筑物耐震改修促进法》。受此影响，1981 年以前建成的许多建筑物进行了抗震加固，同时也开发了许多抗震加固的方法。日本抗震加固发展概要如图 1-1 所示。

经过 30 年的发展，目前日本常用的抗震加固方法如下：

1) 柱构件的加固方法

- 缠绕加固
 - 焊接钢筋网
 - 焊接箍筋
- 钢板加固
 - 方形钢管
 - 圆形钢板
- 连续纤维加固
 - 粘贴纤维布
 - 粘贴纤维成形板

2) 使用剪力墙的加固方法

- 增设后浇筑剪力墙
 - 增设剪力墙
 - 增设浇筑墙
 - 封闭开口部位
 - 翼墙
- 钢框架加固
 - 钢支撑
 - 钢板墙
- 外贴钢加固——外贴支撑

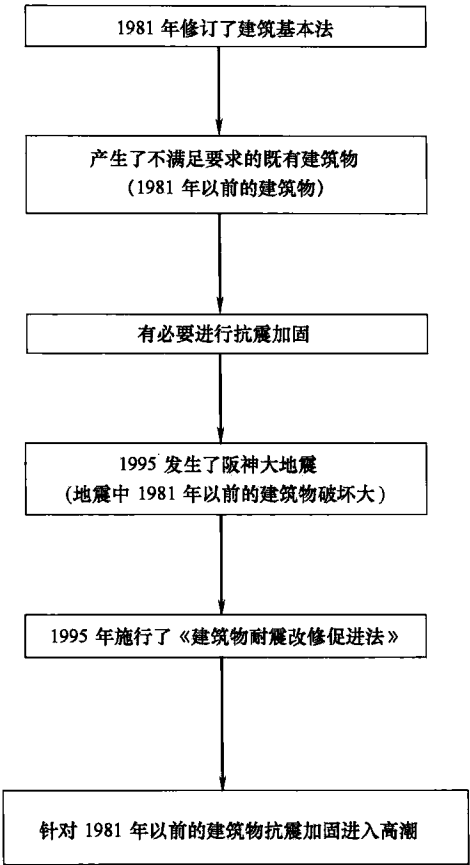
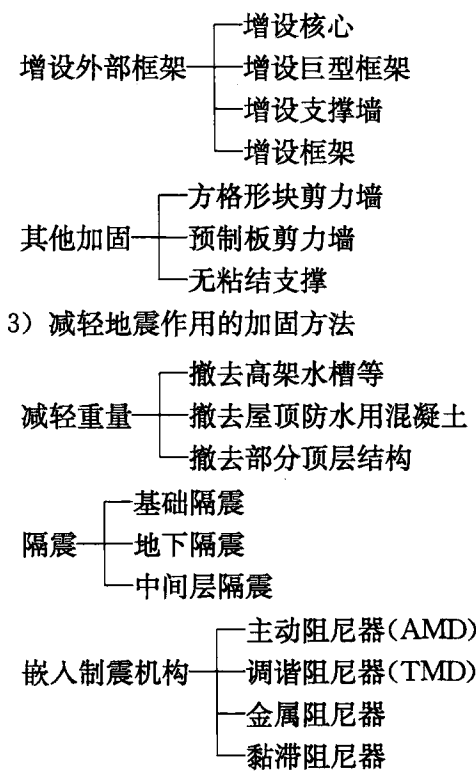


图 1-1 日本抗震加固发展概要



1.5 我国抗震加固中存在的问题与展望

1.5.1 抗震加固的目标

在《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—2009 中，按照经抗震加固后建筑物在大震下不倒塌的目标，根据建筑物的已使用年限和建造年代将建筑物的抗震加固的设防目标分为三类，即：

- 1) 在 20 世纪 70 年代及以前建造的现有建筑，其后续合理使用年限不应少于 30 年；在 80 年代建造的现有建筑，其后续合理使用年限宜采用 40 年或更长，且不得少于 30 年。
- 2) 在 20 世纪 90 年代建造的现有建筑，其后续使用年限不宜少于 40 年，条件许可时应采用 50 年。
- 3) 在 2001 年及以后建造的现有建筑，其后续使用年限宜采用 50 年。

根据不同的后续使用年限要求，《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—2009 将抗震鉴定要求分为三类，即：

- 1) 后续使用年限 30 年，应按《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—2009 规定的 A 类建筑进行抗震鉴定。
- 2) 后续使用年限 40 年，应按《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—2009 规定的 B 类建筑进行抗震鉴定。

3) 后续使用年限 50 年, 应按《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 的要求进行抗震鉴定。

在上述的分类中, 建筑物的抗震鉴定目标缺少连续性, 在实际工程中往往造成混乱, 尤其是对于 2001 年以后建造的多层框架结构, 建造当时属于正常设计条件的多层框架结构基本都不能满足现行抗震设计规范的要求。按照这种分类方式, 2001 年后建造的框架结构, 尽管其抗震能力较前两类建筑有明显提高, 但仍需要进行抗震加固, 与大众普遍的感受不一致。而自 2001 年以来, 10 年间建造的这类建筑的数量保守估计也有 100 亿 m^2 。

1.5.2 结构地震损伤评估

针对地震中受到损伤的建筑物, 在进行抗震加固时, 首要的工作是需要对结构的损伤程度进行评价, 通过评价了解结构的实际抗震性能以及恢复结构性能的可能性。但我国目前尚缺少结构地震损伤程度评价的标准, 在实际工程中通常认为经过修复的受损建筑能够恢复到与原建筑基本相同的性能, 这种处理方式有可能掩盖了结构实际抗震性能低于设计目标的情况, 使经过抗震加固的建筑仍然存在安全风险。从严格的意义上看, 现行的《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 并不包括地震受损建筑的抗震鉴定。

1.5.3 抗震加固设计与新建建筑设计的关系

构件是组成结构的基本单元, 构件的性能需要满足整体结构性能的要求。在新建建筑中, 结构方案一旦确定, 就可以通过构件的设计来满足整体结构的抗震要求; 但在抗震加固设计中, 由于建筑物业已形成并处于正常使用状态, 大多数情形下, 并不能改变结构的基本形式, 如果仍然使用新建建筑设计思想, 把抗震加固的立脚点放在构件加固上而不是从提高结构整体的抗震能力上考虑, 必然造成抗震加固的困难。在实际工程中, 结构抗震加固成本远远低于恢复由于加固的原因所破坏的建筑装修、使用功能等所需成本的情况大量存在。

1.5.4 选择合适的抗震加固方法

在多层框架结构的抗震加固中, 不仅仅要按照抗震设防的要求进行抗震加固设计, 同时, 采用的抗震加固方法和措施同样应符合结构在地震作用下的受力特点。目前常用的抗震加固方法大多来自静力加固方法, 某些方法是否适应地震荷载反复作用下的结构加固, 还缺少一些试验研究, 如粘贴法补充梁柱纵向受力钢筋的不足、梁柱钢筋的连续性通过间接的方式来实现等, 这类方法用于抗震加固时, 如果不采取符合抗震设计基本概念的补救措施, 其抗震加固的效果可能远达不到抗震加固设计的预期。

1.5.5 多层框架结构抗震加固技术展望

我国建筑物抗震加固技术经过几十年的发展, 形成一些行之有效的加固方法, 但随着经济建设的发展, 建筑类型的多样化、建筑使用功能的变化以及建筑抗震设防要求的提高, 考虑建筑物性能的既有建筑抗震加固将成为加固技术发展必须解决的问题。

1994 年美国洛杉矶北岭地震、1995 年日本阪神地震和 2011 年 3·11 东日本大地震的震害经验为世人展现了建筑抗震技术的新出路——隔震和消能减震技术, 此类技术在大地

震中经受了考验，表现出对建筑物和工程设施极好的保护作用。在此之后，美、日等发达国家都已将基于性能的抗震设计概念应用于建筑物加固中，我国也已开展这方面的研究工作。

在考虑建筑抗震性能化的加固方法中，最重要的概念包括两个方面：一是当地震来临时，建筑物仍能够发挥其预定的功能；二是抗震加固的过程应当减少对建筑物正常使用功能的影响。这就要求我们不仅仅在构件的层面完成抗震加固工作，而且更重要的是要从结构整体性层面考虑抗震加固。日本开发的“边住边加固”的方法值得我们借鉴。所谓“边住边加固”的方法，是指加固工作主要在建筑外部进行，建筑物抗震能力的提高是通过增加的外部子结构来实现。在加固过程中既不破坏建筑内部的装修，也不影响建筑的正常使用。日本有较多的建筑物采用了各种外部构架方法进行抗震加固，这些建筑在2011年3·11日本东北部M9.0级大地震中都表现良好，有效地抵抗了强震的作用，为我们的抗震加固提供了一种可供借鉴的抗震加固思路。