

学校类建筑抗震研究的几点探讨

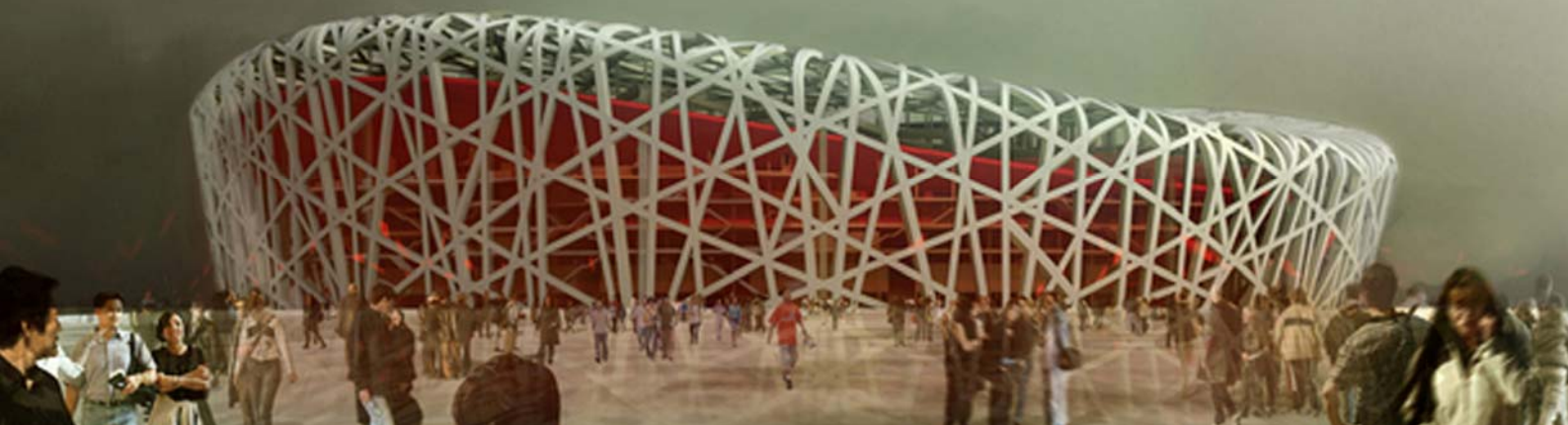
报告完成人员：

凌 云 高 谦

曹 鹏 赵芙菊

报告完成时间：

2008年8月31日



学校类建筑抗震研究的几点探讨

1. 我国建筑抗震形势及建筑抗震设计的发展和内容

1.1. 我国建筑抗震形势

地震灾害是人类面临的严重自然灾害之一，地震的发生具有突发性和不确定性的特点，使得预报性差。强烈地震常常造成人身和财产的巨大损失。

从世界范围来看，地震主要集中分布在以下两个地震带：

A. 环太平洋地震带：它从南美洲西部海岸起，经北美洲西部海岸、阿拉斯加南岸、阿留申群岛，转向西南至日本列岛，再经我国台湾省，而达菲律宾、新几内亚和新西兰，几乎全球约 80%~90% 的地震都集中在这一带；

B. 地中海南亚地震带：它西起大西洋的亚速岛，后经意大利、土耳其、伊朗、印度北部、我国西部和西南地区，再经缅甸、印尼的苏门答腊与爪哇，最后与上述环太平洋地震带相连。

我国地处两大地震带的中间，是一个多地震国家，地震分布非常广泛。近四千年来，在除浙江省以外的绝大部分地区都曾发生过较大震级的破坏性地震。仅在 20 世纪全球发生的 1248 次造成人员死亡的地震中，中国死亡人数就占全球死亡人数 170 万人中的 40% 以上，居全球发生过大地震的 80 个国家之首（表 1）。在上世纪全球造成人员上网最多的 10 次毁灭性大地震中，发生在中国的 3 次大地震造成的死亡人数就占了 53%（表 2）。

表 1 20 世纪遭受地震灾害最为严重的 10 个国家所发生地震情况

国家	造成人员死亡的地震发生次数	总的死亡人数	超过 1 千人死亡的 earthquake 发生次数	超过 1 万人死亡的地震发生次数	超过 10 万人死亡的地震发生次数
中国	170	619488	21	7	2
日本	84	169525	10	1	1
意大利	45	128031	6	2	—
伊朗	89	121513	16	4	—
土耳其	111	99391	17	2	—
秘鲁	62	76016	3	1	—
前苏联	44	75813	8	3	—
巴基斯坦	14	65984	2	1	—
印度尼西亚	66	43992	5	2	—
智利	35	36332	4	1	—

表 2 20 世纪造成人员死亡数最多的 10 次毁灭性地震

人员死亡数	年份	地震	国家	震级
242800	1976	唐山	中国	7.8
234120	1920	甘肃	中国	8.5
142807	1923	关东	日本	8.3
83000	1908	Messina	意大利	7.5
66794	1970	Ancash	秘鲁	7.7
60000	1935	Quetta	巴基斯坦	7.5
40912	1927	青海	中国	8.0
35560	1990	Manjil	伊朗	7.3
32700	1939	Erzincan	土耳其	8.0
32610	1915	Avezzano	意大利	7.5

无论从 20 世纪地震造成的人员死亡数目来看，还是从上世纪毁灭性地震发生的次数来看，或是最近的“5.12”汶川地震，我国都遭受了最为严重的地震灾害，我国的地震形势异常严峻。如果再从专家预测的未来 500 年内地震来看，我国的北京、天津和西安依然受着 5000~10000 栋建筑物被摧毁的地震威胁（表 3）。

表 3 在 500 年内可能由地震摧毁的建筑栋数达 5000~10000 的部分城市

城市	国家	城市人口（单位：万。2002 年统计）
北京	中国	713
Bogotá	哥伦比亚	668
千叶	日本	90
Izmit	土耳其	26
Manila	菲律宾	1013
San Francisco	美国	81
仙台	日本	102
Tehran	伊朗	772
天津	中国	434
Valparaíso	智利	30
西安	中国	265

注：500 年内城市可能由地震摧毁的建筑栋数是根据 50 年内超越概率为 10% 的烈度图 (<http://seismo.ethz.ch/GSHAP>) 结合人口统计（来源于 www.world-gazetter.com）及平均的建筑容纳人口（来源于 UNCHS2001）预测得出。

再从 20 世纪最后 20 年统计的地震灾害造成的直接经济损失来看，1990~2000 年，地震灾害造成的直接经济损失达到了 1980~1990 年的 2.5 倍以上。平均每年我国由地震灾害造成

的直接经济损失达 12.7 亿元（表 4）。

表 4 1990~2000 年主要震害统计数据

年度	死亡人数（人）	受伤人数（人）	直接经济损失（亿元）
1990	127	2187	6.74
1991	3	554	4.42
1992	5	480	1.60
1993	9	381	2.84
1994	4	1378	3.29
1995	85	15024	11.64
1996	365	17956	46.03
1997	21	150	12.52
1998	59	13631	18.42
1999	3	137	4.74
2000	10	2977	14.68
1990~2000	691	54855	126.92
1980~1989	1112	12402	49.81

综上所述，我国是一个多地震国家，受着严重地震灾害的威胁。所以建筑结构的抗震设计是需要我们十分关注和重视的。

1.2. 建筑抗震设计的发展

日本的地震遍布全国，地震多而大，因而其开展抗震工作较早，是世界上最早有抗震规范的国家之一。1880 年横滨级 5.5 地震发生后，日本就成立了日本地震学协会（Seismology Society of Japan）。1886 年成立的房屋建筑研究所，是现在日本建筑研究所（AIJ）的前身。1891 年的 Nohbi 地震造成了严重的地震灾害。之后，为促进对于地震学的研究，1892 年日本政府组织成立了地震调查协会（Earthquake Investigation Committee），即现东京大学地震研究所前身。1919 年 4 月，日本颁布了第一个建筑规范《城市建筑法规》（Urban Building Law）（24 规范），并于 6 月对其进行修改。之后，相继出现了 1950 年 6 月的 50 规范，1981 年 6 月的 81 规范，以及 2001 年开始使用的现行建筑标准法规规范（01 规范）。

美国强地震主要集中于西部沿海地区的圣安德烈斯断层带上，由于科学技术发达，工程建设普遍，并首先而且广泛地开展了核电站、海洋平台等特殊重大工程，他们在近代地震工程学上有不少新贡献。由于美国是一个联邦政府，各种法令的制定权在各州市，故无全国性的规范。美国西部的州市旧金山、洛杉矶在地震及其抗震设计方面起着引领发展的作用。美国规范对建筑抗震的要求始于旧金山地震（1906 年）后，但具体要求进入规范则以统一房屋规范（UBC，1927）的附录为最早。1956 年美国土木工程师协会（ASCE）旧金山分会以

及 1949 年地震工程研究协会 (EERI) 提出了第一版抗震设计规范建议, 即 (SEAOC—1959) 建议, 它成为了一个有重要学术影响的抗震设计规范的蓝本。1972 年洛杉矶市颁布暂行的抗震规范以及 1977 年应用技术委员会发表抗震设计样本规范 ATC3—06, 使抗震设计规范逐渐成为有法律约束力的规定。2000 年以后由国际上三家法规出版机构 (ICBO, SBCCI 和 BDCA) 联合成立的国际规范委员会 (ICC) 出版发行了国际建筑规范 IBC2000。它是美国建筑设计中目前应用最广的规范, 其中关于建筑抗震设计的要求也是美国建筑扛着设计的依据。

我国地震工程的研究萌芽于 20 世纪初, 翁文灏等率先于 1918 年和 1920 年深入南澳、海原等大地震现场调查研究, 利用现代科学知识分析我国区域地质构造和地震活动的关系, 发表的我国东部地区地震区域划分成果, 至今仍有重要意义。

1954 年中国科学院成立地震工作委员会, 负责审议和协商各项重要建设场地的地震烈度。1955 年, 前苏联科学院派遣科学家来中国协助地震研究工作。从此, 工程地震的科学研究在中国得到迅速发展。中国科学院地震工作委员会在中国科学院地球物理研究所的主持和前苏联科学家的帮助下, 整理了约 3000 年的历史地震资料, 查阅了 8000 余种文献, 从中摘录了 15000 余条地震记载, 于 1956 年编辑出版了《中国地震资料年表》。后来在李善邦教授的主持下, 又以这些资料为基础, 于 1956 年编出了 1:500 万《中国地震区域划分图》, 该图标出的烈度等级与国际上的 12 度地震烈度表的等级相适应, 使人们对当时中国各地的地震危险性得以全面认识。这套原则和方法一直沿用到世纪年代以前。

1954 年, 中国科学院土木建筑研究所 (现为中国地震局工程力学研究所) 开始研究建筑的抗震问题, 我国的工程抗震研究工作由此开始。1955 年, 翻译出版了前苏联《地震区建筑规范》。1958 年, 刘恢先教授发表了《论地震力》一文, 精辟地论述了地震力理论, 提出了采用反应谱理论进行抗震设计的见解。1959 年, 在刘恢先教授的领导下, 当多数国家仍采用静力理论计算地震作用时, 我国第一本以前苏联地震区设计规范 CH—8—57 为蓝本的《地震区建筑规范》(草案) 问世, 并采用反应谱理论来计算地震作用。接着有 64 年的《地震区建筑设计规范》(草案稿), 74 年的《工业与民用建筑抗震规范》(TJ11—74), 有 78 年的《工业与民用建筑抗震规范》(TJ11—78), 89 年的《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89) 以及 2001 年的《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)。59 规范和规范为草案, 实际上起到了对当时抗震设计的指导作用, 但草案毕竟不是有法律效用的规范, 因此, 中国的抗震规范为 74、78、89 及 2001 四代。

1.3. 抗震设计的内容

一般对地震区的工程结构进行的设计, 包括抗震概念设计和结构抗震计算两个方面。

- A. 建筑抗震概念设计是根据地震灾害和工程经验等所形成的基本设计原则和设计思想, 进行建筑和结构总体布置, 并确定细部构造的过程。
- B. 结构抗震计算是指基于地震作用效应定量计算而进行的抗震设计。

由于地震和地面运动有很大的不确定性,导致结构在其使用期限内可能遭遇预期强度等级的地震,也有可能遭遇远远大于预期强度等级的地震,这就使结构工程师很难准确了解结构的抗震需求。当前,多数国家对结构抗震设计原则为:对于一般的工程结构,设计时以本区域内多遇地震作为结构弹性阶段承载力和变形验算依据,以保证结构在小震作用的结构正常使用功能;同时以大震作为结构在极限状态下的验算依据,以满足在结构在强震下不至于倒塌危及生命安全。虽然这种设计方法较为简单,设计结果较为经济,但也在某种局限了结构的抗震设计。首先,仅仅以正常使用状态和极限状态作为设计阶段,并不能保证结构在除此两状态之外的处于其它状态时的损伤程度和功能完整性,这就要求我们对结构的其它状态的性能水平进行更深入的研究。其次,这种设计仅仅要求结构满足基本的抗震设防目标,局限了业主对结构抗震方面提出更高的设防要求,安全度已与目前的经济和社会发展不符,尤其是学校类建筑空间结构形式相对较弱,人员在时间和空间密度相对较大等特点。

四川汶川大地震中许多学校校舍倒塌,很多学生被夺走生命。四川省教育厅数据表示,截至 2008 年 5 月 26 日,在汶川大地震中四川省学生死亡 4737 人,伤者 1.6 万余人,在全四川 67000 死亡人口中,学生占到 7%。来自四川省建设厅的数据显示,在此次大地震中,重灾区学校倒塌面积为 199.7228 万平米,倒塌房屋总面积为 14889.3 万平米。倒塌学校面积占总倒塌房舍面积的 1.3%。初步统计显示,地震灾区倒塌的校舍达到 6898 间。学校建筑的抗震能力也成为人们关注的热点。

2. 学校类建筑的抗震设计

学校类建筑有着区别于其他的建筑的特征:特殊的建筑布置和功能要求、时间空间的人员密集以及社会影响重大。

由于需要满足空间,采光及通风等要求,校舍的平面布置一般按照下图(图 1)实例进行,

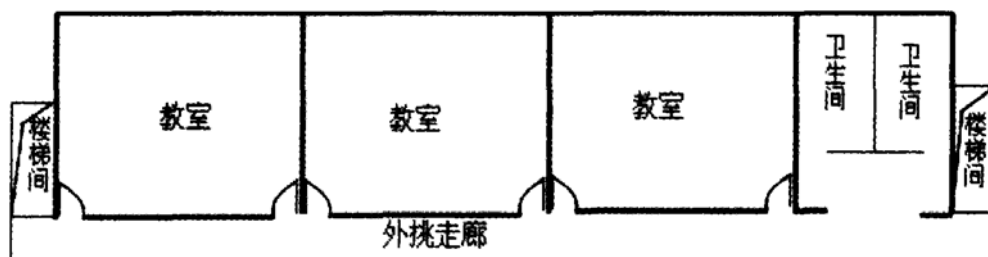


图 1 校舍平面布置示意图

采取单开间串联方式布置教室,并且外设连同走道,这样使得教室双面采光,南北通透,同时疏散渠道明确。但这样带来的问题就是原本连续大空间开间对于结构抗震就存在不利,而且这些开间的纵墙均存在大的窗洞和门洞,对于纵墙承重体系是非常不利的。而且疏散通道宽度与外挑宽度是一个矛盾,对于抗震来说,外挑越宽越不利,而疏散密集人群必须有通畅宽敞的通道。从抗震设计的角度来说都可以通过计算和构造来屏蔽这些不利因素,下面就从

目前规范所涵盖的六个方面来探讨：

- A. 设防标准
- B. 场地地基
- C. 建筑布置
- D. 结构体系
- E. 分析方法
- F. 构造措施

2.1. 设防标准

在四类建筑设防标准中，学校类建筑一般按照一般建筑也就是丙类考虑。本次汶川地震后，学校类建筑提高为乙类建筑。

从规范描述中看：甲类建筑应属于重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑，乙类建筑应属于地震时使用功能不能中断或需要尽快恢复的建筑，丙类建筑为甲乙之外的一般建筑。学校建筑不需要在地震时保持其功能延续，也不一定需要尽快恢复，所以划归在丙类建筑中。从国家这次提高建筑等级来看，除了考虑到人员密集性以及常驻人员无自救能力等因素，更考虑到学校在震后所能发挥的功能，也就是作为避难所的存在。

等级的提升意味着设计所采用的设防等级的变化，乙类建筑要高于设防标准一度进行设计。

2.2. 场地、地基

场地和地基的设计与普通建筑相同考虑。需要注意的是对于体量较大而且长宽比较大的校舍来说，设置相应的地震缝是非常必要的。学校建筑一般都是低层大开间建筑，也就是说地基不均匀变形对结构影响要远远大于结构随高度增加而加剧的上层结构的震动反应。

在规划选址时，条状突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩石的陡坡、河岸和边坡边缘基岩外露的地段，高坡上的建筑震害明显，应尽量选择地势开阔平坦，土层坚硬厚实，土质均匀等地质条件，同时注意避开对抗震不利的地段。通过地震危险性概率分析，场地工程地质勘察，场地土动力性能测定，场地地震反应模型及参数确定等工作内容，使校区中重要的、特殊的、易产生次生灾害和生命线工程能处于抗震性良好的场地，经受预计设计地震的侵袭。通过工程建设前期的地震安全评价工作使抗震设计有的放矢，在选址阶段就尽量避免地震时场地岩土地震稳定性，如滑坡、崩塌、液化和震陷特性等地质灾害的发生。

2.3. 建筑布置

对于普通建筑来说，一般开间小，长宽比小，楼梯间，卫生间等小空间易布置有利的剪力墙以形成核心抗侧部位。而校舍通常大开间教室，基于疏散等要求，楼梯间一般设计相对较大，卫生间分布也相对稀疏对于形成核心抵抗区域都是不利的。所以在布置时需要均匀布

置，避免同一结构中出现薄弱和强化两极分化现象。

在功能设置上，可以考虑小开间办公室、休息室、设备室等间隔布置，主楼梯间居中，如（图 2）。

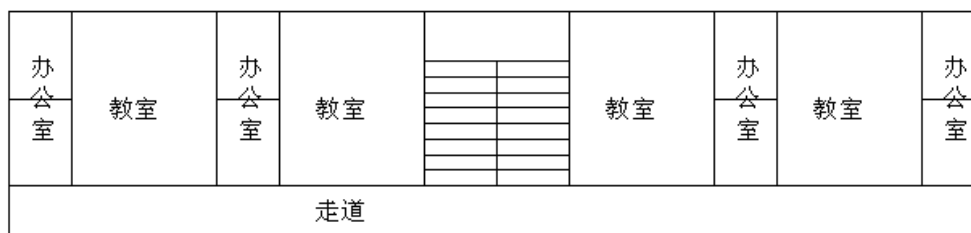


图 2 校舍平面优化布置图

若考虑学校建筑的避难功能，可以设置地下室，储藏间、避难间。而地下室不仅可以加强地基的稳固，也是相对安全的避难场所。设置多维度的疏散渠道，除了楼梯外，狭小空间如卫生间、休息室、设备间等也可适当用于紧急避难。

2.4. 结构体系

过去校舍多为砌体结构，这类结构对于抗震是极其不利的，由于砌体是一种脆性材料集合，一旦荷载超过抗力即产生破坏，所以在强烈地震作用下，结构易发生脆性剪切破坏。

目前新建的校舍绝大部分为框架剪力墙结构。通过框架结构获得大开间以及灵活的门窗洞和外挑结构的布置，同时储备结构延性，剪力墙则提供最为关键的抗侧能力。

2.5. 分析方法

目前，国内外常用的分析设计方法主要是基于力和基于性能两种设计方法。

- A. 基于力的设计方法主要从静力和动力的角度考虑地震对结构的影响。
 - a) 静力设计方法。把地震作用看成是作用在建筑物上的一个水平力，不考虑动力特性。
 - b) 动力及反应谱设计方法。考虑结构本身的动力特性，将结构看成多自由度体系，通过将地震时地面加速度与结构自身特性的关系，得到对应的动力反应。我国规范规定在计算结构罕遇地震作用下的弹塑性变形时采用此方法。
- B. 基于性能的设计方法主要以结构弹塑性变形为基础，以位移作为控制指标，通过结构的关系谱曲线计算并控制结构内力等各项指标。
 - a) 基于损伤的设计方法。根据“小震不坏，中震可修，大震不倒”的原则，所制定的对于小、中、大震的损伤系数限值来指导设计过程。
 - b) 基于能量的设计方法。将结构耗能的能力作为设计参数。地震其实就是能量的释放过程，结构在地震中吸收能量越多，那产生破坏的能量就越少。
 - c) 基于位移的设计方法。以结构位移响应作为目标进行结构和构件设计。在强震作

用下，结构的位移比力更能直接反映结构的破坏状态。

从上述的方法比较来看，基于力的设计方法为目前学校建筑所采用的也是规范所要求的方法，它的可以在很大程度上满足受力的需求，也就是说解决的是抗力失效的问题。这在绝大多数情况下是适用的。但地震作用所产生的不仅仅是抗力失效，还有诸如变形所产生构件失稳，脆性破坏等等其它力学性能。所以采用基于性能的设计方法是综合把握了建筑物的地域区划、结构体系、场地、使用功能等特征，避免结构由于其它某项力学性能指标较弱而导致功能丧失甚至破坏。这也能充分发挥学校类建筑作为避难所的功能要求。

2.6. 构造措施

构造措施不仅仅是对于砌体结构校舍而言所需要设置的圈梁、构造柱的抗震构件，更重要的是把抵抗、消耗、分割地震影响的理念融入到构造措施中。对于罕遇地震来说，很难有结构能够不坏，关键是设计人员要知道结构会坏在哪里，让结构坏在哪里。所以在抵抗地震之外还需要设计次要构件，在强震时先于主要结构而破坏，起到耗能保护作用。同时对于大位移或者位移剧烈变化的可能区域通过加设大阻尼构件阻隔地震影响。

从汶川地震中校舍倒塌的勘测报告、设计图纸以及专家分析的综合意见来看：

A. 抗震规范设计没有太大问题。因为按照规范施工的校舍绝大部分都能保存下来。在震区，四川建筑设计院最近几年设计的校舍几乎全部完好，只有一栋教学楼因为断裂带从楼前穿过，而存在一定的裂缝，但房屋没有倒塌，没有学生和教师均无伤亡。但是将所有学校类建筑划分到乙类，更为合理。

B. 校舍工程质量不过关是导致校舍倒塌的一个重要原因。很多校舍是按照规范设计，却没有严格按照设计来施工建设。

C. 建筑监管和管理人员的缺乏是另外一个重要原因。校舍修建完成后遍没有专门的人员对校舍进行定期的检测和管理；长达 10 多年的资金和管理失位，使得这些垮塌学校甚至连一些基本资料都无法找到，如设计图纸等。

归纳来看，汶川地震中学校建筑倒塌主要还是由于施工质量和管理制度的缺陷。而造成这个结果的原因主要有两点：

第一，我国关于学校抗震方面的法律很少，只有一部《防震减灾法》。1998 年 3 月 1 日，我国正式实施《防震减灾法》，成为世界上第一个制定防震减灾基本法律的国家。但这部法律在实施过程中出现很多问题，包括学校建筑工程的抗震设防这一特别重要问题也没能解决。而 2001 年的《建筑抗震设计规范》（GB50011—2001）虽然详细规定了各种建筑的抗震设计标准，但也存在同样的问题，没有对学校建筑做出特殊规定。可以说，中国一直都没有针对学校建筑抗震的相关规范，从建造标准，到工程质量，再到工程完成后的维护、管理，这一系列的流程都是需要专门的法律来规制。

第二，中国没有专门的机构来负责学校建筑的抗震。教育部和住房和城乡建设部都有相

关的职责，但这种职责不明确，没有相应的规范来督促某个部门全心全责地开展工作，所以学校建筑处于无人管辖的真空地带。

3. 相关国家和地区关于抗震减灾方面法律法规的经验

日本与我国部分地区相似，同处地震带，是地震等自然灾害更为频发的国家。1995 年发生的阪神大地震造成当地 6000 余人失去生命，自此，日本政府意识到防灾减灾的重要性，正式展开对地震减灾救援的深度研究。日本文部省（MEXT）通过多种方式，采取系统措施以提升学校建筑抗震能力。

台湾地区政府教育部在 921 台湾中部发生里氏 7.3 级大地震后，提出将未来灾区学校重建抗震标准提高到与核电站、医院和水坝相同的水平，可抵抗里氏 7 级的强震；同时在未来各地新建校舍的耐震标准均应在原订标准外再乘一点二五的用途系数，确保学校建物的安全性。

3.1. 相关标准和政策的制定

日本社会在经历过数次大地震血的教训后认为，学校是第一避难所。日本文部科学省，即日本政府 1 府 13 省厅中主管教育、科学技术、学术、文化、宗教、体育等事务的中央行政机关（以下简称文部省），亦如此认为。文部省表示：地震时在校学生必须安然无恙，而学校还可当作地方百姓地震时的紧急避难所，因此，保证学校建筑能够抗震，势在必行。

2001—2002 财年，日本消防协会和日本政府内阁联合推出的市场调查显示，包括学校建筑在内的公共设施与指定的防震等级还有一定距离，尚待完善——仅 30% 在“1981 年建筑防震标准”颁布前建成的楼房，以及 45% 的公办中小学校，曾进行翻新加固。

这一背景下，日本文部省于 2002 年开始施行历时 5 年、耗资 30 亿日元的“大城市大地震减灾特别计划”。执行这一核心计划的机构分别是日本防灾科学技术研究所和国际救援系统研究机构，均位于东京近郊的“川崎中心技术创新园”。2002 年 10 月，日本文部省成立专门的委员会，于 2003 年 4 月发布名为《提高加固学校建筑防震能力》的报告。在该报告基础上，同年 6 月出版了《促进学校建筑防震指南》（以下简称《指南》），描述了“学校建筑防震”的概念，列出了如何设计各防震级别建筑的推进方案，同时，以 2001-2002 年调查为结果，提供了如何排序决定各防震建筑工程紧要程度的方法。相关政府部门还印发了《学校建筑改善翻新》的操作手册。

以《指南》为基础，日本文部省要求地方政府着力提高巩固学校建筑的抗震能力，急切敦促对在“1981 年建筑防震标准”发布前竣工的建筑予以完善加固。

3.2. 标准、政策的要点

日本文部省为提高学校建筑抗震能力所采取的一系列措施的基本原则是：

- A. 对可能在地震中坍塌或严重损毁的学校建筑，优先开展防震加固措施；
- B. 促进对建筑抗震能力的评估；
- C. 持续推进提高建筑抗震能力的规划制定工作；
- D. 及时公布有关建筑抗震能力的评估结果，以及提高建筑抗震能力的规划方案；
- E. 对抗震工作中的非结构性问题逐一排查，并采取相应举措。

台湾地区的政府在提高学校建筑抗震设计标准的同时，对于学校建筑招投标制度也进行了改革，实行“最有利标”。教育部在其代办的学校的施工招标中打破了先例，由原来通行的“最低标”招标方式（即施工公司报价越低越容易中标，这难免导致“偷工减料”），改为“最有利标”方式，即聘请施工与工程界中信誉好、资深且有丰富的专家组成评委会，来甄选出业绩、能力、信誉等皆佳的施工单位，以确保施工质量。因为高质量的施工是实现优秀的设计理念和确保建筑安全性的主要保障。

3.3. 标准提升和政策落实的投入情况

日本文部省为推行《指南》及相应的操作手册划拨约 1000 亿日元资金（约合 7.9 亿美元）用于维修改善学校建筑，还强调地方政府应每年出资用于抗震改建工作。2007 财年，日本文部省又划拨 1140 亿日元（约合 9 亿美元）。随之，89% 未达到“1981 年抗震标准”的学校建筑得以修缮一新。2007 年 4 月，文部科学省再次针对公立中小学校建筑的调查显示，已有约 59% 的建筑得到改建。

美国联邦紧急事务管理局 1998 年宣布它将给学校减灾工程提供 1070 余万美元的资助，用于保护学生及减轻南加州未来地震造成的破坏。由联邦紧急事务管理局减灾资助计划提供的这项基金，用于震后公共及私人设施的重建和加固，使之达到该计划的要求。截止 1998 年，北岭地震后美国联邦政府投入整个南加州防震计划的灾害资金已超过 316 亿美元。美国联邦紧急事务管理局减灾资助计划还将 75% 的基金提供给州和地方机构，用于具有经济实效的计划，以便使社区在未来灾害中更加安全。

3.4. 经验教训

日本文部省推出《指南》以及《学校建筑改善翻新》操作手册，短期内促进了大批量学校建筑防震能力的翻新完善工作，也成为联合国国际减灾战略事务局在全球范围内推广关注学校学生安全的案例之一。

日本政府还计划近年将《指南》与操作手册翻译成英文，在世界范围内宣传普及日本学校建筑抗震的经验教训，包括颇有成效的抗震标准、充足的建筑加固专项资金、政府为确保学校建筑具备抗震能力的强大愿望等经验，均可在其他地震多发地带多加推广。

但与此同时，日本文部省也表示，维修翻新易损毁学校建筑的成本十分高昂，而地方政府还不得不解决民众的其他需求，因此，很难给学校建筑改建划拨更多的财政预算额度。但

是诸如 1995 年阪神大地震这样极具毁灭性的地震，还是很有可能再次发生。目前摆在整个日本政府及社会面前的挑战是，如何在财政预算受限的框架下，推行促使学校建筑更为安全的政策举措。在此次汶川地震后，日本政府也表示将下决心进一步推动学校建筑的安全性能提升。

美国联邦应急事务管理局针对特定用途的公共建筑编制细致、可读和可操作的设计和建造指南的方式，值得我们参考借鉴。这种方式有助于学校建筑的拥有者、设计者、建造者、管理使用者更好的理解建筑抗震的理念、思路、措施等技术问题，实现各干系人建筑抗震方面的知识互动和平等，有助于各干系人达成共识，从而加强各方参与的积极性，最终提高学校建筑抗震质量。我国关于学校抗震设计和建造的标准和要求散见于不同的技术标准、行业规范、政府文件中，缺乏对学校建筑建设的系统的指导和帮助，这也致使在设计、建设过程当中缺少监督，频频出现影响结构安全的质量问题。

4. 总结

由以上的分析，对于学校类建筑抗震能力提高，有以下建议：

在设计方面：

- A. 采用钢筋混凝土框架剪力墙体系。这是目前最主流的结构形式，结合了框架的延性和剪力墙的抗性，同时也很好的满足校舍大开间，大门窗洞的功能需求。教室之间的分隔墙采用剪力墙。
- B. 采用高于本地设防等级的基准进行设计，并采用强震位移、损伤等性能指标进行验证，确保结构的抗震能力。
- C. 配备地下室，提供稳定基础以及安全的避难空间。
- D. 外挑走道设柱，以确保疏散、救援通道。

在法律法规方面：

- A. 制定一个有关学校建筑抗震能力的法规，并且尽快列进立法日程，列明学校建筑的建造标准。
- B. 建立一个类似日本的检讨委员会的机构，该机构由行政人员、校方人员和专家组成，负责学校建筑工程建造质量的监督。
- C. 设立一个类似日本文部省的“促进学校建筑抗震咨询窗口”，负责学校建筑工程建成后的后期管理，接受投诉，及时作出反应，防患于未然。

随着学校建筑的重视、标准的提高和新的功能的赋予，在保证建造质量的前提下，学校类建筑将会成为最安全的区域。