

2 地震表现对结构设计的启示

5.1 按不同抗震设计规范进行设计的房屋在地震中表现差异较大

我国抗震规范已发行过 78 版、89 版、02 版，从这次震害表现来看，不同时期的建筑物抗震能力有较大差异，在平原城市建筑物中，发生倒塌的房屋多建于上个世纪七、八十年代，这些房屋未采用或较少采用抗震措施，新建建筑物发生倒塌的情况较少，破坏程度也低于早期建筑物，甚至在同一个街道会出现早期住宅楼破坏严重，而新建住宅楼基本未发生破坏的现象，这说明随着抗震措施的逐步完善，结构设计能很好地执行相关要求的情况下，对建筑物在地震中的抗震能力有很大提高。本次都江堰市区地震等级在 7~9 度之间，许多建筑经受高于结构设防水平地震力度，属于“大震”作用范围，设计中合理及严格执行抗震设计要求及构造措施，是很多建筑未出现较大破坏或倒塌的重要原因。对于那些存在严重质量问题的建筑物不符合上述分析。

5.2 不同结构形式在地震中表现差异较大

由于剪力墙结构在震中地区很少采用，因此本次调查未获得相关震害资料。地震区高层建筑较多采用框架-剪力墙结构，本次震害常见表现为剪力墙连梁 X 型剪切破坏，符合结构抗震设计预期。考察该类结构中的框架梁、柱，基本上未出现节点破坏、柱体破坏，仅发现少量梁、柱出现裂缝现象，但未出现塑性铰情况，说明在地震中剪力墙是主要抗震构件，吸收地震能量较大，加强剪力墙部分的设计是该类结构设计重点。剪力墙设置数量及布置格局对于建筑材料的保护也有很大影响，本次地震中建筑物水平晃动严重，楼层位移很大，可能在地震中超过规范允许值，致使建筑墙体变形过大造成墙体破坏，这些墙体破坏形式有 X 型裂缝，已无法继续使用，地震后需进行整体更换。纯框架结构的震害表现于框剪结构类似，抗震性能良好。

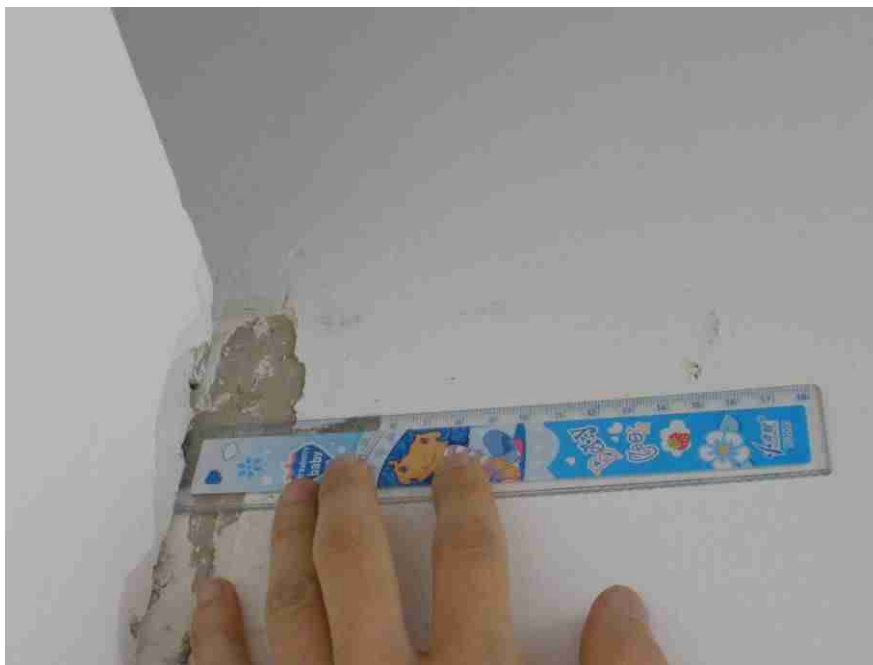


图 5.1 八层框剪结构建筑中，第五层房间内小隔墙顶部（距地面 2.0 米）在地震中晃动留下的痕迹，摆动幅度接近 200mm



图 5.2 框剪结构中柱间纵向建筑墙体破坏表现



图 5.3 框剪结构中柱间横向建筑墙体破坏表现



图 5.4 框剪结构中楼梯间处建筑墙体破坏表现



图 5.4 框剪结构中端墙建筑墙体破坏，框架梁出现竖向裂缝，框架角柱出现横裂缝

纯框架结构的震害表现与框剪结构类似，抗震性能良好，有部分梁柱节点处发生压屈破坏情况。



图 5.5 框架结构中柱体在一层梁下出现压屈破坏



图 5.6 框架结构边柱出现剪切破坏



图 5.7 建筑外窗下建筑墙体对框架柱的冲击

砌体结构在地震中的表现差异性较大，但总体上有如下印象：1) 底框结构破坏、倒塌情况较多；2) 采用预制楼板的结构破坏情况较多；3) 在倒塌破坏构件中，存在很多抗震构造不合理情况；4) 砌体材料中，存在砌块强度不足、砂浆强度不足及填充不饱满的情况；5) 是否设置构造柱和圈梁对砌体结构抗震起至关重要的作用；



图 5.8 采用预制楼板的砌体结构，右侧部分在地震中倒塌，墙上挂着预制板



图 5.9 砌块间砂浆强度不足，已成粉末状，丧失抗剪能力



图 5.10 圈梁箍筋间距超过 200mm，圈梁失去抗震作用



图 5.11 很多砌体墙不按要求砌筑，该窗间墙由两层墙体组成，缺少连接，地震中外侧墙皮被震落



图 5.12 砂浆砌筑不饱满，墙体在地震中未起到足够抗剪作用，全部依靠构造柱能力



图 5.13 构造柱在根部主筋采用单面不连续点焊连接

5.3 对采用预制构件建筑物震害看法

本次地震中倒塌房屋数量较多，除地震等级超过结构设防烈度因素外，采用预制构件的建倒塌比例较高，根据现场看到的情况分析，可以得出以下几点看法：

1) 预制楼板主筋不符合制作要求。预制板应采用预应力钢丝作为受力主筋，通过先张法制成预应力楼板，采用预应力筋可以有效减少楼板出现裂缝。从许多倒塌现场看到，这些预制板主筋采用非预应力钢筋，并且钢筋直径较小，可能采用冷加工拉长处理过：根据一些学校的学生反映，在地震前楼板就有非板缝间裂缝出现，说明这种预制板达不到结构设计使用要求；



图 5.14 折断的预制楼板，板中的主要受力钢筋为非预应力钢筋

2) 主体结构未按抗震规范要求设置构造柱、圈梁等重要构件。如图 5.15 某倒塌小学教舍，地上三层教学用房未设置构造柱，在地震中迅速地整体倒塌。在残留的楼体上可以看到楼层处设有圈梁构件，但由于竖向构件破坏较快，圈梁也未起到相应作用。



图 5.15 砌体结构未设置构造柱

3) 柱、梁、板的连接抗震构造措施设置不合理。如很多预制楼板掉落是因为板端钢筋未按正确的构造措施进行施工，图 5.16 是当地典型的连接方式，预制板主筋垂直板面放置在墙体上，板钢筋未有效锚固于板缝间浇筑混凝土中，这样做的结果是每块预制板都像积木一样放置在竖向构件上，竖向地震时楼板跳起直接离支撑体脱落。又比如某倒塌框架楼采用预制柱、板、梁体系，图 5.17 可以看出，框架柱、梁箍筋很细，现场感觉直径达不到 4mm，节点处箍筋间距达不到抗震加密要求，不能有效保护混凝土，在外侧混凝土全部震落；梁柱主筋直径不小，但仔细观察梁主筋锚固方式存在锚固长度不足和钢筋焊接现象。



图 5.16 预制楼板主筋未进行锚固



图 5.17 预制框架楼中梁柱节点配筋情况

4) 某些预制构件在使用中受到人为破坏。如图 5.18~5.21, 某倒塌教学楼进行了抗震措施设计, 但构件上有电钻孔, 造成结构承载能力和抗震性能下降



图 5.18 教学楼设置了构造柱, 地震中楼体底部有整体剪切破坏迹象, 构造柱上也设置墙体拉结筋, 拉结长度大约为 700mm;



图 5.19 教学楼设置了圈梁，圈梁箍筋间距大约为 200mm，符合抗震规范要求；



图 5.20 大开间预制进深梁支座处未见连接构造



图 5.21 进深梁体上有电钻孔，预制板与二次浇筑层间没有连接

5.4 屋面突出建筑物震害情况

建筑设计中经常有突出构件设计，这些构件在地震中容易产生“鞭稍效应”，结构人员应对类似设计予以重视，这些突出屋面的构件地震效应与地震等级、构件所处主体位置、结构主体自振周期等有关，设计中应对这些构件地震力进行相应放大。



图 5.22 三层框架楼上设三层造型建筑，地震中框架柱全部剪断



图 5.23 十四层框架剪力墙楼上设无线发射钢塔架，地震中整体弯折



图 5.24 六层砌体结构上加建一层，地震中两侧墙体脱落

5.5 框架结构中楼体破坏情况

楼体在结构整体设计时，一般是不考虑梯板及中间休息平台对主体的影响，楼梯及楼梯柱单独计算，在这次地震中，楼梯破坏情况较多，说明楼梯是框架结构抗震的重要组成部分，

楼梯破坏间接保护了框架主体。

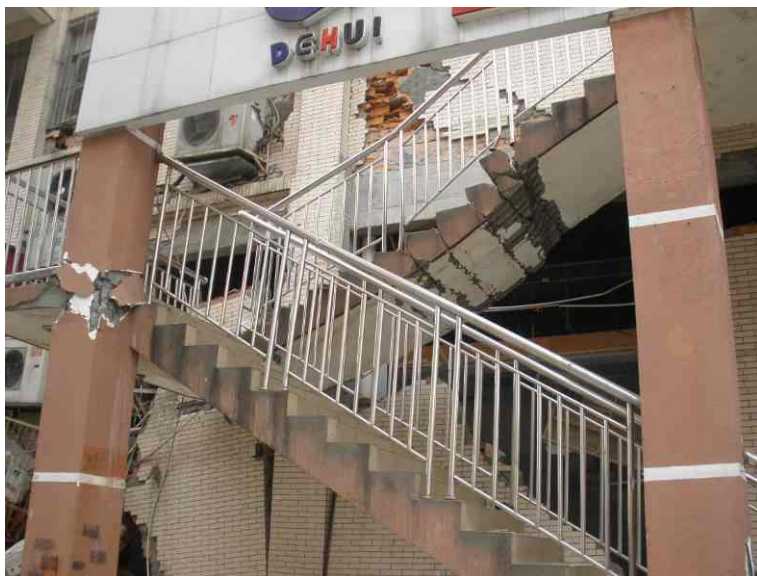


图 5.25 框架楼端部楼梯间，上部楼梯拉裂多处承担拉力说明拉力和压力交替出现，下部楼梯顶裂柱体



图 5.26 框架楼外部悬挑梁式楼梯，楼板及梯梁均破坏



图 5.27 梯柱与梯梁相交节点发生破坏，箍筋间距不能满足抗震构件要求



图 5.28 楼层中部休息平台被拉裂，梯梁在中部发生剪切破坏

6 震害调查小结

- 1) 抗震设计是结构设计工作的重要环节；
- 2) 选择优秀的结构形式可以有效减少地震灾害对使用者的影响；
- 3) 合理运用抗震构造措施是达到结构“大震不倒”目标的重要手段；
- 4) 应加强结构施工质量管理，确保建筑物符合结构设计预想；
- 5) 应重新认识建筑墙体和楼梯对框架类结构的抗震性能的影响；