

恢复开滦煤矿
设计会战专题总结选编
(二)

720217
1
3.2

恢复开滦煤矿 设计会战专题总结选编

(二)

建筑物和构筑物震害

煤炭工业部设计管理局

一九八〇年



A 7180

内 容 简 介

《恢复开滦煤矿设计会战专题总结选编》共四册，本册为第（二）册。主要是通过对开滦煤矿三千多项工程、共约一百另三千多平方米的建筑物和构筑物的震害调查、分析煤矿建（构）筑物和一般建（构）筑物的震害特征及其抗震性能，总结抗震设计经验。本书共分十二章。第一章是总论，着重探讨建筑抗震设计中的若干问题，总结一些共性的经验；第二章到第十一章分别为：井架和井塔、钢和钢筋混凝土框架厂房、煤仓、皮带输送机走廊和栈桥、池塔结构和烟囱、单层钢筋混凝土排架厂房、单层砖石工业厂房、钢筋混凝土内框架房屋、多层砖石房屋、单层砖石房屋，按不同的建筑结构类型，描述了震害的发生发展过程、震害实例及各类建筑结构抗震设计中应注意的问题；第十二章是震害照片。参加本册编写的有煤炭工业部设计管理局、选煤设计研究院、山西省煤矿设计院以及重庆、西安、沈阳、武汉、邯郸、兖州煤矿设计研究院，由煤炭工业部设计管理局主编。

恢复开滦煤矿设计会战专题总结选编（二）

煤炭工业部设计管理局主编
北京德胜门外后九条

*

煤炭工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印数：1~5000
印张：21¹/₄ 字数：522,600
1980年9月印刷出版

目 录

第一章 总论	1
一、本书编写中几个问题的说明	2
(一) 开滦煤矿八个矿的地震烈度	2
(二) 调查数量	3
(三) 建筑物和构筑物的震害分类	4
二、建筑抗震设计中的若干问题	5
(一) 设防标准	5
(二) 影响建筑物抗震能力和震害轻重的若干因素	8
(三) 抗震计算与综合抗震	23
第二章 井架和井塔	28
一、井架	28
(一) 概述	28
(二) 震害描述	35
二、井塔	42
(一) 概述	42
(二) 震害描述	43
三、小结	47
第三章 钢和钢筋混凝土框架厂房	48
一、概述	48
二、钢框架结构震害描述	52
三、钢筋混凝土框架结构震害描述	52
四、震害实例	62
(一) 荆各庄矿选矸楼	62
(二) 唐山矿选煤厂水洗车间	65
(三) 唐家庄矿选煤厂主厂房	68
(四) 赵各庄矿选煤厂重介车间	79
(五) 马家沟矿选煤厂中煤重介车间	84
(六) 吕家坨矿选煤厂浮选干燥车间	90
五、小结	90
第四章 煤仓	93
一、概述	93
二、震害描述	98
三、震害实例	108
(一) 荆各庄矿铁路煤仓	108
(二) 唐家庄矿徐家楼新井筛分楼煤仓	113
(三) 吕家坨矿精中煤装车仓	127
(四) 林西矿精煤仓	128
(五) 范各庄矿铁路煤仓	130

四、小结	131
第五章 皮带运输机走廊和栈桥	133
一、概述	133
二、震害描述	138
三、震害实例	151
(一) 吕家垵矿受煤坑至装车点走廊	151
(二) 唐家庄矿选煤厂精中煤走廊	151
(三) 马家沟矿选矸楼至装车仓走廊	152
(四) 范各庄矿贮煤场走廊	153
(五) 唐家庄矿徐家楼新井转载站至筛分楼煤仓走廊	153
(六) 唐山矿老选煤厂至中煤仓走廊	157
四、小结	158
第六章 池塔结构和烟囱	160
一、池结构	160
二、塔结构	163
三、烟囱	171
第七章 单层钢筋混凝土排架厂房	178
一、概述	178
二、震害描述	181
三、震害实例	189
(一) 荆各庄矿机钳电车间	189
(二) 荆各庄矿铆焊车间	191
(三) 荆各庄矿铸工车间	193
(四) 范各庄矿金工车间	195
四、小结	196
第八章 单层砖石工业厂房	199
一、概述	199
二、震害描述	203
三、震害实例	216
(一) 荆各庄矿变电所	216
(二) 马家沟矿一号井绞车房	219
(三) 赵各庄矿二号井绞车房	220
(四) 唐家庄矿七百户通风机房	221
(五) 荆各庄矿柴油机车库	222
(六) 荆各庄矿副井井口房	223
(七) 赵各庄矿机车库	225
(八) 马家沟矿选煤厂锅炉房	226
四、小结	230
第九章 钢筋混凝土内框架房屋	232
一、概述	232
二、震害特点	233
三、小结	236

第十章 多层砖石房屋	240
一、概述	240
二、震害描述	252
三、震害实例	270
(一) 荆各庄矿办公及任务交待楼	270
(二) 荆各庄矿单身宿舍 4 号楼	276
(三) 荆各庄矿单身宿舍 6 号楼	279
(四) 马家沟矿招待所	282
(五) 荆各庄矿家属住宅 5 号楼	287
(六) 荆各庄矿家属住宅 10 号楼	289
(七) 开滦机械制修厂住宅小楼	291
四、小结	292
第十一章 单层砖石房屋	297
一、概述	297
二、震害描述	301
三、震害实例	305
(一) 马家沟矿俱乐部	305
(二) 吕家坨矿俱乐部	307
(三) 赵各庄矿俱乐部	308
(四) 范各庄矿俱乐部	309
(五) 马家沟矿食堂	311
(六) 吕家坨矿食堂	312
四、小结	313
第十二章 震害照片	316
一、中等破坏、轻微破坏和基本完好的建筑物和构筑物	316
二、钢结构的建筑物和构筑物	319
三、钢筋混凝土结构的建筑物和构筑物	320
四、砖石结构的建筑物和构筑物	327
五、池塘结构及其他	333

第一章 总论

唐山地震是我国历史上和世界地震史上破坏性很大的大地震之一，又是发生在一个大型煤炭基地的罕见的大地震之一，总结唐山地震的经验教训，对于搞好工程抗震设计，发展我国的地震工程科学技术，特别是对矿山企业的抗震防震，有十分重要的意义。

为了总结唐山地震中开滦煤矿的震害经验，参加恢复开滦煤矿设计会战各煤矿设计院的几百位设计人员，从1976年8月到1977年6月在现场进行恢复设计期间，以及1978年2月到3月进行设计回访期间，对开滦煤矿井上下各环节的震害作了比较深入的调查研究工作；就建筑物和构筑物的震害调查来说，各单位提出的调查报告有七、八十万字，本书就是在这些调查资料的基础上进行加工整理编写的。

震害调查工作是很艰巨的。通过调查，提供了数以千计的震害照片和大量的统计资料，尤其可贵的是，许多同志不顾个人安危，几次、十几次地进入一幢幢危楼险屋，描绘一根根梁柱和一块块墙面上的裂缝部位和裂缝形态，本书中所附的许多裂缝图，就是这些艰苦工作的成果，限于篇幅，只能录刊其中的一部分；还有许多现场同志，为调查提供了各种资料，特别是地震当时刹那间的目击情况，使我们得以弄清一些建筑物的倒塌过程；所有这些，都是分析震害十分重要的基础材料。

整理编写工作中也遇到不少困难。我们确定对本书的编写要求是：通过整理震害的实际资料，分析不同类型建（构）筑物由轻到重的震害发生发展过程，找出建筑结构上的薄弱部位及各种影响因素，通过向实践学习，以实践作为检验的标准，来探讨建筑抗震设计中的有关问题，研究用较少的投资取得较高的抗震能力的途径。要这样做，就不能仅仅将各种调查资料进行罗列，而是要在弄通调查资料 and 具体情况的基础上，力求将各种分散的震害现象联系起来作为一个整体去分析和说明问题。尽管调查资料比较丰富，但从整理编写的要求来看，还是感到不足，这是很自然的。参加编写的同志作了许多努力，除按照上述要求进行工作外，还都在文中就抗震设计提出了一些观点，有些看法比较一致，还有一些也可能在各章之间不尽相同，我们在主编时虽对各章均有所增删，但对各种观点尽量作了保留，以资互相交流。

本章分两部分，第一部分是各章的一些共性问题进行说明；第二部分是通过总结开滦

煤矿建（构）筑物的震害经验，对建筑抗震设计中的若干问题进行讨论。

一、本书编写中几个问题的说明

（一）开滦煤矿八个矿的地震烈度

唐山地区位于两个板块构造带的交会处，一个是阴山东西向构造带（华北板块的北界）的南缘——燕山褶断带；另一个是华北板块内部的小板块，冀中板块的东界——走向北北东转北东的沧东断裂带。燕山褶断带从北京西山一直到秦皇岛、山海关入海，它是横亘河北省北部的十分复杂的构造带，由许多近东西向的断裂、褶曲、较小山字型构造等组成；沧东断裂带由山东德州以西，经河北吴桥、沧县经天津以东向宁河、唐山延伸，两者交会在唐山滦县地区（图1-1）。唐山强震区在局部构造上处于北东走向的唐山——宁河断裂与北东向的开平向斜相交的部位上（图1-2），发震构造裂缝大体沿北东方向的唐山——宁河断裂延伸；

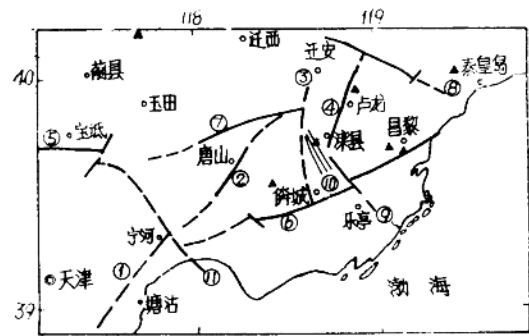


图 1-1 唐山地区区域地质构造

- ①—沧东断裂；②—唐山断裂；③—迁安-滦城断裂；④—桃园断裂；⑤—宝坻断裂；⑥—昌黎-宁河断裂；⑦—榛子镇-野鸡坨断裂；⑧—长城断裂；⑨—乐亭-滦县断裂；⑩—坨子头断裂；⑪—蓟运河断裂；▲—温泉及热水井

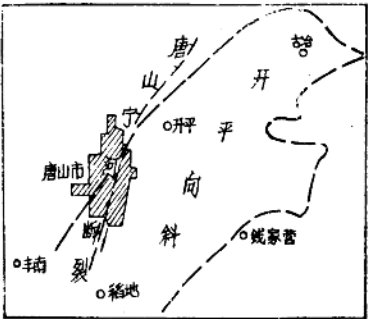


图 1-2 唐山地震局部发震构造

唐山——宁河断裂是沧东断裂带在唐山地区插入燕山东西构造带之后的一个主要分段大断裂，开平向斜构造是燕山东西构造带的一个组成部分。开滦矿区大体沿开平向斜的周边分布，如在唐山市内为唐山矿，开平附近为马家沟矿，然后以巍山采区、赵各庄矿、唐家庄矿、林西矿、吕家坨矿、范各庄矿等沿着开平向斜的周界展开。矿区大部分地区与唐山7.8级主震震中和当天下午滦县7.1级强余震震中的距离均在30公里以内。这两次强震造成的震害最大，唐山地震的余震频繁，7月28日当天在唐山地区就发生5级以上强余震17次，至10月中旬止，4级以上强余震共发生四百余次，其中5级以上的45次，余震又进一步加重了震害。各矿的场地条件是：唐山、唐家庄、马家沟、林西、赵各庄矿场地基岩埋深由几米到十几米，其余各矿第四系厚度由五、六十米以至160米左右；吕家坨、范各庄、唐家庄矿徐家楼新井以至钱家营等矿，地下水位高，近地表一段范围内多粉细砂层，震后喷水冒砂，液化严重。

根据地震部门编制的《唐山地震烈度分布图》，开滦煤矿八个矿的地震烈度为8~11度。

从矿区震害实际情况看，唐家庄矿徐家楼新井场地砂土液化，震害严重，与8度区的震害现象相去甚远，因此，在震害统计分析中，亦按9度计，我们认为，这样比较符合实际情况，其余各矿仍按烈度分布图取用（表1-1）。

唐山地震开滦煤矿各矿地震烈度

表 1-1

矿 名	按《唐山地震烈度分布图》查得的烈度	本书统计分析中采用的烈度
唐 山 矿	11	11
马家沟矿	10	10
赵各庄矿	9	9
荆各庄矿	9	9
林 西 矿	9	9
范各庄矿	9	9
吕家坨矿	9	9
唐家庄矿	9	9
唐家庄矿徐家楼新井	8	9

（二）调 查 数 量

开滦煤矿建矿于1878年，是我国最早的一批大型工矿企业之一。到地震前近一百年来，共建设了三、四百万平方米的建筑物和构筑物，我们这次调查了其中的四分之一左右，共3070个单位工程，其中可按建筑面积统计的为1003804平方米，尚有408个单位工程系构筑物，不以建筑面积计算；工业建筑物的比重高于四分之一，民用建筑物的比重低于四分之一。除个别者外，这些建筑物和构筑物都没有考虑抗震设防，各种类型建筑物和构筑物的调查数量见表1-2。

建筑物和构筑物震害调查数量

表 1-2

序 号	建 筑 结 构 类 型	调 查 数 量	
		数 量	建筑面积（平方米）
1	井 架	28（座）	64310
2	井 塔	2（座）	
3	钢和钢筋混凝土框架厂房	18（幢）	
4	煤 仓	205（格）	
5	皮带输送机走廊和栈桥	74（座） 3910.5（米）	
6	池	44（座）	8538
7	塔	34（座）	
8	烟 囱	21（座）	
9	单层钢筋混凝土排架厂房	8（幢）	
10	单层砖石厂房	225（幢）	
11	钢筋混凝土内框架房屋	16（幢）	
12	多层砖石房屋	235（幢）	
13	单层砖石房屋	2160（幢）	485098
总 计		3070	1003804

由于调查数量仅及开滦煤矿建筑物和构筑物数量的四分之一左右，因此，本书不是对开

滦煤矿建筑物和构筑物的震害进行全面的统计，而是就所调查的建筑物和构筑物，按建筑结构类型进行统计分析，用以讨论各种建筑结构类型的抗震性能和薄弱部位。

在开滦煤矿的建筑物和构筑物中，一部分是解放前建造的，有的已有五十年以上的历史，大部分是解放后建造的，所有这些建筑物和构筑物，都从一个侧面反映了我国不同时期的建筑材料和建筑技术水平，而有其不同的建筑结构特征，尤其反映了我国煤矿建筑的发展情况，本书根据所调查的建筑物和构筑物的类型，分章作了论述。

(三) 建筑物和构筑物的震害分类

本书对建筑物和构筑物的震害按五类划分，即倒塌、严重破坏、中等破坏、轻微破坏、基本完好，有的章节将基本完好归入轻微破坏之中。各类的震害标准是：

1. 倒塌

- (1) 建筑物整体倾倒或局部折断；
- (2) 竖向承重结构（如墙、柱等）全部或部分丧失承载能力并倒塌，水平承重结构（如梁、屋盖）由于竖向承重结构的倒塌而塌落，致使建筑物的全部或部分倒塌。

2. 严重破坏

- (1) 建筑物产生不可恢复的严重变形，并影响正常生产使用；
- (2) 竖向承重结构部分倒塌或严重削弱承载能力，水平承重结构有破坏或严重破坏，或有沉落，但未倒塌，整个建筑物的主要承重结构基本上还能屹立，但承载能力严重降低。

3. 中等破坏

- (1) 建筑物严重变形，但可以校正恢复，不影响正常生产使用；
- (2) 部分竖向及水平承重结构有破坏，个别构件可有严重破坏，主体部分无倒塌，非主体部分（如女儿墙、天窗、突出屋面的烟囱等）可有倒塌或部分倒塌，整个建筑物的承载能力有所降低。

4. 轻微破坏

- (1) 个别构件有较严重变形，但整个建筑物的变形不大，不影响正常使用；
- (2) 少数竖向承重构件及个别水平承重构件有破坏，一般为细小裂缝，无倒塌和严重开裂，局部承载能力有削弱，但整个建筑物承载能力接近原来水平。

5. 基本完好

个别承重构件有细小裂缝，整个建筑物承载能力基本上保持原来水平。

这个震害分类标准的基本点是：（1）包括强度和变形两个方面，特别对于钢结构和某些钢筋混凝土结构来说，变形震害是不可忽视的；（2）将承重结构划分为竖向承重结构和水平承重结构，震害实践表明，竖向承重结构的破坏程度起决定性作用，水平承重结构的破坏程度一般要轻于竖向承重结构，在划分震害分类时应该首先着眼于竖向承重结构，而不能将两者等同看待；（3）将竖向承重结构倒塌所造成的后果划分为水平承重结构倒塌和没有倒塌两种，以此作为倒塌和严重破坏的分界线，如有些建筑物的山墙、扶壁柱间墙体都倒塌了，但屋盖没有塌落下来，还是作为严重破坏，而不能定为倒塌，以避免对倒塌一词的混淆；（4）主要要从建筑物的整体变形（影响生产使用的程度）及整体承载能力的降低程度来确定震害分类，而不要拘泥于某一局部构件的破坏情况。有些建筑物在构件的局部上可以出现严重震害，但就整体来说影响不大，就应从整体着眼恰如其分地确定其震害程度。

由于各种建筑物和构筑物的性质不同,本书有几章还按照这一标准,制定了结合各该建(构)筑物特点的具体标准。

在研究震害分类时,曾经考虑过的一个问题是:能不能够以修复的难易程度作为划分震害轻重的标准之一。恢复开滦煤矿设计会战的经验说明,几乎只要不是全部倒塌或虽为部分倒塌而已实际完全丧失承载能力的建筑物,一般都可以修复;有些部位震害并不重而修复却不易,如各种隐蔽部位及基础等;有些部位震害严重而修复不难,如梁柱节点,因此,不宜以修复难易作为划分标准之一。

二、建筑抗震设计中的若干问题

由于地震难于在实验室内模拟,地震工程这门科学技术的发展,尤其依赖于地震实践。世界上历次大的地震,不断丰富和检验了人们对于地震灾难的认识,推动了地震工程的发展。通过总结开滦煤矿建筑物和构筑物在唐山地震中的震害情况,也使我们感到对于建筑抗震设计中的若干重要问题,有必要作进一步的探讨。

(一) 设 防 标 准

简单来说,设防标准就是确定:按照怎样的预期地震破坏程度,采取工程措施,达到某种程度的预防灾害的目的。前者就是设防烈度,后者就是设防要求。

1. 设防烈度

设防烈度(或者叫基本烈度、场地烈度)的概念是从实际烈度来的。人们为了区分不同受震地区遭受地震破坏的轻重,在实践中逐渐形成了烈度这个概念。从历史上来推溯,大约在1564年加斯塔尔蒂(J. Gastaldi)在研究1564年7月20日马瑞太姆阿尔卑(Maritime Alps)地震时,首先用不同颜色在地图上标示不同地区地震破坏的强弱,一般认为是烈度的萌芽;1856年彼得曼(A. H. Petermann)在说明1855年7月25日维斯普(Visp)地震时,第一个作出了等震线图;以后从十九世纪以来的170年左右的时间里,世界上提出了50个以上的烈度表,目前为各国所采用的大约有七、八种,一般均分为12度,日本则采用7度划分。这些烈度表的共有特征是以宏观震害现象作为烈度划分的标志,即人的感觉、生活用具的反应及较为古老的主要是农村平房的破坏程度。实践证明,烈度这个概念可以使广大群众对于实际产生的地震破坏程度有一个形象化的认识,它已成为比较普及的技术语言;同时,烈度的概念又是很粗糙的,如人的感觉与经验有关,没有经过地震、刚经过地震和过了一段时间又经过地震的人,对于同样的震动会有不同的反应;近代建筑物的发展,农舍式的平房在城市中已不占主要位置,失去了代表性,而技术上的改进,即使农舍式的平房也提高了抗震能力,且不同地区的农舍式平房会有很大差异,失去了可比性;烈度又是一个平均概念,它的数值与所取的地面范围大小密切相关,所取范围越大,评出烈度越低,反过来就高,而在各种烈度表中都没有一个标准的范围。由于烈度标准的改进较慢,越来越不适应工程技术上的需要。有些场地的实际烈度不能反映震害情况,如以开滦煤矿各矿的地震烈度为例,吕家坨矿为9度区,从宏观震害现象看,一些二~四层多层砖石建筑物震害轻微,宜定为7~8度;唐家庄矿徐家楼新井场地属于8度区,但由于砂土液化,震害严重,宜定为9~10度,均有较大出入。再者,对于已按一定烈度设防的建筑物,由于烈度由震害来,而设防是否恰当又

要通过一定烈度的震害现象来说明，互为因果，这就使宏观烈度起不到检验作用。由于现行烈度标准存在这些问题，近几十年来，许多人努力用一定的物理量来表达烈度，用仪器实测来确定烈度以代替宏观烈度，但由于离散性很大，假定值与实际值不好对比，还存在着不少问题。

为了工程抗震的需要，借用实际烈度的概念，提出了设防烈度。设防烈度是一种预测烈度，或者可称之为长期预报烈度。预测的手段主要是通过历史地震的统计，发震地质构造的类比分析和近期、中近期预报的动向（包括有关的实测工作），前两条基本上是时间和空间上的外推，后一条的规律性还不突出。地震预测科学正在发展，但是还处于积累资料、摸索方法、寻找规律阶段，从我国建国以来的实践来看，按1956年有关单位编制的地震区划图对照，西部地区的许多地震，如1960年四川松潘地震、1966年云南东川地震、1967年四川炉霍地震、1970年云南通海地震等，与地震区划图所给出的烈度接近或相符；但东部地区发生的强震，如1966年河北邢台地震、1969年广东阳江地震、1975年辽宁海城地震等，其烈度均超过地震区划图所给出的烈度，而尤以唐山地震达到了高峰，6烈度区出现了11度的高烈度震害；唐山地震以后编制的地震区划图使用时间还比较短，但东部如1979年8月的江苏溧阳地震，也超过区划图所给出的烈度；这个问题不仅仅我国存在，在其他国家也存在，属于人类当前的认识水平问题。但是，就设计工作来说，由于专业关系，过去绝大部分设计人员并不了解设防烈度准确程度的实际情况，在国内外许多抗震设计规范中又以设防烈度作为区别不同设防标准的主要依据，使设计人员误以为设防烈度是很科学的。通过这几年的实践，使大家在这个问题上有了比较全面的认识，这就是：既不能不讲烈度，又要考虑烈度可靠程度的实际状况，我们在抗震设计中必需从这个客观实际出发去处理问题。

2. 设防要求

唐山地震后，在群众中提出了“大震不倒，小震不坏”的设防要求，这是一个很重要的问题。

从地震工程的发展来看，抗震设防要求问题是长期以来各国研究的重点课题，一些国家的抗震设计规范在早期没有具体提出设防要求，后来提出了这个问题，进而成为注意的中心和规范编制的主要原则，说明了这个问题所受到的重视。表1-3列出了几个有代表性的国家及国际工程组织在有关标准中提出的抗震设防要求，从这个表中可以看出以下几点：

（1）都容许经过设防的工程设施，在遭遇相当的地震烈度破坏时，有一定程度的损坏。在土建标准上，这与其它方面的要求（如抗风、雨、雪及使用荷载等）有很大不同。

（2）各国都越来越明确，抗震设防的基本点是保护人员的生命安全，尤其要防止对较多人的生命构成威胁，就建筑物来说必须防止倒塌。

（3）在遭遇相当于设计烈度的地震影响时，建筑物容许坏而不能倒；在较小的地震烈度影响时，要求基本上没有损坏，这就是近十几年来较多的国家或国际工程组织提出来的“双重抗震设计标准”。这样的标准在表1-3中占半数，简单来说，也就是“大震不倒，小震不坏”。这是从对地震灾害的规律掌握不多（包括发震机率、震害大小、抗震措施等）和当前的物质生产水平还不高这个实际出发的，是大量地震实践的经验总结。

3. 关于双重抗震设计标准

提出双重设计标准是很重要的一件事，成为当前抗震设计标准的一个方向。如何实现双重标准还存在不少困难，尤其要根据各国的具体情况，采取不同的措施。

几个国家及国际工程组织在有关标准中提出的抗震设防要求

表 1-3

序 号	标 准 名 称	颁布年份	抗 震 设 防 要 求		
1	日本工程标准《建筑物的结构计算》(JES3001)	1948	房屋损坏的修理费不超过该房屋建筑造价的10%		
2	日本建筑基准法施行令	1950	自然灾害发生频率	安 全 度	
				对于人的生命	对于建筑物
			对于较常发生的自然灾害	安 全	无 损 伤
			对于极少发生的自然灾害	安 全	允许一定程度的损伤, 但不允许有大的破坏
3	东欧八国地震区建筑规范(草案), 罗马尼亚主编	1960	目的是实现抗震和防止结构遭到破坏后的灾难		
4	苏联建筑法规《地震区建筑设计规范》(CHHII-A, 12—69)	1969	旨在保证结构的安全, 以免其破坏而引起房屋或房屋一部分的破坏; 此时, 不危及人的生命或贵重设备的结构构件可能有损坏		
5	美国加州结构工程师学会《建议的侧力规定和说明》	1969	承受小地震无破坏; 承受中等地震无结构性破坏, 但可有一些非结构性破坏; 承受较大地震, 即加州所遇到的最强烈的地震而不倒塌, 但可有结构性和非结构性的破坏。在大多数结构中, 甚至在遭遇较大地震时, 所发生的结构性破坏, 只限于可修复的范围内		
6	印度标准《结构抗震设计规范》	1970	本规范并不强调在规定的范围内建筑物在各种等级的地震状态下无损坏, 但尽可能使结构物在中等烈度的震动下不致破坏, 并且在强烈的震动下不致倒塌		
7	国际标准化组织 (ISO) 第98技术委员会提出的国际标准草案《结构设计地震荷载计算方法》(ISO/DIS 3010)		遇到偶然的一般强度地震时, 防止结构损坏, 并减少其它部分的损坏 遇到非常少有的强烈地震时, 避免倒塌或严重的灾难性的破坏		
8	欧州“经互会”抗震设计标准	1974	当发生不超过计算烈度的比较常发生的地震时, 允许非结构构件的局部损坏, 或某些次要承重构件的损坏 特殊情况下, 发生可能性很小的大于计算烈度的大地震时, 允许承重结构损坏, 但建筑物不应倒塌		
9	西德《地震区建筑设计规范(草案)》(DIN4149)	1976	通过本规范中的一些规定, 应使一般建筑物的抗震能力提高到不致发生承重结构的破坏 所有措施的目的在于提供充分的人身安全, 在特殊情况下也包括对物体的防护		
10	日本建设部《新抗震设计法(草案)》	1977	建筑物抗震设计的目标是校核建筑物的抗震安全性, 对于预期的地震谋求保全人的生命、建筑物的功能与财产等		

在双重设计标准中, 大震不倒和小震不坏, 那一个是主要方面? 从保障人员生命安全出发, 大震不倒是主要的。从设计指导思想上来说, 要首先从不倒上来研究问题、采取措施, 这是很重要的一点。

对于大震应该如何理解？是相当于设计烈度，还是要考虑设计烈度的可能差异？我们应该从烈度可靠程度的实际出发，适当考虑设计烈度的可能差异。

既要考虑烈度的可能差异，又要防止倒塌，可不可以采取提高设计烈度的办法？苏联、加拿大等国的规范中，对于重要的建筑物或者提高一度，或者采取不同的重要性系数。前者只适用于少数非常重要的建筑物，后者比前者有些改进，但是也只适用于部分建筑物，而且主要着眼于抗震计算，不是从整体上去提高抗震能力，这作为少数重要建筑物提高抗震能力的措施之一是可行的，对于一般建筑物不适用。

就大量的一般建筑物来说，如何努力做到大震不倒呢？唐山地震是在一个不设防的地区造成了9到11度的震害，在这种情况下，就我们所调查的三千多个工程来说，倒塌的占52.1%，严重破坏的占14.2%，而中等破坏、轻微破坏和基本完好的占33.7%，这就为如何做好抗震设计提供了很好的经验。既总结历次地震中倒塌建筑物的教训，也总结未倒塌建筑物的抗震经验，用实践来检验我们对于工程抗震的认识，从正反两个方面中，分析总结影响建筑物抗震能力的各种因素，将感性认识提高到理性认识上来，在今后的设计中，尽量集中较多对抗震有利的因素，避免对抗震不利的因素，力求在不增加或少增加投资的前提下，提高当前我国广泛采用的各类建筑物的整体抗震能力，努力做到“大震不倒、小震不坏”，这是当前我国抗震设计工作中的一项重要任务。

（二）影响建筑物抗震能力和震害轻重的若干因素

为了能够在设计中尽量集中较多对抗震有利的因素，避免对抗震不利的因素，就需要对各种影响建筑结构抗震能力或有可能加重和减轻震害的因素进行分析。唐山地震后不久，我们曾经总结了基础深、整体性强、轻顶轻墙、施工质量好的抗震设计要求。从此为基础，通过进一步的调查分析，并参考其它部门的震害调查报告及国内外大地震的震害报导，归纳为以下十二个方面。

1. 支承重量

地震荷载与建筑物支承重量成正比，减轻支承重量可以提高抗震能力，这是将近六十年来抗震设计理论的基础，历次震害调查大体也证明了这一点。但也曾有人提出：地震荷载与质量的平方根成正比（日本的棚桥凉和石琦）；在本书第三章所述的赵各庄矿选煤厂重介车间的震害实例中，一幢原设计高28米，仅施工到7米高（三层楼面）的钢筋混凝土框架结构厂房也遭到了严重破坏，对于这幢厂房，尚未发现有特殊地质条件等复杂情况，从这个实例看，对于地震荷载与建筑物支承重量成正比这一点，还是值得进一步探讨的。但是总的来说，目前大家还比较公认这一看法，发展和采用轻质建筑材料，减轻支承重量，对于减轻建筑物的震害有重要作用。

减轻支承重量有利于抗震，但在有些情况下也会带来另一方面的问题。如在砖混结构中，我们从震害调查中看到，石棉瓦（或瓦垄铁）轻顶屋面对砖墙顶端的约束条件最差，瓦屋面好些，钢筋混凝土屋面系统最好。由于约束条件的不同，砖墙抵抗水平地震荷载的能力就有较大差异，轻顶屋面的墙体容易顶端甩出成悬臂状态破坏，屋面为钢筋混凝土的墙体多在中间臃肿破坏，瓦屋面则介于两者之间。减轻屋面荷载一方面是减少了地震荷载，同时却也削弱了墙体支承条件，这就需要采取增设檐口圈梁等措施予以加强。设计中要看到有利与不利两个方面，趋利避害，才能提高抗震能力。

2. 建筑结构类型

建筑结构类型,包括建筑材料和结构型式两个方面,对抗震能力的影响十分突出。从1906年的美国旧金山地震(8.3级)、1923年的日本关东地震(8.16级)起,人们从震害调查中就开始注意到这一点,以后多次大地震以至唐山地震反复证明了这一点。

旧金山地震和关东地震的经验是:

钢结构的抗震性能很好。在旧金山地震中,当时旧金山有17幢已建成的8~16层(其中一幢为19层)钢架建筑物,破坏多发生在墙、护面及装饰上,主体结构震害较轻,主要是联结破坏。在关东地震中,东京当时有16幢钢架房屋,有6幢完全没有损坏,其中最有名的是内藤多仲设计的日本兴业银行;有10幢有不同程度的损坏,其中一幢(东京会馆)结构很单薄,结果是“几乎就要倒塌”,但是还没有倒塌。

钢筋混凝土结构的抗震性能也比较好。旧金山地震时,钢筋混凝土建筑还在初期,可是设计和施工良好的建筑物损坏较轻。关东地震时,在东京钢筋混凝土结构建筑物为709幢,无损坏(基本完好)的为551栋,占76%;小破坏的74幢,占10.2%;大破坏的49幢,占6.9%;半毁20幢,占2.8%,全毁15幢,占2.1%。当时的日本震害预防调查会在报告第100号中就推荐采用钢筋混凝土建筑物。

砖石结构的破坏严重。旧金山地震中,砖房倒塌和破坏的很多,当时美国土木工程师学会在对旧金山地震的报告中建议将这类房屋称做“无法挽救的不适宜”;日本在1891年浓尾地震(8.4级)中,名古屋附近的砖结构就破坏严重;关东地震中,东京8600多幢砖石房屋,倒塌和严重破坏的占80%以上,石结构比砖结构的破坏率更高。但也有一些注意建筑布置、提高砂浆标号、加强节点联结的砖结构,表现出较好的抗震能力,如旧金山地震中,美国加州的皇宫旅馆;关东地震中一批吸收了浓尾地震的经验、精心设计施工的建筑物等。

在以后的多次大地震中,总的来说,钢结构的抗震性能良好;对于钢筋混凝土高层建筑物,在斯科比(6级,南斯拉夫,1963年)、阿拉斯加(8.4级,美国,1964年)、加拉加斯(6.5级,委内瑞拉,1967年)、十胜冲(7.9级,日本,1968年)等多次地震中,突出的暴露了底层敞开、刚度突变和预制装配式结构的建筑物破坏严重,短柱的破坏率高,设有抗震墙的建筑物抗震性能良好。但是,钢筋混凝土结构建筑物的倒塌率还是比较低,砖石结构建筑物则倒塌率和严重破坏率都很高。

对我国一些古代建筑物的调查也证明了这一点。建于公元1105年的山东省济宁铁塔,八角九级,高23.8米,体型挺拔,历经多次地震,至今完好。而砖塔虽然在古代砖石建筑物中抗震性能最好,但破坏还是比较严重,如武威大云寺砖塔在1927年震塌;西安小雁塔塔身切为两半;海城地震中,海城、营口附近多数砖塔遭受破坏等。

我们从所调查的3070个工程中,去除砖混结构、钢筋混凝土内框架等竖向用两种或两种以上材料承重的建筑物和构筑物后,对2965个工程项目按不同承重结构材料进行了分析,如表1-4。

冶金部唐钢建筑震害调查组对唐山钢铁公司137幢单层工业厂房(约19万平方米)按建筑结构类型划分的震害分析,如表1-5。

从表1-4和表1-5中可以看出:

(1) 钢结构建(构)筑物都没有倒塌;

(2) 钢筋混凝土结构建(构)筑物的倒塌率在8%以内,这说明,钢筋混凝土是抗震

不同建筑结构类型的震害统计

表 1-4

建筑结构 类 型	项 目 名 称	调 查 数 量	震 害 分 类				
			倒 塌	严重破坏	中等破坏	轻微破坏	基本完好
钢结构	井 架	15			4	8	3
	框架结构厂房	2				2	
	皮带输送机走廊	8			1	7	
	小 计	25 (100%)			5 (20%)	17 (68%)	3 (12%)
钢筋混凝土结构	井 架	2				2	
	井 塔	2	1		1		
	框架结构厂房	16	2	7	4	3	
	煤 仓	183	15	52	57	30	29
	塔 结 构	7			4	1	2
	单层排架厂房	8		5	3		
	皮带输送机走廊	24		14	5	5	
	小 计	242 (100%)	18 (7%)	78 (32%)	74 (31%)	41 (17%)	31 (13%)
砖石结构	井 架	3	1		1	1	
	煤 仓	8	5	3			
	皮带输送机走廊	21	13	6	1	1	
	塔 结 构	27	8	11	4	2	2
	烟 囱	19	16	2		1	
	单层厂房	225	92	67	43	23	
	多层房屋	235	99	66	32	38	
	单层房屋	2160	1341	173	18	626	2
	小 计	2698 (100%)	1575 (58%)	328 (12%)	99 (4%)	692 (26%)	4
总 计		2965 (100%)	1593 (54%)	406 (14%)	178 (6%)	750 (25%)	38 (1%)

性能良好的建筑材料；

(3) 砖石结构建(构)筑物的倒塌率两表分别为58%及24.8%，倒塌率与严重破坏率的合计两表分别为70%及41.2%，这说明砖石结构的破坏是十分严重的。此外，在分类统计中也反映了砖石厂房的抗震性能比砖石房屋要好。

不同建筑结构类型在震害程度上表现出这样大的差异，主要原因有两个：

(1) 建筑材料和建筑结构的延性不同。不仅考虑弹性强度，而且考虑能量吸收的能力，这是抗震设计中的一个重要发展。从五十年代后期以来，延性得到了广泛的重视。我们在上述分析中也证明，对于延性好的建筑材料和结构，其地震荷载比延性差的建筑材料和结构会有较大的折减，延性好的建筑材料和结构的抗震性能就好。

(2) 从地面运动的特征来看，超静定结构优于静定结构。地震的特点是整个大地在运动，建筑物通过基础将地震荷载传到竖向承重构件，如果基础没有很强的整体性，那么底层的竖向承重构件一开始是分散受力的，要通过楼盖的整体作用才能将荷载上传和反馈下来，因此，地面运动的特征值得很好研究。

许多震害实例表明，一些相距不过几米、几十米，设计、施工和场地条件大致近似的建

唐钢单层工业厂房按不同建筑结构类型的震害统计

表 1-5

建筑结构 类 型	结 构 材 料			调 查	震 害 分 类				
	柱	屋 架	屋 面	数 量	倒 塌	严重破坏	中等破坏	轻微破坏	基本完好
				建筑面积	建筑面积	建筑面积	建筑面积	建筑面积	建筑面积
				(万平方米)	(万平方米)	(万平方米)	(万平方米)	(万平方米)	(万平方米)
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
钢 结 构	钢	钢、木	钢	$\frac{3.67}{(100\%)}$			$\frac{0.34}{(9.3\%)}$	$\frac{1.67}{(45.6\%)}$	$\frac{1.66}{(45.1\%)}$
钢筋混凝土结构	钢筋混凝土	钢、木	钢、石棉瓦	$\frac{2.08}{(100\%)}$			$\frac{0.46}{(22.2\%)}$	$\frac{1.39}{(66.7\%)}$	$\frac{0.23}{(11.1\%)}$
	钢筋混凝土	钢	钢筋混凝土	$\frac{4.68}{(100\%)}$	$\frac{0.04}{(0.8\%)}$		$\frac{0.43}{(9.2\%)}$	$\frac{4.01}{(85.7\%)}$	$\frac{0.20}{(4.3\%)}$
	钢筋混凝土	钢筋混凝土	钢筋混凝土	$\frac{4.06}{(100\%)}$	$\frac{0.58}{(14.3\%)}$	$\frac{0.36}{(8.9\%)}$	$\frac{1.95}{(47.9\%)}$	$\frac{0.86}{(21.2\%)}$	$\frac{0.31}{(7.7\%)}$
	钢筋混凝土	露天栈桥		$\frac{1.45}{(100\%)}$			$\frac{0.97}{(67.0\%)}$	$\frac{0.18}{(12.5\%)}$	$\frac{0.30}{(20.5\%)}$
	小	计		$\frac{12.27}{(100\%)}$	$\frac{0.62}{(5.0)}$	$\frac{0.36}{(2.9\%)}$	$\frac{3.81}{(31.1\%)}$	$\frac{6.44}{(52.5\%)}$	$\frac{1.01}{(8.5\%)}$
砖 结 构	砖	钢、木	瓦垄铁、石棉瓦、水泥瓦	$\frac{2.46}{(100\%)}$	$\frac{0.50}{(20.3\%)}$	$\frac{0.40}{(16.3\%)}$	$\frac{0.54}{(22.0\%)}$	$\frac{0.31}{(12.4\%)}$	$\frac{0.71}{(29.0\%)}$
	砖	钢	钢筋混凝土	$\frac{0.310}{(100\%)}$	$\frac{0.099}{(32.0\%)}$	$\frac{0.093}{(29.9\%)}$	$\frac{0.082}{(26.3\%)}$	$\frac{0.014}{(4.7\%)}$	$\frac{0.022}{(7.1\%)}$
	砖	钢筋混凝土	钢筋混凝土	$\frac{0.316}{(100\%)}$	$\frac{0.167}{(53.1\%)}$	$\frac{0.013}{(4.0\%)}$	$\frac{0.021}{6.6}$	$\frac{0.031}{(9.7\%)}$	$\frac{0.084}{(26.6\%)}$
	小	计		$\frac{3.086}{(100\%)}$	$\frac{0.766}{(24.8\%)}$	$\frac{0.506}{(16.4\%)}$	$\frac{0.643}{(20.9\%)}$	$\frac{0.355}{(11.5\%)}$	$\frac{0.816}{(26.4\%)}$
总 计			$\frac{19.026}{(100\%)}$	$\frac{1.386}{(7.3\%)}$	$\frac{0.866}{(4.5\%)}$	$\frac{4.793}{(25.2\%)}$	$\frac{8.465}{(44.5\%)}$	$\frac{3.516}{(18.5\%)}$	

筑物，其震害可以有很大差异。如唐山矿原煤仓一组倒塌，与之紧连的另一组则部分柱端部严重裂缝，下柱略有倾斜；赵各庄矿原煤仓，一组倒塌，邻近的另外三组出现不同程度的破坏，其震害有重有轻，很有差别；煤炭部唐山仓库左右两个传达室，一个严重破坏、部分倒塌，一个中等破坏；赵各庄矿新工业场地的重介、浮选、水洗三个车间，互相紧连，但震害由重而轻差异很大等等。

震害实例还表明，即使在一幢建筑物内，不同部位墙柱的震害也有差别，这在框架结构中表现得非常明显（见第三章）。

这些震例反映了这样一个事实，即地震时互相邻近的不同点的地面运动特性是有相当差别的，这种差别可能是由于不同地层条件及地震波的折射和互相干扰的影响，也在于建筑物本身的抗震性能不同，以及其它因素等。

正是由于地震时地面运动的非均匀性，一幢建筑物内的各点，由地面运动传来的地震荷载是不同的。因此，相同强度的构件，不一定有同样的震害。在这种情况下，超静定结构的安全度就高，在某些支承条件遭到破坏时还不致于倒塌，而静定结构的安全度就低。如三支点屋架，就比两支点屋架安全度高，或者说抗震性能好，前者即使仅有中间一点支承，还能危形平衡而免于落架；后者一个支点破坏就可能倒塌。