

32334

抗震设计

工程师和建筑师手册

焦守诰 译 吴健生 校



天津科学技术出版社

抗 震 设 计

—— 工程师和建筑师手册

〔英〕 D.J. 道律克 著

焦 守 诒 译

EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN
A Manual for Engineers and Architects
D.J. Dowrick
A Wiley-Interscience Publication
JOHN WILEY & SONS 1978
Chichester • New York • Brisbane • Toronto

抗 震 设 计

工程师和建筑师手册

〔英〕 D.J.道律克 著

焦 守 浩 译

吴 健 生 校

责任编辑：李国常

•
天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷三厂印刷

新华书店天津发行所发行

•
开本 787 × 1092毫米 1/16 印张 15 字数 343,000

一九八四年五月第一版

一九八四年五月第一次印刷

印数：1—12,800

书号：15212·108 定价：2.35元

译者的话

本书作者根据英、美及新西兰等国的设计经验，全面而深入浅出地论述了减小和防止各种建筑在地震中破坏的主要因素，对提高抗震设计的质量很有帮助。书中所用规程与例题，虽然大部分来自英、美及新西兰，但书中的设计准则、方法与细部设计可以适用于世界上的任一国家或任一地区。所以本书出版以后，得到各国抗震问题权威人士们的高度评价，受到工程师和建筑师的欢迎。

书中涉及的内容较全面。除了抗震设计的一般问题外，还有场地对地震的反应；抗震的建筑结构型式选择（包括材料选择，上部和地下结构选型，非结构部分的影响等）；地震分析方法的介绍及评价；土动力学及挡土结构；土与结构的相互作用；各种建筑与结构的细部设计；电气设计；机械及管道等设备的抗震问题；桥梁、塔式结构；低层公共房屋及居住房屋等的特殊问题。这些内容很值得我国进行抗震设计的工程师及建筑师，以及从事这方面工作的科研及技术人员参考，也可供建筑系及土木系高年级学生选读。在手册的后面附有大量的参考文献，为那些准备深入研究的人提供参考。

译本中，除对个别段落与个别插图及附录B有所删节外，其余皆忠于原著。译文承吴健生教授承担了全书的校对，复校中又曾得到天津科学技术出版社以及黄乘规同志的帮助，特此致谢。由于译者水平有限，难免有错误和不妥之处，请读者指正。

焦守诒

1982年1月于天津

前言

地震是这个星球上的生命面临的最大的自然灾害之一，在漫长的历史过程中，几乎在每一个洲，它都破坏了无数的城市和乡村。在早期，由于对这种自然灾害很少了解，因而认为它是超自然的事件。可能由于这个原因，地震所引起的影响大大超过了它所造成的实际灾害。当然，在世界许多地方，每年由于风灾和洪水引起的平均损失超过由于地震引起的损失，并且由这些灾害引起的所有伤亡要比每天在街道上和公路上所发生的交通事故伤亡要少。尽管如此，一次大地震造成的几乎完全是意外的，瞬时之间的破坏，给人们造成无与伦比的心理上的恐惧。因此要求当今社会认真研究这个问题。

由地震引起的灾害有很多特点，因此，为了减轻地震破坏的设计也需要独特的工程方法。地震问题的一个重要特征是，死伤几乎全都是由人们建造的建筑物所引起的。除了地震引起的土地滑移以外，造成大量死亡的直接原因，就是由地震引起的桥梁、房屋、堤坝和其他人们建造的工程的坍塌。鉴于上述事实，在世界上的大地震区之一的中华人民共和国才在预报地震方面给予了很大的重视。哪怕只提前几小时作出预报，人们就能从建筑物和住房中撤到几乎完全可以避免死亡的野外。在1975年2月中国海城地震时，由于这样的预报，显然拯救了成千上万人的生命。

但是，即使是成功的预测也不能排除地震灾害，因为即使全部人员安全撤离，而决定社会生活水平的建筑物仍将留在原地，它们的破坏对于震区的经济将造成灾难性的损失。地震灾害的这个方面只能由抗震结构的设计和建造来克服。因此，即便是完全成功的地震预报方案也不可能代替必需而有效的抗震工程。另一方面，若能有效地使用抗震工程知识，就可以避免结构物的倒塌以及由此所造成的死亡，这就大大降低了各种地震预报方案的价值。

地震灾害提出一个独特的工程设计问题，即：一次强烈地震将可能使大多数土木工程遭受到最强烈的荷载，可是任何一个既定结构遭到一场大地震影响的概率又是很低的。从工程的角度看，最好的方法是：综合考虑上述两种情况，把结构物设计成在可能发生的最强烈地震时不致倒塌——以避免死亡，而又允许造成一定损坏，但它们在修复时费用较少或只需更换少量构件。我们用这种办法来适应最大地震，而不必把全部结构建造得坚固到避免任何损坏。显然这种设计概念对结构工程师提出了最需要解决的问题：提供经济的设计，该设计容许受到地震的破坏，但在发生最大地震时基本上不致倒塌。

地震发生的另一个特征对解决抗震的设计问题提供了办法。与结构设计中别的荷载——风，重力，流体动力等不同，地震荷载的大小取决于结构的性能。或使用增加强度的传统方法，或借用独特的地震设计概念，降低刚度，从而降低地震力，以满足抗震要求。后述的抗震设计方法要比土木工程中任何其它方面的设计都更需要了解结构的性能。在框架体系或在设计细部构造中的少许变化有可能在抗震性能上产生巨大的影响，而仅仅多用材料，即使多花了很多钱，也不一定能保证得到满意的抗震性能。

正因为对于一个好的抗震设计，了解其性能是关键；正因为设计质量在结构的抗震性能上有如此深远的影响，所以道律克（D. J. Dowrick）所著的这本抗震设计手册在全世界的工程设计工作中将占有重要的地位。

R. W. 克拉夫（Ray W. Clough）

伯克利，加利福尼亚州

目 录

绪论	(1)
建筑物抗震设计程序	(1)
第 1 章 地震的后果	(3)
1.1 地震破坏的后果	(3)
1.2 抗震的费用	(3)
第 2 章 区域地震活动——地震危险	(5)
2.1 地震活动	(5)
2.2 区域地质学	(6)
2.3 地震记载图	(9)
2.4 应变——释放研究	(11)
2.5 地震概率的研究	(12)
2.6 概率研究的统计方法	(17)
2.7 设计地震的定义	(25)
第 3 章 场地对地震的反应	(27)
3.1 绪言	(27)
3.2 局部地质和土壤条件	(27)
3.3 场地调查和土壤试验	(30)
3.4 对给定场地的动力设计准则	(36)
第 4 章 结构形式的确定	(45)
4.1 绪言	(45)
4.2 上部结构形式	(45)
4.3 结构材料的选择	(49)
4.4 非结构的影响	(50)
4.5 地下结构的形式	(51)
第 5 章 结构对地震的反应	(53)
5.1 结构材料的地震反应	(53)
5.2 地震分析方法的评论	(59)
5.3 实用规范的评价	(65)
5.4 动力学和地震反应的理论	(68)
5.5 土壤和土壤—结构体系的动力学和基础设计	(78)
5.6 挡土结构	(97)

5.7 剪力墙.....	(105)
5.8 框架和填充墙的相互作用	(114)
第 6 章 抗震的结构设计和细部设计	(116)
6.1 绪言	(116)
6.2 现浇钢筋混凝土的设计和细部构造	(116)
6.3 预制混凝土结构细部构造	(141)
6.4 预制混凝土外墙板细部构造	(146)
6.5 预应力混凝土设计和细部构造	(147)
6.6 圬工设计和细部构造	(153)
6.7 钢结构设计和细部构造	(158)
6.8 木结构设计和细部构造	(168)
第 7 章 设备的抗震	(177)
7.1 地震反应和设计准则	(177)
7.2 电气设备	(179)
7.3 机械设备和管道	(185)
第 8 章 抗震的建筑细部设计	(192)
8.1 绪言	(192)
8.2 非结构填充墙体和隔墙	(192)
8.3 外墙, 墙装修, 窗和门	(195)
8.4 建筑上其它一些细部构造	(196)
附录 A 特种结构的抗震	(199)
A.1 桥梁的抗震	(199)
A.2 烟囱和塔式结构	(203)
A.3 低层商业—工业建筑	(208)
A.4 低层住宅	(210)
参考文献	(213)

绪 论

这本手册打算帮助建筑师和工程师迅速而有效地完成好的抗震设计。抗震设计是个范围广而不成熟的课题，对于一项设计，应该使用什么样的设计准则与分析方法存在着实际的困难。

本书的主要目的如下：

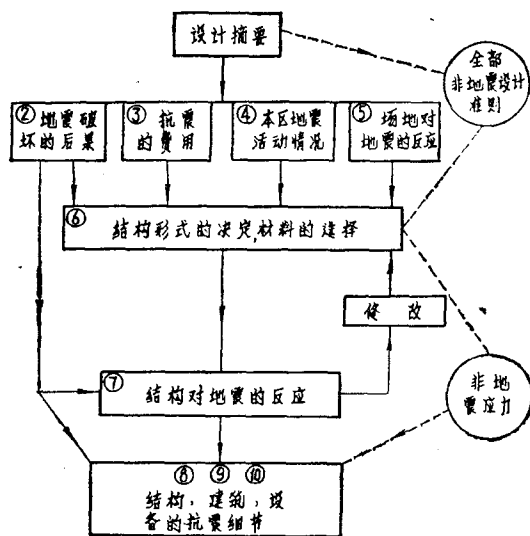
- (1) 讨论地震灾害鉴定的主要方面和抗震设计。
- (2) 评价各种可供选择的设计技术。
- (3) 对目前尚未被广泛接受的方法提出指导。
- (4) 对于尚未正式划分或尚无侧向力计算细则的地震区提出了应采用的程序。
- (5) 指出一些较重要的专著。

这本手册的一般原理适用于建筑物和土木工程的全部领域；同时，给出了有关结构的、而不是大量土木工程工业的、较为详细的章节。

尽管本书最初的目的是企图在较重要的设计领域内提出指导，但即使经过长期的努力，几乎很难做到。

建筑物抗震设计程序

地震给建筑师和工程师提供了许多重要的设计准则，这些准则是一般设计过程中所没有的。因为，有些准则在开始确定结构形式时就是主要的，所以，在设计的恰当阶段中就应对地震的考虑给予足够的注意。为此目的，一个结构抗震设计程序的简单流程图



建筑物抗震设计的简单流程

示于上图中。

虽然图中各个项目之间的实际关系显然比所指明的要复杂得多，但总的程序还是正确的。由于震损危险不仅取决于可能的地震荷载大小，同时也取决于结构抗震的能力，所以在估算震损的程度上，从②～⑩项都是相互关联的。

用户很少愿意参与决定震损的可接受程度，但在任何情况下，重要的是应让用户知道，针对现有的选择，其震损情况将是如何。即使是按照好的地区规范设计的，严重的震损仍可能发生。

按照图中编号的顺序，以下将讨论设计过程的各个阶段。

第1章 地震的后果

1.1 地震破坏的后果

地震造成两个基本后果

(i) 人口的死伤;

(ii) 建筑物和自然环境的毁坏。

对于大的地震, 财政上和技术上的措施仅可能减轻这种震损。而设计的基本目的是在任何地震中减少死亡(由于建筑物倒塌或次一等的危险, 如碎块坠落和火灾等), 以及减轻建筑物周围使用场地的损坏。

显然, 有些建筑物因为它们有较大的社会意义或财政意义, 因而要求有较大的抗震能力。重要的是, 在初步设计中不仅要确定此结构物较明显的价值, 而还要按用户要求确定此结构物能在地震后存在下来的价值。

在有些国家里, 法令规定了对社会具有较大重要性的某些结构物, 例如在新西兰, 所有的公共建筑在设计上较别的建筑要求承受较高的地震力。在破坏性地震后仍能工作的最重要的一些建筑物是坝、医院、消防站、政府机关、桥梁、电台和电话部门及学校等。简言之, 就是那些在地震开始的一瞬间内应该防止死亡和事后应起急救作用的结构物。

有些情况下, 应使用户充分认识到, 他的建筑物破坏的后果。值得指出, 即使在加利福尼亚这样对地震有警惕的地方, 也在1971年圣费南多(San.Fernando)地震中有三所医院和一些重要桥梁被破坏, 这样才促使对全美国各种要害建筑物作出特别保护措施的法律规定。

选择地震灾害的可接受程度是一项复杂问题, 它涉及到, 地震破坏引起社会性的和金融上的后果, 周围自然环境发生破坏的可能程度(即, 场地的地震程度)。到目前为止, 在这个课题上的著作尚少, 但最近的三篇文献作出了有价值的贡献^{1、2、3}。在下节将对地震的经济后果方面作简要讨论。

1.2 抗震的费用

在初步设计和概算阶段, 应考虑抗震的费用, 起码是大概的, 但有时也要求确切些。这项费用取决于工程类型, 场地条件, 结构形式, 地区地震的活动性和设计法令的要求。实际支出最终取决于用户肯出多少钱、他对待地震后果的态度以及赔偿损失的保险费。

遗憾的是, 在抗震费用上不可能简单地给出指导性意见。但可在不致于被误解的情况下说一下: 在十分严格的新西兰规则里, 大多数工程设计中抗震的最大费用达到全部工程总造价的10%, 平均费用为5%。

如果用户只要求在满足地区规定的情况下投资最少, 则对各种形式和材料进行比较

以研究成本及效果就可以了。为此，不管所选材料如何，只要是一个好的抗震形式就将必然是个经济的设计。

但在许多情况下，包括震损预防和修复在内的充分的造价研究将是有效成的。单纯从经济条件考虑，地震的损失价值可从三个方面来研究：

- (i) 生命的价值；
- (ii) 破坏的价值；
- (iii) 公用设施不能使用所引起的损失。

这些价值可在概率基础上以及在造价一成效分析的基础上估得。造价一成效分析是用来寻求以抗震投资费用为一方与修复造价、收入损益等另一方的关系。豪灵斯 (Hollings)⁴ 讨论过几个工程项目的地震经济问题。在一座16层钢筋混凝土延性框架公寓大楼的设计中，防止震塌和死亡的抗震费用，占房屋总造价的1.4%；防止其它地震破坏的费用又添5.0%，总共为6.4%。而同一设计中，针对死亡的保险费用为4.5%；针对破坏的保险费用为0.7%，总和为5.2%。显然，注意造价的用户可能愿意支付稍多的投资费用以防止倒塌的危险，因而也就减少了生命保险费用。

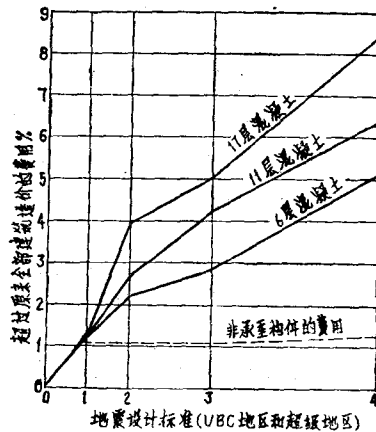


图1.1 波士顿典型混凝土公寓建筑中地震设计的造价 (摘自Whitman等人)

在上例中，没考虑由于房屋震坏不能使用在收入方面所造成的损失。在一个铁路桥的理论研究中，豪灵斯指出，用于防止桥梁震坏而中断交通的费用可能占桥梁总造价的18%，而全面的保险费用要比此百分数为高。

怀特曼 (Whitman) 等人³ 在一项研究中，针对不同高度的典型混凝土公寓大楼，估算了不同水平抗震情况下的费用，如图1.1所示。在作出进一步的研究之前，上图中的结果是定性的而不是定量的参考数据。

第2章 区域地震活动——地震危险

2.1 地震活动

2.1.1 绪言

地震对于工程的威胁,显然决定于所在地区地震活动的程度,因而必须及早对此课题有所认识。可从不同的来源收集到这方面的背景资料,如从地方官员,工程师,地震工作者,地区建筑规范,出版文件或参考书。由本手册的表5.4可知各地的初步情况,图2.1指出了世界上最活动的地震区,不过,在许多地区,能拿到的抗震设计数据对于安全设计来说常是不够的,这就要求对有关地区进行地震情况的基本研究。在这一章将论述地震研究的几个方面:

- (1) 区域地质资料;
- (2) 震次记载图的制备;
- (3) 应变——释放研究;
- (4) 设计参数的统计计算,如震级和加速度的重现周期。

由于必须参考某些地震数据,所以在讨论地震研究本身之前,先给出一些术语的基本定义。

2.1.2 地震学中所用术语的定义

很遗憾,在地震的著作中对地震的基本术语苦于没有明确定义。现在对烈度、震级、地震和地震学作出下述定义。其他术语的定义见地震学的教科书,如里克特(Richter)¹的著作。

“烈度”是地震结果的定性计量。指的是在规定地点震动的程度。多年来,人们制定出各种等级,著名的人如麦卡利,又如罗素和富勒。最广泛被采用的是修订的麦卡利等级(通常简写为MM),它分为十二度,并以罗马数字I~Ⅻ表示。

“震级”是地震大小的定量计量,它与考察的地点无关。它是由地震仪上记录的振幅大小计算得的,用带小数的10进制的数画在对数尺度标上表示的。最常用的震级是以里克特命名的,并用M表示震级的大小,其定义是:

$$M = \log A - \log A_0$$

式中A是用标准设备,在一定距离的位置,对地震记录的最大振幅的数值;A₀是选用的一个特定地震的标准振幅值。地震工作者用不同形式的地动来量度震级,诸如体波M_b或剪切波M_s。对于实际工程目的来说,震级的这些数值接近于相等。最大地震的震级至今的记录为M≈8.9。震级可从不同形式的弹性波(表面波或体波)引起的振幅计算得到,这取决于震源深度和距记录点的距离。曾做过各种努力,将一地震释放的整个能量与震级关联起来。据此,哥屯贝尔格(Gutenberg)对震级作出了较为科学的定义,叫做“统

一“震级”，用 m 表示。

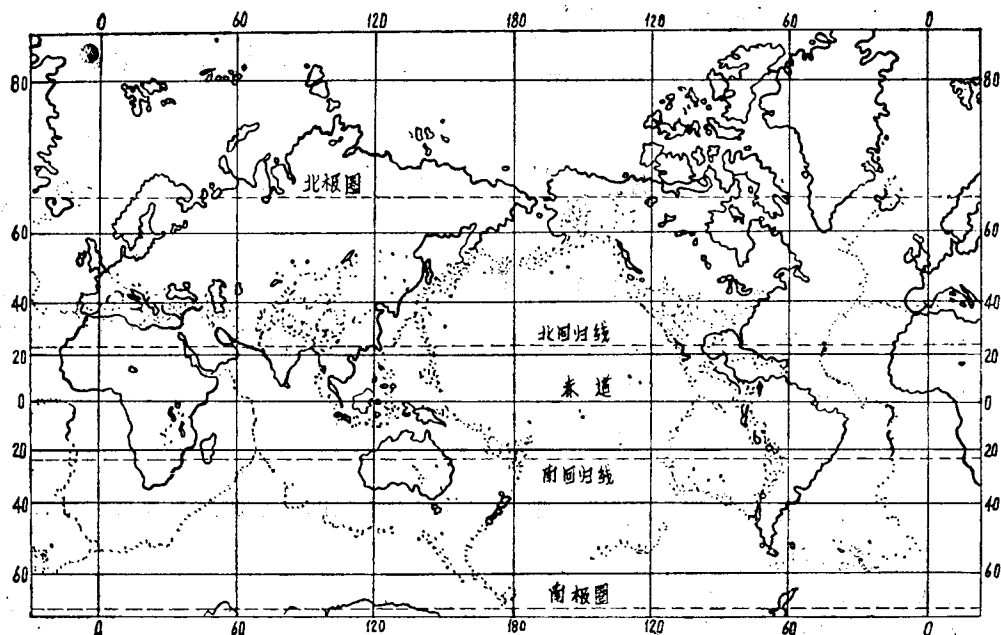


图2.1 世界地震活动分布图

黑点表示20世纪中期地震发生地点的分布情况（摘自Barazanzi和Dorman²）

“地震活动”其最严格的定义本是“在一给定地区内，单位面积中地震的频率。”这个术语时常被误用，一般被认为是指“一给定地区的地震活动”。后面这个定义指的是，在一给定地区内，地震释放多少能量的一个指标，在这种意义下，“地震活动”一词对于工程师来说，较前面比较局限的第一个定义更有意义。

“地震学”可定义为，研究地震、地震的起因、后果和有关现象的科学。

2.2 区域地质学

2.2.1 绪 言

一个区域内地震活动的地质资料在地震危险性的估价中是个重要的工具^{3~8}。它能帮助估计可能发生的地震的震级、位置和频率。借助于指出在断层上的断层运动的形式，还可预测断层附近地动的一些特征。

区域地震地质学包括构造（tectonic）变形的研究。“构造”指的是，在地球中，由深埋处外壳和次外壳的力所造成的岩石结构。研究构造变形的目的是解决它们的特性、位置、年龄和活动历史。要研究的主要地质特性是扭曲、倾斜、断层和构造结构，其中，断层通常是最受注意的。一种或几种形式的变形现象不一定所有的地震都有，虽然在有些地区（如新西兰）大多数主要的地震都伴有倾斜、扭曲和断层等地质活动。

2.2.2 倾 斜

倾斜可帮助确定一个地区中地壳移动的空间变化量和时间的远近，它是用岩床的斜

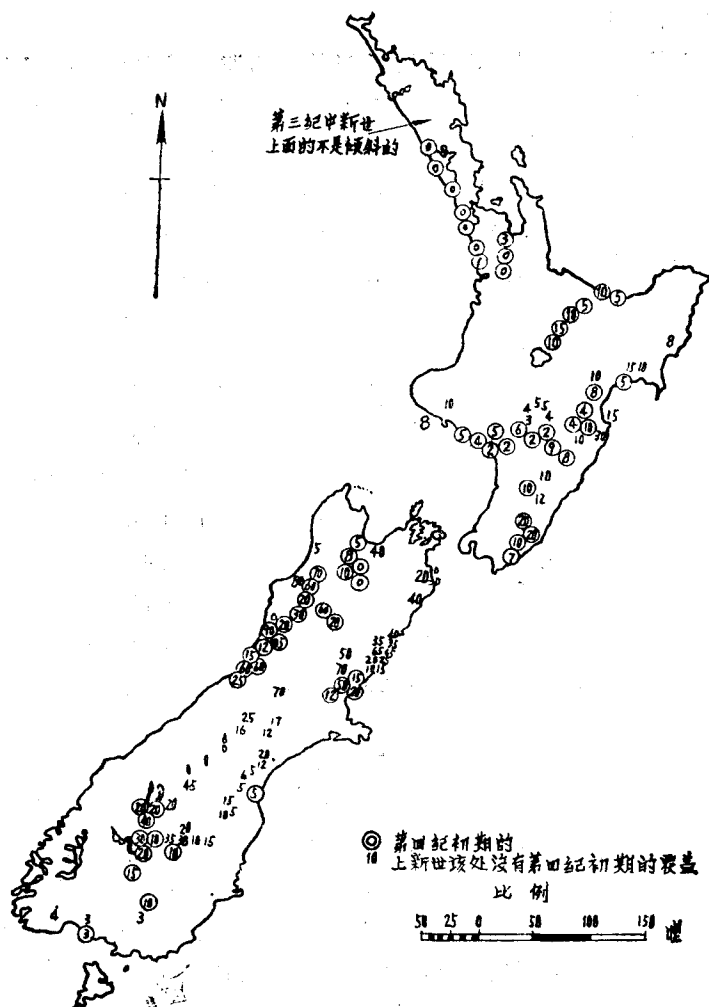


图2.2 在第四纪初期和上新世底座上的新西兰地图表示的倾斜角（摘自Clark等人³）

率来计量的（如果知道该岩床原来沉积得几乎是水平）。世界上最严重的地震活动区是在第三纪和第四纪晚期变形的区域内，自岩床的倾斜度可以估出地震活动的年代。在新西兰的地图上（图2.2）绘出了两个地质时期的倾斜层的斜度。

2.2.3 断 层

断层有三个主要特征与抗震工程有关：即断层的位置、活动性和型式。

2.2.3.1 断层位置

在大多数地震活动区中，断层是地震险情情报的主要来源。这，部分是由于断层较易于描述，且对地动较为敏感；另外也由于在大多数地震中，断层提供了能量释放的发源地。虽然如此，断层线图常常是不完善的，因为，覆盖着的软土（或水）不可能保持断层位移总是平面的，所以要判断是老的或新的断层，是困难的或是不可能的。尽管如此，对露头的断层进行内插或者外插，即可推断是否有隐藏的断层。

2.2.3.2 断层活动

工程师最关心的是“在我设计的项目的使用期限中断层是否会活动？”有现象说明，某些断层是连续蠕动的，在这种特殊断层中，因为应变能被缓慢地释放出来，故不致发生较大的地震，显然，不应当把建筑物跨建在断层上。在大多数情况下，地质学家能够给的最好回答就是估算出，最近的明显的地动发生在什么时候。对于在历史上不知道是否活动过的断层，可观察断层区的一个断面，根据其中表示发生过断层位移的最近土壤沉积，以确定最晚的断层年代。很遗憾，除去悬崖和滑移面或者石矿和道路开凿面可以提供一些观察点之外，这样的断面并不是现成的。有时可能需要横跨断层开凿一个专门的探槽，以获得此断面的情况。

根据工程的需要，断层可分为“活断层”和“死断层”。如果有些断层在近期内曾经发生过几次活动（例如，加利福尼亚州的圣·安德列斯San Andreas断层），则无可争议地称为“活断层”。在上述情况中，在断层线一定长度上地震的平均重现周期可作为本章下文就要讨论的地震设计的一个准则。对于不频繁的活断层，在活断层和死断层之间的区分上是人为的，并且是依靠对过去断层活动年代估计的准确与否而定的。为了技术上的便利，可以认为在过去，例如，35000年以内曾经发生过移动的断层为活断层，这是因为35000年在地质学上是可描述的（可推算出活动日期）“晚近”时期。在核电站选址时，如果断层在50000年内曾活动过两次，也应该按活断层考虑。这是另一种依靠年代估计技术的合适时间间隔。

2.2.3.3 断层的型式

在起震断层邻近引起的强地运动所具有的特征强烈地受到断层型式的影响。豪斯耐尔（Housner）建议，在研究破坏性地震中应考虑下列四种断层型式。

（a）低角，受压俯冲断层（图2.3a）：成因于海底构造板块向外延伸，并挤压邻近的陆地板块的下部所致。这是在太平洋四周地震带中大部分地区所共见的一种现象。

（b）受压，逆掩断层（图2.3b）：压缩力造成剪切破坏，并迫使上部朝上移动。如1971年发生在加利福尼亚州圣费南多的断层。

（c）受拉断层（图2.3c）：与前述型式相反，拉应变迫使上部沿斜向断层平面向下移动。

（d）走向滑断层（图2.3d）：断层两侧沿着一个基本上铅垂的断层平面发生的相

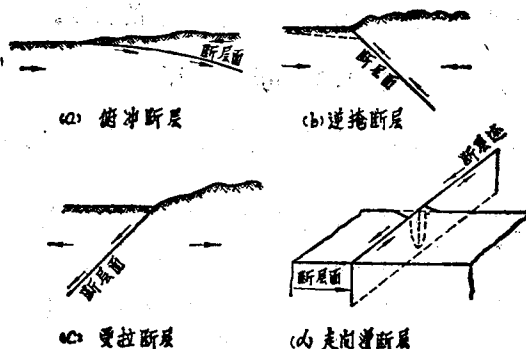


图2.3 研究强地运动特性中应考虑断层主要型式（摘自Housner⁸）

对水平位移，如1906年在旧金山发生的桑·安德列斯断层。

上述型式很少以单一的方式出现，大多数地震断层移动都具有平行于和垂直于断层走向的分量。鲍尼拉 (Bonilla)⁶ 的论述是断层方面的有益讨论。

2.2.4 构造结构

由场地与构造结构的关系，可以得到关于地震活动的更具一般性的资料。茂木 (Mogi)⁷ 曾指出，大多数的浅层大地震是发生在面向大海的深海沟槽的延伸斜坡地段，或者发生在凹地、槽沟或是凹地周围。在一给定地区内，地震的大小和次数可从断层块体的大小和强度推导出来⁸。此断层块体越大越强，沿此块体周边可能发生地震的最大震级也越大。此外，构造移动的速率越快和构造结构越脆弱，则发生断层移动所需之应力的积累越快，并且该结构发生地震最大震级的次数也越多。

2.2.5 结 论

从前述知道，一个地区地震活动的有用资料可从地壳倾斜、扭曲、断层和构造结构的研究得到。在估计某一场地的地震险情时，这些大部分定性的资料必须和震级与频率的定量计算（如在本章下几节中所概括的）一起使用。显然，除非参考已知的地震记载图（2.3节），否则，地震活动的地质研究就是不完整的。

2.3 地震记载图

在设计上显然需要比图2.1更详细的抗震资料。各种出版物中有许多地区的大比例地震图，如哥屯贝尔格和里克特⁹、卡尔尼克 (Karnik)¹⁰和劳姆尼兹 (Lomnitz)¹¹给出了主要的参考文献。美国商业部已印出了包括全世界的可供使用的大的地震图集：这些地震图记录了从1962~1969年震级 $M \leq 4.0$ 所有地震的位置，但它没有指明各次地震的震级。

在具体结构设计时，最直接可用的地震记载图的种类如图2.4所示。这个地震图指出了从1900年以来发生在雅加达周围300公里范围内震级 $M \leq 5.0$ 所有地震记录的震级、深度和平面位置。制备这类地图时，地震活动的有关数据能很方便地从类似于爱丁堡的“地质科学学会”的“地震分队”等部门得到由计算机打印的记录。只要说出你所关心的地点的地理位置（包括经度、纬度，或者该地点为人熟知的地名），就可花很少的钱得到该地点附近一定距离以内的地震活动清单。该“地震分队”目前（1975）已提供有下列资料：

(i) 在半径为500公里（或按要求只要300公里）以内，自公元1900年以来，各次地震活动的日期；

(ii) 纬度和经度；

(iii) 至该地点的距离；

(iv) 震源深度；

(v) 震级 (M)；

(vi) 观察到的和计算出来的烈度 (I)；