

建筑抗震与结构选型构造

李培林 编著

中国建筑工业出版社

建筑抗震与结构选型构造

李培林 编著

中国建筑工业出版社

本书根据国内外多次大地震的调研资料,结合近年来的建筑抗震设计经验和科研成果,研究和分析了建筑震害的规律,以建筑工程的震害分析和我国建筑抗震规范的有关规定为基础,对建筑抗震、场地选择、地基基础、结构选型和构造设计等作了系统的说明和论证,并提出了建筑抗震的设计要求和构造措施。

本书共九章,第一章为建筑抗震概念和原则;第二章为建筑场地选择和地基基础;第三章和第四章为地震荷载和结构抗震验算;第五章为结构选型和布置;第六章为建筑体型;第七、八、九章为砖混结构、单层钢筋混凝土柱厂房、多层和高层钢筋混凝土建筑的抗震设计和构造。

本书可供土建设计、科研、施工技术人员及高等院校土建专业师生参考。

建筑抗震与结构选型构造

李培林 编著

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 23³/₄ 字数: 578千字

1990年12月第一版 1990年12月第一次印刷

印数: 1—5,630册 定价: 14.25元

ISBN7—112—01173—6/TU·854

(6236)

前 言

我国是一个多地震国家，历史上曾发生过多次强烈地震，近二十年来更是地震频繁，且在人口稠密的大城市和工业区不断发生，1975年2月4日辽宁海城地区发生7.3级强烈地震，直接影响到沈阳、鞍山等大城市和工业区；1976年又在云南、四川和河北等地连续发生强烈地震，特别是7月28日在唐山发生的7.8级强烈地震，使京、津、唐地区遭到不同程度的地震破坏。唐山位于震中，烈度高达10度、11度，所有建筑物几乎全部倒塌或严重破坏，造成了极大的生命、财产损失；天津等地的建筑破坏和生命财产损失也是严重的。为此，在我国的广大地震区，必须重视和搞好建筑抗震，以保障生命和财产的安全，保证生产和经济建设的顺利发展。

几千年来，我国广大劳动人民一直在和这个严重的自然灾害进行着顽强的斗争，也积累了一些宝贵的经验。闻名世界的第一台记录地震的仪器——张衡地动仪，在东汉（公元132年）就设计制造成功了。在建筑抗震方面更有辉煌的工程事例，例如，唐代在公元1055年建的河北定县料敌塔，11层，高84.2米，采用了双层砖砌筒体结构，经历了近千年的地震等考验，基本完好，保存至今，它是世界上地震区最高的、没有配筋的砖砌建筑；再如建于公元1056年的山西应县木塔，高67.3米，是现存世界上最高的木结构建筑，也采用了抗震性能良好的筒体结构，同样经历了历史上多次强烈地震，巍然屹立，完好无损。这些建筑物在建筑高度、建筑体型、结构体系和构造措施等方面都达到了较高的建筑抗震水平。这是很宝贵的抗震经验，我们应很好地继承和发展。

近三十年来，世界上发生了多次大地震，通过大量建筑震害的调查研究，建筑抗震的工程实践和科学研究都有了很大的发展，地震对建筑物造成破坏的规律，日益为人们认识和掌握，同时有了较丰富的震害调查和科学实践经验，可以制定出较有效的建筑抗震措施和规定。过去认为在地震区建造高层建筑是危险的，而现在，在强烈地震区（如日本）不仅可建高层建筑，还可建高度超过100米的超高层建筑并能保证抗震的安全。可是建筑抗震是新近发展起来的一门复杂、涉及面广的实用科学，有不少规律尚待进一步实践和认识，例如地基基础和上层建筑的综合地震反应、刚性建筑和柔性建筑在不同地基条件下的地震影响、不同地震波对建筑物的弹塑性动力反应等重大问题正在研究和发展中。

本书根据国内外多次大地震的调研资料，以建筑工程的震害分析和我国现行建筑抗震规范的有关规定为基础，结合近年来的建筑抗震设计经验和科研成果，研究和分析了建筑震害的规律，对建筑抗震、场地选择、地基基础、结构选型和设计构造等进行了系统的说明和论证，并结合我国建筑抗震规范及钢筋混凝土结构、地基基础、高层建筑结构等有关规范和规定，提出了建筑抗震的设计要求和构造措施等。

本书共九章，第一章为建筑抗震概念和原则；第二章为建筑场地选择和地基基础；第三章和第四章为地震荷载和结构抗震验算；第五章为结构的选型、体系和布置；第六章为建筑体型，包括平面、竖向、不利体型的抗震处理和各种类型建筑的抗震设计要求；第七、

目 录

第一章 绪论	1
第一节 地震的成因和分布	1
第二节 地震波、震级和地震烈度	4
第三节 地震破坏和灾害	15
第四节 设计烈度和设防范围	20
第五节 设防要求、设计原则和设计方法	22
第二章 场地和地基	27
第一节 工程地质条件的影响	27
第二节 场地选择	30
第三节 强震地面运动特性	37
第四节 地基抗震设计	48
第五节 地基土的液化	51
第六节 工程地质勘察	58
第三章 地震荷载	60
第一节 概述	60
第二节 简单结构的地震反应	61
第三节 设计地震反应谱	69
第四节 反应谱振型分解法	77
第五节 底部剪力法	84
第六节 建筑物自振周期	86
第七节 工程的实际地震荷载	100
第四章 结构抗震的弹塑性动力分析	109
第一节 概述	109
第二节 弹塑性结构的力学模型	113
第三节 高层框剪和筒体结构动力分析计算模型	119
第四节 弹塑性结构的恢复力特性曲线	120
第五节 地震波的选用	123
第六节 结构抗震变形验算	131
第五章 结构选型和布置	134
第一节 结构型式的适用范围	134
第二节 结构体系	140
第三节 结构布置	148
第四节 防震缝	158
第六章 建筑体型	160
第一节 概述	160
第二节 建筑平面	169

第三节	建筑竖向	181
第四节	不利体型的抗震处理	199
第五节	建筑类型与抗震设计	213
第七章	砖石结构房屋	223
第一节	概述	223
第二节	多层砖房	225
第三节	空旷砖房和单层砖柱厂房	249
第四节	底层全框架及多层内框架砖石房屋	264
第八章	单层钢筋混凝土柱厂房	278
第一节	概述	278
第二节	震害和分析	280
第三节	抗震要求	294
第四节	抗震构造	297
第九章	多层和高层钢筋混凝土建筑	311
第一节	概述	311
第二节	震害及分析	315
第三节	结构体系与建筑体型	348
第四节	框架结构	354
第五节	剪力墙结构	361
第六节	框架-剪力墙结构	371

第一章 绪 论

第一节 地震的成因和分布

一、地球的构造

地球是一个平均半径为6400公里的椭圆球体，至今已有45亿年的历史。研究表明，地球是由性质不同的三个层构成：最外面是一层很薄的地壳，中间很厚的一层是地幔，最里面叫地核（图1-1）。

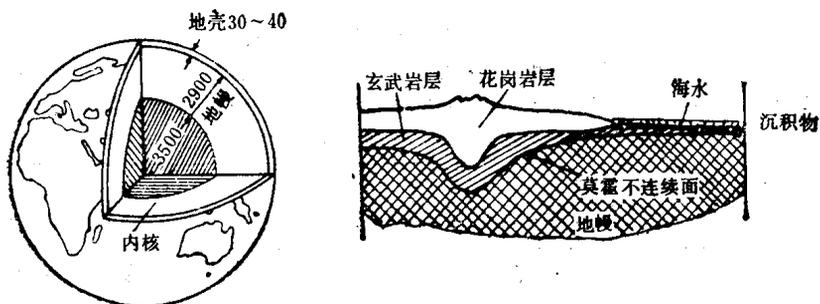


图 1-1 地球断面与地壳剖面（单位：公里）

1. 地壳

地壳是由各种不均匀的岩石组成的。除表面的沉积层外，陆地和海洋下面的岩层组成和岩石厚度见表1-1。

世界上绝大部分地震都发生在地壳内。

2. 地幔

地壳以下的地幔，厚约2900公里，它几乎占地球全部体积的5/6。本层除顶部外，由质地坚硬、结构比较均匀的橄榄岩组成，并且由上往下铁镍成分逐渐增加，比重为3.9~5.1。根据地震波速在地幔中的变化，推测地幔顶部物质呈熔融状态，一般认为，这可能是岩浆的发源地，称它为软流层；并认为地幔物质在热作用下的对流，可能是地壳运动的根源。

到现在为止，所观测到最深的地震是700多公里，这仅约为地球半径的1/10。可见，地震仅发生于地球的表面部分——地壳中和地幔上部。

地壳的岩层和厚度 表 1-1

区 域	大 陆	海 洋
岩层组成	上部花岗岩 下部玄武岩	玄武岩
岩层厚度	约30公里	小于10公里

3. 地核

地核是地球的核心部分，球体半径为3500公里。对地核的成分和状态，目前认识尚不十分清楚，因其不传播剪切波，推测其表层可能为液体，而内核可能是铁、镍组成的固体。

地球内部的温度随深度增加而升高，从地表每深1公里约升高30°C，但增长率随深度增加而减小。经推算，地下20公里（多数地震发生在这个深度）深处温度约600°C，地幔上部（地下700公里左右）温度约2000°C，地球内的高温主要是内部放射性物质不断释放热量的缘故，并因其分布的不均匀性，导致了地幔内发生物质的对流。

二、地震的成因

地震通常按照其成因可划分为三种主要类型：构造地震、火山地震和陷落地震。

地震的类型、成因和影响见表1-2。

地震类型、成因和影响

表 1-2

类型	成因	影响
构造地震	地球在运动和发展过程中，内部的能量（例如地幔对流、转速的变化等）使地壳和地幔上部的岩层产生很大应力，日积月累，当地应力超过某处岩层强度极限时，岩层破坏，断裂错动，引起地面振动（图1-2）。如美国旧金山圣安德烈斯断层上1906年突然发生错动，在435公里长的一段上水平错距最大达6.4米	破坏性大，影响面广
火山地震	火山爆发引起地面振动	影响和破坏性均较小
陷落地震	地表或地下岩层突然大规模陷落和崩塌，如石灰岩地区地下大溶洞的塌陷或古矿坑的塌陷等引起的地面振动	影响和破坏性均较小

建筑工程的抗震主要考虑构造地震，世界上已经发生的地震90%以上属构造地震。

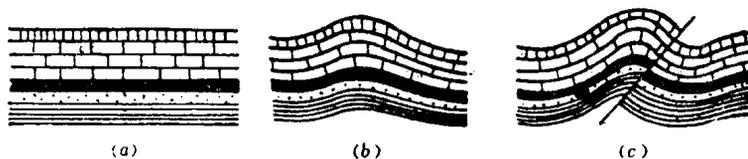


图 1-2 构造变动与地震形成示意

(a) 岩层原始状态；(b) 受力后发生褶皱变形；(c) 引起岩层断裂产生振动

三、构造地震

断层开始破坏而断裂错动的地方叫震源，震源正上方的地面位置叫震中。构造地震按震源深度的分类见表1-3。

构造地震分类 表 1-3

类型	震源深度(公里)
浅源地震	<60
中源地震	60~300
深源地震	>300

我国境内发生的地震，绝大部分属于浅源地震，一般震源深度约为10~40公里。深震分布非常局限，仅出现于东北的吉林和黑龙江省的个别地区，深度一般为400~600公里。

四、地震序列

在一定时间内相继发生在相近地区的一

系列大小地震称为地震序列。某一序列中最强烈的那一次叫做主震。大地震有些是突然发生的，但有些大地震前数日就有一些较小地震，叫做前震，前震是地震预报的途径之一。在一次大地震发生后，陆续发生一系列较小的地震，称为余震。主震刚发生后余震非常多，但急剧地减少，过了一定时期恢复到平静状态。

根据地震能量释放和活动的特点，地震序列有三种基本类型，见表1-4。

地震序列的基本类型

表 1-4

类 型	主 震 和 能 量 释 放
主震型	主震突出，释放能量占绝大部分，是常见地震类型
震群型	没有突出主震，能量由多次震级相近的地震所释放
孤立型	或称单发性地震，前震和余震很少，能量由主震释放

五、地震的分布

据统计，地球上平均每年发生可以记录到的大小地震达500万次以上，其中有感地震（震级在2.5级以上）在15万次以上，而造成严重破坏的地震则不到20次，震级8级以上，震中烈度11度以上的毁灭性地震仅约2次。在上述这些地震中，小地震几乎到处都有，而大地震只发生在某些地区。

1. 世界的地震活动概况

从1961年初到1967年末为止，根据世界各大洲7年内所发生的近30万次4级以上地震所编绘的“世界地震分布图”（图1-3），可以明显地看出地球上有一组主要的地震活动带，详见表1-5。

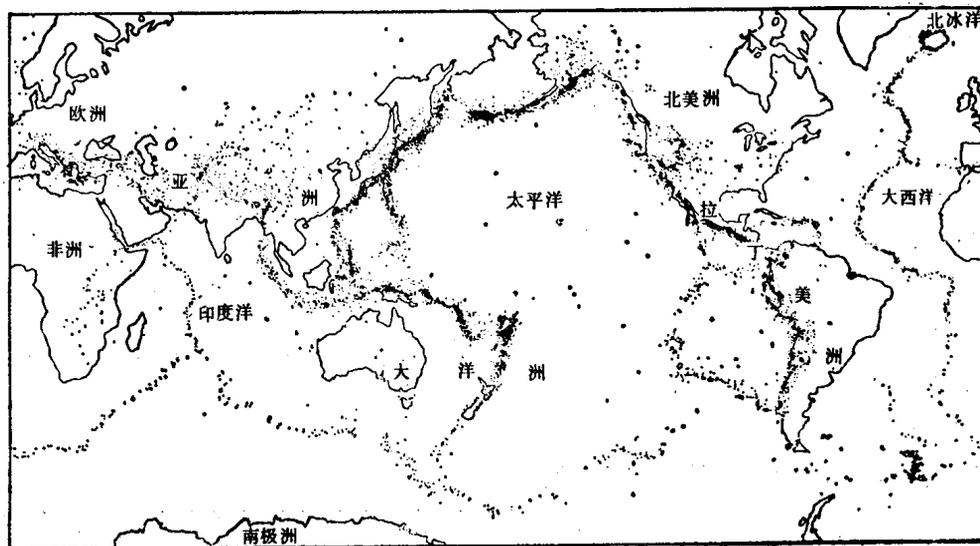


图 1-3 世界浅源地震震中分布图

2. 我国地震活动概况

我国地处两大地震带的中间，是多地震的国家。历史上自公元前1831年开始有地震记录至今，近四千年的记录表明，我国的地震分布相当广泛。从历史地震状况看，全国除极

个别的省份外（例如浙江、江西），绝大部分地区都发生过较强的破坏性地震，有不少地区现代地震活动还相当强烈。

地球上的主要地震活动带

表 1-5

名称	经过地区	地震活动情况
环太平洋地震带	沿北美洲西海岸、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	地震活动性强，全球约80~90%的地震集中在这个带
地中海南亚地震带	西起大西洋的亚速岛，经意大利、土耳其、伊朗、印度北部、我国西部和西南地区，过缅甸至印尼与环太平洋地震带相衔接	地震活动较多

我国主要的地震活动带可分为：南北地震带和东西地震带，见表1-6。

我国的主要地震活动带

表 1-6

名称	经过地区
南北地震带	北起贺兰山，向南经六盘山，穿越秦岭，沿川西直至云南省东部，纵贯南北，长达2000多公里，宽度为数十至百余公里
东西地震带	主要的东西向构造有： 1. 北面的一个沿陕西、山西、河北北部的狼山、阴山、燕山向东延伸直至辽宁北部的千山一带 2. 南面的一个自帕米尔起，经昆仑山、秦岭，直至大别山地区

我国西部地区地壳活动性大，新构造运动现象非常明显，因此我国西部地震活动较东部为强。东部地震主要发生在强烈凹陷下沉的平原或断陷盆地，以及近期活动的大断裂带附近，如汾渭地堑、河北平原、郯城——庐江大断裂带等，这也是东部华北地震区比其他两个地震区地震活动强烈的原因。

第二节 地震波、震级和地震烈度

一、地震波

地震引起的振动以波的形式从震源向各个方向传播，这就是地震波。地震波是一种弹性波，它包含可以通过地球本体的两种“体波”和只限于在地面附近传播的两种“面波”。

1. 体波

体波包含“纵波”与“横波”两种。

纵波是由震源向外传递的压缩波，质点的振动方向与波的前进方向一致。在空气里纵波就是声波，一般周期短、振幅小；横波是由震源向外传递的剪切波，质点的振动方向与波的前进方向相垂直，一般周期较长、振幅较大，见图1-4。

纵波与横波的传播速度，理论上可分别用下列公式计算

$$V_P = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1-1)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1-2)$$

式中 V_p ——纵波速度；

V_s ——横波速度；

E ——介质的弹性模量；

G ——介质的剪变模量；

ρ ——介质的密度；

ν ——介质的泊松比。

一般情况下，当 $\nu = 0.22$ 时，

$$V_p = 1.67V_s \quad (1-3)$$

由此可知，纵波比横波的传播速度要快，在仪器观测到的记录图上，纵波先于横波到达。因此通常也把纵波叫“P波”（即初波），把横波叫“S波”（即次波）。

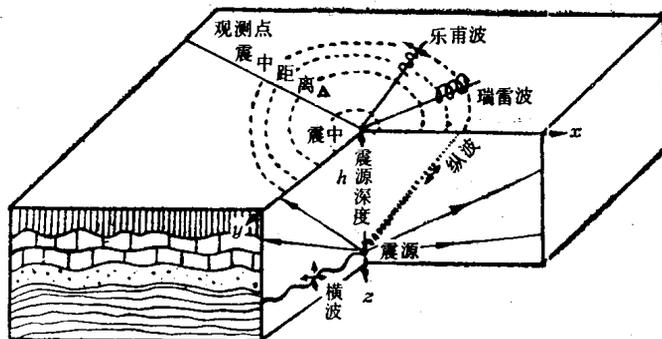


图 1-4 地震波传播与运动形式示意

体波在地球内部的传播速度随深度增加而增大，如图1-5所示。表1-7给出了S波在一些介质中的传播速度值。

S波的传播速度 (m/s) 表 1-7

砂	60	含砂砾石	300~400
人工填土	100	饱和砂土	340
砂质粘土	100~200	砾石	600
粘土	250	第三纪岩层	1000以上

由于地球是层状构造，因此，体波通过分层介质，在界面上将产生折射；若波的射线由震源出发时与垂直方向的夹角是 θ_1 ，波速是 V_1 ，折射后的夹角是 θ_2 ，波速是 V_2 （图1-7），则有下列关系：

$$\frac{V_1}{\sin \theta_1} = \frac{V_2}{\sin \theta_2} \quad (1-4)$$

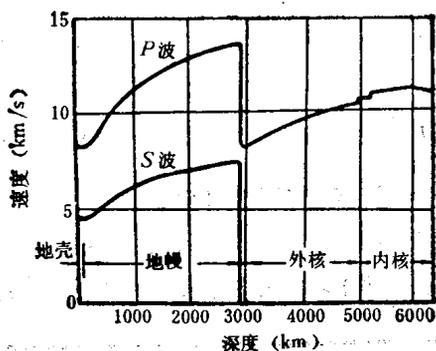


图 1-5 体波在地球内传播速度的变化

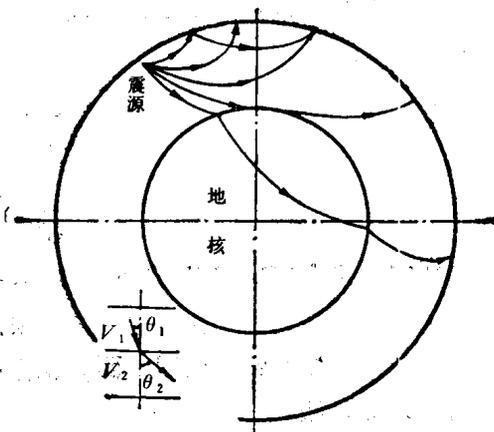


图 1-6 地震波射线的途径

由于速度随着深度增加是增大的，即 $V_2 > V_1$ ，由式(1-4)可知，射线要逐渐向水平弯曲，直到速度增大到 $V_2 = V_1 / \sin \theta_1$ 时，射线弯到了水平方向，然后射线还可以继续往上弯，直到地面（图1-6）。此外，当震波遇到一个界面，不但产生折射，而且还发生反射；当一个P波入射到一个界面时，不但产生折射和反射的P波，而且还发生折射和反射

的S波，同样，当S波入射到一个边界时也是如此。

2. 面波

面波只限于沿着地球表面传播，一般认为是体波经地层界面多次反射形成的次生波，它包含瑞雷波和乐甫波两种类型。

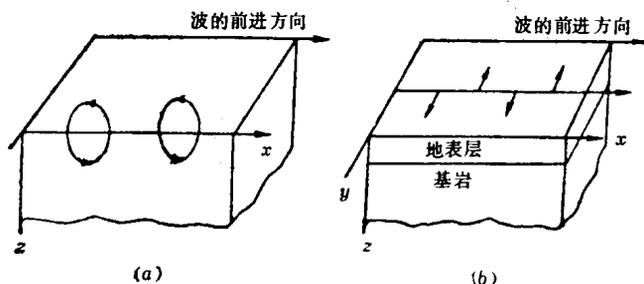


图 1-7 面波质点振动

(a) 瑞雷波质点振动；(b) 乐甫波质点振动

瑞雷波的传播速度 (V_R) 比S波稍微慢一点，它们的比值

$$K_1 = \frac{V_R}{V_S} \quad (1-5)$$

与介质的泊松比有关，可用下式确定：

$$\frac{1}{8} K_1^2 - K_1 + \frac{2-\nu}{1-\nu} K_1^2 - \frac{1}{1-\nu} = 0 \quad (1-6)$$

当 $\nu = 0.22$ 的情况下， $K_1 = 0.914$ ，即

$$V_R = 0.914 V_S \quad (1-7)$$

乐甫波在层状介质中的传播速度介于最上层横波速度及最下层横波速度之间。

瑞雷波是由靠近震源出射的P波和S波而产生的，但震中附近并不发生瑞雷波，其发生的范围是在

$$\frac{V_R}{\sqrt{V_P^2 - V_R^2}} h(P\text{波}) \quad (1-8)$$

$$\frac{V_R}{\sqrt{V_S^2 - V_R^2}} h(S\text{波}) \quad (1-9)$$

以远的地区（式中 h 是震源深度）。当 $\nu = 0.22$ 时，这个范围是 $0.65h$ 和 $2.25h$ 。

综上所述，地震波的传播以纵波最快，横波次之，面波最慢。所以在地震记录图上，纵波最先到达，横波到达较迟，面波在体波之后到达（图1-8）。一般当横波或面波到达时地面振动最猛烈。

二、震级

地震震级 M 是表示地震所释放能量大小的尺度，其数值是根据地震仪记录的地震波图来确定。震级的原始定义为1935年里希特（Richter）给出：

$$M = \log A \quad (1-10)$$

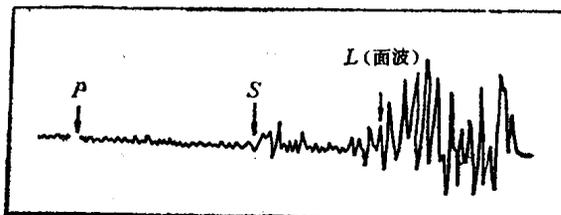


图 1-8 地震波记录图

A 是标准地震仪（指周期为0.8秒，阻尼系数0.8，放大倍数为2800倍的地震仪）在距震中100公里处记录的以微米（ 10^{-4} 厘米）为单位的最大水平地动位移（单振幅）。例如，在震中距100公里处的地震仪记录的振幅是10厘米，即100,000微米，取其对数等于5，根据定义这次地震就是5级。实际上距震中100公里处不一定有地震仪，现在也不都用上述的标准地震仪。因此，对于地震台距震中距离 Δ 不是100公里时确定的震级 M_L 要做修正。

根据我国现用仪器，计算近震（指震中距小于1000公里）震级 M_L 的公式为

$$M_L = \log A_{\mu} + R(\Delta) \quad (1-11)$$

式中 M_L ——近震体波震级；

A_{μ} ——记录的水平最大地动位移（单振幅中的微米）；

$R(\Delta)$ ——起算函数，随震中距 Δ 而变。

震级直接与震源释放能量的大小有关。震级 M 与地震释放能量 E （尔格）之间的关系为：

$$\log E = 11.8 + 1.5M \quad (1-12)$$

震级每增加一级，能量增大30倍左右。一个七级的破坏性地震就相当于近三十万个两万吨TNT的原子弹所具有的能量。

小于2级的地震，一般人们感觉不到，只有仪器才能记录下来，称作微震；2~4级为有感地震；5级以上就会引起不同程度的破坏，称为破坏性地震；7级以上则为强烈地震。震级的分类见表1-8。

震 级 的 分 类

表 1-8

震 级	<2	2~4	>5	≥7	>8
分 类	微 震	有感地震	破坏性地震	强烈地震或大地震	特大地震

三、地震烈度

地震烈度是指某一地区，地面及房屋建筑等遭受到一次地震影响的强弱程度。一次地震的震级只有一个，而各地区由于距震中远近不同、地质情况和建筑情况亦不同，地震的影响也不一样，因而烈度不同，一般震中区烈度最大，离震中愈远烈度愈小。震中区的烈度称为“震中烈度”。对于浅源地震，震级与震中烈度的关系如经验公式1-13和表1-9。

$$M = 0.58I + 1.5 \quad (1-13)$$

震中烈度与震级的大致对应关系

表 1-9

震 级 M	2	3	4	5	6	7	8	8以上
震中烈度 I	1~2	3	4~5	6~7	7~8	9~10	11	12

1. 地震烈度表

既然地震烈度是根据人的感觉、家具和物品的振动情况、房屋建筑和土木工程等遭受地震破坏的一个尺度，就需要有一个评定烈度的标准，这称为烈度表。目前国际上普遍采

中国地震烈度表

表 1-10

烈度	房屋	结构物	地表现象	其它现象
1	无损坏	无损坏	无	无感觉。仅仪器才能记录到
2	无损坏	无损坏	无	个别非常敏感的、且在完全静止中的人感觉到
3	无损坏	无损坏	无	室内少数在完全静止的人觉到振动，如同载重车辆很快地从旁驶过。细心的观察者注意到悬挂物轻微摇动
4	门、窗和纸糊的顶棚有时轻微作响	无损坏	无	室内大多数人感觉，室外少数人感觉，少数人梦中惊醒 悬挂物摇动，器皿中的液体轻微振荡，紧靠在一起的、不稳定的器皿作响
5	门、窗、地板、天花板和屋架木料轻微作响。开着的门窗摇动。尘土落下。粉饰的灰粉散落。抹灰层上可能有细小裂缝	无损坏	不流通的水池里起不大的波浪	室内差不多所有人和室外大多数感觉，大多数人都从梦中惊醒，家畜不宁 悬挂物明显的摇摆。挂钟停摆，少量液体从装满的器皿中溢出，架上放置不稳的器物翻倒或落下
6	I类房屋许多损坏，少数破坏（非常坏的房、棚可能倾倒） II、III两类房屋许多轻微损坏II类房屋少数损坏	牌坊、砖、石砌的塔和院墙轻微损坏。个别情况下，道路上湿土中或新填土中有细小裂缝	特殊情况下，潮湿、疏松的土里有细小裂缝 个别情况下，山区中偶有不大的滑坡、土石散落和陷穴	很多人从室内跑出，行动不稳，家畜从厩中跑出 器皿中的液体剧烈的动荡，有时溅出 架上的书籍和器皿等有时翻倒或坠落。轻的家具可能移动
7	I类房屋大多数损坏，许多破坏，少数倾倒 II类房屋大多数损坏，少数破坏 III类房屋大多数轻微损坏，许多损坏（可能有破坏的）	不很坚固的院墙少数破坏，可能有些倒塌。较坚固的院墙损坏 不很坚固的城墙很多地方损坏，有些地方破坏，堞墙少数倒塌。较坚固的城墙有些地方损坏 牌坊，砖、石砌的塔和工厂烟囱可能损坏 碑石和纪念物很多轻微损坏 由于黄土崩滑，土窑洞的洞口遭受破坏	干土中有时产生细小裂缝。潮湿或疏松的土中裂缝较多，较大；少数情况下冒出夹泥沙的水 个别情况下，陡坎滑坡。山区中有不大的滑坡和土石散落。土质松散的地区，可能发生崩滑。水泉的流量和地下水位可能发生变化	人从室内仓惶逃出，驾驶汽车的人也能感觉悬挂物强烈摇摆，有时损坏或坠落。轻的家具移动。书籍、器皿和用具坠落

续表

烈度	房屋	结 构 物	地 表 现 象	其 它 现 象
7		个别情况下, 道路上有小裂缝 路基陡坡和新筑道路、土堤的斜坡上偶有塌方		
8	I类房屋大多数破坏, 许多倾倒 II类房屋许多破坏, 少数倾倒 III类房屋大多数损坏, 少数破坏(可能有倾倒的)	不很坚固的院墙破坏, 并有局部倒塌。较坚固的院墙局部破坏 不很坚固的城墙很多地方破坏, 有些地方崩塌, 堞墙许多倒塌。较坚固的城墙有些地方破坏, 砖、石砌墙少数倒塌 牌坊许多损坏 砖石的塔和工厂烟囱遭受损坏, 甚至崩塌 不很稳定的碑石和纪念物移动或翻倒。较稳定的碑石和纪念物很多损坏, 有些翻倒 路堤和路堑的陡坡上有不大的塌方 个别情况下, 地下管道的接头处遭受破坏	地下裂缝宽达几厘米。土质疏松的山坡和潮湿的河滩上, 裂缝宽度可达10厘米以上。在地下水位较高的地区里, 常有夹泥沙的水从裂缝或喷口冒出 在岩石破碎、土质疏松的地区里, 常发生相当大的土石散落、滑坡和山崩。有时河流受阻, 形成新的水塘 有时井水干涸或产生新泉	人很难站得住 由于房屋破坏, 人畜有伤亡 家具移动, 并有一部分翻倒
9	I类房屋大多数倾倒 II类房屋许多倾倒 III类房屋许多破坏, 少数倾倒	不很坚固的院墙大部分倒塌。较坚固的院墙大部分破坏, 局部倒塌 较坚固的城墙很多地方破坏, 堞墙许多倒塌 牌坊可能破坏 砖、石砌的塔和工厂烟囱很多破坏, 甚至倾倒 较稳定的碑石和纪念物很多翻倒 道路上有裂缝, 有时路基毁坏。个别情况下铁轨局部弯曲 有些地方地下管道破裂或损伤	地上裂缝很多, 宽达10厘米。斜坡上或河岸边疏松的堆积层中, 有时裂缝纵横, 宽度可达几十厘米, 绵延很长 很多滑坡和土石散落。山崩 常有井泉干涸或新泉产生	家具翻倒并损坏
10	III类房屋许多倾倒	牌坊许多破坏 砖、石砌的塔和工厂烟囱大都倒塌 较稳定的碑石和纪念物大都翻倒 路基和土堤毁坏, 道路变形, 并有很多裂缝。铁轨	地上裂缝宽几十厘米, 个别情况下, 达1米以上。堆积层中的裂缝有时组成宽大的裂缝带, 继续绵延可达几公里以上, 个别情况下, 岩石中有裂缝 山区和岸边的悬崖崩	家具和室内用品大量损坏

续表

烈度	房屋	结构物	地表现象	其它现象
10		局部弯曲 地下管道破裂	塌。疏松的土大量崩滑，形成相当规模的新湖泊 河、池中发生击岸的大浪	
11	房屋普遍毁坏	路基和土堤等 大段毁坏。 大段铁轨弯曲 地下管道完全不能使用	地面形成许多宽大裂缝。有时从裂缝冒出大量疏松的、浸透水的沉积物 大规模的滑坡、崩滑和山崩。地表产生相当大的垂直和水平断裂 地表水情况和地下水位剧烈变化	由于房屋倒塌，压死大量人畜，埋没许多财物
12	广大地区房屋普遍毁坏	建筑物普遍毁坏	广大地区内，地形有剧烈的变化 广大地区内，地表水和地下水情况剧烈变化	由于浪潮及山区内崩塌和土石散落的影响，动植物遭到毁灭

烈度表说明：

为了使各度间对比明确，论述简单，便于使用，除去在数量上作了大致划分（大多数，许多，少数）外，对房屋类型和建筑物的破坏程度也作了如下区分：

房屋类型

I类：1. 简陋的棚舍；

2. 土坯或毛石等砌筑的拱窑；

3. 夯土墙或土坯、碎砖、毛石、卵石等砌墙，用树枝、草泥做顶，施工粗糙的房屋。

II类：1. 夯土墙或用低级灰浆砌筑的土坯、碎砖、毛石、卵石等墙，不用木柱的或虽有细小木柱但无正规木架的房屋。

III类：1. 有木架的房屋（宫殿，庙宇，城楼，钟楼，鼓楼和质量较好的民房）；

2. 竹笆或灰板条外墙，有木架的房屋；

3. 新式砖石房屋

建筑物的破坏程度

轻微损坏——粉饰的灰粉散落。抹灰层上有细小裂缝或小块剥落。偶有砖、瓦、土坯或灰浆碎块等坠落。不稳固的饰物滑动或损伤。

损坏——抹灰层上有裂缝，泥块脱落，砌体上有小裂缝，不同的砌体之间产生裂缝，个别砌体局部崩塌，木架偶有轻微拔榫。砌体的突出部分和民房烟囱的顶部扭转或损伤。

破坏——抹灰层大片崩落。砌体裂开大缝或破裂，并有个别部分倒塌。木架拔榫。柱脚移动，部分屋顶破坏，民房烟囱倒下。

倾倒——建筑物的全部或相当大部分的墙壁、楼板和屋顶倒塌，有时屋顶移动，砌体严重变形或倒塌。木架显著倾斜，构件折断。

用的是划分为12度的烈度表，也有一些国家沿用划分为10度的（如欧洲一些国家）和8度的（如日本）烈度表。现在各国使用的几种主要烈度表有：

（1）中国的地震烈度表（表1-10）

中国科学院地球物理研究所根据我国地震调查经验、建筑特点和历史资料并参照国外的烈度表编制的，目前在地震调查中可参照使用。

（2）修订的麦加利（Mercalli）地震烈度表，简称MM烈度表。

此表是1931年在麦加利-肯肯尼烈度表（MCS）基础上修订的。为美国、加拿大和拉丁美洲各国所采用。

(3) 苏联地球物理所的烈度表

此表是1952年由麦德维捷夫修订的。其中6~9度列为全苏国家标准(ГОСТ6242-52)。

(4) 日本气象厅烈度表(JMA)

此表是日本气象厅制定的,把烈度区分为8度。

上述第1、2、3种烈度表都是划分为12度。它的内容相仿,大体相当,一般是1~6度主要以人的感觉和器物的反应为标志,6度时房屋建筑开始有轻微的损坏,7~10度以建筑物的破坏为主要标志,其它现象作参考,11度和12度在历史上是罕见的。第4种烈度表把烈度区分为8度,它与前三种12度烈度表的大体对应关系是

$$I_M = 1 + 1.5I_K \quad (1-14)$$

式中 I_M 和 I_K 分别代表MM烈度表和日本气象厅的烈度。

表1-11给出了几种烈度表的大致对应关系。

几种地震烈度表的对照

表 1-11

中国地震烈度表 (1957)	美国修订的烈度表 (MM表) (1931)	苏联地球物理研究所烈度表 (1952)	MSK-1964 烈度表(注)	欧洲烈度表 (MCS表) (1917)	欧洲 Rossi-Forel 烈度表 (1873)	日本烈度表 (JMA) (1952)
1	1	1	1	1	1	0
2	2	2	2	2	2	1
3	3	3	3	3	3	2
4	4	4	4	4	4	2~3
5	5	5	5	5	5~6	3
6	6	6	6	6	7	4
7	7	7	7	7	8	4~5
8	8	8	8	8	9	5
9	9	9	9	9	10	6
10	10	10	10	10	10	6
11	11	11	11	11	10	7
12	12	12	12	12	10	7

表中MSK-1964为国际地震和地震工程方面的有关组织在1962~1964年在已有烈度表基础上制定的一种烈度表,意图逐渐统一烈度标准。

2. 烈度的定量标准

上述烈度表中,烈度标准主要是以宏观描述为主,还缺少定量的指标,只能反应地震的后果而未反应地震的破坏作用,以这种标准去评定烈度,有时出入较大。在工程上,地震烈度是抗震设防的标准,要求在烈度标准中能包括抗震设计所需要的工程数据,即定量的指标。各国地震工作者已进行了不少的研究工作,试图把烈度的宏观标志和地面运动的物理量对应起来,给烈度以定量的概念,主要从三个方面进行研究。

(1) 以地面最大加速度为标准

在工程方面比较普遍认为地震对结构的影响主要决定于地面的最大加速度,并且由于地震荷载是一种惯性力,采用加速度更便于与荷载的计算联系起来,为简便起见,烈度指标用地震系数