



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材

高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

建筑结构抗震设计

(第三版)

李国强 李 杰 苏小卒 编著



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

建筑结构抗震设计

(第三版)

李国强 李 杰 苏小卒 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计/李国强, 李杰, 苏小卒编著. —3版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2009

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材. 高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-10970-8

I. 建… II. ①李…②李…③苏… III. 建筑结构-抗震设计-高等学校-教材 IV. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 076554 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

建筑结构抗震设计

(第三版)

李国强 李 杰 苏小卒 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 19 字数: 459 千字

2009 年 4 月第三版 2009 年 4 月第十八次印刷

定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-10970-8

(18218)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本教材自 2002 年第一版以来,被许多高校采用,七年来已重印十余次。2006 年以来,先后被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材。结合国家和建设部规划教材的建设,作者对本教材进行了较全面的修订。

本次修订主要依据 2008 年汶川地震后抗震规范的局部修订进行的。

本书主要包括:绪论、场地与地基、结构地震反应分析与抗震计算、多层砌体结构抗震设计、多高层建筑钢筋混凝土结构抗震设计、多高层建筑钢结构抗震设计、单层厂房抗震设计、隔震减震与结构控制初步等。

本书可作为高校土木工程专业教材,也可供从事各类工程结构设计和施工的工程技术人员参考使用。

* * *

本教材精品课程网址: <http://218.1.69.116:8081/jzjgkz/jzjgkz/>

* * *

责任编辑:朱首明 吉万旺

责任设计:赵明霞

责任校对:王雪竹

第三版前言

2008年5月12日汶川特大地震发生以后，建设部为落实国务院《汶川地震灾后恢复重建条例》的要求，依据地震局修编的灾区地震动参数的第1号修改单，相应变更了灾区的设防烈度，并对《建筑抗震设计规范》(GB 50011)的部分条文进行了修订。本教材这次主要依据抗震规范的局部修订，进行了相应的修订。

2009年2月

第二版前言

本教材自2002年8月出第一版第一次印刷,被许多高校采用,五年来已重印十余次。2006年教育部开始建设“十一五”国家规划教材,本教材被列为其中的建设项目,2007年本教材被建设部确定为“十一五”部级规划教材。结合国家和建设部规划教材的建设,作者决定对本教材进行一次较全面的修订。本次修订的主要内容包括:

1) 对各章内容进行了全面梳理,进一步协调了与我国现行建筑抗震设计规范相关的内容;

2) 更正了前一版教材中的文字错误及用语不妥之处;

3) 新增了“多高层钢结构的抗震概念设计”一节内容;

4) 补充了多高层钢结构抗震构造要求的背景;

5) 补充了一种新型耗能支撑—屈曲约束支撑的介绍。

教材要靠教师在教学实践过程中不断完善,我们衷心地希望并感谢使用本教材的教师向我们提出宝贵的意见,我们定当认真研究,为本教材的改进不懈努力。

作者

2007年9月

第一版前言

新版《建筑抗震设计规范》(GBJ 50011—2001)从2002年1月1日起开始实施。此次抗震规范的修订,调查总结了近年来国内外大地震的经验教训,考虑了我国当前的经济条件和已有的工程实践,采纳了地震工程的新科研成果。重要的修订内容有:调整了建筑的抗震设防分类;提出了按设计基本地震加速度进行抗震设计的要求;将原规范的设计近震、远震改为设计特征周期分区;增补了不规则建筑结构的概念设计和楼层地震剪力控制的要求;增加了有关发震断裂、桩基、混凝土筒体结构、钢结构房屋和房屋隔震与减震的内容。为配合新规范的颁布执行和适应建筑抗震设计思想与方法的不断发展,我们结合多年在地震工程与工程抗震方面的教学与科研实践,按新规范编写了本教材。

本教材共分八章,分别介绍了地震有关知识、抗震设计原则与要求、场地分类与基础抗震、地震作用与结构地震反应分析、砌体结构、多高层钢筋混凝土结构、多高层钢结构和单层厂房结构抗震设计以及隔震与减震设计。为便于学生理解与学习,各章均配有例题及习题与思考题。本书第1、2、4、8章由李杰执笔,第5、7章由苏小卒执笔,第3、6章由李国强执笔,全书由李国强负责统稿,由北京工业大学曹万林教授主审。

本教材早在1997年就被上海市教育委员会列为上海市普通高校“九五”重点教材建设计划,我们对上海市教委给予的支持与资助表示衷心的感谢。另外,研究生赵欣、李明菲、丁军帮助整理了本书的部分手稿,我们对他们为本书所花费的精力表示谢意。由于我们水平有限,书中不当或错误之处,敬请读者批评指正。

作者

2002年5月

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

征订号	书 名	作 者	定 价(元)	备 注
V11078	高等学校土木工程专业 本科教育培养目标和培养 方案及课程教学大纲	高等学校土木工 程专业指导委员会	19.00	
V14055	建筑工程事故分析与 处理(第三版)	江见鲸等	38.00	国家“十一五”规划 教材、北京市高等教育 精品教材立项项目
V12070	流体力学(第二版)	刘鹤年	27.00	国家“十五”规划教 材、21 世纪课程教材
V13142	钢结构基本原理(第二 版)	沈祖炎等	33.00	国家“十五”规划教 材、21 世纪课程教材
V16338	房屋钢结构设计	沈祖炎等	55.00	国家“十一五”规划 教材、土建“十一五” 规划教材、2008 年国家 精品教材
V16929	混凝土结构(上册)— 混凝土结构设计原理(第 四版)	东南大学 同济 大学 天津大学	32.00	国家“十一五”规划 教材、21 世纪课程教材
V16930	混凝土结构(中册)— 混凝土结构与砌体结构 设计(第四版)	东南大学 同济 大学 天津大学	45.00	国家“十一五”规划 教材、21 世纪课程教材
V16931	混凝土结构(下册)— 混凝土桥梁设计(第四 版)	东南大学 同济 大学 天津大学	45.00	国家“十一五”规划 教材、21 世纪课程教材
V11404	混凝土结构及砌体结 构(上)	滕智明等	42.00	北京市高等教育精品 教材立项项目、土建学 科“十五”规划教材
V11439	混凝土结构及砌体结 构(下)	罗福午等	39.00	北京市高等教育精品 教材立项项目、土建学 科“十五”规划教材
V15949	钢结构(上册)—钢结 构基础(第二版)	陈绍蕃等	31.00	土建学科“十一五” 规划教材
V15950	钢结构(下册)—房屋 建筑钢结构设计(第二 版)	陈绍蕃等	22.00	土建学科“十一五” 规划教材
V16324	土木工程制图(第三 版)	卢传贤等	41.00	21 世纪课程教材 国家“十一五”规划 教材

续表

征订号	书 名	作 者	定 价(元)	备 注
V16325	土木工程制图习题集 (第三版)	卢传贤等	16.00	21 世纪课程教材、国家“十一五”规划教材
V18218	建筑结构抗震设计(第三版)	李国强等	32.00	国家“十一五”规划教材, 土建学科“十一五”规划教材
V9749	混凝土结构基本原理	张誉等	32.00	21 世纪课程教材
V10131	混凝土及砌体结构(上册)	哈尔滨工业大学 大连理工大学 北京 建筑工程学院 华北水利水电学院	33.80	
V10132	混凝土及砌体结构(下册)	哈尔滨工业大学 大连理工大学 北京 建筑工程学院 华北水利水电学院	19.00	
V16536	土木工程施工(上册) (第二版)	重庆大学 同济大学 哈尔滨工业大学	44.00	21 世纪课程教材
V16537	土木工程施工(下册) (第二版)	重庆大学 同济大学 哈尔滨工业大学	42.00	21 世纪课程教材
V10130	土木工程材料	湖南大学 天津 大学 同济大学 东南大学	33.40	21 世纪课程教材
V10093	土木工程概论	丁大钧 蒋永生	36.00	土建学科“十五”规划教材、21 世纪课程教材
V13494	房屋建筑学(第四版)	同济大学 西安 建筑科技大学 东南 大学 重庆大学	49.00	国家“十一五”规划教材
V10091	工程地质学	孔宪立、石振明	30.00	21 世纪课程教材
V13521	工程结构荷载与可靠 度设计原理(第三版)	李国强等	23.00	21 世纪课程教材、全国教材二等奖
V13795	土力学(第二版)	东南大学 浙江 大学 湖南大学 苏州科技大学	27.00	国家“十五”规划教材 21 世纪课程教材
V17025	基础工程(第二版)	华南理工大学	39.00	土建学科“十五”规划教材、21 世纪课程教材
V10092	水文学	雒文生	22.00	21 世纪课程教材

续表

征订号	书 名	作 者	定 价(元)	备 注
V11612	高层建筑结构设计	方鄂华等	28.00	北京市高等教育精品教材立项项目、土建学科“十五”规划教材
V12189	桥梁工程	房贞政	30.00	土建学科“十五”规划教材
V12188	砌体结构	丁大钧等	23.00	21 世纪课程教材、土建学科“十五”规划教材
V16570	岩石力学(第二版)	张永兴	22.00	土建学科“十一五”规划教材
V12611	爆破工程	东兆星等	20.00	土建学科“十五”规划教材
V12612	岩土工程勘察	王奎华	27.00	土建学科“十五”规划教材
V12972	桥梁施工(含光盘)	许克宾	37.00	土建学科“十五”规划教材
V12963	工程结构抗震设计	东南大学 李爱群 高振世	29.00	土建学科“十五”规划教材
V13523	建筑结构试验	易伟建 张望喜	23.00	土建学科“十五”规划教材
V13303	地基处理	龚晓南	18.00	土建学科“十五”规划教材
V12616	轨道工程	陈秀方	30.00	
V13143	钢—混凝土组合结构	聂建国等	27.00	北京市高等教育精品教材立项项目
V13476	高等学校土木工程专业指导委员会推荐教学用书 Introduction of Civil Engineering(土木工程概论)	同济大学 沈祖炎	28.00	土木工程专业本科英文版教材
V13522	特种基础工程	浙江大学 谢新宇 俞建霖	19.00	
V14011	地下建筑结构	朱合华	39.00	土建学科“十五”规划教材
V15233	路基工程	北京交通大学刘建坤等	27.00	土建学科“十五”规划教材

目 录

第1章 绪论	1
§ 1.1 地震与地震动	1
§ 1.2 地震震级与地震烈度	4
§ 1.3 地震灾害概说	6
§ 1.4 工程抗震设防	8
§ 1.5 抗震设计的总体要求	11
习题	14
第2章 场地与地基	15
§ 2.1 场地划分与场地区划	15
§ 2.2 地基抗震验算	18
§ 2.3 地基土液化及其防治	20
习题	25
第3章 结构地震反应分析与抗震计算	27
§ 3.1 概述	27
§ 3.2 单自由度体系的弹性地震反应分析	29
§ 3.3 单自由度体系的水平地震作用与反应谱	35
§ 3.4 多自由度弹性体系的地震反应分析	41
§ 3.5 多自由度弹性体系的最大地震反应与水平地震作用	49
§ 3.6 竖向地震作用	63
§ 3.7 结构平扭耦合地震反应与双向水平地震影响	64
§ 3.8 结构非线性地震反应分析	71
§ 3.9 结构抗震验算	84
习题	91
第4章 多层砌体结构抗震设计	94
§ 4.1 多层砌体结构的震害特点	94
§ 4.2 多层砌体结构选型与布置	96
§ 4.3 多层砌体结构的抗震计算	98
§ 4.4 多层砌体结构抗震构造措施	108
§ 4.5 底部框架-抗震墙砌体房屋抗震设计	112
习题	116

第5章 多高层建筑钢筋混凝土结构抗震设计	118
§ 5.1 多高层钢筋混凝土结构的震害及其分析	118
§ 5.2 选型、结构布置和设计原则	123
§ 5.3 钢筋混凝土框架结构的抗震设计	129
§ 5.4 抗震墙结构的抗震设计	144
§ 5.5 框架-抗震墙结构的抗震设计	153
§ 5.6 高强混凝土结构的抗震设计要求	162
§ 5.7 例题	163
习题	175
附表	176
第6章 多高层建筑钢结构抗震设计	181
§ 6.1 多高层钢结构的主要震害特征	181
§ 6.2 多高层钢结构的选型与结构布置	185
§ 6.3 多高层钢结构的抗震概念设计	189
§ 6.4 多高层钢结构的抗震计算要求	196
§ 6.5 多高层钢结构抗震构造要求	198
习题	207
第7章 单层厂房抗震设计	208
§ 7.1 震害分析	208
§ 7.2 抗震设计	210
§ 7.3 抗震构造措施和连接的计算要求	242
§ 7.4 计算实例	249
习题	269
第8章 隔震、减震与结构控制初步	272
§ 8.1 结构抗震设计思想的演化与发展	272
§ 8.2 隔震原理与方法	273
§ 8.3 减震原理与方法	277
§ 8.4 结构主动控制初步	284
习题	286
附录A 中国地震烈度表(1980)	287
附录B 我国主要城市和地区的抗震设防烈度与地震分组	289
参考文献	291

第1章 绪 论

§ 1.1 地震与地震动

地震是一种自然现象。据统计,地球每年平均发生 500 万次左右的地震,其中,5 级以上的强烈地震约 1000 次左右。如果强烈地震发生在人类聚居区,就可能造成地震灾害。为了抵御与减轻地震灾害,有必要进行工程结构的抗震分析与抗震设计。

1.1.1 地震类型与成因

地震可以划分为诱发地震和天然地震两大类。

诱发地震主要是由于人工爆破、矿山开采及重大工程活动(如兴建水库)所引发的地震,诱发地震一般不太强烈,仅有个别情况(如水库地震)会造成严重的地震灾害。

天然地震包括构造地震与火山地震。前者由地壳构造运动所产生,后者则由火山爆发所引起。比较而言,构造地震发生数量大(占地震发生总数约 90%)、影响范围广,是地震工程的主要研究对象。

对于构造地震,可以从宏观背景和局部机制两个层次上解释其成因。从宏观背景上考察,地球内部由三个圈层构成:地壳、地幔与地核。通常认为:地球最外层是由一些巨大的板块所组成(图 1-1),板块向下延伸的深度大约为 70~100km。由于地幔物质的对流,这些板块一直在缓慢地相互运动。板块的构造运动,是构造地震产生的根本原因。从局部机制上分析,地球板块在运动过程中,板块之间的相互作用力会使地壳中的岩层发生变形(图 1-2b)。当这种变形积聚到超过岩石所能承受的程度时,该处岩体就会发生突然断裂或错动(图 1-2c),从而引起地震。

地球内部断层错动并引起周围介质振动的部位称为震源。震源正上方的地面位置叫震中。地面某处至震中的水平距离叫做震中距。

1.1.2 地震波

地震时,地下岩体断裂、错动并产生振动。振动以波的形式从震源向外传播,就形成了地震波,其中,在地球内部传播的波称为体波,而沿地球表面传播

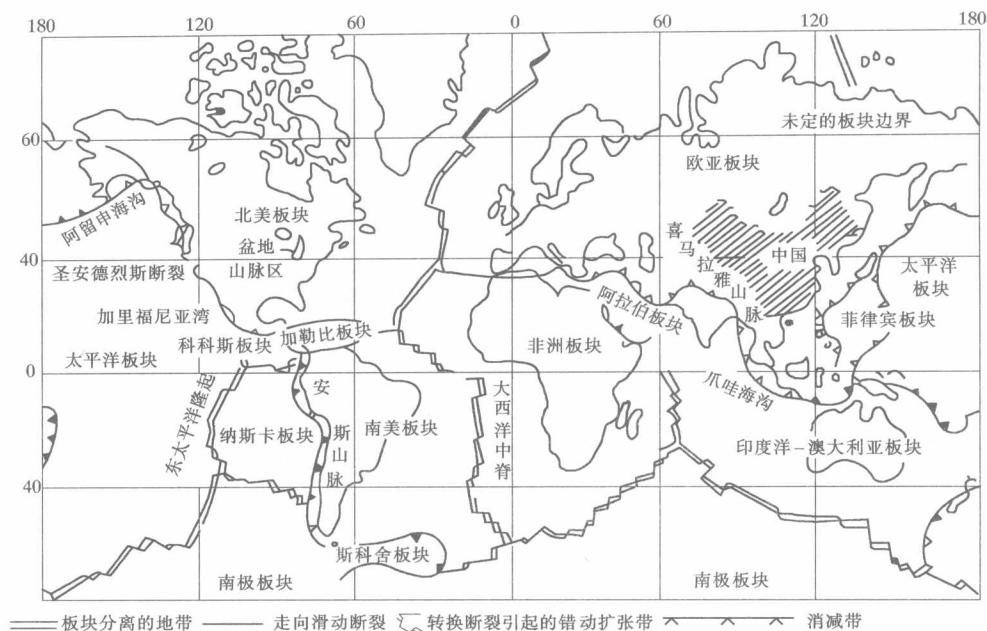


图 1-1 板块分布图

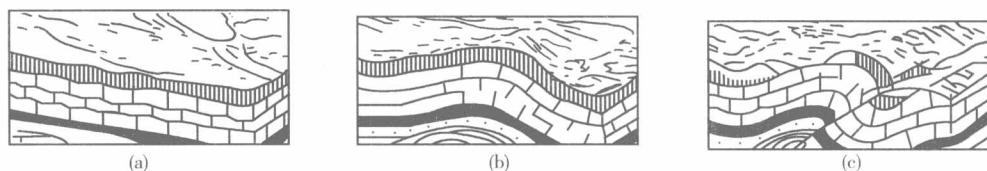


图 1-2 岩层的变形与破裂

(a)岩层的原始状态；(b)受力发生弯曲；(c)岩层破裂发生振动

的波叫做面波。

体波有纵波和横波两种形式。纵波是由震源向外传递的压缩波，其介质质点的运动方向与波的前进方向一致(图 1-3a)。纵波一般周期较短、振幅较小，在地面引起上下颠簸运动。横波是由震源向外传递的剪切波，其质点的运动方向与波

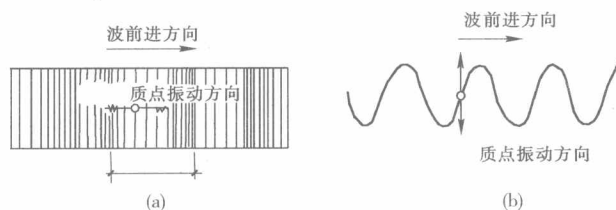


图 1-3 体波质点振动形式

(a)压缩波；(b)剪切波

的前进方向相垂直(图 1-3b)。横波一般周期较长, 振幅较大, 引起地面水平方向的运动。

面波主要有瑞雷波和乐夫波两种形式。瑞雷波传播时, 质点在波的前进方向与地表法向组成的平面内作逆时的椭圆运动(图 1-4a)。这种运动形式被认为是形成地面晃动的主要原因。乐夫波传播时, 质点在与波的前进方向相垂直的水平方向运动(图 1-4b), 在地面上表现为蛇形运动。面波周期长, 振幅大。由于面波比体波衰减慢, 故能传播到很远的地方。

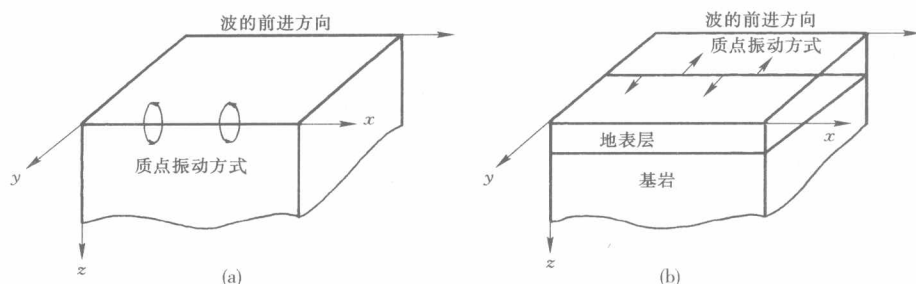


图 1-4 面波质点振动方式
(a)瑞雷波质点振动; (b)乐夫波质点振动

地震波的传播速度, 以纵波最快、横波次之、面波最慢。所以, 在地震发生的中心地区人们的感受是, 先上下颠簸, 后左右摇晃。当横波或面波到达时, 地面振动最为猛烈, 产生的破坏作用也较大。在离震中较远的地方, 由于地震波在传播过程中能量逐渐衰减, 地面振动减弱, 破坏作用也逐渐减轻。

1.1.3 地震动

由地震波传播所引发的地面振动, 通常称为地震动。其中, 在震中区附近的地震动称为近场地震动。对于近场地震动, 人们一般通过记录地面运动的加速度来了解地震动的特征。对加速度记录进行积分, 可以得到地面运动的速度与位移(图 1-5)。一般说来, 地震动在空间上具有 3 个平动方向的分量, 3 个转动方向的分量。

从前面对于地震波的介绍可知, 地面上任一点的振动过程实际上包括了各种类型地震波的综合作用。因此, 地震动记录的最明显表征是其不规则性。从工程应用角度考察, 可以采用有限的几个要素反映不规则的地震波。例如, 通过最大振幅, 可以定量反映地震动的强度特性; 通过对地震动记录的频谱分析, 可以揭示地震动的周期分布特征; 通过对强震持续时间的定义和测量, 可以考察地震动循环作用程度的强弱。地震动的峰值(最大振幅)、频谱和持续时间, 通常称为地震动的三要素。工程结构的地震破坏与地震动三要素密切相关。

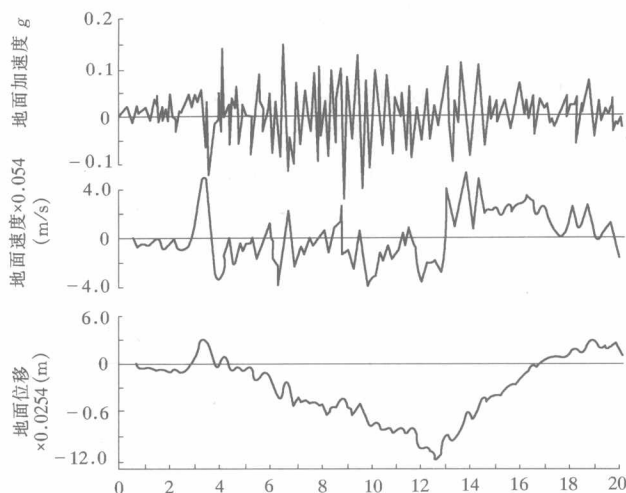


图 1-5 地面运动的加速度、速度、位移

§ 1.2 地震震级与地震烈度

1.2.1 地震震级

地震震级是表示地震大小的一种度量。其数值是根据地震仪记录到的地震波图确定的。根据我国现用仪器，近震(震中距小于 1000km)震级 M 按下式计算：

$$M = \log A + R(\Delta) \quad (1-1)$$

式中 A ——记录图上量得的以“ μm ”为单位的最大水平位移；

$R(\Delta)$ ——依震中距 Δ 而变化的起算函数。

震级 M 与震源释放能量 E (单位为尔格)之间的关系为：

$$\log E = 1.5M + 11.8 \quad (1-2)$$

上式表示的震级通常又称为里氏震级。

式(1-2)表明，震级每增加一级，地震所释放出的能量约增加 30 倍。大于 2.5 级的浅震，在震中附近地区的人就有感觉，叫做有感地震；5 级以上的地震，会造成明显的破坏，叫做破坏性地震。世界上已记录到的最大地震的震级为 8.9 级。

1.2.2 地震烈度

地震烈度是指某一区域内的地表和各类建筑物遭受一次地震影响的平均强弱程度。一次地震，表示地震大小的震级只有一个。然而，由于同一次地震对不同地点的影响不一样，随着距离震中的远近变化，会出现多种不同的地震烈度。一

般来说,距离震中近,地震烈度就高;距离震中越远,地震烈度也越低。为评定地震烈度而建立起来的标准叫做地震烈度。不同国家所规定的地震烈度表往往是不同的,我国规定的地震烈度表见本书附录 A。

对应于一次地震,在受到影响的区域内,可以按照地震烈度表中的标准对一些有代表性的地点评定出地震烈度。具有相同烈度的各个地点的外包络线,称为等烈度线(图 1-6)。等烈度线(或称等震线)的形状与发震断裂取向、地形、土质等条件有关,多数近似呈椭圆形。一般情况下,等烈度线的度数随震中距的增大而递减,但有时由于局部地形或地质的影响,也会在某一流度区内出现小块高一度或低一度的异常区(称为烈度异常)。利用历史地震的等烈度线资料,可以针对不同地区建立宏观的地震烈度衰减规律关系式。

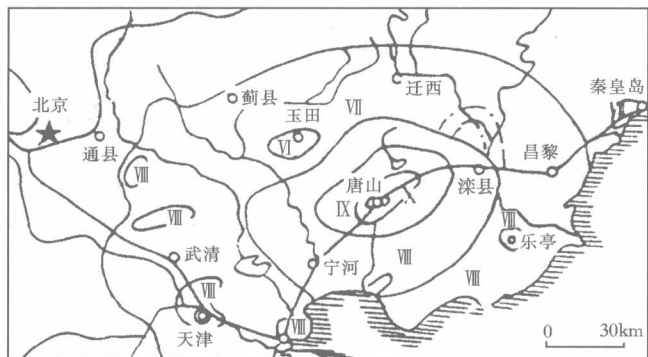


图 1-6 唐山地震等烈度线

震中区的地震烈度称为震中烈度。依据震级粗略地估算震中烈度的方法是:震级减 1 后乘 1.5,即为震中烈度。即

$$M = 1 + \frac{2}{3} I \quad (1-3)$$

式中 I ——震中烈度。

1.2.3 基本烈度与地震区划

基本烈度是指一个地区在一定时期(我国取 50 年)内在一般场地条件下按一定概率(我国取 10%)可能遭遇到的最大地震烈度。它是一个地区进行抗震设防的依据。

依据地质构造资料、历史地震规律、强震观测资料,采用地震危险性分析的方法,可以计算给出每一地区在未来一定时限内关于某一烈度(或地震动加速度值)的超越概率,从而,可以将国土划分为不同基本烈度所覆盖的区域。这一工作称为地震区划。随着研究工作的深入,地震区划已经可以给出地震动参数(如地震动的幅值)区划结果。