

高层|建筑|结构|抗震|设计

〔联邦德国〕 F. P. 缪勒尔 等著

曹善安 译



TU⁹⁷²

M82

040473

高层建筑结构抗震设计

〔联邦德国〕

F. P. 缪勒尔
E. 凯恩茨尔

著

曹善安 译



大连理工大学出版社

O.Prof.Dr.-Ing.F.P.Müller, Dr.-Ing.E.Keintzel

Erdbebensicherung von Hochbauten

本书根据 VERIAG VON WILHELM ERNST &
SOHN 版本译出

高层建筑结构抗震设计

Gaoceng Jianzhujiegou Kangzhensheji

(联邦德国)

F.P. 穆勒尔

E. 凯恩茨尔

著

曹善安 译

大连理工大学出版社出版 辽宁省新华书店经销
(大连市凌水河) 大连船舶生产服务公司印刷厂印刷

开本: 787 × 1092 1/32 印张: 8 1/2 字数: 185 千字

1989年8月第一版

1989年8月第一次印刷

印数: 0001—2000册

责任编辑: 刘杰

封面设计: 葛明

责任校对: 孙心伟

ISBN 5611-0125-2/TU · 3

定价: 1.88元

译 者 的 话

联邦德国工学博士 F.P. 缪勒尔 (Müller) 教授主编的《高层建筑结构抗震设计》1978年正式出版。此书以联邦德国建筑工程实践与科研工作成果为基础, 结合该国最新高层建筑抗震设计规范的制定, 全面而系统地介绍了联邦德国近20年在这方面的成就, 总结出一套行之有效的有关高层建筑抗震设计简明计算方法和提高建筑结构抗震性能的构造措施。代表了当代欧洲水平。该书不但内容实用, 而且基本理论叙述简明扼要, 通俗易懂, 对我国建筑工程设计有参考价值与借鉴作用, 同时, 亦可作为高等工科院校土建专业教师、研究生、大学生的参考书。

需要说明的是, 该书出版不久, 主编度勒尔教授去世, 副主编工学博士 E. 凯恩茨尔先生修订此书, 并于1984年出版第二版本。第二版与原版相比主要是在第二章、第七章的论述上更深入细微, 并增加了第十章。译者为保持原主编的编写风格, 并尊重副主编后来的劳动成果, 决定仍以原版为基础进行翻译, 但第二章与第十章按第二版进行修订与补充。译者认为这样处理较为合适。

由于译者水平有限, 错误与不当之处敬请读者批评指正。

译者

1988年3月15日 大连

前 言

联邦德国工业标准DIN4149（联邦德国地震区的建筑，普通高层建筑的荷载、设计和施工，1978年版本）新版本与迄今为止所采用规章的区别在于，对联邦德国地震区的大部分高层建筑结构均要求详细论证其抗震安全性。这种论证建立在动力计算和应遵循的构造措施上，通过必要的构造措施可使建筑结构具有良好的抗震性能和足够大的塑性变形能力。

此书的出版可使从事实际工作的工程师们掌握高层建筑结构动力计算方法与构造方面的要求，以便贯彻执行新的设计标准。

本书第一章对地震学基本原理、第二章对结构动力学基本原理做了简要说明；第三章与第四章介绍了各种不同的建筑结构抗震计算方法；第五章与第六章论述了地震荷载及其对结构扭转效应的一般计算方法与简化计算方法；第七章论述了地震区建筑结构的构造要求；第八章介绍了通常采用的建筑结构型式在抗震计算中简化处理的可能性与方法；第九章通过三个算例具体说明本书各种方法的应用。

本书§5-1至§5-3（地震荷载的确定与结构断面设计），§6-1和§6-4（地震荷载的扭转效应），以及§7-

1至7-3和 § 7-4的四（构造规则）等章节是针对联邦德国工业标准DIN4149有关条例与规定的应用而论述的，可以单独阅读。

作者

1978年7月 卡尔斯鲁厄

目 录

第一章 概 论	(1)
§ 1-1 地震学基础	(1)
一、地震波的生成与传播.....	(1)
二、地震对建筑物的作用.....	(9)
三、地震的尺度 (震级与烈度)	(11)
四、联邦德国的地震区域.....	(16)
§ 1-2 联邦德国地震区建筑物的标准与 准则.....	(19)
第二章 建筑结构的振动	(23)
§ 2-1 基本概念	(23)
§ 2-2 单自由度体系	(24)
一、振动方程式.....	(24)
二、自由无阻尼振动.....	(26)
三、有阻尼的自由振动.....	(27)
四、建筑结构地基的弹性与阻尼.....	(28)
五、强迫振动.....	(34)
六、单自由度非线性体系的强迫振动.....	(35)
七、随机干扰的强迫振动.....	(37)
§ 2-3 多自由度体系	(39)
一、自由振动, 自振频率与振型.....	(39)
二、基本振动的近似计算.....	(44)

三、强迫振动.....	(46)
四、多自由度非线性体系的强迫振动.....	(51)
五、随机干扰时的强迫振动.....	(51)
第三章 计算方法.....	(53)
§ 3-1 时历法	(53)
§ 3-2 反应谱法	(55)
§ 3-3 随机方法	(56)
第四章 按反应谱方法进行地震反应计算.....	(58)
§ 4-1 反应谱	(58)
一、反应谱的制做.....	(58)
二、影响反应谱的因素.....	(60)
三、反应谱的表述.....	(67)
§ 4-2 多自由度体系的地震反应	(71)
一、地震荷载.....	(71)
二、替代质量.....	(72)
三、振型的叠加.....	(74)
第五章 按联邦德国工业标准DIN4149进行高层	
建筑结构的抗震设计.....	(77)
§ 5-1 地震荷载的计算值	(77)
一、基本关系.....	(77)
二、水平加速度的标准值.....	(79)
三、建筑物的地基因数.....	(81)
四、降低因素.....	(82)
五、标准反应谱的系数.....	(83)
§ 5-2 地震荷载的简化计算	(85)
一、地震荷载的基本振动成分.....	(85)

二、基本振动周期的简化计算.....	(89)
三、地震时的主动土压力.....	(93)
§ 5-3 断面设计	(95)
§ 5-4 与国外相应标准的比较	(97)
第六章 地震荷载作用下扭振反应的简化计算.....	(104)
§ 6-1 地震荷载作用下扭振反应的形成与 计算.....	(104)
§ 6-2 建筑结构型式与动力扭转作用	(107)
§ 6-3 非对称单质点振子的分析	(109)
一、问题的提出.....	(109)
二、无阻尼的自由振动.....	(112)
三、具有一个对称轴振动体系的地震反应.....	(115)
四、无对称轴体系的地震反应.....	(124)
§ 6-4 联邦德国工业标准DIN4149采用的 扭振反应近似算法〔1.19〕	(125)
一、使用范围与计算假定.....	(125)
二、动力扭转作用可转化为附加偏心值 e_1	(127)
三、分析与计算对比.....	(130)
第七章 构造规则.....	(132)
§ 7-1 概述	(132)
§ 7-2 建筑结构的形状及其刚度性能	(132)
§ 7-3 力的传递	(134)
§ 7-4 延性的要求	(136)
一、体系延性与断面延性.....	(136)
二、框架结构的延性.....	(144)
三、板墙式结构的延性.....	(148)

四、联邦德国工业标准DIN4149对延性的要

求..... (153)

第八章 高层建筑结构抗震计算的替代体系..... (156)

§ 8-1 建筑结构向替代杆的化引..... (156)

§ 8-2 替代惯性矩..... (160)

§ 8-3 替代杆件的抗扭刚度..... (164)

§ 8-4 替代杆件的振动..... (166)

§ 8-5 替代杆件的地震反应..... (171)

第九章 计算例题..... (176)

§ 9-1 提要..... (176)

§ 9-2 算例一..... (177)

一、任务的提出..... (177)

二、根据DIN4149近似方法确定地震荷载..... (179)

三、考虑高阶振型确定地震荷载..... (182)

四、扭转作用..... (186)

五、断面设计..... (187)

§ 9-3 算例二..... (189)

一、任务的提出..... (189)

二、建筑结构化引为替代杆件..... (191)

三、基本振动周期与地震荷载..... (196)

四、扭转作用..... (197)

五、延性..... (199)

§ 9-4 算例三..... (200)

一、任务的提出..... (200)

二、振动周期..... (201)

三、替代杆的剪力与弯矩..... (203)

四、扭转作用	(204)
第十章 抗震设计的特殊问题	(207)
§ 10-1 目的	(207)
§ 10-2 桩基工程	(208)
§ 10-3 桥梁工程	(213)
§ 10-4 拦河大坝工程	(220)
一、问题的提出	(220)
二、土坝	(220)
三、混凝土坝	(222)
§ 10-5 大型储存液体的容器式结构工程 ...	(227)
§ 10-6 建筑结构的抗震防护问题	(234)
附录	(242)
参考文献	(251)

第一章 概 论

§1-1 地震学基础

一、地震波的生成与传播

地震是地面的震动，是由发生在地壳内和地幔内部的地质过程所激发起来的。不论是从数量上，或是质量角度分析，在工程地质里主要是对构造地震（断层地震）给予重视。由于卡斯特塌陷、火山爆发或者山崩等所激发起的地面震动只能产生局部性的强烈作用。因而这类地震仅能发生在有限的地理范围内，相对而言所释放的能量也较微小，对评价抗震安全性，预估地震荷载是没有实际意义的。因此，以下的论述仅仅限制在断层地震的生成与作用。

断层地震内部的过程类似一个剪切破坏，这种剪切破坏是由地质构造应力的集聚而生成的，并沿着一条大都在震前已经存在的断裂面扩展。于是，断裂带内储存的变形势能的一部分将转变成其它形式的能量。断层或断裂过程进行的非常缓慢（每年10厘米），因此实际上所释放的总能量皆耗散到两断裂块体的位移上去。当断裂速度较高时，一部分能量要转变成地震波形式的动能〔1.1〕〔1.2〕〔1.3〕〔1.4〕。地震发生点称为震源，它在地面的垂直投影点称为震中（图1.1）。震中周围、人们能感受到地面运动的区域

称为震区。强震的中心大多是位于新鲜岩层折皱处或地壳的断裂地带，并且主要是沿着两个大的弧形带分布（图1.2）。第一个弧形区包括太平洋的边缘区域（太平洋弧形地带）。第二个弧形区（地中海—横贯亚洲地区）主要是东西向，由亚速尔群岛经过地中海和南欧地区，然后沿着中亚高山地带于苏门答腊与太平洋弧形地带相遇。此外，海底凸起部位也发生频繁地震。最后，强震中心同样位于大陆上的低洼区域

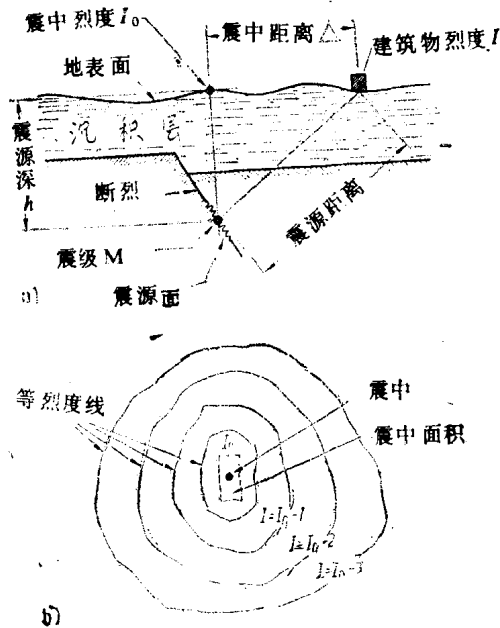


图1.1 震层地震

(a) 通过震源的横剖面

(b) 地震等烈度线

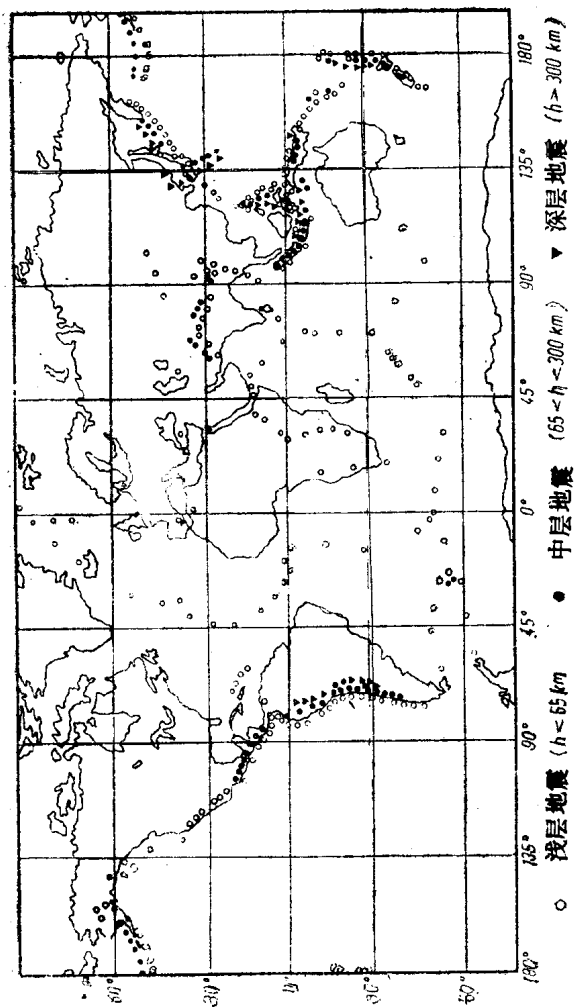


图1.2 强震震源的地理分布图·按照文献[1.5]

○ 浅层地震 ($h < 65 \text{ 公里}$)

● 中层地震 ($65 < h < 300 \text{ 公里}$)

▼ 深层地震 ($h > 300 \text{ 公里}$)

（例如，东非，贝加尔地区）。小震在所有国家均可遇到。从实际记录到的地震总数中大约80%发生在太平洋弧形区域内，大约15%发生在地中海横贯亚洲区域，5%发生在其余地震区域内。震源在深度上的分布对每个地震区而言是可以表明其特征的，且是个具有重要意义的量。如果震源仅仅位于居民区域以下几公里，那么可能在一个较狭窄范围内产生巨大的损失；如果震源很深，那么在释放同等能量情况下，虽然有感震区范围要大，但所造成的地区性损失是轻微的。所有记录的地震大约有85%的震源深为0~65公里；12%深为65~300公里，3%地震的震源深为300~700公里。

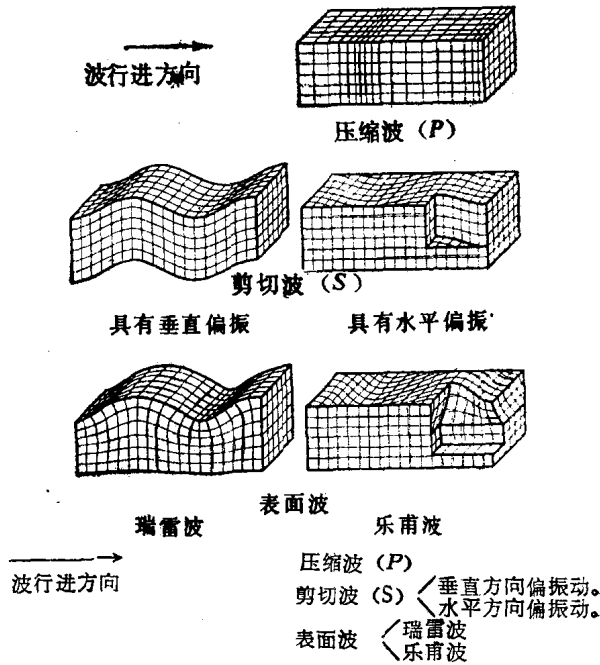


图1.3 地震波，根据文献[1.2]

一部分地震波以纵向和横向空间波的形式在地球内部运行；而另一部分是以表面波的形式沿着地壳表面传播。纵波或称压缩波，传播介质的质点运动方向与波的行进方向一致；横波或称剪切波质点运动方向与波行进方向垂直。纵波的传播是通过传播介质体积的变化，而横波的传播则是通过介质形态的变化。表面波区分为瑞雷波与乐甫波两种。当瑞雷波通过时，地面质点在垂直地表平面内做椭圆形运动，乐甫波通过时，地面质点则做纯水平向的运动（图1.3）。根据理论研究可得出在线弹性、各向同性传播介质条件下纵波的传播速度为：

$$v_l = \sqrt{\frac{E_s}{\rho}} = \sqrt{\frac{K + 4G/3}{\rho}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} \quad (1.1)$$

同理可得横波传播速度为：

$$v_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.2)$$

式中 $E_s = \frac{E(1-\mu)}{(1-2\mu)(1+\mu)}$ —— 刚度模量，

E —— 弹性模量，

$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ —— 剪切模量，

$K = \frac{E}{3(1-2\mu)}$ —— 压缩模量，

$\lambda = \frac{\mu E}{(1-2\mu)(1+\mu)}$ —— 拉梅弹性常数，

$\mu (0 < \mu < 0.5)$ —— 泊桑比，

ρ —— 密度。

取传播介质泊桑比值的平均值 $\mu = 0.25$ ，则由式 (1.1) 和 (1.2) 可推导出：

$$v_1/v_2 = \sqrt{\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu}} = \sqrt{3} \quad (1.3)$$

由于纵波传播速度快，地震发生时，距震中相同处的纵波较横波先到达，因而纵波又被称为初波，用 P 波表示，而横波用 S 波表示（次波的意思）。根据地震仪所测的 P 波与 S 波到达时间的差异，可以确定震源的距离。图 (1.4) 表示出纵波与横波速度 v_1 和 v_2 测量值与震源深度之间关系图。由它们的分布规律可以决定地球内部的层次构造。根据图上所示，在2900km深处， v_1 的跳跃式突降可以推断出存在一个高密度的地核。在地核处横波的消失则说明此处不具有抗剪刚度，即必须具有液态的特性。

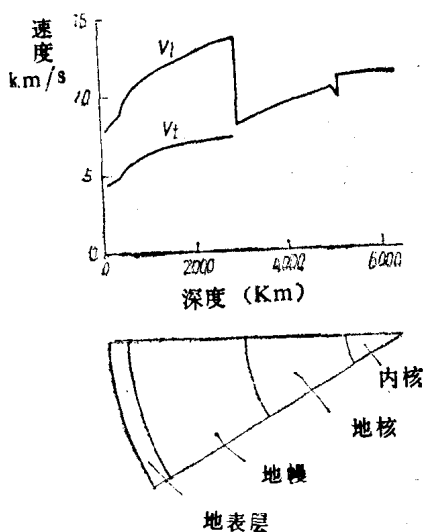


图1.4 空间波速度 v_1 、 v_2 和地球内部构造，根据文献[1.6]