

地震学概要

王耀文 編譯

地 震 学 概 要

王 耀 文
王 子 昌

編譯
校

KLEINE
ERDBEBENKUNDE
VON
DR. KARL JUNG
ZWEITE VERBESSERTE AUFLAGE
6.-II. TAUSEND
SPRINGER-VERLAG
BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

1953

本書主要是根据德国 K. 楊格(Jung)博士所著地震学概要“Kleine Erdbebenkunde”一書編譯而成。書中对于地震学的主要問題，不論是宏觀地震或微觀地震，都作了系統的叙述，并且对于地震学用于探矿、測量海水深度、測量高空大气的声速和温度、偵察核爆炸等方面也作了簡要叙述。全書中沒有用到数学，因此学习数学較少的讀者也能全面地了解地震学的基本內容。

本書可供地震和地震勘探工作者和有关院校地球物理专业学生参考。对土建人員來說也可以作为参考。

地 震 学 概 要

編 譯 者	王 耀	文	
校 閱 者	王 子	昌	
出 版 者	地 質 出 版 社		

北京西四羊市大街地震部內

北京市書刊出版業營業許可證出字：050号

发 行 者	新 华 書 店 科 技 发 行 所		
經 售 者	各 地 新 华 書 店		
印 刷 者	地 質 出 版 社 印 刷 厂		

北京安定門外六鋪炕10号

印数(京) 1—2500册

1960年2月北京第1版

开本787×1092¹/₃₂

1960年2月第1次印刷

字数150 000

印张61⁴/₁₆ 插頁

定价(10) 0.94 元

序

地震是人們現在所知的自然現象中最严重的灾难之一，地震的力量是这样的巨大，它可以在瞬刻之間毁灭人类所兴建的一切劳动成果。1556年陝西关中大地震时，轉眼之間就死了八十余万人。地震和經濟建設也有极其密切的关系，了解某一地区所能发生地震的最大烈度，掌握有关防震措施的基本知識，就能大大地減輕和免除不必要的損失。地震預报的研究更將使人們进一步地了解地震，从而减少对人类的威胁。所以每一个人，不論是否直接从事于有关地震方面的工作，都應該对地震及其研究有一个較全面的認識。

地震学概要主要是根据德国K. Jung博士所著的“Kleine Erdbebenkunde”編譯而成，这是一本叙述地震学中許多主要問題的書。不論在宏觀地震方面，或是在微觀地震方面都作了較系統的叙述，并且对地震学应用于探矿、測量海水深度、測量高空大气的声速和溫度、偵察核爆炸等方面也作了簡明扼要的叙述。在全書中並沒有用到数学，完全以叙述的方式来闡明地震学中的基本現象和理論。这样使学习数学較少的讀者也能很好地、較全面地了解地震学的基本內容。

本書除了供給从事地震及地震勘探工作者和大学中地球物理专业的学生参考以外，对土建工程人員也是一本好的参考書，因为書中述及到有关防震建筑的一些基本措施和土壤、地层对地震烈度的影响，这些对今日社会主义的基本建設來說是很重要的參考資料。又因为簡明扼要，全部用浅近的描写的笔法來說明地震学中的基本理論，所以也是一本很好的通俗讀物。

限于本人的水平和时间的限制，在本书中不可避免地存在着许多缺点和错误，本人热忱欢迎并乐意接受来自各方面的意见和批评。

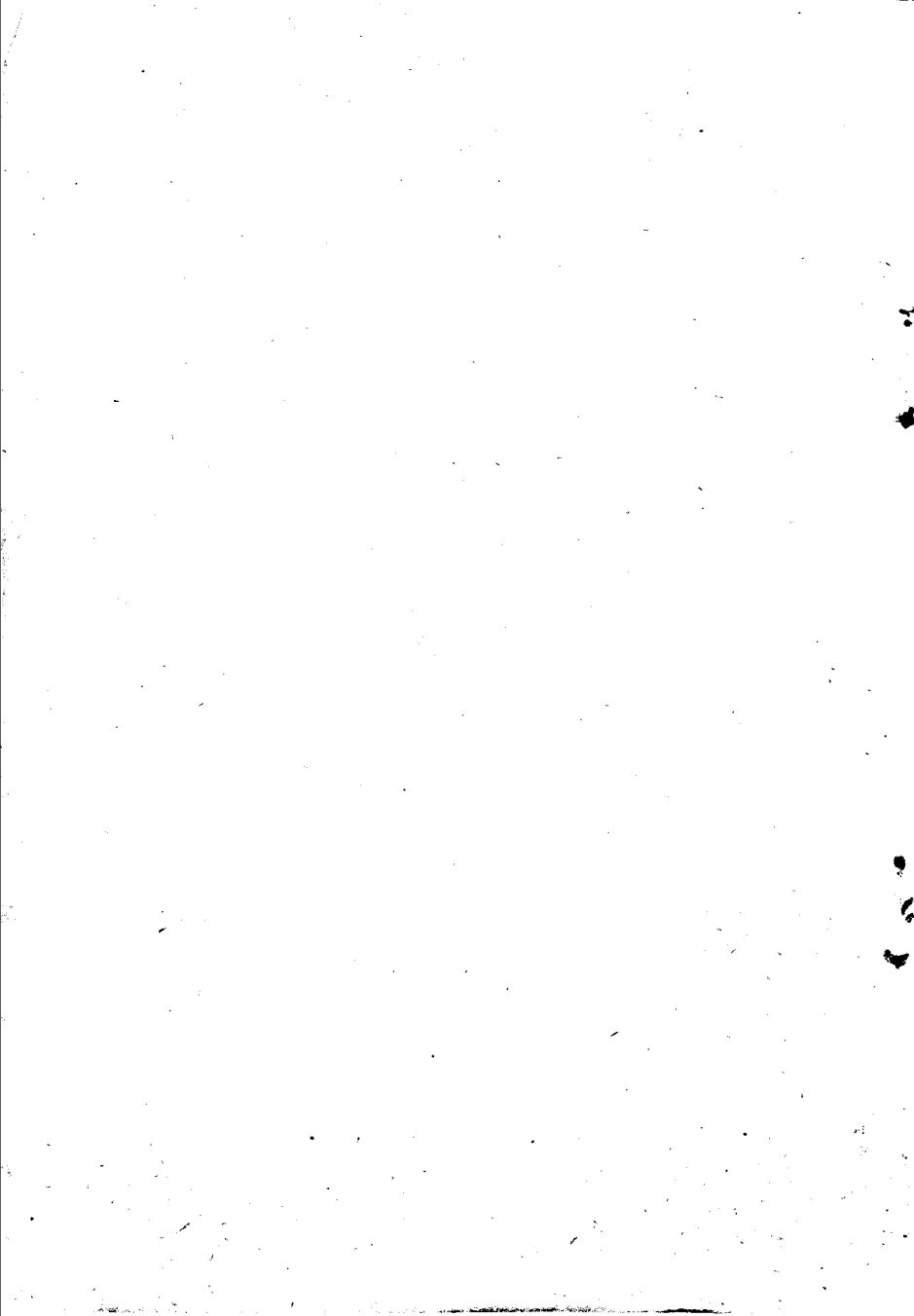
在改编过程中曾得秦馨菱教授的指点不少，更蒙王子昌教授细心校阅，特在此致谢。

王 耀 文

1958年10月于中国科学院地球物理研究所。

目 录

序	3
地震及其对科学和实践的意义	7
地震学的基本概念	10
地震现象和地震强度	13
震动地区的地震现象	13
地震损害	25
地震的强度和能量	38
地震的本质和原因	62
地震的频率和地理分布	70
地震的记录	82
地球内地震波的传播	114
根据近震和大爆炸推测地壳构造	145
脉动	152
地震学的应用	161
地震勘探的方法	161
地震研究的方法轉用于海空的探测	177
地震预报	183
参考文献	196
地名对照表	199
人名对照表	205
名词对照表	208



地震及其对科学和实践的意义

地震是地表面附近的震动，它的破坏力几乎没有一种自然现象能够与它相比拟，一个强烈的地震能够在几秒钟内毁坏人类所有的劳动成果，即使是一个轻微的颤动也能显示出它所潜伏着的无比的破坏力。自古以来地震夺取了千百万人的生命，毁灭了无数的财富。大家知道，人口稠密地区的强烈地震是一种最严重的自然灾害。许多地震都造成了成千成百人的死亡，在有些情况下死伤的人数甚至超过了十万人。有些地震的损害能够把一个繁华城市的财产全部毁灭无遗，有时可以与一次战争的损失相比拟。

我们研究地震的动机有很多。在这些破坏性地震发生较频繁的居住地点，自然企图尽量减少这种破坏的作用。在这里地球物理学者和地质学者共同地工作着，探讨地震的原因、本质和破坏力量，寻找震动中心和设法来详细地认识地震发生的过程。内中特别重要的还是阐明地层类型和地震强度之间的关系。这些关系在房屋建筑和自来水、煤气供给设备等的防震措施方面，以及尽可能防震的城市规划方面，给了工程师许多重要的资料。

地震发生在地球的內部。它們給出了地質观察所不能到达的深处的情形，而这些地方原先就是最有果斷的科学推测，也仅能提供一些完全不可靠的臆想。地震是能够比較准确地确定深度位置的唯一的自然现象，因此对地球內部的研究就有基本的意义。

震动以波的形式从发源地沿所有方向传播出去，并扩展到整个地球。如果一个地震相当强的話，那末在地面各处用精密的灵敏仪器就都能记录下来，同时也能精确地追踪它传播的情形。地球构造上的每一个不規則性都可以在地震传播的不規則性中显示出来。地震波是地球物理学者的“伦琴射线”。象伦琴射线透过人体一样，地震波也穿透固体的地球；象医生从伦琴射线摄成的相片中察看人体的构造一样，地球物理学者从地震的传播中来研究地球的构造和层次。

地震这门学科还是年轻的。約在本世紀之初，基本上克服了远震记录技术上的困难和設立許多地震观测台站进行记录以后，它才发展起来。在这些发展中，中国的研究者也曾經做了一些工作，尤其是解放以后。我們設計及仿造了許多仪器，用这些仪器可以得到地震整个过程的清楚的记录，因而有可能来詳細地了解地动的过程和大小。我們在地震活动区域内設立了許多第一流的地震台。此外又整理了我国三千多年来的丰富的地震資料，根据这些历史資料和近代用仪器观测到的資料，我們初步完成了全国的地震区域划分，制定了中国的地震烈度表，而在以前我国鑑定烈度时，都是用不太适合中国实际情况的外国烈度表的。我們也进行了許多新的工作，如在沿海一带进行脉动的观测并用来探测风暴的中心，以及震源机制、防震措施等方面的研究。最近我們正在准备进行地震预报的研究，这是一个地震学中最根本的問題。一旦解决了這個問題，也就使人們对地震的預防从以前治标的过程中进到治本的过程，也就使地震学产生一个新的轉折点。

从很远的发源地而来的地震波是穿过地球深处的，所以受岩石壳层的不規則性的影响也就比較小。相反地，近震的

地震波則仅滲入表面的几层地层，因此記錄的情况基本上依赖于震源的位置和岩石壳层的构造。所以远震适用于研究地球内部的深处，而近震則仅适用于研究岩石壳层。

将近震研究的方法轉用于地壳內重要的含矿表层上，研究的区域范围还要更小才行。現在我們已經不再利用天然地震了，我們可以在适当的地方，于选定的時間用少量炸药来激发一个人工地震，并用可携带的測震計来追踪它的传播。这种想法已經付之实践，同时发展成一門有經濟价值的“应用地震学”。在寻找地下蘊藏的矿产中，它的实用价值年年增长。在建筑地基的研究中，应用人工引起的有規則的地面振动也具有很大的优点。

将人工地震轉用于海洋上时，人們利用回声測深的方法能迅速地 and 簡便地确定海水的深度；远震研究的方法也被轉用于高空大气的研究，这种研究主要是利用爆炸的声波。

地震学的内容是非常丰富的。限于本書的篇幅，不可能給出有关地震研究及其应用現狀的一个詳細的全貌。如果讀者希望詳細知道个别問題，那么从文献目录中将可以解决所希望知道的問題。

研究是永不停止的，并不是每一个問題都已經解决了。最近时期已經得到一些結論和发现，这些結論和发现迫使我們修改目前的概念。在許多問題上，各个研究者的見解是有相当分歧的，并且常常不可能立即判断这个正确还是那个正确。在这种情况下，讀者或許会感到某些模糊之处，但是这也是必然的，因为在这里，大自然仍然是一个謎，这里也正是未来研究的領域。

地震学的基本概念

地震是固体地球的天然震动，它們从地球内部的一个发源地发出，同时经过并传遍地球。当地球内某一个地方累积的能量突然释放时就形成地震。

并不是所有的地面震动都是地震。交通运输的、工业的和工作时的地面颤动是与地震毫无关系的。由于海浪、激浪和风等所引起的这种经常存在的天然脉动，也不能看作为地震。这些运动强烈时甚至可以发生干扰作用，具有的强度足以使许多地震台上记录到的地震记录模糊和盖没。但是这种天然的脉动对地质研究并不是没有意义的。

是否应当将某些稀有的现象，例如巨大爆炸和陨石坠落时的震动算为地震呢。回答这个问题就比较困难了。它们发生的原因固然不同，但是地动的传播却是与地震一样的。一般将这样的情况称为地震类型的事变，而在科学的研究上则象地震一样来处理。

地震的传播是以波的方式前进的，可以与大家都知道的石块或雨滴坠落于水中时四周水面所形成的波环相比拟。地震运动在物理性质上是与声波或光波相类似的，因而人们可以称之为地震波，并且将波传播的定律应用于地震冲击上。

一个震动的开始，特别是在发源地的附近，大都是冲击式的，以后形成规则的波。在这些振动中各个地面质点有规则地上下或来往地振动着^①。静止位置、波峰（最大）、波谷

①数学上称为正弦振动。

(最小) 这些名称是大家都已经知道的。从静止位置量起的波峰的高度或波谷的深度称为振动幅度(振幅)。从波峰顶点到波谷深处的全部振动幅度称为双振幅。波是以传播速度沿传播方向前进的。波长是在传播方向内波峰和波峰或波谷和波谷之间量得的距离。人们将波前进一个波长的时间称为振动时间(周期)。它与地面质点的一个来回振动的持续时间相等。

地震在深处的发源地称为源，科学术语称为震源。震源在地面的投影就是震中。震动区域是不用仪器帮助而能够感觉到地震的区域，在大多数的情况下是围绕着震中的。记录区域即用仪器可以觉察到地震的区域，在强大地震时包括全地球。用震中区域来表示震动区域，又常常仅是表示震动区域的一部分，这一部分是有地震发源地的特征的。

装置地震记录仪器全部设备的地方称为地震台。具有固定仪器配备的较大的地震台称为地震观测台。从震中到一个台或一个观测点之间沿地面所量得的距离以震中距离来表示。震源的深度称为震源深度。震中距离以千米(km.)或度数来量， $\frac{1}{4}$ 的地球圆周=10 000 千米=90°，因此 $1^\circ=111.1$ 千米。震源深度是用千米来表示，有时用地球半径的分数(大多数是百分数)来表示。地球半径或地球球体中心的深度为6371千米；最大可能的震中距离，也就是 $\frac{1}{4}$ 的地球圆周，是20 000千米。大多数地震震源的深度都不到100千米；到现在为止，已经证实的最大震源深度大约700千米。

根据震中的地理位置分陆震和海震。根据震中距离分地方性地震(本地地震)、近震、远震和超远震。在震动区域内观测到的地震称为地方性地震，在震中距离小于1000千米内所观测到的地震称为近震，远震是震中距离10 000千米

左右範圍內所觀測到的地震，超遠震則離開震中的距離更遠。

根據地震的強度，區分地震為小震、中震、大震和世界震。最強大的震動全地球都能記錄到。

根據震源的深度分表面的或正常的地震和深震。深震的震源在地面下深於70千米的地方，約在30年前才發現。現在正在大力地研究着。它們的本質和原因還沒有完全弄清楚。它們是較近代地震研究中的一個最有趣的和最有希望的問題，因為從它們的研究中可以探索地球內部的秘密。

關於地震的原因以後還要詳細地講到。這裡只提一下正常地震中人們所知的爆發地震（火山地震）、陷落地震和構造地震（造山地震）。外行人見到火山噴發時的情形和岩漿流出時的高溫等表面現象，常以為火山地震是最厲害的地震。其實並不如此。地震中以構造地震最強烈，它的破壞力遠遠超過火山地震，同時也是最有意義的。在地震學中火山地震只占着微小的地位。

研究地震的科學稱為地震學。凡與地震有關的一切稱為地震的……。宏觀地震學是不用地震儀器而在震動區域進行研究；微觀地震學則利用地震儀器來進行地震記錄。地震記錄的儀器稱為地震儀，它的記錄稱為地震記錄圖。

地震發生的時刻稱為發震時刻，地震衝擊到達觀測點的時刻稱為到達時刻。它們之間的時間稱為走時。走時隨震中距離而增加。走時和震中距離的關係用圖表來表示，也就是一種地震波行駛的時刻表，這種圖表稱為時距曲綫圖表。以後我們對時距曲綫還有許多的討論。地球內部的研究就是以時距曲綫為根據的。

地震現象和地震强度

震动地区的地震現象

从1923年9月1日日本大地震的記錄中証实，在离开震中約9000千米的中欧，地动的全振幅（双振幅）还大于 $\frac{1}{2}$ 厘米。在另一个日本地震（1933年3月2日的三陆地震）中，中欧的地动甚至大于2厘米。它們是一种很緩慢的振动，周期約30--45秒，传播速度約4千米/秒，因此波长就有120--180千米。波长这样长的运动使广大的地区，大約整个柏林市，一齐平稳地往复振动着。显然，这种运动既不能看見，又不能感觉到；只能够用特殊的仪器才記錄到。

一个震动所引起的地动在离开它发源地約为四分之一的地球圓周处还能够有厘米的大小，則可以想象到在震中处必然会发生猛烈的作用。的确如此，1923年9月1日的地震毁灭了大城市东京和横滨，1933年3月2日海震发生时，地震激起的巨浪（震浪）蹂躪了三陆行政区內的日本东海岸的广大地区。

震中区域内的振动主要是1到2秒的短周期振动，或者更短一些。1923年9月1日的日本地震，在东京主震的周期为1.35秒。这样的运动使地顛簸和松动，并且会使建筑物发生危险的振动，在严重的情况下这些振动会引起破坏。

震中附近的振幅与在甚远处量到的振幅相比較，常常并不太大。根据东京地震研究所的記錄，上面述及的东京地震主震的双振幅为8.9厘米；著名的日本地震研究者今村明恒根据几个精密的观测估計，以后振动的双振幅大約为20厘

米，所以只為中欧記錄到的運動的40倍左右。

日本大地震時東京主震的雙振幅為8.9厘米，並且估計以後振動的雙振幅大約為20厘米。這些振幅為幾個厘米，最大為幾十個厘米的波有約 $\frac{1}{3}$ 千米的波長，所以它們是很平坦的，不能夠看到。但是當疏松和潮濕的地層被地震沖擊震松了，並按照固有的規律而激起類似於水波樣的傳播的獨立振動時，情況就不同了。這時能夠出現可以看見的地動。有人曾經觀測到，高約30厘米、長約10米的波怎樣從各個不同的方向來到和以稍快於步行的速度緩慢地向前移動。

如果地震第一個振動的周期短於 $\frac{1}{20}$ 秒左右時，它的振動可以與打鐘而引起的振動相比較，並且也發出可以聽見的聲音，同時形成地震波。傳播而來的、振動較慢的地震運動也能够使巨大的岩塊相互運動，在斷裂處的摩擦就能够形成可以聽見的聲音，這些聲音可以與拉摩一根提琴弦所發出的聲音相比較。在弱震時，人們能夠聽到聲音，而並不感覺到震動。

地震發生的現象是極其多樣的，大致可以這樣說：沒有一個地震是和另外一個地震相同的。一般說來，在中等強度的震動時會順序地發生下面一系列現象。

首先是地震的聲音，很低，接近於可以聽到的強度，所以不是每一個人都能聽到。以後是短促的振動（4到5秒鐘），這種振動類似於一輛載重很重的汽車在凹凸不平的石塊路上駛過時所引起的顫動。幾秒鐘以後，出現振幅較大而波長較長的振動，它們的周期從 $\frac{1}{2}$ 秒到1秒。有時這種運動經過多次起伏以後，震動就減弱到不能感覺了。还能够聽到延長幾秒鐘的聲音。

常常有幾個震動在幾秒鐘內互相連續地發生。以後各個

現象就斷續地發生，並且是互相交錯的；這些震動比較起來是持續得相當久的。按照各個衝擊的數目、震動強度和震中距離，全部震動的持續時間約從10秒到3或4分。未受過訓練的觀察者由於看到和聽到很多的現象，對震動的持續時間太多估計得太長。

地震時或地震前後發生的發光現象也是地震的一種伴生現象，這種發光現象有時甚至在離開震中區域比較遠的地方都能看到。發光的顏色、形狀和持續時間是極不相同的。

從震源同時出發的各種地震波以不同的速度在不同的路徑上传播。在震中距離較大處，它們因為速度不同，通過的路徑不同，因而到達的次序也就不同。觀測台上記錄到的地震波大都是衝擊形式的震相。震中距離愈大，這些震相到達觀測台的時間差也就愈大。一個超遠震的記錄能夠持續數小時之久，而在震中內地震的全部過程只持續幾秒鐘。

遠震記錄的第一個震相常常是頗為尖銳的，因而在分析處理它們時，可以將震源區域看作為小的、時常是點形的區域。但是在地震調查時常發現震源的範圍及地震所發生的作用相當大，而且從地質上也已經証實震源常常就是伸長的裂縫或斷層。有時作為震源的斷層甚至延長了數十千米，有的甚至數百千米。這樣看來，分析處理時的假定似乎與事實有矛盾了。假如我們認為震動不是在頃刻之間就涉及整個震源，而是在震源區域中的某一個有限的地方開始，然後從那里出發的地震波才激起其餘震源區域的震動，那麼這個矛盾也就解決了。

在從震源到觀測點的路上，震動運動的變化方式是多種多樣的。地球的表層是一層岩石殼，它不是一個均勻的剛性整體，而是由無數的、形式很不同的“塊”所組成，好像一個

巨大的嵌鑲彩玉的雕刻品一样。它的組成部分能够单独地或者結合在一起作独立的振动。地震冲击到达时激动它們，它們的振动就是我們所观测到的地震。如果地下岩石复盖有疏松的、多砂的、潮湿的地层，則各按它們的厚度和它們所組成的物質可以減輕或加强震动。就一个地震所引起的損害而論，这种地下岩层的影响是有决定性作用的。

在震中区域，表面的地层有时发生巨大的变迁。随着地震同时发生地块的移动，这种移动的地块常常是很巨大的。在大多数的情况下，它們仍然隱蔽在深处。但是当震源伸延到地表面时，地块移动就可以看見了。当地块移动时，整块的土地沿着一个大多是几乎豎直的断层面相互地移动。移动可以在豎直方向或在水平方向发生，或者在豎直和水平方向同时发生。地块的傾斜也是常常发生的。日本根尾谷处的著名的断层就是一个突出的例子，它是在1891年10月28日浓尾地震时形成的（图1）。在以前通行的而現在中断了的道路上

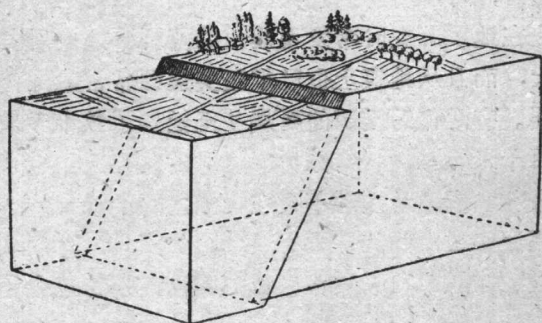


图1. 1891年10月28日浓尾地震（日本）时，根尾谷水島附近的断层。前面的地块下陷6米，側面移动为2米，断层长112千米（根据小籐文次郎的一张图片）