# 层状介質的几何地震学

IO. B. 黎兹尼琴柯

科学出版社

# 层状介質的几何地震学

Ю. В. 黎茲尼琴柯著

刘 光 鼎 譯

科 学 出 版 社

1958

Ю. В. РИЗНИЧЕНКО
ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИКА
СЛОИСТЫХ СРЕД
ТРУДЫ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ГНОФИЗИКИ
ТОМ II
ИЗДАТЕЛЬСТВО АН СССР
Москва Ленинград
1946

## 內 容 簡 介

本書主要是討論了用反射波法、折射波法及井中观测法进行地震勘探时，解释所得地震时距曲綫的基本問題。同时闡明了时間場的一般方法，应用这种方法可以根据各种类型波的时距曲綫来測定多层介質的結构。

本書可供地震勘探业务工作者与研究工作者参考。

# 层状介質的几何地震学

Ю. В. 黎茲尼琴柯著
刘 光 鼎 譯

科学出版社出版（北京朝阳門大街 117 号）
北京市書刊出版业营业許可証出字第 061 号
中国科学院印刷厂印刷 新华書店总經售

1958 年 10 月第 一 版　　書号：1395　字数：109,000
1958 年 10 月第一次印刷　　开本：850×1168　1/32
（京）0001—1,300　　印张：4 1/8

定价：（10）0.70 元

# 序

本书的目的是討論应用反射波法、折射波法以及井中观测法进行地震勘探时，解释所得到的地震时距曲綫的基本問題.

作者对于这些問題研究了許多年：从 1937 年到 1943 年. 在此期間內无論在理論方面或实驗方面所得的結果，大部分都以单独的文章和报告的形式发表过. 本书是那些工作在某种程度上的綜合. 因此，其中某些个别問題只大略地加以敍述，許多問題只能限于引用結果. 这方面首先是实驗部分，它离开本书的主題，即离开研究地震时距曲綫的計算問題稍远一些.

作者愿意在这里指出，在国內外的文献或在某些其它資料中所提到过的解决这方面所有基本問題的途径. 这个繁重的工作由于其中大多数可以利用作者所提出的时間場法来进行研究，而部分地得到減輕. 因此，似乎可以免去重复那些对于解答特殊問題很有意义、并且也很重要的方法，因为要敍述它們的地方太多了. 同时，我覚得还要保持主要問題方面的完整性.

在反射波时距曲綫的計算方面，时間場法的应用还可以較快地获得某些新問題的一般解答；本书也要談到这些一般解答. 而折射波时距曲綫的解答是和它們有联系的.

除一般情况的討論之外，这里还发表了某些特殊問題的全部計算. 下面就是屬于这一类的問題：有平分界面和曲分界面存在时，根据反射波时距曲綫对速度的測定；根据反射波时距曲綫，測定具有水平分界面的多层介質的层速度；以及井中观测时，地层产状要素和层速度的測定. 其中某些計算以前还沒有发表过.

作者对 Г. А. 甘布尔采夫 (Гамбурцев) 教授、苏联科学院通訊院士 А. Н. 吉洪諾夫 (Тихонов) 和 С. В. 齐比索夫 (Чибисов) 教授表示深深的謝意. 作者經常以甘布尔采夫教授的思想作为方針，而

后二位則多年来对作者的理論研究給予經常的关怀.

本书是在 С. Л. 沙鮑辽夫(Соболев)院士、Г. А. 甘布尔采夫教授和 А. И. 扎鮑罗夫斯基(Заборовский)教授亲切地审閱之后出版的. 作者衷心地接受了他們宝貴的指示, 并且在最后敍述时曾經过尽力考虑.

Ю. В. 黎兹尼琴柯



此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

# 目　录

序
引言……（1）
第一章　地震观测解释方法的发展史……（3）
§1. 时距曲綫法，发展的第一个阶段……（3）
§2. 地震記录的形状、振幅和周期……（4）
§3. 时距曲綫法，发展的第二个阶段……（6）
第二章　几何地震学的基础……（9）
§1. 初至……（9）
§2. 波的对比追踪……（13）
§3. 单波的波前与相位……（17）
§4. 反射相位的物理解释……（20）
§5. 折射的对比追踪……（23）
§6. 反射与折射的关系……（26）
§7. 几何地震学原理的廣义解释……（29）
第三章　时間場法……（32）
§1. 时間場的微分方程式……（33）
§2. 时間場……（34）
§3. 廣义地震时距图……（35）
§4. 基本問題——根据已知时距图作时間場……（36）
§5. 解答的两种形式……（37）
§6. 論解答的存在……（39）
§7. 多层介質……（41）
§8. 均匀介質时間場的計算……（42）
§9. 平面波……（44）
§10. 球面波的折射与反射……（45）
§11. 时間場的相互关系……（50）
第四章　反射波时距曲綫的解释……（56）
§1. 問題的情况……（56）
§2. 已知速度的二层介質……（60）

§3. 已知速度的多层介質 …… (61)
§4. 速度是未知的情况 …… (62)
§5. 在平面界面情况下速度 $V$=const 的測定 …… (63)
§6. 在双曲綫状时距曲綫情况下，反射面的形状 …… (65)
§7. 在非平面界面情况下速度 $V$=const 的測定 …… (70)
§8. 根据反射波时距曲綫系測定层速度 …… (75)
第五章 折射波时距曲綫的解释 …… (86)
§1. 問題的情况 …… (86)
§2. 透过波的情况 …… (89)
§3. 滑行波的情况 …… (92)
§4. 地震輻射入射点的几何位置 …… (95)
§5. 追逐时距曲綫 …… (97)
§6. 相遇时距曲綫 …… (99)
§7. 多层介質，第（$n$+1）层折射面的測定 …… (101)
§8. 論根据折射波时距曲綫測定复盖层中速度的可能性 …… (102)
第六章 井中观測时距曲綫的解释 …… (107)
§1. 問題的情况 …… (107)
§2. 水平层状复盖介質的情况 …… (108)
§3. 水平方向上不均匀复盖介質的計算 …… (113)
摘要 …… (115)
参考文献 …… (119)

# 引　言

从地震勘探的观点出发，所有地質介質都可以看成是"层状的"，即看成是彼此在弹性性質上有多多少少显著差别的个别区域或"地层"所組成的．在每层的范围之中，可以将这种性質訊为是不变的，或者是連續地逐漸变化的．

利用层状介質中弹性波反射現象和折射現象的研究，地震勘探可以作出关于介質結构的結論，即关于个别地层分界面分布及其弹性性質的結論．以后，将所得到的結論化为地質的語言，并应用于实际．

对于現代地震勘探所研究的介質来說，地震波传播的速度值如果不是唯一的，也是主要的弹性性質．經驗和理論都指出，实际上可以相当近似地将縱波和横波的传播速度訊为是介質中各点坐标的函数．上述函数通常訊为是标量的函数，即介質是各向同性的*．

現代地震勘探将其所有定量的結論都建立在整理縱的及少数横的（一般地說，面波在勘探上沒有什么用途）地震波时距曲綫的結果上．这种整理工作就是根据几何地震学的原理进行的．

这种原理在测震学中的应用，并不能訊为是一种公理．在本书的第二章中将要对它的理論和实驗的基础加以討論．首先根据文献資料，其次是主要根据作者于 1938—1943 年內所参加的、由 Г. А 甘布尔采夫教授总領导的苏联科学院理論地球物理研究所地震实驗室的野地地震实驗研究来討論的．

---

* 在 И. И. 顧尔維奇（Гурвич）的文章 [26] 中討論过各向異性介質情况下的几何地震学問題．該文指出，在簡单的情况下，各向異性介質的問題可以利用空間的仿射变換化为各向同性介質的問題．但是，还可以有更一般的看法．利用更普通的空間变換可以引到一系列极为广泛的問題：由不均匀介質和各向異性介質問題到相当的最簡单的均匀各向同性介質的問題．空間的保角变換相当于各向同性介質的变換．

在第三章中敍述各种类型的地震波时距曲綫的一般解释方法——时間場法。这种方法可以得出具有任意形状的地层分界面，以及速度在个别地层中以任意規律分布的层状介質問題的解答。

在后面的几章中，討論了层状各向同性介質的地震观测解释的各种問題的解答。这些解答应用于現代地震勘探的三个基本方法上：反射波法——第四章，折射波法——第五章以及井中观测法——第六章。

第一章带有緒論的性質。其中闡述了地震观测解释方法发展的各个历史阶段。

# 第 一 章

# 地震观测解释方法的发展史

现代地震勘探是以瞬时脉冲（普通为爆炸）所激发的弹性波传播过程的研究为自己推断的根据. 曾經有人企图不用脉冲，而用由专門振动机械所激发的稳定振动来进行勘探. 尽管这方面的試驗[101,103,104,123,131,132,171,187—189,205,228—230,246—248,273]进行了許多年（1931—1937年），但是，这种企图到現在还沒有实現.

这里，我們只概述应用激发振动的脉冲方法所进行的地震观测的解释方法.

这些解释方法沿着两个不同的方向发展. 第一个方向是利用各种类型波的到达时間来作这些波的地震时距曲綫*，并进一步根据几何地震学的原理来整理它們（时距曲綫法）. 第二个方向可尽量利用地震振动記录的形状；在这种情况下进行解释观測时，只利用几何地震学的各种方法已經是不可能的了.

## §1. 时距曲綫法，发展的第一个阶段

**初至法** 地震勘探发展的初期，只应用从天然地震学中借过来的时距曲綫法. E. 魏歇特（Wiechert）[270]和他的学生，在天然地震学中研究出这种方法. 在勘探时，起初談到的时距曲綫只相当于初至波，即相当于在平靜状态之后，地震波波前到达时刻的时距曲綫（L. 敏儲普（Mintrop）[202,203]；并参閱 R. 阿姆布朗（Ambronn）[100]）. "初至"法，或"折射波"法，就这个名称的原有意义来說，在生产实际

---

* 在最簡单的情况下，应将地震时距曲綫了解为波在震源与观測点間的旅行时間与这两点間的距离的关系.

中一直保持到現在还沒有重大的改变.

**相位对比** R. 費森定 (Fessenden) 在 1913 年(于 1917 年专利[116]) 就已經提出来的第二个基本的地震方法——反射波法,只是从 1926—1929 年才开始得到发展[39,137-139]. 它也将时距曲綫法作为解释的唯一工具. 但是,后者此时已經在本質上有了改变. 如果說折射波是根据初至来追踪的,那末反射波是根据"相位"来追踪的,或者象地震勘探中所說,是根据相位来对比的.

1926—1929 年間,在地震勘探中所引入的相位对比原則起了极大的作用. 就是由于相位对比,才开始在有其它干扰的振动背景上,而且还常常当干扰与基本有用振动的強度差不多的时候,眞正可能去进行波的追踪.

在很长的时間內,相位对比的原則只在反射波法中应用,沒有引到折射波法中. 只是在不久之前(1938—1940 年),折射波法才引入了这个原則,这样就創造出"折射波对比法".

## §2. 地震記录的形状、振幅和周期

**地震記录解释的第二个方向——振动形状的利用*** 起源于天然地震学. 这个方向是从 1905 年大森房吉(F. Omori)[222]、Б. 加利津(Голицын)[149,150] 等人的經典著作中开始的. 这种思想对勘探測震学問題的应用,在 1932—1938 年間,哥廷根地球物理研究所的著作中得到最大的发展.

在这种情况下,解释的步驟可以分为两个基本阶段. 第一个阶段为根据地震記录測定地面的眞实运动. 第二个阶段是解释这个运动,即根据已知地面运动的形状找出相应的介質結构(后者并不总是可能的). 如果認为仪器可以使地震記录本身給出相当可靠的地面运动图形,則第一个阶段有时就可以省略.

由于提出这个問題的一般形式是非常复杂的,首先来研究地面

---

* 对于这个問題的概述可參閱文献[56].



此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

振动的最簡单的特性，即在初至区内这种振动的振幅和周期*.

**振幅** 哥廷根研究所在許多实驗之后，研究出以下利用振幅来解释地震記录的方法. 已知地面第一个位移极值的三个分量，并且已知这个位移是属于縱波的，于是就可以找出地震輻射的出射角. 根据 K. 左普利茨(Zoeppritz) 和 B. 古登堡 (Gutenberg)[275] 所发展的 C. 諾特(Knott)公式[185]，可以在計算中对地面的反射波加以必要的校正. 如果折射波地震輻射的真正到达方向是已知的，則进一步已不难求得折射面的产状单元. 根据几何地震学的基本概念，对于最簡单的情况(平的折射面、均匀的地层)这种計算[130,145,179,180]已經作过.

**周期** 研究周期的著作比研究振幅的著作发表得少. 对于周期与振动特性，与震源距离和与介質的地質結构之間的关系問題在文献中都只是零星的，常常很少有令人信服的意見[34,38,125,158,160,169,170,190,200,234,249,262]. 在 1931 年，Г. А. 甘布尔采夫作过周期与地質結构关系的专門实驗研究[13,14]. 与上述研究一起，甘布尔采夫得出結論：在初至区內，折射波周期随折射面深度的增加而增加. 当时，他还注意到周期急剧变化的存在，并且提出它們与折射面的形状变化有关.

1938 年，在苏联科学院理論地球物理研究所內，Г. А. 甘布尔采夫重新作过研究周期的实驗，这項工作 Ю. В. 黎茲尼琴柯也曾参加. 也和 1931 年时一样，在某些情况下发現周期值和折射面深度之間的大致对应，但是，完全証实这种对应的实驗却还沒有. 因此，在 1938 年所作的結論要比 1931 年慎重得多. 討論周期与折射面深度之間关系的可能性問題(不考虑其它因素的影响)沒有获得解决. 所以，地震波周期的簡单地質解释的实际可能性并沒有得到解答. 形成地震波周期的"地質原因"問題，在以后还繼續研究过. 到現在为止，它的解答还只是些特殊的結果，而且多半是定性的.

---

* 这里应用"周期"和"振幅"这两个名称是有条件的，因为爆炸时地面振动是非周期性的. 但是，地震記录的个别部分常接近于正弦振动，所以这两个概念还有一定的意义.

**应用地面运动形状的困难** 企图离开时距曲綫法，而用地面运动的形状，或地震記录的形状来作解释，到現在还沒有获得实际上有用的結論. 根据地面第一个位移的三个分量的观测来确定折射面位置的方法，是这种企图唯一可以利用的結果. 但是这个問題很早以前就用較簡单的仪器，更省事地、更精确地以初至时距曲綫的老方法解决了. 这种結果是可以理解的，如果考虑到利用地震記录的形状要比整理时距曲綫困难得多. 問題的第一个阶段——根据地震記录确定地面的眞实运动，就已經包含着許多为使用仪器的特性所限制的复雜性. 对于机械地震仪来說，这个問題的解答最簡单. 在几十篇文章中都闡述过这个問題[15,44,62,106,116–119,129,148,150,163,181–184,197–200,217,221,237,261,264,265,269]. 虽然在原則上完全可能解决这个問題，但是，对于現代勘探型地震仪器来說还是很困难的. 这种复杂性使得这个問題还很少进行过研究，尤其是它的有効解答到現在还沒有作出实用性的广闊远景. 其实，地面的眞实运动并沒有給出地震記录的地質解释的直接可能性. 現在理論的情况，还不可能解决与发展应用地震記录形状的方法有关的最簡单問題. 这样，問題还完全沒有清楚是不是可以仅仅根据 K. 左普利茨[274,275]的概念和几何地震学的原則，从地面位移来推出地震波到达的方向，如同 B. 古登堡所作的那样. 在自然界經常遇到在地面附近存在着弹性与下面地层有显著不同的薄层（风化带）. 在这样情况下，哥廷根研究所所建議的作法[130,145,179,180]似乎是很危险的. 同样，下一个問題也不十分清楚：当复盖层的厚度增加时，初至区内折射波的周期，是否应当是有規律地和可以覚察出来地增加，或者这个周期大部分还是由其它原因来确定的.

因此应該承認，还必須有大量初步的理論工作和实驗工作，地震記录形状的实际应用問題，特别是初至振幅与周期的实际应用問題，才有眞正提出的可能性.

## §3. 时距曲綫法，发展的第二个阶段

在企图不用时距曲綫法还沒有得到很大的成功时，时距曲綫法

本身的发展道路却获得了較为显著的成就.

**横波的应用** 应用折射横波来进行地震勘探的最初企图之一，是苏联科学院地震研究所和格鲁吉亚石油托辣斯，于 1929—1930 年在查吉里其平原的工作中开始的[36,37]. 以后，在 1931 年，德国地震学家 F. 格列克(Gerecke)[155]在阿尔卑斯山的罗尼河冰川(Rhôneglетscher)上观测到反射的横波. 但是，他只在离开爆炸点很远，在时距曲綫靠近直达横波时距曲綫的地方才发現它們. 这种情况使人怀疑格列克的观测是否为反射的横波. 我們指出，在 1929—1931 年間，实驗是用与現代仪器相差很远的原始仪器进行的.

在 1938 年开始使用最新的地震勘探仪器来研究折射横波和反射横波. 这些研究一方面在苏联科学院理論地球物理研究所，在 Г. А. 甘布尔采夫的总領导下进行[20]，另一方面由国家联合地球物理托辣斯进行[2]. 理論地球物理研究所的实驗在 1939 年和 1940 年內还継續在进行着[26,72].

这些研究指出了，在实际中追踪横反射波 (SS) 时距曲綫和轉換反射波(PS)时距曲綫的可能性[6]. 它們还指出了，利用这些时距曲綫来判断地質介質結构的某些远景[2,20,26,68,72]. 但是，"横波法"到現在还沒有最后脫离实驗阶段.

**折射波对比法** 是 Г. А. 甘布尔采夫于 1938 年提出来的. 当时，Г. А. 甘布尔采夫利用三个分量的装置进行了折射波和反射波对比追踪的初次实驗；这些实驗有 Ю. В. 黎茲尼琴柯参加. 以后，在 1939 年，在甘布尔采夫等人的著作[17]中进一步发展了这个方法. 在 1940 年，已經有苏联科学院理論地球物理研究所的两个野外队：科福罗夫斯克-苏多戈得斯克 (Ковровско-Судогодская) 队[11]和北极队[72]使用这种方法. 在前一个队的工作中这种方法已經特别广泛地应用了. 从 1941 年开始，已經将这种方法应用于巴什基利亞(Башкирия)的依什姆巴依(Ишимбайские)油田地区內[18,19,40,53,67].

折射波对比法与老的初至法在原則上的区别是：折射波对比法不仅利用初至时刻，而且还利用振动記录的后面部分；这样就不仅可以追踪折射波的初至，并且还可以追踪折射波的續至. 由于这一点，

就推广了可以应用折射波进行勘探的范围. 对比法还有另外的专門优点. 在某些地质条件下，有些地方初至法和反射波法实际上都不能应用，但用对比法則可以得到良好的結果.

**井中的地震勘探** 起初将鉆井探測应用于地震勘探；只起輔助的作用，它只是为了在不同地层中直接測量速度（地震測井）. 最近才开始有比較独立的井中地震勘探的方法——1939 年 A. A. 达茨凱維奇（Дацкевич）提出了井中地震記录法[28]. 这种方法是将地震仪放置在穿过勘探地层分界面的井中. 它可以測定井的附近界面的产状单元.

**地震法的綜合应用** 綜合使用各种地震方法来获得数据的思想并不是新的. 在天然地震学中，很早就利用各种类型的波的初至时間，例如縱折射波和横折射波的初至时間. 由这样所得到的数据的总和就可以計算出震中的位置和震源的深度. 它还可以用来判断地球的深层結构. 在 1920—1930 年地震研究所的著作[36,37]中，同时进行縱折射波时距曲綫和横波时距曲綫的解释. 在哥廷根研究所的著作[207-209,232]里，打算把研究振幅的方法与时距曲綫法联合起来. 在理論地球物理研究所的工作之后，1938 年 Г. A. 甘布尔采夫写出了"縱反射波与横反射波的联合方法"[10]. 根据反射法工作时，照例还作地震測井（参閱，例如国家联合地球物理托辣斯的著作[77,78,89]）.

反射波法和折射波对比法的联合，是現在最有前途的联合地震方法. 这种联合作起来非常簡单而且方便，因为上述两种方法所用的仪器、观測方法以及資料的整理方法（相位对比，作为計算出发点的几何地震学）都是相同的. 可以引用 1939—1940 年苏联科学院理論地球物理研究所和 1942 年国家地球物理联合托辣斯东方分局的著作（甘布尔采夫等[12,17]，黎茲尼琴柯等[67,72]）作为这两种方法实际联合应用的例子.

用反射波法和折射波法的地震勘探数据，还应該处处（如果可能的話）用井中的地震勘探来証实.

# 第 二 章

# 几何地震学的基础

为了使人相信，在解释地震时距曲綫时应用几何地震学的原理的可能性，并且指出其应用范围，必須首先討論下列問題：这些原理与观測的現象究竟符合到怎样的程度，以及另一方面，它們究竟有多少理論根据.

在适应于地震勘探的两种基本类型——折射波法和反射波法，我們来討論一下这些問題，而且我們还考虑到两种追踪时距曲綫的方法：初至記号法和相位对比法.

几何地震学的基础和几何光学一样，建立在惠更斯原理（波前的），或与惠更斯原理相等的費馬原理（射綫的）上. 因此，問題就归結为对上述情况可用惠更斯原理，或者用費馬原理* 来討論了.

## §1. 初　至

在折射波初至法中应用几何地震学原理的問題，不久以前还在爭論着. 远在 1919 年，提出这个方法的 L. 敏儲普沒有用任何証明就采用了这样的假設：折射波射綫服从費馬原理；射綫以临界角入射到折射面上，并且以临界角离开界面[204]（"傾斜射綫"方案）. П. П. 拉扎列夫（Лазарев）[47]和 А. И. 扎鮑罗夫斯基[32]不謀而合地在 1926 年也采用了这个假設，但要比 L. 敏儲普晚得多. 在 1927 年 W. 施威达尔（Schweydar）和 H. 萊許（Reich）[249] 提出来另一种射綫方案：

---

* 这里我們談的是狹义的惠更斯原理，即只附在几何地震学中的惠更斯原理. 在这个范圍內，它与費馬原理相等. 廣义的惠更斯原理[例如，在克其荷夫（Kirchhoff）的定义里]，应用于更普遍的、动力学的問題，而不仅应用于波传播的几何（运动学的）問題.

他們假設射綫以垂直的方向入射到折射面上，然后又以垂直的方向离开界面（"法綫射綫"方案）. 从这个时候起，傾斜射綫的拥护者[105,109,123,143,154,156,159,164,165,201,240,242,263] 与法綫射綫的拥护者[99,102,107,108,126,127]之間，在刊物上发生了繼續达四年左右的特别爭論. 甚至在以后的文献中还遇得到这种爭論的反应（例如，在1934—1936年文献[35,36]中）.

法綫射綫方案的拥护者，对于他們的观点提出实驗方面的論証. 例如，对折射波来說，許多观測[249]都表示出利用三个分量的地震仪所測量出来的地震射綫的出射方向，即地面第一次位移的方向，与鉛垂綫非常接近. 其次，在冰川地震工作[126,127]时，在爆炸点处观測到与折射波时距曲綫的延长綫相交的反射波时距曲綫. 最后，根据古登堡方法［參閱后面§6］的計算，沿敏儲普路程传播的射綫不能具有有限的能量，因此，从物理的观点来看，傾斜方案是单純的虛构. 所有这一切，似乎都証明法綫射綫方案的正确性.

傾斜射綫方案的拥护者，从他們这方面指出了：地面的初始位移与鉛垂綫的微小傾斜，不能用法綫射綫方案来解释，而是因为有表面层（即所謂风化层）的存在[36,165,240]. 这就使开始震动的位移方向发生了改变. 所以反射波时距曲綫与折射波时距曲綫的上述关系，由于它們所根据的实驗資料，特别是反射波的記录，在質量方面还不够好，是可以怀疑的.

特别值得注意的是，无論折射波传播的这种方案，或另一种方案，地震学家都不能認为有足够的理論根据. 法綫射綫方案的作者們只在假設的形状下来講述这种方案的物理意义（參見文献[249]第124頁）. 但是傾斜射綫方案的拥护者也只是从一方面来支持自己的观点，从而他們的理由并不是都不可爭辯的. 所以当 П. П. 拉扎列夫在說明折射波发生的物理原因之后，就归納出下列的意見（參見文献[47]第292頁，文献[49]第54頁）：从第一层折射到第二层以后的射綫可能形成又回到第一层的射綫，但这只在地层分界面为非理想的、不均匀的时候才会发生. 在理想的情况下，沒有这种射綫，在自然界中也不常有理想的情况.



此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com