

地壳与上地幔 的地震探测

〈上册〉

中国科学院地球物理研究所滕吉文
成都地院深部探测专业翻印

1978年 5月

目 录

绪 论	1
第一篇 弹性波物理	41
第一章 弹性体和弹性波理论基础	42
第一节 完全弹性体的概念	42
第二节 不同物理性质的地球介质体	43
第三节 应力与应变	50
第四节 振动与波	61
第五节 弹性波的基本类型	81
第二章 无限完全弹性介质中的弹性波	
第一节 波动方程式	
第二节 无限完全弹性介质中点源所产生的波	
第三节 无限介质中任意震源所产生的波	
第三章 弹性波在界面介质中的传播	
第一节 弹性波在一个分界面介质中的传播	
第二节 平面波的反射和折射	
第三节 体波在自由面上的反射	
第四章 地震波	
第一节 沿自由表面传播的地震波——瑞雷(Rayleigh)波	
第二节 SH型横波(勒夫波)	
第三节 面波的频散	
第五章 弹性波在介质中传播的特点	
第一节 半空间弹性层	
第二节 多层介质	
第六章 地壳与上地幔介质深部构造探测的物理与	

地质基础

- 第一节 地震波在岩石里的传播速度
- 第二节 岩层中弹性波的吸收与扩散(散射)
- 第三节 地震地质条件

第二篇 弹性波场的运动学

第七章 弹性波运动学的基本概念与反射和折射的形成

- 第一节 弹性波运动学的基本概念
- 第二节 反射透射和折射(首波)的形成

第八章 弹性波在连续介质中传播的运动学

- 第一节 连续介质中的速度函数
- 第二节 在不同介质中的射线和波前
- 第三节 射线图解的应用

第九章 反射波及某些类型波的时距图

- 第一节 均匀复盖介质中的反射波时距图
- 第二节 非均匀复盖介质的反射波时距曲线
- 第三节 多次波的时距曲线
- 第四节 反射波与直达波和首波时距曲线的关系
- 第五节 反射波相对比与识别的主要标志

第十章 首波的时距图

- 第一节 无限半空间中一个平面界面的首波时距曲线
- 第二节 水平成层介质中的首波时距曲线
- 第三节 倾斜成层介质中的首波时距曲线
- 第四节 迴折波的时距曲线与平均速度的求得
- 第五节 高速层中的折射波
- 第六节 绕射波的时距曲线

第三篇

弹性波实际介质中传播的动力学特征及其应用

第十一章 地震波动力学特征的基本意义和物理意义

- 第一节 基本意义
- 第二节 波形
- 第三节 波谱
- 第四节 地震波的振幅
- 第五节 地震波的极性

第十二章 实际介质的滤波性质

- 第一节 实际介质滤波性质的基本要素
- 第二节 吸收的性质
- 第三节 地震波的吸收系数和吸收率的实验研究方法
- 第四节 测量地震波在吸收介质中传播时动力学特征的变化
- 第五节 均匀薄层介质的反射系数
- 第六节 非均匀薄层介质的反射系数
- 第七节 波通过薄层的透过系数
- 第八节 同时受到成层性和吸收影响时介质的滤波性质

第十三章 地震波在差异介质中传播的几个动力学参数的计算与运用

- 第一节 首波振幅随距离的变化
- 第二节 反射波的振幅
- 第三节 折射层中扩散指数 n 的测定
- 第四节 折射层中吸收系数 α_d 的测定
- 第五节 求折射层中两个吸收系数的差值
- 第六节 首波始点附近扩散指数与吸收系数的测定

第	七	节	同时测定 n 和 α_d 值
第	八	节	求复盖介质中的平均吸收系数
第	九	节	确定吸收系数 α_n
第	十	节	求反射系数

第十四章 频谱分析

第	一	节	振动分析的基本概念
第	二	节	频谱——定义和分析
第	三	节	关于频谱的一般定理
第	四	节	即时频谱
第	五	节	周期函数之和的频谱
第	六	节	地震脉冲的频谱
第	七	节	波形选择对频谱的影响
第	八	节	抽样定理
第	九	节	时间参量的频谱

地壳与上地幔的地震探测

绪论

地球，人类的母亲。我们世代代在他的怀抱里生活和成长，然而我们对地球本体的了解却很少，为了使地球，特别是地球内部的物质运移、组成和结构有一个比较全面的了解，我们就必须“钻”到地球深处去探寻其特点，为实现四个现代化做出贡献，並用来为人民服务。

1、地球的圈层

根据地球中放射性元素的蜕变速度，地球从产生到现在已经近45亿年了，在这么漫长的历史中，地球又经历了“天翻地覆”的变化，如果拿我们今天的地球和45亿年前的地球相比，就大不相同了，那时的地球没有海洋，没有大气，没有花草和鸟兽，更没有人类。

地球产生以后，又是怎样演化的呢？从多少年来所积累的资料来看，首先是地球物质发生了分异作用，使地球逐步分成了不同的圈层，根据地震波在地球内部介质中不同深度处传播的速度变化，推断地球内部在大的方面可以分成三个同心排列的圈层：地核、地幔和地壳，这三个圈层位于不同的深度，具有不同的物理性质（表1）。

当然地球各圈层形成以后，也不是彼此孤立的，静止不动的

表1

圈层	深度 公里	密度 ρ 克/厘米 ³	P. 大气压, 巴	温度 TC°
地壳	33	2.7—2.9	9000	15—1000
地幔	2900	3.22—5.66	1368000	1000—4000
地核	6371	9.71—16(?)	约 3600000	4000—6000

而是互相渗透，相互影响，不断发展和变化着，这里我们仅讨论其一层薄薄的地壳外壳，当然这个薄壳并不简单，它一直在不断的运动，历史上的沧海桑田，当代所发生的火山爆发，地震活动和构造运动等等都是地壳运动的铁证，地球上连绵不断的山脉和纵横交错的河流也都是地壳运动的产物，雄伟的喜马拉雅山，就是大约三千万年前古代海底褶皱上升的结果。海拔八千米以上的希夏邦马峰地区自第三纪末期以来二百多万年间，升起了大约3000米左右，至今还在不断上升，只不过在短时间内总观不易察觉罢了！浩瀚的太平洋也不是固定的，它的产生只不过一亿多年的历史，这就说明运动是物质存在的形式，而我们认识物质，就是认识物质的运动形式，正如列宁曾指出的：世界上除了运动着的物质，什么也没有，而运动着的物质只有在空间和时间之内才能运动。

2、地壳与上地幔的进展与动向

地壳与上地幔是人类居住与获取各种资源、能源、改造和利用的重要场所，是地球科学的基础和生长点，六十年代以来，发展迅猛，我国在这一方面的工作还很薄弱，有的省属空白，为在我国早日实现四个现代化和赶超世界先进科学技术水平，我国应当大力加强与迅速发展这一领域的研究。

随着人类不断深化的社会实践，地壳与上地幔物理研究与其他自然科学领域一样发展迅猛。特别是国际间的地球物理年(1959-1960)，上地幔计划以来(1960-1970)，和目前正在进行的地球动力学计划(1971-1980)，地壳与上地幔研究进入了一个新的时代。新的事实与不断的累聚，新的领域在不断开拓，出现或重新提出了长期以来困扰着的一时人们不敢触及的问题而摆着一些传统的概念，并促使它们向新的方向发展，人类对自然界的利用与改造愈来愈深刻，愈来愈主动，人们的劳动成就将随着时代的步伐愈来愈大。

地球物理学中的许多重要的基本理论问题，都与上地幔和地壳介质的结构、物理性质、化学性质及其深部运动过程有关，例如：要了解构造运动和岩浆活动的过程就必须研究上地幔和下地壳的结构，化学性质与物理性质在径向和侧向的变化，以及地壳

低、层随地区及深度不同变化的原因是什么？又如地壳中在莫霍界面的界，地壳中低速层、高速层存在的规律如何，莫霍界面的性质如何？地壳与上地幔的成层本质是什么？又如成矿规律，变质作用，火山喷发，重磁力异常，地热流的分布与地幔对流，地壳形变，大陆漂移，均衡补偿，海底扩张，板块运动，地震孕育与发生以及地球内部的物质状态等等都与人类生活密切相关，这些问题的解决都必须对地壳与上地幔物理进行深入的研究。

在国际间自第二次世界大战以后，由于新兴工业的崛起，在我国因社会主义建设和国防事业的需要；对地壳与上地幔物理的研究提出了日益增长的要求，由于科学技术不断的发展，使得人们向地球的纵深探索有了可能，随着近年来世界上大陆与海洋地壳与上地幔物理工作的大力开展，地球物理获得了更为广泛和坚实的基础。在地壳与上地幔的基础和理论研究中，大陆和海洋的形成和演化，地壳与上地幔的结构，物质的组成和物理状态，大陆漂移板块构造和地球动力学，地球潮汐与上地幔力学，地下深部对流和金属矿床形成的规律，弹性波传播理论与地震成因理论，未来可能的海底军事基地与地下波导层通讯的探索等方面，均为地壳与上地幔物理的基础研究和理论探索的新途径。

此外，地壳与上地幔物理的研究和深化必然要对其它学科；如物理学、地质学、力学、地球化学、海洋学、天文学等以及古生物学和古地理学等产生影响，并且互相促进与渗透。总之地壳与上地幔的研究是比较深刻而广泛的，但是从表面上直观地看近期与实际联系可能还不十分紧密或明显，常常不能像地球物理探矿和地震预报中的前兆现象那样能够在短期内奏效。的确，基础研究可以是实践中提出的一些重大课题的驱使，但有时也可能是科学本身发展规律的自发辩证法则的启示，所以它不同于一般的应用地球物理以及其它应用科学。

鉴于地壳与上地幔物理在国民经济、军事、学术和哲学上的重要性，美、苏两霸及一切发达的资本主义国家都非常重视这方面的工作，无论是政府部门、科学团体，大型企业，基金会，大专院校，还是海陆空三军，无一没有专门的地球物理研究队伍和机构。例如：1966年美国国防部发起的“维拉计划”仅是为了军事目的而进行的一项地球物理研究的实例。这在美、苏、英、法、

日等国均是如此，地壳与上地幔物理的研究已进入了一个新时代。

由于地球很大，其内部的结构与物理状态又十分复杂，因此，地壳与上地幔物理的研究与发展牵涉到不少全球性和规律性的科学问题，因而在这个领域里国际协作和交流与日俱增。在地球内部的研究方面，国际会议十分繁忙，讨论问题之广泛，也是空前的。去年（1977年）我国参加了“国际大地测量与地球物理协会”，它下面设有七个分会，四年一次是全会，二年一次是分会，因此，我国地壳与上地幔的研究也必须适应国际上的发展趋势，迅速全面展开。

如今，自从地球动力学计划以来，以东南亚来说，美印合作，苏伊合作，意巴合作，日本在尼泊尔等都事先进行着地壳与上地幔物理的研究和探索（包括海洋与大陆），有些国家多方提出要与我国合作，还有很多国家邀请我国参加他们的讨论会。在我国东南海域，外国地球物理探测船进进出出，自由得很，他们做了大量工作，搜集了大量的原始资料并公布于世，海洋地壳与上地幔的研究，还涉及到大陆自由边缘和国家海域边界划分等问题，我们怎能闭视之。

我们知道，国际协作与交往是地壳与上地幔物理发展的自然趋势。例如，五十个国家参加，延续十年的“上地幔计划”的一个重要成果，就是提出了板块构造学说，这在地球科学中是一个完全崭新的概念，如果能立论，将对地球科学产生极其深远的影响，但是我们要指出，他们这些研究工作都是在海洋地区和海洋与大陆接触带进行的，因此在这个特殊的大陆——大陆板块运动和构造的研究与探索就历史地落在我们中国地壳与上地幔物理科学工作者的肩上了。当然这里也包含着国际政治因素，存在着严重的政治斗争和阶级斗争。然而历史在前进，科学在发展，国际协作与交流使地壳与上地幔物理的研究从特殊的区域出发，取得了全球性的概念，向地球的整体、深部、海洋和宇宙空间挺进，已是地壳与上地幔物理发展的势不可挡的时代潮流。

3. 地壳的定义

地壳和上地幔顶部的结构和性质与地震的发生密切相关，而它们的研究与发展又是与天然地震的研究十分密切，早在1906年

莫霍洛维奇 (A. Mohorovičić) 自近震的研究中发现了地震波速度由 6.3 公里/秒跳到 7.9 公里/秒的尖顶震相 P_n ，这是在高南斯拉夫萨格勒布约 25 英里的地震记录上观测到的。这个地震是在离开震源约 200 公里以上的地方首先到达的纵波，用 P_n 震相求得地壳的厚度约 50 公里，并把它叫做莫霍洛维奇界面（简称 Moho 或 M 界面），从那时起人们便认为地壳是由一层均匀的介质组成的，因此把 M 界面以上的物质叫做地壳，从界面以下至地核界面以上的物质称为地幔，近年来由于灵敏度高的仪四记录不断增多， P_n 震相的层速度常位于 7.9~8.2 公里/秒之间。

后来于 1923 年康拉德 (Conrad) 在研究东阿尔卑斯山地震的时候发现了一个地震波速度由 5.4 公里/秒跳到 6.4 公里/秒的震相 P' ，用 P' 震相求得的界面称为康拉德界面（简称 C 界面），世界上很多人都把它看作为是“花岗岩”和“玄武岩”的分界面，高即中间古界面。此后，地壳构造的研究便广泛开展起来，世界各地的地震台的记录上得到了这些界面的首波，若认为地壳是由“沉积岩”层，“花岗岩”层和“玄武岩”层组成的三层大陆地壳和“花岗岩”层很薄或缺失的两层海洋型地壳。

然而关于地壳的定义也还是“有争议的”，我们知道深源地震最大的深度约 700 公里，因此本尼奥夫 (Beniof) 曾主张 700 公里的深度做为地壳的底面。又一些人认为由于岩石圈下存在着软流圈，故又主张软流圈以上的介质属于地壳，近年来有些人认为 M 界面速度跳跃是由岩石相变引起的，而不是由于化学成份不同产生的。因此建议把“花岗岩”层与“玄武岩”层之间的界面做为地壳的底面，若按这种说法，则海洋地区就没有地壳了。

根据多方面的研究结果，特别是上地幔计划和地球动力学研究计划以来的成就说明：上地幔和地壳物质及结构不论纵向还是横向都是很不均匀的，近来人工地震探测的发展，使人们清晰地认识到成层地壳的模型，尽管在大洋中脊附近本尼奥夫带地区地表火山链状构造下部 M 界面不够清楚，但是 M 界面在全球范围内是稳定，普遍存在的，且为一个尖顶的速度界面，基于此，将 M 界面做为地壳的表面是完全正确的。

4. 地壳与上地幔研究的物理意义

地球表面上有许多地质和地球物理现象，如构造活动，岩浆迁移，变质作用，火山喷发，大陆漂移，地震的发生，矿产分布，山脉与河流的形成，海陆的变迁，以及地壳各种地球物理场的异常……等，都和我们的生活有密切关系；他们的规模很大，作用持续的时间很长，不可能是由地表附近的机制产生的，而必然是地壳和上地幔内部物质矛盾运动的直接产物，例如：地壳强烈性喷发活动，可能是由于玄武岩层在地壳升起的结果，然而岩浆活动显然与成矿作用密切相关，现在世界上半以上的铜产量是来自斑岩铜矿，而它们与中——新生代造山带活动的板块的接触边界相关，全世界大多数斑岩铜矿均产于太平洋造山带和阿尔卑斯造山带中部，此外，破坏性地震亦多发生在地壳内部。因此地壳和上地幔的结构，物质组成及性质就和热应变能聚集的孕震介质，地震能源以及地震观测资料的分析 and 地震产生的机制及地震予报（如波速变化，小震连续成串发生与“微裂波”的出现）等均有着极为重要的作用与影响。

地下导层的未来为国民经济及国防通讯服务的问题也是值得探索的问题，此外地下特殊结构体的形态对于大陆漂移以及军事制用也应是应当探索的途径。

当然研究现在的地壳和上地幔顶部的构造不仅仅只是为了了解地壳现在的状态，更重要的是要弄清自不同时期地壳的现在状态来阐明它的演变和发展过程，例如：由大陆向海洋地区的过渡地带地震均较活动，且往往伴以基性喷发，这是与现今板块构造的论调相符合的。又如，根据地震探测的结果，年代较新的地壳活动地区（“地槽区”或造山带）和年代较老的稳定地区（“地台区”），它们的“玄武岩”和“花岗岩”层厚度的比值就不同，地壳的厚度也不同，后者“花岗岩”层较薄，甚至消失，地壳的厚度也较薄，如果这个结论能进一步被证实，那么不同地壳构造单元的演变是否是由地壳深部花岗岩的基性岩化造成的呢！

由于地震是地壳或上地幔顶部岩石受外力作用后的破坏效应，所以地震的产生方式就与地壳和上地幔顶部构造密切相关也是有道理的，尤其是地震区的特异构造背景及其规律性对于研究地震发生、发展是有意义的，从地壳厚度的分带规律来看，在地壳深处莫霍界面厚度突变的地区，在地表则为地震密集成群十分活动

的地带，这已不是个别的偶然事件了，这里我们暂时不准备去详细讨论这一问题。但提出这一事实足以说明它对研究我国大陆板块构造运动将是极为重要的方面之一。

由此可见，与地壳有关的问题很多，它决不仅仅是不同地区深部界面的深度和形状的几何描绘，而是有着其更为本质的作用，然而我们对它研究得还是很不够的。

5、我国地壳与上地幔结构的研究概况

我国曾利用天然地震波的相速度和群速度及 SP' 和 PS 型转换波做过一些地壳厚度的分布和沉积岩层的分布研究，得到了一些概略的轮廓，并指出有的地区的地壳厚度与依地形高度分布不同的地带，推算结果的数据，误差较大，且其解答往往并不单一，近来用频谱和时间域研究地表厚度的工作中，同样也存在着类似的问题。这对于研究大陆地壳小范围内的局部差异及其块断的边界就显得不足了，为此便要求我们做更详细的工作。从我国地震台网的现实出发，记录仪口的时间服务要准，仪口的动态范围要大，而从资料处理方法上亦要不断改进，并将有关学科的成果不断引进到这一领域，以提高精度和获得更多的地下信息。

利用人工地震研地壳构造大约是从五十年代开始的，多年来多是采用首波的方法，这是由于在距外炸点一定距离以后，深层首波震相相压为初至波，易于鉴别，若地壳中的地层是厚层介质，并满足在 $V_{p1} > V_{p2}$ 时，根据首波结果可以求得地壳厚度和解释介质的物质成份，然而首波方法却有着不可克服的缺点；它不但试验与观测工作经济代价很高，而且难于在地形较复杂的地区应用。它不能判明厚层和薄层，它不能判明地层的速度是否连续变化，它不能发现介质中速度逆转现象，而这些问题的详细研究地壳构造时却有着十分重要的意义，然而反射波却不受这些因素的限制。

在石油地震勘探中，近外炸点反射波结果比首波结果精确，获得了更多信息，解决了不少实际问题，故得到广泛应用，但是在深部地壳探测中，近外炸点的反射波法曾遇到较多的困难，如有些地区接收不到深层反射波，于是就有人怀疑，地壳是不是一个没有界面而具有速度梯度的均匀体，有的地区外炸点附近十余

秒的范围内，有很多同相轴，视速度 V 均很高，但是难于进行相位对比和连续追踪，这是由于其中除一次反射波外，还夹杂了不少多次反射波成份和石波的干涉，在这种背景下，分辨波的类型，确切地研究地壳结构和构造连续界面是很困难的，由于不能解决这一问题，早期几乎放弃了利用反射波法研究地壳的途径。

近外炸点的反射波和大于临界角以后的反射波，由于记录复杂，且波的鉴别多採用统计办法，与首波结果相比较，凡与首波结果不符合的各波便不能采用。故至今尚不能根据频度分布曲线，由统计得到F、C、M三个界面及其埋藏深度。因此，反射波法特长的发挥，得出地壳中各连续界面的空间分佈，以及求得正确的地壳模型都受到了限制。

为此我们从我们国家的整个幅员和条件出发，根据反射波的特点在我国西北、西南各地首先进行了方法性试验，得出在距离外炸点 $\Delta=30-100$ 公里范围内能够很好的分解深层波类型的记录地段，而在这一地段波的震相清晰，其运动学及动力学特征均很明显，较易于分解，在 $\Delta=110-150$ 公里地段内各深层反射波和首波交错出现，互相干涉，並集中于时间间隔约一秒的区域中，故难于孤立的进行可借对比及分解，在 $\Delta=150$ 公里以后，各波间时差增大，震相又清晰可信，各深层首波均有相继的初至追踪地段，所以根据这样的追踪范围，並采用适应的激发与接收条件和观测系统，对于进行波组相位对比和鉴别它的性质是极为有益的，因此，能够取得我国各个地区地壳的详细结构与速度分佈。

当然六十年代以来，从世界各国的地球物理方面的文献来看，他们也逐渐在开始注意这个问题，在美国蒙塔那，犹地，加里福尼亚，德国的乌尔姆，匈牙利的德布勒森，捷克，法国的香槟，西阿尔卑斯等地接收到了近于铅直方向的地壳深层反射波，在苏联一些地区也曾得到距外炸点较远的，或是大于临界角的深层反射波；如在苏联的俄罗斯地台东部，鄂毕次克海，德国的北部、南部、西北部，阿尔卑斯，巴伐利亚，美国北部，加拿大的阿尔伯达等地，当然这些地区地壳一般比较薄，如18—33公里不等，但这些结果却说明：M界面不仅是一个宜于产生首波的界面，同样也是一个良好的反射面，是地球内部的一个一级不连续面。但

在指出，它们均未利用反射波法对地壳与上地幔结构进行细微的分析和发现地壳介质中的特异结构。然而我们中华人民共和国在这一方面的研究中，从一开始便有着自己的特点与成绩的。

早在1964年我们便发表了地壳是由高低速相间介质组成的成层地壳结构，并发现华北地区地壳中存在着高速梯度夹层，华北平原中部地区的详细地壳剖面为地球科学在我国的发展提供了深刻依据，并为广泛应用。

但是应当看到，我国的地壳与上地幔物理的研究还很薄弱，所得数据与结果也还很少，目前还满足不了国民经济、国防及科研领域的要求，为此我们必须急起直追，在以华主席为首的党中央英明领导下，用两个年的尺度衡量我们前进的步伐，为了祖国的地壳与上地幔物理科学的研究迅速赶上世界先进水平而奋斗！为四个现代化的实现做出贡献！

6. 研究地壳和上地幔的方法

地壳与上地幔物理在地球科学中占有如此重要的地位，因此要想解决地壳与上地幔中存在的一系列问题，那怕是向前推进一步都要进行大量的研究工作，并且它需要岩石学，地质构造学，地球化学，力学（包括流变学），物理，数学和地球物理学等各个方面的综合研究，才有可能获得较为完善的解答。

由于在洋脊附近新地壳不断产生，火山的新—老排列（在洋脊附近最新），条带状磁异常的规律分布，以及在海沟处地壳物质不断下沉入地幔和热对流体系等给我们描绘出一幅地壳运动的图案，大陆、海洋、海岭、岛弧、裂谷带、山区和过渡地带的地壳与上地幔结构，褶皱区与陆台区，年青的造山带等地的不同地质历史期间的地壳与上地幔结构，为我们去探讨地壳构造的演化提供了新的依据。

地壳与上地幔的物质组成，它关系着物质的分类，迁移与混合，对于大陆和海洋出露的喷发岩和深成岩的研究，以及对地壳中大岩化学元素的分析，可以探讨地壳中的岩性和化学组成，以及它们的分佈情况，由于分析海洋和大陆的岩石成份，发现海洋的岩石多为基性的火成岩，大陆出露的岩石含有较多的砂质和酸性，并且密度较轻，因此苏斯（Suess）提出海洋地壳是由玄武

层所组成，大陆地壳是由砂岩层复盖于砂页岩层上的假说，根据近年来地球物理观测资料证明，苏斯纳的这种假说在某种程度上是正确的。

近年来，高温高压试验技术发展很快，已可进行上地幔的压力与温度的试验，其压力可达60万巴，温度可达 $1000-2000^{\circ}\text{C}$ ，压力大于100万大气，在目前世界上也还有困难，不过瞬时（几秒钟）加压，如冲击波（亦称动压）已达到几百万大气压力，在这种条件下的岩石熔融、相变、状态方程，矿物与岩石的物理性质以及其形成规律的研究，不论对地壳结构、物质组成、动力来源，以及新矿物的产生和地震的成因方面都有着特别重要的意义。

地球物理学对地壳与上地幔的研究要是通过观测来研究地壳介质的物理参数和构造形态，以及它们在铅直和在水平方向上的变化规律，地壳与上地幔物理研究的很大成就之一说明，地壳与上地幔介质不论在纵向与横向都是不均匀的，在地幔中不仅存在低速层而且还存在着 20° 间断面，600—700公里深处的不连续面。因此将地球物理场特征、高温高压条件下岩石物理性质以及深钻和超深钻井（8—10公里深度以上）的综合研究，最后期望获得与观测结果最为符合的地壳与上地幔模型。这不论在学术上还是在实践上都具有十分深远的意义。

在勘探深度只有几公里以内的油田勘探时，地球物理方法，尤其是地震勘探方法曾经获得辉煌的成就，特别是近年来数字磁带记录的发展给油田勘探带来了更多的信息，另外三维地震探测与符号位的方法均为地震勘探发展的新方向与新途径。在研究地壳与上地幔的深部结构时，地震探测方法同样也已取得了卓有成效的结果，并且一些新的方法，如数字技术，三维探测等必迅速得到应用，从世界上来看，利用水中爆炸，已可进行上千公里长的剖面观测，但也取得了成层地幔介质结构模型，但随着快速电子计算机技术迅猛发展的进程，地壳与上地幔的探测取得更有价值的结果。重力和磁力异常和土地电磁测量的测资资料，在一定的条件下也能获得良好的结果，根据研究的资料，能够计算出结晶基底的埋藏深度与起伏形态，海洋勘测发现美国西岸的太平洋中有巨大断层存在，大陆航磁在我国却证实而发现了鄂城—卢江大断裂，大地电磁测得资料却说明地震活动地区可能有大震。

低阻层，这均有着特别重要意义的。由于航空磁测快速大面积的测旁效率，将会取得大量资料，因而，重力、航测与大地中所测得必须给予足够的重视，以资互相配合，结合实际迅速岩层。

假定地壳的密度变化遵循一定的规律，根据地壳重力异常，可以计算出地壳厚度和它在水平方向的变化，洋盆中的密度变化较为简单，重力的结果与地震探测结果符合得较好，大陆中的密度变化较复杂，重力的结果与地震探测的结果有时相差很大。为此，通常重力测旁往往以地震探测剖面为基点向外扩展，因为密度值不能测得，这种给定值是包括着速度和密度之间存在着一定的函数关系的。如果这个关系是线性的，而且很确定的话，那么综合较大范围内的地震和重力的数据，可能得到最佳的地球模型。

最近在大陆和海洋的许多地区进行热流测旁，已取得数千个数据。表明不同构造带间的热流数值相差很大。在前寒武纪地台区热流值显然偏低，如科林半角和波罗的海地盾为 0.86 H.F.U （热流单位）印度地盾为 0.29 H.F.U （热流单位），而阿尔卑斯褶皱带却具有较高的热流值，如阿尔卑斯山为 2.2 H.F.U ，塔尔巴干山为 2.7 H.F.U ，高加索为 2.0 H.F.U ，新生代复活地区也较高，如天山为 1.8 H.F.U ，贝加尔裂谷带为 3.1 H.F.U 。现在火山活动地区，如堪察加为 2.4 H.F.U ，伊都鲁普岛附近为 3.6 H.F.U 。这就证明，不同构造带间的热流值相差很大，因此探讨热流的变化规律及产生的原因，以及他们与地壳和上地幔结构之间的关系，对于板块划分和其边缘的活动特征，以及动力来源和动力系统均是十分重要的。

根据天然地震观测的资料研究地壳构造最著名的例子，当雅库茨克界与康拉德界发现。但是由于地震台站的分布很稀，而且台站的时间服务通常只能达到0.5甚至达到1秒左右，测定发震时刻和震源位置的误差也较大（几公里的另级）。因此所得速度数据以及地壳构造的结果也就不够准确。另一方面，由于地震震源性质较复杂，震源的不可重复性，以及相对于震源的观测系统无法控制，致使震相的辨认和追踪较为困难。但这却是一个十分重要的问题。

苏联科学院大地物理研究所在塔吉克地区观测微地震时，对仪四，观测系统和工作方法均作了很好的改进，所求得的参数和

地表构造比较准确。

第二次世界大战以后，在美国、苏联、西欧和日本，利用地震探测的方法接收到外核所激发的弹性波，获得许多较可信的地壳构造结果，我国在西北地区亦利用矿山外炸取得了很好的地壳构造资料，因此便克服了天然地震观测中的大部分缺点。

苏联地球物理学家们在甘布尔采夫领导下，对于人工外炸激发和接收条件曾经进行了系统的研究，利用不多的炸药量（约300—400公斤），可以在数百公里以内很好地接收地表中的体波，他们称这种方法为深地震探测（TC3），英国人斯塔因哈特（Steinhardt）等人亦进行了大量试验研究与总结，他们称为DSS方法区，匈牙利等国均进行了大量的试验与研究，因为利用TC3（或DSS）方法不仅不受矿山外炸时地区的限制，而且能够选择适当的观测系统，这对于识别波的性质和连续时距曲线都有很大的优点。此外在一个探测地区，为了波的分解，利用一簇波的共反射点探测，这对于消除多次反射的干扰又是十分有益的。

利用人工外炸的方法，包括矿山外炸和TC3（DSS）方法，可以得到较可信的地壳构造，过去在人工外炸的地震探测中，主要利用首波的方法，但由于多次覆盖，数学技术，和未来三维地震探测和符号位法地震探测的利用，反射波法具有更为广泛的前途，实际上已证明首波无法得到的地壳重要参数与模型。

自从美国拉蒙观察台尤文为首的地球物理学家的，发展了地震面波理论和解积方法，他们根据观测的瑞利波和勒夫波的频散曲线，得到不少有关地壳厚度的数据，特别是近年来应用数学计算机方法对地震面波讯号进行滤波与计算面波频散问题的实现，移动窗法广为应用，大大扩大了周期范围。有用峰—谷法分析我国基式或四时记录，以前只能分辨十余秒至二十余秒，而用数学方法所得周期范围可以扩大到五、六十秒，从而可以得到更准确可信的解积。

尽管如此，由于波石的旅行路程较长，所代表的往往是较大区域中地壳构造的综合与平均，同时由于它的多解性，因此需要有人工外炸地震探测资料补充和验证方能取得可信的结果。

7. 地壳与上地幔的关系