

名家科普丛书

地球物理学的探索及其它

傅承义 著

科学技术文献出版社



- 073539

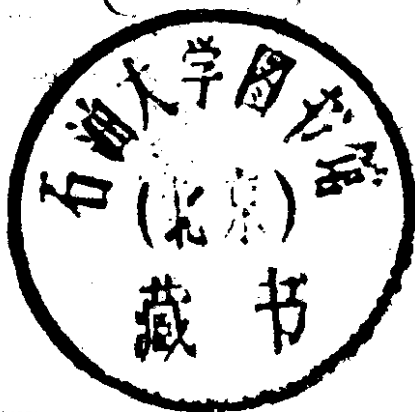


名家科普丛书

地球物理学的探索及其他

傅承义 著

(S2101/34)



S101/02



200305035



科学技术文献出版社

(京)新登字130号

内 容 简 介

地球物理学家傅承义教授在地震波理论和地震预报研究方面,做了大量开拓性工作,为国家培养了一大批地球物理研究人才。这本书是傅承义教授五十多年主要工作的回顾,并且结合工作介绍了有关科学知识、史实,以及学术思想、经验体会等,有一些独到的见解,文字精练、流畅。这是我国老一辈科学家为普及科学而写的又一本科普著作。

名家科普丛书

地球物理学的探索及其他

傅承义 著

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路15号 邮政编码100038)

北京建外印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

850×1168毫米 32开本 2.375印张 43千字

1993年10月第1版 1993年10月第1次印刷

印数: 1—2000册

科技新书目: 299—104

ISBN 7-5023-1986-7/P·19

定 价: 2.65元

目 录

一、我怎么去转学地球物理的.....	(1)
二、开始投身于地震学的研究.....	(5)
1.地震首波的研究.....	(5)
2.地震能量的分析.....	(7)
3.成层介质中地震波的传播.....	(7)
4.瑞利波方程次要根的物理解释.....	(8)
5.地震射线与地震波.....	(9)
三、关于天然地震的工作.....	(11)
1.地震预测的规划.....	(13)
2.关于地震成因的思考——红肿假说.....	(14)
3.关于地震预测.....	(91)
4.大地震的研究.....	(19)
5.地震的信息论.....	(20)
四、天然地震泛论.....	(24)
五、地球物理学近年来发展的轮廓.....	(30)
六、谈理想.....	(38)
七、学术思想及其他.....	(41)
1.如何理解科学和科学的真理性.....	(41)
2.怎样走上研究之路.....	(48)

八、培养科技干部和研究生的体会……	(52)
1. 薄弱学科培养干部工作存在的问题……	(53)
2. “由工作中培养”所存在的问题……	(54)
3. 培养干部的两个环节……	(57)
4. 培养研究生的体会……	(58)
九、发展基础研究机构的一些想法……	(64)
1. 基础科研机构……	(64)
2. 长远目标和独立思考……	(65)
3. 办研究所与办工厂应有区别……	(66)
4. 地学向何处去……	(67)

一、我怎么去转学地球物理的

我从事地球物理研究和教学工作已有五十多年了，并无特殊建树，现也忝列专家之林。于是，便常有人问我：你不原是学核物理的吗？听说你学得还顺利。为什么不继续下去，而跑去改行钻这个冷门呢？在三十年代晚期，地球物理在中国几乎是空白，远不如核物理受人重视，所以这一问不是没有道理的。然而原因也很简单。我想留学，而中英庚款留学考试恰有一个地球物理名额。我去应考，侥幸取上了。虽然如此，我这个转行还是有些思想背景的。在原子弹爆炸之前，绝大多数物理学家，包括一些知名的物理权威，都说不准原子能究竟能不能用人工方法释放出来——虽然理论上是可能的。在那个时候，核物理是被当做一门纯而又纯的科学。在国难深重的年代，青年知识分子若不能投笔从戎，捍卫国土，已经就够洩气的了，若再满足于在象牙之塔里找生活，怎么能心安理得呢！地球物理那时在一般人的理解中就是物理探矿，而物理探矿是一门实用科学，若学成回国后，多少对国家有点用处，这是当时出国的人相当普遍的心情，并非高调。出国后，才发现学物理探矿还必须有足够的地质学基础，它不是可有可无的。于是就拼命补修。其实补修地质是不难的。不过必须克服一个心理上的障碍。原来学数理科学的人，一旦要补学描述性过多的知识，常会感觉格格不入。我费了好大力气才克服了

这个偏见。我在以后教学生时，也碰到同样的现象。明明教学计划上写着必修地质学，可是学生和老师都不重视。以后这些人若出国深造，几乎全都要补修地质知识。这种学科上的成见不能完全归因于个人，而多少有些历史、社会和学制上的影响。

还有人问我，做地球物理工作应从何入手？在学校里应怎样准备？应当选修哪些专业的课，等等。这些问题就一言难尽了。首先，地球物理是跨学科的。物理学当然是必修的。至于别的知识，则应看所要研究的对象而有所侧重。地球物理专业提出得很晚，但地球物理问题则早就有人研究了。例如，东汉张衡发明了地动仪，唐朝一行测量纬线1度之长，北宋沈括提到地磁偏角，德国威歇尔特（E. Wiechert, 1897）研究地球内部构造，古登堡（B. Gutenberg, 1912）计算地核半径，英国诺特（C. G. Knot, 1912）研究地震波的反射与折射，英国的勒夫（A. E. H. Love, 1919）研究地质力学和固体潮等。但地球物理作为一个专门学科，直到1900年才在哥廷根大学首次为威歇尔特所建立。我国的物理探矿专业是1953年在北京地质学院建立的，普通地球物理专业则于1956年在北京大学建立的。地球物理实际上是由几个著名的地球物理问题综合起来的，其中也包括了仪器观测的研究，所以和工程有密切联系。在特别情况下，甚至非地球物理专业的人一样可以作出重要的地球物理贡献。大学四年，不能什么都学，所谓的地球物理专业也不过是讲讲有关地球的一些宏观物理知识而已。

我在加拿大麦吉尔大学和美国科罗拉多矿冶学院专修

了两年物理探矿，其实大部分时间都用来补习地质，因为我的物理基础已足够了。1942年春天，医生发现我的脊骨曾经受过伤，不适于做野地工作。但是，一个学探矿或地质学的人，若不做野地工作是不行的。于是我就转到加州理工学院，师从地球物理大师古登堡教授，改学普通地球物理。这时，眼界才大开。地球物理学的实用范围，不仅仅是物理探矿而已。古登堡教授的学识极为广博。他在地震学和地球内部物理学方面是世界权威，而且对早期的地震探矿技术也有贡献。我从他不仅学习知识，而且从旁也观察他的治学态度和虚怀若谷的品质。这一切都使我非常钦佩。我在1944年读完博士学位以后，做博士后和教书。1947年回国，在气象所任研究员，直到1950年我留任中国科学院研究员。这几年是我完全致力于地球物理研究工作的时期。到1953年，中国科学院调我到北京地质学院，帮助创办我国第一个物理探矿教研室。这是我人生进程中的一个转折点。以后，于1956年在北京大学创办了普通地球物理教研室，1963年在北京中国科技大学创办地壳物理教研室，1978年在合肥中国科技大学创办地球及空间科学系，同时在地球物理研究所内还要指导青年做研究工作。我的时间绝大部分都用在培养干部的基础知识和推进我国地球物理事业上，余下的时间只能力求紧跟世界水平，不致过于落伍而已，自己创作的时间就所剩不多了。凡事不进则退，这样安排时间对于提高自己来说是不明智的。创作性的劳动和培养青年都是需要全力以赴的工作，在时间上不是没有矛盾的。所谓教学相长这句话须有一定的条件，并不完

全正确。从国家的需要和人才的匮乏来说，两全是不容易的。1954年，我去车站送走我国第一批物理探矿专业毕业生奔赴生产第一线时，心情十分激动。我意识到自己作了一桩对国家有益的工作，同时也认清自己应选择的道路。四十年代初，我国从事地球物理工作的人寥若晨星，现在则已发展成为一支具有一定水平的科学队伍。聊以自慰的是，其中也有我付出的一份心血。

十年动乱，文化凋零，人才断代，我虽在“文化大革命”之后连续出版了三本专著*，只是述而不作而已。更重要的工作是创作和培养干部，这是攻坚之战，颇感力不从心。那时我已年逾耳顺，夕阳虽好，时近黄昏，徒唤奈何而已。

* 1.《大陆漂移，海底扩张和板块构造》，科学出版社，1972版。

2.《地球十讲》，科学出版社，1976版。

3.《地球物理学基础》(与陈运泰、祁贵仲合著)，科学出版社，1985版。

二、开始投身于地震学的研究

地震观测是我国一门古老的技术。虽然张衡早在公元136年就已经发明了地震仪,但地震只是作为灾祥一类的事件而记入史册。张衡的工作因未受到统治阶层的重视早已失传。直到1920年甘肃大地震之后,地震学才又由外国人那里引回中国,但是未被纳入严肃的科学之列,学校里也从无地震课程的设置。我于1940年出国学习地球物理,地震学竟未被列入我的学习计划。及至到了加州理工学院,才知道地震学非但是普通地球物理学的核心,而且也是物理探矿技术最重要的基础。地震学原是为了研究地震造成的灾害的,及至认识了地震波的作用,这门科学才得到长足的发展。现代地震学主要分成两个部分:一是研究地震本身的特性、成因及其破坏影响;一是研究地震波的各种物理性质及功能。由于地震波的传播能通过全部地球,它可以用来研究地球内部结构。“地震像一盏灯,发生时,可以照亮了地球内部。”现在地震波的研究已经发展得很成熟了,成为一门极有实用意义的应用物理学,但地震本身的研究则还是进展艰难的。以下先谈谈我最早研究的几个问题。

1. 地震首波的研究

地震波可以很几近地认为是地球介质中传播的弹性

波，传播规律和光波或声波很相似。这就是说，它的传播途径(地震射线)遵循着最小时间原理(费马原理)，碰到介质的间断面时，它可以发生反射、折射或衍射。但是，还有一种波在波长很短的光波传播中一般是观测不到的：这就是当地震波以临界角入射到两种不同介质的交界面上时，在高速那边存在一种与界面平行传播的高速波，并在行进中以临界角方向连续反射。这种波因性质不明，起初曾被叫做“连续反射波”，或“折射波”，或“衍射波”，其实都不是。当O.V.Schmidt用纹影照像法将这个波前实际照出之后，才知道这是一种新的波，苏联和德国学者曾叫它“侧面波”，但大多数人叫它做“首波”，或仍叫“折射波”，不过与真正的折射波不能混淆。这个波我曾袭用索末菲求解电磁偶极场的方法由弹性方程中解出，不过它的物理机制可以简单地由惠更斯原理来说明。当一子弹在空中飞行时，若子弹速度大于空气中的声波速度，在子弹前方就形成一个锥形波前，叫做首波。这个现象可以很容易地用惠更斯原理来解释。当一个弹性扰动以临界角由一低速介质穿到一相邻的高速介质时，在高速介质方面，扰动是以介质所固有的速度传播，所以并无特异，但在低速介质那边，界面上扰动传播速度则大于介质所固有的速度，就像子弹速度大于声波速度一样，于是就形成一个首波，它的尖端是在界面上。这只是个半首波，因为在高速那边首波不存在。这个结果是一个运动学的解释。动力学的解释则需要求解运动方程，此处就不谈了。

2. 地震能量的分析

地震是岩体内所积蓄的应变能突然释放的结果。然而地震能量是指什么，则意义不清。岩石断裂后未必将所积蓄的应变能全都释放出来，而所释放的能量有多少转化成地震波的能量传播出去，也没有固定的比例。其实，这个比例是可变的，与应变能释放的快慢有关系。若释放得极慢，可全部变成其他形式的能量（如热能）而不产生地震波。若释放得极快，则最多只有一半的应变能化作地震波的形式传播出去。所以地震波能与全能之比可从0到 $1/2$ ，视能量释放的速度而定。岩石总应变能是不易估计的，但地震波能量可以用振幅的平方去估算。普通所说的“地震能量”是指地震波能量而言，它比实际地震释放出的能量可能要小二三个数量级。地面变形所需的能量不一定是正的，在计算地震能量的收支时也须注意。

3. 成层介质中地震波的传播

在一个均匀的半空间表面上（地表面的几近）放置一个震源，求地震波在地面及地球内部的传播状况。这就是所谓的Lamb问题。我把这个问题作了一些变动和推广。首先，我在积分上，改用了索末菲的方法，在支线的围道积分上是用最速下降法求渐近值。均匀的半空间则改成层状介质。所谓的瑞利波应是无频散的面波，但这只能在均匀介

质中存在。当半空间上覆盖一个薄层时,瑞利波即有频散,频散曲线的形状视薄层中的速度高低而定。在实际情况中,地面上常覆盖一层疏松的土,这土层只有惯性但无弹性,所以地面可以看成是一种负有载荷的弹性膜。土层只起伴振作用。这也使得面波发生微弱的频散。

求成层介质的一般解,可以先求简谐源的格林函数。代入运动方程后得一复积分。复积分有两个分枝点和若干个极点。求分枝点的围道积分便得到体波;求极点的留数便得到面波。这种算法现在已发展得很完备,但在四十年代还是比较新的。我这部分的工作现在早已过时了。

4. 瑞利波方程次要根的物理解释

瑞利波是在弹性半空间表面上传播的波,它的传播速度略小于介质中的横波速度,而且没有频散。要求得瑞利波,须解瑞利的频率方程。这是频率的平方与波在表面上视速度的平方的关系。这是一个三次方程。它或有一个实根、两个复根,或三个实根,这要看介质的弹性常数而定。最大的实根即相当于瑞利波,但其他两个根因为物理意义不清,一般都是弃置不用了,只是有些搞数学的人曾对之作过一些工作,可惜都是繁琐哲学,并没有什么物理意义。但里克特教授在他的一篇讲地震数学的文章中,却把它列为地震数学的重要问题之一。其实,从物理的观点看,瑞利方程那两个多余的根是不难解释的。

若只讨论二维的平面波问题。瑞利波之所以存在,是因

为表面上各种波的迭加可以使它们所产生的应力等于零（自由面）。但若纵波入射到自由面上，一般应有一个纵波和一个横波反射回来，于是在入射面上就有三个波。这三个波所产生的表面应力一般并不等于零，但反射纵波的振幅在一定的入射角之下可以使其反射振幅等于零，即是说，它的反射系数等于零。这时在反射面内只有一个入射纵波和一个反射横波。若使这两个波所产生的应力恰等于零，则只有两个入射角可以产生这个现象。它们相当于瑞利频率方程那两个多余的根。为了证明，可举一泊松固体为例。这时泊松比为 $\frac{1}{2}$ 。最大的实根为 $\frac{1}{2}(3 + \sqrt{3})$ 。相应的波速为 $v = 0.9194v_s$ ，即所谓的瑞利波速小于横波速度。其它两个根各为 $\frac{1}{2}$ 和 $\frac{1}{2}(3 - \sqrt{3})$ ，其相应的传播速度大于体波的速度，所以不是面波而是与自由面斜交的体波。这个结果只适用于一定范围内的弹性体（如泊松体）。一般情形下，那两个多余的根是复数，那种波叫做“非均匀的波”，现不拟讨论。

5. 地震射线与地震波

地震波作为一种弹性波，在地球介质中传播时要满足弹性波的波动方程。这是二阶一次的微分方程。所有简单的地震波计算都以此为根据。然而，实际遇到的问题都不是很简单，极少能给出严格的数学解。实际的地震计算都不是在解波动方程，而是利用地震射线。它是地震波波前的法线传播时的轨迹，和光线与光波的情况一样。射线

所依据的方程叫做“程函方程”，它是一阶二次微分方程。（它是波动方程的特征面）。解这个方程也并不简单。射线就是程函数的特征线，也就是扰动传播时的路径，它遵循一个很方便的原理（叫做费马原理）：通过两点所经过的射线必使所需的传播时间是个最小值（或稳定值）。在以上描述的两种方法中，后者是最常用的。

射线的方法只是波动方法的一种近似。频率越高，射线法越近似。当介质不均匀时，解波动方程所遇到的数学上的困难非常之大，此时射线是弯曲的，波速也不是常数。解决这类问题只能用射线的方法。这时可以提出这样的问题：当速度变化时，射线法的结果是否仍然可用？我曾经将波动方程与程函方程作个比较，发现当速度沿射线的变化率 $\frac{\partial v}{\partial s}$ 远小于频率 ω 时，射线的方法仍是可用的。

以上是我初做研究时所解决的几个问题，都是属于地震波方面的。以下转入对天然地震的工作。

三、关于天然地震的工作

地震不像战祸、瘟疫或其他灾害那样耸人听闻，因为它只在有限的活动区才比较频繁。即使在地震频繁的地区，大地震也不常有。然而，从全国范围来看，我国在地震历史上是一个多震国家，地震所造成的损失是异常之大的。1920年的甘肃海源地震，是近代史上最大的地震之一，死伤二十余万人。报纸上曾有过这样记载：

“甘肃海源县旅京学生冯君翰英近接到其父来函云，吾甘于去年十一月初七日黄昏时地震，海城被害尤重。全城房屋均被荡平，人民死伤十之八九，吾家花崖湾山庄全行覆没，山崩土裂，山河变更，家中所有，化为乌有，最伤情者，尔母你妻及尔三幼妹同时被难，真令人笔不忍书。父与尔祖母在兴堡幸未被难，然房屋倒尽，家人露宿。尔二、三叔已经遇险仅未毙命。吾骨肉中被难者共四十余口，全县压毙者约六万余人。靖会、海通、秦静、固宁、天水诸县，死伤人民难计其数。震后又下大雪，冻死亦难枚举。奇灾惨祸笔难尽述。尔今在京不必求学。吾家家产房屋一无所存。儿可早早图谋生计，吃饭穿衣为要。父今孤孤单单，家中恐难居住矣”云云。

——录自民国十年二月二十一日北京《中国民报》

这是一封家信，并无夸张，但平淡的直叙更动人肺腑，令人难忘。虽然如此，地震的研究在解放前迄未受到重视。甘肃大地震后十年，才在北京鹫峰和南京北极阁建了两个地震台，也不过聊备一格而已，并未认真地进行地震

研究。

1942年我去加州理工学院，那里的地震研究室是世界地震学研究的中心，原是旧金山大地震之后建立起来的，目的是为了地震学的基础研究，为减轻地震灾害服务。我去那里之后，才初次认识到地震学原是一门博大精深的学问，但国内学校尚未开过这样的课程，大概以为它只是暮鼓晨钟的修道院里面的学术研究吧。

加州理工学院的地震研究室原是加内基基金会资助的。研究人员和条件都是世界第一流的。除了古登堡教授外，还有三位资深的学者。我当初很觉奇怪，研究室既然是为了抗御震灾而建立的，为什么他们极少谈到地震预测的问题。为此，我曾经在地震研究室和他们展开过辩论。我说，预知和预防地震灾害是地震学家义不容辞的职责。科学原是为造福于人类的，一切科学家对这样的灾害都不能漠然视之，而地学家尤其应当有一个使命感。对这样的原则性问题，他们是驳不倒我的。后来知道，古登堡教授和伍德先生都曾经偶尔也写过有关地震预测的文章，但里克特教授则对这个问题持嘲笑态度，因为美国新闻媒介常对这个问题作夸大不实的宣传，里克特对之极有反感。其实，美国学术界不愿将地震预测问题正面提出，还有一个现实问题：美国许多科学规划，后面都有财团支持。像地震预测这样的难题，能否突破，何时可以突破，谁也没有把握。多时没有具体结果不好交卷。所以有心之人宁可走一条迂迴的道路，将它做为地球动力学来研究，不愿正面将地震预测作为任务提出来。直到1964年的阿拉斯加大地震