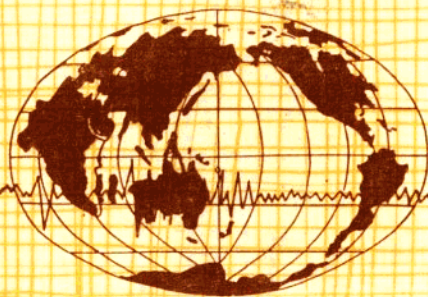


地震预测

地电方法论文集

钱复业、赵玉林、陈英方 主编



福建科学技术出版社

目 录

前言	(1)
----	-----

一、实验基础与综述

地震预报的策略(在巴黎国际地震会议上的讲话)	顾功叙(2)
地壳的低电阻率层	(日)行武毅(9)
大标本破裂前兆的研究	(苏)Г.А.Соболев等(21)
自然状态下岩(土)层应变与电阻率变化实验	赵玉林等(27)
与应力-应变有关的电阻率分析	王新华等(36)
地震预报的电磁方法(选载)第三、四、五节——电法部分	(日)本藏义守(44)
一种电性地震前兆	(苏)Ю.А.Аленов等(58)
监视应力应变的电测方法	(美)T. R. Madden(62)
唐山地震前震中周围地壳浅部电阻率变化的原因	钱复业等(74)

二、震例与分析方法

大地震前后地电阻率的前兆现象	钱复业等(79)
利用地电阻率异常变化判断地震强度和地点的可能性	钱复业等(93)
唐山地震临震前后形变电阻率的脉冲	赵玉林等(106)
内蒙古地区地震前后电阻率变化的分析研究	刘斌(113)
西安台地电阻率常年变化分析	王志贤等(122)
多层地电断面高精度正演计算方法	王新华等(131)
一种消除年变的数据处理方法	赵跃辰等(139)
地电阻率观测资料评定方法和地电断面的模型计算	刘小伟等(145)
南京台地电阻率变化与地形变的关系及其干扰机制	刘树生等(152)

三、观测技术与设备

我国现用地电阻率仪器评价及标定实验	李正南等(160)
微型机在地电阻率观测中的应用	屈云升等(170)
地电阻率测量中导线、电极材料及埋设条件的选择	陈宝华(176)
外线漏电对地电阻率影响及防止的实验	荣英华等(183)
裸体线路的绝缘性能实验	刘昌谋等(189)
地电阻率测量中的风扰	王正尚等(195)
激发极化效应对地电阻率测量的影响	王恩平(200)
深埋电极地电阻率观测的实验结果	刘允秀等(206)

研究地壳用的磁流体发电机.....	(苏) Ю.М.沃尔可夫(217)
-------------------	-------------------

四、干扰与台址条件

地电阻率观测中的干扰.....	赵玉林等(221)
地电阻率季节干扰变化原因及其排除的可能性.....	钱复业等(229)
岩层电阻率对应变的放大系数及地电台的选址.....	赵玉林等(240)
地电台址的选测方法.....	杜静娴等(249)
金属管线(片)对地电阻率测量的影响.....	金安忠等(254)
工业游散电流对地电阻率观测的干扰及其避开距离.....	王蕃树等(265)
22万伏高压线干扰半径的测定研究.....	谢祖珩(271)

五、若干应用和其它电学前兆现象

波兰Lubin铜矿岩石电阻率及其与应变场和岩石突出的关系.....	W.Stopinski等(277)
用形变电阻率法研究隧道围岩力学形态的变化.....	钟世舰(278)
利用电磁方法研究断层的活动性——伴随断层的自然电位异常.....	(日) 水谷仁等(286)
唐山地震前后自然电场的周期变化.....	赵玉林等(292)
山崎断层的电磁综合观测.....	(日) 盐崎一朗等(301)
福州地震台竖井电阻率测量.....	陈宝华(313)

附表 我国部分地电台基本情况表.....	张德信等(322)
----------------------	-----------

附图 地电台垂向电测深曲线.....	刘小伟等(318)
--------------------	-----------

前 言

为减轻和避免地震灾害,近二十年来地震预报问题引起了多地震国家地震界甚至全社会的注意。在这样的背景下,自六十年代以来,苏联、日本、中国、美国、希腊和印度等国先后开展了电学地震前兆的探索研究。初期的室内实验结果指出岩石破裂前电阻率可有一个数量级的变化,提出了用岩石膨胀模式来解释电阻率变化与地震的联系。长期的实测结果表明,观测记录到的电阻率前兆是微弱的,并非仅局限在地震断层附近,离震中有一定距离的台站也可记录到这种变化。特别是中、日两国的观测与实验结果提供了较多的迹象,表明浅层地壳电阻率前兆现象与地震的联系有可能与孕震过程中岩层应力-应变加强变化有关。还有迹象表明,在小应变条件下,未饱和岩层电阻率变化随应变变化的放大系数有增高的趋势。虽然电学地震前兆现象的研究目前(主要是我国记录到的一些)尚处在积累震例的初级探索阶段,但是,如果电学前兆现象确实出现了,并通过应力-应变与地震的发生存在联系的话,人们则有可能通过对地壳浅层电性变化的研究来了解孕震的力学过程,进而为预测地震提供重要的信息。

关于地下岩层电阻率变化与应力-应变变化的关系,波兰和我国在研究岩石突出、巷道及涵洞变形时也有所觉察,因此认为在工程物探、矿山开采和土建施工等领域中是可以得到应用的。

为了反映目前的研究应用情况,以我国近年所得结果为主,加上选编的部分国外结果编辑出版这一论文集,以供地震研究人员及采矿等工程技术人员参考。

本论文集分五部分:第一部分实验基础与综述共9篇。首先选编了我国地球物理学家顾功叙教授的地震预报策略及世界地壳低电阻层的研究结果;然后编入了地震电学前兆现象的研究、电阻率变化与应力-应变的实验、电阻率放大系数等理论及综述文章;第二部分震例与分析方法共9篇。选编了我国所记录的主要震例及分析方法方面的文章;第三部分观测技术与设备共9篇。包括仪器评述与发展、电极、导线等设备与使用方面的文章;第四部分干扰与台址共7篇。选编了地电阻率干扰类型、季节干扰、金属管线、激发极化及工业杂散电流等干扰的分析及排除方法方面的文章;第五部分若干应用和其它电学前兆现象方面的文章共6篇。即包括大地电场的地震前兆,也包括地电方法在探索活动断层、岩石突出及隧道变形方面的应用。最后给出部分地电台址基本情况及其附图附表。

本论文集由国家地震局地球物理研究所钱复业、赵玉林、陈英方主编,靳君达等文字编辑,吕苑苑责任编辑。由于水平和时间所限,错误之处请批评指正。

编 者

一九八五年八月

一、实验基础与综述

地震预报的战略*

顾功叙

摘 要

作者在本文中对于地震预报作为一种科学尝试的问题提出了个人的见解。作者强调在大地震的实际监测和预报的同时应重视基础研究的观点，并列出了一系列基础研究的课题。作为可能是前兆的地球物理现象的观测和其它自然现象的观测是第一位的和基本的，但这仅是因果研究的基础。

地震的群众监测和预报绝不能脱离科学工作者的指导。最后，作者给出了两个有意义的实例，它们属于1975（海城）和1976（唐山）两个大地震发生之前和之后在中国新近观测到的一些地球物理现象。

一、减轻地震灾害

为了减少强震造成的生命和财产损失，世界上所有易于发震的国家都在进行着三个领域的科学计划。第一是基础研究工作，旨在发展科学的方法以准确地预报灾害性地震发生的地点、时间和震级；第二是工程结构的抗震设计研究，即地震工程；第三是当一个地震发生或者一次地震警报发布后对社会和人民的心理作用的调查研究。所有这三方面的研究对于减轻地震灾害都十分重要，并且是彼此密切相关的。

二、基本观点

一般认为，各种地球物理现象和其它自然现象的观测资料构成了地震预报基础研究和监测大地震发生的最重要的根据。同时，对于观测到的各种现象应根据其物理基础和迄今积累的实际预报经验给予不同的对待。可以相信或可以假定，如果观测台站或观测点的分布是适当的，它们所给出的一整套地球物理现象和其它现象的观测资料又是可信的和合理的，则强震的某些真实前兆必然会在其发生之前出现。根据这些观测到的异常事实，可以用完全经验的方式对台网地区之内一定震级的强震及其发生的大致时间作出预报。当然，这种以常规的设想为基础的预报包含有偶然性和不可预计性。

* 此文是顾功叙同志1980年在法国巴黎举行的一次国际学术会议上的报告，原文为英文——编注。

然而，我们的指导思想是，地震预报的基础研究和地震的实际监测应当结合进行。用这种方法，尽管仍面临着不能正确预报地震的危险，但绝不能袖手旁观、无所事事，等待完全科学的准确预报地震的实现，而这是现代的科学努力尚不能预计的成果。对于被视为前兆的观测现象要对它们的可能原因不时地给予科学的检验。另外，观测可能的地震前兆现象这一概念，对实际监测和基础研究两者而言，都比其他任何指导思想更加直接了当。

三、基础研究

对于一个被认为是易发震的地区，应当把科学研究工作引向各种现象的精确观测资料的研究方面。目前，基础研究的重点应放在下述项目上：

1. 测震

(1) 控制某一地区地震活动性经验规律的研究（小地震和强震之时间、空、强的确定性或随机性关系），以及这一规律的物理解释。

(2) 强震之前和之后小震震源参数变化规律的研究，包括应力降、地震矩等，以及其物理解释。

(3) 可能即将发生大震的震源区深度物质的物理性质变化的研究，包括地震波速度、地震波的衰减和电导率等；以及其物理解释。

(4) 在震源区有关力学模式的某种假定之下，从震源区实际应力值的观测资料和即将发生的大震之前和之后应力值的变化所做的推论。

2. 地表的形变和应变变化

(1) 在范围广阔的易发地震地区内，水平的和垂直的地表形变的重复测量，以及形变物理解释的研究。

(2) 在范围广阔的易发地震地区内，地表倾斜的连续记录，建立由一些记录点组成的台网并寻求其物理解释。

(3) 用不同种类的灵敏应变测量仪器，在地表或浅部进行应变变化的连续记录，建立一些观测点台网并寻求其物理解释。

3. 钻孔观测

(1) 深井地下水位的变化，建立一些观测点的台网并寻求这些变化的物理解释。

(2) 深井中的温度变化，寻求这些变化的物理解释。

(3) 深井中水的化学含量变化，可能时建立台网，寻求这些变化的地球化学解释。

(4) 其它。

4. 研究的项目

(1) 重力基点网上的重复重力测量和在固定重力台上的连续记录，寻求重力值可能变化的物理解释。

(2) 在固定台站上地电阻率的连续记录, 可能时建立一些台网, 寻求电阻率可能变化的物理解释。

(3) 在组成台网的各点上地磁场变化的连续记录, 寻求这一变化的物理解释。

(4) 其它。

四、地震的预报和群众监测

在人口稠密的易发地震地区, 动员广大人民群众观测大震前的异常自然现象, 并且和地震学及其他的科学工作密切配合, 在监测地震的时间、地点甚至震级方面都可能起到重要的作用。群众监测网点应当建立, 地震的预报可以这种网内很多点的观测结果做为依据。已有一定数量的经验表明, 大震之前有井水水位、气象因素和动物异常等变化。然而, 这些现象应当随着经验的积累而增加其科学基础。应当进行研究工作以改进观测技术和对群众观测到的异常现象作出解释。群众观测不应当是孤立无援的。

五、

一个大震之后, 对震后地震现象和其它异常现象连续变化的必要观测可能给出它们是否和地震的发生有内在联系的证据, 还可有助于震源机制的研究。如果必要, 还可用地球物理方法对震源区的结构条件作深部探测研究。例如, 1975年中国辽宁省海城地震时, 在地震发生之前、发生之时和发生之后在地表所观测到的几种现象, 使一些人认为地震可能是由于深部的岩浆侵入活动所引起的。

此外, 对于地震预报基础研究的任何课题来说, 为了证明或反驳假设的推论, 除了已有台网的观测或网点上的重复测量之外, 针对某些特殊问题进行大量的观测总是不可缺少的。

六、近年来在中国发生的几个大震之前 和之后观测到的某些有意义的现象

1966年以来, 中国开始了观测地震前兆现象的试验研究, 并作了多种观测。然而, 迄今为止, 还没有一种观测到的异常现象能明确地肯定是地震的真实的或可信的前兆; 也还没有找到科学的证据能证明在观测到的异常现象和一个地震的发生之间存在着关系。

然而, 中国近些年已预报了一些大地震, 从减轻生命财产损失的观点来说, 是取得了一些成功。但这是由于我们国家特殊的社会制度才成为可能的, 并非真的是由于在地震预报科学中有什么科学的突破。

不过, 在过去十年左右期间, 我们从大量观测材料中注意到, 某些现象和地震的发生在时间和空间上都有较密切的关联; 从物理学的基本原理来看, 它们似乎颇有意义。当然, 有些现象仅在少数情况下出现, 它们严格地说并不是地震的前兆。在性质上它们甚至不能视作经验。

下面, 我将简要描述两个与观测事实和我们兴趣所在有关的震例, 它们曾在中国的地球物理学报上发表过。

1. 1975年中国辽宁省海城地震 ($M = 7.3$) 之前和之后的重力变化

在震中以西约50km的最短距离处有一条重力剖面, 近南北方向有12个重力点, 震前曾作过3次重复测量(图1)。1972年6月的第1次测量用的是中国造的石英弹簧重力仪, 型号为SZ₂-67, 019号。同年11月的第2次测量和1973年5月的第3次测量是用同一种重力仪完成的。结果表明, 沿剖面从北向南, 测点上的相对重力值在第1次复测之后有所下降(图2)。

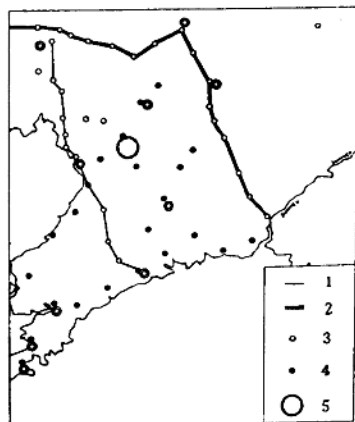


图1 海城地震区, 重力剖面 and 点位

- 1、重力剖面, 建于1972年;
- 2、重力剖面, 建于1973年;
- 3、重力点位, 建于1975年;
- 4、重力点位, 建于1972年;
- 5、海城地震(1975.2)的震中。

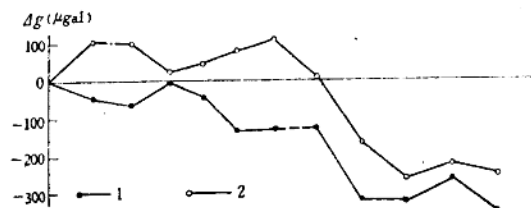


图2 海城地震之前, 在1972年6月建立的重力剖面上, 重复重力测量的结果

- 1、1972.6 — 1973.5;
- 2、1972.6 — 1972.11.

1975年2月5日发生了海城地震, 此后在1975年3月进行了第4次重力测量, 用的是加拿大的CG₂-67型石英弹簧重力仪315号和两台中国的SZ₂-67型重力仪, 122号和098号。1975年7月用两台SZ₂-67型重力仪, 035号和049号进行了第5次测量, 1975年9月又用

一台SZ₂-67型重力仪049号做了第6次测量。海城地震之后沿这条剖面从北端向南重力值又恢复到接近它们的基础值(图3),即在1975年3月第4次测量之后,剖面北部的多数点恢复到初始重力值。显然,1975年3月到7月重力值增加,而1975年9月进行的第6次测量时又降了下来。

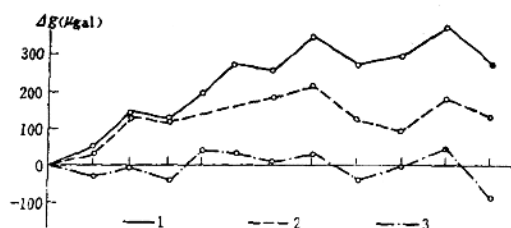


图3 海城地震后,在1972年6月建立的剖面图上,重复重力测量的结果

1、1972.6—1973.7; 2、1972.6—1975.9; 3、1972.6—1975.3。

有三点令我们感兴趣的结果,即,(1)在一接近震中的重力剖面上,在一次大震前已作过3次重力重复测量,因而所得的重力随时间的变化资料是相当珍贵而难得的。(2)从1972年2月到1975年7月这三年零五个月时期中,在剖面的一些点上观测到重力值最大变化累计达600—700μgal之大,这似乎有些令人吃惊。(3)1975年2月,剖面南部测点上的重力值在海城地震之后就几乎回复到基础值似乎是不可信的。

1976年12月,用加拿大的CG₂重力仪271号又作了第7次测量,而1977年全年没有进行测量。

1978年4月用两台SZ₂-67型重力仪035号和122号又进行了测量。第8次测量重的力剖面相对于第7次,向南部又有下降。随后在1975年海城地震的同一震中区于1978年5月18日又发生了震级为6.0的地震。在这个地震后,1978年6月用两台加拿大的CG₂型重力仪377号和378号进行了第9次测量。1978年7月又用上述的两台仪器进行了第10次测量。这两次复测的结果又一次显示出在剖面上向南的一些点上重力值有所上升,与海城地震之前和之后重力变化的情况类似(图4)。

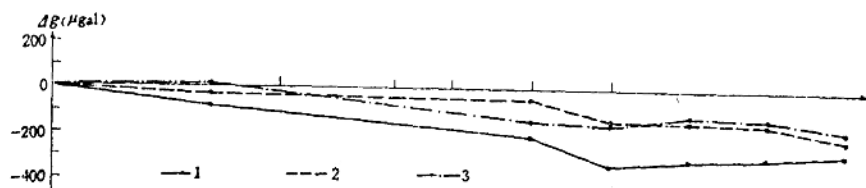


图4 在同一震中区内,1978年5月18日6.0级地震之前和之后,以1976年12月的测量作为参考,在1972年6月建立的剖面上重力重复测量的结果

1、1976.12—1978.4; 2、1976.12—1978.6; 3、1976.12—1978.7。

但是还有一些问题值得认真考虑,即,(1)应当了解一下各次测量的精度,特别是在每次测量中所用的仪器不同的影响。(2)在一较短时间间隔中,比如几个月,一些点上的重力值如此突然的变化是一个必须严格检查的问题。(3)地下水的迁移,而不是地壳运动,也会引起重力值的变化。

现在我们正在检查每次测量的精度并在剖面上进行进一步的测量,更好的仪器无疑是最需要的。为了落实有关剖面上确实存在重力随时间的变化,我们试图更确定地估计一下重力读数造成误差的可能极限;对上述两个地震之前和之后这些现象的原因都将相继进行研究。

每次测量采用的程序如下:先在点1上读数然后到点2读数,其后回到点1再回到点2,然后再到点3,依此类推(所谓两点三单程法)。这种方法要求:(1)重力仪器格值的变化在小数点后第四位数字上应严格地限制到1以下。(2)如果用的仪器不止一台,它们的格值在小数点后第四位数字也要一致。剖面上两点间的空间距离一般为30km。到同一点的两次时间间隔要严格地限制到两个小时。

2. 1976年唐山地震(M=7.8)之前和之后地电阻率的变化

1976年7月28日唐山地震之前,在距震中大约150km半径的范围内有9个电阻率台站,在大约200km半径的范围内有14个台站。这些台站都是1970年以来相继投入观测的(图5)。

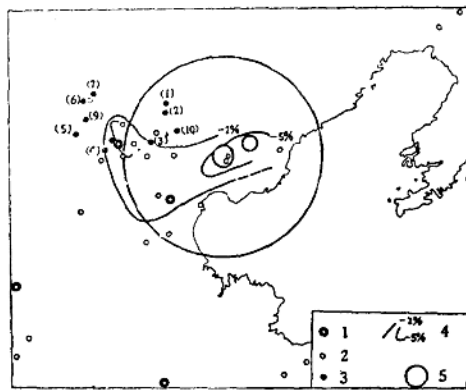


图5 唐山地震区中视电阻率台站以及震前电阻率的等值线围绕震中的减小。

- 1、城镇; 2、电阻率台站; 3、大地基线电量测点;
4、视电阻率变化的等值线; 5、1976年唐山地震的震中。

在唐山地震发生前的一段短时间内,在离震中最近的台站上记录到了电阻率值的减小,例如,在马家沟台、唐山台、昌黎台、青光台和西集台。而在较远的台站上电阻率值的下降不那么明显。在视电阻率变化($\Delta\rho_s/\rho_s$)的等值线图上,划出了两条等直线,内等值线表示($\Delta\rho_s/\rho_s$)以5%下降,而外等值线则表示($\Delta\rho_s/\rho_s$)以2%下降(图5)。

用的是四电极对称分布。在0.5—1小时间隔内采用人工读数。穿透深度估计是很浅

的，大约几百米，局限于华北平原的黄土表层。

在一次大震之前和之后的这种观测现象中，我们的兴趣在于两方面，即，（1）象唐山地震这样的大震之前，部署在震中附近地区的9个台的台网上有地电阻率连续记录的资料是十分罕见的；（2）在接近震中的台站上电阻率值以明显的数量减小，并且随着台站距离变远，电阻率的下降就变得愈不明显，这一现象似乎并非偶然。

现在观测工作仍在这些台站上进行。这种现象意味着什么？它是否唐山地震的前兆现象？此刻我们还不能够说什么更明确的意见。

在中国，在地震活动区进行地电阻率变化的观测是相当普遍的前兆日常监测工作。这样的台站全国大约有100个。当然，目前（ $\Delta\rho_s/\rho_s$ ）的测量主要还限于地壳的上部浅层，供电电极间的距离一般不超过1—3 km。

此外，在近些年中国发生的其它大地震之前也观测到了地电阻率的减小，诸如1974年5月云南省的昭通地震（ $M=7.1$ ），1976年8月四川省的松潘地震（ $M=7.2$ ）。相反，云南省的宁蒗地震（ $M=6.9$ ）和1973年2月四川省的炉霍地震（ $M=7.9$ ）之前电阻率却是增高的。不过，对这4个地震，电阻率观测台站有的是远离震中的，一般大于100—200 km，并且通常只有1—3个台站在工作。

译自：Source mechanism and earthquake
prediction Paris, 1980.

（邹其嘉译，魏 津校），

地壳的低电阻率层

(日) 行武 毅

一、前 言

研究地壳电性分布时,很多情况是表层为含水的低阻的沉积层所覆盖,覆盖深度根据不同情况从数十米到数公里。但是,从最近在日本东北和中部等地区的测量结果看,在低阻表层的下面接有高阻层,而在大约15—20km深处又开始出现低阻层。其上界面似乎对应于地震波速度的康拉不连续面。如果我们研究一下地震发生的情况就会发现地震多发生在上部地壳而下部地壳很少的事实。因此有人认为,上下部地壳在岩石力学性质方面的这种不同可能与上下部地壳的电性不同(上部地壳高阻,下部地壳低阻)不无关系。在日本,有关地壳电性结构的研究已逐渐地有了头绪。本文将概括地叙述一下有关世界各地的地壳构造情况的研究结果,下部地壳是否处处均为低阻、其成因为何,同时亦将述及日本在这方面的研究现状。

关于地壳电性的研究,使用的方法有众所周知的人工源的人工电位法和利用天然交变电磁场研究感应效应的电磁感应法等。但是,在电性水平非均匀的条件下,这些方法的解析都是比较困难的。比如,当观测点位于高低电性介面附近的高阻一侧时便属此类。当把电阻率分布仅作为深度的函数求解时,由于有水平方向低阻带的影响,将有可能在某一虚构深度上出现低阻层。Porath曾严厉地批评过这一点。虽然在1970年前后曾提出几种下部地壳的低阻模式,有人强烈主张,由于表层电性非均匀性的影响,它有可能是一种“海岸效应”(感应电流集中在低阻沉积层内)的假相。

后来有人考虑了这一效应,采用了二维或三维模式,这样做了之后,仍有不少报告谈到地壳内部存在着低电阻层。下面就按活跃的地壳活动变异带和稳定的大陆地块的划分,来讨论一下目前所提出来的地壳结构模型。

二、变异带的低阻层

在经常举出的例子中,比较典型的是冰岛的情况。在冰岛的东北部曾沿图1所示的横穿裂谷带和火山带的测线进行了大地电磁测量。用平行于火山带的电场分量和与之垂直的磁场分量求出了电阻率与深度的函数关系,其一维解释结果示于图2。在此基础上,用差分法求得的二维构造示于图3。平行构造的解释结果和模型计算结果使用的磁场或电场分量周期分别是30s、100s、300s。用平行构造磁分量的H极化测量取得的视电阻率依地点不同比较分散,这可能是由于表层电性分布不均匀造成的。而平行构造的电分量的E极化测量受表层非均匀性影响的程度没有H极化测量那样明显。

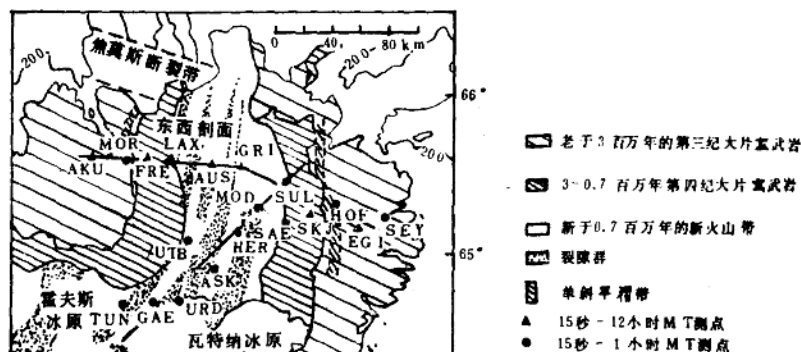


图1 冰岛东北部大地电磁测点分布及地质图

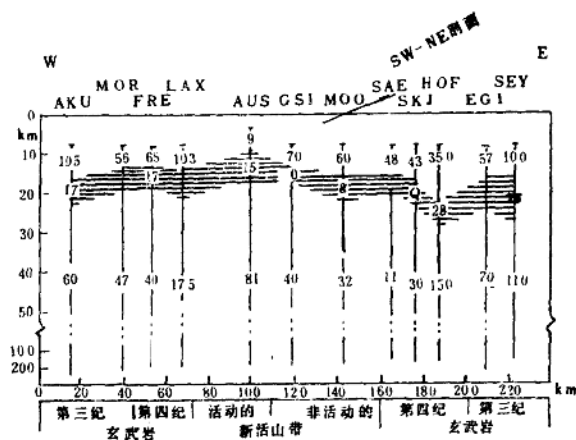


图2 冰岛东北部东西测线的大地电磁一维解释结果
(数值为电阻率值, 单位为OM·M)

从图3看出,在冰岛地区,地壳内存在厚5—10km,电阻率为150M·M的电阻率层。其上界面在火山带处变浅、上升到10km处。Bablo等认为,这是由于在此深度处温度高达1000°C,致使10%左右的玄武岩熔融造成的。

在北美的盆地与山脉省 (Basin and Range), 利用电力线用1.4—20分钟的方波, 最大电流300A求得了地下电率的分布。通过30台Gough-Reitzel型磁力仪 (与电力线正交布设) 测定磁场的结果, 发现了大约20km深处有一个1—50OM·M的低阻层。推测厚度在10km以上。该区地壳热流量较高, 为 $1.5-2.0 \times 10^6 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{s}$ 。但据推测, 在20—25km处的温度为500°—600°C如果岩石处于不含水状态, 是不可能得出5 OM·M这样低的电阻率值的。因此Lienert等认为, 这可能是岩石部分熔融的结果。另据推断, 这一低阻层可能还与壳内低速层有某种关系。

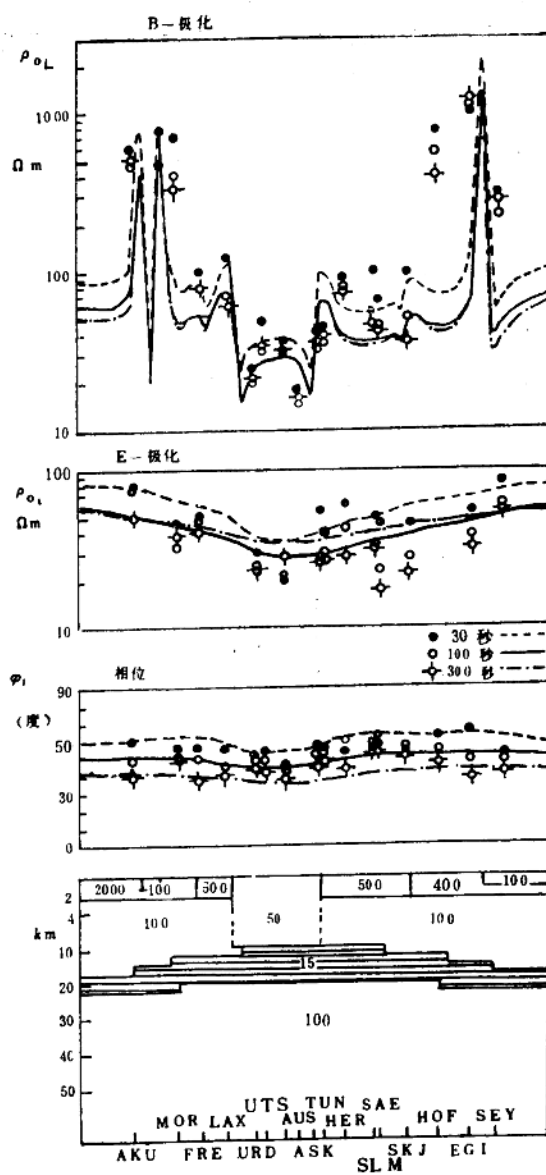


图3 二维模型的冰岛电阻率分布东西断面图和用此模型计算的30s、100s、300s周期的视电阻率与位相差。二维模型中的数值是电阻率值 (OM·M)

最将，在盆地与山脉省附近的格兰得河断裂又进行了大地电磁测量的详查。测定周期为0.03—1700s。他们认为，大约从10km开始，有一厚度约为15km、电阻率为10 OM·M的低阻层。因该区测得的地热流量也很大，因此推测该区地下温度很高。据人工地震预测，地下也可能存在岩浆囊。但是，Jiraceck并不直接用岩浆囊来解释低阻层，他认为，这是由于一层很薄的不透水的延性层（duetile）覆盖着下部地壳，下部地壳的空隙内可能有水并广泛分布所造成的。

此外，利用人工电位法还在南部非洲的变异带发现了在25km深处有15km厚的10 OM·M的低阻层，这些将在下一节一并介绍。

三、稳定地块（大陆）的低阻层

在南部非洲，曾使用电力线进行了人工电位法的地壳深部探测。垂向电测深是通过Schlumberger法的布局进行的，最大供电电极距用到1200km，图4就是进行测量的地点。

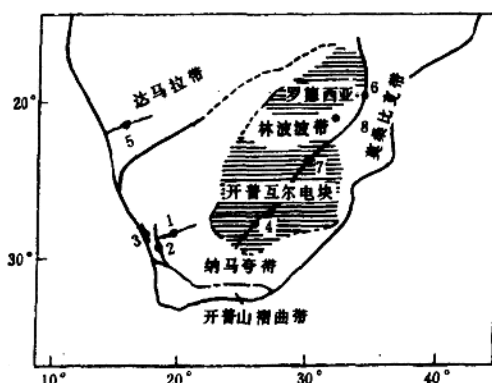


图4 非洲的Schlumberger垂向探测地区

Kaapvaal和Rhodensia*等处属古老地壳，未受到变质作用的影响，而中间的Limpopo地区是有多次受到变质作用遗迹的变异常。在Kaapvaal地块和Limpopo变异带得到的视电阻率 ρ_s 与半电极距（ $\frac{1}{2}AB$ ）的关系曲线示于图5。二者关系的最佳解释结果示于图6。实线是Kaapvaal Craton(C)变异带的构造模型，虚线是Limpopo变异带模型。二者都存在地壳内的低阻层。

据推测，在Limpopo变异带存在上节谈到的那种低阻层，大约从25km深度开始，层厚约15km，电阻率10 OM·M。即，下部地壳电阻低，其下部的地幔电阻值增高，达25 K OM·M。Kaapvaal Craton地区则是在35km处出现低阻层，电阻率为43 OM·M。这一结果表明，在地壳与地幔交界处存在仅有5 km厚的薄层。因该区的地壳热流量并不大，不能用地壳的岩石处于高温状态来解释下部地壳低阻可能与地壳底部的水处于什么样的状态有关。据Van Zijl推测，可能是地幔岩石氢氧化后成为蛇纹岩从而形成了低阻层。

*原文如此，应为津巴布韦——译注

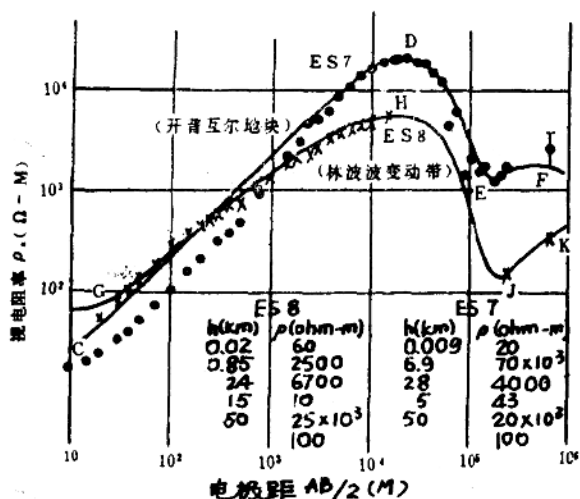


图5 Kaapvaal Craton和Limpop。变异带的视电阻率值及最佳模型

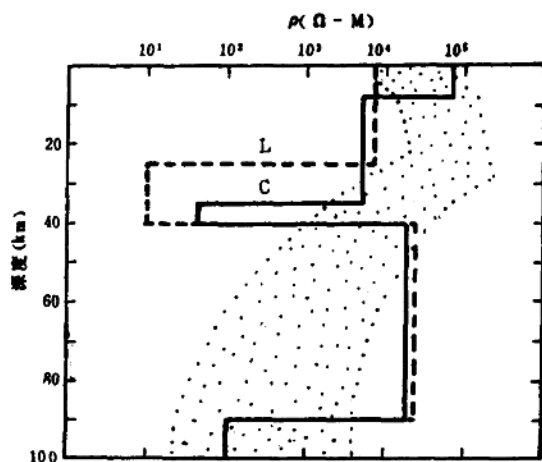


图6 Kaapvaal Craton(C)与Limpop变异带。(L)的电性结构。阴影是室内实验的Brace电阻率模型

在南部非洲还发现了另外一种有意思的构造，就是低阻带与地磁异常带共存。图7就是对48分周期的地磁三分量变(X、Y、Z)作了傅里叶分析的振幅和位相(单位为分)。很明显，沿低阻带X分量的振幅大，以该带为界Z分量的位相有突变。其低阻带的特征是沿这个带地磁总强度与垂直分量异常(Beattie异常)达到数百nT。图8示出电阻率异常带与地磁异常带的关系，符号“+”是磁异常极大点的位置。如果这种磁异常像图9示出的那样，是磁化率为 $7.1 \times 10^{-3} \text{ emu/cm}^3$ 的磁性物质，深度大约从7—8 km开始，厚度约为24km，分布在下部地壳，则可解释得通。据推测，之所以把它作为具有这样磁化率的

岩石来考虑，是由于它是蛇纹岩，是由一部分玄武岩脱水而形成的。可以认为，由于蛇纹岩化过程，磁铁矿被析出从而产生磁异常，与此同时形成低阻带。

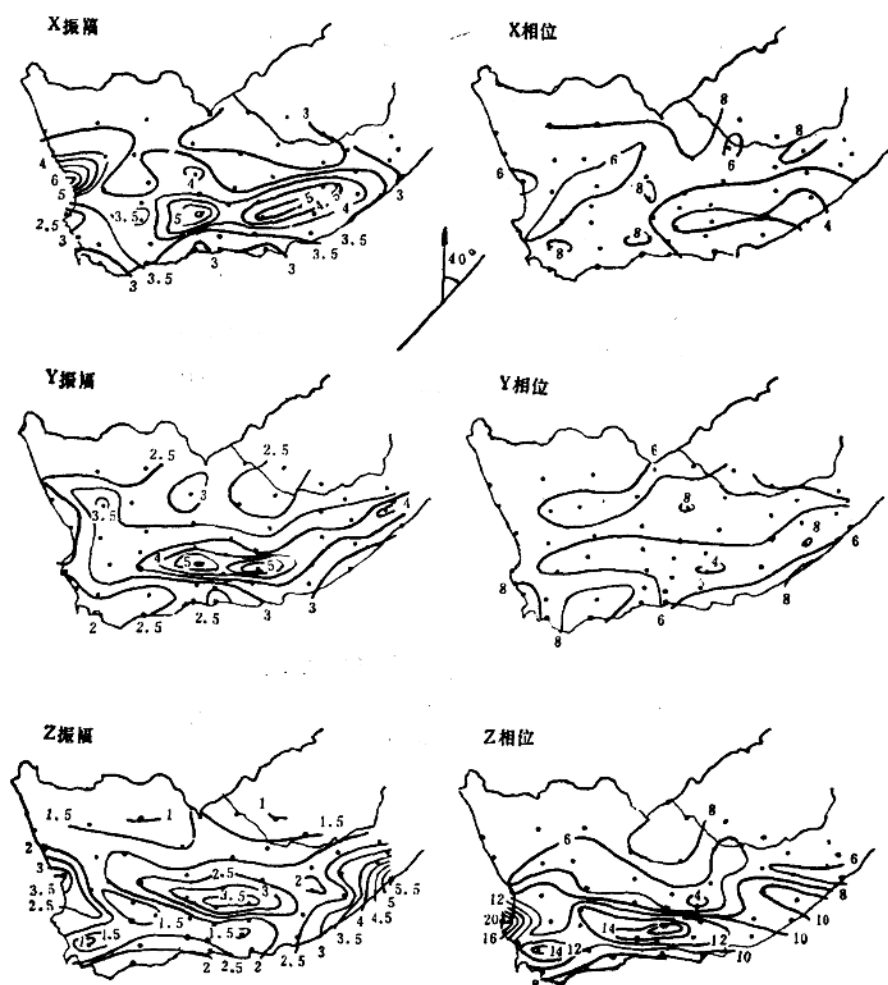


图7 好望角南部导电带。48分周期的X、Y、Z分量的振幅与位相（单位：分）

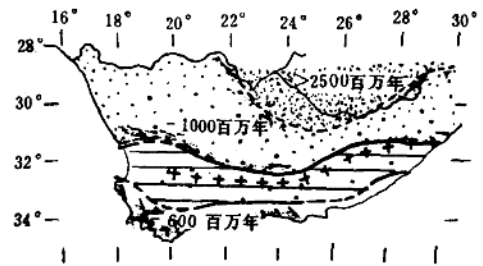


图8 好望角南部导电带与Beattie磁异常带（+是磁异常带的极大点）