

国外情报资料
地壳形变与地震
(二)

国家地震局地震研究所情报资料室编译

一九八〇年十二月武昌

国外情报资料

《地壳形变与地震》(二) 目录

I 地震研究中地形变观测的方法与理论

1. 论坑道内的应变观测(缩译)----- 1
2. 秋田地壳运动观测站地壳运动观测(4)
——男鹿和仁别观测点伸缩变化的比较——----- 39
3. 用伸缩仪、旋转仪、倾斜仪观测地壳运动----- 51
4. 研究地面水平运动时起始点的选取----- 60
5. 构造断裂带上的倾斜和地壳形变的研究----- 67
6. 用信号重合法进行水平位移的调整----- 75
7. 倾斜和应变观测中的空腔和地形效应----- 89
8. Tiefenort 同体潮台站(1958-1973)
非周期地形变的分析----- 114
9. 根据大地测量资料反映的上部地壳形变----- 128
10. 由大地测量资料求地壳应变的精度----- 143

II 地形变观测在地震预报中的作用

1. 苏尔赫布断裂带的地壳形变----- 149
2. 根据大地测量资料研究地壳表层的短周期弹性
形变----- 167
3. 在中加利福尼亚三个地点多台倾斜仪对比的初
步结果----- 177
4. 圣安德烈斯断层北段的地震与断层蠕滑----- 179
5. 现代地壳运动异常资料在地震预报中的作用----- 181

III 地壳形变观测的新技术

1. 用激光干涉仪测量地应变	1 8 3
2. 用电磁方法校准倾斜仪	1 8 6
3. 测量微小位移的激光干涉仪	2 0 0
4. 用双液体倾斜仪进行精密水准测量	2 0 5
5. 芬兰大地测量研究所的长水管倾斜仪	2 1 3
6. 带有绕曲型变压器的石英杆式伸缩仪的标定 及灵敏度	2 4 9
7. 用光电放大微小倾角法标定倾斜仪	2 6 3
8. 供地球物理用的一种新型倾斜仪	2 7 3

论坑道内的应变观测 (编译)

名古屋大学理学部

志知龙一

犬山地壳变动观测所

东京大学地震研究所

冈田义光

富士川地壳变动观测所

(1979 · 5 · 18)

摘 要

多方面因素的影响使得构造运动或潮汐应变所引起地壳变动这类地球内部的信息产生畸变, 并且各类噪声在人们取得最终观测资料以前迭加于信息之上。本文首先分析产生这些影响的原因, 然后依次详论各干扰因素。

(1) 当地环境条件的影响 坑道周围的环境条件有着许多变化。地质、地球物理及地形特征等方面的差异在某种情况下可引起板块运动。而在另一情况下又可改变地壳变动的幅度和方向, 或者两者兼而有之。迄今对这个基本问题研究得很少。

(2) 坑道本身的影响 许多情况下未顾及这项影响, 但洞穴效应产生的信息畸变似乎不可忽略, 尤其在深井中测定应变或倾斜时, 洞穴的持久形变是个严重问题。

(3) 气象因素和地表水的影响 有时温度和大气压的变化是干扰的主因, 此外降雨量的干扰往往很重要并具复杂性, 其影响多与地下水的

活动密切相关，地下水直接或间接地给予应变或倾斜观测很大影响，由100~200 mm降雨量产生 10^{-6} 干扰并非罕见，虽然很好地研究了包括地下水在内的气象因素，并提出几种方法解释所测到的干扰，但未能完全解决问题。

(4) 海洋的影响 海洋潮汐改变固体潮汐记录的振幅和相位，对近海台站影响较大，另外还遭受海洋条件所产生的各种干扰，对海洋潮汐影响的研究令人很满意。

(5) 仪器的影响 地面运动首先传到仪器底座，多半未考虑底座安置的影响。就仪器结构而言，其原理、设计、材料及基线长度方面变化很大，有必要比较之，以探索较好的观测系统。为此曾对各类传感器作过大量对比试验。电子技术的飞速发展使人们易于得到精度高、稳定性好的现代化电子传感器。目前仪器精度或可靠性所达水平：短周期内为 $10^{-12} \sim 10^{-11}$ ，一天为 $10^{-10} \sim 10^{-9}$ ，一年为 $10^{-8} \sim 10^{-7}$ 。长期而论，最高的绝对精度约为 10^{-7} ，对伸缩仪而言取决于激光干涉仪的精度，对水管倾斜仪而言取决于手控读数的精度。

地壳变动的频谱与从 10^{-2} 至 10^{-12} 赫兹的范围很宽的频率成反比，据现代化仪器的探测能力，该频谱的振幅是够大的，足可从观测记录中捕捉到构造运动。基于此，通过对上述(1)~(4)项影响的研究，我们应致力于研究分离噪声的方法。

第一章 序 言

坑道内的地壳变动连续观测，采用专门的应变和倾斜观测手段进行。之，即对一定基准上两基点间微小的相对位移进行观测，之所以要求“坑道”，不列乎该项观测须满足下述条件：两基点间的运动必须正确传递地壳的运动，且该运动应比整个观测仪器遭受的外界干扰大一些，将基线长增至几百米可满足所需条件，MICHELSON曾用长水管在地表附近作过固体潮观测，颇附盛名；我国按现代化方式正使长水管倾斜仪迈向实用化阶段；美国用激光干涉仪在地表进行应变观测时获得了漂亮的固体潮汐记录，然而因装置本身过大，难说任何地方均能进行多方向观测；再则，大规模施测还存在外界干扰大，信噪比不甚高等问题；况且棒型伸缩仪在地表似乎难得到优良成果，而采用坑道，凭借其恒温性，即便几十米长的基线也能获得比地表高得多的信噪比；再则尽管坑道规模小，可是仍能进行多分量观测；进而可选择新鲜基岩作基点，使人们感到放心。

实测的位移量甚微，用基线长10 cm的小型倾斜仪观测振幅为 $10^{-8} \sim 10^{-7}$ 的固体潮，解算资料的精度为1%，则应有 10° 以上的分辨力，换算成位移须分辨出 $1 \text{ \AA}$ （埃）的微量才能保证精度，对于30米级的伸缩仪来说，固体潮振幅不过 $1 \mu\text{m}$ 上下，“坑道”乃保障高分辨力本身之所需，竖井观测亦属同一范畴。

本论文的主题：超级微量位移测定对象在技术上的问题或围绕观测资料的各种问题，正因为采用了坑道，故与之有关的许多问题包括于其内，其中不少问题仍未弄清而遗留下来，另外，仪器方面也暴露

出几个问题，今后应继续研究下去，以搞清上述几点。

第二章 观测资料所显示的特征及其意义

在我国，装配有伸缩仪、水管倾斜仪和摆式倾斜仪的标准观测所共有20多所，就摆式倾斜仪而言已超过70所，相应的报告比比皆是。纵观这些成果可作出若干判断，首先叙述一下业已弄清楚的事件和问题。

A 观测资料的多样化

来自各观测所的资料实在是富于多样性，这是有目共睹的。各报告所包含的内容分为长期变化和年周期变化，图1是其粗略的分类，图示数值的幅度非常大，斜线为多数资料所反映的范围，两端文字表示反映该数值的有代表性的观测点。图中附有竖井观测项目。与大地测量或第四纪新构造运动所得综合值相比，可知其幅度被扩大了不少，且一般说来变化率也变大了，仅从30米长标准伸缩仪和被誉之为稳定可靠的水管倾斜仪资料看，既有连续十年变化为 2×10^{-7} 者，也有年变竟超过 10^{-5} 者，按时间而论这好像颠倒过来了似的而呈现十分复杂的状态，若把小型倾斜仪的记录包括在内，则整个情况变得极其复杂多样化，变动量的幅度竟达到了 10^{-3} 以上。

我们想知道起源于地壳深部的由内因产生的地壳变动，许多学者描述的地壳，再怎样近地表也是单纯的或单调的，并与大地测量及第四纪新构造运动协调，可是实际到手的资料却给人以极零乱破碎之感，许多场合见到的变动值之大足令不少学者迷惑不解，难怪他们会坦率地评击道“地壳变动，难以捉摸”，这是实话。试举标准观测所之一的犬山观

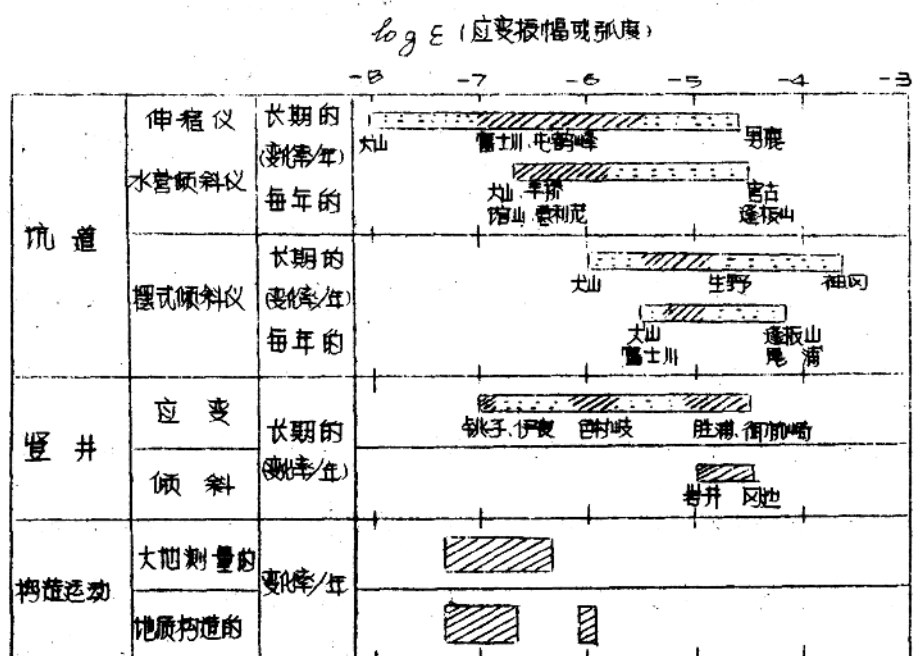


图1 测到的应变和倾斜的数值范围与构造运动范围的比较。

阴影部分表示大多数观测结果的标准值，按仪器注明对应于各值的典型观测台。

测所为例看看(图2)。先说伸缩仪，既有振幅很小，近于正弦波形年周期变化的且长期变化极小的分量(EW30)；也有与坑道涌水量明显对应的、降雨影响较大的、显示较大长期变化的分量(NS30)。再看同方向的水管倾斜仪和摆式倾斜仪，EW分量属于短周期变化型，二者均与涌水量变化极其相似，但振幅相差几倍，且长期变化的方向刚巧相反。而NS分量虽然与涌水量变化对应，属短周期变化型，但二者刚好反向且振幅相差一个数量级以上，摆式倾斜仪资料带有以时

同的函数表示的非常大的零漂。在50米见方的同一坑道内出现如此变化也决非罕见，尽管各观测点存在一些差异，但大体上是类似的。

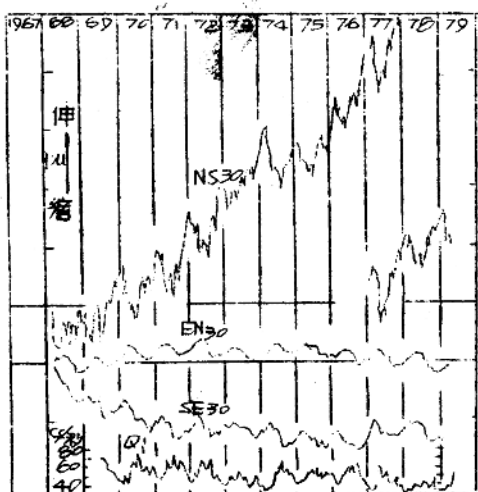
通常以三分量伸缩观测和两分量倾斜观测作为标准，这仅是在假设地基均匀时勉强求出唯一解的最少分量数。但看看图2便知，要将该假定照搬至记录上这本身就行不通。若看看同方向多台仪器的对比试验就更清楚了。

之所以在同一坑道内出现上述差异以及各观测点会有不同反映，其原因可归结为：设置各台观测仪器的环境条件和观测仪器自身构造有所不同，以往的报告和论文大都触及此点。但因可当作原因而加以考虑的因素太多，而论点鲜明者并不多见。

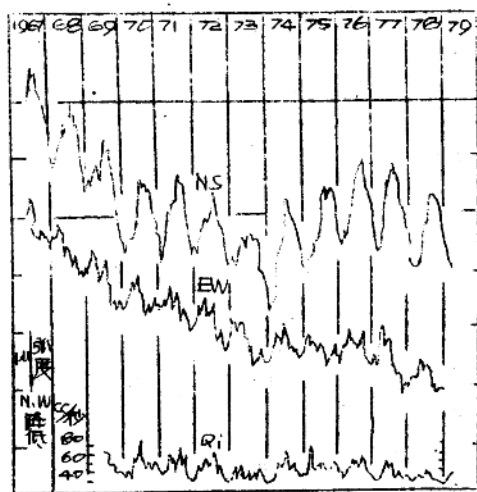
B 与大地测量的相互弥补性及变动类型的共通性。

1962年制订的地震预报蓝图，以大地测量为基础，而地壳变动连续观测则承担弥补前者之不足的任务但愿它能成为揭示地震前兆现象的最得力的决定性手段。

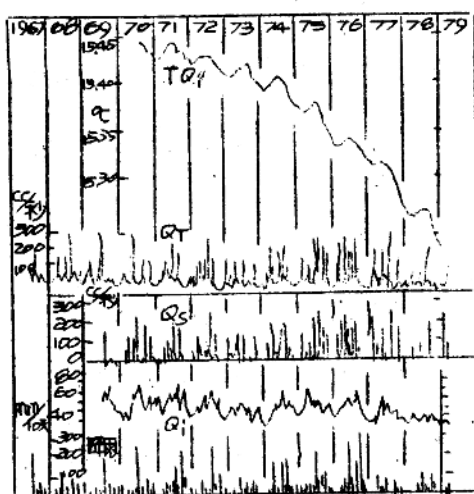
大地测量以往为我们献出了与其地位相称的重大成果。在水平变动方面发现角度变化大之处与地震发生之间显著相关，解算出日本列岛的变动形式，它与地震机制和由活动断裂推导出的应力方向一致，并与近年开创的应力直接测定结果不谋而合，大致呈东西向或北西—南东方向压缩，每年达 $(1\sim3)\times 10^{-7}$ 。在垂直变动方面，与已经发生的地震规模相比，其垂直变动量可被统计法则察觉。檀原的研究



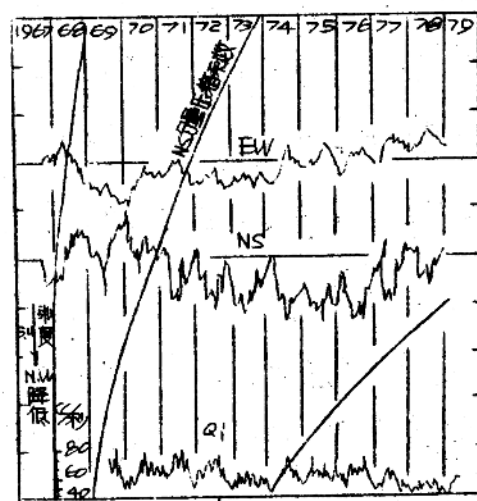
(a)



(c)



(b)



(d)

图2 标准观测所之一的犬山地壳变动观测所的观测实例。

③ 30米长伸缩仪三个分量 (NS30、EW30、SE30) 的应变以及坑道的涌水量 Q_1)。

④ 降雨量；坑道内部的涌水量 Q_1 ；坑道表层的涌水量 Q_s ； Q_1 与 Q_s 之和 Q_T ；坑道温度 TQ_1 。

⑤ 30米长水管倾斜仪两个分量的倾斜量。

d 水平摆倾斜仪两个分量的倾斜量。

得出，日本列岛总体的垂直变动与水平变动相对应，并与第四纪垂直运动极为协调。典型而丰富的大地测量资料促进了板块学说的发展。

若地壳变动连续观测也能得到与大地测量结果等价的成果，岂不是说地震预报技术垂手可得了吗？然而事实并不能如愿，其间存在像图 1 那样的很大差异。当然，也有几个反映两者很协调的例子。认为相补性的成立是有道理的人现在多起来了，作为学问的常规，今后也一定能证明产生大的量级差异的必然性。一般认为：连续观测的范围是一个个的小块体，对此，大地测量从本质来说是加上了空间滤波器的，并且整体的平时变动率还与为时达数年之久的时间过滤器有关。DAMBARA 关于地壳变动的指导原理曾论及这点，他作了这样的假设：随着连续观测的密度和时间的不断加密，则二者理应一致。再则，量级的差异涉及信噪比的改善问题。我们认为，大地测量成果一定是将某一深度以上的地壳深部的运动以其平均量而反映出来的。换言之，即地壳真正的平均变动理应如大地测量结果那样，而连续观测结果也纯粹反映着地壳的变动，则其观测场地——位于地壳最表层的坑道——对于来自地壳深部的信号，照理具有一种放大器的机能。应把这一问题作为关键问题来研究。若能为事实所确证，则量级之差这一问题也就迎刃而解了，从而地壳变动连续观测所承担的任务完全应在地震预报事业中给予认可。实际上，验证工作须针对各个环境条件充分推究所有应考虑到的条件，逐一进行定量分析。当然，这相当费事，但必不可少。

相补性的其它方面也有重要发现。其一是地壳变动的迁移性，其二是相邻观测点在地震前后可能记到共通的变动乃至发现全国性的共通变动类型。

我们对于反映上述现象的事实抱有莫大希望。假设连续观测方式对信号具有放大作用，则这对计量而言倒是有利的。

C 对信号的探测能力

物理学能解释固体潮汐曲线的频谱结构和地震波频谱结构（ $100 \sim 0.0003$ ）赫兹，而地壳内部的其它信号具有何种频谱结构目前尚不清楚，尤其是对（几小时 $\sim$ 1年）这一频带更为陌生，可是该频带是最有希望出现地震前兆的，而困难在于外界干扰频谱也在该频带反映突出。假如地壳变动具有某种频谱结构并能传递给观测仪器，在其上加上外界干扰频谱，它们通过——各观测点的环境条件所固有的独特的频率特性以及观测仪器的频率特性——这个双重滤波器而变成最终记录。我们须付出艰巨劳动从这遭受歪曲的资料中探索那些未知其实质的信号。

上述双重滤波器中的观测仪器问题由第四章评论，它已在很大程度上得到了解决，且选择必要的频带可予以有效控制；而对于测点环境条件所固有的特性是不可能加以控制的，对信号对于干扰其效果均一样，故仪器的探测能力取决于信噪比，低于噪声水平的信号照理是判别不出来的，超过噪声水平的信号可直接、迅速地判断之，简单易行；此外，用统计法则，施加一些滤波操作也能发现一些信号。为了真正进行切合实际的评价，须对平时的干扰特征作出恰当的解析。TANAKA曾将和歌山

群震型地震区域的观测资料作为频率范畴的问题加以处理，他把该处几个倾斜仪记录的频谱结构单纯化，大体连接它们的上限则如图3的(1)那样，可大体上反映这种仪器探测信号的能力。依法泡制，得犬山伸编仪三分量的探测能力如图3的(6)、(7)。这类基本的解析工作在我国作得并不多，故，我们把国外进行的解析也表示到图3中。其中(2)为 BERGER 等人经实地连续长期工作，付出辛勤劳动而取得的成果，此外还有从固体潮各分潮中能挑选出来的振幅、脉冲振幅以及自由振荡信号等。

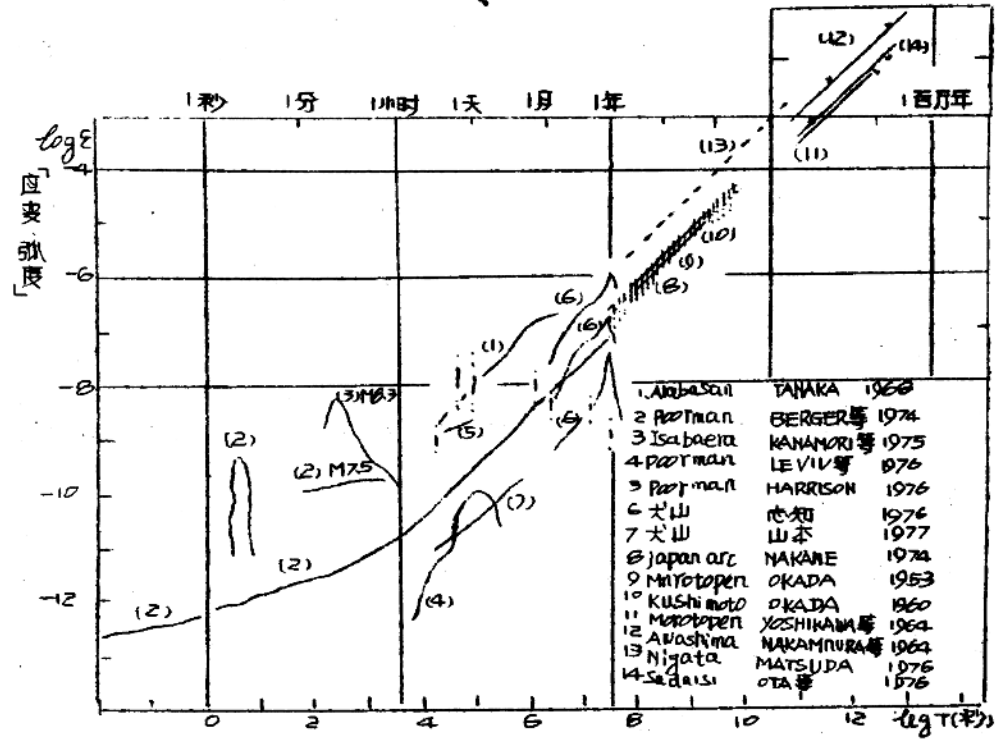


图3 地壳变动的频谱特性。(1)(2)(4)(6)(7)表示应变或倾斜记录的经简化的频谱振幅，它们大致反映各观测点的环境噪声。为便于比较，绘出了固体潮、自由振荡及脉冲振幅所期望的信息水平。也标有由大地测量方法所揭示的构造运动(8)、(9)、(10)以及由地质方法揭示的构造运动(11)、(12)、(13)、(14)。

察看图 3 可作出如下几点判断。(1)随着周期的增大,似乎探测能力以斜率 1 恶化下去,这种倾向开始于 100~几百秒,而在 100 秒以内斜率较平缓,这是由探测器电路元件的噪声水平的界限所确定的,对应变而言,目前稳定于 10^{-12} (参看后文图 15), (2)即便在噪声水平较高之处,现今的观测方式也多半能测到脉动和自由振荡 ($M7.5$ 以上), (3)在连续观测记录中存在较宽的频谱振幅差,既有噪声低,有可能鉴别固体潮半年潮的观测点,也有甚至给全日潮和半日潮带来很大噪声的场所。(4)大地测量和第四纪新构造运动所反映的应变变化率在数量上具有连贯性,其宽度可在几倍范围上变化,故告诉人们,若通过长几十年,几十公里的时空滤波器则正在进展中的构造运动可被大地测量所捕获。(5)若能解决连续观测中出现的长期漂移问题,则其探测能力大致与构造运动所具有的应变速度的延长线一致,在比它低之处,有充分把握能把构造运动产生的信号从连续观测结果中分离出来,若有前节述及的对信号的放大作用,则这种可能性更大。

上面对地壳变动连续观测记录的特征作了概述,实际上很难用同一基准处理一切问题,其障碍是记录的多样化,下章就造成多样性的种种因素进行分析。

第三章 影响观测资料的各种因素

环境条件各异及仪器结构不同导致上述多样性,图 4 是粗略的分类各因素并非各各独立,而是相互交叉,复杂重叠着的,故有必要将它们作为函数关系处理之。

坑道的环境	地下室	(均匀的) 丽山、毛鸭峰	(复杂的) 犬山、富士川	(断裂带) 六甲、变吉
	地形	(简单的) 油壺	(复杂的) 大多数台	
	深度	(浅) 神川、尾浦、鞍吉	(几十米) 大多数台	(深) 九甲、神冈
	离海岸线之距离	(在海岸线上) 油壺	(~公里) 原和花、男鹿、 弥彦、尾浦	(~10公里) (60公里) 大多数台 上笠
	坑道长度	(短) 津久马、马善	(100~200米) 大多数台	(长) 松代、天城、彦根、板山
仪器结构	仪器长度	(2米) 岩谷	(20~50米)	(100~150米)
	观测方式	方式很多	标准的	松代

图4 观测点周围环境的变化影响记录质量。与各项目相对应的典型观测台名也注于图中。

A 因素分析

TANAKA把海洋潮汐和气象作为输入变量，把记录当作输出函数，把环境条件和观测仪器结合起来作为一个混波阵面进行过一系列研究，以寻找其脉冲效应。田中和三云利用已搞清楚的频率特性而在时间领域发现了地震与地壳变动之间的相关性。我们融汇了笠原裕先生的意见，进一步分类而得流程图5。图中方框内的文字表示应考虑的因素的实质，细体字意味着该因素的具体内容，图幅左侧表示因素的类别，另外，图

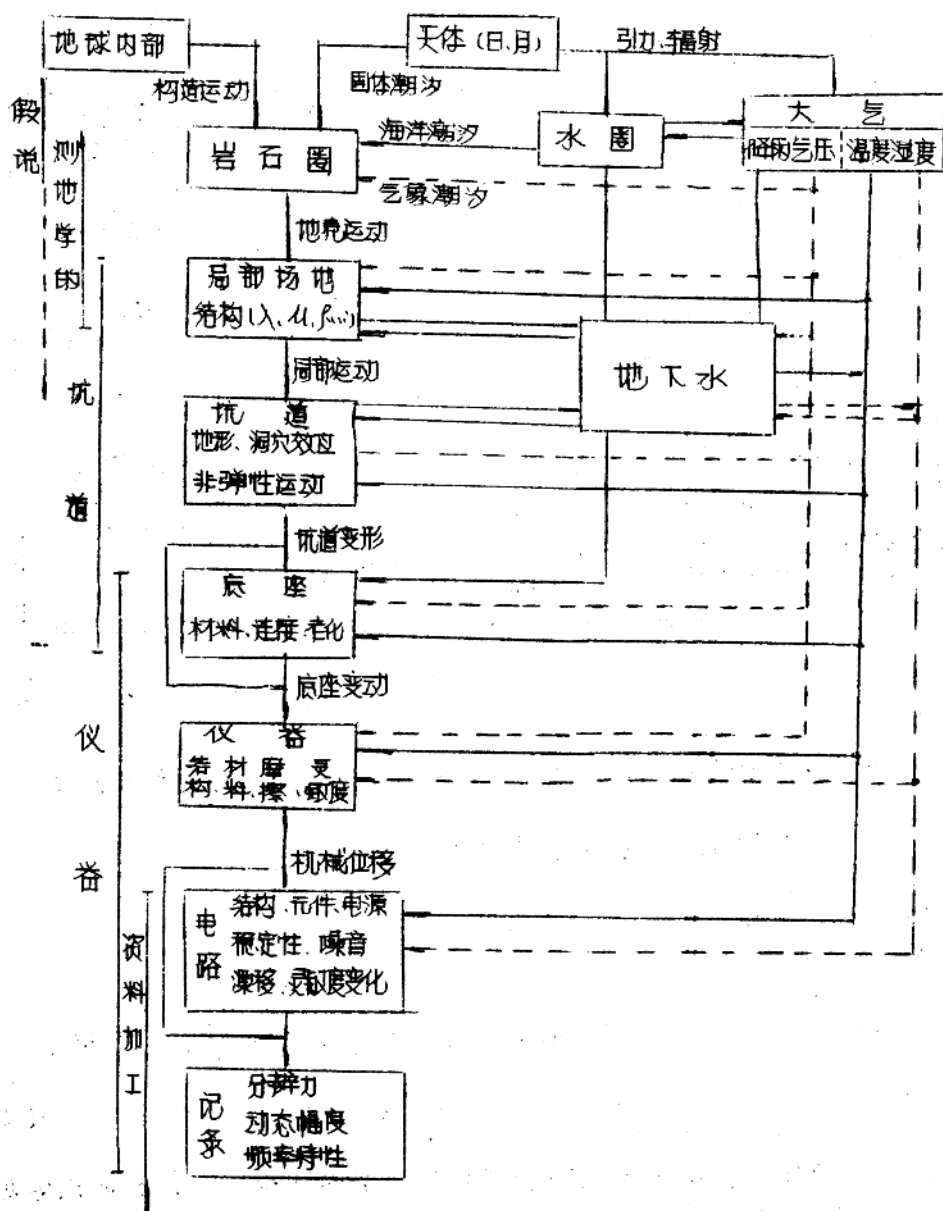


图5 地壳变动观测图解, 表明信号流程中应考虑的因素及其影响。

图左侧是这些因素的分类。

中粗黑箭头表示我们想知道的地壳运动的信号流程，其它箭头表示对它直接或间接施加影响的各种作用。地下水产生的影响特别大，所起作用极其复杂，应慎重对待之。虚线表示湿度的影响，除对仪器设备、电路之外似乎无甚必要考虑之。

乍看上去，流程图显得非常拥挤，最终得到地壳变动记录之前，许多因素的影响掺杂在其上，并交叉重叠，错综复杂。对于可以人为控制的因素则根据基本实验所掌握的特性，在可能条件下加以根本性的改善，反之若无条件则在处理资料阶段将其影响去掉。人为控制越所到程的上部越难，不能控制的因素越发增多，不确定性也越大。具体说，难控制的因素最初大概出现在仪器机械部分，而一旦上溯至属于坑道类型这个阶段，则几个因素一齐袭来纠缠不清而使问题难于解决。至今大部分因素仍未搞清，譬如看看暂且当作异常看待的有长期漂移的记录，它究竟是由机械产生的呢，还是环境条件引起的？图2中摆式倾斜仪NS分量就是个突出的例子。

下节就属于坑道类型的环境条件加以论述。

B 环境条件

从局部场地→坑道→底座这一信号流程中，有几个因素与地下水和气象变化复杂关联纠缠不休，是未搞清的问题最集中的部分。

④ 局部场地与坑道问题

基于 Dilatancy 的理论建立起来的有关地壳变动的重要假说认为：根据地壳变动产生的弹性系数的变化，考虑到潮汐应变的振幅有可能发生变化。这项研究直接涉及地震预报，所以许多学者都把精力集中到这上面。