

地震预报知识丛书

238

地倾斜与地震



地震预报知识丛书(2)

地 倾 斜 与 地 震

国 家 地 震 局

一九七三年九月

毛主席语录

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论。

内 容 提 要

地倾斜观测,是目前预报地震的一个重要手段。本书重点介绍金属水平摆倾斜仪的原理、使用和记录资料的一般分析处理方法。特别对干扰的排除作了较详细的讨论,对于常用的寻找地倾斜与地震关系的方法也作了叙述。一些有争议的学术问题,未予列入。

本书由中国科学院地球物理研究所编写。主要供从事地倾斜观测、分析的地震工作者参考。

出版说明

地震预报是一项艰巨而光荣的科研任务。我国地震工作者和震区广大人民,在毛主席革命路线指引下,为完成这项任务正在努力工作,并取得了一定成绩和进展。

为了帮助广大地震工作者学习地震知识,提高业务水平,更好地为我国社会主义革命和建设事业服务,在几年来广泛实践的基础上,我们组织有关单位编写了这套《地震预报知识丛书》,介绍了地震的基本知识及各种预报方法(包括基本理论、工作状况和经验;仪器的结构、操作及维修等)。

这套书中介绍的某些方法,就各自的学科本身而言,虽然已有相当长的历史,形成了系统的知识,但是用来预报地震,仍处于探索性阶段;因此书中对某些问题的论述,是不够成熟的,仅供读者参考。

由于时间仓促,加之作者、编者的水平有限,这套书在内容的深、浅及叙述的繁、简等方面,未能做到统一。其它缺点或错误亦难免,敬请读者批评指正。

在编写这套书的过程中,得到了很多单位的大力协助与支持,在此一并表示感谢。

目 录

第一部分 仪器观测

第一章 仪器原理	3
§ 1-1 水平摆	3
§ 1-2 水平摆的平衡方程	5
§ 1-3 水平摆的自由振动	8
§ 1-4 灵敏度与格值	8
§ 1-5 量程	13
第二章 仪器参数及其测定	15
§ 2-1 概述	15
§ 2-2 摆轴倾角 i 与自振周期 T	15
§ 2-3 吊丝张力和扭力	18
§ 2-4 折合摆长 l_0	20
§ 2-5 光杠杆长度 A	23
第三章 观测与管理	24
§ 3-1 台址选择	24
§ 3-2 安装仪器	25
§ 3-3 日常维护	29
第四章 其它类型倾斜仪简介	32
§ 4-1 石英水平摆倾斜仪	32

§ 4-2	电子式倾斜仪	35
§ 4-3	水管倾斜仪	38
§ 4-4	天然连通管	42
§ 4-5	简易水管倾斜仪	43
§ 4-6	液面反光装置	46
§ 4-7	平板倾斜装置	46
§ 4-8	小结	48

第二部分 资 料 分 析

第五章 分析基础 51

§ 5-1	构造运动	51
§ 5-2	弹性粘滞介质的运动方程式	52
§ 5-3	震前地倾斜机制的设想	53

第六章 资料处理 58

§ 6-1	量图	58
§ 6-2	计算	60
§ 6-3	作图	62

第七章 排除干扰的一般原则 67

§ 7-1	概述	67
§ 7-2	地下室深度的讨论	68
§ 7-3	相关分析	71
§ 7-4	谐量分析	73

第八章 几种干扰的识别与排除 76

§ 8-1	日照	76
-------	----	----

§ 8-2	气压	85
§ 8-3	海潮	87
§ 8-4	固体潮汐	89
§ 8-5	负荷与爆破	92
§ 8-6	恶劣天气与室内气候	96
§ 8-7	零点漂移	98
§ 8-8	小结	100
第九章 地震前兆的探索		101
§ 9-1	单台分析	101
§ 9-2	多台对比	106
§ 9-3	长趋势分析	108
§ 9-4	强远震分析	110
§ 9-5	小结	113
附录 I. 几种仪器的主要技术规格		115
附录 II. 有关台站的观测条件介绍		119
附录 III. 主要符号表		121
参考资料		122

第 一 部 分

仪 器 观 测



第一章 仪器原理

§ 1-1 水平摆

一、基本原理

这样一种现象是人所共知的：当门框安装不正时，要么门会自动敞开（门框外倾）；要么会自动关闭（门框内倾）。

这是什么原因呢？请看图 1-1。

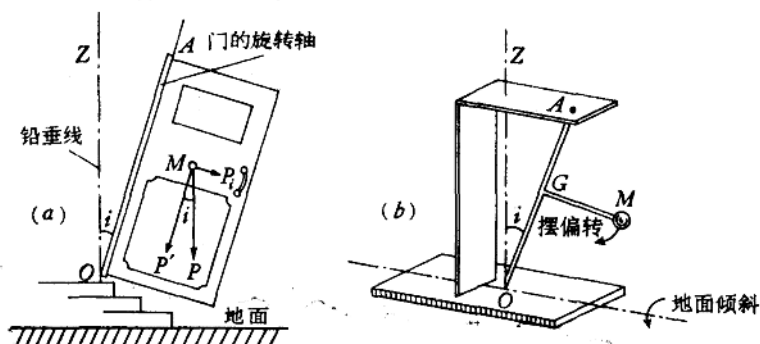


图 1-1 水平摆原理

(a) 门框不正时，在重力 P_i 的作用下，门只能在重心最低的位置上稳定。(b) 当门的质量全部在质心 M 点时，便构成了水平摆。地面的倾斜将引起摆杆的偏转。

从图 1-1 可知，当门框不正时，门的重力方向不是在门轴方向上，而可以分解为两个分量：

$$P' = P \cdot \cos i$$

$$P_i = P \cdot \sin i$$

式中 P 是门的重量, i 是门轴偏离铅垂线的倾角。分力 P' 因平行于门轴 OA 而被反作用力抵销。分力 P_i 与门轴 OA 垂直, 并且在门框的倾斜方向上。这时门的重心位置最低, 最稳定。当门不在门框的倾斜方向时, 则门会自动地转向这个方向。这就是上述日常现象产生的原因。

从图 1-1 还可以看到, 如果门的质量全部集中在质心 M 点上, 这就构成了一架水平摆倾斜仪: OA 是摆轴, GM 是摆杆, M 为摆锤, i 角则称为摆轴倾角。当地面在垂直于摆轴平面方向倾斜而改变了摆轴 OA 的空间位置时, 受重力分量 P_i 的作用, 水平摆杆便开始转动, 至抵重心最低的位置方稳定。据此, 我们便能对地倾斜运动进行观测。

二、水平摆的几种结构

上述这种水平摆的结构属于轴副结构, 此外还有支承结构、悬挂结构、支承—悬挂结构和双悬挂结构等等。

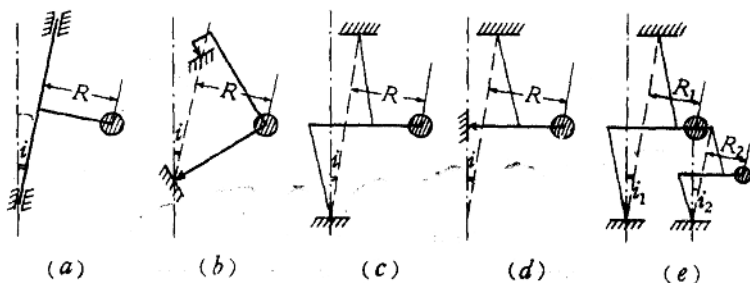


图 1-2 水平摆的几种结构

(a) 轴副摆 (b) 支承摆 (c) 悬挂摆 (d) 支承—悬挂摆 (e) 双悬挂摆 (图中 R 表示摆锤质心到旋转轴的距离, i 为摆轴倾角)

上图所示各种结构中, 轴副结构、支承结构由于支点摩擦严重, 仪器的灵敏度低, 现在很少采用; 双悬挂结构的灵敏度比较高, 但难于调节和装配。目前使用最广泛的是上图第三

种的单悬挂结构。并根据制造材料的不同，而分成金属和石英水平摆倾斜仪两类。

§ 1-2 水平摆的平衡方程

由于地面倾斜变化极为缓慢，摆系在每一瞬间就可视为一静平衡状态。所以，可以用平衡方程来建立地倾斜量与摆杆转角、光点位移量的关系。

当地面在垂直于摆轴平面的方向倾斜时，将改变仪器摆

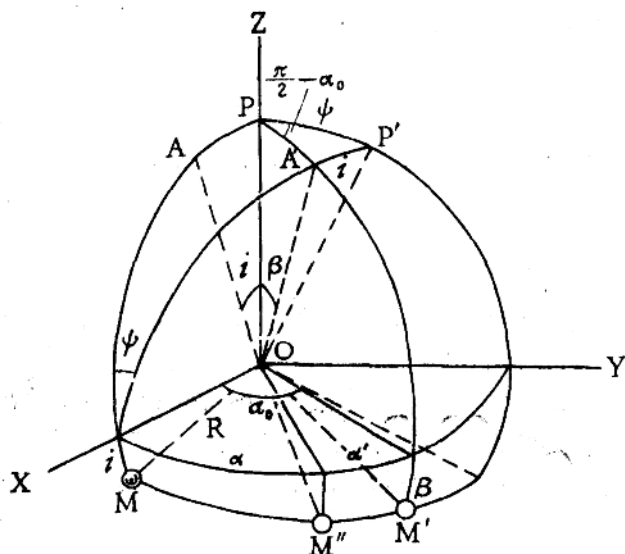


图 1-3 水平摆的静平衡

O ——观测点， OXY ——水平面， OA ——摆轴初始平衡位置， OM ——摆杆初始平衡位置， OA' ——地面倾斜后摆轴的新平衡位置， OM' ——无吊丝扭力时摆杆的新平衡位置， OM'' ——有吊丝扭力时摆杆的新平衡位置。

轴的空间位置,使摆杆从原来的平衡位置转到新平衡位置。

首先,我们不考虑吊丝的扭力影响,建立新旧平衡位置的角度关系。

在图 1-3 中, O 为观测点, OZ 为铅垂线方向, XY 平面为水平面。 OA 、 OM 为摆轴、摆杆的初始平衡位置,此时摆轴 OA 与铅垂线的夹角为 i 。当地面绕 OX 轴倾斜 ϕ 角时,摆轴由 OA 移至 OA' ,摆杆由 OM 移至 OM' ,此时摆轴 OA' 与铅垂线的夹角为 β 。记摆杆从 OM 至 OM' 的水平转角为 α_0 。

在球面三角形 $PA'P'$ 中, $\angle PP'A' = \frac{\pi}{2}$, $\angle P'PA' = \frac{\pi}{2} - \alpha_0$, $A'P' = AP = i$, 据球面直角三角形公式,可得:

$$\sin \phi = \operatorname{tg} i \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 \quad (1-1)$$

通常 ϕ 角很小,仅百分之几角秒至几角秒, i 为一、二十角秒, α_0 一般为几度,作为近似,上式可写成:

$$\phi = i \cdot \alpha_0 \quad (1-2)$$

下面,再考虑吊丝扭力的影响。

从图 1-3 可知,吊丝的扭力并不会改变摆轴平面的新平衡位置 $OPA'M'$,但是,它将使摆杆不能偏转到新的重力位能最低的 OM' 位置上。若在摆杆的初始平衡位置 OM 时吊丝扭力矩为零,当摆杆转 α 角至 OM'' 时,由于逐渐增大的吊丝扭力矩 M_c 与摆锤重力矩 M_p 的平衡,摆杆静止。

$$M_c = C\alpha$$

$$M_p = mgRi(\alpha_0 - \alpha)$$

式中 C ——上下两吊丝的扭力系数

m ——摆锤质量

g ——重力加速度

R ——摆锤质心到摆轴的距离

因为平衡

$$M_c = M_p$$

则

$$\begin{aligned} C\alpha &= mgRi(\alpha_0 - \alpha) \\ &= mgRi\alpha_0 - mgRi\alpha \end{aligned} \quad (1-3)$$

整理后

$$i\alpha_0 = \left(i + \frac{C}{mgR}\right)\alpha$$

令 $\varepsilon = \frac{C}{mgR}$, 并将 $\phi = i\alpha_0$ 代入, 则

$$\phi = (i + \varepsilon)\alpha \quad (1-4)$$

上式即为考虑到吊丝扭力影响时, 新旧二平衡位置之间的角度关系。

式中 α 角是可以测出的。如果采用简单的光杠杆放大系统, 则摆杆的水平转角 α 可近似由记录光点的位移量 δ 而算出:

$$\alpha = \frac{\delta}{2A} \quad (1-5)$$

式中 A 为光杠杆长度。

将此结果代入上式, 则

$$\phi = \frac{i + \varepsilon}{2A} \delta \quad (1-6)$$

该式表征了倾斜仪的工作原理。即: 由地倾斜 ϕ 所产生的光点位移 δ , 与摆轴倾角 i 、光杠杆长度 A 有关, 并且与吊丝扭力矩、摆体重力矩有联系的系数 ε 有关。其中 i 与 ε 不是直接测量的量。

§ 1-3 水平摆的自由振动

如果地面未倾斜, 当水平摆在其平衡位置附近做自由振动时, 其运动方程为

$$\begin{aligned} J \frac{d^2\alpha}{dt^2} &= -(M_p + M_c) \\ &= -(mgRi + C)\alpha \end{aligned}$$

令

$$l_0 = \frac{J}{mR} \quad (1-7)$$

可得

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{g}{l_0} (i + \varepsilon) \alpha = 0 \quad (1-8)$$

式中 J ——摆系的转动惯量

l_0 ——水平摆的折合摆长

由(1-8)式可解得 α 为一正弦函数, 其自由振动周期 T 为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_0}{g(i + \varepsilon)}} \quad (1-9)$$

由于自振周期 T 可以方便测出, 则在实用上常由 T 值来确定 $(i + \varepsilon)$ 值:

$$i + \varepsilon = \frac{4\pi^2 l_0}{gT^2} \quad (1-10)$$

或是利用上式借助鉴定仪器来标定折合摆长 l_0 值 (§ 2-4)。

§ 1-4 灵敏度与格值

一、灵敏度

地面倾斜改变单位角度时, 摆杆水平转角的变化量称为

摆系的灵敏度 I 。即

$$I = \frac{d\alpha}{d\psi} \quad (1-11)$$

摆系的灵敏度,又称为摆系的角放大率。

因为

$$\frac{d\alpha}{d\psi} = \frac{d\alpha}{d\alpha_0} \cdot \frac{d\alpha_0}{d\psi}$$

由(1-3)式得

$$\frac{d\alpha}{d\alpha_0} = \frac{1}{1 + \frac{C}{mgRi}} = \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon}{i}}$$

由(1-1)式得

$$\frac{d\alpha_0}{d\psi} = \frac{\cos \psi}{\operatorname{tg} i \cdot \sec^2 \alpha_0} \doteq \frac{1}{i} \cos^2 \alpha_0$$

所以

$$I \doteq \frac{1}{i + \varepsilon} \cos^2 \alpha_0 \quad (1-12)$$

上式表明: 摆系灵敏度主要由 $i + \varepsilon$ 的倒数决定, 但也与摆杆偏转的水平角 α_0 有关。只有当 α_0 很小时,

$$\cos \alpha_0 \doteq 1$$

才有

$$I \doteq \frac{1}{i + \varepsilon} \quad (1-13)$$

这时 I 近似为常数。水平摆的摆系灵敏度由于 i 和 ε 都很小, 可以高达 10^4 至 10^5 。

二、格值

记录光点位移单位距离时, 它所代表的地倾斜量称为仪器的格值 η 。即