

大地与建筑物 变形测量

王树元 主编

冶金工业出版社



大地与建筑物变形测量

王树元 主编

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

图书在版编目(CIP)数据

大地与建筑物变形测量/王树元主编. —北京:冶金工业出版社,
1994.10

ISBN 7-5024-1565-1

I. 大… I. 王… II. ①大地测量-地壳形变②建筑物-地形测量
IV. ①P227②P217

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第11141号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

北京昌平长城印刷厂印刷;冶金工业出版社发行,各地新华书店经销

1994年10月第1版,1994年10月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;13印张;309千字;202页;1—2000册

13.80元

前 言

科学工作者的责任就在于认识物质世界,改造世界,造福人类。为了利用自然资源造福人类,兴建了大量水利工程、矿山、工业交通设施、各种精密的科学实验设备以及高大建筑物等。各种工程建筑的兴建,有着造福人类的贡献,但也有不利因素产生。例如,水利资源的开发,巨型水电站的建设,为人类的贡献是无可非议的,但是另一方面确也预示着流域影响范围内水文地质条件的改变。水文地质条件的改变,预示着流域区内地表寻求新的平衡运动,产生大地与建筑物变形。为了建筑物的安全,需要对建筑物和地表进行监测,这就是通常所说的大地与建筑物的变形测量。

事实说明,单纯地进行建筑物本身的形变测量研究是很不够的,特别是现在条件下,建筑工程规模巨大,影响范围广阔。例如,三峡水库的影响面积涉及几个省区,地震灾害的影响要比战争破坏影响大得多,因此为确保建筑物(大坝)的安全,除和平的社会条件外,进行地震形变监测的意义重大;就其重要性而言建筑物本身的形变测量应排到次要地位。这主要是因为制约建筑物形变的基本条件是大地形变因素。只有在弄清楚大地形变机理的条件下,才能正确地找到建筑物变形原因,才能提出行之有效的保护措施。

工程测量是一个涉及采矿、地质、地震、建筑工程、水利、交通、土地管理和军事工程的边缘学科。由该专业的性质决定,工程测量专业的毕业生必须首先具备较丰富的工程知识。因为测量在工程中不是目的,而是一种工程管理的重要手段,所以不懂工程的测量人员是无法作好工程管理的。基于这种原因,在教学改革中我们对原用的教材作了较大幅度的修改和补充,写出了“大地与建筑物变形测量”这一工程测量专业的独立教材。这是对专业课的加深和拓广。本书保留了传统的建筑物变形测量内容(第三章),增加了采动变形测量内容(第四章),本书的特色表现在以下四点:(1)从时间、空间观念入手,提出了永久性变形观测站问题,建立了变形分析的指标系统和形变参考值系统(第一章);(2)突出了大地形变、地震形变的机理分析,提出了具体的四维变形测量系统问题(第二章);(3)提出了新的大地沉降变形分析参考基准问题(第一章),建立了新的变形分析理论和方法,实践证明,它可以消除长期存在的大地测量学和地质学两学科之间的认识差距(第五章);(4)本书观测方法齐全,涉及面广,可供各类形变测量科技人员参考使用。

本书的编写委员会由下列单位组成:

唐山工程技术学院 西安地质学院 北京建筑工程学院 南方冶金学院 沈阳黄金学院

编委会成员:王树元、杨志强、李军、刘谊、侯立华、曾宪珪、马洪滨、申立群、吴长悦。

本书由王树元主编;李军、杨志强、刘谊任副主编。编写分工:王树元(第一章第四~九节、第二章、第四章、第五章第十~十二节);侯立华(第一章第一~三节);李军(第三章第一~三节);杨志强(第三章第四~六节);刘谊(第三章第七~九节);马洪滨(第五章第一、二节);申立群(第五章第三、四节);曾宪珪(第五章第五节~九节)。

鉴于水平有限,书中难免存在不当之处,望广大读者批评指正

编 者

1994.5.20

目 录

第一章 变形测量总论	(1)
第一节 变形测量概述.....	(1)
第二节 变形破坏机理概述.....	(3)
第三节 变形观测的精度要求与频率.....	(6)
第四节 变形监测工作的实施.....	(8)
第五节 观测系统的移动与变形衡量指标	(10)
第六节 变形监测控制网的布设原则	(15)
第七节 垂直变形监测控制点与工作点	(17)
第八节 水平变形监测控制网	(22)
第九节 变形控制网的有关问题	(25)
第二章 大地形变测量	(32)
第一节 大地形变测量概述	(32)
第二节 地震形变概论	(35)
第三节 滑坡变形	(38)
第四节 大地形变监测系统	(45)
第五节 四维形变监测首级控制网边长计算原理	(48)
第六节 四维形变监测系统的施测	(51)
第三章 综合建筑物变形测量	(55)
第一节 建筑物变形观测工作点的布设	(55)
第二节 沉降观测	(58)
第三节 倾斜观测	(60)
第四节 液体静力水准测量	(63)
第五节 建筑物垂直变形观测实例	(67)
第六节 水平变形观测设备	(75)
第七节 应用视准线法测定水平位移	(78)
第八节 建筑物水平变形的其他测定方法	(86)
第九节 前方交会法配合视准线法测定水平位移实例	(97)
第四章 建筑物采动变形观测	(101)
第一节 地表移动规律.....	(101)
第二节 地表移动参数的观测.....	(104)
第三节 建筑物采动变形观测.....	(111)
第四节 建筑物采动变形预计.....	(115)

第五章 观测资料的整编与变形分析	(125)
第一节 观测资料的整理	(125)
第二节 精密水准测量与观测成果精度鉴定	(129)
第三节 水平角观测与观测成果精度鉴定	(132)
第四节 最终变形值的计算与决策分析	(134)
第五节 变形分析的基准问题	(137)
第六节 平差模型的正确性检验	(143)
第七节 点位稳定性分析	(146)
第八节 变形模型的统计检验	(160)
第九节 回归分析原理	(164)
第十节 一元线性回归分析方法在变形观测中的应用	(171)
第十一节 模糊聚类分析的数理基础	(176)
第十二节 模糊聚类分析方法及其应用	(190)
参考文献	(202)

第一章 变形测量总论

第一节 变形测量概述

一、变形与变形类型的划分

从唯物主义的观点看问题，世界上一切事物都是运动的，绝对稳定的事物是不存在的。因此，变形测量是在运动中进行的测量工作。所谓的变形，指的是地表、岩体和建筑物之间或者是岩体、建筑物内部点与点之间的三维空间的位移。只有这种点与点之间的三维空间的位移才可能对建筑物的安全构成危险。因此，不能笼统地认为运动就是建筑物变形产生的原因，更不能简单地认为变形就是破坏。这中间有一个从量变到质变的过程。就变形类型而言，有大地变形与建筑物变形之分，前者是后者的控制基础。若按建筑物变形破坏力生成原因，建筑物的变形可分成三类：(1) 天然建筑物变形；(2) 人工采动变形；(3) 综合型。天然建筑物变形，主要是指由地球运动内力如地震、地球隆起与沉降造成的建筑物变形破坏。人工采动变形主要是指地下有用矿物的开采如采矿、采油、采水造成的变形破坏。综合型变形指的是分不清是人为的还是天然移动，而是介于两者之间的综合变形。由于影响因素众多，无法将其严格划分，所以只能将天然的和部分人为建筑物变形归为同类论述。即分为综合建筑物变形观测和建筑物采动变形观测两大类。

随着时代的前进，科技事业的发展，人类的生活生产领域不断扩大。首先是人类的地下采掘活动逐步扩大到城下、建筑物和构筑物下；大量的工矿混杂城镇与日俱增，这类城市的建筑物变形问题已不再是单一的某一类变形问题，而是地壳运动和采动变形的综合影响结果。因此，要求技术人员必须掌握多方面的建筑物变形理论和观测方法。其次是大型建筑物和工业设施的出现，例如摩天大楼、塔型高大建筑和巨型水电站的拦水坝、特种精密型运动设备等。由于种种因素的影响，这些高大工程建筑物和设施在运营过程中都会发生某种程度的变形。如果变形保持在一定范围内，则可认为是正常现象，如果不是，就会影响建筑物的正常使用，严重时还会影响建筑物的安全。第三，人类生存的空间需要安全保护，例如山区的滑坡时刻在威胁着人类生产生活的安全，地震区需要及时预报地震活动情况，等等。因此，在人类的生产生活与科研活动中，迫切需要监视地表、工程建筑和设施以及生存空间的点位移动状况，即所谓的变形观测。

二、变形观测的任务

变形观测的任务是长期地对大地和建筑物的地表移动监测点（统称其为变形观测系统）进行重复观测，捕捉变形敏感部位和各观测周期期间的变形观测点的变形信息。

变形测量的内容应视变形观测系统的类型和性质以及设站观测的目的的不同而异。它要求有明确的针对性，做全面考虑，以便能正确地反映出变形信息的变化状况。达到安全保护之目的。

1. 大地形变监测

大地形变监测的主要任务是了解地壳的动态,观测的主要内容是观测监测点的点位位移、移动方向、移动速度、高程变化等,为采取紧急安全措施提供有关数据。

2. 工业与民用建筑物变形观测

对于工业与民用建筑物基础,主要观测其下沉和纵横向的长度变化,用以计算建筑物的倾斜、弯曲、拉伸与压缩变形以及下沉速度,并绘制出沉降分布图,对建筑物的主体部分,主要观测倾斜和裂隙。工业企业和科学试验设施以及军事设施中工艺设备、导轨等,对倾斜和水平位移较为敏感。高大建筑物对动态变形和倾斜变形就显得重要一些,因为这类变形直接影响到建筑物的使用。

3. 土工建筑物稳定性监测

土工建筑物稳定性监测以土坝为例说明。其观测项目除水平位移和沉降外,还要测定坝体的浸润线,渗漏状况和裂隙分布。

4. 钢筋混凝土建筑物的变形观测

钢筋混凝土建筑物的变形观测主要以混凝土重力坝为例。其主要观测项目是水平位移、高程变化和断裂分布状况。其目的在于监视坝基的稳定性和坝体的弯曲变形。以上内容通常称为外部变形观测,也就是用工程测量的方法确定建筑物外形的三维空间位移。此外,由于钢筋混凝土重力坝属于大型水工建筑物,其安危涉及到广大地区的人和物,设计理论比较复杂,所以除了外部变形观测外,还要了解坝体的内部情况,如混凝土应力、钢筋应力、温度、水位等。这些内容一般称为内部观测。通常的做法是将电学仪器和仪表埋设在坝体内。用电缆或管道通往廊道内,进行定期观测。内部和外部观测关系密切,因此应同时进行观测,以便在资料分析时互相补充和检验。

5. 地表沉降观测

在冲积表土层大面积覆盖的平原地区,地下水的超量开采,影响了土层的结构,使地面出现显著的下沉。对于地下采矿地区,采出有用矿物后,不仅使采区上方的地表下沉,而且还要破坏含水层的平衡状态,加剧地下水的流动。流动的地下水可带走大量的泥沙,也会形成地表下沉。其下沉影响范围可大于开采影响半径的3倍,地表的下沉有时还会形成积水区,影响仓库的使用和居民的正常生活。有时由于拉伸和压缩作用,破坏了地下管线,造成油管漏油、水管漏水、气管跑气,既影响使用又危及建筑物的安全。因此必须定期进行监测,掌握移动变形规律,采取适当保护措施。

三、变形观测方法

大地与建筑物的变形观测方法主要根据变形观测系统的特性、工程地质与水文地质情况、观测区域的地形情况、精度要求和周围环境状况确定。可采用几何水准测量、三角测量、经纬仪导线测量、光电测距导线以及物理方法。目前在有条件的地方正在研究和使用GPS三维变形监测和自动监测,朝着自动化和半自动化的方向发展。

为完成变形观测任务,通常在工程建筑物设计阶段就应着手地基工程地质和水文地质状况的研究,拟定变形观测方案,并将其列为工程建筑物的一项基本设计内容,以便在施工时埋设设计的测量标志。

第二节 变形破坏机理概述

一、综合变形破坏

在变形观测实施之前,必须首先弄清变形产生的基本原因。只有这样,才能做到对症下药,才能正确地布设监测控制网,观测到可靠的变形数据,才能得出确切的变形分析结果。

地壳在内力作用下运动形式很多,所以变形形成原因也是多方面的。

1. 地壳板块运动引起的变形破坏

地壳板块运动的范围一般很大,建筑物将随地基的隆起而上升,随地基的沉陷而下沉。建筑物随地基的整体升降并不意味着建筑物必定要破坏,其起决定作用的因素是地基的倾斜。超量的倾斜使建筑物失去应用价值或由此而引起建筑物受力不均、造成破坏。位于运动板块边缘的建筑物将遭受板块运动的剪切力,而被剪断。

2. 地震引起的变形破坏

地震产生的基本原因有火山活动和地壳的构造运动。例如1976年7月28日的唐山地震,就是构造地震。在有褶皱地质构造的岩层中,在构造力的作用下,应力在平衡过程中可能导致地壳内部产生摩擦运动,并使地壳表面出现地震式的震动力。如果这种震动力达到5级,建筑物室内墙面上就可能出现裂缝;波兰上西里西亚地区20年的观测结果表明,5级地震可使地表下沉0.15m,水平变形达0.6 mm/m。

3. 地质构造引起的建筑物变形破坏

在有断层存在的地区,如果建筑物横跨断层的两盘,那么只要断层的上盘稍微有错动,地表建筑物就被剪断。如图1-1所示,基础随上盘下沉,使建筑物破裂。

4. 滑坡引起的变形破坏

滑坡多发生在山区,一般分为重力型滑坡和沿层面滑坡。图1-2为重力型滑坡,在岩体

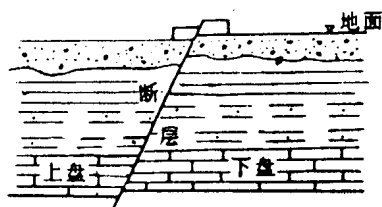


图 1-1 地质构造运动

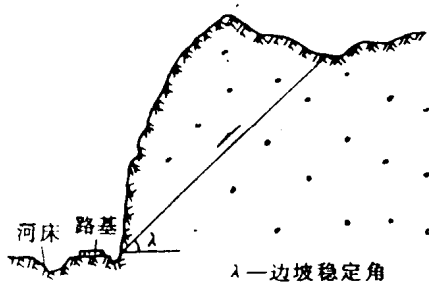


图 1-2 重力型滑坡

重力作用下岩体沿边坡稳定角向下滑动。图1-3为沿层面的综合型滑坡。建筑区位于江边的斜坡上,建筑物的基础为表土层和岩石风化带,表土层和石灰岩风化带之间有一很好的遇水滑动层。当初由于无水渗入滑动层,建筑物世代安全存在。但是由于沿江修建了大型拦河坝,改变了水流分布状况,水位提高后,江水大量渗入滑动区,从而导致建筑区的滑坡变形破坏。沿长江流域的上游曾发生过数次类型的滑坡,可以预料到,随三峡工程的兴建,这类滑坡还会增多。

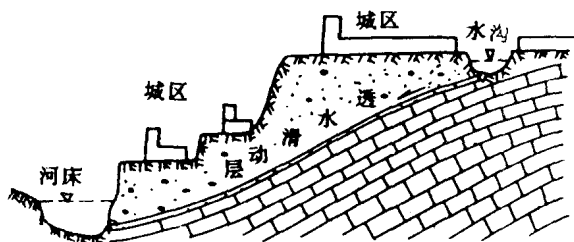


图 1-3 沿透水滑动层滑坡

5. 地下水过量抽采引起的建筑区破坏

坏

地下水过量抽采引起的建筑区破坏的两个典型的例子:

(1) 山东省泰安塌陷: 自 1976 年来, 泰安南部旧城区居民房屋连续塌陷倒塌, 东郊自来水厂机井周围塌陷坑成群出现 (约 30 多个), 坑深 1~6m, 坑口直径 1~6m, 1979 年泰安化肥厂院房开裂,

大烟囱下沉。同年, 火车站的道岔处倒塌, 深 5m, 直径 8m, 回填后仍有下沉。1980 年 7 月, 车站正线间发生塌陷, 1982 年 8 月, 旧城仓库塌陷, 使部分货物陷入坑内。泰安市发生的大规模塌陷, 直接影响了津浦铁路的运输, 曾使铁路钢轨架空, 行车中断或放慢车速。为整治泰辛联线三角区的塌陷共耗资 2000 多万元。

(2) 秦皇岛柳江盆地石门寨水源地岩溶塌陷: 自 1976 年 7 月 28 日唐山地震到 1988 年的 12 年间, 秦皇岛石门寨地区共发生岩溶塌陷 305 处, 其中地震后出现 9 处, 1983~1985 年水源地投产出现 287 个陷坑, 塌坑直径约 2~18m, 可见深度 0.5~0.8m, 形态有圆形、椭圆形, 碟型。从剖面上看, 为筒状、坛状、漏斗状。主要分布在石河河谷、鸭水河河谷、石门寨中学至石河河谷西侧, 塌陷面积 0.19km², 影响范围 3.7km²。

6. 自然条件变化引起的变形破坏

自然条件变化引起的变形破坏主要是指由大气条件, 如大气温度、降雨量变化引起的变形破坏, 干燥气候等的变化造成的变形破坏。由于蒸发、腐烂、植物的吸收作用, 使得粘性土和有机物质中的水分减少, 自然温度大大降低, 粘性土的体积减小, 在自重或外力作用下表土层的孔隙度减小, 称这一过程为土的固结。实践证明, 在这种情况下体积可减小 15%~30%。如果这种固结土重新吸收水分, 其体积重新增大, 称这种过程为土的膨胀。泥质板岩的膨胀率为 5% 左右。松散的土层在去水以后, 由于浮力消失, 自重作用产生的压力增加, 其下部的粘土产生压缩。这种压缩作用产生的沉降变形区间比较小, 对建筑物危害很小。实践证明, 粘土的收缩作用则不然, 由于土体在不同部位干燥程度不同, 它可使房屋一角地基下沉, 由于基础的弯曲作用使其结构破坏。在房屋的阳面, 干燥的较快, 其基础的影响深度大, 在阴面则不然。由于不均匀的干燥结果, 使土地基呈拱形隆起。

在河谷地带和汇水区, 河水水位的变化影响着表土层的水流坡度。如果是洪水期, 升高了的河水水位可波及到河两岸宽达数公里的表土层区; 河水水位下降后, 表土层水向河流倒流时, 水流将带走松散的泥沙, 使建筑物产生倾斜变形。有的由于沿着含水粘土层流动, 引起表土层移动或滑动, 可使靠近斜坡的建筑物遭到破坏。

用碎石铺底的公路面容易受到因冰冻而引起的表土膨胀 (当温度低于 -20℃ 时, 冰的膨胀系数大约为 1mm/m)。如果地基为回填土, 地表可能产生不均匀下沉, 从而导致建筑物出现变形裂缝。

7. 自然因素和人为因素综合影响引起的变形破坏

产生这类变形破坏的建筑物事例很多, 有民用建筑, 也有公共设施。一座大楼的倒塌, 其影响面是小的, 而一座大型水库的决堤, 影响则是广大的。下面就以水坝的破坏说明其原

因。

美国的奥斯丁重力坝，坝长 390m，最大坝高 20.7m。于 1883 年建成使用，在 1900 年前，由于泄水孔下地基的软弱岩层受到冲刷，该坝局部受到破坏。1900 年 4 月 7 日，发生特大洪水，坝顶上溢水高度 3.35m。巨大的洪水使坝体中部长约 152m 的坝段发生动摇和偏斜，顺流下滑 18m 远。事故后查明原因：大坝基础不好，又没能事先做出处理；在修复过程中，又没能对坝基下的卡斯特构造现象进行研究，岩石的裂缝也没能进行灌浆处理，没能对坝址石灰岩的渗漏、裂隙和坚固程度进行研究，以至在坝体重力作用下发生坍塌，在洪水作用下决堤。

美国的提堂土坝，坝长 900m，坝高 93m，是一座不透水的心墙坝。由于设计施工不完善，蓄水后出现严重渗漏，再加上建成后的管理不当，大坝于 1975 年建成，1976 年 6 月就遭到破坏。上列水库破坏在经济和人员死亡方面的损失都是巨大的。由此引出的教训：

- (1) 做好坝址基础的勘测，详细查明地质状况；
- (2) 精心设计、处理好坝体的基础；
- (3) 加强施工管理，不留隐患；
- (4) 做好运营过程中的管理，定期进行变形观测，定期进行检修。

二、建筑物采动破坏机理

在地下有用矿体采出之前，岩层处于力学平衡状态，当地下有用矿体采出后，岩层原始力学平衡状态被打破，为寻求新的平衡状态，岩层开始移动形成了采动力。此时的地表建筑物除受其自身的重力作用外，其基础还要承受采动力的附加作用。实践证明，采动附加力和建筑物自身重力的综合破坏力随建筑物与回采工作面之间的位置不同而变化，其对建筑物的破坏影响不同。

1. 地表下沉对建筑物的破坏

地表的均匀下沉，使建筑物发生整体位移，此时对建筑物的整体结构似乎危害不大，但是应该看到，所谓的整体位移并不是一下子发生的，而经历了一个动态过程。如图 1-4 所示。A、B 为回采工作面线位置， δ_0 ：采动影响边界角；在边界外，变形值为 0 或很小，对建筑物无破坏影响。在工作面线从 A 推进到 B 的过程中，建筑物先受拉伸变形力作用，如图中位置 1；随着回采工作面的推进，建筑物要发生倾斜，并承受压缩变形力的作用。如图中位置 2，当回采工作面线推进位置距建筑物的平距大于 $HCtg\delta_0$ 时，建筑物又恢复原状，只是发生整体垂直位移，如图中位置 3。由此可见，只要建筑物能承受回采过程中的变形作用，即可保证建筑物完好。实际上这只是一种理想，通常大多数建筑物都因承受不了动态变形力的作用而遭到破坏，除非采取事先加固措施。当地表下沉 W 比较大时，一是地面形成积水坑，二是地下水位提高，这样会使建筑物基础浸泡在水中，不仅影响建筑物的使用，而且还要降低建筑物基础的强度，严重时导致建筑物倒塌。

2. 地表倾斜对建筑物的破坏影响

地表倾斜使建筑物的基础高度发生变化，从而改变建筑物的均布受力状态，如图 1-4 的 A 位置的正上方地表倾斜引起建筑物倾斜。使得建筑物的受力中心发生移动。当作用到局部薄弱环节位置时，建筑物有可能被剪断。如果是管线类建筑物或者铁路、公路，可以改变坡度增加运营阻力。如果是基础面积很小的细高型建筑物，例如：大烟囱、水塔等，可使建筑物的重心发生偏斜，导致其倒塌。

3. 地表曲率的变形破坏

地表曲率的变形破坏如图 1-5 所示。地表曲率有上凸、下凹之分，即正、负曲率。当地

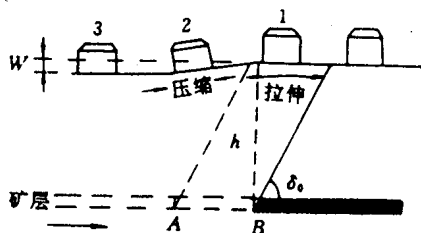


图 1-4 建筑物的动态变形过程

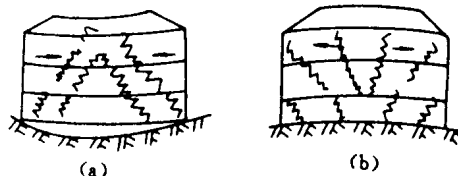


图 1-5 曲率对建筑物的变形破坏

表出现下凹曲率时，建筑物的基础犹如一个两端受力的支撑梁，中间出现悬空，建筑物上部的墙体产生“八”字形的裂缝，如图 (a) 所示；当地表出现上凸曲率时，建筑物的基础集中在中间部位承受支撑力，其两端出现悬空，建筑物的上部出现向外的拉力，致使建筑物的墙壁产生倒“八”字的破坏裂缝，如图 (b)。其裂缝角约为 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。

4. 水平变形对建筑物的破坏

建筑物在外力作用下沿轴向发生的长度变形称为水平变形，水平变形有拉伸和压缩变形之分，主要取决于建筑物所承受外力的性质。水平变形对建筑物的破坏比较明显，尤其是拉伸变形，由于建筑物的抗拉变形能力一般较小，所以在长条形建筑物上（例如长条式楼），较小的地表拉力都可使建筑物产生裂缝，产生裂缝的部位多数在建筑物的薄弱环节（门窗处）。

压缩变形是由于建筑物的基础承受地表压应力的结果。压应力从相向的两个方面对建筑物作用，往往使门、窗洞口挤成菱形，使墙产生水平剪断裂缝，甚至使基础压裂。

第三节 变形观测的精度要求与频率

一、变形观测的精度要求

变形测量的应用范围很广，所以不可能订出统一的精度要求。制定变形观测精度要求的基本要求是以满足设计要求为标准，具体情况具体对待。

观测精度要求指的是最弱点的点位相对于变形测量控制点的三维绝对误差。

1. 采动变形观测

(1) 变形测量控制点的测设精度要求：水准测量的联测精度不低于三等水准测量的精度要求；平面控制点的联测视变形监测网的大小而定，可采用四等导线和四等三角测量方法或 5 秒导线和 5 秒三角测量方法。

(2) 变形监测点的测量：变形监测点的测量主要为几何水准测量方法，水准测量精度要求不低于四等水准。支距测量的精度要求视具体情况而定。

2. 工业与民用建筑物的变形观测

(1) 工业与民用建筑物的变形监测控制网：水准测量应不低于第五章第二节有关三等水准测量的精度要求，并按有关规定施测。平面控制测量按第五章第三节有关规定和精度要求施测。

(2) 变形监测工作点的施测精度：文献 [2] 指出，我国建筑设计部门在研究高层建筑物的倾斜时，把允许倾斜值的 $1/20$ 作为观测精度指标，例如，设计允许倾斜度 $i=4\%$ ，求得顶点允许偏斜值为 120mm ，则中误差 $m=120 \times 1/20=6\text{mm}$ 。根据实测原则，在确定了必要的中误差之后，还要根据自身仪器设备和技术力量，确定一个比较容易达到的精度要求，而且尽量减少过多的人力、物力和财力消耗。因此，把 $m=2\text{mm}$ 的观测中误差作为工业与民用建筑物变形测量工作点的施测精度要求。

在生产实践中，一些特殊的生产设施往往需要有较强的施测精度，例如：连续生产的大型车间的天车、吊车轨道、钢筋结构、钢筋混凝土建筑物等，一般要求能反映出 1mm 的沉降变化；对于一般的车间和厂房，能反映出 2mm 的沉降变化即可。因此确定变形观测点的高程测量误差应小于 $\pm 1\text{mm}$ 。如果是特殊的精密工程项目，应具体情况具体对待。

3. 水工建筑物的变形观测

(1) 水工建筑物的变形监测控制网：水工建筑物的变形监测控制网应按有关的规程规定施测。高程控制网按二、三等水准施测。平面控制网按三、四等导线或三角测量的有关规定和精度要求施测。

(2) 变形监测工作点的施测：由于水工建筑物的结构、形状各不相同，所以，变形观测的内容和精度要求自然也不一致。即使是同一建筑物的不同部位（如：拱形坝），其观测精度要求也不相同；变形大的部位（如：拱冠），其观测精度要求可低于变形小的部位（如：拱座）。对混凝土大坝，变形观测值的精度应不低于 $\pm 1\text{mm}$ ；对于土工建筑物，则要求变形观测值的精度不低于 $\pm 2\text{mm}$ 。

二、观测频率的确定

观测频率确定的基本原则：实用原则。变形观测即要能正确地反映出变形监测工作点的变化过程，又不得漏掉变形速度和变化时刻，还要做到观测工作量最省。

下面以建筑物的基础下沉观测为例，确定建筑物变形观测频率。

在荷载力的作用下，建筑物的变形过程大体上可分为以下四个阶段：

(1) 开始阶段。因为是施工阶段，建筑物逐渐加大并加重，基础上的压力增大，沉降速度较高，年下沉量可达 $20\sim 70\text{mm}$ ，此即活跃期。

(2) 下沉速度减缓阶段。在此期间，建筑物基础的年下沉量约为 2mm 。

(3) 平稳下沉阶段。在平稳下沉阶段，其下沉速度约为每年 $1\sim 2\text{mm}$ 。

(4) 稳定阶段。图 1-6 为建筑物的下沉—时间函数。文献 [2] 指出，在施工阶段，观测频率应高些，一般有三、七天、半个月三种观测周期。建筑物竣工投产后，观测频率可低些，一般有一个月、二个月、三个月、半年及一年不同周期。在施工阶段，也可按建筑物荷载增加过程进行观测。从工作测点埋设稳定后的第一次测量起，荷载增加到 25% 时

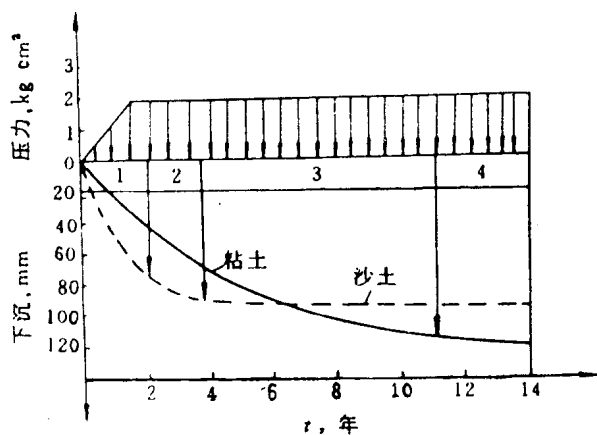


图 1-6 建筑物基础下沉—时间函数

观测一次，以后每增加荷载的 15% 观测一次；竣工后，一般第一年观测四次，第二年两次，以后每年一次，特殊要求的水工建筑物每年不少于两次。

图 1-7 为中硬煤系地层的地表下沉—时间函数。由图可知，井下开采一年后，地表下沉已达 75%，两年后达 90%，三年后达 95%，五年为 100%，图 1-8 图以硬砂岩为主的煤系地层的地表下沉—时间函数，由图可知：井下开采两年后地表下沉只有 5%，岩层移动活跃期主要发生在采后的 3、4、5 年，达下沉的 95%，7 年后地表才稳定。由此可见，下沉活跃期出现随岩性不同有早、迟不同。在活跃期，有 15 天、30 天两种观测周期，初始阶段和衰退阶段一般每隔三个月观测一次高程，地表下沉达 50~150mm 时，应进行开始开采后的第一次测量。

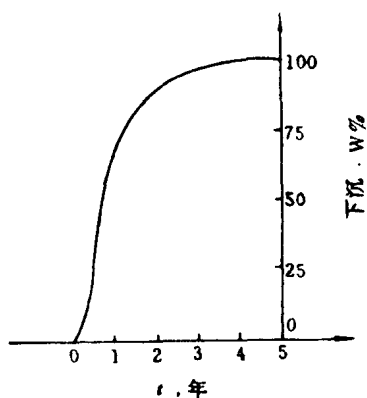


图 1-7 中硬岩层的下沉—时间函数

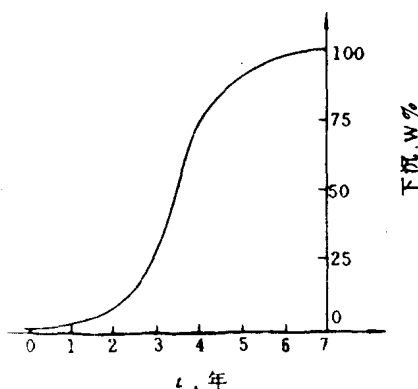


图 1-8 硬砂岩的下沉时间函数

第四节 变形监测工作的实施

变形监测工作，无论是大型的还是小型的观测系统，基本上都应按以下五个步骤实施。

一、变形监测系统设计

变形监测系统设计应根据观测对象的特点及工程地质和水文地质情况进行变形监测系统设计；当为建筑物变形观测时，应在进行建筑物的结构设计同时实施。设计工作的内容包括：确定观测项目（例如：水平位移，下沉，固结，裂缝，倾斜等），选择观测方法，变形监测点的布设，以及观测精度和观测频率的确定。

变形观测属精密工程测量，要求有精确的变形监测控制网。因此，最好建立 X, Y, Z 和 T 四维空间控制网。这个四维控制网不仅应满足施工期的要求，还应满足竣工后工程管理和变形监测工作的长期需要。在进行变形监测系统设计时，应具备如下基本资料：

- (1) 变形观测涉及地区的地形图、地质图；
- (2) 观测系统及建筑工程布置总图；
- (3) 观测系统结构设计图；
- (4) 施工测量控制网平面图。

每一变形监测系统的建立，都取决于观测系统的规模和它的重要性。大地与地震变形

观测按国家有关规定执行；工业与民用建筑物的变形项目多由建筑物设计时提出；水工建筑物的观测项目按水电部出版的《水工建筑物观测工作手册》有关规定实施；采动建筑物变形观测项目，按煤炭部出版的《矿山测量规程》和《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》的有关规定确定。无论是哪种建筑物和哪种变形观测，都离不开X、Y、Z和T四维空间变化，都有最敏感的变化方向。因此提出这样一条基本原则：凡大地与建筑物变形观测均不可漏掉最敏感方向的变形观测。

现将水工建筑物变形观测的项目要求列于表1-1，供选择观测项目时参考。

表 1-1 各类水工建筑物变形观测项目

工程名称 \ 观测项目	水平移动	下沉	固结	裂缝	拉伸
大型水库土坝、土石混合坝	V		*	*	
中型水库土坝、土石混合坝	V	V		*	
混凝土坝	V	V		*	*
圉工坝	V	V		*	*
水闸、溢洪道	V	V		*	
隧洞、泄水底孔				*	
船 闸	V	V		*	

注：V—必测项目；*—建议观测项目

二、设备、设施的选择、安装和埋设

如果还需要自制部分设备，应事先提出有关图纸并提交加工。变形监测控制点和工作点的点位选择是整个观测工作的关键，因此必须按设计要求埋设。如果发现个别控制点的点位基础位置不当，应及时提出修改，报上级备案。最后应提交点位分布图。

三、现场观测

为了掌握观测系统的地表变形状况，使用仪器定期观测是必要的，同时还要适当配合平时的巡视检查。特别是在变形活跃期尤其重要。实践证明，个别部位的裂缝由于下沉变化很小，往往无法测出来，配合巡视是非常必要的。还有土坝的土质比较松软，由于冲刷作用和动物的造穴和挖洞，有时也会损坏坝体，形成集中渗流。在某种情况下，只要不是破坏或涉及工作测点，其对坝体的损害不会被发现。例如：岳城水库的土坝就是这样，土坝坡度局部发生变形，挖开后发现坝下埋管的接头处漏水，形成坝体内大规模管漏、流沙，危及大坝安全。

四、观测资料的整理计算

野外观测资料在现场检核无误后方可提交室内计算。计算项目按有关要求选择，包括：下沉、水平移动、倾斜、曲率、水平变形。及时向上级汇报情况。

五、定期进行资料整编分析

工作一定时间后，应对观测资料进行定期汇总分析。分析时要着重了解地表和建筑物是否出现异常，找出规律性的变化。根据变形值的大小和变化趋势，预计下一步的发展结果，提出破坏影响程度的预计值，制定出检查维修保护措施，维护建筑物的安全运营。对

大地形变观测点, 则应时刻注意形变敏感点的变化程度和地震控震构造的活动情况, 及时做出有关的预报分析。

观测资料整编分析方法详见第五章。

第五节 观测系统的移动与变形衡量指标

变形观测的目的, 通过测量手段了解观测系统的移动情况, 经变形分析确定观测系统之变形破坏程度, 然后再根据观测系统的变形程度, 作出管理决策, 或采取保护措施作出维修, 或作出继续营运的决定。因此了解变形观测的破坏程度便成了问题的关键。破坏程度的大小实际上并没有一确定的划分界线, 只能相对某种观测系统作出相应的分析。由于时间、地点、建材质量、施工技术条件的不同, 即使是同一观测系统其破坏程度也不可能相同, 为了对观测系统变形破坏程度有个划分参考, 特此提出观测系统的移动、变形、破坏衡量指标概念。

观测系统的移动、变形、破坏衡量指标的确定主要是根据各观测系统的移动变形数据, 而表达观测系统的常用数据指标是:

- (1) 移动指标: 下沉, 水平移动;
- (2) 变形指标: 倾斜, 曲率, 水平变形。

下面我们就从点的三维出发, 对观测系统的移动与变形指标作一详细介绍。

一、观测系统的移动指标

由于受力不平衡, 点位才发生位移, 即出现沿 X 、 Y 、 Z 三轴方向的三维移动。如图 1-9 所示, P 点为原始位置, X 、 Y 、 Z 为三个坐标轴; 在外力作用下, P 点沿受力方向移到空间位置 P' 点, P' 点是 P 点在 X 、 Y 平面上的投影位置, 图中箭头表示受力方向。

- U : P 点的空间移动向量;
- W : P 点的空间移动下沉分量;
- U_x : P 点的空间移动 X 分量;
- U_y : P 点的空间移动 Y 分量;
- U_{xy} : P 点的空间移动在 XY 平面投影。

变形是由于点与点之间移动分量 W 、 U_x 、 U_y 的不等造成的结果。如图 1-10 所示, 设点 O 是地面点 P_i 的受力中心, 不同的地面点 P_i 到受力中心 O 的距离不等, 所受移动引力也不等, 因而使得点位移向量不等。设图中

- $22'$ 、 $33'$ —— 2、3 点的移动向量;
- U_2 、 U_3 —— 2、3 点的水平移动向量;
- W_2 、 W_3 —— 2、3 点的下沉量;
- A 、 B —— 变形监测控制点;

点位下沉 W 和水平移动 u_i 可按下列式子计算:

$$(1) \text{ 下沉: } W_i = H_i - H_{0i} \quad (1-1)$$

$$(2) \text{ 水平移动: } U_i = L_i - L_{0i} \quad (1-2)$$

式中 i —— 变形观测工作点的编号;

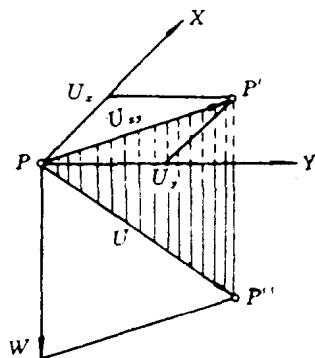


图 1-9 P 点的三维移动

H_i ——第 i 点计算时刻的高程;
 H_{0i} ——第 i 点首次测得高程 (标准值);
 L_i ——第 i 点到控制点 B 的计算时刻长度;
 L_{0i} ——第 i 点到控制点 B 的首次测量长度。

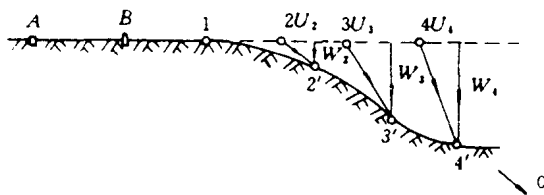


图 1-10 点位移动剖面图

由图可以看出, 1、2、3、4 各点的下沉、水平移动各不相同, 因此, 便产生了相对点位变化。如果再以首测时间为参考基准, 则就构成了 x 、 y 、 z 、 t 四维变形分析系统。

二、观测系统的变形指标

(1) 倾斜 i 可用相邻两工作点 2 和 3 的下沉差除以两点的间距 S_{23} 求得:

$$i = \frac{W_3 - W_2}{S_{23}}, \quad \text{mm/m} \quad (1-3)$$

(2) 曲率 K 用倾斜公式 (1-3) 求得 2—3、3—4 两曲线段的倾斜 i_{23} 和 i_{34} 之后, 即已求出两曲线段中点的切线。由图 1-11 可知, 此切线的倾斜差, 即两切线的交角 Δi , 将其除以两曲线段中点的间距即可求得此段路程的距离内的平均倾斜变化——地表弯曲的平均曲率值 K 。

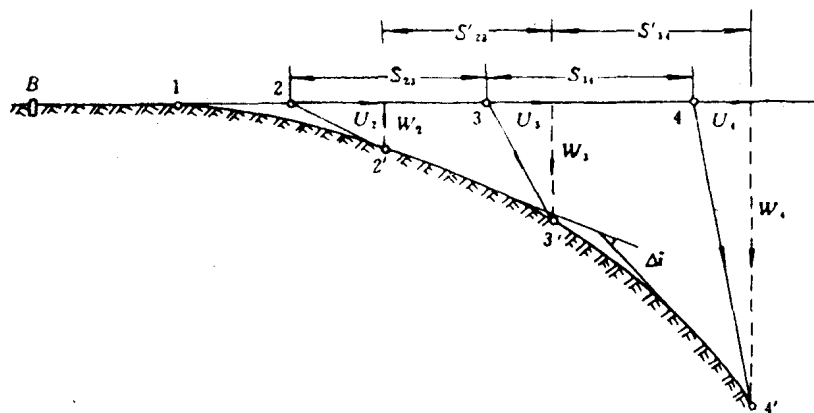


图 1-11 曲率计算原理

$$K_{234} = \frac{i_{34} - i_{23}}{\frac{1}{2} (S_{23} + S_{34})}, \quad \text{mm/m}^2 \text{ 或 } 10^{-3}/\text{m} \quad (1-4)$$

地表曲率也可以用它的倒数曲率半径 ρ 表示: $\rho = 1/k$ (1-5)

地表曲率有“+”、“-”曲率之分, 正曲率表示地表呈现上凸形弯曲, 负曲率表示地表呈现下凹弯曲。

(3) 水平变形 $\pm \epsilon$ 地表水平变形是由于相邻两点的水平移动量不等而引起的变形。2、3 两点间的水平变形: