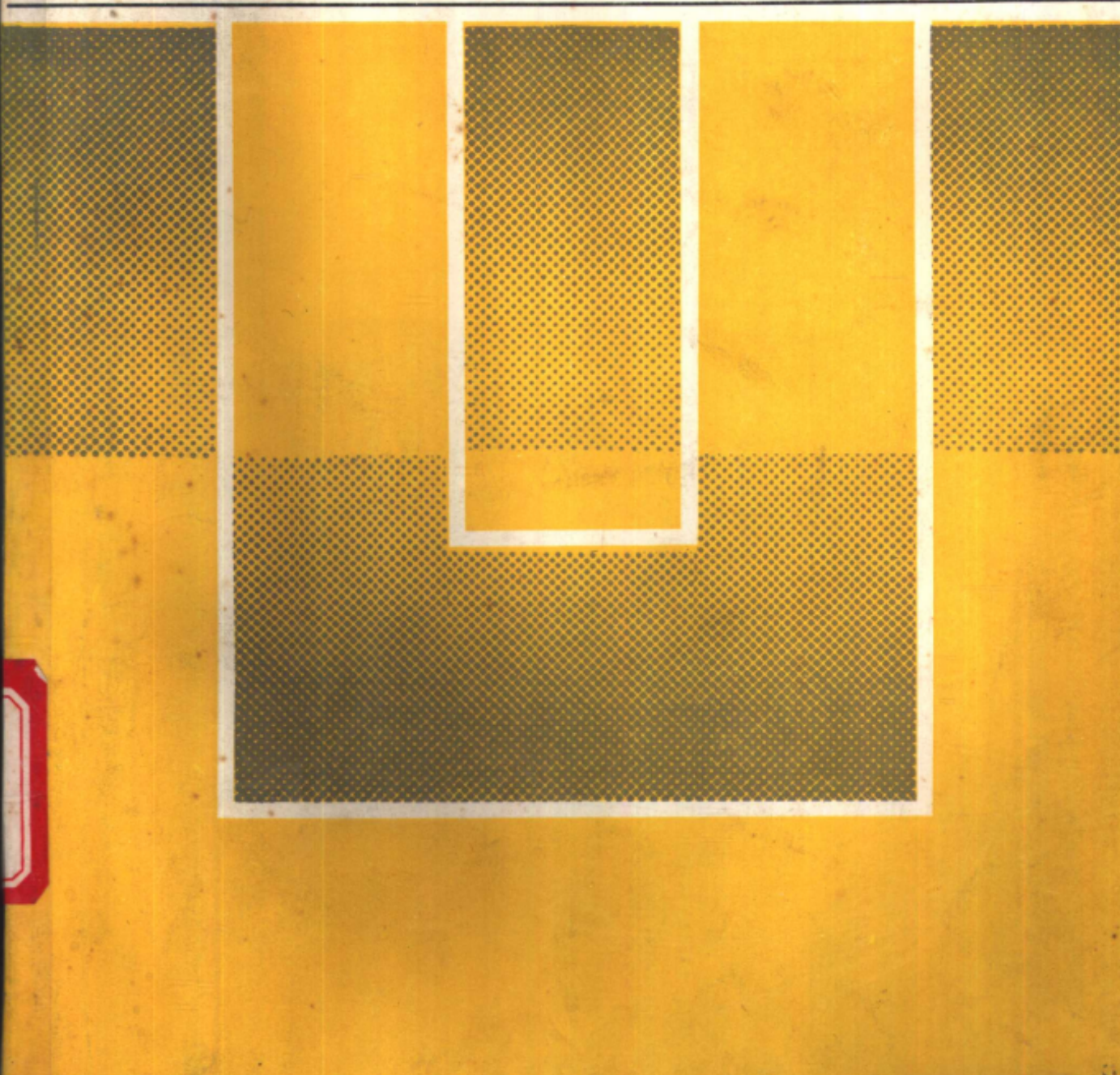


普通高等教育测绘类规划教材

特种精密工程测量

吴翼麟 孔祥元 等编著

测绘出版社



普通高等教育测绘类规划教材

特种精密工程测量

吴翼麟 孔祥元 潘正风 编著
李树德 玉 依 林惠嫩

测绘出版社

(京)新登字 065 号

内 容 简 介

本书较系统地总结了四十余年来我国特种精密工程测量在测量领域中的研究和应用成果,以及在测量教学方面的经验。并以“特种”、“精密”为主线,重点介绍我国特种精密工程测量方面的新理论、新技术、新仪器和新方法,同时阐述了那些已被我国实践证明行之有效的国外先进技术。可以说,是一本具有中国特色的特种精密工程测量方面的新著。

本书可作为高等院校工程测量专业本科及研究生的教材,对于从事工程测量的科技及实际工作者也不失为一本很好的参考书。

特种精密工程测量

吴翼麟 孔祥元 等编著

•

测绘出版社出版

北京大兴星海印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

•

开本 787×1092 1/16·印张 29·字数 658 千字

1993年11月第一版·1993年11月第一次印刷

印数: 0 001—1 500 册·定价: 13.30 元

ISBN 7-5030-0604-8/P·234

前 言

人类改造大自然活动的日益广泛与深入，促使特种精密工程测量蓬勃发展。最初，人们致力于传统测量方法的改进，提出了诸如活动觇牌法、视准线法、微角观测法、微距水准法等等，曾在一段时间内暂时缓和了矛盾。但现代工程规模的飞速扩展，对施工精度和设备运行稳定性要求的持续增长，建筑速度的加快及操作环境的恶化，均无法仅仅以改进方法为满足。于是，针对各种特殊需要而研制的仪器和设备如：倒锤、引张线、各类倾斜仪、应变仪、精密测距仪及漫反射激光测距仪、准直仪、导向仪等均应运而生。传统的露天式的白日观测辅之以室内的、廊道内的、全天候的作业，光学方法的一统天地无奈地让出地盘，而与机械式和电子式的观测三分天下，以适应快速和连续可间断工作的需要。

随着科技现代化进程的加速，勘测工作的难度增大，对观测自动化的要求愈益迫切。我国在特种精密工程测量领域中兴起了自动化观测的热潮，并在相对而言较短的时间内取得了成效。这一过程中，电子技术和各类传感器的应用达到了空前广泛的程度。

在计算机普及应用的同时，特种精密工程测量智能化的前程已见端倪。大型精密设备的控运，自动调节(空间站、加速器、导轨、水闸、传送带)，危险及有害环境下(矿井、水下、海上、高空、辐射)的监测和数据采集及传输，灾害(滑坡、地震、火山)的警戒和自动报警，采掘和装运中的自动计量等等，均对精密测量提出了智能化的要求。我国近年来在这一方面的努力已初见成效，预计这一智能化的任务将带动科学技术的迅速发展。

空间技术，特别是GPS的飞速发展，促使人们去探索它们在特种精密工程测量中的应用，这一领域正有待于有识之士去开发。

近年来，随着我国国民经济的持续发展，特种精密工程测量无论方法、仪器、设备日新月异，但迄今尚无一本反映我国在此领域的辉煌成就，介绍切合国情及卓有成效的特种精密工程测量方法及仪器设备的文献。因此，特邀请有关专家肩负重任，分工合作编著此书，以殚殷切期望于我们的读者。但是，特种精密工程测量广泛涉及新兴工业及高科技，而且无经典著作及现成答案，因此，编写此书的唯一来源就是实践。作者力图将在我国现代化建设的重点工程中使用效益明显的特种精密测量方法和手段，加以归纳和提炼，总结若干规律，以供各界参考。

本书由吴翼麟(国家地震局地震研究所)和孔祥元(武汉测绘科技大学)主持编著。作者分工如下：吴翼麟第一、二章；孔祥元第三、四、五、九、十一章；潘正风(武汉测绘科技大学)第六章；李树德(国家地震局地震研究所)第七章；王依(合肥工业大学)第八章；林惠嫩(《测绘学报》编辑部)第十章。

本书由施长衡、华锡华同志初审，彭先进同志复审，并经测绘教材委员会审定。在每次审稿过程中提出许多宝贵意见和建议，对此谨表衷心感谢！

作者自感知识浅薄，众所偏颇之见，敬请广大专家和读者不吝指正。

吴翼麟 孔祥元

1992年12月于武汉

目 录

第一章 结论	(1)
§1.1 特种精密工程测量的定义和领域.....	(1)
§1.2 大型工程建筑结构特点及其对测量精度的要求.....	(2)
§1.3 我国特种精密工程测量的现状和发展.....	(10)
第二章 特种精密工程测量的基本原理	(17)
§2.1 特种精密工程测量的工作内容和特点.....	(17)
§2.2 常规测量方法的改进.....	(30)
§2.3 专用测量仪器的研制.....	(39)
§2.4 内外部环境因素的排除和处理.....	(50)
§2.5 自动观测控制系统.....	(55)
§2.6 特种精密工程测量中观测数据处理的若干特点.....	(57)
第三章 精密长度测量	(60)
§3.1 概述.....	(60)
§3.2 用因瓦线尺丈量距离.....	(63)
§3.3 用Mekometer ME3000 光电测距仪进行精密测距	(68)
§3.4 用精密测距仪 ME5000 进行精密测距	(79)
§3.5 用双色测距仪Terrameter 进行精密测距	(96)
§3.6 用光干涉法进行精密长度测量.....	(100)
§3.7 用偏距测量装置精密测量偏距.....	(108)
第四章 精密角度测量	(113)
§4.1 概述.....	(113)
§4.2 电子速测仪 Elta2.....	(121)
§4.3 Opton 电子测量仪器外业电子手簿及其数据通讯	(128)
§4.4 电子速测仪 TC2000.....	(140)
§4.5 Wild 电子测量仪器的 GIS 接口系统、外业电子手簿及其数据 通讯.....	(144)
§4.6 电子速测仪 E2/DM503 (504)	(157)
§4.7 Kern 电子测量仪器的接口系统、外业电子手簿及其数据通讯	(161)
§4.8 电子经纬仪的检验及补偿器的使用.....	(165)
第五章 精密高程测量	(172)
§5.1 概述.....	(172)
§5.2 精密水准测量的主要误差及对策.....	(178)

§5.3	短视线特种工程精密水准测量特点	(192)
§5.4	流体静力水准测量	(198)
§5.5	因瓦水准标尺长度的检定	(203)
第六章	精密准直测量	(208)
§6.1	光学机械法准直测量	(208)
§6.2	激光束准直测量	(212)
§6.3	波带板激光准直测量	(218)
§6.4	波带板激光准直测量的应用	(224)
第七章	大型工程安装及变形观测专用仪器	(228)
§7.1	垂线观测仪	(228)
§7.2	倾斜仪	(240)
§7.3	流体静力水准仪	(246)
§7.4	伸缩仪与体应变仪	(254)
§7.5	温度、气压及水位测量仪器	(259)
§7.6	精密测量标志	(265)
第八章	精密测定位移的传感器及其应用	(271)
§8.1	概述	(271)
§8.2	电感式传感器	(276)
§8.3	电容式传感器	(285)
§8.4	光栅式传感器	(291)
§8.5	电荷藕合器件-固态图像传感器	(298)
第九章	特种精密工程测量的数学处理基础	(304)
§9.1	概述	(304)
§9.2	工程测量控制网的优化设计	(306)
§9.3	粗差的探测、剔除与稳健估计	(332)
§9.4	系统误差的补偿	(340)
§9.5	线性模型参数估计方法概述	(350)
§9.6	特种精密工程测量中秩亏网平差概述	(355)
§9.7	随机模型的验后估计	(364)
§9.8	特种精密工程测量数据库系统的建立	(373)
第十章	大型工程建设中特种精密工程测量实例	(380)
§10.1	大型水利枢纽建设中的特种精密工程测量	(380)
§10.2	广东大亚湾核电站建设工程中特种精密测量工作	(393)
§10.3	香港宝莲寺天坛大佛建造中的特种精密工程测量	(398)
§10.4	近景摄影测量方法在飞机外形测量中的应用	(409)
第十一章	GPS 卫星定位基础及在特种精密工程测量中的应用	(419)
§11.1	GPS 定位基础概述	(419)

§11.2	GPS误差分析及基本对策	(427)
§11.3	GPS在特种精密工程测量中应用	(432)
§11.4	GPS在特种精密工程测量中应用的技术要点	(440)

第一章 绪 论

§ 1.1 特种精密工程测量的定义和领域

1.1.1 何为特种精密工程测量

近年来,有关特种精密工程测量的文章和报导迅速增多。1987年在武汉举行全国第一次特种精密工程测量学术讨论会,随后成立了特种精密工程测量研究中心,对该领域的研究和讨论正日趋活跃。然而,我国公众对特种精密测量的理解尚不统一,一些情况下,将其限定为特种工程(如对撞机、核电站)所使用的测量未免过窄过严;另一些情况下,又将方法稍有改进的普通常规测量,均冠以特种精密测量的名称,又未免过宽。为了特种精密工程测量的健康发展,有必要给出其当前的定义和工作领域。当然,随着科学技术的发展,定义和领域也不会一成不变。

50年代初,美国和前苏联等国开始兴建核物理、航天等特种工程,为解决巨型设备的安装、定位、安全监测等测量难点,发展了一种微大地测量(Micro Geodesy),以近距离内实现特高精度的测量为其特点。由于特种工程的设计新奇、结构复杂,对精密测量的特殊要求层出不穷,因而出现特种测量(Special Survey)的名称,以针对性地提出特殊措施解决具体问题为其特点。随着科学技术的发展,国民经济各领域都开始了大型工程构筑物的兴建,特种测量逐步拓宽了应用范围,特别是在水坝安全监测,地壳应变观测等方面获得成效,因而出现了特种精密工程测量(Specific Precision Engineering Surveying)的名称。我国由于特种工程兴建较迟,因此特种精密工程测量的萌芽都是由地下铁道建筑和大坝变形观测中培植的。直至70年代,拟议兴建837工程,才对此进行了较为系统的研究,并迅速在各科技领域推广应用。因此,在我国,特种精密工程测量这一名称出现较迟,只是在1987年召开第一次全国特种精密工程测量会议后才正式使用。

根据我国近年来各部门的实践和理解,可对特种精密工程测量定义如下:

绝对精度达毫米级或相对精度高于 $5 \cdot 10^{-6}$,以有别于经典的特殊方法,或使用非常规的特种仪器设备,或在克服特殊困难的环境条件下而完成的精密测量工作,称为特种精密工程测量。

上述定义的内涵并非一成不变,因为一个时期的特殊方法可能发展为下一阶段的常用方法,一个时期的特种仪器可能成为下一阶段的常规仪器,这样的定义可以促使特种精密工程测量的发展永不停步。

1.1.2 特种精密工程测量的应用领域

根据我国的实践,特种精密工程测量已在下述领域内应用:

- 1) 新兴高技术工程, 例如: 高能物理实验设备、粒子对撞机、回旋加速器、核电站、原子能反应堆;
- 2) 大型军事设施, 例如: 火箭发射架、航天技术试验基地、大型雷达天线、火炮弹道试验场、大型军事机场;
- 3) 大型工程及民用高层建筑物的变形观测, 例如: 水坝及其闸门槽、水力发电机组、输电干线的高架塔、电视塔、高层大厦的电梯井、高烟囱、大型矿场、油田开采区的地面建筑及井下设施、“三下”采掘区的重要地面建筑物;
- 4) 海上及沿岸工程, 例如: 海上钻井平台、大型港口、码头、船坞滑道;
- 5) 地下工程, 例如: 地下铁道、长隧道、水底(或越江)隧道、大型地下建筑;
- 6) 大型工厂的厂房及设备安装, 例如: 轧钢车间、化工车间、金工车间的自动生产线、巨型压机、复杂地下管线的安装;
- 7) 巨型容器体积、形状及其变形的测定, 例如: 油罐、气罐、高炉、平炉、船舱、机身等体积和形状的测定, 静态和动态变形监测等;
- 8) 地基变动的监测, 例如: 地层移动, 断裂位移、矿藏开挖, 水库蓄水或城市地下水开采引起的地面下沉, 海浪拍击引起的沿海城市的地面振荡, 地震孕育引起的固体潮汐振幅变化;
- 9) 其他特殊任务, 例如: 大型设备基础稳定性的确证, 古建筑复原, 大型艺术品的定型和安装等等。

从上列领域可以看出, 特种精密工程测量的对象十分广泛, 它们虽各具特色, 但要求精确地完成测量工作则是其共同特点。

§ 1.2 大型工程建筑结构特点 及其对测量精度的要求

如前所述, 特种精密工程测量首先是在各国重点大型工程建设中使用, 某些新高技术工程所提出的要求, 恰好是促进特种精密工程测量发展的源泉。为了对这些工程有一定的感性认识, 下面介绍若干大型工程的规模和结构特点, 及其对测量工作的精度要求。

1.2.1 强聚焦的高能粒子加速器

众所周知, 近代物理学的成就与轰击原子核(用加速电子、质子、离子等方法)的大型加速器的建成是分不开的。随着轰击的能量要求不断提高, 加速器的规模也相应增大, 各类设备安装调试的难度也相应提高。表 1-1 列出国际上著名加速器的规模、建成年代及精度要求。

由表 1-1 看出, 加速器规模的扩大速度是惊人的, 但对磁铁体安置就位的精度要求却仍然如此严格, 也就是说在日益扩大的范围内(还伴随磁铁体体积和重量的增加)仍然要

加速器规模及对测量的精度要求

表 1-1

加速器名称	周 长 (km)	磁铁体安置就位的精度要求		建成年代
		径 向 (mm)	高 程 (mm)	
1. 吉木布列得 (美)	0.2	0.50	0.15	1956
2. 埃列温 (前苏联)	0.2	0.20	0.20	1963
3. 质子同步加速器(欧)(PC)	0.6	0.25	0.25	1959
4. 谢尔普霍夫 (前苏联)	1.4	0.20	0.20	1965
5. 超级质子同步加速器(欧)(SPS)	7.9	0.20	0.20	1976
6. 大型电子对撞机(欧)(LEP)	27.0	0.20	0.20	1988
7. 同步超导加速器(前苏联)(UNK)	28.0	0.20	0.20	(1995)
8. 超导超级质子对撞机(美)(SSC)	83.7	0.20	0.20	(1996)

求达到同样的定位精度，这无疑是为困难了。

1988年建成的欧洲原子核中心的大型电子对撞机(LEP),直径 8.6km, 周边 27km, 它已成为宇航员在太空中辨认本星球的一个标志。

图 1-1 为前苏联谢尔普霍夫质子加速器设备的布局示意图。

该加速器由直线加速器 1, 环形加速器 2, 实验厅 3 及输出通道 4 组成。直线加速器高 8.5m、宽 11.4m、长 88m, 环形厅的半径为 236m、高 13m、宽 11.5m, 实验厅宽 90m、长 156m、高 21m, 输出通道长 360m。国际上各类加速器的结构大同小异。近代某些能量更大的加速器往往由几台加速器组成为一系统, 例如由 4 台加速器组成的 5000 亿电子伏的高能加速器系统, 它经过一个倍压加速器将初步加速的质子入射到长 150m 的直线加速器, 再由直线加速器经过一台半径为 75m 的助推同步加速器, 然后进入半径为 1 km 的主加速器, 最后高能粒子束进入 3 km 长的输出通道射向靶台。在这里直线加速器、环形加速器、实验厅和输出通道是一个具有统一工艺流程的建筑群, 曾用统一的测量控制网安装定位, 精度要求很高。例如, 为使粒子束加速, 直线加速器必须严格地在一直线上。为此, 每隔一段距离安置一根漂移(加速)管, 漂移管位置的安装精度, 在横向上要求达到 0.1~0.2mm。漂移管一般有几百乃至上千根, 这就产生了一个精密准直问题, 要求在几百米(或更长)距离内, 准直精度优于 0.1mm。由于漂移管数量很多, 安装工作不是一次能完成的, 因此还对准直仪的复位提出了苛刻的要求, 即在控制点上多次安装准直仪位置的差异要小于 0.05mm。

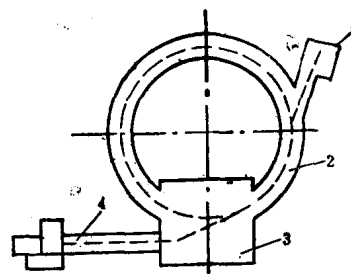


图 1-1 加速器设备布局示意图

在环形厅中, 为使被加速的粒子束严格沿所设计的环形真空管道行进, 沿途要安置和排列许多巨型的电磁铁以引导粒子束前进方向。为使高速飞行的粒子束不致因在真空管壁上陷落或碰撞而招致共振, 相邻磁铁安装的相对误差不得超过 0.1~0.2mm。如果两相邻

磁铁由几个不同的控制点定位,那么还涉及控制点的相对精度问题。

对于环形厅中的所有磁铁,亦有相当严格的要求。例如谢尔普霍夫760亿电子伏的质子加速器,要求所有(120块)重250吨的磁铁块严格位于同一圆周上,偏离值在任何情况下(包括安装误差、地基沉陷、磁件机械变形、热力膨胀、振动、固体潮汐影响等总和)不许超过1cm,这样才能使粒子束运行轨道的第10阶傅里叶谐波的振幅不超过 $25\mu\text{m}$ 。这样高的精度,只有仔细地考虑布网图形,采用合适的高精度观测方法才能达到。

除极高的安装精度要求以外,还要注意下列事项:为避免各种干扰,加速器的主要设施一般均建于地下,为指导地下开挖,要通过座标传递建立地上地下统一的座标系统;大型工程建筑周期很长,而且运行之后还要坚持安全监测,因此必需建立能长期保存,且时、空域内非常稳定的若干测量基准标;对于大型建筑工程常分几期,持续时间很长,观测数据量又大,因此必须从开工起就考虑建立数据库,以免资料散失,造成重复劳动或在衔接中发生差错。进入运行期后,要依据安全监测的结果,进行设备的自动调节,使之保持最佳的运行状态,上述数据库又将是使测量工作向智能化发展的必要基础。

总之,由于强聚焦粒子加速器的兴建,对特种精密工程测量提出了许许多多的难题,这些难题的逐一解决,又促使其飞速的发展。

1.2.2 水坝的结构特点及对安全监测的精度要求

人类在全世界范围内已建成了几十万座水坝,享受着发电、航运、灌溉、供水、防洪、养鱼之利,但亦不可忽视水坝失事所带来的巨大灾害。世界上目前水量最大的水坝,拦截着的是几千亿 m^3 的库水。我国的丹江口等水库,容量亦趋近300亿 m^3 。因此,水坝的安全监测已列为国际和国内最重要的课题。

我国是世界上筑坝最多的国家,据不完全统计,目前已有水坝86000座,其中发电机组装机容量在1.2万千瓦以上的大坝有136座;坝高达150m以上的有龙羊峡、乌江渡、东江、白山和刘家峡等。上述这些高坝和大库,是当前安全监测的重点。

图1-2所示为我国著名的葛洲坝大江段(长1100m)变形监测的平面位置布设示意图。

葛洲坝位于长江三峡出口处南津关下游2.3km处。截流处有葛洲坝和黄草坝两个小岛,把长江分隔成大江、二江和三江。大坝全长约2200m,由泄水闸、电厂、冲沙闸、船闸等组成。为大坝的安全监测,在坝体内共布设水平位移观测点532个,具体分为下列几类(见表1-2)。垂直位移观测点1223个,其中坝体内498点,坝顶及平台上725点。对于重

葛洲坝坝体内水平位移观测点分类表

表 1-2

观测方法	倒锤线	正锤线	引张线	激光准直	视准线
布设条数(条)	35	44	28	1	6
观测点数(点)	40	83	360	13	36

力坝，最重要的是监测坝体的稳定性，即测定由于重力不够被水流推动而向下游的滑移。其次是测定由于各种原因而造成的坝体空间位置和几何形状的改变（如坝体的倾斜、挠曲、各坝段的不均匀沉陷、各坝段的伸缩缝开合等），因为它们有可能造成大坝各类机体的不正常运行（如闸的起闭的阻碍、坝顶门吊的不正常运行、水轮机转轴的倾斜），也可以此发现坝体老化及受水长期作用的地质状况或筑坝材料的变化。

对于特别重要的部位，如船闸闸门及闸壁、坝基等，还要加设能瞬时观测或连续自动监测的项目。例如在葛洲坝二江泄水闸闸首基础廊道内布设 8 个观测点，横廊内布设 2 点，以流体静力水准测量进行连续不间断的监测，测量数据实时传送至坝顶的观测室，观测精度达到 0.04mm，可测出闸门起闭时坝体的相应倾斜情况。又如对于二号船闸闸门和闸壁的变形，采用近景摄影测量方法，使之能达到获取瞬时动态变形的目的，精度可达 1 mm

~2mm。图 1-3 示出控制点、摄影站和监测点的布局。

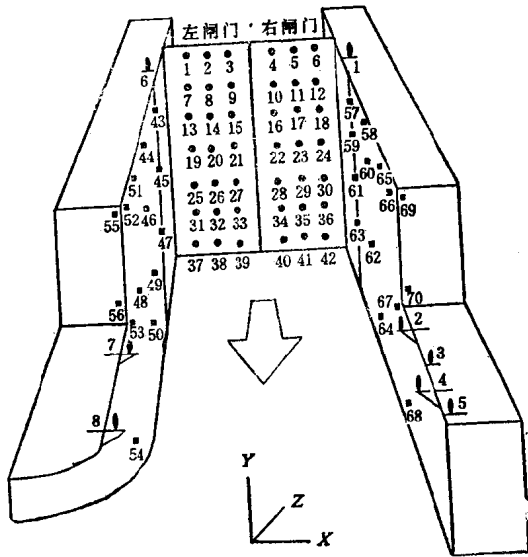


图 1-3 船闸的近景摄影

从上述举例，我们可以对特种精密工程测量的对象有若干感性认识。一般情况下，它们是一组相互联系的建筑群，其中若干建筑中设置了该工程的重点设施。对这些重点设施的安、调试或变形观测，往往需要布设大量的控制点和监测点，设计各种专用的方法和特殊的仪器设备，进行精确、快速和有效的观测。这类观测的工作量往往大得惊人，例如对于欧洲共同体建造的大型电子对撞机（LEP），动员了九个国家的测量队伍，前后五年才得以完成。又如大坝变形观测，每日采集的数据成千上万，不使用计算机就无法处理。因此，观测的自动化和资料处理的计算机化成为刻不容缓的发展方向。

1.2.3 特种精密工程测量的精度

特种精密工程测量的精度要求尚未取得统一的认识。从理论上说，应以工程的限差来推算测量可占的份额。例如文献[5]以地下铁隧道的限界余裕推算地下铁道中心线放样的必要精度；文献[6]以水坝溢流面溢流时不发生气蚀来推算大坝施工控制网的设计精度等等。但在多数情况下，由于工程限差本身无法确切地给定，或推算的路径中某些参量的缺失，理论的推算是无法奏效的。广泛应用经验数据来确定特种精密工程测量的精度，通常采用下列三个原则：

1. 上限界定法

根据已建成的各类大型工程建筑物修建过程中使用过的，并已证明成功地满足要求且测量上能够实现的精度，作为同类工作今后的精度要求。例如直线加速器漂移管的安装，磁铁体的定位等，是根据现有的成功经验，定为0.1~0.2mm的。因为已有众多成功的例证，因此可保证这一测量精度能满足工程的要求。但是否有富裕；所定精度是否太高，当前还未作充分的论证。这种方法常常使用于特别重要的工程建设，要求测量保障绝对可靠。

2. 下限界定法

根据对某些建筑物长期观测的结果，整理出其稳定期（不发生安全事故期）的自然动态变化量，作为设计精度时的下限。这种方法经常在确定变形观测的精度时使用。由已有建筑物的长期观测资料，归纳推论供同类型的新建筑物使用时，要充分考虑新建筑物所处的环境，必要时要提高设计的精度。

3. 有限目标界定法

对于某些对象，可选择其主要目标（称有限目标），根据主要目标所提出的明确要求，设定观测精度，作为整个工程的设计精度。例如测定电视塔塔顶的周日位移，测定一些重大工程地基受固体潮汐影响而引起的形变，测定海上石油钻井平台受海潮起伏的影响等等。为阐明这些规律，一般要以该类变动最小振幅的1/5，作为确定观测精度的要求。

表1-3所列数据为我国若干重点工程中特种精密工程测量的精度统计一览表，供参考。

特种精密工程测量精度一览表

表 1-3

工程项目名称	精度要求 (中误差)	实现范围	实际完成 情况	曾采用主要措施	主要完成单位
I 北京正负电子对撞机					
地上平面控制网点位	±1.0mm	150m	±0.3mm	边角网ME3000测距	国家地震局地震研究所
地下平面控制网点位	±1.0mm	140m	±0.3mm	T3测角	总参一大队
地下平面控制网相邻 点位	±0.3mm	16m	±0.11mm	直伸重叠三角锁，T3 测角 Distivar量距， 偏距仪测三角形高	总参一大队
地下高程控制网最弱 点	±1.0mm	300m	±0.5mm	精密几何水准与液体 静力水准相结合	中科院高能物理所
地下高程控制网相邻 点	±0.2mm	25m	±0.07mm	几何水准与液体静力 水准相结合	国家地震局 地震研究所

续表 1-3

工程项目名称	精度要求 (中误差)	实现范围	实际完成 情况	曾采用主要措施	主要完成单位
相邻磁铁安装就位:					
四极聚焦磁铁(Q铁)	$\Delta x < 0.02$ mm $\Delta y < 0.2$ mm	8m	± 0.12 mm ± 0.09 mm	以座标经纬仪及垂直 镜用准直法进行; 高 程及离差用	总参一大队
二极弯转磁铁	$\theta z < 0.2$ mrad	8m	± 0.06 mrad	电子倾斜仪或水准仪 测量。	
准直基准线	± 0.2 mm	200m	± 0.11 mm	波带板激光准直仪	武汉测绘科技大学
漂移(加速)管安装	$\Delta x < 0.2$ mm $\Delta z < 0.2$ mm		± 0.06 mm	准直测量后使用调节 装置后再以准直测量 检核	
辅助基准线	± 0.2 mm	200m	± 0.16 mm	尼龙线准直测量	中国原子能科学 院, 中科院高能 物理所
磁铁体预准直	$\Delta x < 0.1$ mm $\Delta y < 0.1$ mm				
Q铁	$\Delta \theta z < 0.1$ mrad $\Delta x < 0.2$ mm	8 m		准直望远镜、工具经 纬仪, 水准仪, 电子 倾斜仪, 钢钢测距仪, 零距直角头, 各种靶 标和模板	
B铁	$\Delta y < 0.2$ mm $\Delta \theta z < 0.1$ mrad				
I 大坝变形观测					
新丰江大坝坝顶挠曲	± 0.7 mm	坝顶相对坝 底100m高 的范围内	± 0.3 mm	正倒垂观测系统	国家地震局 地震研究所
新丰江大坝坝顶位移	± 1.0 mm	200m	± 0.5 mm	视准线法使用活动觇 牌	"
新丰江大坝两端基点 位移	± 2.0 mm	200m左右	± 0.8 mm	后方交会, 视准线及 方向变化综合法	"
丹江口大坝电缆廊道 位移	± 1.0 mm	700m	± 0.4 mm	浮托式引张线法	"
丹江口大坝坝顶高程 变化	± 2.0 mm	坝高约 100m	± 0.1 mm ~1.0mm 不等	分段悬挂钢尺配合几 何水准传递高程并分 段测温度改正	长江流域规划办 公室
急倾斜廊道的高程传 递	± 1.0 mm	高程40m	± 0.45 mm	短视距水准测量	长江流域规划办 公室
丰满电站坝顶视准线	± 1.0 mm	1220m	± 0.95 mm	光学照准活动觇牌	东北勘测院武汉 水利电力学院
廊道内引张线	± 1.0 mm	1220m	± 0.59 mm	激光照准光电靶	东北勘测院
	± 1.0 mm	920m	± 0.31 mm	两用仪读数(浮托式 引张线)	武汉水利电力学 院
真空管道激光准直	± 1.0 mm	194m	± 0.008 mm	波带板, 显微镜	东北勘测院
激光照准法	± 1.0 mm	188m	± 0.51 mm	激光照准仪, 光电靶	武汉水利电力学 院
光学视线法	± 1.0 mm	188m	± 0.56 mm	光学照准, 活动觇牌	东北勘测院武汉 水利电力学院

续表 1-3

工程项目名称	精度要求 (中误差)	实现范围	实际完成 情况	曾采用主要措施	主要完成单位
葛洲坝电站					
倒 锤	±0.5mm	40m高	±0.14mm	观测时避免气流影响	长江流域规划办公室 葛洲坝工程局
正 锤	±0.5mm	40m高	±0.2mm	观测时避免气流影响	
廊道内引张线	±1.0mm	最长900m	±0.2mm	浮托式引张线, 加避风保护管	长江流域规划办公室 葛洲坝工程局
激光准直	±1.0mm	长250m	±0.5mm		"
坝顶引张线	±1.0mm	最长350m	±0.4mm	加避风保护管	"
坝顶连续引张线	±2.0mm	2600m	±0.8mm	分段观测相邻三点之偏距	长江流域规划办公室
直伸边角网	±2.0mm	2600m	±1.8mm	T3测角ME3000测距	"
基点检验网	±2.0mm	2600m	±1.8mm	T3测角ME3000测距	"
过河水准	±2.0mm	427m	±0.6mm	T3经纬仪倾角法	"
	±2.5mm	1305m	±0.4mm	高亮度发光体作目标	"
基础廊道沉降	±0.5mm	400m	±0.1mm	液体静力水准系统	{ 国家地震局地 震研究所 长江流域规划办 公室
船闸闸门和闸墙变形 观测	±3.0mm	纵距 40~70m	±1~2mm	近景摄影	{ 武汉测绘科技大 学 葛洲坝工程局 长江流域规划办 公室
龙口及上下游水面流 速流态测量		特别困难 条件下	0.06~ 0.08m	近景摄影	武汉测绘科技大 学
刘家峡电站 激光准直	±1.0mm	486m	±0.57mm	波带板接收光屏	"
Ⅱ. 核电站					
微型控制网	±1.0mm	50m	±0.8mm	边角网 T3测角 ME3000测距	大亚湾核电公司
堆心各构件的同轴度	±0.2mm	高10~30m	±0.2mm	精密对中器	"
P 边孔	±0.6mm	高10~30m	<0.5mm	测微准直	} 秦山核电公司
Q 中心孔	±0.2mm		0.2~0.5 mm	望 远 镜	
R 边孔	±0.6mm		<0.4mm	水 银 池	
高程传递	±2.0mm	高10~30m	±1.0mm	悬挂钢尺吊重锤并测 温度改正尺长	大亚湾核电公司
Ⅴ. 南京长江大桥					
桥墩位移	±20mm	1600m	±0.7mm	直伸三角网	同济大学
Ⅵ. 混凝土电视塔的变形					
	±2.0mm	高187 m	<1.6mm	激光准直仪并测温度 及风力进行改正	武汉测绘科技大 冶金部一冶

续表 1-3

工程项目名称	精度要求 (中误差)	实现范围	实际完成 情况	曾采用主要措施	主要完成单位
Ⅵ. 转炉炉壁厚度测量	±1.0mm	高温达 1500°C	<1.0mm	IMS1600漫反射激光 测距仪	国家地震局 地震研究所 武汉钢铁公司
Ⅶ. 船模试验水池					
横向变形	±0.20mm	长159m	<0.20mm	基准线	长江航运规划设 计院
相对高程	±0.30mm	长159m	<0.30mm	几何水准测量	
控制点横向点位误差	±0.30mm	长159m	<0.30mm	基准线	
Ⅷ. 大型天线的安装及校正					
反射面轴向偏离 6	±1.0mm	直径 15m	±0.6mm	空间三维交会	解放军测绘学院
Ⅸ. 9 km 跨河水准	二等	9 km	7.27 mm 处理后 1.54mm	200个以上测面, 用高 亮度目标, 进行大气 折射局部改正	长江流域规划办 公室
X. 长距离精密水准测量	20mm (1/200万)	< 46mm	<16mm	布设直伸双重导线网	西安测绘研究所

§ 1.3 我国特种精密工程测量的现状与发展

1.3.1 我国特种精密工程测量的成就和效益

第二次世界大战以后, 人类面对战争废墟, 激发了强烈的建设热情, 改造大自然的活动日益深入。征服的对象不仅限于地面, 而且深入地下、水域、和宇宙空间。为此而建设的各种巨型工程: 几百座大型水电站和核电站, 无数高耸入云的电视塔, 导弹发射架和摩天大楼, 长达 53km 的海底隧道, 周边 27km 的正负电子对撞机, 正在成为辨认本星球的新目标。建筑此类大型工程时, 经典的测量方法已远远不够使用, 为此增添和补充了多种专用仪器设备和相应的测量方法。

我国40多年社会主义建设, 同样促进了特种精密工程测量的蓬勃发展。在建设北京地铁, 上海越江隧道, 丹江口、刘家峡等一大批水利枢纽, 鞍山、武汉、宝山等钢铁基地时, 已经遇到了各种困难并为之创造出多种专用仪器设备和特种测量方法。目前已经建成的北京正负电子对撞机, 大亚湾核电站, 葛洲坝水利枢纽等则更将特种精密测量推向新的高潮。

我国社会主义建设中, 使用特种精密测量取得的效益是十分明显的, 仅举少数实例, 即可窥其一斑。

1962年3月, 新丰江水库发生 6.2 级地震, 大坝横向裂缝, 不得已将库水泄空, 组织抢修, 以免溃坝。首先布设了大坝变形观测, 其中最主要点是设置若干倒锤仪, 进行坝体相对于基础的位移观测, 以便阐明修复中的大坝, 能否恢复原设计的性能。经过一段时间