

[苏]X.K.亚姆巴耶夫
蒋夏林 译 吴翼麟 校
测绘出版社

精密基准线测量

精密基准线测量

[苏]X.K.亚姆巴耶夫

蒋夏林 译

吴翼麟 校

*

测绘出版社出版·发行

测绘出版社印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32·印张 7·字数 156 千字

1981 年 5 月第一版·1981 年 5 月第一次印刷

印数 1—6,000 册·定价: 1.10 元

统一书号: 15039·新 173

内 容 提 要

本书阐述精密基准线测量理论和实际工作问题。总结作者在尖端设备施工过程中研制和使用激光基准线定线仪的经验；介绍光学法、引张线法、衍射法基准线测量和它们使用的器材；研究应用目视记录和光电记录装置的光量子发生器进行精密基准线测量问题；介绍利用波带板对激光光束调焦的特点，精密基准线测量用的波带板的制造工艺和结构特点，以及应用波带板、激光器和光电记录装置实现基准线测量自动化和组成测量跟踪装备的发展前景等。分析了各种基准线测量方法的主要误差根源，并着重论述精度要求、基准线长度、各中间点的配置位置、使用不同技术规格的仪器装备的情况下，长距离基准线布设方法和精度估计问题。

最后一章介绍各种精密基准线测量方法和器材在几种工程建筑项目施工和运营期间的具体应用。

本书的读者对象为大型工业建设和科研建设项目施工与经营过程中的测量保障人员和高等院校工程测量专业高年级学生。

前 言

当前, 工程建筑的规模不断扩大, 对建筑物保持几何尺寸的精度要求也日益提高, 建筑施工又逐步采用综合机械化操作, 这些情况都要求改进现有的、并创造出新的工程测量方法和器材。如工厂联合企业、水电站、各种传送装置等建筑物所要求的测量精度, 其限差约为 $2 \sim 3$ 毫米。

现代科学技术发展的特点是, 不仅科学发明本身, 而且对各种试验用的尖端设备部件的相互位置, 都提出极高的要求, 这就促进了各生产部门的发展, 也促进了工程测量方法和器材的改进。

例如, 建设现代化带电粒子加速器, 远距离作用的无线电天线设备等等, 要求大量工艺部件具有高度几何共轭, 以中误差表示的精度要求为 0.30 至 0.05 毫米, 而建筑物的规模则由几百米到几公里。建设现代化工程综合体中, 一项极其重要的任务, 是将各项建筑结构和工艺生产装备的主轴线安置在同一条直线上。

这类工作, 在测量工作中叫做基准线测量。在机械制造的计量工作中, 也广泛应用这种测量, 即用量测仪器来检验直线性和同轴性。

目前, 在建设和使用各种尖端的工程建筑中, 对于设计和完成精密工程测量工作, 已积累了大量经验, 其中基准线测量起着重要的作用。现代化的基准线测量, 其方法和手段是采用现代科学技术的新成就而制订的, 其中有代表性的一种, 就是采用了光量子发生器——激光器。在量子力学、物理光学和无线电电子学的边缘处, 构成了一门新的学科, 叫

做光量子电子学，它涉及可见光波段内量子仪器制造和应用方法的理论和实践。新的学科为全部测量仪器的发展，特别是为精密基准线测量仪器的发展，开拓了广阔前景。

最近二十年来，创造和在生产中使用的精密基准线测量方法，有引张线法、光学法、衍射法和激光法，并且创造了各式各样的记录设备，包括目视和光电式记录测量结果的设备。

应用激光器进行基准线测量的仪器，包括用目视或用光电记录装置的，都叫做激光基准线定线仪(Створофиксатор)，简称激光定线仪。由于激光定线仪是以相应方式形成的光束提供必要的测量数据的，因而开拓了基准线测量自动化的可能性，并可应用反授原理设计专用跟踪设备。

本书的目的在于综合苏联和其它国家精密基准线测量理论和实践方面的经验，以及作者在研制和应用现代基准线测量各种方法和器材问题中的经历。

作者在编写本书时，受到莫斯科测绘学院测量教研室负责人 В.Д. 波尔萨柯夫教授、副教授 И.Ю. 瓦修钦斯基、应用测量学教研室负责人 В.Е. 诺瓦克，以及技术科学候补博士 В.А. 果列洛夫的帮助，并提出宝贵意见，在这里谨表感谢。

目 录

第一章 概 论	(1)
§ 1 精密基准线测量的基本定义及其 在工程测量中的用途和作用	(1)
§ 2 精密基准线测量方法和器材的分类	(6)
第二章 光学法精密基准线测量	(9)
§ 3 光学照准法及其器材	(9)
§ 4 基本观测方式	(28)
§ 5 主要误差源及其对精密基准线观测 精度的影响	(41)
§ 6 偏离距观测的精度估计	(53)
§ 7 准直法	(59)
§ 8 自准直法	(62)
第三章 引张线法基准线测量及其器材	(67)
§ 9 基准线测量中使用引张线的几个 问题	(67)
§ 10 光学引张线法基准线测量	(74)
§ 11 浮托引张线法	(82)
§ 12 引张线法基准线测量的自动化	(84)
第四章 衍射法基准线测量	(89)
§ 13 衍射法的原理	(89)
§ 14 光谱觇牌最优参数的计算	(95)
§ 15 衍射式基准线定线仪的全套设备	(101)
§ 16 衍射式基准线定线仪的操作方法	(106)

第五章 应用激光器进行基准线测量的方法和

器材 (109)

§ 17 光量子发生器的性能和优点 (109)

§ 18 规定参数的光束外形形成器 (115)

§ 19 测定激光束位置的光电记录装置 (128)

§ 20 激光基准线定线仪的制造原理及其
发展方向 (140)

§ 21 激光射线基准线定线仪 (146)

§ 22 衍射式激光基准线定线仪的特性 (153)

§ 23 检测准直性的激光干涉测量仪 (155)

第六章 激光干涉基准线定线仪 (158)

§ 24 激光干涉基准线定线仪的工作原理 (158)

§ 25 激光干涉定线仪波带板视牌的设计、
制造和结构特点 (162)

§ 26 目视及光电记录器 (167)

§ 27 激光干涉定线仪基准线测量的自
动化 (175)

第七章 精密基准线测量在工程建设中的应用 (179)

§ 28 加速器施工中精密基准线测量的
方法和器材 (179)

§ 29 激光干涉基准线定线仪的使用经验 (193)

§ 30 克拉斯诺雅尔斯克水电站平面变形
观测中的精密基准线测量 (197)

参考文献 (203)

第一章 概 论

§ 1 精密基准线测量的基本定义及其在工程测量中的用途和作用

测定一系列中间点与两端控制点所形成的垂面间的相互位置，叫做基准线测量。

过两固定点（控制点）所连直线而构成的垂面，叫做基准面（图 1）。控制点用来标定建筑物的主轴线或平行轴

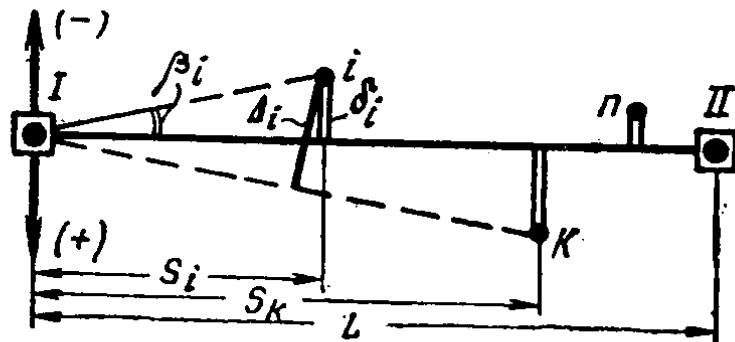


图 1

线，某些工艺生产线的中线，以及建筑物平面变形观测的基准方向等等。一个控制点（点 I）叫做基准线的起点，第二点（点 II），叫做基准线的终点。

将各中间点安置在指定的基准线上的过程，叫做定线。

由被检测的中间点，向该基准线平面上引伸的垂线长度 δ_i ，叫做偏离距。

如果被检测的点位于基准线 I—II 的右方，偏离距 δ_i 为正（+），位于左方为负（-）。

按基准线的反方向 II—I 测定的偏离距 δ'_i ，其符号相

反。

当基准线测量过程中，一条完整的基准线被分成几个线段，即采用分段法时，则要测定各分段的偏离距 Δ_i 。

由中间点（被检测点）向分段基准线平面上所引的垂线长度 Δ_i ，叫做分段偏离距。在这种情况下，对整条基准线的偏离距 δ_i ，为所测得的各分段偏离距的函数，即

$$\delta_i = f(\Delta_1 \Delta_2 \cdots \Delta_n)$$

在工程测量的实践中，有时不能保证基准线的水平，在这种情况下，可使用光学仪器进行倾斜视线的偏离距测量，这种测量仪器可使视准轴的方向严格地在垂面上变动。这种仪器在文献中叫做视准仪。

偏离距的测量，可以依据与某一工艺生产轴线或建筑物轴线相一致的基准线进行，也可以根据平行或不平行的移位基准线进行。在按移位基准线进行测量时，在测出的偏离距中，加入移位基准线对实际基准线转折角的改正数。

通常，用测量标志将基准线在现场或生产车间里标定，这种标志的结构，在参考文献[9、78]中有详细说明。

在进行基准线测量和布设长距离的基准线时，要测定一系列沿该基准线断续分布的点的偏离距。这就是基准线测量的主要特点，也是它与机械制造中检验直线性方法不同的地方。在机械制造中，测量机床、导轨、抛光玻璃传送带等装置对直线的偏离时，实际上是不间断地进行的。

在检查工艺生产装备的直线性和同轴性的时候，除了偏离距 δ_i 以外，还测量基准线平面内垂线垂足至该直线间的最短距离，也就是要测量非直线性的垂直分量 h_i 。

机械制造中使用的现代化精密光学仪器，可以同时测量上述两种数据。但是应当指出，这种仪器的测距范围是几十

米。因此，在利用这种仪器进行基准线精密测量时，有时基准线长度达到几公里就须要制订出特殊的测量方法。同时测量 δ_i 和 h_i 在这种情况下就很复杂，而且工作量大。因此，在工程测量的实践中，安装和检验直线延伸型的工艺生产装备位置的工作，采用基准线精密测量和精密水准测量分别进行的办法。

应当指出，目前在测定基准线各中间点高度位置时，不仅可采用短视线几何水准测量的方法和器材，而且还使用精密的液体静力传感器。这种传感器，是光电记录液面位置的固定式流体静力装置和遥测系统的结合。

在基准线精密测量的实际工作中，要根据具体工作对象的特点和任务情况，而决定使用哪种专用定线仪器（视准仪、微型望远镜等），常规大地测量仪器（经纬仪、水准仪等），以及机械制造中使用的量测器材（检验直线性、平面性、同轴性的仪器，准直仪等）。在本书第二章中，将对其中最常用的几种光学仪器和使用方法，根据它们在精密基准线测量中的使用经验和未来的发展情况加以介绍。

精密基准线测量，可以用来完成以下两项基本任务：

1. 用于在实地布设长距离的控制测量基准线，其方式是依次确立一系列中间点，使它们以要求的精度标定该基准线的位置。根据这样布设的基准线，并利用设有专门测量标志的各中间点，就可测设建筑物或设备的基本轴线、安装轴线和辅助轴线，或将装备和建筑物安装到设计的位置上。这个任务相当于大地测量中“控制测量”的概念。

2. 用于测量一系列检验点的平面位置。此时所依据的基准线，在实地上只埋设两个控制点。由精密基准线测量获得所求各点的偏离距 δ_i 。根据测量的目的，对获得的偏离

距进行相应的计算处理后（例如，测定各检验点对最或是直线相对位置的计算之后），得出各检验点平面位置的数据。这项任务是基准线测量的本份，它相当于大地测量中“进行观测”的概念。

各检验点沿该基准线的相互位置，视具体建筑物的结构特点而定，一般说来可以任意安排，也就是说，这些检验点之间，以及它们与各控制点之间的距离可大可小。在布设控制测量基准线时，各中间点沿基准线最好是均匀地分布，这样做最终能大大提高测量工作的效率。

基准线测量，一般在建设和使用延伸形的建筑物时进行。精密基准线测量的方法和器材，在以下各项工作中广泛应用，如工业部门工艺生产装备的安装和校准；架空索道支座中心的定位；长距离导轨平面位置的校准；轧钢机、抛光玻璃传送带、吊车轨道平面位置的校准等等。

精密基准线测量是检验大型水工建筑物在建设过程中和交付使用后几年内完好情况的主要方法和手段。

精密基准线测量，能够保证所求得的偏离距 δ_i ，在基准线长度于 1 公里以内时，中误差为 $0.05 \sim 0.30$ 毫米。这种测量方法，在现代化带电粒子加速器各部件的建设、安装和校准中广泛应用。在很多情况下，这种方法是唯一可以采用的方法，因为只有这种方法才能达到安装物理装备所提出的高精度要求。

为了使工艺生产线的校准达到上述精度，在装备的每一部件上，事先设置好具有小型测量标志的专用点，这些点与被安装物体磁轴线或几何中线的相对位置，在专用的测量校准试验台上测定。

这些点，采用本文介绍的精密基准线测量方法中的一

种，由平行于安装主轴线的辅助基准线来测定。

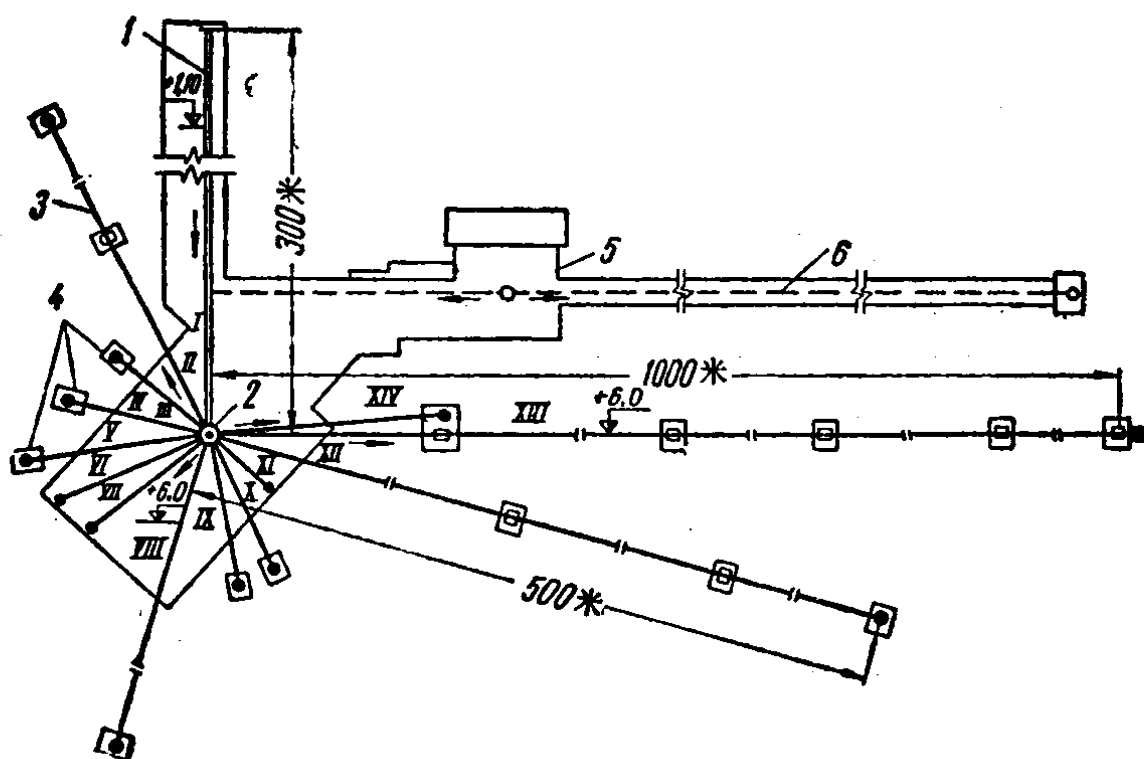


图 2

6, 它附属于以前建设的装置 5。

实际工作中, 首先要在实地上确定安装中线; 如果此中线很长, 那么就在各已定点的基准线上再确定一些中间点, 并设立永久性或临时性的测量标志。

根据建筑物的性质不同, 该基准线的精度也不同。在设立线性加速器的物理装备, 以及圆形加速器带电粒子输送管道的磁性光学中心线的放样工作中, 基准线测量工作的精度, 若以中误差表示, 约为 $0.05 \sim 0.20$ 毫米, 这适合于 500 米及更大一些的距离。例如, 斯坦福线性加速器的基准线长度约为 3200 米, 而有一些建设中的加速器建筑群的长度还要更大些。为了达到这样高的精度要求, 控制测量基准线应在真空或恒温的光束导管中通过, 以便消除外界条件对基准线测量精度的影响。

§ 2 精密基准线测量方法和器材的分类

精密基准线测量的现代技术中, 已拥有大量校准和量测的方法和器材, 虽然这些方法和器材的创造、研究和应用的时间还不久。起初, 企图应用通常的大地测量方法和器材〔24,27〕。但是, 这种方法只适合于安装一般装备, 安装的精度要求平均在 $2 \sim 3$ 毫米。以后才致力于改进现有大地测量的仪器和方法, 使它们适合新的精度要求 ($0.010 \sim 0.30$ 毫米)。在工厂企业的车间和高能物理研究室里安装现代化的技术装备, 要求普通大地测量的方法和器材与机械制造中的量测技术适当地配合, 须要提高这两种测量方法各自的精度, 创造新的非常规测量仪器和辅助测量设备。这就使得在现代化的校准量测技术中, 大地测量与机械制造量测之间的界线, 几乎不分了。

表 1

顺 序 号	基准线测量 的基本形式	基准线测量方法和器材	基准线长度 (米)	达到的精度 (毫米或角度秒)
1.	引张线法	垂球引张线法 浮托引张线法 光学引张线法	200以内 400以内 5~50 50~100 100~400	2~4毫米 0.4毫米 (0.02~0.10)毫米* (0.10~0.20)毫米* (0.2~0.5)毫米*
2.	光学法 (几何光学)	光学照准法: 整条基准线法 逐次推进法 复合法 使用锥镜 准直法 自准直法	1000以内 864以内 1000以内 0~30 400以内 (~50)	0.4~0.6" 0.30毫米 0.2" 0.17" $M=2.5\sqrt{Lb}$ (微米) L长度(米), b基线(米) $M=1.5\sqrt{Lb}$ (微米) b反射镜标志基线(米)
3.	射线法	射线控制仪 激光照准仪和导向器 激光经纬仪	700以内 600以内 数百米	35毫米 4.6毫米 10~15毫米
4.	干涉法	以杨氏实验为原理的衍射法 激光射线干涉仪 激光干涉定线仪及波带板	5~100 350以内 66米以内 336米以内 3000米以内	0.03毫米 0.1*** 0.032毫米, 0.125毫米 0.05***

* 室内测量, ** 在恒温光束管道中测量

在工程建筑物施工、安装和使用的各阶段，所采用的精密基准线测量方法和器材，根据它们的物理原理，可以分为下列四种基本形式：

1. 光学法——利用望远镜、准直仪或自准直仪的视轴或光轴来确定该直线；

2. 引张线法——利用拉紧的引张线确定该基准线；

3. 射线法——由光束轴线、其中包括激光束的轴线来确定该直线；

4. 干涉法——根据物理光学定律得出，这种方法可确定出干涉图象对称轴、相干光源及光束分光装置的相互位置。

表1介绍上述每种基准线测量方法与器材的一些技术与精度指标。

第二章 光学法精密基准线测量

根据几何光学定律而产生的光学法基准线测量，应用广泛，它的特点是具有通用性，精度相当高，比较可靠。

在精密工程测量的实际工作中，采用以下几种主要的光学基准线测量方法：

1. 光学照准法，它有几种类型〔1〕，如采用专用的望远镜照准；采用双象望远镜照准；采用锥镜（Аксион）望远镜照准。
2. 准直法（准直仪及照准镜法）；
3. 自准直法。

§ 3 光学照准法及其器材

这种方法的实质，是用内调焦望远镜照准依次安置在基准线各中点上的觇牌。

望远镜安置在整条或分段基准线的一个端点上，对准置中在另一个控制点上的觇牌；然后，照准依次安装在基准线各中间点上的觇牌，并利用望远镜或觇牌的读数装置，测定各中间点对望远镜视准轴的位置。

采用活动觇牌法、小角测量法、或利用望远镜的光学测微器测量基准线偏离距的线长，得出所求的基准线偏离距。

所谓小角 β_i （见图1），就是总以经纬仪度盘的同一条分划线重合时，利用目镜测微器或光学测微器可以量测的角度。只利用度盘的一条分划线，是为了使量测结果不受度盘分划误差的影响。由于采用小角量测方式的光学照准法作

基准线测量的精度研究，在参考文献〔24〕中有详细的介绍，而且最终所求的是基准线偏离距 δ_i 的线值，所以下面我们将介绍利用望远镜或活动觇牌的读数装置测量 δ_i 值的方法。目前已经研制成几种专用的精密基准线仪器，视准仪，测微望远镜，检验直线性、平面性和同轴性的仪器，它们采用平行玻璃板光学测微器作为读数装置。

在工程建设以及堤坝、桥梁、挡土墙等大型工程建筑物变形观测中，完成精密基准线测量时是使用一种叫视准仪。它与经纬仪不同的地方是没有水平度盘和垂直度盘，而具有大倍率望远镜，跨乘水准器安置在望远镜的水平旋转轴上，而且有时还有目镜测微器或者平行玻璃板光学测微器。有的视准仪在望远镜上没有测微器，在这种情况下，就采用带有测微和读数装置的活动觇牌法进行基准线测量。

民主德国夫赖堡精密仪器公司生产的视准仪，就是这类仪器的一种（图 3）。它的望远镜放大倍率为 $67\times$ ，物镜直

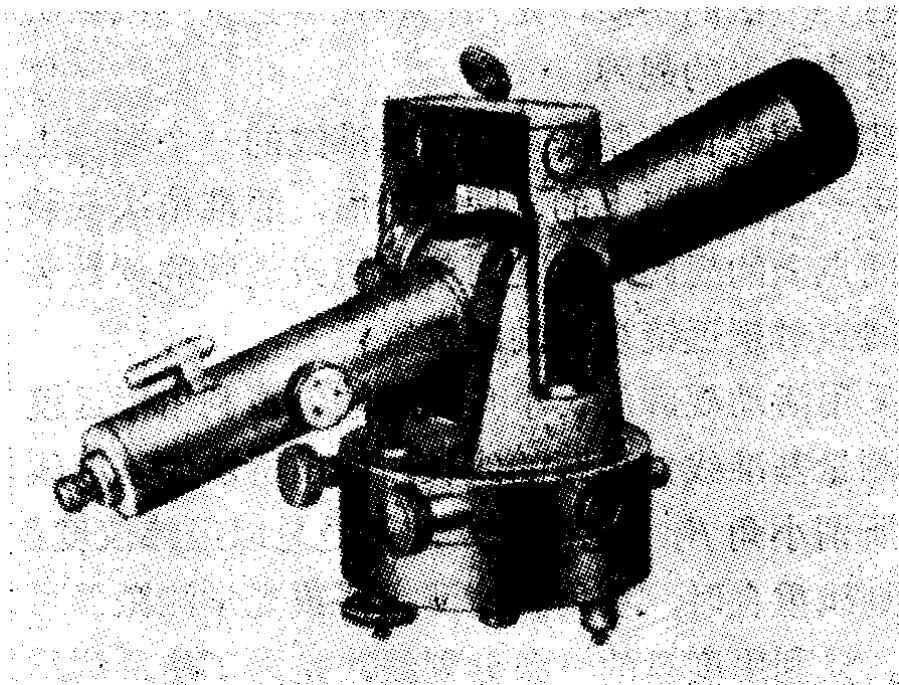


图 3