

目 录

| | |
|--|------------------------|
| 大地常规仪器发展情况 | 郭惠申 (1) |
| 国产J ₀₇ 型大地经纬仪的性能精度简述 | 方镛声 (11) |
| DJ ₂ -T ₂₀ 陀螺经纬仪介绍 | 杨清雅 (21) |
| 数字经纬仪研究 | 方文骅 (30) |
| 符合式双面读数系统的光瞳重合 | 朱德新 (38) |
| 光学经纬仪竖轴系偏心差的公式和检验 | 许纪隆 (50) |
| 自动安平水准仪的补偿器 | 郭惠申 (64) |
| 国外最高级自动安平水准仪比较及自动安平补偿器的试制 | 范德兴 (79) |
| 几何交叉活节放大因子的计算式 | 李以赫 (94) |
| 自动安平水准仪主要误差分析 | 唐务潜 (105) |
| 自动安平水准仪的准高问题 | 陈祖源 (115) |
| 航空摄影机的防震原理及其试验方法 | 邵占英 (122) |
| 矩形波带板成象理论 | 田景敏 (134) |
| 四象限矩形波带板准直探测器 | 田景敏 田文远 (146) |
| 制板物镜设计与研制 | 武汉测绘学院光仪系 (153) |
| 测绘仪器的防霉、防雾、防锈 | 刘振沛 (169) |
| W-2型无标尺测距仪的研制和试验 | 中国人民解放军第一〇〇二工厂 (178) |
| 短程红外测距仪的机内噪声 | 储钟瑞 (183) |
| BJC型变频式激光测距仪 | 中南矿冶学院测量教研室 (194) |
| 用于相位式激光测距仪中光调制器的研究 | 古平北等 (203) |
| 论 He—Ne 激光器在矿山测量中的应用问题 | 俞昶兴 (213) |
| 提高近程无线电定位仪精度的探讨 | 王广运 (225) |
| 论相位测距的周期误差 | 赖锡安 (234) |
| G171 人卫激光测距仪 | 蔡宗仁 (244) |
| 从微波测距仪机内讯号的相位分析探讨零点差的摆动原因 | 黄书基等 (260) |
| 变容管调谐体效应振荡器在微波测距仪上的应用 | 冯洪辉等 (276) |

大地常规仪器发展情况

郭惠申

(国家地震局地震研究所)

文章主要叙述了国际上经纬仪、水准仪和平板仪的发展过程和各阶段的主要成就，并提出了一些在我国发展这几种仪器的意见。

0. 引言

大地常规仪器是经纬仪、水准仪和平板仪，现在已经出现了包括电磁波测距仪的趋势。

仪器是取得数据的工具，取得的数据总是不正确的，都是附有误差的。误差的大小与使用仪器的人有关系，但主要的还在于仪器本身。要求用“ e ”级的经纬仪测出误差为 $\pm 1''$ 的角值行吗？工欲善其事，必先利其器。因此要求测绘工作能够现代化，必须先要求测绘仪器现代化。

测绘最后是落在绘上，也就是成图，这是认识自然。在改造自然时，测量的作用是定线放样。大地仪器当然也不例外，要达到以上两项目的。

要制造仪器首先碰到的是设计工作。设计工作的好坏绝大部分取决于设计思想，但也要以是否能够加工为基础。对待实验室或批量很小的仪器与需要大量制造的仪器，从设计角度来说，出入是很大的。大地常规仪器是属于后者。因此，使用的元件在制造上必须是可重复性很高的。

从测量仪器方面来看，首先使用的是机械的，以后进入了光机时代。二十世纪五十年代测绘仪器再一次出现了较大的发展。不但光机仪器出现了更新换代，又由于光电测距仪的问世使测距技术从光学视差角法转入了光电测距的新阶段。

为了说明发展情况，有必要从二十世纪二十年代谈起，当然不可能是很详细的去论述它们。

1. 经纬仪

经纬仪是测水平角及竖直角度的仪器，以后又增加了测距的任务，是大地常规仪器中的主要仪器。

开始经纬仪没有竖直度盘而具有很大的尺寸的水平度盘。二十世纪初形成了金属度盘经纬仪，它的结构如图1。从图1可以看到，为了照准及读数，眼睛的位置需要移动十次并且需要围绕仪器改变身体的位置。

能不能把需要观测的对象集中到可以在一个或很少数的位置上进行观测呢？二十年代在这方面出现了很大的改进。

为了通过光学元件使度盘的像在望远镜目镜旁的读数目镜视场内出现，首先要解决的

图 1

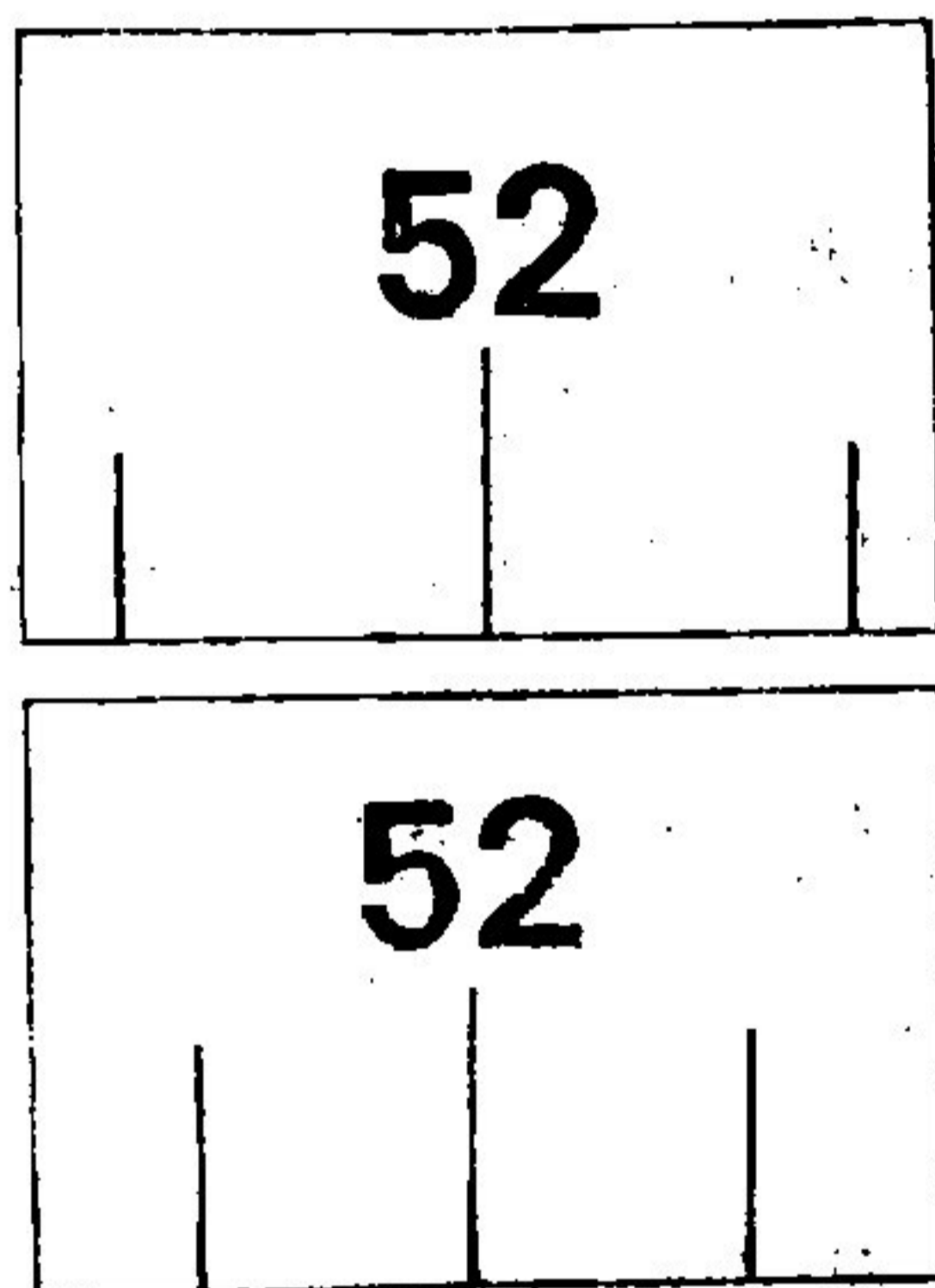


图 2

是像的亮度问题。用玻璃度盘代替金属度盘使得反射光线被透射光线代替，不但亮度增加了，而且视场也清晰了。（参看图 2）这方面的突破使得工作时眼睛位置只需要移动两次，而且人也不必再围绕仪器转了（参看图 3）。

观测的位置是减少了，可是手的位置呢？使用金属度盘经纬仪照准水平方向及竖直方向，由于制动和微动螺旋不在一块儿，因此需要四次改变手的位置。能不能减少呢？用制动把代替制动螺旋并且使用三个手指进行操作，就可以减少两次改变手的位置，使制动和微动螺旋共轴，就可以大大地减少手的位置移动量，使用磨阻制动则可以把制动螺旋省去只留下微动螺旋。

能不能使手的移动量更小一些呢？东德国营蔡司厂给出的解决办法，如图 4。图中右侧四个旋纽的中间的一个实际上是竖直和水平度盘的两个固定把的外壳，下面的两个共轴旋纽是水平和竖直方向的微动。

使用高精度金属度盘经纬仪需要通过四个测微器进行读数。光学经纬仪把度盘上的两个对径的像引入同一个视场，因此只需要一个测微器就可以解决读数问题了。为了使得观测者不致混淆水平和竖直度盘的读数开始用不同的字体或者使视场中出现度盘的代号。现在使用了不同的颜色。

为了便于直接读得数字，对度盘分划线及视场中的图形作了很多的改进。如图 5 的读数是 $85.7'' + 5.03'' = 85.7503''$ ，其中两项的尾数都不是数字读数，因此比较容易误读，特别

图 4

是读定 0.1g 那一位的时候。图 6 的读数 $56.533''$ 和图 7 的读数 $105.822''$ 就只有最后一位才是非数字的。

为了提高度盘分度精度，除了提高刻度机的精度之外，对度盘分度也作了不少的改进。刻度机轴系中存在着无法避免的气泡，因此就导致出现 4π 周期的分划误差。要消除这项误差，必须使刻度的全过程是 4π ，也就是要求度盘旋转 720° 两周的刻度，这可能表现为双线单度盘，也可能表现为单线双度盘，以及单线和双线的双度盘等各种类型的度

图 7

盘。刻度技术的提高使得分划线又细又准，这样就提供了用带尺代替测微器的可能性。

外业时间的缩短对运动着的目标以及只有很短良好通视时间的工作，例如一二等三角测量的野外工作，是非常必要的。为了缩短读数时间，首先使用了摄影的方法，也就是把读数记录在照像底片上。威特的 T_3 和西柏林西门子公司的 T_{10} 使用了这种方法。一卷 135 的底片可以照 24 毫米 \times 24 毫米的 48 张照片，每张照片都可以记录下水平及竖直度盘

和水准器的瞬时像。这种方法只能节省外业时间的作用,但无法与计算工作直接联系起来。

发展过程暴露了经典的玻璃度盘及其相应的读数系统转化成为全自动化的障碍物。用什么方法代替经典的分划线玻璃度盘?西柏林阿斯卡尼亚厂用蜗轮付代替了玻璃度盘。蜗轮的转动值通过传动系统传递到电位差计。传动系统如图 8。当然这种仪器的精度取决于蜗轮的精度。电位计经纬仪(Potential-meter Theodolit)通过电子计算转换成数字显示,就发展成日本测机舍(Sokkisha)的数字速测仪(Digital Transit)。

图 8

图 9

调整分划线度盘分划宽度,使得与它们之间的间格相等,就成了光栅度盘。有关 AGA 厂的光栅度盘可以参考文献[3]。此外西德蔡司奥普顿厂用编码代替分划。有关 Elta 14 的编码度盘可以参考文献[4]。

芬兰厂编码经纬仪(Codetheodolit) FLT3 的外形如图 9,每次可装 10 米的胶卷作 680 个水平或竖直度盘记录(图 10)。照片经过显影定影阴干等过程之后输入变换器,使记录下来图形转换为五通道编码的穿孔带,再输入计算机得出包括坐标在内的数据。

由于工程测量的要求越来越高,竖直度盘也不得不作出相应的改变,竖直角是根据天顶方向,而天顶方向是要受到竖轴的影响的。能不能使天顶方向精度提高,从而提高竖直角精度呢?在竖直度盘直径加大到与水平度盘相等之后,就不得不在这方面想别的办法了。现在对竖直度盘指标自动归零的精度要求已经到了零点几秒的数量级。为了取得水平

图 10

方向的标准零方向，问题就不像天顶方向那样简单了。磁方向不但精度很差，而且它并不能代表真正的北方向，由于矿山及军事测量的需要，选用了陀螺来定北方向，可是陀螺的精度也还存在问题。到现在为止，陀螺经纬仪也还没有打破 $\pm 6''$ 关。作为经纬仪附件的陀螺，定向精度停留在 $\pm 30''$ 左右。

用视距丝进行光学测距始于莱兴巴赫。哈默教授提出了使用随高度角改变的曲线组分别读出水平距离及高程差。为了提高观测精度，出现了很多种设计，改进的方法都是基于使望远镜视场中的曲线与标尺分划的交角减少。现在这种类型的仪器如威特的 R.D.S. 东德蔡司的 THEODAHLTA 010 在 100 米以内测得的距离精度可以达到 1/1000。这种方法不但可以节省工作人员，而且也能加快测量速度，减少差错。这种办法用于平板仪是特别有利的。建议国内研究机构在工艺上进行研究并推广应用。

可以用横基尺和光楔进行测距。用这种方法测得的距离精度约为 1—2/10000，高程方面约为 1/5000。

总的说来，光学测距的问题在于测程较短，无法进行自动化。电磁波测距解决了自动化的问题，也就具备了向全自动化发展的道路。西德蔡司奥普顿厂的 ELTA2M 就是在走这个方向，用陀螺定北方向，竖盘指标自动归零，编码度盘，电磁波测距，电子计算机计算成果。这种类型的仪器由于造价问题，一时还无法代替常规仪器。

激光经纬仪作为施工放样的仪器是很合适的。日本科学工业公司的 NAL-718G 型激光经纬仪，激光束直径在 50 米处为 3 毫米，300 米处为 16 毫米，俯仰角 $\pm 50^\circ$ ，氦氖激光器输出功率 3 毫瓦，有效射程 > 2000 米。

近二十年来的经纬仪发展过程中系列化作出了较大的成绩。各国和各厂的系列不管名称如何，实际上都是以精度来分等级的，在系列化问题没有明确提出时，出现了多种多样的精度的经纬仪。在系列化问题提出之后，品种就大为减少，这种现象在苏联特别明显。现在各国和各厂的系列等级大约在三到六个之间。系列化工作是研究战略方向的一项工作，因此不但要制定现有的，也要设想到将来的，并要顾及到如何过渡的问题。

我国经纬仪系列化工作开展得比较早，现在分为六级，比较多一些。按照我个人的现在的认识，将来可能只有 0.7"，2" 和 15" 三级。在这方面，2" 和 6" 两级的合并趋势是明显的，主要的原因是当前 2" 级和 6" 级的造价相差无几，这两级自然而然地合并成为一个等级了，东德蔡司厂的 Theo 030 改变成为 THEO 020A 就是这种趋向的一个证明。

为了减少在简化等级时发生困难，最好的方法是通用化。要注意的是，对将来要合并的仪器使元件通用，会给生产带来很大的好处，对将来不可能合并的等级，不适当的追求通用，就可能带来不必要的麻烦。

2. 水准仪

水准仪是用来测定两点之间的高程差的仪器，要求它给出一条水平视线，人们为这条水平视线努力了千百年，到现在为止仅能得出 $\pm 0.05''$ 的精度。

开始人们在容器中的漂浮物上安装了等高的两根小柱，利用针尖形的柱头得出水平视线，此后又用了连通管的两个竖直水管的水面，或者安装在重锤上的一根水平窥管或两个标记，进行定平。这些简单工具的精度当然不可能是高的，然而它们已经显示出日后将产

生两条设计思想不同的道路：（1）利用液体在容器中的特性使之指示视线水平，（2）利用重力使视线与铅垂线垂直。由于精密机械加工的水平问题使得前者逐渐地占了上风，二十世纪前半世纪水准器水准仪占领了全部市场。

人们对水准仪的要求是在测站上一定高度的基准点上给出一定精度的水平视线。如何提高水平视线的精度呢？望远镜的出现为这方面作出了贡献。按照斯坦夫（Stampfer）1834年给出的望远镜的照准中误差是 $\pm \frac{10''}{V}$ （ V 是望远镜的放大倍率）。内策里（Noetzli）

1915年给出的是 $\pm \frac{3'' \text{到} 4''}{\sqrt{V}}$ ，在15倍到50倍望远镜放大倍率之下可以认为是 $\pm \frac{20''}{V}$ ，

比斯坦夫的数据大了一倍。无论如何数据表明望远镜能够把照准中误差缩小到高精度水准仪所需要的精度级。

如何使得视线改变了水平方向之后仍然能通过基准点呢？显而易见的是要保持视线与竖轴相交点的位置不变。要求视线能在同一水平面上旋转，不能没有竖轴。用重力使竖轴保持高精度竖直，就是使用现代的技术也是难题，因此在十八世纪后期利用重力使望远镜水平的方法逐渐被淘汰是完全可以理解的。

对水准器水准仪最初的认识是视准轴必须与竖轴垂直。利用水准器使竖轴竖直，那么视准轴就水平了，可是机械加工保证不了要求的精度。怎么办？Y式水准仪，转镜水准仪都是通过对称补偿来保证基准点高度不变，视准轴的残余倾斜角自动消除。以后逐渐认识到要求视准轴与水准器轴平行是必要的，而视准轴与竖轴垂直并不是完全必要的。微倾式水准仪取代了其它各种类型的水准仪。

二十世纪二十年代通过使用内调焦望远镜和符合水准器使得水准仪得到了大幅度的提高。把气泡象引入视场使得测量工作更为便利。光学复膜提高了望远镜的鉴别率，从而可以降低望远镜放大倍率，使得水准仪有可能向更轻巧小型的道路上前进。温度对水准器的影响很大，水准器水准仪向高精度进军碰到了困难，而且从经济效果来说也是很理想的。

二十世纪五十年代出现了自动安平水准仪。它们是使用在望远镜光路中增加的补偿器，使得仪器在用圆水准器置平仪器之后就能够得到一条一定精度的水平视线。管状水准器被取消了，置平仪器时不需要再经过冗长无聊的反复工作，观测时也不必提心吊胆的一再观察气泡是否居中，测量速度加快了。可是有时往返测量的成果精度很好，但不符值往往超限。这种现象表示有系统误差，这样的系统误差的根源何在？能不能设法消除？人们对这种类型的仪器产生了有没有向高精度发展的前途。通过研究，搞清楚了系统误差来源于补偿器，能通过测量方法使得原先以系统误差出现的误差改变成为以偶然误差的形式出现，采用新的测量方法，证实了这种类型的仪器是有很大的前途的。目前自动安平水准仪的精度，由于温度对补偿器的影响大大的小于对水准器的影响，再加上测量速度的缩短，许多系统误差也随之减小，从而使得精度突破 ± 0.4 毫米/公里，达到了 ± 0.2 毫米/公里。

在使用自动安平水准仪，特别是用它们进行高精度水准测量的时候必须随时注意：

（1）为了判断测量时补偿器是否起作用，现代的仪器都已经增加了警告信号或检查装置。必须是在有把握知道补偿器在没有失灵的情况下才能使用自动安平水准仪进行测量。

(2) 出现倾斜水平线的根源, 在于用圆水准器安置仪器时, 仪器的校正剩余误差和习惯性的人差使得竖轴有规律的在一定的方向产生一定的倾斜, 从而使得补偿器的补偿值产生一定的偏差。这种偏差的方向与气泡进入指示环的方向有关。这就是说在置平圆水准器时, 每一站都是把望远镜指向同一支标尺, 然后使气泡从固定的方向, 例如从物镜端或目镜端进入指示环, 在望远镜视场中可以看到圆水准器像的时候要使气泡像从铅垂方向由上向下或由下向上进入指示环像。用这种方法可以使偏差方向与视轴方向固定起来, 再通过置平时都把望远镜对准同一支标尺进行工作就能够使得相邻两个测站的倾斜水平线误差基本上相互抵消。剩余的将以偶然误差的形式出现。

工程测量对仪器的要求正在不断地冲击大地测量对仪器的要求。观测运动着的物体, 对测量的速度提出了更高的要求, 要说二十年代还处于不自觉的要求提高测量的速度以及还不能够清楚的了解速度与精度之间的关系, 那么六十年代已经达到了自觉的阶段, 民德的 Ni 002 就是在这个基础上发展出来的。

中、低级精度的自动安平水准仪, 由于造价较高, 还不能取代水准器水准仪。七十年代出现的中、低级精度水准器水准仪的更新现象就是证明。因此, 中、低级精度的自动安平水准仪面临着如何简化结构, 降低造价和扩大补偿范围的问题, 在研制方面还有很多的工作要做, 使国产仪器系列化, 也是迫切需要解决的。

现在来认识一下水准测量工作要求的每公里的中误差和仪器制造工作要求的仪器总精度之间的关系。

估计测量精度是通过往返测高差不符值来衡量的。按照国家水准测量规范的规定, 水准测量分为一、二、三、四等, 并规定了这四个测量精度等级和实际操作细则。国家水准测量规范中阐述每公里单程高差的偶然中误差 μ 是用 $\mu = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \left[\frac{\Delta\Delta}{R} \right]}$ 计算。公式中的 N 为测段数, R 为以公厘计算段长, Δ 为以毫米计算的测段往返测高差不符值。单程高差偶然中误差是通过 $2n$ 个观测值得出, 因此每次观测的偶然中误差 $\mu_{站}$ 应当是 $\mu/\sqrt{2n}$ 。以角值表示时为 $\mu_{站} \cdot \rho''/D$ (D 是仪尺距)。通过计算得出表 1。从表上可以看到水准仪的系列应当是 05, 1, 3, 6 四级, 而不是 05, 1, 3, 10 四级。

激光用于线水准没有能得到很快的发展。主要的原因是每站的操作时间过长, 和激光

表 1

| 等级 | 不符值 Δ | 仪尺距 D | 每公里 测段数 N | 每公里单程高差的 偶然中误差 $\mu = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \frac{\Delta\Delta}{R}}$ | 每公里 测站数 $2n$ | 每次观测的偶然中误差 | |
|----|-----------------|------------|-------------------|---|--------------------|---------------------------|------------------------|
| | | | | | | $\mu_{站} = \mu/\sqrt{2n}$ | $\mu_{站} \cdot \rho/D$ |
| | mm | m | | mm | | mm | mm |
| 一 | 2 | 50 | 10 | 0.4472 | 20 | 0.10 | 0.41 |
| 二 | 4 | 50 | 10 | 0.8944 | 20 | 0.20 | 0.82 |
| 三 | 12 | 75 | 6.67 | 3.286 | 13.33 | 0.90 | 2.48 |
| 四 | 20 | 100 | 5 | 6.325 | 10 | 2.00 | 4.13 |

束在大气中受到的折光影响很大。设想使用色差法消除折光影响还在探索阶段。

激光用于面水准的仪器已有很多型号。AGA 厂的 Geoplane 300 是其中的一种，它能够给出一个半径为 250 米的闪烁的红色水平基准面。人们可以根据这个基准面在 20 平方米的场地上进行施工。美国 LBS—Beacon 厂的全能建筑激光仪，可以得到 0.05% 以下的置平精度，工作半径是 300 米。

3. 平板仪

平板仪是用来测地形图的仪器，有大平板仪和小平板仪之分，现在要谈的仅仅是大平板仪。虽然现在极大部分测绘地形图的工作由航空测量承担，但小区域大比例尺的地形图还是离不开平板测量。

一直没有能够很满意的解决观测高度与绘图高度之间的矛盾，现在虽然得到了初步解决，但仍然不很理想，还要继续改进。图板上承受过重的问题可算是解决了。

经典的大平板仪是在一条长方形的底板上有一个垂直的支柱，望远镜横轴与支柱垂直，横轴轴承则与支架固定，因此望远镜可以在与底板长边平行的竖直平面内旋转，望远镜对好方向后可通过底板的直线边传递到图纸上去。矛盾产生在望远镜横轴与底板之间的距离不能太大，一般只能采用 15 厘米左右，否则仪器太大重心太高将产生不利。但是观测高度与绘图高度之间一般来说需要超出 30 厘米，因此使用大平板仪测图时，工作人员是比较劳累的。此外在图板上移动笨重的大平板仪也不是理想的，读得的斜距换算成水平距离及高程差，不但需要增加一个人，也易于产生差错。为此在它的发展过程中先是在底板上增加平行尺，以后使用改善了的哈默自动归算曲线直接读定水平距离和高差，现在更进一步选用了观测高度与绘图高度分开的办法。发展过程参看图 11~14。

无标尺测距仪对测量山区地形是有很大的好处的，可惜精度不高。已有的一些型号，Breithaupt—Berroth 测距仪（图 15）似乎是最好的。它的测距精度如表 2。

图 11

图 12

表 2

| 光 楔 | 测量范围 | 相对精度 |
|-------|---------|--------|
| 1:100 | 10~75米 | 1/2000 |
| 1:200 | 15~150米 | 1/1000 |
| 1:500 | ~400米 | 1/400 |

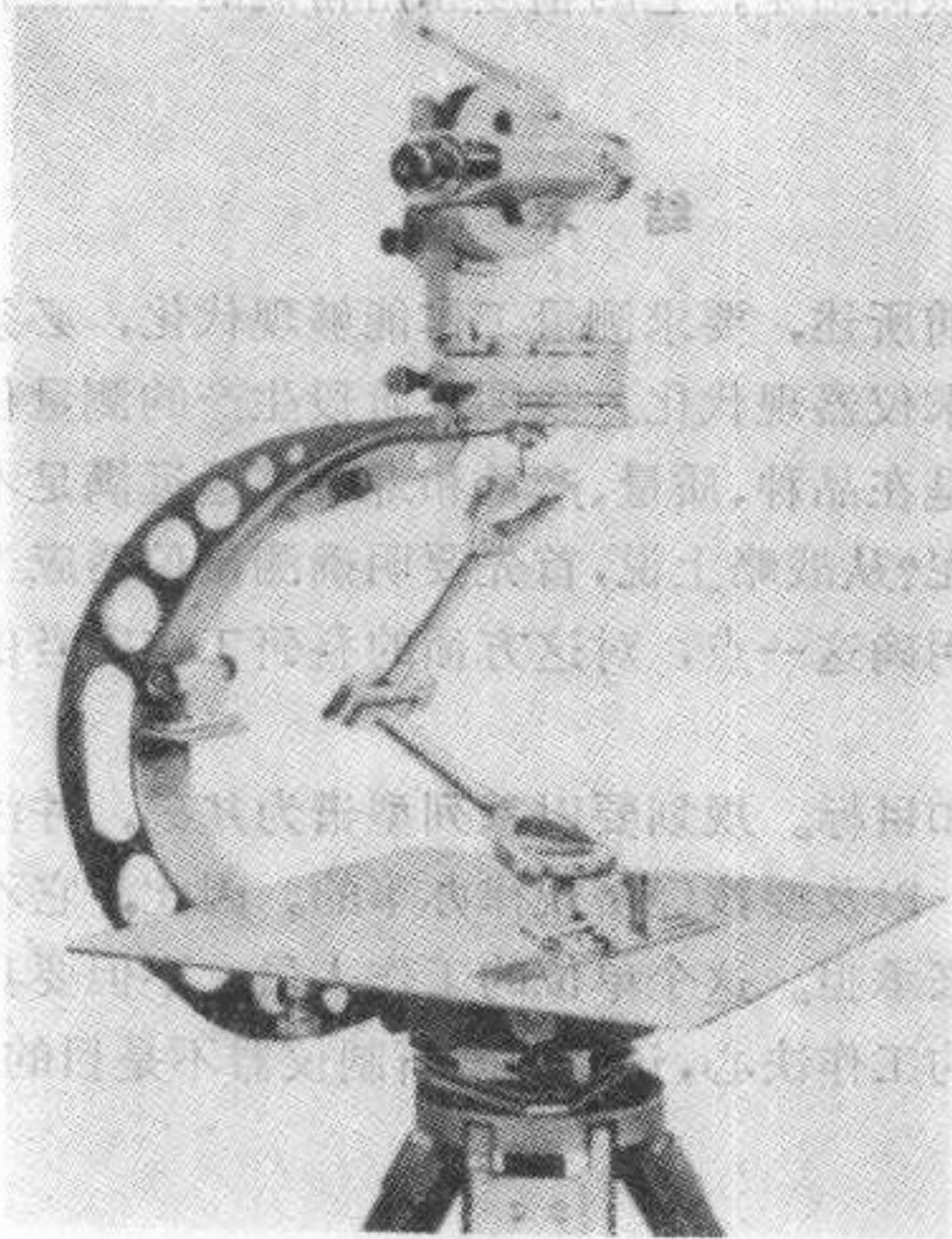


图 13

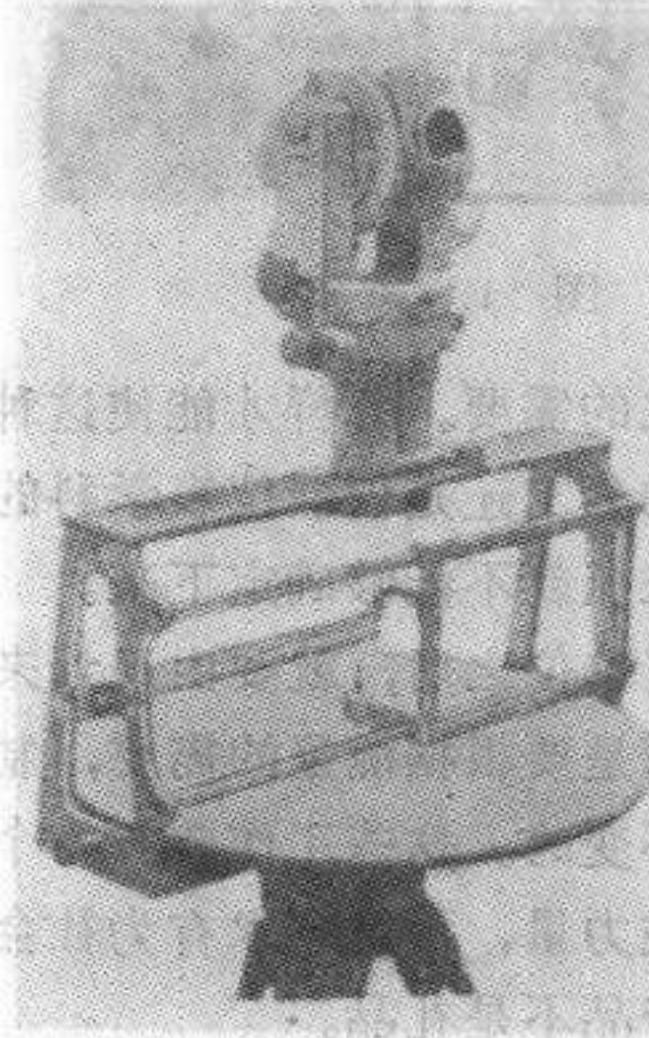


图 14

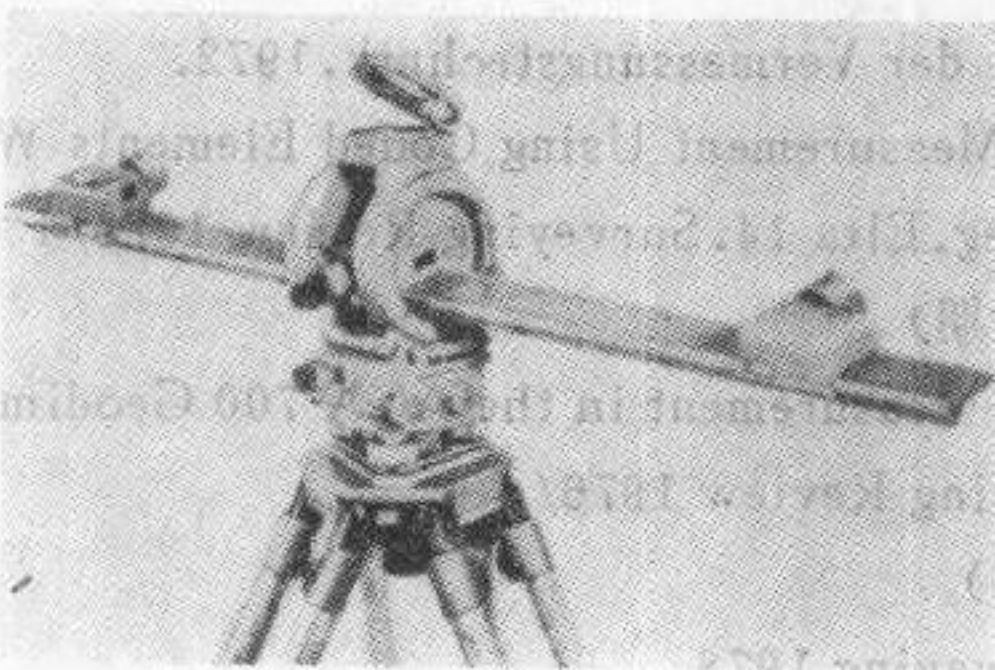


图 15

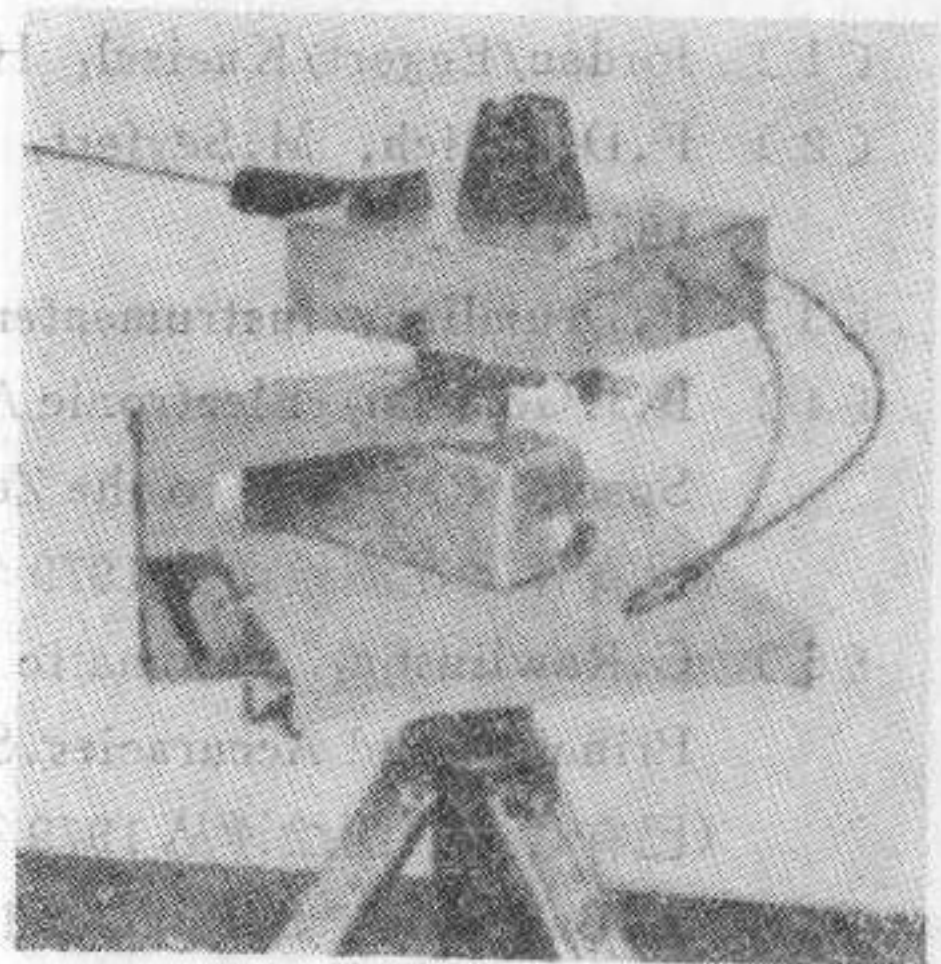


图 16

值得注意的是七七年出现的Geo 60地形仪。这是用来进行50米以内碎部测量的仪器，可以换用1:10到1:1000之间九种不同的比例尺。仪器可以在水平状态（图16）或竖直状态（图17）时使用，通过安装在钢尺前端的拉手把钢尺拉出，拉出的钢尺长度通过标绘器使得刺针按比例向前转动，在纠正倾斜距离的偏差之后，按下刺针就得出图上的点位，距离的数据可以通过光学系统读得。试测结果，它的精度和用常规的支距法相埒。

结 束 语

如前所述，要求测量工作能够现代化，必须首先要求仪器现代化。我国现阶段生产的测量仪器无论是在品种、质量、产量和寿命都远远满足不了四个现代化的需要。怎样才能使这种情况转化呢？从战略上说，首先要明确测量仪器应当是测量学科的分支还是仪器仪表学科的分支。不明确这一点，对这方面的科研工作应当由那一个部门来抓就不能够确定下来。

有了负责单位之后，就要由规划来明确方向和目标。规划要以系列型谱为基础，并注意到系列型谱是要根据测量的需要，制造的可能，以及要按经济规律办事的。因此，它不可能是一成不变的。这些工作要有一个研究单位来承担。这个单位的工作人员，不但要具有较高的科技力量，而且要求有为社会主义建设的工作决心，还要明确研制仪器不是目的，国家要的是产品不是礼品。

参 考 文 献

- [1] Jordan/Eggert/Kneissl; Handbuch der Vermessungskunde. Band III, 1956.
- [2] F. Deumlich, M. Seyfert; Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. 1957.
- [3] F. Deumlich; Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. 1972.
- [4] B. J. Gorham; Electronic Angle Measurement Using Coded Elements With Special Reference to the Zeiss Reg. Elta 14. Surveying Review 1976/4
(已有译文在测绘译丛 1979 年第三期)
- [5] C. Rawlinson; Automatic Angle Measurement in the AGA 700 Geodimeter—Principle and Accuracies. Surveying Review 1976/4
(已有译文在测绘译丛 1979 第三期)
- [6] A. Bannister, S. Raymond; Surveying 1978.
- [7]* 光学经纬仪发展的现状 (F. Deumlich; VT 1977/12)

- [8]* 自动安平水准仪的补偿器。
- [9] 平行平面玻璃测微器的设计 (测绘学报 64 年 3 期)
- [10] 国家水准测量规范说明, 国家测绘总局 1974.
- [11]* 用地形仪 Geo 06 进行城市测量的经验 (S.Langbein & H.Wolff, VR.77/V)
- [12] F.Deumlich, Probleme Rationalisierung Grossmassstabiger Aufnahmen bei
Klassischen Aufnahmeverfahren.VT 1978/12.
- [注]; 文献有 * 者可向国家地震局地震研究所索取。

国产 J₀₇ 型大地经纬仪的性能精度简述

方 镛 声

(中国人民解放军一〇〇二工厂)

J₀₇ 型大地经纬仪是用于国家一等三角测量和一等导线测量角度观测的高精度仪器。初样于一九七五年在一〇〇二厂研制成功；一九七七年开始小批试生产并供应测绘部门作业试用。兹就该仪器的结构、性能及精度测试等有关情况作简要介绍与论述，以供参考。

一、仪器结构

《国家三角测量和精密导线测量规范》对一等三角测量的角度观测所规定的精度指标为：“按每一锁段三角形闭合差计算的测角中误差应不超过 $\pm 0".7$ 。”这是 J₀₇ 型大地经纬仪设计的基本数据。鉴于我国在一等三角测量中使用较多的主要仪器 TT2/6 型经纬仪，虽然精度高而稳定，但体大笨重，使用不便；T₃ 型经纬仪则精度较低，不易满足一等三角的要求。因此对 T₀₇ 大地经纬仪的研制提出了精度应高于 T₃，达到 TT2/6 水平，且力求避免 TT2/6 体大笨重等缺点，使仪器具有自己独特风格的要求。为了使仪器精度能高于 T₃，能胜任一等三角测量作业，在制订设计方案中，决定对主望远镜焦距，物镜孔径以及水平度盘直径等主要参数选取较 T₃ 略大的规格，如：

主望远镜焦距 $f' = 520$ 毫米 (T₃ 为 382 毫米)

物镜有效孔径 $D = 65$ 毫米 (T₃ 为 60 毫米)

水平度盘刻划圈直径 $\phi = 150$ 毫米 (T₃ 为 140 毫米)

由于这些基本尺寸较大，因此整个仪器的体形、重量都随之增大了。在样机进行外业测试中，担任作业的同志对此提出了意见，促使该厂在进一步减轻仪器重量上作了许多努力，取得了一定效果，虽较 TT2/6 已轻巧很多，但仍逊于 T₃。见表一。

表一 仪器重量比较

| | 仪器净重 (公斤) | 包括仪器盒共重 (公斤) |
|-----------------|-----------|--------------|
| J ₀₇ | 17.1 | 24 |
| T ₃ | 11.0 | 15 |
| TT2/6 | 27.5 | 44 |

在样品试制中也考虑到仪器的重量问题，特将一台样机的“身架”采用铝合金制造，使仪器重量比用铜合金制造的轻了 3.5 公斤。铝合金的膨胀系数较铜大，仪器因受温度变化而对精度和稳定性影响如何，是一个有待实践考验的问题，在试制中我们对这台铝材身

架仪器进行了严密的考察和试验，尚未发现异常情况，精度与铜身架也无甚差别，如采用铝合金做身架的实验取得成功，则仪器重量将可进一步减轻，接近 T_3 的水平。

此外，我们根据使用部门反映的意见，吸取各个仪器的优点并结合该厂制造工艺水平，在仪器上采取了以下一些机构和设施：

(1) 主望远镜设置目镜测微器，以提高瞄准精度。

(2) 度盘读数采取对径符合读数的光学显微系统（水平度盘直读 $0''.2$ ，垂直度盘直读 $0''.4$ ）使读数方便，并有足够的读数精度。

(3) 水平度盘水准器角值取 $4''/2$ 毫米，以保证竖轴安平精度不大于 $1''$ 。（ T_3 的水准器为 $7''/2$ 毫米）。

(4) 横轴系采用“V”形轴承加弹簧顶压结构，以消除径向间隙。

(5) 设置偏扭望远镜及底座，使仪器能在高标作业中改正偏扭量，提高水平角观测精度。

(6) 设置粗读度盘与活动指标，以利于寻找目标，提高操作速度。

(7) 设置对心装置，便于归心。

上述这些机构设施，通过实际测试作业，证明对保证仪器精度和改善操作条件是有效的。（ $J_{0.7}$ 仪器外形参见图一）

二、性能检验与室内测试

仪器的性能、精度能否达到设计要求，满足一等三角测量的精度指标，在工厂制造过程中，除了对仪器的各个主要元件及其组成必须进行严格的质量检验和考察，保证达到设计所规定的技术要求外，还必须对装调好的仪器整机进行周密的室内性能测试，验证能否达到《规范》所规定的各项限差指标，这是考核仪器性能、质量的主要步骤。现就 $J_{0.7}$ 在试制和生产中所进行的性能检验和室内测试情况作简要介绍：

1. 主要元件及组装的检验

(1) 主望远镜：根据一等三角锁边长应在25公里左右，特殊情况可达45公里的规定，主望远镜必须具有十分良好的成像品质和高鉴别率。在 $J_{0.7}$ 上现采用的是“双双胶”式物镜，全部用国产光学玻璃

图一 $J_{0.7}$ 型大地经纬仪

制造，工艺性较好。通过试制及生产实践的反复考察，主望远镜的成像品质是较好的，各项技术参数均能达到设计要求，在装调良好的情况下可获得较满意的星点像。参见图二。

有关 J₀₇ 主望远镜的参数及检验数据见表二。

在样品试制中，为了考察望远镜能否满足使用要求并取得野外观察情况的第一手资料，我们在室内检验取得良好结果的基础上，曾数次携带仪器去野外作实际观测，在选取的两个边长为 25 公里的三角点上观测钢标标笼；实验证明 J₀₇ 望远镜能观测到相距 25 公里的目标，鉴别能力和成像质量且较 T₃ 为优，比一台旧的 TT2/6 更好。（但由于 J₀₇ 的物镜镀增透膜质量不理想，视场背景略呈浅黄色，以致在视觉上不及 T₃ 舒适。）在后来的野外测试作业中，曾成功地观测过 30.7 公里的边长。证明

图二 望远镜星点像示例

表二 主望远镜光学参数

| 项 目 | 放 大 率 | 通 光 孔 径 | 物 镜 焦 距 | 望 远 镜 长 度 | 视 场 角 | 最 短 视 距 | 鉴 别 率 | | | 透 射 系 数 | 散 射 系 数 | 说 明 |
|-------|---|----------------------|-------------------|-----------|-------|----------------|--|------|------|---------|---------|-------|
| | | | | | | | 高 对 比 | 50 % | 16 % | | | |
| 名 义 值 | 40 ^x 55 ^x 65 ^x | 65 | 520 | ~371 | 40' | 3 ^M | K=1.1 时 2:03 K=1.2 时 2:22 | | | | | |
| 实 测 值 | 40 ^x .55.6 ^x 64.4 ^x 40 ^x 40 ^x | 64.2 64.6 64.6 | 528 527 529 | | | | 2" | 2:4 | 2:4 | 64% | | №7501 |
| | | | | | | | 2" | 2:3 | 2:4 | 58% | 8% | №7502 |
| | | | | | | | 2" | 2:3 | 2:6 | 54% | 8% | №7503 |

J₀₇ 的主望远镜是可以满足使用要求的。目前由于胶合透镜用的国产冷杉树脂胶质量尚不够稳定，抗温度变化能力较差，有使胶合好的透镜发生变位而损坏象质的异常现象，正待研究克服。

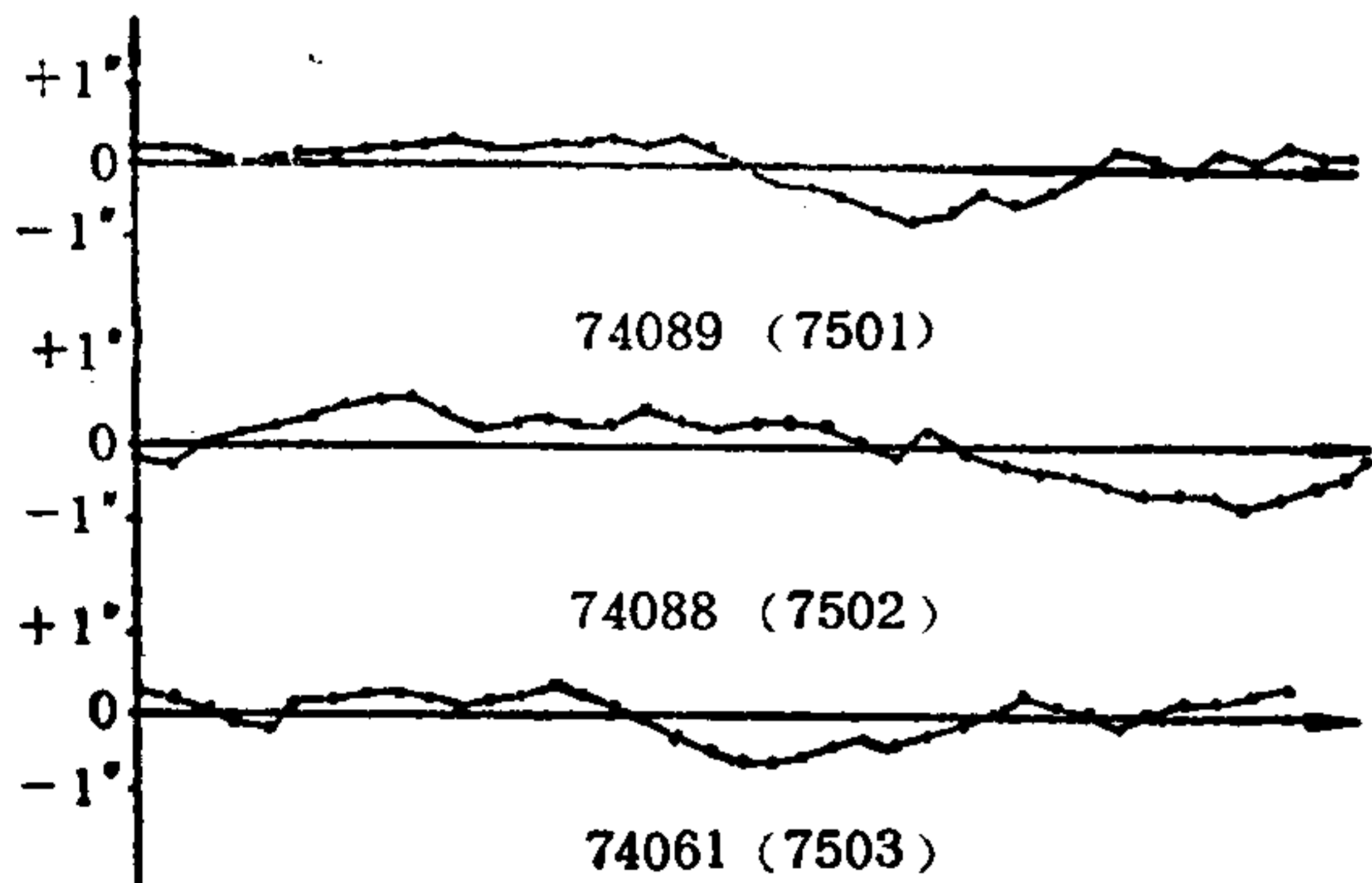
(2) 度盘：度盘的精度主要依靠刻度机的精度来保证，J₀₇ 的度盘是用一台 0.3 刻度机刻制的，在机器调整良好运转正常的情况下，能够达到技术要求。在生产中对每块度盘都进行严格的检测，下面举出度盘检测结果的几个例子，以见一般，见表三。其相应误差曲线见图三。

由于该厂对高精度度盘的制造在工艺技术上尚未完全过关，经验不多，度盘的线条衬度、光洁度及表面疵病等均尚有缺陷，比 T₃ 等国外产品尚有差距，有待努力提高。

(3) 竖轴系：根据仪器安平精度应不大于 1" 的技术指标和能在 +45°C ~ -25°C 的环境下正常工作的要求，竖轴系必须有很高的精度。J₀₇ 上采用的是半运动式的竖轴系，这

表三 度盘检测成果示例

| 度盘号 \ 指标 | 设计要求 | 74089 | 74088 | 74061 |
|----------|------|-------|-------|-------|
| 最大间隔误差 | 1'5 | 1'1 | 1'4 | 1'0 |
| 直径全中误差 | 0'5 | 0'27 | 0'38 | 0'29 |



图三 度盘误差曲线示例

种轴系结构在经纬仪上比较典型，其优点已有定评，但由于精度要求高，在制造中对材料的选择和处理，零件的几何形状，光洁度以及它们之间的配合间隙，都必须严格控制，认真检验，自无庸赘述，这里仅就竖轴系组装后在室内外作精度检验的成果略举数例说明。见表四。

图四是按测定读数的中数作出的曲线图。

从上例可看出，用于 $J_{0.7}$ 上的这三套轴系其安平精度是能满足设计要求的。

表四 竖轴系检验成果示例

| 轴系号 | ρ | γ | 说明 |
|-----|--------|----------|---|
| № 1 | 0'3 | 0'3 | ρ 为水准器轴不垂直于仪器轴的差数 γ 为仪器竖轴对于垂直方向的偏差 |
| № 2 | 0'5 | 0'5 | |
| № 3 | 0'5 | 0'5 | |

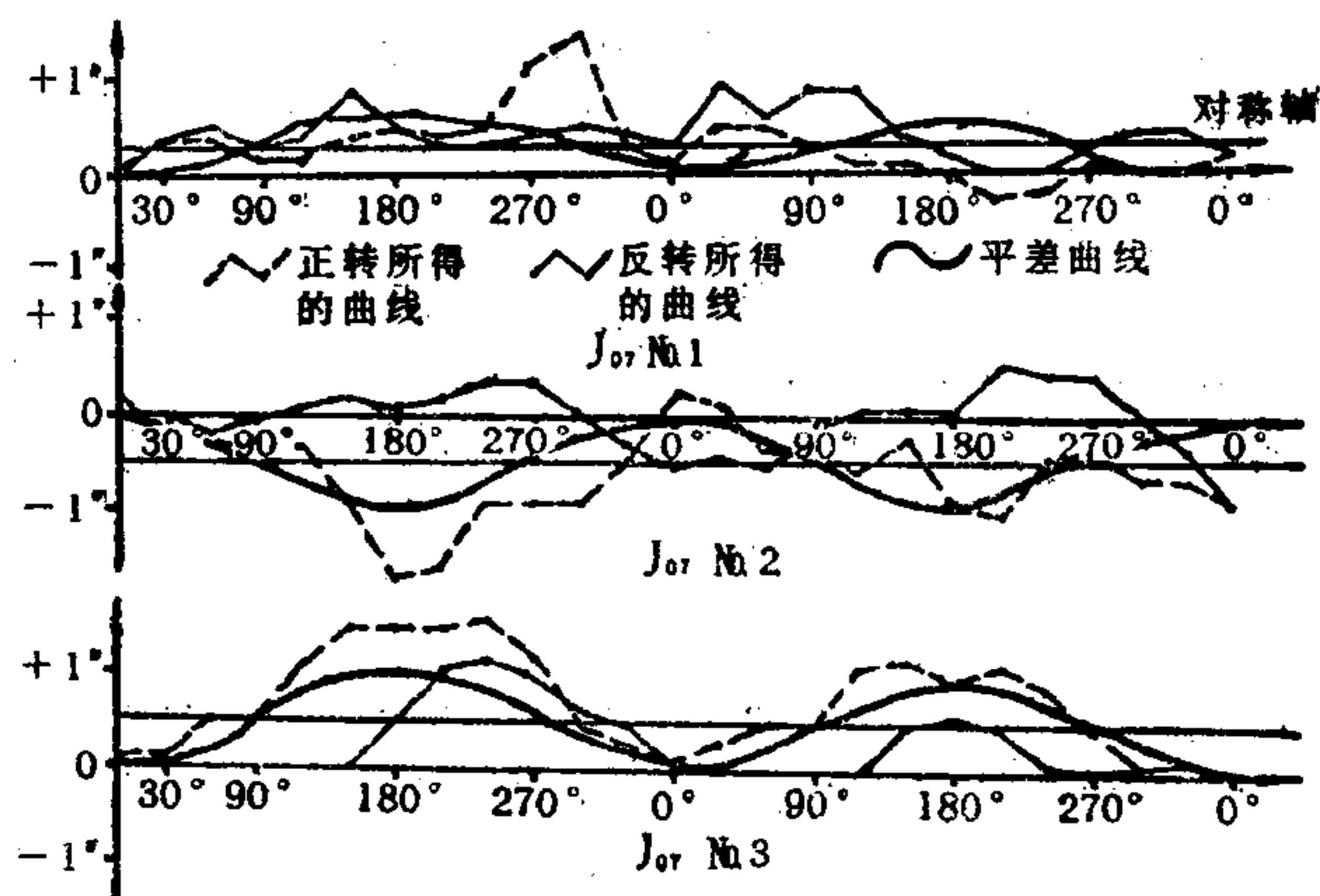
注：竖轴系的检验在专用仪器墩上进行，用格值为 $1''/2$ 毫米的高精度水准器安放于整置好的竖轴系上，每旋转 30° 读定水准器气泡两端读数，往返各测两周。

(4) 安平水准器：安平水准器的格值为 $4'' \pm 1''/2$ 毫米，对每一水准器均须按规定的方法进行精度检测，下面举出几个用于 $J_{0.7}$ 仪器上的水准器的检定数值，见表五。

2. 仪器整机的室内测试

仪器整机的室内测试是生产厂对出厂产品进行精度考查和质量检验的主要手段。对 $J_{0.7}$ 大地经纬仪的室内测试，主要根据《规范》所规定的项目和程序并参照仪器技术要求进行。检测内容可概括为以下四个方面，分述如次：

(1) 仪器表面质量的检验（从略）。



图四 竖轴系安平精度测定曲线图

表五 水准器检定数值

| 水准器编号 | 设计要求 | 检定数值 | 检定室温 | 所属仪器号 |
|-------|-------|--------|--------|-------|
| 220 | | 4".250 | 27.5°C | 7501 |
| 217 | 4"±1" | 4".253 | | 7502 |
| 152 | | 4".450 | 26.8°C | 7503 |

(2) 技术参数及几何关系正确性的检验, 包括:

- a) 主望远镜(及偏扭镜)的放大率、有效孔径、视场角。焦距、鉴别率、最短视距以及透射系数、散射系数的测定和星点像质的检验。(参见表二)。
- b) 主望远镜(及偏扭镜)目镜测微器,分划值的测定。
- c) 读数系统光学测微器分划误差、行差的测定。
- d) 度盘对径分划重合一次中误差的测定。
- e) 照准部及水平度盘偏心差的测定。
- f) 照准部旋转时仪器基座位移而产生的系统误差的测定。
- g) 水平轴不垂直于竖轴之差的测定。

上述各项均以符合《规范》限差为合格标准, 表六列出检验结果的示列:

(3) 仪器精度检验

根据《规范》规定用全组合测角法进行室内测试以判定仪器的精度, 以“一测回角度中误差 $\leq \pm 1".1$ ”或“平差后测角中误差 $M \leq 0".275$ ”为合格标准。

鉴于《规范》所订精度指标多以野外观测成果为依据, 而对室内观测的情况, 目前可供参考的现成资料不多, 为了探讨高精度经纬仪的室内观测精度, 积累试验数据, 我们除了对 $J_{0.7}$ 仪器进行反复观测比较外, 并特用一台 T_3 和一台 $TT2/6$ 仪器同时在相同条件下进行观测以作比较, 现将观测的经过及有关数据介绍如下, 见表六。