

水利水电工程测量经验选编

水利水电工程测量 经验选编

水

0138

水利电力出版社

社

水利水电工程测量 经验选编

《水利水电工程测量经验选编》编辑组编

水利电力出版社

水利水电工程测量经验选编
《水利水电工程测量经验选编》编辑组编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 18印张 412千字
1984年9月第一版 1984年9月北京第一次印刷
印数 0001—5570册 定价 3.30元
科技新书目: 73—166
书号 15143·5450

前 言

一九八一年十一月，原水利部规划设计管理局在大连市召开全国水利工程测量经验交流会议，会上交流的业务经验和科技论文共130余篇，涉及的内容很广，不少文章具有较好的实用价值和较高的技术理论水平，有的项目曾获得原水利部优秀科技成果奖。为了有利于在更大范围内交流推广这些经验和科技成果，与会代表一致建议编辑出版一本《选编》，并于一九八二年建立《选编》编辑组。编辑组根据有关方面的推荐，在水利和电力两部合并后，又补选原水电系统勘测设计方面的部分论文，本着面向生产、注重实用和力求反映当前水利水电工程测量技术水平精神，先后召开两次编辑会议对全部论文组织审查，共遴选出42篇论文编辑成这本《水利水电工程测量经验选编》。其中综合性的1篇，航测方面的10篇，地面摄影测量方面的5篇，控制测量及其计算方面的15篇，工程测量方面的6篇，编图制印方面的5篇。

科学技术要为经济建设服务。测量是水利水电工程建设的起点和重要基础，其质量高低和工期长短对一系列基建工作都将产生不同的影响。我们希望《选编》的出版将有益于传播测量的先进经验，推动测量技术的发展，为加快水利水电工程建设作出贡献。

本《选编》是在水利电力部水利水电规划设计院的领导下完成的。编辑组成员有孙家驹、王礼育、严子善、章迈、徐公美、李辉光、王学海等同志。在选编过程中得到各水利水电勘测设计单位、有关院校及广大测量工作者的热情支持，谨此致谢。

《水利水电工程测量经验选编》编辑组

一九八三年二月

21.08/4

目 录

前 言

1. 葛洲坝水利枢纽规划设计阶段的测量工作·····	(1)
2. 航测大比例尺成图试验研究总结报告·····	(9)
3. 平坦地区重氮(干法)单色影像地形图试验报告·····	(21)
4. 论全野外控制精测大比例尺成图的预期精度和允许航摄比例尺·····	(33)
5. 运用国家已有1:10000航测内业成图资料测制1:2000带状地形图的 试验·····	(40)
6. 灌县城区1:2000高倍率航测放大成图生产试验总结·····	(47)
7. 利用1:15000像片微分法测绘1:5000河道带状地形图的试验报告 ·····	(57)
8. 航摄像片“小放大”测制地形图的情况介绍·····	(60)
9. 1:1000航带法区域网电算加密的体会·····	(63)
10. 带状水库区航测外业工作的体会·····	(70)
11. 利用黑白航片进行1:10000航测调绘室内判读的试验报告 ·····	(82)
12. 地面摄影测量解析法电算加密·····	(90)
13. 用国产DJS19/1318地面摄影仪施测1:1000、1:2000大比例尺图的 总结报告·····	(96)
14. 用地面摄影测量方法测定葛洲坝二江泄水闸闸墩平整度·····	(104)
15. 用威特P ₃₂ 地面摄影仪测绘1:1000地形图的精度试验小结 ·····	(110)
16. 地面摄影测量在水利水电工程地质测绘中的应用·····	(112)
17. 江苏省二、三等水准网改建工作的体会·····	(116)
18. 工程测量专用控制网观测值权的优化分配和精度估算(FORTRAN 程序设计)·····	(123)
19. 直接用观测边长进行四边形的平差·····	(129)
20. 三边交会测量平差·····	(134)
21. 两点法的精度分析·····	(139)
22. 坚强点间不定向导线的精度·····	(145)
23. 短程电磁波测距仪检验方法研究·····	(150)
24. ME3000高精度短程测距仪观测精度的分析 ·····	(161)
25. EOT2000红外测距仪在图根控制中的应用·····	(170)
26. 红外测距导线间接高程的精度探讨 ·····	(177)
27. 用EOT2000红外测距仪进行三角高程测量的精度分析·····	(183)
28. DI3S红外测距仪作业测试总结 ·····	(185)

29. 用EOT2000红外测距仪作气象变化对测距影响的试验·····	(189)
30. 光电测距边的球气差改正·····	(193)
31. MRSII小型自动测距定位系统的使用试验 ·····	(196)
32. 组织综合专业组进行渠道选线测量的体会·····	(208)
33. 丹江口大坝外部变形观测数据回归分析和预报·····	(214)
34. 适用于拱坝水平径向位移观测的引张弦线法·····	(223)
35. 700米激光准直试验报告 ·····	(230)
36. 长沙坝外部变形观测·····	(238)
37. 弧形短边锁精度的探讨·····	(248)
38. 《黄河流域地图集》总体设计述要·····	(255)
39. 1:10000比例尺黄土地貌测绘 ·····	(265)
40. 快速转印片的研制和使用·····	(276)
41. 聚酯薄膜坐标方里网的制印法·····	(281)
42. 立柱式坐标尺的制作和使用·····	(283)

1. 葛洲坝水利枢纽规划设计阶段的测量工作

水利电力部长江流域规划办公室勘测总队 严子善 胡其裕 何志德 邹树安

葛洲坝水利枢纽规划设计阶段的测量工作，早在一九五七年就逐步展开了。总的情况是，测量范围由大到小，测图比例尺由小到大，测量精度由低到高，测量工作的数量和质量满足了规划、设计和施工需要。

一、规划设计阶段主要测量工作的概况

(一) **地形测量** 为葛洲坝工程规划设计需要而施测的地形图共约2198.38平方公里。按测图比例尺分，有1:25000、1:10000、1:5000、1:2000、1:1000、1:500六种，其中1:25000的1091平方公里；1:10000的926平方公里；1:5000的75.2平方公里；1:2000的85.1平方公里；1:1000的5.5平方公里；1:500的5.58平方公里；按测图范围和用途分，有库区地形测量、坝区坝址地形测量、建材地形测量和其他专用地形测量如码头地形测量和土工模型所需断面测量等。施测这些地形图是以长办为主，国家测绘总局、长航、武汉水电设计院、葛洲坝工程局等单位，也都作了贡献。施测这些地形图的基本平面控制，是依据一九五五至一九六七年测设的一、二、三、四等三角锁、网点和一九七〇年、一九七八年布设的高精度平面施工控制网；测图的基本高程控制，是依据一九五三至一九五五年测设的二等水准网和一九七〇年布设的高精度高程施工控制网。为顾及历史情况，本枢纽大比例尺测图的平面控制采用蛇山系统，高程控制采用吴淞系统。由于当时技术条件的限制，除1:25000库区地形是长办委托国家测绘总局采用航摄立测法成图外，其余均系平板仪或经纬仪白纸测图。据长办规划设计部门反映，葛洲坝工程所需地形图比例尺和测绘面积是齐全的，质量是可靠的。

(二) **施工控制网测量** 葛洲坝工程施工控制网，包括平面基本网和高程基本网。

葛洲坝工程的平面基本网，先后测设过两次。第一个网（简称旧网）是一九七〇年工程开工前测设的，其网形如图1所示。该网按国家二等三角网精度布设，长江柴基线网扩大边相对中误差为 $\frac{1}{700000}$ ，坝轴线（01~06）相对中误差为 $\frac{1}{310000}$ ，最弱边（01~08）相对中误差为 $\frac{1}{206000}$ ；第二个网（简称新网）是1978年主体工程暂停施工期间测设的，如图2所示。该网按国家一等三角网精度施测，长江柴基线网扩大边相对中误差为 $\frac{1}{800000}$ ，坝轴线相对中误差为 $\frac{1}{470000}$ ，最弱边相对中误差为 $\frac{1}{280000}$ 。

葛洲坝之所以先后测设两个平面基本网，主要有五个原因：（1）旧网只有9点，控制面积过小仅约10平方公里；（2）由于大坝和其他高大建筑物的兴建，旧网有些方向已不通视；（3）旧网布在大坝下游的控制点偏少，不能满足施工放样需要；（4）旧网虽

然也是在保证兴建后枢纽建筑物主要轮廓点点位误差不超过 ± 20 毫米的精度要求下布设的，但当时只考虑在基本网下发展两级定线网和施测 1:2000 地形图的需要，没有考虑发展三级定线网和施测更大比例尺地形图的精度要求；（5）07、09 两点系 6~8 米木质仪器墩，难以保证精度。

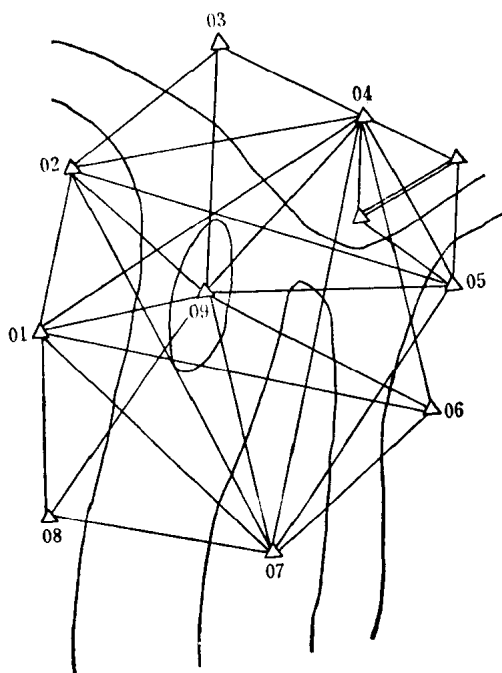


图 1

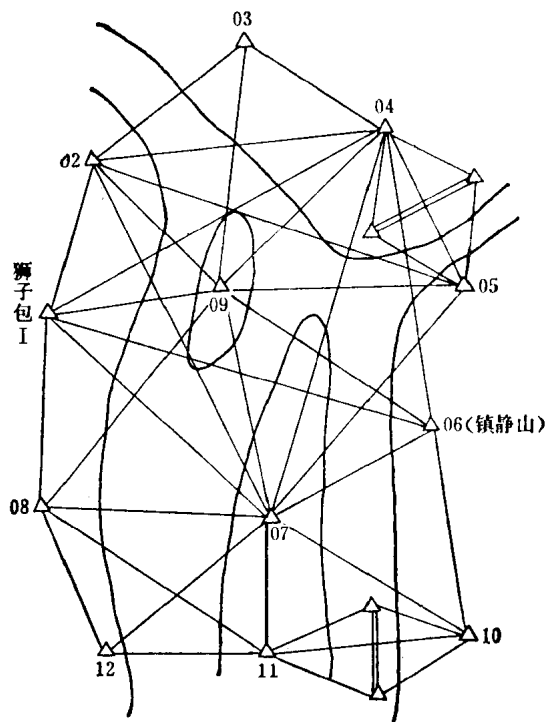


图 2

为克服旧网的上述不足，布设新网前，我们将平面基本网的精度由二等提高为一等，并在保证兴建后枢纽建筑物主要轮廓点点位误差不超过 ± 20 毫米（包括定线、放样、立模、浇筑误差在内），假定两条起始边相对中误差为 $\frac{1}{800000}$ 的前提下，进行了技术设计。设计时，改动了不通视的点位，在大坝下游增布了 10、11、12 三点，并针对网的边短、精度高的特点，除要求测设工作按国家规范严格操作外，还提出了提高精度的技术措施，如对 07、09 两点木质仪器墩改为在基岩上埋设混凝土观测墩，强制仪器中心和觇标中心一致；采用较好的照准标志，使相位差最小；选择最优观测时间，并分两个以上光段进行观测；垂直角超过 $\pm 1^\circ$ 时，加入垂直轴倾斜改正，等等。

测设新网时，由于我们认真贯彻了技术设计要求，从而有效地提高了平面基本网的精度。网中两条基线的相对中误差分别为 $\frac{1}{3600000}$ 和 $\frac{1}{4360000}$ ，基线网扩大边相对中误差分别为 $\frac{1}{835000}$ 和 $\frac{1}{1220000}$ ，测角中误差为 $\pm 0''.65$ ，坝轴线相对中误差为 $\frac{1}{470000}$ ，最弱边相对中误差为 $\frac{1}{280000}$ 。这些数据表明，新网达到了技术设计要求，为加密施工定线网提供了充分富裕的起始精度。

葛洲坝工程的高程基本网，是于1970年布设的一等水准网，如图3所示。全网由I、II两个闭合环组成，线路总长（包括2.51公里过江水准在内）共11.16公里，起闭于早年测设的二等水准点BM586'。全网选点埋石工作均按国家规范作业。过江水准用T₃经纬仪倾角法观测，水准路线用N₃水准仪按“单程双转点”往返观测。实测结果表明，I环闭合差为-0.74毫米（允许值为±4.69毫米）；II环闭合差为+4.35毫米（允许值为±5.25毫米）；全网一公里全中误差为±0.50毫米，均符合国家一等水准规范的要求。

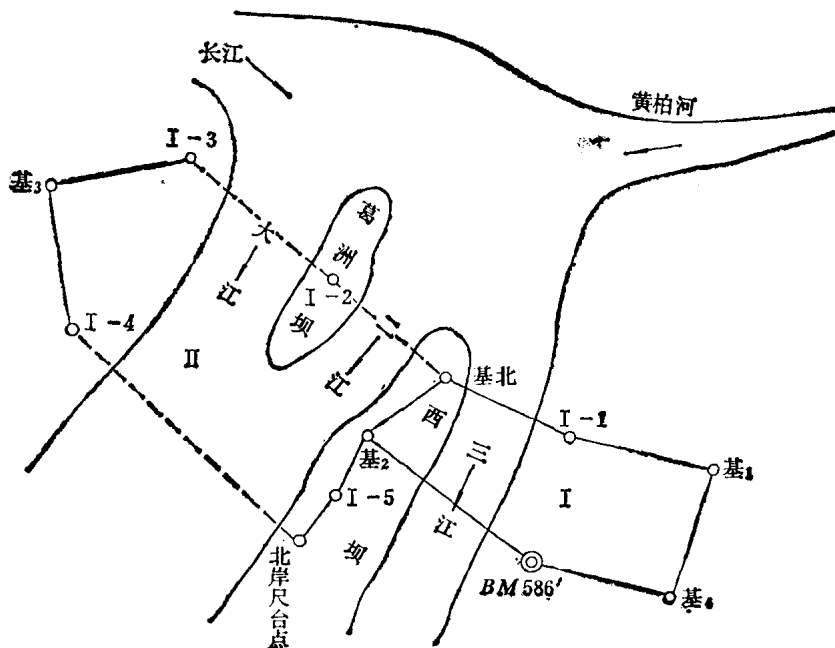


图 3

（三）应用地面摄影进行非地形测量 在葛洲坝工程建设中，我们应用地面摄影测量进行了大坝上、下游航迹线测量、大江截流龙口及其上下游流速、流态测量（以上为动态摄影测量）和二江泄水闸闸墩平整度测量（此为近景摄影测量）。

航迹线测量，是用两架UMK-10/1318全能摄影经纬仪，对正在航行的船只进行同步摄影，用工程测图仪处理像片资料，求出船只航行轨迹和航迹线曲率半径，研究工程对航行的影响，为航道设计提供数据。

龙口及其上下游流速流态测量，是用两架UMK-10/1318全能摄影经纬仪对投放江中的浮标依一定时间间隔进行同步摄影，由同一浮标连续两次摄影的平面位移（即距离）及其相隔时间求出流速，由同一浮标高程的变化求出落差，以每一测次摄影所得各浮标的点位、流速和落差，绘制流态图。葛洲坝工程大江截流时，主流方向的流速值为2米/秒至7.5米/秒，实测结果表明：主流方向的流速中误差为±0.059米/秒，两次摄影间隔3秒钟的落差中误差为±0.084米（详见参考文献[1]），精度是符合要求的。

闸墩平整度测量，是对闸墩过流面施工质量进行检查和验收，精度要求为±5毫米。其方法是在检测面上用红白油漆涂制适当密度的标志，选择少量定向点和检查点并测定这些

点的平面位置和高程。将19/1318摄影经纬仪置于大致平行闸墩面的基线两端点上进行交向摄影,用电算求出各测点三维坐标。实测成果表明,各测点点位中误差在 ± 3 毫米以内(详见参考文献[2]),满足了检测精度的要求。

二、规划设计阶段测量工作的体会

(一) 地形测量方面的体会

1.关于测图比例尺的确定:水利枢纽专用地形图比例尺的确定,不仅取决于建筑物的结构、各设计阶段所需的精度,以及理论上的分析,而且也受到地形条件和建筑物规模的制约,这要根据每一工程的具体情况而定,不可拘泥。一般说来,在地貌陡峻的地区,为满足水库淹没处理和库容量计算等方面的要求,测图比例尺应该大一些,如1:10000;水工建筑物尺寸大的,为便于使用,测图比例尺宜小一些,如1:5000;建筑物尺寸小的,为满足局部建筑物设计和制作水工模型需要,测图比例尺要大一些,如1:1000、1:500。

2.关于水利水电用图的特殊要求:一般地说,水利枢纽施工场地原有建筑物密度不大,故平面位置精度要求较宽,而高程精度要求较严;库区地形图中的居民地要求注记较多的高程点,以便正确估计淹没范围;水库高水位边界地带的埡口(鞍部)高程必须仔细测定和注记,以便判定是否需建副坝;应将地质勘探点(如钻孔、平洞等),水文设施(如水尺、测流主断面等),水文特征点(如洪水位、溃水位),某些地质特征(如地下水露头、溶洞、天坑等),水利工程施工(如闸、坝、渠)等测绘入图;1:10000及更大比例尺地形图应测水下地形;坝区坝址大比例尺地形图还需同时标出国家坐标系和坝轴坐标系两种方里格网,便于设计使用;有些地区(如建筑材料场地)需要较大比例尺图面,但并不需要相应精度,这时,可测“放大图”(例如,按1:5000精度施测1:2000地形图等等)。

3.关于成图方法的选择:由于规划设计工作的不断深化,水利枢纽的坝区、坝址库区、材料产地及施工场地的地形图,常有扩测、重测和快速成图的需要。为适应这一特点,以航摄一套中等比例尺底片作多种比例尺测图为宜。

4.关于成图概况的编制。三十多年来,随着长江流域规划工作的开展,重点工程的陆续兴建,长办对整个长江作了规模巨大的测绘工作。流域内各兄弟单位,也测了许多地形图。为便于长办内外各单位使用这些图纸和资料,我们按1:100万国际分幅编制了1:100万成图概况,按适当比例尺编制了枢纽成图概况。成图概况包括三角、水准、天文基线以及地形测量的范围略图和概况表。概况表列举了各项成果成图的等级或比例尺、测量的方法、施测年月、规范依据、控制系统和质量评价等情况。实践证明,编制成图概况,对于方便使用,避免重复工作,充分发挥长办内外已测资料的作用,是十分有利的。

(二) 布设施工控制网的体会

1.关于平面基本网的图形结构:我们布设新网时,为提高图形强度,加测了一些对角线构成复杂网,内外业工作量也随之大增。后来为研究图形最优化问题,我们对葛洲坝新网进行了分析,求得减少对角线后的点位和边长精度。分析结果说明:在基本图形已相当坚强的短边网内加测对角线,尤其是加测长对角线,对网的精度提高是有限的。网的基础越强,加测对角线起的作用就越小。在一般情况下,只需加测少量的坚强对角线(加在不尖锐的角内)就足够了,无需在尖锐角内(小于 60° 的角)加测对角线而构成过于复杂

的网。

2. 关于测角精度：我们根据历年所测各种短边三角网精度统计和分析结果，认为影响短边三角测角精度的因素，主要有以下几种：

(1) 仪器与照准标志的偏心误差。仪器与照准标志偏心差对测角的共同影响为：

$$M_L = \frac{\sqrt{2} \cdot \rho''}{S} M_e$$

若要求 $M_L < \pm 0''.15$ ，代入上式，并以 M_e 的单位为毫米， S 的单位为公里，则得：

$$M_e (\text{毫米}) < \pm 0.5 \cdot S (\text{公里})$$

以 2 倍中误差为 M_e 的限差 $e_{\text{限}}$ ，则有：

$$e_{\text{限}} (\text{毫米}) < S (\text{公里})$$

式中 $e_{\text{限}}$ ——仪器与照准标志的偏心差 e 的限差，以毫米计；

S ——观测方向的边长，以公里计。

如当 $S = 0.2$ 公里时（这样的短边在定线网中常见），则要求偏心差 $e_{\text{限}} < 0.2$ 毫米。可见，在短边高精度三角观测中，要求点位中心、仪器中心和照准标志中心的“三心”基本一致。

(2) 仪器纵轴倾斜改正中的系统误差。仪器纵轴倾斜改正数的计算公式为：

$$\delta'' = L \cdot \tau'' \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

式中 L ——水准器的偏移值；

τ'' ——水准器分划的每格秒值；

α ——观测方向的倾斜角。

如气泡偏移格值中含有系统误差 ΔL ，则其产生的系统误差为：

$$\Delta \delta'' = \Delta L \cdot \tau'' \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

设 $\Delta L = 0.2$ 格， $\tau'' = 7''$ （ T_3 经纬仪气泡格值）， $\alpha = +20^\circ$ ，则有：

$$\Delta \delta'' = 0.2 \times 7'' \times \operatorname{tg} 20^\circ = +0''.5$$

这说明，倾角大的方向，气泡读数并不显著的系统误差，将使纵轴倾斜改正产生可观的误差。

(3) 水平折光差的影响。短边三角网观测中，由于特定的外界条件，视线通过某些吸热或散热较激烈的地形地物，使视线发生偏折现象，即水平折光差的影响。

要削弱这种影响，应选择阴天或有风（但不影响仪器稳定）的时间进行观测，并要求同一测站应按不同时间段观测。

(4) 照准标志的相位误差。短边三角观测中，由于照准标志中线与标志的几何中心不一致而产生相位误差。其表达式为：

$$m'' = \frac{d \cdot \rho''}{S}$$

式中 d ——相位误差，设为 1 毫米；

ρ'' ——206265；

S ——平均边长，设为 1600 米。

用以上数值代入上式得:

$$m'' = \frac{0.001 \times 206265}{1600} = 0''.13$$

这说明, 当边长为1600米、相位误差为1毫米时, 将影响测角精度达 $0''.13$; 相位误差为2毫米时, 将影响测角精度达 $0''.26$, 而1~2毫米的相位误差是较小的数值, 所以相位误差在短边三角观测中应予以足够的重视。

(5) 观测精度与测回数的关系。我们根据历年资料, 得到 $J_1(T_3)$ 和 $J_2(T_2)$ 经纬仪一测回测角中误差值如下(内部符合):

$$J_1(T_3) \quad M_{\text{角}} = 1''.2$$

$$J_2(T_2) \quad M_{\text{角}} = 2''.5$$

根据上面确定的 $M_{\text{角}} = \pm 1''.2$, 我们来估算用方向观测法不同测回数 m 或全组合测角法不同方向数 $m \cdot n$ 的测站平差后的测角中误差 $M_{\text{站}}$, 其值列如表1。

表 1

方向观测测回数 m (或角观测方向数 $m \cdot n$)	$m = 6$	$m = 9$	$m = 12$ $m \cdot n = 24$	$m = 15$ $m \cdot n = 30$	$m = 18$ $m \cdot n = 36$	$m = 21$ $m \cdot n = 42$	$m = 24$ $m \cdot n = 48$
$m_{\text{站}} = \frac{M_{\text{角}}}{\sqrt{m}}$ (或 $= \frac{M_{\text{角}}}{\sqrt{\frac{m \cdot n}{2}}}$)	$\pm 0''.49$	$\pm 0''.40$	$\pm 0''.35$	$\pm 0''.31$	$\pm 0''.28$	$\pm 0''.26$	$\pm 0''.24$

从表1可以看出, 当方向观测达12测回(或角观测 $m \cdot n = 24$)时, 测角精度已相当高, 再增加测至24测回(或 $m \cdot n = 48$)时, $M_{\text{站}}$ 只减少 $0''.1$ 。

我们根据各施工控制网各点测站平差结果, 求得测角中误差 $m_{\text{站}} = \pm 0''.18$, 而由三角形闭合差按菲来罗公式算得的测角中误差 $M_{\text{角}} = \pm 0''.65$ 。如以 M_E 表示在 $M_{\text{角}}$ 中除去 $m_{\text{站}}$ 以外的系统误差, 则 $M_E = \pm \sqrt{M_{\text{角}}^2 - m_{\text{站}}^2} = \pm 0''.63$, $\frac{M_E}{M_{\text{角}}} = 0.9$ 。这说明, 在短边三角观

测中, 系统误差占了相当大的比例。因此, 在系统误差未能有效消除的情况下, 增加许多测回所能提高的精度, 没有多大实际意义。

所以, 我们提出在短边高精度三角观测中以12测回为宜。

在国家一、二等三角观测中, 可以采用全组合测角法、全圆方向观测法、变形组合法和三个方向观测法。葛洲坝施工控制网是采用的全组合测角法, 通过作业后, 我们认为在短边三角观测中, 同一时间段内, 各方向通视条件均较良好的情况是很普遍的。因此, 采用全圆方向观测法较为有利。

综上所述, 为了提高短边高精度三角网的测角精度, 我们采取下面的一些技术措施。

(1) 短边三角网测角中, 系统误差占很大比重, 因此, 提高测角精度的关键是如何

削弱系统误差，而不是盲目地增加测回数。

(2) 为削弱系统性误差，各个三角点均建造稳固的混凝土观测墩和固定基座，墩位设在较新鲜岩石上，备有遮阳或隔热设施；选用精度较高的照准觇牌，如图4所示；选择最有利的观测时间，每个测站分几个时间段进行观测。



图 4

(3) 对于精度要求高，又须在较短时间内完成的专用控制网，在严密的设施和严格的操作条件下，可用全圆方向观测法观测9至12测回，并须采用“双照准法”（即在半个测回中每个方向连续照准两次，并各读数一次）观测。

(三) 关于用T₃经纬仪施测过江精密水准 在过江精密水准测量中，以往普遍采用倾斜螺丝法和气泡法两种。每半测回间，两台水准仪调岸观测，调岸时间愈短愈好，故需配备机动船只，这在有些测区是难于办到的。为了克服这一困难，我们自1971年以来试用T₃经纬仪作大型过江精密水准测量。兹举两处过江水准测量结果列如表2。

表 2

I葛洲坝2——I葛洲坝3实测结果			I葛洲坝4——北岸尺台点实测结果		
项 目	高差(米)	距离(米)	项 目	高差(米)	距离(米)
I-2——北尺台1	-0.17634	41.2	I-4——南尺台2	-0.55522	69.7
北尺台1——南尺台1	-1.09903	927	南尺台2——北尺台2	-0.73223	1305
南尺台1——I-3	+1.41423	64.4	合 计	-1.28745	1474.7
合 计	+0.13886	1032.6			
采用的测回数	20		采用的测回数	40	
每测回高差之中误差	$m_n = \pm 2.54$ 毫米		每测回高差之中误差	$m_n = \pm 2.63$ 毫米	
每测回高差中数中误差	$M_{HO} = \pm 0.57$ 毫米		每测回高差中数中误差	$M_{HO} = \pm 0.42$ 毫米	
一等水准规定的限差	$M_{限} = \pm 2.03$ 毫米		一等水准规定的限差	$M_{限} = \pm 2.43$ 毫米	

由表2统计结果可以看出，用T₃经纬仪作过江水准测量的精度，高于国家一等水准测量所要求的精度。

其次，我们多次实测结果表明，在过江水准测量中，T₃经纬仪所测结果比004和N₃水准仪所测结果好。兹举一例如表3。

从表3可以看出，用T₃经纬仪作过江水准测量所得高差中数比用N₃水准仪作过江水准测量所得高差中数，更接近于最或是值，其高差中数的中误差也要小得多。因此，我们

表 3

结 果 编 号	双 测 回 数	$\begin{smallmatrix} N_A \\ N_B \end{smallmatrix}$ 对向观测结果		$\begin{smallmatrix} T_C \\ T_D \end{smallmatrix}$ 对向观测结果	
		观测高差中数减最或是高差结果	高差中数之中误差	观测高差中数减最或是高差结果	高差中数之中误差
1	12	+1.95	± 1.20	+0.12	± 0.94
2	10	-0.80	± 2.03	+0.53	± 0.81

注 表中 N_A 、 N_B 表 N_3 水准仪； T_C 、 T_D 表 T_3 经纬仪。

认为用 T_3 经纬仪作过江精密水准测量的精度高于 N_3 水准仪作过江水准测量的精度。

用 T_3 经纬仪作过江精密水准测量的优越性还在于，每半天不受偶数测回的限制，因此，有较大灵活性，同时每单测回不必调岸观测，不需配备机动船，这就给工作带来很多方便。

最后指出：一个大型水利枢纽规划设计阶段的测量工作，涉及的面广，须解决的技术问题很多，由于篇幅所限，不能一一叙述。

参 考 文 献

- [1] 用地面摄影测量测定葛洲坝大江截流时流速流态 人民长江 1981年 第5期
- [2] 用地面摄影测量方法测定葛洲坝二江泄水闸闸墩平整度 人民长江 1981年 第4期

2. 航测大比例尺成图试验研究

总 结 报 告

水利电力部天津勘测设计院

辽宁省水利勘测设计院

水利电力部成都勘测设计院

山西省电力勘测设计院

以航空摄影测量方法测绘1:5000、1:2000和1:1000大比例尺地形图。能否满足《水利水电工程测量规范》的要求，尤其在平坦地区采用立测法成图能否达到测绘1米或0.5米基本等高距地形图的精度，对水利水电工程测量当前生产及将来发展至关重要。根据水利电力部下达的“一九七九年水利水电科学技术发展计划（草案）”及其后有关文件，水利电力部天津勘测设计院与水利电力部成都勘测设计院、辽宁省水利勘测设计院和山西省电力勘测设计院等单位协作，共同开展了试验研究工作，其中外业工作和检测工作，由各单位分别进行，内业成图则由水利电力部天津勘测设计院负责完成，最后四个单位共同进行了资料整理和试验研究总结。

当时确定试验研究的目标是：

1. 研究3倍以上多倍放大航测大比例尺成图的技术可能性和经济合理性。
2. 研究利用托波卡（Topocart）-B型地形测图仪（一般认为属于二级精密测图仪）测绘平坦地区1米和0.5米基本等高距水利水电专业用图的可能性和可行性，解决平坦地区航测大比例尺成图的技术难题。
3. 研究在已有设备及技术水平条件下，航测大比例尺成图的工艺和技术措施。

试验研究是在五个工程项目中，结合生产任务按现有条件进行的。成图已满意地应用于生产。

一、概 况

试验项目共计八项，包括：华北平原地区的南水北调东线穿黄枢纽工程1:5000、1:2000和1:1000成图，东北山区的观音阁水库坝区1:2000成图，川西高山区的溪罗渡坝址和山西黄土地区的晋东南电厂1:5000成图以及汾河电厂1:5000和1:2000成图。使用的摄影资料与成图年代最多相距8年。摄影机焦距包括89、100、114和200毫米四种。大小像幅都有。像—图放大倍率为2.8倍至8倍。基本等高距在平坦地区按1米精度要求，实测0.5米等高距；山区为2米或5米，具体情况和施测面积见表4。

二、连 测 与 调 绘

各测区的基本控制是按《水利水电工程测量规范》或《火力发电厂测量规范》布设

的。像控点的点位连测误差不大于成图比例尺图上的0.1毫米，高程误差不大于 $1/10$ 基本等高距。

为保证成图精度，八个项目的像片控制均采用全野外布点。在穿黄枢纽还利用全野外布点，进行了电算加密后的对比试验。但效果不够理想，今后尚需继续进行。

平坦地区的全野外布点，采用4个平高点加2个高程点的方案；山区和高山区有一个项目布设4个平高点加2个高程点，一个项目布设4个平高点，有三个项目布设6个平高点。

野外刺点一般使用接触晒印等大像片，个别项目采用了放大像片。全部刺点均绘注了刺点略图和刺点说明，平坦地区测图中还量注了像控点与附近有代表性地面的高差。

调绘工作，有的采用了放大 $1 \sim 3$ 倍的像片；有的采用了“先室内判读，后野外检调”的方法。

三、内业工作

所有测图均在托波卡（Topocart）-B型地形测图仪上进行。测图仪分别在一九七八年八月、十二月和一九七九年十二月进行了全面检校。检校后在标准格网板上以15点法检测结果。 x 、 y 轴向误差除晋东南电厂 $1:5000$ 测区为0.016毫米外，均不大于0.01毫米；高程误差晋东南电厂为 $H/16000$ ，其余各项均小于 $H/20000$ ，测图过程中还进行了必要的作业检校。

测图采用接触晒印的涤纶片基透明正片（南阳第二胶片厂生产）。为了适应高倍放大的航测大比例尺成图，着重采取了以下措施：

1. 逐片量测框标距，分别计算和安置 x 、 y 轴向改正焦距，以改正像片的仿射变形。
2. 透明正片上不刺孔，根据刺点片上的刺孔、略图和说明，对照像片影像判点定向。
3. 严格掌握定向精度。相对定向的上下视差不大于半个测标，绝对定向的残差作合理配赋。

4. 对于像—图放大倍率超过5倍的测图，试用了以下两种定向方法。

（1）按两个“半像对”进行平面定向和测图。即把具有6个平高点的一个像对，分成上、下两个“半像对”（每个“半像对”均有4个平高点），分别进行平面定向和测图。

（2）用过渡图版和成图图版分别定向。即当一个像对只有4个平高点，不能按两个“半像对”分别定向时，先在比例尺小于成图的过渡图版上进行绝对定向，并在像主点附近加密两个辅助定向点。量出其坐标并转至成图图版上，然后进行第二次定向。

第（2）种方法与第（1）种方法相比，定向步骤较繁，且平面精度有所损失，故条件许可时以尽量采取第（1）种方法为宜。必要时，还应按图幅在图廓顶点附近布设像控点，以简化定向工作，保证成图精度。

与此同时，我们还试验过先测绘小一级比例尺图，再复照放大成所需比例尺地形图的方法。实践证明，其平面精度大为降低。且碎部显示粗略，仅成本较低是其优点，故只可在平面精度要求不高时使用，不宜作为正常成图方法。

其他措施与一般测图基本相同，但执行比较严格认真。这一点是保证试验取得成功的一个重要因素。例如严格仪器检校的重要性，在晋东南电厂的测图中就有较明显的体现。

在定向中, 24/23像对四角 1 至 4 号定向点的定向精度很好, 高程残差分别为 +0.5 米、+0.1 米、-0.2 米、-0.2 米, 但是主点附近的 5 与 6 号两个高程控制点的高程残差却达 +7.3 米和 +6.0 米, 虽经几次重复定向, 情况均无改善, 说明出现了不正常的模型扭曲, 后来经反复检查, 发现仪器 X' 导轨及左像盘 X 轴上的 6 个滚珠轴承松动, 隙动差增大, 经过调整将隙动差消除以后, 模型扭曲现象就随之消失了。重新定向后, 1 至 6 点上的高程残差分别为 +0.2 米、+0.5 米、-0.2 米、+0.1 米、+0.4 米和 -0.1 米, 说明定向精度良好。由此启发我们认识到使仪器经常处于良好作业状态的重要性。

四、检测及数据处理

各个试验项目的成图, 均在野外进行过相当数量的高精度(解析点或不低于大一级比例尺地形图的地物点和高程注记点精度①)检测, 检测的面积见表 4。

考虑到对点状地物和轮廓明显地物检测得出的是点位误差, 而对线状地物检测得出的是横向位移差, 两者有所不同, 故为了更准确地反映地物位置精度, 按误差理论分别采取了不同的中误差统计公式。

对于点状或轮廓明显地物, 取平面位置中误差为:

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n_1}}$$

式中 v ——检测得出的点位误差;

n_1 ——其检测点数。

对于线状地物, 取平面位置中误差为:

$$m_2 = \pm \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{[dd]}{n_2}}$$

式中 d ——检测得出的横向位移差;

n_2 ——为其检测点数。

由此, 可按下式计算其综合的地物位置中误差:

$$m = \pm \sqrt{\frac{2m_1 \cdot m_2}{m_1^2 + m_2^2}} = \pm \sqrt{\frac{4 \cdot [vv] \cdot [dd]}{n_2 [vv] + 2n_1 [dd]}}$$

对于高程注记点和等高线, 按下式计算其高程中误差:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n}}$$

式中 V ——检测得的高程误差;

① 例如对溪罗渡高山区 1:5000 成图检测时, 限制视距长度不得超过 200 米, 即相当于 1:2000 成图时的最大视距长度, 并限制俯仰角不得超过 15°。由此可以保证地物检测本身的误差不会大于规定的 1:5000 成图地物误差的 40%。高程检测的精度亦应能达到 1:2000 平板仪测图的高程注记点精度。同样, 对穿黄枢纽平坦地区 1:5000 和 1:2000 成图的地物检测, 也分别限制视距长度不得超过 200 米和 120 米, 故地物检测本身的误差也不会大于规定地物误差的 40% 和 50%, 而其高程检测是以水准仪进行的。根据误差理论, 当检测本身的中误差为检测对象测量误差的 40% 和 50% 时, 其在检测结果中所占的比重分别仅为总误差的 8% 和 11%, 故有足够的理由可以认为检测是高精度的。至于其余项目的地物位置和高程精度, 全部是以量距断面、解析交会或红外测距仪检测的, 其为高精度更毋庸置疑了。