



《国家三角测量和精密 导线测量规范》说明

国家测绘总局编

测绘出版社

《国家三角测量和精密
导线测量规范》

说 明

国家测绘总局编

测 绘 出 版 社

1974年

本书是对《国家三角测量和精密导线测量规范》各项主要规定的说明和实验论证；在执行上述规范时，参考本书可了解制定该规范依据。

本书供天文大地测量专业人员及从事国家等级的控制测量作业人员参考。

**《国家三角测量和精密
导线测量规范》**

说 明

国家测绘总局编

(只限国内发行)

*

测绘出版社

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：787×1092 毫米 1/32 印张：3 1/16 字数：74 千字

1974 年 12 月第一版 1974 年 12 月第一次印刷

印数：1—21,500 册 定价 0.33 元

统一书号：15039·新 10

目 录

前 言	1
第一章 总 则	2
第二章 技术设计和选点	3
第三章 造标和埋石	17
第四章 测角仪器的检验	20
第五章 水平角观测	32
第六章 大地点的高程测定	56
第七章 精密导线测量	68
第八章 验算	85

前 言

我们遵循毛主席关于“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”和“改革不合理的规章制度”的教导，对一九五八年颁发的《一、二、三、四等三角测量细则》进行了全面的修改工作。

在修改过程中，首先较系统地翻阅了我国建国以来大地测量工作重要的技术总结和有关研究资料，以及广大测绘人员提出的若干合理化建议；并对上述总结、研究和建议资料，进行比较认真的分析研究，不仅设法从理论上论证，而且在有关单位的大力支持协助下，还进行了一定数量的实际验证工作。

在“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线的指引下，根据当前技术装备情况和作业的实际需要，删掉了原《细则》中一些陈旧的内容，增添了一些新的章节，并对生产实施中若干具体规定进行了修改。总的布设原则和精度要求，仍依照国务院一九五九年颁布的《中华人民共和国大地测量法式（草案）》，但由于科学技术的发展和若干年来实施的经验，在个别问题上，提法略有不同，有些作了补充。

为了使广大测绘人员了解这次规范的修改情况和提出宝贵意见，不断地改革规范中不合理的规定，使之更加符合客观实际，正确地指导生产，现将修改的具体情况和理由说明于后，供大家参考。

第一章 总 则

本章叙述布设大地测量水平控制网(通称大地控制网)的总原则,包括建立大地控制网的基本方法和布设的基本方案,总的精度要求,采用的参考椭球的大小和定位,计算高程的基准面,以及大地控制点的平面坐标系统。

和原《细则》相比,本章把各等级三角测量的一些具体技术规定放在第二章“技术设计和选点”中,以免重复,也便于技术设计时使用,不必前后翻阅。另外,在第2、6、7、8四条中,对精密导线测量作了基本的规定,这是原《细则》中所没有的。

原《细则》中第29条规定“在布设导线有利的地区,一、二、三、四等三角测量得以相应精度的导线测量代替之。”实际上,在一般地区布设导线测量,代替各等级三角测量,达到相应的精度和密度,就目前测距仪器发展的水平来看,从作业组织、人力物力的需要和作业速度等方面来考虑,还不如三角测量有利。因此,在我国的大地测量实践中,一般地区还没有采用精密导线测量代替三角测量的实例。但在特殊困难地区,采用电磁波测距精密导线测量方法布设较稀疏的大地控制网,迅速地把全国统一坐标系推算到边远地区,用以控制小比例尺测图,根据我国十余年的实践经验,已经取得较好的效果。因此,在本规范中,把精密导线测量方法规定为在特殊困难地区布设大地控制网的一种方法。在第2条中就规定了:建立大地控制网,主要采用三角测量方法,在特殊困难地区也可采用精密导线测量或其它适当的方法。

鉴于在特殊困难地区,短期内,除某些局部地区外,对大地控制点的密度要求一般还比较稀疏,因此精密导线测量虽然也和三角测量一样,分为一、二、三、四等,但对于它们布设密度的要求则不必与三角测量相对应。另一方面,考虑到将来的发展,又绝不能把精密导线的精度要求降低到仅能适应当前测图的需要。所以对精密导线测角和测边的精度要求,以及导线节的纵横向中误差,仍力求与相应等级的三角测量大体相适应,以便将来可以根据需要,随时增加导线网的密度,使之能够满足各种比例尺测图,以及经济建设和科学技术对大地控制网的各种要求。这就是本章第6、7、8条,以及第七章“精密导线测量”各项技术规定所遵循的基本原则。关于这些技术规定的根据,将在第七章的说明中加以阐述。

第二章 技术设计和选点

本章与原《细则》相比,主要的修改在于:根据近二十年来电磁波测距仪器的发展,和我国十余年来使用实践的成功经验,去掉了原《细则》中有关基线和基线网技术规定的条文,而增加了用电磁波测距仪测定起始边长的有关技术规定。

当然,在国家大地网中测定起始边长,不再使用基线丈量和基线扩大网的方法,并不等于完全废除了基线丈量的方法。为了检定电磁波测距仪的性能和精度,今后仍有必要同用因瓦基线尺丈量的基线长度作比较。为此,甚至还须建立若干条测定精度极高的、长度较长的比较基线。此外,经济建设和科学研究某些部门为了满足某些特殊任务的需要,也还有可能使用因瓦基

线尺丈量基线。在进行这种基线丈量时，原颁布的有关《细则》仍旧可以适用。既然国家大地网中现已改用电磁波测距方法测定起始边长，所以对于基线的有关规定，这里就不再列入。

此外，本章在其它一些技术规定方面，也有一些修改，现按条文顺序分述如下：

第 13 条，本条强调了相邻二等网彼此互相妥善联接。实际上，二等三角网是整个国家大地网的全面基础，因此全国的二等三角网应联接成一整体，而不应限于联接到一等边上为止。

同样由于以上原因，对二等网边长的范围也作了规定。除仍规定平均边长为 13 公里以外，一般只允许在 10 至 18 公里之间变动，以免边长变化过于悬殊。过去由于强调二等网用较好图形（三角形和菱形）联接到一等边上，在二等网与一等网连接处，常有超过 20 公里的边长，影响二等网本身的均匀性。本条对二等边长作了限制，同时允许在一般情况下，即可用 2 至 4 个三角形联接一等边。

在全面三角网中，三角形的图形对整个网的精度影响较小，因此对二等三角形的角度，除一般仍要求大于 30° 外，如受地形限制，或为了降低觇标高度，个别角度允许小至 25° 。这样可使选点有较大的灵活性，而不损害二等网的精度。而且由于对边长的范围作了规定，实际上只能在极个别的情况下出现小于 30° 的角度。

第 14 条，对于加密三、四等网的方法，规定一般采用插网的方法，只有加密个别三、四等点时，才可采用插点的方法。插点的缺点在于相邻插点之间一般不作联测，因此也不要求通视。这对于进一步加密造成困难，而且不联测的边精度较低，对于以后使用也不方便。当然插点便于按典型图型平差，比较简单。但插网的平差，在已普遍采用电子计算机解算的今天来说，反而比一

一个点按典型图型平差更简便，而且使整个网精度均匀，便于使用和发展。

在插网时，三、四等三角形的图形对于精度影响也是较小的，因此也同二等网一样，允许个别角度小至 25° 。

第 15 条，一、二等起始边的选定，既须照顾测距的要求，又须考虑测定天文方位角的要求，所以应特别注意避开不利的地形。

测定起始边长，最好不作分段观测，分段观测既增加工作量和费用，也使最后边长受到分段观测和投影的误差影响。因此选定起始边时，必须使之适应于所用测距仪的有效测程。当全程测距确有困难时，方可分两段测定。此时中间点必须选在靠近中央处，因此规定每测段不得短于 8 公里。为了使分段观测的误差小于规定测距误差的 $1/3$ ，规定两测段与起始边的夹角都不大于 12° 。

设 s' 为一个测段的测定长度， s 为其投影到起始边的长度， β 为测段与起始边的夹角，显然：

$$s = s' \cos \beta$$

$$m_s^2 = m_{s'}^2 \cos^2 \beta + \frac{m_\rho^2}{\rho^2} s'^2 \sin^2 \beta$$

上式右方第一项是测距误差，后一项是投影的误差。为使后一项小于测距规定误差的 $1/3$ ，必须使

$$\frac{m_\rho}{\rho} \sin \beta \leq \frac{1}{3} \frac{m_s}{s} \quad (2-1)$$

对于起始边来说，要求 $\frac{m_s}{s} < 1:35$ 万， β 角按二等精度观测， $m_\rho = \pm 1''$ ，代入式(2-1)，所以

$$\sin \beta \leq \frac{\rho''}{1050000''} \cong 0.2$$

即 β 小于 $11^\circ.5$, 规定 β 应不大于 12°

此外, 还规定, 当起始边两端高差 h (米) 不超过 $30s_{\text{公里}}$ 时, 可以根据两端三角高程测定的高差将起始边的斜距化为水平距。这是根据三角高程的精度和化为水平距的误差限制而规定的。根据我国实测三角高程精度的统计, 三角高程测定高差 h 的中误差, 在最不利的观测条件下, 可用以下经验公式表示 (详见第六章的说明)

$$m_h = \pm 0.025 s_{\text{公里}} \quad (2-2)$$

m_h 以米为单位。化至水平距离的改正公式主项为

$$c = -\frac{h^2}{2s}$$

高差 h 测定的误差对于 c 的影响可按

$$m_c = \frac{h}{s} m_h \quad (2-3)$$

来估算。如果要求 $\frac{m_c}{s}$ 约等于 $\frac{1}{4} \cdot \frac{m_s}{s}$, 并顾及起始边要求 $\frac{m_s}{s} \leq 1:35$ 万, 将以上关系和式(2-2)代入式(2-3), 即可得出:

$$h_* \leq 30 \cdot s_{\text{公里}} \quad (2-4)$$

h 以米为单位。实际上, 当锁网的三角高程平差后, m_h 还可以减少 $1/3$ 以上, 所以对于化算水平边长是有足够保证的。

在选定起始边时, 应尽量使两端高差不超出上式规定, 否则就要用水准测量联测, 求定高差, 而对于起伏较大的地区, 水准测量将是极为困难的。

对于两端点高差的测定方法, 过去曾规定当

$$h_* \leq s^2_{\text{公里}} \quad (2-5)$$

时, 可用三角高程的方法求定高差, 这是从假定 $m_h = \pm 1$ 米, 并规定 $\frac{m_c}{s} \leq 1:100$ 万, 代入式(2-3)而求出的。这个式子不管边

长有多长,都假定 $m_h = \pm 1$ 米,而实际上三角高程测量的中误差与边长 s 有关,对 20 公里的边长,中误差一般只有 ± 0.5 米左右。所以过去规定的式(2-5)对于不到 30 公里的边长都显得太严,改用式(2-4)比较合理。

第 20 条,关于用几何水准联测三角点高程的密度问题,过去规定供给 1:10 万,1:5 万和 1:2.5 万比例尺测图,每一图幅中应至少有一个三角点的高程用水准联测。这样水准联测点的密度分别达到每隔 40、20、10 公里一个点,相当于一、二、三等三角锁网中每隔不到二条边就要有一个联测点。因此水准测量路线须要布得很密,工作量很大。对 1:1 万比例尺测图,原《细则》要求原则上所有三角点都用几何水准测定其高程,水准测量工作量更大了。

但是根据实践经验,三角高程网平差时,大量减少水准联测的高程起算点的密度,对网中各点高程的平差结果影响极为微小。不同单位对不同地区类型的三角高程网作了不少试验,都得出同样的结论。

为了合理地规定三角高程网高程起算点的密度,对各种类型三角高程网平差后的高程精度作了估算,结果证实了上述实践经验的正确性。根据理论估算所得的公式,按不同的测图等高距,计算了各等级三角锁网的高程起算点最低限度的密度。本条各项规定就是根据以上估算得出的。由于新规定与旧规定相差较大,有必要予以详细说明如下。

首先指出,减少高程起算点的密度,并不是在假定三角高程测量本身有较高精度的前提下得出的结论。相反,在估算时我们采用了在最不利观测条件下三角高程精度的经验公式,即沿一条边对向观测时,所求高差的中误差为

$$m_h = \pm 0.025 s_{\text{公里}} \quad (2-6)$$

关于这个经验公式，将在第六章说明中作较详细的介绍。这里仅须指出，这个经验公式是与原《细则》关于三角高程闭合图形的限差公式相一致的。

认为高程起算点的密度可以减少，主要是在三角高程网进行整体平差的条件下，根据对大地点高程所作的精度估算而得出的结论。

1. 对于一等三角锁，设为一个单三角形锁，如图 2-1 所示。A、B 为水准联测的高程起算点，相隔 N 边，其间各三角点的高程用三角高程推算。显然推算高程的最弱点在中央的 M 点。以每一三角形各边高差之和为零，及 A、B 之间传算高程必须闭合为条件，对单锁高程进行平差，求出最弱点 M 高程的权倒数为

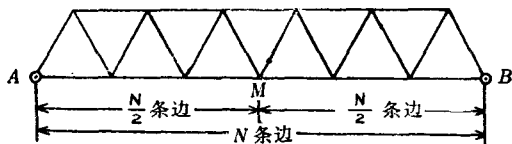


图 2-1

$$\frac{1}{P_M} = 0.1N + 0.2 \quad (2-7)$$

于是 M 点的高程中误差为

$$m_M = m \sqrt{\frac{1}{P_m}} = m \sqrt{0.1N + 0.2} \quad (2-8)$$

式中 m 为用三角高程测定一边高差的中误差。

我们要求一等三角点的高程精度足以控制 10 米等高距测图，即每一点的高程中误差不得大于 $1/10$ 测图等高距，即 $m_M \leq 1$ 米（此精度也完全可以满足标高改正计算对高程的精度要求）。对于每一条一等边的三角高程中误差，我们按较长边长 $s = 30$ 公里估算，根据式(2-6)求出

$$m = \pm 0.75 \text{ 米}$$

将以上数值代入式(2-8),即可求出高程起算点间隔的边数不得超过 16, 即

$$N \leq 16$$

在以上估算中, 我们采用了在最不利观测条件下的三角高程精度经验公式(2-6), 并假定了较长的边长 $s=30$ 公里, 所以估算结果对任何情况都有足够的保证。但是考虑到个别边的三角高程成果可能由于超限而被舍弃, 这时平差后的精度将会有所降低, 因此我们在规定中进一步留有余地, 采用了

$$\text{平原: } N \leq 10$$

$$\text{山地: } N \leq 14$$

任一点距高程起算点不得超过 $\frac{N}{2}$ 条边。

2. 对于二、三、四等网, 我们作了几种不同的估算, 以便互相验证, 确保无误。现分别介绍如下:

(a) 按三角形双锁估算, 如图 2-2 所示。

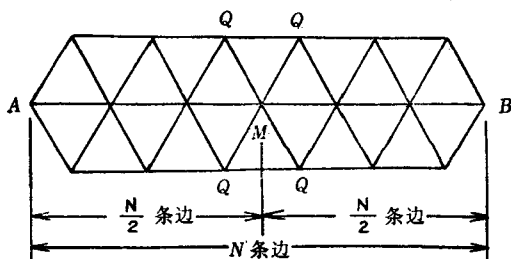


图 2-2

图中 A, B 为高程起算点, 从双锁中间一排点算, 相隔 N 条边。平差后中间一排最弱点为 M , 而外侧两排最弱点为 Q 。当 N 为偶数时, 外侧两排最弱点共有 4 个。当 N 为奇数时, 外侧

两排最弱点共有 2 个，而中间一排最弱点也有 2 个。不管 N 为奇数或偶数，我们都用 M 表示中间一排的最弱点， Q 表示外侧两排的最弱点。

首先用条件平差法，以各三角形各边高差的闭合差为零，和高程起算点 AB 间的高差闭合差为零这些条件，推算中间最弱点 M 平差后高程的权倒数。这样可以得出一个一般公式，对于 $N \geq 6$ 的偶数 N 值，都可得出正确的数值：

$$\frac{1}{P_M} = \frac{1}{16}(N + 2.45) \quad (2-9)$$

当 N 为奇数时，由于双锁中间一排有两个最弱点，按上式求出的权数 P_M 较正确值略小，但相差不超过 2%。

但就全网而论，平差后高程权最小的点是位于外侧边的中间，即 Q 。为了考察图 2-2 所示双锁形外侧最弱点 Q 与中排最弱点 M 之间的大概关系，对于 $N=6, 7, 8$ 三种情况进行了计算，结果列于表 2-1。

双锁最弱点权数
(高程起算点位于中排边的两端) 表 2-1

最弱点位置	平 差 后 高 程 的 权		
	$N=6$	$N=7$	$N=8$
中排边 M	1.895	1.716	1.531
外侧边 Q^*	1.786	1.631	1.462

* Q 点的 N 值是沿外侧边计算的。如图 2-2 中， Q 点的 N 值为 7。余可类推。

由表 2-1 可见，外侧边最弱点 Q 的权比中排点 M 的权小 5% 左右， N 愈大，差别愈小。

为了考察外侧边各点平差后高程的权，还对 $N=6$ 的情况进行了计算，结果如图 2-3 所示。图中点上所注的数值即为该

点平差后高程的权。对称位置的点具有相等的权,未一一注记。

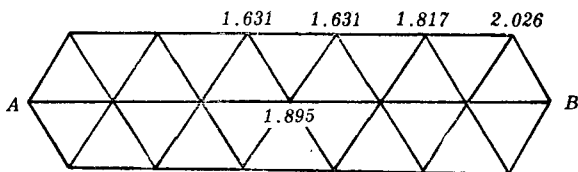


图 2-3

由图 2-3 可见,外侧边各点的权显著小于中排点的权,距起算点 B 仅两条边的外侧点的权还小于中排距 B 三条边点的权。由此可见,在估算高程起算点最大间距时,应以外侧边最弱点的权为准。

以上是按起算点在双锁中排边两端的情况估算的。如果起算点 A, B 在一个外侧边的两端,如图 2-4 所示,则两外侧边最弱点 Q_1 和 Q_2 的权如图中所注的数字。图中距起算点最远的点为 Q_2 ,相应于 $N=8$,与表 2-1 中起算点在中间一排点两端时 $N=8$ 的情况相比, P_Q 约减小 11.4%。

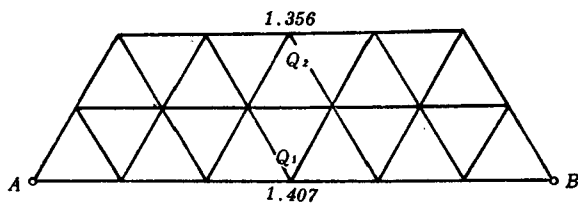


图 2-4

由此可见,为了把反映双锁中排最弱点 M 的高程权倒数与起算点间隔边数 N 的关系式(2-9),用于估算起算点位于双锁最不利位置(如图 2-4)时的外侧边最弱点 Q 的高程权倒数,必须注意 P_Q 可能比式(2-9)求得的 P_M 小 12% 左右。

(b) 按四排三角锁估算,如图 2-5 所示。

二、三等三角网一般规模较大,其结构比双锁为强。为了考察在较大网中高程权的情况,对图 2-5 所示的四排三角锁进行了权的估算。所得结果如下:

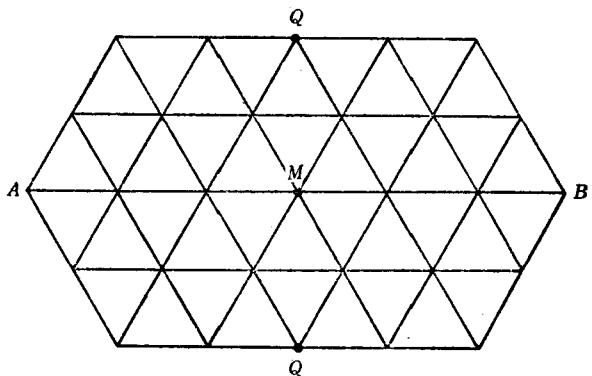


图 2-5

中排最弱点 M : $P_M = 2.127$ ($N=6$)

外侧最弱点 Q : $P_Q = 1.593$ ($N=8$)

将以上数值与表 2-1 所列相比,外侧最弱点的权 P_Q 提高不过 9% 左右。但中间点 M 的权 P_M 提高达 12% 以上。由此可见,网的结构加强,可使网的中间部分点的高程的权数有较大增长,而对边缘部分最弱点的权增长有限。为了设计安全起见,按双锁估算留有较多余地是比较恰当的。除此以外,在网中还可能有个别三角高程测量成果因超限而被舍弃,设计时留有余地就更加必要了。

(c) 高程起算点不设在边缘,而设在稍靠内部的情况。

对于一个中排有 14 条边的四排三角形锁构成的网,只顾及三角形高差闭合条件,不顾及起算点间闭合条件,由中排一端靠

内部两条边的点开始，沿中排边向另一端推算 1~10 条边的高差权倒数，得出以下公式

$$\frac{1}{P_n} = 0.143n + 0.254 \quad (2-10)$$

n 为推算边数。

为顾及起算点间高程闭合条件，设起算点相隔 N 边，距中间最弱点各 $\frac{N}{2}$ 边，则

$$\frac{1}{P_{M'}} = \frac{1}{2} \left(0.143 \frac{N}{2} + 0.254 \right) = 0.036N + 0.13 \quad (2-11)$$

此处用 M' 表示中间最弱点。

要注意式(2-11)与式(2-9)的意义稍有不同。式(2-9)中两起算点总是在网(双锁)的两端，也就是网的大小随 N 而不同。式(2-11)所表示的是一个中排有 14 条边的网，其中一个起算点在中排一端点靠内二条边处，网的大小和这一起算点的位置始终不变，而另一起算点则随 N 的增长，沿中排点向另一端移动。为了便于两式的比较，设 $N = 10$ ，则：

$$\text{由式(2-9)得:} \quad \frac{1}{P_M} = 0.78, \quad P_M = 1.29$$

$$\text{由式(2-11)得:} \quad \frac{1}{P_{M'}} = 0.49, \quad P_{M'} = 2.04$$

以上两式表明，由双锁变为四排锁构成的网，并把两端点各向内部移两条边，使网的中部点的权增大约 60%。进行此项计算时(利用电子计算机)，未估算网的边缘部分点的权，因此对于外侧最弱点的权无法比较。但从前面对于四排锁与双锁外侧点权的比较来看，在边缘部分各点权的增长肯定远比以上数值为