

限差内水准测量成果异常的判别

易 法 楷

摘 要

如何更合理完善地制定一种判别测量成果质量的标准,是一个很有研究价值的课题。本文对在水准测量中用控制图表充实现行的固定限差法判别测量成果质量作了初步尝试,在统计检验原理的基础上,提出了判别限差内水准测量成果的三条准则。用极其简单、直观的控制图表,能对限差内的成果可能出现的异常及时作出判断。若以此监控水准测量生产,不仅方便可行,且能收到较好的经济效益,更重要的是对提高成果质量也大有裨益。

【关键词】 水准测量;控制图表;异常判别;准则

一、问题的提出

对各种测量成果的质量判定,迄今为止的方法是,将其与法定的各种相应限差相比较,限差内者一概合格,超出限差者重测,除此而外,再无其它任何考虑的余地。诚然,必要的数量指标对确保成果质量是不可少的;然而,仅用几个固定限差来裁决成果质量的方法,应该说是很不完善的。下面仅以水准测量为例,说明固定限差的若干弊病。

在生产中,下述情况不乏其例:每个测站的通过,不等于测段的通过,而每个测段的通过,同样不等于全线高差的闭合。于是,一条水准路线,往往要测完最后一站后,才知道全线成果是否真正合格。这种直到最后才见分晓、算总帐、才着手考虑重测方案的作法,势必给人力、物力和时间带来极大的损失。特别是对那些长达百公里甚至数百公里的水准路线(或环线)来说,这种损失尤甚。同时,即使测站、测段和路线(环线)这三级限差都合格,但还有可能各测段的不符值的排列(数值和符号)不随机,呈现了某种趋势和规律性。虽然,在观测过程中,当发生这一现象(例如连续若干测段不符值同号)时,有时也会引起观测者的注意,但究竟应达到一个什么数量界限才值得采取措施,则没有具体规定。既然合了规范之“法”,人们也就无需去研究这种成果的合格与否。但是,在上述情况的成果中,

本文1986年12月收到。

必然包含了某些系统因素的影响，而这些影响，特别是对那些要求很高的水准测量（例如地壳垂直形变测量）来说，恰恰是不可轻易忽略的。

上述种种，显然应该归结为一个在生产过程中，以什么尺度作为及时发现系统误差的标准问题，或者说对限差内的成果如何合理判别的问题。现行的标准是不触及限差内的成果的，因而也不可能解决上述问题。于是，选取一种更为完善合理的判别标准，便是摆在我们面前的新课题。

近年来，已有不少测绘同人进行了或正在进行这方面的研究工作。在国内外，很多人提出过各种不同的质量管理方法，控制图便是其中已被广泛应用的方法之一。是否也可将此法用于测绘生产？这个问题很有研究价值。鉴于此，笔者仅对应用控制图表判别水准测量成果质量作了某些尝试，具体地说，对含有较多测段的水准路线（环线）限差内的成果，提出了几种判别异常的准则。

二、判别水准测量成果的控制图表法

1924年，美国休哈特（W.A. Shewhart）博士提出了一种称为控制图的质量管理方法。它的作图极其简单，其理论基础是数理统计中的统计假设检验。

我们知道，服从正态分布的随机变量的统计假设检验可表示为图1。将图1略作变换，即可制成如图2所示的控制图。图1中的左、右两条临界线，就是图2中的下、上两条控制

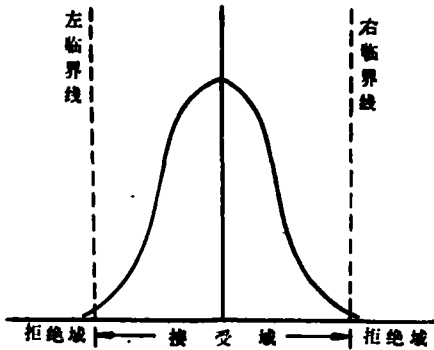


图1

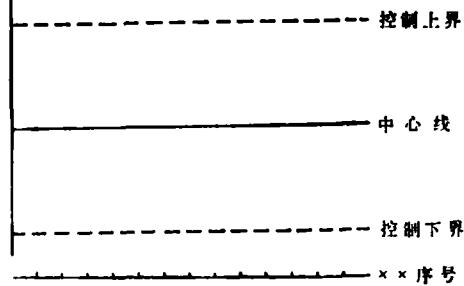


图2

界限，以虚线表示；而中心线不变，以实线表示。这三条线可根据实际需要向右延伸。在图的下方划一水平线并分成若干间隔，以此表示控制因素取样的条件或范围等，例如时间、日期、距离、测段序号、三角形序号等等。将取得的子样值标示在控制图中，各点之间连以实线，这样，整个生产过程中的质量变化便尽收图中。随着生产的进行，所取得的控制因素的数值，将被及时地展入图中，因而便可对生产随时进行监督控制，在制定了一定的准则之后，也就可以对系统误差的出现及时报警了。

下面以一等水准测量为例，说明适用于长水准路线（环线）的控制图表的制作方法。

对于一条水准路线（环线）来说，虽然有三级限差，然而测段限差是全线成果合格与否的关键。因此，我们将测段的高差不符值作为判定成果质量的控制因素。但是，测段不符值限值并非一定值，对一等水准而言，现行规范规定的这一限差值的算式为 $(2\sqrt{R})$ mm，它

依测段距离 R 而变。如果仅以每个测段的距离及所取得的相应高差不符值编制成表，以此判定限差内成果的优劣，显然由于各测段之间无法直接比较而造成困难。同样，如果据此作图，则图的上下控制界限，将不是两条平行于中心线的直线，而是凹凸状的折线了。这样，不仅作图不便，而且对限差内的成果判定，也将成为不可能。为此，可求出单位长度（ $R=1\text{km}$ ）的不符值限值，对一等水准而言，此值等于 $\pm 2\text{mm}$ 。将观测取得的某测段的不符值 Δ_i 除以该测段的距离平方根 $\sqrt{R_i}$ 后，即可求出相应于该测段的单位长度不符值 $(\Delta_i/\sqrt{R_i})\text{mm}$ ，并将其填入表中，各测段间便可相互比较而判别了，此表也正是我们所需要的控制表。如果要对成果进行更直观的判断，则可在控制表的基础上进一步按上述思想作出控制图。 $\pm 2\text{mm}$ 就是图的上下控制线，将算得之 $(\Delta_i/\sqrt{R_i})\text{mm}$ 按图下方水平线所标示的测段序号随时展入图中，并将相邻点间连以实线即可。

表1和图3便是依据某条有23个测段的水准路线的有关数据按上述思想作出的控制图表。可见，它们的制作，既无复杂的公式，也不须高超的技巧，任何人都可在作业现场制作。

表 1

测 段 序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
测段距离(Km)	4.7	4.4	5.5	4.5	5.1	5.0	5.8	4.1	4.7	5.1	5.0	5.8
高差不符值(mm)	+0.67	+0.48	+4.64	+2.27	-2.42	+4.32	+2.89	+3.24	+1.34	-0.68	-3.51	-0.55
每公里高差不符值(mm)	+0.31	+0.23	+1.98	+1.07	-1.07	+1.93	+1.20	+1.60	+0.62	-0.30	-1.57	-0.23
测 段 序 号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
测段距离(Km)	4.3	4.0	5.2	4.2	4.5	5.5	5.0	5.0	5.4	5.8	5.1	
高差不符值(mm)	-2.94	-2.90	-3.88	+0.59	+3.16	-0.49	-0.38	+1.14	+0.46	-1.57	-0.27	
每公里高差不符值(mm)	-1.42	-1.45	-1.70	+0.29	+1.49	-0.21	-0.17	+0.51	+0.20	-0.65	-0.12	

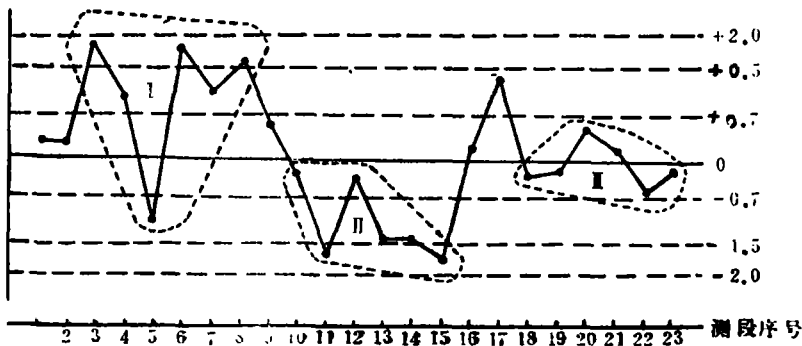


图 3

三、判別限差內水准成果異常的三條准則

这里所要讨论的是，如何利用控制图表判別成果異常。即在点子（测段不符值）未出界（未超限）的情况下，判別異常的准則是什么？前已指出，这种情况是现行的固定限差法所不予顾及的，也正是值得研究的价值所在。下面仍以一等水准为例对此进行讨论。

1. 每公里测段不符值不超限，但屡屡接近 $\pm 2\text{ mm}$ ，即点子屡屡接近控制界限。我们的目的是，“屡屡”到什么程度时必须顾及。

定点子落入 $+1.5\sim+2\text{ mm}$ 及 $-1.5\sim-2\text{ mm}$ 的范围为接近限值。则在正态分布的情况下，点子落入此范围的概率为：

$$\begin{aligned} & P(+1.5 \leq x < +2) + P(-2 \leq x \leq -1.5) \\ & = 2 \times [\phi(1.5) - \phi(2)] = 2 \times (0.0668 - 0.0228) = 0.0880, \end{aligned}$$

而点子落入不超过 $\pm 1.5\text{ mm}$ 的范围内的概率为：

$$P(-1.5 \leq x \leq +1.5) = 1 - 2\phi(-1.5) = 1 - 2 \times 0.0668 = 0.8664,$$

式中 $\phi(1.5)$ 及 $\phi(2)$ 可在正态分布概率积分表中查得。

今选定显著水平为 $\alpha = 0.05$ ，即认为概率小于 0.05 者为小概率事件。为确定到底有多少点接近限差时判为異常，有必要作下列概率估算。

连续两点中至少有一点接近控制界限（以下将这句话简记为“2中至少有1”，余类同）的概率为：

$$P(2中至少有1) = C_2^1 \times 0.0880 \times 0.8664 + C_2^2 \times 0.0880^2 = 0.160,$$

此概率大于 0.05 ，故应判为正常。

$$P(2中有2) = C_2^2 \times 0.0880^2 = 0.008,$$

此概率小于 0.05 ，故应判为異常。

$$P(3中至少有2) = \sum_{x=2}^3 C_3^x \times 0.0880^x \times 0.8664^{3-x} = 0.021,$$

此概率小于 0.05 ，故应判为異常。

同理，可算得下述情况下的各自概率：

$$P(4中至少有2) = 0.037;$$

$$P(5中至少有2) = 0.056;$$

$$P(5中至少有3) = 0.005;$$

$$P(10中至少有3) = 0.036;$$

$$P(11中至少有3) = 0.044;$$

$$P(12中至少有3) = 0.093;$$

$$P(12中至少有4) = 0.011;$$

$$P(21\text{中至少有}4) = 0.046,$$

$$P(22\text{中至少有}4) = 0.050,$$

$$P(23\text{中至少有}4) = 0.053,$$

$$P(23\text{中至少有}5) = 0.019.$$

于是可得下述准则:

准则 1 在点子虽未出界,但在屡屡接近界限的情况下,连续两点接近界限者;连续3~4点中有两点以上接近界限者;连续5~11点中有3点以上接近界限者;连续12~22点中有4点以上接近界限者;连续23点以上有5点以上接近界限者;应判为异常。

据此可见,表1中测段3~8即图3中虚线范围I内有连续6点,已有3点接近边界,故应判为异常。此时,成果虽未超限(合法),但生产者也应分析可能产生系统误差的原因及可能。例如,是标尺或仪器产生了升沉现象,还是地面折光太大?是温度总体变化的影响,还是仪器单面受热?等等。且应采取相应措施,并复测某些可疑测段,待排除异常后方可继续观测。

2. 若干连续测段的每公里不符值同号,即点子连续出现在控制图中心线一侧。

在正态分布的情况下,不符值同号,即点子出现在中心线一侧的概率为 $0.9545/2$, 0.9545 为 $\alpha=0.05$ 时不符值不超限,即点在界内的概率。为求得一个数量界限,对此也同样进行某些概率计算。

连续4点出现在中心线一侧的概率为:

$$P = 2 \times (0.9545/2)^4 = 0.134,$$

连续5点出现在中心线一侧的概率为:

$$P = 2 \times (0.9545/2)^5 = 0.050,$$

连续6点出现在中心线一侧的概率为:

$$P = 2 \times (0.9545/2)^6 = 0.024.$$

与 $\alpha=0.05$ 相较,可见定“5”为界是适宜的。由此可得下述准则:

准则 2 在点子虽未出界,但连续5点以上出现在控制图中心线一侧(在控制表中则表现为连续同号)时,应判为异常。

据此可见,在表1中测段10~15,即图3中虚线范围II内有连续6点均位于一侧,故应判为异常。这种情况在水准测量中时有发生,而且往往为害不浅。它不但说明观测质量欠佳,而且还直接威胁未来的路线闭合差。一旦发现此情况,必须认真分析研究,并采取有效措施排除之。

3. 若干连续测段的每公里不符值都很小,在控制图中则表现为点子集中在中心线附近。

定点在 $\pm 0.7\text{mm}$ 的范围内为很小,即为集中在中心线附近。则在正态分布的情况下,点出现在此区间的概率为:

$$P(-0.7 \leq x \leq +0.7) = 1 - 2\phi(-0.7) = 1 - 0.4840 = 0.5160.$$

于是,连续3点集中在中心线附近的概率为:

$$P = 0.5160^3 = 0.137,$$

连续 4 点集中在中心线附近的概率为:

$$P = 0.5160^4 = 0.071,$$

连续 5 点集中在中心线附近的概率为:

$$P = 0.5160^5 = 0.037,$$

连续 6 点集中在中心线附近的概率为:

$$P = 0.5160^6 = 0.019.$$

与 $\alpha = 0.05$ 相较, 定“5”为界是适宜的。于是可得下述准则:

准则 3 在点子虽未出界, 但连续 5 点以上集中在控制图中心线附近 (在控制表中则表现为接近于零) 时, 应判为异常。

据此可见, 在表 1 中的测段 18~23, 即图 3 中虚线范围 III 内有连续 6 点集中在中心线附近 (接近于零), 故应判为异常。

这种情况在水准测量中也时有出现。表面看来, 不符值远小于规定, 似乎精度很高。其实, 概率计算的结果告诉人们, 连续若干个不符值接近于零的概率是很小的, 当有连续 5 个不符值接近于零时, 其概率只有 0.037 了, 而这种不应该出现的小概率事件竟然出现了, 那么只能解释为非正常, 即因为有某些潜伏着的系统误差从中作祟之故, 此时, 必须引起生产者的注意, 必要时也只能“忍痛割爱”了。

顺便指出, 表 1 和图 3 的例子只用于说明问题, 实际上不应出现这种情况。因为后续测段的观测, 应该是在前面出现的异常已经排除的前提下进行的。

四、结 束 语

由以上讨论不难看出, 控制图表的制作极其简单, 判别也极其方便, 而控制图更具有直观的特点。它们的最可取之处, 还在于从那些限差内的点子的排列和关联情况中所能发现和预见的问题, 从而使人们及时地引起警觉, 而不致单纯地被点子未超限的表面现象所迷惑, 随时发现问题, 随时采取措施。这样, 既可收到较好的经济效益, 又使测量成果具有更大的可靠性。这正是将其用于测绘生产中所具有的重要价值。

本文的研究仅仅是初步的, 而关于完善和制定测量成果的判别标准问题, 是一件涉及面很广的带根本性变革的大事, 有很多问题需要去认识和解决。用控制图表法管理质量, 应该说是在原有基础上前进了一步, 但是, 也还有很多疑难问题需要深入探讨。例如, 在准则 1、3 中, 本文把接近边界和在零附近的界限分别定为 $\pm 1.5\text{mm}$ 和 $\pm 0.7\text{mm}$, 这可根据具体情况适当变通。这两个范围定得越大, 判为异常的机会就越多, 即条件就严些; 反之, 判为异常的机会就越少, 即条件就宽些。到底如何根据不同的客观情况决定最合理的范围? 尚需认真研究。还有, 控制图、表只能对有无系统误差提出告警, 至于是何种系统误差的影响, 它无法分辨和识别, 而只能由人们自己结合当时的观测条件去考虑。只有对诸如此类的问题不断探索并求得解决, 才能使测量成果的质量管理方法日臻成熟。

参 考 文 献

- 〔1〕 张公绪, 选控图理论和实践, 人民邮电出版社, 1984.
〔2〕 何国伟, 管理工程学概论, 上海科技出版社, 1984.

On the Abnormality Discrimination of Levelling Measurements Within Tolerance

Yi Fakai

Abstract

How to make a reasonable criterion to accept or reject measurements is a valuable research topic. The current fixed-tolerance-method, which is to reject the outliers and accept all the others, in fact, has quite a few disadvantages. Here, this paper tries to enrich this method with a control graph for discriminations of abnormal levelling measurements within tolerance, three criterions are summarized as follows:

Criterion 1, although the points are within tolerance, the case in which a certain number successive points are close to the critical lines is to be judged abnormal,

Criterion 2, although the points are within tolerance, the case in which over 5 successive points distribute at one side of the central line is to be judged abnormal,

Criterion 3, although the points are within tolerance, the case in which over 5 successive points centre around the vicinity of the central line is to be judged abnormal.

The above criterions are based on the principle of statistical test. This control-graph-method is so straightforward that we can decide in time what measurements are normal and what are not. For field levelling, this method is not only economical and feasible, but also of benefit to improving the quality of levelling.

However, there are other problems to be solved. Such as, how to determine whether the points are close to the critical lines or the central line, what the factors resulting in the abnormality exactly are, etc. these need further studying. Only so, is the method for the quality control of surveying being perfected.

【Key Words】 levelling, control graph, abnormality discrimination, criterion