

P228.2
065375

光电测距仪 实用检测新方法

黄伟明 著

测 绘 出 版 社

(京) 新登字 065 号

内容提要

本书应用现代误差理论,结合丰富的检测实例,重点阐述了光电测距仪周期误差、加、乘常数以及仪器标称精度检测的原理及实质,提出了可明显削弱检测误差,提高检测功效的三种新方法——平台等分法、精化法和差值法,讨论了检测结果的统计检验和优化问题,还给出了一种检测基线场建立和长度传递的简易方法。

本书内容新颖,说理清晰,理论与实践并重且结果相符,在很大程度上对传统测距仪检测方法做了更新和完善。

本书可供光电测距仪使用、检测和研究人員以及大、中专院校有关专业师生参考。

光电测距仪实用检测新方法

黄伟明 著

测绘出版社出版·发行

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本 787×1092 1/32·印张 5·字数 106 千字

1993 年 5 月第一版·1993 年 5 月第一次印刷

印数 0 001—5 000 册·定价 5.70 元

ISBN 7-5030-0575-0/P·219

提高光电测距仪检测质量的新途径

(代序)

《光电测距仪实用检测新方法》一书是作者总结多年来对光电测距仪主要系统误差的检测原理、方法及数据处理方面的研究成果写作而成。它的突出特点在于新，因为在许多方面，更新了光电测距仪检测的传统理论和方法。

该书将线性规划、粗差探测、假设检验、方差分量估计等理论应用于分析光电测距仪加、乘常数，从分离误差、改进方法入手，使检测精度、可靠性和功效均得到显著提高。

全书结构严谨，内容丰富，既有较深的理论引述，又有较多的实验数据和算例，可读性强，因而非常适宜从事光电测距仪使用、检验的广大测绘工作者阅读，亦可供大专院校测绘专业的师生参考。

该书作者是一位很有才华的青年科技工作者，在较短的时间内能撰写出如此新颖的著作，实为不易。从求全的角度出发，书中未涉及仪器检测时的外界环境（主要是大气条件），略感不足。但这一点属于本书内容的进一步扩充，况且读者可借助其它书籍得到满足。

该书的出版，在一定程度上将使光电测距仪的检测工作向前推进一步，使这种广泛使用的地面测量仪器更好地为国民经济建设和国防建设服务。

周泽远

1992. 6. 11

前 言

从 70 年代末,我国批量引进红外测距仪以来,光电测距仪在我国的应用开始普及。伴随而来的仪器应用和检定,成了测绘工作者的热门话题,也标志着我国在这一新技术领域的研究和应用进入实质性阶段。

光电测距仪的检定和应用,较之传统测量仪器的单一模式有显著的差异。光电测距仪是光机电的综合体,在理论和实践的综合研究上较难把握。历年来,有关教材、论文、规程、规范多有面世,但人们对检定方法是否可下定论尚有很多疑虑。可以用一位先生的告诫来形象说明:只做一次试验,较易下结论;作了两次试验,就难下结论;当多次试验后,将无从再下结论。

本书试图从检测理论、检测条件、检测误差、检测方法、检测效果和检测标准诸方面的整体认识中去探讨光电测距仪检测的统一概念和检测新方法。

第一章绪论,力求简明系统地阐述光电测距仪使用与检测的关系、检测误差模型、检测误差的制约和分离等,并提出了鉴别检测的统一标准——三个检验准则,以及对检测不确定度的认识。

第二、三、四章力求全面深入地讨论光电测距仪三项基本检测的原理、方法和应用,提出了避免系统误差影响的周期误差检定方案——平台等分法;扩充归纳了基线比较回归法检定加乘常数的统一模型,说明其它三种派生模型是不同

条件下的特例；导出了全组合解析法检定加常数、评定可靠性和精度的通用公式及算法，使得三项检测的检定精度和功效均有显著提高。

第五、六章进一步系统讨论了检定效果和可靠性，包括检测的统计检验原理和数据优化原理。例如：被检常数的显著性检验，检定结果的合格性检验，以及观测数据的粗差定位和剔除方法。主要展现了近代误差理论在光电测距仪检定领域应用的突出效果。

第七章系在前六章的认识基础上，推出了检定加乘常数的两种新方法——精化法和差值法。除基本理论分析外，还用较多的实例说明新方法在检定精度和功效上均比传统方法有成倍提高。

第八章讨论标称精度表达式。根据误差相关的讨论认为，固定误差和比例误差取代数和的形式是合理的。并以典型边角网方差分量估计的实测结果加以验证（在附录中列出了更详细的例子）。

第九章从应用的角度讨论了基线场的建立、评价、使用和长度传递问题，给出了一套简捷实用、可操作性强的建场模式。

原计划中的第十章为 PC-1500 计算机检定程序，现决定将其归入软件出版物中另行处理。

本书主要论及了光电测距仪争议较多的加、乘常数和周期误差检定问题，其他项目的检定已经成熟，读者不难从其他出版物中查到，相信不会影响使用。

本书是作者学习近代误差理论并结合实践对多年来工作的小结。在论述上尽管力求系统和深入，但难免有许多不成熟和错漏之处，希望行家批评指正，以便进一步改进完善。

写作本书曾受到国家测绘局测绘科学研究所、国家地震局地震研究所、总参测绘研究所、国家测绘局测绘标准化研究所以及陕西省第一测绘大队各位老师的支持和帮助。刘永诺高工的指教具有思想方法上的指导意义；周泽远副教授、余绍熙高工和洛世铭高工详细审阅了全稿，并提出了许多宝贵意见。在此一并表示由衷的感谢！

作者

1991年11月于南昌

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 测距仪使用与检测	(1)
§ 1-2 误差分类与检测模型	(3)
§ 1-3 对检测误差的制约方法	(6)
§ 1-4 鉴别检测的检验准则	(9)
§ 1-5 检测的不确定度	(12)
第二章 平台等分法检测周期误差	(17)
§ 2-1 周期误差来源	(17)
§ 2-2 平台等分法检测原理	(18)
§ 2-3 应用讨论	(24)
第三章 基线比较回归法检测加常数和乘常数	(30)
§ 3-1 比较法检测原理	(30)
§ 3-2 算例	(34)
§ 3-3 加乘常数检验和限值	(37)
§ 3-4 影响因素与检测效果	(39)
§ 3-5 观测边修正值的预测与外推使用	(43)
第四章 全组合解析法检测加常数	(47)
§ 4-1 全组合解析法原理	(47)
§ 4-2 应用讨论	(56)
§ 4-3 比较法与解析法的对比	(57)
§ 4-4 N 为奇数时的特殊问题	(59)
§ 4-5 缺损数据处理	(60)

第五章 统计检验和检测效果	(61)
§ 5-1 t 检验区分显著性	(61)
§ 5-2 F 检验区分合格性	(63)
§ 5-3 检测效果讨论	(66)
第六章 检测数据优化	(69)
§ 6-1 线性规划法	(69)
§ 6-2 最小绝对和平差	(73)
§ 6-3 单参数的特例	(76)
§ 6-4 区分粗差的限差	(78)
§ 6-5 数据探测零权法	(79)
§ 6-6 应用讨论	(84)
第七章 精化法、差值法检测加乘常数	(93)
§ 7-1 精化法检测加乘常数	(94)
§ 7-2 差值法检测加乘常数	(105)
第八章 标称精度的检定和应用	(114)
§ 8-1 内部符合和外部符合精度	(114)
§ 8-2 标称精度	(117)
§ 8-3 应用讨论	(119)
第九章 基线场的评价、应用及长度传递	(124)
§ 9-1 对检测系统的基本评价	(124)
§ 9-2 基线场设计要点	(130)
§ 9-3 基线长度传递	(132)
附录 一个三等网过渡为二等网的技术后处理	(140)
参考文献	(149)

第一章 绪论

§ 1-1 测距仪使用与检测

一、使用问题

在光电测距仪日益普及的今天，要正确使用它，充分发挥其效能，对每个使用者来说，均关心三个问题：（1）仪器如何检测；（2）如何正确地操作使用它；（3）观测数据如何处理。

测距仪的检测主要包括：制定合适的检测纲要和方法；正确检定测尺频率、幅相误差、周期误差、加常数、乘常数、内部符合精度、标称精度等；建立长期的仪器监测档案，以便核准仪器的应用状态。实践证明，对仪器的不合格检测会给使用带来更多的麻烦；反之，对仪器的有效检测能大大发掘它的应用潜力。

测距仪的操作使用主要包括：经常性的检查校正，如发射轴、接收轴和望远镜光轴的三轴一致性校正，仪器和反光镜光学对点器的校准；正确使用气象仪表；观测时保证以电照准进行距离测量等。使用操作应与仪器检测时的操作一致，在非作业期应注意防潮和定期通电，还要保证检测数据在非检测期的有效使用。

观测数据处理主要包括：观测距离的各种归算；各种检定常数的修正计算；正确应用检定精度指标进行作业成果的平差计算；当然还包括正确处理检测数据。

只有解决好上述三个问题，保证检测、使用和数据处理的正确有效，才谈得上发挥测距仪的效用。因为光电测距仪是集光、机、电器件综合而成的精密设备，把握住应用过程的可能变化，是区别于传统测量仪器的使用要点。

二、检测问题

仪器检测主要实现两个目的：（1）确定仪器系统误差的大小；（2）给出误差的总不确定度。

由于光电测距仪的物理构成和性能较为复杂，反映在测距过程时，从显示读数上不能察觉的系统因子，即仪器自身的修正值，也较难把握，而只能通过精确严密的检测来分辨。总体上可把系统因子分为三大类：（1）与距离无关的即加常数；（2）与距离成比例的即乘常数；（3）与仪器精测尺长成周期分布的即周期误差。除修正常数外，尚残存随机变化的测距误差。这部分误差不能定量把握并修正，但其分布是有界的，不会超过一定的数值，因此可以估计，其中与距离无关的叫固定误差；与距离有关的叫比例误差。

在测量平差中，把确定上述修正常数（系统参数）的方法叫点估计，把估计误差大小的方法叫区间估计。

自从1971年瑞士威特厂的Schwendener提出六段全组合检测方法以来，测距仪检测方法的研究得到长足发展。但对仪器比例修正值（乘常数）检测的讨论，迄今尚无统一意见，反映了这一研究领域在理论和实践结合上的复杂性。这正是本书深入探讨的重点。

本书是把测距仪视为黑箱，把与野外标准基线比测视为终极标准，来讨论测距仪的检测方法和效果。

$= (\text{观测值} - \text{母体均值}) + (\text{母体均值} - \text{真值})$

$= \text{随机误差} + \text{系统误差}$

即任意一个真误差 (Δ_i) 均为系统误差 (δ_i) 和随机误差 (ϵ_i) 的代数和:

$$\Delta_i = \delta_i + \epsilon_i \quad (1-2-1)$$

二、评定估计量

若将仪器的系统误差 δ 作为待估参数, 其估计量为 $\hat{\delta}$, 则采用不同的估计方法、模型和策略, 所得到的估计量的效果是不尽相同的。因此, 可用下述估计量的三种性质来评定估计量的优劣。

1. 无偏性

由于估计量本身是一个随机变量, 自然希望在多次试验中, $\hat{\delta}$ 围绕 δ 的真值而波动, 无系统性的偏差, 这就是无偏性原则, 即

$$E(\hat{\delta}) = \delta \quad (1-2-2)$$

2. 一致性

一个估计量仅仅满足了无偏性的要求, 还不够理想。还希望当子样数 n 增加时, 估计量 $\hat{\delta}$ 会越来越靠近 δ 的真值, 这就是一致性原则, 即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P[|\hat{\delta}_n - \delta| > \epsilon] = 0 (\epsilon \text{ 为任意小数}) \quad (1-2-3)$$

3. 有效性

设 $\hat{\delta}_n$ 和 $\hat{\delta}_m$ 都是 δ 的无偏估计量, 若对任意一个 n 有

$$D(\hat{\delta}_n) < D(\hat{\delta}_m) \quad (1-2-4)$$

则称 $\hat{\delta}_n$ 较 $\hat{\delta}_m$ 有效, 即估计量的方差越小越有效。这就是有效性原则。

三、统一检测模型

对于测距仪所测的一条边 D ，难免包含有系统误差 δ 和随机误差 ϵ 。下面分别讨论这两种误差。

1. 系统误差主要包括有

$$(1) \delta_1 = \Sigma A \sin \Phi \quad (\text{周期误差})$$

主要由于测距信号在传输过程中，受到来自电路和光路中的串扰信号影响，从而产生变形所致。一般以精测尺长为周期表现出来。串扰信号可能有多个。

$$(2) \delta_2 = K \quad (\text{加常数})$$

主要由测距仪主机和反光镜的机械、光学以及电路延滞的固定偏差所引起。

$$(3) \delta_3 = RD \quad (\text{乘常数})$$

可能由频率偏差以及发光管和接收管的相位不均匀性对测距产生偏差等因素所引起。

系统误差若能精确检定，就可修正边长观测值。统一修正式为

$$\Delta D = \sum_1^3 \delta_i = \Sigma A \sin \Phi + K + RD \quad (1-2-5)$$

2. 随机误差主要包括有

$$(1) \epsilon_1 = a \quad (\text{固定误差})$$

主要由系统误差的剩余误差和内部、外部符合误差而产生。

$$(2) \epsilon_2 = bD \quad (\text{比例误差})$$

主要由系统误差的剩余误差和信噪比误差而产生。

由于 a 、 b 均为绝对值，既是相关量，又含有一定的系统性质（本书 § 8-2 节对此作了专门讨论），按绝对值合成法组

成测距误差的统一评定式为

$$m_D = \sum_1^2 \epsilon_i = a + bD \quad (1-2-6)$$

综合 (1-2-5) 和 (1-2-6) 两式可知, 一条观测边 D , 经系统误差修正后为

$$D' = D + \Delta D$$

其边长准确性得到提高, 边长误差的估值为 m_D 。

D 准确与否, 取决于对测距仪系统误差参数的估计效果。这是检测要讨论的关键问题。这一讨论是以 (1-2-5) 式为约定模型的, 若检测数据中的个别观测量出现其它模型倾向 (如指数模型), 将归结为异常量, 给予排除。

§ 1-3 对检测误差的制约方法

检测误差大体可分为四种: (1) 粗差 ϵ_G ; (2) 系统误差 ϵ_S ; (3) 相关影响误差 ϵ_ρ ; (4) 随机误差 ϵ_n 。检测误差 M 是它们的函数:

$$M = f(\epsilon_G, \epsilon_S, \epsilon_\rho, \epsilon_n) \quad (1-3-1)$$

要使检测效果达到最佳, 就必须最大限度地削弱和抑制这些误差。

近代平差领域有一种大综合的倾向, 期望用一个综合模型, 去估计和排除各类误差。如附加系统参数平差、方差分量估计等。其着眼点是通过综合比较来达到整体最优。

本书针对测距仪检测的具体特点, 追求另一种大分离的倾向, 期望对各个误差均找出各自有效的独立模型, 从而估计各个误差参数, 并逐一排除之。着眼点是以各基准量为标准, 通过局部最优来达到整体最优。下面讨论将提供支持这

一思路的依据。

一、粗差

粗差即为超限值，往往出现在不正常的操作过程，如对中、周期跳变、光强、照准等。从大量检测结果中统计，粗差的出现近乎必然，当然粗差个数是极少的。出现粗差完全违背了正态分布的假设前提，必然给检测带来破坏性的影响。因此必须剔除。已往的检测方法中忽视了粗差问题。

近代平差中的数据探测和抗差估计，提供了探测并剔除粗差的理论依据和方法。

探测粗差的效果，除了选择合适的方法外，还与模型有关。简单而约束力强的模型，有利于显现粗差。一般选择分立模型。

为了检测模型总趋势的需要，有时也将由于模型误差引起的个别观测数据异常，当作粗差剔除。如剔除在近距离内的个别可能服从指数模型的观测值等。

粗差最终应通过统计检验来定位。

二、系统误差

在§1-2中已明确阐述了测距中系统误差的可能来源。对系统误差的鉴别，主要受到粗差和随机误差的影响。如有粗差，真实的系统误差会变形；如随机误差大，系统误差也将无法甄别。除粗差外，系统误差鉴别尤其受预测模型的影响。预测模型应与仪器系统误差真实的物理模型相对应，否则，检测可能无效无功。

不排除系统误差，检测精度不可能得到改善。

为了削弱系统误差的影响，可采取两种办法。一是对显

著的系统误差进行修正；二是采取抵消策略。除抵消确定误差外，削弱那些在一种状态下表现为系统性质，在另一种状态下可能转化为随机性质的误差十分必要。如测站误差，同测站为系统性，不同测站为随机性。又如周期误差，在精测尺长的确定位置为系统性，在不同位置为随机性。削弱这种误差对检测精度的提高十分有利。

经统计检验为显著的系统误差尚可修正。

三、相关影响误差

这是以往容易被人们忽视的一个领域。

这一误差是由系统误差参数之间的相关影响而产生的。只要参数间的协因数不为零，这一影响总是存在的，即

$$m_{x_{ij}}^2 = m_0^2 Q_{ij}, \quad i \neq j \quad (1-3-2)$$

尤其在精密测量中不可忽视它的影响。它的存在会因为某个参数估计不准而影响其它参数的估计。

避免这一影响的方法，可以是寻找不相关模型，也可以抵消某个参数，或逐一修正估计较为准确的参数等。这些方法将在本书讨论检测新方法时得到充分应用。

在综合平差模型中，相关影响误差几乎不可避免。只有在分离模型中才更有希望找到合适的回避途径。

相关影响还决定了误差性质的转变。如具有抵偿性的随机误差和具有累积性的系统误差，均与相关系数的取值有关。随机误差随着相关系数由零逐渐增加的量变过程，它的抵偿性逐渐减弱；当相关系数近于1时，其抵偿性就被累积性所取代，变为系统误差。

四、随机误差

当有效地削弱了上述误差之后，仅余下由反映仪器测量稳定性的内部符合误差和反映操作水平（如对点、观测、气象元素测定）的外部符合误差组成的随机误差。这时的检测误差已经受到了充分的限制，并充分表现为随机性质（正态分布）。根据测不准原理，要清除随机误差是不可能的，但采取以下措施来减小它的分布区间还是可以的。

(1) 进一步削弱它的误差值。如对点误差，可通过改进对点设备和措施来压缩之。

(2) 增加多余观测个数，实现代数和为零。

(3) 采取限制排除法，即采用截尾正态分布的概率统计模型。

当检测误差已趋近于内部符合误差时，可以说检测已达到了应有的效果。这也是仪器检测追求的目标。即

$$M_{\text{检测}} \Rightarrow M_{\text{内符}} \quad (1-3-3)$$

§ 1-4 鉴别检测的检验准则

各类误差被限制到什么程度才可忽略？误差间的比例系数多大才可忽略某一误差对另一误差的影响？被检定参数的检定误差不超过何值，被检参数才有效？要下结论，均涉及标准问题。以下统一给出三个检验准则。它的应用贯穿全书。

根据渐近理论，讨论总是基于正态分布的假设检验。除非作特别的说明，原则上均以下述置信概率为准：

$$P(\cdot) = 1 - \alpha = 1 - 0.05 = 0.95 \quad (1-4-1)$$