

双目光学测距仪器光轴不平行度 范围的实验研究^{1)*}

方俐洛 虞积生 高晶

中国科学院心理研究所

一、前言

目前,我国的双目光学测距仪器光轴不平行度公差大致有以下几组:

垂直发散: $\pm 15'$ $\pm 20'$ $\pm 20'$ $\pm 27'$

水平发散: $60'$ $60'$ $60'$ $60'$

水平会聚: $20'$ $20'$ $30'$ $36'$

上述数据基本上是沿袭国外有关数据。美苏两国这方面的数据大致为:

美: 垂直发散: $\pm 15'$ $\pm 12'$

水平发散: $24'$ $90'$

水平会聚: $12'$ $0'$

苏: 垂直发散: $\pm 15'$ $\pm 10'$

水平发散: $60'$ $60'$

水平会聚: $20'$ $20'$

上述光轴的发散和会聚是指由目镜出射的两光轴而言,而人眼视轴的会聚和发散是对被观察的物方而言,故仪器光轴的发散(会聚)与人眼视轴的会聚(发散)相当。

一般认为:“如果两管的光轴位于同一平面内,此面通过瞳孔中心,那么在两管轴向眼睛会聚的情况下,角度不应超过 3° ,在发散情况下,角度不应超过 1° 。如果两光轴在上述平面的垂直方向上彼此有一个倾斜度的话,那么由目镜出射的相应光线间的角度不应超过 0.5° ”⁽¹⁾。“为了使眼睛在该生理的允许误差内,避免长时间的工作而致疲乏,在良好的仪器中,将眼睛两轴的不平行性的技术允许误差降低 $\frac{1}{3}$,即相应地取为 1° , $20'$, $10'$ ”⁽²⁾。

近年来,国内外对光轴不平行度范围均有研究⁽³⁾⁽⁴⁾,苏联 M. A. 奥斯特洛斯卡等对双筒望远镜进行了实验研究。其结果表明:通过对任何一具试验双筒望远镜连续观察以后,被试者的视觉锐度,深度视觉锐度和隐斜实际上没有改变,判断错误率没有增加,视力没有下降。而随光轴不平行度增长到某一程度,则出现疲劳症状,以此为指标求出多数被试者的双筒望远镜光轴不平行度的极限允许偏差值为:垂直发散 $30'$,水平会聚 $40'$,水平

1) 本文于1981年5月9日收到。

* 本实验承长江光学仪器厂大力协助,谨致谢意!

发散 $100'$ 。M. A. 奥斯特洛斯卡认为,此数值为现行产品公差 1.7 倍至 2 倍,考虑到使用中不平行度偏差可能继续增长,上述偏差要有 1 倍左右的可靠性储备量;故现行公差规定:垂直发散 $16'$,水平会聚 $20'$,水平发散 $60'$ 是明智的。

在制定我国双目光学仪器的光轴不平行度标准时,必须对测距仪器进行实验研究。本实验拟探讨双目光学测距仪器光轴不平行度与视觉疲劳和测距精度之间的关系。从而为制定双目光学测距仪器光轴垂直发散,水平发散和水平会聚的标准提供一定依据。

二、实验装置、被试者及实验程序

1. 实验装置及原理

实验用双眼体视测距系统进行。此系统由(1)双眼体视测距仪和(2)立标检查仪组成(见图1)。

1) 双眼体视测距仪 双眼体视测距仪由左、右两个光学特性相同的望远系统和距离测量装置组成。其构造简图见图1下部。

左、右望远系统互相独立,它们分别由物镜、中央反射镜、分划板和目镜组成。

测量标志分划板上有许多具有不同线视差的测量标志。左、右分划板上的每一对标志相应一定的距离,这些标志在分划面上呈“之”字形排列(见图2)。

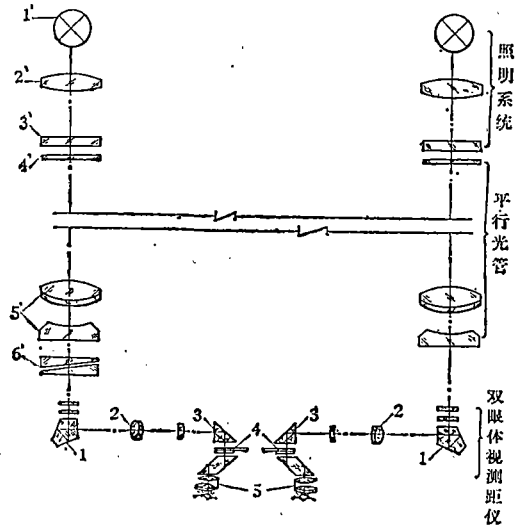


图1 双眼体视测距系统;

(1) 双眼体视测距仪; (2) 立标检查仪

- 1. 基端五角棱镜; 2. 望远物镜; 3. 中央棱镜; 4. 测标分划板; 5. 目镜; 1'. 光源; 2'. 聚光镜; 3'. 滤色镜;
- 4'. 测标分划板; 5'. 望远物镜; 6'. 双楔镜补偿器

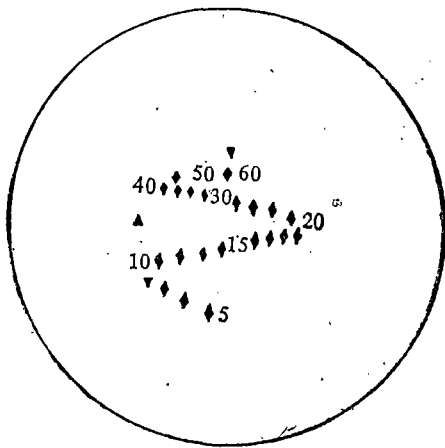


图2 测量标志分划板

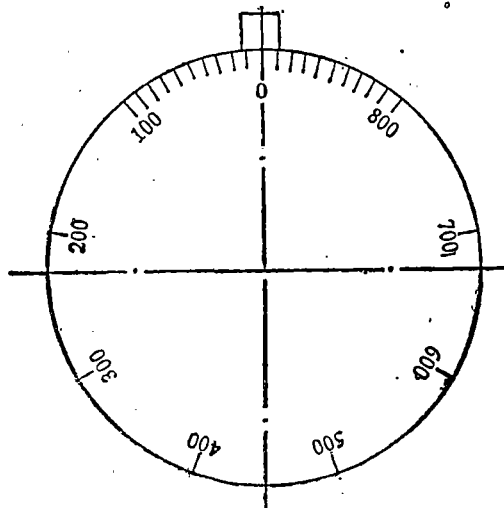


图3 光楔补偿器分度盘

2) 立标检查仪 立标检查仪是由照明系统、平行光管和光楔补偿器三部分组成。其光学原理见图1上部。

当人通过双眼体视测距仪观察时,形成一排立体的由近到远的黑色标志。

光楔补偿器是一个精密测角装置。由物镜组射出的平行光可经过补偿器发生偏折,即改变两物镜组出射光束的平行性而构成一视差角,这个改变量可通过补偿器的分度盘(见图3)直接读出。

3) 测距精度的测量原理 用光楔测量视差角的方法检查测距精度。测量时,转动安装在立标检查仪前的补偿器,使立标检查仪的无穷远与双眼体视测距仪的无穷远标志符号在体视深度上重合,重复5次测量,从补偿器分度盘上读出一组数值 $\alpha_{\infty_1}, \alpha_{\infty_2}, \dots, \alpha_{\infty_5}$,取其算术平均值即理论值 $\bar{\alpha}_{\infty}$ 。然后用同样方法将立标检查仪的无穷远标志依次与体视测距仪的40(即4000米),30,20,15,10,5等六个距离标志符号在体视深度上重合,并从补偿器分度盘上读出每相应标志符号的一组数值,算出它们的算术平均值,用这些平均值分别减去 $\bar{\alpha}_{\infty}$,得出相应标志的实测值 $\bar{\alpha}_{40}, \bar{\alpha}_{30}, \dots, \bar{\alpha}_5$ 。实测值与理论值之差即为测距误差。

2. 被试者及试验程序

1) 被试者: 被试者共10人,其中男8人,女2人。年龄为18岁至30岁,均有1至8年的检测经验。

所有被试者均通过远近视力、色觉、隐斜及融合力、眼底等检查。

2) 实验程序: A. 每次实验前测量被试者闪光融合频率、隐斜及融合力。B. 改变双眼体视测距仪之光轴平行度,令被试者在各种光轴不平行度的情况下进行观察测距。每次观测30分钟。C. 完成每次测试后,立即再测量被试者闪光融合频率、隐斜及融合力。

三、实验安排、结果及分析

1. 实验 I

令仪器光轴水平变化为 $0'$,令仪器光轴垂直发散变化为 $15', 20', 25', 30'$ 。

实验在常温($\approx 20^\circ\text{C}$)下进行。实验 II、III、IV 同此。

实验结果取用以下指标:

(1) 测距精度误差(单位为“理论误差”)。

表 1 仪器光轴垂直变化为15, 20, 25, 30之实验结果

光轴变化		测距精度误差		融合频率	自我感觉		
垂 直	水 平	平 均 数	标 准 差	差 值	无 反 应	轻 反 应	重 反 应
15'	0'	1.48	± 0.70	0.4	10	—	—
20'	0'	1.44	± 0.54	-0.2	10	—	—
25'	0'	1.56	± 0.76	-1.4	7	3	—
30'	0'	2.63	± 0.58	-1.6	7	3	—

(2) 闪光融合频率(单位为“次数/秒”)。

(3) 被试者自我感觉(单位为人数)。

a. 无反应。 b. 轻反应: 眼眉局部反应。如眼胀、眼累、眉尖紧。眉尖疼及头胀。

c. 重反应: 除眼眉局部反应外, 还伴有体征。如: 头痛、心慌、胸闷、恶心等。

实验 I 之结果见表 1。

从表 1 可看出, 在仪器光轴水平发散保持不变, 而改变其垂直发散度的条件下:

(1) 测距精度误差的变化似随光轴垂直发散的增加而增加。在 15'—25' 之间, 测距精度误差均在 2 个理论误差之内, 且相差无几。而在 25'—30' 之间, 测距精度误差则有明显变化。在 30' 时测距精度误差大于 2 个理论误差。

(2) 被试者闪光融合频率在 15'—20' 时实验前后没有变化, 而在 25'—30' 时有所下降。

(3) 就被试者的自我感觉报告而言, 在 15'—20' 之间, 所有被试者均无反应; 在 25'—30' 时, 轻反应人数均占被试者人数的 30%。

2. 实验 II

根据实验 I 的结果, 令仪器垂直发散为 30', 25', 20', 15', 10' 和 0'; 水平发散为 0', 80', 120', 150', 160', 180', 水平会聚为 0', 20', 40', 45', 50', 60', 构成若干双变量值组。

实验结果见表 2 及表 3。

表 2 仪器光轴垂直发散 30'—0' 与水平发散 0'—180' 之双变量值组之实验结果

光轴变化		测距精度误差		融合频率	自我感觉		
垂直	水平	平均数	标准差	差值	无反应	轻反应	重反应
30'	0'	2.63	±0.58	-1.6	7	3	—
25'	发 80'	2.81	±0.52	-0.6	8	2	—
20'	发 120'	2.83	±0.56	-0.8	8	2	—
15'	发 150'	2.54	±0.62	-0.8	8	2	—
10'	发 160'	2.56	±0.79	-1.1	8	2	—
0'	发 180'	2.73	±0.71	-0.9	8	2	—

表 3 仪器光轴垂直发散 30'—0' 与水平会聚 0'—60' 之双变量值组之实验结果

光轴变化		测距精度误差		融合频率	自我感觉		
垂直	水平	平均数	标准差	差值	无反应	轻反应	重反应
30'	0'	2.63	±0.58	-1.6	7	3	—
25'	会 20'	2.25	±0.74	-1.5	7	3	—
20'	会 40'	2.06	±0.84	-0.6	8	2	—
15'	会 45'	2.44	±0.81	-0.9	7	3	—
10'	会 50'	2.48	±0.60	-0.9	7	3	—
0'	会 60'	2.46	±1.41	-1.2	8	2	—

从表 2 中看出,在光轴垂直发散逐渐减小,而水平发散逐渐增大的条件下:测距精度误差平均数之平均值为 2.68 ± 0.11 ;被试者的闪光融合频率均有所下降;被试者的自我感觉报告表明,在各测试点上均有轻反应者,占总数的 20—30%,但所有被试者都能完成实验。

从表 3 中可以看出,在光轴垂直发散逐渐减小而水平会聚逐渐增大的条件下:测距精度误差平均数的平均值为 2.39 ± 0.18 ;闪光融合频率值亦有所下降;被试者的自我感觉轻反应人数亦占被试者人数的 20—30%,所有被试者均能完成实验。

3. 实验 II

根据实验 I 的结果,令仪器垂直发散为 $20'$, $15'$, $10'$ 和 $0'$,水平发散为 $0'$, $70'$, $90'$, $120'$,以及水平会聚为 $0'$, $20'$, $30'$, $40'$,构成若干双变量值组。

实验结果见表 4 和表 5。

表 4 仪器光轴垂直发散 $20'$ — $0'$ 与水平发散 $0'$ — $120'$ 之双变量值组之实验结果

光轴变化		测距精度误差		融合频率	自我感觉		
垂 直	水 平	平均数	标准差	差 值	无 反 应	轻 反 应	重 反 应
$20'$	$0'$	1.44	± 0.54	0.2	10	—	—
$15'$	发 $70'$	1.62	± 0.72	-0.5	10	—	—
$10'$	发 $90'$	1.99	± 0.54	-0.4	10	—	—
$0'$	发 $120'$	1.58	± 0.47	0	10	—	—

表 5 仪器光轴垂直发散 $20'$ — $0'$ 与水平会聚 $0'$ — $40'$ 之双变量值组之实验结果

光轴变化		测距精度误差		融合频率	自我感觉		
垂 直	水 平	平均数	标准差	差 值	无 反 应	轻 反 应	重 反 应
$20'$	$0'$	1.44	± 0.54	0.2	10	—	—
$15'$	会 $20'$	1.66	± 0.51	-0.5	10	—	—
$10'$	会 $30'$	2.00	± 0.30	-0.2	10	—	—
$0'$	会 $40'$	1.80	± 0.70	-0.1	10	—	—

从表 4 和表 5 中可看出,在光轴垂直发散 $20'$ — $0'$,水平发散 $0'$ — $120'$,及水平会聚 $0'$ — $40'$ 之间双变量变化时,测距精度误差均在 2 个理论误差之内,平均值为 1.70 左右;所有被试者的闪光融合频率在实验前后均基本无变化;所有被试者在此区间内的全部测试点上均无不适应反应。

4. 实验 III

根据实验 I、II、III,选取垂直发散 $40'$,水平变化为 $0'$;垂直发散 $10'$,水平会聚 $80'$;垂直发散 $15'$,水平发散 $180'$ 的三组双变量值组进行测试,实验结果见表 6。

从表 6 可以清楚地看到,在所选的诸测试点上被试者的测距精度误差均在 3 个理论误差以上,显然较大;实验后的闪光融合频率值有下降;被试者的自我感觉中出现重反应。值得注意的是,在垂直发散 $40'$,水平变化为 $0'$ 的条件下,有 40% 的被试者因自我感觉

表 6 仪器光轴垂直发散40', 水平变化0', 垂直发散 10', 水平会聚80', 垂直发散15', 水平发散180'之三组双变量值组之实验结果

光轴变化		测距精度误差		融合频率	自我感觉		
垂 直	水 平	平均数	标准差	差 值	无 反 应	轻 反 应	重 反 应
*40'	0'	3.95	±2.02	-1.6	1	3	7
10'	会80'	3.27	±1.60	-1.0	4	4	2
15'	会180'	3.45	±0.81	-1.3	1	4	5

* 此项实验有四人因反应太重未能完成实验。测距精度误差平均数及融合频率差值均为六人之结果。

太重而不得不退出实验。

四、讨 论

1. 关于实验安排及经验公式

本研究首先确定仪器光轴垂直发散对测距精度及对视觉疲劳的影响, 然后分别确定在一定垂直发散范围内, 水平会聚和水平发散变化的双变量影响。

已有的资料表明^[4], 人眼垂直方向的融合力远小于水平方向的融合力, 亦即人眼对光轴垂直发散的适应能力较小。国外生产之双目光学仪器的光轴不平行度公差中, 对垂直发散要求较严, 其理由似乎就在于此。

根据实验 I 的结果, 我们可认为垂直发散 20', 水平变化 0' 为光轴垂直变化的适宜点; 而垂直发散 30', 水平变化 0' 为光轴垂直变化的极限值点。据此, 我们安排其后的各项实验。

我们采用双变量值组进行实验是为了更接近于仪器的实际状态。仪器光轴的垂直失调往往同时伴有一定的水平失调。反之亦然。

根据实验 II 和实验 IV 的结果, 用 Apple- II (plus) 型电子计算机按最小二乘法求经验公式:

在本实验中设垂直发散为 X , 水平变化为 Y 。

$$\text{根据表 2 结果求得: } Y = 184.22 + 0.10X - 0.19X^2 (0 \leq X \leq 30) \quad (1)$$

$$\text{根据表 3 结果求得: } Y = 59.54 + 0.01X - 0.06X^2 (0 \leq X \leq 30) \quad (2)$$

$$\text{根据表 4 结果求得: } Y = 121.43 + 0.07X - 0.29X^2 (0 \leq X \leq 20) \quad (3)$$

$$\text{根据表 5 结果求得: } Y = 40.20 + 0.01X - 0.10X^2 (0 \leq X \leq 20) \quad (4)$$

2. 关于仪器光轴不平行度的极限值范围和舒适值范围

制定工效学标准应考虑效率、安全、健康与舒适几个方面。就双目光学仪器光轴不平行度的标准而言, 所谓效率, 指的是对目标观测的准确与速度, 显然, 测距精度是效率指标, 所谓安全, 健康与舒适, 则主要是保护观测者的视觉能力, 本研究中的指标是闪光融合频率和被试者自我感觉报告。

制定标准时, 一般应给出极限值范围和舒适值范围。在极限值范围内, 观察者尚可工作, 但超过这个范围, 效率、安全、健康都会受到损害。而舒适值范围则是比较理想的, 在

此范围内,效率、安全、健康都处于优良状态。

根据实验结果,我们认为,双目光学仪器的不平行度的极限值范围应是公式 $Y = 184.22 + 0.10X - 0.19X^2$ ($0 \leq X \leq 30$) 和公式 $Y = 59.54 + 0.01X - 0.06X^2$ ($0 \leq X \leq 30$) 所给定的范围;舒适值范围则是公式 $Y = 121.43 + 0.07X - 0.29X^2$ ($0 \leq X \leq 20$) 和公式 $Y = 40.20 + 0.01X - 0.10X^2$ ($0 \leq X \leq 20$) 所给定的范围(根据公式(1)、(2)、(3)(4)绘成图4)。

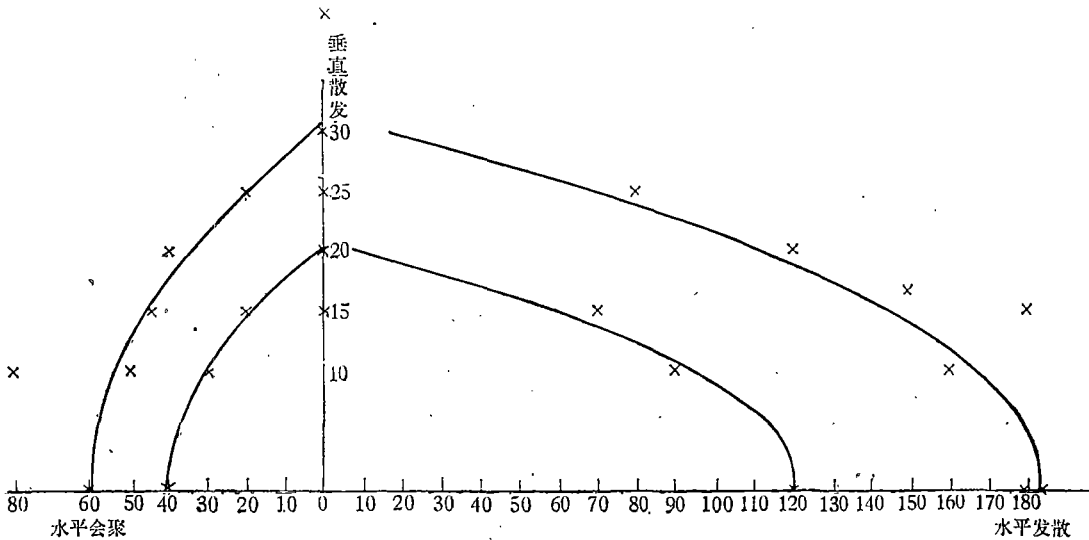


图4 仪器光轴不平行度的极限值范围和舒适值范围

应用中,选取两个范围中的任一点即可定出允许公差值。如舒适值范围上,取垂直发散15',则水平发散为57.66'($\approx 60'$),水平会聚为18.24'($\approx 20'$)。

实验Ⅳ中各测试点均在极限值范围之外,其结果是测距精度误差加大,视觉疲劳明显增加,以至有的被试者无法完成试验。

3. 关于光轴变化与测距精度的关系

此问题以往报道较少。综合本研究之结果可以认为,光轴的变化引起测距精度的变化,并且有以下规律:

1) 当仪器光轴水平变化为0',垂直发散从0'增至25'时,测距精度变化不大,均在2个理论误差之内;而从25'增至30'时,测距精度误差则增至2个理论误差以上,再增至40'时,测距精度误差则增至3个理论差以上。

2) 在极限值范围,各测试点之测距精度误差的平均值为 2.68 ± 0.11 和 2.39 ± 0.18 ;在舒适值范围,各测试点之测距精度误差平均值为: 1.06 ± 0.20 和 1.72 ± 0.20 ,均不超过2个理论误差。

3) 超出极限值范围的各测试点的测距精度误差都较大(大于3个理论误差)。

显然,光轴在垂直方向和水平方向上的变化会引起测距精度误差的变化。这是一个涉及深度视觉,生理光学的机制问题,值得从理论上进一步探讨。

4. 关于光轴变化与视觉疲劳问题

前人均以视觉疲劳为指标来确定光轴不平行性的范围⁽³⁾⁽⁶⁾,但以被试者自诉感觉为

依据。本研究用被试者自我感觉报告, 和闪光融合频率为指标。文献上认为^[6] 闪光融合频率变化作为疲劳指标, 对单调性工作是比较敏感的。本研究结果, 闪光融合频率值变化与被试者自我感觉有相当的一致性, 两者随光轴不平行度之变化而变化。在极限值范围上, 闪光融合频率均有下降, 被试者自我感觉报告均有轻反应出现, 在总数的 50% 以内; 而在舒适值范围上, 闪光融合频率基本上无变化, 被试者自我感觉报告亦无任何不适。

五、结 论

1. 本实验给出常温下双目光学测距仪器光轴不平行度极限值范围及舒适值范围。

极限值范围为 $Y = 184.22 + 0.10X - 0.19X^2 (0 \leq X \leq 30)$

$Y = 59.54 + 0.01X - 0.06X^2 (0 \leq X \leq 30)$

舒适值范围为 $Y = 121.43 + 0.07X - 0.29X^2 (0 \leq X \leq 20)$

$Y = 40.20 + 0.01X - 0.10X^2 (0 \leq X \leq 20)$

(X 为垂直变化; Y 为水平变化)。

2. 本实验结果表明, 仪器光轴在一定范围内的有规律变化可引起测距精度误差及视觉疲劳的相应变化。

参 考 文 献

- [1] A. N. 杜德罗夫斯基, 光学仪器理论, 第二卷, 科学出版社, 856页, 1963年。
- [2] П. А. 梅依斯聂耳, 光学仪器构造原理, 机械工业出版社, 213页, 1959年。
- [3] 李京生等, 光学仪器标准化活页第1期, 第1—6页, 1980年。
- [4] 方俐洛等, 中华眼科杂志, 第16卷, 第2期, 第153—157页, 1980年。
- [5] М. А. Остовская, Допустимые Отступления Неравности Оптических Осей Вилочкой. О. Н. П. 10. 1978. У. Д. К. 681752.2
- [6] Pius Baschera et al, Ergonomics №4, 377—385. 1979.

A STUDY OF THE RANGE OF THE OPTICAL AXIS NONPARALLELISM OF BINOCULAR OPTICAL RANGEFINDER

Fang Li-luo, Yu Ji-sheng, Gao Jing

(Institute of Psychology, Academia Sinica)

Abstract

This experiment studied the relationship between the accuracy of range finding, visual fatigue and optical axis nonparallelism of binocular optical rangefinder, in order to provide a basis for setting the standard of vertical divergence, horizontal divergence and horizontal convergence of binocular optical rangefinder. A binocular stereo range finding system was used. 10 adults with normal vision participated in this experiment under normal temperature ($\approx 20^{\circ}\text{C}$) conditions.

The experiment gave the range of limited values and comfortable values of the optical axis nonparallelism of binocular optical rangefinder.

The limited values are $Y = 184.22 + 0.10X - 0.19X^2 (0 \leq X \leq 30)$

$Y = 59.54 + 0.01X - 0.06X^2 (0 \leq X \leq 30)$

The comfortable values are $Y = 121.43 + 0.07X - 0.29X^2 (0 \leq X \leq 20)$

$Y = 40.20 + 0.01X - 0.10X^2 (0 \leq X \leq 20)$

The results showed that changes of optical axis within certain regions can lead to corresponding changes of accuracy of range finding and visual fatigue.