

Н. И. 普契里尼柯夫 著

高射炮射击 指挥仪原理



國防工業出版社

前 言

本書介紹了应用高射炮射击指揮仪射击时的一般原理性知識，并着重說明有关命中問題的如何解決問題。

本書足以能幫助讀者在所述內容的基礎上，了解高射炮射击指揮仪內的傳動綫路，以及从确定目标运动参数和解决命中問題等原則的观点对傳動綫路进行分析。

書中基本上包括了作者本人过去出版的一些著作的內容和近几年来科学研究的一些成果。

書中也涉及到卫国战争年代里所出現的許多新的理論上的探討。其中包括对于远逝的及漸近的目标的射击和确定目标运动参数的精度等問題。

本書所引用的外基綫測远机和測高机的理論，初看起来似已过时。实际上，虽然說測量坐标的仪器已經过时，但这种測量坐标的方法却仍在应用，而且这些方法很可能将不仅仅只用于确定坐标，并且将用来指示目标和計算仪器对其他物体的位移。

气象修正量和彈道修正量的两章是由 A. H. 馬蒙托夫上校写的。

И. 普契里尼柯夫

目 录

前 言

第一章	目标坐标的确定.....	1
§ 1	对运动目标进行射击的原始諸元.....	1
§ 2	在仪器制造中所应用的坐标系.....	3
§ 3	目标直綫坐标的确定.....	7
§ 4	坐标引入中央仪器的方法和引入的精度.....	12
第二章	目标运动参数的确定.....	13
§ 5	关于目标运动参数的一般知識.....	16
§ 6	基本运动参数与目标的坐标 对時間的导数之間的关系.....	18
§ 7	当目标作水平直綫飞行时运动参数对時間的变化.....	23
§ 8	角速度的合理范围.....	32
§ 9	确定目标运动参数的精度.....	42
§ 10	指揮仪灵敏度的概念.....	47
§ 11	高射炮射击指揮仪的瞄准簡图.....	49
第三章	命中問題的解决.....	60
§ 12	目标运动假說.....	60
§ 13	解决命中問題的方法.....	62
§ 14	解决命中問題的几何方法.....	71
§ 15	解决命中問題的解析方法.....	79
§ 16	解决命中問題的近似公式.....	85
§ 17	前置坐标的变化規律.....	90
§ 18	在各种坐标系中仪器对炮連障地距离的計算.....	95
第四章	彈道諸元的确定.....	101
§ 19	彈道射击和彈道諸元的計算.....	101
§ 20	彈道表和彈道图形.....	102
§ 21	彈道关系的近似解法.....	105
第五章	彈道修正量.....	106
§ 22	关于彈道因素变化的一般知識.....	106

§ 23	初速变化修正量.....	103
§ 24	偏流.....	110
第六章	气象修正量	111
§ 25	关于气象修正量的一般知識.....	111
§ 26	空气密度变化修正量.....	111
§ 27	风的修正量.....	113
第七章	其他修正量	117
§ 28	信管装填时间修正量.....	117
§ 29	未加計算的修正量.....	120

第一章 目标坐标的确定

§1. 对运动目标进行射击的原始諸元

火炮射击的任务在于杀伤和击毁目标。这项任务的完成，与射击的条件、火炮的准确性和威力以及目标的种类（运动的或固定的，轮廓大的或轮廓小的）有关。

火炮在发射以前应当瞄准目标，亦即应使火炮的炮膛所处的位置能使平均弹道通过目标。这个位置由两个角度坐标：射角 φ 和方位角 β 来标定（图1）。

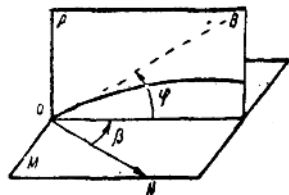


图 1

射角 φ 由火炮炮膛的軸綫 OB 和水平面 M 形成。

方位角 β 由标定方向 ON 和射击平面 P 形成。

此外并以反时針方向做为这两个角度讀数的正方向。

坐标 φ 和 β 可以按照射表得出，或者应用計算仪器算出。

在对运动目标进行射击时，火炮对目标的瞄准就相当复杂。在这种情况下，为了确定射角和方位角，就必须計算某个位于目标航向上的所謂前置点的几何坐标，为此就需要确定目标的运动規律——速度和航向。

全部計算应当在以秒为計量单位的很短的时间內完成。因此，計算仪器（高射炮射击指揮仪）首先应当满足下列兩項要求：1. 解决射击問題时具有很高的准确度；2. 每次

齐射所需諸元的准备時間（工作時間）花費得最少。

下面叙述应用高射炮射击指揮仪射击运动目标的理論基础。当在設計高射炮射击指揮仪时，与这些理論有关的知識，能够幫助設計師自如的选擇解决射击問題的方法。

当研究一些与解决射击問題相关联的問題时，把目标当作一个点。空間內任何一点的位置可用三个独立的坐标来确定。在高射炮兵中，經常使用目标对仪器所在点而言的相对坐标，而有关的坐标也借助于这些仪器（高射炮射击指揮仪、测远机、雷达、音波定位器）来加以測定。

火炮射击陣地的所在点，通常不与仪器的所在点重合。因此，坐标原点（仪器所在点）要轉換为炮陣地的所在点。由仪器引向炮陣地的距离向量叫做直綫視差，而坐标原点对这段距离的轉換称为視差的計算。

在解决高射炮的射击問題时，目标的坐标就是原始数据。这一問題的解决按以下各个步驟进行：

- 1) 确定目标的坐标；
- 2) 坐标的轉換；
- 3) 解决命中問題；
- 4) 确定彈道諸元和修正量；
- 5) 將諸元傳遞到火炮陣地。

目标的坐标可用以下的仪器来測定：

- 1) 光学仪器（瞄准鏡和测远机）；
- 2) 雷达装置；
- 3) 声学仪器（音波定位器）。

第一种方法在确定角度坐标时最为精确，第二种方法在确定直綫坐标时最为精确。第二种方法的缺点，在于雷达可能被敌人发射的电波所干扰。

視目標能見度的條件，可能有兩種射擊情況：對可見目標的射擊和對不可見（在夜間抑或白天）目標的射擊。

在對可見目標進行射擊時，目標的坐標借助於光學儀器或瞄準環與雷達一起測定之。

不可見目標的坐標可用音波定位器或雷達確定。在精確程度上這兩種方法有著顯著的差別：用雷達測定的角度坐標較用聲學方法測定的結果要精確20~30倍。因此，音波定位器現在已經不再應用。

測量所得的目標坐標傳給高射炮射擊指揮儀，在指揮儀中完全地解決了射擊問題；在解決了命中問題之後，即可求得目標的前置坐標，然後根據這些坐標來確定火炮瞄準的彈道諸元和引信（信管）裝定數。這些諸元用同步傳動裝置或電話傳至火炮。

在應用複雜的儀器解決射擊問題的過程中，就要相繼地累積起誤差，這些誤差稱為**儀器誤差**。要想完全避免這些誤差是不可能的，但是可以應用簡化解決問題的過程的方法或如果可能的話用提高儀器精度的方法，來減小這些誤差的數值。

除了儀器誤差之外，尚存在有與儀器本身無關的誤差。對它們進行分析，就可能決定用於測量坐標和解決整個射擊問題的儀器（高射炮射擊指揮儀）的合理製造精度。

§2. 在儀器製造中所應用的坐標系

眾所周知，在數學中有多種的坐標系；其中應用於高射炮射擊指揮儀內的，是那些在解決射擊問題時，能夠把與確定各種諸元相聯系的數學關係最簡單的表達出來的

坐标系。在解决问题的每一阶段，应用着不同的坐标系，这就需要进行坐标的转换，亦即由一个坐标系转换到在该阶段能更为顺利地解决问题的另一个坐标系。

任何坐标系都是三个独立坐标的组合，其中一些是直线坐标，另一些是角度坐标。原则上这些角度坐标和直线坐标可能有三种组合：

- 1) 一个直线坐标，两个角度坐标；
- 2) 两个直线坐标，一个角度坐标；
- 3) 三个直线坐标。

既然，坐标是对一个公共原点而取的，则由三个角度坐标构成的组合是不可能有的。角度坐标可在不同的平面内测量；因此，属于上述三种组合的坐标系，其数目是很多的。

某些坐标系已有了确定的名称：球面的，直角的等等。许多坐标系没有名称。我们在以后将采用括有此系统各个坐标字母的圆括弧如 (a, b, c) ，来表示这些没有名称的坐标系，并称之为“ (a, b, c) 系统”。

球面坐标系 (β, ε, D)

假定仪器位于 O 点 (图 2)，而目标位于 A 点。经过 O 点做三个平面：

I —— 水平面 (仪器所在的水平面)，

II —— 经过任意选定的标定线 N 的铅直面，

III —— 经过 A 点 (目标) 的铅直面。

居于平面 II (标定线) 和平面 III (目标) 之间的夹角

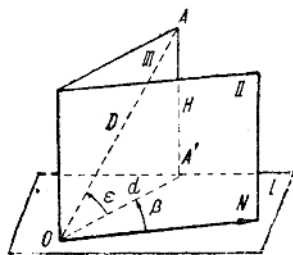


图 2

β ，称为目标的现在方位角。

、在平面Ⅲ内由仪器的水平面到目标线 OA 所测得的角度 ε ，叫做现在炮目高低角。

位于目标线上，并表示目标到仪器间的距离的线段 OA ，叫做斜距离或距离 D 。

在高射炮兵中大多采用指北或指南的方向作为标定方向。

(β, ε, D) 系统叫做球面坐标系。在确定目标的坐标和解决命中问题时，几乎在所有的高射炮射击指挥仪中，都采用球面坐标系。

锥形坐标系 (β, ε, H) 由 A 点到仪器水平面的最短距离叫做目标的高度，并以 H 表示之（图 2）。如果在球面坐标系中用 H 来代替 D ，则可得出一个新的坐标系——锥形坐标系 (β, ε, H) 。高度 H 与距离 D 之间的关系，可以用下式确定：

$$H = D \sin \varepsilon. \quad (1)$$

锥形坐标系同样应用于测量目标的坐标和解决命中问题。

柱形坐标系 (β, d, H) 斜距离 D 在仪器水平面上的投影 OA' 叫做水平距离 d （图 2）。锥形坐标系中的坐标 ε 被坐标 d 代替就形成柱形坐标系。由这一个系统到另一个系统的转换，由解以下两个关系式来实现：

$$\left. \begin{aligned} d &= H \operatorname{ctg} \varepsilon \\ H &= d \operatorname{tg} \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

柱形系统与球面系统的关系，由下面的关系式来确定：

$$\left. \begin{aligned} d &= D \cos \varepsilon \\ H &= D \sin \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

在很多种现代的高射炮射击指挥仪中，在解决命中間

題时都采用上面所討論的坐标系。

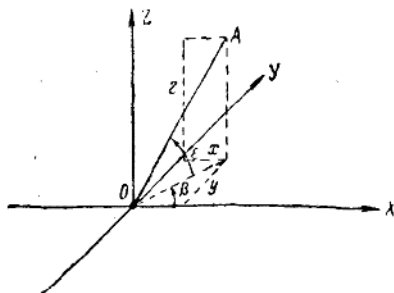


图 3

直角坐标系

(x, y, z) 坐标 x 、 y 和 z 乃是自目标到互相垂直的坐标平面的相应距离 (图 3)。

坐标平面 (X

Z) 一般与标定方向重合。直角坐标与以前討論过的坐标之間的关系，由以下的数学关系式确定：

与柱形坐标系的关系

$$\left. \begin{aligned} x &= d \cos \beta \\ y &= d \sin \beta \\ z &= H \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

与球面坐标系的关系

$$\left. \begin{aligned} x &= D \cos \varepsilon \cos \beta \\ y &= D \cos \varepsilon \sin \beta \\ z &= D \sin \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

与錐形坐标系的关系

$$\left. \begin{aligned} x &= H \operatorname{ctg} \varepsilon \cos \beta \\ y &= H \operatorname{ctg} \varepsilon \sin \beta \\ z &= H \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

在計較視差的高射炮射击指揮仪中，当解决命中問題时多半应用直角坐标系。

其他的坐标系 所有其他的坐标系在高射炮兵中很少应用。可以把已討論过的坐标系进行轉換而得到其他的坐标系。

在某些情况下，仅須确定目标的方向，为此只須知道两个角度坐标即可。实际上也会遇到这种角度的坐标系(α, μ)

(图4)，即在这种坐标系中，坐标 μ 乃是瞄准平面 A_0ON 的傾角。另一个坐标 α 确定了瞄

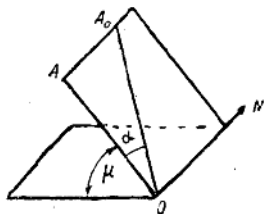


图 4

准綫 OA_0 在此平面內的位置。平面 A_0ON 通过目标且繞 ON 方向轉动。这种系統应用于所謂屋脊式測高机中。

§ 3. 目标直綫坐标的确定

目标的直綫坐标用光学測远机（或立体測高机）、外基綫測远机（測高机）或无綫电測距仪确定之。在大多数的炮兵无綫电仪器中，无綫电測距仪乃是同时用来确定目标角度坐标的雷达的組成部分。

外基綫測远机包括水平基綫測远机、垂直基綫測远机和屋脊式測高机。

水平基綫測远机 水平基綫測远机的作用原理如下：在地面上選擇 O 和 O_1 两点（图5），使其相联的基綫 $B(OO_1)$ 近似地垂直于敌机可能出現的方向。

用来測量目标方位角和高低角的測角仪器安置于这两点上。目标的位置 A 可由三个坐标： β 、 ε 和 d 确定，其

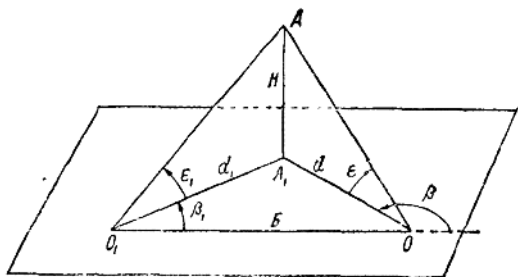


图 5

中 d ——目标对基准点 O 的水平距离。按照已知的基线 B 和测得的角度 β 及 β_1 ，可以求得水平距离 d ：

$$d = \frac{B \sin \beta_1}{\sin (\beta - \beta_1)} \quad (7)$$

如必要时，高度可由三角形 OAA_1 求得：

$$H = d \operatorname{tg} \varepsilon$$

或

$$H = \frac{B \sin \beta_1 \operatorname{tg} \varepsilon}{\sin (\beta - \beta_1)} \quad (8)$$

水平距离的误差 δd 取决于基线的误差 δB 及方位角的误差 $\delta \beta$ 和 $\delta \beta_1$ 。其中每项误差均影响距离的测量精度。

基线的误差招致了距离的某一部分误差：

$$\delta d_B = f_1 (\delta B)。$$

同样，角度 β 和 β_1 的测量误差也使距离产生误差：

$$\delta d_\beta = f_2 (\delta \beta)；$$

$$\delta d_{\beta_1} = f_3 (\delta \beta_1)。$$

总合的均方误差 δd 以每个部分误差的平方和再开方

的形式表示:

$$\delta d = \sqrt{(\delta d_E)^2 + (\delta d_\beta)^2 + (\delta d_{\beta_1})^2}。 \quad (9)$$

以 d (公式 7) 分別对变数 β 和 β_1 微分, 并且把誤差 δd 当做微分 dd , 可以求得每一部分誤差:

$$\delta d_\beta = -d \operatorname{ctg}(\beta - \beta_1) \delta \beta;$$

$$\delta d_{\beta_1} = d \frac{\sin \beta}{\sin \beta_1 \sin(\beta - \beta_1)} \delta \beta_1;$$

$$\delta d_E = d \frac{\delta B}{B}。$$

基綫的誤差与其他誤差比較起来极其微小, 因此可以将其忽略不計。根据关系式 (9), 可以把距离的总合誤差表示为下列形式:

$$\delta d = d \sqrt{\operatorname{ctg}^2(\beta - \beta_1) (\delta \beta)^2 + \left(\frac{\sin \beta}{\sin \beta_1} \right)^2 \frac{(\delta \beta_1)^2}{\sin^2(\beta - \beta_1)}}。$$

相对誤差 $\frac{\delta d}{d}$ 則为

$$\frac{\delta d}{d} = \frac{1}{\sin(\beta - \beta_1)}$$

$$\sqrt{\cos^2(\beta - \beta_1) (\delta \beta)^2 + \frac{\sin^2 \beta (\delta \beta_1)^2}{\sin^2 \beta_1}}。 \quad (10)$$

最大誤差位于視差角 $(\beta - \beta_1)$ 的很小数值范围内。

水平基綫測远机的缺点是: 当目标的位置在基綫平面之内时, 距离就无法測定, 因为此时关系式 (7) 具有不定的形式。

垂直基綫測远机应用于海防炮兵中。在海岸上选择

一比海平面高出 h 的一点 O (图 6)。用来测量目标线 OA

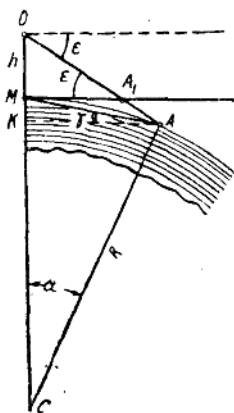


图 6

与水平面間形成的傾斜角 ε 的測角儀安置在這一點上。當距離很大時因地球為球形，會影響測量精度，所以應該求三角形 OMA_1 的邊 MA_1 來代替求真正的水平距離 KA 。

由三角形 OKA 和三角形 KMA 得出：

$$d = KA = (MK + h) \operatorname{ctg} \varepsilon;$$

$$MK = KA \operatorname{tg} \gamma.$$

因為圓弧 MA 可以用地球的半徑 R 表示，則

$$\gamma = \frac{1}{2} \alpha = \frac{1}{2} \operatorname{arc} \sin \frac{d}{R}.$$

由此

$$d = \left[h + d \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} \operatorname{arc} \sin \frac{d}{R} \right) \right] \operatorname{ctg} \varepsilon.$$

比值 $\frac{d}{R}$ 非常小，故可取

$$\operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} \operatorname{arc} \sin \frac{d}{R} \right) = \frac{d}{2R}.$$

由此

$$d = \left(h + \frac{d^2}{2R} \right) \operatorname{ctg} \varepsilon. \quad (11)$$

確定水平距離 d 時的誤差取決於角度 ε 和高度 h 的測量精度。

誤差的計算方法，与前面所敘述的水平基綫測远机的誤差計算方法相似。

屋脊式測高機 乃是 O_1 和 O_2 兩點的組合系統；其中一點高出另一點的高度為 $\Delta H = A'_1C$ (圖 7)。

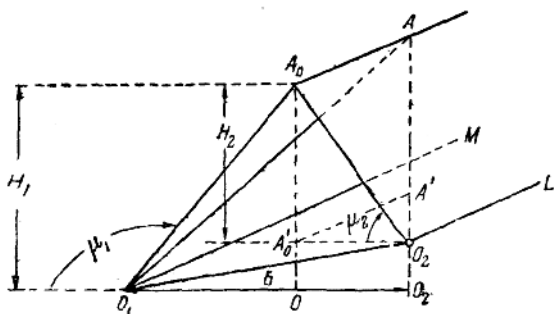


Figure 7

在此二点上瞄准鏡应这样放置，即使其瞄准平面始終繞垂直于基綫 B 的标定綫 O_1M 和 O_2L 轉动。两瞄准平面沿通过目标 A 的水平直綫 A_0A 相交。

瞄准平面的傾角由角度 μ_1 和 μ_2 确定之。

由三角形 $A'_0A_0O_2$ 和 O_1A_0C 可得:

$$A'_0 O_2 = A'_0 A_0 \operatorname{ctg} \mu_2;$$

$$O_1 C = -A_0 C \operatorname{ctg} \mu_{10}$$

将以上两个等式相加, 并且注意到 $A_0 C = A'_0 A_0 + \Delta H$, 可得

$$O_1 O'_2 = A'_0 A_0 \operatorname{ctg} \mu_2 - A'_0 A_0 \operatorname{ctg} \mu_1 - \Delta H \operatorname{ctg} \mu_1;$$

或

$$B = H_2 \operatorname{ctg} \mu_2 - H_3 \operatorname{ctg} \mu_1 - \Delta H \operatorname{ctg} \mu_{10}$$

对 H_2 解此方程式, 可以得到:

$$\left. \begin{aligned} H_2 &= \frac{B + \Delta H \operatorname{ctg} \mu_1}{\operatorname{ctg} \mu_2 - \operatorname{ctg} \mu_1} \\ \text{又因为 } H_1 &= H_2 + \Delta H, \text{ 故} \\ H_1 &= \frac{B + \Delta H \operatorname{ctg} \mu_2}{\operatorname{ctg} \mu_2 - \operatorname{ctg} \mu_1} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

确定高度时的误差取决于角度 μ_1 和 μ_2 的测量精度。在个别的情况下, 当高出的高度 ΔH 等于零时, $H_1 = H_2 = H$; 此时

$$H = \frac{B}{\operatorname{ctg} \mu_2 - \operatorname{ctg} \mu_1} \quad (13)$$

屋脊式测高机误差的计算方法, 与在水平基线测远机内所应用的方法相似。

所有外基线测远机和测高机的缺点是:

1) 在这些系统中指示目标相当困难, 为了可靠地指示目标起见, 必须有复杂的控制设备;

2) 目标的角度坐标由辅助观测哨向主观测哨的连续传递是用同步电传动装置来进行的, 这就会使整个系统的价格增高和构造复杂。

这些缺点, 妨害了在高射炮兵中广泛地应用外基线测远机。

§ 4. 坐标引入中央仪器的方法和引入的精度

目标的角度坐标用雷达或瞄准镜装置测定, 这些仪器的结构, 在专门的书籍中叙述。本节只讨论目标的角度坐标引入于高射炮射击指挥仪中的方法。

用雷达或光学测远机所测得的目标坐标, 以口头或同步电传动装置传到高射炮射击指挥仪中。

为高射炮射击指挥仪所接受的坐标数值，用装在称为受信仪转子上的指示器（指针）的位移来表示。指示器的转矩不大，约为几十克·公分，因此，这些数据实际上不可能自动地直接传递到其他机构中。故须用手摇传动装置使刻度盘对正的方法，或借助于伺服电动机（用接触装置工作）来把所得到的坐标引入于高射炮射击指挥仪中。

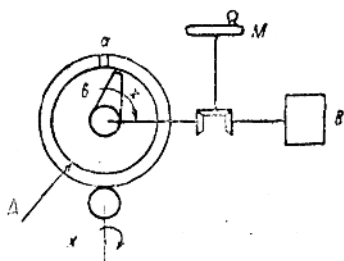


图 8

刻度盘对正法的实质如下：环形刻度盘 A（图 8）被安置在 x 角的位置，该角度正比于由外面引入仪器的数值 X 。转动手轮 M 使指针 b 位于与刻度盘 A 的指标 a 对正的位置上。手轮和与其相联的全部传动装置的转角，即正比于引入仪器的数值 X 。假如使指针 b 与指标 a 刚性联接，则数值 X 将连续地引入于仪器 B 中。但是，为了克服仪器 B 中各机构的阻力，刻度盘 A 上的转矩是不够的，因此就显出了利用手轮的对正传动装置的必要性。

指针 b 对指标 a 偏斜的角度，表示了对正的误差。当工作时对正误差的大小和符号经常在改变。

在对正指标时将出现系统误差和偶然误差。正如实验所证明的，后者遵循高斯定律并以均方误差表示之。

坐标的引入精度，取决于仪器的对正刻度盘和瞄准传动装置的结构以及引入坐标时参与运动的仪器惯量。

由于引入坐标的机构构造的不完善而引起的误差，可