

## 枪弹头痕迹自动比对方法的研究

本题提供的数据中涉及的枪支与枪弹主要是 77 制式手枪及与之匹配的枪弹。

枪弹发射后，弹头上留下了枪管膛线（参见示意图 1）的擦痕痕迹。枪管有 4 条凸膛线共 8 个棱，分为 4 个主棱和 4 个次棱。所以在弹头上留下的痕迹分为 4 片主棱线的痕迹和 4 片次棱线的痕迹。由于枪弹通过枪管时只旋转了一个很小的角度，擦痕分布成斜线状（与圆柱母线有一个夹角），每一片痕迹的主要部分都显示为不同大小和不同深浅的线条（如图 2）。

在公安实践中，要根据弹头上的痕迹来判断两个弹头是否为同一支枪发射的。**传统方法**是通过显微镜肉眼观察，比对两个弹头上的线条型痕迹，看这些线条的粗细分布是否吻合。根据实践经验，对同一支枪发射的两个弹头，4 个主棱中通常有一至二个吻合得比较好；而 4 个次棱中通常可以有 2 至 3 个吻合比较好。

传统做法有两个弱点：一是效率极低，因为很多情况是“似是而非”的，所以对多个弹头（例如几十、几百个）的比对几乎无法进行；二是弹头样本不易保存，容易发生锈蚀损坏等情况。

现代高精度数据采集设备为**自动比对方法**创造了条件。**自动比对方法**的过程分为两步：

第一步，通过光学设备（如图 3，图 4 示意）采集弹头上 8 片痕迹的 3 维数据，保存为 8 个文件。测量的基准平面取为固定在测量设备上的空间直角坐标系的  $xoy$  平面，沿  $x$  轴方向和沿  $y$  轴方向的测量步长均为 2.75 微米， $z$  的测量精度为 1 微米，数据的单位是毫米。由于数据量很大，本题只提供对应 4 条次棱的数据，其顺序统一按照一个方向排序，例如按照从弹头的底部向头部看去为逆时针方向排序。这些数据文件可以用 Matlab 的**数据导入**打开，也可以用写字板打开。每个文件的数据有 40 多万行，每行有 3 列。每一行的三个数据对应弹头表面上一个点的空间坐标  $(x, y, z)$ ，第 1 列对应  $x$  坐标；第 2 列对应  $y$  坐标；第 3 列对应  $z$  坐标。基准平面在弹头痕迹的附近，测量时应调节弹头的姿态使得：（1）弹头圆柱中心线尽量平行于基准平面；（2） $y$  轴尽量平行于擦痕的走向。弹头的姿态靠人工调节，所以上述的两个平行都不是准确的平行。此外，这 4 条次棱的数据是分 4 次测量的，所以它们只能在 4 个独立的坐标系中分别显示它们的图像，没有一个参照系能使它们组合成一个整体图像在一个坐标系中显示。

第二步，采用适当的方法，通过电脑比对，判别一个弹头与样本弹头的相似程度，以便确认发射该弹头的枪支。这个问题很实用，但要求达到较高的准确性就很困难。希望研究生们研究下面几个问题：

- 1、在光学设备上采集弹头上痕迹的 3 维数据时，用于采集数据的光源和数据采集仪器是固定不动的，光源在被测弹头的侧上方，感光器在弹头的正上方；弹头由人工固定在支架上，可以由人工调节该弹头的位置和姿态（姿态是指弹头在空间的姿势或状态，通常与转动有关）。人工调节很难使两个弹头在同样位置和同样姿态情况下被测量，从而会造成测量误差。通常会造成 0.03mm 左右的平移误差和  $0.2^\circ$  的转动误差。**第一个问题是：**如何处理由位置和姿态造成的测量误差，使得两个弹头可以尽量在相同位置和相同姿态的情况下进行比对。（这里假设弹头的直径为 7.90mm，长度约为 12mm）
- 2、弹头表面的损伤、锈迹、油斑、杂质物及痕迹生成的随机性，会造成数据误差和噪声。**第二个问题是：**采取怎样的方法去消除这些误差和噪声。
- 3、文件名以 77 开头的 12 个文件分别是 6 支枪发射的 12 个弹头（每支枪发射 2 个弹头）的次棱部分的测量数据，每个文件包含有 4 个以 c 开头的次棱数据子文件。数据文件名中的 t1 和 t2 分别表示对应同一支枪的 2 个弹头，其他数字是枪支的编号；子文件名中的 c1, c2, c3, c4 分别为同一个弹头的 4 个次棱按固定顺序的编号。**第三个问题是：**
  - （1）依据这些数据，你们认为怎样的特征可以用于比对；并给出提取这些特征的方法。
  - （2）依据这些数据，你们认为采用数据的哪一部分用作比对，其效果比较好。
  - （3）给出完整的比对方案、算法，并在电子版附件中给出程序。
- 4、文件名以 t 开头的 22 个文件分别是另外 11 支枪发射的 22 个弹头（每支枪发射 2 个弹头）次棱部分的测量数据，每个文件包含有 4 个以 c 开头的次棱数据子文件，子文件名中的 c1, c2, c3, c4 的意义同上。**第四个问题是：**请你们，
  - （1）用解决第三个问题的方法给出这 22 个弹头痕迹两两之间的相似程度，并列表表示；
  - （2）根据（1）的结果，用列表的方式给出每个弹头按相似度由高到低给出与之相似的前 5 位的弹头文件号。

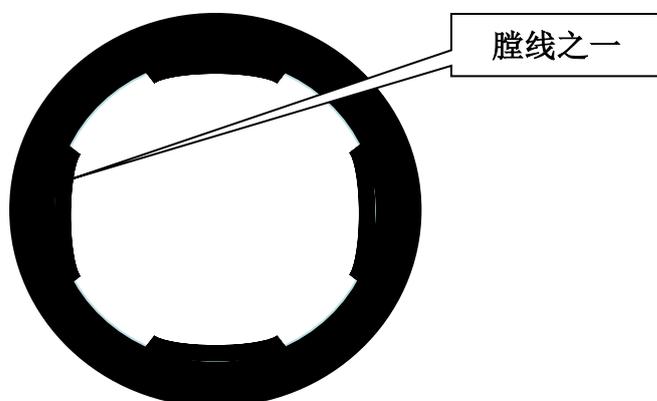


图 1：枪管截面的膛线示意图



图 2: 某一次棱的痕迹放大照片

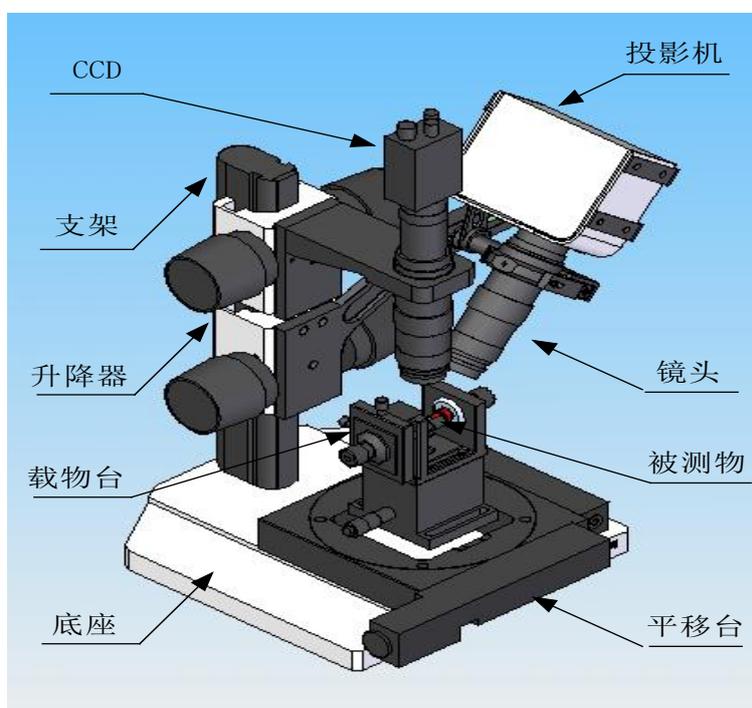


图 3: 数据采集的机械与光学装置部分示意图

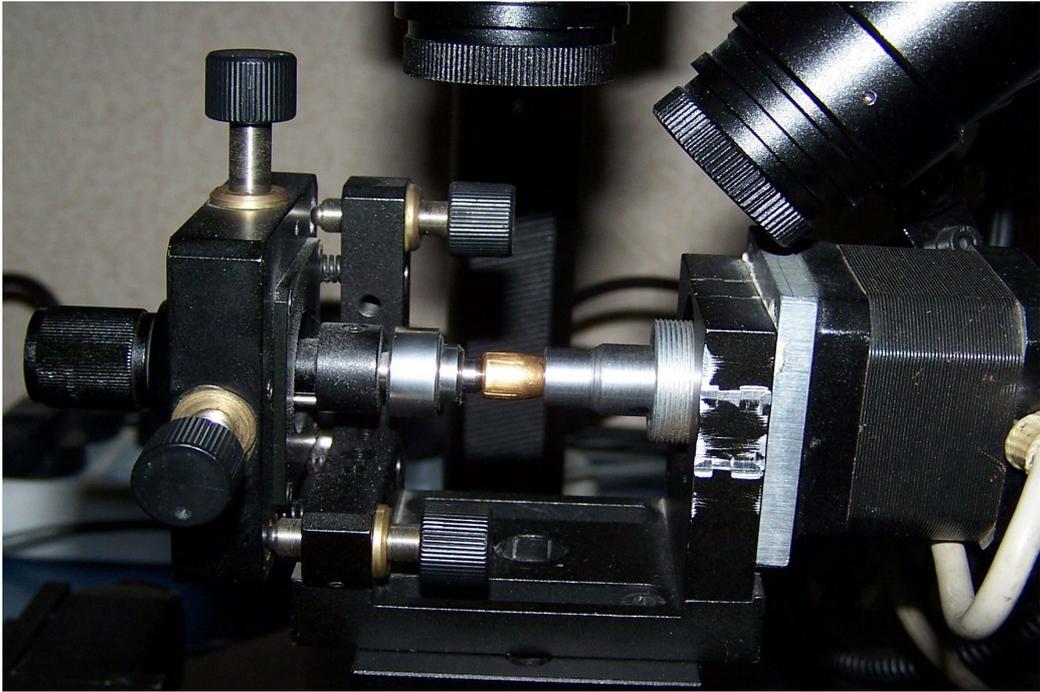


图 4：测量台部分的手动调节装置