

# 中子活化分析 在刑侦技术中的应用

(苏) П·А·瓦加诺夫 В·А·卢克尼茨基著

3.4

群众出版社

**中子活化分析在刑侦技术中的应用**

【苏】 П.А.瓦加诺夫 著 严克勤 张焕文 译  
B.A.卢克尼茨基

---

群众出版社出版 新华书店北京发行所发行

山西新华印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7.5印张 160千字

1984年8月第1版 1984年8月山西第1次印刷

---

统一书号：13067·89 定价：0.90元

**(内部发行)**

---

## 内 容 简 介

中子活化分析是一门新兴的核科学分析技术，起源于本世纪三十年代，六十年代用于刑事侦查技术检验。它的优点是灵敏度高，可靠性好，速度快，痕量分析水平可达到 $10^{-9}$ — $10^{-12}$ 克。在刑侦技术中用它鉴定毛发、指纹、毒物、枪弹、麻醉品、酒精饮料以及仿冒艺术品、古钱等，已发挥了巨大威力。在工农业、医疗卫生、环境保卫、地质勘探、考古等部门也得到广泛应用。

本书用20%的篇幅扼要介绍中子活化分析的原理；用80%的篇幅列举大量有代表性的案例，说明如何运用这种技术，并提供了许多经验数据。基本上是一本科普读物。

本书可供公检法工作人员、政法院校师生和核物理工作者阅读参考。

## 目 次

序 言.....	( 1 )
微量元素成分是待检物体的“身分证” .....	( 5 )
利用中子测定微量元素.....	( 19 )
中子与刑侦技术中的同一认定问题.....	( 45 )
毛发的微量元素成分能否代替指纹鉴定.....	( 68 )
中子与司法毒物学.....	(101)
考查历史人物死亡原因的“案例” .....	(121)
中子与司法弹道学.....	(140)
中子与仿冒艺术品.....	(169)
中子与古钱学.....	(199)
利用中子侦查非法酒精饮料、药品与麻醉品.....	(212)
代跋：用中子“透视”可疑物体.....	(223)
参考文献.....	(226)

## 序 言

在资本主义制度下，犯罪现象是一种不可避免的社会弊病。各资本主义国家的犯罪率与犯罪规模正在不断扩大。这是资本主义社会危机造成的必然后果。

无论就犯罪案件的绝对数字，还是就其增长速度而言，占第一位的是美国。联邦德国的犯罪率也在急剧增长：一九五四年登记的案件有1,432,967起，一九七〇年为2,413,586起，一九七五年为2,919,890起；抢劫案件的增长尤为迅速，自一九五四年至一九七五年共增加了三倍半。在英国（包括威尔士），一九四六年登记的严重犯罪案件有478,394起，一九七〇年则为1,555,995起，一九七五年达2,105,631起。意大利的发案率在25年内增加了三倍〔17〕。

资本主义国家的统计人员和西方犯罪学专家有时也承认西方犯罪率高。资本主义国家无力制止犯罪率增长，首先因为其本质是反人民的。但他们却企图用种种理由来为这种现象辩解。理由之一，他们诡称，犯罪率高是因为在刑事侦查中广泛应用了现代科技成果。资本主义国家拨出巨款，以便在刑侦部门推广最新科技成就，招聘物理学、化学、生物学、数学及其它科学领域的专家进行刑侦技术检验工作。这些措施有时的确取得了一定的成绩。

然而应当指出，积极利用各门科学成果来调查案件，正

是刑侦技术本身的发展规律〔8〕。在体现这一规律时，起重要作用的是刑侦技术，因为刑侦技术是应用自然科学、技术科学等最新成果的主要渠道之一。例如，尤·托尔瓦特在其名著《刑侦技术一百年》中详尽介绍了各门自然科学对刑侦技术所起的作用〔20〕。

值得提出的是，青年时代的卡尔·马克思就注意到了在犯罪侦查学中利用自然科学知识的重要性。一八四三年三月，燕妮·冯·威斯特华伦给未婚夫卡尔·马克思写信，请他把玛丽·拉法尔的回忆录寄给她。指控拉法尔毒害自己丈夫的案件，欧洲各国的报刊曾广为报导。卡尔·马克思和燕妮·冯·威斯特华伦对这次“划时代的诉讼”之所以感兴趣，既不在于犯罪的性质，也不在于被告人的身份。玛丽·拉法尔的罪行在当时之所以成为轰动世界的案件，是因为运用了新的侦破方法，以及在法庭审理中利用了化学知识〔64〕。

本世纪六十一—七十年代，研究各种物体微量元素成分的著作，特别是有关犯罪物证的微量元素成分的著作，在资本主义国家的刑侦技术中占有重要地位。事实证明，微量元素的定量分析数据是解决各种刑侦技术任务极为有效的工具。

微量元素在现代自然科学和各个新技术领域中的作用极大。半导体电子学、核能学以及宇宙技术的发展，都要求研制和分析超纯物质。为此经常需要在一亿分之几或更低的数量级上测出材料中的杂质元素含量。宇宙化学、地球化学、生物化学中的许多课题，也需要在这个水平上对微量元素进行定量测定。

科学与技术发展的需要，使微量元素的各种理化分析方法得到了迅速的发展。这些方法的基本特点是灵敏度高，而灵

敏度最高的分析方法，则首推中子活化分析。

中子活化分析是通过测量经中子辐照后变为放射性原子核的核辐射来对物质成分进行定性和定量测定的方法。中子活化分析有一个显著的特点，即测定元素及其浓度时，利用的不是核外电子，而是原子核的作用。这就排除了分析化学性质相近的元素时存在的各种困难。

中子活化分析的基本原理早在1936年就已提出。目前之所以得到蓬勃的发展，首先是因为核物理学及其相邻科学取得了巨大的成就，从而使中子活化分析法在研究物质结构的各种理化方法中占了主导地位。

在刑侦技术检验的实践中，系统使用中子活化分析法始于1961—1963年。在那几年，先后成立了三个大型专业实验室。第一个实验室，即圣迭戈（加利福尼亚州）哈佛原子能中心，是由著名通用动力公司建立的；第二个属于美国联邦财政部；第三个直属华盛顿联邦调查局。所有这三个实验室都积极致力于用中子活化法研究刑侦技术课题。此外，美国许多大学也在开展这方面的研究工作。

英国、西德、意大利、法国、瑞士，以及其它国家的科研中心，都在探索如何将中子活化法应用于刑侦技术。已经就这个专题举行过两次国际会议。用中子活化法分析现场物证所得到的资料，曾经多次在资本主义国家审理刑事案件的法庭上用作证据。

本书系根据国外出版物的资料写成，目的在于向读者介绍中子活化法的各种用途及其在现代刑侦技术中的作用。

\* \* \* \*

敬爱的读者！您手边这本书的前两章跟其它各章不同：

前两章叙述中子活化分析法的物理实质和分析结果的数学处理原理。如果您肯花气力去掌握这两章的内容，那么在后几章中您就能更容易理解如何将中子活化分析提供的数据应用于现代刑侦技术。



## 微量元素成分是 待检物体的“身分证”

一切天然的和人造的物体，都由化学元素组成。任何物体所含的化学元素，可分为常量元素（或主要元素）和微量元素两类。浓度为百分之几和百分之几十的元素叫做常量元素；含量约为千分之几以下的元素则称为微量元素。

鉴定物体时，微量元素能比常量元素提供更多的信息。首先，物体所含微量元素的数目比常量元素多得多，后者从未超过6—8种，通常只有3—4种。用现代分析方法（如中子活化法）能测出几十种微量元素的含量。其次，就同类物体的总体而言，常量元素的含量变化范围极小；而微量元素的浓度变化范围却非常大，常常达到几个数量级。

微量元素的上述优越性，可用来解决检验对象的分类和同一认定<sup>①</sup>这类刑侦技术问题。显然，对于揭示比较对象之间的相似与差异来说，重要的是掌握特征的数量及其变化范围；能起这种特征作用的正是微量元素的浓度。现代中子活

---

<sup>①</sup> 关于“同一认定”这个概念的定义，刑侦技术鉴定理论与数学所持的立场略有不同，但差别不甚明显。本书对“同一认定”这个术语所赋予的含义与数理统计学相同。——作者

化分析法能以极高的精确度测定物体中多种化学元素的含量。多元素分析所得出的结果，是根据一系列特征可靠地揭示物体是否相似的基础。

分类与同一认定之间有一定的区别。分类程序是在预先不知道物体之间是否相似的情况下，将研究对象划分成组（或群）。同一认定则是将单个的物体归并入分类过程中已经划分出的特定组内。另一方面，进行分类和同一认定时，使用的却又是相同的数学方法。

根据一系列特征（如，进行中子活化分析时，根据若干微量元素的浓度）解决物体的分类和同一认定的课题时，需要使用多元统计学。对物体的检验结果进行多元统计处理和解释的方法有好几种。我们在本书中只限于研究其中的三种：主要成分法、谱系图和专为刑侦技术检验制定的帕克法（Parker）。

### 主要成分法

进行多元素分析时，每个物体可以看作是多维空间的一个点。各点的坐标代表化学元素的浓度值。如果在M个样品中测得N个元素的含量，则在N维空间将有M个点。物体的最佳分组，即分类，可用减少空间维数的方法实现。减少空间维数的目的，实际上是为了揭示能表明一物体区别于另一物体的最大变化程度的特征。

在减少空间维数的过程中，原始坐标由新坐标所取代，而新坐标则是原始特征的函数，并称为因子。将这些因子按其在全部分研究对象中的变化程度（离散度）进行排列，然后

从中选出具有最大离散度的因子。被选出的因子便称为主要成分。主要成分即成为新空间的坐标轴〔1〕。

如果沿坐标轴标出两个主要因子的数值，则可得到一个平面。在这个平面上能方便地为所有物体定出坐标。根据各点（其新坐标是多维空间的坐标函数）在平面上的分布情形，可判断出全部研究对象是否能划分成组（群），以及哪些对象进入哪个组。这就是用主要成分法解决分类问题的过程。

如果原始特征是 $N$ 个化学元素的浓度，则与研究对象相对应的各点的坐标可用浓度值 $C_1, C_2, \dots, C_N$ 表示。原始特征则用其线性组合，即因子 $t_1, t_2, t_N$ 表示。因子 $t_1$ 可用下式确定：

$$t_1 = l_{11}C_1 + l_{12}C_2 + \dots + l_{1N}C_N。$$

$l_{1k}$  的值已归一化，即其平方和应等于1。

第一个主要成分 $t_1$ 称为 $N$ 个原始特征 $C_1, C_2, \dots, C_N$ 的归一化线性组合；在所有归一化的线性组合中，这个组合的离散度最大。离散度占第二位的归一化线性组合即为第二个主要成分 $t_2$ 。

人不能揭示多维空间中潜在的全部规律。事实上，不可能看清 $N$ 维空间中的所有 $M$ 个点，因为对人来说，三维空间才是现实的。然而电子计算机却能做到。它能“检测”多维空间中所有的点，并选出多维空间内所有各点均投影其上的最佳平面，或称主要成分面。人只需分析各点在电子计算机选出的平面上是如何分布的就可以了。

试以如何对取自两个海滨浴场的沙样进行分类为例来说明主要成分法的效果。沙样的外表特征（颜色、平均粒度及形

状)是一样的。用中子活化分析法在沙样中测出了钷、铬、钴、铷、铯、钡、镧、铈、钍、铀、钒和铀等12种稀有化学元素的含量。第一个浴场提供了14个沙样,第二个浴场提供了12个沙样。这样,总共有26个研究对象,其中每个对象都有12个特征,即微量元素的含量。在电子计算机上用主要成分法将所有对象进行了分类。没有给电子计算机输入关于沙样属于哪个浴场的数据。所以计算机“不知道”有两个选样地点。

图1为各研究对象的对应点在主要成分平面上的分布情形。

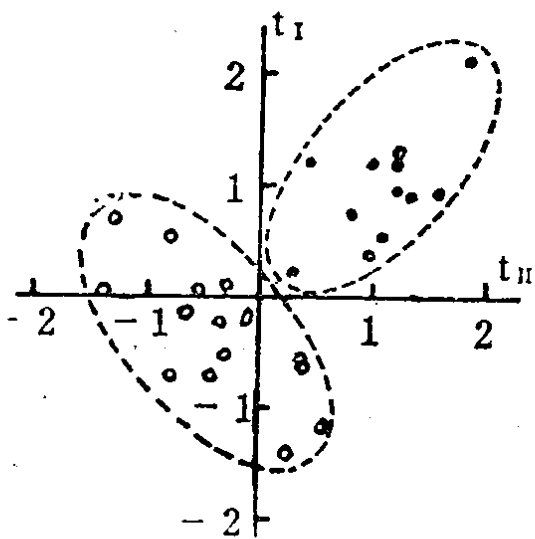


图1 用中子活化法分析两个浴场沙样所得数据的多元统计处理结果  
 $t_I$ 和 $t_{II}$ 为主要成分

在这个平面上,各点坐标是由前两个因子 $t_I$ 和 $t_{II}$ 的数值决定的。从图中可以看出,电子计算机对新坐标的计算得出了一条明显的规律:从微量元素的成分看,两个浴场的沙样是有区别的。第一个浴场沙样的对应点聚集在同一个组里,它形成的区域同第二个浴场沙样的对应点所形成的区域互不重叠。第二个浴场沙样的对应点都处在坐标图的第一象限内,

在此象限内主要成分的两个值都是正的。

很明显,主要成分法也能对物体进行同一认定。例如,在上例中若需对另一些沙样进行同一认定,则通过相同的步骤可将它们并入已有的两个群之一,或者另列一个新群。

## 谱系图

如前所述，具有  $N$  个特征的  $M$  个对象中的每一个对象，都可看成是  $N$  维空间中的一个点。电子计算机按专用程序“检测”这个空间中所有各点之间的距离并从中选出最小的距离。两个相距最近的对象结成一个群。这个群也可用一个点来表示，这个点由进入群内的两个对象的坐标来确定。然后再从其余  $(M-1)$ <sup>①</sup> 的对象中找出最小的距离。找出以后，或者将第三个对象列入原有的群，或者建立由两个相距最近的对象组成的第二个群。将这个过程一直进行到所有对象都分别进入一个群为止。这个过程（分群）的结果可简便地用一个树形图来表示，故称为树状谱系图〔6〕。

绘制谱系图时，研究对象用小点表示，垂直排列在左侧，右侧则为分群结果。现举例说明如何绘制六个对象的简单谱系图。（图2）

假定在多维空间中，相当于样品1和4的两点之间的距离最小。这个距离可用约定的单位表示。现设样品1与4之间的距离等于0.1。由点1和点4作两条长0.1的水平平行

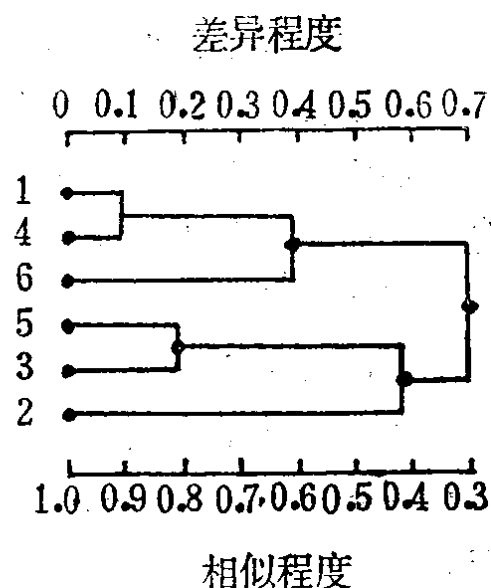


图2 由六个对象组成的谱系图

① 将第一个群视为一个对象，故第二次选择时有  $M-1$  个对象，余类推。

线。将这两个线段的末端用垂线连接起来。于是对象 1 和 4 组成一个群。

再设检测其它距离后发现，最小距离（如等于 0.2）在对象 3 和 5 之间。这两个对象也组成一个群：由相应的两个点作两条长 0.2 的水平线，并连接其末端。

可以认为，全部研究对象现在共分成四个群：第一个群中有两个对象（1 和 4），第二个群中有一个（6），第三个群中有两个（5 和 3），第四个群中有一个（2）。设下一步分群时将对象 6 列入第一个群，这是因为第一个群与对象 6 之间的距离最小。根据这个距离的大小，分别从对象 1 和 4 的公共点及点 6 作水平线。再假设下一步是把对象 2 列入由对象 5 和 3 组成的群。至此，共形成两个群：第一个群包括对象 1、4、6，第二个群则包括对象 5、3、2。测出在刚才形成的这两个群之间的距离后，这两个群便合而为一。谱系图绘制过程到此结束。

显然，对象或者群之间的距离愈大，它们的差异程度也愈大，而相似程度就愈小。因此，谱系图上可以标出两个刻度，即差异刻度（多维空间中的距离）和相似刻度。在上述例子中，对象 1 和 4 结合在相似程度为 0.9 的群中。包括对象 1、4、6 的这个群的相似程度为 0.6；含有对象 5、3、2 的群则为 0.4。最后，所有对象结合在相似程度为 0.3 的群中。

由此可见，根据谱系图能从数量上判断出比较对象的相似程度，并按相似程度对其进行分组。在上述例子中，如果提出的任务是将六个对象分为两个组，则按谱系图可以认为，第一组中包括对象 1、4、6，第二组中包括对象 5、

3、2。应当强调，谱系图通常是根椐许多特征的检验结果绘制的，是这些数据的二维图象。

如果检验结果是某些化学元素的浓度（例如，进行多元素中子活化分析时），并要求揭示哪些对象相似，则任意一对样品之间的差异程度均可按下列公式取值：

$$R_{ij} = \left( \sum_{k=1}^N |C_{ki} - C_{kj}| \right) / N,$$

式中的下标  $i$  和  $j$  表示两个接受比较的样品； $C_{ki}$  和  $C_{kj}$  相当于样品  $i$  和  $j$  中  $k$  元素的浓度； $N$  为被测元素的数目。在计算  $R_{ij}$  的数值以前，应使所有元素的浓度归一化，每个元素的最大含量值定为“1”。

电子计算机问世以后，人们开始将谱系图广泛用于解决对象的分类和同一认定。现以波士顿东北大学实用化学分析和刑侦技术研究所的研究结果为例，说明谱系图在刑侦技术检验中的应用。这项任务的内容是研究法律文件用纸的微量元素含量，以便改进用来发现伪造文件和伪造行为的方法〔73〕。

受检验的有12种类型的纸张样品。这些纸样代表七家工厂的产品，从外表看实际上毫无差别。纸张样品是从纸捆中抽取的。这12种类型的纸张中有一种检验得比较仔细：从中抽取纸样的纸捆分属于八个不同批号的产品。总共分析了69个样品，测定了铜、锰、锑、镉、铬、钴、银、铅、镁、铁等十种杂质元素的含量。此外，还测量了每个样品的密度（比重）。为了解决对象的分类问题，对测量数据进行了多元统计处理。杂质元素的含量即为纸样的特征。依次考察这些特征后确定，在上述十种测定的微量元素中，能作为分类

# 差异程度

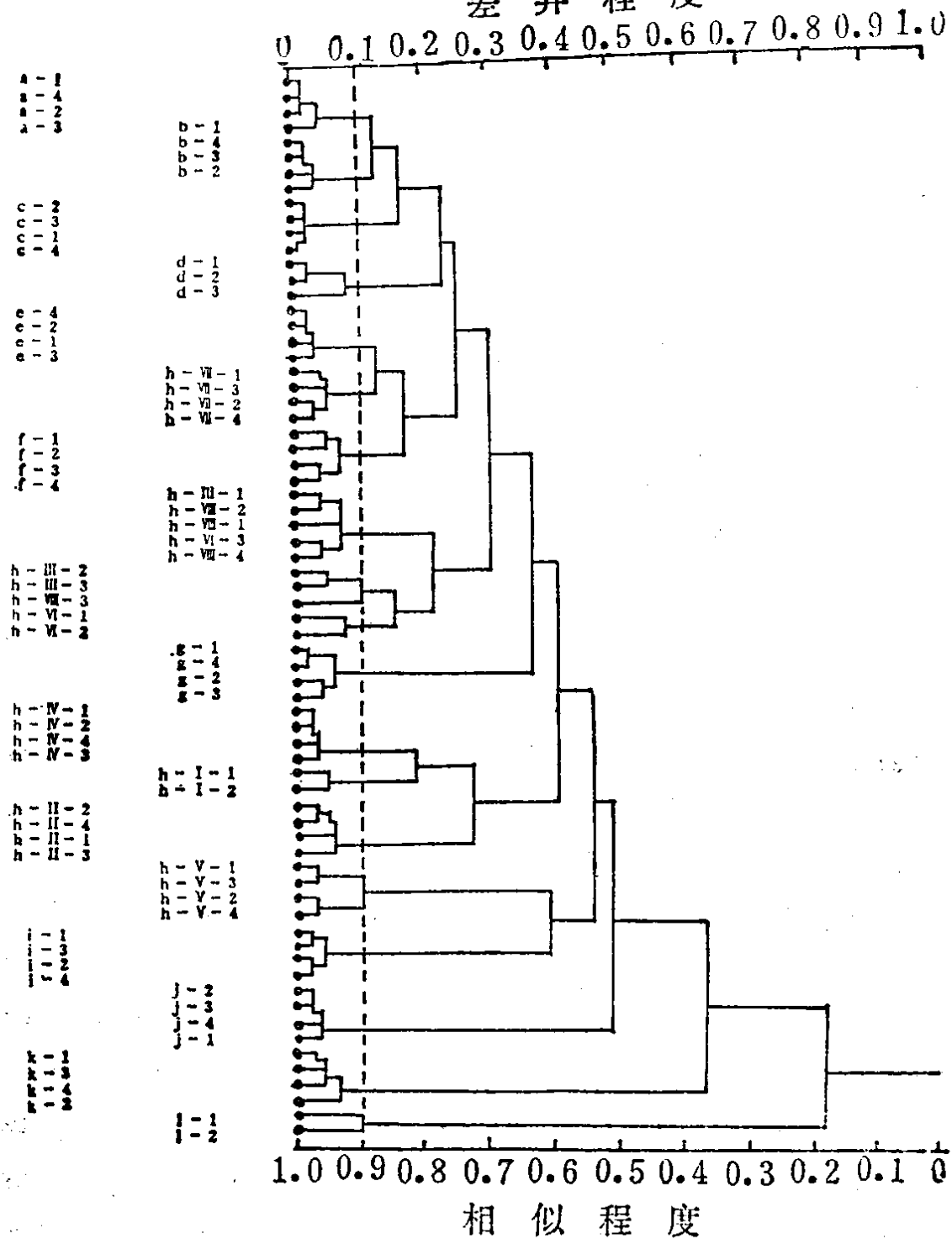


图3 对69个纸样进行同一认定的谱系图[73]。  
 字母表示不同类型的纸张，阿拉伯数字表示序号，  
 罗马数字表示h型纸张的不同批号



依据的只有五种：铜、锰、铈、铬与钴。这五种元素的浓度之间没有相关联系，因此可以看作是独立的特征。计算中使用的第六个参数是密度值。

图3为得出的谱系图。这69个样品各有6个特征，电子计算机仅用27秒钟便完成了全部统计分析。

为了显示分群情况，相似程度定为0.9。这时各种不同类型的纸张样品都进入了各自的群。例如，从谱系图的上部可以清晰地看到a、b、c、d、e这五种类型的纸张样品的分组情况。在八个批号的h型纸张样品中有五个批号的样品（I、II、IV、V、VII）也组成了群。另外三个批号的h型纸张样品（III、VI和VIII）组成了混合群。显然，根据6个特征绘制的谱系图对19种类型的纸张（同一类型纸张的不同批号视为不同产品）中的16种作出了正确的分类（同一认定）。在分类中起主要作用的是杂质元素的含量。

## 帕 克 法

J·帕克研究出了根据某些特征的数据对检验对象进行同一认定的较为简便的统计方法。这种方法在刑侦技术中的应用日益频繁。例如，经中子活化分析法测出人体毛发中的微量元素含量后，可用帕克法对毛发进行同一认定〔66〕。

帕克法的实质如下。假定需要将罪证（例如从犯罪现场提取的毛发）同对照样品（如，嫌疑分子的毛发）进行比对。设从对照样品和罪证样品中测出N种微量元素的含量；用 $C_1, C_2, \dots, C_N$ 表示对照样品中的元素含量，用 $S_1, S_2, \dots, S_N$ 表示对照样品中元素含量的均方差；用 $C'_1,$