

数学地质丛书

# 地质因子分析

余金生 李裕伟 著



地质出版社

数学地质丛书

S2108/16  
地质因子分析

余金生 李裕伟 著

地质出版社

## 内 容 提 要

本书较全面而系统地介绍了各种因子分析方法及其地质应用和用 DJS-6 计算机语言编写的程序。所介绍的方法包括分量分析方法、真因子分析方法、Imbric Q 型因子分析方法、组分定和数据 Q 型因子分析方法、主座标分析方法、对应分析方法、Q 型非线性映射方法和 R 型非线性映射方法。对各种因子分析方法解决地质问题的基本原理、应用条件和实施过程都作了较系统的论述，并同时给出了大量地质实例。每种方法的计算机程序功能比较完备，使用方便，并经过了多年的试算考验。

本书方法性、实用性强，可供对因子分析感兴趣的一般地质人员学习、参考之用，也可作为专业数学地质工作者的参考书。

### 数学地质丛书

### 地质因子分析

余金生 李裕伟 著

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑：高书平 姚筱煌

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本：850×1168  $1/32$  印张：13 $3/8$  字数：354,000

1985年2月北京第一版·1985年2月北京第一次印刷

印数：1—4,300册 定价：3.80元

统一书号：15038·新1046

# 前 言

地质因子分析作为地质分类和地质成因研究的一种手段，其有效性已为国内外多年来数学地质的实践所证明。面对这一事实，想了解地质因子分析的地质人员和数学地质工作者愈来愈多。这就是我们写本书的动机。

这本书较为全面地、系统地介绍目前流行的各种地质因子分析方法及它们的应用。在方法方面，我们力求从多个不同的角度进行说明；力求把各种方法之间的内在联系，以及它们各自的特点说清楚；还力求通过一些数字例子说明实施各种方法的主要步骤。在应用方面，我们力求尽量归纳和例举地质因子分析的应用已涉及的和将来可能涉及的典型地质问题；力求提出对因子分析结果进行地质解释的一些原则，尽量避免那些重要原则的遗漏；还力求说清楚对各种不同的方法的计算结果进行地质解释时应着重注意的方面。

本书共分七章。第一章提出地质因子分析的意义和所涉及的典型地质问题；第二章介绍各种因子分析方法的主因子解。对任何因子分析方法，它的主因子解构成了整个方法的基础。本章 § 2 和 § 3 尤其重要，它们对建立、巩固和加深各种因子分析方法的数学概念很有帮助；第三章实际上是第二章的总结和继续。本章提出了各种因子分析方法的共同性问题，对各种因子分析方法作了归类，使贯穿于各种因子分析方法中的基本线条更清楚；第四章介绍 R 型和 Q 型非线性映射方法。各种因子分析方法实质上都可看作是 R 型或 Q 型线性映射，这种映射的目的之一就在于降低变量或样品空间的维数。从这一点出发，我们把这种方法作为独立的章节放在本书中；第五章主要是提出对因子分析结果进行地质解释时的一些主导思想、若干原则和有关因子分析的数学概念与地

质概念的连结；第六章是地质应用实例。这些实例大部分是我们自己作的，少部分来自国内外书刊。无论是从方法角度或是应用角度这些实例都具有一定的代表性；第七章是 DJS-6 计算机程序。共给出六个程序。可实现本书中介绍的七种方法。

在编写之前，我们对本书有一个大胆的设想，希望它能满足对因子分析所涉及的数学方法、地质应用和计算机程序三方面的要求，使它有一个尽可能广阔的读者面。这一设想是否能达到预期的效果，当然还有待于实践的检验。

本书在编写过程中，得到多方面的帮助和支持。长春地质学院的王世称教授和夏立显副教授一丝不苟地审阅了本书的全部初稿，为本书的修改提出了许多宝贵的意见，并亲自改正了初稿中若干错误，甚至在文字方面也多处替我们作了认真的斟酌。中国地质科学院矿床地质研究所吴良士同志仔细审阅了手稿的一、五、六章，勘正了许多内容和文字上的谬误。地质部计算技术研究所和水文地质工程地质研究所，北京工业大学计算站为我们提供了许多机时。傅子洁、张常复同志为本书精心地绘制了全部图件。在此，我们趁本书出版之际，一并向他们表示最深切的感谢。当然，我们还要感谢曾启发过我们和曾向我们提供过素材和实例的所有同志。

限于我们的水平和经验，书中错误和不足之处在所难免，希望同志们提出宝贵意见，以便修改时参考或作为今后的借鉴。

# 目 录

## 前 言

|      |                    |     |
|------|--------------------|-----|
| 第一章  | 引论                 | 1   |
| § 1. | 问题的提出              | 1   |
| § 2. | 典型问题               | 4   |
| § 3. | 地质因子分析的发展          | 7   |
| 第二章  | 因子分析方法介绍           |     |
| § 1. | 引言                 | 11  |
| § 2. | 变量空间和样品空间          | 12  |
| § 3. | 分量分析方法             | 14  |
| § 4. | 真因子分析方法            | 38  |
| § 5. | Imbrie Q 型因子分析方法   | 57  |
| § 6. | 主坐标分析方法            | 70  |
| § 7. | 对应分析方法             | 77  |
| § 8. | 定和数据 Q 型因子分析方法     | 91  |
| 第三章  | 因子分析的基本问题          | 106 |
| § 1. | 因子分析的数学模型及其分类      | 106 |
| § 2. | 主因子及其求解            | 110 |
| § 3. | 因子数的确定             | 114 |
| § 4. | 因子轴的旋转             | 116 |
| § 5. | 因子得分的计算            | 131 |
| § 6. | 相似性 (或差异性) 度量和数据变换 | 135 |
| 第四章  | 非线性映射              | 138 |
| § 1. | Q 型非线性映射方法         | 140 |
| § 2. | R 型非线性映射方法         | 143 |
| 第五章  | 因子分析结果的地质解释        | 147 |

|             |                         |            |
|-------------|-------------------------|------------|
| § 1.        | 概论·····                 | 147        |
| § 2.        | 因子与关联·····              | 150        |
| § 3.        | 地质过程中的关联·····           | 152        |
| § 4.        | 多维关联·····               | 156        |
| § 5.        | 对关联的经验补充·····           | 158        |
| § 6.        | 理想变量与理想样品·····          | 161        |
| § 7.        | 因子载荷和因子得分·····          | 161        |
| § 8.        | 因子的地质制图·····            | 162        |
| § 9.        | 因子的座标图解·····            | 169        |
| § 10.       | 对方差贡献和公因子方差的分析·····     | 185        |
| § 11.       | 成因概念的联结和成因结论的形成·····    | 187        |
| <b>第六章</b>  | <b>因子分析的地质应用实例·····</b> | <b>195</b> |
| § 1.        | R型因子分析方法的应用·····        | 195        |
| § 2.        | Q型因子分析方法的应用·····        | 237        |
| § 3.        | 主座标分析方法的应用·····         | 279        |
| § 4.        | 对应分析方法的应用·····          | 293        |
| § 5.        | 非线性映射方法的应用·····         | 313        |
| <b>第七章</b>  | <b>DJS-6计算机程序·····</b>  | <b>332</b> |
| § 1.        | R型因子分析程序及说明·····        | 332        |
| § 2.        | Q型因子分析程序及说明·····        | 351        |
| § 3.        | 对应分析程序及说明·····          | 372        |
| § 4.        | 主座标分析程序及说明·····         | 383        |
| § 5.        | R型非线性映射程序及说明·····       | 394        |
| § 6.        | Q型非线性映射程序及说明·····       | 405        |
| <b>参考文献</b> | <b>·····</b>            | <b>418</b> |

# 第一章 引 论

## § 1. 问题的提出

地质成因是地质学研究的根本问题之一。只有通过成因研究（如岩石成因、地层成因、构造成因、矿物成因和矿床成因研究，等等）才能把地质学从现象的、感性的高度提高到理论的高度。

地质成因研究的范畴是极其广阔的：小从推求一个化石所代表的环境细节，大到探索整个地球的形成过程，无不囊括于地质成因研究之中。因此，每一个地质工作者在他们的专业活动中都不可避免地贯穿着这种或那种类型的地质成因研究探索成因联系，进行成因判断，形成成因概念，推论成因过程，进而得出成因结论。成因，是地质学研究的一条生命线。作为一个地质工作者，要摆脱成因研究是不可能的。

自从地质学作为一门科学诞生一百多年来，在地质资料的积累、地质现象的描述和地球资源的利用方面无疑取得了巨大的成就，但在地质成因的研究方面却经常处于各种论争、歧见和惶惑的状态之中。在某一个时期，一个老的成因体系被彻底动摇了，继之而起的是一个新的成因体系；若干年后，该新成因体系也遇到了巨大困难，于是老体系在经过修改和补充之后卷土重来，开始了它的另一次理论统治时期，……。例如，在矿床学研究中的水成论与火成论之争，在大地构造研究中水平运动与垂直运动之争，就不止一次地演绎过这种地质成因理论的历史大反复。

在成因研究中，这种频繁的论争和反复表明，地质学还远远不是一门成熟的科学，其不成熟性主要反映在两个方面：第一，她的观测手段是不成熟的。也就是说，利用现有的观测手段，对地质现象和事实的观察在广度上和深度上都还未达到足以形成某些重要的地质成因结论的程度。例如，迄今为止我们仅能观测到地壳表层的某些地质事实，而对地球深部的物质及其状态所知甚



少，这显然使我们丧失了研究全球构造的某些重要条件，从而不可避免地造成相应地质结论的片面性；第二，地质学的推理手段也是不成熟的。从地质现象到地质成因，这是一个十分复杂的推理过程。过去这一过程完全由人的思维来完成，结果在成因研究中总是带上浓厚的主观色彩。因此，一个地质成因结论不仅仅取决于客观的地质事实，而且还取决于人的经验、学识、专业兴趣、哲学思想和当前环境。在这种情况下，根据同样的地质事实得出完全对立的成因观点就不足为奇了。

显然，发展观测手段，获取更多的地质数据已超出了本书的范围；而发展数据解释和分析技术，寻求更科学的推理途径来研究地质成因，则正是本书——“地质因子分析”——所要讨论的问题。

因子分析将从以下三个方面为地质工作者的成因推理提供重大帮助：

1. 压缩原始数据 地质人员在研究每一个地质问题时都愿意获取尽可能多的数据，而在最终综合这些数据以形成地质成因概念时又为面对如此浩瀚的、复杂的、通常是相互矛盾的数据而深感苦恼。简单地说，地质人员在搜集数据时希望尽可能地多，而在分析、综合数据时又希望尽可能地少。因子分析恰恰提供了一条科学的、逻辑的途径，能把浩瀚的原始数据在数量上大大精简，以利于地质人员进行综合分析。在这里要指出的是，数据量虽然缩小了，但并不因此而影响地质结论的精确性，因为从成因的意义上来说，被因子分析缩小后的数据在质量上大大提高了，它仍然包含着原始数据中的绝大部分成因精华。

由此可见，因子分析的第一个作用是在不损失地质成因信息的前提下尽可能地压缩原始数据的规模，以减轻地质人员综合分析的负担。

2. 指示成因推理的方向 在形成成因结论的过程中，人们的思维和推理无疑是最后的，也是最重要的一环。从复杂浩瀚的地质数据中理出一个成因上的头绪并不是一件容易的事。不同的人

从同一组地质数据出发，往往导致不同的成因结论，其原因在于人们在推理过程中渗杂了主观的、片面的色彩。

因子分析将能够把庞杂纷乱的原始地质数据按成因上的联系进行归纳、整理、精炼和分类，理出几条比较客观的成因线索，这就为地质人员提供了逻辑推理的方向，启发他们去思考相应的成因结论。

3. 分解叠加的地质过程 我们现在所看到的地质现象往往是多种成因过程叠加的产物，既有时间上不同过程的叠加，又有空间上不同过程的叠加，各个过程互相干扰，互相掩盖，使得每个独立过程的特征都面目不清，造成了地质成因研究的复杂化。

显然，就地质成因研究的意义而言，人们更感兴趣的是弄清每个单一过程的性质和特征，了解其在时间和空间上的分布和发育程度，而不是含混的、朦胧的复合过程本身。但是，透过混合、叠加所造成的层层迷雾去识别每个单一的地质过程的本来面目却是地质人员进行成因研究时最感棘手却又必须解决的问题。因子分析将提供一条解决这一问题的巧妙途径。关于这一点，我们在本书中将反复予以强调。

上述三个方面仅仅展示了因子分析在地质成因研究中的基本作用，其潜在的解决地质问题的能力则远不止于此，需要我们去发现和开拓。当然，我们不能说使用因子分析就能完全克服成因研究中的各种困难，顺利地达到研究地质成因的目的，因为因子分析在地质学中的应用还并未达到如此成熟的阶段。但我们至少可以说，在地质成因研究方面，它是一个值得大力倡导和应用的手段。在阅读了本书之后，读者将会清楚地看到，因子分析是连接原始地质观测数据同地质成因结论之间的一座桥梁。通过因子分析，可以把反映原始观测的数据形态转换为反映地质成因的数据形态。后者显然是任何一个研究成因的地质学家所乐于接受的。

## § 2. 典 型 问 题

同样一种因子分析方法可用来解决完全不同的地质问题：古生物学家可能用它来研究生态演化，矿床学家可能用它来研究成矿条件，而沉积学家则可能用它来研究冰水沉积物的沉积环境……。因此，要想为因子分析在地质学中的应用划分一个范畴和限定一种格式几乎是不可能的事。即使就同一类型问题而言，由于用数学方法对地质问题的处理角度不同，也会获得不同特色和风格的应用。在这里，我们仅列举若干适合于应用因子分析的典型问题，它们将启发人们去思考存在于地质学研究中的更多类似的地质命题。

1. 沉积盆地蚀源区的研究 通过对盆地沉积物的矿物成分和化学成分的研究，确定提供盆地中沉积物质来源的剥蚀区，是沉积学的重要课题之一。我们可以想象，每一个盆地沉积物样品的组分是各蚀源区组分的混合（当然，在搬运过程中这种组分关系受到若干破坏）。因子分析可以从沉积物的这种组分混合状态中识别出每个蚀源区的标准组分组合及其在该样品中的比例，从而确定蚀源区的个数和岩石类型，以及各个蚀源区对该样品沉积物成分的影响。当对盆地中一系列沉积物样品施行上述研究之后，我们不难指出该盆地周围蚀源区的分布。

2. 沉积物的粒度分析 在沉积岩研究中，粒度分析已成为一个不可缺少的手段。沉积物的粒度特征包含了大量关于搬运环境、搬运历史和水动力学的信息。但是，一般说来，碎屑沉积物粒度是多种水流搬运过程的综合产物。通过因子分析，我们有可能找到一些典型的粒度组合，从而据此识别相应的沉积过程的水动力学环境。

3. 沉积相研究 根据沉积岩的矿物成分、化学成分、生物组合、岩石粒度、颜色、厚度、结构构造等特征恢复其沉积相，需要对上述特征进行详细分析，找出它们之间的关联。因子分析可

帮助我们迅速将这些特征按沉积相的意义进行组合，从而启发我们识别各种沉积相及其空间分布。

4. 地层分析 对于巨厚的单一岩性（如石灰岩或砂岩）岩层，在地层剖面上往往很难看出沉积环境的明显变化。使用因子分析，有可能识别出随着时间的推移在剖面上发生的气候、水体深度、物质来源、水动力学条件等沉积环境因素的细微变化，从而深化我们对该地层剖面的认识。

5. 古环境与古生态的研究 在古生物学研究中，古环境与古生态研究是带有高度成因性的课题。但对这二者我们不能直接进行观察，只能利用保留在岩石中的古生物化石组合同沉积物的地质、物理和化学特征加以推论。在施行因子分析后，我们将会看到各种生物化石和沉积物特征被转换成具有生态意义和环境意义的组合。这种组合会大大启发古生物学家去思考诸如古气候、温度、压力、pH值、Eh值、盐度、水体深度等古环境特征和生物群对这种环境相应的古生态反映。如果这些古代的生物仍生存在今天的海洋里或陆地上，那么借助于对它们生活的现代环境和现代生态特征的研究，用因子分析解释古环境和古生态将会取得更好的效果。

6. 岩浆岩岩石化学成分的研究 在我国，岩浆岩是因子分析的重要阵地之一。由于岩浆作用比沉积作用复杂得多，而人们对岩浆作用的了解又比对沉积作用浅薄得多，这就大大增加了研究岩浆岩成因的困难，但这也恰恰引起了岩石学家在这个领域内应用因子分析的兴趣。

利用因子分析的特有功能主要解决以下两个有关岩浆岩的问题：第一，识别岩浆岩的形成过程，诸如岩浆的异源叠加，或同源多期侵入，分异作用，同化作用，交代蚀变作用，矿化活动等；第二，进行岩浆岩的分类，这种分类的结果当然必须带有因子分析所赋予的成因解释。

7. 变质岩的原岩恢复 既然利用因子分析能根据盆地沉积物的成分追溯沉积盆地的蚀源区，同样，因子分析也可用来追溯

形成变质岩的原始岩石。所不同的仅仅是在蚀源区研究中涉及的是识别在同一时间点上不同空间过程的叠加，而原岩恢复涉及的则是识别在同一空间点上不同时间过程的叠加。

通过因子分析，可以识别出能代表原岩的特有的标准组分或条件的组合，从而达到判定原岩的目的。

8. 矿床成因研究 在我国，因子分析被大量用来研究矿床学问题。成矿过程是一个比岩浆过程更为复杂的过程，它往往把许多地质作用汇为一体，因此，一个矿床学家不得不考虑岩石学、构造学、沉积学、地层学、矿物学和地球化学等等问题。因子分析所能解决的各种地质问题，在矿床学研究中都有可能碰到，这就要求一个应用因子分析的矿床学家对因子分析在各个地质领域中的应用特点具备广泛而深刻的了解。

就矿床学本身而言，因子分析可解决两个问题：其一是识别矿化活动的阶段和类型，其二是分析成矿控制因素。这两个问题一旦获得解决，恢复矿床的成因就不是很困难的了。

9. 矿物的类质同象研究 象角闪石和辉石这类众所周知的复杂矿物，发育着极广泛的类质同象。研究矿物的类质同象，除测试手段外，因子分析是一种简便易行的方法。因子分析可以为我们提供两个元素或两组元素之间的类质同象替代模型，从而为研究元素的替代规律和晶体结构提供依据。

10. 地球化学研究 从区域地球化学到矿物地球化学，都在于研究元素在特定地质过程（或环境）中的行为。但在多数情况下，我们从岩石中或从矿物中获得的元素含量，实际上是在多个地质过程叠加条件下该元素行为历史的总和。因子分析的任务不仅仅要根据岩石或矿物中各种元素含量间的相互关系来识别一个过程，以及在该过程中元素迁移富集的规律，而且在多过程叠加的情况下，要区分这些过程，并按不同的地质过程将元素总的历史行为进行分解，这显然将为我们提供更为丰富而生动的地质成因知识。

利用上述思想，我们还可以用因子分析将一个样品的元素含

量值分解为背景值和异常两部分。背景是一个地质过程的产物，它同岩石的形成过程有关；异常为另一过程的产物，它多与矿化活动相联。在区域内，岩石类型比较单一时，用因子分析分离背景和异常效果较好。

11. 水化学的研究 由于水是一种非常容易迁移的组分，因此，无论是地表水或地下水，往往都是不同水源的混合。同对沉积盆地蚀源区的研究一样，因子分析可帮助我们从这种混合水中识别出不同的水源区。在石油和天然气田中取得的地层水，通常是卤水和渗透水的混合物。利用因子分析从混合水中判断出卤水所占的比例、类型和分布，对寻找盐类矿床具有重要意义。

### § 3. 地质因子分析的发展

因子分析的两种典型模型——分量分析和真因子分析分别由皮尔逊(J. Pearson)于1901年和由斯皮尔曼(C. Spearman)于1904年提出。最早用于心理学的研究。由于这种研究收到了成效，引起了许多统计学家以及其它科学家和专家的注意。继而，他们在因子分析的理论、方法和应用方面作了大量工作，使因子分析成为了多元统计学的重要组成部分。它的应用也逐渐推广到心理学以外的其它学科：经济学、生物学、植物学和社会科学等等。

1957年，克伦拜因(W. C. Krumbein)首次将因子分析引进地质学。之后，英布里(J. Imbrie)对因子分析在地质学中的应用和发展作了大量的工作。1963年，他提出了一种以“比例相似系数”(cos $\theta$ )作为两个样品间相似性度量的Q型因子分析方法<sup>[27]、[28]</sup>，并用他设计的这种新型Q型方法研究了美国加利福尼亚海湾和南美奥伦诺科—圭亚那大陆架的重矿物数据<sup>[28]</sup>，在解决沉积物的物质来源和搬运方式方面取得了很好的效果。这篇论文所论述的方法和思想为在地质学中应用Q型因子分析树立了一个范例，至今还有着强烈的影响。

因子分析最初被引进的领域是沉积学和古生物学，这倒不是

由于这些地质学科最需要因子分析技术，而是因为数学地质的先驱者如克伦拜因，和英布里等人本身是沉积学家或古生物学家，因此，统计方法同他们从事的专业首先结合是顺理成章的事。之后，在他们的示范和倡导之下，更多的地质学家熟悉了因子分析技术。今天因子分析的应用已几乎遍及到一切地质领域。在我国，因子分析特别被广泛用于研究岩浆岩岩石学、矿床学、沉积学和地球化学。

R型分析和Q型分析的概念目前已为广大数学地质学家所接受，它为人们提供了研究地质问题的两个基本立场——立足于变量之间的关联或立足于样品之间的关联。在解决地质问题时，随时意识到这种立场特点将是十分有益的，它将有助于提高研究工作的逻辑性和条理性。

作为一种推广，塔克尔(Tucker, 1966)和乔雷斯科格(K. G. Jöreskog)等人(1976)<sup>[30]</sup>曾考虑将因子分析用于一个包含变量、样品和时间下标的三维观测数据数组，这时在每两个下标组成的数据平面内均定义了两种因子分析模型。除R型和Q型外，还有S型、T型、O型和P型因子分析方法，它们分别研究在样品—时间平面内样品之间的关联和时间之间的关联，以及在时间—变量平面内时间之间的关联和变量之间的关联。但到目前为止，这些模型仅是一种合乎逻辑的设想，并未获得广泛的应用。

统计学家和数学地质学家早就指出了分量分析方法同真因子分析方法的区别，并一直在探求真因子分析的方法<sup>[30],[24],[29]</sup>。真因子分析方法无疑是一种更为理想的方法，它更符合统计的和地质的概念。今天已经具备了一些真因子分析方法的计算机程序<sup>[24],[29]</sup>，但由于仍然存在的技术上的困难，这个问题并没有真正获得令人满意的解决。在迄今为止的因子分析实践中，占支配地位的仍然是以分量分析方法为背景的那些因子分析方法。

六十年代前后，因子旋转技术得到了迅速发展。因子分析在各个领域中的应用，包括在地质学中的应用，是推动因子旋转技术发展的动力。在这方面我们必须提到瑟斯顿(Thurstone)，

凯泽(Kaiser), 哈曼(Harman)和英布里等人的工作。但就目前情况而言,许多复杂的、生硬的旋转方法已被实践所淘汰,剩下两种人们最乐于接受的旋转方法: 方差极大旋转和 Promax 斜旋转。因子旋转技术的完善使地质学家能更方便地解释数据,反过来又进一步促进了因子分析在地质学中的应用。

在斜旋转的基础上, 马瑟(P. M. Mather)提出了高级因子分析的概念<sup>[38]</sup>, 即利用初级因子分析的斜因子相关矩阵, 作更高一级的因子分析, 从而把地质数据综合到更高一级概念的水平。这实际上是一种提高因子分析综合能力的途径。但这一方法目前在地质学中尚未获得广泛的应用。

最近一个时期以来, 对应分析方法引起了国内外数学地质工作者的极大兴趣。它是由本兹克里(Benzècri) (1970) 基于列联表分析发展起来的一套联结R型和Q型分析的方法。泰尔(H. Teil)和戴维(M. David)对这一方法在地质学中的传播作出了重要的贡献。由于对应分析方法能将所有的样品和变量同时表示在一张图上来分析它们之间的关系, 因而为地质研究的图解分析法开辟了一条新途径。

经过许多地质学家和统计学家近二十年的努力, 因子分析在地质学中获得了重要的发展。许多因子分析技巧带有浓厚的地质色彩, 以至获得了“地质因子分析”这一专门术语<sup>[30]</sup>。到目前为止, 对因子分析的补充和改进并没有停止, 许多新方法、新思想还在不断出现。就方法而言, 可以说我们已经拥有了一种进行地质成因研究的有力武器。因子分析在地质学中的应用也已取得了不少可喜的成果, 特别是对复杂过程、混合过程和叠加过程的识别、解剖和分离方面, 显示出了它独特的功能。但同方法本身相比较, 应用方面仍显得比较薄弱, 还没有形成一套成熟的应用流程和取得一套成熟的应用经验。在评论“地质因子分析”的时候, 我们不禁联想到马特隆(G. Matheron)和克立格(D. G. Krigé)发展起来的“地质统计学”。同样是统计方法同地质学相结合, 马特隆等人坚定不移地强调在应用过程中发展方法, 结果经



过二十余年的努力，既发展了统计方法，又建立了一套新的储量计算体系，取得了公认的成果，成为数学方法同地质问题相结合的典范。我们期望，我国的数学地质工作者和各专业的地质工作者今后能更加重视因子分析应用的深度，使各个领域中已经出露的因子分析的蓓蕾绽开成绚丽的鲜花。