

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

宁芜龙王山组火山岩剖面的数学分析及地质意义

赵玉琛

(安徽省地质矿产局322地质队, 马鞍山市)



由于火山产物形成的机制、搬运条件、定位状态和物质来源的多样性以及同一时代不同火山机体产物在平面上可能的岩相组合、迁移和嵌套等复杂情况, 影响火山岩地层的划分、对比和填图。自提出火山岩区“双重填图法”以来, 都侧重于工程程序的改革, 而针对性地探索其特殊的工作方法还较少见。为此, 本文提出用随机模拟和时间系列分析等数学手段去探索解决上述地质问题的可能性。通过宁芜火山岩区龙王山组4条实测剖面的具体分析, 较好地解释了火山喷发-沉积双重作用下所形成地层的剖面结构、岩性展布规律、岩相迁移、对比特点、古火山构造定位及其形成环境分析等一系列基础地质问题, 显示了此种分析方法的可行性和优越性。

宁芜地区是我国环太平洋大陆内部受左行平移拉张断裂控制的一系列火山岩断陷盆地^[1]之一, 也是一个火山岩型铁、硫、铜、金等矿产的主要产区。以往多沿袭沉积岩区一套工作方法, 对同一火山岩组可能是不同火山机体喷发产物在空间上互相嵌套、交叉形成的条、块分布特征认识不足。导致部分地层界线连续失误^[2], 一些火山构造或喷发中心未被识别, 火山岩型矿产围绕火山机体丛集式展布规律未能得到合理解释等。

近年来, 在此区开展了以研究火山构造及其相应矿产为目的的第二轮普查, 开展了综合找矿, 获得了一些新资料, 现把龙王山组四条实测剖面的数学分析结果的见解提出来与读者商榷。

一、龙王山组火山岩的地质特征

龙王山组是宁芜地区侏罗系的上统, 为连续喷发的一个火山岩组。超覆不整合于侏罗系中统西横山组、下统象山组和三叠系中统黄马青组之上。后三者习惯上称“火山基底”。龙王山组上部被大王山组火山岩覆盖。龙王山组呈北东向带状延长50余公里, 宽2—3km。本文仅对其南段长约20km的地区进行探索。

在研究段内, 龙王山组为一套喷发-沉积岩系, 厚110—200m, 略呈S形展布(图1)。其喷发产物相互嵌套、重叠、交叉及迁移, 表现为火山作用与陆源盆地沉积两种地质作用的演变过程。其具体差异是:

1、南段: 位于F₄与F₅断裂之间, 长约7km, 是一火山基底陷落断块, 航卫照片上均显示半环形影象。经复查为一塌陷式负向火山构造机体(龙王山火山洼地), 以火山爆发相岩石为主, 正常沉积岩次之。其标志层为集块角砾岩和熔岩(角闪粗安岩)。与基底呈同向微角度不整合,

1) 1974年1/20万马鞍山幅区域地质调查报告。

本文1987年7月收到1988年1月改回, 朱裕生编辑。

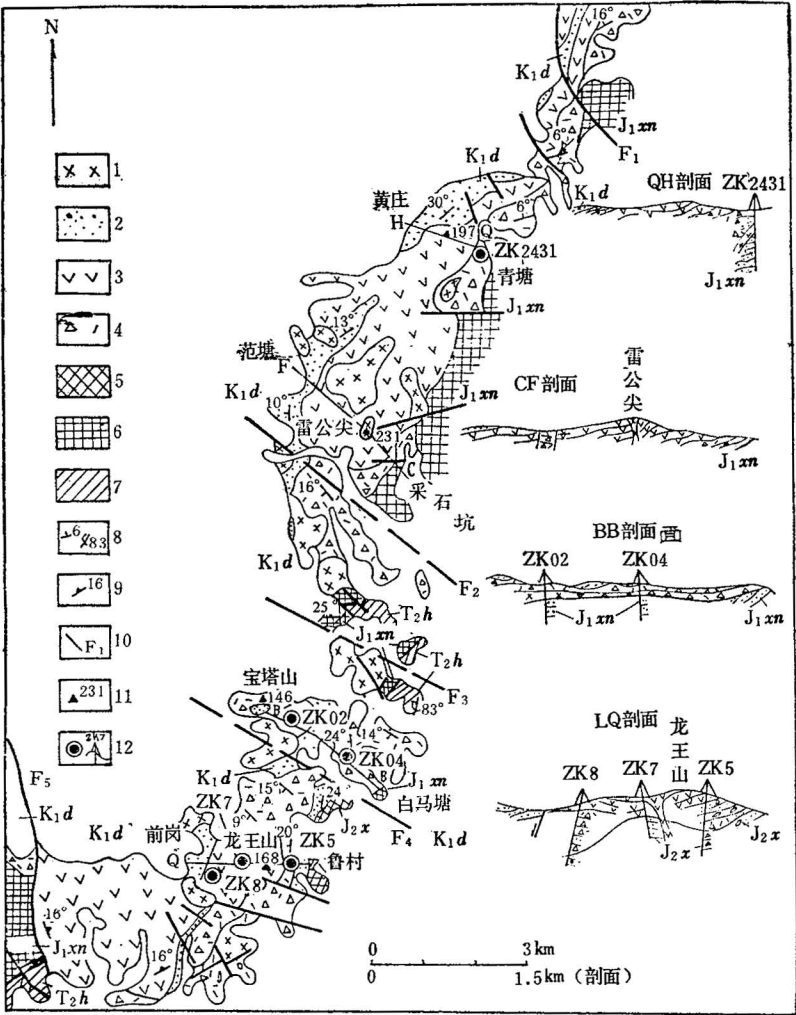


图 1 宁芜中段南部龙王山组火山岩地质图

Fig. 1 Geological map of the Longwangshan formation volcanic rocks in the south part of the middle sector of the Nanjing-Wuhu area

1—一次火山岩；2—正常沉积岩；3—熔岩类；4—火山碎屑岩类；5—7—火山基底；8—地层产状；9—流面产状；10—断裂；11—海拔标高；12—钻孔； K_1d —大王山组； J_2x —西横山组； J_1xn —象山组； T_2h —黄马青组

出露的层位最高 (J_2x)，故推测此段火山岩可能在继承式拗陷中喷发。

2、北段：位于 F_2 断裂以北，总长11km以上。航卫片上全组影象为长条状，其中熔岩部分显圆滑山体及深灰色均匀色调，范围略呈蝌蚪形，头部在雷公尖一带，向东北方向逐渐变窄、分枝趋向消失。现查实，雷公尖一带为一向北西方向歪斜的熔岩盾状火山，熔岩层均超覆于火山碎屑岩之上（喷发不整合）。筒状产出的粗面斑岩构成岩颈。其标志层为熔岩和火山碎屑沉积岩类，基底为象山组，不整合面较平坦，推测它应属上叠式喷发。

3、中段：介于 F_4 与 F_2 断裂之间，全长5km。经查证南北两段的熔岩标志层均已尖灭。经揭露其基底有的为象山组，有的为黄马青组，且局部产状甚陡，甚至倒转。基底属抬升断块，为南北两个火山构造的接合部。

二、火山岩剖面的随机模拟

随机模拟意指分析剖面中稳定层位（或标志层）、旋回和韵律性及岩相变化等。模拟是用马尔可夫链。一般来说，模拟获得的信息量丰富、规律性强，故更有助于解决实际问题。为此，对以下4条剖面进行了计算机模拟¹⁾。

1. 鲁村-前岗剖面（代号(LQ) 全长2.1km，分42个岩性层，模拟剖面为67层。
2. 白马塘-宝塔山剖面（代号BB) 全长2.7km，分38个岩性层，模拟剖面为76层。
3. 采石坑-范塘剖面（代号CF) 全长2.8km，分48个岩性层，模拟剖面为94层。
4. 青塘-黄庄剖面（代号(QH) 全长1.8km，分45个岩性岩，模拟剖面为90层。

表 1 龙王山组岩相状态转换表

Table 1 Transformation of the lithofacies state of the Longwangshan Formation

岩 相	岩 性 状 态	代 码	
		数 字 型	符 号 型
沉 积 相	粉砂岩、沉积火山碎屑岩	1	A
爆 发 相	集块岩、集块角砾岩	2	B
	火山角砾岩、凝灰角砾岩	3	C
	角砾凝灰岩	4	D
	凝灰岩类	5	E
溢 流 相	角闪粗安岩、角砾熔岩	6	F

模拟前，依表1要求将实测剖面岩性转换为名义变量，模拟结果列入表2，其认识如下：

1. 剖面的岩性结构：两个火山构造的主体剖面（LQ和CF）均以火山产物为主，分别占81%和96%，而其边缘的剖面（BB、QH）正常沉积岩层明显增加，分别占32%和29%。

2. 标准剖面的厘定：以爆发相为主的火山机体剖面（LQ）系统熵（3.3998）最大，溢流相为主的火山机体剖面（CF）系统熵（1.3751）最低，故CF剖面为龙王山组的标准剖面。

3. 稳定层位（或标志层）分析：火山构造主体剖面的稳定层位均以火山岩为主，其中LQ剖面为集块岩和熔岩，CF剖面为角砾凝灰岩和熔岩，而火山构造边缘的剖面（BB、QH）正常沉积岩也变为稳定层位。说明以往习惯于用沉积岩或沉积夹层划分火山岩剖面的方法在内带不太适用。

4. 相变关系：两个火山内带剖面中，熔岩和正常沉积岩都有相互置换关系，说明火山喷发与水盆地沉积相的交替过程。

5. 旋回和韵律特征：4条剖面主要为随机+旋回型，其中碎屑相构成的火山机体多为对称序列，溢流相构成的火山机体则为混乱序列，可以认为前者喷发节奏频繁。从主韵律结构看，多数剖面的碎屑相表现为从粗到细的正序粒级韵律，溢流沉积相表现为熔岩与粉砂岩的交替，唯BB剖面出现了逆序（如E→C）和间断（如D→A）的反常现象，由此证明它是两个火山机体结合部岩相交叉重叠所致。

6. 由模拟柱状图（图2）可见，虽然四条剖面的岩性结构、主韵律、标志层和相变层位多不相同，但总的面貌却是相近的，即F部均以沉积-爆发相为主，且粗屑岩居多；中部为溢流-沉

1) 程序自编，在PC-1500机上实施。

表 2 龙王山组火山岩剖面随机模拟⁽²⁾有关结果

Table 2 Related data of random simulation of the volcanic section of the Longwangshan Formation

剖面名称		鲁村—前岗 (LQ)		白马塘—宝塔山 (BB)		采石坑—范塘 (CF)		青塘—黄庄 (QH)	
马氏特性 ¹⁾		弱, 31.57>30.675 (25, 0.2)		强, 25.71>14.684 (9, 0.1)		极强, 62.2>14.684 (9, 0.1)		强, 38.53>23.542 (16, 0.1)	
岩性结构 (%) ²⁾ 及熵 ³⁾ (正 则化)	A	19	0.71/0.71	32	0.67/0.66	4	0/0.49	29	0.42/0.30
	B	7	0.61/0.35						
	C	7	0/0.35	23	0.76/0.69	6	0.79/0.49	5	0.43/0.43
	D	36	0.97/0.93	27	0.80/0.84	4	0.49/0.49	19	0.82/0.92
	E	17	0.53/0.53	18	0.62/0.72			9	0.64/0.64
	F	14	0.56/0.61			86	0.08/0.08	38	0.70/0.74
系统熵 ³⁾		3.3998		2.8739		1.3751		3.0258	
稳定层位 ⁴⁾ (或标志层)		B/F (0.07)		A/C (0.09)		D/F (0)		A/C (0)	
相变层位 ⁵⁾		C/E (0.68) A/F (0.61) B/C (0.57)		A/D (0.52) C/E (0.42)		A/F (0.70)		C/D (0.75) C/E (0.73)	
旋回类型 ⁶⁾		随机, 近对称序列		随机 + 旋回近对称序列		旋回 + 随机混乱序列		随机 + 旋回对称序列	
韵 ⁷⁾ 律	主韵律	B $\xrightarrow{0.33}$ C $\xrightarrow{1}$ D $\xrightarrow{0.26}$ E		E $\xrightarrow{0.66}$ C $\xrightarrow{0.33}$ D $\xrightarrow{0.54}$ A		A $\xrightarrow{1}$ F $\uparrow$ 0.97		$\xrightarrow{0.81}$ A $\xleftarrow{0.86}$ A	
	次韵律	A $\xrightarrow{0.28}$ F $\uparrow$ 1 $\xrightarrow{0.26}$ D $\xrightarrow{0.57}$ E		A $\xrightarrow{0.45}$ D $\xleftarrow{1}$		D $\xrightarrow{0.5}$ C $\uparrow$ 0.5		C $\xrightarrow{0.5}$ D $\xrightarrow{0.25}$ E $\xrightarrow{0.5}$ F	

说明：1)、马氏特性是检验地层剖面可否用马链模拟的前题，本栏数值为其-2Lmλ统计量，左侧为计算值，右侧为 χ^2 查表值，括号中数字自左至右为自由度，置信水平。显然，各剖面均具马氏特性，故模拟结果有效 2)、由转移概率矩阵自录若干次达到的固定概率向量求出 3)、系统熵反映所研究剖面总的稳定程度，一般说熵值愈大者则剖面愈不确定，代表性就差，栏内分子为后熵分母为前熵4)、用置换分析确定，它是研究岩性 状态转移概率相似性的一种手段。一般说在互置换矩阵中相关系数最小（括号中数值）的一对状态为剖面中稳定层位 5)、是稳定层位的逆分析，由互置换阵中相关系数最大或次大（括号中数值）的状态对构成 6)、剖面中岩性状态一段一段的重复出现，体现了其旋回和韵律性。若其系统熵较大则为随机型旋回，反之为旋回+随机型等；若剖面中各状态前、后熵值相近，则为对称序列，反之为混乱序列。7)、韵律是旋回的次级结构，由上、下转移概率矩阵、置换矩阵和熵分析综合的状态转移链构成。其中转移概率（转移线上的数值）大者为主韵律，小者为次韵律，虚线为逆转移，即自上向下转移，相当风化剥蚀过程。

积交替相；上部以细屑爆发相为主。证实了同一火山喷发期各不同火山机体统一的演化过程。故各剖面应属一个火山岩组，即龙王山组。

三、火山岩剖面的时间系列分析

本文的时间系列分析是把各地层剖面看作按一定方向排序的岩性状态链，通过滑动比较的互

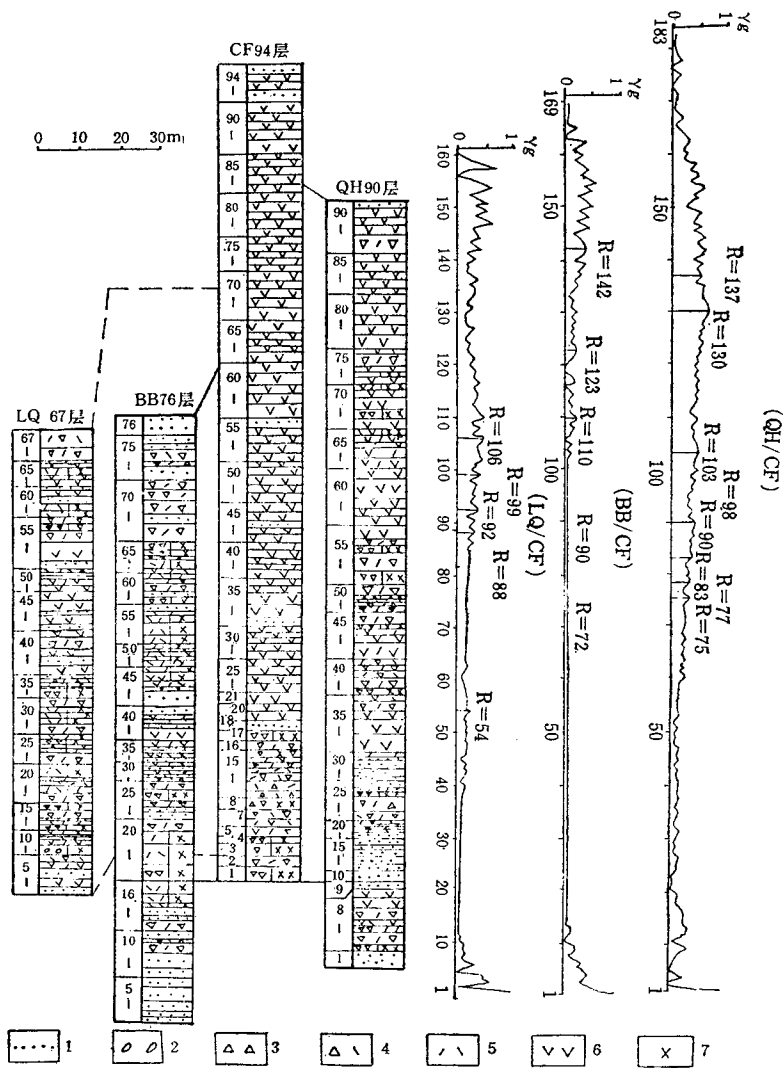


图 2 互关联函数 (γ_g) 曲线及模拟柱状剖面对比图

Fig. 2 Diagram showing the interconnection function (γ_g) curves and correlation of simulated columnar sections

1—沉积岩类；2—集块岩—集块角砾岩；3—火山角砾岩—凝灰角砾岩；4—角砾凝灰岩；5—凝灰岩类；6—熔岩类；7—置换后的火山角砾岩类

关联函数 (γ_g) 找出各剖面的最佳对比位置。因各剖面的状态数不同，不便对比，故以相变关系 (表 2) 将其统一为 4 个，如 LQ 剖面的集块岩 (代码 2, B)、凝灰岩 (5, E) 均可依状态 (3, C) 去置换，其结果见图 2 各柱状图右半部。

以标准剖面 CF 与其余剖面交叉对比所得最佳联结方式见图 2，依据见表 3。

从各对比剖面 γ_g 曲线 (图 2 右) 看， $R < 50$ 时，一般 γ_g 值均偏低且较平坦，当 R 增大时，则 γ_g 值逐渐升高并呈波状跳动，说明各对比剖面近顶部岩层与 CF 剖面的底部岩层较相似，即雷公尖盾状火山由相对较晚的火山岩组成。

在 QH/CF 对比中， γ_g 值在 $R = 50 - 160$ 段普遍偏高，表明两者相似性提高，确证 QH 剖面是雷公尖火山的外延部分。

表 3 部分滑动位置⁽³⁾(R)各剖面互关联分析结果
Table 3. Analytic results of interconnection of various sections in part of sliding locations (R)

对比剖面	R	γ_g	χ^2 (检验值)	比较数	对应岩层序号(自下而上)		结 论
					对比剖面	CF剖面	
QH	75	0.306	0.44	75	1—75	20—94	随 机
	77	0.324	0.12	77	1—77	18—94	随 机
	83	0.337	0.02	83	1—83	12—94	随 机
	90	0.422	2.68	90	1—90	5—94	随 机
	98	0.406	1.61	86	5—90	1—86	随 机
	103*	0.456	4.73	81	10—90	1—81	相 关
	130	0.666	25.15	54	37—90	1—54	相 关
	137	0.574	11.15	47	44—90	1—47	相 关
BB	72	0.055	0.77	72	1—72	23—94	随 机
	90	0.013	4.36	76	1—76	5—80	相 关
	110*	0.150	3.66	60	17—76	1—60	相 关
	123	0.170	4.69	47	30—76	1—47	相 关
	142	0.357	27.64	28	49—76	1—28	相 关
LQ	54	0.203	0.01	54	1—54	41—94	随 机
	88	0.268	2.10	67	1—67	7—73	随 机
	92*	0.313	5.62	67	1—67	3—69	相 关
	99	0.370	11.04	62	6—67	1—62	相 关
	106	0.418	15.98	55	13—67	1—55	相 关

* 为最佳对比位置，根据相关性及比较数最多原则认定，结论根据自由度为 1，置信水平为 0.1 的 χ^2 查表值 2.7 做出。

在 BB/CF 对比中，当 R>100 以上时，才显弱相关性，且较大的 γ_g 值多位于滑动位置的尾端，因比较数少，可靠性差。

LQ/CF 对比类似 BB/CF，且 LQ 剖面较 BB 剖面更接近 CF 剖面，说明这两个火山机体的喷发特征可能存在某种内部联系；而 BB 剖面则是其岩相重叠交叉部位。从 γ_g 曲线总特征看，BB 剖面更接近 LQ 剖面，即其岩性变化规律受龙王山火山机体制约的作用更强。

四、地 质 意 义

上述结果，客观地证实了应用深部钻孔资料，对龙王山组火山岩沿走向再塑其火山地质联结剖面（图 3），可获得以下新认识：

- 1. 以 F₃ 断裂为界，龙王山组南北两段火山地质剖面结构不同，北段是溢流-沉积相构成的盾状火山；南段以爆发相为主的似层状火山；F₃、F₄ 断裂夹持的断块为两大火山机体岩相交叉重叠的结合部。
- 2. BB 及 QH 剖面所处位置，均为火山构造的边缘地带，原可能属低洼地段，分别最先沉积了部分正常沉积岩，火山岩类是在其基础上沉积的。
- 3. 龙王山火山喷发较晚（因其下部第一层对应 CF 剖面第三层），但结束较早（其上部 67 层对应 CF 剖面 69 层）。
- 4. 雷公尖火山共见五层（或冷却单元）熔岩，其下部 4 层与 QH 剖面完全可以连接，第五层构成最晚期的熔岩锥。

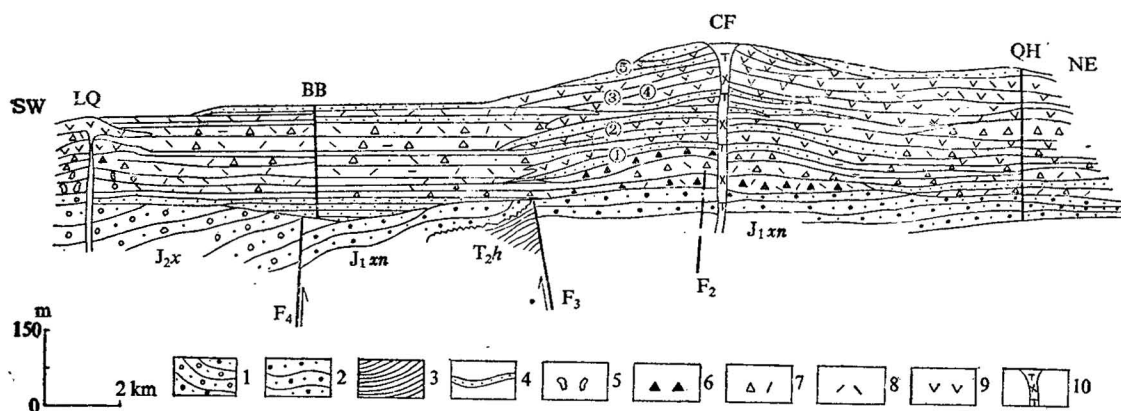


图3 龙王山组火山地质再塑剖面

Fig. 3 Remoulded volcanic section of the Longwangshan formation

1—含砾粗砂岩；2—中粗粒砂岩；3—粉砂质泥岩类；4—火山碎屑沉积岩类；5—集块岩类；6—火山角砾岩类；7—角砾凝灰岩；8—凝灰岩类；9—熔岩类（圆圈中数字为冷却单元序号）；10—粗面斑岩。

5. 上述3、4两条特征从现今剥蚀地貌亦可看出，如雷公尖到青塘一带为中低山区，雷公尖最高，海拔231m，青塘剖面中部海拔197m，而白马塘到前岗一带为低山丘陵区，如龙王山顶海拔168m，宝塔山海拔146m。

6. 由钻孔揭示的火山基底构造特征看，它们控制着火山爆发的类型和边界，即在坳陷断块上形成似层状火山，而在上隆的断块上形成简单的盾状熔岩火山。

参 考 文 献

- 〔1〕 翁世勋，1983，中国东南部侏罗—白垩纪板块构造活动与相关岩浆活动。地质学报，Vol. 2, PP. 119—129。
 〔2〕 中国科学院地质研究所，1977，数学地质引论。地质出版社。
 〔3〕 刘承祚、孙惠文，1981，数学地质基本方法及应用。地质出版社。

THE MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE SECTION OF VOLCANIC ROCKS OF THE LONGWANGSHAN FORMATION IN THE HANJING-WUHU AREA AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

Zhao Yuchen

(No. 322 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province, Maanshan City)

Abstract

The mechanism of formation, conditions of transportation, state of localization and diversity of material sources of the volcanic products as well as the possible lithofacies associations, migration and embedding of the products of different volcanic edifices of the same age in plan—all these may affect the stratigraphic classification and correlation and geological mapping in volcanic terranes.

Since the initiation of the use of the "double charting method" in volcanic

terrane, stress has been laid on the reform of the work procedure rather than on the exploration of the special work methods. For this reason, such mathematical means as random simulation and time-series analysis are proposed to explore the possibility of solving the above-mentioned geological problems. Through a concrete analysis of 4 measured sections of the Longwangshan Formation in the Nanjing-Wuhu volcanic terrane, this paper discusses a series of problems on fundamental geology such as the structure of the section of the strata formed by the dual geological processes—volcanic eruption and sedimentation, the regularity of distribution of lithologies, migration of lithofacies and its correlation, and localization of paleovolcanic structures and their environments of formation.

作者简介

赵玉琛，1932年出生，籍贯陕西省。1953年南京大学地质系毕业，专长火山岩地质与矿产，现任安徽省地质矿产局322地质队高级工程师（教授）。通讯处：安徽省马鞍山市向山243034。