

傅德彬地质学论文

FUDEBIN DIZHIXUE LUNWEN XUANJI

选集



地质出版社

傅德彬地质学论文选集

傅德彬 著

地质出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

傅德彬地质学论文选集 / 傅德彬著. —北京: 地质出版社, 2010. 9

ISBN 978-7-116-06887-2

I. ①傅… II. ①傅… III. ①地质学—文集 IV.
①P5—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 178064 号

责任编辑: 李丛蔚 祁向雷

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324577 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京天成印务有限责任公司

开 本: 787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张: 17.25

字 数: 400 千字

版 次: 2010 年 9 月北京第 1 版 · 第 1 次印刷

定 价: 58.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06887-2

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

谨以此书献给

把我这个农民的后代培养成一名高级知识分子的伟大的祖国；
含辛茹苦，精心养育并教会我如何做人的父母亲；
倾心教诲，为我指明探索地球科学奥秘方向的导师王恒升教授；
热爱孝敬，为我营造晚年和谐幸福生活的儿女们；
至诚关怀，无微不至照料我的夫人。

作 者

2010 年 4 月 20 日

作者的话

这里只是我一生在地质学真理的海滩上，有幸拾到的几片贝壳，对其略陈管见，以论文选集的形式公之于世，供后人借鉴。唯因本人才疏学浅，尚有偏颇或谬误、僭越之嫌，责无可逭，敬请读者幸恕，不吝赐教。

作者

2010年4月20日

作者简介



傅德彬，男，1936 年生于黑龙江海林，满族旗人，中国地质科学院研究生部毕业，理学硕士学位。吉林省地质科学研究所高级工程师，研究室主任，地质学、岩石矿物学地球化学等自然科学学会会员。

40 余年的地质生涯中，主要是在长白山区从事岩石矿物、岩石化学、地球化学与矿床学的生产、科研工作。完成岩矿鉴定报告 45000 份，编写生产、科研报告 24 份，英、俄文译文 23 篇，在各种学术刊物上发表论文 60 余篇，与他人合作专著 3 部，改进岩矿鉴定测试方法 4 项，创新方法 5 项，其中有的成果被国外转载引用，有的成果被编进国内地质大学课本，有 8 项成果获国家地矿部科技成果奖，1978 年在吉林省科学大会上被评为吉林省先进科技工作者。历年来多次被各级评为学习标兵、技术革新能手、先进生产者与先进工作者。

1980 年研究出了岩浆岩化学成分成因信息法，提高了对岩体及其矿床的研究水平与认识深度。1981 年发现了岩浆液态侵入液态的新的“隐秘侵入接触”关系，填补了一项岩石学空白。在重新观察、研究国内主要含镍基性-超基性岩体及其矿床后，于 1981 年在研究生毕业论文中首先提出了基性-超基性岩硫化铜镍矿床的“深成矿浆贯入成因”的新观点，首次把矿浆这一概念引入镍矿床成因研究。随后，系统深入地总结了该类矿床的形成条件、生成机制与成矿作用过程（1983），成功地论证了其成因模式（1982，1983，1984，1986，1988，1993，1994）。

岩浆硫化铜镍矿床的“深成矿浆贯入成因论”，引起了国内同行们的关注并被采用，世界上镍矿发达的加拿大、俄罗斯与芬兰等国的专家、学者、教授纷纷来函、来人，对这一理论进行深入探讨。

1993 年英国剑桥国际传记中心将作者及其业绩载入作为世界名人录的《剑桥国际传记词典》，予以肯定。

退休后，获得了中国宝石协会的宝玉石鉴定师资格，从事宝玉石鉴定、研究与珠宝首饰营销工作。

目前，在周游世界，颐养天年，给无怨、无悔、无憾、无忧、无愧的人生画上一个圆满句号。

一个人奋斗不论成败，都是把世界雕琢完美，竭尽所能，勇敢地去，到你衰老的时候，可满足地走开，让后人去奋斗。

——瓦特

序 言

作者系吉林省地质科学研究所高级工程师，毕业于中国地质科学院研究生部，理学硕士学位。他一生艰苦奋斗、呕心沥血，完成了大量的生产与科研工作，重点从事岩石矿物学、岩石化学、地球化学与岩浆硫化铜镍矿床等的研究，取得了显著成就。先后在《地质学报》、《地质论评》、《地质科学》、《地球化学》、《矿物学报》、《中国地质》、《地质与勘探》等刊物上、发表论文 60 余篇，本书选辑了 31 篇。

从本书中可以看出，作者在长白山区 40 余年的地质找矿与科研活动中，不仅完成大量生产任务，而且科研上颇有建树，主要科研贡献是：①革新一些传统的岩矿鉴定方法；②研究出了前所未有的新的岩矿鉴定、测试方法；③在侵入体中发现了一种新的接触关系——隐秘侵入接触；④在国内首次提出了岩浆硫化铜镍矿床深成矿浆贯入成因的新观点。

作者在研究了国内外岩矿鉴定、测试方法的基础上，或推陈出新，或革故鼎新，改革与创建了一些新的方法。例如：测定消光角的新方法、岩石化学成因信息法、原子-重量法等。特别是在 K. Rosenbuch (1898) 法则与 N. L. Bowen (1922) 反应系列的启发下，独具创意地揭示了岩浆化学成分 (C) 与温度 (T) 和时间 (t) 之间的函数关系，即：

$$T = h(t)$$

$$C = g(T)$$

$$C = f[h(t)]$$

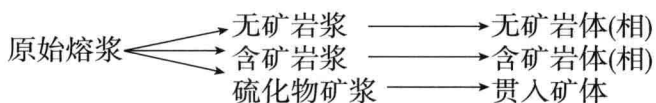
在此前提下，研究出的岩浆岩岩石化学成分成因信息法，大大加深了对岩浆岩成岩成矿作用的认识，有的方法于 20 世纪 60 年代初就被苏联的有关杂志转载引用，如《在野外如何以肉眼鉴别长石类矿物》。国内在 20 世纪 80 年代初把计算岩石在交代过程中物质迁移数量的“原子-重量法”编入了地质大学课本。

以往，我国在地质教学与找矿实践中墨守成规，长久以来承袭沿用由国外引进的正岩浆矿床就地结晶重力分异、熔离的成岩成矿理论 (T. H. L. Vogt, 1983, 1923; Я. ц. олишанский, 1950, 1951)，用来诠释岩体相变与矿体成因，并得出矿体位于岩体底部和小岩体无大矿的结论。受

此影响，在普查-勘探过程中多侧重于寻找岩盆状岩体底部的就地结晶重力分异、熔离矿体，打钻时亦多把钻孔布置在岩体中心底部位置，结果打白眼者不乏其例。

直到 20 世纪 80 年代初，作者在著名导师王恒升教授指导下，在重新研究国内主要含镍基性-超基性岩体过程中，发现多数岩体内部存在着岩浆液态侵入液态的现象。经过一番深入研究与缜密论证，把这一地质事件定义为“隐秘侵入接触”（Cryptically intrusive contact）。含矿岩体中隐秘侵入接触关系的发现，改变了对岩浆一次侵入就地结晶重力分异单式岩体及其就地结晶熔离矿体的认识，树立了岩浆多期次侵入的复式岩体与深成熔离矿浆贯入矿床（Ore magmatic injection deposits）的观点，从此开辟了岩浆岩侵入关系、岩浆分异作用与岩浆硫化铜镍矿床成因研究的新阶段。还应指出，作者并非完全否认就地结晶重力分异或熔离的传统理论。

这样，作者在重新考察与研究了红旗岭、赤柏松、漂河川、力马河、金川等镍矿床后，结合国外的一些著名镍矿床实例（如萨德伯里、诺里尔斯克、卡乌拉等），在国内首次提出复式基性-超基性岩体中的硫化铜镍矿床是深成矿浆贯入成因的观点（1981，1982，1983），进而系统地总结出基性-超基性岩硫化铜镍深成矿浆贯入矿床的形成条件、形成机理与成矿作用过程，精辟地拟定了矿床成因模式（Genetic Model）（1982~1994），建立了新的熔浆演化序列，即：



这一成果不但引起国内同行的广泛关注、引用，而且在国际硫化矿床专题学术讨论会上（1991）也博得外国专家、教授的好评。会后，先后有加拿大、俄罗斯、芬兰等国的专家、教授来函、来人，对这一理论观点做进一步的深入探讨。作者及其业绩于 1993 年被英国剑桥国际传记中心（International Biographical Centre）载入作为国际名人录的《剑桥国际传记词典》中。

综合上述，作者在 40 余年的地质生涯中，不辞辛劳、孜孜以求、锲而不舍、勇于创新，其新方法、新发现、新理论在地质科学中具有重要意义。他穷毕生之力坚持奋斗，执著追求，实现了他为祖国地质科学大厦添砖加瓦的人生抱负，体现了自我人生价值。

付云天 隋洪伟

2010 年 4 月 20 日于长春

目 录

序 言

岩矿工作要在改革中提高和发展	(1)
电子探针分析值 FeO^* 中 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 的微机电算程序	(5)
偏光显微镜载物台的改进及其应用	(14)
在旋转台上直接测定单斜辉石 (角闪石) $C \wedge N_{g \max}$ 角的五轴双晶法	(18)
矿相显微镜下同时观察不透明与透明矿物的新方法	(25)
显微镜下测定单斜系辉石和角闪石最大消光角的新方法	(27)
斜切 $[010]$ 晶带切片上直接测定斜长石 $\perp [010]$ 晶带 $N_p' \wedge [010]_{\max}$ 角的新方法	(39)
在野外如何以肉眼鉴别长石类矿物	(44)
赤柏松 No. 1 含镍基性岩体中矿物界生 (Synantectic) 现象浅析	(47)
赤柏松矿田含镍基性岩侵入体的成因矿物学研究	(55)
赤柏松含镍基性岩体中主要造岩矿物的穆斯堡尔效应研究	(64)
对 $\Delta \cdot C \cdot$ 柯尔仁斯基四轴-双晶法的改进	(73)
赤柏松含镍基性岩体中主要金属矿物的穆斯堡尔效应研究	(77)
某含镍超基性岩侵入体的地球化学	(87)
试论岩石在交代过程中物质迁移数量的计算方法	(100)
对 A. H. 查瓦里茨基岩石化学补充数值特征 n 值计算方法的讨论	(106)
侵入岩常量标型组分参数的函数图像及其成因信息	(110)
侵入岩常量标型组分参数函数曲线的拟合方法	(120)
延边地区基性-超基性岩岩石化学及其成矿专属性	(130)
论某超基性岩体及其硫化铜镍矿床	(143)
论H 含镍基-超基性岩体中的“隐秘侵入接触”及矿浆成矿问题 (摘要)	(151)
论 401 矿区一号岩体硫化铜镍矿床的成因问题	(153)
基性-超基性岩硫化铜镍矿浆形成机理及成矿作用特征	(172)
侵入体之间的“隐秘侵入接触”及其研究方法	(184)
基性-超基性岩硫化铜镍矿床深成矿浆贯入成因论	(192)

硫化铜镍矿床矿浆成矿的基本问题·····	(203)
新安含镍基性岩体的岩石学、岩石化学及地球化学初步研究·····	(215)
吉林省太古宙地体中硫化铜镍矿床的成矿规律概论·····	(226)
吉林赤柏松硫化铜-镍矿床的矿浆成因模式·····	(235)
刺猬沟英安质球状熔岩及其成因的初步研究·····	(251)
红旗岭镍矿冶炼炉渣中鬣刺结构的发现及其意义·····	(259)
1958 ~ 2005 年主要著作目录·····	(263)

岩矿工作要在改革中提高和发展^①

岩矿鉴定是每个地质人员所必须掌握的基本技能，岩矿工作是整个地质工作的有机组成部分，是一项基础工作。然而，“长期以来形成的野外与室内脱离，宏观与微观脱离，观察与研究脱离的现象还未能转变”（《中国地质》1987年第9期），在一定程度上影响了地质工作的质量与水平。在深入改革与新的一轮固体矿产普查的形势下，这种局面不应再继续下去了。下面仅就吉林省地矿局岩矿工作实际，谈一谈我们改革岩矿工作的体会，以资共同切磋、探索。

1 改革的思想基础

岩矿工作中存在的问题由来已久，改进的意见或建议屡有提出（程裕淇，1985；沈永和，1987……），那么何以改进不大呢？关键在于对岩矿工作的认识并未统一。认识上的差别，导致了管理体制与工作方法的的不同。

地质调查工作的对象是矿物、岩石构成的地质体。而矿物、岩石的识别与鉴定则是地质调查研究的起点，为地质体提供成因信息和为矿产开发应用提供数据。无疑岩矿工作是地质调查研究的重要组成部分，绝非仅是方法、手段，而是地质工作的基础工作之一。

岩矿工作在性质上纯属地学领域，与元素分析测试的化验工作截然不同。显然，许多人把岩矿工作与化验工作等量齐观，一并视为地质工作的一种方法或手段是欠妥的，用管理化验工作的方法管理岩矿工作是错误的。因为岩矿工作是运用矿物学、岩石学、矿床学与地球化学等学科理论，对矿物、岩石标本进行观察测试，最后提交的是反映对客观地质体规律性认识的文字报告，即或是综合研究报告，或是科研报告，或是地质报告的一部分。其最初成果——单篇报告与矿物测试数据报告，犹如野外地质调查记录一样，是一种原始编录形式。岩矿工作的完整内容应当包括野外与室内不可分割的两部分。岩矿人员本来就是从事基础地质工作的地质工作者。至于化验工作，并不属于地学领域，而是属于为地质调查研究提供方法、手段的应用化学或应用物理学范畴。其最终成果是各种测试、分析数据，并以此为地质调查研究、矿产普查评价与地质勘探服务。因而它不存在野外与室内、宏观与微观、观察与研究的三结合问题。化验工作是否在野外找矿第一线完成只是一个“及时性”问题。

岩矿与化验工作的性质、任务、内容与方法均不相同，其体制归宿与管理方法应有别，这是我们多年来形成的改革岩矿工作的认识基础或前提。

① 原载于《中国地质》1989年第1期。

2 管理体制的改革

基于上述认识,1980年,吉林省地质局就提出了《吉林省地质局岩矿工作调整改革整体规划》。按此规划迅速完成两项改革。第一,把全局岩矿工作从局、队两级实验室中分出来,分别归口局地研所地调所(大队)、地质科(或综合研究室)与地调队(分队),首次实现了岩矿归口地质,并用管理地质基础工作的方法管理岩矿工作。第二,建立健全三级岩矿工作管理体制,即建立局(地研所岩矿室)级、地调所(大队)级与地调队(分队)级的岩矿工作。

各级岩矿工作的主要职责是:

(1) 地调队级岩矿工作,由经过岩矿班培训和提高过的地质人员在基层第一线完成,主要是一般岩石定名,要求做到岩石定名不出地调队。

(2) 地调所级岩矿工作,一般主要由原大队级专业岩矿人员承担,重点从事本地区的岩石、矿床的研究工作,并对地调队的岩矿工作进行指导、检查。

(3) 地研所级岩矿工作,执行“双职能”任务。既要完成所内研究任务,又要负责全局岩矿管理工作。前者主要是承担所内各项科研课题中的岩矿工作或单独完成一定的科研项目。后者则主要是负责全局岩矿工作的管理与质量检查;全局地质人员与专职岩矿人员的培训;新方法、新技术、新理论的引进与推广;负责召集岩矿专业工作与学术会议;完成选矿实验中的岩矿工作,以及目前尚无专业岩矿人员与设备的所、队的鉴定任务等。

为了把上述三级岩矿工作落到实处,让其发挥显著效益,我们及时地抓了两项工作。一是举办各级岩矿培训班,除了提高岩矿人员的技术、理论水平及更新知识外,重点旨在培养和提高野外第一线地质人员(特别是组长一级的)进行镜下观察研究的能力。使大部分地调所,尤其是1:5万区调队与重点矿区的地调队,基本上实现了岩石定名不出队,大大提高了野外地质观察研究水平,有力地促进了野外地质找矿工作。二是在部、局领导和有关部门的重视与支持下,大力配备显微镜与磨片机,基本上保证了开展现场岩矿工作的需要。以上改革与做法,不仅基本上克服了“三脱离”,而且完全符合1985年地矿部固体矿产普查会议的要求。

3 工作方法的改革

现有岩矿人员必须参加地质调查研究的全过程是工作方法改革的宗旨。只有这样才能彻底解决“三脱离”问题,才能提高地质观察研究水平,才能适应新一轮固体矿产普查工作的要求。地调队的岩矿工作,在现场由地质人员自己完成。实现了自己设计、自己观察采样、自己鉴定写报告的全过程,从而大大提高了地质基础工作的质量与水平。目前,此项工作尚未普及到所有的地调队,而主要是在重点矿区与1:5万和1:20万区调工作中实行。

地调所的岩矿工作,由过去以鉴定单个岩石、发单篇报告为主,转变为以研究地质找矿问题(包括岩石类型方面)、发综合报告为主,岩矿工作步入了以找矿为中心的正确轨道。原有岩矿人员要与其他地质人员一道参加从设计开始到验收报告为止的地质调查研究的全过程,从而提高了研究地质找矿问题的水平。如第四地调所原有岩矿人员,在1981~1982年间参与了赤柏松镍矿的研究工作,其研究报告既有重要的找矿意义,又有很高的学

术价值，不仅在 1983 年于武汉召开的全国典型矿床研究经验交流会上受到好评，而且荣获部颁发的科研成果三等奖。既出成果，又出人才。

地研所的岩矿工作，以搞专题研究为主，共分 3 种形式：①承担某个专题的有关部分的研究工作。如变质岩的原岩建造恢复，矿石物质组分与赋存状态，岩石化学与成矿未属性等。工作成果，或参加报告的部分编写工作，或提交单独的部分研究报告。②把岩矿人员编在某个课题组内，成为课题组成员之一，直接参与地质调查研究与报告编写工作。③岩矿室单独承包有关科研项目的专题研究工作，最后提交完整的研究报告。无论何种形式，都必须坚持岩矿人员要参加地质调查研究全过程这一原则精神。1980 年以来，在 10 余个专题研究中配备了不同形式的岩矿工作，收到了令人满意的效果，解决了过去实验室编制内长期没能很好解决的问题。

4 改革的路越走越宽

改革打破了岩矿工作的僵化局面，给岩矿工作带来了生机和发展，使岩矿工作向前迈出了四大步。

(1) 从室内走向野外，实现了岩矿工作野外、室内一贯制。把岩矿工作建立在野外观察研究的基础上，解决问题切实、深刻。使岩矿人员自觉参加地质调查研究的全过程，提高了岩矿工作的质量和地质调查研究的水平。

(2) 从岩矿镜下鉴定发展到对地质体的综合研究。1980 年以来，地研所的岩矿工作以野外观察为基础，开始了对岩体、矿床进行综合研究的新阶段。先后承担了吉林省的金、银、镍、钼等大中型矿床的地质特征、成矿作用、物质组分与找矿方向，以及典型矿床的研究工作，取得很好的成果。在这些工作中，使我们认识到岩矿工作只限于配合地质找矿工作是不够的，不应满足于配角，而应扬长避短，发挥岩矿工作在地质调查研究中的主力军作用。近年来，我们有意识地进一步竭力从各方面把岩矿人员建设成为以岩石和矿床为主要研究对象的专题研究队伍。

(3) 从单个矿床研究发展到区域成矿规律的研究。实践表明，当前的找矿形势，只解剖矿床，做点上的工作已远远满足不了需要。迫切需要的是从点上入手研究面上或区域的成矿规律，借以进行成矿预测，选出成矿远景区，指出找矿方向，部署地质找矿工作。作为地质调查研究重要方面的岩矿工作，必然要向面上或区域性成矿规律的研究进军。近年来，地研所的岩矿人员承担或参与了国家“七五”攻关项目，部级指令性的华北地台成矿规律的研究，以及省级台区镍矿找矿方向的研究课题。研究成果不仅有的荣获部科技二等奖，有的被评为国内先进水平，更重要的是为部署有关矿产的地质普查工作指出了方向。

(4) 在改革开放的形势下，近年来岩矿工作走向了社会，为社会经济建设服务，在开拓地质技术市场上发挥作用。我们充分发挥了现代大型测试仪器的作用，打破了过去那种测试人员只限于在实验室内出数据的僵化局面，使他们有了发挥自己聪明才智的广阔天地，取得了良好的经济效益和社会效益。

岩矿工作的改革不仅造就了一批人才，而且出了丰硕的成果。十一届三中全会以来，吉林省地矿局提交了有岩矿人员参加或承担完成的科研报告 10 余份，为各级专业学术会议撰写的论文 30 余篇，在国内各级公开发行的刊物上发表的论文 40 余篇。另外还出版了《吉林省矿物专辑》、《岩石结构图册》、《吉林省岩石分类与命名》等书，为吉林省地质工

作作出了一定的贡献。

事实说明，改革拓宽了岩矿工作的路子，使岩矿工作充满生机和活力。岩矿工作，尤其是管理体制必须改革，因循守旧、满足现状是没有出路的。

应当说明，把岩矿工作从局、队两级实验室中分出来，归口地质管理的改革，目前国内就我们一家，缺乏代表性，加以我们对改革岩矿工作的体会粗浅，难免有失偏颇，文内倘有不妥，请惠于批评指正，以利我们今后在深化改革中继续努力探索、追求、前进。

最后，向一直关心、支持和指导我们改革岩矿工作的前地矿部副部长程老与张文驹副部长深表谢忱。

电子探针分析值 FeO^* 中 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 的微机电算程序^①

目前,无论是X射线能谱抑或电子探针微区分析,均不能直接给出 Fe_2O_3 与 FeO 的分量,只能给出包括 Fe_2O_3 与 FeO 在内的全铁,记作 FeO^* 。然而,在实际岩石-矿物学工作中,矿物的标准分子式、结构式与端元组分的计算,以及大量岩石-矿物学问题的解释均需要 Fe_2O_3 与 FeO 的分量数据。比如,矿物形成温度(T)与压力(P)的计算,成岩成矿环境氧化程度或氧逸度(f_{O_2})的计算,岩石化学指数(m/f , m/s)的计算等。而且,有时会把电子探针或X射线能谱分析结果中的 FeO^* 误认为 FeO ,从而导致错误的结果。

为了解决电子探针、X射线能谱分析中 Fe_2O_3 与 FeO 的分量问题,E. J. 埃森和 W. S. 法伊夫(1967)针对辉石类矿物曾提出过由电子探针分析值计算硅酸盐矿物中 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 的问题。其后,1973年,B. Mysen 与 W. L. Griffin^[1] 及 J. H. Stout^[2] 先后分别对辉石类与角闪石类矿物中 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 的计算方法进行过修正。1983年,郑巧荣^[3] 系统地讨论了由电子探针分析值计算 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 的各种方法的原理、步骤、适用条件和存在问题等,并进一步修正与简化了一些方法,扩大了一些方法的适用范围。近年来,经过我们的大量实践,认为其中的“电价差值法”与“剩余氧算法”较好,因此,将它们编成 VICTOR-9000 型微机电算程序。

1 电价差值法

1.1 原理

在矿物的晶格中正负离子的电价是平衡的,而电子探针分析,人为地把 Fe^{3+} 当成了 Fe^{2+} 用 TFe 或 FeO^* 值给出,这样,矿物晶格中或反映在矿物分子式中的阳离子总电价必然低于理论电价,据此便可按:

$$\begin{aligned}\text{Fe}^{3+} &= |\text{理论电价}| - \text{计算电价} \\ \text{Fe}^{2+} &= \text{TFe} - \text{Fe}^{3+}\end{aligned}$$

计算出 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 离子系数,并进一步计算出 FeO 与 Fe_2O_3 的质量百分含量,以满足矿物分子式和若干岩石-矿物学参数计算的需要。

1.2 计算步骤与公式

(1) 把矿物的电子探针全分析的质量百分含量进行平差,换算为 100% (带电脑的电子探针给出的分析结果已换算为 100%)。

① 合作者有徐玉英。原载于《地质实验室》1987年第3卷第4期,310~316页。

(2) 计算氧化物的分子数 $[Q(N)]$

$$Q(N) = \frac{\text{氧化物重量百分含量 } [W(N)]}{\text{氧化物分子量 } [F(N)]}$$

(3) 计算氧化物中阳离子数 $[N(N)]$ 及其总和 (NN)

$$N(N) = \text{氧化物分子数 } [Q(N)] \times \text{氧化物中阳离子个数 } [P(N)]$$

$$NN = N(1) + N(2) + \cdots + N(N)$$

(4) 按阳离子法^[4]计算出矿物的各阳离子系数 $[ND(N)]$

$$ND(N) = \text{阳离子数 } [N(N)] \div \frac{\text{阳离子数总和 (NN)}}{\text{矿物中阳离子总数 (D)}}$$

(5) 计算阳离子正电价 $[E(N)]$ 及其总和 (EE)。

$$E(N) = \text{氧化物阳离子数 } [ND(N)] \times \text{阳离子化合价 } [QI(N)]$$

$$EE = E(1) + E(2) + \cdots + E(N)$$

(6) 按原理中公式计算 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 阳离子系数 (Fe_3 , Fe_2)^①

$$\text{Fe}^{3+} \text{ 阳离子系数 } (\text{Fe}_3) = \text{理论电价 (FE)} - \text{计算电价 (EE)}$$

$$\text{Fe}^{2+} = T\text{Fe} - \text{Fe}^{3+}$$

(7) 计算 Fe_2O_3 与 FeO 的重量百分含量

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_3 \times \frac{NN}{D} \times 159.7 \times \frac{1}{2}$$

$$\text{FeO} = \text{Fe}_2 \times \frac{NN}{D} \times 71.85$$

算出 Fe_2O_3 与 FeO 的重量百分含量后, 重复 1~5 步骤的计算, 即可得出所有阳离子系数, 其中包括 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 的阳离子系数在内。

(8) 计算阴离子数 (即氧离子数) $[H(N)]$ 及总和 (HH)

$$\text{阴离子数 } [H(N)] = \text{氧化物分子数 } [Q(N)] \times \text{氧化物中阴离子个数 } [PI(N)]$$

$$HH = H(1) + H(2) + \cdots + H(N)$$

(9) 计算以氧阴离子数 $I^{\text{②}}$ 为基础的阳离子系数 $[H6(N)]$

$$H6(N) = N(N) \div \frac{HH}{IN}$$

(10) Al^{IV} 与 Al^{II} 的计算公式

$$\text{Al}^{\text{IV}} = 2 - \text{Si}$$

$$\text{Al}^{\text{II}} = H6(3) - \text{Al}^{\text{IV}}$$

其中, Si 为以阴离子数 IN 为基础计算的硅的阳离子数; $H6(3)$ 代表以阴离子数 IN 为基础计算的铝的阳离子总数。

1.3 变量说明

1.3.1 简单变量说明

M ——样品个数;

N ——氧化物变量个数 ($N=10$);

① Fe_3 与 Fe_2 分别代表 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 。

② 作为计算基础的阴离子数, 不同的矿物是不同的, 如辉石为 6, 橄榄石为 4, 斜长石为 8, 石榴子石为 12 等。

D ——矿物中阳离子总数，辉石 $D=4$ ，橄榄石 $D=3$ ，黑云母 $D=8$ 等；
 ZZ ——探针分析值总和；
 NN ——阳离子数总和；
 EE ——正电价总和；
 PE ——理论电价，辉石 $PE=12$ ；橄榄石 $PE=8$ ，石榴子石 $PE=24$ 等；
 IE ——矿物中阴离子数。

1.3.2 数组变量说明

$Fs(N+1)$ ——氧化物分子式；
 $Z(N+1)$ ——电子探针分析值；
 $W(N+1)$ ——氧化物的重量百分含量；
 $Q(N+1)$ ——氧化物的分子数；
 $F(N+1)$ ——氧化物的分子量；
 $N(N+1)$ ——氧化物的阳离子数；
 $P(N+1)$ ——氧化物中阳离子个数；
 $ND(N+1)$ ——以阳离子数 D 计算的阳离子系数；
 $E(N+1)$ ——正电价；
 $QI(N+1)$ ——氧化物中阳离子化合价；
 $H(N+1)$ ——阴离子数（即氧离子数）；
 $PI(N+1)$ ——氧化物中阴离子个数；
 $H6(N+1)$ ——以氧阴离子数 IN 为基础。
 计算的阳离子系数。

2 剩余氧 (Ox) 计算法

2.1 原理

剩余氧 (Ox) 计算法的原理同电价差值法。 Ox 与 Fe_2O_3 及 FeO 的关系为：

$$Fe_2O_3 = 2FeO + Ox$$

2.2 计算步骤与公式

- (1) ~ (3) 同电价差值法的 1~3；
- (4) 同电价差值法的 8；
- (5) 求理论阴离子总数 (AL)

$$AL = NN/C$$

式中： NN 为理论阳离子总数； C 为理论阳离子数与理论阴离子数的比值。

- (6) 求剩余氧 (Ox) 原子数

剩余氧原子数等于理论阴离子总数减去计算的阴离子总数 (HH)，即：

$$Ox = AL - HH$$

- (7) 计算 Fe_2O_3 重量百分含量

因为 Fe_2O_3 分子数与剩余氧 (Ox) 原子数相同，故 Fe_2O_3 的重量百分含量等于剩余氧乘以 Fe_2O_3 的分子量，即：

$$Fe_2O_3 = Ox \cdot 159.70$$