



中国土壤磁性与环境

Chinese Soil Magnetism and Environment

卢升高



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

中国土壤磁性与环境

Chinese Soil Magnetism and Environment

卢升高



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

图书在版编目(CIP)数据

中国土壤磁性与环境/卢升高. —北京:高等教育出版社, 2003. 5

ISBN 7-04-012095-X

I. 中... II. 卢... III. ①土壤-电磁性质-中国
②土壤环境-中国 IV. ①S153.2②X21

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第110774号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街55号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100009	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	010-64014048		http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本	850 × 1168 1/32	版 次	2003年5月第1版
印 张	7.875	印 次	2003年5月第1次印刷
字 数	200 000	定 价	13.00 元
插 页	1		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

作者简介



卢升高,男,1962年4月生,1982年7月毕业于浙江农业大学土壤农化专业,1985年8月毕业于中国科学院南京土壤研究所,获硕士学位,1998年12月获浙江大学博士学位,博士论文获2001年“全国百篇优秀博士论文”现为浙江大学环境与资源学院教授、中国土壤学会土壤物理专业委员会委员、土壤生态与肥力专业委员会委员以及美国国家地理学会会员。多年从事环境磁学和环境生态学研究与教学,先后主持国家级和省级多项科研项目,包括国家自然科学基金项目,中科院土壤圈物质循环开放研究实验基金项目,浙江省自然科学基金项目和省科技攻关项目等。此外,还参加美国 Earthwatch 研究项目。已在国内外学术刊物发表论文50多篇,其中SCI收录4篇,合著专著1本,参编2本。主持的中国土壤磁性矿物学研究成果获浙江省高校科研奖一等奖,参与的项目获得浙江省科技进步一等奖,专著获华东地区优秀科技图书一等奖。曾赴美国亚利桑那州立大学和俄罗斯进行合作研究与访问,先后五次在国际学术会议上作报告。

导师简介



俞劲炎，浙江省嵊州人，1932年11月生，浙江大学环境与资源学院教授。1955年浙江农学院毕业，留校任教，先后在武汉水利学院、北京俄语学院进修，1959—1963年为莫斯科大学生物土壤系研究生，并于1963年获得该校生物学副博士学位，回国后在浙江农业大学土壤农化系任教。1986年晋升为教授，1993年被评为博士生导师，先后培养了土壤物理、土壤环境生态、农业生态等方面的博士、硕士二十多人。1992年经国务院批准享受政府特殊津贴。曾是国际土壤学会会员，担任过中国土壤学会常务理事、土壤物理专业委员会主任，浙江省土肥学会、生态学会、研究生教育学会以及欧美同学会东欧分会等的理事，浙江省农业高级职称评委、省现代农业园区办专家、宁波市江东区政府顾问。主持和主要参加过国家、省部级研究项目二十多项，先后获国家教委、中国科学院科技进步二等奖及农业部、水电部、省科委和省教委等各种奖励十多项。主编、副主编和主要参加撰写的文集、专著、教科书、科普书十余本，发表论文一百多篇。

前 言

环境磁学是20世纪80年代出现的一门新兴边缘学科,它的研究对象是岩石、土壤、沉积物和大气颗粒物。由于磁测方法具有的快捷、简便、非破坏性等优点,环境磁学在解决一系列重大环境问题上发挥了重要作用,研究内容深入到岩石圈、土壤圈、水圈和大气圈中的各种环境问题,成为应用环境物质磁性来恢复环境过程,解决人类活动对环境影响研究的重要手段。土壤磁性研究作为环境磁学的重要组成部分,在20世纪70年代末由俞劲炎教授引入我国,并提出建立土壤磁学新分支,随后开展了中国土壤磁性分布、土壤磁性发生理论方面的研究。但由于受到磁测仪器和学科本身发展的限制,只开展了土壤磁化率的测定。20世纪90年代中期,一些在国外获得博士学位的学者相继回国,开始引进国外最新的磁测仪器,建立环境磁学实验室,随后国内的环境磁学研究蓬勃发展起来,在黄土-古土壤和沉积物磁性研究领域获得了重大进展。

作者从1995年开始应用环境磁学测量系统进行土壤磁性测定,在工作中逐渐形成了较为完整的土壤磁性研究思路,认为环境磁学的核心问题是环境物质的磁性载体,所有相关环境问题的解决都依赖于对环境物质磁性矿物学的认识,而土壤磁学的生命力在于利用磁测解决环境变化、环境污染等现代环境问题方面的突

破。因此,将热带亚热带土壤的磁性特征及其与环境的关系、土壤磁性矿物学和中国东部红土的磁学及其环境意义三个问题作为博士论文的研究内容,本书正是上述三方面问题的研究结果总结。

作者1985年硕士毕业后即在俞劲炎教授指导下开始土壤磁学研究,所以正是俞劲炎教授引导我进入土壤磁学这一领域,并在他的指导下完成博士学位论文。值此书稿完成之际,对俞劲炎教授多年来在工作、生活上的关心和帮助,表示衷心的感谢。

本项研究得到了国家自然科学基金(项目编号49971044)的资助,特此表示衷心的感谢。

作者的研究得到了许多同行专家的关心与支持。特别是浙江大学环境与资源学院王人潮教授、黄昌勇教授一直十分关注和支持作者的研究工作。华东师范大学副校长俞立中教授作为我国环境磁学的开拓者之一,提供给作者环境磁学测量系统,华东师范大学河口海岸国家重点实验室张卫国博士也在磁测方面提供了诸多帮助。浙江大学分析测试中心吕光烈研究员协助完成X射线衍射分析。浙江大学环境与资源学院章明奎博士提供了部分土壤样品。对以上各位给予的帮助和支持,在此深表感谢。

作者还要感谢参加博士论文评阅和答辩的各位先生。他们是中国农业大学辛德惠院士,中国科学院南京土壤研究所龚子同研究员和姚贤良研究员,华东师范大学俞立中教授,沈阳农业大学刘孝义教授和依艳丽教授,浙江大学王人潮教授、黄昌勇教授、吕光烈研究员、谢振苗教授,电子科技大学尧德中教授。

作者水平有限,许多观点、结论仅是个人一管之见,其中有可能存在错误或不足,敬请读者批评指正。

卢升高

2001年12月30日

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》。行为人将承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

现公布举报电话及通讯地址:

电 话:(010) 84043279 13801081108

传 真:(010) 64033424

E-mail:dd@hep.com.cn

地 址:北京市东城区沙滩后街55号

邮 编:100009

责任编辑	吕庆娟
封面设计	于文燕
责任绘图	尹莉
版式设计	史新薇
责任校对	刘莉
责任印制	韩刚

目 录

第 1 章 环境磁学研究进展	1
1.1 环境磁学的产生与发展	2
1.2 环境磁学原理与研究内容	3
1.3 土壤磁性	6
1.3.1 土壤磁性研究的回顾	6
1.3.2 中国土壤磁性分布规律	9
1.3.3 土壤磁性的影响因素	10
1.3.4 土壤磁性的应用	12
1.4 黄土-古土壤磁性	15
1.4.1 黄土-古土壤磁化率的气候意义	15
1.4.2 黄土-古土壤中的磁性矿物	19
1.4.3 古土壤磁性增强的机理	21
1.5 沉积物磁性	23
1.5.1 沉积物来源的判断	23
1.5.2 环境污染的监测	25
1.5.3 指示环境变化	26
1.6 大气颗粒物的磁性	28
1.6.1 大气颗粒物来源的判断	28
1.6.2 大气污染的监测	29

1.7 土壤磁学研究的前景	31
第2章 环境磁学研究方法	32
2.1 环境磁学参数、意义和测定方法	32
2.1.1 磁化率	32
2.1.2 频率磁化率	33
2.1.3 非滞后剩磁	35
2.1.4 饱和等温剩磁	35
2.1.5 磁化系数	36
2.1.6 退磁系数	36
2.1.7 饱和剩磁矫顽力	36
2.1.8 磁性比值参数	37
2.1.9 环境磁学参数测定方法	37
2.2 磁畴的概念及其意义	38
2.3 土壤中磁性矿物的鉴定方法	39
2.3.1 磁性矿物的分离	39
2.3.2 磁性矿物的鉴定	41
第3章 土壤磁性与环境	43
3.1 热带亚热带土壤磁性研究概述	43
3.2 铁铝土和富铁土的磁性	47
3.2.1 成土母质与磁性	48
3.2.2 气候与磁性	56
3.2.3 成土时间与磁性	57
3.3 人为土的磁性	60
3.3.1 人为土磁性的基本特征	60
3.3.2 人为土与母土的磁性比较	64
3.3.3 人为土的水分状况与磁化率剖面	68
3.3.4 人为土的氧化铁矿物	71
3.4 新成土的磁性	76
3.4.1 新成土的磁性特征	77

3.4.2 新成土的灼烧试验	82
3.4.3 新成土磁性与土壤发育的关系	83
3.5 土壤磁性的发生学意义	86
3.5.1 土壤磁性的地理分布规律	86
3.5.2 土壤发育过程中磁性消长的概念模型	89
3.5.3 土壤磁性发生的指标问题	90
3.6 土壤频率磁化率及其环境意义	92
3.6.1 频率磁化率与矿物粒度	92
3.6.2 土壤频率磁化率的环境指示作用	93
3.6.3 频率磁化率的环境应用潜力	98
3.7 表土磁性增强问题	100
3.7.1 表土磁性增强现象	100
3.7.2 表土磁性增强机理	102
第4章 土壤磁性矿物学	105
4.1 土壤磁性矿物的种类	106
4.1.1 亚铁磁性矿物	106
4.1.2 反铁磁性矿物	108
4.1.3 顺磁性矿物和抗磁性矿物	108
4.2 合成氧化铁的磁性	109
4.2.1 氧化铁的合成	109
4.2.2 氧化铁的磁性	110
4.3 土壤磁性矿物分析	114
4.3.1 矿物磁测分析	115
4.3.2 X射线衍射分析	126
4.3.3 电子显微镜分析	129
4.3.4 化学选择性溶解技术	130
4.4 土壤磁性矿物的起源	133
4.4.1 母岩风化	134
4.4.2 灼烧	137

4.4.3 成土化学作用	142
4.4.4 生物合成	150
4.4.5 大气磁性颗粒	151
第5章 土壤磁性的粒度特征与环境	153
5.1 土壤磁性粒度特征的环境意义	153
5.2 土壤磁性的粒度特征	155
5.2.1 土壤粒级的提取	155
5.2.2 磁化率的粒级分布	156
5.2.3 磁性比值参数的粒级分布	160
5.3 磁性矿物类型的粒级分布	161
第6章 中国大陆东部红土的磁性及其环境意义	165
6.1 中国大陆东部红土的分布与研究意义	166
6.1.1 红土的地理分布	166
6.1.2 红土研究的意义和问题	166
6.2 中国大陆东部红土的剖面特征	169
6.3 中国大陆东部红土的磁学性质	170
6.3.1 磁化率曲线	170
6.3.2 ARM 曲线	173
6.3.3 DCB 处理的磁化率损失量曲线	174
6.3.4 频率磁化率曲线	174
6.3.5 磁化系数和退磁系数曲线	177
6.3.6 红土磁性的粒度特征	178
6.4 中国东部红土的磁性矿物学	181
6.4.1 球粒状磁颗粒的发现	181
6.4.2 剩磁矫顽力	185
6.4.3 X 射线衍射图谱	186
6.4.4 透射电镜图谱	187
6.4.5 热磁分析	189
6.5 中国东部红土磁性的环境意义	190

6.5.1 红土磁性的古环境意义	190
6.5.2 DCB 处理磁化率损失量的环境意义	193
第 7 章 结束语	196
英文摘要	204
参考文献	214
附录 专业术语中英文对照	237

第1章

环境磁学研究进展

环境磁学 (environmental magnetism) 是 20 世纪 80 年代出现的一门介于地学、磁学和环境科学之间的新兴边缘学科。它通过研究环境物质的磁性特征,探索磁性矿物在环境系统中的迁移、转化和组合规律,利用物质在磁性特征上的联系及其反映的环境内涵,研究不同时空尺度的环境问题、环境过程和作用机制。

现代磁学和电子技术的发展,一系列高灵敏度磁测仪器问世,环境磁学方法具有的样品用量少、灵敏度高、方法简便快速、非破坏性、费用低等优点,大大丰富了环境物质磁性研究的内容,已在地球物理学、生态学、气候学、湖泊学、海洋学、沉积学、土壤学、水文学、地貌学等领域发挥了重要作用,成为应用环境物质(土壤、沉积物和大气尘埃)的磁性来恢复环境过程,解决人类活动对环境影响研究的重要手段。

近年来,环境磁学研究为国内许多学科学者所重视,并成功地应用于相关的环境问题。例如,我国地质和地理学领域对黄土-古土壤磁性的研究,建立了应用磁学方法来恢复全球环境变迁和古气候演变的新模式,为我国的古全球变化研究走在世界前列作出了重要贡献。关于我国热带亚热带土壤磁性的研究也颇具特色。

本章对环境磁学的产生与发展、环境磁学的研究内容和一些最新进展作一评述,对环境磁学研究的成功经验和存在问题进行总结,并对今后的发展提出了一些看法与建议。

1.1 环境磁学的产生与发展

环境磁学源自古地磁学(palaeomagnetism),古地磁学是研究地质历史时期地球磁场的基本特征、组成及演化,同时探讨地磁场起源的学科。它通过不同地质时期各种岩石的剩磁测量,解决有关历史时期地磁场的演化规律和相关的地质问题,以及生命、环境的演化问题。20世纪,古地磁学研究取得了突破性进展,通过全球各大洋海底磁测,确证了板块学说,在地球科学领域引起了一场革命。随着磁测仪器的改进,古地磁学者也测定了沉积物的磁性,人们注意到岩石和沉积物的某些磁性参数,如磁化率、剩余磁化强度等与环境影响的某些特征之间存在相关性,即岩石和沉积物的磁性蕴含着一定的环境信息,可以利用这些磁信息来研究环境的发生和变化等一系列问题。因此,湖泊和海洋沉积物的磁性研究受到了人们的重视,通过沉积物磁性研究沉积环境变化和作用过程,应用沉积物记录的环境信息去恢复环境过程、重塑环境演化历史。

与此同时,人们对土壤的磁性也发生了兴趣。Henin 和 Le Borgne(1954)首先报道了土壤磁性,并发现表土磁性增强现象。随后,人们发现土壤磁性 with 土壤发生、成土环境有密切的关系。通过对各种土壤类型的磁测,证实了土壤磁性的分布有明显的地带性规律,并开展了系统的土壤磁学研究,在中国和俄罗斯都出版了《土壤磁学》专著(俞劲炎和卢升高,1991;Babanin 等,1995)。同时,开展了应用磁场处理水和工矿含铁废渣,作为磁处理水利用,工矿含铁废渣作磁改良剂等。

1982年 Heller 和刘东生在《Nature》杂志发表了一篇具有代表

性的关于中国黄土-古土壤磁性研究的论文,发现黄土-古土壤的磁化率变化很大,并首次提出黄土-古土壤的磁化率可作为古气候的代用指标来反映古气候变化。随后,人们发现中国黄土-古土壤磁化率曲线与深海沉积物氧同位素曲线能很好地对比,认为磁化率曲线包含了全球环境变化的信息。自此之后,黄土-古土壤磁性的研究,不仅仅停留在磁性地层学的领域,而且作为古气候研究的新突破点迅速地被人们关注。这一时期,出现了一系列快速、简便、非破坏性的磁测仪器,对环境中沉积物和大气悬浮颗粒的磁性研究得到迅速发展,并扩展到土壤圈、大气圈、水圈和岩石圈中的许多物质。逐渐形成了矿物磁性的观点,认为磁性载体磁铁矿和磁赤铁矿广泛存在于各种环境物质中,而且它们对环境变化十分敏感,利用它们对环境变化的敏感性,解决土壤侵蚀、沉积物来源、大气污染、古气候等环境问题。在此基础上,Thompson 和 Oldfield 在 1986 年出版了“Environmental Magnetism”一书,详细论述了如何将矿物的磁性应用于环境研究,这被誉为环境磁学发展的里程碑,标志着环境磁学作为一个相对独立的分支学科正式建立。此后,利用土壤、沉积物和大气尘埃的磁学性质解决环境问题的研究在全球范围内广泛开展起来,成为一门研究环境中物质的磁性及其与环境问题之间联系的学科。欧共体成立了专门的环境问题矿物磁性研究网络(MAG-NET),旨在开发矿物磁性方法解决气候变化、环境污染问题,包括环境物质(土壤、沉积物、尘埃)磁性的测定,磁性对气候和环境的指示作用,污染物质来源判断等等。

环境磁学研究的对象已扩展到大气圈、水圈、土壤圈和岩石圈中的许多物质,这种研究方法成为研究全球环境变化、气候过程和人类活动对环境影响等的重要方法。

1.2 环境磁学原理与研究内容

磁性是物质的基本属性,任何物质都表现出一定的磁性特征。

根据物质的磁性行为,通常可分为铁磁性(ferromagnetism)、亚铁磁性(ferrimagnetism)、反铁磁性(canted antiferromagnetic)、顺磁性(paramagnetism)和抗磁性(diamagnetism)五种类型。在环境系统中,岩石、土壤、沉积物、大气尘埃等自然物质以及人类活动所产生的次生物质往往表现出不同的磁性特征,它们与物质内含的磁性矿物类型、磁性矿物含量、晶粒大小及配比组合有关。因此,环境物质的磁性特征在一定程度上反映了其物质来源、生成环境、搬运过程和沉积作用等综合信息。环境磁学的基本原理就是通过系统的磁性测量,揭示不同时空的环境物质内磁性矿物的类型、含量和晶粒组合特征,从中提取环境物质中蕴含的丰富环境信息,以探索环境过程和作用机制。

环境物质的磁性可通过一系列磁性参数的测量来表征,通过这些磁性参数的综合测定和比较,可以分辨环境物质中磁性矿物的组成、晶粒特征等方面的差异。环境系统中最有普遍意义的磁性矿物是亚铁磁性矿物(如磁铁矿、磁赤铁矿、磁黄铁矿等)和反铁磁性矿物(如赤铁矿、针铁矿等),它们形成的环境条件不同,这些磁性矿物的类型、颗粒大小和组成等分别代表了不同的环境,根据环境物质磁性反映的矿物磁性特征可演绎其环境变化信息。

环境物质中磁性矿物的来源可归结为外源和内源两类,外源磁性矿物的输入途径主要是通过大气和径流,大气降尘中主要有火山灰、土尘、宇宙尘埃、人类活动释放的大气污染物等;通过径流带入的主要有母质风化碎屑物、表土以及工业和生活污水排放物等。磁性物质的外源组分可以反映系统周围的环境条件及人类活动的影响,通过物质磁性特征的变化往往可以追溯环境变迁的历史。磁性物质的内源组分是在次生环境过程中生成的,反映了环境对磁性矿物的改造、干扰作用。因而,环境物质的磁性特征指示了在次生变化过程中的环境条件或古气候变化的信息。

环境过程可通过物理作用和生物化学作用影响物质的磁性特征。物理作用虽不能改变磁性矿物的性质,但能通过影响磁性矿