

国家自然科学基金资助项目

# 中国黄土古地磁学

岳乐平 薛祥煦 著

地质出版社

北京

## 内 容 简 介

中国黄土记录了丰富的气候、环境、生命信息。本书以数十个黄土剖面的古地磁学研究为基础,结合古生物学、气候环境学资料,讨论了中国黄土古地磁与古生物、气候及环境的关系。本书涉及黄土古地磁学原理、磁性地层学、第四纪哺乳动物学、气候环境学等。内容丰富,具有重要的科学意义和生产实践意义。是一部对从事古地磁学,第四纪地质学工作的人员具有参考价值的书籍。

## 图书在版编目(CIP)数据

中国黄土古地磁学 / 岳乐平 薛祥煦著. -北京:地质出版社,1996.7  
ISBN 7-116-02179-5

I. 中… I. 岳… 薛… II. 黄土-古地磁学-中国 N. P588.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 11241 号

## 地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29号)

责任编辑 蔡卫东

\*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 9.125 字数:204000

1996年7月北京第一版·1996年7月北京第一次印刷

印数:1—600册 定价:12.00元

ISBN 7-116-02179-5  
P·1636

# 序

中国黄土古地磁学研究已有近 20 年的历史，此间本书作者与国内外学者共同努力，在中国黄土古地磁学方面取得了许多重要成果。最近几年来，作者在黄土高原又进行了野外黄土古地磁勘察，测试了 200 余个黄土剖面，这些剖面自西部的新疆叶城、昆仑山经青海西宁、甘肃兰州、靖远、西峰、陕西宝鸡、洛川、蓝田、山西午城、离石到河南陕县形成自西向东横穿中国大陆的剖面线。在这些剖面上，本书作者采集了万余块古地磁样品，进行了古地磁测定分析。

对各黄土剖面上的黄土岩石磁学性质、磁性地层划分以及黄土磁学性质与古气候关系等方面进行了深入系统的研究，在此基础上建立了中国黄土磁性地层划分方案，并建立了中国第四纪气候环境演化模式。这些成果使我国黄土古地磁学研究进入到了一个新的水平。

特别有意义的是，作者们对发现有较丰富哺乳动物化石的黄土剖面进行了古地磁测定。将中国黄土磁性地层学与生物地层学作了对比研究，建立了中国黄土磁性-生物地层剖面，使生物地层剖面有了具体的年龄值；同时又使磁性地层剖面具有具体的生物组合及古气候环境特征的反映。作者将磁性地层与生物地层有机地结合起来研究，是这部著作具有的特色。这在我国黄土地层研究中，是少有的具有开拓性的研究工作。

此书是我国第一部有关黄土古地磁学研究的专著，并且将古地磁学研究成果与古生物、古气候及环境研究成果结合起来讨论，因此具有特殊意义。它是我国黄土和第四纪地质研究的一部十分有价值的著作。

中国科学院院士 张宗祜  
中国工程院院士

1995 年 9 月

# 前 言

为完成“中国黄土古地磁与古生物及环境”这项研究课题，我们走遍西北黄土高坡，勘察了 500 多个黄土剖面，详细描述、测量了近 200 个黄土剖面，在 34 个黄土剖面采集了古地磁样品，并进行了古地磁测定分析。为取得全面的黄土古地磁、古生物及环境记录资料，作者自中国西部向东延伸布置了一条，由 30 多条黄土古地磁剖面 and 10 多条黄土生物地层剖面组成的大测线，每个剖面作者均亲自采样、亲自测定、亲自分析结果，取得可信资料。这条贯穿东西的大测线主要由新疆叶城昆仑山黄土剖面（海拔 3000m）、乌鲁木齐鲤鱼山黄土剖面、奇台黄土剖面、青海西宁黄土剖面、民和黄土剖面、海石湾黄土剖面、甘肃兰州九洲台剖面、五泉山黄土剖面、靖远曹岷黄土剖面、若笠黄土剖面、东乡黄土剖面、会宁黄土剖面、平凉黄土剖面、西峰黄土剖面、陕西长武黄土剖面、宝鸡贾村黄土剖面、长寿沟黄土剖面、武功黄土剖面、榆林双山黄土剖面、吴旗黄土剖面、白玉山黄土剖面、洛川黄土剖面、长寿沟黄土剖面、蓝田段家坡黄土剖面、公王岭黄土剖面、陈家窝黄土剖面、渭南阳郭黄土剖面、定王黄土剖面、宋家北沟黄土剖面、华县刘家沟黄土剖面、大荔甜水沟黄土剖面、旬邑黄土剖面、合阳平政黄土剖面、合阳东雷黄土剖面、白水南河镇剖面、山西离石黄土剖面、午城黄土剖面、吉县黄土剖面、河南陕县黄土剖面等 30 余个黄土剖面组成。这条大测线构成中国黄土磁性地层框架，为完成这项研究建立了牢固的基础。

在该项研究中，作者在过去工作的基础上，在磁性地层方面作了更深入的研究，精确地划分极性界限，研究了极性过渡带性质，发现了新的极性亚带，引入了磁化率地层划分方法等等。特别重要的是：将环境因素引入黄土古地磁学研究，不仅讨论了岩石磁学特征与环境的关系，黄河渭河水系磁性地层与环境的关系，而且进行了中国黄土磁性地层学与哺乳动物地层学对比研究，进而讨论第四纪时期环境演化特征。古地磁、古生物、古环境的对比研究成为本文的特色。

中国黄土古地磁研究历史分为 4 个阶段：

第一阶段：1972 年安芷生等首先向国内介绍了考克斯（A. Cox）提出的 450 万年以来地磁极性年代表。两年后李华梅、安芷生、王俊达发表了题为《午城黄土剖面古地磁研究的初步结果》一文。从此中国黄土古地磁学研究迅速展开。1977 年安芷生等进行了洛川黄土剖面的古地磁研究。1977 年王永焱、李普、岳乐平等对兰州九洲台及五泉山黄土进行了古地磁研究。1978 年马醒华等测定了蓝田人化石点的古地磁样品，同年程国良等也研究了蓝田人化石点的磁性地层年代。1977—1980 年王永焱、岳乐平等对陕西白水、长武、宝鸡、合阳、洛川、靖边等地的古地磁样品进行了测定。张宗祜等对平凉、吴旗、西峰等黄土剖面进行了古地磁测定。这一阶段的工作，由于经验不足，设备条件等原因而存在以下缺点：(1) 采样间距过大；(2) 测试设备及水平较差；(3) 退磁手段仅采用交变退磁；(4) 没有进行黄土岩石磁学研究。这一时期属于我国黄土古地磁研究的初级阶段。首先肯定了黄土保留有稳定的原生剩磁，为黄

士古地磁研究的可行性提供了依据；其次黄土剖面反映出布容正极性时和松山负极性时。发现了一些极性界限，如 B/M、M/Ga 界限 J、O 亚时 和一些极性漂移 尽管这些界限位置不一定准确，但毕竟反映出了它们的存在。

第二阶段：1981 年后，我国古地磁工作者开始和国外有关单位和学者合作进行古地磁学术研究。由于使用的仪器先进，提高了测试水平，使黄土古地磁研究趋于成熟。

1981—1983 年间 由中方王永焱教授、日方 Sasajima 领衔 西北大学地质系黄土研究室与京都大学地质矿物学系合作研究了几个黄土剖面。作者在日本京都大学古地磁实验室对洛川黑木沟剖面、西峰火巷沟剖面及陕县张汴塬剖面进行了古地磁研究与生物地层学研究。

1982 年刘东生与瑞士联邦高等工业大学的海勒 (F. Heller) 合作 进行了洛川腰屯群 22 号钻孔剖面古地磁测定。安芷生在澳大利亚国立大学古地磁实验室，对洛川北汉寨黄土样品进行了古地磁测定。

1985 年兰州大学李吉均与美国南加里福尼亚大学布尔班克 (D. W. Burbank) 合作 研究了兰州九洲台剖面磁性地层。

这一阶段的古地磁工作 样品采集密度大 仪器与测试水平高 热退磁技术开始应用 初步开始了部分黄土岩石磁学方面的研究。

第三阶段：1984 年以后 在国外学习、考察、合作研究的中国学者陆续回国 开始在国内实验室从事黄土古地磁研究。作者亦开始在大范围内，对不同黄土地区，不同地貌单元的黄土剖面进行古地磁工作，进行全面的黄土岩石磁学方面的研究。

第四阶段：从 90 年代开始 在黄土岩石磁学研究方面取得进展 刘秀铭、许春同、朱日祥以及作者等进行了磁化率等岩石磁学方面的研究。在深入进行磁性地层与岩石磁学的基础上 进一步结合生物、气候、环境进行古地磁学研究。

本文有些工作还具有探索性，许多问题有待深入研究。一些观点结论也可能存在错误或不足，敬请各位同事不吝指教。

在此向张宗祜、安芷生教授对该项研究所给予的指导和帮助表示感谢。

感谢同事、挚友雷祥义、滕志宏、张云翔、屈红军、李传令、毕延先生 以及学生杨永利、周琰、李慧玲、王焰、田新红、张玉玲、何艳辉同学。几年来 我们一起奔波于大漠荒岭 踏遍黄土高原沟沟壑壑 渡黄河涉渭水攀绝壁下深渊 日晒雨淋 风餐野宿 我们一同欢乐、一同吃苦、一同讨论学问，一同探索人生。他们的默契合作，给予我们很大的帮助。

感谢广州海洋局实验室文思郁女士、葛同明、樊利民、刘坚先生 中国科学院黄土室孙东怀、闫远森、郑洪波先生，西北大学地质系古地磁实验室王建其先生在古地磁测试方面给予的帮助与合作。感谢骆正乾、陈小刚先生、郭旗女士清绘了所有图件 彭丽女士打印了文稿。感谢邓秀芹同学利用计算机编辑校正了所有图件、表格、文字。

最后 感谢所有关心我们的老师、同事、朋友们。

著 者

1994 年 6 月 6 日

# 目 录

序

前言

第一章 中国黄土的地质背景 .....	1
第一节 中国黄土的分布及地貌特征 .....	1
第二节 中国黄土地层及层序命名 .....	2
第三节 中国黄土的物质组成 .....	4
第四节 中国黄土微结构类型 .....	5
第五节 中国黄土地化环境 .....	5
第二章 地球磁场与黄土磁学基础 .....	6
第一节 地球磁场 .....	6
第二节 物质的磁性 .....	8
第三节 铁磁性物质的特征 .....	11
第三章 中国黄土岩石磁学特征及其古环境记录 .....	15
第一节 黄土的剩磁载体及鉴定方法 .....	15
第二节 黄土的剩余磁化强度 .....	18
一、黄土天然剩余磁化强度(NRM)及磁化率 .....	18
二、黄土沉积剩余磁化强度(DRM) .....	19
三、黄土热剩余磁化强度(TRM) .....	20
四、黄土化学剩余磁化强度(CRM) .....	21
五、黄土特征剩余磁化强度(CHRM) .....	22
六、黄土次生剩余磁化强度 .....	22
第三节 黄土的退磁原则与方法 .....	23
第四章 中国黄土极性磁性地层学 .....	27
第一节 磁性地层学概述 .....	27
第二节 黄土古地磁标本采集 .....	32
第三节 典型黄土剖面的地层特征与磁性地层测定结果 .....	33
一、蓝田段家坡黄土剖面磁性地层 .....	33
二、洛川黑木沟黄土剖面磁性地层 .....	41
三、兰州九洲台黄土剖面磁性地层 .....	45
四、靖远曹岷黄土剖面磁性地层 .....	48
五、平凉草峰黄土剖面磁性地层 .....	50
六、西峰火巷沟黄土剖面磁性地层 .....	51
七、陕县张汴塬黄土剖面磁性地层 .....	52

八、午城柳树沟黄土剖面磁性地层 .....	53
九、渭南游河黄土剖面磁性地层 .....	55
第四节 中国黄土沉积速率、地层年龄及古地磁年表 .....	58
第五节 中国黄土磁性地层划分 .....	59
第六节 中国黄土、红色粘土与河湖相沉积关系 .....	61
第七节 黄土高原地区河流阶地的磁性地层学研究 .....	64
第五章 中国黄土磁化率磁性地层学 .....	71
第一节 基本原理 .....	71
第二节 磁化率地层学 .....	71
一、野外测量及数据处理 .....	72
二、黄土磁化率地层划分原则 .....	72
三、旬邑黄土剖面磁化率曲线 .....	74
四、阳郭黄土剖面磁化率曲线 .....	75
第三节 最近 13 万年黄土磁化率曲线及古气候意义 .....	76
第四节 关于几个黄土磁化率问题的讨论 .....	77
第六章 中国黄土磁性地层界限及地质意义 .....	78
第一节 极性偏移 .....	78
第二节 布容与松山界限(B/M 及极性过渡带) .....	79
第三节 松山与高斯界限(M/Ga)及地质意义 .....	82
第四节 蓝田正极性亚带命名及其地质意义 .....	83
第五节 贾拉米洛正极性亚带(J) .....	85
第六节 奥尔都维正极性亚带(O) .....	86
第七节 留尼旺正极性亚带(R) .....	87
第七章 中国黄土磁性地层与生物地层对比 .....	89
第一节 中国黄土地层中的哺乳动物化石 .....	90
第二节 典型黄土剖面磁性地层与生物地层对比 .....	94
第三节 中国黄土地层中的仓鼠化石 .....	106
第四节 中国黄土地层中的哺乳动物群 .....	110
第五节 中国黄土地层中的哺乳动物演化与生态环境 .....	113
第八章 黄土-古土壤序列与新构造-古气候旋回 .....	117
第一节 新构造-古气候旋回 .....	117
第二节 黄土天然剩余磁化强度、磁化率与古气候波动 .....	118
第三节 黄土-古土壤序列与古季风旋回 .....	120
第四节 黄土组合、古土壤组合与冰期、间冰期气候对比 .....	122
第五节 第四纪构造-气候旋回对黄土区气候、环境、生物的影响 .....	123
参考文献 .....	127
英文摘要 .....	132

# Contents

<b>Chapter I Geological background of Chinese Loess</b> .....	1
A Distrbution and geomorphic features of Chinese Loess .....	1
B Stratigraphy and nomenclature of stratigraphic unit of Chinese Loess .....	2
C Composition of Chinese Loess .....	4
D Microfabric type of Chinese Loess .....	5
E Geochemical landscape of Chinese Loess .....	5
<b>Chapter I Geomagnetic field and basic of loess magnetism</b> .....	6
A Geomagnetic field .....	6
B Material magnetism .....	8
C Feature of iron-magnetic matter .....	11
<b>Chapter II Feature of rock-magnetism and palaeoenvironment of Chinese Loess</b> .....	15
A Carrier of remanent magnetism in loess .....	15
B Remanent magnetism in loess .....	18
1 Natural remanent magnetism in loess .....	18
2 Depositional remanent magnetism in loess .....	19
3 Thermal remanent magnetism in loess .....	20
4 Chemical remanent magnetism in loess .....	21
5 Particular remanent magnetism in loess .....	22
6 Secondary remanent magnetism in loess .....	22
C Demagnetical principle and method of loess .....	23
<b>Chapter IV Magnetostratigraphy of Chinese Loess</b> .....	27
A Magnetostratigraphical overview .....	27
B Palaeonmagnetic sample of loess .....	32
C Stratigraphical features and magnetostratigraphy results on typical loess section .....	33
1 Lantian Duanjiapo Loess section .....	33
2 Luochuan Heimugou Loess section .....	41
3 Lanzhou Jiuzhoutai Loess section .....	45
4 Jingyuan Caoxian Loess section .....	48
5 Pingliang Caofeng Loess section .....	50
6 Xifeng Huoxianggou Loess section .....	51
7 Shaanxi Zhangbianyuan Loess section .....	52
8 Wucheng Liushugou Loess section .....	53
9 Weinan Youhe Loess seciton .....	55

D	Time-dependedformation age of layer, and palaeonmagnetic chronolo- gical table of Chinese Loess .....	58
E	Magnetostratigraphical classification of Chinese Loess .....	59
F	Deposetional rallation between the loess, the red and the depositment of lakebasin in loess plateau .....	61
G	Magnetostratigraphical study of river-terrace in loess plateau .....	64
<b>Chapter V</b>	<b>Susceptibility stratigraphy of Chinese Loess</b> .....	71
A	Foundmental tenets of susceptibility .....	71
B	Susceptibility stratigraphy .....	71
1	Field survey and data processing .....	72
2	Principle for susceptibility stratigraphy classification .....	72
3	Susceptibility record of loess section in Xunyi .....	74
4	Susceptibility record of Yangguo section .....	75
C	Loess susceptibility during the last 130 000 years and its palaeoclimatic significance .....	76
D	Some foundamental question for loess susceptibbility .....	77
<b>Chapter VI</b>	<b>Palaeomagnetic plarity of Chinese Loess and geological significance</b> .....	78
A	Polarity deviation .....	78
B	Matuyama-Brunhes polarity boundary and B/M polarity trasition .....	79
C	Gauss-Matuyama polarity boundary and geological significance .....	82
D	Nomenclature of Lantian polarity subzone and significance .....	83
E	Jaramillo normal polarity subzone .....	85
F	Olduvai normal polarity subzone .....	86
G	Reunian normal polarity subzone .....	87
<b>Chapter VII</b>	<b>Comparison study between magnetostratigraphy and biostrtig- rraphy in Chinese Loess</b> .....	89
A	Mammalian fossils in Chinses Loess .....	90
B	Comparison study between magnetostratigraphy and biostrtigraphy in some typicalloess section .....	94
C	Cricetidae Fischer fossils in loess section of China .....	106
D	Mammalianfauna in loess section of China .....	110
E	Evolution of mammalian, and ecological environment of mammalian in Chinese Loess .....	113
<b>Chapter VIII</b>	<b>Sequence of loess-paleosol and cycle of new tectonic-paleoc- limate</b> .....	117
A	Cycle of new tectonic-paleoclimate .....	117
B	Intensity of DRM, susceptibility of loess and paleoclimate cycle .....	118
C	Sequence of loess-paleosol and paleowind cycle .....	120

D	Comparison of group L-S with climater of ice ages .....	122
E	Influnce of Quaternary tectonic-paleoclimate cycle for environment and living thinngs .....	123
<b>Reference</b>	.....	127
<b>Abstract in English</b>	.....	132

# 第一章 中国黄土的地质背景

中国黄土分布之广，厚度之大，地层层序之完整，古土壤发育之清楚，含哺乳类化石之多，均属世界罕见。中国黄土研究早已引起国内外专家关注。

几千年前，我国人民对于分布广泛的黄土就有所认识。但是从地质学角度研究黄土仅有近百年历史。近三十年黄土学研究取得了实质性进展，并取得了丰富的具有代表性的成果。例如：《黄河中游黄土》(刘东生等,1964)、《中国的黄土堆积》(刘东生等,1965)、《黄土物质成分和结构》(刘东生等,1966)、《黄土与第四纪地质》(王永焱等,1982)、《中国黄土研究新进展》(王永焱等,1985)、《黄土与环境》(刘东生等,1985)、《中国黄土》张宗祜等,1989)、《中国黄土地球化学》(文启忠等,1989)、《黄土高原第四纪》(孙建中等,1991)等。在这些著作中详细论述了中国黄土的分布、地质特征、地层层序、物质组成、结构特征、地化环境、古生物与古人类、古气候环境等等，内容十分丰富。

本文研究中国黄土古地磁及环境。在此之前有必要对中国黄土的地质背景作概略介绍。本章就中国黄土的分布、地质特征、地层层序、物质组成、结构特征、地化环境等进行一般性阐述。

## 第一节 中国黄土的分布及地貌特征

中国黄土分布面积约为 631 000 km<sup>2</sup> 约占全国领土面积 6.6%。主要分布在北纬 33°—47°、东经 75°—127°之间。其分布受到山系走向的控制 南以秦岭、伏牛山及大别山等大的山系为界。中国黄土的分布也与气候带有关，主要分布在最低月温小于 0℃、干燥度 2—4 之间的北方干旱及半干旱地区。中国黄土一般分布高度为海拔 200—2 400 m 之间，个别地方如昆仑山，黄土状沉积的分布高程，可达海拔 3 500 m 以上。海拔超过 2 000 m 的黄土分布在黄河中游的六盘山以西。六盘山以东的黄土多分布在海拔 1 000—1 800 m 之间。海拔 1 000 m 以下的黄土，分布在东部地区的一些盆地和平原以及西部地区的一些山麓地带。黄河中游的黄土高原是黄土分布最广、厚度最大的地区，其面积达 275 600 km<sup>2</sup> 约占中国黄土总面积的 43.7%。黄土高原西部的兰州、靖远一带，黄土厚度达 300—500m 六盘山以东吕梁山以西黄土厚度在 100—200 m 之间。天山、昆仑山、阿尔泰山以及祁连山北麓，黄土厚度在 50m 以上。华北平原的黄土多与其它冲积层间互沉积，厚度不大(王永焱等)，东北、华南一带也有分布，不过厚度较小，黄土性质不十分典型。

中国黄土在不同的分布区具有不同的地质特征。其主要分布区黄河中游地区，主要地貌单元为黄土高原。王永焱将地貌形态划分为塬、梁、峁，以及黄土覆盖河谷阶地，黄土覆盖山间盆地。地貌形态与下伏古地貌形态密切相关。

黄土塬为平坦广阔的黄土高原地形。黄土在不同时代，不同成因的广阔平坦的古地面上堆积成塬。黄土源自六盘山以东至吕梁山以西呈连续分布，最具代表性的为陇中的白草塬，

陇东西峰塬 陕北洛川塬 豫西张汴塬 晋西吉县塬。黄土在基岩呈块状断裂地段沉积 形成台塬。如关中咸阳塬, 长安白鹿塬。

黄土梁是一长条状黄土堆积地形, 长数百米或数十公里, 宽数十米至数百米, 高达100—200m。峁是穹起的黄土丘陵地形。大小不一, 每个直径数百米或数十米, 高达百余米, 众多峁连接成片。梁峁形成多与下伏基岩古地形起伏有关。梁、峁多发育在六盘山西侧会宁、兰州、靖远一带及陕北吴旗一带。

黄土覆盖阶地堆积主要分布在黄河中游水系流经区, 如著名的兰州九洲台剖面, 蓝田陈家窝剖面等。这类地貌区称黄土河谷区。

## 第二节 中国黄土地层及层序命名

典型的中国黄土地层是黄土-古土壤地层序列。即整个黄土地层剖面是由黄土与古土壤层相互叠覆组成。

张林源、安芷生等研究了季风对我国大陆的影响。认为地处中纬地带的我国受大陆太平洋的东南季风和印度洋的西南季风活动影响很大, 尤其以夏季季风带来的降水表现明显。

古夏季风盛行时 降水增多 形成土壤 古冬季风强烈时 降水减小 成壤作用减慢 堆积黄土。古夏季风与古冬季风的‘拉锯’形势造成我国西北部大陆降水雨量变化 气温变化 成壤作用变化, 黄土堆积变化。最终形成相互叠覆的古土壤层与黄土层, 构成了现在看到的黄土-古土壤地层系列。

野外观测和实验室分析结果表明, 中国黄土-古土壤序列具有连续性和可对比性。这为黄土地层命名划分对比奠定了基础。前面谈到 黄土-古土壤是由于气候环境波动形成的, 每一次较大的波动形成一个完整的黄土-古土壤旋回, 作者将其命名为(L-S)一级黄土地层单位。如  $L_0, S_0, L_1, S_1, L_2, S_2, \dots$ , 在一较大的气候波动中可能存在次一级波动, 可在黄土层中形成古土壤夹层 或在古土壤中形成黄土夹层 作者将其命名为二级黄土地层单位。例如 对于第2层古土壤( $S_2$ )的二级单位写为  $S_2S_1, S_2L_1, S_2S_2$ 。对于第9层黄土( $L_9$ )的二级单位写为  $L_9S_1, L_9S_1, L_9S_2, L_9S_2, L_9L_3$ 。表 1-1 列举了蓝田段家坡黄土剖面黄土-古土壤序列命名。

蓝田段家坡剖面是中国黄土的典型剖面, 地层完整、连续。详细的地层描述见第四章。

中国黄土分布广阔, 地形形态各异, 但地层可以相互对比。尤其一级地层单位可以很好地对比, 二级地层单位由于区域性气候差异, 不一定完全对应。

中国黄土地层的完整性存在区域性差别。西峰塬、洛川塬、蓝田白鹿塬地层比较完整, 一级地层单位可达到  $L_{35}$  甚至可到  $L_{44}$ 。六盘山西侧兰州、靖远一带 虽然黄土巨厚 但缺失下部地层, 一级地层单位仅达到  $L_{22}$ ; 而新疆一带仅发现中晚更新世黄土。

表 1-1 蓝田段家坡黄土剖面黄土-古土壤序列

时代	极性	深度 (m)	厚度 (m)	剖面	一级地层单位	二级地层单位	时代	极性	深度 (m)	厚度 (m)	剖面	一级地层单位	二级地层单位		
Q <sub>4</sub>	■		1.0			L <sub>4</sub>							L <sub>16</sub>		
			1.0											S <sub>6</sub>	S <sub>16</sub>
Q <sub>3</sub>	■		5.0			L <sub>1</sub>							L <sub>15</sub>		
			2.5											S <sub>1</sub>	S <sub>15</sub>
			4.0											L <sub>2</sub>	L <sub>14</sub>
Q <sub>2</sub>	■		3.0			S <sub>7</sub>	S <sub>2</sub> S <sub>1</sub> S <sub>2</sub> L <sub>1</sub> S <sub>2</sub> S <sub>2</sub>						S <sub>18</sub>		
			2.5											L <sub>3</sub>	L <sub>19</sub>
			2.0											S <sub>3</sub>	S <sub>17</sub>
			3.5											L <sub>4</sub>	L <sub>18</sub>
			2.0											S <sub>4</sub>	S <sub>16</sub>
			4.0											L <sub>5</sub>	L <sub>17</sub>
			3.0											S <sub>5</sub>	S <sub>15</sub>
			5.0											S <sub>5</sub>	S <sub>14</sub>
			4.0											L <sub>4</sub>	L <sub>16</sub>
			3.0											S <sub>6</sub>	S <sub>13</sub>
			1.5											L <sub>7</sub>	L <sub>15</sub>
Q <sub>1</sub>	■		3.0			S <sub>8</sub>	S <sub>3</sub> S <sub>1</sub> S <sub>3</sub> L <sub>1</sub> S <sub>1</sub> S <sub>2</sub> S <sub>3</sub> L <sub>2</sub> S <sub>1</sub> S <sub>1</sub>						S <sub>19</sub>		
			1.5											L <sub>7</sub>	L <sub>20</sub>
			1.5											S <sub>7</sub>	S <sub>18</sub>
			1.5											L <sub>8</sub>	L <sub>19</sub>
			7.9											L <sub>4</sub>	L <sub>11</sub>
			1.3											S <sub>9</sub>	S <sub>17</sub>
			0.7											L <sub>10</sub>	L <sub>18</sub>
			2.0											S <sub>10</sub>	S <sub>16</sub>
			1.0											L <sub>11</sub>	L <sub>17</sub>
			1.4											S <sub>11</sub>	S <sub>15</sub>
			0.9											L <sub>12</sub>	L <sub>16</sub>
Q <sub>1</sub>	■		1.3			S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub> S <sub>1</sub> S <sub>12</sub> L <sub>1</sub> S <sub>12</sub> S <sub>1</sub>						L <sub>13</sub>		
			1.5											L <sub>13</sub>	L <sub>14</sub>
			1.5											S <sub>13</sub>	S <sub>14</sub>
			1.3											S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>
			1.5											S <sub>13</sub>	S <sub>12</sub>
Q <sub>1</sub>	■		1.5			S <sub>4</sub>	L <sub>3</sub> L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>2</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub>						L <sub>12</sub>		
			1.3											S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>
			0.7											L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>
			2.0											S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>
			1.0											L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>
			1.4											S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>
			0.9											L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>
			1.3											S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>
			1.5											L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>
			1.5											S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>
			Q <sub>1</sub>											■	
1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>													
0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>													
2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>													
1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>													
1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>													
0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>													
1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>													
1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>													
1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>													
Q <sub>1</sub>	■			1.5			S <sub>4</sub>	L <sub>3</sub> L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>2</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub>							
			1.3	S <sub>9</sub>										S <sub>11</sub>	
			0.7	L <sub>10</sub>										L <sub>10</sub>	
			2.0	S <sub>10</sub>										S <sub>10</sub>	
			1.0	L <sub>11</sub>										L <sub>11</sub>	
			1.4	S <sub>11</sub>										S <sub>11</sub>	
			0.9	L <sub>12</sub>										L <sub>12</sub>	
			1.3	S <sub>12</sub>										S <sub>12</sub>	
			1.5	L <sub>13</sub>										L <sub>13</sub>	
			1.5	S <sub>13</sub>										S <sub>13</sub>	
			Q <sub>1</sub>	■											1.5
1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>													
0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>													
2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>													
1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>													
1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>													
0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>													
1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>													
1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>													
1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>													
Q <sub>1</sub>	■				1.5			S <sub>4</sub>	L <sub>3</sub> L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>2</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub>						
			1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>										
			2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>										
			1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>										
			1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>										
			1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>										
			1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>										
			1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>										
			Q <sub>1</sub>	■										1.5	
1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>													
0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>													
2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>													
1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>													
1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>													
0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>													
1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>													
1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>													
1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>													
Q <sub>1</sub>	■					1.5			S <sub>4</sub>	L <sub>3</sub> L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>2</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub>					
			1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>										
			2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>										
			1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>										
			1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>										
			1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>										
			1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>										
			1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>										
			Q <sub>1</sub>	■		1.5									
1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>													
0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>													
2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>													
1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>													
1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>													
0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>													
1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>													
1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>													
1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>													
Q <sub>1</sub>	■					1.5			S <sub>4</sub>	L <sub>3</sub> L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>2</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub>					
			1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>										
			2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>										
			1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>										
			1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>										
			1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>										
			1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>										
			1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>										
			Q <sub>1</sub>	■		1.5									
1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>													
0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>													
2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>													
1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>													
1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>													
0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>													
1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>													
1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>													
1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>													
Q <sub>1</sub>	■					1.5			S <sub>4</sub>	L <sub>3</sub> L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>2</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub>					
			1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>										
			2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>										
			1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>										
			1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>										
			1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>										
			1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>										
			1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>										
			Q <sub>1</sub>	■		1.5									
1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>													
0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>													
2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>													
1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>													
1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>													
0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>													
1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>													
1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>													
1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>													
Q <sub>1</sub>	■					1.5			S <sub>4</sub>	L <sub>3</sub> L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>2</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub>					
			1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>										
			2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>										
			1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>										
			1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>										
			1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>										
			1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>										
			1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>										
			Q <sub>1</sub>	■		1.5									
1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>													
0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>													
2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>													
1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>													
1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>													
0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>													
1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>													
1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>													
1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>													
Q <sub>1</sub>	■					1.5			S <sub>4</sub>	L <sub>3</sub> L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>2</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub>					
			1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>										
			2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>										
			1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>										
			1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>										
			1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>										
			1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>										
			1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>										
			Q <sub>1</sub>	■		1.5									
1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>													
0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>													
2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>													
1.0	L <sub>11</sub>	L <sub>11</sub>													
1.4	S <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>													
0.9	L <sub>12</sub>	L <sub>12</sub>													
1.3	S <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>													
1.5	L <sub>13</sub>	L <sub>13</sub>													
1.5	S <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>													
Q <sub>1</sub>	■					1.5			S <sub>4</sub>	L <sub>3</sub> L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub> L <sub>3</sub> S <sub>2</sub> L <sub>3</sub> S <sub>1</sub>					
			1.3	S <sub>9</sub>	S <sub>11</sub>										
			0.7	L <sub>10</sub>	L <sub>10</sub>										
			2.0	S <sub>10</sub>	S <sub>10</sub>										
			1.0	L <sub>11</sub> </											

### 第三节 中国黄土的物质组成

中国黄土的物质成分复杂，但各地黄土的物质成分基本相似。黄土矿物种类很多，约含60余种粗矿物，其中轻矿物（比重 $<2.9$ ）含量占粗矿物总量的90%以上，主要成分为石英、长石及白云母。其中石英最多，其含量占轻矿物的80%左右，其次有方解石、白云石、石膏及玉髓等。重矿物在黄土中含量很少（4%—10%），但种类很多。常见者有紫苏辉石、普通辉石、普通角闪石、蓝闪石、钠角闪石、钙钠闪石、透辉石、玄武闪石、阳起石、透闪石、绿帘石、黝帘石、绿泥石、黑云母、磁铁矿、褐铁矿、钛铁矿、赤铁矿、白铁矿、尖晶石、蓝晶石、红柱石、石榴石、硅灰石、锐钛铁矿、板钛矿、锆英石、电气石、金红石、榍石、磷灰石、黄玉及重晶石等，有时可见橄榄石、钛辉石、铁锂云母、蛇纹石、十字石等。上述矿物的种类和含量在各地黄土中基本一致，只是时代较老的黄土中，由于风化时间长，不稳定矿物含量略有减少。这种黄土的多矿物性和矿物成分的相似性，说明各地黄土形成过程的一致性。

黄土的粘土矿物成分中，以伊利石、蒙脱石、高岭石为主，另外还有埃洛石、拜来石、针铁矿、石英、绿泥石等，粘土矿物除黄土原始物质外，有些是在成壤作用过程中形成的。黄土中粘土粒级的含铁矿物对磁化率有重要影响。

中国黄土的化学成分在不同地区、不同时代基本相似。表1-2为中国黄土的主要化学成分。

表 1-2 中国黄土主要化学成分

SiO <sub>2</sub>	39.34%—63.54%	CaO	4.83%—20.55%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.83%—14.79%	Na <sub>2</sub> O	1.28%—2.32%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.39%—7.32%	K <sub>2</sub> O	1.24%—2.60%
FeO	0.46%—2.46%	MnO	<0.35%
TiO <sub>2</sub>	0.25%—0.90%	MgO	<9.26%

（据王永焱等）

中国黄土的化学成分含量在水平分布与垂直方向上有一定差异。SiO<sub>2</sub>含量自北而南略有减少，但自西而东略有增加，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>自北而南和自西而东略有增加；MgO和CaO含量由北向南及自西向东逐渐减少；K<sub>2</sub>O及Na<sub>2</sub>O含量变化不明显。在垂直方向上，Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量沿剖面向下递增，在古土壤中显著增高，CaO含量向下渐低，在土壤层中更低。K<sub>2</sub>O含量自上而下逐渐增多；其它成分变化不大。

表 1-3 洛川剖面黄土粒度变化

时代	粒 度 组 分(mm)						
	0.25—0.1	0.1—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.002	0.002—0.001	<0.001
Q <sub>3</sub>	1.9	4.9	53.3	12.5	8.2	4.7	14.5
Q <sub>2</sub>	1.0	9.0	52.7	11.0	8.6	4.8	12.9
Q <sub>1</sub>	0.8	4.5	50.3	12.3	10.5	6.5	14.2
Q <sub>1</sub>	0.7	5.1	46.7	12.1	11.3	6.8	17.0

（据王永焱等）

中国黄土粒度成分由直径小于0.25mm颗粒组成，主要为粉土（0.05—0.005mm）粉土

含量约 35%—70%。西部黄土粒度大于东部 北部黄土粒度大于南部。东南部黄土区蓝田段家坡剖面黄土中值粒径  $d_m$  约为 5—7 $\mu\text{m}$  占土壤约为 1.2 $\mu\text{m}$ 。西北部黄土区兰州九洲台剖面黄土中值粒径  $d_m$  约 7—10 $\mu\text{m}$  占土壤约为 3—5 $\mu\text{m}$ 。粒度成分在纵向上也有变化,表现在时代越新粗粒级成分越多,时代越老细粒级成分越多。表 1-3 显示了洛川剖面粒度变化。

## 第四节 中国黄土微结构类型

王永焱、雷祥义等对中国黄土微结构类型作了细致研究,根据颗粒接触关系,孔隙及胶结程度以及结构共生关系,把中国黄土微结构分为 3 个结构组合和 6 个结构类型。如表 1-4 所示。

表 1-4 中国黄土微结构类型

微结构类型	岩性	地质时代	分布区域	图像特征
支架-镶嵌结构组合	淡灰黄色黄土,疏松	Q <sub>3</sub>	全部黄土区	全部粗颗粒矿物及孔隙清楚可见
1. 支架-大孔结构				
2. 镶嵌-微孔结构				
半胶结结构组合	疏松灰黄色黄土	Q <sub>2</sub>	六盘山以西	颗粒和孔隙均清楚可见,颗粒及孔隙表面有许多胶结物小块
3. 支架-大孔半胶结结构	上部: 淡灰褐色黄土, 下部: 灰褐色较硬黄土		六盘山以东	
4. 镶嵌-微孔半胶结结构				
胶结结构组合	灰褐色石质黄土		Q <sub>1</sub>	
5. 絮凝胶结结构	淡红褐色石质黄土	六盘山以东		
6. 凝块胶结结构				

(据王永焱等)

## 第五节 中国黄土地化环境

据文启忠等研究,黄河中游黄土的酸碱度 pH 变化在 8.08—8.86 之间 平均为 8.46;氧化还原电位  $E_h$  在 358—476mV 之间 平均值为 42.5mV。不论是 pH 或  $E_h$  在各地和各时代黄土中均较稳定。根据中科院南京土壤所定级标准,中国黄土的酸碱度可视为弱酸性,黄土的氧化还原强度属于弱氧化性-氧化性。中国黄土的酸碱度由西北向东南, pH 值呈降低趋势,即西北部黄土区碱性更强,而氧化还原强度由西北向东南  $E_h$  值呈现升高趋势,即西北部黄土区氧化性更弱一些。作者认为中国黄土的 pH 值和  $E_h$  值的变化,除与黄土的物质成分有关外,很大程度是受气候环境变化的影响。黄土 pH 值和  $E_h$  值的变化深刻影响着黄土剩磁的变化,是黄土古地磁学研究中必须考虑的问题。

## 第二章 地球磁场与黄土磁学基础

地磁学是地球物理学领域中一门重要的学科，它研究当代地磁场的基本特征、组成、起源与演化。地磁学的研究方法是凭借地磁台站对地磁要素的连续记录，以及地磁场实地测量来获得资料，并且通过对这些资料进行分析，找出其中的规律性，从而解决有关现代地磁场的问题。然而对于地质时期的地球磁场资料则无法从台站记录或野外磁测得到，要取得这方面的数据只有依靠古地磁学。

古地磁学也是地球物理学领域中一门重要的学科，它研究地质历史时期地球磁场的基本特征、组成及演化，同时探讨地磁场的起源。古地磁学的研究方法是依靠对不同地质时期各种岩石同时包括一些古代烧制品如陶器等 的剩磁测量。因为岩石中存在剩余磁性，它们的磁化方向记录了岩石生成时地磁场方向，它们的磁化强度及磁化率值大小也与当时地磁场有关。通过古地磁学研究，不仅要解决有关地质历史时期地磁场的演化规律，同时要利用这一学科解决有关地质问题以及生命、环境的演化问题。

磁石吸铁是我们生活中一个常见的现象，它是物理学中铁磁性物体的一个基本特征。因为物质的剩余磁性及磁滞现象是铁磁性物体的特征，所以只要岩石含有一点点铁磁性矿物，如磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿等 就必定会有剩余磁性。本书涉及的岩石是黄土。在上一章中我们已谈到中国黄土含有约 4% 的铁磁性矿物，其中包括磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿、钛磁铁矿等等。它们作为剩磁载体记录了黄土形成时期地球磁场的方向和强度，以及有关地球磁场的信息。本书的目的就是将黄土记录的地球磁场信息、生命信息、气候环境信息进行综合分析，探讨地磁场、生命、气候环境的演化规律以及它们之间的相互关系。

在讨论问题之前，有必要对有关现代地磁场、物质的磁性、矿物的磁性等本书要涉及的问题作一些说明或讨论。

### 第一节 地球磁场

根据在地面和地球周围对磁场所作的大量测定结果，可以近似地认为，地球的磁场近似于一个均匀磁化球体的磁场，这个均匀磁化球体的磁场又等效于放在地心的一个磁偶极子的磁场。下面我们描述一下地球磁场的特征。

描述地球磁场的特征，也同研究其它磁场一样，利用磁场强度  $\mathbf{T}$ 。 $\mathbf{T}$  是个矢量，有其大小和方向，它在地球表面的不同地点是不相同的。为了研究的方便，我们还经常利用它的分量等要素。以地面观测点  $O$  为原点，取直角坐标系  $x$  轴沿地球子午线的方向（即正北方向）， $y$  轴沿纬度圈的方向（即正东方向）， $z$  轴为垂直方向，以向下为正。在观测点处的地磁场强度  $\mathbf{T}$  在  $x$  轴上的投影叫北向分量，以  $X$  表示；在  $y$  轴上的投影叫东向分量，以  $Y$  表示；在  $z$  轴上的投影称垂直分量  $Z$ 。 $\mathbf{T}$  在水平面  $xOy$  上的投影称水平分量  $H$ 。 $\mathbf{T}$  所在的垂直平面  $HOz$  为磁子午面，磁子午面与  $x$  轴的夹角  $D$  就是磁偏角，东偏为正， $0^\circ-360^\circ$  顺时针计算。 $\mathbf{T}$  与水

平面的夹角为  $I$  称磁倾角。 $T$  指向下,  $I$  为正 反之为负。以上各量如图 2-1 所示 磁偏角  $D$ , 磁倾角  $I$  水平分量  $H$  以及  $X, Y, Z$  分量, 统称为地磁要素。

从图中可以看出, 由各要素可以计算出地磁场的总强度矢量, 并且各要素之间也具有一定关系, 其关系如下:

$$H = T \cos I, \quad Z = T \sin I, \quad \operatorname{tg} I = \frac{Z}{H}$$

$$X = H \cos D, \quad Y = H \sin D, \quad \operatorname{tg} D = \frac{Y}{X}$$

$$T^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

以上关系说明, 地磁要素可分为三组:  $(X, Y, Z)$ ;  $(H, Z, D)$  及  $(H, D, I)$ 。只要测定出每一组中的三个要素就可以求出其它要素。这三组地磁要素分别对应于三种坐标系。即直角坐标系、柱坐标系和球坐标系。在一般的地台上, 直接由仪器观测记录的要素通常为  $H, D, I$ 。在古地磁研究中 最常用到的地磁要素是  $T, D, I$ 。

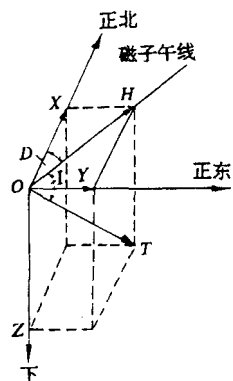


图 2-1 地磁要素

此外, 在古地磁学中还要经常用到一些有关地磁场的概念: Fig 2-1 Magnetic element 地磁极、磁极、虚地磁极、古地磁极。

地磁极: 计算吻合得最好的偶极子轴与地表的相交点。它们在南、北半球是对称的, 分别为南地磁极与北地磁极 (通过大地测量计算获得)。

磁极: 地球表面上磁倾角为  $+90^\circ$  与  $-90^\circ$  的点分别为北磁极与南磁极。这两个极彼此不严格对称 (通过观测获得)。

虚 (视) 地磁极 (V. G. P.) 根据古地磁场的的一个点读数计算出的相应地磁极的位置。它仅仅表示一种瞬时的位置, 其时间间隔不超过  $10^3$  年 (通过样品测量、计算获得)。V. G. P. 概念在黄土古地磁学中经常利用。下面我们给出某标本研究地点  $S$  点的虚地磁极的地理经纬度的计算公式。

$$\rho = \operatorname{arccot}\left(\frac{1}{2} \tan I\right)$$

$$\sin \lambda' = \sin \lambda \cos \rho + \cos \lambda \sin \rho \cos D$$

$$\sin(\phi' - \phi) = \sin \rho \sin D / \cos \lambda'$$

式中存在两种情况 即  $\phi' - \phi = \beta$  和  $\phi' - \phi = 180^\circ - \beta$  其中  $-90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ 。当  $\cos \rho \geq \sin \lambda \sin \lambda'$  时选择  $\phi' - \phi = \beta$ ;  $\cos \rho \leq \sin \lambda \sin \lambda'$  时选择  $\phi' - \phi = 180^\circ - \beta$ 。

式中:  $\phi', \lambda'$  分别为研究地点 (即标本采集点  $S$ ) 的虚地磁极位置的经度与纬度。  $\phi, \lambda$  分别为研究地点的现代地球经纬度;  $\rho$  为余纬度。 $D, I$  分别为标本 (样品) 测量出的磁偏角与磁倾角。

古地磁极: 根据古地磁场一定时间间隔的一组点计算出的平均地磁极位置, 时间间隔约为  $10^4$ — $10^5$  年以上, 这个极可视为平均虚地磁极。