

实验物理学丛书

现代实验技术在 考古学中的应用

李士秦广雍 著

科学出版社

实验物理学丛书

现代实验技术
在考古学中的应用

李士 秦广雅 著

科学出版社

1991

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书比较系统地介绍了现代有关实验技术的原理、装置、数据分析及在考古学中的应用。全书分四编(共十九章):第一编论述考古断代技术及其应用,包括 ^{14}C 、热释光、考古磁学、电子自旋共振等;第二编论述结构分析技术及其在考古学中的应用,包括热分析、扫描电镜、X射线衍射、红外吸收光谱、核磁共振、穆斯堡尔谱学等;第三编论述元素分析技术及其在考古学中的应用,主要介绍原子吸收和发射光谱、X射线荧光分析、离子束分析、质谱和色谱及同位素分析、中子活化分析等;第四编介绍遗址勘探和计算机在考古学中的应用。此外,对最近发展起来的加速器质谱仪和全反射X射线荧光谱仪及同步辐射也作了适当的介绍。

本书可供从事研究和应用现代实验技术的科技人员、考古学者、大专院校有关专业师生及对考古感兴趣的爱好者阅读和参考。

实 验 物 理 学 丛 书

现代实验技术在考古学中的应用

李 士 秦广雍 著

责任编辑 李义发

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

*

1991年 12 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1991年 12 月第一次印刷 印张:11 7/8

印数:平1—400

插页:插 2

印数:精1—450

字数:306 000

ISBN 7-03-002395-1/O·446 (平)

ISBN 7-03-002396-X/O·447 (精)

平 装 12.20 元

定价: 布面精装 14.40 元

序 言

实验是物理学发展的基础,又是检验物理理论的唯一标准.回顾物理学发展的历史,正是实验技术的发展,推动着整个物理学向前发展.因此,实验是物理学和一切科学技术发展的基础.

为了适应我国科技事业发展的需要,强调实验物理学的重要性,并总结我国物理学工作者在实验工作中的创新和实践经验,我们特编辑出版《实验物理学丛书》.

本丛书的编辑方针是: 1. 密切联系当前科研、教学、生产的实际需要,介绍各种物理实验的基本原理、技术、设备及其在各方面的应用. 2. 反映国内外最新的实验水平和发展动向,并注意实用性. 3. 以科技工作者和高等院校师生为对象,坚持理论联系实际,贯彻百家争鸣的方针,力求使丛书具有我国的特色和风格.

我国科技事业的发展已进入一个新的时期,实现科学技术现代化是我国广大科技工作者肩负的光荣而艰巨的任务.我们诚恳地希望广大物理学工作者发挥为社会主义事业著述的积极性,不断总结实践经验,总结研究成果,积极支持丛书的出版工作,共同为出好这套丛书而努力.

《实验物理学丛书》编委会

《实验物理学丛书》编委会

主 编 钱临照

副主编 王淦昌 王大珩 柯 俊 洪朝生 管惟炎

编 委 王之江 王业宁 王守觉 王华馥 王祝翔

许顺生 华中一 苟清泉 何寿安 吴自勤

张志三 汤定元 杨 楨 杨顺华 项志遴

姜承烈 徐其昌 徐叙瑗 章 综 郭可信

龚祖同 黄兰友 梅镇岳 程晓伍 薛鸣球

魏荣爵 王昌泰

序

我国是一个有五千年历史的文明古国，对人类文明的发展作出过许多杰出的贡献。我们有十分丰富的古代文化遗产，其中包括大量珍贵的文物古迹。保护和研究古代文化遗产并加以发扬光大，这是我国科学工作者的光荣任务。

为了推进现代实验技术在考古学中的应用，长期从事这方面应用研究工作的李士等同志，查阅大量的最新资料，并且根据他们实际工作经验，编写了《现代实验技术在考古学中的应用》一书。本书将考古学中所应用的各种现代实验技术（包括结构分析技术、元素分析技术、断代技术、古遗址勘探技术和电子计算机应用技术等）进行了全面、深入、系统的论述。书中介绍了各种现代实验技术的基本原理和实验方法，以及它们在考古学中的实际应用和最新发展，并对它们的适用范围和优缺点进行了比较。像这样系统地介绍现代实验技术在考古学中应用的专著还不多见。本书的出版定将有助于我国科技考古学的发展。

在现代科学技术的发展中，越来越多的学科之间互相渗透和互相交叉，形成了许多新的边缘学科。同时，在自然科学和社会科学之间也进行着广泛的渗透和交叉。科技考古学的产生和发展就是一个生动的例子。希望《现代实验技术在考古学中的应用》一书的出版，能引起更多的科学工作者的兴趣，并致力于建立和发展新的边缘学科，致力于促进自然科学和社会科学间的交流 and 了解。

唐孝威

目 录

第一编 断代技术及其在考古学中的应用

第一章 ^{14}C 断代技术	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 ^{14}C 断代的基本原理	2
1.2.1 ^{14}C 断代的基础	2
1.2.2 ^{14}C 断代的假定	3
1.2.3 大气中 ^{14}C 含量的人为影响	4
§ 1.3 常规的 ^{14}C 断代分析技术	5
1.3.1 样品的制备和实验	5
1.3.2 同位素分馏效应	8
1.3.3 样品发掘前的“污染”	9
§ 1.4 碳年龄的表达方式和误差	10
§ 1.5 ^{14}C 断代技术的进展	12
1.5.1 校正曲线	12
1.5.2 提高测量精度	14
1.5.3 加速器质谱仪和小样品的测量	15
§ 1.6 ^{14}C 断代技术的应用	18
第二章 热释光断代	22
§ 2.1 引言	22
§ 2.2 基本原理	23
2.2.1 热释光用于断代的理论解释	23
2.2.2 放射性射线的特征	24
2.2.3 热释光断代的原理	25
§ 2.3 标准的热释光断代	26
2.3.1 对样品的要求	26

2.3.2	实验方法	28
2.3.3	热释光测量仪器	33
2.3.4	问题及讨论	34
2.3.5	结果和精度	38
§ 2.4	新进展和考古学中应用	38
2.4.1	热释光断代的进展	38
2.4.2	考古学中的应用	40
第三章	考古磁学断代	43
§ 3.1	引言	43
§ 3.2	考古磁学的基础	43
3.2.1	地球的磁场	43
3.2.2	地球磁场变化曲线	45
3.2.3	考古磁学的基本原理	48
3.2.4	剩磁的几种形式	49
§ 3.3	地磁方向断代	50
3.3.1	引言	50
3.3.2	制样技术	51
3.3.3	测量装置	52
3.3.4	退磁技术	52
§ 3.4	地磁强度断代	53
§ 3.5	应用	54
3.5.1	地磁场的变化与 ^{14}C 断代的关系	54
3.5.2	考古磁学断代	55
3.5.3	其它应用	57
第四章	电子自旋共振断代	59
§ 4.1	电子自旋共振的基本原理	59
4.1.1	引言	59
4.1.2	什么是电子自旋共振	60
§ 4.2	电子自旋共振断代的原理和基础	62
4.2.1	电子自旋共振断代的基本原理	62
4.2.2	自然辐射总剂量 (TD)	63
4.2.3	年剂量率 D	64

4.2.4 数字化电子自旋共振技术	65
§ 4.3 电子自旋共振谱仪和谱线	66
4.3.1 电子自旋共振谱仪	66
4.3.2 电子自旋共振谱线	67
§ 4.4 电子自旋共振断代的讨论	68
4.4.1 电子自旋共振断代的测年范围	68
4.4.2 顺磁中心的饱和性	69
§ 4.5 电子自旋共振在考古学中的应用	72
4.5.1 古陶器的研究	72
4.5.2 第四纪石笋的研究	73
4.5.3 其它方面的研究	75
第五章 其它断代技术	79
§ 5.1 铀系同位素断代	79
5.1.1 铀系同位素断代原理	79
5.1.2 铀系同位素断代的准确度和样品的选择方法	80
§ 5.2 钾-氩断代	82
5.2.1 钾-氩断代的原理	82
5.2.2 精度和问题	84
5.2.3 应用	86
§ 5.3 裂变径迹断代	86
5.3.1 裂变径迹断代的原理	87
5.3.2 精度和应用实例	88
§ 5.4 黑曜岩水合断代	89
5.4.1 黑曜岩水合断代的原理	89
5.4.2 问题和应用实例	90
§ 5.5 氨基酸消旋断代	91
§ 5.6 化学元素分析断代	92
5.6.1 氮元素含量测量的应用	93
5.6.2 铀和钚元素含量测量的应用	94
§ 5.7 穆斯堡尔谱学断代	95
第一编参考文献	96

第二编 结构分析技术及其在考古学中的应用

第六章 热分析技术	100
§ 6.1 热分析技术的基本原理	100
6.1.1 差热分析	100
6.1.2 热重(差重)分析	103
6.1.3 热膨胀法	103
6.1.4 综合热分析	104
§ 6.2 热分析技术在考古学中的应用	105
6.2.1 差热分析在考古学中的应用	105
6.2.2 热重分析在考古学中的应用	108
6.2.3 热膨胀法在考古学中的应用	110
第七章 扫描电子显微镜	112
§ 7.1 引言	112
§ 7.2 扫描电镜的基本原理	112
7.2.1 运动电子与物质的相互作用	112
7.2.2 扫描电镜的基本原理	113
§ 7.3 样品的制备	115
§ 7.4 扫描电镜在考古学中的应用	115
7.4.1 古代陶器的研究	115
7.4.2 古代铜镜的研究	117
7.4.3 其它考古样品的研究	117
第八章 X射线衍射	119
§ 8.1 引言	119
§ 8.2 X射线衍射的基本原理	119
8.2.1 布拉格公式	120
8.2.2 X射线衍射的几种方式	120
8.2.3 X射线衍射的实验装置	123
§ 8.3 X射线衍射在考古学中的应用	124
8.3.1 古陶的研究	124

8.3.2	古铜镜的研究	126
8.3.3	其它考古样品的研究	126
第九章	红外吸收光谱	128
§ 9.1	引言	128
§ 9.2	红外光谱的基本概念和原理	129
9.2.1	红外光谱的形成和波段划分	129
9.2.2	红外光谱的基本概念和原理	131
§ 9.3	红外光谱仪	132
§ 9.4	样品制备	135
§ 9.5	红外成像技术	135
§ 9.6	红外光谱在考古学中的应用	136
9.6.1	物相分析	136
9.6.2	定量分析	138
9.6.3	古陶的研究	139
9.6.4	其它方面的研究	140
9.6.5	古画的研究	141
第十章	核磁共振	142
§ 10.1	引言	142
§ 10.2	核磁共振的基本原理	143
§ 10.3	核磁共振参量	144
10.3.1	化学位移(吸收峰频率)	144
10.3.2	耦合常数	145
10.3.3	弛豫时间	146
10.3.4	峰的积分值	146
§ 10.4	核磁共振谱仪	146
§ 10.5	样品的制备和谱线的标定	148
10.5.1	样品的制备	148
10.5.2	谱线的标定	149
§ 10.6	核磁共振技术在考古学中的应用	149
10.6.1	水解植物油的研究	150
10.6.2	水解动物脂肪的研究	153

10.6.3 琥珀的结构研究	155
第十一章 穆斯堡尔谱学	158
§ 11.1 引言	158
§ 11.2 基本原理	158
§ 11.3 穆斯堡尔谱仪	162
11.3.1 驱动单元	163
11.3.2 放射源	164
11.3.3 探测系统	164
11.3.4 振荡器	165
§ 11.4 实验方法	165
§ 11.5 穆斯堡尔谱提供的信息	167
11.5.1 同质异能移位 δ	168
11.5.2 四极劈裂 ΔE_Q	168
11.5.3 核的塞曼效应 ΔE_M	169
11.5.4 吸收峰强度 J	169
§ 11.6 穆斯堡尔谱学在考古学中的应用	169
11.6.1 焙烧前后的粘土	170
11.6.2 古代陶器的研究	173
11.6.3 古代瓷器的研究	180
11.6.4 古代铜器的研究	181
11.6.5 古代颜料、古画和古墨水的研究	183
11.6.6 其它领域的研究	184
11.6.7 总结与展望	186
第二编参考文献	188

第三编 化学元素分析技术及其在考古学中的应用

第十二章 元素分析技术的概述	191
§ 12.1 引言	191
§ 12.2 化学元素分析技术的比较	193
§ 12.3 结果分析	196

第十三章 原子吸收和原子发射光谱	202
§ 13.1 原子吸收光谱	202
§ 13.2 原子吸收和发射光谱的基本原理	202
13.2.1 基本原理	202
13.2.2 原子吸收线的表征	203
§ 13.3 原子吸收光谱仪	204
§ 13.4 样品制备	205
§ 13.5 原子吸收光谱在考古学中的应用	206
13.5.1 元素测量的种类	206
13.5.2 黑曜岩和燧石的研究	207
13.5.3 古代陶器的研究	208
13.5.4 其它考古样品的研究	209
§ 13.6 原子发射光谱仪	210
13.6.1 激光显微发射光谱	210
13.6.2 电感耦合等离子体发射光谱	211
§ 13.7 原子发射光谱在考古学中的应用	213
13.7.1 电感耦合等离子体发射光谱的应用	213
13.7.2 激光显微发射光谱的应用	215
第十四章 X 射线荧光分析	217
§ 14.1 引言	217
§ 14.2 基本原理	218
§ 14.3 X 射线荧光的辐射强度	219
§ 14.4 X 射线荧光分析谱仪	221
§ 14.5 全反射 X 射线荧光分析和 X 射线微荧光分析	223
14.5.1 全反射 X 射线荧光分析	223
14.5.2 X 射线微荧光分析和同步辐射	225
§ 14.6 样品的制备	226
14.6.1 固体样品	227
14.6.2 粉末样品	227
14.6.3 液体样品	229
14.6.4 标准样品	229

14.6.5 全反射X射线荧光分析的样品制备	229
§ 14.7 谱线分析方法	230
14.7.1 定性分析	230
14.7.2 定量分析	231
§ 14.8 X射线荧光分析在考古学中的应用	233
第十五章 离子束分析	239
§ 15.1 卢瑟福背散射	239
15.1.1 引言	239
15.1.2 基本原理	240
15.1.3 卢瑟福背散射的实验装置	241
§ 15.2 核反应分析和质子激发 γ 射线分析	241
§ 15.3 质子激发X射线荧光分析	246
15.3.1 引言	246
15.3.2 基本原理	247
15.3.3 实验装置和几种方式	250
15.3.4 加速器和靶室	252
15.3.5 样品的制备和厚靶分析	253
§ 15.4 离子束分析在考古学中的应用	255
15.4.1 文物的制造原料和起源的研究	255
15.4.2 工艺技术方面研究	261
15.4.3 艺术品	264
15.4.4 古钱币	265
第十六章 质谱和色谱及同位素分析	266
§ 16.1 质谱概述	266
§ 16.2 质谱仪的基本工作原理	267
§ 16.3 质谱仪的分类	268
§ 16.4 色谱概述	271
§ 16.5 气相色谱仪	272
§ 16.6 考古学中质谱和色谱的痕量元素分析	273
§ 16.7 考古学中质谱同位素分析	278
16.7.1 引言	278

16.7.2	碳同位素和古代的饮食研究	279
16.7.3	氮同位素的研究	283
16.7.4	氧同位素和古代气候	283
16.7.5	铅和其它同位素及起源方面研究	286
第十七章	中子活化分析	289
§ 17.1	活化分析概述	289
§ 17.2	中子活化分析基本原理	290
17.2.1	中子反应的截面	290
17.2.2	反应热能和阈能	290
17.2.3	慢中子	291
17.2.4	快中子	301
17.2.5	中子活化分析的核反应机制	301
17.2.6	定性和定量分析	303
§ 17.3	中子活化分析工作步骤和实验装置	304
17.3.1	中子活化分析工作步骤	304
17.3.2	中子活化分析的探测装置和反应堆	305
§ 17.4	样品和标样的制备	307
17.4.1	样品的制备	307
17.4.2	标样的制备	308
17.4.3	标准参考物质	308
§ 17.5	中子活化分析的特点	308
§ 17.6	中子活化分析在考古学中的应用	309
17.6.1	古代陶器和瓷器的研究	310
17.6.2	玻璃的研究	312
17.6.3	古钱币的研究	313
17.6.4	古铜镜和青铜器的研究	314
17.6.5	骨头化石的研究	314
17.6.6	黑曜岩和燧石的研究	315
第三编	参考文献	316

第四编 遗址勘探和计算机在考古学中的应用

第十八章	古遗址的勘探	320
-------------	---------------------	------------

§ 18.1 引言	320
§ 18.2 测量的设计和布局	321
§ 18.3 地球物理勘探遗址的原理和方法	322
18.3.1 电阻率勘探法	322
18.3.2 磁性勘探法	326
18.3.3 电磁勘探法	328
18.3.4 测量结果的解释	329
18.3.5 应用	333
§ 18.4 磷酸盐勘探法	338
18.4.1 原理	338
18.4.2 磷酸盐勘探法在考古学中的应用	340
第十九章 考古学中所用的计算机	341
§ 19.1 引言	341
§ 19.2 计算机在野外遗址发掘中的应用	344
§ 19.3 计算机在办公室中的应用	348
§ 19.4 计算机在实验室中的应用	350
第四编参考文献	352
附录 1 考古学中所应用的主要分析技术	354
附录 2 几种常用的断代技术	356
附录 3 国外一些主要考古实验室	358
后记	362

第一编 断代技术及其在 考古学中的应用

第一章 ^{14}C 断代技术

§ 1.1 引言

众所周知,在考古学中 ^{14}C 断代(断定年代)是一种最常见且应用最广泛的确定考古样品年代的技术^[1-3]。它具有如下许多优点:第一,表现在它可以精确测定 1 千至 5 万年内的考古样品和地质事件的年代,这个时期相当于人类发展到旧石器时代晚期和整个新石器时代,在地质学上相当于第四纪的晚更新世和全新世。第二,就断代过程本身而言,所需要的仅是一些与考古事件有直接联系的碳标本样品。由于所有生物样品中都含有碳,因此利用断代技术可研究考古(学)中所发现的骨头、木质器具、焦炭木或其它无机遗留物的年代。第三,目前 ^{14}C 断代技术可判断年龄高达约 5 万年的样品,并且随着新技术的采用,能判断的年代值可望提高到约 10 万年。第四,由于样品的取样过程很简单,埋藏的条件也无关紧要,所以样品出土后若干年,仍可利用 ^{14}C 技术进行断代分析。

^{14}C 断代方法是由美国芝加哥大学 Libby 教授在 1950 年提出的。开始时 ^{14}C 断代方法不够成熟,即 ^{14}C 测量的结果与样品的实际年龄存在较大误差,这主要是由于将 ^{14}C 测量方法考虑得过于简化而造成的,直到近期, ^{14}C 断代技术才有了一些进展。这主要表现在:

(1) 利用校正曲线能使测量结果直接转换成样品的实际年龄,使 ^{14}C 断代方法中不确定的因素减少了。