

实验室考古学

李虎侯 著

Scientist Press International, Inc.

实验室考古学

Scientist Press International, Inc.

Surry

New York

Hong Kong

1999

内 容 简 介

本书是作者从事研究和教学工作的文字汇编,它包括通论、方法学发凡、研究成果、实验室考古学举例等几个方面的内容。现在把它用《实验室考古学》这个标题编纂出版,目的是要向大家介绍这个研究领域是考古学发展的必然。

通论阐述了实验室考古学的由来,领域的特点,发展与前景。鉴于研究对象的特殊性和研究方法的技术性,针对具体的研究对象进行方法学的研究是首要的步骤,书中收集这方面的研究论文颇多。年代测定是古物鉴定的一个大项,技术名目繁多,作者在热释光这一领域进行了系统地研究,成果和演讲手稿均收在《热释光断代》一书中。

本书对于从事考古学研究、古物鉴定、年代测定以及新技术应用等方面的学人,都有参考价值。

ISBN 962-85072-2-2

COPYRIGHT ©1998 BY SCIENTIST PRESS INTERNATIONAL, INC. HONGKONG

ALL RIGHTS RESERVED

NO PART OF THIS PUBLICATION MAY BE REPRODUCED, STORED IN A RETRIVAL SYSTEM,

**OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIS, MECHANICAL,
PHOTOCOPYING, RECORDING, OR OTHER WISE, WITHOUT THE PRIOR WRITTEN PERMISSION
OF THE PUBLISHER,**

SCIENTIST PRESS INTERNATIONAL, INC.

PRINTED IN CHINA

实验室考古学

李虎侯 著

Scientist Press International, Inc.

Surry NewYork HongKong

1998

国土资源部印刷厂

787×1092毫米 16开本 19印张 447千字

1998年12月第1版 1998年12月第1次印刷

印数: 1—500

ISBN 962-85072-2-2

出 书 记

离开中国科学技术大学十年后，旧地重游，同好相聚，别后话多。有问及实验室考古学专著事，我说：还没有见到。参加中国科学技术大学三十周年校庆时，再问到同一话题后，使我想到：不如来一个集零为整。回到北京，着手翻阅旧稿，不管是以什么形式公布过的，通通集中起来，按原样出版。然而，那些油印稿，实在令我为难，没有一张可以用的图不说，且大部分公式都要重排。十年的游学生涯，书稿整理也就随之而中断。可是，两位老校长为这本还未出世的书写好的序言却时刻在看着我。毕竟又是阔别十年，面对这一堆浸透了汗水故纸，还得进行再一次的奔忙。

现在，您看到的这本《实验室考古学》，全是1989年以前写出来的，内容包括通论、方法论和应用举例三部分。在实验室考古这个领域里，由于研究对象和应用技术所涉及的范围既宽广、学科又繁多，每接受一项任务或制订一个计划，都可以设立专门的研究课题。比如，同是对一件瓷器进行研究时，考古学家、文物收藏家和古董鉴赏的专家们，他们都是从器型、釉彩、图案、纹饰、以及触感来作出自己的判断，凭借主观的直觉、经验和知识去认识。而从实验室考古的角度，我们就必须通过测定硬度、孔隙度、烧成温度来认识瓷器的质量；用热释光技术来测定它的烧制年代；用显微技术来研究釉层的结构；用成份分析来研究瓷器的产地；……凡此等等都是从仪器上获得的数据，再以这些数据为根据来作出判断。当我们要知道瓷器的成份时，即使是采用成熟的中子活化分析技术，因为找不到适合于瓷器分析用的标准参考物质，我们就必须在自己的实验室里进行制备、研究、测量和标定。大家都知道，一个成熟的标准参考物质，需要我们付出的是什么？可是，它正是实验室考古的关键需要。在青铜器的研究中也一样，我们按照古代青铜器的大体成分配制了一套青铜标准，用皮老虎鼓风，在石墨坩锅中进行冶炼，把铸就的青铜柱加工成镜体使用，而公布我们的青铜标准时只用了几百个字，这些数据都收集在书中。方法研究本身，并不是我们的目的，研究方法是为了我们的特定的应用目的。也正因为我们是为了特定的应用而进行方法研究的，要证实方法的可行，只有拿出应用的实例来说明方法的正确与否。中子活化分析，本来是用在含量甚微、样品量少的分析对象，我把它拿来作整体器物的常规分析，分析的对象又是常量元素。咋看起来，似乎有点杀鸡用牛刀之嫌，可是，应用起来却效果不错，并且满足

Hwt87/05

了对古物的不取样的要求，它又为我们提供了一种不取样的分析技术。虽然这里收集了十年来的工作，而对于实验室考古来说，只不过是天际一星，为了这个事业的发展，仅作抛砖之举，以招玉好。

书总算是付印了，尽管前后经过七次的校清，每校都有新错出现，心情可比。看来，还是要留下一些工作给读者，也便加强同好之间的联系。

戊寅仲秋虎侯记於石家庄流寓

序一

考古学是一门研究人类实物遗存的科学，内容包括野外发掘、文物考订、分类、分析以及文物保护。其主要目的是考订、补充文字记载所了解的史实。这门科学已具有悠久历史。

在考古工作中有了解器物成分分析问题。欧洲早在十八世纪 M. H. klaproth 曾考虑到化学分析可解决考古中的某些问题。本世纪初期我国化学家王王进、张子高曾以化学分析方法测定古铜器、古钱币的元素成份。随着科学仪器和分析方法的进步促使考古学与实验室相结合。但考古与实验室连成一个名词——实验室考古倡为一门新学科则是近时才有的。

1948 年在美国芝加哥大学工作的 W. F. Libby 发明碳元素断代法。这方法的基本原理是用放射性同位素碳 14 来测定含有微量碳 14 的器物的绝对年代。用这方法可为考古学建立起四万年新的绝对年代表。可以说考古学从那时起走进了装备有崭新的科学技术的仪器设备和研究方法的实验室。一门古老的考古学与实验室相结合获得了新力量。

新考古学断代研究而言，到目前除碳 14 方法之外又有新的发展，其中有钾—氩断代法、热释光断代法等。七十年代中电子自旋共振技术用进了考古断代工作中，它的断代有效年数从数千年到数百万年。

考古学走进了实验室后发展前景远不止在断代一事。例如光谱仪、X 射线衍射仪、电子显微镜、质谱仪、激光、金相分析、穆斯堡尔效应等仪器和手段在我国已先后为考古学中文物鉴定、分析、推断以及保护等发挥了作用。先进科学技术的日益发展扩展了实验室手段对考古学的应用。

考古学原列在社会科学范畴之内，一经走进实验室，它便和自然科学相结合成为一新领域，也可以说是社会科学与自然科学相结合的产物。一个学科与另一个学科相结合就能产生新的学科是现代科学发展的道路。

知识无止境，科学无疆界。新事物不断发生，我们要来认识它，研究它、发扬它。

中国社会科学院考古研究所李虎侯研究员长期以来从事考古学研究，他勤于实验室工作，对于热释光断代研究、青铜镜中子活化分析、瓷的微量元素分析等实验方法应用于考古学得到巨大成功。他把历年来在实验室中所从事这个学科工作经验体会以及在国际会议上的感受笔之于纸，汇集成册，以之付梓。

1988年5月我国在南宁召开第一次实验室考古会议，开我国实验室考古会议之风，然则李虎侯同志的这本著作为以实验室考古学为名成书的第一人，因乐为之序。

钱路照

1989年4月

序二

中华文化内涵极其丰富，不失为世界文明民族的巨擘。要发扬优秀的民族文化，必须认识古代文明。考古学即是不断研究前人遗物、深入认识古代文明的专门学科。

时至今日，科学发达，知识日增，技术日精。学科之间的交变嫁接，已成现代科学技术发展的大趋势。已故著名考古学家夏鼐先生重视在考古学中应用现代自然科学和技术，信有由也。

李虎侯同志曾事放射化学教学与科学研究工作垂二十年。将谙熟的高技术用于研究古代文物新领域以后，成果累累。现将史载所著汇编成册，响诸于世，固不惟诸多精英论述的累绩，便供参考，而其为学之道，更足借鉴。

乐为序。

杨承宗

中国科学技术大学

1989年夏

目 录

实验室考古纲要	(1)
实验室考古学的兴起	(13)
核化学与考古	(17)
实验室考古学	(31)
实验室考古学	(43)
现代分析在青铜器研究上的应用	(51)
不取样分析举例	(63)
铜镜的研究	(83)
中国古瓷中的微量元素	(98)
热释光断代	(110)
热释光断代的进展	(114)
汉代铜镜的成份与结构	(119)
铜镜成份的研究	
——X—射线荧光分析铜镜表面成份	(126)
关于我国古代铜镜的面范形制的初步信息	(137)
几种古代银器的 X—射线荧光分析	(140)
铜镜的快中子活化分析	(153)
中国古代铜镜的穆斯堡尔谱学研究	(162)
铜镜的 X 射线荧光分析	(166)
古瓷中的微量元素	(173)
中子活化分析法测定古瓷参考物质	(198)
定窑古瓷中的微量元素	(201)
景德镇古瓷中的微量元素	(210)
磁州窑古瓷中微量元素的中子活化分析	(227)
宁夏灵武磁窑堡瓷窑遗址出土瓷片中	(249)
微量元素的组成郊坛下官窑瓷中的微量元素	(257)
河水中裂片的放射化学分析	(268)
无载体 ⁹⁰ Y 的获得	(291)

实验室考古纲要

1 前言

考古是以过去的人物、事物、实物为研究对象，通过研究来认识人类的出现、生存、活动的规律，从而系统地描述出人类社会发展的进程。为了达到这一目的，将研究的对象带到实验室里来进行，获取充分客观的资料和数据，并以此为依据作分析和判断，这里指的「实验室」应该说是科学实验的方法，而不应该作为工作地域的限定，把它做形容词来用，既可以是在室内，也可以是在室外（包括田野、空中和水下），还可以是在离开地球和它的大气层以外的宇宙空间来进行考古研究。然而，必须是以实验测定的手段，通过仪器和设备收集资料，运用这些资料来认识过去的人类社会发展，我们称之为实验室考古。

人类的出现是生物进化的高级阶段，任何一个进化的阶段都有总结前一阶段与自然斗争，求得生存，发展和提高的过程。智能人的出现，是源于猿人，又高于猿人，它继承了猿人赖以生存的全部本领，又比猿人善于思考并有制造工具进行劳动的能力。所以说，智能人是总结了猿人的经验，并提高和发展了人类的进程。从这个意义上说，智能人已经开始了了解人类过去的活动，也就有了「考古」的涵义。地球上，凡是自然条件允许人类生存的地区，都有可能是智能人的栖息场所，繁衍圣地。应该说，除了两个极地之外，其余各大洲都应该是具备条件作为人类的发源地的，因此，人类的起源很可能是多源点独立繁衍，作为生命进化的一个阶段分别于各地出现。先后又经历了人类社会的蒙昧、野蛮和文明三个时期。人类进入文明的标志是：文字的出现。语言只是作为人们交往的工具，而文字则能记录人类的社会活动，并加以流传。现存记录古代典章文献汇编——《尚书》中，就有「曰若稽古」的记载，这里的（稽）字，就是考察、研习的意思，「稽古」也就是考古了。尧、舜、大禹、皋陶这些帝王的诏书都要以稽考古道为套语，足见他们对于考古重视的程度，以此证明他们的行事处世，有根有据，通古达今，替天行道。做文章，也要求能做到「……阅石室，启金匱，抽裂帛，检残竹，欲其博练于稽古也。」（《文心雕龙，史传》）。刘勰对考古的重视，自不待言，一般百姓也有谈古论今的习惯，民间口碑，相传至今。这些虽然不像我们现在把它作为一门学问来研究，然而，它却在民间和官府都是作为一种普通的常识广为传播，可以把它看成是考古学发展的初级阶段。

金石学是研究金属和石料器物上镌刻的文字和图象的一门学问，因为这些文字与图象是记录着过去社会上所发生的人和事，因此，金石学实际上也是研究古代社会的一门学问，它的研究对象是古代文明的遗存，记录古代文明的文字、符号、书写论术等。用于记录的材料除金属和石料以外，还有陶器、烧结的粘土、封泥、竹木简等。古人有铭器以记其事、

封碑以言其传、刻石以流芳万世的习惯。所以，一篇铭文、一件石雕、一块碑刻都各自记载着一定的人和事，将这些分散、孤立的文字片段进行系统的研究，并按其内容或时序进行归类，诚然能够从一个角度来认识当时的社会。宋人对于金石的研究，颇有功力，先后编纂了《先秦古器记》、《考古图》、《宣和博古图》等专门的著作。元明两代承之前朝，亦有《河朔访古记》、《古玉图》、《格古要论》、《古刻丛钞》、《金薤琳琅》等书出现。清代慎于严密的考证，因而鉴赏能力极强，研究的对象更是以青铜器物的铭文、碑刻发展到了玉器、印玺、钱币、镜鉴、兵符、剑饰等，凡有图文记载的资料，都在研究之列著述亦甚丰富，如《积古斋钟鼎彝器款识》、《长安获古编》、《捃古录金文》、《古籀拾遗》、《潜研堂金石文字目录》、《金石三跋》、《环宇访碑录》等书都是有特色的代表作品。清末民初的考古学则是以书籍记载为主要依据来论及古代，对象虽有不同，然欲达到的目的和它所采用的方法论亦溯源于金石之学，我们都将之归在考古学的一个发展阶段。

人们根据历史资料、文献记载、地区遗迹，甚至口碑传说等有关过去记载的人物、事物和实物的线索进行主动的探索和发掘，获得古人遗存的活动环境和实物资料，并利用发掘所获得的实物资料进行对古人活动的研究，这是近代考古学发展的一个重要标志。它的特征是：有一定的历史或经验的依据；有周密的事前调查；主动地寻找作为研究对象的实物；经过田野发掘可以利用空间关系来确定时序；实物研究对象是研究者本人从田野发掘所得，保证了实物的真实性和可靠性；可以借用地质学的成果；提供了利用现代科学技术的可能。它的工作内容是以田野发掘为主要手段，所以有人就称之为田野考古学。我国的田野考古起始于本世纪二、三十年代，半个世纪来，田野发掘所取得的成绩是骄人的，出土了大量的古代文物，直接了当地用客观事实描述了中华民族的古代文明。它为考古学作为一门学问提供了内容极其丰富的研究对象，在这一过程中，自身又逐渐形成了一整套工作方法：包括它的对历史事实的唯物主义观点；通过实地调查和发掘的实事求是的工作作风；利用地层关系进行器物类型排比确定文化属性的工作方法，这些又组成了它的自身工作关系，无疑是考古学研究发展的一个重要阶段。《新中国的考古发现和研究》书中，系统地总结了建国以来的考古研究，也是以田野考古为主的一本重要著作。

实验室考古是运用自然科学实验的手段对古代遗存进行测量、分析和鉴定，取得数据资料，并以这些数据资料为依据阐述古代的实物、人物和事物，从而达到认识古代社会的目的。采用现代科学实验的技术研究古物，主要是由仪器设备来完成的，测定的结果是客观事物真实的反映，它能为认识和判断古物提供科学依据。实验室是从事科学研究的重要基地，人类对自然现象的认识，可以首先在实验室里获得感性的直觉认识，然后又可以在实验室里对一些变化的规律进行模拟和再现，藉以达到重复认识的目的，还可以在已经具有的认识基础上，提出新的设想和概念，将客观事物的认识推向新的阶段，这是提高、发展和进步的基础。根据客观的测量、应用自然法则对古代事物的认识应该遵循也必须符合对应的规律，可以获得一元性结论。这些是把考古学研究推向严密定量化的基础，任何一门学科领域都是如此，定量的程度愈高，逻辑也就愈严密，对结论的准确性也就愈会提高。考古要作为一门科学出现，这就是不可逾越的必然阶段。

2 经历

王琒在本世纪二十年代对铜钱作的化学分析，是实验室考古学的最先尝试，他的贡献

在于：开辟了自然科学方法研究古物的一条崭新的道路。那时候，田野考古也还刚刚起步，处于萌芽状态，而实验室考古却也行之有效。虽然，同是当时的新鲜事物，但是，由于发现自然科学本身还处于草创时期，本身缺乏实力，各门学科都还没有自己的理论体系，没有自己的实验基地，仪器设备极其简陋，加上国家的经济落后、思想保守、实业落后，当然就缺乏科学研究的意识。因此，实验室的考古也和国家命运一样，只是个别人的孤立的行动。这种现象一直要延续到一九四九年新中国成立。国外的情况也基本相似，由于产业革命和自然科学的进步，他们将科学技术用于古物研究要早于我国，M. H Kaproth 在一七九六年就对希腊和罗马的古钱成分作过测定；一八五三年，B. Layard 为了证实化学有能力解决考古的问题，他对从不同遗址发掘出来的遗物逐一进行化学检测，首先为考古学研究提供了科学数据；J. E. Wocel 则企图追踪古代材料和化学成分之间的关系，利用它的成分的不同，探索它们的产地和估计它们的相对年代。尽管他们的工作很零散，而且他们所获得的结果并没有在古代社会研究中起到有影响的的作用，但是，所有这些思想都是先进的，作为这个领域的先驱者也是当之无愧的。这一个时期的工作是处于萌发的状态，因为，化学是研究物质变化的一门科学，而到了十八世纪末和十九世纪的后半期，已经掌握的化学元素达到六十余种，占了自然界存在的元素三分之二以上，并且认识了最基本的化学逻辑——元素周期率，于是认识物质成分就有了理论和实践的基础。化学的成果也就很自然地运用于对古物的研究，最先用于测定古物的物质成分。另一个特点是田野考古的日趋发展，导致大量遗物的出土，为考古学研究提供了大量的实物资料。古物类型学的发展，根据出土的遗物进行分类和排比已经成了考古研究的重要手段，而在自然科学家，特别是当时的化学家看来，这是唯象的，并非物质的。因而，抱着既是研究又是应用的目的，把化学与考古学结合在一起。

从本世纪五十年代起，实验室考古学进入了它的发展期，经过三十年的发展，这一学科领域日益成熟，它表现在随着科学技术的发展，各个学科领域的研究成果都竞相运用于古物的研究，积累了大量有关古代遗存的科学实验资料，打下了利用科学技术研究古代社会的广泛基础。标志着发展的几件事是：

2.1 美国科学家 W. F. Libby 创立的碳——十四测定年龄的方法。

研究过去，时间观念是第一需要。在此以前，对时序的确定一是靠发掘时的地层关系，这实际上是利用空间来定时间；二是靠大量器型的排比，利用器型演变的过程作为基础来推断时序。这两种办法都只能获得一个相对的时序先后的概念，而没有时间的绝对标尺。利用放射性的碳——十四，能够直接获得含碳标本的绝对年龄，这无疑是给考古学带来一种革命性的新思想。三十年来，各地区的考古研究都从自然科学部门得到了数以千计的绝对年代数据，为确定年代起着决定性的作用，充分显示了实验室考古学的作用。

2.2 第一次考古化学会议

于一九五〇年四月由美国化学会、化学史分会在费城召开，并确定「考古化学」研究的内容是：古代材料的成分研究；古物和古代材料的腐蚀和颓变研究；对展览品和其研究的艺术品的复原和保护。这件事证明了化学在考古中的作用已经有必要把它独立地成为一个学术专题来进行讨论，它继往开来，总结了过去的年代中化学科学在考古中的作用，同时也激励了以后的年代里，这个领域研究的发展。由于会议所议定的主题中，并非是化学一个学科所能完全解决的问题，所以同时又把其他学科领域吸引来共同研究和解决问题。经

历了十年的努力，人们意识到要把现代科学和技术用于考古研究已经不能局限在一、两个学科领域，而是要求各部门各类的先进科学技术一齐上。

2.3 古物测度学国际讨论会

鉴于五十年代后期的发展，不少人看到了采用科学技术进行考古研究的重要性，物理学家将电的性质、磁的性质、重力等物理性质都一一用于考古研究。在这种情况下「考古化学」这个词已经不足以表达这个领域里的发展了，为了区别原有的几种传统研究的考古的方法，而采用现代科学技术，最主要表现的差别是：利用了仪器测定，于是人们杜撰了一个新名词：Archaeometry「古物测度学」，用它来代表考古研究的这一新领域。从一九六〇年起，每年都有一次古物测度学的国际讨论会，内容包括了运用于考古学研究的一切现代科学技术。促进交流、繁荣学科的另一方式是：出版专门性的刊物。从那时起，在这个领域里出现的刊物有：英国的 Archaeometry、意大利的 Prospezioni Archaeologiche、美国的 MASCA，还有欧洲研究组织的 PACT。

2.4 实验室考古学的提出

进入八十年代，先进的科学技术成果用于考古已经可以说层出不穷，数学、物理、化学、地球科学、生命科学、计算机技术、宇宙科学……等几乎所有学科都有联系。这本身不是一件坏事，但又出现了危机。作为一门学科，什么是你的实体？什么是你的理论基础？什么是你的研究方法？什么是你的研究方向？……这一大堆的问题都摆出来了。在一次国际讨论会上，大家都以急切的心情谈了各自对这些问题的看法。发言的焦点是「古物测度学」这个词，尽管它已经被沿用了二十年，然而，人们提出：在任何一部完整的字典上都查不到 Archaeometry 这个词，什么是古物测度学？古物测度学家具有什么样的专长？古物测度学家与考古学家有没有区别？区别又在那里？古物测度学与考古学的关系是什么？怎样培训古物测度学家？等等一系列的问题进行了讨论，各持己见，也有各自谈论自己的认识并结合自己的工作经验。乍看起来，众说纷纭，莫衷一是。然而，它却是一股势不可挡的力量在考古这个领域里行动，它已经壮大，正在成长，还要发展。把现代科学发展的成果简单地看成一种技术，只是为研究过去提供一、两个数据，或者供别人使用的一点资料，这样的局面已经不能适应今天发展的需要。我们应该认识到：这样一个历史的进程已经到来，作为现代科学技术的成果已经不能简单的借用现成，而是要根据科学原理，针对古代社会、人类历史研究的需要不断探索和发展新的技术，描准古代的实物、人物和事物为自己制订研究的课题，从遗址的勘探、田野发掘、文物的保存和研究、信息处理、整理资料，直至写出报告的全部过程都运用科学实验的方法，所有的工作场所都是研究古代的实验室，把这样的研究领域称之为实验室考古学。它是考古学发展进程中的一个阶段，既不是孤立的，也不是服务的，而是继承现代科学知识，又要熟悉古代的历史和社会。要实现这个目标，并非易事，那就让我们朝着这个方向去努力吧！这是历史发展赋予的使命。

3 内涵

对于人类进步历史的研究，一种方法是把漫长的时期的分段，按所划分的时间段落，逐一进行分期文化的研究；另一种方法是按文化类型进行专题的研究。这是以时序为基础划分的，除此以外，还有以地域来划分的，即一个地区的考古。当然，地区与地区之间的发展关系、演变渊源，同样是研究的专题。所以，时间、空间、时空交错的顺序是划分和排

列研究主题次序的依据。

3.1 时间标尺的研究

没有时标的时间概念只能是相对的，也就是说时序的概念是以一件事或几件事发生的先后次序来确定时间顺序关系的。文字的出现，是人类文明的重要标志，有了文字，就可以记录人类活动的事实，这就是人类的历史。因此，人们可以此事发生为准则，分出了史前考古和历史考古两个阶段。史前考古又分出了旧石器时代考古和新石器时代考古。进一步的研究又把史前期分成：旧石器时代、中石器时代、新石器时代、铜石并用时代、青铜时代、铁器时代。这些以人类制作生产工具的材料为标志来划分时代的特点，在各不同的地区存在着时序先后，存在时间的长短不一。历史考古则以实物上记录的时间或者按器物类型排比出的时间进行分期，这在多个地区，不同的国界范围内更是差别很大。现在的任务是，对所有这些概念性的时代都要用绝对的时标加以确定，对任何一件需要研究的历史事件，都有它发生的绝对年代。例如，旧石器时代包括了人类开始出现到距今一万年以前的全部历史，它占有整个人类发展史的时间为百分之九十九以上。一万年这个界限是地质学硬性规定的全新世的起始年代，考古学借用过来也是照搬的。而人类出现，地质学家又把它定在第四纪的底界，具体年代则说法不一，究竟距今有多少万年？尚待多方面的研究工作。中石器时代、新石器时代、……的各类文化，乃至历史考古中某些具体对象的绝对年代，都要逐一进行测定，这是客观发展的必然。

3.2 绝对年代测定法

测定一个对象的绝对年龄，实际上是要找到一个与它共存的時計。十九世纪末，放射化学的诞生，认识了放射性核素的衰变规律，为人们提出了一种记录自然界的時計。根据放射性核素的衰变定律：

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

于是：

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N_0}{N}$$

式中 N_0 和 N 分别是放射性核素最早的和经过了时间 t 以后的原子数，平均寿命 λ 是核素的特性常数。这里告诉我们，只要对于一种放射性核素原来存在的量和现有的量测出以后，就可以知道这个放射性核素已经经历了多少时间。这个时间也就是该放射性核素存在的绝对年龄。因此，我们只要从研究对象的身上找到一种与它共存的放射性核素，就可以利用它来测定出这个对象存在的绝对年龄。利用放射性核素计时可以通过三条途径来进行：

(i) 单一核素的衰变。这就是最先采用而且比较简单的一条途径，方法的难点在于确定计算年龄的起点。如何测出 N_0 的含量；在含量极低的情况下，要求测准微量放射性核的技术比较复杂。当然，还要准确测出核素的特性常数 (λ)。目前在利用的核素有 ^{14}C 、 ^{10}Be 等，而 ^{14}C 又是在考古中用得最多的一种方法，这主要是只要有含炭的标本就可以作为测定的对象，具有实用的价值。

(ii) 放射性核衰变中的母子体关系。一个封闭体系中母子体两个放射性核素存在的原子数目为：

$$N_2 = N_1(e^{-\lambda_1 t} - 1)$$

改写上式即为：

$$t = \frac{1}{\lambda_1 \ln(1 + \frac{N_2}{N_1})}$$

据此，只要测出母子体的含量，即可求得它存在的年龄。利用天然放射系中的铀——钍法、铀——铅法、不平衡铀系法、钾——氩法等都是根据这个原理。

(iii) 核辐射所留下的痕迹。根据天然放射系的永久平衡概念，假定天然辐射场是永恒的，因此，它对固体所造成的辐射损伤则是随着年代的增长而增大，只要测出造成损伤的辐射总剂量被每年由恒定天然辐射场所提供的辐射剂量来除，即可求得年龄值。属于这一途径的有裂变迹法、热释光法、电子自旋共振法等。

3.3 寻找新的自然时标

地球与太阳的相对运动是人类生活的时标，能否找到另外的自然规律，记录的时间距离又长一些来作为我们研究过去的新时标呢？自然环境的变迁是人们最早注意的，如地层的沉积、气候的变迁、动植物群体的迁移、地磁场的逆转、太阳辐射量的变化……等有规律的自然现象，一经实验测定证实，都有可能是有前途的新時計。然而，到目前为止，这些也都还是在研究之中，不足以成为时标的概念。这是在对实物存在的环境和确定事物发生的年代，而不是实物自身的年代。

3.4 实物自身变化规律的寻找

在恒定的自然环境中，实物自身的变化如果是有规律的，同样可以作为记录时间的标尺。例如氟、铀、氮在骨骼中的含量是随着时间的变化而不同的，下表所示，骨骼中的含氟量和含铀量都是随着年代增长而含量加大的，含氮量则适得其反。还有人专门做过骨头中含氟量与年代的关系。此外，如黑曜石的含水层、岩矿和玻璃表面层的风化作用……等现象，具备了系统的变化与时间的关系，都有可能作为主、客观的一种時計。

	F%	U ₃ O ₈ (ppm)	N%
新鲜的骨头	0.03	0	4.0
新石器时代头盖骨	0.3	—	1.9
中石器时代牙齿	1.6	30	—
旧石器时代兽骨	1.7	27	痕量
更新世兽骨	2.7	610	痕量

年代 (年)	<10	<100	700	1000	1700	1400	1600
F%	<0.02	0.15	0.06	0.15	0.35	1.0	1.1

3.5 断代和年龄测定

断代是一个时序的概念，年龄测定是客观提供的数字结果。从年龄测定的数字可以给出断代，而断代的结论永远给不出年龄的数字。对年龄数据的应用应该注意以下几个问题：(1) 弄清它的来源，包括测定的对象和测定的方法；(2) 测定对象和研究的问题之间的关系，是代表关系，或共存关系，或者是研究对象；(3) 了解测定方法的科学性，包括原理运用是否合理？操作是否得当？样品是否适用？方法的可信度和数据的适用范围；(4) 核实、复验与旁证。一个年龄数据能够经得起这四个方面的考察，应该说：它是可以被接受的。

3.6 遗迹的探索

野外踏勘是选定田野发掘的第一步，以前选择踏勘地点的依据不外乎是：文献记载的资料，口碑流传，偶然的暴露，这三种来源可以是独立的，也可以是互补的。对于地下埋

藏采用了钻探（包括探产、钻机）、物探等技术来确定发掘的位置。物探技术发展是基于地层中物理性质的差异来反映埋藏在地下的遗迹，古人用火遗址（如窑、火炕、炉灶等）因高温灼烧后，留下永久性的热剩余磁，产生了局部磁场强度的增大。古道路、城垣、沟壑等遗迹的磁化率与地平面的磁化率也是有差异的，同样可以作为测定对象。应该指出：这些差异是微小的，因此，必须有较为灵敏的仪器，能够测出 5×10^{-4} 安培/米的磁场变化。如质子磁力仪，碱金属磁力仪等。电阻率法是另一种物探技术，利用电位差计测出地面各点的电阻率，并作电阻率分布图，据此以判断地下遗存。目前已用于古河道、建筑、遗址的勘探。电磁勘探，一台电磁勘探仪包括一个发射线圈和一个接收线圈。在没有外部磁场干扰时，接收不到感应电压，只有当发射线圈中的交叠磁场遇上涡流感应，生成的次级磁场才会在接收线圈中出现感应电压。造成涡流的可以是地下空穴、金属……等埋藏。进一步的发展仅是无线电波测定。一九七五年 Bevan 用一台峰值频率为 100Mhz，功率 35W 的雷达测定过地下的窖藏。宋东京城的外城西墙，建于后周显德三年（公元九五六年），由于黄河水患，已埋于地下。在开封市西郊南正门村测出的一段电阻率 $21\Omega/\text{m}$ （墙体）， $58\Omega/\text{m}$ （团土），估计墙体是用夯土筑成，而团土则是沙土。采用物探技术，还可以对大型陵墓，如秦始皇陵的墓室进行勘测，为今后的发掘提供科学数据；也可以利用它来验证一些历史上的传说，如秘鲁的常冒陵寝（据传藏有大量的黄金鱼，眼睛还是翡翠的）；哥斯达黎加的可可岛（距海岸三百里，是十七世纪海盗的休息站，那里藏有大量金、银、珠宝）等。

电阻力 (Ω/m)	材料
1—10	淤泥，黏土。
10—50	耕作土，振动土，夯土，沙土。
50—100	粉砂，亚粘土，地下水。
100—10000	砂，石炭岩，砾石，砖。
1000—100000	大理石，花岗石。

第一次世界大战以后，考古学家利用战时从空军那里获得的侦察地形图及航空摄影片，寻找到了古代遗迹，从而提出了航空考古。实际上也只是从高空位置可以扩大视野，对此研究地形，发现某些地坝特点而已。七十年代又利用人造地球卫星摄下的照片，利用光线明暗的对比，可以显示坟墓、城墙、堤坝等；土色的明暗可判别道路、沟渠、洞坑等遗迹；植物绿色深浅的对比，影示着村庄、河道、道路等遗迹。

水下考古主要是对下沉的城镇遗址进行勘探和发掘，如对马雅文化的奇琴依察「圣池」中的人殉和祭物。现代潜水技术的发展，帮助了寻找和打捞历代沉船、研究海上交通的历史等多种文化的交流。除了考古目的以外，对沉船感兴趣的还有「财迷」。如一七〇八年沉没的 San Jose 号上，估计有十亿美元的金银珠宝；一八五七年沉没的「中美」号上，满载着从加利福尼亚挖来的黄金；穆斯卡国王加冕后抛进瓜达维达湖的黄金和翡翠，这些都是世人所瞩目的。考古学家重视五百年前哥伦布发现新大陆之后，派遣回欧洲的几艘沉船，虽然，船上没有金银财宝，却是人类航海史上的重要创举。

3.7 考古学文化的核定

考古学文化是根据人群部落生存在一定的时期中所表现出的生产力和生产关系。具体的体现在居住的条件、生活习俗、人际关系等。这些又是以居住的遗址、墓葬、生活用品和生产工具来判断。所以在考古学中常以一种或几种器物所具有的特征来表达一种文化的属性。它是研究史前考古的重要方法。早期，提出和确定文化属性的依据，当然是唯象的，

难免会受外形的迷惑，而采用科学手段，取得数字资料，无疑是客观的真实反映。例如，希腊本土的曼锡尼文化和位于地中海的克里特岛上的克诺索斯文化，学者们曾经有过争论，一种看法认为：这两地的彩陶造形和纹饰都基本一致。克诺索斯文化是由曼锡尼文化传过去的，甚至同种同源，认为陶器都是在希腊本土上炼制好以后搬运去克里特岛的。但是，经过用发射光谱分析两个地区的外形相同的陶器之后，陶器中镍、铬、锰、钛、镁、钙、钠、铁和铝的含量分布规律完全不同，这个结果证明了两地陶器是用不同的材料烧制的，如果能在克里特岛上找到烧制陶器的陶土，那就可以确认无误地证明了克里特文化发展的独立性。又如甘肃省阳洼湾齐家文化的陶器中没有彩陶，安特生就认为它比有彩陶的仰韶文化要早，最初他还把齐家文化的时代定在公元前三千五百年至三千二百年间出现的文化类型，后来又把年代改为公元前的二千五百年至公元前二千三百年间。夏鼐先生根据发掘的地层关系，确定了齐家文化应晚于仰韶文化，并认为齐家文化产生的年代不会比公元前二千年早过许多。我们选取了典型的齐家文化陶片，用热释光测出它们的绝对年龄为距今四千年左右，而典型的仰韶文化彩陶的绝对年代都在距今六千年以前。这个实验测定的结果对不同类型文化出现的年代作出了明确的回答，也就把时序排列上的混乱得到了澄清。

	中原	西	南东
10000 年			桂林，甄皮岩万年，仙人洞
8000 年	西安半坡		余姚河姆渡
	登丰，双泽		吴兴，马家浜文化
6000 年	后岗，二里头仰韶文化		黄浦，林泽
	仰韶文化		
4000 年		马厂、齐家、大河壮	南京北阴阳台
			良渚，屈家岑

3.8 文化渊源的研究

中华民族的文化发展和起源问题，曾经有过：中原说，即中华文化发源于帝国的中央部位，具体点即西安、洛阳一带；西来说，即认为中华文化起源于西部，青海、甘肃一带；南来说，认为中华文化起源于东南沿海，也有称之为东来；外来说，中华民族的文化是从外国输入的，各说不一，如印度、中东、苏俄、越南、朝鲜……等，说者多数怀有某种目的，持一孔之见。随着遗址年代数据的积累，已经可以列出一个初具规模的纲，将新石器时代以来的各种文化类型及其地域分布，可以看出几条已有的规律：各地文化类型，特色各有千秋；已被发掘出的遗址，文化属性有它的延续性。这又为我们开辟了一个新的领域，用年代学数据来研究中华民族文化多中心起源的课题，工作量会是浩大的，然而意义还不只在解决具体问题本身，在方法学上更有推广的价值。

3.9 同类型文化遗址

一种文化类型是从一个典型遗址反映出来的，而往往又有许多遗址，具有同一个文化类型。一九二一年瑞典学者安特生在河南省渑池县仰韶村发现的仰韶文化，其地域在豫东以西，青海、甘肃以东，河套、长城以南，鄂西以北，这一带共有遗址千余处。其中北首领、半坡、姜寨、五湾、大河村、后岗、下王岗、底沟、元君庙、芮城东庄村等都是有名