

OxCal 校正软件在考古年代学中的应用

宋 殷

(北京大学考古文博学院 北京 100871)

内容提要: OxCal 校正软件是一款常用的处理碳十四数据的程序,拥有 72 个基本指令与若干模型。该软件的基本指令有两种,分别是赋值型指令和结构型指令。OxCal 校正软件运用在具体考古遗址(如王城岗龙山文化城墙和城壕以及古埃及阿马尔纳遗址)研究中时,要注意序列或阶段的选择。

关键词: OxCal 校正软件 碳十四测年 考古学 年代学

中图分类号: K854

文献标识码: A

一、前言

碳十四测年有三次革命,分别是碳十四测年技术的出现即碳十四革命、校正曲线革命和 AMS 革命^[1]。在最初几代校正曲线发布的时候,碳十四数据的校正方法主要采用校正表的方式校正,如 1972 年发布的“达曼表”和 1984 年发布的“新表”^[2]。然而,随着计算机技术的发展并运用于碳十四数据的校正,通过查表来进行碳十四数据校正的方法迅速过时,同时,20 世纪 90 年代贝叶斯统计被引入考古学界。使用贝叶斯统计来处理碳十四数据同样需要大量的数学运算,运用计算机软件来进行数据的校正和贝叶斯统计成为碳十四年代学这一领域的发展趋势。

在这样的背景下诞生了各种可用于处理碳十四数据的校正软件,比如 CALIB^[3]、OxCal^[4]、BCal^[5]、CalPal^[6]等。每种软件各有优势和劣势,本文不拟在此对各种校正软件的应用进行一一介绍,仅聚焦于在夏商周断代工程期间被介绍进中国并产生较大影响的 OxCal 校正软件。OxCal 校正软件的开发和更新主要由牛津大学的兰姆希教授(Christopher Bronk Ramsey)完成,该软件自 1994 年首次发布以来经历了大约 133 次更新,最近一次更新版本 OxCalv4.4.4 完成于 2021 年 11 月 24 日^[7]。

OxCal 校正软件虽然为碳十四数据的校正和贝叶斯统计处理带来了很大便利,但是 OxCal 校正软件是非开源的,即用户无法在 OxCal 校正软件上根据自己的需求设计代码以实现任务,因此

理解那些在 OxCal 校正软件上的指令就至为关键。

二、基本指令与模型

OxCal 校正软件拥有 72 个基本指令,可以完成数据的基本校正。其模型包括贝叶斯统计模型、树轮扭摆匹配(Tree-ring Sequence)、沉积模型(Deposition Model)、异常值模型(Outlier Model)等。其中,贝叶斯统计模型具体又包括连续模型(Contiguous Model)、非连续模型(Sequential Model)、重叠模型(Overlapping Model)、梯形模型(Trapezium Model)等。一般可以这样来理解,基本指令相当于一块块积木,而模型相当于用积木搭起来的建筑。

上述基本指令与模型在 OxCal 校正软件上都有简单的英文描述^[8],为了方便理解和应用,本文结合实际使用经验,在此简要介绍一些重要指令和模型。

基本指令有两种,分别是赋值型指令和结构型指令。赋值型指令是指可以赋予一定数值来实现功能的指令;结构型指令是指这种指令可以容纳一系列的赋值型指令并构成一定的结构以实现某种功能。模型一般是由一个结构型指令或一群结构型指令构成的。

举例来说,R_Date 这一指令即属于赋值型指令,每一个 R_Date 可以赋予三个值,分别是名称、碳十四原始数据(以 5568 年为半衰期,以 BP 为单位)、碳十四原始数据的误差(即正负多少年)。一个 R_Date 指令代表了一个实测的碳十四数据。同

收稿日期 2021-11-15

作者简介 宋殷(1988—),男,北京大学考古文博学院助理研究员,主要研究方向:碳十四考古年代学。

样是年代数值, C_Date也可以赋予三个值, 分别是名称、指定日历年代(输入数值即公元多少年, 公元前多少年要加上负号)、误差(正态分布的一个标准差), 且 C_Date一般符合正态分布, C_Date作为已知年代的指令, 可以放入模型中与碳十四年代结果进行比对。

在 R_Date 基础之上衍生出了 R_Combine 和 R_Simulate。R_Combine 是容纳 R_Date 的结构型指令, 其主要目的是对 R_Combine 所涵盖的数据进行取平均值处理, 这样可以有效减小结果年代的误差。R_Combine 的使用前提是确定若干个碳十四数据是完全“共时”的。例如从一个马坑内不同马个体的骨骼样本测出来的碳十四数据, 即可以用 R_Combine 处理, 以获得马坑的误差范围更小的年代。而 R_Simulate 可以赋予三个值, 分别是名称、设定日历年代和误差。R_Simulate 的设计理念是给定一个已知的日历年代, 系统会返回一个包含该日历年代的碳十四年代。R_Simulate 的主要用途是模拟贝叶斯统计过程, 即在一个贝叶斯统计模型中每隔一定时间间距加入一个 R_Simulate, 观察在一定模拟的日历年代范围内加入多少个数据可以得到最高的准确度。

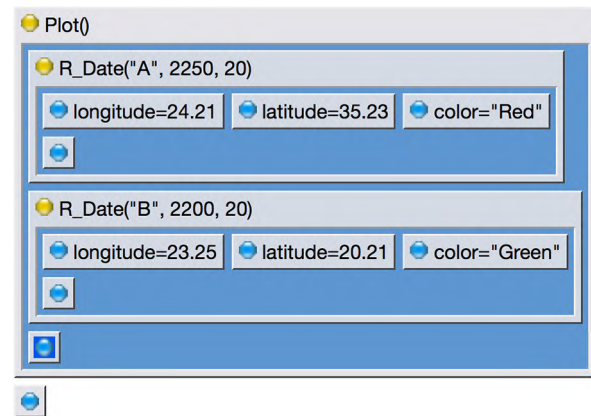
OxCal 校正软件中还有两个指令可以计算年代差值, 分别是 Difference 和 Interval。Difference 是赋值型指令, 有四个值, 分别是名称、参数一、参数二和先验条件表达式。使用 Difference 时, 首先列出两个 R_Date, 然后插入 Difference, 并将参数一和参数二分别填入两个 R_Date 的名称, 运行后即可得到两个 R_Date 的年代差。Interval 可以计算一个序列 (Sequence) 中的一个阶段 (Phase) 的起止年代差, 做法是将 Interval 放入一个 Phase 指令内数据的最后, 运行程序即可得到该 Phase 的起止年代差。

对于区域补偿值 (Offset)^[9] 已知的情况, 可以利用 Delta_R 来对校正曲线进行微调。Delta_R 有三个值, 分别是名称、补偿值和误差。比如牛津大学经过研究, 得到了埃及尼罗河地区的区域补偿值为 19 ± 5 年^[10], 因此在研究古埃及年代的时候, 就可以插入 Delta_R, 并将补偿值设为 19 年, 误差设为 5 年。如果知道某测年样品的补偿值, 可以用 Offset 指令引入补偿值。具体做法为: 点击欲加入补偿值的 R_Date, 插入 Offset 指令并输入补偿值和误差。举例来说, 对于大量食用水生生物的人类个体骨骼, 如果知道该个体的补偿值, 即可通过 Offset 指令得到去除储存库效应影响后的较为

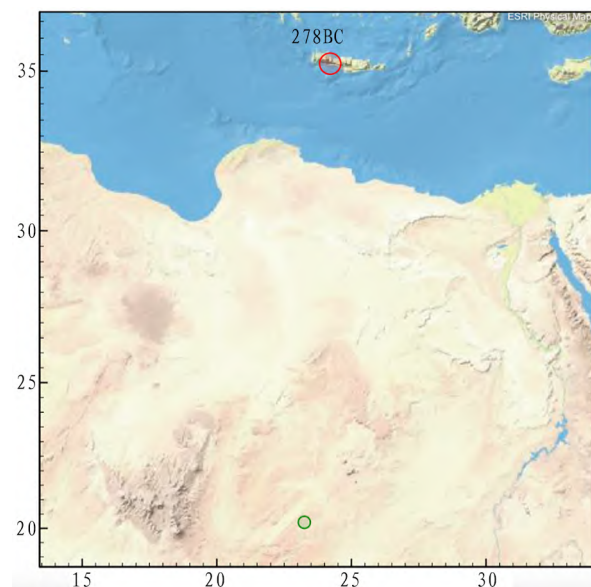
准确的年代。

OxCal 校正软件还可以在地图上显示年代数据, 具体有三个指令, 分别是经度 (Longitude)、纬度 (Latitude) 和颜色 (Color)。具体做法为: 输入一个 R_Date 之后, 如图一所示, 可以点击 R_Date, 插入经、纬度和颜色, 在程序运行完之后选择观看 (View) 里的地图上显示 (Plot on map) 可以生成地图, 同时可以得到地图随年代进行扫描的动态图, 如图二所示, 圆圈代表碳十四数据, 圆圈的大小代表年代概率。

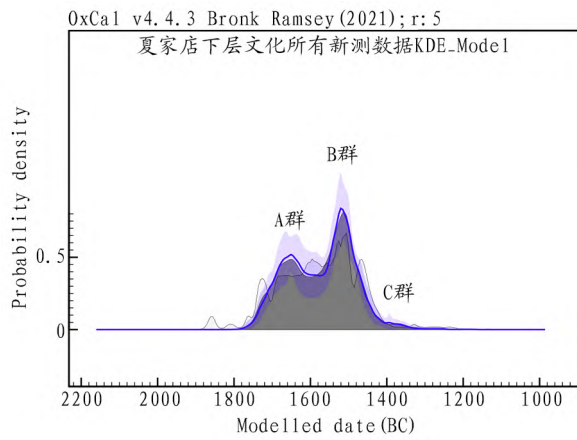
此外, OxCal 校正软件还有观察大批量碳十四数据分布情况的 Sum 和 KDE_Model 两个指令。Sum 是结构型指令, 可以在 Sum 内加入欲分析的碳十四数据 R_Date, Sum 得到的结果是碳十四数据校正后年代的概率密度的直接叠加。KDE_



图一// 年代经纬度和颜色指令举例



图二// 地图显示碳十四年代举例



图三// 夏家店下层文化新测碳十四数据的KDE_Model指令结果

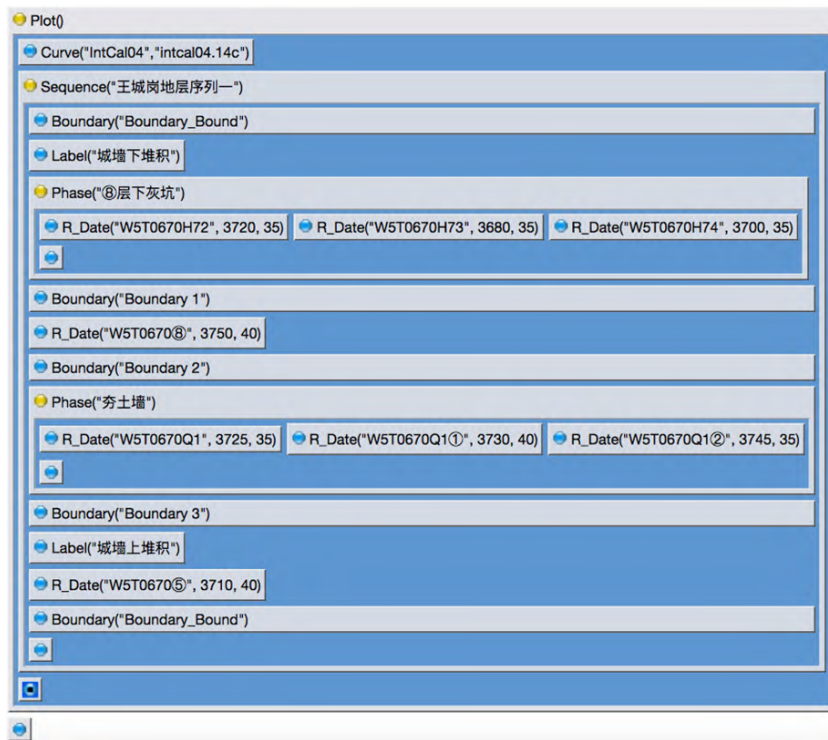
Model是核密度估计分析的指令,可以用于计算年代数据的分布曲线,操作方法与Sum类似。但需要注意的是,在数据量较少的情况下,KDE_Model会对结果的数据年代有所压缩,数据量越多,越能反映真实的年代分布情况^[11],KDE_Model的应用实例如图三所示,该图显示了夏家店下层文化所有新测碳十四数据可以分为A、B、C三群,而这是单个测年数据所无法展示的年代分布规律^[12]。

三、在考古年代学中的应用

为了便于理解 OxCal 校正软件的具体操作,本文使用河南登封王城岗龙山文化大城城墙的地层序列一、王城岗龙山文化大城城壕的地层序列三^[13]以及牛津大学在研究古埃及年表时所使用的贝叶斯统计模型^[14]为例,具体分析如何应用 OxCal 校正软件。对于王城岗龙山文化的例子,本文只试图说明报告中所用模型设计及其与考古学信息的联系,不拟重新设计模型。

序列(Sequence)和阶段(Phase)是理解如何在 OxCal 校正软件中建立贝叶斯统计模型的关键概念。对于序列和阶段的选择直接决定了贝叶斯统计模型的结果。

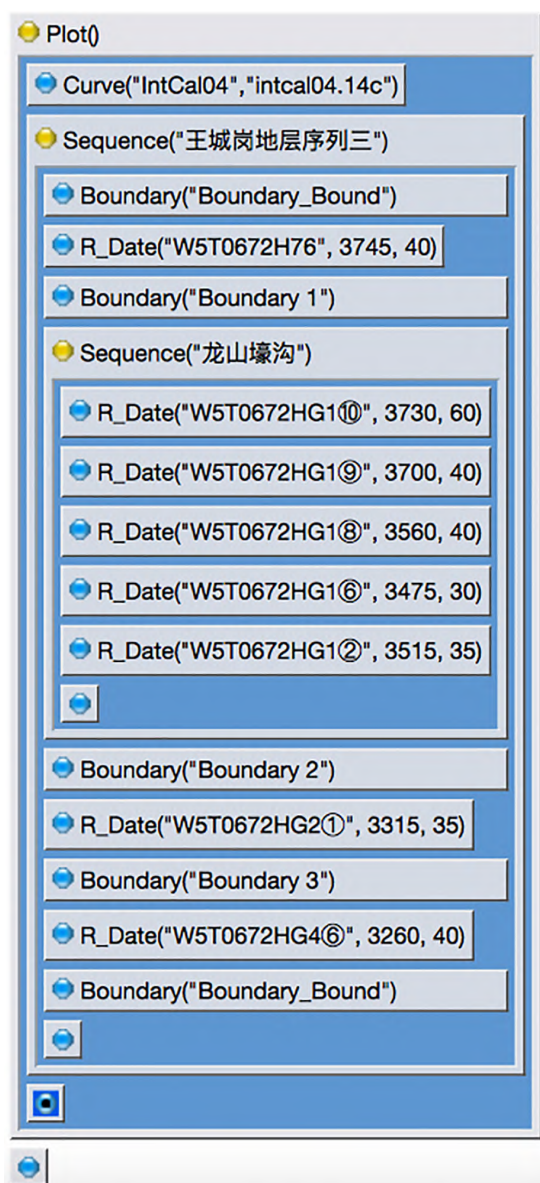
图四是依据王城岗龙山文化大城城墙的地层序列一在 OxCal 校正软件中所建立的贝叶斯统计模型。由于地层是有先后时间顺序的,所以首先设置了一个序列,命名为“王城岗地层序列一”。然后在这个序列下面依照地层的顺序放入数据,地层的序列为“W5T0670⑤→W5T0670Q1→W5T0670⑧→⑧层下灰坑”。需要注意的是在 Boundary_Bound 之后设置了一个阶段,命名为“⑧层下灰坑”,由于H72、H73、H74都位于⑧层下,三者无法区分早晚,所以放在一个阶段里面。需要注意的是,“阶段”里的数据是不分早晚的。由于不清楚夯土墙三个数据的先后顺序,所以设置为一个阶段。在这个序列中,每两个有相互叠压关系的单位之间设置一个边界(Boundary),这属于贝叶斯统计模型中的连续模型(Contiguous Model),由于位于模型中间的阶段或数据前后都有边界,为公平起见,模型的起始与结束都加边界,以对起始和结束的阶段或数据加以约束。



图四// 王城岗龙山文化大城城墙的地层序列的贝叶斯统计模型

图五是依据王城岗龙山文化大城城墙的地层序列三在 OxCal 校正软件中所建立的贝叶斯统计模型。由于地层单位存在早晚关系,首先建立一个序列并命名为“王城岗地层序列三”。图五所示模型与图四所示模型大体相

图五是依据王城岗龙山文化大城城墙的地层序列三在 OxCal 校正软件中所建立的贝叶斯统计模型。由于地层单位存在早晚关系,首先建立一个序列并命名为“王城岗地层序列三”。图五所示模型与图四所示模型大体相



图五// 王城岗龙山文化大城城墙的地层序列三的贝叶斯统计模型

似，可依据层位关系“W5T0672HG4 ⑥ → W5T0672HG2 ① → W5T0672HG1 → W5T0672H76”建立模型，每两个单位之间设置一个 Boundary。唯一区别为龙山文化壕沟 HG1 的数据按照层位由早到晚被放入一个序列里，并被命名为“龙山壕沟”。因此，在使用序列的时候，需要确保同一个“序列”里的数据是有早晚关系的。除了注意阶段和序列的区别，还要注意贝叶斯统计模型里的层级关系。此外，这里的模型开头设置了校正曲线的选择，在此选择 2004 年国际校正曲线 IntCal04，如果不设置的话软件默认使用最新的 IntCal20 校

正曲线。

最后是用碳十四测年研究古埃及年表的例子，如下所示是其中的一个贝叶斯统计模型^[15]。

```
Options()
{
  Resolution=5;
};
Plot()
{
  Delta_R("Egypt Offset", 19, 5);
  Sequence()
  {
    Phase("Shell(old)TPQ")
    {
      R_Date("OxA-14809", 3560, 34);
    };
    Boundary("Start Amarna to Tutankhamun
burial sequence");
    Sequence("Amarna Period to Tutankhamun")
    {
      Phase("Amarna Midden - Long-Lived Sam-
ples")
      {
        R_Date("Q-2401 wood", 3035, 35);
        R_Date("Q-2402 charcoal", 3055, 35);
        R_Date("OxA-14611 charcoal", 3066, 32);
        R_Date("OxA-14612 wood", 3109, 31);
      };
      Phase("Amarna Midden - Shorter/Short
Lived Samples")
      {
        R_Combine("Amarna Akhenaten SL")
        {
          R_Date("Q-2403 skin", 3050, 35);
          R_Date("Q-2404 horn", 3025, 35);
          R_Date("Q-2405 bone", 3088, 35);
          R_Date("OxA-14537 reed", 3116, 31);
          R_Date("OxA-14538 grass", 3134, 32);
          R_Date("OxA-14539 leather", 3058, 31);
          R_Date("OxA-14540 seeds", 3109, 33);
          R_Date("OxA-14563 papyrus", 3134, 34);
          R_Date("OxA-14564 rush", 3068, 33);
          R_Date("OxA-14565 leather", 3137, 33);
          R_Date("OxA-18057", 3082, 29);
          R_Date("OxA-18407", 3096, 28);
```


R_Combine 来处理 Amarna Akhenaten SL 时期的短年样品。这样做虽然可以得到十分精准的年代结果,但在中国的考古实践中需注意样品的“同时性”是否可以保证,一般而言只有同一座墓葬中同时被埋葬的不同个体的测年结果,或灰坑在短时间内形成的堆积中的短年样品测年结果可以使用 R_Combine 以缩小测年误差。

四、结语

本文介绍了 OxCal 校正软件的若干常用基本指令和 OxCal 校正软件的应用实例,并主要以王城岗遗址龙山文化城墙和城壕为例展示了如何设计贝叶斯统计模型,以及如何选择序列或阶段。但是,田野考古发掘中遇到的年代学问题远远不是几个简单的模型可以解决。对 OxCal 校正软件中的关键概念即序列和阶段的如何使用直接决定了结果的成败,这涉及诸如碳十四测年样品来源问题、遗迹单位的生命史、测年样本与遗迹单位的年代关系等若干田野考古中的关键问题,因此寻找最契合考古发掘实际的贝叶斯统计模型也是测年学者的不懈追求。

- [1] Colin Renfrew. *Before Civilization: The Radiocarbon Revolution and Prehistoric Europe*. London: Jonathan Cape, 1973.
- [2] 蔡莲珍:《碳十四年代的树轮年代校正——介绍新校正表的使用》,《考古》1985年第3期。
- [3] Minze Stuiver, Paula Reimer. A Computer Program for Radiocarbon Age Calibration. *Radiocarbon*, 1986, 28(2B): 1022-1030.
- [4] Christopher Bronk Ramsey. Analysis of chronological information and Radiocarbon Calibration: The Program Ox-

Cal. *Archaeological Computing Newsletter*, 1994, 41: 11-16.

- [5] Caitlin Buck, Andrés Christen, Gary James. BCal: an online Bayesian radiocarbon calibration tool. *Internet Archaeology*, 1999, 7.
- [6] Bernhard Weninger, Olaf Jöris. Glacial radiocarbon age calibration: the CALPAL program. In: Tom Higham, Christopher Bronk Ramsey, Clare Owen, editors. *Radiocarbon and Archaeology*. Oxford: Oxford University School of Archaeology, 2004:9-15.
- [7] [EB/OL][2021-04-15] <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>
- [8] 参看 [EB/OL][2021-04-15] <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html> 中的帮助 (Help) 栏下的命令 (Commands) 一栏。
- [9] 区域补偿值为该区域由于微环境、水热循环等导致的区域校正曲线偏离全球大气校正曲线的值,可以通过对该区域已知年代的样本进行测年并获得一条曲线,该曲线与全球校正曲线的偏离值就是区域补偿值。
- [10] Andrew Shortland, Christopher Bronk Ramsey. *Radiocarbon and the Chronologies of Ancient Egypt*. Oxford: Oxford Books, 2013:126-147.
- [11] 在进行 KDE_Model 分析的时候需要注意数据是否有系统偏离,即年代数据是否被人为筛选过,被人为筛选过的数据不能客观反映某文化或某文化某一期的年代概率分布情况。
- [12] 宋殷:《夏家店下层文化的年代学研究》,北京大学博士学位论文,2021年,第28页。
- [13] 北京大学考古文博学院、河南省文物考古研究所:《登封王城岗考古发现与研究(2002~2005)》,大象出版社2007年,第776—784页。
- [14] 同[10],第142页。
- [15] 同[10],第142页。

Application of OxCal Calibration Software in Archaeological Chronology

SONG Yin

(School of Archaeology and Museology, Peking University, Beijing, 100871)

Abstract: OxCal, which contains 72 basic commands and a variety of models, is a software commonly used in archaeology for processing carbon 14 data. This study introduces the software using its application in studying the Longshan Culture walls and ditches at the Wangchenggang Site and the Tellel-Amarna Site of ancient Egypt as examples, and points out that the key concepts of Sequence and Phase are critical in applying OxCal in archaeological chronology.

Key words: OxCal calibration software; carbon-14 dating; archaeology; chronology

(责任编辑:黄苑;校对:朱国平)