

学校编码: 10384

密级_____

学 号: 22320131151392

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

台湾海峡和海南岛东部陆架沉积物年代学研究

Sediment Chronologies in the Taiwan Strait and the
eastern shelf of Hainan Island

张芳

指导教师姓名: 杨伟锋教授

专业名称: 海洋化学

论文提交日期: 2016年05月

论文答辩时间: 2016年05月

2016年05月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
第 1 章 绪论	1
1.1 近代沉积物年代学的研究意义	1
1.2 近代沉积物沉积年代的测定	2
1.2.1 历史海图对比法.....	2
1.2.2 ^{14}C 测年法.....	2
1.2.3 ^{210}Pb 测年法.....	4
1.2.4 ^{137}Cs 测年法.....	6
1.3 国内外 ^{210}Pb、^{137}Cs 法测年的研究现状	7
1.3.1 国外 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 法测年的研究现状.....	7
1.3.2 国内 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 法测年的研究现状.....	8
1.4 本研究目标和内容	9
第 2 章 研究海区和方法	10
2.1 研究海区	10
2.1.1 台湾海峡.....	10
2.1.2 海南岛东部陆架.....	12
2.2 样品采集	13
2.3 沉积物中 ^{210}Pb 的测定	16
2.3.1 样品中 ^{210}Pb 的 α 能谱测定.....	16
2.3.2 样品中 ^{210}Pb 的 γ 能谱测定.....	19
2.4 样品中 ^{137}Cs 的 γ 能谱测定	23
2.5 样品中生物硅(BSi)的测量	23
2.5.1 测量生物硅含量的方法.....	23
2.5.2 仪器和试剂.....	25

2.5.3 实验方法.....	26
2.5.4 生物硅含量的计算.....	26
2.5.5 生物硅的重现性检验.....	28
2.6 沉积物中 ^{210}Pb 年代学模式.....	29
2.6.1 CA 模型(或 CIC 模型).....	30
2.6.2 CS 模型.....	30
2.6.3 CF 模型(或 CRS 模型).....	30
2.6.4 CFCS 模型.....	31
2.6.5 四种模型的比较.....	31
2.7 沉积物中生物硅埋藏通量的计算.....	32
第 3 章 台湾海峡西部海域沉积物年代学.....	33
3.1 岩芯中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 含量与分布.....	33
3.1.1 Y11 岩芯中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的含量与分布.....	33
3.1.2 Y13 岩芯中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的含量与分布.....	35
3.1.3 Y21 岩芯中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的含量与分布.....	36
3.1.4 Y23 岩芯中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的含量与分布.....	37
3.1.5 Y31 岩芯中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的含量与分布.....	37
3.1.6 Y32 岩芯中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的含量与分布.....	38
3.1.7 Y41 岩芯中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的含量与分布.....	40
3.2 台湾海峡沉积物 ^{210}Pb 年代学.....	40
3.2.1 不适于 ^{210}Pb 年代学模式测年的岩芯.....	40
3.2.2 适于 ^{210}Pb 年代学模式测年的岩芯.....	46
3.3 近百年来台湾海峡沉积速率的变化.....	54
3.3.1 不同站位沉积速率的比较.....	54
3.3.2 台湾海峡沉积速率年代际的变化及区域差异原因浅析.....	56
3.3.3 过剩 ^{210}Pb 沉积通量与沉积速率的关系.....	58
3.4 台湾海峡岩芯中生物硅的含量与分布.....	59
3.4.1 不同岩芯生物硅的含量与分布.....	59
3.4.2 不同岩芯生物硅含量的比较.....	60
3.5 台湾海峡生物硅的埋藏通量.....	61
3.6 结论.....	63

第 4 章 海南岛东部陆架沉积物年代学	64
4.1 岩芯中 ^{210}Pb、^{137}Cs 的含量和分布	64
4.1.1 S0403 岩芯 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 的含量和分布.....	64
4.1.2 S0401、S0409、S0410、S0411 岩芯 ^{210}Pb 的含量和分布.....	64
4.2 海南岛东部陆架沉积物 ^{210}Pb 年代学	67
4.2.1 S0403 岩芯 ^{210}Pb 年代学	67
4.2.2 S0401 岩芯 ^{210}Pb 年代学	71
4.2.3 S0409 岩芯 ^{210}Pb 年代学	72
4.2.4 S0410 岩芯 ^{210}Pb 年代学	73
4.2.5 S0411 岩芯 ^{210}Pb 年代学	75
4.3 近百年来海南岛东部陆架沉积速率的变化	76
4.3.1 不同站位沉积速率的比较.....	76
4.3.2 海南岛东部陆架沉积速率年代际的变化.....	78
4.3.3 过剩 ^{210}Pb 沉积通量与沉积速率的关系	79
4.4 海南岛东部陆架岩芯中生物硅含量及分布	79
4.4.1 不同岩芯生物硅的含量与分布.....	79
4.4.2 不同岩芯生物硅含量的比较.....	80
4.5 岩芯中生物硅埋藏通量的比较	81
4.6 结论	83
结语	85
参考文献	87
附录：在学期间的主要工作	109
致谢	110

Contents

Abstract (Chinese)	I
Abstract (English)	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Significance of modern sediment chronology	1
1.2 Introduction of methods for determining modern sediment chronology	2
1.2.1 Historical chart.....	2
1.2.2 ^{14}C chronology	2
1.2.3 ^{210}Pb chronology	4
1.2.4 ^{137}Cs chronology	6
1.3 Progress of ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology	7
1.3.1 International progress of ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology.....	7
1.3.2 Progress of ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology in China	8
1.4 Research contents	9
Chapter 2 Research area and methods	10
2.1 Research area	10
2.1.1 Taiwan Strait.....	10
2.1.2 The eastern shelf of Hainan Island.....	12
2.2 Sampling	13
2.3 Determination of ^{210}Pb in sediments	16
2.3.1 ^{210}Pb measurement using alpha spectrometry.....	16
2.3.2 ^{210}Pb measurement using gamma spectrometry	19
2.4 Determination of ^{137}Cs in sediments	23
2.5 Determination of biogenic silica in sediments	23
2.5.1 Method of measuring biogenic silica.....	23
2.5.2 Instruments and reagents.....	25

2.5.3 Experimental methods	26
2.5.4 Calculation of biological silica content.....	26
2.5.5 Repeatability test of biological silica determination.....	28
2.6 Models of ²¹⁰Pb chronology	29
2.6.1 CA model (or CIC model).....	30
2.6.2 CS model.....	30
2.6.3 CF model (or CRS model)	30
2.6.4 CFCS model.....	31
2.6.5 Comparison between models	31
2.7 Calculation of biogenic silica burial flux	32
Chapter 3 Sediment chronology in the Taiwan Strait	33
3.1 Distributions of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs	33
3.1.1 Distributions of ²¹⁰ Pb and ¹³⁷ Cs at Y11.....	33
3.1.2 Distributions of ²¹⁰ Pb and ¹³⁷ Cs at Y13	35
3.1.3 Distributions of ²¹⁰ Pb and ¹³⁷ Cs at Y21	36
3.1.4 Distributions of ²¹⁰ Pb and ¹³⁷ Cs at Y23	37
3.1.5 Distributions of ²¹⁰ Pb and ¹³⁷ Cs at Y31	37
3.1.6 Distributions of ²¹⁰ Pb and ¹³⁷ Cs at Y32	38
3.1.7 Distributions of ²¹⁰ Pb and ¹³⁷ Cs at Y41	40
3.2 ²¹⁰Pb chronology in the Taiwan Strait.....	40
3.2.1 Cores not suitable for ²¹⁰ Pb chronology.....	40
3.2.2 Cores suitable for ²¹⁰ Pb chronology.....	46
3.3 Variability in the sedimentation rate in the past century in the Taiwan Strait	54
3.3.1 Comparison of mass accumulation rate between stations.....	54
3.3.2 Decadal variations in the mass accumulation rate	56
3.3.3 Relationships between the sedimentation fluxes of excess ²¹⁰ Pb and the mass accumulation rates	58
3.4 Distributions of biogenic silica	59
3.4.1 Distributions of biogenic silica	59
3.4.2 Comparisons of biological silica between stations	60
3.5 Biogenic silica burial fluxes in the Taiwan Strait.....	61
3.6 Conclusions.....	63

Chapter 4 Sediment chronology in the shelf of Hainan Island	64
4.1 Distributions of ^{210}Pb and ^{137}Cs	64
4.1.1 Distributions of ^{210}Pb and ^{137}Cs at S0403	64
4.1.2 Distributions of ^{210}Pb at S0401, S0409, S0410 and S0411	64
4.2 ^{210}Pb chronology in the shelf of Hainan Island	67
4.2.1 ^{210}Pb chronology at S0403	67
4.2.2 ^{210}Pb chronology at S0401	71
4.2.3 ^{210}Pb chronology at S0409	72
4.2.4 ^{210}Pb chronology at S0410	73
4.2.5 ^{210}Pb chronology at S0411	75
4.3 Variability in the sedimentation rate in the past century in the shelf of Hainan Island	76
4.3.1 Comparison of mass accumulation rate between stations	76
4.3.2 Decadal variations in the mass accumulation rates	78
4.3.3 Relationships between the sedimentation fluxes of excess ^{210}Pb and the mass accumulation rates	79
4.4 Distributions of biogenic silica	79
4.4.1 Distributions of biogenic silica	79
4.4.2 Comparison of biological silica between stations	80
4.5 Biogenic silica burial fluxes in the shelf of Hainan Island	81
4.6 Conclusions	83
Summary	85
Reference	87
Appendix	109
Acknowledgements	110

摘要

全球变化及人类活动导致近百年来近岸环境发生了明显变化。为研究中国东南部近海沉积环境变化, 本论文以台湾海峡西部和海南岛东部陆架为研究海域, 选择岩芯中的 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 和生物硅(BSi)为主要研究对象, 开展了沉积物年代学及其年代际的变化研究。论文共研究了台湾海峡西部海域 7 个沉积物岩芯和海南岛东部陆架 5 个沉积物岩芯中 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 和 BSi 的含量及分布特征, 分析了 ^{210}Pb 年代学模式中的 CA、CF 以及 CFCS 模式对岩芯的适用情况, 初步探讨了导致沉积速率年代际的变化原因, 量化了近 150 年来两个海域生物硅的埋藏通量, 揭示了其年代际的变化特征。论文获得以下主要结果:

(1) 现有的 ^{210}Pb 测年模式中, 并不是所有的模式都适于沉积物测年, 也并不是所有的岩芯都能用 ^{210}Pb 测年模式进行测年。对于台湾海峡西部海域的 7 个沉积物岩芯来说, CA 模式不适用, CFCS 模式仅在 Y31 站浅层沉积物可用, CF 是台湾海峡较好的沉积物 ^{210}Pb 测年模式, 但也仅对其中 4 个岩芯适用。对于海南岛东部陆架的 5 个岩芯来说, CA 模式不适用, CFCS 模式仅适用于个别岩芯近 50 年来的年代确定, CF 模式是该海域比较理想的 ^{210}Pb 测年模式。

(2) 台湾海峡西部海域沉积速率年代际的变化及其生物硅的埋藏通量。台湾海峡西部海域 7 个岩芯中仅有 4 个岩芯(Y11、Y23、Y31、Y41)沉积速率可靠, 这 4 个岩芯的沉积物质量累积速率介于 $0.04\text{-}0.66\text{ g cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ 之间, 平均 $0.3\text{ g cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$, 大小顺序为 $\text{Y23} > \text{Y31} > \text{Y11} > \text{Y41}$ 。整体上, 近百年来台湾海峡西部海域沉积物质量累积速率呈现增加趋势: 1900s-1940s 期间, 沉积速率增加缓慢; 1940s-1970s 末期, 沉积速率增长加快; 1970s 末期-1990s 期间, 沉积速率较为恒定; 1990s-2010s 期间, 沉积速率增长更快。沉积物质量累积速率的增加可能主要缘自海岸侵蚀和台湾岛侵蚀加强。生物硅(Si%)的含量介于 $0.65\text{-}2.02\%$ 之间, 均值为 1.41% , 大小关系依次为 $\text{Y11} \approx \text{Y31} > \text{Y41} > \text{Y23}$ 。生物硅的埋藏通量介于 $15.0\text{-}275.1\text{ }\mu\text{mol cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ 之间, 均值为 $114.3\text{ }\mu\text{mol cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$, 生物硅埋藏通量主要受沉积物质量累积速率调控, 同时受生物硅含量的影响。

(3) 海南岛东部陆架海域沉积速率年代际的变化及其生物硅的埋藏通量。海南岛东部陆架 5 个岩芯 S0401、S0403、S0409、S0410、S0411 的沉积物质量累积速率分别介于 $0.1\text{-}0.4\text{ g cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ 、 $0.07\text{-}0.5\text{ g cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ 、 $0.04\text{-}0.2\text{ g cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ 、

0.04-0.1 g cm⁻² yr⁻¹、0.02-0.08 g cm⁻² yr⁻¹之间。总体上，沉积物质量累积速率大小顺序为：S0403>S0401>S0409>S0410>S0411。近百年来沉积物质量累积速率呈现增大趋势：1900s-1940s 期间，沉积速率较为恒定，1940s-2000s 期间，沉积速率有明显增长，2000s-2010s 期间，沉积速率呈现快速增长。沉积物质量累积速率的变化与海岸线的增加存在密切关系。生物硅含量介于 0.63-1.72%之间，平均为 1.21%，由大到小的大小顺序为：S0403≈S0411>S0401>S0409≈S0410。生物硅的埋藏通量介于 9.5-255.3 μmol cm⁻² yr⁻¹之间，平均值为 52.1 μmol cm⁻² yr⁻¹，大小顺序为 S0403>S0401>S0409>S0410≈S0411。近百年来生物硅埋藏通量也整体呈现增大的趋势。

关键词： ²¹⁰Pb 年代学；沉积速率；质量累积速率；生物硅；埋藏通量

Abstract

In the past two centuries, both global warming and anthropogenic activities led to great changes in the coastal environment. In order to examine the temporal evolution of sedimentation dynamics in the southeastern coasts of China, twelve sediment cores were collected from the western Taiwan Strait (seven sediment cores) and the southeastern shelf of Hainan Island (five sediment cores). Radioactive ^{210}Pb and ^{137}Cs , biogenic silica (BSi) are determined for constraining the chronologies and the variability in the sediment mass accumulation rate (MAR). Three ^{210}Pb -chronology models, including CA, CF and CFCS, are used to test their validity in the studied coastal seas. Based on the sediment chronologies, the decadal variability in the MAR is examined as well as the reasons behind the variability. Further, the burial flux of BSi in the two coastal seas are quantified in the last one hundred and fifty years. This preliminary study indicates a few insights into the environmental changes in the Taiwan Strait and the northern coasts of South China Sea. The results obtained from the study are as follows.

(1) Given a few sediment cores, all of the ^{210}Pb -chronology models are invalid for measuring their sedimentation rates. In total, the chronology and sedimentation rate at 4 stations (7 sediment cores) are determined using the CF model in the Taiwan Strait. The CF model is also applicable to the 5 sediment cores collected from the shelf of Hainan Island. However, the CFCS model is only valide for the shallow sediments cores at a few stations. The CA model is not applicable to either the Taiwan Strait or the shelf of Hainan Island. The CF model is the best among the three models.

(2) Decadal variability in the sedimentation rate and the burial flux of BSi in the Taiwan Strait. The sediment mass accumulation rates obtained from the four sediment cores in the Taiwan Strait vary from 0.04 to 0.66 $\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$, averaging 0.3 $\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$. Y23 shows the largest MAR, followed by Y31 and Y11. The lowest MAR occurred at Y41. Overall, the MAR shows an increasing pattern in the last hundred years: from 1900s to 1940s, the MAR is relatively low and increased slowly; from 1940s to the late 1970s, the MAR increased at a higher speed; from 1970s to 1990s, the MAR

showed little variation; from 1990s to 2010s, the MAR increased at the highest speed. The overall increasing of MAR is ascribed to the enhanced erosion of coasts and Taiwan Island. The BSi contents vary from 0.65% to 2.20% with an average of 1.41%. The maximum BSi contents occurred at Y11 and Y13, followed by Y41 and Y23. The burial fluxes of BSi ranges from 15.0 to 275.1 $\mu\text{mol cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$, averaging 114.3 $\mu\text{mol cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ at four stations. The burial flux is predominantly regulated by the MAR rather than the contents of BSi.

(3) Decadal variability in the sedimentation rate and the burial flux of BSi in the shelf of Hainan Island. For the five sediment cores of S0401, S0403, S0409, S0410 and S0411, the MAR vary from 0.1-0.4 $\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$, from 0.07-0.5 $\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$, from 0.04-0.2 $\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$, from 0.04-0.1 $\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ and from 0.02-0.08 $\text{g cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ respectively, following an order of S0403>S0401>S0409>S0410>S0411. The MAR shows an overall increasing pattern in the last century: from 1900s to 1940s, the MAR maintained almost constant, and showed an evident increase from 1940s to 2000s; from 2000s to 2010s, the MAR showed a rapid increase. This temporal pattern appears to have a close relation with the variability in coastal line. The BSi contents at the five stations vary from 0.63% to 1.72%, with an average of 1.21%, following an order of S0403≈S0411>S0401>S0409≈S0410. The burial fluxes of BSi vary from 9.5 to 255.3 $\mu\text{mol cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$, averaging 52.1 $\mu\text{mol cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$, and with the order of S0403>S0401>S0409>S0410≈S0411. The maximum and minimum values occurred at S0403 and S0411, respectively. The burial fluxes also show increasing patterns in the last century at all stations.

Key Words: ^{210}Pb chronology; Sedimentation rate; Mass accumulation rate; Biological silicon; Burial flux.

第1章 绪论

1.1 近代沉积物年代学的研究意义

近海近代沉积物主要来自河流、大气、外海输入以及海岸侵蚀物。它既是环境演变的产物,又是承载环境演变的载体(戴纪翠等,2006)。它记录着物质来源、海水环境变化历史以及海洋生态系统演化的信息等。因此,研究近代沉积物的沉积作用是研究近现代地质环境以及海洋生物地球化学过程变化的重要组成部分。通过分析沉积物中元素、同位素、有机物组分、矿物等含量、分布以及相互关系等,可以重建近现代海洋环境的演变史。

近年来,人们对近代沉积物开展了广泛的研究,如沉积物的来源(齐君等,2004;徐方建等,2011;Zhang等,2016)、沉积物的沉积模式(周莉等,1983;李玉瑛等,1997;Omengo等,2016)、沉积物的运移机制(董礼先等,1989;李凡等,1994;蒋东辉等,2002;Ruju等,2016)、沉积物的粒度变化(程芳晋等,2013;Jung等,2016)、沉积物中碳和氮的含量(郝玉等,2007;Yang等,2009)以及沉积物的沉积速率和沉积年代(Berner,1978;Loizeau等,1997;赵一阳等,1991;李凤业等,2002a,2002b;Adhikari等,2016)等领域。

在诸多的近代沉积物研究领域中,沉积物年代学和沉积速率是重建海洋环境变化的基石。沉积速率由悬浮颗粒物的物理化学特性、所受重力以及水动力条件等因素共同决定(杨洪等,2004),可用单位时间内沉积物堆积的厚度或单位时间内沉积物堆积的质量来表示(Goldberg,1963)。沉积速率综合体现了沉积过程的特征。通过长期的沉积速率能了解该海域形成和发育地质历史,通过短期的沉积速率能认识该海域近现代沉积动力学以及水体与沉积物物质交换过程(董永宏,2010)。因而,精确的年代学研究是认识全球环境变化、了解人类区域活动史以及建立有效监测方案的基础(Delaune等,1978;Nittreouer等,1979;Jeffrey等,1983;Kansanen等,1985;Jha等,2003),对于揭示区域和环境变化、了解流域侵蚀与海岸沉积之间的关系、建立地球化学循环模型以及科学规划海岸带和沿海生物圈的长远发展(Andersen等,2000;Suckow等,2001;Su等,2002;Liu等,2006)等具有十分重要的意义,越来越受到国内外海洋科学工作者的广泛重视。

1.2 近代沉积物沉积年代的测定

测定近现代沉积物沉积年代的方法有多种,包括 ^{14}C 测年法(Ralph等,1960; Prevosti等,2016)、历史海图对比法(李从先,1981)、过剩 ^{210}Pb 测年法(Carroll等,1995)和 ^{137}Cs 测年法(Arnaud等,2006)等。汪亚平等(2007)指出:用不同分析方法得到的沉积年代有差异,甚至是数量级上的差别。归其缘由,主要是因为不同方法适用于测定不同时间、空间尺度上的沉积年代,也就是说对于不同沉积物的沉积年代要因地制宜地选择不同的分析方法。对于河口、近岸陆架近现代沉积物的测年以及沉积速率研究,一般采用历史海图对比法进行估算,采用 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 法进行精确计算。

1.2.1 历史海图对比法

历史海图对比法是根据不同年代地形的演变计算沉积速率,主要原理是将不同历史时期的海底地形图进行数字化从而获得海底高程数据。使用历史海图对比法首先就是要将不同历史时期获得的数据进行插值运算,这样就可以获得网格高程数据;然后将海图对应位置的高程网格数据进行叠加,获得该海区在这段时间内的高程变化;最后根据这个高程变化算出在这段时期内沉积物的平均沉积速率(汪亚平等,2007)。边淑华(1999)用这种方法估算了1863-1992年期间胶州湾的平均沉积速率。

历史海图对比法原理简单、耗时短(李从先,1981),但实际操作起来难度很大,需要考虑的问题很多。这些问题不仅包括不同历史时期获取海图时采用的投影方式和比例尺的差异(郑全安等,1992),而且还包括不同时期测量仪器的精度差异。第一个问题可能还可以通过投影转换等方式来解决,但对于第二个问题则是难以避免的,这也就使得用历史海图对比法测算出的沉积速率与实际的沉积速率有一定出入,这也就导致了它不能被广泛使用。

1.2.2 ^{14}C 测年法

由于实验周期短、操作简单易行,用放射性核素来推算海洋沉积物的沉积速率和海洋环境中发生的历史事件越来越受到海洋科学工作者的欢迎(刘广山等,2001; Sanchez-Cabeza等,2012)。放射性核素测定沉积速率的基本原理是利用放射性核素衰变规律在半衰期相应时间尺度内测量沉积速率,进而确定沉积年代等信息(张敬等,2008)。

1.2.2.1 ^{14}C 测年法原理

^{14}C ($t_{1/2}=5700\text{ yr}$)是自然界中碳同位素的一种(其他还有 ^{12}C 和 ^{13}C)，也是宇生天然放射性核素中的一种。 ^{14}C 由宇宙射线中子撞击高空氮生成，然后被氧化成 $^{14}\text{CO}_2$ ，以 $^{14}\text{CO}_2$ 的形式在大气环境和生物环境中进行碳交换循环(中国第四纪研究委员会 ^{14}C 年代组，1983)。由于水圈和大气圈的交换过程， ^{14}C 广泛分布于海洋中。沉积物作为海洋的一部分，在其形成过程中也就必然包含当时产生的 ^{14}C (苗兰庆等，1991)。 ^{14}C 的交换过程很快，因而不同区域现代 ^{14}C 的比活度都比较接近。

海洋中的浮游生物经光合作用吸收溶解在海水中 $^{14}\text{CO}_2$ 将其转变成碳酸盐，当其死亡后它们的残骸会沉积到海洋底部进入沉积层(苗兰庆等，1991)。 ^{14}C 法测年测量的主要就是沉积物中的大量动植物残体、藻类以及孢粉等有机质(李育等，2012)。脱离了碳交换的 ^{14}C 不能再从大气中获得新的 ^{14}C 补充，它将随时间按指数衰变规律衰减，我们即可根据 ^{14}C 的衰变规律算出沉积年代(李容全等，1990)。用 ^{14}C 法可测量距今百年到四万年前物质的年龄，因而其在研究晚第四纪以来的地质、考古、海洋、古气候等领域受到了广泛使用。

1.2.2.2 ^{14}C 测年法优缺点

^{14}C 法测年是全新世及晚更新世最常用的一种方法，也是比较成熟的一种。但是，由于化石燃料的大量使用，许多不含 ^{14}C 的 CO_2 排放至大气中，大气中 CO_2 的总量增加、 ^{14}C 的放射性比活度降低，从而使得用 ^{14}C 法测量得到的年代偏老(Suess, 1955)。大规模的核试验也对大气中 ^{14}C 的比活度产生了影响，因而，测出的 ^{14}C 可能会偏离样品的原始年代(Stenhouse, 1979)。另外，近现代沉积物年龄处于 ^{14}C 测年法的下限，测量误差很大。尽管理论上 ^{14}C 法可以测定近现代沉积物的沉积年代，但实际上极少采用。

1.2.2.3 ^{14}C 测年法发展历程

^{14}C 法测年可分为4个阶段：(1)1945-1953年，固体碳测定方法建成，解决了绝对年代的测量问题(耿岩等，2010)。1949年 Libby 公布第一批 ^{14}C 年龄数据，宣告 ^{14}C 测年方法创建成功，轰动了整个考古学界和地质学界，从此 ^{14}C 测年方法被广泛使用。(2)1953-1965年，气体正比计数法取代固体碳计数法而得以发展(仇士华等，1990)。1955年，我国著名考古学家夏鼐教授建议在国内筹建 ^{14}C 实

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.