

第四纪环境演变

Reconstructing Quaternary Environments

(第二版)

[英] J.J.Lowe & M.J.C.Walker 编著

沈吉于 革 吴敬禄 羊向东 吴艳宏 刘兴起 薛 滨 译



科学出版社

www.sciencep.com

第四纪环境演变

(第二版)

Reconstructing Quaternary Environments

[英] J. J. Lowe & M. J. C. Walker 编著

沈 吉 于 革 吴敬禄 羊向东 译
吴艳宏 刘兴起 薛 滨

科 学 出 版 社

北 京

图字：01-2009-7758 号

内 容 简 介

第四纪环境变化与人类生存息息相关,研究第四纪环境和预测未来发展变化趋势具有重要的理论和实践价值。本书共7章,系统地介绍了第四纪科学基本理论、研究方法和技术、第四纪环境、气候、生物界以及人类进化和发展的历史和第四纪地质、地理、气候、海洋、水文、生态、环保、国土等领域的实践和应用。

本书所属第四纪环境领域是近年来全球变化研究的热点,人们通过对过去第四纪环境变化的研究,加深了对当前全球环境变化的认识和理解。通过第四纪环境演变研究,阐述了冰期-间冰期气候旋回特征和规律,揭示了现今环境变化的历史原因,总结和凝练了全球各个区域第四纪环境变化情况。此外,本书对全球变化的自然和人为驱动因素进行了深入探讨。

本书是同名英文著作的中文版,可作为地质、地理、海洋、气候专业本科生和研究生的选修教材,也可作为相关领域研究人员的参考书。

© Longman Group Limited. 1984,

This edition © Addison Wesley Longman Limited 1997

This translation of RECONSTRUCTING QUATERNARY ENVIRONMENTS,

Second Edition is published by arrangement with Pearson Education Limited.

图书在版编目(CIP)数据

第四纪环境演变:2版/(英)罗易(Lowe, J.), (英)沃克(Walker, M.) 编著;沈吉等译.—北京:科学出版社,2010

书名原文:Reconstructing Quaternary Environments

ISBN 978-7-03-027219-5

I. ①第… II. ①罗…②沃…③沈… III. ①第四纪-古环境-研究 IV. ①Q911.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第065694号

责任编辑:罗吉超冰/责任校对:钟洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年5月第一次印刷 印张:33

印数:1—2 000 字数:753 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者介绍

John Lowe, 地理学和第四纪学教授, 任英国伦敦大学第四纪研究中心所长。他兼任 *Quaternary Proceedings* 杂志编辑、英国第四纪研究会副会长, 以及多个有关地学和古气候学的自然环境研究会委员。他已经独立或合作编著了五部专著, 其中包括《放射性碳测年: 当代应用和未来潜力》(Wiley 出版社, 1991 年) 和《在末次冰期-间冰期转变时期的北大西洋及其邻近地区的气候变化》(Wiley 出版社, 1994 年)。

Mike Walker, 自然地理学教授, 任英国威尔士大学地理系主任。他兼任 *Journal of Quaternary Science* 杂志编辑、自然环境研究理事会下碳测年实验室指导委员会主席。他合作编著了《晚第四纪环境变化: 自然和人类前景》(Longman 出版社, 1992 年) 和《北大西洋末次晚冰期的记录》(Pergamon 出版社, 1993 年)。

John Lowe 和 Mike Walker 两位教授从事第四纪环境演变研究和教学 30 多年, 在国际第四纪领域具有崇高声望。两位教授是国际第四纪研究会 (INQUA) 古气候委员会国际合作研究计划“冰芯、海洋和大陆记录研究计划”(INTIMATE) 的协调者。他们长期合作研究并已经发表了 100 多篇第四纪科学领域的研究论文。

译者序

第四纪是地质历史中最接近当今的一个时期，跨越了约 200 万年并一直延续至今。第四纪环境演化曾对人类的起源和发展起决定性的作用，并将继续影响人类未来的生存和发展。为此，第四纪环境演化研究一直是地球科学领域内最为活跃的学科之一。

John Lowe 和 Mike Walker 两位教授从事第四纪环境演变研究和教学 30 多年，在国际第四纪领域具有崇高声望，他们合著的 *Reconstructing Quaternary Environments* 一书堪称第四纪环境研究领域的经典之作。该书 1988 年出版后，1997 年再版，再版 12 年以来，在全球第四纪教学和科研领域内广泛应用，声誉极高。

原著共分 7 章。第 1 章宏观介绍了第四纪的主要特征和时限，并对第四纪研究历史和进展进行了详细阐述。第 2 章论述了第四纪地貌演化特征，包括冰川覆盖范围的变化、海平面的变化、河流阶地的演变等，并介绍了如何获取这些变化的研究方法。第 3 章阐述了从不同研究材料中获取环境演化信息的方法，如冰川沉积物、冰缘沉积物、古土壤、湖泊沼泽沉积物、风成沉积物、洞穴碳酸盐沉积物、深海沉积物和冰芯等，对主要环境参数获取的野外及实验室方法进行了介绍。第 4 章专门介绍了生物学指标的形成过程、获取方法及对环境变迁的解译，包括孢粉分析、硅藻分析、植物大化石、昆虫化石、摇蚊科、非海洋软体动物、海洋软体动物、介形类、有孔虫、深海沉积微体古生物和脊椎动物残体等，阐述了多指标古生态学研究的理论和方法。第 5 章介绍了第四纪研究领域主要的测年方法，包括放射性测年技术中的¹⁴C 测年法、钾-氩和氩-氩测年法、铀系测年法、裂变径迹测年、释光测年和电子自旋共振（ESR）测年等；在增量测年法中介绍了树木年代学、纹泥年代学、地衣测量年代法和冰芯年层；在等值年龄地层标志法中介绍了磁性地层学、火山灰年代学和氧同位素年代学；在基于化学改造过程的相对年代学方面，介绍了氨基酸地质年代学。第 6 章基于地层学要素和年代，对第四纪大陆、海洋和冰芯记录进行综合对比。第 7 章以 130~10 ka BP 这个时间段为例，阐述了末次间冰期-冰期气候旋回的综合研究。

本次翻译该书主要基于以下考虑：首先，我国第四纪领域的传统教材一直使用杨怀仁教授主编的《第四纪地质》一书，该书 1987 出版后曾被评为教育部优秀教材，但至今一直没有再版。其次，刘东生先生根据澳大利亚莫西纳大学 Martin Williams 教授等撰写的英文原著 *Reconstructing Quaternary Environments* 的全文翻译，并增加“中国第四纪环境摘要”一章，在 1997 年编译出版了《第四纪环境》一书，该书将 20 世纪 90 年代国际上第四纪研究的大量成果引进，使我国第四纪研究工作者受益匪浅，但该书主要适用于有一定基础的第四纪研究领域的研究生。我国是世界上地貌类型非常齐全的国家之一，国土辽阔，拥有开展第四纪研究丰富的天然素材。近 20 年来我国第四纪研究发展迅速，特别是随着目前全球变化研究日益渗透到各个学科领域，国内一大批青

年科技工作者加入第四纪研究行列，迫切希望了解第四纪研究的基础知识、基本理论和方法，掌握国际第四纪研究的历史过程和动态。为此，我们组织翻译了该书。

本书由中国科学院南京地理与湖泊研究所从事第四纪研究的专家集体翻译完成。各章组织翻译的研究员如下：第1章沈吉；第2章于革；第3章吴敬禄；第4章羊向东；第5章吴艳宏；第6章刘兴起；第7章薛滨。全书由沈吉和于革负责统稿和校订。

本书通过科学出版社已向原著出版社（Prentice Hall）购买了中文版产权，并征得原著作者同意翻译，翻译过程中得到王苏民研究员的指导和部分研究生的帮助，译者在此深表感谢！

本书出版得到国家杰出青年基金（40625007）和中国科学院南京地理与湖泊研究所出版基金的资助，译者谨以此书献给中国科学院南京地理与湖泊研究所建所70周年。

由于翻译人员学术水平和能力有限，本书中文版中可能存在不足之处，敬请广大读者批评指正！

沈 吉

2009年8月24日于南京

原著第二版序

《第四纪环境演变》第二版的修定工作是非常巨大的。我们约于4年前开始此项工作，这本书也本应于1994年问世。而事实并非如此，部分是因为其他研究和学术工作对我们时间上的占用，而终稿的推迟付梓主要是由于自本书第一版于20世纪80年代早期完成后，涌现了卷帙浩繁的第四纪文献，而我们觉得有必要对之进行通览和消化。一开始我们以为对原版进行稍许修订即可，但是我们很快就意识到其大部分章节都需要做出大改。而且，为了扩展本书的内容，我们在原版的基础上增加了全新的第7章，为此所进行的材料搜集工作，使我们涉及了令人兴奋、但同时也未为我们所熟知的领域。本书的参考文献可能看上去有多余的部分，但是我们已经将其从之前的3倍量缩减到现在的长度，而精心挑选出足以涵盖各方面内容的文献本身也增加了我们的工作。我们随时准备接受本书的最终面貌不尽让第四纪学界方方面面都满意的事实，因为无疑有人会认为第四纪科学的某些重要方面未被充分论述，或者被完全忽略。尽管如此，我们已经尽可能找出那些我们认为对于古环境重建十分重要的方面及相关论据，并力求使本书示人时，能够内容丰富并启发第四纪科学的下一代学生。

没有众多朋友和同事的帮助，我们也许无法完成本书。我们深切地感谢 Colin Bal-lantyne、Keith Barber、Rick Battarbee、Svante Björck、Russell Coope、Ed Derbyshire、Phil Gibbard、Rob Kemp、Dick Kroon、Jon Pilcher、Richard Preece、Eddie Rhodes、Jim Rose 和 Ian Shennan，他们都对本书的部分章节或全书进行了审阅。他们所提供的反馈意见有相当的帮助，而本书稿在他们的批评和建议下也得到了很大的改进。本书中若尚存错误，那一定是我们的疏漏，与他们无关。我们感谢伦敦市政厅大学的 Don Shewan 以及他的同事，还有 Gareth Owen 和 Drew Ellis 给予的绘图方面的高效和熟练工作。我们也感谢 Addison Wesley Longman Ltd. 的 Sally Wilkinson 和 Tina Cadle，以及他们的团队对于我们的帮助和鼓励，我们也相信他们见本书再版定会感到欣喜和安慰。我们要再次对我们的妻子和家庭表示谢意，她们像先前一样，对本书第二版撰写工作影响了家庭生活表现出了巨大的宽容，我们也特别感激她们一直以来给予的支持和鼓励。

最后，我们想特别表示对一位同事的敬意。在第一版序言中，我们曾致谢于 Brian Sissons，他对我们早期的学术生涯产生过深远影响，至少在我们看来，他却过早地于1984年中断了学术生涯，我们很难再找到与之比拟可以担当相同角色的人。在那之后，我们得到了 Russell Coope 的思想启发、学术合作以及私人友谊，而今在许多方面，他已俨然成为我们的顾问，鉴于此，我们十分荣幸地把第二版《第四纪环境演变》献给他。

John Lowe
Mike Walker
1995年11月

原著第一版序

第四纪是距现在最近的一个地质时期，向下涵盖了地球历史中过去约 200 万年，向上则一直延续至今。尽管它只不过是地质历史中历时极为短暂的一个时期，但第四纪还是吸引了来自不同学科众多科学家的兴趣，并且迄今为止已有的和不断涌现的大量文献涉及的冰川地质、气候历史、海洋环流及沉积、动植物演化、人类进化等广泛研究领域都与第四纪有关。然而，令人诧异的是，尽管已有的材料已经十分丰富，但很少有文献专门关注第四纪地貌的情况，以及用何种方法才能够将不同种类证据加以整合并借此认识第四纪环境在时空上的变化。这正是本书的写作目的。本书对第四纪环境重建所能应用到的主要方法和技术进行了介绍和评价。开始涉及第四纪科学某些方面的本科生和一年级的研究生，可能并没有专门经受过古环境重建方面的专业训练，本书就是专为他们设计的。本书的内容十分广泛，涉及第四纪研究的方方面面。尽管本书由地理学家所著，但我们也希望考古学、人类学、植物学、地质学和动物学背景的学生同样能够受益于本书。

对于本书的撰写，许多人都作出了直接或间接的贡献。其中相当的功劳要归于我们在爱丁堡大学地理系的研究导师 J. B. Sissons 博士，不仅是因为他激发了我们在第四纪方面的兴趣，还因为他教会我们如何找出论据中的错误以及如何清晰地思考和有逻辑地论证。此外，他还创建了一所研究院，我们与其中的成员一直以来保持着学术上的联系，并受益匪浅。我们要特别感谢 R. Cornish 博士、R. A. Cullingford 博士、A. G. Dawson 博士、J. M. Gray 博士、D. E. Smith 博士和 D. G. Sutherland 博士在材料讨论以及多年来野外工作中给予的帮助。我们也要感谢那些审阅书稿并提出建议的人，如 R. A. Cullingford 博士（埃克塞特大学）、B. D'Olier 博士（伦敦市立理工大学）、P. Gibbard 博士（剑桥大学）、F. Oldfield 教授（利物浦大学）、J. D. Peacock 博士（地质科学研究所）、R. C. Preece 博士（剑桥大学）、J. E. Robinson 博士（伦敦大学）、J. Rose 先生（伦敦大学）、D. E. Sugden 博士（阿伯丁大学）和 D. G. Sutherland 博士（爱丁堡大学）都提供了宝贵的建议，本书的大部分章节在他们批评建议下得到很大改进。G. I. Meirion-Jones 教授使得我们可以使用伦敦市立理工大学地理系的地图设施，我们也感谢 Don Shewan、Susannah Hall、Connie Flewitt、Ed Oliver、Mavis Teed 和 Clare Terry 在高效绘制线图方面的帮助。

我们还要感谢以下慷慨地为本书提供图片的同事，他们是 N. F. Alley 博士（图 2. 15、图 2. 16、图 2. 21、图 2. 22、图 2. 23、图 3. 8、图 5. 14、图 5. 15 和图 5. 24）、J. Crowther 博士（图 3. 22）、J. M. Gray 博士 [图 2. 7 (a)]、S. Lowe 先生（图 3. 1）、J. A. Matthews 博士（图 2. 1 和图 5. 19）和 R. Tipping 先生（图 3. 15）。

总之，付出最多的是我们的妻子，她们不仅在打印、更正、编辑和校对等例行琐碎

工作中给予了很大帮助，而且在我们开始为这本书可能永远无法面世而感到绝望时给予了极大的鼓励，还有当打印文字的工作像巨山一样几乎要压倒我们的时候，她们总是能够设法让 Kathy 和 Stephen 不去打扰他们疲累的父亲们。她们也许比我们更乐于看到本书被稳妥地送到出版社，因此，这本书也是为了她们出版。

John Lowe

Mike Walker

1983 年 10 月

原著致谢

对下述再版材料的许可，我们表示衷心的感谢：

- 图 1.4 转自 *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology* 64, 223, 227, Williams et al., 版权© 1988, 得到 Elsevier Science Ltd 的免费许可, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington OX5 1GB, UK;
- 图 1.5 和图 6.15 经 the Royal Society of Edinburgh 和 N. J. Shackleton 许可转自 *Transactions of Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 81 (4) (1990), pp. 255, 265, 270;
- 图 1.8 经 Kluwer Academic Publishers 许可转自 *Milankovitch and Climate* (Imbrie et al., 1984);
- 图 2.1 转自 Quaternary Research Association, *The Quaternary of the Isle of Skye* (在 Ballantyne and Benn, 1991 之后), 版权© Quaternary Research Association, 经许可后转载;
- 图 2.3 和图 2.4 经 Scandinavian University Press 许可: P. W. Thorpe, A mountain icefield of Loch Lomond Stadial age, Western Grampians, Scotland, *Boreas*, 1986, 15, 88, 94, 95;
- 图 2.6 转自 Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, *Quaternary Science Reviews* (Bowen et al., 1986);
- 图 2.7 经 Scandinavian University Press 许可: Aber, The glaciation of north-eastern Kansas, *Boreas*, 1991, 20, 298;
- 图 2.7 (插图) 转自 University of Minnesota, *Late-Quaternary Environments of the United States*, Volume 1: The Late Pleistocene (Mickelsen et al., 1983);
- 图 2.8 经 Scandinavian University Press 许可: M. Eronen and H. Vesajoki, Deglaciation pattern indicated by the ice-marginal formations in Northern Karelia, eastern Finland, *Boreas*, 1988, 17, 319;
- 图 2.11 经 Scandinavian University Press 许可: J. A. Piotrowski, Genesis of the Woodstock drumlin field, southern Ontario, Canada, *Boreas*, 1987, 16, 250;
- 图 2.12 经 Scandinavian University Press 许可: J. M. Gray, Influence of Southern Upland ice on glacioisostatic rebound in Scotland: the Main Rock Platform in the Firth of Clyde, *Boreas*, 1995, 24, 32;
- 图 2.13 转自 Geological Society Publishing House 和 G. S. Boulton, *Journal of the Geological Society* 142, 447-474 (Boulton et al., 1985);
- 图 2.14 转自 Geological Society of America, *The Geology of North America*, Volume

- k3: North America and Adjacent Oceans during the last Deglaciation* (Andrews, 1987);
- 图 2.15 转自 Blackwell Publishers, *The Changing Global Environment*, N. Roberts (Sugden and Hulton, 1994) 编辑;
 - 图 2.17 经过 John Wiley & Sons Ltd 许可转自 *Journal of Quaternary Science* 4 p 99 (Ballantyne, 1989);
 - 图 2.19 转自 Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, *Quaternary Science Reviews* (Sutherland, 1984);
 - 图 2.21 经 Scandinavian University Press 许可: C. K. Ballantyne, The Holocene glacial history of Lyngshalvoya, northern Norway: chronology and climatic implications, *Boreas*, 1990, 19, 112;
 - 图 2.26 经 John Wiley & Sons Ltd 许可转自 *Earth Surface Processes and Landforms* 11 p 669 (Ballantyne and Kirkbride, 1986);
 - 图 2.29 转自 *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology* 44, 60, Harmon et al., 著作权© 1983, 经 Elsevier Science Ltd 的免费许可, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington OX5 1GB, UK;
 - 图 2.30 经 *Nature* (Bard et al., 1990) 许可, 版权© 1990 Macmillan Magazines Limited;
 - 图 2.31 经 John Wiley & Sons Ltd 许可转自 *Journal of Quaternary Science* 9 p 281 (Shennan et al., 1994);
 - 图 2.32 和图 2.34 转自 Chapman and Hall, *Sea Surface studies* (Devoy Ed., 1987);
 - 图 2.38 (a) 转自 Chronology, palaeogeography and palaeoclimatic significance of the late and post-glacial events in eastern Canada (Hillaire-Marcel and Occhietti, 1980) *Zeitschrift fur Geomorphologie* 24, 373-392;
 - 图 2.38 (b) 转自 John Wiley & Sons Ltd, (Morner, 1980) 'Eustasy and geoid changes as a function of core/mantle changes' in *Earth Rheology, Isostasy and Eustasy*, 由 N. A. Morner 编辑. pp. 535-553;
 - 图 2.38 (c) 转自 Quaternary Research Association, *Quaternary Proceedings* 3, 6 (Firth et al., 1993), 版权© Quaternary Research Association, 经许可后再版;
 - 图 2.40 转自 'Glacial rebound and sea level change in the British Isles', Lambeck, *Terra Nova* 3 (1991) 379-389;
 - 图 2.42 经 Kluwer Academic Publishers 许可, *Geologie e Mijnbouw* 72 (Ruegg, 1994);
 - 图 2.43 转自 Lang, G. and Schl chter, Ch. (eds), *Lake, Mire and River Environments during the last 15 000 Years*, Proceedings of the INQUA/IGCP 158 meeting on the palaeohydrological changes during the last 15 000 years, Bern, June 1985. 1988. 248 pp. A. A. Balkema, PO Box 1675, Rotterdam, Netherlands;
 - 图 2.47 转自 University of Minnesota, *Late-Quaternary Environments of the United*

- States, Volume 1: The Late Pleistocene* (Spaulding et al. , 1983);
- 图 2. 49 转自 Geographical Society of New South Wales, *Australian Geographer* 19, 96 (Wasson et al. , 1988);
 - 图 2. 50 和图 6. 11 引自 Edward Arnold (Publishers) Ltd, *Quaternary Environments* (Williams et al. , 1993);
 - 表 2. 1 转自 Cambridge University Press and P. L. Gibbard. *The Pleistocene History of the Middle Thames Valley* (Gibbard et al. , 1995);
 - 表 2. 2 转自 The Geologists' Association, *Proceedings of the Geologists' Association* (Bridgland , 1988);
 - 表 2. 3 转自 GebrÅder Borntraeger, *Zeitschrift fÅr Geomorphologie* 34 (Vilkel and Grunert, 1990);
 - 图 3. 45 转自 Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, *Quaternary Science Reviews* (Shackleton, 1987);
 - 图 5. 4 经 Scandinavian University Press 许可: B. Ammann and A. F. Lotter, Late-Glacial radio-carbon and palynostratigraphy on the Swiss Plateau, *Boreas*, 1989, 18, 119;
 - 图 5. 7 转自 The University of Arizona, *Radiocarbon* 35. 192-193 (Bard et al. , 1993);
 - 图 5. 8、表 5. 4 和表 5. 5 转自 Quaternary Research Association, *Quaternary dating Methods* (Smart, 1991), 版权© Quaternary Research Association, 经许可后再版; 图 5. 9 转自 American Association for the Advancement of Science, *Science* 248, 1531 (Phillips et al. , 1990); 版权© 1990 AAAS;
 - 图 5. 12 转自 Routledge (Baillie, 1992) *Tree-ring Dating and Archaeology* 117, 310-313;
 - 图 5. 13 经 Kluwer Academic Publishers 许可转自 *Climatic Changes on a Yearly to Millennial Basis* (Bartholin, 1984);
 - 图 5. 14 经 Scandinavian University Press 许可: F. H. Schweingruber et al, Radio-densitometric-dendroclimatological conifer chronologies from Lapland (Scandinavia) and the Alps (Switzerland), *Boreas*, 1988, 17, 563;
 - 图 5. 15 转自 Dr N. F. Alley;
 - 图 5. 16 和图 5. 22 转自 *Quaternary Research* 35, 3-5 (Stuiver et al. , 1991);
 - 图 5. 17 转自 The University of Arizona, *Radiocarbon* 35, 49, 55, 130 (Kromer and Becker, 1993; Stuiver and Becker, 1993);
 - 图 5. 19 转自 *Geographia Polonica* 55 (Björck et al. , 1988);
 - 图 5. 20 转自 Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, *Quaternary Science Reviews* (Lundqvist, 1986);
 - 图 5. 21 转自 Dr R. Thomas, University of Edinburgh;
 - 图 5. 23 经 Scandinavian University Press 许可: Erikstad and S ilid, Neoglaciation in

- South Norway using lichenometric methods, *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 40 (1986);
图 5.24 转自 Routledge, *Quaternary Environments* (Andrews, 1985);
- 图 5.25 转自 *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, Berglund (Thompson, 1986) 编辑, 经 John Wiley & Sons Ltd 许可;
 - 图 5.27 转自 *Quaternary Research* 36, 32-33 (An et al., 1991);
 - 图 5.30 转自 *Quaternary Research* 21, 305 (Beget, 1984);
 - 图 5.31 转自 Geological Society of America, *Geological Society of America Bulletin* 96 (Bogaard and Schminke, 1985);
 - 图 5.32 和表 5.7 转自 *Quaternary Research* 27, 19-22 (Martinson et al., 1987);
 - 图 5.34 经 *Nature* (Davies, 1983) 许可, 版权© 1983 Macmillan Magazines Limited;
图 5.35 经 *Nature* (Bowen et al., 1989) 许可, 版权© 1989 Macmillan Magazines Limited;
 - 图 5.36 转自 The Royal Society, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, B318, 624 (Bowen and Sykes, 1988);
 - 图 5.38 转自 Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, *Quaternary Science Reviews* (Gellatly et al., 1988);
 - 图 5.39 转自 *Quaternary Research* 25, 34 (Colman and Pierce, 1986);
 - 表 5.3 经 John Wiley & Sons Ltd 许可转自 *Journal of Quaternary Science* 5 p 139 (Walker and Harkness, 1990);
 - 表 5.8 转自 Ehlers, JÅrgen, Philip L. Gibbard and Jim Rose (eds), *Glacial Deposits in Great Britain and Ireland*, 1991, 589pp., A. A. Balkema, PO Box 1675, Rotterdam, Netherlands;
 - 图 6.9 转自 The Royal Society, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, B318, 196-205 (De Jong, 1988);
 - 图 6.10 转自 Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, *Quaternary Science Reviews* (Pillans, 1991);
 - 图 6.13 经 *Nature* (Guiot et al., 1989) 许可, 版权© 1989 Macmillan Magazines Limited;
 - 图 6.14 转自 *Quaternary Research* 30, 173 (Lao and Benson, 1988);
 - 图 6.16 转自 The Royal Society, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, B301, 155 (Gascoyne et al., 1983);
 - 图 7.2 和图 7.10 转自 Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, *Quaternary Science Reviews* (Behre, 1989);
 - 图 7.3 (b) 转自 American Association for the Advancement of Science, *Science* 219, 169 (Adam 和 West, 1983), 版权© 1983 AAAS;
 - 图 7.4 和图 7.26 转自 *Quaternary international* 10-12, 164, Sejrup and Larsen, 版权© 1991, 得到 Elsevier Science Ltd 的免费许可, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington OX5 1GB, UK;

- 图 7.5 经 *Nature* (GRIP Members, 1993) 许可, 版权© 1993 Macmillan Magazines Limited;
- 图 7.5 经 *Nature* (Thouveny et al., 1994) 许可, 版权© 1994 Macmillan Magazines Limited;
- 图 7.7 经 *Nature* (Dansgaard et al., 1993) 许可, 版权© 1993 Macmillan Magazines Limited;
- 图 7.8 转自 Geological Society of America, *The Geology of North America, Volume k3: North America and Adjacent Oceans during the last Deglaciation* (Ruddiman, 1987);
- 图 7.9 经 *Nature* (Bond et al., 1993) 许可, 版权© 1993 Macmillan Magazines Limited;
- 图 7.11 转自 American Association for the Advancement of Science, *Science* 261, 199 (Grimm et al., 1993), 版权© 1993 AAAS;
- 图 7.12 转自 Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, *Quaternary Science Reviews* (Clark, 1993);
- 图 7.13 经 *Nature* (Bond et al., 1992) 许可, 版权© 1992 Macmillan Magazines Limited;
- 图 7.15 和图 7.17 经过 John Wiley & Sons Ltd 许可转自 *Journal of Quaternary Science* 9 p 191-195 (Lowe et al., 1994);
- 图 7.18 转自 Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, *Quaternary Science Reviews* (Levesque et al., 1993);
- 图 7.20 转自 Koá Karpuz and Jansen, *Paleoceanography* 11, 510, 1192, American Geophysical Union 授权;
- 图 7.21 经 *Nature* (Kapsner et al., 1995) 许可, 版权© 1995 Macmillan Magazines Limited;
- 图 7.22 经 John Wiley & Sons Ltd 许可转自 *Journal of Quaternary Science* 10 p 179 (Lowe et al., 1995);
- 图 7.23 转自 *Quaternary International*, Walker, 版权© 1996, 得到 Elsevier Science Ltd 的免费许可, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington OX5 1GB, UK;
- 图 7.24 经 *Nature* 317, 130-134 许可, 版权© 1985 Macmillan Magazines Limited;
- 图 7.25 引自 American Association for the Advancement of Science, *Science* 241, 1043-1052, 版权© 1988 AAAS;
- 图 7.27 转自 Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, *Quaternary Science Reviews* (Broecker and Denton, 1990);
- 图 7.28 转自 American Association for the Advancement of Science, *Science* 259, 928 (Raynaud et al., 1993), 版权© 1993 AAAS;
- 图 7.29 转自 American Association for the Advancement of Science, *Science* 207, 18 (Stuiver and Quay, 1980), 版权© 1980 AAAS;

- 图 7.30 转自 Springer-Verlag GmbH & Co. KG, *Start of a Glacier*, Kukla and West 编辑, NATO ASI Series (Kukla and Gavin, 1992), Springer-Verlag GmbH & Co. KG 1992 授予版权。

尽管我们尽了所有努力列出引用图、表的出处，但还是不可能列出所有图、表的版权所有者。在此向我们无意间侵害的版权所有者表示歉意。

目 录

译者序

原著第二版序

原著第一版序

原著致谢

第 1 章 第四纪记录	1
1.1 引言	1
1.2 第四纪的特征	2
1.3 第四纪的下限	3
1.4 第四纪研究进展	4
1.5 第四纪的组成框架	9
1.6 气候变化的原因.....	14
1.7 本书的主要内容.....	18
第 2 章 地貌证据	19
2.1 引言.....	19
2.2 方法.....	19
2.3 冰川地貌.....	25
2.4 冰缘地貌.....	53
2.5 海平面变化.....	57
2.6 河流阶地.....	73
2.7 低纬度第四纪地貌.....	82
2.8 结论.....	90
第 3 章 岩性证据	91
3.1 引言.....	91
3.2 野外和实验室方法.....	91
3.3 冰川沉积物.....	96
3.4 冰缘沉积物	111
3.5 古土壤	119
3.6 低纬度地区湖泊水位记录	124
3.7 风成沉积物	131
3.8 洞穴沉积和碳酸盐沉积	138
3.9 湖泊、沼泽沉积物	148
3.10 深海沉积物氧同位素地层学.....	160

3.11 冰芯地层学·····	168
3.12 结论·····	174
第4章 生物学指标·····	175
4.1 引言·····	175
4.2 孢粉分析·····	176
4.3 硅藻分析·····	190
4.4 植物大化石·····	197
4.5 昆虫化石·····	206
4.6 摇蚊科·····	216
4.7 非海洋软体动物·····	218
4.8 海洋软体动物·····	225
4.9 介形类分析·····	229
4.10 有孔虫分析·····	232
4.11 深海沉积微体古生物·····	236
4.12 脊椎动物残体·····	244
4.13 其他化石类群·····	250
4.14 多指标古生态学研究·····	251
4.15 第四纪古生物学和生态学理论·····	252
4.16 结论·····	255
第5章 测年方法·····	257
5.1 简介·····	257
5.2 第四纪定年的精确度与准确性·····	257
5.3 放射性测年技术·····	258
5.4 增量测年法·····	283
5.5 等值年龄地层标志·····	302
5.6 基于化学改造过程的相对年代学·····	314
5.7 结论·····	326
第6章 第四纪地层学探讨及对比·····	328
6.1 引言·····	328
6.2 地层单元划分·····	328
6.3 时代地层对比·····	341
6.4 结论·····	355
第7章 末次间冰期-冰期气候旋回: 130~10ka BP·····	356
7.1 引言·····	356
7.2 过去 130ka BP 以来的地层框架·····	357
7.3 末次间冰期(氧同位素阶段 5e)·····	358
7.4 过渡到末次冷期的时期(氧同位素阶段 5d~5a)·····	363
7.5 末次寒冷期(氧同位素阶段 4~2)·····	368