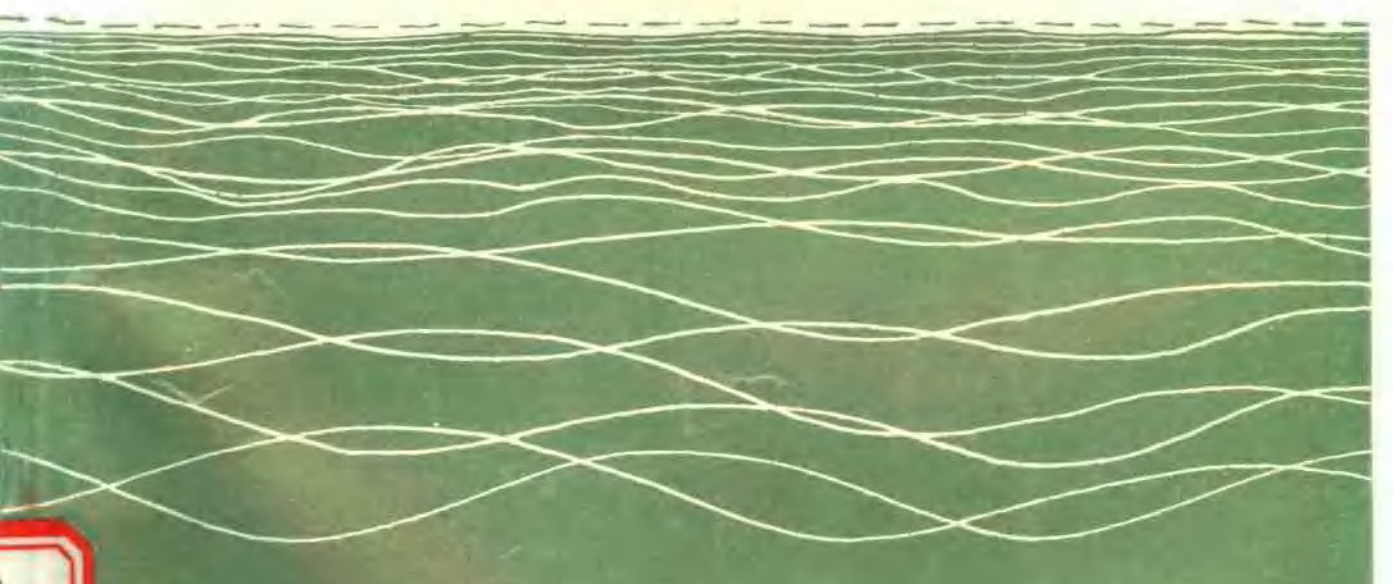


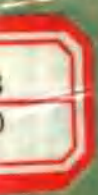


古水文学的气候推绎法

王红亚 著



地质出版社



P33/10

古水文学的气候推绎法

王红亚 著

地质出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 085 号

图书在版编目 (CIP) 数据

古水文学的气候推绎法/王红亚著.-北京:地质出版社,1995.12

ISBN 7-116-01983-9

I. 古… II. 王… III. 古水文学:气候应用学 N.P33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 17439 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:刘晓华 赵俊磊

*

北京地质印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:6.875 字数:155000

1995 年 12 月北京第一版·1995 年 12 月北京第一次印刷

印数:1—200 册 定价:8.00 元

ISBN 7-116-01983-9

P·1504

序 言

古水文学是近二十年来尤其是 80 年代以来迅速发展的一门边缘学科。随着全球变化研究的深入开展,古水文研究日益受到重视。1991 年 8 月,在国际第四纪研究联合会 (INQUA) 第十三届大会上,国际第四纪研究联合会的全球陆地古水文学委员会 (Commission on Global Continental Palaeohydrology, 即 GLOCOPH) 得以成立,正是这种趋势的体现。我感到欣慰的是,在我担任 INQUA 主席期间,该委员会的活动,十分活跃,促进了各国古水文研究及研究者们的合作和交流。

1995 年在柏林召开第十四届 INQUA 大会上, GLOCOPH 的工作受到了好评,并出版了专集。虽然自 80 年代以来,国外有几本有关古水文研究的论文集先后出版。然而,全面、系统地阐述古水文学研究方法的专著还未见过,本书却是第一部。

在地质历史时期,气候变化深刻地影响了包括水文状况在内的其它自然环境要素,因而可从古气候重建入手,重建相应的古水文状况。本书所论及的古水文学的气候推绎法正是基于这一事实。正如作者指出的那样,古水文学的气候推绎法为推估地质历史时期的水文系统对气候变化的响应提供了一种便捷的途径;同时,鉴于水循环对自然环境的影响的重要性,这一研究方法的应用无疑有助于深化对地质历史时期的整个自然环境的认识。

本书以丰富的资料,全面系统地阐述了古水文学的气候推绎法的产生、发展和应用,故不失为一本有关古水文学的好书。

我非常高兴地看到,在论及这一研究方法的应用时尤为其在华北平原的应用时,作者特别注意将之与其它方法结合起来,将以这一研究方法获得的结果与以其它方法获得的结果进行对比,因而取得了更有说服力的结论。事实上,不同的方法兼行并用、相互补充、相互检验以求得对地质历史时期的状况的更可靠的重建,是当前对过去全球变化的研究的突出趋势之一。在这一点上,作者作了非常有益的探索并取得了很好的成绩。

《古水文学的气候推绎法》的出版,既是作者在科研工作上辛勤劳动的结晶,也是作者对事业的执著追求的体现。我愿意借此机会向作者表示祝贺,同时也希望本书的出版有助于引起我国研究者及有关人士对古水文学及其气候推绎法的更多注意,进而促进我国的古水文研究的进一步发展。

中国科学院地质研究所

刘东生
1995/9/19

前言

古水文学作为地球科学的“历史性”分支学科之一，涉及的问题几乎无一不与时间和空间这两大要素有关。古水文学的气候推绎法以不同的时、空尺度探究地质历史时期中的不同时、空范围内的水的运动和变化，尤其在岩石圈的表层和大气圈的底层中的运动和变化。

1810年1月2日，英国著名的散文家 Charles Lamb 在致 T. Manning 的一封信中风趣地写道：“没有什么能比时间和空间更使我烦恼了；但当我对它们不予深思的时候，也就没有什么能比它们更使我逍遥了”。然而，对于古水文研究者们来说，时间和空间却是不可予以回避的，他们的乐趣和烦恼、成功和挫折似乎都与之密切地联系在一起了。

《古水文学的气候推绎法》试图将这一与时、空要素密切相关的学科的一种研究方法作一介绍。

在本书即将出版之际，我首先要向给予我巨大支持和鼓励的良师益友们衷心的感谢。特别在近二三年中，崔海亭教授等北京大学的前辈、同事和朋友们的帮助使我受益非浅。

国家教委的“资助优秀年轻教师基金”项目“现代气候-地表径流关系式在华北平原古水文研究中的应用”（教人司[1993]463号）和国家自然科学基金委员会的资助项目“气候变化对黄淮海平原农业地表水资源的影响”（基金委批准号39370409）支持了我这几年的研究工作，在此亦谨致谢忱。

本书的一些内容是我1984年9月—1988年7月于英国 Southampton 大学在英国皇家学会会员 K. J. Gregory 教授和 M. J. Clark 博士的指导下攻读博士学位时以及1988年12月—1990年12月于北京农业大学在中国科学院院士和工程院院士石元春教授的指导下从事博士后研究工作时取得的结果。

刘东生教授为本书写了序言；国际第四纪研究联合会的全球陆地古水文学委员会副主席之一、美国 Arizona 大学的 V. R. Baker 教授和英国 Exeter 大学的张渝博士为我获得急需的资料给予了帮助；在与德国 Christian-Albrechts 大学的 W. W. Hay 博士和美国 Pennsylvania 州立大学的 E. J. Barron 博士的书信来往中就共同感兴趣的问题进行了有益的讨论。

我的挚友之一、北京农业大学的谢经荣副教授就本书的出版提了很多宝贵的建议；本书的责任编辑——地质出版社的赵俊磊副编审的细致、周全和高效率的工作使得本书能在较短的时间内出版。

在过去的几年中，李荔对我的研究工作予以了很大的理解和支持；在本书最后脱稿的今天，我谨向此刻远在北京的她深深地致意；而《古水文学的气候推绎法》在今天——9月19日得以完成，这一事实本身鼓有着特殊的象征性意义。

王红亚

1995.9.19 于北京大学

目 录

第一章 绪论	(1)
一、古水文学的定义和研究对象	(1)
二、古水文学的产生和发展	(2)
(一) 古水文学的产生和发展的阶段	(2)
(二) 古水文学的现状和未来	(5)
三、古水文学的研究方法	(8)
(一) 古水文学的沉积-地貌推绎法	(8)
(二) 古水文学的考古推绎法	(23)
(三) 古水文学的气候推绎法	(23)
第二章 古水文学的气候推绎法概述	(25)
一、古水文学的气候推绎法的划分和原理浅说	(25)
(一) 类似物法	(25)
(二) 气候模型法	(25)
(三) 原理浅说	(25)
二、Langbein-Schumm 模型——类似物法的初形	(26)
(一) Langbein-Schumm 模型的建立	(26)
(二) 对 Langbein-Schumm 模型的评价	(30)
三、气候模型法简介	(31)
(一) 用于古水文研究的气候模型	(31)
(二) 对气候模型法的评价	(35)
第三章 类似物法的改进和发展	(39)
一、早期对类似物法的改进	(39)
(一) Osterkamp 径流模数-降水关系曲线	(39)
(二) Fournier 降水-泥沙产量关系曲线	(40)
(三) Wilson 降水-泥沙产量关系曲线	(41)
(四) Osterkamp 降水-泥沙产量关系曲线	(42)
(五) Walling-Webb 降水-泥沙产量关系曲线	(42)
二、新的改进尝试	(43)
(一) 所用资料数据	(44)
(二) 新的年平均降水-年平均径流深关系曲线	(45)
(三) 不同的年平均降水-年平均径流深关系曲线的对比	(47)
(四) 有关气候状况与年平均径流深之间的关系的几点结论	(51)
(五) 年平均降水-年平均径流深回归方程、年平均降水和年平均气温-年平均径流深回归方程及年平均降水和积雪液态水当量-年平均径流深回归方程	(52)
(六) 有关年平均降水-年平均径流深回归方程、年平均降水和年平均气温-年平均径流深回归方程及年平均降水和积雪液态水当量-年平均径流深回归方程的应用的初步设想	(59)
第四章 古水文学的气候推绎法的应用	(61)
一、类似物法的初形——Langbein-Schumm 模型的早期应用	(61)
(一) 美国大陆非冰川覆盖地区的古水文状况的重建	(61)

(二) 澳大利亚新南威尔士州 Riverine 平原的古水文状况的重建	(62)
(三) 美国威斯康星州无积区的古水文状况的重建	(64)
二、类似物法的进一步应用	(64)
(一) 长江下游流域的古径流深状况的重建	(64)
(二) 华北平原的古径流深状况的重建	(68)
三、气候模型法的应用	(78)
第五章 结束语	(82)
一、再论古水文学的气候推绎法的作用和意义	(82)
(一) 重建地质历史时期的水循环状况及深化对地质历史时期自然环境演变的认识	(82)
(二) 为预测未来气候状况下的水资源状况提供启迪	(90)
二、刍议古水文学的气候推绎法的应用的若干问题	(93)
(一) 研究结果的评估的可能性	(93)
(二) 古气候状况的重建的可能性	(94)
参考文献	(97)

A Climatological Approach to Palaeohydrology

Chapter 1 Introduction	(1)
1. The definition of palaeohydrology and its study's objects	(1)
2. The origin of palaeohydrology and its developments	(2)
2.1 Stages of palaeohydrology's origin and developments	(2)
2.2 Current situations of palaeohydrology and its future	(5)
3. Approaches to palaeohydrology	(8)
3.1 Sedimentological and geomorphological approach to palaeohydrology	(8)
3.2 Archaeological approach to palaeohydrology	(23)
3.3 Climatological approach to palaeohydrology	(23)
Chapter 2 Outlines of Climatological Approach to Palaeohydrology	(25)
1. Further divisions of the climatological approach to palaeohydrology and a brief elucidation on their principles	(25)
1.1 Analogue method	(25)
1.2 Climate-model method	(25)
1.3 A brief elucidation on their principles	(25)
2. The Langbein-Schumm model—an original form of the analogue method	(26)
2.1 The development of the Langbein-Schumm model	(26)
2.2 The assessment of the langbein-Schumm model	(30)
3. A brief introduction to the climate-model method	(31)
3.1 The climate models applicable to palaeoclimatic-palaeohydrological studies	(31)
3.2 The assessment of the climate-model method	(35)
Chapter 3 Improvements and Developments of the Analogue Method	(39)
1. Earlier improvements of the analogue method	(39)
1.1 Osterkamp's curve relating precipitation to runoff modulus	(39)
1.2 Fournier's curve relating sediment yield to precipitation	(40)
1.3 Wilson's curve relating sediment yield to precipitation	(41)
1.4 Osterkamp's curve relating sediment yield to precipitation	(42)
1.5 Walling and Webb's curve relating sediment yield to precipitation	(42)
2. Further attempts	(43)
2.1 Data utilized	(44)
2.2 New curves relating mean annual runoff to mean annual precipitation	(45)
2.3 Comparisons of different curves relating mean annual runoff to mean annual precipitation	(47)
2.4 A few points on the relations between climatic regimes and mean annual runoff	(51)
2.5 Mean annual precipitation-mean annual runoff regression equations, mean annual precipitation and mean annual temperature-mean annual runoff regression equations, and	

mean annual precipitation and water equivalent of snow cover-mean annual runoff regression equations	(52)
2. 6 Tentative ideas on utilizations of the mean annual precipitation-mean annual runoff regression equations, mean annual precipitation and mean annual temperature-mean annual runoff regression equations, and mean annual precipitation and water equivalent of snow cover-mean annual runoff regression equations	(59)
Chapter 4 Applications of the Climatological Approach to Palaeohydrology	(61)
1. Earlier applications of the Langbein-Schumm model—the original form of the analogue method	(61)
2. Further applications of the analogue method	(64)
2. 1 Palaeorunoff reconstructions for the downstream catchment of Yangtse River	(64)
2. 2 Palaeorunoff reconstructions for the North China Plain	(68)
3. Applications of the climate-model method	(78)
Chapter 5 Conclusions	(82)
1. Re-elucidations of the roles and significances of the climatological approach to palaeohydrology	(82)
1. 1 Reconstructing the hydrological cycle occurring during geological past and enhancing the knowledge on the environmental changes occurring during geological past	(82)
1. 2 Giving clues to the water resources'predictions in terms of the future climates	(90)
2. Preliminary discussions on a few of the problems concerning the applications of the climatological approach to palaeohydrology	(93)
2. 1 The possibility of assessing the research results	(93)
2. 2 The possibility of reconstructing palaeoclimates	(94)
References	(97)

第一章 绪 论

地球迄今已有约 460 Ma 的历史了,而水循环则很可能开始于地球形成约 60 Ma 之后,即约 400 Ma B.P.,因而自那时起,开始发生了各种水文过程。

人类在长期的生产和生活活动中逐渐认识到,不仅需要了解现代正在发生的各种水文过程,而且还应当了解过去曾经发生、但现代已经消失了的水文过程,于是便开始了对过去的水文过程的探究,因此,地球科学的一门分支学科——古水文学(Palaeohydrology)便得以产生和发展。

水循环在大约 400 Ma B.P. 的出现意味着至少在这同一时间水圈便已经存在了。有关水圈起源的假说之一是,它是原始大气圈变化的产物。原始大气圈主要是由水蒸汽、二氧化碳及少量的氯化氢、氨和甲烷等形成的。其中的水蒸汽冷凝形成降水、落至地表,再经运动、聚集并渗入地下,进而形成了水圈。事实上,水圈的形成过程也就是最初的水循环过程的一部分。水圈形成之后,周而复始的水循环将其与大气圈紧密地联系在一起,使得水文状况与气候状况密切相关。因此,可通过对过去的气候状况的了解,了解过去的水文状况,由此便出现了古水文学的气候推绎法(Climatological approach to palaeohydrology)。

在详尽地讨论本书的主题——古水文学的气候推绎法之前,似乎很有必要将这一研究方法所依附和从属的学科——古水文学,它的概况作一简明介绍。这样可以更广泛地了解这一方法所处的学术背景和环境,进而有助于更深刻地认识这一方法本身。

一、古水文学的定义和研究对象

众所周知,水文学是研究自然界各种水体,如河流、湖泊、冰川、沼泽、海洋、地下水及大气中的水汽的运动、变化和分布规律的学科。

按水文学涉及的研究对象,即不同地球圈层中的水体或同一地球圈层的不同层次中的水体,又可将水文学进一步划分为水文气象学、地表水文学和地下水文学。

按地表水文学涉及的研究对象,即地球表面两大基本单元中的水体,又可将地表水文学进一步划分为陆地水文学和海洋水文学。

按陆地水文学的研究对象,即陆地表面各类水体,又可将陆地水文学划分为河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学和河口水文学。

那么,古水文学的定义和研究对象又是什么呢?

与水文学相仿,古水文学似乎应该是研究自然界过去的各种水体的运动、变化和分布规律的学科。

Schumm 将古水文学定义为研究降雨首次出现至历史水文记录开始这一期间的地球上的水及其组成、依托过去的景观分布和运动的学科。同时, Schumm 还特别指出,若不论及泥沙的搬运诸问题,便很难考虑水以过去的景观为依托的运动,故定义中包括“组成”一

词表明通过古河道的泥沙的数量和类型是古水文学研究对象之一。

其他研究者对古水文学所作的定义大都与此相似（表 1—1）。

表 1—1 古水文学的定义

研究者	定 义	时 间
L. B. Leopold 和 J. P. Miller	主要研究在与现代气候状况不同的气候状况下的气候、植被、河流及径流的相互作用，即主要研究过去的水文要素而不仅仅是气候要素的学科	1954
K. J. Gregory 和 D. E. Walling	研究过去的水和泥沙的动态的学科	1973
G. H. Cheerham	研究过去的河流过程及其水文意义的学科	1976
V. R. Baker	研究陆地水体的极端复杂的过去的出现、分布和运动的学科	1991

从各研究者对古水文学下的定义及这一学科目前的实际状况来看，古水文学是主要研究过去的各种地表水体的学科。

然而，对过去的水分在大气中的运动和变化的研究近年来也有很大的发展，正在迅速成为古水文学的一个分支或专门领域，但其中相当一部分研究工作仍被视为属于古气候学的范畴。

对古地下水的研究则仍然较为薄弱。

在对过去的各种地表水体的研究中，相当一部分研究者习惯上仍将古海洋的研究归为古海洋学的范畴。因此，事实上古水文学研究的地表水体主要是陆地表面水体。

而在对过去的各类陆地表面水体的研究中，又以对古河流和古湖泊的研究最为深入和广泛。

此外，古水文学还特别注重对各类陆地表面水体沉积物和堆积物尤为河流泥沙即冲积物的研究。

二、古水文学的产生和发展

与地球科学的大多数分支学科相比，古水文学作为一门较为独立的学科存在的时间并不太长。自 1954 年 Leopold 和 Miller 在研究美国怀俄明州的冲积河谷的年代时首先提及了“古水文学”一词以来，古水文学才逐步发展成为一门相对独立的学科。

（一）古水文学的产生和发展的阶段

Schumm 及其他研究者对古水文学所作的定义表明，古水文学与水文学、地貌学、沉积学、气候学及历史地质学有着异常密切的联系，实际情况也确实如此。古水文学的产生和发展与这些学科有着极深的历史渊源。

古水文学的产生和发展，大致可划分为三个阶段。

1. 第一阶段 (60 年代中期之前)

一些研究者已经开始逐渐地意识到重建地质历史时期的水文状况的理论和实际意义,提出了一些很有见地的观点,甚至做了初步的研究工作。

早在 1948 年, Kimball 就试图利用 Manning 方程等一系列流量方程阐明流量变化如何导致河道形态变化,进而探讨了将此类方法用于过去的河流过程的研究的可能性。然而,他所倡导的此类方法在此后相当长的一段时间内并没有被广泛采用。在此期间,西方地学界人士,尤为英国地学界人士多埋头于各地区侵蚀年代的研究,无力顾及水文状况的重建。

1954 年, Leopold 和 Miller 对美国怀俄明州的冲积峡谷进行了研究。他们在推导这些峡谷及其中的冲积物的年代时发现,很多问题涉及到在几种与现代气候状况相异的气候状况下的气候、植被、河流及径流的相互作用,因此,他们便用了“古水文”一词描述这种相互作用并提出了古水文学的定义,这很可能是“古水文”一词的首次出现。Leopold 和 Miller 以多种证据对比了 Powder 河及其 Clear 支流的现代和过去的床底比降,认为气候向冷、湿变化将使得来自平原和山区的径流有不同程度的增加,而这种状况导致了加积作用,就如同已被证实的、发生在 Kaycee 期的那种作用。他们还通过推测河流阶地底部的冲积物的堆积速率推测当时的水文状况。他们估算了冲积体的体积并由此估算了泥沙搬运量;将估算值与现代河流的泥沙搬运量作了对比,进而得出结论,在这一与现代气候状况不同的气候状况下冲积作用发生的时期,泥沙产生速率与现代河流的泥沙产生速率在同一量级上。Leopold 和 Miller 的这一工作标志着古水文学的诞生。

1958 年, Langbein 和 Schumm 提出了推估当气候状况发生变化时的河流泥沙产量的变化的问题,但它们并没有明确指出地质历史时期的水文状况的重建问题,更没有提及“古水文”一词。

总的来说,虽然在这一阶段,一些地学界人士已经开始注意到地质历史时期的水文状况重建的问题并且提出了古水文学的初步定义,但这方面的研究仍然是零星的和分散的,而且这些工作多是附着于河流地貌学、气候学和古气候学、水文学、沉积学及第四纪地质学等学科的研究工作进行的,其成果多是这些相关学科的研究工作的“副产品”;研究多仅限于对一些古流水遗迹特征的描述,而未发展为由之重建古水文状况;古水文学既没有形成自己的较为成熟、完整的理论体系,也没有受到地学界人士甚至是地球科学的“历史性”分支学科人士的普遍重视。

2. 第二阶段 (60 年代中期至 70 年代中期)

自 60 年代中期以来,环境变迁研究日益受到重视,古气候学、沉积学、第四纪地质学及考古地质学等学科的研究工作相继取得了很大的进展。与此同时,地貌过程尤为河流地貌过程研究也得以广泛开展且收获颇丰。

这些使得古水文研究的兴起成为需要和可能。正是在这种情况下,古水文学应运而生,获得了新的发展。

1965 年, Schumm 发表了题为“第四纪古水文学”的文章。该文的发表标志着古水文学的发展进入了这一新的阶段。

Schumm 在这篇文章中首次为古水文学作了完整的定义,而这一定义被沿用至今。在该文中 Schumm 还提出,气候和水文要素,即气温、降水、径流、泥沙产量和泥沙含量之间的现代关系可用于推测第四纪期间气候状况变化对水文状况的影响。Schumm 指出,在更新

世冰期, 由于气温的降低和降水的增加, 径流大幅度增加, 而泥沙含量则大幅度减少; 泥沙产量的变化取决于初始气候状况和终止气候状况; 若干旱气候向半干旱气候变化, 泥沙产量增加; 若半干旱气候向湿润气候变化, 泥沙产量减少。除此之外, Schumm 还阐明, 气候变化通过改变水文要素而对河流活动施加的影响因水文响应的多样化及冰川活动和侵蚀基准面的变化而更趋复杂。

Gregory 将 Schumm 的这一文章誉为“古水文学发展道路上的一个里程碑”。的确如此, 回顾古水文学近半个世纪以来的发展, 似乎还没有发现哪一篇文章如同 Schumm 的这篇文章那样对之产生过如此深远的影响。

在此之后, Schumm 又进一步阐明了他的这些观点并展开了研究工作。

另外, Schumm 还提出, 河道形态不仅取决于河水的流量, 而且还与河道周界的阻力有关。因此, 他导出了一系列包括河道组成物质的粉砂-粘土含量和描述河道形态特征的变量的回归方程并用之估算河流的古流量。

几乎就在这同一时期, Dury 对一些他所说的“非相称河流”进行了深入的研究。Dury 发现, 在中纬度地区, 一些河流的宽大的河谷与其中很小的流量极不“相称”, 于是 Dury 将之称作“非相称河流”。他提出, 这些宽大的河谷是在地质历史时期由较现代流量大得多的流量塑造而成的, 而河流流量与描述河道形态, 尤其为大小的变量之间的数学关系可用于推算与这些宽大河谷“相称”的古流量。在此基础上, 他导出了一些河流流量与描述河道的形态, 尤为大小的变量间的数学关系式。

总之, 在这个阶段, 人们越来越多地认识到古水文状况重建对于古环境和环境变化研究的意义; 产生了古水文学的现代定义; 古水文学一方面借助、受益于各相关学科的成果, 但在另一方面, 它又逐渐脱离这些学科, 进而开始形成自己的较为独立的体系, 古水文学的一些基本的研究方法渐趋形成; 古水文研究的普及性有所增加, 其目的性和针对性也有所加强, 而不再是相关学科的“副产品”; 而且这些研究更加侧重于通过对与水文状况关系密切的自然环境的其它要素尤其是气候要素的探究重建古水文状况, 而不是局限于仅仅探究这些相关因素本身; 这些研究更加侧重于通过对各种古流水遗迹的探究重建古水文状况并将之与整个自然环境的变化尤其是气候变化联系起来, 而不是局限于仅仅探究这些古流水遗迹本身, 而而使这些研究更具有水文研究的色彩。

3. 第三阶段 (70 年代中期之后)

一些新理论尤其是基础学科的理论和新技术不断渗入古水文研究, 相关学科的新成果也不断地被应用于古水文研究, 因而使得原有的研究方法进一步发展和新的研究方法产生, 所以古水文学的体系更趋完整和突出。1983 年, Gregory 著的《古水文学背景》一书出版。该书收载了二十一篇有关古水文研究或与之关系密切的领域的研究的文章。该书的内容和编排反映了古水文学的基本结构, 由此可以看出这一边缘学科的体系的轮廓已更加清晰。

一些国际学术组织发起并实施的古水文研究项目, 一方面大大深化了人们对一些特定区域在特定地质历史时期的古水文状况的认识, 同时也促进了各国研究者们的学术交流及不同地区古水文状况研究结果的对比。

通过对与古水文状况密切相关的古气候状况的重建来推估相应的古水文状况, 是一种产生于前一阶段的研究方法。随着更多的气象和水文资料数据的积累, 对气候状况与水文状况间的复杂关系有了更明确的认识, 并导出了更多的气候要素——水文要素关系式, 且

对古气候状况的了解更加深入,因而促进了这一方法的发展;随着电子计算机技术的发展和普及,以大气环流模型为主的气候模型越来越多地被用于重建古气候状况、模拟地质历史时期的水循环状况,从而为这一方法注入了新的活力。

(二) 古水文学的现状和未来

古水文学的发展进入第三阶段以来尤其是 80 年代中期以来,呈现出几个较为明显的特点和趋势。

1. 注重多种研究方法并行和多种技术手段兼用

古水文学的研究对象是发生于地质历史时期、现今已经消失了的水文过程。因此,对古水文学的研究成果,即有关地质历史时期的水文状况及其变化的推论,进行检验是颇为困难的。这种困难也是地球科学所有的“历史性”分支学科面临的共同问题。显然,克服这一由研究对象的特殊性所带来的困难的一种解决办法是,在研究中采用多种方法和技术手段并将结果相比较。幸好,古水文学的多种研究方法和技术手段的不断发展正越来越使得这种“对比检验”成为可能。以不同的研究方法和技术手段获得的有关古水文状况及其变化的推论可相互对比、相互检验。这些推论的一致性可在一定程度上证实这一结论的可靠性,而不一致则指出了进一步检验和修正的必要性并提供了有关的启示。

国际第四纪研究联合会全新世委员会全球古水文学工作组 (INQUA Holocene Commission, Working Group on Global Palaeohydrology) 1990 年前后提出的一项有关过去的 20 000a 古水文状况重建的研究计划特别强调,以全球古水文学模型 (Global Hydrological Model 即 GHM) 模拟的古水文状况应与以其它研究方法获得的古水文资料数据相对比,以求得检验。

2. 强调古水文研究对于预测未来全球变化的意义

古水文研究不仅仅是古环境重建的一个组成部分,而且对预测未来全球气候变化对水文状况的影响也有着非常重要的意义。有关未来气候状况下的水文状况的预测可谓是“纯粹”的推测,因为这些气候变化及与之相伴的水文状况的变化尚未发生或正在发生但尚不明显,因而有关这些变化的推测也就无从检验或很难检验。古水文学涉及的是已经发生了的变化,这些变化必然或多或少地留下了遗迹,而这些遗迹的存在就使检验有关这些变化的推论成为可能。可以认为,经过检验的、有关过去气候变化的水文效应的推论要较未经检验的、有关未来变化的效应的推论来得可靠;有关过去气候状况及与之相伴的水文状况的结论将为预测未来气候变化的水文效应提供某种启示;地质历史时期的某一阶段的状况或许是未来状况的绝妙的“类似物”。古水文学正在并还将继续更多地发挥自己在预测未来全球变化中的作用,正如在 1. 中提及的那一古水文学研究计划所表明的,这种趋势突出的表现之一是,在古水文研究中采用较小的时间尺度和较大的空间尺度。

3. 加强古水文研究的国际协调和合作

随着“全球变化”这一概念的普及,古水文研究者们越发注重从全球变化的角度看待地质历史时期的水文状况及其变化,越发注重将全球范围内的古水文状况及其变化视作地球动力系统中的一个完整的亚系统及其响应,因而越发注重全球范围内不同区域的古水文状况的对比,以从中追寻不同区域古水文状况对全球气候变化的响应的一致性和差异性的规律,而这种情况造成了不同国家的古水文研究者在国际组织和机构尤其是国际学术组织和机构的参与下加强了协调,制定并实施了一系列合作研究项目。

1987 年,由国际地质科学联盟 (IUGS) 和联合国教科文组织 (UNESCO) 共同发起实

施的“国际地质对比项目 (IGCP)”第 158 号“过去的 15000 年中的温带地区的古水文 (Palaeohydrology of the Temperate Zone During the Last 15000 Years)”得以完成。该项目重建了温带地区 (35° — 70° N 和 35° — 70° S) 的某些选定的研究地点的古水文状况, 对比了不同区域的状况, 从而为确定古水文状况变化的总体模式奠定了基础。

1984 年, 由来自 9 个国家的 20 多名研究者开始实施“非洲的古水文状况 (Palaeohydrology in Africa 即 PALHYDAF)”这一合作项目。该项目旨在重建过去的 13000 a 中的非洲西北部不同地区的古水文状况, 并依据古气候状况对之加以解释以检验用于得出这些古气候状况重建的大气-海洋环流模型。

不同大陆、不同半球的古水文状况的对比也正广泛和深入的进行。例如, 中国和澳大利亚两国研究者共同从事的中国西部湖泊的古水文状况和澳大利亚湖泊的古水文状况的对比。

1991 年, 国际第四纪研究联合会 (INQUA) 的全球陆地古水文学委员会 (Commission on Global Continental Palaeohydrology 即 GLOCOPH) 得以成立。此后, 该委员会加强了尤其是不同国家的古水文研究者之间的联系, 协调了研究工作, 并组织制定和实施了一系列国际合作研究项目。

4. 重视人类活动对古水文状况的影响

1991 年举行的国际第四纪研究联合会 (INQUA) 第十三届大会的主题是“人类与第四纪期间的全球变化”, 这反映了当前全球变化研究的趋势之一, 这种趋势自然也在古水文研究中有明显的表现。

第四纪以来尤为全新世以来, 人类活动对水文状况的影响越发重要。例如, 一些研究表明, 由于人类活动的影响, 英国的一些河道自全新世以来发生了显著的变化; 出现在 6270 a B. P. 以后的一次河流堆积过程与中石器时代和新石器时代人类滥伐森林有关。

越来越多的研究者正将早期人类活动看作改变古水文状况的又一重要因素, 并在研究工作中试图较为准确地评估其影响。

5. 趋于对时间因素的涉入的多样化论及

古水文学是地球科学的一门“历史性”分支学科, 因此, 古水文研究不可避免地要涉及到时间因素。

Schumm 在为古水文学下的定义中称该学科研究“降雨首次出现至历史水文记录开始这一期间”的水文状况, 这实际上便指明了古水文学所涉及的大致的时间范围。

前已述及, 水循环可能始于约 400Ma B. P., 因此, 可以认为, 降雨首次出现于这一时期。尽管早在 2000 a B. P. 便出现了原始的、零星的水文记录, 但连续的水文记录却一般都始于 19 世纪。所以, 古水文学涉及的时间范围似应为约 400Ma B. P. 至 18 世纪末或 19 世纪初。

虽然从理论上讲, 古水文学涉及的时间范围为此 400Ma, 但实际上古水文研究目前仍主要限于第四纪 (约 2.5Ma B. P.) 以来, 尤为晚更新世以来。这很大程度上是因为这一“较近”时期的各种古水文遗迹及相关遗迹保存较完好, 便于研究工作的开展。

近年来, 对“较远”地质历史时期的水文状况的研究也有进一步的发展。例如, 1987 年, Khan 对印度比哈尔 (Bihar) 的 Rajmahal Gondwana 盆地的早二叠世的 Barakar 河的古水系和古河道形态进行了研究, 并由此推测了相应的古平均流速。尽管加此, 这类研究在

深度和广度上均不及对第四纪以来尤为晚更新世以来的古水文状况的研究。

与此同时,随着在研究中强调水文状况及其变化在时间上的连续性,古水文学与水文学各自涉及的时间范围的界线也渐趋模糊。诚然,依据研究对象,即水文过程,所在的时间范围的差异,划分了水文学和古水文学;这种划分顾及了研究对象的特殊性,从而在一定的历史条件下,促进了对水文状况及其变化的研究。但在另一方面,这种划分仍带着相当成分的主观臆测性;而水文状况本身在时间上又是连续的,因此这种划分也不能不在一定程度上妨碍认识“过去”、“现在”乃至“将来”的水文状况内在的联系和统一。如果说,近半个世纪以来古水文学的发展历史就是古水文学与水文学和其它相关学科“分”的过程,那么,古水文学和水文学涉及的时间范围的界线的这种模糊则可能是古水文学与水文学在未来“合”的先兆。

古水文研究者们正在努力使用较小的时间尺度以提高重建古水文状况的时间分辨率并在这方面取得了一定的进展。一些研究者发现,在理想的条件下,非常完整和准确的有关古洪水阶段的记录在一些边界稳定的河段上存留了下来。在适当的河段上通过对滞水堆积和指示过去的阶段的证据进行研究,可以获得有关若干千年、若干百年的最大洪水的次数、时间和大小的完整记录。在“1”中所提及的国际第四纪研究联盟全新世委员会古水文学工作组的那一研究计划提出,将以 10^2 — 10^3 年的时间尺度探究过去的20000年中各地带及全球水文状况变化的性质及原因。国际第四纪研究联盟全球陆地古水文学委员会于1992年9月在波兰克拉科夫举行的工作会议上确认,该委员会此后的主要目标是以 10^2 — 10^3 年的时间尺度分析过去的20000年中全球所有陆区的水的变化、流通和储存。就古水文学的现状 & 发展来看,在研究中将时间分辨率提高到 10^2 — 10^3 年是切实可行的。提高重建过去水文状况变化的时间分辨率的又一重大意义在于,未来全球变化预测将可能在更大程度上受益于这些古水文研究成果。

6. 趋于对空间因素的涉入的多样化论及

既然古水文学属于地球科学的范畴,所以它也必然要涉及到空间因素。

从 Schumm 及其他研究者对古水文学下的定义来看,古水文学涉及的空间范围至少应包括地球表面的所有陆区。

然而,在过去相当长的时期内,古水文研究主要集中在温带地区,尤为欧洲大陆的中部和北部及北美。这大概主要是因为研究者们所在的机构多处在温带地区及温带地区的河流和湖泊的资料数据积累较多。

80年代中期以来,这种状况开始有所改变。但总的来说,其它地带的古水文研究与温带的古水文研究相比,仍然十分薄弱。古水文研究者们已经意识到了这一问题并正在采取相应的行动。一些研究者提出,今后在干旱、草原和热带地区开展古水文研究将是最有意义的。国际第四纪研究联盟全球陆地古水文学委员会1992年9月确认,此后的古水文研究将在全球所有陆区展开,但重点将放在那些人口最稠密和水资源状况对环境变化最敏感的地区。与此同时,该委员会还计划此后将开展工作以重建陆表的4个主要地带即热带、干旱及半干旱地带、温带和极区的过去20000年的水平衡的变化。

所有这些都表明,古水文学实际涉及的空间范围正日益由温带扩展到陆表的其它地带,即正扩展到它的定义中为它划定的整个范围。

另外,古水文学涉及的空间范围还正逐渐扩展到地球以外的其它行星。70年代末及80

年代初以来, Baker 等人研究了遍布火星表面的巨大凹槽和沟谷。Baker 等根据这些凹槽的形态特征推测, 它们很可能是由冰川的突然融化产生的大洪水侵蚀并由其它地质作用改造而成的。Baker 等人认为, 尽管一些沟谷的平面网络特征表明它们可能是由集中的降雨产生的地表径流造成的, 但大多数沟谷的密度并不高, 且其支流短小, 并且有一些其它的形态特征, 这些都表明降雨并不一定是这些沟谷生成的直接原因。而这些形态特征更有可能是由溯源侵蚀造成的, 富含冰的永久冻土解冻释放出的地下水可能对沟谷的这种平面网络特征的生成起了决定性作用。大多数研究者认为, 这些凹槽和沟谷是非常古老的, 其中很多可能是 400Ma B. P. 形成的, 而一些则相对年轻一些, 其绝对年龄不大于 100Ma。显然, 这些巨大的凹槽和沟谷是在当时的与今天火星表面干、冷的气候状况很不相同的气候状况下形成的。Baker 等在此基础上提出了火星过去水循环状况变化的假说并阐述了其对地球古水文研究和未来全球变化预测的意义。

显然这些研究仍然是初步的, 但它却表明古水文学已在开始跨越它的定义中为它划出的涉及的空间范围的界线。

以往的古水文研究多采用中、小流域尤为小流域的空间尺度。70 年代后期以来, 这种情况开始有所改变。

1977—1986 年实施的“国际地质对比项目”第 158 号“过去的 15000 年中的温带地区的古水文”在首先重建了这一地带内的一些选定的中、小流域的古水文状况之后, 试图将这些单个“点”的情况归纳综合, 进而推测整个地带的古水文状况。

国际第四纪研究联合会全新世委员会古水文学工作组在 1990 年前后拟定的研究计划提出, 此后开展的过去 20000 年的古水文状况重建应在各种空间尺度上进行, 并应特别注重在较大的“地带尺度”和“全球尺度”上进行。采用较大的空间尺度显然是在“全球变化”这一学术思潮日趋风行的背景下古水文研究的必然趋势之一。

三、古水文学的研究方法

在古水文学中, 各种研究方法相互渗透, 甚至相互包容。因此, 将之截然划分开来常常是困难的。此间仅将古水文学的研究方法大体归纳为三大类。

(一) 古水文学的沉积-地貌推绎法

这类方法主要用于古河流水文状况的研究。

沉积-地貌推绎法通过对古河流泥沙及古河道形态及其展布的研究重建古水文状况。详言之, 首先获取描述古河流泥沙和古河道特征的变量的数值; 建立这些变量与一些水文要素变量之间的数学关系; 以这些变量的数值和建立的数学关系, 推估相应的描述古水文状况的水文要素变量的数值。

表 1—2 中列出了这类研究方法常用的一些数学关系式。