

国家自然科学基金委员会资助项目

黄河流域环境演变与 水沙运行规律研究文集

第一集

主编 左大康

地 质 出 版 社

国家自然科学基金委员会资助项目

黄河流域环境演变与 水沙运行规律研究文集

第 一 集

主编 左大康
编委 叶青超 杨勤业
吴祥定 景 可

地 质 出 版 社

国家自然科学基金委员会资助项目
黄河流域环境演变与水沙运行规律研究文集

第一集

主编 左大康

编委 叶青超 杨勤业

吴祥定 景 可

•
责任编辑：杜广慈

地质出版社出版发行

（北京和平里）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销

•
开本：787×1092¹/₁₆ 印张：14.625 字数：344000

1991年3月北京第一版·1991年3月北京第一次印刷

印数：1—760册 国内定价：9.75元

ISBN 7-116-00797-0/P·680

前 言

黄河流域是中华民族古代文化的摇篮，在长期的历史时期中，它一直是我国政治、经济和文化的中心。境内土地辽阔，资源丰富，是我国粮棉、能源和重化工业生产基地，也是我国当今重要的经济开发地区。

黄河为中华民族的发展做出了不可磨灭的贡献，但也为我国人民带来过许多灾难。建国后黄河水利委员会和沿黄各省人民对黄河的水利开发、水患防治、河道整治以及黄河流域的水土保持做了许多有成效的工作，治黄取得了巨大的成绩。40年来安渡了伏秋大汛，保证了沿黄各省经济建设的顺利进行，经济发展持续增长，人民得以安居乐业。但黄河流域的环境并没有得到改善，中游的水土流失状况并没有明显好转，黄河水少沙多、水沙不平衡的特点，尤其是汛期水少沙多仍然是造成黄河下游河床不断淤积抬高和容易发生洪泛和决口的根本原因。

黄河安危，事关大局，这是大家共同关注的问题。为了治理黄河，学术界和工程技术界都做了大量的研究，也取得了丰硕的成果。但黄河问题很复杂，涉及因素很多，它既与全流域的自然环境因素有关，又与全流域的社会经济发展因素有关，而且这些因素既相互联系，又相互制约，并随时间的进程而发生变化。因此，黄河及其流域环境的治理，还有许多科学问题有待深入进行研究。基于以上考虑，我们提出了黄河流域环境演变与水沙运行规律的研究课题，作为国家自然科学基金重大项目，并得到了国家自然科学基金委员会的大力支持。

历史时期中黄土高原的气候状况怎样？植被条件和植被类型的变化怎样？下游河道的演变与全流域环境变迁的关系怎样？我们期待通过研究能宏观地再现历史时期流域环境变迁与水沙变化的事实，为深入分析现代黄土高原水土流失和下游河道堆积、洪泛的现状、原因、强度，提供历史的背景。

黄土高原的水土流失是黄河泥沙的主要来源，搞好水土保持是治黄的根本。但要有效地开展水土保持工作，必须进行流域侵蚀产沙规律的研究，它涉及暴雨径流、土壤性质和不同植被对侵蚀产沙的影响，也涉及侵蚀方式、侵蚀部位和侵蚀类型划分的研究。黄土高原土壤自然侵蚀与人为加速侵蚀对产沙的影响，是需要深入探讨的问题，因为只有搞清了自然侵蚀量，对人类活动在黄土高原土壤侵蚀中的作用，对水利水保效益的评价及未来侵蚀产沙趋势的预估，才有比较可靠的科学依据。

黄河下游河道的冲淤变化取决于来水来沙条件和河床边界条件。为了解下游河道的冲淤过程与冲淤特征，应着重研究不同来水来沙条件下河道的输沙能力与输沙机理，现行河床、滩地等对输沙与淤积的影响，大型水利工程、例如龙羊峡蓄水运用后对下游河道水沙运行的影响，不同来水来沙对河床边界条件和河流纵剖面调整的影响，并预测未来水沙变化和河道淤积速率。以上问题与河道变化及河道整治的工程措施都有直接关系，需要进行系统的理论研究。河口三角洲的演变过程、河口尾间变迁以及河口延伸与下游河道淤积关系的研究，可为河口治理以及探讨河口三角洲的发展趋势提供科学咨询服务。

黄河流域地处半湿润半干旱地带，自然条件复杂，生态环境脆弱，旱、洪、涝、水土流失和盐碱灾害频繁。目前，又面临人口不断膨胀，土地负荷超载，水资源短缺，环境有可能进一步恶化。因此，研究流域内现代自然环境的区域分异，不同地区的环境容量，流域范围内的自然生产潜力和人口承载量，社会经济活动（大型水利工程建设、煤矿开采、砍林毁草、陡坡开垦等）可能引起的流域水沙变化和环境变化，尤其是流域内人口、资源、环境、经济如何协调发展，更是当务之急。在上述研究的基础上，预估黄河流域环境演变的趋势和水沙变化，并探讨环境整治方向和综合治理对策，这是我们研究工作的期望和今后努力的目标。

我们的研究是将全流域作为一个整体，把黄河上、中、下游直至河口地区联系起来，把上述研究内容有机地联系起来，进行综合分析。此外，环境治理应与开发以及生产建设相结合，在顾及经济效益的同时，也应顾及社会效益与生态效益，最大限度地减少生产带来的环境问题。以上是我们进行整个研究工作的出发点。

本文集是我们近二年研究工作的初步成果，许多问题还有待进一步研究和深化，不当之处，请读者不吝指教。

左大康

1990年8月1日

内 容 简 介

本书是近二年黄河流域环境演变与水沙运行规律研究成果。主要包括：历史时期流域环境变迁与水沙变化关系，流域侵蚀产沙规律及水土保持效益分析，下游河道水沙变化与河床演变规律，流域社会经济活动和自然环境演变趋势。

本书可供气候学、水文学、水利学、水土保持学、地貌学、古地理学、河口学和自然地理学等方面科研、生产及高等院校师生参考。

INTRODU- CTION

This volume shows the achievements of researches on environmental changes and laws of water and sediment transportation of the Yellow River basin in the last two years. The main contents include: the relationships between the changes of environments and those of water and sediment properties of the Yellow River basin in the historical periods, the laws of sediment yield and the analysis of the beneficial results of the sediment reduction by water and soil reservation in the Yellow River basin, the changes of water and sediment properties and the laws of channel development in the lower reaches of the Yellow River, the social economic activities and the developing tendency of natural environments in the Yellow River basin.

The book should be of reference value to scientific researches and production and to teachers and students in higher education in the respects of climatology, hydrology, hydraulics, soil and water conservation, geomorphology, palaeogeography, estuarine hydrology and physical geography etc..

目 录

前言.....	左大康 (I)
利用复经验正交函数分析近 500 年来黄河中下游旱涝时空分布	吴祥定 李月洪 张正秋 (1)
西安地区近1724年(公元 265~1989 年)旱涝气候变化	李兆元 周锁铨 戴 进 杨月娟 (10)
黄河中上游40年降水变化与水沙关系初探.....	王云璋 (16)
东汉黄河下游河道研究.....	杨国顺 (27)
历史时期(春秋战国—北宋末年)的黄河口及海岸线变迁.....	李元芳 (35)
古代黄土高原“林”的辨析兼论历史植被研究途径.....	王守春 (45)
人类活动在黄土高原土壤侵蚀中的地位和作用.....	陈永宗 (53)
黄土高原土壤侵蚀过程和生态环境演变的关系.....	唐克丽 蔡 庆 (62)
安塞县人类社会经济活动对环境影响初探.....	李荣生 庞远玉 (74)
陕北黄土区开荒及其对侵蚀的影响(摘要).....	王斌科 康克丽 (83)
黄河中游大型煤田开发对侵蚀和泥沙影响的初步研究.....	张胜利 (88)
淤地坝沉积剖面中年界的确定——兼论一种估算小流域年侵蚀产沙量的新方法	朱同新 (96)
黄土丘陵沟壑区羊道沟小流域次降雨泥沙输移比研究	蔡强国 陈 浩 马绍嘉 吴淑安 (105)
黄河水沙变化对冲积河床调整机理的探讨	钱意颖 程秀文 傅崇进 尚红霞 (114)
黄河上游来水来沙特性及宁蒙河道冲淤情况的初步分析.....	侯素珍 李 勇 (124)
黄河中游龙门至三门峡河道的冲淤特性与环境演化关系.....	叶青超 师长兴 (136)
黄河历次洪水下游河道冲淤资料的统计分析	王 玲 董雪娜 顾弼生 熊贵枢 (149)
线性系统模型应用于黄河下游水流演算.....	梁季阳 (156)
黄河下游平衡纵剖面的塑造.....	尹学良 (163)
黄河下游河道各级粒径输沙特性的初步分析	曾庆华 周文浩 阎 颀 赵华侠 (172)
黄河下游山东河段阻力问题的研究.....	高 菁 宋根培 (184)
黄河三角洲沿岸的沉积特征与黄河泥沙入海后的运移扩散	杨光复 李 平 张君元 (195)
黄河流域自然条件对生产潜力及人口承载量的影响.....	赵名茶 (207)
黄河流域生态环境整治与建设区划纲要	杨勤业 王凤慧 李高社 朱会义 (216)

CONTENTS

Preface

- A study on temporal-spatial distribution in mid-lower reaches of the Yellow River valley during the last 500 years using CEOF analysis.....*Wu Xiangding, Li Yuehong and Zhang Zhengqiu* (1)
- A study on dry/wet variation during the last 1724 years (265—1989 A. D.) in Xian District, Shaanxi Province
.....*Li Zhaoxuan, Zhou Suoquan, Dai Jin and Yang Yujuan* (10)
- A preliminary analysis of relationships between precipitation and Runoff and sediment discharge during last 4 decades in upper and middle Yellow River.....*Wang Yunzhang* (16)
- A study on the course of lower Yellow River in Eastern Han Dynasty*Yang Guoshun* (27)
- Variations of the ancient estuary of the Yellow River and the ancient coastlines in the period from the Spring and Autumn Period to the late Northern Song Dynasty.....*Li Yuanfang* (35)
- A textual research of ancient Loess Plateau vegetation
.....*Wang Shouchun* (45)
- Effects of human activities on soil erosion in the Loess Plateau
.....*Chen Yongzong* (53)
- Relationship of soil erosion process with the evolution of the ecological environment.....*Tang Keli and Cai Qing* (62)
- A preliminary study on the environmental effects of human socio-economic activities in Ansai county
.....*Li Rongsheng and Pang Yuanyu* (74)
- Reclamation and its influence on accelerated soil erosion on loess area of Northern Shaanxi.....*Wang Binke and Tang Keli* (83)
- Preliminary study on influence of large scale coal minings on erosion and sedimentation in middle reaches of the Yellow River
.....*Zhang Shengli* (88)
- Ascertaining of annual bounds for sediment profiles at silt-trapped dams in the loess area
——Approach to a new method to estimate the sediment yield at the small basin in the Loess Plateau.....*Zhu Tongxin* (96)
- Research of sediment delivery ratio in Yang Dao Gou small basin

- in the gullied loess region
.....*Cai Qiangguo, Chen Hao, Ma Shaojia and Wu Shuan*(105)
Mechanism of self-adjustment of Yellow River alluvial reaches as a
result of changes of oncoming runoff and sediment
.....*Qian Yiyi, Cheng Xiuwen, Fu Chongjin and Shang Hongxia*(114)
A preliminary analysis on the characteristics of the incoming
sediment and runoff in the upper reaches of the Yellow River
and the fluvial process of the Ningxia-Innermongolia channel
.....*Hou Suzhen and Li Yong*(124)
Relationship between the environmental changes and scour-fill beha-
vior properties in the Longmen to Sanmen Gorge dam reach of
the middle Yellow River.....*Ye Qingchao and Shi Changxing*(136)
Statistical analysis of data of previous flood and deposition in the
lower course of the Yellow River
.....*Wang Ling, Dong Xuena, Gu Bisheng and Xiong Guishu*(149)
The channel routing of the lower Yellow River by linear system
model.....*Liang Jiyang*(156)
On the formation of equilibrium longitudinal profile of the Yellow
River.....*Yin Xueliang*(163)
A preliminary analysis on sediment transportation for different
grain sizes in the lower Yellow River
.....*Zeng Qinghua, Zhou Wenhao, Yan Yi and Zhao Huaxia*(172)
A study of the channel bed resistance downstream from Ai-Shan
station in the Yellow River.....*Gao Jing and Song Genpei*(184)
The sediment transportation and sedimentary characteristics in the
estuary and vicinity of the modern Yellow River delta
.....*Yang Guangfu, Li Ping and Zhang Junyan*(195)
The influence of natural conditions on the potential productivity
and population carrying capacity of the Yellow River basin
.....*Zhao Mingcha*(207)
Essentials of the eco-environmental management and construction
regionalization in the Yellow River basin
.....*Yang Qinye, Wang Fenghui, Li Gaoshe and Zhu Huiyi*(216)

利用复经验正交函数分析近500年来黄河中下游旱涝时空分布

吴祥定

(中国科学院 地理研究所
国家计委)

李月洪 张正秋

(国家气象局气象科学研究院)

一、引言

自本世纪70年代以来,全球气候变化异常,引起世界各国的普遍关注。在我国,为弄清历史上气候变迁的事实,曾整理出版了中国近500年旱涝等级资料^[1]。后来,气象工作者依据这500年旱涝等级资料分析过我国近500年旱涝的时空变化等,已有不少研究成果。如王绍武等人(1979)^[2]对我国华北、长江流域和华南3个地区的500年旱涝等级作正交函数分析,将我国分为6种旱涝类型。于淑秋等人(1989)^[3]利用了经验正交函数分析我国近500年旱涝资料,划分出6种旱涝型,并对其旱涝型作环境特征分析。唐佑民(1989)^[4]应用沃尔什函数讨论近500年我国旱涝时空变化,得出了8种旱涝型。然而,到目前为止,对黄河流域历史时期的旱涝时空分布的研究工作尚不多见。为此,本文应用复经验正交函数(CEOF)对近500年黄河中下游地区旱涝等级序列进行展开,分析讨论了旱涝时空分布的特征及其空间波动传播信息以及主要的周期振荡特性。

二、资料和方法

本文采用黄河中下游地区15个站点(德州、沧州、济南、邯郸、安阳、菏泽、大同、太原、长治、郑州、洛阳、临汾、榆林、延安和西安)的近500年旱涝等级资料。根据历史文献资料所订旱涝等级指数(I)共分5个等级, $I=1, 2, 3, 4, 5$, 分别表示大涝、涝、正常、旱和大旱。

通常,分析一个要素场的时空分布特征可以采用经验正交函数(EOF)分析。然而它无法识别空间波及驻波特征,因此近年来开始尝试采用复经验正交函数(CEOF)对要素场进行分析^[5]。由于采用CEOF方法比一般经验正交函数的优越性在于它能从要素场的时间变化中,了解空间传播特性以及其要素的周期性变化特征。

所谓CEOF分析实质上是假设一个标量场 $u(x_j, t)$, 下标 j 表示空间站点数, t 为时

间。把实时间序列变换为复时间序列, 即 $u_j(t)$ 的复变量:

$$u_j(t) = u_j(t) + i\hat{u}_j(t)$$

$\hat{u}_j(t)$ 是 $u_j(t)$ 的 Hilbert 变换。类似于 EOF 分析, CEOF 展开模型为下式:

$$U(X, t) = \sum_N A_N(t) B_N^*(X)$$

式中: * 号表示共轭转置运算。对应于第 N 个 ($N=1, 2, \dots, m$) 特征值, 具有描述 $u(x_j, t)$ 在时间、空间变动的四个测定函数, 它们分别是:

空间振幅函数 $S_N(X) = [B_N(X) B_N^*(X)]^{1/2}$,

空间位相函数 $Q_N(X) = \tan^{-1} \left(\frac{I_m[B_N(X)]}{R_e[B_N(X)]} \right)$,

时间振幅函数 $R_N(t) = [A_N(t) A_N^*(t)]^{1/2}$,

时间位相函数 $\phi_N(t) = \tan^{-1} \left(\frac{I_m[A_N(t)]}{R_e[A_N(t)]} \right)$,

式中: $I_m[\]$ 表示取虚, $R_e[\]$ 表示取实。

由新的复时间序列求得对应的 $S_N(X)$, $Q_N(X)$, $R_N(t)$ 和 $\phi_N(t)$, 对标量场时空分布作更深入的论述。因此, 本文尝试采用 CEOF 方法揭示历史时期黄河中下游地区旱涝的地域分布及空间传播特征以及主要的周期振荡特性。

三、黄河中下游旱涝时空变化

对黄河中下游地区 15 个站点的旱涝序列作 CEOF 分析后, 前 5 个复主要分量 ($c_1 \rightarrow c_5$) 对总方差的贡献可详见表 1。

从表 1 可见, 第 1 复主要分量可占总方差的 37.49%, 且前 3 个复主要分量约占总方差的 59.65%。显然, 用前 3 个主要分量就能大体上揭示出黄河中下游旱涝空间波动的基

表 1 前 5 个主要分量的解释方差

Tab.1 Variances explained by the first 5 principle components

主要分量	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
解释方差	37.49	14.29	7.87	6.58	5.94
累积百分比	37.49	51.78	59.65	66.23	72.17

本特征。因此, 本文着重讨论前 3 个复主要分量所表征的历史时期黄河中下游地区旱涝的气候变化特征。

图 1 给出历史时期黄河中下游地区旱涝场的第一复主要分量的空间振幅和空间位相分布模式。由于该复主要分量的解释方差最大, 因而是具有代表性的显著模式。从图 1a 可见, 历史时期黄河中下游地区旱涝场变率最大的地区大约在河套以东的地区, 其中心在安阳、邯郸和长治一带。这与张家诚等 (1983)^[6]得出的黄河以北地区旱涝最为频繁的结论较一致。同时与文献^[3]中利用 EOF 对我国 100 个站近 510 年旱涝资料进行分解, 指出第

一特征向量的空间分布，全国为正值，最大中心位置在华北和长江以南地区的分析较吻合。由CEOF所分析出的该地区的空间位相函数分布（图1b），表明黄河中下游地区15个台站的位相值大致在 $0\sim15^\circ$ 之间变化，这清楚地说明该地区旱涝变化具有较近似的同位相，也就是说，历史时期黄河中下游地区易出现大范围的干旱或洪涝。因此，我们可以认

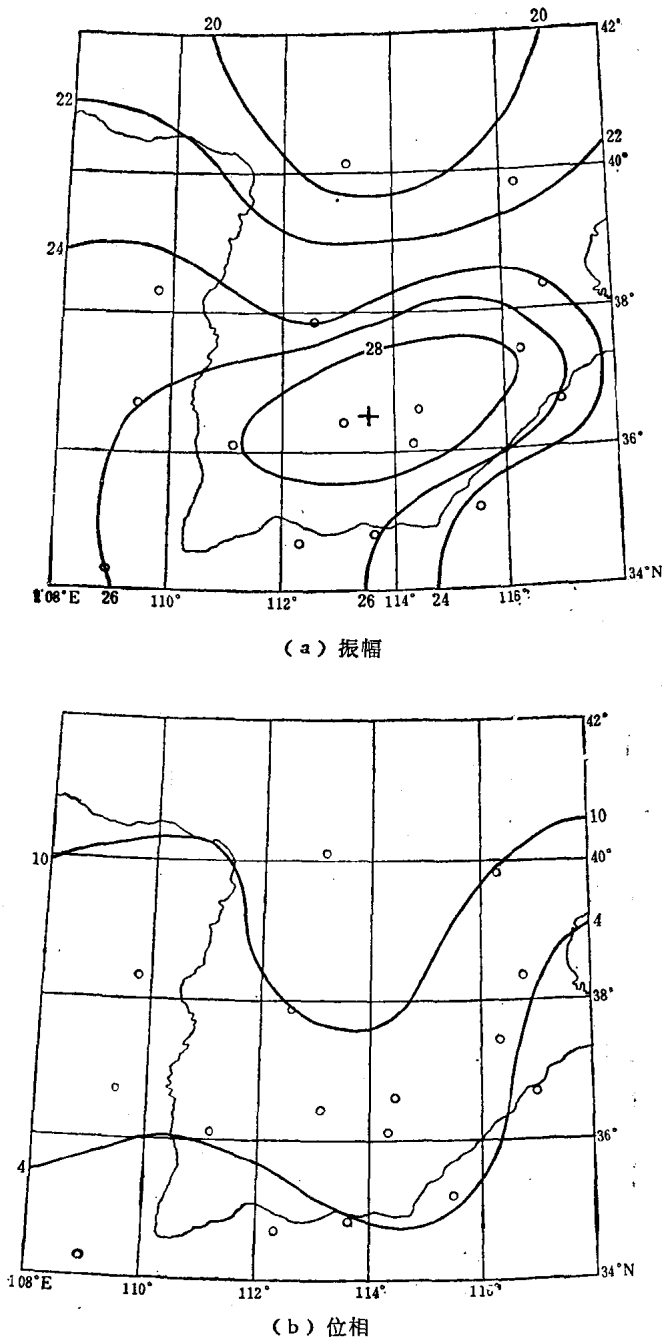


图 1 黄河中下游地区旱涝场的第一模式

Fig. 1 The first pattern of the dry/wet field in mid-lower reaches of the Yellow River Valley
a) amplitude b) phase

为第一空间模式的主要特色是着重突出历史时期黄河中下游地区大面积旱涝的地域特征。显然，从图1a的振幅状况就可以推断，大范围的旱涝易出现在河套以东地区，这种多年平均状况具有一定的气候学意义。

从第二模式（图2）可见，空间振幅的最明显地区出现在河套以西的黄土高原上，其次是在黄河下游平原地区，其中心分别在延安、菏泽。这个诊断事实表明了它们是干旱或

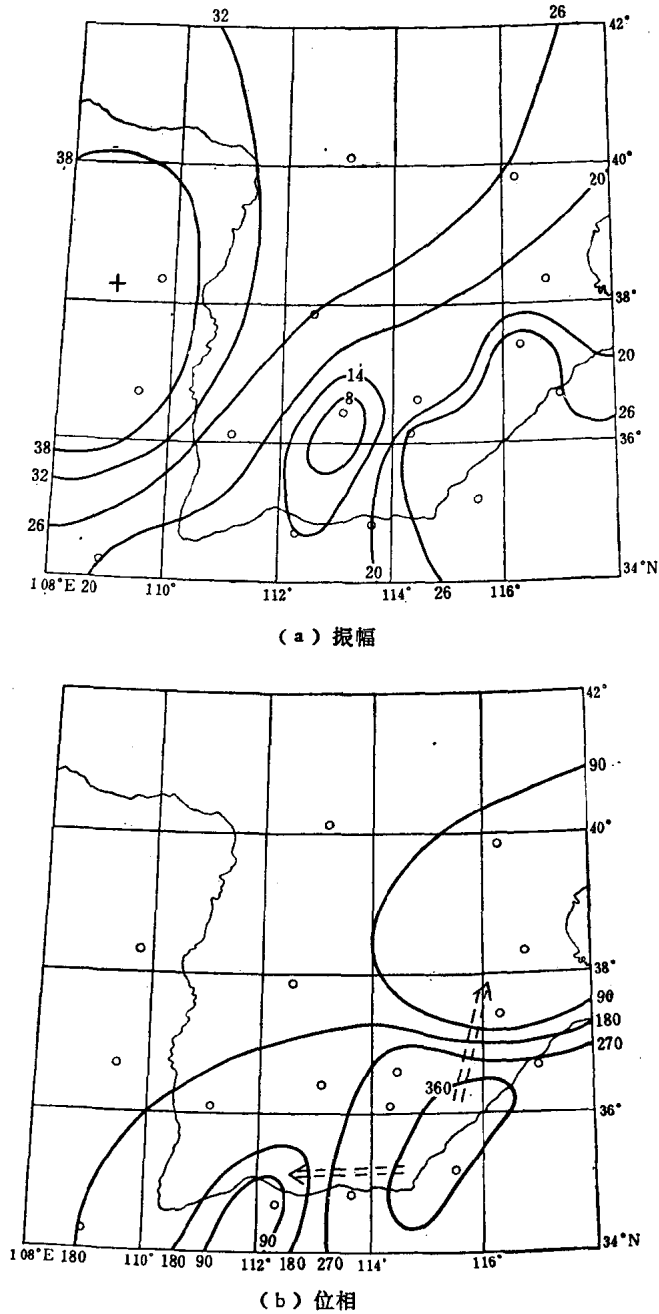


图 2 黄河中下游地区旱涝场的第二模式
 Fig. 2 The second pattern of the dry/wet field in mid-lower reaches of the Yellow River Valley
 a) amplitude b) phase

洪涝自然灾害的多发区。大体上与黄河中游东北部为暴雨—干旱组合型、黄河下游平原区为旱涝—决溢洪水组合型的分布较吻合^[7]。为此，本文把第二模式所表征的主要旱涝类型称之为西部型。从空间位相分布图（图2b）中可以看出，在黄河下游大部分地区的空间波是一行波，其波动的传播方向呈由南至北（西北）。这意味着历史时期黄河中下游旱涝变化是自下游地区向北到海河地区和向西北到中游地区推移。同时还可以看出，在黄河下游

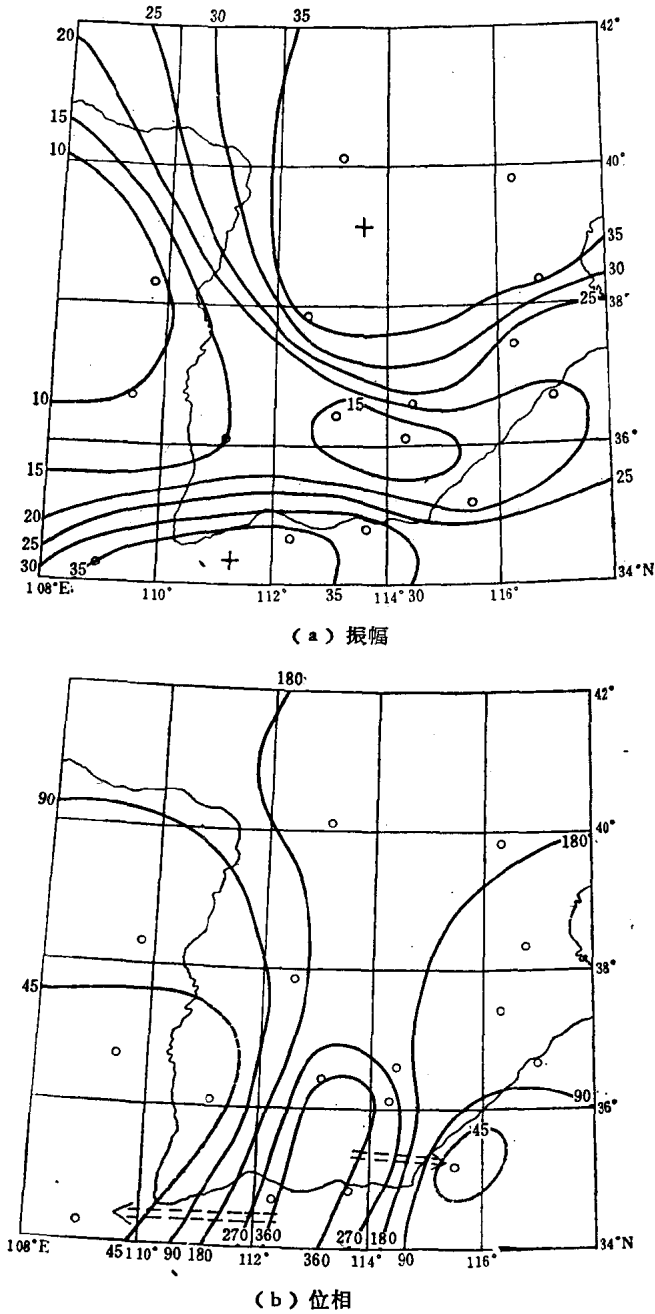


图 3 黄河中下游地区旱涝场的第三模式
 Fig. 3 The third pattern of the dry/wet field in mid-lower reaches of the Yellow River Valley
 a) amplitude b) phase

地区具有近似相同的位相 (270°), 这表明该地区旱涝变化是一致的。第二模式的振幅和位相分布的特点与我国旱涝自然灾害的地理分布较一致, 它与我国降水量的分布以及影响降水的各种天气气候因子, 如西风带、西太平洋副热带高压的作用有密切的关联。

此外, 第三模式中的空间振幅分布 (图3a) 表明, 旱涝场上变率最明显地区是在黄河中下游的南部地区, 振幅强度中心在洛阳。其次, 在海河流域, 这里称它为南北型。从位相分布图 (图3b) 可见, 在黄河流域中游地区是一行波, 传播方向自中游地区分别向上游、下游地区的纬向方向。位相分布形势表明中游大部分地区是同一位相, 而与上游地区是反位相关系。

综上所述, 用CEOF方法对历史时期黄河中下游地区旱涝场的诊断分析中, 不仅能从第一空间模式中揭示出该地区旱涝场的气候平均状况, 而且还能从第二、三空间模式中较细致地分辨出旱涝场的基本类别, 如西部型和南北型式。尤其重要的是, 它比起传统的EOF方法来, 通过空间位相函数分布能进一步了解该地区的行波特点, 也就是说旱涝变率易传播方向。如在第二模式中, 较突出地表现出旱涝变化由下游地区分别向华北、中游地区传播; 第三模式中传播路径是由中游分别向上、下游纬向传播。从旱涝场上传播方向大致可以从影响我国雨带的天气气候背景以及从黄河流域本身特点中了解到, 由于篇幅有限, 在此不多赘述。

四、黄河中下游旱涝的周期振荡

(一) 功率谱分析

关于近500年间旱涝变化的准周期, 曾有过大量的讨论, 如张德二 (1983) 曾计算我国16个区域的旱涝指数序列的功率谱分析^[8], 指出各区的旱涝变化, 皆以准2~3年, 5~6年, 9~11年, 19~24年和32~40年的周期为显著。又如许协江等 (1983) 对我国东部100个站旱涝等级作EOF分析^[9], 尔后对旱涝型序列分别做高、低通滤波的功率谱分析, 得出高频部分的主要周期为5年和8年, 低频部分的主要周期为13年和20年。至于黄河中下游地区近500年间旱涝变化的准周期尚不很明确。为此, 本文采用上述资料经过复经验正交函数计算后的时间振幅序列, 作功率谱分析, 最大落后步长取165年, 以讨论历史时期黄河中下游区域旱涝演变的一些显著性周期。图4给出该地区复第一特征向量时间振幅序列的功率谱曲线, 得知该地区旱涝变化的低频部分的主要周期为35年左右, 与著名的布鲁克纳周期是一致的。次主要周期为20年。第二特征向量的主周期为42年, 其次为19年 (图略)。同样地, 对复第一、第二时间序列分别做高通滤波后, 得知第一特征向量时间振幅序列的高频部分的主要周期为2~3年、5年和11年; 第二特征向量的高频部分的主要周期分别为3.8年、6.4年和8年 (图略)。由于第一主要分量是代表历史时期黄河中下游地区旱涝分布形势中的主要特征, 因此, 在这一分量上反映的显著性2~3年周期振荡是在该地区旱涝中的一种主要现象。当然, 旱涝中还存在其它一些周期现象, 如3.8年、5~6年和11年等周期, 比较其它的振动功率, 它们仍占相当大的份量。由此可知, 历史时期黄河中下游地区旱涝也具有准两年周期振荡, 这一现象近30年来已被国内外许多气象工作者所重视, 从平流层的风向变化到对流层中的环流变化及大气活动中心变化存在的这种准

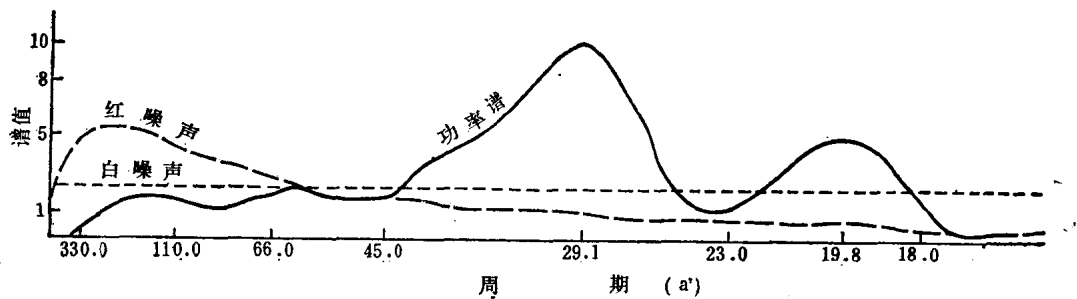


图 4 第一主要分量功率谱

Fig. 4 The power-spectra results of the first principle component

2 年周期振荡现象已被一一发现和加以研究。另外，还有 3.8 年的显著周期与南方涛动的主周期较相近。正如文献^[10]中指出的我国北方区域（华北、东北及黄河下游称北方）的旱涝受南方涛动影响较明显，当南方涛动指数小时，北方出现偏旱的可能性较大。同时还有 11 年的显著周期较接近于太阳黑子活动 11 年周期，二者是否存在相关性，还有待进一步研究。由上可知，通过对 CEOF 第一、二特征向量的时间振幅序列的功率谱分析，使我们进一步地了解到历史时期黄河中下游区域性旱涝的周期振荡特征，其自身变化是受多种因素综合影响，错综复杂，至于机制问题还尚待进一步研究。

（二）旱涝的周期振荡

从近 500 年黄河中下游地区旱涝变化的第一特征向量时间位相函数来看（图 5 a），历史上主要的旱涝事件，都是在一个相当固定的位相下出现的（ $\pm \pi$ ）。两个相邻的典型旱涝事件之间振荡周期的长短各有差异。本文统计了近 500 年旱涝事件位相转换日期及周期长度，分析指出出现频次较多的转换周期为 2~3 年，5~6 年。在近 500 年内，位相转换大约出现 75 次，就平均而言，每次平均振荡周期大约为 6.6 年。其中以 18 世纪旱涝振荡频数最多，大约为 18 次，也就是说该世纪内黄河中下游地区旱涝出现较为频繁，大约 5.5 年出现

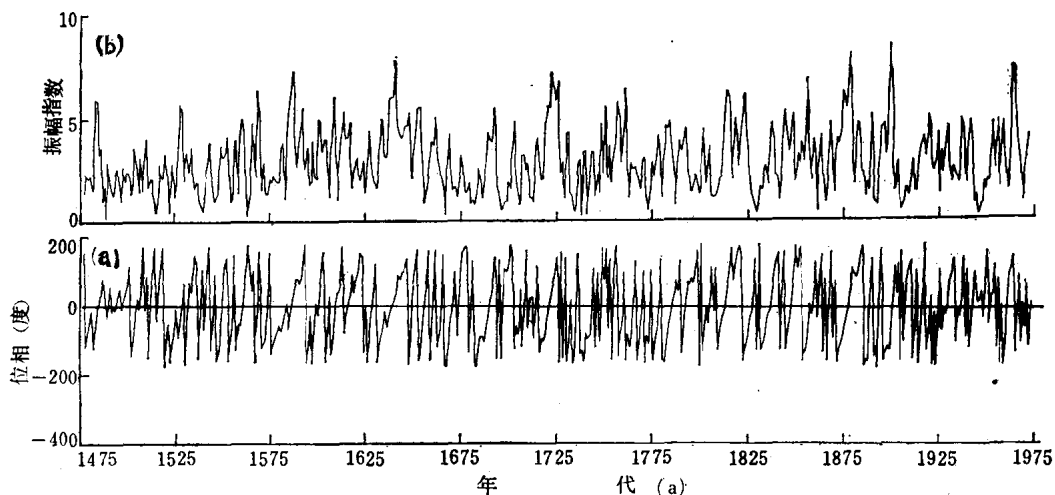


图 5 第一特征向量时间位相和振幅

a) 时间位相 b) 时间振幅

Fig. 5 The temporal phase and amplitude of the first eigen vector

a) phase b) amplitude