

2000年 中国水文展望



河海大学出版社

2000 年 中国 水文 展望

全国中青年学术讨论会论文集

中国 南京

1991年4月4日—7日

主办单位：国际水文计划中国国家委员会

赞助单位：河海大学

南京大学

河海大学出版社

(苏)新登字第013号

2041/36 19

编辑委员会

主任委员：梁瑞驹

副主任委员：李纪人 赵辛茅 胡顺福

委员：邢迎光 张行南 夏 军

程根伟 李长兴

2000年中国水文展望

河海大学出版社出版发行

(南京市西康路1号) 邮政编码 210024

常州市武进第三印刷厂印刷

开本1/16

印张 22.5

字数 440 千字

1991年10月第一版

1991年10月第一次印刷

印数 1—600册

ISBN 7—5630—0434—3/TV·60

定价：14.50元

序

我非常高兴地向同志们推荐《2000年中国水文展望》这本书。

今年4月4日至7日，由国际水文计划(IHP)中国国家委员会组织在我校召开了全国中青年《2000年中国水文展望》学术讨论会，73名代表来自全国21省市的水利、地理、地质、交通、农业、环境等部门，其中36名是博士或硕士，有的是我国近年自己培养的，有的是海外学成回国的。从提交会议的100多篇论文中选出69篇结集出版。

我亲身参加了这次学术气氛浓厚的讨论会，接触了这些朝气蓬勃的年轻人，看到了争先恐后发言的热烈场面，听到了敢想敢说，不唯书本的独到的科学见解。尽管这些年轻人的见解可能不那么严格完善，但是他们自己敢於脱颖而出的精神是值得鼓励和赞扬的。从这个意义上看，这次会议与其说是2000年中国水文展望，还不如说是中国21世纪水文英才的大阅兵更为确切。我对中国水文科学发展的前景充满了信心。

《2000年中国水文展望》涉及我国水文研究在预测技术、水资源规划与管理、城市水文、流域产汇流模型及洪水频率分析计算等方面的现状和发展方向，较为系统地介绍了分形、灰色系统、模糊理论、非参数理论、干旱监测和预测，水文研究的尺度与尺度间的关系、洪水预报的可靠性、遥感与遥测等新理论、新研究方向和新技术，以及水资源、水文预报、计算机应用和数据库、环境、生态、人类活动影响、节水型产业与农业等方面的研究成果。这些内容既具有我国水文科学研究特色，又吸收了近年来国外的新理论，新成果，反映了我国中青年水文工作者正活跃在水文研究与实践的前沿阵地，正担当着向水文学科各个新研究方向冲刺的重任，表现出了强烈的时代使命感与责任感，显示出一批治学严谨、思维开阔的水文人才正在茁壮成长，渐趋成熟。

在该书出版过程中，恰逢我国部份地区遭受特大洪涝灾害，这必然也给水文学科带来新的重大的研究课题。我相信，该书所有的作者一定会密切注视着这场百年罕见的洪涝，一定会积极参与减缓我国洪涝灾害的科学研究，也一定会取得超过本书水平的研究成果，从而对中国乃至世界的水文科学研究作出贡献。

河海大学校长，国际水文计划主席 梁瑞驹
中国国家委员会

1991年10月於南京

目 录

第一部份：回顾与展望

1. 水文尺度问题及灰色系统研究思想..... 夏 军(1)
2. 浅谈水文学研究中的几个主要问题..... 张行南(6)
3. 现代水文预测技术的基本问题及发展方向..... 程根伟(11)
4. 试论流域水文模型发展前景..... 费永法(15)
5. 流域水文模型前景分析..... 章上游(20)
6. 2000年中国水文情报预报研究问题谈..... 张建云 陈洁云(24)
7. 水资源系统分析的展望..... 董增川(29)
8. 平原水网地区水文水资源问题综述..... 刘德平(37)
9. 水资源研究的主要动向..... 费宇红 张光辉(41)
10. 流域汇流和随机汇流理论的研究进展..... 朱辰华(46)
11. 我国洪水频率分析40年的若干进展与展望..... 陈元芳 梁忠民(51)
12. 随机水文学在水资源系统中的应用前景与展望..... 朱承山(60)
13. 水文测验的展望..... 陆桂华(63)
14. 水文信息的采集与应用..... 王 玲 马文奎(69)
15. 我国水面蒸发研究的现状及展望..... 闵 骞(71)

第二部份：新理论、新技术、新方向

16. 非参数理论在水文学中的应用及发展趋势..... 郭生练(77)
17. 洪水预报的可靠性研究..... 李纪人(80)
18. 水文频率计算中的一种非参数估计方法—密度估计法..... 夏乐天(86)
19. 暴雨泥石流预报的研究..... 杨大文 石胜国(93)
20. 关于流域产流空间变化问题研究..... 李长兴(99)
21. 分形与水文学..... 吴伯贤 侯 玉(103)
22. 枯季径流模数与岩性的关系研究..... 陈志明(107)
23. 北京城市水文研究现状及城市水文学展望..... 薛 燕(113)
24. 节水农业的一个重要研究方向——晋中旱作农业降水资源的利用途径
张谢裕 刘勇战 陈意平 刘振林 刘学荣 张海龙..... (117)
25. 灰色系统理论与水文水资源研究..... 李正最(122)
26. 灰色系统理论在水文科学中的应用及前景..... 张 平 刘 毅(126)
27. 用模糊集理论研究水位流量关系及其它水文测验问题..... 李正最(130)
28. 遥感技术在水文学中的应用与展望..... 赵学丽(134)

29. 遥感遥测技术在洪水预报和防洪调度中的应用.....李致家(139)
30. 土壤水资源的农业评价.....张和平 袁小良(145)
31. 浅谈建库后的水文响应及研究动向.....夏 明(151)
32. 突出水文学研究的社会性和加强节水型产业研究.....何大明(156)
33. 试论干旱研究及减灾对策.....李长兴(162)
34. 区域水资源研究与地理学.....胡顺福(166)
35. 水资源连续旱涝的随机分析技术.....阮 博(172)

第三部份：研究成果

36. 水资源系统的多目标模糊优化.....陈守煜 周惠成(177)
37. 概率权重矩法普遍实用性的探讨.....杨荣富(186)
38. 水文统计模型参数 MVUE 值的逼近方法.....梁忠民(191)
39. 现行几种权函数估计法的比较.....陈元芳 侯 玉(199)
40. 水资源区域再分配分解协调规划模型.....胡顺福 杨 戊(206)
41. 珠江三角洲网河区水资源研究与展望.....张 立(220)
42. 含融雪结构的三水源新安江模型在天山山区的应用.....姜卉芳 杨秀松(223)
43. 黄河中下游洪水预报的现状、问题和发展.....赵卫民(228)
44. 水箱模型在岩溶地区的应用和改进.....刘再华 戴爱德 莫小平(232)
45. 沂河洪水预报存在问题及其改进方向.....孔祥光(238)
46. 北京市水库水质控制与生态经济问题的展望兼论生态经济环境水利模式
.....段 伟 沈增卿(241)
47. 大兴安岭森林地区人类活动对水资源影响的研究与展望
.....敖伯君 刘恒丰 王文华 于国贤(246)
48. 黄河信息系统(WISY)总体设计.....张国泰 胡文杰 张士秀 王智进(251)
49. 微机水文绘图程序库的建立及其在水文数据中的应用.....孙永堂(265)
50. 工程水文特征值数据管理系统的研制.....谢少权(273)
51. 微型计算机绘制降雨等值线图.....崔信民(279)
52. MCS—8098 单片机在测流控制中的应用.....左仲元(284)
53. 暴雨统计特征资料计算机数据检索系统.....周 仪 陈务钢(289)
54. 设计雨型分析的模糊聚类方法.....钱王骋 廖伟国 江火柴(296)
55. 海河流域区域性大暴雨影响系统分类及特征分析.....徐志龙(302)
56. STD总线工业控制机在水文缆道上的应用.....李 里 范 宏(306)
57. 关于桥上测流的探讨.....武保志 唐国田(313)
58. 破冰技术现状与展望.....敖伯君 王宝成 苏 斯 王 峰(317)
59. 长江泥沙影响因素及发展趋势.....刘 毅 张 平(320)
60. 珠江河口水文的研究现状及展望.....姚章民(325)
61. 气象水文现代技术综合应用于流域洪水预报的现状与前景展望
.....赵辛茅 徐利群(329)
62. 水文气象长期预报走向2000年.....徐利群(332)

63. 雨量计测量精度分析.....	武宝志	3 35)
--------------------	-----	--------

第四部份：其它

64. 广东省水文自动测报系统建设概况.....	兰 标 莫荣强	(338)
65. dBASE—Ⅲ数据库技术在江苏防汛工作中的应用情况介绍	朱建英	(341)
66. 参数估计法预报降雨量的个例计算.....	刘金翠	(343)
67. 计算机在山东省水情工作中的应用.....	宋少文	(347)
68. ORACLE数据库管理系统介绍	苏炳裕 吴春建	(350)
69. 从内蒙实际探讨水文情报预报几个方面的发展方向.....	刘惠忠	(353)

水文尺度问题及灰色系统研究思想

夏 军

(武汉水利电力学院)

一、引 言

作为地球科学的水文学研究对象,包含了涉及地球水圈范围内所有尺度伴随现象的全部物理过程以及它们之间相互影响。但是,适合于各种尺度的水文学理论还没有真正找到。目前欲寻求水文学规律,首先要探讨不同尺度的水文规律式特征,然后设法找出它们之间的联系。

问题在于怎么去认识不同尺度水文规律?怎么去发现和建立它们之间的联系呢?除了坚持水文科学实践,积累经验之外,还有一个很重要的科学方法论问题。本文将水文尺度问题为引导,谈一些初浅看法,供“抛砖引玉”。

二、水文尺度问题与模型化

Dooge教授和 Klemes 博士等曾对水文尺度问题进行过较广泛的讨论。就水文学研究范畴而论,水文尺度通常可按三个量级划分,即宏观尺度、中观尺度和微观尺度。另外还需要区别空间尺度和时间尺度。1986年,Dooge教授曾提出了水文尺度的9个子类划分,一并列入表1中。虽然划分不是绝对的,但它却为讨论范围较广的水文尺度问题,提供了一个基础。

表1 水文尺度分类 (Dooge, 1986)

类别 分类		空 间 尺 度			时 间 尺 度	
大类	子类	系 统	典型长度 (m)	典型面积 (km ²)	类 型	量 级
宏观	1	全球	10 ⁷	10 ⁸	地球演变	10 ⁹ 年
	2	大陆	10 ⁶	10 ⁶	侵蚀循环	10 ⁶ 年
	3	大流域	10 ⁵	10 ⁴	太阳黑子	10年
中观	1	小流域	10 ⁴	10 ²	地球轨道	1年
	2	子流域	10 ³	1	月球轨道	1月
	3	水文模块	10 ²	10 ⁻¹	地球自转	1日
微观	1	代表性单元	10 ⁻²	10 ⁻¹⁰	试验过程	1秒
	2	连续介质点	10 ⁻⁵	10 ⁻¹⁶	连续介质点	10 ⁻⁶ 秒
	3	水分子	10 ⁻⁸	10 ⁻²⁰	水分子	10 ⁻¹⁸ 秒

很显然,流域水文学涉及到中观和宏观尺度水文问题。它与微观尺度有什么联系和特征呢?几点讨论如下:

(一) 微观尺度模型及简化

微观尺度水文要素变化范围与物理学研究对象比较相近,因此可以利用数学物理方法建模。例如基于连续介质力学原理,水文学描述的水质点运行,多年假定为牛顿流体(线性粘性流体),本构关系为

$$T_{ij} = K_{ijmn}(\rho, \theta) \cdot D_{mn} \quad (1)$$

式中 T_{ij} 和 D_{mn} 分别为二阶粘性应力和应变率张量, K_{ijmn} 是与温度(θ)和密度(ρ)有关的四阶张量,含81个元素。

为了减少复杂性,需假定水是各向同性,均质和不可压缩的。式(1)可简化为著名的Navier-stokes(简记N-S)方程,分量形式为:

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = F_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} - \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (2)$$

式中 u_j 为 j 方向流速, F_i 是水体质量力在 i 方向分力。

N-S方程是一组偏微分非线性结构的数学物理模型。随着尺度增加,为描述相应的水文问题,原来的“理论”不得不再进行简化和再参数化。例如,在土壤水运动研究中,对雷诺数 $Re < 1.0$ 的多孔介质水流,N-S方程式(2)中的左端项假定为零。为了导出熟知的Darcy渗流方程,简化式还必须对整个断面、时间和流速积分,并结合土壤充分供水的渗透性再参数化,最终导出平均流速关系为

$$\bar{u} = \frac{K_j}{\mu} \left(F_j - \frac{\partial P}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

式中 K_j 为 j 方向渗透系数。对土壤包气带非饱和水流运动, K_j 还与含水量有关。

N-S方程在明渠紊流和非恒定流应用,也涉及到许多主要变量均化简化。如一维明渠水流方程首先由Saint-Venant导出。相对式(2),它不仅均化流速,而且忽略二阶项作用,即

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\tau_0}{\rho R} + g \frac{\partial z}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

式中, R 是水力半径; z 为水位; τ_0 是平均边界剪力,它需要用平均流速建立关系,实际中则采用熟知的曼宁公式进行近似表达。

从前述的N-S方程引伸出的几个微观尺度水文模型实例说明了这样一个事实:现行的物理模型是建立在许多假定和简化基础上的产物,也有它的特别性。另外,随着水文尺度增大,原来的模型必须做大量的简化和再参数化,以适应新的条件,这是不同尺度水文物理模型变化的一个重要特征。

(二) 中观和宏观尺度模拟问题

1. 空间变异性。在降雨、产流和汇流各环节中存在明显空间变异性,或许是流域水文学固有的复杂性之一。为了消除分析上的困难,目前不得不采取假定某种关系或再参数化处理。例如,对土壤下渗空间变异,有人基于土壤几何相似假定,采用标定方法进行单一关系处理。对降雨空间变异性,有的用点面关系或距离相关分析。在流域产流不均匀处理中,较多采用了统计概念的非均匀蓄水容量曲线关系等等。问题是流域空间变异性与水文尺度变化

的内在关系是什么？认识也很困难。国外 Sharman 和 Vaucein 等曾基于面积尺度从 0.1 平方公里到 1.0 平方公里的野外试验，发现非饱和土壤水参数空间变异可达两个多数量级范围，并且与地貌和土壤类别没有明显关系。就土壤水分参数标定理论看，标定因子又要变化（并不是标定常数），实际中多假定为随机变量。

2. 单元与系统。在齐次均匀条件下，单元模型可以与物理模型建立关系。但是，由于空间变异性等影响，单元尺度的水文机制并不是完全确定的，而是一种“灰”关系。如 Kirkby 在山坡水文学研究中曾给出不同径流成份与面积关系的灰带图典型实例。

我们的问题在于：单元与系统有什么关系呢？一个集合的系统规律就是单元机理的简单叠加吗？实践中一些水文学者的认识并非如此。许多例子表明：当尺度变化上升到一定范围，如大流域情况，尽管它是由许多非线性和空间变异量的单元组成，但从系统观点导出的流域总的响应是均匀非线性或者近似为线性关系。例如，早在 60 年代 Machmeier 曾细致研究了由 427 个非线性、空间变异单元构成的 40 级流域系统关系。他们发现试验观测结果遵循均匀非线性相似准则。笔者 1989 年在爱尔兰 U·C·G 工程水文系工作期间，曾收集资料进行了线性系统和非线性系统方法的平行对比分析，结果发现：在干旱半干旱或半湿润地区和中、小流域，水文的非线性现象比较明显，非线性系统模型应用效率（尤其是洪峰值预报）明显优于线性系统方法。但是，随着流域面积增大，尽管非线性模型效率也会优于线性模型，但在同一气候区的系统响应特征，（特别是洪峰拟合指标 EMS），确有趋于均匀非线性或线性化特点。从现行牛顿力学理论上讲，不能证明大量的各向异性单元水体的复杂关系总和可以同某个集总或均匀非线性（甚至线性）系统相“等价”。然而，客观上的确出现这种现象，如果这种特征是一种规律的话，则不同尺度水文的联系需求助于新的理论解释。例如基于协同学或者灰色系统理论观点，流域系统动态过程在时间上是不可逆的（如水文现象无重复性等）。流域是一个有“自组织”功能的系统，它使各单元水文机理在总体运动中产生协调效应，形成新的运动特征和规律。这种认识是否正确，有待更多的实践与检验，但从方法论看，采用新的思维或新的理论来认识事物本质是有帮助的。

3. 流域尺度因子影响。Dooge 教授曾谈到：“水文规律的研究是复杂现象中找出简单关系的研究”。如果不是从微观尺度模型再参数化入手，另一种途径就是直接找出中观或宏观尺度影响规律。例如，Horton 曾提出地貌特征参数（河流数和流域平均长度等）的几何理论，Straner (1952) 年建立了河流分级原则。Rzhanisy 曾运用地貌特征拓扑参数（如河流级）与平均流量相关，有很好的直接关系。笔者在最近的水库洪水判别准则问题研究中，也发现流域尺度与洪水过程有较好关系。

近些年，基于 Horton 地貌律的地貌单位线方法也得到一定发展。另一个开展宏观尺度水文学研究的途径就是建立长时期流域或区域的水均衡关系，如水资源分析评价中流域气候，土壤植被与水文学的动态关系等。由于宏观尺度水文复杂性，不确定性问题也更为突出。1978 年，Eagleson 应用随机动力学方法，研究长时期水均衡关系。他借助统计方法把动力学观点引入到宏观水文描述，引人注目。

前述的不同尺度及模型化问题似乎说明了这样的观点：水文学研究需要走确定论与不确定论相交叉、微观机理分析与宏观系统分析相结合的途径，符合这种思想的方法论应该得到提倡。

三、一种水文灰色系统分析思想

水文系统是一个有原型的物理系统。就中观和宏观尺度水文问题而论,有较强的非线性动力学特征和高度的复杂性,由于各个环节的水文过程仅部分被观测,并且样本系列不长,信息不完全问题比较突出。为此,我们希望从水文学角度的自身问题分析出发,提出一种水文灰色系统的研究思想,供分析探讨。

什么是灰色系统?按照灰色系统理论创始人邓聚龙教授解释,部分信息已知部分信息未知或非确知的系统称之为灰色系统。在研究和处理信息不完全问题及这类系统分析方面,灰色系统方法有其二套思想和手段。笔者在此提出水文灰色系统研究思想的目的在于:倡导大中尺度系统的一种方法论探索。它的学术观点简单地选择下列二个方面来说明一二。

(一) 广义不确定性分析观点

对中观和宏观尺度的水文问题,系统的广义不确定性需要给予承认和研究,在模型中应予以描述。什么是水文的广义不确定性呢?一般认为是下列两方面总和:一是水文观测的不确定性,另一个就是对水文系统认识上的不确定性。前者来源于水文观测误差干扰,后者主要源于水文现象复杂性和仅部分被观测造成对水文客观规律认识的非唯一,或对一个复杂客体做了一定程度简化,“模型”与原型在结构或参数方面产生了偏差等等。在实际中,上列两种不确定性往往交织在一起,不易严格区分。在这种情况下,可以把它们的总和,视为“灰色”特性。

水文灰色系统分析旨在从整体上抓住研究对象的主要特征。它对系统描述也要有简化和抽象,但是留有余地。思维方式与严厉(白的)和放纵(黑的)比较,它是采用宽容、客观和辩证(灰的)态度。灰色系统分析与现行的大系统分析理论是一致的,不同的是它强调了对系统广义不确定元(软量)的描述。例如,它对流域水文动力系统分析,是一种验前验后综合的分析方法。在建模之前,它强调充分利用现有的各种验前知识和物理信息,构造一个初步的系统结构框架,但它并不认为这些都是确定性,不确定性的部分应通过设置软量(灰元 灰结构)纳入到整体系统研究。在水文尺度问题中,它试图针对再参数化环节,通过设置灰元灰结构,建立微元和整体关系。兹举一例,作者在流域汇流非线性分析中,曾基于局部尺度微元水体运动的扩散波水流方程组,通过再参数化,建立一种集总的非线性系统方程组。它有三个参数(a, m, x)。在规则河渠中,与微元局部尺度因子关系为

$$a = \frac{\sqrt{S_0}}{nB^{m-1}dL^m}, \quad x = \frac{1}{2m} \cdot \frac{(h/dL)}{S_0}, \quad m = 1.67 \quad (5)$$

式中, B、dL、h分别是微元水体的宽、长和高, n是曼宁糙率。它们提供有用的物理概念和参数区间信息。但是,当水文尺度上升到流域系统,式(5)的对应关系发生变化。它们整体呈现为“灰”关系。例如,通过实际洪水资料分析,发现参数m的惰性最强(较稳定),而参数a敏度最大, x次之。从微观尺度的参数信息映射看,综合水文物理分析有:

$$a \in (0, +\infty), \quad x \in [0, \frac{1}{2}], \quad m \in [1, 3] \quad (6)$$

宏观的系统参数识别与微观的定性分析结论是一致的,因此,我们直接把微观尺度模型参数定义为灰色参数,将非线性单元模型应用到流域系统,获得了水文模拟预报更好的效果,同时也可分析模型参数的灰区间和不确定度。

〈二〉灰色系统白化的观点

顾名思义,灰色系统是信息不完全系统。为了使系统白化,需充分利用和发掘一切有用信息,它包括系统“内”部和“外”部的测量、了解和验前知识,以及生产数据等。通常可以多途径开发与获取。

对于中观尺度的水文研究,灰色系统的观点认为:除了吸取现行黑箱子方法和概念性模型的优点之外,还应强调充分利用系统内部结构的信息。例如,对系统的结构尤其是灰色参数识别,仅靠外部的观测(如降雨、径流等),往往会出现“不可识别”、“非适定”等一些问題。从其实质上,未知参数定解的信息量不够,需要补充信息或附加约束,除了加强微观物理观测等其它途径外,从系统分析讲可以利用模型结构的映射关系或参数间的运算间接获得它们变动的范围、边界信息等,达到灰结构和参数白化的目的。这里面涉及到灰系统分析问题。下面仅列举灰参数概念。它指只知系统中部分信息而不知其准确数字的参数。如果把有明确物理概念、量纲且可测的参数(如万有引力常数 $g=9.81\text{ms}^{-2}$ 等)视为“白”参数,回归系数等视为“黑”参数,则概念性模型的许多参数属于“灰”参数。灰数种类很多,如离散段灰数,本征性灰数,区间灰数等。后者除了用灰区间表达外,即记为

$$x_i(\otimes) = [\underline{x}_i, \overline{x}_i] \quad (7)$$

还可用圆盘术表达,即

$$x_i(\otimes) = [\hat{x}_i - r, \hat{x}_i + r] \quad (8)$$

式中 $\underline{x}_i$, $\overline{x}_i$ 分别为区间下、上界, $\hat{x}_i$ 为中点值, r 为区间半径,可简单由 $(\overline{x}_i - \underline{x}_i)/2$ 估计。一种最简单的灰参数识别方法可简化为用一个二步数学规划完成,即先设 $r=0$,按现行确定性识别的 n 维非线性规划,确定未知参数中点值 $\hat{x}_i$;然后,令 $r \neq 0$,由系统输入和输出区间信息和已知 $\hat{x}_i$,由一维非线性规划识别最优 r 即可。这种方法可推广到多参数的流域概念性模型应用中去,其中的参数不确定性能通过区间分析确定,也能为水文预报等提供区间信息。

最后需要指出,灰色系统方法与现行随机分析和模糊数学方法是既有联系又有区别的。差别在各自的理论体系不同。前者对区间分布是验后分析,验前可不做任何假定。相反,随机分析必须验前把分布定死,否则将无法计算。当然,灰色系统理论还十分“年轻”,还有许多基础性工作和实际问题需要进一步研究完善。笔者相信,通过多种途径探索,会在实践和比较中发现“真理”,扬长弃短,找到能真正解决水文复杂性分析的系统方法,这也是本文提出问题的主要目的之一。

四、结 语

1. 水文尺度问题是水文基础研究重要课题之一,除了需要研究不同尺度水文规律之外,还需要研究它们之间可能的联系。水文系统分析的方法论应予以提倡。

2. 水文灰色系统方法试图研究中观尺度的广义不确定性及应用实践问题。它采用灰色系统分析思想,来描述,识别和白化复杂系统关系,它强调“灰”与“白”的辩证关系,处理系统复杂性和信息不完全建模等问题,基本提法合乎水文实际,值得在实践中发展和进行检验。

3. 在流域尺度水文学中,应该强调确定论与不确定论交叉、微观机理和宏观系统分析相结合的研究途径和科学方法论思维,提高水文科学研究的水平,促进水文应用发展。

浅谈水文学研究中的几个主要问题

张行南

(河海大学水资源水文系)

1988年,召开了“河海大学邀请科学讨论会—水文学的回顾与展望”。提交的论文涉及到水文科学的回顾与展望,水文学研究方法等,对水文科学的现状与存在的问题进行了评述,对学科的发展趋势和研究方向展开了热烈的讨论。我们年轻的水文工作者,担负着未来水文学研究的重任,学科的发展需要我们来接班。所以,从某种意义上来说,对学科未来发展的讨论,更需要我们年轻人的参与。为此,作者试图从年轻人的角度,谈谈水文学未来发展中的三个重要问题。

一、基础科学和应用科学研究之间的问题

基础科学和应用科学之间的关系,历来为众多的专家、学者和科技政策决策者所瞩目。基础科学研究主要是研究自然界的基本规律,是对已有的或者新发现的规律、现象的高度概括和总结,是带有普遍意义的理论,是整个科学研究的心脏部分,其不断结果的研究成果,是整个科学不断发展所依赖的资本。应用科学主要研究和技术有关的基本规律,适用于比较具体,狭窄的范围,研究结果往往直观,经济效益快而明显,所以,具有较大的吸引力。

由于两种科学上述的特点,决定了它们在整个科学研究体系中的关系。几乎所有国家对应用科学研究的投资都远远超过了对基础科学研究的投资,国家越不发达,这种差距越大。世界上最发达的国家之一美国,用于基础研究的经费,占总研究经费的7%左右。我国目前该比例也达到了7%左右,是比较高的,但在过去的十多年里,国家的科研政策很明显地倾斜于应用科学的研究。我国最高级别的,主要用于基础科学的“国家自然科学基金”,每年的资助额只有1亿多一点人民币。科研提成,国家有明文规定,横向生产课题,可提取结余部分的30%作为课题组的科研服务津贴,而纵向研究课题,只能提取5%,这大大提高了应用科学研究的吸引力。

在现代,应用科学的发展,要依靠基础科学的发展,但基础科学的发展已经不是和应用科学无关了,它也要依靠应用技术的发展。当代的基础科学和应用科学互为基础,科学和技术紧密地结合在一起,形成了一个有机的整体,两者都不能偏废。在以往的科学研究中,很明显对经济效益考虑得太多了,而对基础性科学研究重视不够。所以在1991年3月8日结束的全国科委主任科技司长会议上,国务委员兼国家科委主任宋健指出,只有对基础性研究给予强有力的支持,科技、经济的持续发展和繁荣才有坚实的基础。并说,“八五”期间,基础研究在科技拨款中的比重将比“七五”期间增加1个百分点,从7%提高到8%,”九五”期间将提高

到10%，这足以说明了目前对基础研究的重视。

水文学是自然科学的一个分支，学科的基础性和应用性研究，同样都不能偏废。但和其它学科一样，目前基础性研究做得少了。而应用性研究做得多了。长期以来，水利工程统治了水文学，传统的测、报、算常常围着水利工程转，水文学的发展，依赖于水利工程，制约于水利工程，水文学变成了工程水文学的代名词，对结果精度的重视远远超过了对水文客观规律本身研究。这也是为什么现在许多著名水文学家都普遍认为水文学科学水平低，还没有成为一个完全独立的学科的原因之一。为了实际生产任务的需要，应用性研究是必须的，但水文学学科水平的提高，必须依靠对水文客观规律认识的不断提高。我们年轻的水文工作者，尤其是主要从事研究工作的年轻水文工作者，应明确自己学科接班人的身份，更多地从事基础理论方面的研究。

目前，水文学领域中需要进行的基础性研究工作很多，下面就作者比较熟悉的方面举二个例子。

流域产汇流理论，在水文学中占有很重要的地位。目前，相对来说理论水平比较高。流域水文模型是在产汇流理论基础上对客观水文规律的模拟，是模拟，就必须对客观规律进行简化和假设，设计一定的结构和参数。作者认为，目前对模型本身的技术问题已研究得很多了，今后的研究，应着重放在对上述简化、假设、结构、参数的合理性检验方面，探索其与客观规律的符合程度，从而正确评价现有流域模型的价值。模型中的简化和假设很多，例如：各物理量在水平向和垂向的分布问题，土壤水分的垂向交换问题，自由水和张力水的交换问题，非线性规律问题，水源划分问题等等。模型中的许多参数的物理意义及定义也还没有得到充分的论证。流域模型基本上还处于简化和假设的水平，上述问题解决了，流域模型的水平就提高了，产汇流理论水平也就随之提高了，进而从根本上解决模拟精度问题和模型的用途问题。

统计理论在水文上的适用性也是一个具有争论性的问题。现实世界上任何现象都有其客观原因，不存在没有原因的结果。来到某个断面的水分子，都经历了一个可以用动力学来描述的确定性运动过程，可研究每个水分子的运动过程非常困难，但某个断面的实际流量是具有一定的规律的，夏季流量大于冬季，年来水量大于某一定数的可能性有多大，等等。这是一种客观水文规律，统计学可用来研究水文规律。当然，我们研究的重点不应该放在象怎样适线，甚至定线的粗细这种纯技术性问题上，而应放在规律本身的研究上。如年径流量系列是否是平稳的，各态历经的，系列的相关性，样本与总体的一致性等等。

二、学科的综合、交叉和新技术的应用

人类对自然的认识，不论是对宏观还是微观，都已进入了更深的层次，现代各门自然科学之间，出现了越来越多的相互渗透的交叉学科，形成了科学的更为完整的理论体系。

水文学的研究范围在地圈和水圈的结合部分。地圈中的水来自于大气，所以水文学的研究不能只限于对降至地面上的降水的研究，而必须对降雨的形成原理、过程，从天气学、气象学的角度进行研究。降雨还与地形有关，所以又需与地理学研究相结合。PMP 是这方面研究成果的一个例子，但目前以“同倍比放大”为主导的PMP，结果的合理性有待于进一步的讨论，“典型”的选择，作者认为是其问题之一，如将“75.8”暴雨移植到全国，那几乎所有水库

都变成了险库。最大暴雨主要是取决于暴雨的时空特征，但它另一方面，又要取决于许许多多其它对其产生影响的因素，而这些因素往往又是符合一定的统计规律的，将频率分析、相关分析等方法与现有的 PMP 相结合，可能是最大可能降水研究的一条出路，如果这条路径可行，那 PMP 又与统计学联系到了一起。根据气候学家的推测，近三、四十年内，全球的平均气温可能会升高一度左右，结果是冰雪融化增加，海平面上升，影响到我国，东北降水量增大，增加了洪水爆发的可能性，华北降水量减少，加剧了干旱的程度。这是水文学与气候学交叉的又一个例子。

流域产汇流，主要研究降水在地表与地下之间，自由水与张力水之间的再分配，以及它们在地表、地下的运动规律。它涉及到地质、地理、气象、气候、植被、土壤、人类活动等许多方面。

水利经济，长期都没有得到重视。“安全第一”的概念在我国根深蒂固，不管是水库防洪，还是供水保障，保险系数常常是加了又加，如果一座水库为了过分强调安全而增加的费用在概率的意义上超过了溃坝造成的损失，那我们为什么不能冒点风险呢？美国所有的水利工程，都由经济比较分析得出风险系数，最后形成法律。水利经济的研究，离不开经济、政治、社会、人文等各学科的综合研究。

融雪径流，森林水文学，Karst 水文、沼泽水文以及水质，冰情、干旱等许多水文学的边缘学科，实用性很强，与有关学科之间，都有着非常紧密的联系。

水文学研究领域中，多学科交叉是必不可少的，新技术的应用也是必不可少的。众所周知，为了求物体在任意时刻的运动速度和加速度，以及求曲线的切线，牛顿和莱布尼兹同时创立了微积分。所以，有人认为水文学之所以水平不高，还没有完全成为一门独立的学科，是因为还没有找到一个专门用来描述基本水文规律的工具。这种观点有一定的道理，但并不全面。水文学远比微积分来得复杂，很难用一个或一组通用的数学公式来描述所有的基本水文规律。另一方面，水文学与其它学科具有许多共同点，描述这些共同点的工具，包括数学和其它工具，也应该可以用于水文学。微积分不但用于求速度，在水文学中的应用也比皆是。

水文学中的大循环、小循环，都是一个具有明确的输入、输出的系统，水利经济、水库群联合调度，都具有系统的性质，可以用系统工具来描述。流域水文模型，降水、蒸散发能力是输入，蒸发量与径流是输出，整个模型是个系统，所以模型参数的率定可以用系统的方法。专家系统是一种特殊的系统，它是专门为处理专家经验而诞生的一个专门学科，水文学研究中应该作专家系统的尝试。

当然，现成的数学方法和工具的利用，不能生搬硬套，要在充分了解其基本原理，适用条件等基础上再加于利用。美国曾有人利用概率来研究地貌单位线，所用到的与水文有关的信息只有流域平均坡度和河道长度。事实上研究流域汇流可利用的信息远不止这两项，而且我们目前的研究水平也远非只用了这两个因素。这种脱离水文的研究水文，不是发展方向，应力争避免。

水文学看起来“很土”，其实并不然，客观水文规律还是很复杂的，牵涉的面广，影响因素多，没有长期的研究和实践经验，要想了解水文学是很困难的。由水文学领域的专家去学习领会有关学科的新技术、新工具，用之于水文学，是水文学研究的一个发展方向。

由水文学领域的研究者学习借用其它领域的新技术对水文学研究比较有利。可目前的水

文研究者的队伍中太“专”了，对相关学科知识的掌握远远达不到与水文学发展相适应的要求。高校水文专业的课程设置也太“专”，知识面不够。新技术的应用，往往是相关学科领域的专家找上门来，而不是我们水文领域的工作者根据实际问题的需要去寻找新的技术。解决这一问题，一方面要不断扩大水文学研究者自身的知识面，提高学科交叉、综合研究能力，另一方面要主动与相关学科的专家共同合作研究。我们年轻人，应发挥接受能力强的优势，努力扩大知识面。否则，在不久的将来，将不可避免会有被淘汰的危险。

三、水文实验研究和水文资料

水文实验研究和水文资料的重要性是众所周知的。Horton的下渗理论和Kirkby的山坡水文学，都是在大量的野外观察和实验研究后总结起来的。我国的子洲、姜湾、滁县等径流实验站，也曾取得了不少有价值的成果，其中不少成果目前还在应用。测验资料的重要性更不用多说了，精度很差的资料可以使得概念性很强的流域水文模型、模拟出比等流时线法还差的流量过程。目前几乎所有的研究工作都基于水文测验资料作为输入，尤其是计算机高速发展的当今时代，对资料的依赖性更大了。

然而，实验和测验的现状如何呢？实验工作已明显削弱了。实验成果已很少能听到了。水文测验看起来规模仍然很大，每年都有一套整编资料出版，可资料的可靠性和精度的问题已越来越突出。例如，雨量计的安置不合要求，有的安装在四周都有建筑物的空地上，有的为了观察方便，安装在离屋缘一、二米的地方，有的埋入杂草中，观测者背着雨量筒走亲戚也并非笑话，不按任何规律观测的问题更是普遍。作者虽未作过统计，但亲眼看到的不合格的雨量计太多了。布站不合理，也大大降低了雨量站的代表性。站网密度也是沿海地区大，内地小。洪水测验，低水部分比较正规，而洪峰及大洪水，由于测验手段水平低，往往只好用浮标，大大降低了资料的精度，而这些极值资料，又恰恰是最可贵的资料。难怪有人说我们目前的水文学研究是“麻袋上绣花”，这并不完全是夸张。

引起上述现状的原因，主要有以下几个方面：

从事实验和测验的工作者，虽然队伍庞大，但平均业务素质低。

重视不够，许多人不愿意从事长期而艰苦的观测工作，科研人员不太愿意从事这方面的研究，目前还没有一个专门从事测验研究的教授或研究员。

经费缺乏，现有的经费，难于负担庞大的经费开支。

技术手段落后，降雨、流量测验，还是十几年以前的雨量筒，流速仪和绞车。

解决目前水平低的现状的根本途径是新技术的应用，技术手段先进，则所有的问题都迎刃而解了。可喜的是目前这方面有了很大的进展。

例如：遥感，从可见光、红外到微波，取得了很大的进步。微波遥感能做到全天时，全天候，这对常常伴随着恶劣天气的洪水的实时监测非常有利，水利部遥感中心，已测得在暴风雨状况下洪水淹没图，这对防洪决策将起到决定性作用。在一定的波长，入射角，极化方式和分辨率等条件下，微波遥感能测出精确的土壤含水量，随着技术的不断发展，测量精度将越来越高，测量的深度范围将越来越大。土壤含水量的精确测量对水份在土壤中运动规律的研究将起到很大的推动作用，给地下水资源评价提供可靠的依据。遥感对地形、土壤、植被测量的可靠性，可给流域产汇流提供了更多的信息。遥感对污染、冰雪复盖、河口

与湖泊泥沙淤积、河道变迁等都是有力的测量工具。首先获得“75.8”详细资料的是美国的气象卫星，气象卫星不但能实时测量降水及流域面上水体的分布与变化，而且能对未来天气形势作出预报。

再如，自动化遥测系统，不但大大降低了劳动强度，而且大大提高了资料的精度、可靠性和及时性，给防洪和水库调度带来了巨大的效益。国内已有许多流域建立了自动化测报系统，并以每年几十个流域的速度在增加。

站网的合理规划，巡测等手段，也给径流的测验注入了新的活力。

利用先进的技术和手段是今后发展的必然趋势，只有先进的新技术、新手段，才能从根本上解决实验和测验工作繁重、枯燥、艰苦的问题，提高资料的可靠性和精度，扩大信息量，使我们未来的学术生涯免于陷入“麻袋上绣花”的泥沼。

结 语

年轻的水文工作是学科未来发展的接班人，开展对学科未来发展趋势的讨论尤为重要。在未来的水文学研究中。年轻人应发挥接受能力强，视野开阔的特点，重视学科的基础性研究，应努力扩大知识面，提高学科交叉与综合的研究能力，应充分明确水文实验研究和测验的重要性，致力于实验和测验的理论研究和新技术的应用。