



水资源承载与绿色协调发展

报告人：左其亭

郑州大学 水利与环境学院
水科学研究中心

2017-7-27

特别声明



本课件为2017中国水资源高效利用与节水技术论坛专家发言材料，仅供参会人员内部交流使用，禁止外传及作为他用！

本届论坛支持单位：中国水利学会

本届论坛主办单位：河海大学、中国水利经济研究会、黑龙江省水利科学研究院

更多信息可关注微信公众号：swltzx

论坛会务组

电话：010-6320 3233

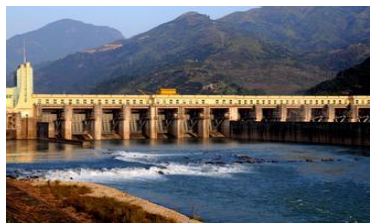
网址：www.sinowbs.com

地址：北京市西城区白广路北口水利部综合楼732

汇报提纲

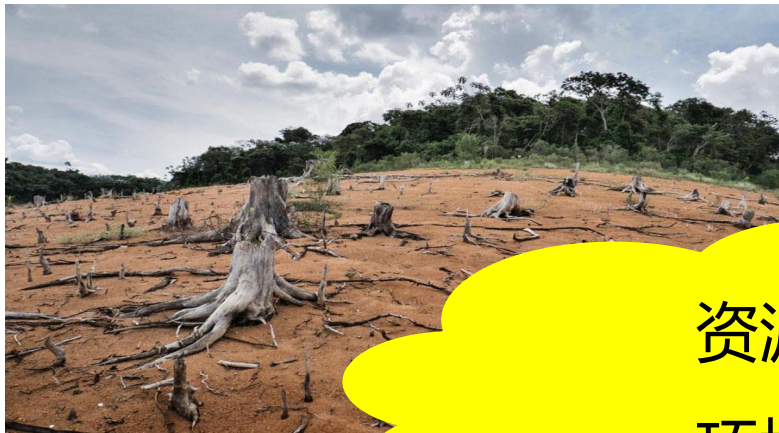


- 一、绿色协调发展的提出与解读**
- 二、绿色协调发展对水资源需求**
- 三、水资源承载力研究总结与思考**



一、绿色协调发展的提出与解读

经济社会快速发展——→威胁人与自然的和谐！



资源浪费！

环境污染！

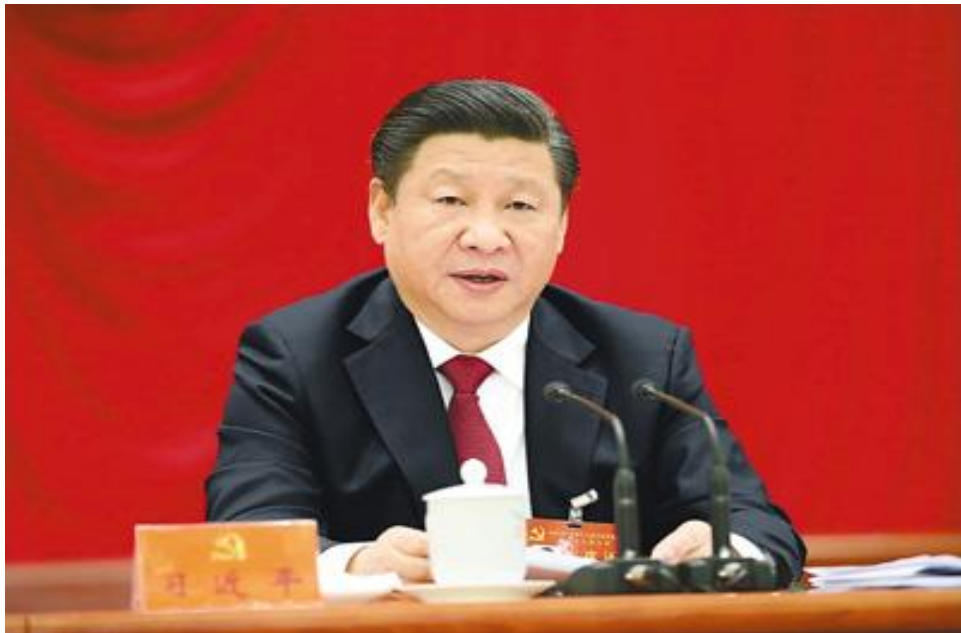


资源浪费



环境污染





习近平总书记在党的十八届五中全会中，提出牢固树立并切实贯彻“**创新、协调、绿色、开放、共享**”的发展理念。



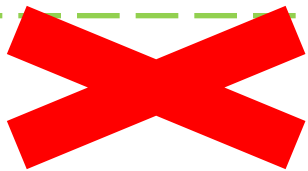
摒弃

粗放型增长模式：

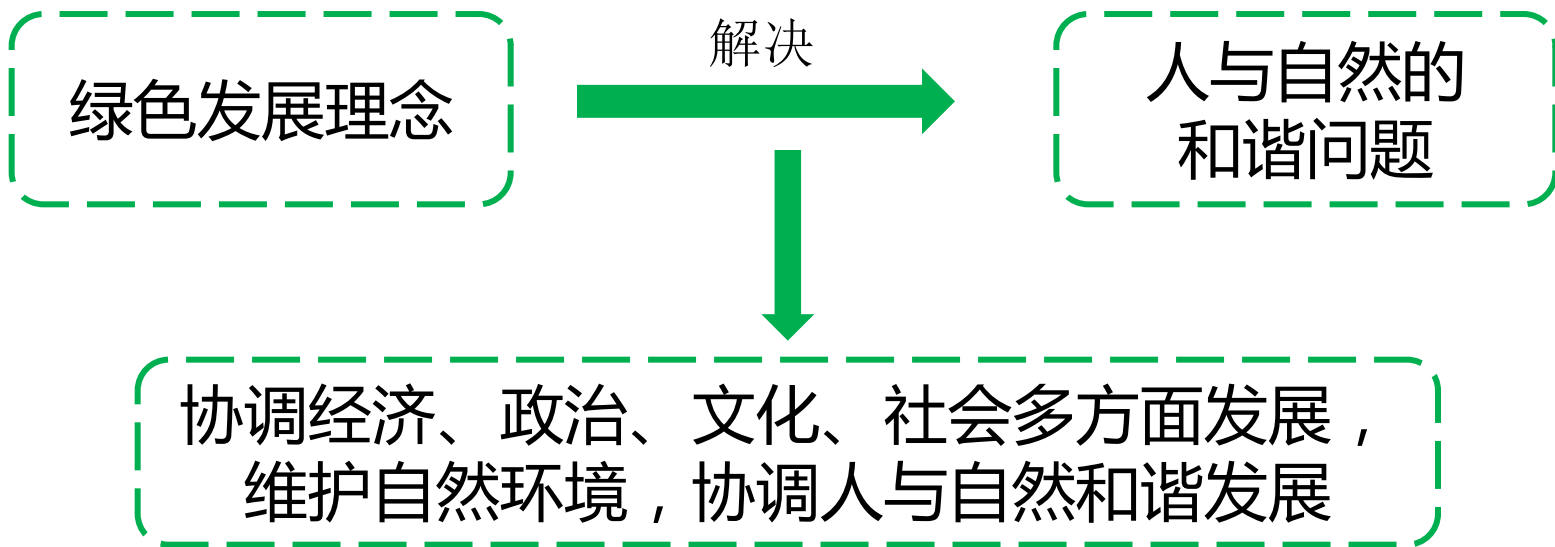
高投入

高消耗

高污染



- 以资源承载力、生态环境容量为约束；
- 以保护环境、生态健康为基本前提



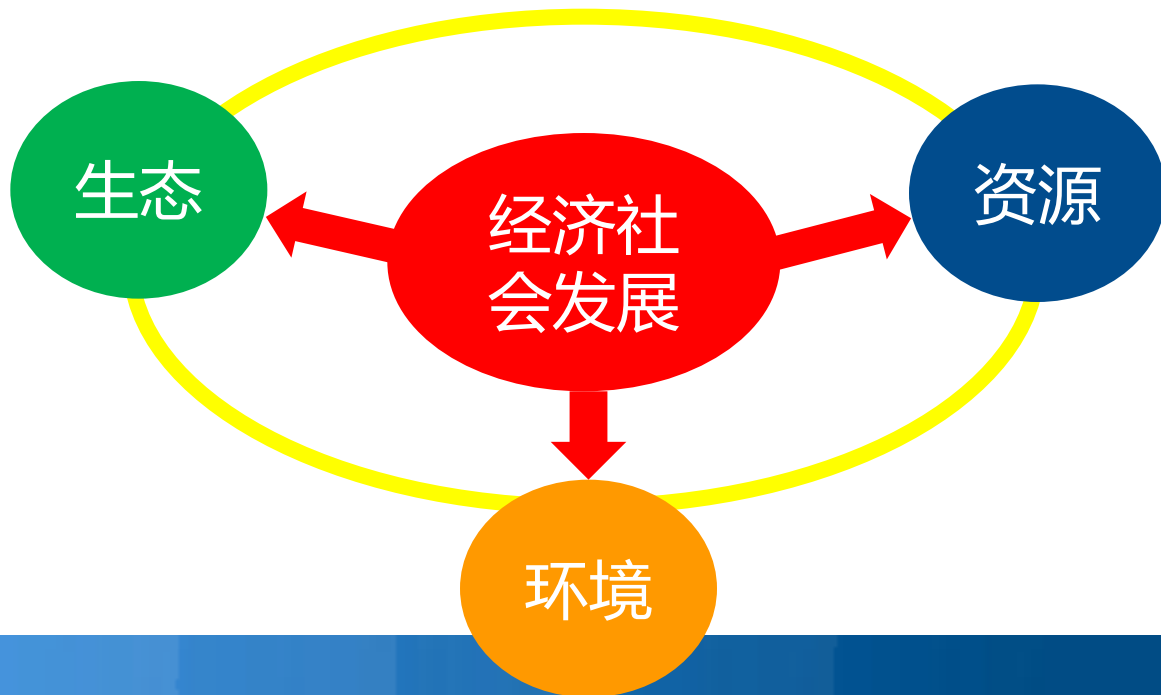
绿色发展与创新、协调、开放、共享相互促进、相互融合，共同促进人与自然的和谐关系。



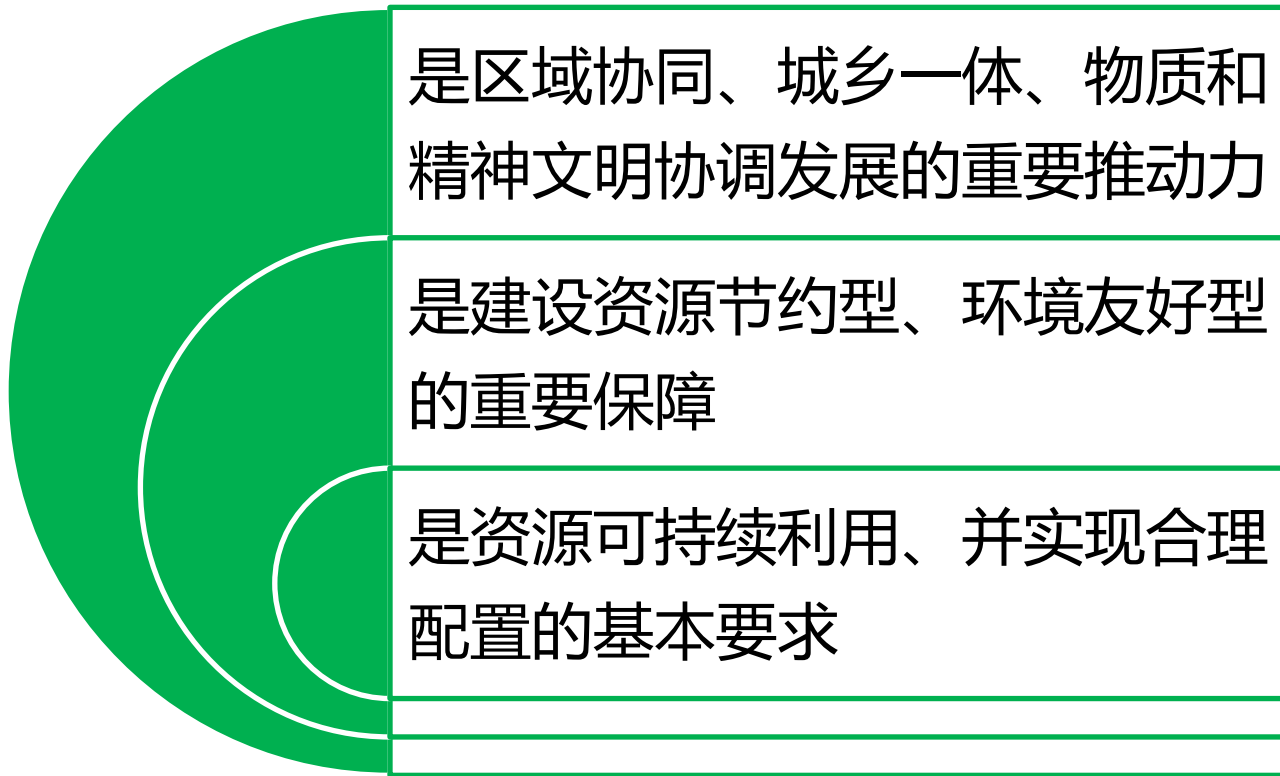
协调发展——→协调各方面发展之间的关系，明确绿色发展对经济社会发展与生态环境保护的要求，走和谐发展之路。

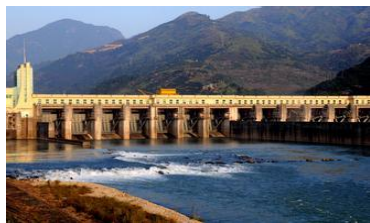


绿色协调发展是资源可持续利用、经济社会快速发展的内在要求。



绿色协调发展的意义





二、绿色协调发展对水资源需求



水资源的分布决定了世界文明版图。工业、农业等行业的发展离不开水资源，城市发展也离不开水资源，水是经济社会发展的主要依赖资源。

支撑

水资源

过度开发利用

水少
水脏
水多

水的多种用途

生活用水
生产用水
生态用水
水力发电
航运
渔业
景观

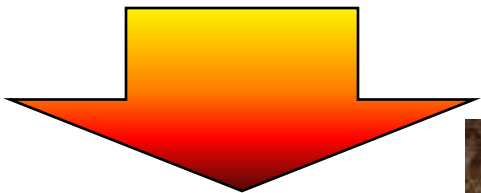
水资源是有限的！

矛盾！

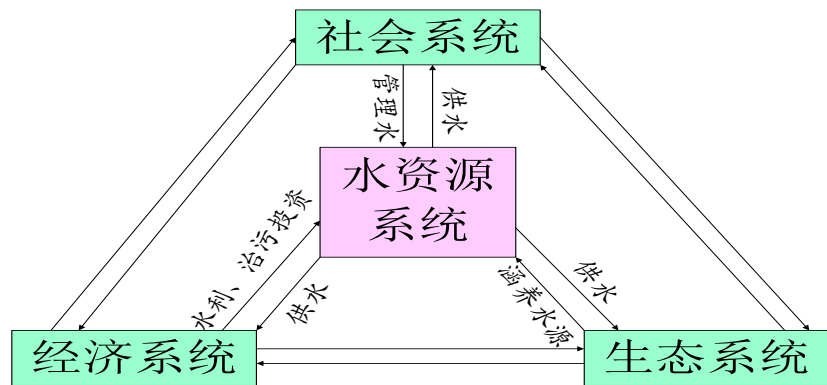
如何协调这种关系？

水资源到底支撑多大的社会规模？

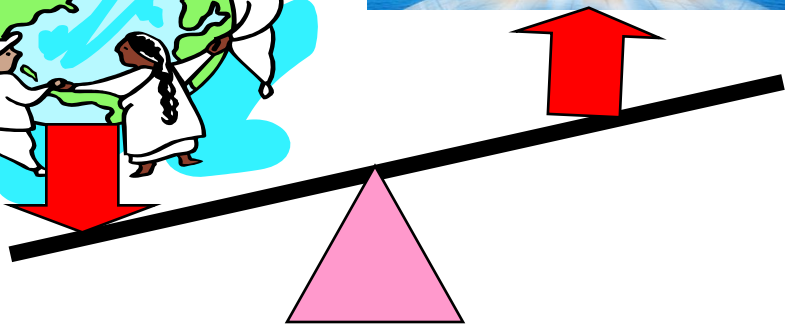
寻找水资源与经济社会发展“平衡点”！



寻求一种平衡！



水资源承载力有多大？



不同用水户争水矛盾



需要寻找一种平衡！

优化
配置

洪涝



干旱



水污染



生产用水



生活用水



生态用水

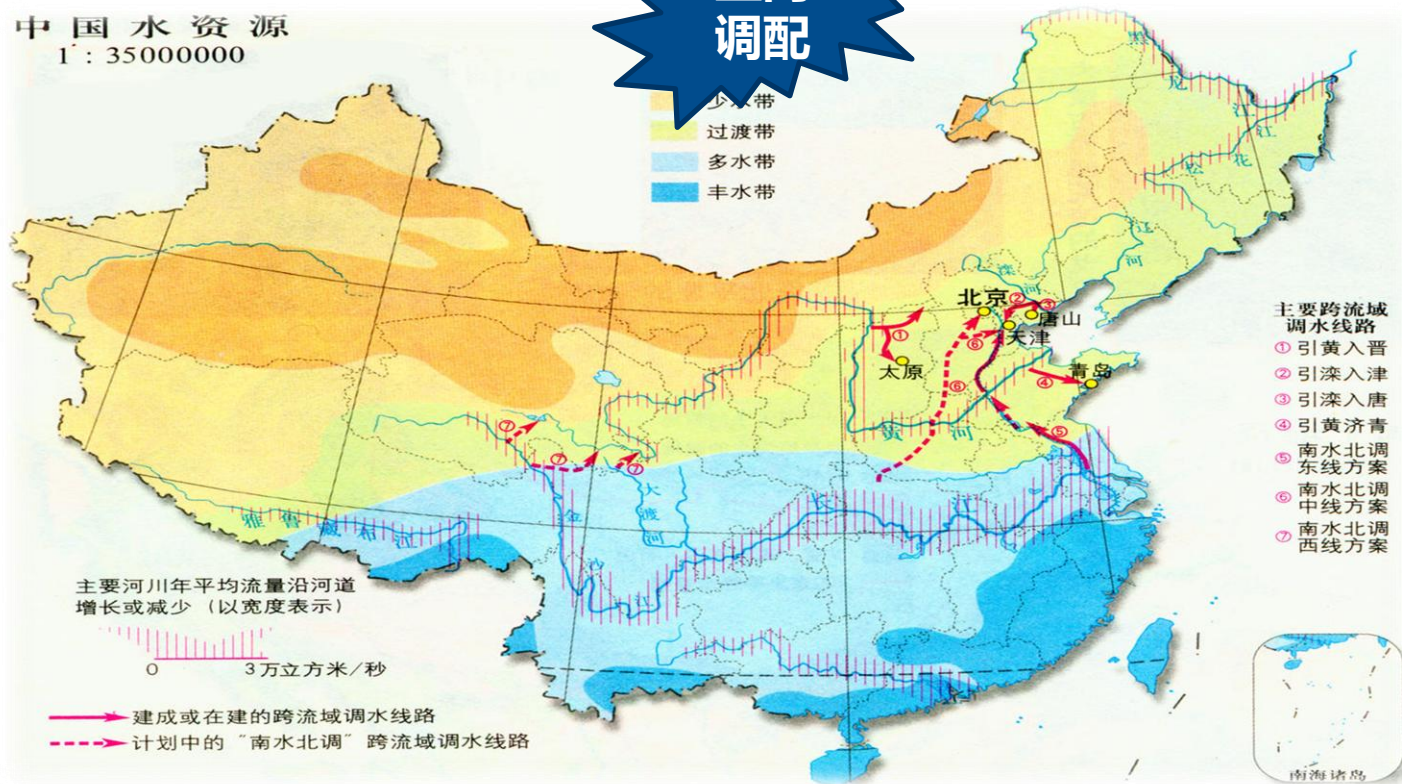
水资源条件分布不均
用水技术水平有差异

需要寻找一种平衡！

空间
调配

中国水资源

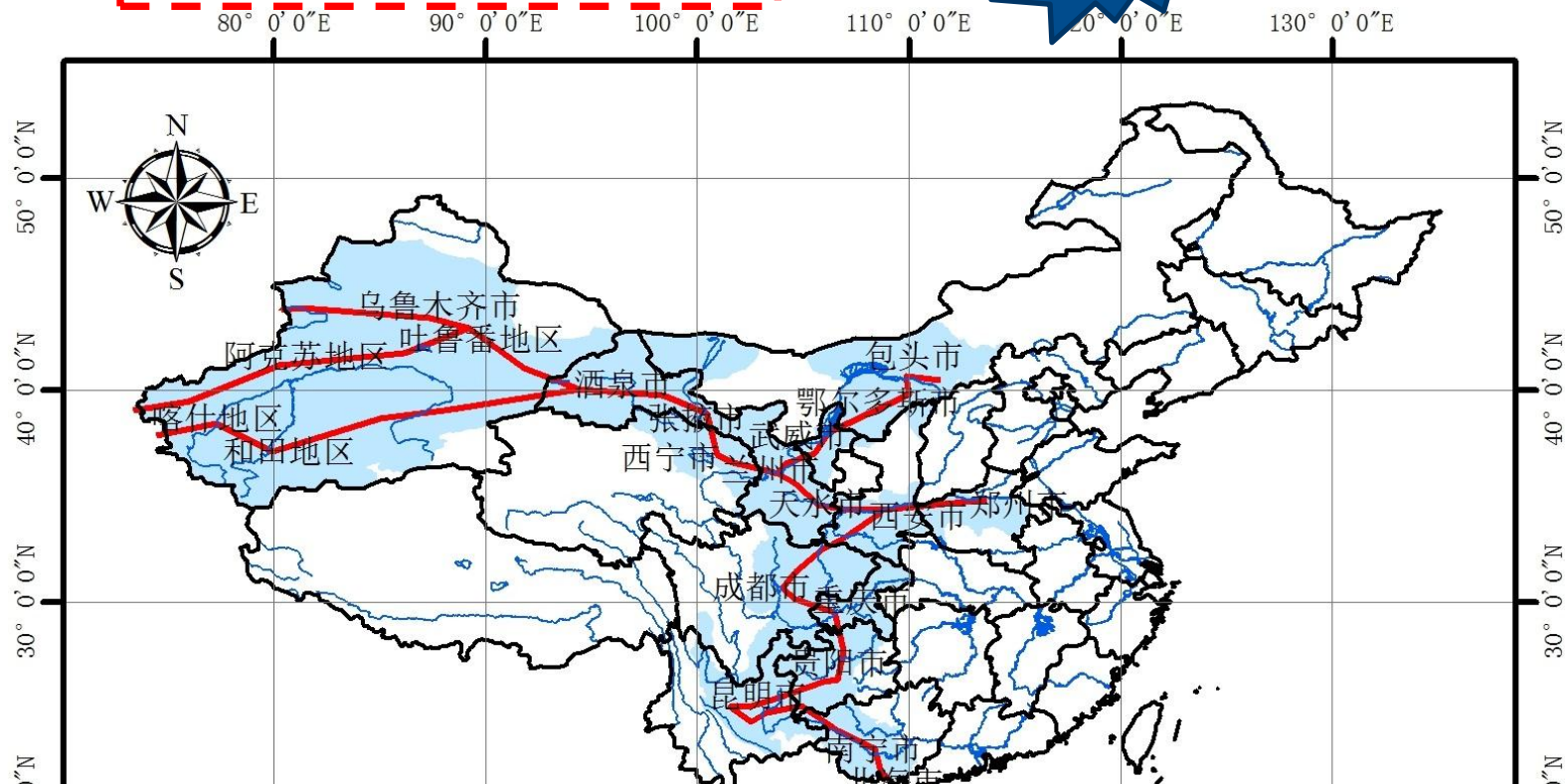
1: 35000000



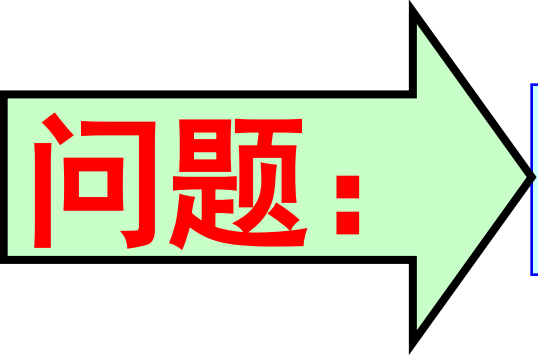
“一带一路”战略 水资源分布不均



空间
均衡



文献：左其亨，韩春辉，马军霞，刘静. “一带一路”中国大陆区水资源特征及支撑能力研究[J]. 水利学报，2017，48（6）：631-639.



问题：



水资源承载力到底有多大？
(能支撑多大的社会经济发展规模？)



这就是水资源承载力问题

在报告PPT的基础上,撰写一文发表在《水利水电科技进步》2017年第3期

第37卷第3期

Vol. 37 No. 3

水利水电科技进步

Advances in Science and Technology of Water Resources

2017年5月

May 2017

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2017.03.001

水资源承载力研究方法总结与再思考

左其亭^{1,2}

(1. 郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学水科学研究中心, 河南 郑州 450001)

摘要:回顾梳理了我国水资源承载力研究的发展历程,将其分成“概念提出、初步研究、逐步完善、艰难发展、开创新时代”5个阶段;在对研究方法对比分析的基础上,把水资源承载力计算方法分为经验公式法、综合评价法、系统分析法3大类,并重点介绍了基于模拟和优化的控制目标反推模型(COIM)方法及应用情况。认为未来几年水资源承载力研究的重点包括:在水资源承载力计算方法选择上,全国层面宜采用经验公式法,更详细的研究宜采用系统分析法;在研究方向上,应构建水资源承载力计算模型和预警系统平台;应着重开展变化环境下水资源动态承载力研究;应与现代治水成果、与寻找“和谐平衡”结合。

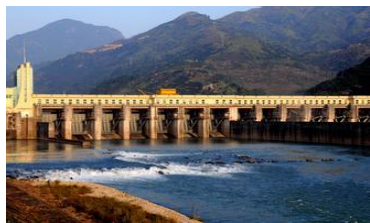
关键词:水资源承载力;现代治水思想;和谐平衡;计算方法

中图分类号:TV213

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2017)03-0001-06

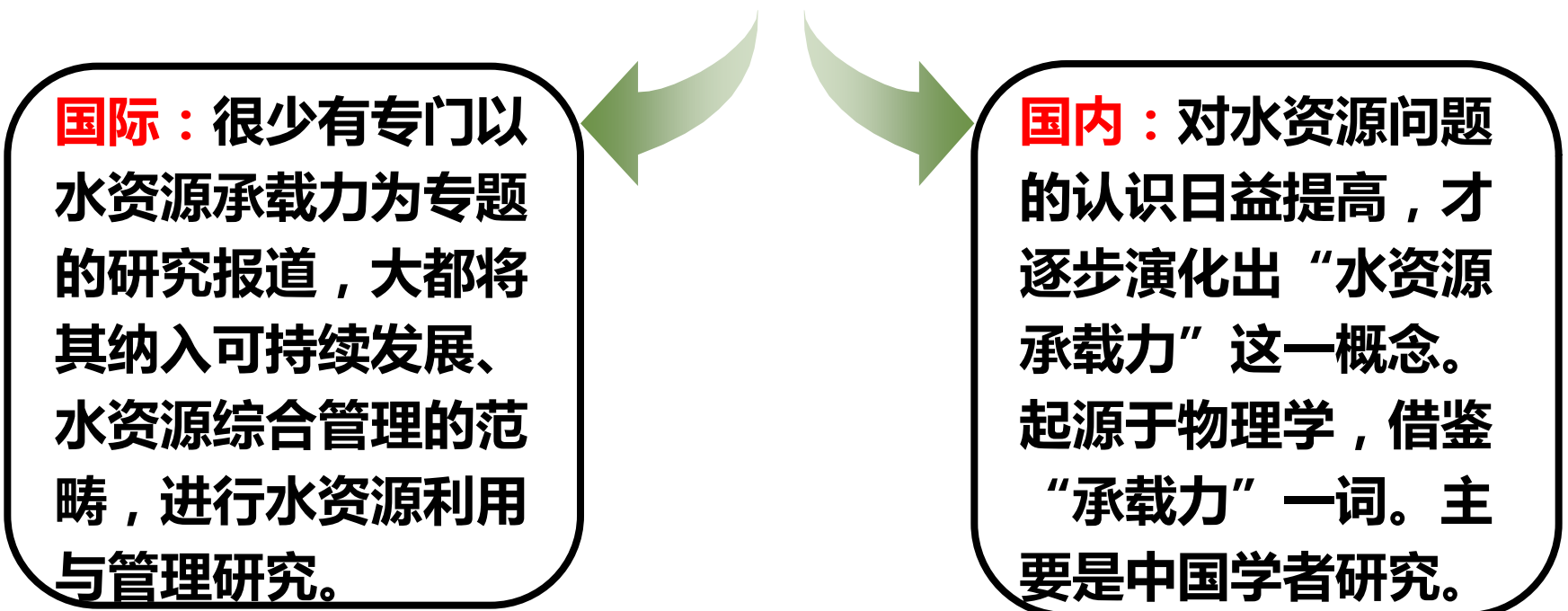
Review of research methods of water resources carrying capacity//ZUO Qiting^{1,2}(1. School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)



三、水资源承载力研究总结与思考

发展历程

国内外总体情况



国际：很少有专门以水资源承载力为专题的研究报道，大都将其纳入可持续发展、水资源综合管理的范畴，进行水资源利用与管理研究。

国内：对水资源问题的认识日益提高，才逐步演化出“水资源承载力”这一概念。起源于物理学，借鉴“承载力”一词。主要是中国学者研究。

1) 早期概念的提出

多数文献认为：水资源承载力概念提出于20世纪80年代末期（1989年，施雅凤院士针对新疆提出）

提出背景：随着改革开放、以经济建设为中心的提出，出现水资源短缺、生态环境恶化，促使人们考虑水资源的承载问题！

2) 20世纪90年代主要讨论概念、计算方法及应用

特点:

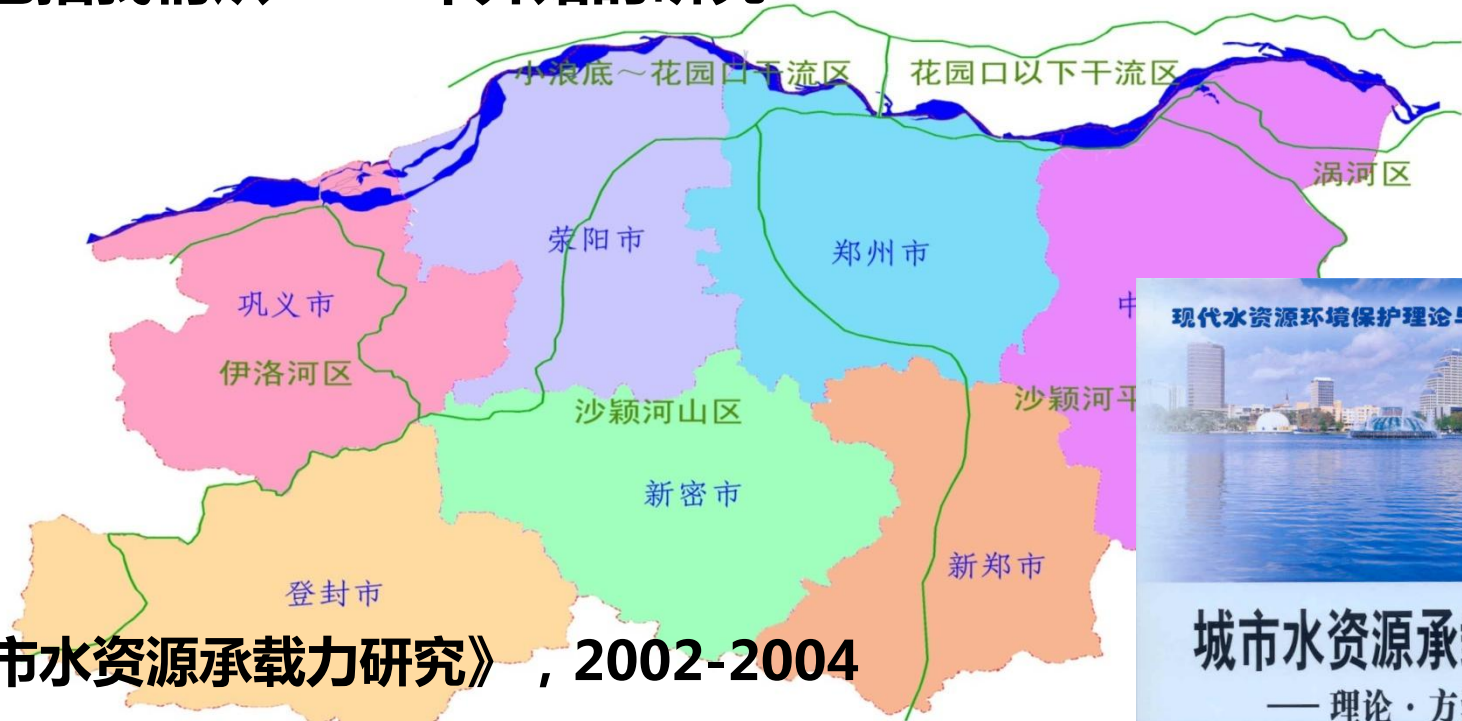
- (1) 概念的讨论，争论不休，从不同角度提出一些定义
- (2) 定量计算的讨论，在实践中提出一些计算方法
- (3) 应用成果多，理论方法研究不系统
- (4) 主要是在可持续发展思路大背景下进行思考和研究

3) 本世纪10年代，呈现系统研究，成果比较完善

特点：

- (1) 在前期讨论的基础上，基本形成几种概念、几种方法。
争论少了
- (2) 除了大量学术论文发表外，专著较多。说明成果趋于完善
- (3) 主要是在人水和谐思想大背景下进行思考和研究

其中，包括我们从2000年开始的研究：



《郑州市水资源承载力研究》，2002-2004年

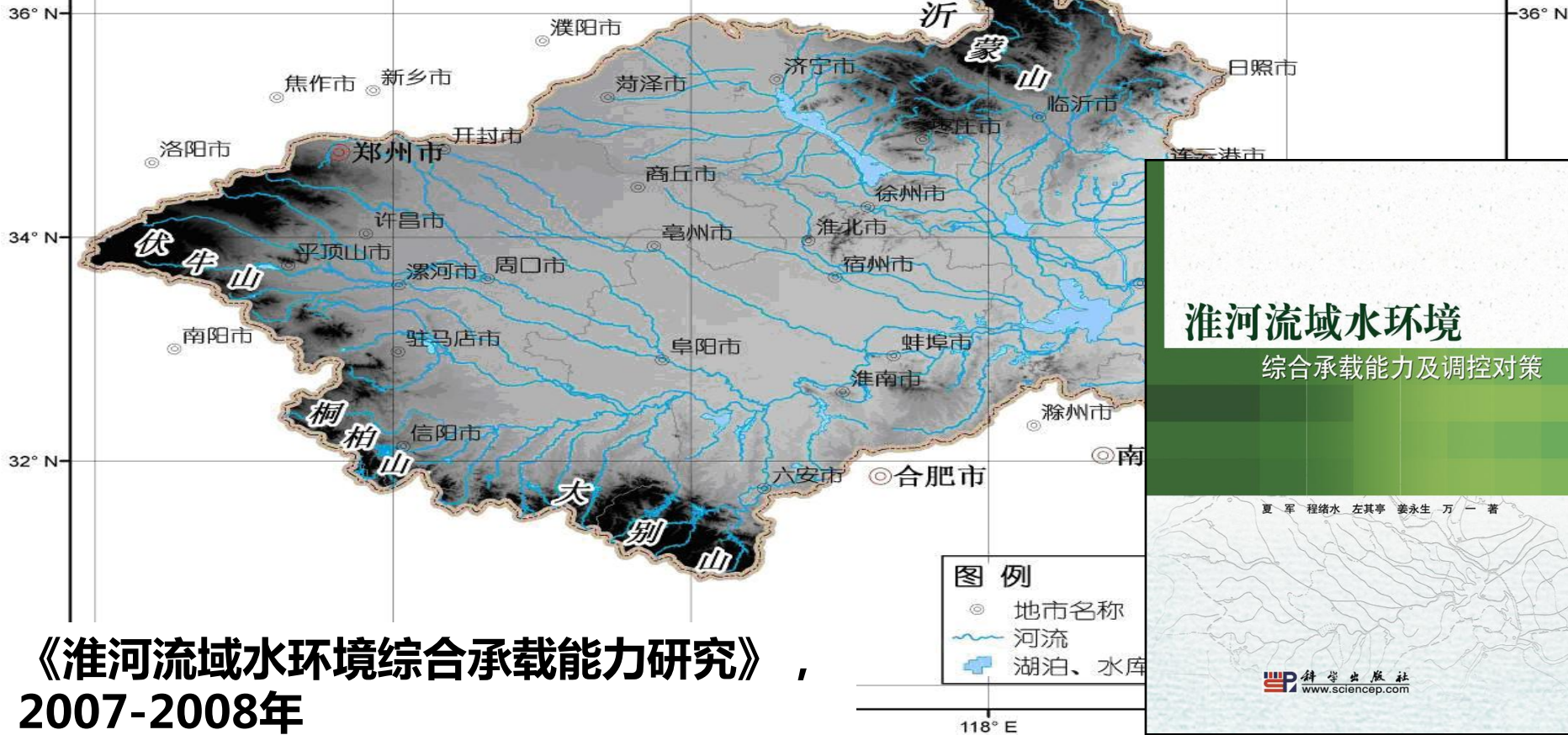
《郑州市水资源综合规划》，2006-2008年

河南省杰出青年基金《变化环境下城市水资源



淮河流域图

0 .5 1 2 千米



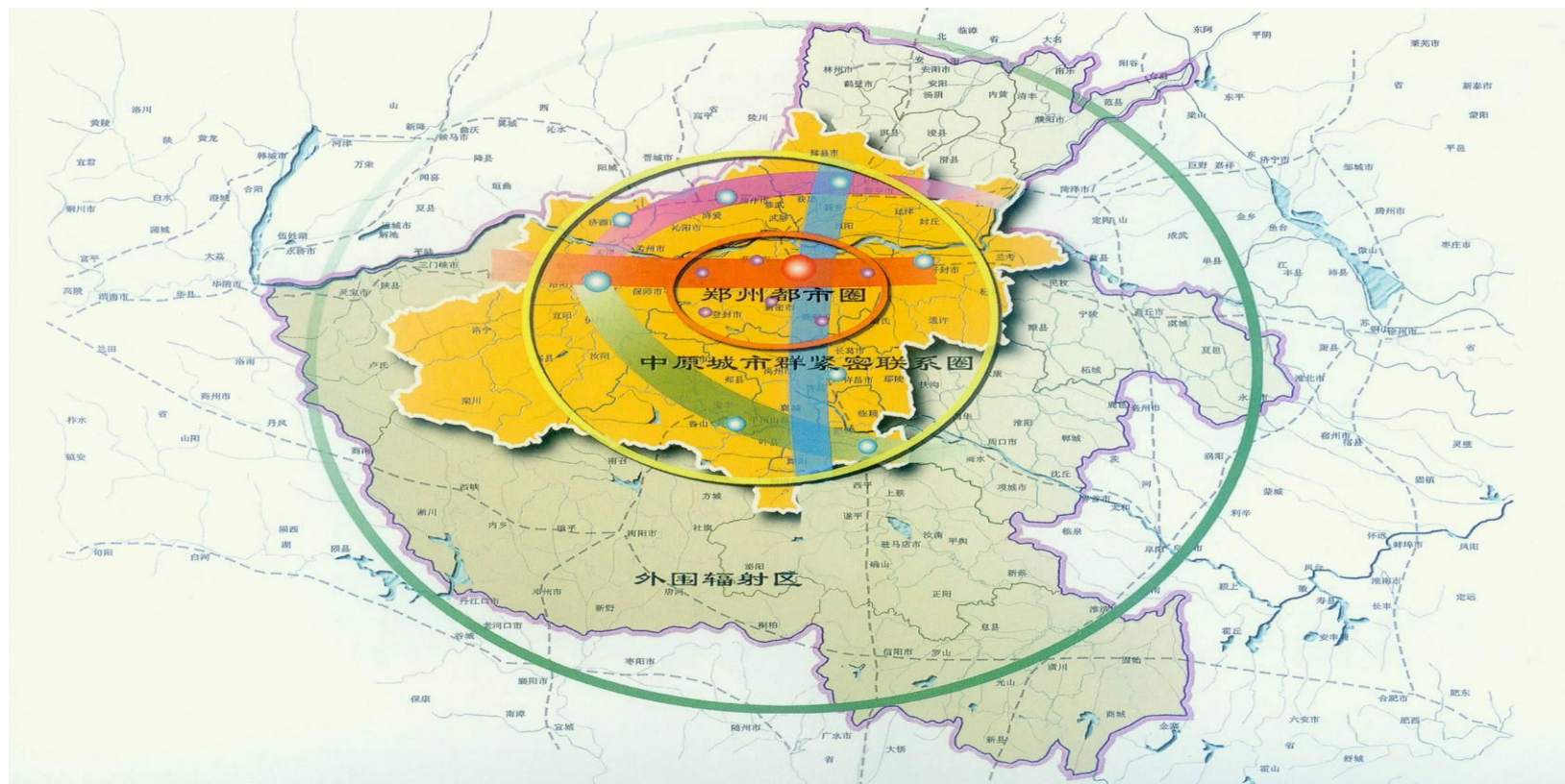
淮河流域水环境

综合承载能力及调控对策

夏 军 程绪水 左其亭 姜永生 万 一 著

科学出版社
www.sciencep.com

《淮河流域水环境综合承载能力研究》
2007-2008年



中原经济区水资源承载力研究——支撑国土规划

发表成果：

- [1]左其亭等 著. 城市水资源承载能力——理论•方法•应用. 北京：化学工业出版社，2005
- [2]夏军、程绪水、左其亭、姜永生、万一 著. 淮河流域水环境综合承载能力及调控对策[M]. 北京：科学出版社. 2009
- [3]左其亭，城市水问题及水资源承载能力研究，郭生练主编《水问题研究与进展》，湖北科学技术出版社，2003，390-394
- [4]左其亭，张培娟，马军霞，水资源承载能力计算模型及关键问题，水利水电技术，2004，35（2），5-8
- [5]宋全香，左其亭，杨峰，水环境承载能力预测模型及其郑州市的应用，《水资源保护》，2004，20（4），22-24
- [6]夏军，王中根，左其亭，生态环境承载力的一种量化研究——以海河流域为例，自然资源学报，2004，19（6）：786-794
- [7]左其亭，马军霞，高传昌. 城市水环境承载能力研究，《水科学进展》，2005，16（1）：103-108
- [8]Zuo Qiting & Ma Junxia & Wu Zening. Concept and model of “supporting capacity of water resources” in urban areas. Sustainable Water Management Solutions for Large Cities. IAHS Publication No.293, 2005, 111-117. ISSN 0262-6667
- [9]宋宏杰，马军霞，左其亭. 郑州市水环境承载能力计算及调控对策，《郑州大学学报》（工学版），2005，26（1）：103-107

发表成果：

- [10]左其亭. 城市水资源承载能力的理论方法与实践, 中国水利学会2005学术年会论文集《节水型社会建设的理论与实践》, 中国水利水电出版社, 2005.10, 153-158
- [11]左其亭. 论水资源承载能力与水资源优化配置之间的关系, 《水利学报》, 2005, 36 (11): 1286-1291
- [12]左其亭. 城市水资源承载能力及优化配置研究, 《水与社会经济发展的相互影响与作用》中国水利水电出版社, 2005, 12: 479-484
- [13]胡瑞, 左其亭, 窦明, 张永勇. 淮河流域水资源承载能力研究, 《河流开发、保护与水资源可持续利用》, 中国水利水电出版社, 2008.12: 347-352
- [14]严子奇, 夏军, 左其亭, 张永勇. 淮河流域水环境承载能力计算系统的构建, 《资源科学》, 2009, 31 (7): 1150-1157
- [15]窦明, 左其亭, 胡瑞, 李桂秋. 淮河流域水环境综合承载能力。《水科学进展》, 2010, 21 (2): 248-254
- [16]陶洁, 左其亭, 齐登红, 窦明. 中原城市群水资源承载力计算及分析[J], 水资源与水工程学报, 2011, 22 (6): 56-61
- [17]陶洁, 左其亭. 中原经济区水资源承载力计算及配置方案研究, 《第九届中国水论坛论文集——水与区域可持续发展》, 中国水利水电出版社, 2012.7: 46-52
- [18]左其亭, 张修宇. 气候变化下水资源动态承载力研究[J].水利学报, 2015, 46 (4): 387-395

4) 2000-2015年，主要以应用成果为主，方法创新少

特点：

- (1) 大量的成果是以应用为主，可能与上个十年理论方法研究已经比较系统有关，感觉难以创新
- (2) 存在炒剩饭、玩数学游戏现象
- (3) 部分成果与最严格水资源管理“三条红线”联系起来

在《水科学进展报告》
中，进行系统梳理：

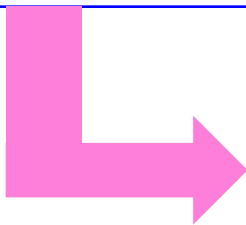


5) 2016-，期待开创研究新时代

两件大事驱动：

(1) 水利部组织开展全国水资源承载能力监测预警机制建设工作，水规总院编制了《技术大纲》

(2) 国家重点研发项目“国家水资源承载力评价与战略配置”启动



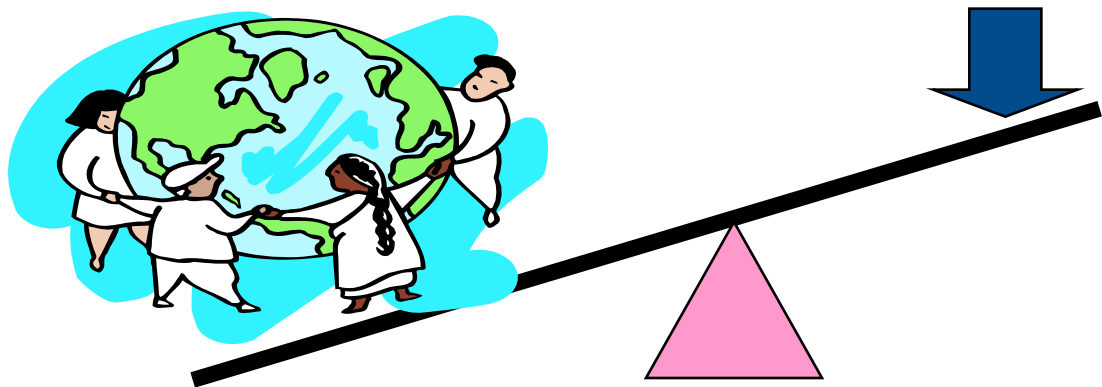
预测未来5年产出成果丰硕：

- 1、技术创新**
- 2、全国应用**

计算方法

概念问题

“承载能力”（Carrying Capacity）一词，起源于物理学，物体在不产生任何破坏时所能承受的最大负荷。



大都强调“水资源的开发规模”或者“水资源的支撑能力”

问题是：

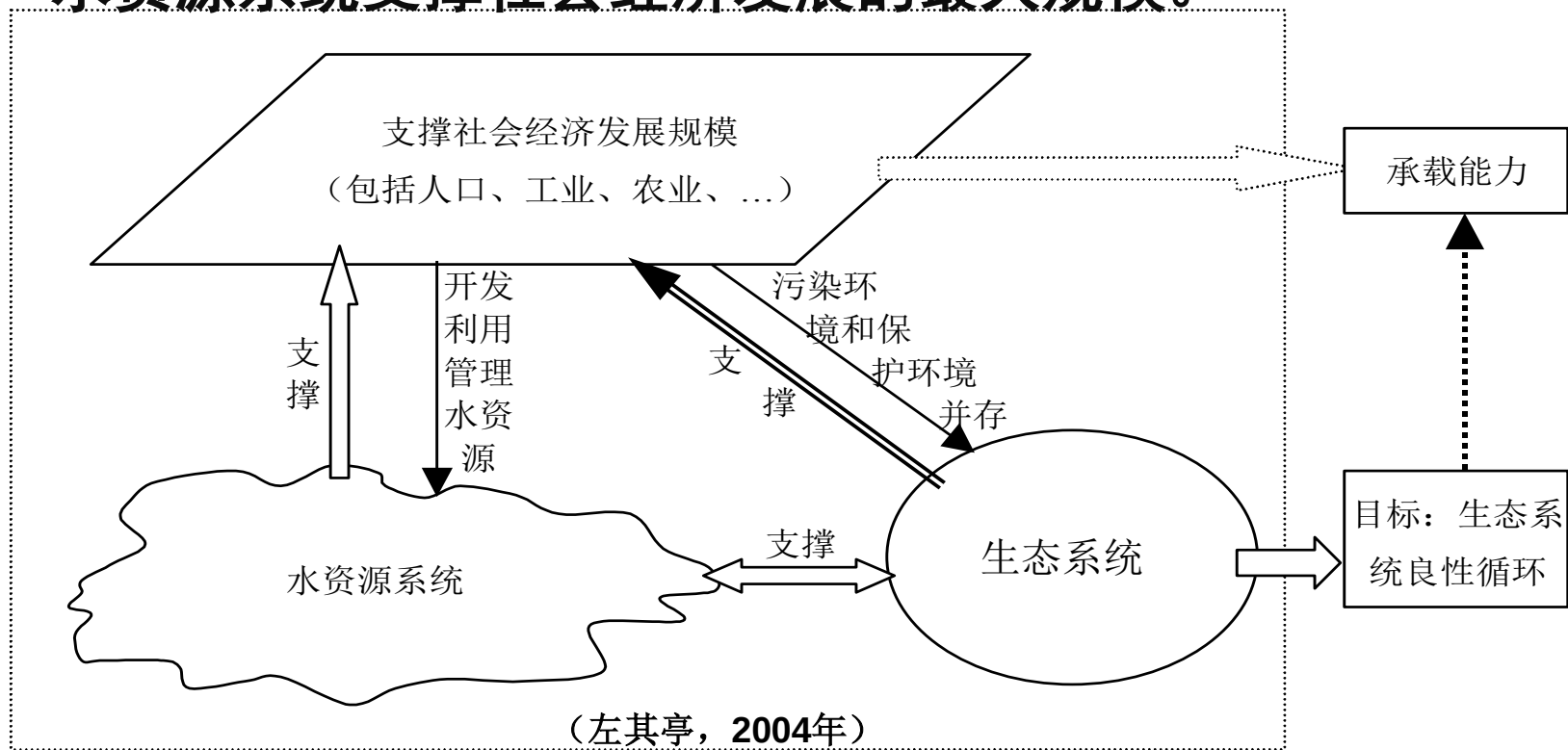
概念不统一，理解上有差距

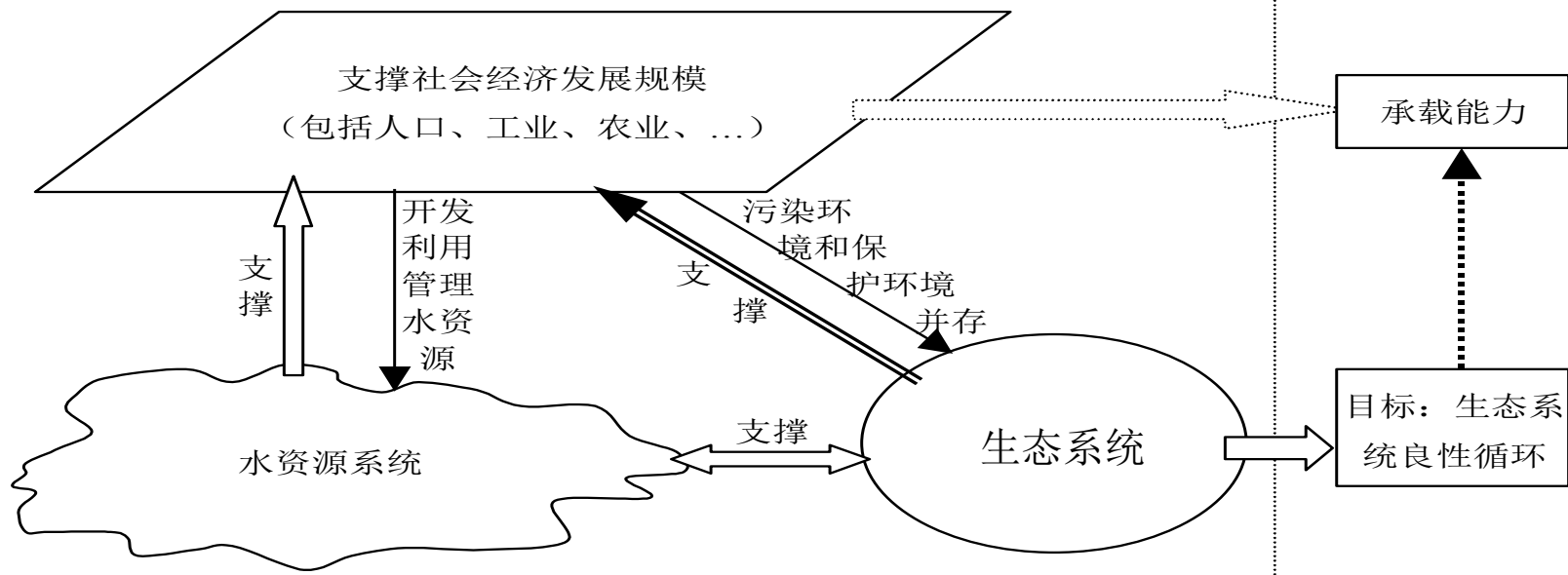
水资源承载力（能力）？
承载程度？

区分？
不区分？

- (1) 评价--> 程度
- (2) 算出--> 能力

**定义：一定区域、一定时段，维系生态系统良性循环，
水资源系统支撑社会经济发展的最大规模。**





内涵解读：

- (1) 主体是水资源，客体是人类及其生存的社会经济系统和生态环境系统
- (2) 具有空间属性、时间属性
- (3) 维系生态系统良性循环，作为目标
- (4) 必须把社会经济—水资源—生态复合大系统综合研究，是基础工作

计算方法分类

概括三类：

1) 经验公式法：

包括：背景分析法、常规趋势法、简单定额法等。

2) 综合评价法

包括：综合指标法、模糊综合评价法、主成分分析法、投影寻踪法、物元可拓模型等

3) 系统分析法

包括：系统动力学法、优化模型法、控制目标反推法（COIM）等

经验公式法

特色：计算相对简单

**不足：对资源、环境、经济社会之间的联系考虑较少；
对调控方案的技术支撑不足**

比如，《建立全国水资源承载能力监测预警机制技术大纲》的方法：

水量要素评价：I1=用水总量W/用水总量指标W0

I2=平原区地下水开采量G/地下水开采量指标W0

水质要素评价：J1=水功能区水质达标率Q/水质达标要求Q0

J2=污染物入河量P/限排量P0（公式自己写的）

承载状况评价			
严重超载	超载	临界状态	不超载
$W>1.2*W_0$	$W_0<W\leq 1.2*W_0$	$0.9*W_0<W\leq W_0$	$W\leq 0.9*W_0$
G>1.2*G ₀ 或超采区浅层地下水超采系数>0.3 或存在深层承压水开采量 或存在山丘区地下水过度开采	G ₀ <G≤1.2*G ₀ 或超采区浅层地下水超采系数介于(0,0.3] 或存在山丘区地下水过度开采	0.9*G ₀ <G≤G ₀	G≤0.9*G ₀
$Q<0.4*Q_0$	$0.4*Q_0\leq Q<0.6*Q_0$	$0.6*Q_0\leq Q<0.8*Q_0$	$Q\geq 0.8*Q_0$
$P>3*P_0$	$1.2*P_0<P\leq 3*P_0$	$1.1*P_0<P\leq 1.2*P_0$	$P\leq 1.1*P_0$

比如，《建立全国水资源承载能力监测预警机制技术大纲》的方法：

水量要素评价： $I1 = \text{用水总量} W / \text{用水总量指标} W0$

$I2 = \text{平原区地下水开采量} G / \text{地下水开采量指标} W0$

水质要素评价： $J1 = \text{水功能区水质达标率} Q / \text{水质达标要求} Q0$

$J2 = \text{污染物入河量} P / \text{限排量} P0$

优势很明显：方法简单、便于操作、便于推广

（赞成在全国范围内采用该方法）

问题也明显：1、好像还主要是水资源的事，与经济社会生态直接联系少

2、对环境发生变化的动态承载很难计算或把握

3、如果超载，其调控方案很难定量化，或理由不充分

综合评价法

思路：通过某种评价方法与评价标准比较，进行综合评价

**问题：数学理论应用比较深入，但对水资源的系统性考虑不足；
指标选择难以统一，评价标准难以确定**

比如，多指标综合评价方法：

一般思路：选择指标——确定标准——综合计算——得出结果

分类层	指标层	单位
水资源状况	水资源总量	10^4 m^3
	河道径流满足率(低限流量)	%
	最大排洪能力(防洪标准)	年
	泥沙含量	kg m^3
	不合格水质占的比例(河段水质类别)	% (类)
	河岸河床稳定性	定性
	河道断流率(水系的连通性)	%
	地下水位埋深变化率	%
	地下水矿化度	g L^{-1}
	洪灾频率	%
生态环境状况	地下水下降区比例	%
	天然植被覆盖率(绿化覆盖率)	%
	耕地盐碱化比例	%
	水土流失比例	%
	水系统抗干扰能力	定性
	河岸亲水景观舒适度	定性
	代表生物生存状况(动植物)	定性
	沙尘暴天数	天/年
	纳污能力	万吨/年
	区域人口密度	万人/ km^2
社会发展水平	人口增长率	%
	大专以上文化程度占人口比例	%
	平均期望寿命	岁
	城市化率	%
	恩格尔系数	%
经济发展水平	年人均收入	元/人
	人均GDP	万元
	经济增长速度	%
	产业结构(工业等产业所占GDP比重)	%

分类层	指标层	单位
技术发展水平	达到温饱生活水平的人口比例	%
	城乡收入差距	元
	万元工业产值用水量	m^3
	单方灌溉引水产值	元
	灌溉用水定额	$\text{m}^3/\text{亩}$
	渠系水利用系数	%
	水资源重复利用率	%
	节水灌溉面积比例	%
	工业用水重复利用率	%
	人均粮食产量	$\text{kg}/\text{人}$
发展安全保障	人均耕地面积	$\text{亩}/\text{人}$
	人均用水量	$\text{m}^3/\text{年}$
	人均生活用水量	$\text{m}^3/\text{年}$
	人均能源及主要矿产资源储量	$\text{t}/\text{人}$
	社会安全饮用人数所占比例	%
	需求满足率(工业农业生活生态)	%
	供水保证率	%
	通航水深保证率(河流通航比例)	%
	年生产总值(人均水产品总产量)	万元
	年径流变化率	%
人对人文系统的服务功能	工程洪水系数	%
	自来水普及率	%
	人均水资源量	$\text{m}^3/\text{人}$
	亩均水资源量	$\text{m}^3/\text{亩}$
	水资源开发利用率	%
	水能资源开发利用率	%
	流失面积治理率	%
	城市污水处理率(污水处理达标率)	%
	垃圾无害化处理率	%
	优良河势保持率	%
人对水系统的开发与保护	天然湿地保留率	%
	人均COD排放量	$\text{t}/\text{人}$
	水利及环保投资占GDP比重	%
	水法律法规建设	定性
	监测站点及信息系统建设	定性
	管理体制及管理水平	定性
	水权市场建设	定性
	公众对河流保护自觉度	定性
	公众节水意识	定性
	水事纠纷解决机制及程度	定性
水资源管理水平及公众意识	公众参与水资源管理决策的程度	定性
		定性

$$D_i = \begin{cases} 0 & x_i \leq a_i \\ 0.3(\frac{x_i - a_i}{b_i - a_i}) & a_i < x_i \leq b_i \\ 0.3 + 0.3(\frac{x_i - b_i}{c_i - b_i}) & b_i < x_i \leq c_i \\ 0.6 + 0.2(\frac{x_i - c_i}{d_i - c_i}) & c_i < x_i \leq d_i \\ 0.8 + 0.2(\frac{x_i - d_i}{e_i - d_i}) & d_i < x_i \leq e_i \\ 1 & e_i < x_i \leq f_i \\ 0.8 + 0.2(\frac{g_i - x_i}{g_i - f_i}) & f_i < x_i \leq g_i \\ 0.6 + 0.2(\frac{h_i - x_i}{h_i - g_i}) & g_i < x_i \leq h_i \\ 0.3 + 0.3(\frac{i_i - x_i}{i_i - h_i}) & h_i < x_i \leq i_i \\ 0.3(\frac{j_i - x_i}{j_i - i_i}) & i_i < x_i \leq j_i \\ 0 & j_i < x_i \end{cases}$$

比如，多指标综合评价方法：

一般思路：选择指标——确定标准——综合计算——得出结果

优点：无论如何，都能算出来；结果灵活，自圆其说
(不建议推广)

缺点：1、指标和标准很难统一，很难说出充足理由
2、多指标综合，本身就是一笔糊涂账
3、结果人为因素大，因人而异，调控方案理由不充分

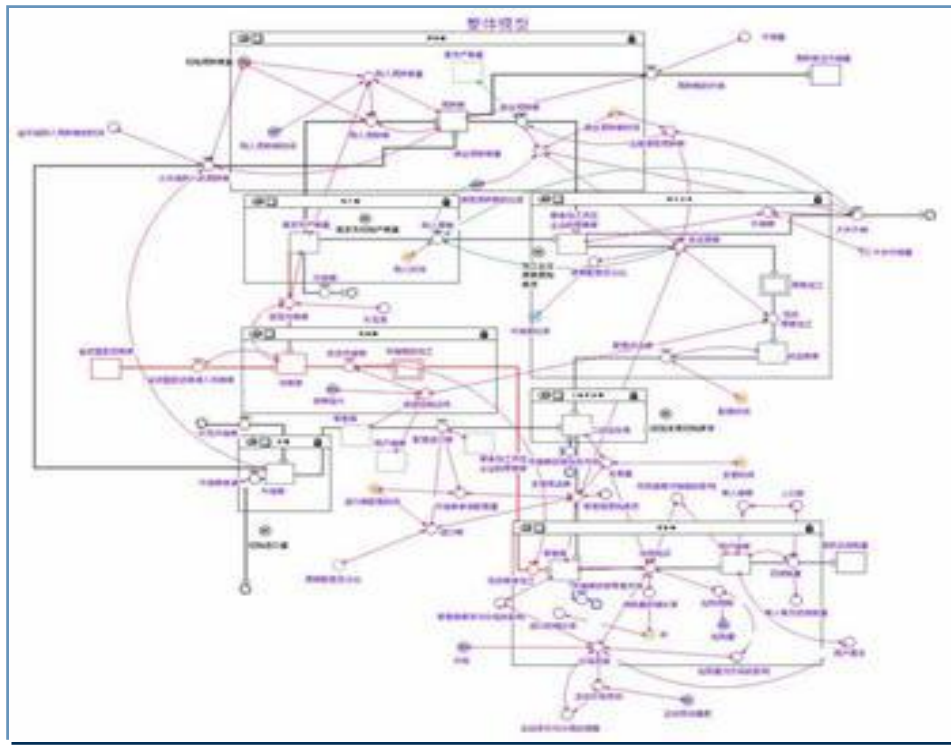
系统分析法

**思路：将水资源承载力的主体和客体作为整体一并考虑，
考虑了水资源-经济社会生态的复杂性和系统性**

**问题：计算方法复杂，不直观，推广应用难；
在水资源系统模拟方面仍有欠缺，如何将水系统模型
纳入统一模型中是难点。**

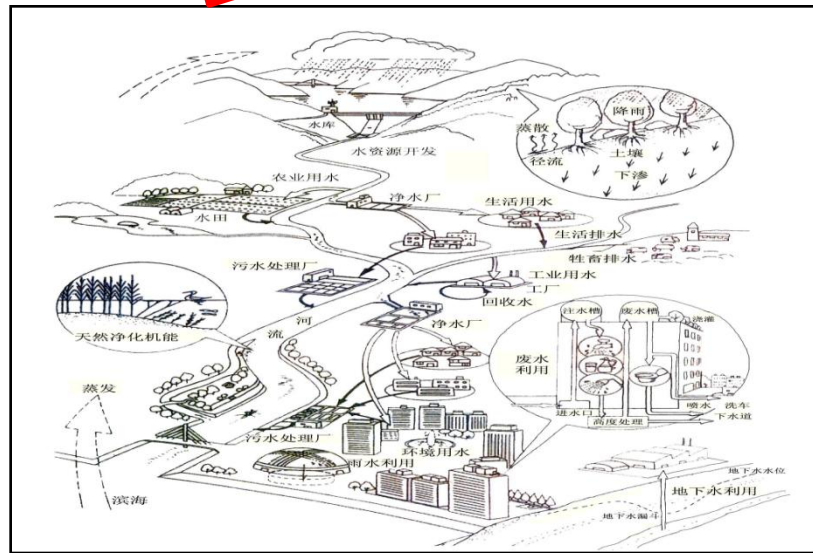
比如，系统动力学方法：

思路：是以反馈控制理论为基础，方程主要包括状态变量（L）方程、速率（R）方程、辅助（A）方程等。



弊端：

无法包括复杂的水系统模型



提出嵌入式系统动力学的思路 (2007) :

第22卷 第2期
2007年3月

自然资源学报
JOURNAL OF NATURAL RESOURCES

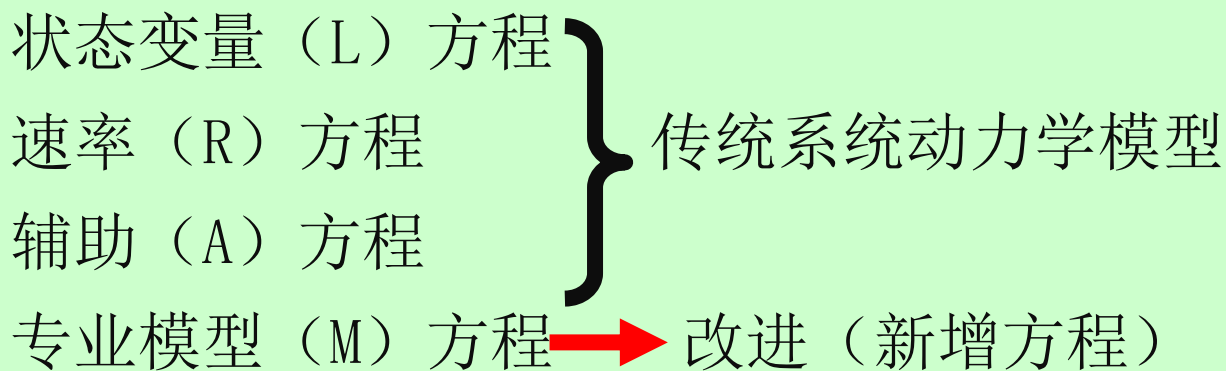
Vol.22 No.2
Mar.,2007

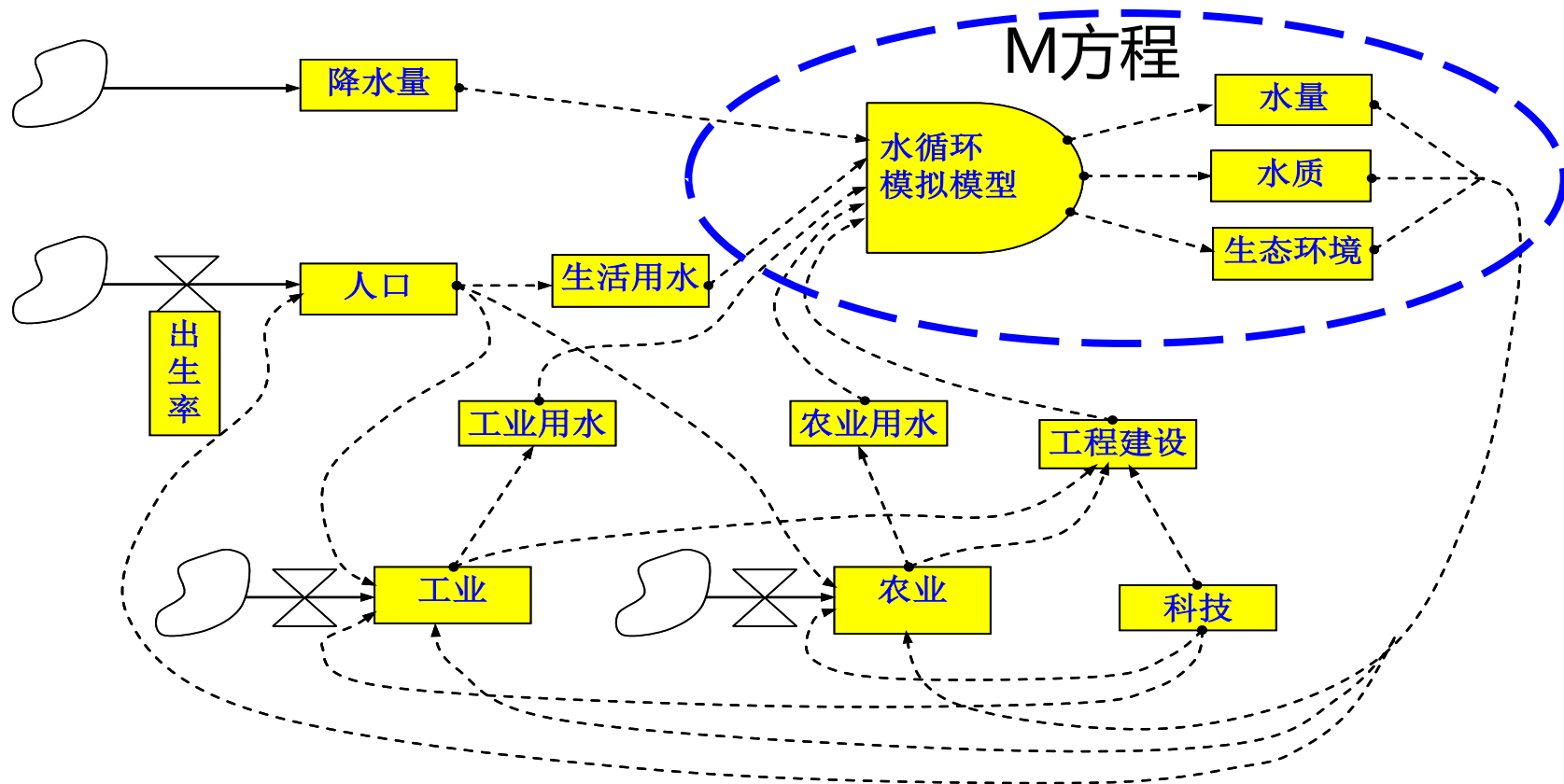
人水系统演变模拟的嵌入式系统动力学模型

左其亭

(郑州大学 水利与环境学院, 郑州 450001)

摘要: 论文首先提出人水系统的概念,并针对人水系统演变模拟的难点和特点,基于系统动力学原理,提出了更具实用意义的嵌入式系统动力学模型(ESD模型)。ESD模型是在系统动力学理论方法的基础上,考虑到社会经济系统、水循环系统(包括社会水循环系统、自然水循环系统)自身的特点和规律,充分利用现有的相关理论方法,在系统动力学模型的基础上,加入其他学科的量化模型,形成耦合的模型。该模型既全面吸收系统动力学的优点,同时又接纳了相关学科的研究成果,大大提升了系统动力学的应用研究能力,同时也解决了复杂而又有专业特点的系统模拟问题,适用于人水系统演变模拟。





引用文献:

左其亭. 人水系统演变模拟的嵌入式系统动力学模型[J]. 自然资源学报, 2007, 22 (2) : 268-273

推荐的方法

基于模拟和优化的控制目标反推模型方法 (COIM)

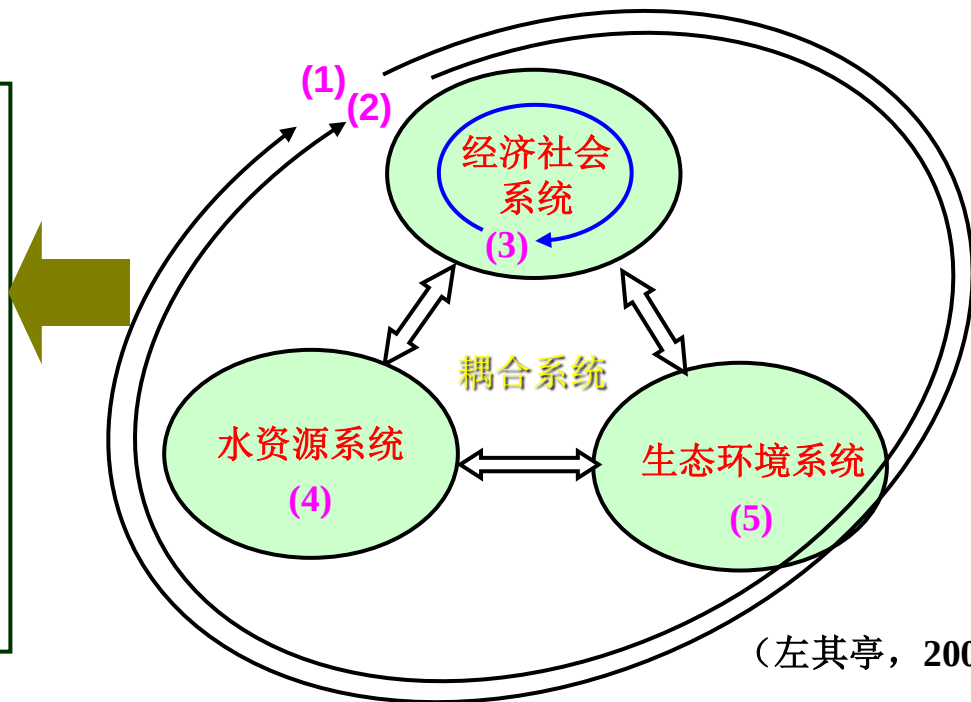
目标函数:

$\text{Max}\{\text{经济社会规模}\}$

约束方程:

- (1) 水资源循环转化关系方程
- (2) 污染物循环转化关系方程
- (3) 经济社会系统内部相互制约方程
- (4) 水资源承载程度指标约束方程
- (5) 生态环境控制目标约束方程
- (6) 其他约束

水资源承载力



(左其亭, 2005年)

基本思路

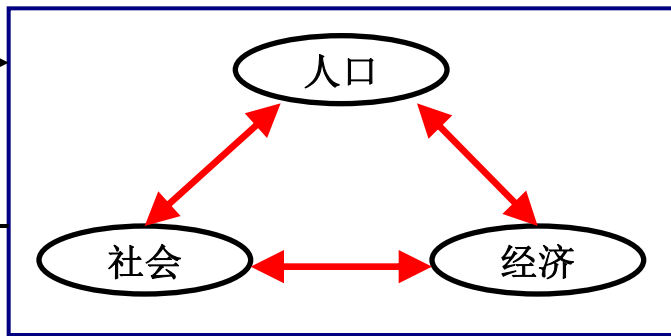
紧扣水资源承载力概念，以“经济社会—水资源—生态环境”复合系统模型为基础，以“维系良性水环境状况”为控制约束，以“支撑最大经济社会规模”为优化目标，建立最优化模型。

通过最优化模型求解，得到的“最大经济社会规模”，就是水资源承载力。

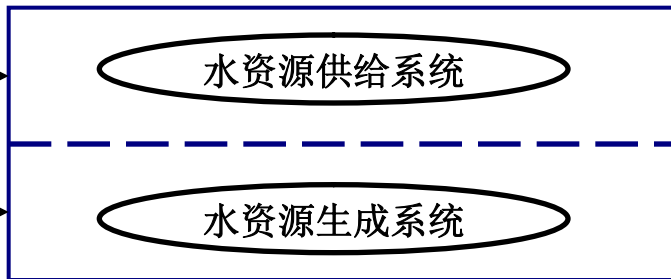
两个印象：

- (1) 紧扣概念。
- (2) 需要很强的基础研究工作。

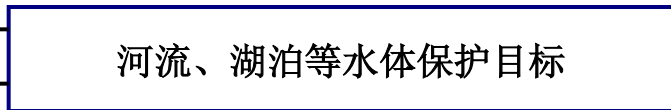
经济社会系统



水资源系统



生态环境系统



资源、环境

水利工程

控制约束

水资源

污染、补偿

生态需水

经济社会系统模型

耦合

水资源—生态环境系统互动模型

“经济社会—水资源—生态环境”
复合系统互动关系模型

SubMod (SWE)

计算模型

目标函数：

$$Max(P)$$

约束条件：

SubMod (SWE)

$$W_{\text{可供}} \geq W_{\text{生产}} + W_{\text{生态}} + W_{\text{生活}}$$

$$W_{\text{可供}} = W_{\text{地表}} + W_{\text{地下}} + W_{\text{调}} + W_{\text{回}}$$

$$W_{\text{工}i} + W_{\text{生}i} \leq W_{Si}$$

$$C_i \leq C_{Si}$$

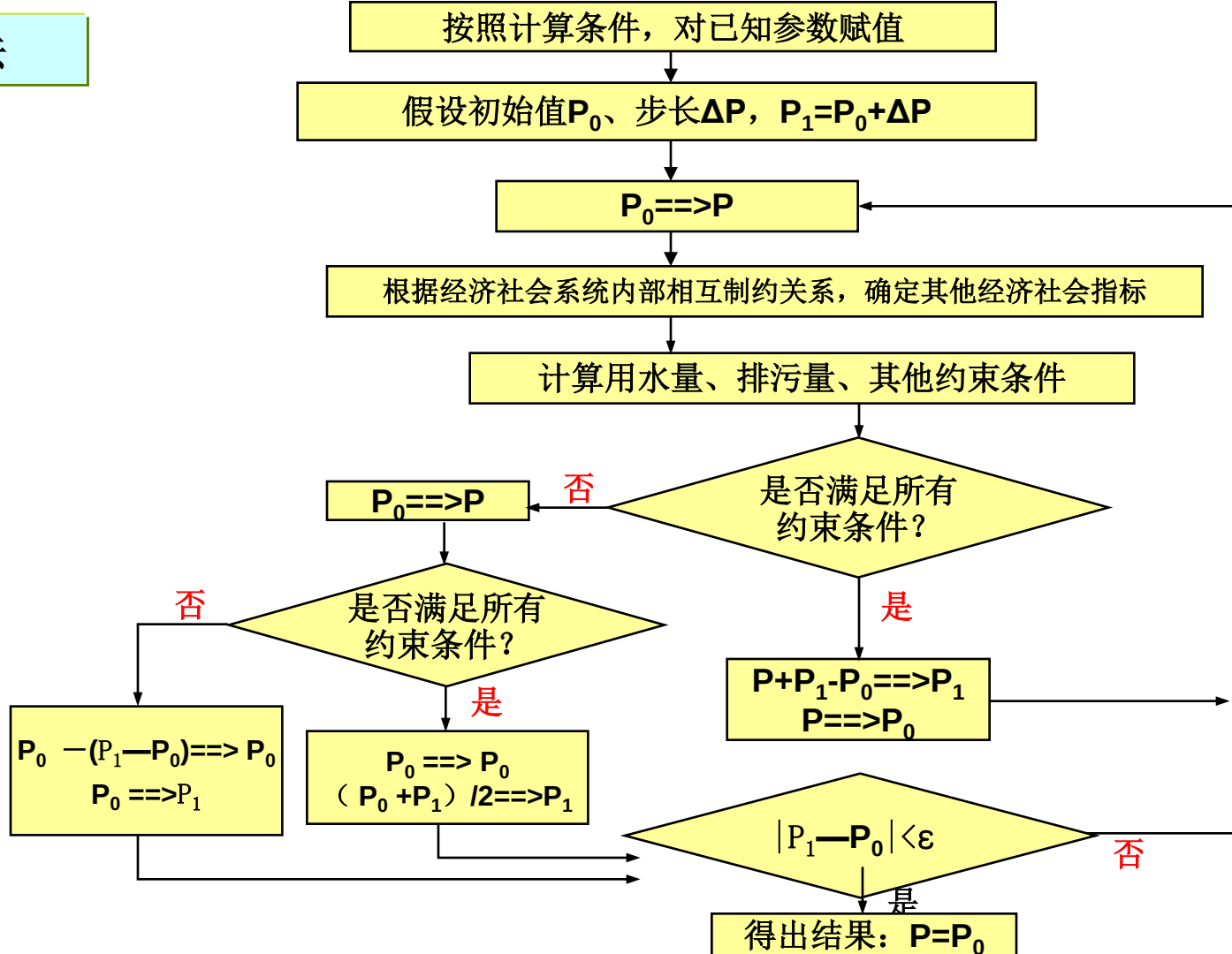
$$Q_{Bi} \geq Q_{ei}$$

$$GDP_{ai}^j \geq GDP_{Si}^j$$

$$FD_{ai}^j \geq FD_{Si}^j$$

非负约束

求解方法



应用举例

《中原经济区国土规划》专题

——水资源承载力研究

对国土规划的支撑



重点回答：

- 一、当前水资源条件能满足未来多大的发展规模；**
- 二、如果不能满足未来发展要求，该怎么提高保障能力。**

《专题报告》 目录

一	概述	}	研究基础
二	水资源及其开发利用现状		
三	需水预测		
四	可供水量预测		
五	水资源承载力计算与评价	}	核心方法
六	水资源配置方案优选		
七	综合对策和重大水利工程布局	}	成果产出
八	各地级市水资源保障能力分析		
九	结论和建议		

简要汇报内容

一 研究基本情况

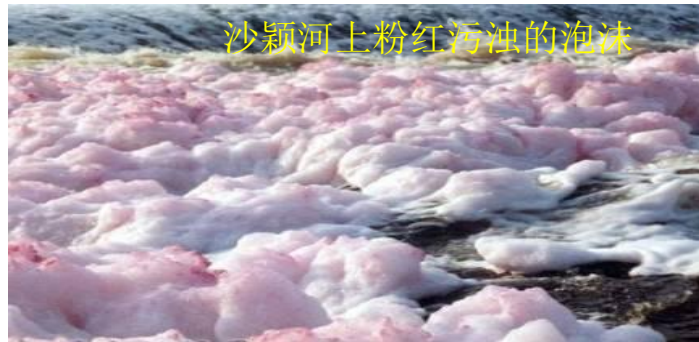
二 优选的水资源配置方案

三 综合对策和重大水利工程布局（保障能力）

一、研究基本情况



属于严重缺水地区之一！



水污染形势非常严重！



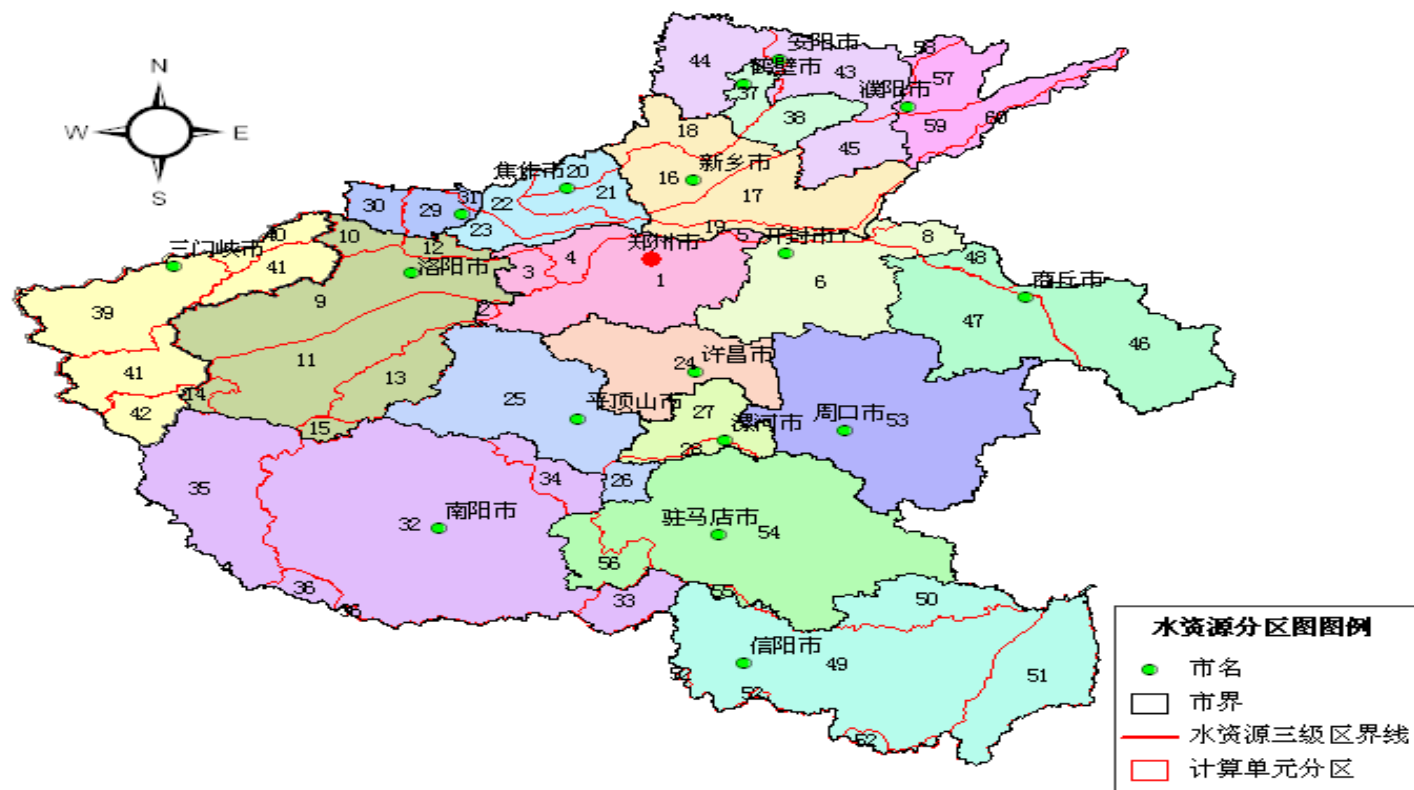
河南省

60个计算单元

基准年为2010年

阶段年为2020年

目标年为2030年



河南省计算单元划分图

二、水资源承载规模及配置方案

1、不同情景计算结果

(1)

现状年水资源承载力结果

(2)

阶段年2020年水资源承载力结果

(3)

目标年2030年水资源承载力结果

2、优选的水资源配置方案

(4)

水资源配置优选方案



推荐的不同水平年承载规模

编号	行政区域	分类	2020	2030
1	郑州市	全市	864	1043
		其中市区（城区、新区）	540	705
2	开封市	全市	467	492
		其中市区（城区、新区）	114	202
3	洛阳市	全市	956	1112
		其中市区（城区、新区）	268	343
4	新乡市	全市	534	612
		其中市区（城区、新区）	139	179
5	焦作市	全市	232	403
		其中市区（城区、新区）	68	148
6	许昌市	全市	377	449
		其中市区（城区、新区）	71	123
7	平顶山市	全市	476	559
		其中市区（城区、新区）	127	160
8	漯河市	全市	197	265
		其中市区（城区、新区）	45	69
9	济源市	全市	103	118
		其中市区（城区、新区）	34	40
10	南阳市	全市	1121	983
		其中市区（城区、新区）	137	150
11	鹤壁市	全市	125	150
		其中市区（城区、新区）	19	45
12	三门峡市	全市	372	409
		其中市区（城区、新区）	103	121

优化得到的配置方案，如何实现？

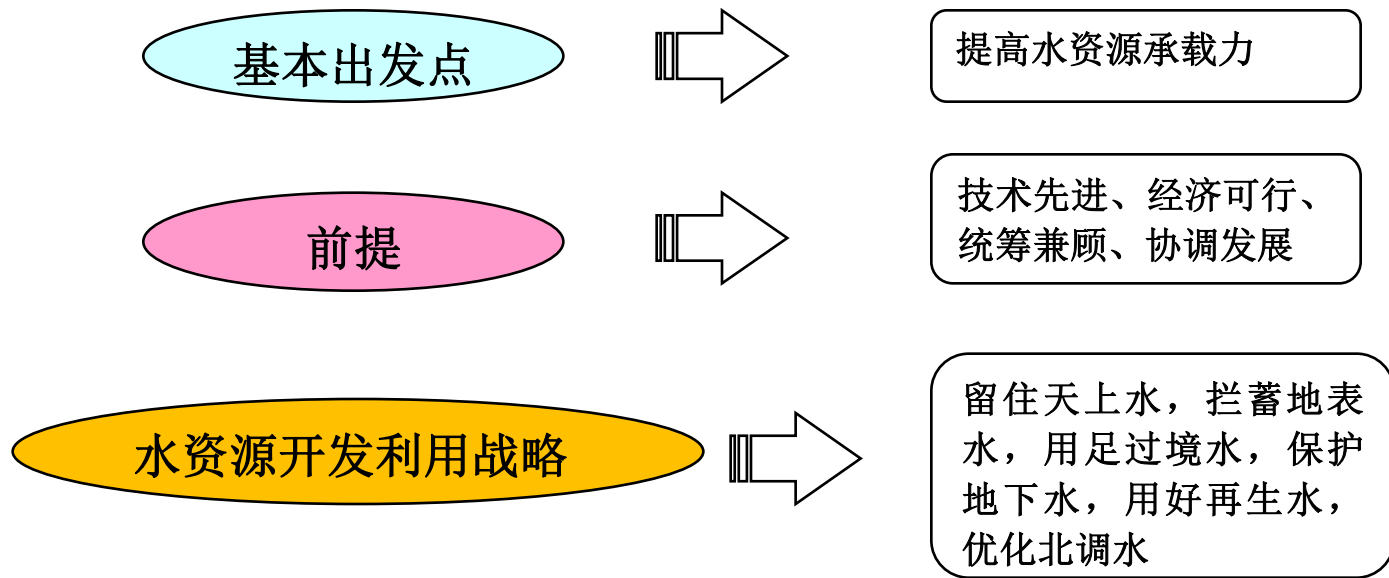


综合对策和重大水利工程布局
水资源保障能力

三、综合对策和重大水利工程布局

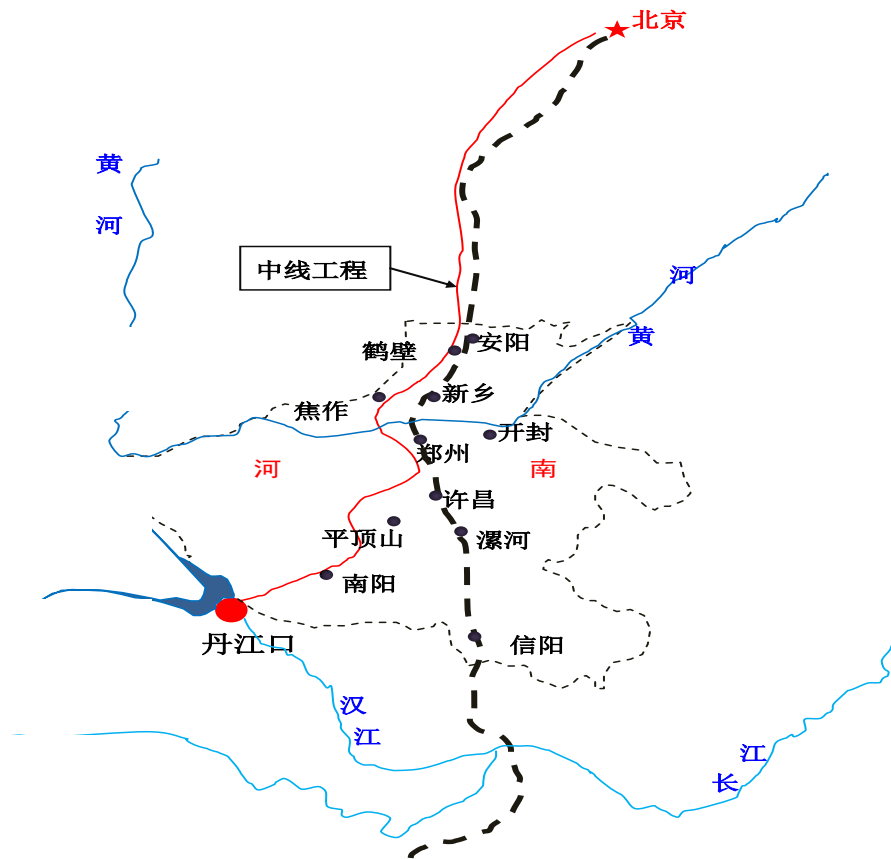
- (1) 总体布局
- (2) 工程保障体系
- (3) 重大水利工程布局建议
- (4) 非工程保障体系

(1) 总体布局

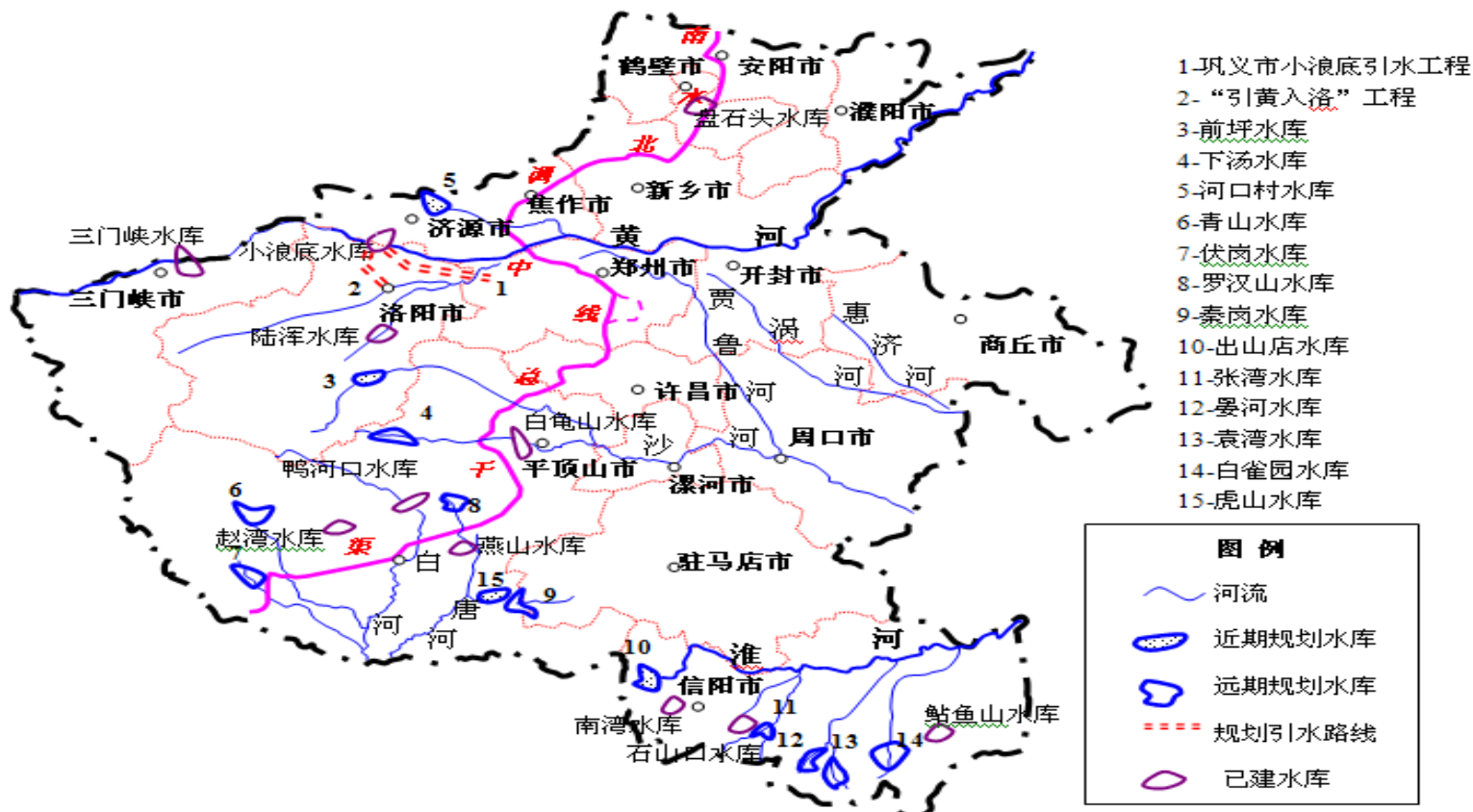


(2) 工程保障体系

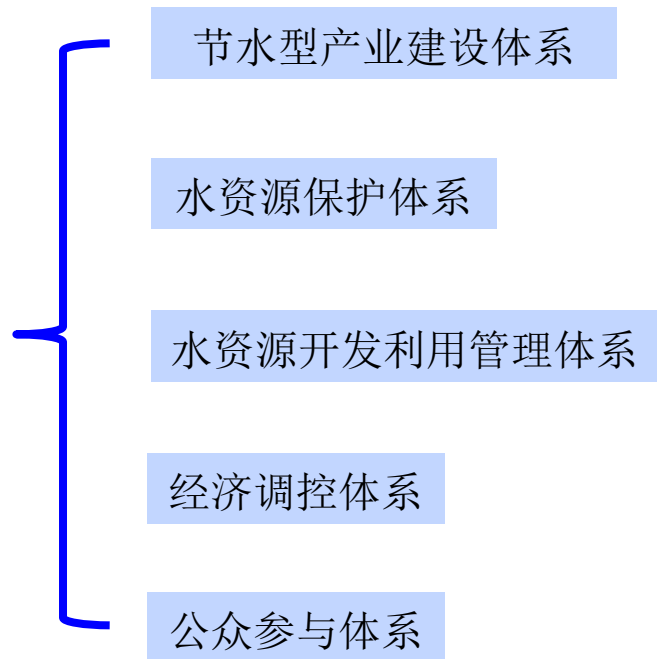
- 一、南水北调供水工程体系
- 二、引黄工程体系
- 三、地表水开发利用工程体系
- 四、其他水源开发利用工程体系
- 五、节水工程体系
- 六、水资源保护工程体系



(3) 重大水利工程布局建议



(4) 非工程保障体系 (保障能力)



对国土规划的支撑

一、当前水资源条件能满足未来多大的发展规模

分析水资源禀赋特征，为评判国土开发利用的适宜性、约束国土规划的开发利用规模、结构与布局，为制定发展战略、空间布局等提供科学依据。

二、如果不能满足未来发展要求，该怎么提高保障能力

制定各种重大水利工程布局，推进资源的集约利用和空间的高效开发，为提升国土开发利用的水平，进一步调控国土空间利用提供支撑。

思考1

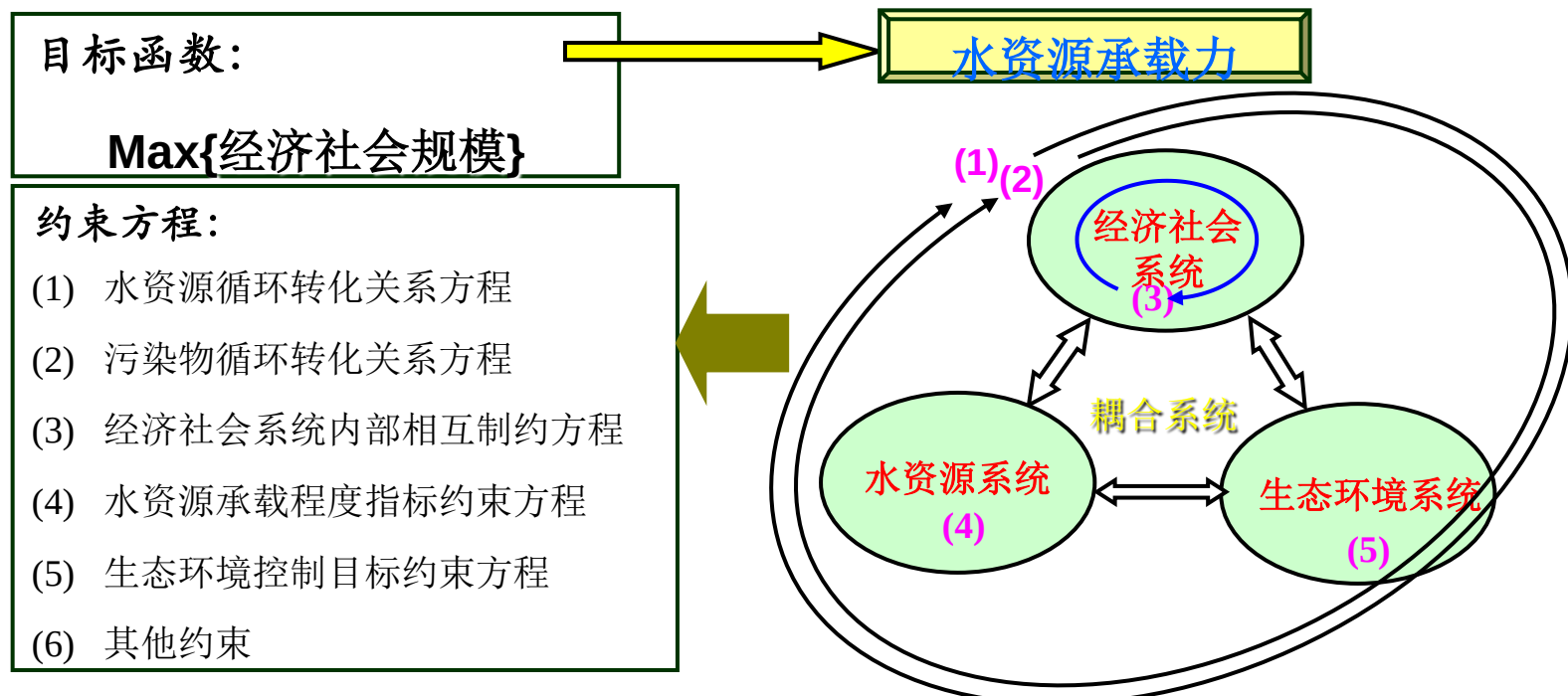
计算方法选择问题

(1) 全国层面推广应用，采用简单的方法比较好

采用《建立全国水资源承载能力监测预警机制技术大纲》方法

可补充：采用国家研发项目的成果，对调控方案制定

(2) 对未来分析、预警、调控，可构建：基于“经济社会—水资源—生态环境”复合系统模型、以“维系良性水环境状况”为控制约束，以“支撑最大经济社会规模”为优化目标的、类似COIM的**水资源承载力计算模型**。



思考2

水资源承载力研究方向

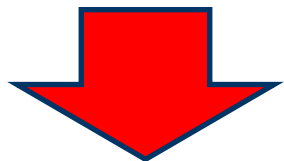
基于“二元水循环”的经济社会—水资源—生态环境耦合
分布式模型

基于经济社会发展规律、水循环自然规律

结合水资源可持续利用、人水和谐治水思想、节水型社会
建设、最严格水资源管理制度、水生态文明建设等成果



构建水资源承载力计算模型、开发系统平台



水资源承载力（动态）评价、配置、预警、调控

基础模型

内部机制

治水成果

计算模型

系统平台

动态评价

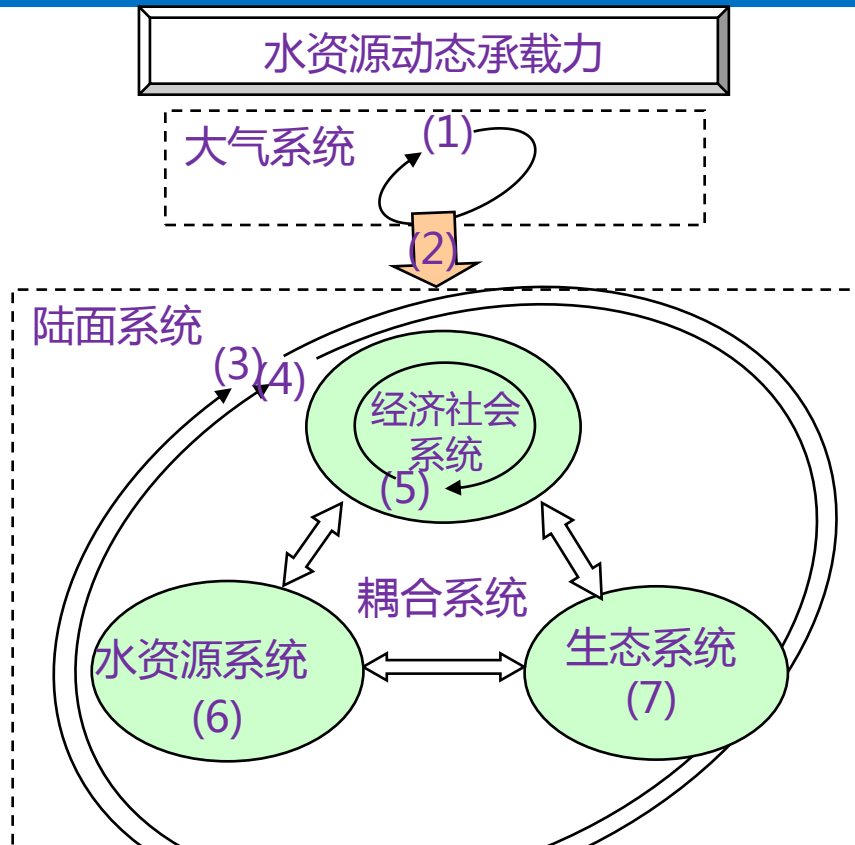
预警调控

思考3

水资源动态承载力问题

环境变化下，水资源承载力也变化，
如何动态计算？

- 气候变化—→水系统变化
- 人类活动—→水系统变化
- 需要基于陆面系统模型



可参考文献:

左其亭, 张修宇. 气候变化下水资源动态承载力研究[J]. 水利学报, 2015, 46(4): 387-395

水 利 学 报

2015年4月

SHUILI XUEBAO

第46卷 第4期

文章编号 0559-9350(2015)04-0387-09

气候变化下水资源动态承载力研究

左其亭¹, 张修宇^{1, 2}

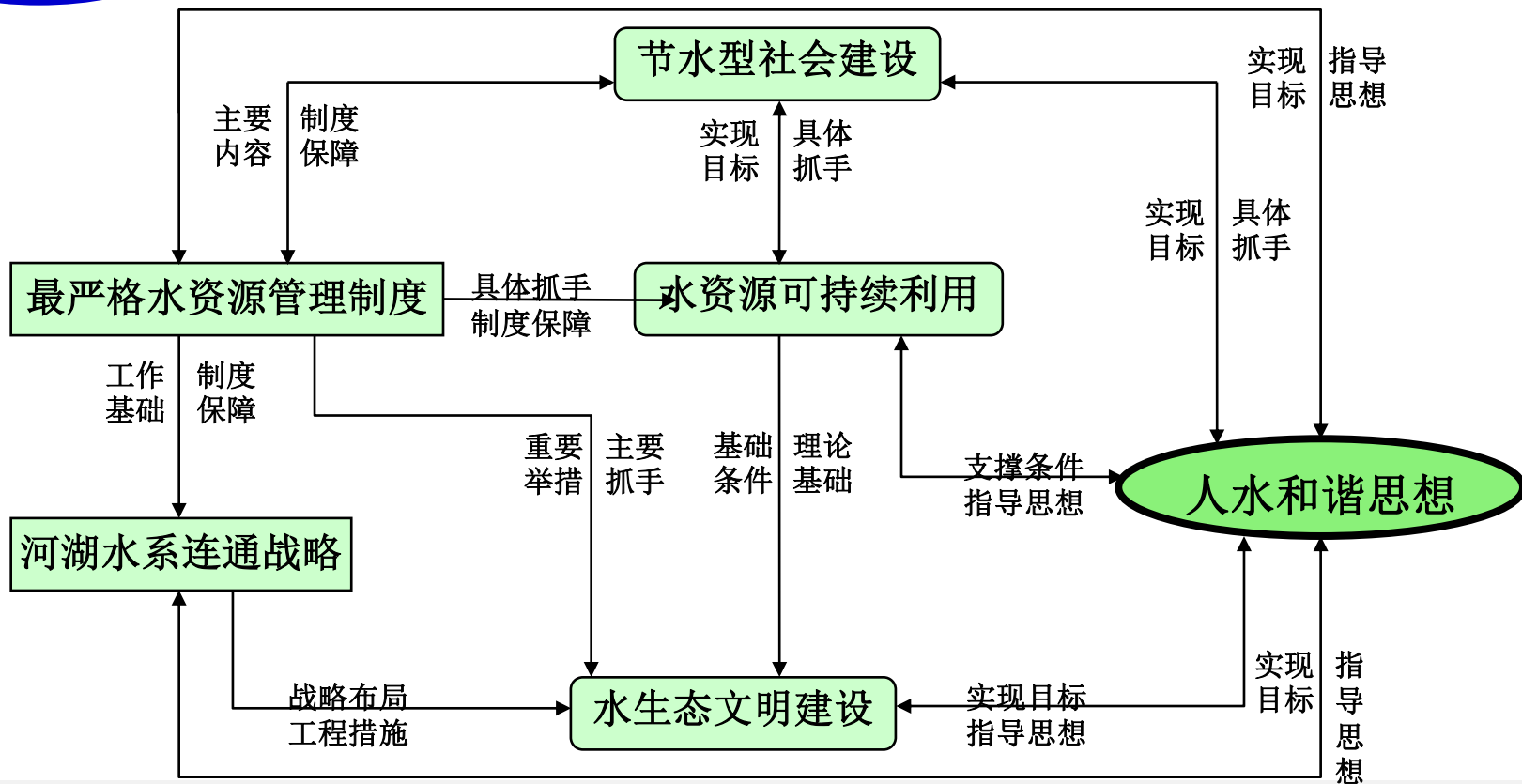
(1. 郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 华北水利水电大学, 河南 郑州 450045)

摘要: 气候变化是目前国内外公认的最主要全球性环境问题之一, 未来的气候变化将进一步加剧我国水资源的供需矛盾, 影响着水资源承载力的变化。在总结水资源承载力研究成果的基础上, 论文阐述了水资源动态承载力的概念与内涵, 提出了气候变化下水资源动态承载力计算的理论框架及基于预测-模拟-优化的控制目标反推模型计算方法(即 PSO-COIM 方法), 并以我国最大内陆河塔里木河流域为典型实例, 通过构建径流与气温、降水等气象因子的 ARIMAX 动态回归预测模型, 分析计算 RCP8.5、RCP4.5 和 RCP2.6 三种气候情景下塔里木河流域未来不同水平年水资源动态承载力。计算结果能清晰反映出不同气候情景下水资源的承载规模, 并可以判断出未来经济社会发展预测情形下的水资源承载程度, 为支撑流域可持续发展提供依据。

关键词: 水资源承载力; 气候变化; 动态承载力; 气候模式; 控制目标反推模型

思考4

与现代治水成果挂钩



引自文献：左其亭，胡德胜，窦明，张翔等著. 最严格水资源管理制度研究：基于人水和谐的视角[M]. 北京：科学出版社，2016

节水型社会建设

“节水优先”、节水条件下谈水资源承载力

水资源可持续利用

水资源承载力，保障水资源可持续利用

人水和谐思想

水资源承载力，实现人水和谐的目标

水生态文明

水资源承载力，确保支撑水生态文明建设

水资源承载力

智慧水利（流域）

水资源承载力是智慧水利的主要依据之一

海绵城市建设

无论怎么建设，要符合水资源承载力

河湖水系连通战略

河湖水系连通目标之一，提高水资源承载力

最严格水资源管理

“三条红线”是水资源承载力的约束条件

可参考文献:

左其亭. 论水资源承载能力与水资源优化配置之间的关系[J]. 水利学报, 2005, 36 (11): 1286-1291

水 利 学 报

2005年11月

SHUILI XUEBAO

第36卷 第11期

文章编号:0559-9350(2005)11-1286-06

论水资源承载能力与水资源优化配置之间的关系

左其亭

(郑州大学 环境与水利学院, 河南 郑州 450002)

摘要:本文在论述水资源承载能力和水资源优化配置概念的基础上,认为水资源优化配置是通过建立优化模型来选择水资源配置方案;水资源承载能力是计算得到的水资源对社会经济最大支撑规模,可以作为水资源优化配置模型的约束条件。本文把水资源优化配置模型分为3个层次:即考虑不承载条件下的水资源优化配置模型,考虑承载条件下的水资源优化配置模型,面向可持续发展的水资源优化配置模型,并给出各层次模型的表达式,并对其进行比较。最后以郑州市为例,介绍各层次模型的应用意义。

关键词:水资源承载能力;水资源优化配置;优化模型;可持续发展

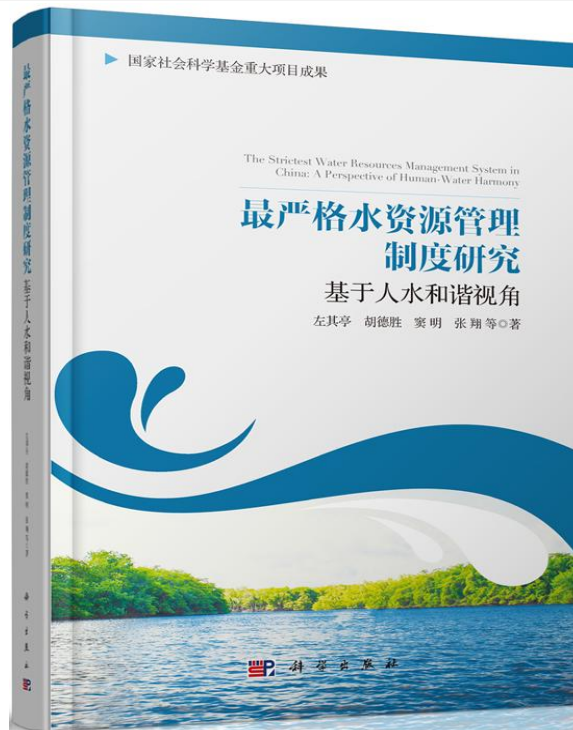
中图分类号:TV213

文献标识码:A

水是人类不可缺少的宝贵资源,随着社会经济的发展,人类对水的需求不断增加,水资源问题日益突出,严重制约着人类社会和经济的发展。加强对水资源承载能力和水资源优化配置两方面研究,对水资源规划、管理和保证水资源可持续利用有重要指导意义。

水资源承载能力的概念,最早源于《生态学》中的“承载能力”一词,是自然资源承载能力的一部分^[1]。其研究的主体是资源与环境系统,客体是人类或更广泛的生物群体。近年来,我国不少学者对水资源承载能力的概念及计算方法进行深入探讨^[2-4]。尽管对水资源承载能力的定义在表述上各有不同,但其表达的基本观点和思路并无本质差异,都强调了“水资源支撑能力”的含义。可以把“水资源承载能力”简单定义为:“一定区域、一定时段,维系生态系统良性循环,水资源系统支撑社会经济发展的最大规模”。因此,在实际应用中,求解水资源承载能力可以通过建立优化模型来实现。

左其亭, 胡德胜, 窦明, 张翔 等著. 最严格水资源管理制度研究: 基于人水和谐的视角. 科学出版社, 2016



思考5

与寻找“和谐平衡”的结合

水利学报 提出“和谐平衡”理论：寻找水资源与经济社会发展“平衡点”！

2014年7月

SHUILI

第45卷

文章编号:0559-9350(2014)07-0785-08

水资源与经济社会和谐平衡研究

左其亭, 赵 衡, 马军霞

(郑州大学 水科学研究中心, 河南 郑州 450001)

摘要: 水资源是支撑经济社会发展的重要基础, 经济社会是保护水资源的重要主体。二者相辅相成, 应和谐平衡。但二者在很多情况下又存在矛盾, 如何实现二者之间的一种“平衡”, 是一个难点问题。本文从和谐平衡的观点出发, 阐述寻找经济社会发展与水资源保护之间“平衡”的重要意义; 并在此基础上, 阐述和谐平衡的概念及内涵, 把和谐平衡定义为“利益相关者考虑各自利益和总体和谐目标而呈现的一种相对静止且相关者各方暂时都能接受的平衡状态”; 构建了寻找和谐平衡的一般方法步骤, 提出了基于和谐平衡的和谐平衡计算方法; 最后将建立的和谐平衡模型应用于河南省, 确定了实现河南省水资源与经济社会和谐平衡的条件。

关键词: 和谐平衡; 和谐论; 经济社会发展; 水资源保护

中图分类号: TV213

文献标识码: A

doi: 10.13243/j.cnki.slxb.2014.07.004

1 研究背景

自然界可循环利用的水资源量是有限的, 随着人类社会的发展进步, 不同部门之间、不同地区之间、上下游之间、人类生产生活用水与生态用水之间为争有限水资源而产生矛盾, 水资源危机日益突出^[1], 需要寻找一种平衡, 使得水资源开发利用程度达到某一适合水平, 以水资源的可持续利用支撑经济社会的可持续发展。同时, 经济社会的发展又会对水资源系统产生压力, 降低水资源承载能力的同时, 又通过环境治理、生态修复等手段, 使水资源系统的发展需要达到一个与水资源禀赋相适应的水平。任何一个子系统出现问题都会危及到其他子系统, 因此实现水的社会、经济、自然三大系统的和谐平衡, 是最终达到天人合一的境界, 也需要寻找一种平衡状态。二者之间的平衡, 即是在发展和保护之间实现平衡^[2], 在重要的意义, 是实现经济社会可持续发展、保障国家生态安全、为人们制定以市场为导向的环境政策提供方向^[3]。

社会系统

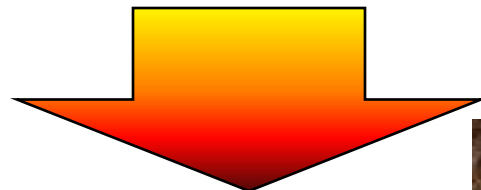
水资源系统

经济系统

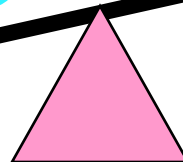
生态系统

水利、治污投资
供水

涵养水源
供水

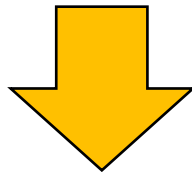


寻求一种平衡！

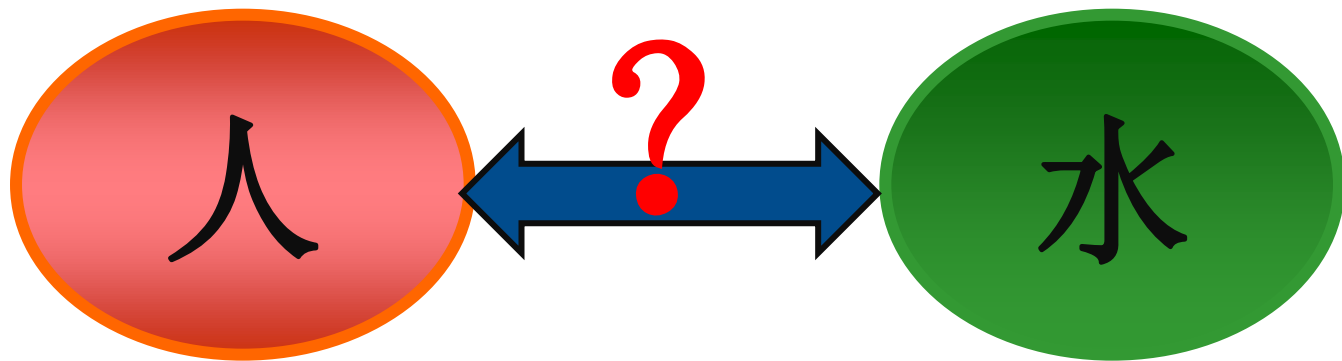




习近平：节水优先，空间均衡，系统治理，两手发力
(2014年3月14日，习近平总书记中央财经领导小组第五次会议上)



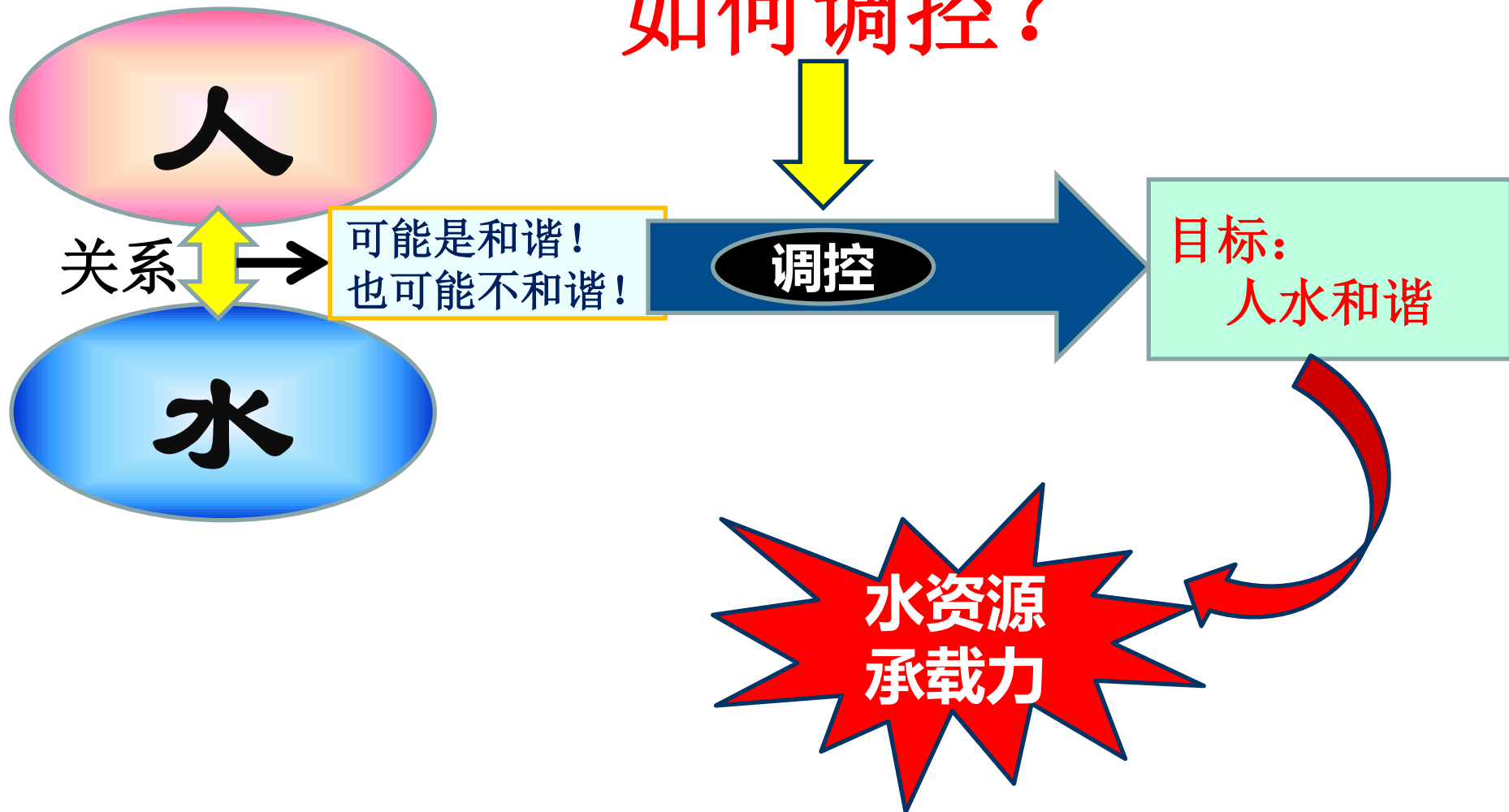
如何寻找均衡？

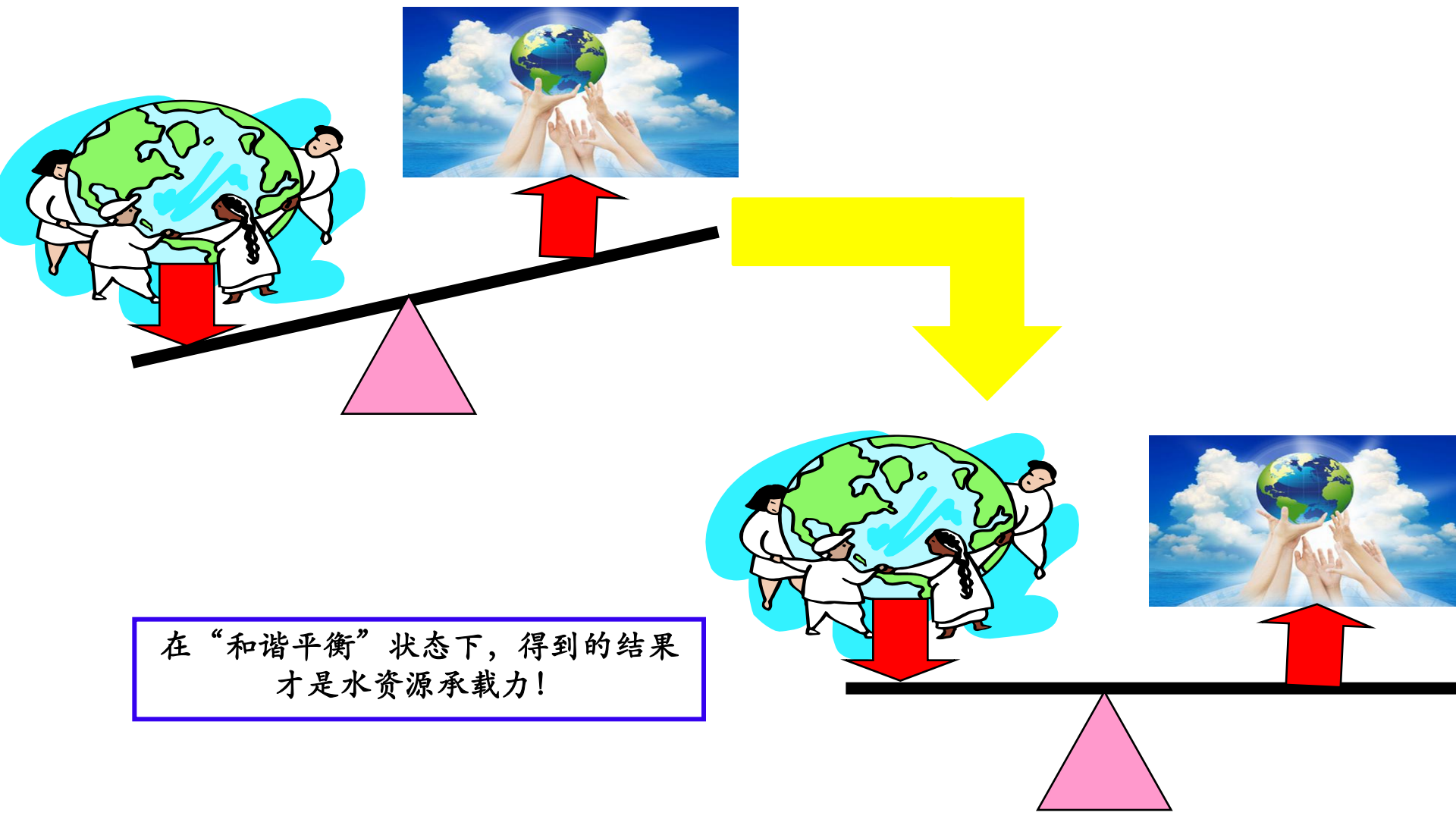


水利工作-----几乎都是为了改善人水关系…

但可能 **事与愿违!**

如何调控？





定量研究：

一般表达式

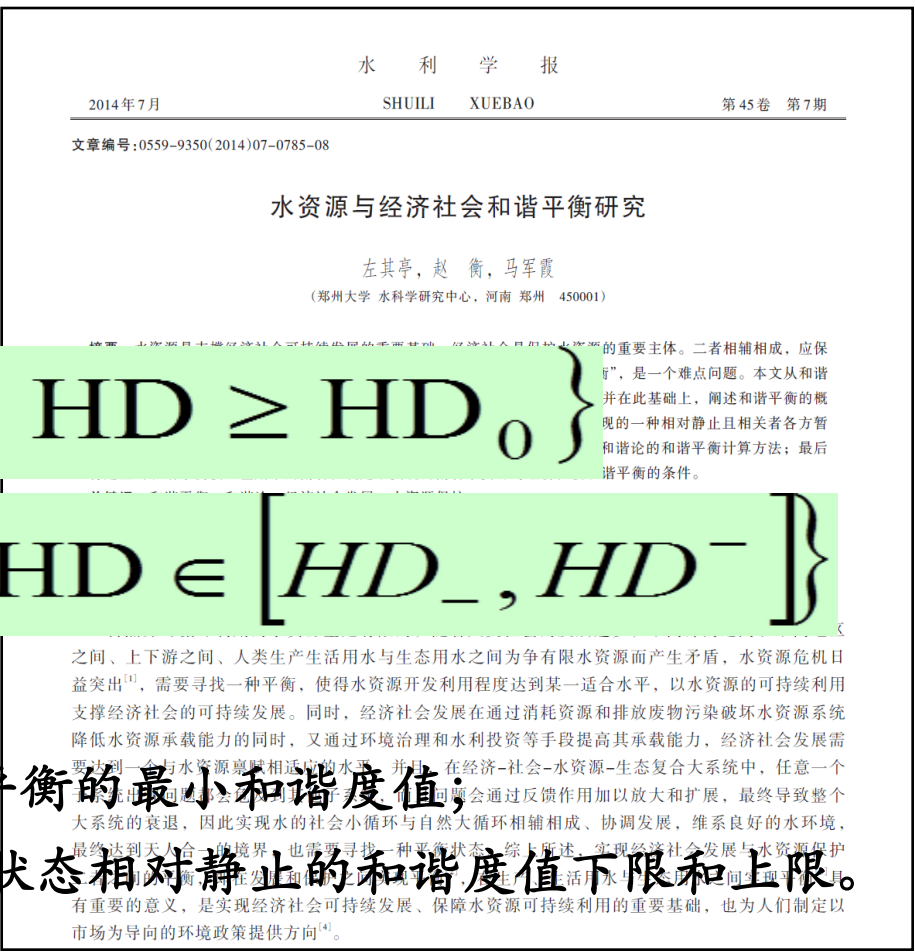
$$\{ \text{和谐行为} A | HD \geq HD_0 \}$$

$$\{ \text{和谐行为} A | HD \in [HD_-, HD^+] \}$$

HD_0 为某一设定的、认为是和谐平衡的最小和谐度值；
 HD_- 、 HD^+ 分别为认为和谐平衡状态相对静止的和谐度值下限和上限。

引用文献：

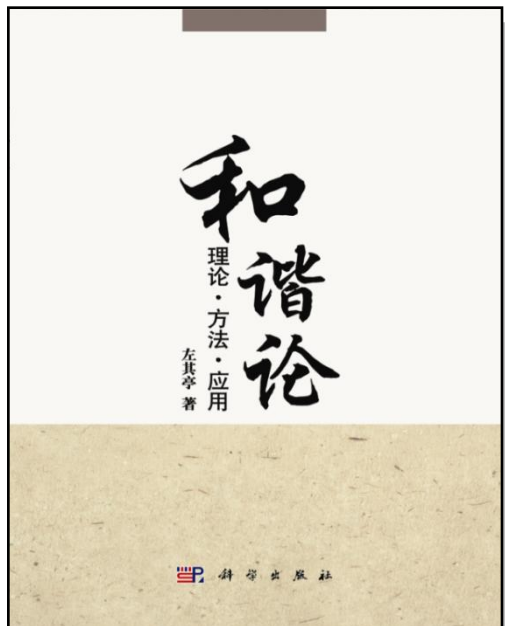
左其亭，赵衡，马军霞. 水资源与经济社会和谐平衡研究[J]. 水利学报，2014，45（7）：785-792



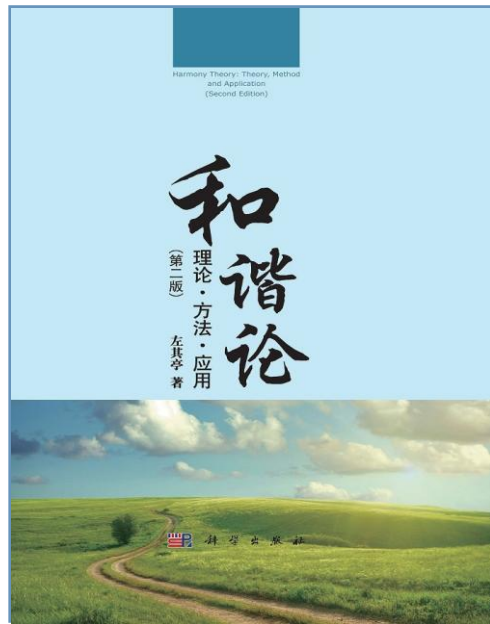
可参考文献:



2009年



2012年第一版



2016年第二版

提出以和谐论量化研究为主要特色的**和谐论理论方法体系**

结 语



- 1、绿色协调发展，涉及多个方面，需要多个领域共同努力，水资源是重要基础条件。
- 2、水资源承载力研究非常重要，目前研究者多。
如何创新、应用？仍大有文章可做！

敬请批评指正！谢谢！
