

环境调控丛书

6

水资源调控

——大西线调水解析

左玉辉 梁英 柏益尧 著



科学出版社

www.sciencep.com

环境调控丛书 6

水资源调控

——大西线调水解析

左玉辉 梁 英 柏益尧 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是《环境调控丛书》之六。

大西线调水已引起世界瞩目,备受争议。本书试图以五律协同原理为指导,对该项事关全局的重大战略工程进行五律解析,分析它的科学性、必要性和可行性。研究认为,大西线调水具有很高的潜在五律协同度。经过深入论证,一旦建成,它将成为我国水安全战略性基础工程、生态安全战略性基础工程、能源安全战略性基础工程和构建和谐社会的战略性基础工程。

本书可供政府工作人员、科研人员和相关专业研究生参阅,也可作为环境学课程的辅助教材供环境科学专业学生使用,还可作为大学生环境通识教育课程辅助教材和国民科学素质教育读物供大学生和一般读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

水资源调控:大西线调水解析 / 左玉辉, 梁英, 柏益尧著. —北京: 科学出版社, 2008

(环境调控丛书: 6/左玉辉主编)

ISBN 978-7-03-021709-7

I. 水… II. ①左…②梁…③柏… III. ①水资源-协调控制-研究-中国
②水污染-污染控制-研究-中国 IV. TV213.4 X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 056119 号

责任编辑: 周巧龙 袁 琦 / 责任校对: 陈玉凤

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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 5 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2008 年 5 月第一次印刷 印张: 13 1/4

印数: 1—3 000 字数: 255 000

定价: 34.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

《环境调控丛书》序

《环境调控丛书》(简称《丛书》)是国内运用环境学原理开拓我国宏观环境调控研究领域的首部系列专著,包括《环境调控总论》、《人口-环境调控》、《经济-环境调控》、《能源-环境调控》、《土地资源调控》、《水资源调控——大西线调水解析》、《农村环境调控》、《海岸带资源环境调控》。《丛书》主张,我国实现科学发展需要经济调控、社会调控、环境调控协调同步,其理论主线是五律解析与五律协同。《丛书》就人口、经济、资源与环境四个领域的环境调控空间、调控时机和调控策略进行了系统研究,提出了一批富有创意的见解和建议,希望为我国实现科学发展提供新理论、新视野、新策略。

《丛书》的撰写与出版得到了李文华院士、唐孝炎院士、金鉴明院士、任阵海院士、郝吉明院士、张懿院士、孙铁珩院士、张全兴院士、叶文虎教授、张远航教授和李爱民教授的热情支持与学术指导,得到了南京大学和“污染控制与资源化研究”国家重点实验室的资助与大力支持,在此谨表诚挚谢意。

左玉辉

2008年1月于南京大学

前

言

大西线调水已引起世界瞩目,备受争议。赞成者认为大西线调水是我国经济社会发展不可避免的选择,将为我国创造巨大的经济效益、社会效益和环境效益;质疑者认为大西线调水不科学、不必要、不可行。本书试图以五律协同原理为指导,对该项事关全局的重大战略工程进行五律解析,分析它的科学性、必要性和可行性。大西线调水构想有多种方案,本书以郭开先生提出的方案为研究蓝本。本书共7章,可分为两个部分,前两章为第一部分,阐述水资源调控总论和远距离调水调控战略,后五章为第二部分,进行大西线调水的五律解析。

自然解析。系统分析了调出地区、输送沿线和受水地区的水资源分布、地形地貌、地质构造和工程地质条件。研究表明,大西线调水水源有保证,输水线顺应地势,受水区确实缺水。

技术解析。系统分析大西线调水所需的大坝、水库、隧洞和引水渠技术。资料表明,高坝、大库容水库、深埋长隧洞和大断面引水渠是大西线调水关键技术。对三峡水库、水布垭、锦屏一级、小湾、溪洛渡等大型水电工程、大伙房水库输水隧洞、锦屏二级水电站引水隧洞等已建和在建的同类工程的案例分析表明,大西线调水具有工程技术可能性。

经济解析。包括成本、效益和投资分析。大西线调水成本包括工程造价、移民成本、生态补偿成本和其他保护成本,合计约12 000亿元,约占2015~2035年资本形成总额的0.2%。工程收益包括微观经济收益和宏观经济收益,其中微观经济收益包括:年均供水效益1400~1600亿元,年均电费收入约1000~2500亿元。

社会解析。作者研究认为,大西线调水及其配套工程是西部大开发的战略性基础工程,可提供1~2亿个就业机会,促进东、中、西三大区域的协调发展。

环境解析。作者研究认为,大西线调水开发西北、华北土地资源,将其建设成为我国最大的生物质能源生产基地,不仅可以实现干旱地区的生态修复,而且可以实现绿色能源产业的可持续发展。

作者研究认为,大西线调水具有很高的潜在五律协同度。经过深入论证,一

旦建成，它将成为我国水安全战略性基础工程、生态安全战略性基础工程、能源安全战略性基础工程和构建和谐社会的战略性基础工程。

本书所用数据、资料力求权威、新颖、合理。为了有助于广大读者阅读时查阅相关文献和深入研究有关内容，在每章后面列出了主要参考文献，并在书中引用了参考资料，在此向这些文献的作者深表谢意。

由于作者水平有限，对部分新观点、新思路的研究不免有诸多疏漏之处，在此，谨向广大读者和同仁深表歉意，敬请不吝指正为感。

左玉辉

2008年1月于南京大学



《环境调控丛书》序

前言

第1章 水资源调控总论	1
1.1 水与水资源	1
1.1.1 水	1
1.1.2 中国水资源分布	3
1.2 水资源调控战略	7
1.2.1 水资源调控的基本概念	7
1.2.2 水资源调控战略	8
第2章 远距离调水调控战略	11
2.1 南水北调工程	11
2.1.1 五律解析	11
2.1.2 南水北调简介	12
2.2 水资源调控构想——大西线调水	23
2.2.1 大西线调水的概念	23
2.2.2 大西线调水方案	23
2.2.3 大西线调水不同的声音	31
第3章 大西线调水自然解析	39
3.1 自然环境状况	39
3.1.1 降水量分布	39
3.1.2 干湿带分布	48
3.1.3 气候资源区	51
3.1.4 取水量保证	53
3.2 工程地质条件	56
3.2.1 梯度地形	57
3.2.2 地质构造	58

3.2.3 河谷地貌	61
3.2.4 工程地质问题	63
第4章 大西线调水技术解析	71
4.1 大坝技术	71
4.1.1 大坝概况	71
4.1.2 技术难度	74
4.1.3 技术优势	75
4.1.4 实例研究	77
4.2 水库技术	80
4.2.1 水库概况	81
4.2.2 技术难度	82
4.2.3 技术优势	83
4.2.4 实例论证	85
4.3 隧洞技术	88
4.3.1 隧洞概况	88
4.3.2 技术难度	89
4.3.3 技术优势	92
4.3.4 实例论证	94
4.4 引水渠技术	97
4.4.1 引水渠概况	97
4.4.2 技术难度	99
4.4.3 技术优势	100
4.4.4 实例论证	101
第5章 大西线调水经济解析	105
5.1 成本	105
5.1.1 工程造价	105
5.1.2 移民成本	110
5.1.3 生态补偿成本	113
5.1.4 比较研究	115
5.2 收益	117
5.2.1 大西线调水的宏观经济收益	117
5.2.2 大西线调水的微观经济收益	120
5.3 投资	123

5.3.1 我国未来投资预测	123
5.3.2 投资对宏观经济发展的作用	126
第6章 大西线调水社会解析	130
6.1 东西部地区协调发展的战略举措	130
6.1.1 大西线调水是实施西部大开发的战略工程	130
6.1.2 大西线调水是促进我国东中西部协调发展的战略举措	135
6.2 能源和农业产业的战略调整	136
6.2.1 能源安全战略调整	136
6.2.2 农业空间结构调整	141
6.3 中国农业现代化实现的战略机遇	143
6.3.1 传统农业向现代农业转型的战略机遇	143
6.3.2 能源作物产业化的战略机遇	147
6.4 就业机会的战略工程	148
6.4.1 大西线调水将是一项提供更广泛的就业机会的战略工程	148
6.4.2 实例论证	152
6.5 社会影响分析	154
6.5.1 国际社会影响	154
6.5.2 国内社会影响	157
第7章 大西线调水环境解析	159
7.1 受水区生态环境现状分析	159
7.1.1 西北地区生态环境现状	160
7.1.2 黄淮海地区生态环境现状	165
7.2 生态环境需水研究	168
7.2.1 生态环境需水的内涵	169
7.2.2 区域生态环境需水	170
7.3 生态环境建设	175
7.3.1 生态修复与重建战略工程	176
7.3.2 全面提升生态和谐基础工程	187
7.4 生态环境影响	194
7.4.1 调水区生态环境现状	194
7.4.2 水环境容量影响	196
7.4.3 水生生物物种资源影响	198
7.4.4 特有物种生境资源影响	199

第 1 章 水资源调控总论

一个国家如何对待它的水资源,将决定这个国家是持续发展还是衰落,那些将水系治理作为紧迫任务的国家必将占有竞争优势。如果水资源消耗殆尽,人类健康、经济发展以及生态系统都将受到威胁。对水资源控制权的争夺,将可能引发许多种族和国家间的敌对。首先,水作为自然环境组成要素,是人类生存和发展的基础条件,对其基本概念的介绍和理解是水资源调控的理论基础和依据。水资源分布的特点决定进行水资源调控的客观需求。其次,人类社会的生产、生活需要多种自然资源,而自然资源的原始分布并不尽如人意,在一定范围内,往往是一部分资源很丰富,而另一部分资源很匮乏。这就需要对某些可储存、可转移的自然资源,通过调配实现地区间的重新分配,即资源的优化配置。水资源调控就是对水资源进行优化配置,主要是通过调水、节水、治水等调控途径来实现水资源的可持续发展和人与环境的和谐。本章为水资源调控的总论,对生态环境需水、农业用水、北方地区用水和西南地区水资源开发利用等水资源调控战略,进行了初步的探讨和分析,主要为后面的解析提供基本的理论基础。

1.1 水与水资源

水作为自然环境的组成要素,既是人类从事生产活动的重要资源,又是一切生物赖以生存的基本条件,更是自然环境的基本要素。

1.1.1 水

1.1.1.1 水——生命之源

《本草纲目》中把水置于全书药物的首卷,并指出:“盖水为万化之源,土为万物之母,饮之于水,食之于土,饮食者,人之命脉也,而营为赖之。”水是生命之源,地球上无水才有人类和其他生物。尽管水不是生命,但它是培育生命最初形态的温床。因而,水是生命的摇篮,是生命延续的必要条件。生命诞生于水中,水创造和孕育了生命,水也维持着人类的繁衍和健康。

生物体内都拥有大量水分。哺乳类体内约有 65% 的水,鱼类为 75%,藻类为 95%,水母为 95% 以上^[1]。人类生存更离不开水:胎儿在母体孕育时水分(主要由含盐量为 0.9% 的水组成)比例约占 90%,婴儿约占 80%,青壮年时约

占 70%，老年时约占 50%~60%。人体中一半以上都是水，“人是水做的”一点儿都不夸张。人体器官也几乎都是由水组成的，如血液中水占 83%，肾脏中水占 82%，心脏中水占 80%，肌肉中水占 76%，脑中水占 75%，肝脏中水占 68%，骨骼中水占 22%。人一天所需的水大约为 2600 mL，健康的人会将吸收的水在当天几乎全部排泄掉。人要想正常生存，每人每天摄取 2.5~3 kg 水才能满足生理的需要，并约 18 天就全部更新一遍。

“人能三日无粮，不可一日缺水”。一个人，不吃饭可以维持七天生命，但不喝水，却只能维持三天生命。人体如果没有水，养料就不能吸收，废物就不能排泄，血液就不能流动，体温就无法恒定，体内的各种生理活动也就无法进行，人的生命就要停止了。人缺水 1%~2% 时就会口干舌燥，感觉口渴；缺水 5% 时就会烦躁不安、皮肤起皱，严重的会意识不清，以致产生幻觉；缺水 15% 时会导致昏迷；缺水 20% 时就会危及生命。

1.1.1.2 水资源概念

1. 水圈

水圈，在地球的各个圈层中是最活跃的圈层。它介于大气圈和岩石圈之间，由地壳表层、表面和围绕地球的大气层中的各种液态、气态和固态的水体，共同组成的一个连续而不规则的圈层。地球上水的总储量约有 13.9 亿 km^3 ，其中约 97% 为海洋咸水，不能直接被人类利用。而淡水的总量仅为 0.36 亿 km^3 ，且其中有 69.56% 是以冰川和积雪形式存在于极地、高山和永冻层中，难以被人类直接利用；30.07% 为地下水和土壤水，其中 2/3 的地下水深埋在地下深处；江河、湖泊等地面水的总量大约只占淡水总量的 0.344%。这些数据显示地球上虽然水量丰富，但人类能够利用的水只是其中很小的一部分。

2. 水循环

水循环，是指在一定的时间内，在太阳辐射和重力作用下，水分通过蒸发、水汽输送、降水、下渗和径流等过程，分布在地球系统各个层次的水被联结起来，进行周而复始的、永不停息的跨越四大圈层的水体运动系统。水的固态、液态、气态三态转化特性是产生水循环的内动力，太阳辐射和地心引力作用是这一过程的外动力，主要包括热力条件下的相态转换，重力作用下的斜面运动，沿压力梯度、密度梯度的垂直、水平输送。

水圈的循环可分为自然循环和人为循环，还可分为大循环和小循环。

水分大循环，即海陆间循环。海洋蒸发的水汽，被气流带到大陆上空，凝结后以降水形式降落到地表。其中一部分渗入地下转化为地下水，一部分又被蒸发进入天空，余下的水分则沿地表流动形成江河而注入海洋。

水分小循环,即海洋或大陆上的降水同蒸发之间的垂向交换过程。其中包括海洋小循环和陆上内循环两个局部水循环过程。

水循环是地理环境中最重要、最活跃的物质与能量循环之一。它实现了地球表层系统水量、能量和地球生物化学物质的迁移与转换,构成了全球性的连续有序的动态大系统,改变了地表太阳辐射能的纬度地带性;它联系着海陆两大系统,塑造着地表地貌形态,制约着地球生态环境的平衡与协调,负载着物质不断迁移和富集;它不断提供再生的淡水资源,影响全球气候变迁和生物群落,影响地区生态环境平衡和协调,以及地区内生态系统平衡和物质多样性的分布,对于地球结构的演化和人类可持续发展,以及人与自然和谐的构建,意义重大。

3. 水资源

水资源包含水量与水质两个方面,是人类生产、生活及生命、生存不可替代的自然资源和环境资源,是在一定经济技术条件下,可供人类直接利用、能不断循环更新补充、人工可控制的自然界任何形态的淡水,包括气态水、液态水和固态水。水资源量是一个动态的数值,通常以淡水的年补给量作为水资源的定量指标。一般用河流年径流量表示地表水资源量,用含水层补给量表示地下水资源量。其计算公式为

$$\text{水资源量} = \text{河流径流量} + \text{地下水补给} - \text{重复计算量} + \text{土壤水} + \text{蒸发量} + \text{区域间径流交换量} + \text{污水重复利用量}$$

水资源的稀缺性使得水资源不仅具有自然属性、社会属性、环境属性,更重要的是它还具有经济属性。因为生产、生活、生态的各个领域都离不开水,所以水是人类社会需要的多种资源中最重要、最宝贵的自然资源。世界银行负责环境可持续发展的副总裁伊斯梅尔·塞诺丁曾说:“对世界上正耗尽的水资源的管理需要有一个全球性政策,水应该被看作是一种经济资源。”

1.1.2 中国水资源分布

我国年平均降水量为 61 889 亿 m^3 , 平均降水深 648.4 mm, 年均河川径流量 27 115 亿 m^3 。河川径流主要靠降水补给,由冰川补给的只有 500 亿 m^3 左右。我国年平均地下水资源为 8287.6 亿 m^3 。扣除河流径流量和地下水补给的重复计算量 7279 亿 m^3 后,则我国多年平均水资源总量为 28 124 亿 m^3 。其中长江和珠江以及浙、闽、台和西南地区诸河流域的水量占总水量的 81.0%,而这些地区的耕地仅占全国的 35.9%;而华北和西北地区处于干旱或半干旱气候区的,其降雨和径流都很少,季节性缺水很严重。

1.1.2.1 产水模数极不均匀

中国的水资源在地域分布上极不均匀,表 1-1 为中国流域分区水资源及其开

发程度概况,它表明水资源利用率和消耗率差异显著。西南诸河的地表水利用率只有2%,水资源消耗率只有1%;而海河流域地表水利用率达到78%,地下水开采率100%,水资源消耗率100%。

表 1-1 中国流域分区水资源及开发程度概况

流域	降水量/ 亿 m ³	地表水 资源量/ 亿 m ³	地表水 利用率/ %	地下水 资源量/ 亿 m ³	地下水 开采率/ %	重复 计算量/ 亿 m ³	水资源 总量/ 亿 m ³	水资源 消耗率/ %
松辽(辽)	5415.7	1122.7	31(87)	577.8	47(93)	305.5	1395.1	23(66)
海河	1559.4	125.2	78	222.0	100	77.6	269.6	100
黄河	3043.5	456.1	56	351.6	38	241.8	565.9	69
淮河	3062.3	877.1	43	498.8	36	143.0	1232.9	28
长江	19 561.5	9924.1	17	2516.3	32	408.0	10 032.4	28
珠江	8548.9	4401.2	18	1110.6	4	182.4	4429.4	9
东南诸河	3723.7	2117.0	14	546.8	2	534.9	2128.9	8
西南诸河	9517.5	6122.5	2	1690.5	—	1689.8	6123.3	1

产水模数是指每平方公里拥有的水资源量。表 1-2 为中国各流域多年平均产水模数。它表明我国各流域的产水模数极不均匀。在 10 个流域中,产水模数最多的是浙闽台诸河片,多年平均产水模数为 $108.08 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。产水模数最低的是内陆诸河片,多年平均产水模数 $3.61 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$;次低的是黄河流域片,多年平均产水模数为 $9.36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$;较低的是海滦河流域片,多年平均产水模数为 $13.24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。最多与最少间相差近 30 倍。

表 1-2 中国各流域多年平均产水模数

流域片	多年平均 产水模数/ ($10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$)	流域片	多年平均 产水模数/ ($10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$)	流域片	多年平均 产水模数/ ($10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$)
黑龙江流域片	14.96	辽河流域片	16.71	海滦河流域片	13.24
黄河流域片	9.36	淮河流域片	29.19	西南诸河片	48.75
内陆诸河片	3.61	长江流域片	53.16	珠江流域片	81.08
浙闽台诸河片	108.08	北方片	8.83	南方片	65.41

注:据秦大河《全球水循环与水资源》^[1]。

1.1.2.2 水汽输送收支地域特性明显

中国内地上空多年平均水汽输入量为 $18\,215 \text{ km}^3$,其中约 31%形成降水,69%成为过境水汽越过中国内地上空输出国界。平均每年总蒸发量为 3475 km^3 ,

其中约 17% 通过内循环重新形成降水, 83% 随气流输出国界。年平均总降水量为 6186 km^3 , 其中 90% 由境外输入水汽形成, 10% 由中国内地内部蒸发的水汽形成, 即陆地上空总蒸发量对年降水量的贡献率约 10%。中国内地上空水汽总输出量由两部分组成, 其中境外输入的过境水汽量占总输出量的 81%, 中国内地蒸发形成的水汽输出量占 19%。每年从中国内地上空输出的水汽量与从河川流出的水量之和为 $18\,215 \text{ km}^3$, 等于全年水汽总输入量, 实现中国内地全年水量平衡。

由于中国地域辽阔, 地形复杂, 因此各个地区的水汽输送和收支具有明显的地域特性。根据中国气候区划和流域水文气候的特点, 把中国内地划分为东北区、华北区、华南区、长江区、西南区、西北区^[1]。表 1-3 为各个区域上空的水汽输送收支情况, 明显反映出我国六大片区水汽输送收支的地域特性。其中水汽输入中, 华南、西北、华北出境比例都超过 80%, 在区域内部重新形成降水的比例较少; 总降水量中, 西南片区河川径流汇入海洋比例高达 57.3%, 水资源浪费严重; 总蒸发量中, 西北、华北地区重新形成降水的比例很少, 达不到 10%, 但水流随气流出境的比例却高达 90% 以上, 这样就使得西北、华北地区显得更加的干旱缺水。

表 1-3 六大区域水汽输送与水汽收支

区域	水汽输入		总降水量			总蒸发量	
	形成降水	出境	境外水汽形	流域内蒸发水	河川径流汇入	重新形成降	随气流出境
	比例/ %	比例/ %	成比例/ %	汽形成比例/ %	海洋比例/ %	水比例/ %	比例/ %
东北区	22.5	77.5	91.2	8.8	24.5	11.3	88.7
华北区	19.6	80.4	92.2	7.8	20.2	9.8	90.2
华南区	13.9	93.0	97	3.0	57.0	—	—
长江区	28.2	71.8	93.5	6.5	54.2	14.1	85.9
西南区	20.4	79.6	95.7	4.3	57.3	10.1	89.9
西北区	14.4	85.6	97.8	7.2	0.1	7.2	92.8

注: 据刘国纬《水文循环的大气过程》^[2]。

1.1.2.3 水能资源开发潜力差距较大

我国地势西高东低, 主要河流发源于世界屋脊——青藏高原, 奔流入海, 蕴藏着得天独厚的水能资源。根据潘家铮院士较为可靠的数据: 中国内地部分水电的理论蕴藏容量为 6.94 千亿 kW, 按一年 8760 h 运行时间计, 年发电量为 60 829 亿 kW·h, 其中技术可开发容量为 5.42 亿 kW, 年发电量为 24 740 亿 kW·h, 列世界之冠^[3]。表 1-4 为我国各个地区可能开发的水能资源, 表明我国各个地区水

能资源开发潜力差距较大。西南片区装机容量 $23\,234 \times 10^4 \text{ km}^3$ ，年发电量 $13\,050 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，年电量占到全国水能总发电量的 67.8%，具有很大的水能资源开发潜力。华北地区年发电量只占到全国的 1.2%，相距甚远。

表 1-4 按地区划分的可开发水能资源

地区	装机容量/ 10^4 km^3	年发电量/ $10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$	年电量占全国比例/ %
华北	692	232	1.2
东北	1199	384	2.0
华东	1790	688	3.6
西北	4194	1905	9.9
中南	6743	2974	15.5
西南	23 234	13 050	67.8

1.1.2.4 水资源与人口、耕地分布不匹配

我国水资源空间分布的不平衡性与全国人口、耕地分布的差异性，构成了我国水资源与人口、耕地不匹配的特点，大大增加了我国水资源开发利用的难度和成本。表 1-5 为我国内地各区人均、每公顷水资源占有量，表明我国水资源的分布同人口、耕地的分布极不协调。南方地区耕地面积只占我国内地的 39.85%，人口数占我国内地的 57.59%，但水资源总量占我国内地的总量的 80.16%；而北方片区的水资源总量只占我国内地总量的 19.84%，耕地面积却占我国内地的 60.15%。

表 1-5 我国内地水资源与人口、耕地资源组合状况

片区	北方片			南方片	
区名	东北占全国内 地比例/%	华北占全国内 地比例/%	西北占全国内 地比例/%	西南占全国内 地比例/%	东南占全国内 地比例/%
省市(区)	黑、吉、辽	京、津、冀、 蒙、晋、 鲁、豫	陕、甘、宁、 新、青	川、渝、黔、 滇、桂、藏	苏、沪、皖、鄂、 湘、赣、浙、 闽、粤、琼
水资源总量/亿 m^3	1529.0	1685.2	2235.1	2752	9259.2
	5.56	6.14	8.14	46.44	33.72
人均水量/($\text{m}^3/\text{人}$)	15 309	555.6	2787.6	5721.9	2134.9
耕地/万 hm^2	1623.8	2984.4	1147.0	1381.7	3430.5
	16.97	31.19	11.99	14.44	25.4
每公顷水量/ (m^3/hm^2)	9417.0	5646.0	19 486.5	92 292.0	38 097
工农业值/亿元	5 039.0	12 398.0	1997.5	4 743.3	21 972
	10.92	26.86	4.33	10.08	47.61

注：据刘昌明《中国 21 世纪水问题方略》^[4]。

1.2 水资源调控战略

人类社会的生产、生活需要多种自然资源,而自然资源的原始分布并不尽如人意,在一定范围内,往往是一部分资源很丰富,而另一部分资源很匮乏,这就要对某些可储存可转移的资源,通过调配实现地区间的重新分配,即资源的优化配置。我国南方多青山绿水,风景宜人;北方多荒山、秃岭、戈壁、沙漠。这种自然景观的差异就是南方水多、北方水少在生态环境中的客观反映。北方大量的土地资源由于缺水而得不到发展,南方经常由于水多而水患灾害不断。西南地区巨大的水电潜力和水资源,由于区域生产力的局限而得不到有效的利用,西北华北地区由于严重的资源型缺水而影响区域社会、经济、环境的发展等。这些资源分布不平衡现象的存在,都需要人类做出正确的抉择,实现水资源的最优化配置。

1.2.1 水资源调控的基本概念

1.2.1.1 水资源调控概念

水资源调控,是指采取一定的工程措施和生物措施,在水资源短缺与生态环境恶化双重胁迫条件下,对有限的水资源分配进行时空调节,实现水资源的优化配置和可持续发展。水资源调控在空间上协调地区之间的矛盾,在时间上考虑近期和远期利益的冲突,权衡部门之间的关系,纵贯社会、经济、环境、水文学等诸多领域,是实施调水工程、充分合理地利用外流域水资源的战略方针。

1.2.1.2 水资源调控途径

1. 节水

节水是基于经济、社会、环境和技术发展水平,通过法律、管理、技术与教育手段,以及改善供水系统,减少需水量,提高用水效率,降低水的损失与浪费,合理增加水资源的可利用量,实现水资源的有效利用,达到环境、生态、经济效益的一致性与可持续发展^[6]。节水是实现水资源永续利用的重要措施。淡水是人类社会的一种稀缺资源,要实现人类社会的可持续发展,必须重视水资源的永续利用,坚持开源节流并举,把节水放在突出位置,以提高用水效率为核心,全面推行各种节水技术和措施,发展节水农业,建立节水型社会。节水更是应对工程型缺水的紧急措施。

2. 治水

治水包括对污水和废水的治理。废污水资源化既是治理污染,又是开辟新的

水源。现代社会的经济活动对水资源造成了很大的污染，产生的废水和污水量是巨大的。大量的废污水排入江河湖海，已造成水质的严重污染。治水是应对水质型缺水的关键措施。

3. 调水

调水是通过人工修建大型的水利工程，使河流改变流向，或以人工运河和大口径管道向缺水地区输送大量水资源，实现水资源在空间上的重新分配。用来解决干旱地区缺水矛盾和因缺水导致的生态环境问题。远距离调水是解决资源型缺水，实现水资源重新配置的重大举措，是人类改造环境的伟大工程。它不仅对自然环境，也对社会环境带来巨大的影响。因此，世界各国每提出一个远距离调水计划，都会引起全社会的普遍关注和争论。

1.2.2 水资源调控战略

1.2.2.1 生态环境需水调控战略

1. 生态环境需水概念

生态环境是指某一区域或流域的复合系统，它是复杂的生物群落及其所处的地理环境各要素相互依存和制约、相对稳定和组织功能的一个系统^[6]。所谓生态环境需水，广义上是指维持江河水生生物生态系统水分平衡所需消耗的水量，包括水热平衡、水盐平衡、水质平衡、水沙平衡等^[7]；狭义上是指在一定的生态目标下，维持特定时空范围内生态系统与自然环境正常功能，或者恢复到某个稳定状态所需求的水量。生态环境需水在水资源丰富的湿润地区并不构成问题，而在水资源紧缺的干旱、半干旱和半湿润地区，由于经济发展过程中，城市和工业用水挤占农业用水，农业用水又挤占生态用水，导致生态环境恶化。所以，生态环境建设的任务是在区域或流域水土资源合理利用的基础上，保护、恢复与改善以水土为中心的再生自然资源与环境。

2. 生态环境需水调控战略

生态环境是关系到人类生存发展的基本自然条件。保护和改善生态环境是保障我国社会经济可持续发展所必须坚持的基本方针。在水资源调控中，要从不重视生态环境需水转变为在保证生态环境需水的前提下，合理规划和保障社会经济用水。保障生态环境需水，有助于流域水循环的可再生性维持，是实现水资源可持续利用的重要基础。目前生态环境需水难以保证的地区主要是西北地区，根据刘昌明院士的计算，西北地区的生态需水量为 750 亿 m^3 左右，占区域水资源总量的 50% 左右，严重限制了西北地区的经济发展。合理调控配置生态需水量是确保西北地区人与自然环境和谐共处的重要措施。