

水利水电工程与生态环境

王文斌◎著

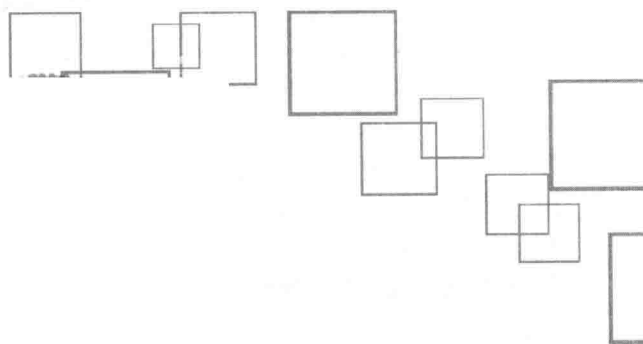


吉林科学技术出版社

水利水电工程与生态环境



王文斌 著



图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程与生态环境 / 王文斌著. — 长春:
吉林科学技术出版社, 2018.10
ISBN 978-7-5578-5171-2

I. ①水… II. ①王… III. ①水资源—资源开发—水利
工程 IV. ①TV213

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第239452号

水利水电工程与生态环境

著 王文斌
出版人 李 梁
责任编辑 孙 默
装帧设计 陈 磊
开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 200千字
印 张 13.25
印 数 1-3000册
版 次 2019年5月第1版
印 次 2019年5月第1次印刷

出 版 吉林出版集团
吉林科学技术出版社
发 行 吉林科学技术出版社
地 址 长春市人民大街4646号
邮 编 130021
发行部电话/传真 0431-85635177 35651759 85651628
85677817 85600611 85670016
储运部电话 0431-84612872
编辑部电话 0431-85635186
网 址 www.jlstp.net
印 刷 三河市天润建兴印务有限公司

书 号 ISBN 978-7-5578-5171-2
定 价 98.00元
如有印装质量问题 可寄出版社调换
版权所有 翻印必究 举报电话: 0431-85659498

作者简介

王文斌，男，汉，1968年4月28日，河北省石家庄市鹿泉区，本科，中国地质大学（北京），水文工程地质高级工程师。现就职于河北省水文工程地质勘察院，任副院长，研究方向：水文、工程、地质、环境生态。

前 言

随着经济和社会的发展,人们对河流的开发利用程度越来越大。水利水电工程在实现防洪、发电、航运和供水效益的同时也改变了天然河流的生态系统,影响了河流的生态环境,打破了河流的连续性,威胁了河流的水生生物生存。保护和恢复健康的河流生态系统,实现人与河流和谐发展,是水利水电工程建设和调度的新思路。研究筑坝对河流的影响,有利于更正确地认识和了解河流生态环境问题,更好地维持河流生态系统的健康生命,从而实现人水和谐,这具有重要的理论和现实意义。

现在水利水电事业发展方向是变工程水利为资源水利,而生态环境又是经济、社会持续稳定发展的基础。在进行水利水电工程项目的规划、设计、施工及管理运行中,生态环境问题必须引起足够的重视,并以科学、严肃、认真的态度予以深入研究、探索。水资源的开发利用应当在充分考虑水资源的生态功能、环境功能和景观功能等综合的开发模式下进行,真正体现生态效益、经济效益和社会效益的统筹兼顾,必须将环境影响评价作为水利水电工程建设中必不可少的组成部分,通过进行科学的环境影响评价,可以尽早对水利水电工程所造成的生态环境影响采取必要的措施,尽量减少和避免不利影响的产生。在尊重自然规律的前提下,利用工程措施及非工程措施等手段,充分发挥水的资源功能、环境功能和生态功能,以实现流域内水利和经济社会的可持续发展。坚决遏制浪费资源、破坏资源的现象,以可持续的方式开发利用水资源,实现开发与保护的平衡,实现水资源的永续利用。

目 录

第一章 水利水文的发展	1
第一节 水利的起源	1
第二节 水利水文的概念	24
第三节 水利水文工程的进程及发展	31
第四节 传统水利的特点及不足	34
第二章 生态系统与区域生态效应	39
第一节 生态系统基本理论	39
第二节 生态效应内涵及基本内容	44
第三章 水利工程与生态环境系统的相互作用	47
第一节 水库对天然径流的影响	47
第二节 水库的气候效应	50
第三节 水库水温结构和下游河道水温	54
第四节 水库水质结构和下游河道水质	59
第五节 水库淤积	63
第六节 水库下游河道演变	69
第七节 水库诱发地震	74
第八节 水库对生态系统的作用与影响	82
第九节 围湖造田与生态环境系统	90
第十节 水利工程施工对生态环境的影响	94
第十一节 水利工程开发性移民	98
第四章 水利工程的生态效应区域响应分析	101
第一节 生态效应区域响应的内涵	101
第二节 生态效应区域响应研究的目标与意义	103
第三节 生态效应区域响应分析	103

第四节	生态效应区域响应评价基础	110
第五节	生态效应区域响应评价体系	112
第五章	河流地貌地形的生态功能和作用	116
第一节	河流生态系统	116
第二节	河流生态系统的地貌特征	128
第三节	河流形态多样性的生态特征	132
第四节	河流生境概述	135
第五节	大型水利工程对河流生态系统的影响	147
第六章	水利水电工程的生态效应分析	155
第一节	现行水利水电工程建设项目评价方法的解析	155
第二节	水利水电工程生态效应分析内涵	158
第三节	水利水电工程生态效应分析方法	160
第四节	水利水电工程生态影响及调控措施	166
第七章	三峡和葛洲坝对长江中下游河流生态水文及重要鱼类中华鲟生境的影响	171
第一节	研究区概况	171
第二节	三峡水库下游河流水文情势变化分析	178
第三节	三峡水库下游水文情势变化对重要鱼类中华鲟生境影响	185
第八章	大型水利工程对长江水沙关系影响分析	191
第一节	水沙相关分析	191
第二节	水量、沙量双累计关系分析	193
第三节	径流量、输沙量年极值分析	195
参考文献		201

第一章 水利水文的发展

第一节 水利的起源

探求水利的起源，就要追寻人类的进化过程。世界古文明的四大发源地——埃及、美索不达米亚、印度和中国，无不借助于河流的慷慨赠予，这是举世公认的事实。人类社会的发展史本身就说明了水利在人类的生存和发展中所起的重要作用。

一、水文起源与人类社会

世界上最早的水文观测是在中国和古埃及开始的。早在尼罗河远古时代，人们就在治水过程中积累水文知识。主要分为以下几个方面的内容：

(一) 水文测量

1. 水文测量

公元前约 3500 年古埃及在尼罗河上设置水位观测设备。公元前 4 世纪印度开始观测雨量。公元前 251 年，中国秦代李冰在都江堰工程渠首上游约 1km 处的白沙邮，作三石人，立于水中“与江神要（约定），水竭不至足，盛不没肩”（《华阳国志》），以控制干渠引水量。这种石人水尺直到东汉建宁元年（168 年）仍在采用。到宋代，“离堆之趾，旧镌石为水则，则盈一尺，至十而止，水及六则，流始足用”。宋嘉祐中（1056 年）已改在宝瓶口右侧离堆石壁上刻画“水则”共十则（一则合今 31.6cm），要求侍郎堰底以四则为度，堰顶高以六则为准。既用来控制堰体修筑高度，又作为河道疏浚标准，从而达到调节控制宝瓶口进水量的目的。明清以来仍以水则作为宝瓶口的水位计，只是按水位来调节控制引水量和作为维修工程的标准较前越来越精密，使都江堰工程二千余年至今不衰，成为中国古代运用水文特性兴建水利工程和巧妙地利用水位控制工程运用的创举。

中国隋代，用木桩、石碑或在岸上石崖上刻画成“水则”观测江河水位。曹魏黄初四年（公元 223 年），中国在黄河支流伊河龙门崖壁用石刻记录洪水位。1075 年，中国在重要河流上已有记录每天水位的“水历”。宋代的吴江水则碑已把水位与附近农田受淹情况相联系。至明清时期，水位观测已比较普遍，并用快马驰报水

情。另外，长江上游川江涪陵城下，江心水下岩盘上有石刻双鱼，双鱼位置约相当于一般最枯水位。岩盘长约 1600m，宽 15m，名白鹤梁。梁上双鱼侧有石刻题记：“广德元年（据考证应为二年、公元 764 年）二月，大江水退，石鱼见，郡民相传丰年之兆。”764—1949 年间石上共刻有 72 年特枯水位题记。川江枯水石刻，除涪陵白鹤梁外，尚有江津莲花石、渝州灵石及云阳龙脊石等多处。莲花石在江津川江主航道北侧礁石上，1978 年曾出露。灵石在重庆朝天门嘉陵江、川江汇口脊石上，有汉、晋以来 17 个枯水年石刻文字。龙脊石在云阳城下江心，有自宋至清题刻 170 余段，有 53 个特枯水位记录。这是中国也是世界上历时最长的实测枯水位记录。

中国清代中叶以前，水文工作的主要内容是雨量、水位测报。自秦代以来，封建朝廷订有地方向中央报告降雨情况的制度，但其负责的部门和官员已无可考。战国时期秦国建都江堰，立石人观测水位，其后在一些水利工程上设立水则，这类观测由地方官员指派专人管理。南宋以来，对有洪水威胁的主要河流，汛期要观测水位并上报朝廷。测报由中央政权布置并由防汛部门或官员管理。

2. 其他测量

公元前 11 世纪的商代，甲骨文中有降雨的定性记述。据 1975 年在湖北云梦县睡地虎秦墓出土的秦代（公元前 221—前 206 年）竹简《秦律十八种·田律》（《睡地虎秦墓竹简》，文物出版社）载（译文）：“下及时雨和谷物抽穗，应即书面报告受雨、抽穗的顷数和已开垦而未耕种田地顷数。禾稼生长期下雨，也要立即报告降雨量和受益田地顷数。如有旱灾、暴风雨、涝灾、蝗虫及其他虫害等损伤了禾稼，也要报告受灾顷数。距离近的县，由走得快的人专送报告，距离远的县由驿站传送，在八月底以前送达。”汉承秦制，汉代也有“自立春至立夏，尽立秋，郡国上雨泽”测报雨量的制度。（《后汉书·礼仪志》）从此历代都有要求全国各地报雨的制度。宋淳祐七年（1247 年），秦九韶所著《数书九章》记述全国州县用天池盆、圆婴测雨及竹笼测雪和雨雪深度的计算方法。

中国战国时期的水利家慎到（约公元前 395 年—前 315 年）曾在黄河龙门用“流浮竹”测定河水流速，只是当时没有计时工具，以比拟物速如“驯马”“竹箭”的速度来形容流速的大小；汉代张戎于公元 4 年提出“河水重浊，号为—石水而六斗泥”，说明当时已对黄河含沙量做过观测。公元 1 世纪，古希腊的希罗提出河流的流量取决于流速和过水断面面积。宋元丰元年（1078 年），中国开始出现以河流断面面积和水流速度来估计河流流量的概念。公元 1342 年，中国的李好文著《长安志图》记有计算流量的单位名“徽”。

(二) 河川径流

据《竹书纪年》载：夏帝癸十年（公元前16世纪），“伊洛竭”为黄河支流伊洛河发生枯水现象的最早记载；此书还记载：“汤十九祀（商代称年为祀）大旱，二十到二十四祀均大旱，王祷于桑林，雨。”推测为黄河、淮河、海河流域最早的一次连旱记载。商代（公元前1400年前后）的甲骨文中有许多记载有关雨雪、洪水方面的卜辞。

据顾实所著《穆天子传西征讲疏》（成书于1931年）中考证：由周史官记于周穆王十三年至十四年之际的《穆天子传》于晋太康二年（281年）与《竹书纪年》一书同时出土于汲县（今河南省卫辉市）古冢，以日记形式记述了穆王及随从于十三年（公元前989）闰二月从宗周（今河南洛阳）出发，经今河北、山西、内蒙古河套入宁夏、甘肃、青海、南疆，西过帕米尔，经中亚，于十二月到达欧洲大平原的波兰华沙，休整三个月后，于十四年（公元前988）三月起程东归，十一月回到宗周，前后历时二年。沿途跋山涉水，行程三万五千里，记录经过的河流湖泊达19处之多，并记有雨雪风旱等天气情况，是中国最早的一部水文地理游记著作。

周代（公元前11世纪—前6世纪）的一部诗歌总集《诗经》中，有不少关于泥沙、泉水、河流、天气等方面的记述。如“相彼泉水，载清载浊。我日构祸，易云能穀？”（小雅·四月）、“泾以渭浊，提提其沚。”（邶风·谷风），这是以水体的清浊来比喻事物的变化。“北风其凉，雨雪其雾。”（邶风·北风）、“朝济于西，崇朝其雨。”，这是关于天气的记述。“沔彼流水，朝宗于海。”“烨烨震电，不宁不令。百川沸腾，山冢崒崩。”（小雅·十月之交），这是关于河流和地震的记述。“笃公刘，逝彼百泉，瞻彼溇原。”“笃公刘，既溇既长，既景乃冈，相其阴阳，观其流泉，其军三单。”（大雅·公刘），这是公刘为人们定居和农田灌溉而进行查勘测量、气候观测和寻找水源等活动的记述。“爰有寒泉，在浚之下。”（邶风·凯风）、“冽彼下泉，浸彼苞稂。”（曹风·下泉）、“有洌洌（音轨）泉，无浸获薪。”（小雅·大东）、“我思肥泉，兹之永叹。”（邶风·泉水），这里“下泉”（即下降泉）、“洌泉”（即裂隙泉）、“槛泉”（即上升泉）、“肥泉”（即出同归泉，见《词源》“肥泉”释文）等的分类，可见当时人们对地下水已有较多认识。

春秋时期（公元前8世纪—前5世纪）的《管子》书中一记载有较多的水文概念。如《度地》篇一记述有对河流的分类：“水有大小，又有远近。水之出于山而流入于海者，命曰经水，水别于他水，入于大水及海者，命曰枝水；山之沟一有水一无水者，命曰谷水（季节河）；水之出于他水，沟流于大水及海者，命曰川水；出地而不流者，命曰渊水。此五水者，因其利而往之，可也；因而扼之，可也。”将河流分为

“经水”(干流)、“枝水”(支流)、“谷水”(季节河)、“川水”(人工河)和“渊水”(湖泊),这在水文地理学上,是世界上最早提出的河流分类概念。又如《水地》篇有:“夫水,淖弱以清……素也者,五色之质也。淡也者,五味之中也。”说到纯水无色无味,为淡为素。水能中和五味(酸、咸、辛、苦、甘)而成为淡水。据此,并对春秋诸国的水质做了评价:“夫齐之水,遭躁而复;楚之水,淖弱而清;越之水,浊重而泊;秦之水,淤滞而杂;晋之水,枯旱而浑;燕之水,萃下而弱,沉滞而杂;宋之水,轻劲而清。”说明北方河水多泥沙,含多种化学元素,以致易淤、易浑、易浊、易滞;南方河水则较清纯。在《地员》篇中,还对水质与地下水的埋深的关系做了描述。

据《周礼·稻人》(公元前8世纪—前5世纪)载:“稻人,掌稼下地。以储蓄水,以防止水,以沟荡水,以遂均水,以列舍水,以洽泻水……。”提出管农业的人要掌握灌溉水源和注意防洪的技术,要有灌溉和排水渠系。这是中国农业水文方面的最早记载。在《周礼·匠人》中:“凡天下之地势,两山之间必有川焉,大川之上必有涂焉。凡沟逆、地防(不平貌)谓之不行,水属不理孙(意顺),谓之不行。梢沟,三十里而广倍。凡行奠水,磐折以参伍。欲为渊,则句于矩。凡沟,必因水势:防,必因地势。善沟者水漱之,善防者水淫之。”讲到修建渠道时,要考虑水流速度、水面比降和泥沙等问题。

东晋常璩(约291—361年)撰《华阳国志》,共12卷,附录1卷。记述今陕南汉中、甘南及川、滇、黔等长江上游各省自远古到东晋永和三年(347年)间的建制沿革、统辖郡县之境域、道里、土地、水文地理、水利、物产、民俗及人物等史事。史料精详,为中国现存早期的水文地理著作。公元527年中国的酈道元著《水经注》定性描述了我国境内河流的概况,所引河流多达5000条以上,而且逐一记述河流源头、流经地区、流域地形、水文、气候、土壤、矿藏、农业、水利、地理沿革、历史故事、碑刻题记等。

(三) 水沙关系

汉太始二年(公元前95年)据《汉书·沟洫志》载:“太始二年,赵中大夫白公复奏穿渠。引泾水,首起谷口(今云阳县治谷),尾入栋阳(在今陕西临潼北渭水北岸),注渭中,袤二百里,溉田四千五百余顷,因名曰白渠。民得其饶,歌之曰:田於何所?池阳(今陕西泾阳县西北)、谷口。郑国在前,白渠起后。举锸为云,决渠为雨。径水一石,其泥数斗。且溉且粪,长我禾黍。衣食京师,亿万之口。’言此两渠饶也。”说明当时径河水含沙量大,引泾淤灌,增加土地肥力,得以增产。还有“河水重浊,号为一石水而六斗泥”。这是最早见于史书的关于黄河泥沙的数量记录。数字虽然粗略,但与时今黄河洪水期间的沙峰时的含沙量比较,仍不失其真实性。

关于水沙关系的论述很多,历代的治河方略中多有涉及。据《汉书·沟洫志》载:汉平帝元始四年(公元4年),“大司马史长安张戎言:水性就下,行疾则自刮除,成空而稍深。河水重浊,号为一石水而六斗泥。今西方诸郡,以至京师东行,民皆引河、渭山川水溉田。春夏干燥,少水时也,故使河流迟,贮淤而稍浅;雨多水暴至,则溢决。而国家数堤塞之,稍益高于平地,犹筑垣而居水也。可各顺从其性,毋复灌溉,则百川流行,水道自利,无溢决之害矣”。张戎根据黄河多沙的特点,提出在春季枯水时期,停止中、上游引水灌溉,以免分水过多,造成下游河道淤积而遭决溢之患;要保持河水自身的挟沙能力,排沙入海。这是史书上关于黄河的水沙关系和利用水力冲沙的第一次记载。他的这一见解,到明朝潘季驯发展成为“束水攻沙”的主要治河理论。明万恭(1515—1592年)在万历元年成书的《治水筌蹄》中提出:“如欲深北,则南其堤,而北自深。如欲深南,则北其堤,而南自深。如欲深中,则南北堤两束之,冲中间焉,而中自深。此借其性而役其力也。”他首倡“筑堤束水,以水攻沙”之法。这一“束水攻沙”法在其后任的潘季驯(1521—1595年)治河工作中得到了实施。潘在黄河下游治理中注意修筑两岸堤防,还筑洪泽湖出口高家堰以增蓄来自淮河的清水,并相机放泄清水入黄,冲刷其下游泥沙入海,这就是著名的“蓄清刷黄”的方法。潘季驯将他四任河道总督的治河经验及总结前人的治河理论和经验汇集成《河防一览》一书,对后世治河影响很大。

北宋沈括(1031—1095)在其名著《梦溪笔谈》中写道:“予奉使河北,边太行而行。山崖之间往往衔螺蚌壳及石子如鸟卵者,横亘石壁如带。此乃昔之海滨。今东距海已近千里,所谓大陆者,皆浊泥所湮耳。大河,漳水、淖沱、琢水、桑乾之类,悉是浊流。今关陕以西,水行地中,不减百余尺,其泥水东流,皆为大陆之上,此理必然。”他推断华北平原为多泥沙河流所挟泥沙淤积而成,为地质学意义上的堆、冲积平原概论。

(四) 水文循环

战国时期(公元前5世纪—前3世纪)据《庄子·徐无鬼篇》(约成书于公元前369年—前286年)载:“风之过,河也有损焉;日之过,河也有损焉。请只风与日相与守河,而河以为未始其樱也,恃源而往者也。”说明水面蒸发与风和日照有关。精辟地阐明了水面蒸发现象和河水经风吹、日晒而不干涸的原因,是河水有源源不断的补充,实质上就是水流连续性定理的原始表述。

吕不韦(?—前235年)在公元前239年主编的《吕氏春秋·冬纪》篇中记有:“孟冬之月……水始冰,地始冻;……仲冬之月,……冰益壮,地始沍;……季冬之月,……冰方盛,水泽腹坚。”说明在先秦时期,黄河流域人民对冰情现象已有所认

识。《吕氏春秋·圆道》篇中提出了中国早期对水循环的概念：“云气西行，云云然，冬夏不辍；水泉东流，日夜不休；上不竭，下不满，小为大，重为轻，圆道也。”揭示了地处太平洋西岸的中国水循环的途径和规律。水汽从海洋不断吹向大陆，在大陆上空回旋，凝降为雨；地上、地下的水流向海洋，日夜不息，海洋也常注不满，涓滴汇合成河海，海水又蒸发为浮云，形成水的大循环。此外，关于水循环现象的认识，还有据《宋书·天文志》载：何承天（370—447年）《论浑象体》[南朝宋元嘉十六年（439年）]一文中关于水循环的一段描述：“百川发源，皆自山出，由高趋下，归注于海。日为阳精，光耀炎炽，一夜入水，所经焦竭，百川归注，足于补复。故早不为减，浸不为溢。”

公元88年前后，东汉王充（公元27—约97年）所著《论衡》一书的“顺鼓篇”中说：“案天将雨，山先出云，云积为雨，雨流为水。”在“说日篇”中说：“雨之出山，或谓云载而行，云散水坠，名为雨矣。夫云则雨，雨则云矣。初出为云，云繁为雨，……。”在“物势篇”中说：“下气蒸上，上气下降。”对地面蒸发、行云、降雨的水循环现象做了解释。在“书虚篇”中说：“其朝夕往来……，其发海中之时，漾驰而已；入三江之中，殆小浅狭，水激沸起，故腾为涛。……涛之起也，随月盛衰，小大满损不齐同。”对河口潮汐的生成做了解释，并第一次指出潮汐生成的大小与月的圆缺有关。

战国时屈原（约公元前340—前278年）在《天问篇》中，对自然现象和社会历史传说提出170多个问题，表示质疑。唐柳宗元（773—819年）在所作《天对》中对屈原提出的这些问题均一一做了回答。如屈问“东流不溢，孰知其故？”（即江河向东流入大海，为何大海的水不见漫溢？）柳答：“东穷归墟，又环西盈。脉穴土区，而浊浊清清。坟沪燥疏，渗渴而升。充融有余，泄漏复行。器运浓浓，又何溢为？”（即水向东流入大海，海水蒸发成水汽上升，遇冷凝结，飘浮空中为云，又向西回归大陆上空下降为雨。填充在土壤孔隙里的水有浊有清。高地干燥的土壤，水渗入后便会上升蒸发。土壤水饱和以后便会产生径流，水流通过各种途径运行不停，最后注入大海，如此循环不已，海水又怎么会漫溢呢？）柳宗元正确地解答了1100多年前屈原提出的问题。他把地表水、土壤水和地下水及海洋水的运动与水循环联系起来，推进了前人的认识。（《柳河东全集》，中国书店出版，1991年）

（五）水文知识的运用

传说距今4000多年以前大禹治水时，经过调查研究，认识了水情，采取疏导措施，取得了成功。当时已经懂得治水必先知水，并已有水文调查意识的萌芽。

据考古发掘，浙江余姚县河姆渡村在公元前35世纪—前30世纪时已有人工水

井；浙江湖州市邱城遗址下层，有公元前 27 世纪的九条排水沟和两条宽 1.5m—2m 的大型引水渠。说明这些地区的居民当时已知道引用地表水和地下水进行灌溉。距今约六千年前，半坡人定居在今陕西西安城东 6km 处的半坡村。该处为河流二级阶地，下距河流较近，饮水方便，又有一定高度，不易被一般洪水所淹没，周围地形平坦，土地湿润肥沃，易于耕作，出入方便。证明半坡人选择居住地时，对旱涝枯水变化的认识已十分清楚。

周定王十年至十六年（公元前 597 年—前 591 年），楚令尹孙叔敖兴建“周百二十里，灌田万顷”的灌溉工程芍破（今安丰塘），至今发挥效益，可见当时已有相当的工程水文知识。

据《左传·襄公二十五年》载鲁襄公二十五年（公元前 548 年）：“楚篇掩为司马，……数疆潦，规偃渚，町原防，……。”说掩为官后，计算暴雨水量，规划蓄水工程，划定防洪范围，已掌握初步的工程水文知识，并运用于水利工程之中。

秦昭襄王五十六年（公元前 251 年），秦蜀郡守李冰创建都江堰，将岷江水引入成都平原。早期以航运为主，兼有防洪、灌溉的效益，后来逐步演变为以灌溉为主的水利工程。至迟魏晋时，已具备分水、溢洪、引水三大主要工程设施的雏形。且到现在还在使用，此工程中，对于泥沙、水位与流量的关系等方面的研究与解决办法都做得非常巧妙，堪称中国水利史上的一朵奇葩。

中国的秦始皇为了完成全国统一，克服进军岭南的运输困难，于始皇二十八年（公元前 219 年），命监郡御史禄开凿灵渠，以通湘江与漓江之间的运道。是二千余年来岭南（今广东、广西）与中原地区的主要交通干线。灵渠由渠首、南渠和北渠三部分组成。渠首拦河坝拦断湘江上游（海阳河）以抬高水位，分水入渠，南渠与漓江沟通，北渠与湘江相连，以实现通航。拦河坝折成人字形，称大天平和小天平，平时水入两渠，洪水季节，将多余水量溢流排入湘江故道。在大、小天平的交点起和由上游海阳河深乱延伸砌成一长 70m 的导水堤（称作桦嘴），以劈水分流，平顺地导入南北两渠。两水比例为 1 : 2 左右。海阳河多年平均流量 $17.33\text{m}^3/\text{s}$ ，一般可保证通航的需要。灵渠上有多处分洪和节水建筑物，以保障安全和通航水深。整个工程形成有机的科学建筑群体，有效地实现了输水和通航功能，效益显著。

唐长寿元年（692 年）据《新唐书·地理志》载：“有相思埭，长寿元年筑，分相思水，使东西流。”为沟通柳江与桂江间的人工运河，近代称“桂柳运河”。系利用漓江支流良丰江和柳江支流洛清江的二级支流相思江之间无明显分水岭地形，且有地下水自岩洞中流出，水量不大，常年不竭，为运河基本水源。运河两岸石灰岩地貌遍布池沼洼地，洪水时期，水量蓄积地面，同山坡水流汇集一起，为运河的补给水源。分水塘在运河中部，以东称东陡，水向东流入良丰江；以西称西陡，水向西

流入相思江。运河坡度平缓，良丰江水涨，江水可通过运河泄入相思江；相思江水涨，江水可通过运河泄入良丰江，有平衡水量和排洪的作用。相思埭的建成，可直接沟通桂林同广西西北部和贵州东南部的水运，以免沿漓江至梧州再溯流而上的回运路程。

唐大和七年（833 年）浙江鄞县（今鄞县）县令王元暉创建它山堰。筑堰以前，海潮可沿甬江上溯到章溪，潮“来则沟潜皆盈，出则河港俱涸，田不可稼，人渴于饮”。为减轻鄞江水系旱涝潮灾害，县令选在勤江上游章溪出山处的四明山与它山之间，用条石砌筑成上下各 36 级的拦河滚水坝，名为“它山堰”，作为阻咸引淡的渠首工程。堰上之水，平时七分入南塘河以供灌溉和城市用水，三分入奉化江以供通航；涝时三分入南塘河供水，七分入奉化江。另在灌区尾水上建三陂（即闸），涝时排泄河网余水，以防洪水涌入城市；早期又可开闸纳淡，补充灌溉水源。至宋开庆元年（1259 年），在宁波城内平桥下设立“水则”，据此水位可以推算各处水情，确定各闸开启时间，作为各闸控制运用的根据，使它山堰历经千余年仍在发挥引流、排洪、阻咸的重要作用。

不论是都江堰、灵堰，还是它山堰，如果没有深刻地掌握当地的水文情况、河道水流特征、水位、流量等变化的规律，都是不可能兴建成功的，更不用说工程巧妙的布局与良好的运行效果了。

这一时期的特点是：

（1）开始了原始的水文观测。

（2）开始形成和积累原始水文知识。诚然，这些原始的水文观测和水文知识是比较粗糙、零星、感官性的，但它为当时的生活和生产提供了重要的水文依据，标志着水文学的萌芽。

二、奠基时期（公元 1400—1900 年）

欧洲文艺复兴带来的科学思想的解放和技术进步，极大地推动了人类对水的研究和认识，为水文学发展成独立的学科奠定了基础。这主要表现在几个方面：

（一）测量仪器

水文仪器的发明，使水文观测进入了科学定量的阶段，并推动了水文站和水文站网的建立。1424 年中国全国采用测雨器观测雨量。1442 年朝鲜全国采用统一制作的“测雨器”观测雨量。1535 年中国的刘天和创制“乘沙量水器”取含沙水样。15 世纪以后，水文测量技术和设备有了显著的发展。1610 年 Sanotiro 创制第一台流速仪。1639 年意大利的 Casetill 创制欧洲第一个雨量筒，开始观测降雨量。1663 年

Wren 等人设计的自计雨量计,以记录降雨过程的雨强变化。1687 年 Halley 设计发明蒸发器,测量海水蒸发量,估算地中海的水量平衡。与水文有关的水力学测试设备如 1732 年瑞士的 Bernoulli 发明测压管、同年法国的 Pitot 发明的新的测速仪一皮托管。1790 年德国 Woltmann 发明流速仪。1870 年美国的 T.G. 埃利斯发明旋桨式流速仪。1885 年美国的 Pirce 发明旋杯式流速仪。

(二) 水文测量

近代水文仪器的发明推动了水文测量的发展以及水文站的建立。

明洪熙元年(1425 年),中国制成统一尺寸的雨量器,令全国各地观测雨量。1650 年开始观测死海水位。1674 年法国的 Perrault 在发表的《泉水之源》一书中,提出塞纳河流域年雨雪量为年径流量的 6 倍。1724 年(清雍正二年)中国北京开始记录逐日天气和降雨雪的起迄时间、入土雨深,即著名的历时 180 年之久的雨雪分寸记录,称《清明风雨录》。直至光绪二十九年(1903 年)停记,可惜无定量记录。1732 年中国绘制以寸计的降水量等值线图。1746 年中国黄河老坝口设立水志,即水尺观测水位并报汛。1840 年瑞士的 Agassiz 于瑞士温特阿尔冰川建立世界第一个冰川研究站。1841 年中国北京开始用现代方法观测和记录降水量。1850 年法国的 Belgrand 用相应水位法作洪水预报。1856 年中国长江汉口设立水位站,为中国现代水位观测的开始。1885 年瑞士 Fore 发现湖泊的异重流现象。1886 年奥地利的 Forchheimer 作地下水流网图。

清道光二十年(1840 年)鸦片战争后,帝国主义势力入侵,中国变为半封建半殖民地社会。从咸丰十年(1860 年)起,帝国主义控制的海关陆续在上海、汉口、天津、广州、福州等港口码头设立水尺观测水位,为其侵华舰船航行服务。还在各地教堂设立测候所,收集降水量等气象资料,最早的有北京(道光二十一年,1841 年)、香港(咸丰三年,1853 年)、上海徐家汇(同治十二年,1873 年)等。

(三) 水文学理论和公式

1500 年左右意大利的 Da Vinci 提出水流连续原理,并提出用浮标法测流速。1680 年前后中国的陈演提出流量计算方法。1738 年瑞士的 Bernoulli 父子提出水流能量方程即著名的 Bernoulli 方程。1775 年法国的 Chezy 提出明渠均匀流公式即谢才公式。特别是在 19 世纪,许多理论和公式相继出现。1802 年英国的 Dalotn 提出蒸发与水汽压的关系,确定了道尔顿定理。1851 年 Mulvaney 首先提出了汇流时间的概念,提出推理公式,计算小流域的最大洪峰流量,也就是现在的径流计算的推理法的基本形式。1856 年法国的 Darcy 建立了描述渗流运动规律的 Darcy 定律,为研究土壤水和地下水动力学奠定了基础。1863 年,法国的 Dupuit 提出井的平衡水力学

方程式。1865年法国的巴赞提出计算谢才系数的巴赞公式。1869年瑞士的冈吉耶和库特尔提出计算谢才系数的冈吉耶—库特尔公式。1871年法国的 Siain-Venant 推导出描述明渠渐变不稳定流运动规律的 St.venant 方程组,为研究河道及坡面洪水运动和流域汇流奠定了基础。1876年瑞士 F.-A. 福雷尔用流体力学公式计算湖泊波漾。1879年, Duboys 第一次提出推移质输沙率公式。此外 1889年爱尔兰的 Manning 提出计算明渠流速的水力学计算公式(曼宁公式)。1892年, King 指出,土壤持水量显著受土温的影响。1899年英国的 Stokes 提出泥沙沉降速度公式即 Stokes 公式。1900年美国的 Seddon 提出洪水波速的计算公式即 Seddon 公式。

以上这些理论的出现表明人类对水的运动变化规律的认识,已由萌芽时期那种以古代自然哲学为依据的纯粹思辨性猜测,发展到了以科学事实为依据,进行假设、演绎和推理,进而建立各种水文理论体系的新阶段,标志水文学作为一门近代自然科学已奠定基础。

三、20 世纪国际水文学发展的几个阶段

周文德先生在他的《应用水文学手册》一书中把 20 世纪以来的水文学发展分为三个阶段:(1) 经验阶段(1900—1930 年);(2) 推理阶段(1930—1950 年);(3) 理论化阶段(1950—1975 年);爱尔兰的 Dooge 先生在周文德先生工作的基础上,把 20 世纪水文学的发展分为四个阶段:(1) 经验阶段(1900—1930 年);(2) 推理阶段(1930—1950 年);(3) 理论化阶段(1950—1975 年);(4) 计算机化阶段(1975—2000 年)。

(一) 经验阶段(1900—1930 年)

进入 20 世纪,大量兴建的防洪、灌溉、道路、城市等工程,要求水文学解决越来越多的实际水文问题,水文学的应用特色逐渐体现出来。具体表现在:

(1) 设置水文站网,观测、调查、收集水文气象资料,为生产建设提供水文情报。很多国家开始出版水文年鉴,提供水文数据。而且还有一些其他专门性刊物作为补充,例如 1921 年开创的 *Saletr*。

(2) 为满足水工建筑物水文计算的要求,大量的经验公式和参数估计方法相继出现。Mead 分别于 1904 年和 1919 年以及 Meyer 于 1917 年论述了水文计算方面的早期成果。

从 1914 年概率(坐标)纸被用于选配流量频率曲线,把概率理论引入水文计算,提出水文频率计算方法以来,统计学与水文学就紧密联系在一起。1924 年 Forster 开始了非正态水文极值(skewness of hydrologic extremes)的研究。这些成果在 1930 年 Hazen 所著的《洪水流》一书中有较为详细的论述。