

## 第一章 绪论

对于人类来说，水像空气和食物一样重要。世界四大文明古国——古埃及、古巴比伦、古印度和中国，无不首先在大河冲积平原发展起来，无不借助于河流的慷慨赠予，这是举世公认的事实。但是，天然降水以及地表水和地下水的时空分布并不总能满足人类生存和发展的需要。因此，人类社会的发展史离不开有益生存的水利建设，也离不开治理水害的斗争。在中国，大规模开展除害兴利的治水活动已有四千年之久。第一部中国水利史则始创于公元前 100 年前后。当时中国著名的历史学家司马迁在他的历史名著《史记》中专门安排了一章，记述从公元前 22 世纪的大禹治水到他生活的年代的重大水利事件，命名为《河渠书》。在《河渠书》中，司马迁还详细记述了公元前 109 年跟随汉武帝参加惊心动魄的黄河堵口的施工场面。尔后，他感慨万分地说：“甚哉！水之为利害也。①”强调指出水利在社会经济发展中的重要地位，第一次提出了以防洪、灌溉、排水、航运、城镇供水为主要内容的水利概念。②司马迁的感慨不无道理，的确，水利事业与人类生存和社会发展的关系太密切了。继司马迁之后，编写水利的历史，总结历史治水经验以为后世借鉴的优良传统，一直延续至今。一部水利发展史，就是人类不断认识自然，掌握水的运动规律，除水害兴水利的历史，其中，水利科学技术的产生和发展，是人们利用和改造自然的能力和人类文明发展水平的重要标志。

在本书的绪论中，作为水利科学技术发展的背景与展望，我们将从

轮廓上介绍中国水利事业发展的历史过程及其科学技术的特点与不足；分析水利活动与社会进步和自然演变的相互促进、相互制约的辩证关系；进而从历史体验和哲学思考中得出相应的结论，即人们的水利活动的成败得失，不能只是从其是否符合水本身的规律来考察，而应该把它放在自然与社会共同构成的大系统中来评价；引申出兴利除害的水利活动将在新的历史阶段中得到进一步完善的规律性认识；以及水利科学技术史研究今后的主要方向等。

① 《史记·河渠书》，二十五史本，上海古籍出版社，1986年。

② 在欧、美等英语国家中，没有与“水利”一词恰当的对应词汇，一般使用 hydraulic engineering，或用 water conservancy。20世纪60年代以后，由于进一步认识到水是一种宝贵的资源，又称作 water resources，中国译为水资源，其含义已引申到水资源的开发与管理。俄、法、德文中的表述也相类似。见娄溥礼，水利，中国水利百科全书，中国水利电力出版社，1991年，第1685页。

古代，中华民族在社会发展和与自然灾害搏斗的历程中建立了符合自身江河特点、水土资源条件的水利工程体系，形成和完善了水利科学和技术，我们称之为传统水利。传统水利在华夏民族的文明史中具有重要的地位，形成相对独立的学科和领域。

我国的传统水利按照建设的规模和技术特点，大致可以分作3期：大禹治水至秦汉，这是防洪治河、运河、各种类型的灌排水工程的建

立和兴盛时期；三国至唐宋，是传统水利高度发展时期；元明清，水利建设普及和传统水利的总结时期。①

① 周魁一、谭徐明，水利学，国学通览，群众出版社，1995年。

## 一 水利的起源与第一次建设高潮(公元前 22 世纪至秦汉时期)

这一时期历经青铜工具特别是铁器的广泛使用，也历经由奴隶制到封建社会的制度大变社会组织的水利建设来说，也具有重要的推动作用。因此，这一时期在防洪、灌溉、航运等方面，都有较大的发展，并有一批传统水利的大型精品问世，有的至今仍卓然于世。在水利建设的基础上，这个时期水利科学技术也取得较快的发展，春秋战国时期的思想解放和活跃的学术争鸣，也有助于科学技术的繁荣。在西周及其以前的奴隶制国家时期，中国传统水利技术较之古埃及、古巴比伦，特别是奴隶制高度发达的古希腊略逊一筹，而在春秋战国以来，中国传统水利科学技术迅速发展，形成东西方交相辉映的局面。中国传统水利的这种发展势头一直持续达 2000 年之久，并逐步向世界水利科学技术高峰迈进。以下按防洪、灌溉、航运和科技进步等部分，扼要叙述这一时期水利的发展历程。

### (一)防洪治河工程的起源与发展

临水而居是人类最初求生存的必然选择，随着社会的进步，农耕文明的兴起，对水源更加依赖。但是，自然灾害特别是洪水灾害的威

胁，由于居住区域的扩大和农业的发展而日益严重。

中国有文字记载的历史的第一页是大禹治水的传说。约公元前 22 世纪，历史已经进入了原始公社末期，农业进入了锄耕阶段，人们逐渐由近山丘陵地区，移向土地肥沃、交通便利的黄河等大江大河的下游平原生活和生产；这时首先遇到的是如何防止洪水的危害。相传当时黄河流域发生了一场空前的大洪水灾害，滔天的洪水淹没了广大平原，包围了丘陵和山岗，人畜死亡，房屋被吞没。这时禹继其父鲧治水，他一改鲧堙堵治水的方法，疏导分流洪水，将黄河下游入海通道“分播为九”，经过 10 多年的艰苦努力，终于获得治水的巨大成功。

大禹治水主要采用疏导的方法，那是适应当时人口不多、居民点稀少的社会实际的。到了春秋战国时代，社会经济发展了，不能再任黄河在广袤的平原上往返大幅度摆动了，筑堤防洪应运而生。堤防自然是防洪的有效手段。此外，当年在黄河上还有护岸和挑水坝等河工建筑物，也曾在游荡性河段上进行裁弯取直的尝试。然而大量的泥沙堆积在下游河床里，又不断抬高河床，恶化防洪条件。自汉武帝开始，黄河下游频繁决溢。筑堤和堵口是当时经常性的治河工作。这期间，元封二年(前 109)由汉武帝主持的瓠子(在今河南濮阳市西南)堵口，采用的是平堵法；建始四年(前 29)由王延世主持的堵口采用的是立堵法，都是成功的堵口工程的范例。但由于河床高耸，防洪条件恶化，单纯依靠筑堤堵口已经无济于事，必须寻求新的解决办法。至西汉末

年，由朝廷倡导开展了关于治河理论的辩论，治河方略林林总总，对后世影响较大的主要有疏导、筑堤、改道、水力刷沙、滞洪等方法。值得注意的是贾让提出的后代屡有争议的治河三策。他认为完全靠堤防约束洪水的做法是下策；将防洪与灌溉、航运结合起来的综合治理是中策；治河上策是留足洪水需要的空间，有计划地避开洪水泛滥区去安置生产和生活。20世纪60年代以来，实行的非工程措施防洪理论，也包含着躲避洪水的措施在内。这种在改造自然的同时努力谋求与自然和谐发展的哲学认识，是有其积极意义的。东汉初年的王景治河，也是这一时期中值得称道的防洪努力。在王景治河后的800年里，历史文献记载中黄河决溢的次数显著减少，一般都把这一业绩归功于王景。但是由于记载疏略，王景治河的关键技术措施比较令人费解，至今仍是人们有兴趣探讨的历史悬案。

## (二)多种类型的大型灌区兴建

农田灌溉在中原地区起源很早，在战国人所著地理书《周礼·职方氏》中，已对全国主要自然水体的分布有概括的叙述。在当年全国的“九州”中，都分布有适于水生物生长的“泽藪”，适于船只航行的“川”和有灌溉效益的“浸”。而人工灌溉系统，则由有蓄水、输水、分水、灌水、排水等不同功用的各级渠道所组成，称作“井田沟洫”制度。春秋战国时期兴建的灌溉工程气魄宏大，无坝引水的工程如都江堰、郑国渠，有坝引水的工程如漳水十二渠，蓄水工程芍陂都是这一时期兴

建的著名大型灌区。

在今成都平原的都江堰、陕西的郑国渠(今泾惠渠的前身)都是秦统一六国前为了增加统一战争的战略物资储备而兴建的灌溉工程。都江堰是岷江上的引水工程，至今已成功地运行了 2250 年，灌溉面积也增加到 1086 万亩。它是无坝取水枢纽，渠首主要依靠鱼嘴分水、飞沙堰溢洪、宝瓶口控制引水，具有灌溉、防洪、放木等多种效益，是古代劳动人民的杰作。在世界上如此规模又有数千年历史的水利工程，恐无出其右者。晚于都江堰 10 年，公元前 246 年秦国又兴建了郑国渠。郑国渠在泾水上，最初是无坝取水，后因河床不断下切，引水口逐渐上移，至民国年间，由李仪祉先生主持，改为有坝取水，即今之泾惠渠。西汉司马迁在《史记·河渠书》中称：“秦以富强，卒并诸侯。”在此后 150 年左右，在郑国渠灌区里又兴建了与郑国渠齐名的白渠。元鼎六年(前 111)又兴建六辅渠，还同时制定了“水令”，我国第一个灌溉管理制度由此诞生。稍晚一些，在今陕西还兴建了引洛水灌溉的龙首渠。龙首渠的干渠以数千米长的隧洞和独特的施工方式而驰名。可见水利建设在社会发展中有着举足轻重的地位。这一时期的灌区建设主要是在黄河以及江、淮流域。随着汉疆域的扩展，灌区建设还远及今我国新疆、甘肃、宁夏和内蒙古等地。有人认为新疆的坎儿井也创始于西汉。

### (三)运河和水运的开创

春秋末年吴王夫差为与中原诸侯争霸，开通了著名的邗沟。邗沟自扬州北上，借助天然水道，直抵淮阴，首次沟通了长江和淮河。此外还有沟通黄河和淮河的鸿沟和沟通长江支流湘江与珠江水系漓江的灵渠。灵渠建成于秦始皇二十八年(前 219)。灵渠巧妙地利用了湘漓上源相接近的地形特点，修建铧嘴，将湘江一分为二，又劈开分水岭，将南流的一支导入漓江，再配合修建溢流天平 and 调节航深的斗门等设施，达到了跨流域引水通航的目的。灵渠在秦始皇统一岭南大业和促进岭南经济文化发展中，发挥了重要作用。

西汉建都长安(在今西安市西北)，为保证首都物资供应和避开渭水多沙迂曲的困难，元光六年(前 129)开始在渭水之南修建一条西自长安东至潼关的长达 300 多里的漕渠。漕渠历时 3 年建成，最多时每年运粮 600 多万石，对于维护政权稳定发挥了重要作用。这些区域性的运河建设，为日后全国内河航运网的建成奠定了基础。这一时期近海海运也有相当成绩，可以东通日本，南达印度和斯里兰卡。

#### (四)水利科学基础理论形成

春秋战国时期活跃的学术空气也表现在水利基础科学理论的蓬勃兴起。秦汉水利建设的高潮，为水利学科的形成创造了条件。西汉司马迁在《史记·河渠书》中首先赋予“水利”一词专业含义，水利成为有关治河防洪、灌溉、航运等事业的科学技术学科，而将从事水利工

程技术工作的专门人才称作“水工”，主管官员称作“水官”。水利学作为与国计民生密切相关的科学技术的应用学科由此诞生。

先秦时期的文献中，以《周礼》、《尚书·禹贡》、《管子》、《尔雅》涉及水利科学技术的内容较多。基础性的理论纷纷提出，主要反映在水土资源规划、水流动力学、河流泥沙理论、水循环理论等方面。水土资源是自然界最基本的资源。《管子·度地》把河流分为五种。《管子·地员》根据相应地下水的埋藏深度、水质及适宜农作物对土壤进行了分类。《尚书·禹贡》和《周礼·职方氏》对当时九州行政区的土地和河流湖泊有全面的描述，为自然资源分类统计之始。

在水利科学基础理论方面，《管子·度地》首先提出明渠水流和有压管流运动规律及水跃现象。两千多年前就建立起了明渠水流水力坡降量的概念，对有压管流、水跃等水流现象进行了正确的阐述，在当时世界上处于领先地位。

《管子·地员》记载不同的地质和地下水埋深与水质的关系，这里的息徒、赤垆、黄唐、斥埴、黑埴分别是石灰岩、冲积土、黄壤、盐碱土和黑黏土，土质不同而水质不同。晋张华的《博物志》载：“凡水源有硫黄，其泉则温。”记述了人们早期的水化学知识。

秦汉水利建设出现了历史上的第一次高潮。与之同时有关水利的



记载大批出现，水利的科学技术基础理论进一步深化，对后世影响最大的是《史记·河渠书》，它作为中国第一部水利通史问世，从而确立了传统水利作为一个学科和工程建设重要门类的地位。

## 二 水利建设蓬勃发展与传统水利技术的成熟期(三国至唐宋时期)

魏晋南北朝以黄河为主战场，长达 300 年的战乱，促使中原人口大量南迁。南方政权则相对稳定，水利取得进展。此后，唐宋时期的 500 多年中出现了全国范围基本稳定的政治局面，为水利发展提供了先决条件。灌溉、航运和防洪工程建设蓬勃发展并取得重大成就。安史之乱后，北方农业经济一度衰退，而南方继续稳定发展，全国经济重心南移遂成定局。同时，唐代社会开放和宋代学术思想的活跃，也为科学技术的进步创造了良好条件。在历来水利建设经验积累的基础上，水利科学技术取得了长足的进步，形成了中国古代传统水利技术的高峰，并位居中世纪世界水利技术的前列。

### (一) 农田水利的发展与经济重心的逐步南移

秦汉以前，我国主要经济重心在黄河流域，之后，基本经济区逐渐向南方扩展。三国至南北朝时期(约公元 3 世纪至 6 世纪)淮河中下游成为继黄河流域之后的又一基本经济区，隋唐宋时期(约公元 7 世纪至 13 世纪)长江流域和珠江流域的经济地位突出出来，其中长江中下游已成为全国的经济中心，所谓“苏湖熟，天下足”，“国家根本，仰给东南”。在基本经济区的建设中当然离不开水利建设。随着经济

区的扩展，水利建设也取得了长足进步。从太湖圩田水利的发展可见一斑。

圩田是太湖以至长江中下游地区农田的主要灌溉排水形式，至唐末已有相当大的规模。据当时人李瀚的记载，苏州、嘉兴屯田最发达。其中，“嘉禾土田二十七屯，广轮曲折，千有余里”。圩田是在滨湖和滨江低地的一种水利工程形式，四周围以堤防，与外水隔开。其中建有纵横交错的灌排渠道，圩内与圩外水系相通，其间有闸门控制引水和排水，做到“以沟为天”，对天然降水的不均匀起到重要的调节补充作用。北宋范仲淹曾描述当年圩田的规模和技术：“江南旧有圩田，每一圩方数十里，如大城，中有河渠，外有门闸。旱则开闸引江水之利，涝则闭闸拒江水之害。旱涝不及，为农美利。”<sup>①</sup>类似太湖流域圩田形式的灌排工程，在长江中游的两湖地区称作垸田，在珠江三角洲地区称作基围。垸田和基围在当地经济开发中，也开始扮演着重要的角色。

除圩田外，灌溉工程在全国普遍兴建。创建于唐代浙江鄞县的它山堰是当时著名灌区之一。它山堰是在奉化江支流鄞江上拦河筑坝的引水工程。拦河坝隔断了顺鄞江逆上的海潮，积蓄上游淡水，达到“御咸蓄淡”、引水灌田和向城市供水的目的。唐宋时期，江南一带引水蓄水的灌溉工程相当普遍。公元9世纪初年，韦丹就在今江西北部主持修建598座陂塘，灌溉面积共计120万亩。这一时期灌溉提水机械

和水力加工机械有很大的发展。其中用水力驱动的灌溉筒车和主要用于粮食加工的水碾、水磨等，在黄河、长江、珠江等流域得到了普遍应用。

## (二) 内河航运网的建设

内河航运是古代实现政治统一、经济发展和文化交流的主要交通运输方式。这一时期在运河建设和管理等方面都有重大发展，科学技术水平达到我国古代运河工程技术的高峰。

这一时期的内河航运建设最值得称道的是隋代大运河的开凿。建成的最著名运河有沟通黄河和海河，北抵涿郡(在今北京城区西南隅)的永济渠，沟通黄河和淮河的通济渠(唐宋一般称作汴渠)。内河航运网形成后，“自是天下利于转输，运漕商旅，往来不绝”。北宋张择端所绘“清明上河图”就形象地反映出当时汴京(今开封)在汴河两岸的市井风情，商旅贸易、建筑桥梁等之繁盛。因此有人评价隋炀帝开运河的功过时说，“在隋之民不胜其害也，在唐之民不胜其利也”。此外北宋时期运河上的工程建筑已相当完善，特别是沟通长江和淮河的邗沟渠化水平最高。运河上建有许多堰埭、船闸和斗门等建筑物，以保持航道水位和调节航深。又利用通江闸引潮水济运。到北宋重和元年(1118)在真(今仪征)、扬(今扬州)、楚(今淮安)、泗(今泗洪东南盱眙对岸)和高邮等地运河上共建有 79 座斗门、水闸，“限则水势，

常得其平”<sup>②</sup>，可见当年运河设施之完善。其中双门船闸的布局和运用，已与近代船闸一般无二，比欧洲船闸约早 400 年。稍后发明了被称作澳闸的具有节水功用的船闸。

① 引自范仲淹《范文正公集·答手诏条陈十事》，四部丛刊本。

② 引自《宋史·河渠志》卷 96，二十五史本(以下所征引的二十五史资料，凡未特别注明者，均采用此版本不另加注版本)，上海古籍出版社，1986 年。

### (三) 传统防洪工程技术的成熟

五代以前黄河相对安定，很少有决溢记载。五代至北宋，由于黄河河床淤积抬高，黄河决溢日渐严重。和朝廷政治斗争相关连，防洪方略也存在严重分歧，突出表现在北宋关于黄河东流与北流的争论，使防洪斗争更加复杂。此外，从这一时期开始，长江防洪也逐渐突出。不过，至北宋，传统防洪技术已趋于成熟，集中表现在宋金元时期纂集的河工技术规范性著作《河防通议》和《宋史·河渠志》中。当时对黄河水文及防汛有形象而准确的命名，并有经验性的洪水预报方法。对黄河水溜形势和与河工修防的关系，也有清晰的说明；对于当年河工测量技术的施测方法有详细记载，对主要工程形制，例如砌石、卷埽、筑堤等方法都有具体规定，对于各种工程所用物料的计算方法都有明确说明。

#### (四) 水利科学理论的进步和技术成就

这一时期基础理论的进步主要反映在水利测量、河流泥沙运动理论以及洪水特征和规律的认识等方面。北宋年间水位测量已在各地采用，并据以推算流量。在多沙河流的泥沙运动方面，已总结出改变河床断面将对输沙率产生影响，以及引入清水将提高多沙河流的输沙能力等规律性认识并已在实践中应用。在地形测量中，至迟在唐代已实际应用水准测量仪。此外，宋金时期对汛期水流特征和涨落规律，也有形象的规律性描述。

这一时期防洪、航运和农田水利等工程技术普遍有所创新，并达到传统水利技术高峰。传统治河工程中以埽工技术最重要，宋代已经成熟。当时的险工由埽捆构筑。埽捆是用树枝、薪草等软性材料分层平铺并夹以土石，再卷裹捆扎而成。为抵抗水流冲力，一般体积较大，需要几十人乃至上百人在统一指挥下施工，推放到指定地点，并加以固定。一个险工往往需要几十个埽捆重叠排列而成，长达数百米，甚至上千米。埽工按其形状和功用不同而有鱼鳞埽、磨盘埽、凤尾埽以及约、马头、锯牙等名称。埽工技术是我国特有的，尤其适用于多沙河流上的传统河工技术。在运河工程中，已普遍使用堰埭升船机和船闸。唐宋两代出现多种类型船闸，主要有引潮闸、节水澳闸和多级船闸。其中二级船闸的布置和运用已与现代二级船闸一般无二。我国船闸技术已有 1000 多年历史，它比 12 世纪在荷兰出现的船闸早 400 多

年。农田水利方面，不仅引水、蓄水、提水工程技术有重要发展，而且利用多沙河流的水资源和泥沙资源进行淤灌和改良土壤也卓有成效。北宋熙宁年间(1068~1077)政府大力推行淤灌，短短几年间淤灌面积达到5万顷以上，并有总结性专著出现。此后淤灌和淤灌在北方各省民间流传下来。

这一时期水利的管理也有长足进步。现存最早的全国水利法规，当数唐代制定的《水部式》。内容主要包括农田水利管理，碾磨设置及其用水管理，航运船闸和桥梁的管理维修，渔业及城市水道管理等，这是由中央政府颁布的全国性法规。此外某些行业还有自己的单行规定，例如江南圩田有定型的管理体制，“田有官，官有徒，野有夫，夫有伍，上下相维如郡县”<sup>①</sup>。而各个灌区自己又有适合本灌区气候、种植、水源、习惯的单行灌溉制度，甚至远至新疆，都不例外。北宋在王安石变法时期对于兴修水利特别重视，熙宁二年(1069)曾颁布《农田水利约束》，这是中央政府为促进兴修农田水利工程而颁布的政策性法令，对各地兴修农田水利的组织审批方式，经费筹集，责任和权利分担，建议人与执行官吏的奖赏等，都有具体规定。对于推动农田水利高潮的兴起，发挥了重要作用。在防洪方面，现存最早的河防法令是金泰和二年(1202)颁布的《河防令》，它是在宋代治河法规基础上制定的。此外在秦九韶所著《九章算术》的例题中，有测量降雨降雪量的测量器具和计算方法，可惜到明清时代，这种工程数学未能继续得到重视和发展，致使水利建设和管理在许多方面仍停留在定

性或经验性定量阶段。

① 李瀚：《苏州嘉兴屯田纪绩颂》，唐文粹卷 21，四部丛刊本。

### 三 水利建设的普及和传统水利技术总结期(元、明、清时期)

本期社会相对安定，少有长时间战乱，成为水利稳定发展的客观条件。水利工程以沟通南北的京杭大运河的兴建而显赫史册。确保漕运使这一时期的黄河防洪工程建设和管理面临更为严峻的困难。滨海(江)沿岸地区防御潮灾的工程——海塘在明清时期有大的发展，最著名的是浙东钱塘江的重力结构的鱼鳞大石塘，建成迄今 300 多年一直捍卫着浙江东部濒海平原。灌溉与排水工程向边疆和山区继续发展。两湖、闽、广等地灌溉更得到前所未有的开发，促成新的基本经济区的形成。但封建社会后期政治衰败，管理混乱，阻碍了水利的进步。

总地看来，元明清三代传统水利及其科学技术发展缓慢，一些方面甚至出现了停滞或倒退，但总结性水利科学著作相当丰富。明清之际和清代末年曾一度引进西方水利技术，但尚未得到普遍应用。

#### (一) 京杭大运河的创建与衰落

元明清三代建都北京。政治中心在北方，而经济重心在南方，其间的交通联系是维护政治安定和经济发展的关键问题。重复唐宋汴河

的老路则嫌过于迂回曲折，元初曾一度奉行海运，但安全是个困难问题，于是，开凿北京直达杭州的运河航线成为当务之急。元初即由大科学家郭守敬主持，论证海河水系的卫河、黄河下游和淮河泇水沟通的可能性。为此曾进行大范围的以海平面为基准的地形测量，证实跨越山东地垒的京杭运河的方案可行。于是从至元十三年(1276)开始开凿京杭大运河的关键河段——今山东济宁至东平的一段，以后又向北延伸并与海河水系的卫河贯通。至元二十八年(1291)到三十年(1293)又由郭守敬主持开通今北京至通县的一段，明清相继开泇河、中河使运河进一步脱离黄河。至此，大运河南接江淮运河，航船可以跨越海河、黄河、淮河、长江和钱塘江五大水系由杭州直抵北京，并在此后500年的时间里成为我国南北交通的大动脉。这条长达1800千米的运河成为世界上最长的一条人工运河，是世界水利史上的一项杰作。不过，两大难题始终困扰着运河的畅通。

一是水源问题，特别是山东段运河水源尤其缺乏。当年主要依靠引汶水和泇水济运，并为此修建了一批闸坝工程，以节制水量。此外，又在南旺分水岭南北的运河上修建了30多座船闸，以调节航深，集中体现了运河建设的工程技术水平；二是运河穿越黄河的技术困难。由于黄河河床的不断淤高，自18世纪末叶以来黄河涨水时期对运河的倒灌和淤积成为京杭运河的痼疾。历代为此作了不少改进，修建了一批闸坝进行控制，收到了一些效果，但是随着黄河河床的进一步抬高，局面又继续恶化，最后成为运河中断的主要原因之一。



## (二) 黄河系统堤防的建设与确保漕运前提下黄河防洪的困境

黄河以其高含沙量位居世界诸大河之冠，含沙量过高造成下游河床的淤积，给防洪带来许多困难。自汉代起，就有人提出，能否利用黄河自身的水流冲刷下游河床淤积以改善防洪。但后代并未能就此探讨出可以实行的工程技术方案。到了明代万历年间，才由当时主管防洪的总理河道潘季驯总结前人的认识，系统提出“束水攻沙”、“蓄清刷黄”的理论以及实现这一理论的实施方案。这是一个系统堤防工程，由缕堤、遥堤和格堤、月堤所组成。其中缕堤靠近主流，意在约束水流提高流速，便于冲刷河床积淤。遥堤在缕堤之外二三里的地方，为的是洪水盛涨，越过缕堤时，防止洪水四处泛滥。此外为了防止特大洪水冲坏遥堤，还在某些地段的遥堤上建有溢洪坝段。“束水攻沙”和“蓄清刷黄”在理论上的贡献是杰出的，但潘季驯的理论还只限于定性的分析，在复杂的黄河防洪中，他所设计的一系列工程措施虽然发挥了有益的作用，但并未达到刷深河床，解决防洪难题的目的。至于近代泥沙运动理论则在 20 世纪由欧洲科学家陆续提出，而“束水攻沙”的实现还有待来日。

然而，黄河河床的抬高不仅增加黄河本身防洪的困难。当年黄河在淮阴一带夺淮入海，黄河河床和水位的抬高形成对淮河的顶托，不仅使淮河洪水宣泄困难，并逐渐在淮阴以西造成了一个洪泽湖，最后，

还将淮河入海流路淤塞，而压迫淮河由三河闸改道入江，简直使淮河成为长江的一个支流，防洪还受到南北大运河的牵制。那时由于向东入海的黄河与南北向的运河交叉，运河一度依赖黄河的水量补助，又惧怕黄河的泛滥和淤积。及至清代道光年间，在今江苏淮阴黄河和运河交汇处，几乎成了航运的一个死结。

这一时期，由于南方经济的发展和人口的增长，本来相对平静的长江与珠江的洪水与防洪问题也逐渐加剧。明清两代也是江浙海塘防潮工程发展的重要阶段，特别是康熙至乾隆的百十年里。其间兴建的鱼鳞大石塘，表现出古代坝工的最高水平，有的至今仍巍然屹立。

### (三) 农田水利的普及与发展

元明清三代政权相对稳定，农田水利形成平稳发展局面。元代统治阶级的游牧生活逐渐被内地发达的物质文明所同化。当年曾专设“都水监”、“河渠司”等水利机构，推动水利建设，并一再颁行《农桑辑要》等农业技术书籍，指导农业生产。明太祖朱元璋大力提倡农田水利。洪武二十八年(1395)在全国范围共兴建“塘堰凡四万九百八十七处，河四千一百六十二处，陂渠堤岸五千四十八处”<sup>①</sup>。这一时期农田水利工程主要由地方或民众自办，以小型为主，大型工程少见。由政府或军队主持的农田水利项目则以畿辅营田(今河北省)声势最大，为的是促进京畿地区农业发展，以减少每年大量的南粮北运的负担。但在北方兴修水田，因受水资源量的限制，难有大的作为。随着

巩固边防的努力，边疆水利有较大发展，其中清前期的宁夏河套灌区建设，清代中后期的内蒙河套灌区和新疆地区灌溉等成绩显著。沿海的台湾、福建，尤其是珠江三角洲基围水利这一时期取得重大发展。

#### (四) 水利科学技术的总结性著作大批涌现

这一时期水利规划理论有所进步。值得注意的是以明代潘季驯为代表的“束水攻沙”治河思想的完善和系统堤防的实施，使传统的治河堤防工程技术发展进入高峰。

明清以来大批有关水利工程技术、治河防洪的专著陆续问世。各地的地方志大多设置了水利专业志，漕运志作为新的专业志种在明清的水利专业志中也占了相当的比重。现存的古代水利文献大多是这一时期编纂的。

在防洪治河工程技术方面，明代隆庆年间总理河道大臣万恭著《治水筌蹄》，对于运河工程技术和管理有精到见解。在治黄思想上，首先提出“束水攻沙”和“以堤治河”的理论认识。之后，四次出任总理河道的治河名臣潘季驯编著的《河防一览》，深化了“束水攻沙”思想，提出“蓄清刷黄”和放淤固堤等策略，比较系统地阐述了多沙河流泥沙运动规律和治理方略，他的治河思想对后世影响很大。海塘工程技术和管理经验的总结在清代也进入高潮，代表作有乾隆年间方

观承的《敕修两浙海塘通志》和翟均廉的《海塘录》。

农田水利方面的专著中最著名的有元代王祯的《农书》、明代徐光启的《农政全书》以及清乾隆年间官修的《授时通考》，对于各种类型的农田水利工程，尤其是对灌溉和水力机械记述尤详。地方性农田水利专著如清代吴邦庆编《畿辅河道水利丛书》和徐松《西域水道记》，分别是研究海河流域和新疆水利的重要著作。明代姚文灏《浙西水利书》和沈问《吴江水考》等是太湖水利的代表性著作。专门记述工程的专书如元代李好文《长安志图·泾渠图说》、清王太岳《泾渠志》、王来通《灌江备考》、王全臣《大清渠录》、程鸣九《三江闸务全书》等。

运河及漕运典籍内容可大致分为三类：以运河河道为主的专业志，内容包括运河工程沿革、水源和工程管理、水政管理规章制度等；以漕粮运输为主，记载漕运制度、漕运仓储、漕运管理法规等内容的专业志和资料汇编性质的文集；河漕兼容的综合性专著，著名的有明代谢肇淞《江上河纪》、王琮《漕河图志》，清代有陆曜《山东运河备览》、张伯行《居济一得》等。运河、漕运还蕴含许多有关文化和经济方面的内容。

此外，编年体的资料汇编性著作有清代傅泽洪《行水金鉴》、黎世序《续行水金鉴》等，收入了大量的历史文献资料。

封建社会后期的水利建设，既没有战国秦汉时期那种生机勃勃的宏大气势，也没有唐宋时代的技术先进和管理规范，尤其是与同时期在欧洲崛起的近代科学技术相比，逐渐相形见绌。这种停滞状态酝酿着新的变革与突破。总之，中国传统水利科学技术体系的发生、发展和停滞，基本是同封建社会的总进程相联系的。

① 顾炎武撰、黄汝成集释，《日知录集释》，四部备要本，中华书局，1989年。

#### 四 传统水利科技的特点与不足

在古代 4000 年治水活动中，我国传统水利取得了光辉的成就和在世界水利史上长时间的先进地位。在特定的地理环境和以农业为主要生产方式的古代，中国不仅形成了不同于其他文明古国的独具一格的政治、经济、思想和文化传统，也形成了独具一格的科学技术体系。和以古希腊为代表的欧洲传统科学技术比较重视理论问题有所不同，我国传统科学技术的显著特点首先表现在重视解决实际问题，重视实践经验，而疏于理论概括。明末清初著名的历算学家王锡阐曾指出：“古人立一法必有一理，详于法而不著其理，理具法中。”①即专讲怎样去做，而不解释为什么这样做，理论隐含于方法之中。经学家阮元在编写古代科学家传记时也认为，传统科学“但言其当然，而不言其所以然”②。当然科学技术的进展没有理论思维是不可想像的，例如在

中国封建社会初期，科学技术的理论总结就取得了相当的成绩。但从总体看来则仍然显现出主要是经验性或描述性的科学形态的特点。

①明，王锡阐：《晓庵遗书·杂著》。

②清·阮元：《畴人传》卷46，商务印书馆，1955年。

其次，重视整体性和广泛联系是我国传统科学技术的又一显著特点，即重视从整体上认识研究对象和重视对象与相关事物的联系。中国古代社会“以农为本”，而当研究农学时，《吕氏春秋·审时》认为：“夫稼，为之者人也，生之者地也，养之者天也。”主张把农学放在气象、土壤、耕作普遍联系的环境系统中去研究，从总体把握局部。在水利工作中，“治河之法，当观其全”<sup>①</sup>，同样强调整体性和综合性。而西方科学则侧重分析和分解。长期以来，西方自然科学思维的基本轨迹就是将整体的复杂系统分解成各个部分，把运动的现象作为相对静止的来处理，复杂的现象从而得到简化。这种思维方法在历史上作出了巨大的贡献，奠定了现代科学的基础。但这种方法只适用于处理线性问题，当科学进一步发展之后，必将在其统一性方面寻找新的突破。诺贝尔奖获得者比利时物理学、化学家普里高津指出“中国传统 的学术思想是着重于研究整体性和自发性，研究协调和协和”，并且认为，“我相信我们已经走向一个新的综合，一个新的归纳，它将把强调实验及定量表述的西方传统和以‘自发的自组织世界’这一观点为中心的中国传统结合起来<sup>②</sup>”，高度评价了中国古代

哲学的现代意义。

辩证思维是我国传统科技又一重要特征。特别是对立统一、相反相成和相互转化的观点，对科学技术的发展影响最大，凝聚着中华民族的智慧。例如在黄河防洪建设中，为防止堤防决口，宋、元、明三代大都以分流为主导思想，认为只有在上游分流以适应河道容蓄的能力，才能防止洪水决溢。但明代著名治河专家潘季驯则持相反的看法，他认为，黄河善决善淤善徙特性的关键是河水含沙量太大。泥沙淤积抬高河床，既减少输水能力，又增加防洪的困难。于是，他总结前人的合理主张，提出了“束水攻沙”的理论。他反驳上游合流将增加下游防洪困难的论点，认为合流固然会增大下游洪水流量，但流量增加了，河水流速会相应提高，并同时提高了冲刷河床淤积的能力。只要河床加深了，防洪的困难就会迎刃而解。所以说：“盖筑塞似为阻水，而不知力不专则沙不刷，阻之者乃所以疏之也。合流似为益水，而不知力不宏则沙不涤，益之者乃所以杀之也。……借水攻沙，以水治水。”<sup>③</sup>阐明了合与分，冲与淤之间的辩证关系，成就了治河理论上划时代的贡献。英国著名科学史家李约瑟先生指出：“当希腊人和印度人很早就仔细地考虑形式逻辑的时候，中国人则一直倾向于发展辩证逻辑。”<sup>④</sup>某些西方科学家还认为，这种辩证思维对现代科学的进一步发展将具有重要的启迪作用。

传统水利科学技术的弱点则表现为理论概括不够，定量分析不多和实验观测少。⑤我国古代的水利著述甚丰，仅水利专著就有 500 种以上。但这些著作多为建设实录，缺乏抽象概括，未能上升为具有普遍意义的理论认识，类似战国时代的《管子·度地》对水流运动规律和土壤特性的归纳，宋元时期的《河防通议》对河流水势、水汛以及防洪工程规范之类的理论著作屈指可数。

① 明·潘季驯：《留余堂尺牍》卷 2，上阁下书，转引自韩仲文《潘季驯年谱》

② 颜泽贤，耗散结构与系统演化，福建人民出版社，1987 年，第 107~108 页。

③ 明·潘季驯：《河防一览·河工告成疏》卷 8，水利珍本丛书本，1936 年。

④ 李约瑟：中国科学技术史(中译本)第 3 卷，科学出版社，1978 年，第 337 页。

⑤ 郭涛，中国传统水利的特点及其停滞，中国水利，1989 年，第 3 期。

定量分析较少，即使类似潘季驯《河防一览》、靳辅《治河方略》这样的大家著述，对传统水利的认识也停留在对现象的直接观察上，也多局限于定性分析和趋势的描述，未能应用当时已有较高水平的数学进行量化并进而上升到理论公式。明末著名科学家徐光启对于水利



工作中不重视数学和测量的应用曾有中肯的批评。<sup>①</sup>因此，应用现代水利科学技术知识，探讨散见于浩瀚古籍之中的治水实践的科学内涵，并进行系统归纳，就成为我们责无旁贷的历史任务。

<sup>①</sup> 徐光启在《勾股义序》一文中说到，大禹平治水土时曾应用数学勾股计算，此后历代制定历法无不依赖数学，但“独水学久废，即有专门名家，代不一二人，亦绝不闻以勾股从事”。见《徐光启集》，上海古籍出版社，1984年，第83页。

实验观测是科学发展的基本研究方法之一。爱因斯坦认为西方科学发展是以两个伟大成就为基础，即希腊哲学家发明的形式逻辑体系和文艺复兴以来所提倡的为探寻自然现象发生的因果关系而进行的系统实验。而在我国古代进行实验观测的事例十分罕见。由于没有科学实验的鉴定，既不能对工程实践的结果进行预测和总结，也不能通过实验归纳上升为理论认识。

由于存在这些弱点，使得我国传统水利技术虽然在唐宋时期已发展到最高水平，但此后就停滞不前。元明清时期，虽然水利建设进一步普及，但技术水平一般并未超越唐宋；建设规模和速度更难以与秦汉时期相比。明清水利著述虽然丰富，但资料性居多，理论概括较少。

中国水利的起源晚于古巴比伦、古埃及等文明古国，比起奴隶制高度发达的古希腊也略逊一筹。但中国却较早地完成了向封建社会的

过渡，生产关系的变革有力地推动了水利工程的建设，以致从春秋战国开始，大规模的水利工程建设，如芍陂、漳水十二渠、都江堰、郑国渠等大型灌溉工程相继完成，秦汉时期治理黄河和兴建跨流域运河的工程，都已显示出中国水利科学技术在世界的领先地位，这种领先的势头一直持续到 15 世纪。而此后，以欧洲文艺复兴为代表的资本主义的兴起，极大地推动了科学技术的进步，而 18 世纪产业革命以来西方水利获得飞速的发展，其水利科学技术开始领先于世界。