

我国泥沙学科发展综述

张仁*

[摘要] 我国河流众多,水利资源丰富,但其中不少河流水土流失严重,水流中大量泥沙的存在给水利工程建设带来很多泥沙问题。泥沙学科的研究工作和国民经济建设有密切关系。泥沙问题处理不当常常导致各种损失和灾难,例如水库淤塞、耕地淹没、航道中断、水工建筑物基础损坏等等。如果泥沙问题得到适当地预估和解决,就能获得巨大的经济和社会效益。解放以后,在泥沙研究的领域中已经获得了重大的成就,但仍然有一系列理论问题需要进一步研究,本文提出了需要优先支持的课题。

一、概 况

我国河流众多,水利资源丰富,但其中不少河流水土流失严重,水流中的大量泥沙给水利工程建设带来众多的问题。新中国成立以来,由于生产建设的需要,泥沙研究工作得到迅速的发展。在部属的科研机构和流域机构内,相继成立了泥沙研究机构。在勘测、设计和管理部门中成立了相应的科室和野外观测队伍。在高等院校内,如武汉水利电力学院设置了“河流力学及治河工程”专业,其它院校还通过举办在职人员的泥沙培训班和招收泥沙专业研究生,为国家培养泥沙研究人才。为了加强学术上的联系和交流,推动学科的发展,在中国水利学会下成立了泥沙专业委员会,出版了《泥沙研究》刊物。为了加强泥沙科学的国际交流,1984年7月在北京成立了国际泥沙研究培训中心(International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation),在我国政府部门的领导和联合国教科文组织的赞助下,开展了大量卓有成效的国际学术交流活动。从1980年以来,已组织了三次大型河流泥沙国际学术讨论会。第四届国际会议将在今年举行。泥沙学科不仅服务于水利水电建设,而且对交通、铁道、能源,环境生态以及与采用管道输送的有关工业部门都有密切关系,因此,这些部门也做了不少有关泥沙学科的研究工作,获得了丰富的研究成果。近40年来,一支上千人的泥沙专业队伍已经成长起来,并出现了一批富有创新精神的年轻泥沙研究工作者。与此同时,全国河流泥沙的情况基本上得到查明,为泥沙研究积累了丰富资料。

二、泥沙研究工作和国民经济建设的关系

泥沙学科的发展和国民经济建设紧密相关。从我国生产建设中提出的泥沙问题大致可以归纳如下:

1. 黄河中下游的治理问题

黄河下游由于泥沙持续淤积,河床高出两岸地面,形成了地上河,因此黄河的洪水对广大华北平原构成了严重的威胁。解放40年来,虽然伏秋大汛没有发生决口,但黄河下游的河床

* 清华大学水利系

仍然不断抬高,洪水的威胁有增无己。因此,确保黄河下游防洪安全和减少河道淤积是治黄工作的一个中心课题。黄河中游水土流失严重,进入河流的大量泥沙是造成下游严重局面的根本原因。同时,水土流失使中游地区生态恶化,生产水平低下,地瘠民穷。因此,搞好黄河中游的水土保持工作也是一个需要重点研究的课题。

2. 水库淤积问题

在多沙河流,水库被泥沙淤塞,库容迅速减少,不仅严重影响水库寿命和效益,而且使水库防洪能力降低,威胁下游地区的安全。研究正确的工程布置和合理的水库运用方式,使水库能够长期保持有效库容,是一个重要的研究方面。

3. 水利枢纽的工程泥沙问题

这里可以区分为三种情况:第一种是灌溉引水工程,需要研究引进含沙量小的清水和防止输水渠道淤积问题;第二种是水电站的泥沙问题,如因调节池淤塞而损害电站的调节出力的能力,粗颗粒泥沙进入水轮机组而产生磨损等问题,第三种是平原河流上的低水头综合利用枢纽的泥沙问题,除引水防沙外,还要满足通航、防洪等要求,因此需要解决坝区航道口门内外的泥沙淤积和变动回水区的浅滩恶化问题。

4. 冲积河流的河道整治问题

冲积河流的河床经常发展变化。河床淤积会抬高洪水水位,河岸的冲刷则威胁两岸堤防和人民生命财产。同时,河流的河床冲淤变化还会影响航道港口、桥渡及取水工程的正常使用。研究水沙变化引起的河床演变和寻求相应的整治措施是治河工程的一项重要研究任务。

5. 河口海岸泥沙问题

河口泥沙问题随河口条件不同而异。例如黄河河口主要是河口延伸迅速,从而使上游洪水位抬高并引起河口河道的经常摆动,影响河口地区的工农业生产。在长江河口,则需要研究拦沙对阻碍航运、滩涂围垦和盐水入侵的影响。海岸泥沙问题主要表现为沿海港口的淤积和海岸工程的防护。在国外,沙质海岸的泥沙运动规律有较多的研究。在我国,河口和近海地带有很多是淤泥质海岸,港口建设往往受到泥沙淤积的影响,海岸带的开发利用也和泥沙冲淤有密切关系。因此,研究海岸带在波浪和水流作用下的泥沙运动规律,防止和减轻港口淤积以及保护滩涂等海岸开发工程,是重要的研究课题。

此外,泥沙研究还和环境生态、管道输送、石油开采、防风固沙等领域有密切的联系。发展泥沙学科,提高泥沙研究工作的水平,将对国民经济建设事业产生重要的推动作用,具有重要的和社会效益。

三、我国泥沙研究工作的发发展现状

1. 流域产沙和水土保持

50年代初期,在我国黄河中游水土流失严重的地区布设了很多径流小区,开展了小流域的对比测验,研究不同自然地理条件下产沙量和各种水保措施和作用。随着野外资料的积累和研究,对黄河中游汇流产沙的特点得到了一些规律性的认识,例如黄河中游泥沙粒径的地理分布,高含沙水流的形成过程,径流量和产沙量以及坡面侵蚀和河道输沙之间的相关关系等等。

影响河床演变的不仅是流域产沙的多寡,还和泥沙粗细的程度有关。由于风沙入侵的作

用,我国黄土高原西北部的颗粒组成较粗,在这一地区产生的洪水所挟带的泥沙往往造成黄河下游严重淤积。黄河流域中水土流失面积达43万平方公里,而粗颗粒泥沙主要来自10万平方公里,集中治理好这个地区,就可以大大减轻黄河下游的淤积。

泥沙虽然给水利建设带来困难,但泥沙也是一种可以利用的自然资源。由于黄土中含有很多肥分,引入农田后可以提高地力,改良土壤,起到增产作用。我国西北地区引洪淤灌、浑水灌溉和黄河下游的放淤改土都取得了丰富的经验和巨大的经济效益。近年来,在黄河中游进行水土保持小流域综合治理的试点工作,重视全面规划和改善生态环境,使提高农业生产和减少水土流失的工作结合起来,找到了很多新的有效途径。

2. 泥沙运动力学

早在50年代即已开始异重流运动规律的研究,对异重流的形成条件、阻力损失、运动和沉积特性及其在工程中的应用均已有一定成果。近年来,建立了非恒定异重流的数学模型,可用于计算异重流在水库中的传播过程,并得出了包括异重流排沙比诸因素的统一计算公式。

当水流中含沙量超过一定数值后,就会形成在运动和输沙特性上发生本质变化的高含沙水流。从70年代起,对高含沙水流的流变性质、水流结构、阻力特性、运动特性等方面都取得了新的认识。这些成果在河床演变、管道输送、泥石流防治等领域都得到了应用。高含沙水流在一定边界条件下能以较小的水流强度输送较多泥沙的特点已经引起人们的重视。除在干旱地区利用这一特性扩大灌溉效益外,作为治理黄河措施的一种设想,正在研究之中。

悬移质水流挟沙力和泥沙起动流速是进行泥沙冲淤变化分析和数值计算的主要工具。近年来,在建立考虑泥沙组成变化的数学模型过程中,对于非均匀沙的挟沙力以及悬沙和床沙交换机制的研究取得了不少成果。由于需要研究大型工程中的泥沙问题,对于大水深下的颗粒起动流速也开展了研究。

受观测仪器的限制,推移质输沙率的研究是过去泥沙运动力学研究中的一个薄弱环节。近年来,通过与国际合作和我国的实践,对推移质的量测技术作了不少改进。此外,从颗粒在水流中跃移运动的力学分析出发,推求推移质输沙率方面也取得了一些进展。研究表明,在高强度输沙条件下,颗粒比重对推移质输沙率具有重要的影响。

水流及泥沙运动属于一种随机现象,将概率论与力学原理结合起来进行研究,是当代泥沙运动研究的一个重要发展方向。近年来,在对河床紊流进行随机理论分析,并据以导出紊流时均流速及紊动强度分布公式,在研究泥沙的静止、起动、跳跃、悬浮等各种状态及其相互转化,并进一步阐明其基本规律方面,都取得了进展,并出版了学术专著。

3. 河床演变及河道整治

河床演变方面研究得较多的一个重要问题,是关于黄河下游河床持续抬高的成因。多年来,对河床不断抬高的原因,诸如来水来沙的影响,河槽形态及糙率变化,河口延伸的反作用等因素均进行过多方面的研究。

河床演变的另一个重要问题是河型分类和各种河型的演变规律问题。结合黄河、长江等河流开发的需要,对于游荡型、蜿蜒型的分岔型河流的成因和演变规律曾进行过较多的研究。除了分析野外资料外,同时也进行过一系列室内的造床实验和比尺模型试验,用以塑造不同河型的模型小河和研究工程措施对河流的影响。上述工作提高了人们对河型成因的认识,也为河流整治工作提供了科学的依据。近年来,在黄河下游过渡段中,固岸护滩控制流路的治理措

施取得了一定成效。在荆江河段,成功地实施了裁弯取直和护岸工程。在分岔型河道上,则主要是塞支强干或控制分流分沙的比例,以求河道能保持有利于防洪、航运的状态。

探求正确的河相关系是预报河流几何形态的关键,正确的途径是采用河流动力学和地貌学相结合的研究方法。对于河相问题曾经提出的理论假说有“最小活动性”假说,“河岸河床相对可动性”假说和“最小能耗率”假说等。根据这些假说得出了不少可资实用的河相关系。

出于内河航运发展的需要,浅滩的整治与疏浚工作在众多通航河流上展开。中小河流及大河上游一般采用整治和疏浚并举,而大河的中下游则以维护性疏浚为主。近年来开始进行的黄河中游府谷至禹门口和汉江下游白马洞至碾盘山的河道整治工作,正是将不稳定的多支汊河段改造成通航河道的一种尝试,将使这方面的研究工作进入一个新的阶段。

4. 河流模拟技术

要定量地研究河床与水流相互作用下产生的河床演变过程,需要通过河工模型进行试验或通过数值模型进行计算来得到。近年来,由于长江三峡工程和黄河小浪底工程的泥沙问题获得了广泛的重视,这两种模拟技术的研究无论在深度和广度上都取得了很大的进展。

关于河工模型方面,定床清水模型趋于成熟,可以获得可靠的试验成果。动床模型试验在比较严格的相似理论基础,也逐步提高了试验成果的可信度。在河工模型的设计和操作上,对正确把握模型的几何变态率、泥沙级配的模拟范围、不恒定流过程的概化以及轻质模型沙的应用等问题,都取得了丰富的经验和比较深入的认识。

预测长河段冲淤变化的一维数值模型已得到广泛应用和深入研究。这类模型具有能计算非饱和和输沙的功用,还可模拟悬沙、底沙和床沙之间的交换和在时间、空间上颗粒级配的变化,使计算具有更大的适应性和可靠性。作为一种预测河床变形的手段,一维数值模型已经相当成熟。对于含沙量较小的河流,利用一维模型预报河床冲淤已不存在任何困难。对于含沙量较大的河流,则由于河床形态变化急剧,水流挟沙特性比较复杂,还有待进一步深入研究。

随着对三峡工程变动回水区的研究,平面二维数学模型已获得了迅速的发展。对于阻力和挟沙力横向变化的研究取得了有实用意义的成果。为了适应不同复杂程度的边界情况,发展了各种计算方法。

由于数学模型具有周期短、投资少及无比尺效应的优点,是一种定量预测河床变形的有效工具。从整体讲,国外近年来的研究成果已基本得到引进,而在物理模式的构造上,结合我国河流特点有了许多新发展,随着计算机应用水平的提高,可以预期,数学模型将经历一个飞跃发展的时期。

5. 水利水电枢纽的泥沙问题

对于水库淤积问题,设置低高程、大泄量的排沙底孔和采用“蓄清排浑”的方式是长期保持有效库容的行之有效的办法。除此之外,利用洪水或基流泄空冲刷,高浓度异重流排沙,水力吸泥排沙等解决小库淤积的方法也都取得了经验。

另一类是低水头枢纽坝区的泥沙问题。对于引水式电站及灌溉取水枢纽,目前多利用自然弯道或人工弯道的环流效应,迎流取水、侧向排沙,同时辅以拦沙坎、沉沙池等设备,以得到减少入渠泥沙的效果。在葛洲坝枢纽中,曾根据“静水通航、动水冲沙”的原则有效地解决了引航道淤积的问题。为使低水头枢纽的综合效益得到发挥,在选择坝轴线和布置建筑物时,已逐渐重视河势规划的思想。

通航河流上枢纽工程的变动回水区常因泥沙淤积而产生碍航现象。长江三峡工程的研究表明,改变水库运用方式和进行适当整治,可以改善变动回水区的航运条件。在壅水程度较高的河段,泥沙淤积可以使河型发生变化,通常在平面上是弯曲趋于顺直,分岔趋于单一,在断面形态上则形成高滩涂槽。一般,这些变化对航运是有利的,但主槽的迁移有时会碍航,需要采取相应的整治措施。

6. 河口海岸泥沙问题

我国通航河口都已先后进行了整治研究,取得了显著经济效益。河口段由于水流分岔引起航道不稳定是一个普遍现象,近年来,通过在支汊上修建潜坝限流,以调整潮波传播的相位差和流量分配,在主汊上采用疏浚河槽等措施,对改善某些河口的航道取得了较好的效果。在海域来沙和悬沙为主的河口,采用导堤整治拦门沙航道也已取得成效,而对于陆相来沙为主的河口,还需采取维护性疏浚的办法。

对于来沙较丰富的河口,口门沙咀的延伸是不可避免的现象,顺应这一发展趋势进行滩涂围垦,能增加土地资源,带来巨大效益。但这样做同时会加剧上游河道的防洪和排涝的困难,需要在规划中全面考虑。黄河河口延伸速度很大,河口经常改道和摆动。胜利油田建成后,如何做到既有利于油田稳定生产,又确保黄河的防洪安全,成为一个迫切需要解决的研究课题。

对于淤泥质海岸的港口淤积问题,在天津新港曾进行过多方面的研究,其中包括淤泥的物理化学特性、淤泥在风浪、潮流、径流等动力因素联合作用下的运动和沉积规律、淤泥的入港过程以及减淤措施等。近年来,围绕连云港等港口的建设进行了大量海岸动力地貌的研究和整体模型试验,取得了重要的成果。实践表明,进行海岸动床模型试验,以探讨港口淤积的机理和检验工程措施的效果,是一种有效的方法。

四、泥沙学科的发展展望

为了振兴农业和解决能源短缺问题,需要大量兴建水利水电工程;为了发展沿海的经济区和增加国内的商品流通,需要修建大量港口和疏通内河航道;而改变贫困地区的面貌,更需要制止水土流失和改善生态环境。所有这些有关水利工程的建设中,泥沙问题常常是决定工程成败的关键。例如,在长江三峡工程的论证工作中,泥沙问题被认为是工程能否实施的核心问题之一。因此,加快发展泥沙学科的研究工作,提高泥沙研究队伍的水平,对我国的水利建设将能起到重要的促进作用,具有重要的经济和社会效益。

多年来,泥沙研究工作与生产实际紧密结合,从而取得了巨大动力,是泥沙学科得到进展的重要原因,今后仍应坚持这一方向。在解决生产问题的过程中,实践提出了不少基本理论问题,研究这些问题需要装备专门的设备和精密的仪器,集中人力进行长期艰苦细致的工作。近3—5年内,从国家经济发展的需要出发,对下列的理论研究课题进行优先扶植是十分必要的。

1. 黄土地区的产沙机理和产沙模型。
2. 多沙河流和水流挟沙力,非均匀沙的水流挟沙力。
3. 冲积河流的阻力,细沙和粉沙质河床的沙波运动规律及床面形态阻力。
4. 高含沙水流的物理特性和运动规律。
5. 在波浪和径流共同作用下细沙和淤泥的运动特性,包括沿岸和横向的运动。

6. 冲积河流的河型的河相问题。
7. 河工模型的设计理论。
8. 各种类型的河床冲淤计算的数值模型。

A GENERAL REVIEW ON THE DEVELOPMENT OF SEDIMENT RESEARCH IN CHINA

Zhang Ren

(*Tsing Hua University*)

Abstract

There are a lot of rivers rich in water resources in our country. But many of them are suffered from severe soil erosion in their catchments. As a result, various sediment problems have happened in the construction of hydraulic projects on these rivers. Sediment researches are closely related with the development of national economy. Various disasters would be resulted when sediment problems are mismanaged, such as, siltation of reservoirs, inundation of farmer lands, blockage of navigation channels, undermining the foundation of hydraulic structures etc. Enormous economical and social benefits could be obtained if the sediment problems are properly predicted and solved. Since the founding of new China, due to the impetus of construction great achievement in the field of sediment research have been made. But, for meeting the demand of economical development, further studies on sediment theory are still needed. The list of problems suggested in this article are deemed to be supported financially as the highest priority.