

钱宁生平和他的《泥沙运动力学》

沈学汶

(柏克利加州大学, 美国)

摘要: 本文简要介绍了钱宁从事泥沙研究事业的一生及其主要成就; 对《泥沙运动力学》一书进行了评述, 并分章扼要说明及主要内容。与此同时, 说明了作者对泥沙研究一些问题的观点。

关键词: 泥沙运动力学; 泥沙研究; 钱宁

中图分类号: TV143

文献标识码: A

文章编号: 0468-155X(2004)05-0077-05

本文介绍钱宁, 一位杰出的水利学者和工程师的创造性的一生及他的近作, 与万兆惠合著的《泥沙运动力学》。该书于1999年由美国土木工程师学会出版。

钱宁是中国留学生, 为了报效祖国, 他放弃了在美国前途无量的事业而毅然回到中国。钱宁在自己的专业生涯中, 跑遍了中国辽阔的大地, 通过野外调查, 试验室试验和基础理论分析相结合的方法解决水利工程的疑难问题。他在认识泥沙运动方面取得了重大的科学进展。他对冲积河流特性的敏锐的洞察力仍在这一领域保持着领先的地位。钱宁和万兆惠合著的书中反映了由中国有关这方面的信息大大丰富了的这种见识。

钱宁对中国水利工程的贡献是巨大的。不仅如此, 他从早到晚甚至常常到深夜的工作热情极大地鼓舞了他的同事们。他的生活和工作表明他一生献身于社会事业的坚定决心。

1 钱宁从师于劳斯和爱因斯坦(1947~1955)

1922年12月4日钱宁出生于中国南京。他毕业于中央大学。25岁时他获得中国政府的奖学金(解放前夕), 去美国学习水利工程, 从师于依阿华大学劳斯教授。1948年获依阿华大学硕士学位后, 钱宁转入柏克利加州大学, 从师于H·爱因斯坦教授, 1951年获博士学位。钱宁去伯克利后, 有一次劳斯跟我说, 依阿华大学失去了一位优秀的学生。

这期间, 在美国的许多中国留学生, 遇到了有关他们未来前途和命运的极其复杂的斗争。来美国前, 许多中国留学生就是想去美国学习, 然后, 回去为祖国服务。没想到解放后中国的社会政治制度发生了很大变革, 回国将冒很大风险。

尽管他父亲是台湾的高官, 钱宁和他的夫人龚维瑶, 勇敢地做出回国的决定。假如他们继续留在美国, 会事业有成, 生活舒适。实际上, 在1951年~1955年期间, 美国政府不允许中国留学生回国, 因为他们许多人掌握了重要的知识, 可能会为中国共产党服务。所以钱宁和他夫人被扣留在美国。钱宁在滞留期间, 发表了许多论文, 并开始实施他的远大目标, 写几本有关泥沙运动的著作。他在认识非均匀沙运动、高含沙水流特性、隐蔽系数的修正、以及动床模型试验等方面做出了重要的贡献。他的贡献很快被科技界承认。终于, 在1955年6月美国同意钱宁和他的夫人以及其他一些中国留学生回国。这些人中包括我的妹妹和妹夫。

收稿日期: 2004-07-09

作者简介: 沈学汶(1931—), 男, 美籍华裔科学家, 美国国家工程科学院院士, 土木与环境工程教授, 长期从事泥沙工程、河流动力学及水资源的研究及教学工作。

2 回国后钱宁的第一个黄金时期(1955~1966)

1955~1966年期间是钱宁在中国两个黄金时期的第一个。他坚信要用野外知识和室内河流特性试验相结合的方法来解决河流问题。他在黄河流域进行了广泛深入的现场查勘,建立了许多水位站和数个试验室。在艰苦的野外环境中,许多野外工作者被他的热情和积极性所鼓舞。在他的野外旅途中,钱宁常常睡在地上,吃粗糙的食物。他的牙齿不好,不能吃硬的面食和谷物。加之,钱宁患有胃病,这些食品加重了他的病痛。然而,他还是坚持努力工作,早起晚睡。有关他的献身精神,在和他一起在野外工作的同事的文章中得到充分的描述。例如,1987年清华大学和水力电力出版社出版的《纪念钱宁同志》一书。

1956年后期,我到伯克利学习时,虽然当时我们尚未谋面,我仍收到钱宁从中国寄来的几封信。这些信描写他的许多有关认识长期给人民造成深重灾难的黄河的振奋人心的方案。显然,这些方案得到周恩来总理的鼓励和支持。钱宁来信交给我两项任务。第一项是同爱因斯坦讨论他的方案;第二项是要求我每周一给他寄一份美国报纸的体育版。钱宁和他夫人是美式足球迷。有几个月,每周一早晨爱因斯坦教授把他周日报纸的绿色体育版拿给我,我就把它寄往中国。当时中美之间的关系很敏感,我常常在想,两国的海关对寄体育报这件事有何想法。数月后,钱宁要我不要再寄报纸了,因为他和他夫人跟不上足球消息了。

1957年至1960年代后期,钱宁开始了沿黄河大规模的野外查勘。这次查勘涉及100多个调查项目。1959年,他完成了几个有关黄河下游河流特性的报告。1960年秋,他领导全组人员完成了二十多万字的关于黄河下游历史上河床演变特性的研究报告;并试图预报修建三门峡水库后下游河道特性的变化。钱宁强调需要利用洪水冲刷泥沙使其排出水库。事实上这已被三门峡和其它水库用于处理水库泥沙淤积,并已被确定为三峡水库的运用方式。该报告同样激发我研究这个课题(Shen, 1999)。有关河流特性的论述,已写入钱宁、张仁和周志德合著的《河床演变学》一书。该书于1987年由北京科学出版社出版。遗憾的是只有中文版。

1965年,钱宁组织专家组对黄河上、中游进行广泛的调查,搜集野外资料以确定粗泥沙来源和运动模式。专家组行程2000多公里。依据这些成果,钱宁写出了《黄河流域粗泥沙来源区及其控制中的若干问题》的报告。

3 文化革命(1966~1971)

文化革命初期,钱宁被列为“反动学术权威”,并挂牌游街。他的家也被抄了。1968年9月至1969年5月,钱宁和许多人一起被关进水科院地下室的“牛棚”。周末他的女儿给他送些干净衣服和小菜。1969年至1971年,钱宁被下放到河南和山西省,那边条件极其艰苦,他依然白天找机会参加河道和灌渠的规划设计,晚上写他的书。

4 过渡时期(1972~1978)

1972年毛主席病重,中国进入过渡时期,钱宁遂于1973年调到清华大学任教授。他逐步扩大他的研究活动,他参加长江葛洲坝和三峡的前期工作,钱塘江河口,以及黄河的工作。钱宁再次进行大量的野外勘查并进行了许多模型试验。他花费很大精力组织全国性的泥沙培训班,并充分运用他在两本有关泥沙及河床演变的书中的知识进行培训。本文随后还要论及这两本书。不幸的是,这段时期钱宁患有高血压,他的身体逐渐变坏。

1978年10月初,我受中国水利学会邀请组团访问中国,我要求依阿华水利研究所所长约翰F·肯尼迪任访问团团长,这次访问使我有幸首次与钱教授会面。

5 第二个黄金时期(1979~1986)

自邓小平提出“工业、农业、科学、国防四个现代化”政策,中国经历了飞速变革,水利工程再次繁荣。

这是钱宁的第二个黄金时期。除了组织培训课程,指导长江泥沙模型试验,及组织许多专题讨论会之外,他开始为促进国际学术交流而努力。在北京成立联合国教科文组织国际泥沙研究培训中心一事中,他发挥了积极的作用,他也是河流泥沙国际学术讨论会系列会议的组织者之一。此外,1980年他当选为中国科学院学部委员。

不幸的是,1979年10月他发现患有肾癌。他没有休息也没有接受他弟弟请他去美国治病的邀请,而是加倍努力完成他的著作和工程项目。1982年癌症已经扩散。尽管如此,两年后,他勉力完成了泥沙运动和河床演变两本书。与癌症抗争期间,虽然步行已感困难,他依然坚持亲自检查各项试验。

我第一次访问中国后,又有幸数次与钱教授在北京相会。他总是表示对于自己祖国未来的美好前景充满信心,而对过去十年痛苦的经历却只字不提。我们发现对泥沙运动的研究有许多共同的认识。譬如,我们俩都认为:

(1)爱因斯坦的床面层不一定是泥沙颗粒粒径的两倍,更确切地讲,对于某一特定水流采用一个通用厚度更为合适。

(2)区分冲泻质和床沙质的临界粒径,应该定为床沙粒径的5%,这比爱因斯坦推荐的10%更好些。

(3)爱因斯坦提出的非均匀泥沙颗粒运动的隐蔽系数在泥沙运动的起始阶段和大量运动阶段可能是不同的。

不幸的是,钱宁已没有时间完成他的研究,而我也没有得到研究基金去实施基础研究以证实这些想法和从事泥沙运动其它基本问题的研究。

钱教授和我同样认为,为了应用数学模型得到可靠的结果,这些模型必须利用试验室和野外资料仔细地率定和验证。我们认为,许多数值模拟的期刊论文似乎基于非常可疑的验证。

我们也讨论过确定三峡水库水位的问题。在他生命最后不多的几年里,他的主要精力用于三峡水库泥沙问题的研究。即使当他病重不能接见来访者时,他对于研究工作的热情也依然如故。例如,他曾写信给我讲他认为三峡大坝的库水位应定在175米高度,尽管当时我并没有参与水库水位的设定。

钱宁博士于1986年12月6日凌晨离开了我们,前水利电力部钱正英部长,在怀念钱宁的文章中说:“我们都深知他的特点,探病时,决不谈病,只谈工作,而且主要谈今后的工作。只有这样才能鼓舞他与疾病作斗争,坚持生存。他将个人的一切交托给组织,从不提个人的问题或要求,他自己所考虑的只是奉献。……”

6 钱宁和万兆惠合著的《泥沙运动力学》

钱宁和他的同事在河流和泥沙方面完成了两本杰出的姊妹篇著作。1999年,美国土木工程师学会出版了钱宁和万兆惠合著的《泥沙运动力学》英文版。大约十年前,1987年,中国科学出版社在北京出版了由钱宁、张仁、周志德合著的《河床演变学》。虽然下面的评论是针对第一本书的,而第二本书包含中国河流特性方面大量的信息及这些河流与世界其它河流非常有用的对比。遗憾的是该书只有中文版;它也应该译成英文以有益于对河流感兴趣的人。

第一本书的合著者万兆惠,是钱宁的学生和亲密的同事。他曾参加过黄河三门峡水库的改建。他的博士学位是在丹麦 Frank Engelund 教授的指导下获得的。万兆惠是高含沙水流专家。他与王兆印合著的很有价值的《高含沙水流》一书,1994年由国际水利协会出版。

在钱宁获得博士学位后被迫滞留于加利福尼亚的1950年代初期,他就开始写作《泥沙运动力学》一书。他花费了近30年的时间增补很多新的资料,终于在1981年完成此书的中文本。他感谢他的合作者万兆惠的贡献,后者完成了第二、三、四和十二章。十位在河流和泥沙方面有成就的学者翻译了这本巨著。经过著名学者 John S McNown 详细的审校和润色,大大提高了该书英文版的质量。McNown 教授是依阿华大学的教授,堪萨斯大学工学院院长,美国国家工程科学院院士,国际水利协会的名誉会员。

当打开钱宁和万兆惠合著的书时,读者会对作者的全面透彻的知识和书中大量的信息留下深刻印象。在成书过程中,对欧洲、美洲、俄国、日本、新西兰和其他许多国家的泥沙文献显然是经过精心的分析。作者们作了很大的努力将颇有价值的中国的数据和研究成果与世界各地的成果相联系。所有介绍

的成果都是依据钱教授的想法,即泥沙问题应该通过基础理论分析、天然资料和试验室的成果相结合的方式去解决。数学推导是简化了的,以利于对物理现象的理解。与其它顺序介绍个别成果的书不同,钱宁和万兆惠试图综合现场和试验室的成果。

全书共十七章。前四章描述泥沙和水流的基本特性。接着的八章讨论泥沙运动的基本概念。最后五章讨论特殊情况下的泥沙运动,如高含沙水流及泥石流、异重流、风沙运动、波浪输沙和管路中的泥沙运动。介绍每章的一些特点对读者是有益的。

第一章略述作者的编写原则。第二、三章基本上是介绍无粘性泥沙特性分类的各种通用方法,对于粘性泥沙的化学和物理特性也提供了有益的资料,并提供了关于高含沙量对各种水流和泥沙特性的影响的中国经验。由于紊流是水流输送泥沙的基本机制,第四章介绍紊流的一些重要成果。遗憾的是,目前还没有足够的知识将这些措施与泥沙输移相联系,需要进一步研究以确定含沙量的增加对流速分布和边界剪应力的影响,从而提高我们对高含沙水流和泥石流的认识。

第五章极好地讨论了泥沙运动的基本概念。强调将全沙分为床沙质和冲泻质的重要性。如上所述,作者推荐用床沙粒径的 D_s 代替 D_{10} (爱因斯坦提出的)区分床沙质和冲泻质。

第六章描述床面形态。给出沙丘和沙波稳定性的解释和有关实用资料。或许这是有关描述肯尼迪提出的泥沙运动模式和相位移概念的第一本书。这对于详细分析水流和泥沙运动很有用。书中给出了床面形态随水流变化的判别准则。

第七章论述冲积河流的阻力,包括水流流过植被的研究。由于水流在主槽与相邻湿地之间相互作用的重要性,目前这是一个紧要的课题。我认为确定冲积河流阻力变化的主要困难是床面形态的高度先随流量增加而增加,然后随流量增加而减小。必须将冲积河流阻力变化分成两个区域,第一个区域是在较低的流量条件下阻力随流量增加而增大;第二个区域是随着流量增加阻力逐渐减小。目前我们还不知道这两个区域的分界线。水流流过植被时研究的主要困难在于植被的柔性、植物的生长情况和植物的淹没程度。

第八章讨论泥沙起动。这一章介绍将 Shields 泥沙运动临界剪力转化为临界水流条件的各种成果。许多实用工程师认为这种转化有用。本章包括 Gessler 关于混合沙中不同粒径泥沙颗粒运动概率的重要研究成果;介绍现有有限的粘性土起动条件的知识;以及在梯形断面主槽内和在弯道内剪应力的变化。

由于缺乏可靠的推移质输沙资料来验证各种不同的公式,使推移质运动理论的发展受到极大的制约。研究工作者基于少量的推移质资料提出了一些公式。爱因斯坦提出了最著名的公式,它主要用于比较均匀的泥沙颗粒。钱宁的一项主要贡献是修正了爱因斯坦建议的隐蔽系数,使其适用于非均匀的床沙。在第九章,钱宁综合一些推移质公式成为一个更具有一般性的表达式。这一作法并不使人感到意外,因为多数公式是用许多同样数据进行校正的。遗憾的是,由于这本书完稿于 1981 年,在砾石河床泥沙运动方面的重要贡献 (Gary Parker 等人 1980 年代中期的成果) 未能包括进去。

第十章涉及悬移质运动。本章给出一个相当有用的公式,这是由武汉水利电力学院在分析了中国河流和渠道的野外资料以后提出的。该公式对高含沙浓度的水流特别有用。我想提示一下:在计算高含沙水流中泥沙颗粒的沉降速度时,必须将泥沙颗粒在清水中的沉降速度改用其在浑水中的沉降速度(例如第三章的中国公式)。

本书重要的贡献是介绍了不平衡输沙问题,它在应用数学模型研究河床淤积或冲刷的情况时是重要的。现有的许多泥沙数学模型没有充分考虑这种情况。尽管本章已提供了有关泥沙的离散系数和扩散系数的许多重要研究成果,对这一问题仍需要更多的研究。

第十一章论述河流来自流域的总输沙率。这里讨论了爱因斯坦有关推移质和悬移质总合之说。如前所述,对爱因斯坦的床面层划分给出可能的修正。论述了武汉水利电力学院和沙玉清分别提出的两个主要的中国公式。另外,本章还介绍了许多有名的公式,如 Bagnold、Ackers & White、Engelund & Hanson 以及一些由俄罗斯学者提出的其他公式。对于流域侵蚀量,美国水土保持局所研制的著名的土壤侵蚀通用公式或应给予介绍。如果能给出一些研究的参考资料及从中国大量研究中收集的数据,该公式将

是有用的。中国流域产沙量的数据特别有用,因为中国许多流域坡度较陡,因此泥沙输移比接近于1。

第十二、十三和十四章包括泥沙的存在对水流影响的许多重要信息,其中很多数据和成果西方不易得到。第十二章讨论含沙量对流速分布和阻力的影响。第十三章论及高含沙水流及泥石流。大量中国新近的调查资料和研究成果呈现在这里。例如,第十三章1、3、6节叙述的“在黄河干流龙门、渭河临潼一带,有时当通过高含沙洪峰时,河床发生剧烈的冲刷,可以看到厚达1米左右的成块河床淤积物被掀起露出水面,塌落水中,或者成片的河床淤积物象地毯一样被卷起,一次洪峰可以将河床冲深几米乃至近十米。……”给出了不同水深的粘性泥石流和稀性泥石流的水流阻力。

第十四章论述异重流。水槽试验和野外实测资料都证明水库发生异重流的条件是费劳德数为0.6。虽然本书没有提及,其它一些资料指出这可能不是水库发生异重流的充分条件。细颗粒含量和水流温度的差异同样对这个标准也有很强的影响。异重流的力学原理也在讨论之中。

第十五章介绍了经典的风沙运动理论。充分描述了风速分布和泥沙运动(主要是跃移运动)。本书对各种风成床面形态的讨论是很吸引人的。第十六章是波浪作用下的泥沙运动。因为存在水体振荡运动,这个问题的研究肯定是很困难的。介绍了文献中各种问题的有关成果。本章包括令人感兴趣的对中国对浮泥运动的研究。

第十七章讨论管路水力输送,如输送冲积泥沙。为了节能和节水,本章的重点是均质浆液输送和没有推移质运动的非均质输送,虽然也考虑了管道被堵塞的问题。作者汇集了大量有用的资料并作了系统的论述。

本书最后是作者的结束语。随后是参考文献,其中包括许多中国文献。

7 结束语

钱宁博士是一位功绩卓著的水利学家和工程师。他和他的夫人龚维瑶毅然决定回中国。他把自己的一生和全部工作精力献给祖国和泥沙科学事业。钱宁踏遍辽阔的原野,深入边远地区,结合野外调查,试验室试验,和资料分析去实现自己解决泥沙问题的远大目标。他的夫人在中国科学院心理研究所从事儿童心理学研究,夫人的爱心给他的全部事业极大的支持和帮助。

水利工程受益于钱宁的许多重要贡献。由美国土木工程师学会出版的他 and 万兆惠合著的《泥沙运动力学》,对于泥沙运动,包括中国现代有价值的数据和成果,提出广泛系统详尽的分析。这是一本很有价值的参考书,有助于所有对泥沙运动感兴趣的人们。

参考文献:

- [1] Chien, N., and Wan, Z. (1999). *Mechanics of sediment transport*. ASCE, Reston, Va.
- [2] 钱宁,张仁,周志德.河床演变学[M].北京:科学出版社,1987.
- [3] Shen, H.W. (1999). "Flushing sediment through reservoirs". *J. Hydr. Res.*, 37(6).

Ning Chien: His life and recent book 《Mechanics of Sediment Transport》

Hsieh Wen Shen

(University of California, Berkeley)

Abstract: This paper presents an outline of Ning Chien's career of sediment research and his major achievements, comments on his book entitled "Mechanics of Sediment Transport", and a brief introduction to each chapter of the book. Meanwhile, the author's viewpoint on some issues of sediment research are also presented.

Key words: Mechanics of sediment transport; sediment research; Qian Ning (Ning Chien)

(本文译自 *Journal of Hydraulic Engineering*. Nov. 2001 Vol. 127, No 11, 王金铸、孙梅先译,周志德校)