

文章编号: 1001—5485(2002)02-0047-03

长江中下游防洪模型研究

——关键技术问题初步探讨

龙超平, 孙贵洲, 段文刚, 吴新生

(长江科学院 河流研究所, 湖北 武汉 430010)

摘要: 为了深入研究三峡工程建成后长江中下游干流河道及湖区河网的泥沙运动、江湖关系变化、洪水演进等问题, 拟建长江防洪模型, 同时利用数学模型计算和原型资料分析对模型中主要关键技术如河网中非恒定水流数值模拟技术、实体动床模型模拟技术等进行了初步研究。提出了如何确定变态模型泥沙悬移相似条件、天然河流泥沙起动流速值、水流挟沙比尺 λ_s 等问题, 并探讨了解决这些问题的途径。

关键词: 防洪模型; 河网; 相似理论; 模拟技术

中图分类号: TV147 **文献标识码:** A

1 概述

长江防洪模型项目主要通过实体模型试验、数学模型计算、原型资料分析等多种手段对三峡工程建成后长江中下游干流河道及湖区河网的泥沙运动、江湖关系变化、洪水演进等进行深入研究, 为长江中下游防洪规划、河道整治、工程建设等提供科学依据。由于防洪模型所研究的对象涉及范围大, 水系复杂, 且干流河道沿程河段河型各异, 无论是数学模型, 还是实体模型技术难度均较高, 因此需对所存在的一些关键技术问题进一步深入研究, 以保证长江防洪模型设计、数学模型计算、实体模型试验研究的正确性及成果的可靠性。

2 实体模型相似理论研究

自1875年法国Fargue为改进Bordeaux商港航务而进行的第一个河工模型试验以来, 河工模型试验技术得到了飞速的发展。我国在河工模型试验方面起步较晚, 但近几十年发展相当快, 在水平上已居世界领先地位。尽管如此, 实体模型相似理论仍存在不完善的地方, 特别是动床模型相似律的确定, 一直是国内外学者普遍关注和不断探讨的课题。

2.1 泥沙悬移相似条件

变态模型如何确定泥沙悬移相似条件是一个最基本的问题, 水流挟沙力比尺是否正确影响到试验

的成败。

由于紊动扩散作用及重力作用是决定悬移质运动的一对主要矛盾, 变态模型相似以表征这一主要矛盾的比尺关系 $\lambda_w = \lambda_v (\lambda_h / \lambda_L)^{1/2}$ 得到遵守为宜^[1]。不过, 长期以来长江上的许多模型却是采用沉降相似条件 $\lambda_w = \lambda_v \lambda_h / \lambda_L$ 。近几年, 许多学者在从理论上如何满足悬移相似条件这一方面进行了研究, 提出一些新的见解。针对防洪模型项目, 应开展深入研究, 并通过某典型河段模型的河床冲淤变形验证试验, 论证哪种相似关系更符合长江实际。

2.2 沙质推移质的模拟

目前, 众多泥沙模型设计者按照泥沙起动流速公式推求底沙粒径比尺。由于长江泥沙起动流速公式均为经验公式, 其适应性如何, 直接影响到模型试验精度。因此, 应针对防洪模型所研究的河段, 通过天然资料分析, 确定符合实际情况的沙质推移质泥沙起动流速变化的规律, 正确求出天然河流泥沙起动流速值。同时, 通过专门试验, 观察沙质推移质泥沙运动模拟对河床冲淤变形相似的影响程度。

2.3 实体模型水流挟沙力比尺确定

水流挟沙相似是泥沙动床模型最重要的相似条件之一, 但如何确定水流挟沙力比尺 λ_s (或含沙量比尺 λ_{s_s})却存在很大分歧。例如, 采用容重小于天然沙的材料作为模型沙后, 大部分学者认为 $\lambda_{s_s} < 1$; 长江科学院取 $\lambda_{s_s} = 1$; 黄河模型及近些年清华

收稿日期: 2001-07-23

作者简介: 龙超平(1953-), 男, 湖北武汉人, 长江科学院河流研究所教授级高级工程师 主要从事河流泥沙研究。

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

大学、中国水科院等单位取 $\lambda_{s_0} > 1$ 。为此,除进行必要的理论论证之外,还寻求了新的且更为可靠的途径来研究这个问题,其中包括以原型水流挟沙力和模型挟沙力之比的办法给出该值,相应的原型水流挟沙力需要找出或建立一个符合长江中下游河道的公式来计算,而模型水流挟沙力则主要依靠典型河段模型试验来确定。

2.4 时间变态问题

动床泥沙模型存在两个时间比尺,一个是由水流连续相似导出的时间比尺,另一个是由河床变形相似导出的时间比尺,由于模型沙通常取用轻质沙,这两个时间比尺往往是不等的。泥沙动床模型主要是研究河床变形问题,故总是按后者控制放水时间,这样就出现了时间变态问题,而时间变态将使模型中水力因素的相似受到影响。因此,应在理论探讨和上述悬移相似、挟沙相似、起动相似和模型沙问题研究成果的基础上,在不同含沙量比尺及时间比尺组合条件下,开展河床冲淤变形对比试验,找出不同时间变态程度对试验结果的影响趋势,以及提出将其影响减小到最低程度的措施和方法。

2.5 模型沙试验

合理选择模型沙,是保证模型与原型泥沙运动相似关键技术之一,直接影响试验成果的可靠性。应根据模型相似准则,分析以往研究成果,综合比较各种模型沙的物理特性(包括有可能作为模型沙的新材料),结合防洪实体模型的研究内容,考虑满足重要的、兼顾次要的、忽略不重要的原则,以及经济性和适用性,选定模型沙。

3 河网水流泥沙数学模型研究

计算机的迅猛发展带动了数学模型的发展,提高了数学模型的应用程度。现在一维水沙数学模型的运行速度已基本满足工程实际的需要,但仍存在许多问题,在非恒定问题的研究和应用中尤其突出。数学模型要取得实质性的突破,不仅依赖数值方法的改进和计算速度的提高,更取决于基本理论的研究和突破,尤其是水沙运动基本规律正确合理的描述,对数学模拟计算结果的可靠性起着至关重要的作用。

河网内水沙运动一般从两个方面进行研究:一是河网内水沙非恒定流数值模拟的研究,如河网内非恒定流数值解法的研究、河网内泥沙输移问题的研究,二是进一步研究河网内的水沙运动规律,如

河道阻力变化规律、水流挟沙力的变化、以及汉道分流分沙比的变化。

3.1 水沙非恒定流数值模拟技术

目前,对河网内非恒定水流的模拟,是采用分级解法以及汉点的分组解法。一般情况下,河网中的汉点数比断面总数少得多,因此分级解法和汉点的分组解法比直接解法更有效、实用、经济。尽管如此,在汉点较多的河网中,运用这些方法仍存在很多困难。因此,有必要进一步研究河网中的非恒定水流的数值模拟技术,比较各种计算方法的优缺点。另外,泥沙运动对水流模拟的影响不能忽视,例如分洪口门的冲淤直接影响分洪效果等。因此,必须进一步研究河网内泥沙输移问题的求解方法。

3.2 糙率系数

糙率系数的合理与否直接影响到水力计算的精度,进而影响到含沙量及河床变形计算结果的合理性。目前沿用的经验系数(谢才系数 C 或曼宁系数 n)都是在矩形水槽均匀流条件下得出的。在天然河道中,大范围河床糙率很难测定。另外,在实际工程计算中,糙率系数通常是根据实测资料来反算率定,这势必限制了模型的应用范围。为了能加大模型的应用范围,必须对河床糙率进行深入研究。

3.3 水流挟沙力

水流挟沙力问题是河流动力学的基本问题,水流挟沙力公式及其参数选取是否合理,对河床冲淤变形计算有着直接影响。现有的研究大多属于均匀沙水流挟沙力公式范畴,且多限于一维水流条件,在二维水流计算中,目前还不完善,需要进一步探讨。

3.4 汉点分沙模式

在河网泥沙模型建立中,汉点分沙模式是进行泥沙计算的主要问题之一。目前所建立的分沙模式大都是建立在简单的分汉河道之上的,即只有主支汉两个汉道的情况。在河网模型中,地形交错复杂,水流运动方向变化不定,泥沙的运动规律也比较难以确定,尤其在河道和蓄滞洪区之间的水沙交换等问题,目前有关这方面研究的文献不多。因此,要进一步研究在河网汉点处的泥沙运动规律,尤其是汉点的分沙比。

3.5 泥沙恢复饱和系数

确切地说,目前对泥沙恢复饱和系数难以有效确定,限制了对河网内泥沙输移过程的研究。影响泥沙恢复饱和系数的因素比较多,不能简单地确定为常数。因此,必须从实测资料、理论分析等多个方面,研究泥沙恢复饱和系数的变化规律,建立关

系式，使其用于河网内泥沙输移过程的模拟。

3.6 河网内一、二维模型的连接

就计算水力学的发展而言，70 年代初，河道洪水演进的一维非恒定流计算已相当成熟，目前已广泛应用于洪水波在河网中的水流计算。近年来，二维模型在大范围泛区洪水演进中的应用也日益增多。但能够综合考虑江湖分合、河网交错、分蓄滞泄、相互制衡、堤垸渐溃、吐纳交替等复杂情况的水流数值模型尚不多见。需根据长江中下游河网、湖泊和堤垸地形特征、水流特点以及洪水演进机制，建立及完善一、二维混合非恒定流计算模型。

4 实体动床模型模拟技术的研究

4.1 动床模型分段与衔接技术

防洪实体模型涉及的地区范围较大，整体模拟泥沙运动和河床冲淤变化存在一定的技术难度。三峡工程建成后，对中下游河道的影响是自上而下发展的，实体模型拟采取分段研究方式。如何较好地反映原型河道冲淤的连续性，将直接影响实体模型的试验精度。因此，应结合有关成果，进一步论证模型分段的合理性或通过论证优化模型设计方案，以及研究分段模型间的衔接技术手段和方法，并通过必要的预备试验，论证其可行性、合理性和可靠性，使防洪模型动床试验的整体性和连续性得到保证。

4.2 分段动床模型出口控制基面的控制技术

常规的动床模型设计中，出口基面一般选择在不受河床冲淤影响处，相应的出口尾门水位也是确定的值或过程。三峡工程建成后，由于水流处于次饱和状态，其下游河道的河床将随时间发生不同程度的冲淤调整，防洪模型所研究的河道河床均在这个冲淤调整范围内，分段动床模型出口基面或模型出口尾门水位将随时间发生变化。因此，应建立分段动床模型出口控制基面或出口尾门水位的控制模式及方法，并通过必要的预备试验论证其可行性、

合理性和可靠性。

4.3 动岸模拟技术

目前，动床模型往往将河岸做成固定的，模拟动岸的模型做得很少，缺乏经验。因此，应针对荆江河段二元结构河岸组成的特征，比选及确定模型河岸材料，并通过预备试验或一定的验证试验，检验模型河岸能否大体上复演原型河岸的演变情况，以指导防洪模型设计及模型制作。

4.4 网络、仿真、量测系统

防洪项目拟建计算机网络系统、数字仿真系统和模型自动控制及量测数据采集系统。各系统的性能、技术指标、参数及通讯界面要求其分别具有自身的独立性，又相互关联，它涉及计算机系统、网络、通讯、因特网、自动控制、数据采集、数据库、电子测量、传感器、接口、仿真、河流泥沙及水力学等专业技术，关系十分复杂，工作量大，构成了一个较为复杂的系统工程，是多学科技术的集成，应保证该系统的先进性、兼容性及整个系统的完整性。

5 结 语

防洪模型项目存在一系列的关键技术问题，应在项目实施过程中予以高度重视，并开展技术攻关。一方面确保长江防洪模型设计、数学模型计算、实体模型试验的正确性及成果的可靠性；另一方面使实体模型和数学模型的理论及模拟技术更趋完善。

参考文献:

[1] 张瑞瑾，谢鉴衡，王明甫，等. 河流泥沙动力学[M] . 北京：水利电力出版社，1989.
[2] 张红武. 河流力学研究[M] . 郑州：黄河水利出版社，1999.

(编辑：聂 文)

Research on flood control model of Yangtze River's middle and lower reaches——probe into some key technology problems

LONG Chao-ping, SUN Gui-zhou, DUAN Wen-gang, WU Xin-sheng
(Yangtze River Scientific research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: For further studying the problems on the sediment movement in the stem stream and river-net of lake-region, river and lake relation change and flood routing of Yangtze River middle and lower reaches after the (下转第 61 页)

Analysis on deformation parameters of Tianwan Nuclear Power Plant's foundation rockmass

YIN Jian-ming¹, HU Li-min², LUO Chao-wen¹, GONG Bi-xin¹, XU Bo-tao²

(1. Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan, 430010 China;

2. Surveying Institute of Nuclear Industry, Zhengzhou, 450002 China)

Abstract: Static elasticity moduli of Tianwan Nuclear Power Plant's foundation rock-mass were measured by field borehole elastic-modulus tests and by lab conventional tests respectively. The principle of borehole elastic-modulus measurement and test results are presented. Through comparative study, two conclusions are as follows: (1) The influence of the degree of fissure development on field test results is relatively large; (2) The results obtained by above-mentioned two methods are elementarily agreeable for integrated rock.

Key words: static elasticity modulus of rock; borehole elastic modulus; core elastic modulus; comparative analysis

(上接第 49 页)

Three Gorges Project being completed, a Changjiang River's flood prevention physical model is suggested to be built, together with developing mathematic model calculations and prototype measurement analysis. Several key technology problems related to the models are primary researched, e.g., numerical simulation techniques for unsteady flow in river net, physical model movable-bed simulation techniques, etc.. Some problems, e.g., how to determine similarity criterions of suspended sediment in distorted model, sediment incipient velocities in natural rivers, and flow sediment-laden scale, etc., are proposed. And routes to solve these problems are explored.

Key words: flood control model; river-net; similarity theory; simulation technique

简 讯

长江护岸工程(第六届)及堤防防渗工程技术经验交流会在汉隆重召开

长江护岸工程(第六届)及堤防防渗工程技术经验交流会, 于 2001 年 12 月 24 日至 27 日在汉隆重召开。会议由长江委主办、长江科学院与长江委建管局承办、监理中心与长江招投标公司协办。本届学术盛会迎来了水利部、国家防总以及长江流域有关省厅的领导、长江堤防建设方面的专家, 到会代表近 200 人, 共收到论文 160 余篇, 整理成论文汇编提交会议, 其中长江科学院入编论文 36 篇。长江委副主任沈泰主持会议, 党组书记周保志致辞, 蔡其华主任发表了书面讲话; 长江委原主任黎安田、技术委员会主任文伏波院士、国家防总东庆鹏处长以及湘鄂皖赣苏等五省代表先后在会上发言。出席会议的还有长江委副主任熊铁、技术委员会副主任洪庆余(设计大师)以及长江科学院党委书记、副院长王德厚等委属二级单位的领导。水利部推广中心袁小勇处长参加了会议。

本次会议有 12 位同志就防渗与护岸工程等技术问题在大会上作了专题介绍。李思慎和余文畴教授级高级工程师分别作了防渗技术与护岸技术的主题发言; 河流所所长卢金友、土工所所长吴昌瑜及院工程技术公司副总经理董建军分别作了《长江护岸工程若干问题》、《堤防破坏机理和安全评价方法研究》、《深层搅拌桩机在荆南干堤裕公垸段中的应用》等典型发言。会议分成护岸、防渗、综合三个组, 与会者围绕本次会议的中心议题, 认真总结、交流、探讨了长江护岸与堤防防渗工程在勘测、规划、设计、科研、监理、检测、监测、施工及建设管理等方面的成功经验和最新成果。长江科学院研发的应用于堤防安全监测方面的新技术——长江防洪电子预警系统和应用于防汛抢险方面的新产品——土工合成材料软体排水下铺设机具等, 受到了与会专家、代表的关注和好评。

此外, 为营造本届学术盛会的氛围, 会议期间还举办了小型堤防工程技术成果展示会, 通过展板全面介绍了长江委在长江重要堤防隐蔽工程建设中所取得的主要业绩, 并集中反映长江科学院在长江堤防工程科研、设计、监理、施工、检测、安全监测和建设管理等七个方面开展的工作。

(摘自《长江科学院简讯》2002 年第 1 期)