

河床变形混交模型预测技术及其进展

谈广鸣 陈 立

(武汉大学水利水电学院 武汉 430072)

摘要 把河工模型试验和数值模拟计算两种手段有机结合,研究同一河段的泥沙问题,称之为河床变形混交模型预测方法。提出并行混交、连接混交和内插混交三种类型,人工耦合、半自动耦合和自动耦合三种混交方式,以及广义混交模型的概念。对混交模型预测技术的研究现状及发展方向进行了归纳与展望。

关键词 河道演变 模型试验 数值模拟 混交模型

中图分类号 :TV143 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2001)04-0014-03

1 混交模型预测技术的概念

1.1 河床变形预测方法

现有预测河床变形^[1]的方法主要有以下几类:

a. 河工模型试验预测方法。将需要预测变形的河段按一定的比例缩小,在实验室(试验场)做实体河工模型。在模型中按给定的来水来沙条件和河床边界条件进行试验,量测其河床变形的结果。以此预测给定来水来沙条件下河床变形的发展趋势。这种方法很直观,可以研究三维性强的复杂河段的变形,但其成本高、方案少、耗时长,预测河道的范围也常常受到场地的限制。

b. 泥沙数学模型预测方法。这是近几十年发展起来的方法。目前用得较多的有一维泥沙数学模型和局部河段平面二维泥沙数学模型。相对于河工模型而言,数学模型耗时稍省,且可计算更多的方案。它的特点是:计算结果的精度取决于现有资料的多少、计算者的熟练程度和演算技巧。现阶段还难以准确模拟边界条件很不规则、水流很复杂的河段的变形。该方法也需一定数量的计算研究经费。

c. 分析现有实测河床变形资料,进行经验预估和类比,当然其预测精度就更差一些了。

20 世纪 80 年代中期以来,对一些特别重要的河段,例如重大工程所在河段或对国民经济和社会发展有较大影响的河段,在预测河床变形时,为了节约研究成本,或为了相互印证预测结果的准确性,往往是河工模型和数学模型两种手段兼而用之,我们简称为混交模型预测方法,也有称之为混合模型预

测方法或合交模型预测方法。

1.2 混交模型种类

数学模型和河工模型的混交结合方法有三类:

a. 并行混交。即同一河段,分别用两种手段预测其河床变形,以达到相互印证的目的,或数学模型为河工模型提供试验边界条件。

b. 连接混交。即上一河段用数学模型,而下一河段用河工模型,或上一河段用河工模型,而下一河段用数学模型。例如,上游河道顺直窄深,用一维数学模型即可满足要求,而下游河道形态复杂,且位置重要,须用河工模型才能解决问题。

c. 内插混交。将间断的河工模型试验及其它实验结果利用数学模型构造出带有普遍意义的表达式,或利用数学模型计算内插河工模型试验的间断试验条件及结果。

混交方式有以下三种耦合方式:

a. 人工耦合。数学模型与实体模型之间,一、二维数学模型之间,整体模型与局部模型之间的信息数据交换通过人工操作实现的混交预测方式,为人工耦合。

b. 半自动耦合。在河工模型试验实现量测和控制自动化以后,数值计算结果可作为河工模型试验的控制参数由计算机直接实施测控。反过来,模型试验所测结果,经计算机处理后,部分参数可直接用于数值计算。

c. 全自动耦合。河工模型试验的全部参数均能自动测量与控制,其试验结果和数值模拟结果能够通过计算机互换或共用。当然,这需要高水平的软

硬件基础,但却是将来的发展方向。

1.3 广义的混交模型

以上介绍的是河工模型试验和数学模型计算这两种手段之间的混交。实际上同一种手段的不同方法也存在衔接混交问题。这类混交有:长河段河工模型与分河段河工模型的衔接;整体河工模型试验与局部河段河工模型试验的衔接;一维泥沙数学模型和二维泥沙数学模型的衔接;一维和三维、二维和三维泥沙数学模型之间的衔接,等等。这些均认为是广义的混交模型。

2 河床变形混交模型预测技术的研究现状

2.1 研究现状

设计部门在研究水库泥沙淤积时,往往先进行一维数学模型计算,其计算结果又作为试验研究部门进行河工模型试验(含库尾模型、库区模型或坝区模型)的边界条件。这是五六十年代就开始用得较为普遍的人工耦合连接混交。国内大多数进行河床变形计算和试验的单位或多或少地使用过这种研究手段。

20世纪80年代中期以后,为研究三峡工程泥沙问题、小浪底下游河床演变问题以及其它重点河段河床变形问题,逐渐发展了人工耦合的并行混交研究手段,即同一河段用泥沙数学模型计算和河工模型试验这两种手段研究,进行并行论证,以使预测结果更加合理和准确。对三峡工程库尾回水变动区泥沙冲淤变形问题,国内有近10个单位参与了模型试验研究和数值模型计算。对黄河小浪底下游花园口至东坝头段,黄河水利科学研究院进行了长河段河工模型试验,而同期,黄河水利委员会设计院、黄河水利科学研究院和武汉大学水利水电学院等单位进行了河床变形数值模拟计算。对小浪底库区变形也进行了数学模型计算和河工模型试验,并对荆江河段与洞庭湖的演变问题、深圳河治理问题、天生桥电站与鲁布革电站之间的泥沙问题、港湾局部地区模型试验的开边界问题,有关单位都采用了混交模型预测技术。

三峡工程变动回水区距离较长,在南京水利科学研究院做了一个长河段的河工模型,在武汉大学水利水电学院、清华大学等单位又做了若干个分河段的河工模型。同时在武汉大学水利水电学院、长江科学院等单位还进行了长河段的数学模型计算。

这里既有并行混交(长河段河工模型和长河段泥沙数学模型,典型河段泥沙数学模型和典型河段河工模型,长河段河工模型和分河段河工模型,长河段泥沙数学模型和其间的典型河段数学模型),而且

还有连接混交(数学模型与河工模型之间的连接,不同河段河工模型之间的连接,不同类型数学模型之间的连接,等等)。至于整体河工模型试验与局部河工模型之间的混交、不同维数数学模型之间的混交(嵌套),许多单位使用过或正在开发这些模拟技术。

2.2 武汉大学混交模型预测技术的研究概况

近20年来,武汉大学水利水电学院在河流泥沙数学模型、河工模型试验技术和实验量测技术方面取得了若干进展。

在数学模型方面,已建立了多套分别适应于少沙及多沙河流的一维恒定流、不恒定流、河网不恒定流、平面二维及一二维嵌套水沙数学模型。在计算模式、参数选择、数值计算方法及计算结果的后处理等方面均取得了重要的研究进展,并在研究和解决大量生产实践问题中得到了广泛的应用。

在实体模型方面,建立了一整套河工模型设计理论与方法,在模型几何变态、比降二次变态、模型沙的选择、宽级配非均匀沙模拟等方面提出了新的理论和模拟方法,并在研究和解决大量的工程泥沙问题中积累了丰富的经验。

在模型试验测量仪器及技术方面,研制了自动跟踪水位仪、便携式微型低值流速仪及微型流速计数器、四线双向流速仪、微型沙面判别仪、堰式流量控制器、尾门水位测量控制系统、地形测量系统等。

上述新的进展为采用混交模型预测技术模拟重大水电工程中的河床变形提供了良好的手段。

阳逻电厂三期工程长江取水口所在河段位于分汊河段下游过渡段,又是微弯河段,河床演变较为复杂。取水点位置的选取是否合理,如何选择合适的施工期,取水口布置是否影响温排水的扩散及冷却水取水等均需进行研究并给出明确的结论。

在进行取水口泥沙问题研究时,研究者采用了下列5种研究手段:

a. 实验资料分析。对取水点的地质、河床演变、取水保证率、取水高程进行了定性的论证,并为进一步的模型研究指出了问题关键。

b. 一维数学模型。为二维数学模型、变态动床模型提供了进出口的边界条件,并预测了河段冲淤长期发展趋势。

c. 二维数学模型。预测了取水口断面长时段冲淤发展趋势,对取水高程、选址等作进一步论证。

d. 变态动床模型试验。根据年内冲淤变化,对取水含沙量、取水保证率、取水高程,以及对航运、防洪的影响等进行研究,选择最佳施工期,建议取水口附近的工程防护措施,为局部定床模型提供详尽的地形边界、水流分布资料。

e. 正态定床模型试验. 电厂温排水对冷却水取水影响的研究.

近 3 年来, 武汉大学水沙科学教育部重点实验室在国家“ 211 工程 ”重点建设经费支持下, 模型试验自动化程度有很大提高, 诸如进口流量、尾门水位的自动控制, 自动测量地形、水位、表面流场等等, 加之有计算机控制工作站和较好的结果图形输出系统. 在泥沙数学模型和河工模型试验相互混交方面, 已开始尝试进行混交模型的半自动耦合开发. 例如, 在阳逻电厂三期取水口泥沙研究过程中, 一、二维数学模型提供的进口水流分流比、出口水位等由模型自动控制系统自动提供给物理模型, 物理模型实时自动控制, 并且, 其一维数学模型和二维数学模型已做到自动嵌套.

一维和二维(平面、剖面)嵌套数学模型是目前的发展主流, 它是经济适用的一种连接混交. 在较为复杂的地方用二维计算, 相对简单的情况用一维计算. 这种手段耗费小, 耗时省, 能满足工程实际要求. 武汉大学水利水电学院在研究三峡工程变动回水区泥沙冲淤时, 率先开发使用了一维和平面二维嵌套泥沙数学模型, 效果很好. 在进行东北蒲石河抽水蓄能电站水库冲淤计算时也采用了一维和平面二维嵌套泥沙数学模型计算方法. 国内目前已有一些研究

单位采取这种方法研究河床变形问题.

至于一维和三维、二维和三维嵌套数学模型(连接混交和并行混交)还处于研究发展之中. 武汉大学水利水电学院已开始将其用于京沪高速铁路南京上元门穿江沉管隧道施工过程中的河床变形预测.

3 混交模拟技术的发展方向

混交模型的发展, 取决于模型试验的自动化、数学模型计算机软件的开发及计算设备功能的增强等. 对一些泥沙冲淤较大而投资不大的工程, 还需要大大降低研究成本. 为此需作如下努力:

- a. 进一步完善模型试验自动化系统, 特别是流速、含沙量和泥沙粒径的测量.
- b. 将控制工作站与计算工作站合二为一.
- c. 使一、二维嵌套泥沙数学模型商品化, 计算快速化, 以便于推广.
- d. 发展完善二、三维嵌套泥沙数学模型.
- e. 研究开发数学模型和河工模型之间的耦合技术, 尤其是相互提供数据时在时间上的耦合技术.

参考文献:

[1] 李义天, 谈广鸣, 等. 河流模拟理论与实践[C]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 1998.

(收稿日期: 2000-04-03 编辑: 马敏峰)

· 简讯 ·

我国又有两条 500 kV 直流输电线路开工建设

广东是我国电力装机最多的一个省, 截至 2000 年底, 其电力装机已达 3 185 万 kW, 年发电量达 1 336.5 亿 kW·h, 居全国的首位. 但电力供应仍感紧张, 不能满足工业生产和人民生活提高后的要求. 为了解决日益突出的缺电问题, 国务院于 2000 年 9 月作出了“ 十五 ”期间增加向广东省输电 1 000 万 kW 的决定. 决定要求贵州省向广东省送电 400 万 kW, 三峡电站向广东省送电 300 万 kW, 云南省和天生桥电站向广东省增加送电 300 万 kW.

2001 年开工建设的这两条 500 kV 直流输电线路正是为贯彻执行国务院的决定而实施的. 一条是从贵州的安顺经过广西到广东的肇庆, 全长 980 km, 输电能力为 300 万 kW(此外还有两条 500 kV 交流输电线路, 也是从贵州送电到广东的). 另一条 500 kV 直流输电线路是连接华中电网和南方电网的, 从湖北的荆州经过湖南到广东的惠州, 全长 950 km, 输电能力为 300 万 kW, 由此把三峡的电送到广东省. 预计这两条输电线路将分别在 2005 年和 2004 年建成.

我国第一条 500 kV 直流输电线路是 1989 年投入运行的从葛洲坝到上海的葛上线, 全长 1 052 km, 输电能力为 120 万 kW; 第二条是 2000 年完建的从天生桥到广州的天广线, 全长 986 km, 输电能力为 180 万 kW; 第三条是正在建设中的从三峡电站到常州的三常线, 全长 890 km, 输电能力为 300 万 kW, 加上前述的 2001 年开工的两条, 我国共有 5 条 500 kV 直流输电线路. 这对推动全国联网和西电东送将会起十分重要的作用.

(吴 高供稿)