



林 秉 南



工程泥沙

水利电力出版社

● 三峡工程小丛书

● 三峡工程小丛书

● 三峡工程小丛书

林秉南

工程泥沙

水利电力出版社

2168/44
(京) 新登字 115 号

内 容 提 要

长江三峡水利枢纽是世界罕见的巨型多目标水利工程, 它有巨大的防洪、发电、通航和供水等效益。然而长江除水量丰沛外还挟带大量泥沙。每年通过宜昌的河流输沙量高达 5.3 亿吨, 仅次于黄河、恒河和布拉马普特拉河而居世界第四。在这样大量输沙的河流上兴建规模这样宏大的水利工程, 自然使许多人关注泥沙在水库内淤积后可能产生什么问题。鉴于几十年来长江上游植被锐减, 也有人认为长江干流输沙率正在增加。针对以上问题, 本书依据三峡工程可行性论证阶段的研究成果说明, 根据实测资料入库泥沙数量迄今并无增长趋势, 实行“蓄清排浑”可以永远保留大部分三峡兴利库容, 以供防洪、发电和通航之用和水库建成后可以满足万吨船队上驶重庆的要求。此外, 对水库运用 100 年后遇频率为 1% 洪水时重庆的洪水位, 以及建库后由于下游河床的下切而引起的洪水位下降也作出了分析和论证。

本书可供关心三峡工程的各界人士阅读, 也可供设计院、科研单位有关人员和高等院校师生参考。

三峡工程小丛书

工 程 泥 沙

林秉南

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号)

各地新华书店经售

民族印刷厂印刷

*

850×1168 毫米 32 开本 3.25 印张 53 千字

1992 年 2 月第一版 1992 年 9 月北京第二次印刷

印数 10501—19220 册

ISBN7-120-01584-2/TV·580

定价 4.30 元

高峽出平湖

為世界殊

丁巳年秋



出版者的话

长江，中国第一、世界第三长河，流域面积 180 万 km^2 。她川流不息，奔腾在中华大地上，养育了中国 1/3 以上的人口，是楚文化的发祥地。自古以来，多少文人墨客，浓墨重彩，激扬文字，描绘这壮丽的山河，留下了许多文化遗产和美丽传说。长江是大自然的产物，她又有着放荡不羁的性格，一遇气候异常，往往泛滥成灾，将人民的生命财产席卷而去，造成过无数的人间悲剧，遗恨万年。

水利是国民经济的基础产业，历来是我国安邦治国的根本。中华人民共和国成立以来，党和政府致力于江河治理，取得了举世瞩目的成就，已大大减轻了洪涝灾害，但尚未根治，防洪标准还偏低。1991 年夏季，长江下游遭受洪水，虽经灾区军民奋力搏斗以及全国、全世界人民的支援，损失仍很严重。痛定思痛，治理开发长江的关键工程——三峡工程已日益迫切地提到了中国人民的面前。

三峡工程是一项综合利用的水利工程，它的主要效益有防洪、发电、航运、养殖和供水等。三峡坝址地质

条件好，位置适中，按外国人的话来说是“上帝的恩赐”。早在1919年，孙中山先生在《建国方略》中就提到在三峡建坝的设想；40年代，美国著名坝工专家萨凡奇于1944和1946年两次查勘三峡坝址；50年代，毛泽东主席视察三峡留下了“截断巫山云雨，高峡出平湖”的壮丽诗篇。除水害、兴水利是水利工作者义不容辞的职责；当今世界能源日益紧缺，望着江水白白流去，全国人民深感不安。

长江三峡工程规模巨大，效益十分显著，当然也存在一些难题，国内外公众十分关注。为此，我们特约请几位水利专家、学者，编写了这套《三峡工程小丛书》，以飨读者。

这套小丛书共8个分册，包括：《宏伟的工程》、《论证始末》、《防洪》、《发电》、《航运》、《工程泥沙》、《库区移民安置》、《生态与环境》。丛书作者以实事求是的态度，分别通俗系统地介绍了长江三峡工程各方面的情况。我们殷切地希望，这套小丛书对国内外公众全面了解三峡工程和工程尽早上马建设的必要性、可行性，有所帮助。

水利电力出版社

1991年12月

前 言

这本小册子对三峡工程的几个主要泥沙问题作了一些说明。各章篇幅长短不一，对一些人们比较关心的问题就多写一些，有些问题虽然也是人们所关心的，但因研究还在进行中，也只能少写一些。

因为写作的主要对象不是泥沙工程人员，所以在书中附了概说一章，介绍了一些泥沙方面的基本概念。也由于同样的原因，书中没有进一步介绍技术细节。例如对于泥沙数学模型和泥沙实体模型，只着重介绍它的验证和可靠性而未涉及模型的设计或数学模型的建立。

本书于6月下旬约稿，由于有些急待处理的事务羁身，直至7月后半月才得以命笔。成稿匆匆，未及请三峡工程论证泥沙专家组审阅，书中任何错误概由个人负责。

林秉南

1991年10月5日

目 录

出版者的话

前 言

第一章 概说	1
一、河流泥沙和来源	1
二、河流输沙的基本形式	1
三、泥沙粒径	4
四、颗粒分析	5
五、三峡工程各方案的简化表达方式	7
第二章 长江三峡来水来沙	8
一、判定水沙变化趋势的依据	8
二、干流输沙是否有增加的趋势	9
三、径流和泥沙特征	10
四、为什么上游水土流失的变化迄今 没有明显影响干流的输沙量	13
五、对未来干流输沙量的展望	16
六、研究中采用的水沙条件	18
第三章 水库长期使用	23

一、控制水库淤积的主要因素	23
二、三峡水库中水年调度方式 和水库泄流能力	28
三、三峡水库在大水年中的运用	30
四、“蓄清排浑”是长远保留库容的 可行模式	40
第四章 变动回水区的冲淤	45
第五章 重庆的洪水位	58
一、影响重庆洪水位抬高的主要因素 ...	58
二、数学模型中采用的三峡库区糙率 ...	59
三、重庆洪水位的计算	63
四、重庆洪水位的试验研究	65
五、关于计算成果的讨论	66
第六章 坝区泥沙问题	70
第七章 三峡工程运用对下游的 可能影响	72
第八章 研究方法的可靠性	75
一、用长系列资料验证数学模型	76
二、模型试验方法的长系列资料验证 ...	80
结语	87
参考资料	90

第一章 概 说

本章介绍了与泥沙工程有关的一些基本概念和术语，也顺便就现行三峡工程各种蓄水方案的表达方式作一些说明。

一、河流泥沙和来源

河流泥沙泛指在河流中运动或沉积的固体。小的可以包括粘土和胶泥（直径在 0.005 mm 以下），大的可包括卵石或大石块（例如岷江推移质大的直径可达 700 mm 以上）。河流泥沙的主要来自流域的侵蚀，包括降水引起的面蚀，重力引起的山崩以及降水和重力共同引起的泥石流等。对某些国家，火山喷发的火山灰或采矿弃渣也可以成为小河流的泥沙重要来源。对长江干流来说，泥沙主要来自流域侵蚀物质中的较细部分。

二、河流输沙的基本形式

人们常见江河滚滚向前，但不一定留意到河流在向

前的流动中还包含了无数大大小小的漩涡。这些漩涡在水内起“搅拌”或掺混的作用。在水流中沿垂向的掺混就会把水“搅浑”，使泥沙在水中悬浮并被水流带走，这便是悬移质。但水体在被搅起时，根据水流连续性的原理，被搅上来的水体必然被体积和速率相同（即通量相同）的另一水体所平衡。那末，由向上运动的水体所带起来的泥沙岂非又被向下运动的水体带回去了。这样泥沙又怎么能在水流里悬浮呢？要回答这个问题首先必须注意泥沙的比重大于1（天然泥沙的平均比重为2.65），所以泥沙在水中是要下沉的。下沉使泥沙更多地在河流深处积聚。其结果是愈靠近河底单位水体所含的泥沙愈多（工程术语是愈靠近河底泥沙浓度或含沙量愈高）。因此，通量相同时，向上水体挟带的泥沙比向下的泥沙多。由此可见，掺混的后果是把泥沙向上传送。由于掺混，在水流内高处的泥沙浓度将逐渐增加，直至由于泥沙下沉而带走的泥沙数量和掺混作用送上来的泥沙量相等为止。这时这点的平均泥沙浓度便保持不变，相应的泥沙输移常称为平衡输沙。

当河床床面泥沙较粗时，在一定条件下，通过床面上方的水流会在泥沙颗粒的周围产生不对称绕流，并产生上举力，使泥沙颗粒升离床面，被主流挟带向前移动。但由于颗粒较粗，床面附近的漩涡还不能将它继续向上输送，使它悬浮。另一方面，当粗颗粒离开床面几个粒

径之后，颗粒周围的绕流状态发生变化，上举力趋于消失，在重力的作用下，泥沙一面向前运动，一面向床面回降。这样，便完成了一次跳跃的过程。以这种跳跃的形式向前运动的泥沙称为跃移质。在河流中，跃移质的跳跃高度一般只有几倍粒径。但在高速水流中跳跃高度却可以加大很多。例如四川的映秀湾电站的引水枢纽有 5 孔泄洪闸。泄洪时，在闸后淤积的卵石和水流一起排出。据推算泄洪时闸室和护坦上流速约为 $6\sim 8\text{ m/s}$ 。闸门开启后，常见在闸下游的护坦水流中有卵石飞出水面。这些卵石直径最大可达 30 cm 以上。至于启闸后，从闸后库区冲出的卵石则有时可飞到离护坦底面 7 m 处。

在水流向前拖曳力的作用下，一部分泥沙会沿床面滑动或滚动，因为这样运动的泥沙经常和床面保持接触，所以也称为接触质。当拖曳力进一步加大后，在实验室的玻璃水槽中可以观察到在床面表层滑动或滚动的泥沙下面还有成层向前几乎是不断运动的泥沙，这便是层移质。

跃移质、接触质和层移质合称为推移质。

悬移和推移是河流输移泥沙的两种基本形式。长江三峡工程河段的泥沙以悬移质为主；推移质的平均输沙量约在悬移质的 2% 以下。川江悬移质 85% 以上小于 0.1 mm。在天然情况下，川江挟带这种细泥沙的能力远远超过上游来量。这种细泥沙称为冲泻质。其输移量主

要取决于流域供应量。

三、泥 沙 粒 径

如果在河流中的某一点用适当的方法抽取水和沙的混合样品，然后用适当的方法分析沉淀下来的泥沙（例如移液法），就会发现它通常是由大小不同的颗粒组成的。为了表征这种不均匀沙样常采用一种粒径分布曲线，简称为粒配曲线或级配曲线（图 1-1）。

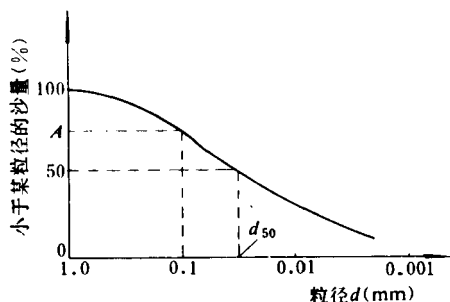


图 1-1 粒配曲线或级配曲线

曲线的横座标表示粒径，纵座标表示沙样中小于某一粒径的泥沙重量与沙样总重量的百分比。例如 A 点表示沙样中比 0.1 mm 小的那部分占总沙样的 75%。显然，曲线向左右延伸的范围愈小，沙样中的泥沙愈均匀。图中相当于 50% 的粒径称为中径，常以 d_{50} 表示。它只表示沙样中有 50% 的泥沙比 d_{50} 细，它并不是平均粒径。对于

曲线向左右延伸的程度常用下式表示：

$$\varphi = \sqrt{\frac{d_{75}}{d_{25}}}$$

显然沙样愈不均匀，则 φ 愈大。如果河段不太长，沿河段各处的 φ 值有可能变化不大。这时人们在考察泥沙沿河段的变化时往往更多地注意 d_{50} 。但在深入的研究中，例如泥沙数学模型计算和泥沙模型试验中，人们仍必须以粒配曲线为依据，才能反映各粒径组的运动。

除中径外，另一常用的泥沙粒径特征值是平均粒径。如将一个沙样按粒径大小分为 i 个组，量定每组的上、下界限粒径 $d_{\max}$ 和 $d_{\min}$ 与这一组泥沙在整个沙样中所占重量的百分比 p_i ，求出各组泥沙粒径的算术平均值：

$$d_i = \frac{1}{2}(d_{\max} + d_{\min})$$

则沙样的平均粒径定义为：

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n p_i d_i$$

显然对于同一沙样，随着分组的不同，算得的平均粒径不一定完全相同。

四、颗 粒 分 析

本项分析的目的是求出表征泥沙大小的粒径。对于

颗粒较大的卵石和砾石常用的方法有两种。

1) 通过称重,再除以泥沙的重量,求得泥粒的体积 V , 然后应用球体积表达式计算体积与沙粒相同的球体直径, 即

$$d = \left(\frac{6V}{\pi} \right)^{1/3}$$

这一直径称为等容粒径。

2) 量定颗粒的长、中、短三轴的长度,并分别记为 a 、 b 及 c , 则颗粒的算术平均直径为 $\frac{1}{3}(a + b + c)$; 几何平均直径为 $\sqrt[3]{abc}$ 。

对于细颗粒的沙土,量测单个颗粒是十分困难的。因此,对相对粗一些的泥土常用筛分法。但由于细筛的网眼不可能准确,所以往往避免使用比公制筛 70 号更细的筛。对于通过 70 号筛的泥沙,可用适当的水析法,求得各粒径组的沉降速度,然后根据标准曲线读出相当的沉降直径。

细泥沙的颗粒分析是一个相当复杂的问题。对于影响泥沙沉降速度的各种因素,如颗粒形状、紊动、浓度、凝聚与絮凝等,虽也有人研究其影响,但研究成果都还未到实用阶段。目前测定的颗粒沉降速度或沉降直径都只近似地相应于单颗粒在无穷静止水体中的沉降。

五、三峡工程各方案的简化表达方式

三峡水库有三个主要水位，除了常用的正常高水位外，还有汛期排沙限制水位或汛限水位以及枯水期限制水位或枯限水位。三峡工程方案常用三个数字表示。例如 175-145-155 方案即表明正常高水位是 175 m，汛限水位是 145 m 和枯限水位是 155 m。

第二章 长江三峡来水来沙

本章介绍长江来水来沙和泥沙研究的依据。

一、判定水沙变化趋势的依据

最可靠的依据是长系列实测的径流和输沙量资料。图 2-1 和图 2-2 绘出了寸滩加武隆和宜昌的径流量、输沙量和含沙量,从 1950 年到 1987 年共 38 年的系列资料以及累积的年输沙量和年径流量的关系。其中寸滩站在重庆嘉陵江和长江汇合口下游约 10 km,武隆站则在乌江内,距涪陵 68.6 km。两处水沙资料代表进入三峡库区的数量,因而将其合绘,以便分析同步的入库水沙变化。对两图可作出如下说明:

1) 入库水量和沙量都呈随机性变化,既有丰水丰沙的时期,也有少水少沙的时期。每个时期长短不一,但大致是 5~6 年。一个变化周期约为 10 年左右。所以如果不看长远的记录,而只随意截取 5~6 年的资料来分析,则一方面固然可以得出所截时段内来沙量大于多年