

内河航道

ВОДНЫЕ ПУТИ

К.В.格里沙宁, В.В.捷格恰辽夫, В.М.谢列兹涅夫



交通部航道整治工程技术规范编辑委员会
中国航海学会内河航运开发建设专业委员会

1988

前 言

本书是苏联高教部1986年批准为苏联高等院校“水道”专业的教材。原名“水道”(ВОДНЫЕ ПУТИ)，共有16章。作者为К·В·格里沙宁、В·В捷格恰辽夫及В·М·谢列兹涅夫。这次只将与航道整治有关的8章先译出来，编辑成册，取名《内河航道》出版，内部发行，以供正在进行的“航道整治工程技术规范”编写工作，以及正在进行的汉江、湘江、赣江、松花江、西江、漓江等航道整治工程设计参考。其余有关疏浚、挖泥船，航标等8章，视必要再出续篇。根据本书作者列宁格勒水运学院航道专家格里沙宁教授最近来信，他们正着手编写一本“航道整治工程”新书，预计1990年到1991年出版，如有可能，届时我们再向同行们介绍。

这本书的特点是理论、实践并重，既阐明河床演变、泥沙运动和水力计算理论，深入浅出，又介绍苏联的治河历史及各河、各水库的各类浅滩整治工程布置、设计计算、施工方法步骤、实践效果和成功经验。特别是介绍了天然河流在一定边界条件下通过整治手段最大可能达到的水深（水力容许深度）的分析方法。因此，本书在本专业领域内是一本值得学习和参考的书，可供交通、水利系统大专院校、科研、设计、工程部门以及地方各级航道管理部门从事航道整治工程，水利枢纽工程，治河工程等专业技术人员阅读。

本书由“航道整治工程技术规范编辑委员会组织翻译，并与中国航海学会内河航运开发建设专业委员会合作出版。由闵朝斌，续庆琪负责全书的审校工作。各章的译者是：

- | | |
|-------|-----|
| 第1章 | 徐承庆 |
| 第2章 | 吴德镇 |
| 第3～4章 | 毕庶绩 |
| 第5～7章 | 续庆琪 |
| 第8章 | 闵朝斌 |

黑龙江航运管理局副总工程师毕世俊同志访苏归来提供了此书，从组织翻译到出版成书的短短4个月里得到钟世斌、赵颖同志的大力协助，我们表示衷心地感谢。

由于时间短促，也许有疏漏、错误或译名不当之处，请指正。

交通部航道整治工程技术规范编辑委员会
中国航海学会内河航运开发建设专业委员会

一九八八年十二月

目 录

第 1 章	内河水道和航道维护方法.....	(1)
第 2 章	河川径流与河床.....	(10)
第 3 章	水库和调节流量的河流.....	(31)
第 4 章	通航河流挖槽与水库航道.....	(44)
第 5 章	河道整治.....	(64)
第 6 章	河流中的整治建筑物工程及其计算.....	(89)
第 7 章	整治建筑物及其建造.....	(117)
第 8 章	天然河流上的水力容许通航水深.....	(127)

第1章 内河水道和航道维护方法

1.1 内河水道发展史

苏联国土大部分是平原，只在中部有瓦尔泰高地，很多河流发源于此，最后流入里海、黑海、波罗的海和白海。很早以前苏联就利用河流进行货物运输。

在相距不远的大、小河流上游河道之间，为货物倒载运输和拖运船舶的需要，曾经在河流之间开辟了专门的地面通道。

第聂伯河作为基辅王国的主要水道曾在古代起过很大的作用。从波罗的海到黑海的水道流经涅瓦河、沃尔霍夫河、洛娃契河、捷斯纳河和第聂伯河。这条“从北欧到希腊”的贸易通道是很出名的。早在公元12世纪就曾第一次书面记载了有关基辅附近第聂伯河的护岸工程。

从第聂伯河可通往东部俄罗斯的另一商业通道——伏尔加河。上伏尔加和奥卡河曾经是弗拉基米尔·苏子达尔·梁赞公国的主要贸易干线。16世纪随着莫斯科国家的扩大和巩固，以及对喀山和阿斯特拉罕的征服，伏尔加河形成了主要运输干线。

在公元16世纪，沿着新的水道，经过北德维纳河及其支流，莫斯科国和欧洲国家建立了贸易关系。这条水道到18世纪初从沃洛格达市通过了沃洛格达河、苏霍纳河和北德维纳河。在北德维纳河口建立了一个大的商业中心和阿尔老格尔斯克海港。

在16世纪末期，俄罗斯人曾经沿乌拉尔河，图拉河上游，经托波尔河、额尔齐斯河、鄂毕河向西伯利亚组织船舶运输。

在16和17世纪时，北部、东北部和西北部水运交通的发展历史是与俄罗斯国家的统一和莫斯科转向政治、经济和文化中心分不开的。

在沙皇彼得一世时，内河水运交通得到了较大的发展。与波罗的海、亚速海和黑海地区的经济往来因而也得到了保证。为了通过新的俄罗斯船队要求内河水道进一步改善。

为了使内河有通向波罗的海的出口，并适应首都从莫斯科迁移到芬兰湾岸边的需要，要求改善从伏尔加河到波罗的海水道，以便船舶在河流上游组织直达运输。公元1703至1722年建成了联接伏尔加河和涅瓦河的一系列船闸。1719至1731年又完成了拉多加湖和奥涅加湖运河通道。开始对马利尼斯克路线进行了查勘（1710年）。彼得大帝时期曾试图修建伏尔加——顿运河，但当时的技术经济水平还无条件完成这项工作。

18世纪初，对西伯利亚通航河流又进一步进行开发，并且兴建了一些当时称得上是大型的航道工程。如1716年在西伯利亚至托波尔斯克省中心地区，沿干流往上游8俄里处开通了沟通托波尔河和额尔齐斯河的运河。1708年还发生了一件有重要的事情：第一次用俄文出版了水工书籍——《关于天然河流形成的概论》。

1784年，俄罗斯颁发了关于内河航道水深测量和用警戒标志维护航道的法令。这个时期，首次在第聂伯河急滩上清除了礁石。

19世纪国内工商业的发展和蒸汽船的出现，要求进一步改善内河水道。建立了一些人工内河水道系统。例如，在1810年开辟了经什克斯纳——阔夫浪——维捷哥拉的伏尔加——波罗的海的新航线，被称为马林系统，而在1811年沿马洛哥——齐赫文卡开辟了第二个系统，称齐赫文卡系统。

1828年建成了北德维纳水道，还通过库别恩斯克湖连通了舍科斯纳河和苏霍诺伊河。这条内河水道对发展北方经济起了很大作用。19世纪上半叶建成了普里皮亚特河和维斯拉河支流的连接运河西布果姆河，它对西部地区白俄罗斯和波列斯亚的经济开发起了重大的作用。

为保证航行的正常化，1840年在上伏尔加修建了一个库容为4亿米³的“蓄水坝”。调节流量以保证从特维尔市到雷比斯克市航道有较稳定的水深。1874—1878年莫斯科沃列斯克枢纽工程建成之后，渠化了北部顿涅茨河。1883—1893年修建鄂毕—叶尼塞运河。它通过鄂毕河支流—克特河和尼尼塞河支流—卡斯河沟通了西伯利亚两条大河（西伯利亚大铁路建成后失去了作用）。

19世纪下半叶在伏尔加和一些大河上布设了航标，1860年首先在彼德堡，然后在伏尔加，到世纪末期在西伯利亚河流上开始有挖泥船进行疏浚作业。到1913年国内有112条河使用挖泥船。

19世纪最后10年和20世纪初，在俄罗斯天然河流上航道工程发展很快。许多交通运输方面的学者和工程师们进行了大规模的研究工作。诸如河流水文和地貌学、河床演变规律研究，并建立了内河水道建设、管理的学科。如B·E汝阔夫斯基、B·Г科列伊别尔、H·C列亚夫斯基、B·M罗霍金、H·П普泽列夫斯基、B·E基蒙诺夫等。

彼德堡交通运输学院教授B·E基蒙诺夫在研究内河水运方面发挥了很大的作用。在伏尔加河、第聂伯河、维斯拉河、维斯拉河和北德维纳河他使用预设计的方法并运用挖泥船维护航道，即由河床勘深组先测绘出浅滩图，并在枯水期前在图上作好挖槽设计，称之为预设计。这种办法效率高，又不增加航道维护费用，航道条件改善显著。

在伟大十月社会主义革命之后，对内河水道进行了有计划的改造。在苏联国家电气化计划中就已拟定了水资源的综合利用方案：即能源、航运、灌溉相结合，改善伏尔加、涅瓦、顿河和卡马河的航运条件，对沃尔霍夫河、斯维拉河、第聂伯河和北顿涅茨河进行径流调节，并在流域间开挖连接运河等。

在苏维埃时代，苏联大力开发内河水运，可利用的水道长度增长了1倍多，其中大部份（约80%）有了航道维护措施。

许多河流增加了航道尺度，其中60%的长度达到规定的标准尺度。

由于挖泥船数量的增加、生产率的提高和设备的改善才获取了这些成绩。现代挖泥船—具有一整套现代化装备的系统，不仅集中控制，而且自动化。全部劳动过程机械化，疏浚效率几十倍的增长。

在通航水深与水力界限较接近的河流上，曾作过大量的整治工程。其中别拉雅河效果较好，1937—1939年保证水深增加了50%。在图拉河和托波尔河上建了400多座土质整治建筑物，水深增大了1倍。在勒拿河上游、顿河上游、普里皮亚特河和梭日河也进行了卓具成效的整治工程。

苏维埃时代，在通航河流上建造了几十座水力枢纽，建设了大型通航运河和水利工程，对许多通航河流进行了渠化。作用最大的通航运河有：白海—波罗的海运河、莫斯科运河、伏尔加—顿运河、伏尔加—波罗的海水道，以及第聂伯尔—布格运河，从而形成了国内欧洲部分的统一深水航道网。在中亚—卡拉—库姆斯克大型灌溉渠道的个别河段上也可通航。在伏尔加河、卡马河、第聂伯河、顿河、莫斯科河、斯维拉河上差不多都建成了渠化梯级。

苏联内河水道进一步发展的前途是广阔的。世界上任何国家也没有这样丰富的水资源。在苏联境内有河流11万条以上，总长度约400万公里，2000个以上的湖泊。经技术经济论证确定有50万公里以上的河流和湖泊可以开发通航。

苏联近10年远景规划目标是进一步扩大内河通航里程和改善内河水道的质量。要求从技术上

改进航道维护方法。开发以前没有船舶航行的西伯利亚和远东地区河流发展航运。特别要对秋明以北地区、石油气开采源地、贝加尔——黑龙江干线的经济区、亚库梯和马加丹地区加强航运的发展。要提高已有航道的标准尺度。改进工程船队和航道维护措施。提高航道设计方法和施工的科学基础水平。探索天然河道的改造和维护兼顾的可行办法。

建立内河水道和航道工程的自动化管理系统。

1.2 苏联内河水道

运输也象物质生产领域一样，在国民经济中起着重要作用。水路运输和陆路运输有各自的经济结构体系。在苏联这样一个经济高速发展和地广人多、极为丰富的自然资源、强大的工业和非常庞大的农业经济的国家，运输起着非常重要的作用。所以党和政府根据各种运输形式的技术经济特点，对其发展和合理使用给予了极大重视。

在国家综合运输体系中，内河水运占有重要地位，它几乎利用了所有内河水道，其中包括河流、通航运河、湖泊和水库。海洋运输区别于内河水运是因其利用大陆边缘以外的水域，即海、洋和通海运河。

水运与铁路、公路、航空运输比较，主要的优越性是运费比较低。另外的优点是单位运量所消耗的金属和燃料比较少，初期投资也较少。其所以投资少，是由于内河水运大部分利用了天然水道——河流和湖泊的原故。人工水道和水库的建设主要是综合利用，不仅是为了运输，也为了发电、工农业供水，即用于航运上的投资仅是很小的一部分。

在内河水道上，船舶只能在专门标明的水域范围内行驶，这个水域范围称为航道。航道的水深、宽度、弯曲半径为其轮廓尺度。这一轮廓尺度决定着航道的航行条件。航道越深、越宽和弯曲半径越大，则船舶运载量也随之加大，航行在这种航道上的船行速度也就快。也就是说，航道通过能力大。航道的轮廓尺度在同一水道上，随水位的变化而变化。全航道的最小水深、宽度、弯曲半径是在设计水位下规定的。根据基本水文站的资料，在技术经济分析计算的基础上，确定航道的标准尺度和设计水位。在非设计水位情况下，不同的水位有不同的航道水深，这种水深值是随基本水文站的水位确定的。

在没有建闸坝的河流或河段上（占全苏内河水道总长度的70%以上），用疏浚工程来保证航道的轮廓尺度，使河床在平面范围内具有航道需要的安全保证。疏浚工程包括挖泥、清除礁石和整治。第一种情况是用大型挖泥船从河底进行机械取土，第二种情况是在初步打碎岩石或是定向爆破之后，用机械方法加深河床，第三种情况用整治建筑物和水流自身对河床冲刷演变的作用，在航道范围内结合冲刷浚深河床。

目前，一般是疏浚和整治工程结合进行，相互补充，组成疏浚航道的统一综合体。进行疏浚挖槽和修建整治建筑物，可以更有效的和长时间的改善河流的航运条件。

改善航道水深条件，最可行的办法是进行河川径流调节。在洪水季节水库蓄水，在枯水时加大下泄流量以抬高水库以下河段的水位和增加水深。在通航河流上兴建水库就截断了河流，船舶过坝要经过船闸或升船机。

河流上也可以不建水工建筑物，只要把水库建在通航河段附近的支流上，同样可进行水量调节。

增大航道轮廓尺度还可用渠化方法。即用筑坝的方法将河流分成若干梯级河段，每一梯级的上、下游水位是不相同的。每个梯级上游水位抬高到需要的高度，以保证该河段水深不低于设计水深，同时，增大航道宽度和弯曲半径。渠化可使河流情况和航行条件发生质的变化。渠化河流

属于人工内河水道。

当通航河流不能满足各个地区间的运输要求时，就需要考虑修建人工水道—通航运河。按用途来分，运河分为连接运河和绕道运河，按构造分为天然的和渠化的。连接运河连接不同流域的河流，一般沟通两河或在他们的支流之间的分水岭。绕道运河是在遇到石坎、跌水和浪大的湖泊等不可克服的困难，船舶航行通过困难较大时才建立的。

开敞式运河，如同连接运河和绕道运河一样，是运河中没有建筑物限制的水道，运河两端的水位高程基本上是一样的。

设闸运河或是渠化河流，在水道中都有一系列挡水建筑物和船闸或是升船机，同时还有运河的供水设备。

在同一通航河流上，可以有天然河段，有径流调节的河段，也可以有渠化的河段。在两个流域之间的航道系统包括所有各种状况的河流和运河、湖泊和水库。

苏联重要通航河流，目前全部或局部处于天然状态的有：阿刚河、阿尔丹河、阿姆河、黑龙江、安加拉河的一部分、别拉雅河、比亚河、瓦赫河、维吕河、维提姆河、伏尔加河（伏尔加格勒以下）、维契格达河、维亚特卡河、捷斯纳河、第聂伯（基辅水库以上），第聂斯特河、顿河（齐姆良水库以上）叶尼塞河的大部、部分泽亚河、印迪吉尔卡河、几乎全部额尔齐斯河、卡泽姆河、（卡马水库以上）、卡图恩河、克特河、科累马河、康达河、库班河的一部分、勒拿河、拿德姆河、涅瓦河、部分涅曼河、大部分鄂毕河、部分奥卡河、伯绍拉河、部分普里皮亚特河、部分赛维利河、北央维纳河、色楞格河、索日河、苏哈纳河、托波尔河、托姆河、图拉河、乌拉尔河、乌苏里江、楚雷姆河、希里卡河、雅纳河以及其它等等。

在威海（称内海）、贝加尔湖、巴尔喀什、白海、维国捷勒、斋桑、伊尔明湖、伊塞克湖、库边斯克、拉多日斯科、敖聂日斯科、谢力盖尔、秋磁克湖泊上和其他小湖泊上都通航。

目前管理水运的机关集中于俄罗斯联邦河运部和其它加盟共和国内河管理总局。在俄罗斯联邦河运部中有主管水道和水工建筑物的两个总局。直接在地方上组织维持水道通航的有流域航运管理局和运河管理局。流域航运管理局调度船舶航行、进行航道维护和改善本流域的航道；运河局同样是调度船舶航行和管理航道工作，但主要方面是维护运河上的航道水工建筑物。目前设有流域管理局的有：伏尔加河、卡马河、北方河流、伯绍拉河、额尔齐斯河、鄂毕河、叶尼塞河、东西伯利亚河流、勒拿河和黑龙江的管理局，白海—波罗的海运河管理局，莫斯科运河，伏尔加—波罗的海水道的管理局。伏尔加—顿河管理局。

在乌克兰和白俄罗斯有第聂伯流域管理局，在哈萨克斯坦有上额尔齐斯河流域共和国河运管理局。在中亚组建了苏联海运部阿姆河流域管理局。

1.3 内河水道运输分类和航道轮廓尺度标准

内河水道的通过能力是根据船舶载重量来确定的，因而，用通过这些航道上运输船舶的尺度来衡量其大小，同样也可用他们的速度来衡量。根据航道的特征，如航道的轮廓尺度来选择船舶，即按标准（最小）和平均航深、航宽和航道弯曲半径、允许的营运流速、通航期来选择船舶。对渠化河流还要根据闸室尺度和过闸时间。

用技术经济分析计算的方法选择航道指标，可能有各种不同的结果。为了统一运输船舶的类型，以便进行船舶的大批量生产，降低船舶的建造和营运费用，以及能够利用通航建筑物的定型结构，全部水道按已定尺度分级。水道分级的轮廓尺度是根据统一的技术经济基础条件确定的。

目前内河水道还没有按在各方面的重要性来统一分级。一般采用苏联国家建设规范（HCII

103-52) 有关桥下轮廓尺寸的航道分级规定。按此分级规定, 内河水道尺度标准分 7 级。

内河水道的级别是以航道规划标准水深为基础的:

I (超级干线)	标准水深 3.2 米和 3.2 米以上
II (干线)	2.5 米—3.2 米
III (干线)	1.9 米—2.5 米
IV (干线)	1.5 米—1.9 米
V (地方航道)	1.1 米—1.5 米
VI (地方航道)	0.7 米—1.1 米
VII (地方航道)	0.5 米—0.7 米

相应于 I 级内河水道的标准宽度和弯曲半径为 100~85 米和 1000~600 米、II 级和 III 级为 75~70 米和 600~350 米、IV 级和 V 级为 50~30 和 300~200 米、对于 VI 级和 VII 级为 20~14 米和 120~90 米。

上述分级, 对最小船行的密度没有明确规定。暂时规定对于超级干线, 最小密度为 50~1600 万吨公里, 干线为 15~250 万吨公里, 对于地方性航道 V 级为 5~50 万吨公里和地方 VII 级, 也就是地方小河低于 10 万吨公里。

内河水道分为 4 种类型: 全苏的, 主要是超级干线; 地区间的, 保证大经济区域之间的联系; 区域内的, 即地方经济区域内短途转运和支线 (或者是小河) 为通向高级航道的出口。

在湖泊、水库中和在大河下游常有风浪, 特别是大浪使船舶航行困难, 甚至无法航行, 必须有避风港。为了保证船舶航行安全和不允许发生海损事故, 所有内河水道 (河流、运河、水库和湖泊, 包括咸海) 根据风况分为 4 级: “M”、“O”、“P”、“II”。

在这种分类的基础上规定了波浪的最大波高和波长, 在通航期发生这种波浪的机率不大于 4%。如果波浪高度达到 3 米和波长 40 米, 则内河水道为 “M” 级; 相应 2 米和 20 米为 “O” 级; 1.2 米和 12 米为 “P” 级; 内河水道不够入 “P” 级的 (小河和大河上游) 都属 “II” 级。

根据对航道船队 (排筏) 航行密度和要求, 水道分为 5 类:

I—航行密度大的, 或者是拖运木排的水道, 在这种水道上每昼夜有 30 个或更多的往返船舶 (队), 或者是 5 个和 5 个以上的拖运木排。

II—航行密度不太大的水道, 有 30 个以下船队往返, 或是 5 个以下的拖运木排。

III—航行密度不大的水道, 每昼夜有 5 个以下船队往返航行, 这些水道上不经常有拖运木排。

IV—运输密度不大的水道, 但在夜间经常有 1—2 艘船舶通过。

V—这种水道不经常通航, 若通航也只是在白天。

用来确定水道标准轮廓尺度的水位, 称为设计水位。根据基本水文站的资料确定和选择航道边界条件, 要使全河段都有同样的轮廓尺度和水文条件。可近似地认为, 从河段上边界到下边界, 河流上、下断面的集水面积的变化不应超出 20—30%。一般取货物编组港和大支流汇入点作为河段的边界。

用技术经济观点分析计算水道的已知河段设计水位的多年平均保证率和历年低于该水位的持续历时。分析计算的设计水位要由俄罗斯联邦河运部批准。

设计水位的保证率一般采用: 对于 I 类水道为 95—99%、II 类 90—95%、III 和 IV 类为 80—90%。

设计水位是航道工程所有技术文件的基础。在编制河床平面图时, 要把在各种不同的水位条件下测量的水深换算到设计水位时的水深。技术上要求保证航道轮廓尺度的测量是在枯水期的水

位接近或等于设计水位的条件下进行测量。根据设计水位计算挖槽的河底高程、整治建筑物的高程、施测水道的水深等等。

对于具有同一轮廓尺度的航道或航段，其各个水文站的设计水位的保证率应是一致的。确定出的水位是要长期使用的，只有在运输量大幅度增长时才会改变，或者由于河床浚深过多导致水位下降也会改变设计水位。

桥梁通航净空轮廓尺度指船舶和船队通过的桥梁通航孔轮廓线范围内的空间断面。在这个空间不允许有桥梁结构的突出件伸出。

桥下净空的轮廓尺度有净高 H_M (图1.1)和净宽 B_M 。除沿桥梁轴线的高度和在自由水面的宽度外，并确定支点 H_1 的允许高度和顶部 B_1 的允许宽度。对于开启桥，根据其开启宽 B_2 确定通航孔允许宽度。对于垂直升降桥，确定从水面到升高的通航孔的高度 H_2 。在图1.1标准水深为 T_r ，是从设计水位起算的。

桥梁净空标准的确定与内河水道的级别有关(表1.1)。

净空是从设计通航水位起算水位，在天然河流上这些数值是根据已计算的水文特征值(CH 435-82)和相应的指数，按下列顺序计算确定的。制表：第一行是顺序号；第二行是最高洪水位(从整个观测期的最高水位开始，从大到小按顺序排队)；第三行每个水位高程对应的观测年份。

表 1.1

内河水道 等 级	距设计通航水位 的高度(米)	桥下航道宽度(米)		
		非开启桥孔 B_M		开启桥孔 B_2
		主 孔	邻 孔	
I	16.0	140	120	60
II	14.5	140	100	60
III	13.0	120	80	50
IV	11.5	100	80	40
V	10.0	80	60	30
VI	7.5	60	40	—
VII	5.0	40	30	—

表 1.2

按公式 $N = 0.1a(n + 1)^{0.1}$ 计算出 N 值，即表中按顺序第 N 年为计算年， a —按表 1.2 采用的系数； n —观测年数。

在计算年内，按水道等级，用关系式 $t = 0.1Km^{0.2}$ 计算高于通航水位以上的水位持续历时。 m —在计算年内实际有效的航行持续历时天数(天)； K —根据表1.2规定的系数值。

在桥梁通航孔两侧的墩柱上，用不易冲刷掉的红、白颜色把通航水位的读数标刻在上面。

内河水道等级	系 数 值	
	a	k
I	2	5
II	3	6
III	4	6
IV	5	5
V	5	3
VI	4	2
VII	4	2

注：经与HCΠ103—52中公式核对，a. k值有修改，*1与*2中系数0.1似应为0.01。——译者

确定渠化河流的通航水位时，在标准文件中对其特点另有说明。

确定船闸闸室和升船机的标准尺度的方法参阅《水工建筑物》教材课本。

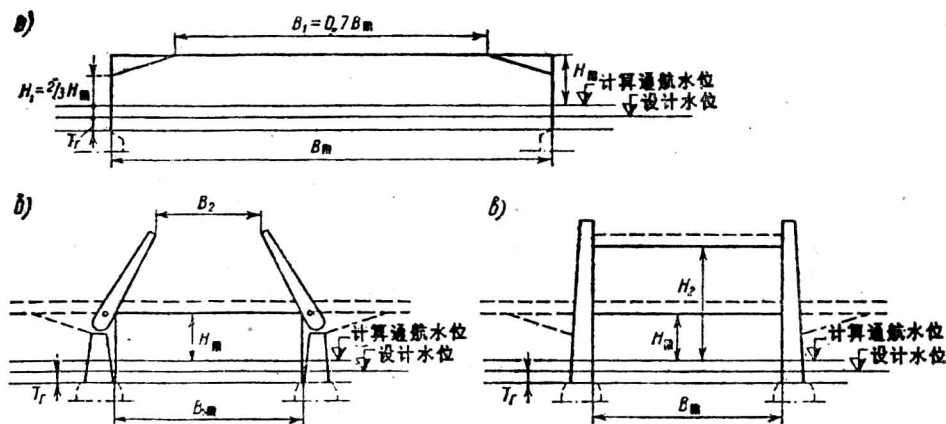


图 1.1 桥梁通航孔示意图

a—非开启桥；b—开启桥；B—垂直升降桥

架空线或输电线距最高水位以上最小距离不得小于表1.3中的数值。

表 1.3

距架空线的距离(米)	距下列电压线的空间最小距离(米)			
	11万伏	22万伏	33万伏	50万伏
从最高洪水位起算	6.0	7.0	7.5	8.0
从最高洪水位时船舶的最高点起算	2.0	3.0	3.5	4.5

1.4 通航工程和改善内河水道通航条件的远景规划

为了保持现有航道标准尺度和改善水道的通航条件，进行综合性航道工程，其中包含有内河水道航行设备的维修、扫床、清槽、挖泥、清理碎石，整治和护岸工程。在改善航道通航条件的航道工程中不外乎下列几种形式，如径流调节、渠化河流或是建设通航运河。

浮标和岸标等内河水道通航设备起到了安全航行保障的作用。用航标标明航道轴线和它的边界一边缘、船舶转弯处和多汊河流中的水流分叉。

借助航标来管理单向航道的通航。标示桥梁的通航孔及其尺度，标明锚地边界、航道与地下输水管道、水上、水下通讯线路和电线的交叉的位置。以及驾驶人员报导航道的轮廓尺度和关于航道条件的特征（例如有乱流）、关于天气情况（大风预报）。

航标分为发光的、反光的和不发光的。发光标志装有灯光信号设备，能在白天和黑夜发光；

反光标志为在标志板上涂有特殊的光还原材料层，夜间可利用船上照明灯光发现它；不发光标志只在白昼发挥作用。

发光标志设置在航运繁忙的Ⅰ～Ⅲ级航道上。反光标志设在夜间只通过1～2艘船舶的Ⅳ级航道上。不发光标志设在只在白天偶有通航的Ⅴ级航道上。

扫床—利用被称为拖测器的专用设备寻找水下的障碍物。

清槽—清槽工程分为清理河底的和岸边的两种。清理河底是从水下取出障碍物；岸边清理是预防性的，从河岸带清除障碍，这些障碍也有可能被水冲走或是被水淹没。

疏浚或疏浚工程，包括在河床中用吸扬式挖泥船（吸泥船）开挖航槽的工作。

清渣工作，包括粉碎礁石；抬走和排除碎石，从而进行现有航道的浚深和扩宽或是建设新航线。

挖泥船有绞吸式、链斗式和抓斗式挖泥船。绞吸式挖泥船用于非粘性泥土，主要用于沙质土，链斗式和抓斗式挖泥船用于粘质土和砾石土质，个别情况用于沙质土。由于淤积，土质混杂，不能用绞吸式挖泥船。绞吸式挖泥船是沿漂浮的输泥管道往航道外边排放泥沙，或者用自动卸泥船一开底泥驳。

利用吸泥船挖航槽时，能通过滩脊使航道水深和宽度达到要求。图1.2为滩险河段的纵、横断面示意图和设计水位时沿航道滩脊顶的水深 h_1 。挖槽之后，挖槽处河底水深增加 h_c ， T_r 为保证深度，即 $T_r = h_1 + h_c - \delta_z$ ， δ_z —由于挖槽引起水位下降。

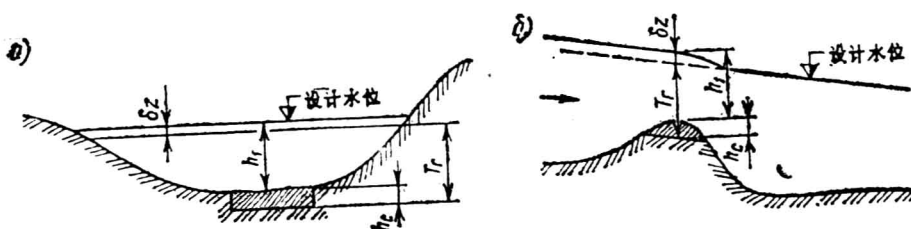


图 1.2 疏浚河段的断面图
a—横断面； b—纵断面

挖槽河段上的通航水深，只有在通航期中经常保持不低于设计要求，在挖槽之后的下一年春汛洪水时，挖槽将部分回淤。这时要重新进行疏浚，使其恢复到要求的航深。

有时在夏、秋季洪水作用下，从上游河段带下来的泥沙或由于其它原因，在通航期内航槽也会被淤。这时就需进行维护性的挖泥工作，即在同一年内，在同一个滩险河段上要进行重复疏浚。

在清除礁石工作时，用专门的碎石工具粉碎水下岩石和石块，或进行水下爆破。用链斗式或抓斗式挖泥船清除碎石，并将其运走。

整治是建造专门的整治建筑物和护岸工程，以达到利用水流作用产生的河床变形来改变规划河段的河床轮廓和增加航道轮廓尺度。这一工程中包括冲刷河床和将泥沙移到河道的新位置中去。

通过整治形成了不同于过去的新的河床轮廓和界限。整治建筑物和岸边所限定的水域范围称为整治线。具有设计水深的整治线部分，即这部分在整个通航期中都可满足航道水深的要求，称为航线（图1.3）。

在航道的改善措施分类中，把疏浚、清理碎石和整治组合成为疏浚工程统一综合系统。

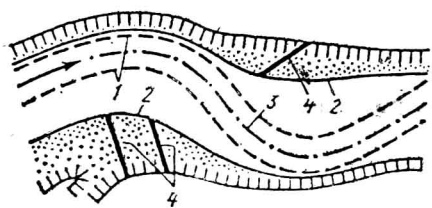


图 1.3 整治线和航道线

- 1—航道边界线；2—整治线轮廓线
3—航道轴线；4—整治建筑物

疏浚和整治工程可以是维护性的和基建性的。维护性的为在原航道线内维持已达到的航道标准尺度和保证安全通航。基建性的常常是利用改变航道方向的方法达到根本改善航行条件的目的。

根据10~20年之前制定的规划，进行天然河流通航条件根本性改善的工程，这一规划每经5~10年要定期修订。

远景规划要考虑：沿全河道长度定出航道轴线的最优状况，在通航最困难的河段上论证定出整治线的位置和其轮廓尺度—宽度和弯曲半径；根据最困难河段的根治简图，估算根本改善困难的疏浚土方量；确定在这些河段上根本改善通航条件工作的次序。

困难河段有：浅滩，在浅滩上不能保证深度和宽度，或者航槽不稳定引起工程反复，或者每年要进行大量的疏浚工作，比在其它浅滩上的平均工作量增大半倍。困难河段还有：河段的通航条件系统地持续下降，河槽变形河段，对其河槽变形需采取措施；弯曲半径小于标准尺度；单向航行河段；有乱流河段。

制订和修改远景规划的原始资料是：最近5年计划中航道的保证轮廓尺度的计划，河流水文和形态特征，沿航道各年的技术报告、图册和和浅滩记录簿、内河水道图、航测照片、水文年鑑和手册，关于河流土壤地质和河谷的资料。

改善河流通航条件的远景规划的组成与通航河流的开发程度、通过量的有计划的增长和技术手段有关。在尚未开发的河流上，在规划工作中，只是一般的安排航道工作，逐渐改善航道形态和它的航行特征。在已经开发的河流上进行比较深入的河床的水文和形态特征分析，确定基本的航道工作方向，旨在在彻底改善通航条件，最大可能利用水能的情况下保证航道的规划标准的实现。规划报告的章节有明确要求，第1章包括：河流简要的水文地理和通航特征；河流对于通航和国民经济的现状和规划的重要意义；货运量和它的计划增长指标；经营和投入运行的船舶类型。水文情况特征：基本水文站历年最小、平均和最大水位、流量；春汛洪峰和夏季枯水特征值；春、秋季流冰开始和结束时的水位，同时指出上述水位、流量发生的最大、平均和最迟的日期；水位流量关系和基本水文站枯水、中水、丰水年水位过程线；特征水位时的自由水面比降。河床构造的形态和地质特征（河床的宽度和河谷，滩地和基本岸壁高程，河床弯曲度和分叉情况，河床在深槽和浅滩的水深和宽度，河床和滩地的地质）。

第2章包括有：过去5—10年最低水位和航道轮廓尺度，同时给出标准尺度的破坏天数和低于设计水位的水位值；规划航道标准尺度和最近5年内设计水位的依据。

第3章包括完成疏浚工程量（即挖泥、岩石清理和整治的工程量）和达到改善河流通航条件的方案比较，确定其技术效果。用每年的挖泥量进行估算（维护管理和彻底改善），同时要考虑一些河段通航期的水情变化，以及航道标准尺度与水位、通航水情和疏浚工作量的关系。

第4章确定整治线的轮廓尺度和标明需进行彻底改善的困难河段的示意图。

第5章估算航道工程量。疏浚开挖量采用过去5年实际分析计算的年度报表资料进行分析计算。当远景规划要增大航道标准尺度时，需要考虑相应增大的疏浚工作量。

第6章计算技术设备、材料和干部配备的需要量。

第2章 河川径流与河床

2.1 河川径流概述

在河流上进行的疏浚与整治工程是建立在河床水流运动规律的基础上。这些规律具有复杂性并且研究的尚不够。

河川径流有以下基本特性：

1. 不稳定的运动。由于流域地表径流的波动，河流中流量和水位总是变化的，剧烈的变化发生在汛期和洪水时。在苏联欧洲地区的一些河流中，春天水位升高超过10米。

2. 空间的不均匀性。由于河床形式的复杂和不规律，河流流速的向量场沿任何三维坐标方向是不均匀的。流线为一复杂的空间曲线。概括这一图象，可视为主要是纵向水流运动和与之相应的二次（横向的）水流。

3. 泥沙运动。水流以推移和悬浮状态输运大量土颗粒—泥沙。最小的颗粒来自流域的表面，具有几微米的直径。沿河底有砂、砾石和卵石运动，在山区河流中还有大砾石。在大河中年悬移质泥沙量以数百万和数千万立方米计。

4. 改变自身固体边界的能力（浸润线的长度和形状，河底糙率）。在每一瞬时的水流状态，其速度场和压力场决定他的固体边界。但是在水流作用下，这些固体边界会改变。运动的颗粒将是复杂的，而且河床也会变形。固体边界的改变引起水流转态并因此在运动的液体和河床质之间出现连续的互相作用，在此相互作用中主动方面当然是水流。河床是由流动的水造成，而水的运动继续改变它。

天然水流的运动规律与其和河床的相互作用是由专门学科河流动力学研究的。其中一方面关连水力学，是其自然的延伸，另一方面是地貌学，这里对象同样是河流、河谷和河床，并以描述的方式研究。河流动力学同样与水文学和水文测量学相关连。

河流动力学的基本原理在本章中叙述。在开始的一些节中叙述河中水流运动问题，继而叙述泥沙运动，最后一些节中叙述河床形成和演变的规律性。

2.2 一维运动方程

对于工程实践，许多重要结果可以借助水力学中叙述的明渠河床的液体运动的一维理论得到。把运动要素的变化视为沿水流纵轴（通常情况是曲线）的单一空间坐标中发生的理论称为一维水流。在每一横断面中的运动要素本身是平均的；流速按过水断面面积平均，深度按水流断面宽度平均。

对于明渠水流的非稳定非均匀运动的一般情况，列出下列水力学方程组：

$$I = -\frac{\partial z}{\partial l} = \frac{v^2}{c^2 h} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0$$

式中：I—自由水面的比降；

z—自由水面的高度；

l —纵坐标;

$v = \frac{Q}{\omega}$ —平均速度;

C —谢才系数;

$h = \frac{\omega}{B}$ —平均深度 (B —沿水面的断面宽度);

g —自由落体的加速度;

t —时间;

Q —流量;

ω —过水断面面积。

运动方程 (2.1) 表示液体运动质点运动量变化的规律。方程 (2.1) 各项归于液体重量单位, 因此为无因次的。方程左边项表示重力, 右边的第一项为重力, 第二项为质点沿水流 (沿 l 轴) 运移时, 其运动量的变化强度, 第三项为运动量局部变化强度 (当 l 值被确定的情况下)。按达朗贝尔原则, 取相反符号的两个最后数值可视作为惯性力重量单位。

连续方程 (2.2) 构成液体物质守恒定律。由方程 (2.2) 可见, 水位变动 (同时是过水断面面积的变化) 是沿水流的流量变化为条件的。如果沿河流长度流量不变化, 则水位变动也不可能。流量沿河流长度的变化由以下情况说明, 即发生在任一测站 (在支流河口处, 在水电站的断面处) 的流量变动是以有限速度的波浪形式沿河流向下扩展。由于这些波浪的陡度 (高度与长度之比) 微小可被忽略以及为了这些波浪区别于风成波 (短波) 而被称为长波。

为得到微分方程组 (2.1), (2.2) 的解, 也就是解具体的题目, 必须设定初始的和限定的条件。对方程式 (2.1), (2.2) 的初始条件自由水面的断面和初始时间 $t = 0$ 时, 沿水流长度的流量变化律:

$$Z = Z(l, 0), \quad Q = Q(l, 0)。$$

流量变化规律—“入口的流量过程曲线”是在所研究河段的上游端的限定条件: $Q = Q(0, t)$ 。在河段的下游端, 水位波动消逝, 利用流量和水位间的单值关系条件, 即流量水位曲线

$$Q = Q(Z) \quad | \quad ;$$

在枯水期以及洪水的个别时期, 当流量波动不大时, 河中水流运动允许认为是稳定流。可根据方程式 (2.1), (2.2) 以时间为零的导数整理方程而取得稳定的非均匀运动的微分方程式。结果为

$$I = \frac{v^2}{C^2 h} + \frac{v dv}{g dl} \quad (2.3)$$

$$Q = \omega v = \text{常数} \quad (2.4)$$

为得到方程组 (2.3), (2.4) 的积分值, 有一个边界条件就足够了, 即在所研究河段的下游边界流量曲线 $Q = Q(Z)$ 。

解非稳定水流运动方程组 (2.1), (2.2), 可以得到洪水扩展或沿河流泄放的完整图象: 在站点中对我们有意义的流量和水位变化过程, 以及对一系列时间的自由水面的瞬时断面。

稳定均匀流运动方程组 (2.3), (2.4) 用于绘制自由水面曲线, 以及用于分汊河床沿支汊的流量分配课题。

2.3 天然河床的阻力

借助水力学公式取得的成果的可靠性,在很大程度上决定于确定摩擦力的准确性,也就是决定于河床水流阻力估价的准确性。得到这样估价比计算管线的阻力困难得多。这是由于天然河床阻力决定于一系列的因素,而且以定量表示其中任一因素是困难的。

天然河床对水流运动所显示的总阻力是由三个主要部分组成:河底的粒状表面阻力、河底坑脊阻力及河床形状阻力。在冬季还要增加冰凌覆盖的阻力。在小河中夏季枯水时期出现明显的水生植物的阻力。

现在研究水深平缓变化的直线的或微弯河流的简单情况。在这里计入两个影响因素就足够了:河底的颗粒糙率和由河底沙波造成的大糙率。在这样河段中能量损失的总梯度(水力坡降)可以用两个梯度之和表示,即决定于河底颗粒大小的梯度 I_d 和决定于沙波尺度 I_r , 也就是

$$I_f = I_d + I_r \quad (2.5)$$

引入相应的谢才系数是方便的。反映河床过流能力的谢才系数和两个局部系数的关系表示如下:

$$(1/C^2) = (1/C_d^2) + (1/C_r^2) \quad (2.6)$$

经验和理论见解指出,梯度 I_d 和 I_r 之间的关系决定于河底颗粒的大小。在河底沉积是由大的卵石和砾石组成,以及沙波的高度可以和大颗粒相比拟的那些河流中,所具有的数值是河底颗粒表面的阻力梯度 I_d 与梯度 I_r 相比较是大的。在有砂和砾卵石的河流中正相反:河底的沙波地形非常发育,沙波脊高度超过颗粒直径约 3 ~ 4 倍,而且大糙率的沙波地形占主导地位。在这样的河流中,其中包括大多数通航河流,梯度 I_r 占总梯度损失 80 ~ 90%。由于沙波尺度决定于水流的深度和流速,因此这个关系表明,在小颗粒河床质的河流中,水流本身在制造和调整自身河底的糙率。

与河底颗粒相连系的谢才系数值可按曼宁—施特力克列尔公式决定:

$$C_d = 6.7 \sqrt{g} (h/d_{50})^{1/6} \quad (2.7)$$

式中 d_{50} —按泥沙颗粒级配曲线的河底颗粒直径。

关于河底沙波的水力阻力问题的大量研究进行了四十年左右,但还未得到完全解决。在有沙波河底的水流能量损失,大部分集中在沙波背水坡形成的涡流中。在个别涡流中的能量损失愈大,则沙波高度和在其波峰上的流速愈大。水流分段损失的能量数不仅决定于沙波的高度和流速,而且决定于在此段上的沙波数,也就是沙波长。能量损失与沙波长度的关系是相反的:在水流分段上的损失,也可以说单位长度上的损失,愈长愈有涡流,也就是沙波愈短。

在实验水槽和河流中的观测表明,沙波的长度随流速增长。这在春汛水位升高时特别明显,此时流速增加伴随沙波平均长度增长。因此可做出结论,流速对有沙波河底水流中的能量损失显示出双重的影响:流速的增大,一方面加剧了个别涡流中的能量损失,而另一方面减少着涡流数量,促使能量损失降低。总的结论是在有沙波的河流中能量损失和流速的关系是能量的损失比无沙波河底水流的应更小。

这一结论被观测所证实。涉及苏联沙质河底的平原河流的水文资料表明,在这些河流中完整的谢才系数和平均流速之间存在比例关系

$$C \sim v^m \quad (2.8)$$

式中 $m = (1/2) \sim (3/4)$ 。

把这一系数代入谢才公式,得出

$$I_f \sim v^{2(1-m)}$$

(2.9)

取代在硬质河底水流中的 $I_f \sim v^2$ 。由关系式 (2.9) 引出的某些结论将用于第 8 章中。

可以寄予希望, 所进行的研究允许在不远的将来创造出有益于工程计算的沙波河底公式。与此同时, 不存在创造第三个叠加河床阻力数字评价方法的现实的希望。形状阻力值决定于河床曲率和沿河流长度、深度及宽度变化速度。形状阻力同样反映出象沙咀、边滩、心滩这样障碍水流运动的阻力作用。在水流急剧扩展的地方形状阻力特别大。按本身的物理性质, 形状阻力和管道的局部阻力是一样的。但是天然河床的不规整、复杂的和广泛变化的几何形状, 使计算方法达到任何一般通用的程度是不可能的。

由于沙波阻力研究的未完善和形状阻力的数量计算不可能, 河流水力学避免阻力的总估价, 为此, 对每一河床段引入一个概括所有阻力形式的糙率系数。这样的系数值不可避免地表现出由一段到另一段的很大变化。当糙率系数 n 值已知时, 谢才系数值按曼宁公式确定:

$$C = (1/n) h^{1/6}$$

(2.10)

河床系数 n 值的表格, 是由 M. Ф. 斯里布内编制的。只是在长度不少于几十倍宽度的河床段的阻力评价时, 有时允许使用表中数据。在这样河段的阻力总值中沿长度的阻力可变性是累加的。对于更短的一些河段 (B 级) 表列数据的使用可导致粗略的错误。唯一的解决困难方法是在流量和自由水面比降现场测量的基础上确定 n 值 (有河床平面图, 知道流量和比降, 不难计算出谢才系数 C , 而根据谢才系数 C , 按曼宁公式求系数 n)。

在选择河床糙率系数值时, 增加的困难是其数值随水位变化而发生本质的变化。在深槽中糙率系数的最大值在低水位时出现。随水位提高糙率系数 n 单调地减小, 开始减小快, 而后变慢。在沙洲上出现更复杂的情况。在枯水期, 边滩出露, 且水位上涨时, 就象在深槽一样, 糙率系数相应减小。但是, 随边滩淹没开始, 糙率系数 n 迅速增长, 当边滩的广阔的表面在覆盖有薄水层时出现对水流的极大的阻力。随水位进一步提高, 高过最大值, 糙率系数 n 重新下降。当枯水期河床扩满水时达到最小值。

在漫滩淹没的情况下, 必须分别考虑河床和漫滩的水流。河滩的糙率通常是很大的。

从上述可知, 为了满意的评价短河段河床的水力阻力, 需要大量的原始数据, 要测量 3 ~ 4 种水位时的流量和比降。

2.4 洪水运动

当发生洪水时, 所有水流要素随时间在变化。表示速度变化强度的局部的加速度 $\partial v / \partial t$, 在洪水上升时为 “+” 号, 下降时为 “-” 号。如果局部的加速度的绝对值很大, 则根据运动方程式 (2.1), 在上升时的自由水面比降将大于下降时的自由水面比降。其结果在上升时的流量也将大于下降同样水位时的流量。如同下面将要指出的那样, 这样的图象可在水电站日调节引起流量迅速波动时观察到。

在平原河流径流自然波动的情况下, 图象是另样的: 这些波动产生得缓慢, 且局部加速度的绝对值经常是远远小于能量损失梯度:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \ll \frac{v^2}{C^2 h}$$

(2.11)

因此, 导数 $\partial v / \partial t$ 的符号变更不明显地说明比降值, 而且流量和水位之间的曲线关系, 不管水位上升或下降, 对每个水位实际上都给出同一个流量值。流量曲线的单调性的破坏只是在水流

漫滩时，但这种破坏和局部的加速度无关，而是完全说明漫滩涨水和随之退水的过程。

非稳定水流运动的最简单的图象出现在直线的或者微弯河床的未被淹没的深槽中。在这里河床具有盆槽形状，且在水位波动时它沿水平的宽度慢慢变化。在这样的河床中，水的运动是均匀流。这就是说，在运动方程式中可舍弃两个惯性力项，而成为

$$v \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{\partial v}{\partial t} \approx 0 \quad (2.12)$$

由此，自由水面的比降不管在上升或下降时将与摩擦比降相等，

$$I \approx v^2 / (C^2 h) \quad (2.13)$$

公式 (2.12) 作为独立的微分方程式进行研究并在 $B \approx$ 常数的条件下完成其积分，可以得到在深槽断面中平均水深和流量的如下关系：

$$h = M \frac{Q^{1/2}}{(gB)^{1/4}} \quad (2.14)$$

式中 M —在已知断面中当流量波动是常数时的无因次系数。

由于为了校核 (2.14) 式有广泛的资料，在直线段深槽处常布置有水文站。水文资料证实 (2.14) 式对于现场条件有很高的准确性。根据这些资料，常数 M 值从一处深槽到另一处深槽有某些改变，但是在有沙质河底的深槽中这些改变幅度稳定在一平均值 $M = 0.9$ 左右。公式 (2.14) 是由 $K \cdot B \cdot$ 格里沙宁推导出的

相对流量求解等式 (2.14)，得到

$$Q = \frac{1}{M^2} h^2 (gB)^{1/2} \quad (2.15)$$

在 35 个水文站中所取得的测点和当 $M = 0.9$ 时的上述公式的图示表明在图 2.1 中。这个图可视为在沙质河底的平原河流上对所有水文站起作用的综合流量曲线。在水文学中对流量曲线 $Q = Q(Z)$ 的内插与外插而利用公式 (2.15) 描述。

在浅滩上，当水位波动时，水流运动不均匀，且断面宽度急剧变化，参数 M 不是常数。

在高水位时，当处于浅滩上的河底淤积，其数值

在这里大于与之相连的深槽中的数值。当低水位时，在浅滩上发生河底冲刷，其数值较小。

2.5 稳定流运动自由水面曲线的计算

由于河床形状的不规整性，以简单的分析方法进行其几何描述是不可能的。因此不论是稳定流还是非稳定流运动方程组的解最终是不相同的。这就是说，被研究的河床部分要划分成有限长段，并且在每段范围内运动要素的变化认为是直线性的。在求解非稳定流运动课题时，时间也要分成有限时段。为了计算方便，水流速度用流量和过水断面表示，在运动方程式中引入流量模数 $K = \omega C \sqrt{h}$ 。

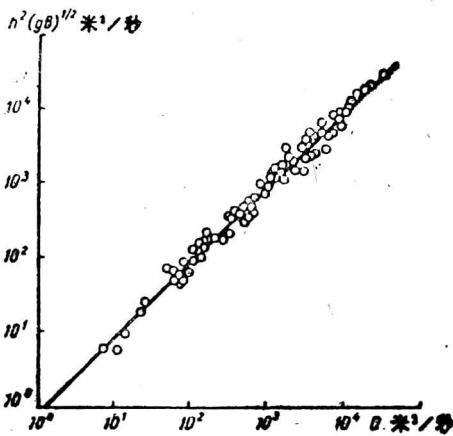


图 2.1 砂质底河流的流量综合曲线