

942241

TV135
9004

施
社, 19
21

高等学校教材

施工水力学

武汉水利电力学院 肖焕雄 编



TV135
9094

社 942241

TV135
9094

高等学校教材

施工水力学

武汉水利电力学院 肖焕雄 编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书主要讲述水利水电工程施工过程中的水力学问题,其中包括施工导流水力学、截流水力学、围堰水力学、施工水力学模型试验与数值模拟等。

本书是我国自行编写出版的第一部有关施工水力学方面的书,除系统阐述基本理论与计算外,特别注意理论联系实际,着重于应用。

本书除作为水利院校的研究生、大学生教材外,还可供从事水利水电工程施工的设计、施工、科研人员参考及培训读物。

高等学校教材

施 工 水 力 学

武汉水利电力学院 肖焕雄 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 13.75印张 308千字

1992年6月第一版 1992年6月北京第一次印刷

印数0001—1650册

ISBN 7-120-01526-5/TV·551

定价3.60元

前 言

本教材是根据1989~1993年高等学校水利电力类教材编审出版规划组织编写的。全书除绪论外，共分四篇、十八章，内容包括：施工导流水力学，截流水力学，围堰水力学及施工水力学的模型试验与数值模拟。限于篇幅，各类问题的论述均以基本概念、基本计算为主，着重实际应用。

全书由肖焕雄编写，陕西机械学院吕兴祖教授主审，武汉水利电力学院不少老师提出了一些宝贵意见。特向主审人及其他为本书出版而进行过工作的同志们，深表谢意。

编 者

1991年7月

CAE04/04

目 录

前 言	
绪 论	1

第一篇 导流水力学

第一章 围堰束窄河床水力学	4
第一节 围堰束窄河床后的水流描述	4
第二节 河床束窄程度的表达方式	5
第三节 束窄河道的过水能力	7
第四节 下游扩散段的回流区	9
第五节 上游壅水高度及上下游落差计算	14
第二章 导流堤水力学	17
第一节 导流堤的作用及体型演变	17
第二节 导流堤体型讨论	19
第三节 导流堤基本参数及曲线计算	21
第四节 导流堤计算实例	27
第三章 导流建筑物水力学	30
第一节 明渠导流(兼通航)水力学问题	30
第二节 明渠分流与汇流计算	35
第三节 隧洞及底孔导流水力学问题	39
第四节 厂房导流水力学问题	42
第五节 联合导流的水力计算	47
第四章 导流建筑物过水能力的可靠性	52
第一节 导流设计流量的不确定性	52
第二节 导流标准的风险率	54
第三节 导流建筑物过水能力的可靠性计算	56

第二篇 截流水力学

第五章 动水中截流抛投材料的稳定性	61
第一节 稳定的基本概念与基本形态	61
第二节 截流抛石冲距	62
第三节 截流抛投材料的起动	66
第四节 截流抛投材料的止动	69
第五节 抛投石串或混凝土体串的稳定性的稳定性	70
第六章 分流建筑物的泄水规律	76

第一节	分流建筑物的泄水特性指标	76
第二节	分流建筑物泄水特性指标的能量含义	77
第三节	几种典型分流建筑物的泄水指数	78
第七章	平堵截流水力学问题	81
第一节	平堵截流过程的水力描述	81
第二节	龙口水流水力参数变化规律	83
第三节	平堵截流水力计算	85
第八章	立堵截流水力学问题	88
第一节	立堵截流过程的水力描述	88
第二节	龙口淹没流与非淹没流的界限确定	89
第三节	龙口轴线断面水深的确定	92
第四节	龙口水流水力参数变化规律	95
第五节	立堵截流水力计算	97
第九章	双戗堤(多戗堤)、宽戗堤立堵截流水力学问题	101
第一节	双戗堤立堵截流的控制水力条件	101
第二节	双戗堤立堵截流的水力计算	103
第三节	宽戗堤立堵截流的水力特性	106
第四节	宽戗堤立堵龙口水流流速、落差及淹没界限	107
第十章	截流水力学的几个特殊问题	110
第一节	定向爆破截流水力学问题	110
第二节	截流闭气水力学问题	111
第三节	龙口抛石护底水力学问题	114

第三篇 围堰水力学

第十一章	不过水围堰水力学问题	118
第一节	围堰束窄河床段的流场分布	118
第二节	围堰下游扩散段的流场分布	121
第三节	围堰防冲与护固计算	123
第十二章	过水堆石体内非线性渗流及下游边坡沿程变量流	127
第一节	堆石体过水的水力描述	127
第二节	过水堆石体内非线性渗流	129
第三节	过水堆石体下游边坡沿程变量流	134
第十三章	过水堆石体下游边坡大块石护坡的水力稳定	137
第一节	护坡块石稳定的基本模式	137
第二节	护坡块石受力分析	139
第三节	护坡块石失稳计算	140
第十四章	过水堆石体下游坡护坡混凝土板的水力稳定	146
第一节	几种常用的混凝土护坡板的水力特性	146
第二节	作用在混凝土护坡板上的力系与失稳的基本模式	147
第三节	混凝土护坡板下垫层的水力特性分析	149

第四节 混凝土护坡板的失稳计算	150
第十五章 过水堆石体下游坡护坡铅丝笼的水力稳定	154
第一节 护坡铅丝笼失稳或破坏的基本类型与实质	154
第二节 护坡铅丝笼失稳的受力分析及最初运动过程	155
第三节 护坡铅丝笼各种可能的稳定过程及稳定条件	157
第四节 护坡铅丝笼稳定性计算	158
第五节 考虑铅丝笼弯曲过大的失稳计算	164

第四篇 施工水力学模型试验与数值模拟

第十六章 模型与原型的相似基础	169
第一节 模型与原型的相似条件与特征	169
第二节 粘性流体运动的力学相似判据	171
第三节 相似判据的分析	176
第十七章 施工水力学模型试验	184
第一节 施工水力学模型试验特点	184
第二节 施工导流模型试验	185
第三节 截流模型试验	189
第四节 围堰模型试验	193
第十八章 施工水力学数值模拟	200
第一节 施工水力学数值模拟的意义	200
第二节 数值模拟基本方法简介	201
第三节 数值模拟实例	203
主要参考文献	211

绪 论

世界上第一本有关施工水力学方面的书是苏联依兹巴斯 (С.В.Избаш) 教授所著的《施工水力学》，该书于1949年在苏联出版。接着于1959年，依兹巴斯和他的研究生又出版了世界上第一部有关截流水力学方面的书。近40年来，施工水力学发展迅速，成绩显著。

施工水力学主要包括导流水力学，截流水力学，围堰（含过水围堰）水力学等三大部分。它的显著特点是，紧密与施工期的水流相联系，研究施工过程中的水力学问题，直接为水利水电工程施工服务。它是解决施工过程中的有关水力学问题的理论基础。

导流水力学的主要研究对象是，围堰束窄河床水力学，导流堤水力学，各种导流方式的水流特性，导流建筑物单独或联合泄流规律及风险等等。开展这方面研究工作较早且有成效的有：依兹巴斯，列别捷夫，肯斯瓦特 (C.E.Kindswater)，塔西 (H.J.Tracy)，卡特 (R.W.Carter) 等人。我国武汉水利电力学院，陕西机械学院，北京水利水电科学研究院等，也进行了很有成效的研究工作。目前，导流水力学中的不同高程、不同类型导流建筑物的联合导流问题及施工期的渡汛研究，开展得较为普遍。从成果看，水力模型试验成果较多，理论研究成果较少，用电脑进行数值模拟的成果更少，是导流水力学中的薄弱环节。

截流水力学的发展较快。苏联首先提出较系统的截流基本理论与计算，但是，他们提出的主要成果是在平堵截流方面，而对全世界广泛采用的立堵截流，发表成果较少。法国、英国、巴西、加拿大、荷兰等国家，在立堵截流的某些方面，都发表过一些有价值的成果，对丰富世界截流的经验，作出了不同程度的贡献。如法国在人工抛投大块体截流方面；英国在采用宽戗堤立堵截流方面；加拿大在立堵截流过程中的龙口冲刷计算方面；巴西在大流量河道中采用双戗（多戗）堤截流方面；荷兰在潮汐海岸沉箱截流方面，都各有特色。但总的说来，国外在立堵截流方面的研究成果并不全面、系统，也不配套，理论成果尚不丰硕。我国是以立堵截流为传统的国家，具有丰富的立堵截流、堵口经验，并在立堵截流的理论研究方面，达到国际先进水平，其中有些问题，如抛石截流基本理论与计算；串体（大块石串、混凝土四面体串等）截流理论与计算；双戗堤截流理论与计算；宽戗堤截流理论与计算；截流过程中的分流规律研究；截流水力模型试验的相似理论研究等成果都达到了国际先进水平或处于国际领先水平。目前国内外应用电脑进行截流的数值模拟成果尚不多见，是今后截流项目中的主要内容之一。

围堰水力学的发展，特别是过水围堰水力学的发展速度尚不理想。不过水围堰水力学研究重点是：围堰区域的水流特性，堰脚的冲刷与护固。过水围堰水力学研究重点是：上石过水围堰过水时的流态、围堰体型，堰坡保护型式及其稳定性，溢渗流共同作用下的过水安全等问题。不过水围堰水力学方面，苏联鲁宾世钦 (Г.Л.РУБИНШТЕЙН)，列别捷夫等有过专著，他们的成果具有一定理论与实际价值，有些单位至今仍在引用它。

过水围堰水力学的研究，由于溢渗流问题的特殊复杂性及责任的重大，理论成果较少。从实践中达到的水平来看，赞比亚的卡里巴（Kariba）土石过水围堰及莫桑比克的卡博拉巴萨（Cabora Bassa）土石过水围堰，溢流单宽流量之大，堰坡护固之简易可行，都达到国际先进水平。土石过水围堰的理论计算研究方面，当推澳大利亚的罗松（J.D. Lawson）及南非的奥力沃（H. Olivier）为代表人物。我国在过水围堰水力学研究方面，起步较晚，但发展较快。诸如土石围堰下游坡过水时的大块石保护、混凝土面板保护、铅丝笼保护等的理论与实践水平，都已接近国际先进水平。在混凝土楔型板护坡方面，贵州乌江的普定大坝的土石过水围堰，1990年5月以后，多次过水，其中最大一次的过水单宽流量达到 $53\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，最大过堰流速大于 12.50m/s ，落差超过 5.4m 。贵州东风大坝的土石过水围堰，1990年6月下旬，过堰单宽流量达到 $57\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，相应过堰流速为 12m/s 。这两个土石过水围堰的实际溢流特性指标，都达到国际先进水平。

施工水力学的模型试验，我国有丰富的实践经验，但国内外对施工水力学模型试验的相似理论研究方面显得较为薄弱。主要原因之一，是施工水力学本身的基本理论欠严谨，有些问题的基本规律还不清楚，模型和原型所共同遵循的力学概念或物理方程还未统一认识，因此难于推导出公认的、符合实际的模型与原型相似的基本准则或相似判据，也就无法判定模型和原型是否相似。当然，模型试验从总的方面看，在解决施工水力学中各类问题所起的作用是不容怀疑的，但试验理论的完善、提高，也是一项艰巨、复杂、紧迫的任务。

施工水力学的数值模拟研究，国内外都很不成熟。虽然60年代已开始用电脑计算导流建筑物泄水能力，计算截流抛投材料粒径等内容，随后，又用电脑计算导流建筑物的选型及其体型优化，但目前应用数值模拟方法来解决施工水流的实际问题，不论从深度还是从广度方面看，都相差太远，更谈不上普及。造成这种局面的原因是多方面的，但思想认识上的差距是主要原因之一。不少水利施工界有识之士，对施工过程及其特点了如指掌，但是，或者没有时间，或者没有兴趣，不愿意去研究数学模型问题。而另有一些研究人员，或者没有实践经验，或者忽略了施工过程中的水流特点，提出的数学模型，偏离施工实际太远，无法引用，也就得不到反馈信息，研究成果到此告一段落。凡此种种，都直接影响到数值模拟水准的提高和普及。然而实践证明，用数学模型解决施工水力学各类问题的优越性是十分明显的，从这个意义上讲，数学模型应用于施工水力学的前景十分广阔，大有可为！

第一篇 导流水力学

施工导流一般是通过设置临时导流建筑物进行的，在有条件的地方也利用（或部分利用）永久水工建筑物来实现。在利用永久建筑物导流的时候，工程中所需要解决的水力学问题，基本上与水工水力学所研究的范围相近似；而利用临时导流建筑物实现导流任务时，施工水力学问题则较复杂，一般需要进行专门的研究^[1]。

施工导流方式按阶段可划分为初期导流和中后期导流。初期导流以围堰挡水为标志，中后期导流以坝体挡水为标志。初期导流方式大体上又可分为断流围堰河床外的隧洞或明渠导流，和分期分段围堰利用河床内束窄河床导流或底孔、底孔加预留缺口导流。中后期的导流一般是利用永久建筑物或其它综合方式来实现的。利用上述各建筑物单独或联合导流，都各有其特点，必需统筹研究。下面我们从围堰束窄河床谈起，逐个研究各建筑物单独导流的水力学问题，然后再研究联合导流的水力学问题及其施工过程中的水力计算。

鉴于导流建筑物过水能力的不确定性，实践中需要研究导流风险率问题。这是一个施工导流中较新的课题，目前国内外成果不多，将在本篇第三章中阐述一些导流建筑物过水能力风险率的基本概念及基本计算，以便引起读者对该问题的兴趣和重视。

第一章 围堰束窄河床水力学

第一节 围堰束窄河床后的水流描述

围堰一进入河床，原河道过水空间的一部分被围堰占据，河道流速必然增大，水位也相应起了变化。系统的模型试验与原型观测表明，河道被围堰束窄后的水流状况，大致可以分段描述，如图1-1所示。

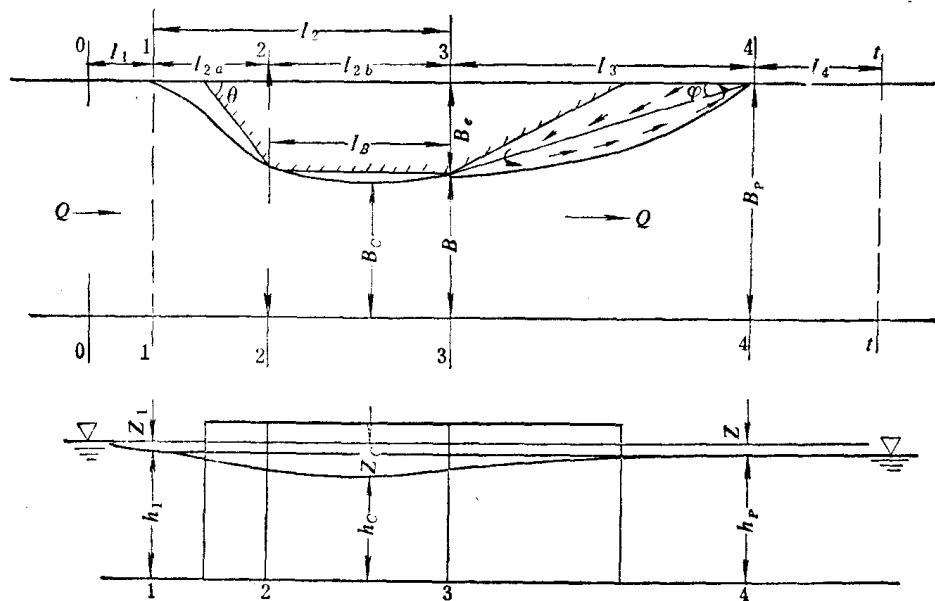


图 1-1 围堰束窄河床后的水流示意

一、壅水段 l_1

系统试验表明，在围堰上游坡脚以上一定距离开始，到上游恢复天然河道水流状态为止，水位有所壅高。壅高后的水深加大，水流势能有相应增长，水面坡降较原河道水面坡降减小，水流沿程阻力损失及局部损失也相应减小。水流的流速平面分布较均匀，一般沿流线可近似看作平行流动。由于这一段主要是将部分动能转化为势能而储蓄起来，因此又称这一壅水段为储能段。

二、束窄段 l_2

从壅水段末开始，进入围堰进口收缩段 l_{2a} ，并一直延长到水面的平面最大收缩断面处，或立面最小水深断面处为止，统称束窄段。在平面上水面宽度的最大收缩断面，与立面上水深的最大收缩断面并不一定重合，但试验证明，两者相隔距离并不太大，这主要与围堰体型、围堰材料、河床被束窄程度及河床特性等因素有关。在束窄段的水流末端，一般距围堰下游转角处不远，故工程实用计算中，将束窄段末端的终点定在围堰下游转角处，这自然是一种近似的简化假定，目的是使计算简单而又不致带来较大误差。这样处理

后,束窄段即由围堰进口收缩段 l_{2a} ,加上围堰内区收缩段 l_{2b} 组成。 l_2 段将壅水段 l_1 内储存的势能逐渐转化为动能,流速愈来愈大,水深愈来愈小,一直延伸到最小水深断面时,流速达到最大值。从平面上看,由于水流受围堰束窄影响,体型急剧变化,水流由微弯到急弯,上游围堰坡脚与岸边连接处附近产生回流区,在围堰上游转角处的临水面也产生不同程度的旋涡区,这些水流条件的变化和影响,是研究围堰坡脚冲淤及护固的主要内容之一。

三、扩散段 l_3

扩散段从围堰下游转角处开始,一直往下游延长,直到它的平均流速与水深都已接近原河道天然状态时为止。这一段的特点是,出现大回流区,延续距离长,能量损失最大。从流速与水深变化来看,因水流急剧扩散,水流平均流速沿程逐步减小,部分动能转化而成势能,水面逐渐回升。回流区与主流区交界的边界面上,由于侧向能量交换而引起的强烈紊动,损耗了大量能量,形成束窄河床后上下游落差的主要组成部分。此段结束后,经过一定距离的调整、过渡,即完全恢复到原河床的天然水流时的状态。

四、恢复段 l_4

扩散段结束,水流各主要水力参数已接近恢复到天然河床的原来状态,但因水流受扩散的影响尚未完全消除,流线仍有偏折,水流不完全符合渐变流条件,故形成一过渡带,或称恢复段。这一段的距离,从理论上很难精确计算,但从实用角度出发,工程上一般则将扩散段的终点,视作恢复段的终点,实际上就等于忽略恢复段的存在,近似认为扩散段结束,水流则基本恢复到原来天然河道的基本状态。

第二节 河床束窄程度的表达方式

围堰进入河床后,河道过水面积即被束窄,原河道过水宽度、过水面积、过水流量、平均流速等都因束窄河床而受到影响。为了表征这些重要水力参数所受影响的程度,一般用束窄度,即河床被束窄的程度来表示。它们一般用无因次的相对比值示出。于是出现了河床宽度束窄度,河床过水面积束窄度,流量束窄度,动量束窄度等等。

一、河床宽度束窄度(M)

当围堰临水面外部轮廓较整齐,河床起伏较均匀,综合糙率变化不大等条件下的平原河道,对于河道的宽度束窄影响,一般可用简单的河床宽度束窄度 M 表示。 M 定义为(见图1-1)

$$M = \frac{B_c}{B_p} = 1 - \frac{B}{B_p} \quad (1-1)$$

如果被束窄河床过水段有侧收缩时,上式则改写成

$$M = 1 - \frac{\varepsilon B}{B_p} = 1 - \frac{B_c}{B_p} \quad (1-2)$$

式中 B_p ——扩散段终点处水面宽, m;

B_s 、 B ——分别为围堰下游转角处堰内宽度及临水面宽度，m；

ϵ ——水流侧收缩系数。

二、河床过水面积束窄度(M_A)

在河床地形起伏较大，或者河床地形构造复杂，糙率变化较大等处，用河床宽度束窄度不能准确表示河床过水能力的被束窄程度影响，则应采用河床过水面积束窄度 M_A 。 M_A 定义为

$$M_A = \frac{A_s}{A_p} \quad (1-3)$$

或
$$M_A = 1 - \frac{\epsilon_A A_B}{A_p} = 1 - \frac{A_c}{A_p} \quad (1-4)$$

式中 A_p 、 A_s ——分别为原河道过水面积与围堰及基坑所占据的过水面积， m^2 ；

ϵ_A ——过水面积侧收缩系数。

三、流量束窄度(M_Q)

过水面积束窄度比宽度束窄度更能体现围堰对河床过水能力的影响，但是过水面积束窄度仍然不能直接反映围堰对过水流量的影响。在束窄河床水力计算中，经常要计算被束窄河道的过水能力、流速及落差等水力因素，这时利用流量束窄度则较方便。流量束窄度定义为

$$M_Q = \frac{Q_s}{Q} \quad (1-5)$$

或
$$M_Q = \frac{A_s C_s \sqrt{R_s}}{A_p C_p \sqrt{R_p}} \quad (1-6)$$

式中 C 、 R ——分别表示各不同断面的谢才系数及水力半径，m；

其余符号见图1-1。

四、动量束窄度(M_K)

上面已经提到，束窄河床过水时，往往遇到过水面积有侧收缩的状况，这时过水能力的计算中，必须考虑侧收缩系数影响。根据一些系统的试验资料^[28]，侧收缩系数与动量束窄度有函数关系，在大多数情况下并呈现线性关系。因此通过动量束窄度 M_K ，可以求出侧收缩系数的值，从而简捷地计算出被束窄河道有收缩影响下的过水能力。另外，在推求水流动量时，利用动量束窄度则较为方便。动量束窄度定义为

$$M_K = \frac{\rho Q_s v_s}{\rho Q v_p} = M_Q \times \frac{Q_s / A_s}{Q / A_p} = \frac{M_Q^2}{M_A} \quad (1-7)$$

当水流进入围堰上游坡脚范围内，水流受围堰束窄影响的程度，必然与围堰夹角 θ （见图1-1）有关，这时上式则可改写为：

$$M_K = \frac{\rho Q_s v_s \sin \theta}{\rho Q v_p} = \frac{M_Q^2}{\rho Q v_p} = \frac{M_Q^2}{M_A} \sin \theta \quad (1-8)$$

系统的试验表明，侧收缩系数与 M_K 的函数关系可用下列诸式表达。

当围堰上游的转角成锐角，并成尖锐状时，

$$\varepsilon = 1 - 0.6M_K \quad (1-9)$$

当围堰上游的转角被修圆后,

$$\varepsilon = 1 - 0.25M_K \quad (1-10)$$

以上两式大体适用于较宽阔的平原河道, 具体试验条件为: 单侧束窄河床, $M_A = 0.2 \sim 0.6$, 纵向围堰长度与束窄河床后的过水宽度之比 $l_B/B = 0.75 \sim 2.0$ (见图1-1), θ 角为 $30^\circ \sim 90^\circ$, 围堰区水流弗氏数一般在0.7以下, 超过0.7后要进行修正。

第三节 束窄河道的过水能力

被束窄的河道流量 Q , 通过对断面1-1和C-C列能量方程解得 (见图1-1), 其表达式如下

$$Q = \mu B h_c \sqrt{2g \left(z_c - h_{1c} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right)} \quad (1-11)$$

其中

$$\mu = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\alpha_c + \lambda_{1c} + \alpha_p}} \quad (1-12)$$

式中 B ——河道被束窄后的过水宽度, 在有侧收缩情况下, B 为有效宽度 εB ;

h_{1c}, λ_{1c} ——分别为断面1-1到断面C-C之间的沿程损失及局部阻力系数;

α_1, α_c ——分别为断面1-1与C-C的动能修正系数;

α_p ——计及C-C断面的非静水压力校正系数;

μ ——束窄河道的流量系数。

一般情况下, $h_{1c}, \alpha_1 v_1^2/2g$ 的值均较小, 若忽略不计, 则上式可改写为

$$Q = \mu B h_c \sqrt{2g Z_c} \quad (1-13)$$

在式 (1-12) 中, 若忽略 λ_{1c} 不计, 并取

$$\alpha_c = \alpha_p = 0.8 \sim 0.9$$

则有

$$\mu = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1.6 \sim 1.8}} = (0.8 \sim 0.75) \varepsilon \quad (1-14)$$

ε 值的计算, 可以考虑用实测统计资料或公式 (1-9) 及式 (1-10) 计算。当无实测资料时, 可参考下列试验值。当河道为单侧束窄, ε 可近似取 $0.8 \sim 0.9$; 若为两侧束窄时, 并用大块石或人工大块体形成戽堤束窄河床, 则 ε 值应减小到 0.70 左右。

同上方法, 如果对断面1-1和4-4 (见图1-1) 列能量方程, 则可解得 Q 的又一表达式为:

$$Q = \mu_* A_p \sqrt{2g Z} \quad (1-15)$$

式中 Z ——上下游水位差, m;

μ_* ——化引流量系数, 其计算详见本章第五节。

下面先讨论流量系数 μ 的确定, 然后再研究化引流量系数 μ_* 的计算。

1953年肯斯瓦特等人在研究桥梁壅水的基础上, 发表了计算流量系数的系统资料^[36, 35]。1957年列别捷夫又在上述作者研究的基础上, 进一步研究了围堰束水后的水力计

算, 提出了流量系数 μ 值的表达式^[31], 即

$$\mu = \mu_s \sigma_L \sigma_r \sigma_{Fr} \sigma_e \quad (1-16)$$

式中 μ_s ——标准条件下的流量系数;

σ_L ——围堰顺流向相对长度 l_B/B 的影响校正系数;

σ_r ——围堰上游临水面转角处圆角半径 r 与 B 的比值影响校正系数;

σ_{Fr} ——弗氏数影响校正系数;

σ_e ——不对称束窄的校正系数。

下面逐一讨论上式中的五个系数:

1. μ_s

μ_s 的标准条件是: 围堰边壁垂直, 直角进口, 两边对称束窄河床, $l_B/B \geq 1.05$, 束窄段水流 $Fr = 0.25$ 。在这样的标准条件下, 当 $M_Q = 0.20 \sim 0.85$ 时, μ_s 可按下式计算

$$\mu_s = 1.06 - 0.31 M_Q \sin \theta \quad (1-17)$$

$$\theta = 30^\circ \sim 90^\circ$$

2. σ_L

σ_L 的取值与 l_B/B 有密切关系。

当 $l_B/B \geq 1.05$ 时,

$$\sigma_L = 1$$

$0 \leq l_B/B < 1.05$ 时,

$$\sigma_L = 0.77 + 0.22 \frac{l_B}{B} \quad (1-18)$$

3. σ_r

σ_r 的取值, 与围堰上游转角处 r/B 的比值及 M_Q 值有密切关系。根据图 1-2 的曲线, 即可计算出或直接查出 σ_r 值。

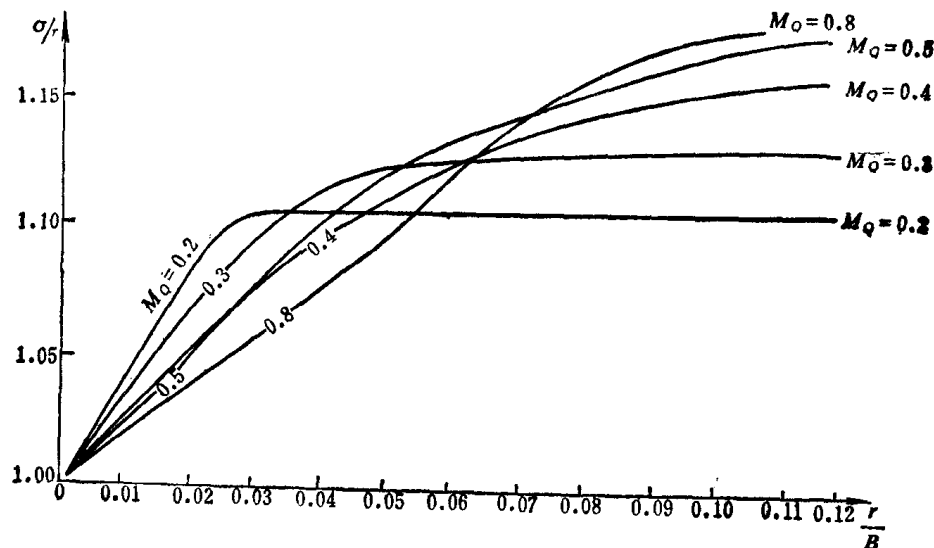


图 1-2 $\sigma_r = f(M_Q, r/B)$ 曲线图

4. σ_{Fr}

σ_{Fr} 的取值, 与河道束窄段水流的弗氏数有密切关系。当 $Fr \leq 0.7$ 时, σ_{Fr} 值可用下式

计算

$$\sigma_{Fr} = 0.92 + 0.32Fr \quad (1-19)$$

式中 $Fr = \frac{v^2}{gh}$.

5. σ_s

σ_s 是考虑河道被两侧不对称束窄条件下的修正值, 显然, 当两侧对称束窄时, 则 $\sigma_s = 1$; 当为单侧束窄时, σ_s 一般可取值为 0.95.

有些有经验的施工人员, 在作施工水力学计算时, 不具体考虑影响 μ 值的诸因素, 而是笼统地估计一个 μ 值, 有时误差也不一定很大; 但在较复杂的施工条件下, 尤其对一个无经验的施工人员来说, 还是按照公式计算比较符合实际些.

第四节 下游扩散段的回流区

被束窄河道水流行至纵向围堰末端, 立即进行扩散. 这种骤然的扩散或者逐步进行的扩散, 是导流水力学中经常遇到的问题之一, 必需认真加以解决. 下面从水体微团运动谈起, 逐步展开到扩散段的回流区.

一、水体微团运动的基本形式

从流体力学液体微团运动的基本形式中, 可以写出表示液体微团基本运动形式的关系式

平移速度

$$u_x, u_y, u_z$$

线变率

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ \varepsilon_{yy} &= \frac{\partial u_y}{\partial y} \\ \varepsilon_{zz} &= \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1-20)$$

角变率

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \\ \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) \\ \varepsilon_{zx} = \varepsilon_{xz} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-21)$$

角转速

$$\left. \begin{aligned} \omega_x &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \\ \omega_y &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) \\ \omega_z &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-22)$$

式中 ε_{xx} 、 ε_{yy} 、 ε_{zz} ——分别为液体微团在 x 方向、 y 方向、 z 方向的单位时间、单位长度的线变形（简称线变率）；

ε_{xy} 、 ε_{yz} 、 ε_{zx} ——分别为液体微团在 xoy 平面上、 $yo z$ 平面上、 zox 平面上的单位时间角变形之半，即角变形速率之半，简称角变率；

ω_x 、 ω_y 、 ω_z ——分别为液体微团绕 z 轴（垂直于 xoy 平面）、 x 轴（垂直于 $yo z$ 平面）、 y 轴（垂直于 zox 平面）的角转速。

现在把流场中邻近两点速度的变化关系组合起来。设流场任一点 A 的流速分量为 u_{xA} 、 u_{yA} 、 u_{zA} ，距 A 点 ds 处某点流速分量为 u_x 、 u_y 、 u_z ，则有

$$u_x = u_{xA} + du_x$$

$$u_y = u_{yA} + du_y$$

$$u_z = u_{zA} + du_z$$

将 du_x 展开成泰勒级数，则有

$$du_x = \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} \right)_A dx + \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} \right)_A dy + \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} \right)_A dz$$

$$\begin{aligned} \text{或 } u_x &= u_{xA} + \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} \right)_A dx + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial x} \right)_A dy + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right)_A dy \\ &+ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \right)_A dz + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right)_A dz \end{aligned} \quad (1-23)$$

将式（1-20）、式（1-21）、式（1-22）等，代入式（1-23）则得

$$\left. \begin{aligned} u_x &= u_{xA} + \omega_z dz - \omega_y dy + \varepsilon_{xx} dx + \varepsilon_{xy} dy + \varepsilon_{xz} dz \\ u_y &= u_{yA} + \omega_x dx - \omega_z dz + \varepsilon_{yy} dy + \varepsilon_{yz} dz + \varepsilon_{yx} dx \\ u_z &= u_{zA} + \omega_y dy - \omega_x dx + \varepsilon_{zz} dz + \varepsilon_{zx} dx + \varepsilon_{zy} dy \end{aligned} \right\} \quad (1-24)$$

由式（1-24）可知，各式右边第一项均为平移速度；第二、三两项均为转动产生的速度增量；第四项为线变形速度增量；第五、六两项为角变形速度增量。综上所述，流场中任意点的流速，一般可以认为由平移、转动及变形三部分所组成，尤其在下游扩散段的水流，主要是转动影响液体性质。下面将从宏观上进一步对扩散段水流特性作些分析。

二、扩散段水力特性简析

围堰束窄河床后的下游扩散，大多属于缓流扩散。根据纵向围堰与横向围堰连接处的具体情况，又可分为骤然扩散与逐渐扩散。在施工过程中，由骤然扩散而伴生的旋涡对围堰、岸坡及河床的冲淤影响，是研究的重点。