

铁路既有线桥渡水文检算

中国铁路总公司运输局工务部 组织编写



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路既有线桥渡水文检算

中国铁路总公司运输局工务部 组织编写

中国铁道出版社

2016年·北京

内 容 简 介

既有线桥渡水文检算是铁路工务部门一项重要的基础性工作。为指导铁路工务部门相关技术管理人员做好既有线桥渡水文检算工作,中国铁路总公司运输局工务部组织编写了本书。本书分十二章,介绍了水力学、水文学、河流、地理信息基础知识,桥渡水文检算中资料收集、测绘、调查方法和检定流量计算,孔径、冲刷检算和浅基防护计算,其中列举了12个铁路既有线桥渡水文检算实例。

本书可供桥渡水文检算技术、管理人员参考使用,对正确开展桥渡水文检算工作具有一定的指导意义,从而保障铁路运输安全。

图书在版编目(CIP)数据

铁路既有线桥渡水文检算/中国铁路总公司运输局
工务部组织编写. —中国铁道出版社,2016.8

ISBN 978-7-113-21787-7

I. ①铁… II. ①中… III. ①铁路桥—桥涵工程—水文计算—研究 IV. ①U442.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 105945 号

书 名: 铁路既有线桥渡水文检算
作 者: 中国铁路总公司运输局工务部 组织编写

责任编辑: 张 婕 编辑部电话: (021) 73141 电子信箱: crph_zj@163.com

封面设计: 王镜夷

责任校对: 焦桂荣

责任印制: 陆 宁 高春晓

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 中国铁道出版社印刷厂

版 次: 2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 17.75 字数: 432 千

书 号: ISBN 978-7-113-21787-7

定 价: 70.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010) 51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010) 51873659,路电(021) 73659,传真(010) 63549480

前 言

我国河流以多沙易变称著于世。20 世纪初修建铁路桥梁时,没有确切的桥渡冲刷计算办法,基础埋深根据河流特征、河床土质和施工能力凭经验确定。新中国成立之初,采用前苏联的桥渡冲刷计算方法,由于其计算方法不完善,且不能反映我国河流的演变特性,特别是多沙易变河流的冲淤变化规律,致使桥渡洪水灾害时有发生。桥渡水害困扰铁路安全生产,严重影响铁路运输秩序,甚至危及旅客生命和财产安全。

20 世纪 60 年代初开始,我国铁路和公路的相关部门共同协作,开展了大规模的桥渡水文调查、观测和试验研究工作。相继提出了桥渡冲刷计算公式、桥渡壅水计算公式,小流域洪峰流量计算办法;对大颗粒、岩石、分层土壤等河床冲刷也开展了相关调查、试验研究,并取得相应科研成果,对桥渡冲刷的认识水平明显提高,上述各项计算方法都是我国科技工作者自主创建的优秀成就。20 世纪 80 年代中期以后,辅于桥梁深基础施工能力的大幅度提升,修建的铁路桥梁、桥渡抗洪能力总体上得到明显提高。

随着国民经济的持续高速发展,灾害性天气常态化趋势明显,人为活动对桥渡水文的影响也是惊人的。遭受乱砍伐、乱开荒的流域,发生小范围的暴雨就可能导致超历史记录的洪水,损毁铁路、道路,甚至村镇。植被破坏导致汇流流量成倍或是几十倍的增加,而正常情况下万年一遇流量也只是百年一遇流量 1.5~4.0 倍。乱砍伐、乱开荒、非法采砂、尾矿弃渣淤积等人为活动和地震等自然灾害给铁路桥渡安全带来了严峻的考验。

河流变化十分复杂,桥涵水害原因多种多样,为有效防止水害,首先应对河流演变,特别是多沙易变河流的冲淤变化规律有较准确的认识,才能把握水害原因;其次要不断收集、积累水害资料,认真分析总结,科学论证,提出针对性对策和防治方法。

既有线桥渡水文检算是铁路工务部门一项重要的基础性工作。为指导铁路工务部门相关技术管理人员做好既有线桥渡水文检算工作,中国铁路总公司运输局工务部组织编写了《铁路既有线桥渡水文检算》一书。全书分十二章,介绍了水力学、水文学、河流、地理信息基础知识,桥渡水文检算中资料收集、测绘、调查方

法和检定流量计算,孔径、冲刷检算和浅基防护计算,最后列举了 12 个铁路既有线桥渡水文检算实例。本书编写的目的是帮助桥渡水文检算技术、管理人员,特别是初次做水文检算的人员把握好桥渡水文检算所依据的原理、规范、公式及其运用中的关键性要求,弄清可能比较难以理解的概念,掌握检算中迫切需要的求解途径,从而正确开展桥渡水文检算工作,以保障铁路运输安全。

本书由王进军、刘书胜主编,张佰战、李付军、戴荣尧、杨梦蛟、胡勇、刘希伟、刘椿主审。参加编写工作的人员有王进军(第一章至第四章、第六章至第十一章、第十二章之一至三)、刘书胜(第五章、第十二章之四至六)、李俊(第十二章之七)、张明(第十二章之八)、陈学民(第十二章之九至十)、刘木林(第十二章之十一)、侯云芳(第十二章之十二)。玄永振承担了大量的描图工作,在此一并致谢。

作者
2016 年 1 月

目 录

第一章 桥渡水文检算概述	1
第一节 桥渡的组成与作用	1
第二节 洪水对桥渡的危害	1
第三节 桥渡水文检算的内容和意义	2
第四节 桥渡水文研究内容、方法及学科基础	3
第二章 水力学基础知识	5
第一节 水流运动描述	5
第二节 水流运动的基本方程	8
第三节 明渠流水力计算	13
第四节 堰流水力计算	20
第三章 水文学基础知识	23
第一节 降水和径流	23
第二节 水文统计	26
第三节 单位线法暴雨径流计算	36
第四章 河流基础知识	45
第一节 河流及流域	45
第二节 河流分类及特性	47
第三节 河道洪水的补给	56
第五章 地理信息基础知识	58
第一节 地形图的基本知识	58
第二节 地形图的分幅和编号	67
第三节 地形图的应用	70
第六章 桥渡水文检算的一般规定	73
第一节 检定洪水频率标准	73

第二节	桥涵净空高度	74
第三节	桥头路堤高程	75
第四节	基础埋深	75
第七章	水文检算资料收集调查和测绘	77
第一节	桥涵资料收集调查	77
第二节	桥址河段河道断面测量	78
第三节	桥址河段水文观测	80
第四节	桥址区域地形图收集和流域调查	84
第五节	历史洪水形态调查与计算	85
第六节	水库情况调查	92
第八章	检定流量的计算方法	98
第一节	根据实测流量资料推求检定流量	98
第二节	根据调查的历史洪水资料推算检定流量	105
第三节	根据雨量资料推算检定流量	108
第四节	地区经验公式法	122
第五节	桥址上游有水库时检定流量的计算	122
第九章	桥涵孔径检算	126
第一节	大中桥孔径检算	126
第二节	小桥孔径检算	132
第三节	涵洞孔径检算	134
第四节	一河多桥孔径检算	136
第五节	桥涵最大安全泄洪流量 $Q_{\text{泄洪}}$ 的推求	138
第十章	桥渡冲刷检算	141
第一节	概 述	141
第二节	一般冲刷检算	142
第三节	局部冲刷检算	149
第四节	大颗粒河流桥渡冲刷	153
第五节	岩石河床冲刷	165
第十一章	桥梁浅基防护计算	167
第一节	整孔防护计算	167
第二节	局部防护计算	168

第十二章 既有线桥梁水文检算实例.....	171
附录 A 糙率表	259
附录 B 墩形系数表	261
附录 C 堰流公式表	268
附录 D 水深 1 m 时非黏性土不冲刷流速 v_{H1}	270
附录 E 容许(不冲刷)流速表	271
附录 F 桥梁浅基各种防护类型容许最大流速表	274
参考文献	275

第一章 桥渡水文检算概述

第一节 桥渡的组成与作用

桥渡指由跨越河流的桥涵建筑物和为了引导水流顺畅通过桥涵所修建的导流防护建筑物以及连接桥涵的河滩路堤共同组成的综合体。它们彼此之间相互联系,往往会因某一处布置不当而影响其他,因此在设计和运营中都要按一个整体来考虑,如图 1—1 所示。桥渡布设要根据不同河段特点,结合地形、地貌等自然条件,结合城镇、站场的排水设施,同时也要与农田水利、水陆交通和周围的环境保护等相配合,组成一个完整的排水系统,顺畅地排泄洪水,所以桥渡是宣泄洪水极为重要的过水建筑物。

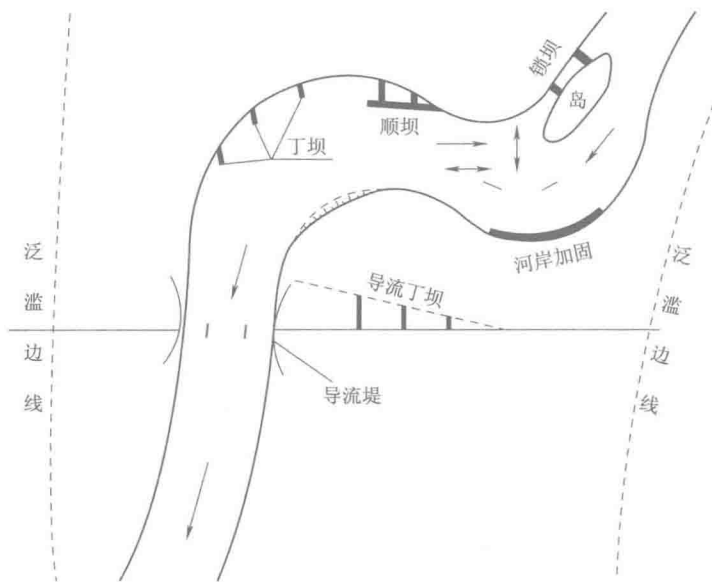


图 1—1 桥渡布置示意

第二节 洪水对桥渡的危害

铁路是国民经济的大动脉,随着国民经济的不断发展,铁路担负的运输任务日益繁重。但是每年汛期,各类水害对铁路正常运输构成威胁,特别是桥渡水害。其特点是事件的发生多突发性、对运输安全危害大,甚至危及旅客人身安全,抢险和修复都比较困难,经济损失大。据统计,2000 年以来 15 年间,铁路水害断道累积 1 844 次,年平均 123 次;断道时间累积 16 366 小时,年平均 1 091 小时;直接经济损失累积 342 亿元,年平均 23 亿元;年水害事故 3.7 件。现

列举 2000 年以来部分桥渡水害的情况如下:

2000 年 7 月 13 日,襄渝线学堂沟桥因河水暴涨,被泥石流冲毁,河床被冲刷出 13 m 深的深沟,中断行车 167 小时。

2001 年 8 月 3 日,受“桃芝”台风的袭击,蓝烟线外夹河大桥 1 号墩因洪水冲刷发生倾斜,造成第一孔梁坠落,桥梁重建。

2001 年 8 月 4 日,东莱线东泉河大桥 2、4 号墩因洪水冲刷倾斜报废,中断行车 4 个月。

2002 年 6 月 9 日,陇海线瀾河暴发洪水,瀾河桥 1~5 号墩冲垮,第 1~6 孔梁坠落,造成陇海线双线中断,桥梁重建。

2002 年 7 月 22 日,林密线多座桥梁基础被洪水冲毁,中断行车 24 小时。

2005 年 9 月 20 日,陇海线磨沟河水暴涨,泥石流暴发,下行磨沟桥 2 号桥墩折断倾斜 30°,中断行车 50 小时。

2007 年 8 月 18 日,东莱线 K36+283、K41+184 桥桥墩基础,因洪水冲刷严重,中断行车 33 小时。

2008 年 6 月 28 日,集通线沙力河大桥第 5 号桥墩,因洪水冲刷造成墩顶最大倾斜位移达 2 m,中断行车 178 小时。

2010 年 8 月 19 日,宝成线下行石亭江大桥,因上游连续大到暴雨,河床冲刷,5、6 号墩倒塌,7 号墩倾斜,桥上 K165 次列车第 15、16 号车体坠入江中,线路中断,桥梁重建。

2011 年 6 月 3 日,滨洲线下行 K366+550 小桥被洪水冲毁,中断行车 30 小时。

2011 年 7 月 25 日,集通线 K263+939 桥台被洪水冲毁,中断 59 小时。

2013 年 8 月 16 日,沈吉线 K76~K139 间,洪水冲毁桥涵 4 座,损毁路基 20 km,中断行车 281 小时。

2014 年 7 月 8 日,白阿线连降大暴雨,新开河河水暴涨,K42+280 桥白城侧桥台、1 号墩冲毁,第 1、2 孔梁坠入河中,中断行车 54 小时。

第三节 桥渡水文检算的内容和意义

水害的现实教训是深刻的,人们不得不在水害发生后进行反思,进而弄清桥渡的抗洪能力。为此作为工务技术人员必须了解桥渡水文检算的内容。

(1)既有桥渡布局是否合理,河床演变对桥渡有什么影响,还有上游水库、塘坝一旦溃坝和超量泄洪以及大河倒灌对桥涵的影响等。

(2)桥梁、涵渠、渡槽等孔径及净空是否满足要求,冲刷后的基础埋深是否安全等。

(3)导流体、丁坝及河床防护铺砌等治河设施实际效果和作用及安全度。

(4)桥涵两侧线路路基标高是否满足防洪标准,即使满足设计洪水下的标高,而路基强度能否抵御暴雨或洪水的冲刷、浸泡,路基边坡抗溜坍、坍塌的稳定性能如何。

对以上建筑物必须作为一项专题进行抗洪能力检算,这是科学防洪的基础性要求,也是水文检算的全部内容。

自然灾害是无法避免的,它将伴随着人类社会的始终。自然灾害的发生具有固有的周期性,洪水总是要到来的,说不定就发生在明天。如果水毁后照原样复旧,那总是处于被动局面,或是水害过后亡羊补牢,已为时晚矣。所以桥渡水文检算工作是确定设备技术状态,为设备管

理提供依据的一项重要的基础性技术工作,对于设备管理、减少灾害损失起着重要作用。如果水文工作做好了,对设备的抗洪能力做到心中有数,采取有效防范措施,就可以减少灾害损失。

铁路防洪的根本目标就是确保汛期行车安全,铁路防洪的根本出路就是提高设备本身的抗洪能力,而桥渡水文检算正是确定设备抗洪能力、制定防灾减灾措施和汛期设备运用条件的技术依据,如制定铁路防洪预案,确定桥渡警戒水位、警戒雨量等。

第四节 桥渡水文研究内容、方法及学科基础

一、桥渡水文研究内容

水文是指自然界中水的变化、运动的各种现象。水以各种不同的形态存在于自然界中,地球上的水因受太阳辐射和地力吸引的作用而不断运动,表现形式为蒸发、降雨、渗流与径流,这种运动现象称为水象。水象是依次而且连续进行的,在自然界中形成一个水象循环。水文学就是研究水象循环中水体分布、运动和变化规律,以及水与环境相互作用的一门科学。

铁路在跨越河流时,就要建造水工建筑物,这些建筑物按使用性质而有所不同。通常使水流通过路堤的方法有桥梁和涵洞,当水量不大时,也可采用明渠和透水路堤。而当水流通过路堑时,则常用倒虹吸管与高架水槽。若当铁路通过较宽的江河、湖泊和海洋时,根据技术、经济和国防的要求,可以修建河底隧道、轮渡和水中筑堤,在极为寒冷的地区,甚至可用冰渡的跨越方式等。其中桥梁与涵洞是铁路上最常用的过水建筑物,讨论与桥涵有关的水文分析与计算,称之为桥渡水文。桥渡水文的研究内容见表 1—1。

表 1—1 桥渡水文研究内容

序号	研究内容
1	桥渡特征:桥渡建筑物平面布置,几何形状,桥梁孔跨,桥梁长度,桥梁墩台结构形式与尺寸,梁底高程,墩台基础埋深,桥梁与水流流向的斜交角度等
2	水流运动:水量分配、纵剖面与横断面的形状变化,能量转化与损失,剪力与流速分布,环流、回流与漩涡强度和范围
3	桥址河段:泥沙运动规律,冲刷与淤积位置、大小和强度,河床演变过程、速度和趋势,变形预报方法
4	相关工程:已有桥梁、闸、坝、堤、水库、取水工程、水力输送管道和高压电线跨河工程,航道、河港、环卫、渔业与城市防洪工程对桥梁安全影响论证
5	研究制定设计及检定规范、标准、细则、规程、计算公式、计算图表等
6	运营管理:对已有桥渡建筑物进行检定、加固,制定日常养护维修计划、防洪预案等
7	防洪抢险:制定防洪抢险措施

二、桥渡水文研究方法

- (1)野外调查和观测;
- (2)水工模型试验,包括整体模型、局部模型;定床模型、动床模型;
- (3)数值模拟:一维数模、二维数模、三维数模;
- (4)综合评估分析:结合调查观测资料、模型试验、模拟计算,提出综合评估结论。

三、桥渡水文学科基础

- (1)水力学和工程流体力学；
- (2)河床演变理论与泥沙工程学；
- (3)工程水文学；
- (4)工程地质和水文地质学；
- (5)水利工程和治河工程；
- (6)防护工程学；
- (7)工程数学和计算数学；
- (8)概率论；
- (9)桥渡设计理论；
- (10)水资源利用和规划；
- (11)河工模型试验理论；
- (12)河流动力学；
- (13)海岸动力学；
- (14)土力学。

第二章 水力学基础知识

第一节 水流运动描述

一、总流、元流(微小流束)与流线

我们常看到,水在自来水管中流动(称有压管流)和水在河渠中流动(称无压明渠流),这种有一定边界尺寸和相当大小的实际水流,在水力学中便称为总流。

总流可以认为是由许多微小流束(也称元流)组成,而微小流束则可视为一束流线所围成。当微小流束的面积 $\Delta\omega$ 无限缩小趋近于以零为极限时,该微小流束就是流线。可见,流线是组成总流的最基本部分。

为了分析水流运动,常用流线来描绘水流运动的图象,现举一桥墩挡水实例来说明,如图 2—1(a)所示。在桥墩模型上游连续不断地撒木屑,木屑被水流带动流经桥墩,如果在某一瞬间,把正在流动的、连续撒下的木屑用照相机拍摄下来,就得到如图 2—1(a)所示的曲线,这一曲线清晰地反映出同一瞬间水流运动的方向。水力学中把这些从实际水流现象中概括出来的,可以反映液体运动方向的线称流线。为了正确应用流线,下面分析流线的性质。

由于流线是表示各质点在某一瞬间流动方向的一条线,因而在这条曲线上某一点的瞬时流速方向与这条曲线相切,如图 2—1(b)所示。对于某一瞬间,在流线上只可能有一个速度向量,因此流线不会相交,同时流线也不可能有折角,也不可能有折转,只能是一条平滑的曲线。

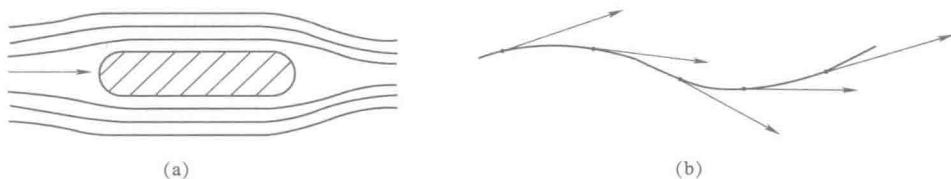


图 2—1 用流线来描绘水流运动的图象

有了流线的概念,就可以用它来描绘水流运动。图 2—2 为描绘水流运动的图象,其中图 2—2(a)为等直径的管流,它的流线是一组平行而顺直的流线。图 2—2(b)为有压涵洞流线,在进洞前和进洞后流线都较为平行顺直(前者流线稀疏说明流速较小,后者流线紧密说明流速加大),而在即将进洞前,由于水流受到严重挤压,流线急剧弯曲,形成 a、b、c 流线形状。

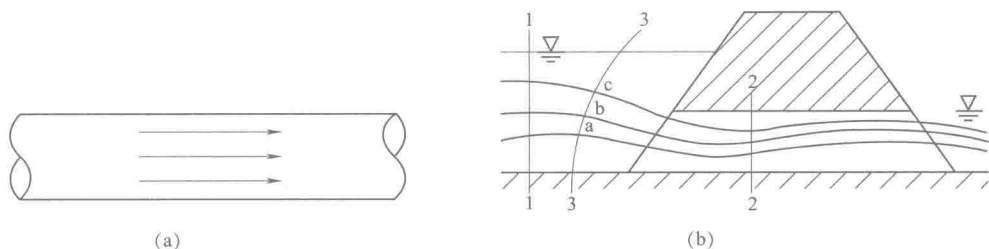


图 2—2 水流运动

二、过水断面、流量与平均流速

(一) 过水断面

在元流或总流中,与所有流线相垂直的横断面称过水断面,如图 2—2(a)中任取一过水断面均为平面,图 2—2(b)中 1—1、2—2 断面为平面,而在洞口处的 3—3 断面,因必须与流线垂直而成为曲面了。

过水断面符号用 ω (微小流束用 $d\omega$) 表示,单位为 m^2 。

(二) 流量与平均流速

流量是指单位时间内水流通过某一过水断面的体积,总流的流量用 Q 表示,元流的流量用 dQ 表示,单位均为 m^3/s 。流量是衡量水流大小(一般称通过能力或过水能力)的重要指标。

对某个过水断面而言,水质点在单位时间内通过该断面的距离称为点流速,以 u 表示,单位为 m/s ,它实际为微小流束的流速。根据流量的定义,取微小流束面积为 $d\omega$,因其非常小,其上各点的流速 u 可以认为是相等的,故得元流的流量为 $dQ = u d\omega$,则总流的流量为 $Q = \int_{\omega} dQ = \int_{\omega} u d\omega$ 。

由于水粘滞性的影响,水流过水断面上各点的流速并不相等。图 2—3 为实测管流与明渠流过水断面上点流速分布图,显然用点流速进行流量计算是复杂的。实际工程中,为了计算方便,常用断面平均流速来描述水流运动。

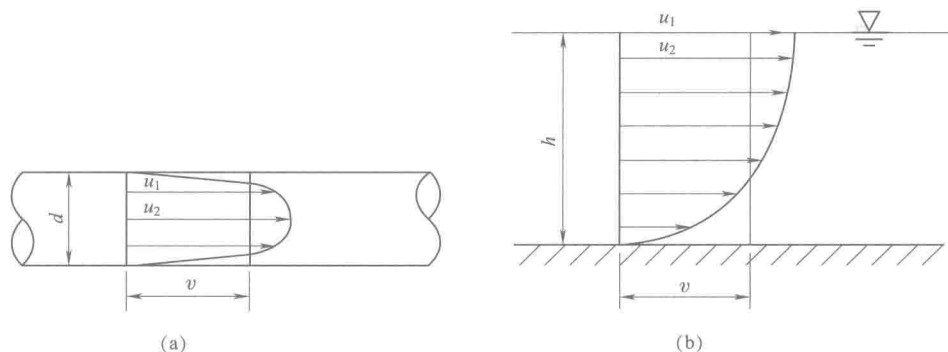


图 2—3 实测管流与明渠流过水断面上点流速分布

断面平均流速用 v 表示,它是断面中各质点流速 u 的平均值,这样流量的计算公式就可以简化为:

$$Q = \omega v \text{ 或 } v = \frac{Q}{\omega} \quad (2-1)$$

式中 Q ——流量(m^3/s);

ω ——过水断面面积(m^2)

v ——断面平均流速(m/s)。

三、水的恒定流动与非恒定流动

为了研究水流的运动规律,首先要对水流的运动形态有一个总体认识。按水流运动要素(压强与流速等)与时间的关系,水流的运动形态可分为恒定流动与非恒定流动。

1. 恒定流

水流运动要素不随时间变化,仅与所在位置有关,这种水流运动称为恒定流。

2. 非恒定流

水流运动要素不仅与空间位置有关,而且还随着时间的变化而变化,这种水流运动称为非恒定流。

自然界中稳定是相对的,不稳定是绝对的,但是非恒定流会给研究带来许多困难。为此给予一定的条件,使水流保持稳定。例如给水箱安设溢流管,并保证水泵不停地供水,这样水流即保持稳定。再如洪水涨落通过桥涵时为非恒定流,但可以认为最大洪峰通过桥涵的那一段时间的水流将保持稳定,并以此作为设计的依据,这样就可以把研究的问题归结在恒定流的范围内。因此一般水流运动均视为恒定流。

四、恒定流的类型

1. 按水流接触周界的情况,水流运动分为有压流和无压流。

(1)有压流:水流沿流程的各过水断面周界与固体表面接触而无自由表面,这种水流称为有压管流或管流。有压管流受压差作用而流动,动水压强沿流程而变化,通常大于大气压强,但有时也小于大气压强。给水管路与有压涵管即为有压流。

(2)无压流:水流沿流程的各过水断面部分周界与固体表面接触,其余部分周界与大气相接触具有自由表面,这种水流称为无压流或明渠流。无压流受重力作用而流动,也称重力流。河流中的水流与无压涵管的水流均属此类。

2. 按水流流速是否沿程变化,可将水流分为均匀流和非均匀流。

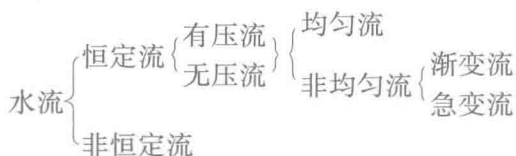
(1)均匀流:称等速流,指水流运动中各过水断面上的流速(大小和方向)沿流程不变。其基本特征为流线顺直平行,与流线垂直的过水断面为一个平面,没有惯性力,过水断面大小沿程不变。故在均匀流同一过水断面上,动水压强的分布规律是一个仅与重力有关的静力学问题,与静水压强分布规律相同。

(2)非均匀流:也称变速流,指水流运动中的各过水断面上的流速沿程变化,流线呈彼此不平行的直线和曲线。按非均匀流流线的曲直(流线方向变化急缓)程度或流线间夹角的大小,将非均匀流分为急变流与渐变流。

①急变流水流流线为曲线,且曲率较大或流线间夹角较大,流线上各点流速的大小或方向有剧烈变化,多发生在局部地区(如拐弯、断面突然扩大或缩小等)。因急变流的流线是弯曲的,从力学观点看,作用在质点上的力,除重力外还有离心力,故动水压强的分布规律与静水压强分布规律不同。

②渐变流水流流线为近似平行直线或虽弯曲但曲率不大。由于渐变流的流线近似顺直平行,故略去惯性力,则可近似认为过水断面上动水压强分布规律是一个仅与重力有关的静力学问题,也就是说与静水压强分布规律相同。

为了避开复杂的水流惯性力,以便简化水流问题,一般取均匀流与渐变流的断面作为讨论的对象。各类水流相互间的关系如下:



第二节 水流运动的基本方程

水流运动的三大方程——连续性方程和能量方程和动量方程,是水力学分析水流运动规律的重要工具。

一、恒定流的连续性方程

水作为不可压缩的连续介质,与其他运动物质一样,也必然遵循质量守恒定律,水流运动的连续性方程式就是质量守恒定律在水力学中的表达式。

$$\omega_1 v_1 = \omega_2 v_2 = Q = \text{常数}$$

$$Q_1 = Q_2 \quad (2-2)$$

式(2-2)为水恒定流总流的连续性方程。表明在恒定流条件下,通过两个断面的流量相等(即流量沿程不变),是对水流运动的定量分析;两个断面平均流速之比等于相应两个断面面积的反比。

水恒定流总流的连续性方程形式很简单,但在实践中被广泛应用,是水力学中三大基本方程式之一。

二、恒定流的能量方程(伯努里方程)

(一)过水断面内水流能量的表现形式

无论是管流还是明渠流,每一个过水断面上单位重($G=mg$)的水流是有能量的,这一能量表现在以下几个方面(图 2-4)。

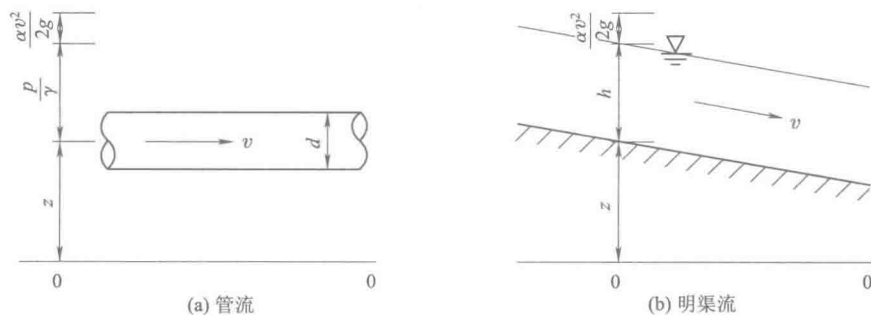


图 2-4 过水断面内的水流能量

1. 单位重液体($G=mg$)对基准面 0-0 有一位置高度 z ,因而称断面内单位重水流 G 由

于位置高度 z 而具有位能 ($Gz = mgz$), 而单位重水流所具有的位能为 $\frac{mgz}{G} = \frac{mgz}{mg} = z$, 高度 z 表示能量的大小, 称位置水头。

2. 由于压强 $p = \gamma h$ (或 $h = \frac{p}{\gamma}$) (其中, γ 为液体容重; h 为液体高度) 所产生的能量称压能 ($Gh = \frac{mgp}{\gamma}$), 而断面内单位重水流 G 所具有的压能为 $\frac{mg \frac{p}{\gamma}}{G} = \frac{mg \frac{p}{\gamma}}{mg} = \frac{p}{\gamma}$, 作用能量的大小用 $\frac{p}{\gamma}$ 表示, 其单位也是长度, 称为压强水头。

3. 由于流速 u 所产生的能量称动能, 用 $\frac{1}{2}mu^2$ 表示, 而单位重水流 G 所具有的动能为 $\frac{\frac{1}{2}mu^2}{mg} = \frac{u^2}{2g}$ 。这一能量的单位 $\frac{(\text{m/s})^2}{\text{m/s}^2} = \text{m}$, 仍是长度, 称流速水头。实践中多用 $\frac{\alpha v^2}{2g}$ 表示, 这是因为各点流速水头的平均值 $\frac{\sum u^2}{n}$ 大于断面平均流速水头 $\frac{v^2}{2g}$, 即 $\frac{\sum u^2}{n} > \frac{v^2}{2g}$ 。若使其相等, $\frac{\sum u^2}{n} = \frac{\alpha v^2}{2g}$, 就要乘以大于 1 的系数 α 。 α 为动能改正系数, 常取 $\alpha = 1$ 。

水流的每一个过水断面上都具有三项能量, 它们是 $z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} = E$, 称断面上的总能量 (总水头)。

(二) 能量方程 (伯努里方程) 的简单推导

能量守恒与转化定律是物质运动的一个普遍规律, 水流运动是物质运动的一种, 也必须遵循这一定律。而水有它自己的特点, 它是一种具有粘滞性、易流动的连续介质, 同时又受边界的约束和影响, 因此, 由能量守恒定律导出的水流运动能量方程, 也具有其独特的表现形式。

水流运动的能量守恒与转化关系如图 2—5 所示。水流从断面 1—1 流至断面 2—2, 必然受到水流内部的粘滞性以及水流边界条件 (管壁与渠道壁的粗糙程度及断面形状的变化) 所产生的阻力, 水流为克服阻力作用而继续流动就要损失能量, 在水力学中称能量损失, 用长度单位的 h_w 表示。根据能量守恒与转化定律必然有 $E_1 = E_2 + h_w$, 即

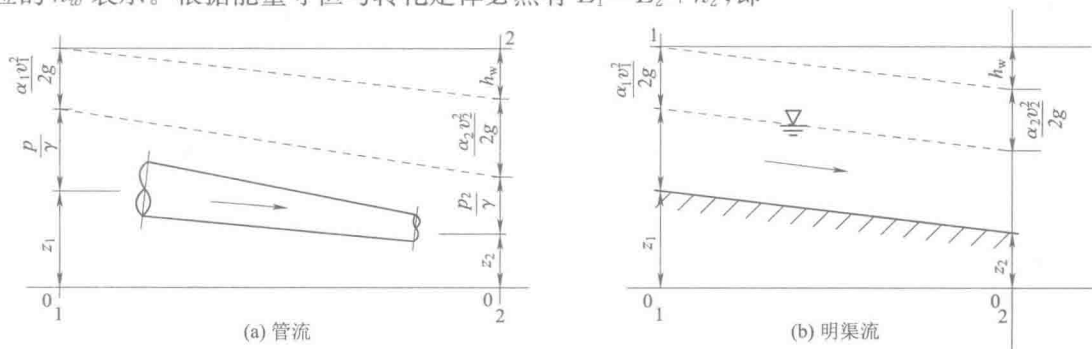


图 2—5 水流运动的能量守恒与转化关系