全国水利行业规划教材　高职高专水利水电类

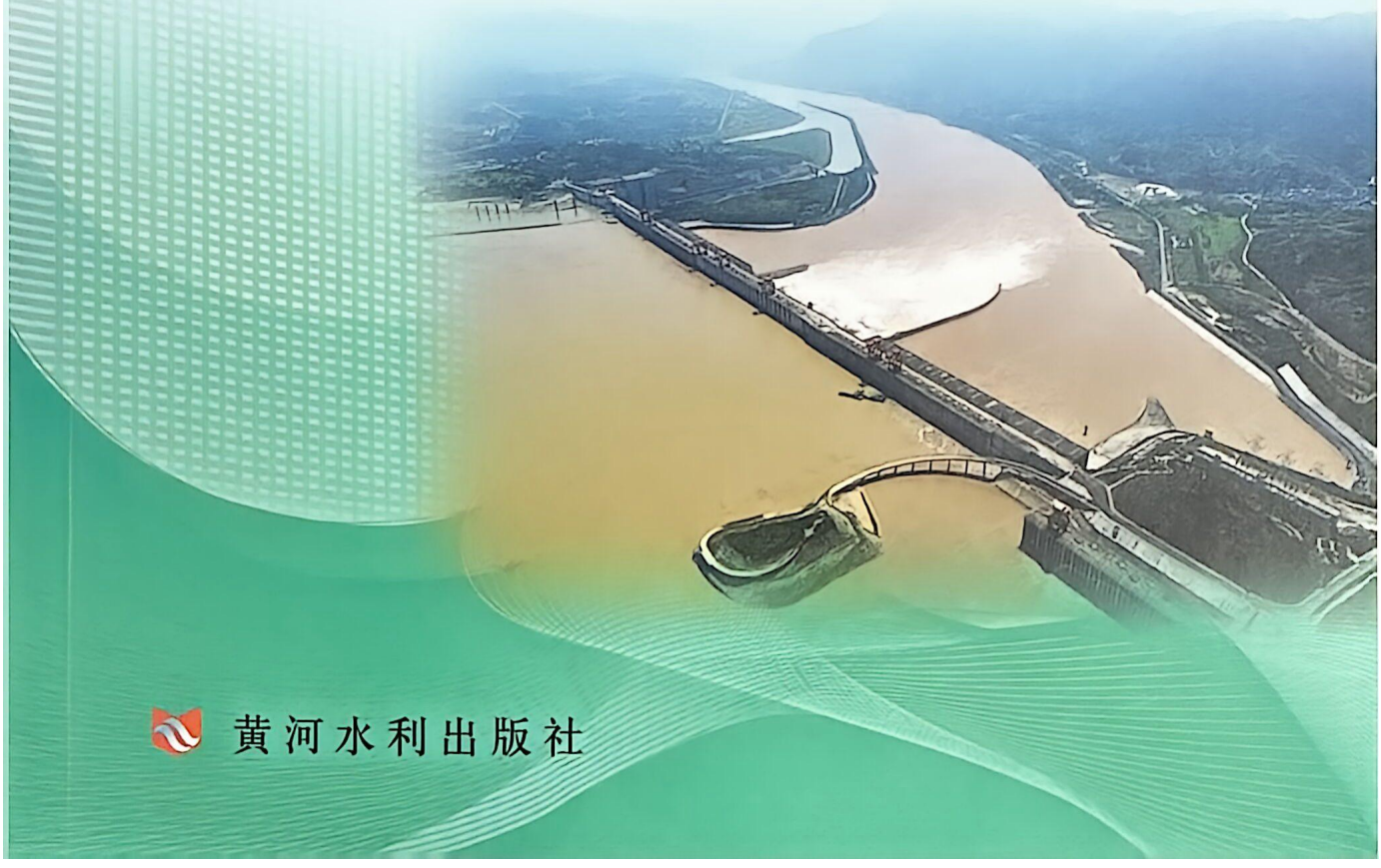
中国水利教育协会策划组织

工程水力学

（第2版）

主编　余金凤　陈明杰

主审　者建伦



黄河水利出版社

全国水利行业规划教材　高职高专水利水电类
中国水利教育协会策划组织

工程水力学

（第2版）

主　编　余金凤　陈明杰
副主编　王宝红　陈一华　邢菊香
　　周　欢　赖永明　张志娇
主　审　者建伦

黄河水利出版社
·郑州·

内 容 提 要

本书是全国水利行业规划教材，是根据中国水利教育协会职业技术教育分会高等职业教育教学研究会组织制定的工程水力学课程教学标准编写完成的。本书主要内容包括静水压力计算、水流运动规律的应用、有压管道的水力计算、明渠水力计算、泄水建筑物的水力计算、泄水建筑物下游水流消能计算、渠系连接建筑物的水力计算。为了方便学生学习，巩固所学知识，各项目配有例题、常用图表、思考与练习题。

本书可供高职高专院校水利水电建筑工程、水利工程、水文与水资源技术、给水排水工程技术、机电排灌工程技术、水土保持技术、水利机电设备、治河与航道工程技术、智能水务管理等专业教学使用，并可用于成人专科学校同类专业教学，还可供水利水电工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程水力学/余金凤，陈明杰主编. —2版. —郑州：黄河水利出版社，2022.7

全国水利行业规划教材

ISBN 978-7-5509-3343-9

Ⅰ.①工… Ⅱ.①余… ②陈… Ⅲ.①水工建筑物-水力学-教材 Ⅳ.①TV135

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第137178号

组稿编辑：王路平　电话：0371-66022212　E-mail：hhslwlp@163.com

陈俊克　66026749　hhslcjk@126.com

出 版 社：黄河水利出版社　网址：www.yrcp.com

地址：河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层　邮政编码：450003

发行单位：黄河水利出版社

发行部电话：0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail：hhslcbs@126.com

承印单位：河南承创印务有限公司

开本：787 mm×1 092 mm　1/16

印张：15.5

字数：360千字

版次：2009年9月第1版　印数：1—3 100

2022年7月第2版　印次：2022年7月第1次印刷

定价：50.00元

(版权所有　盗版、抄袭必究　举报电话：0371-66025553)

目 录

第 2 版前言
绪 论 …… (1)
小 结 …… (9)
思考与练习题 …… (9)

第一部分 工程水力学基本规律

项目一 静水压力计算 …… (10)
任务一 静水压强认知 …… (10)
任务二 平面上的静水总压力计算 …… (21)
任务三 曲面上的静水总压力 …… (26)
小 结 …… (29)
思考与练习题 …… (29)
项目二 水流运动规律的应用 …… (33)
任务一 水流运动基本原理的认知 …… (33)
任务二 水流运动规律及应用 …… (39)
任务三 水流型态和水头损失的计算 …… (59)
小 结 …… (79)
思考与练习题 …… (80)

第二部分 工程水力计算

项目三 有压管道的水力计算 …… (82)
任务一 恒定管流的计算 …… (82)
任务二 水击计算 …… (101)
小 结 …… (104)
思考与练习题 …… (104)
项目四 明渠水力计算 …… (108)
任务一 明渠恒定均匀流水力计算 …… (108)
任务二 明渠恒定非均匀流水力计算 …… (129)
小 结 …… (158)
思考与练习题 …… (158)
项目五 泄水建筑物的水力计算 …… (162)
任务一 堰流及闸孔出流认知 …… (162)
任务二 孔口出流水力计算 …… (163)

任务三　恒定管嘴出流水力计算 …… (166)
任务四　堰流水力计算 …… (168)
任务五　闸孔出流的水力计算 …… (185)
小　结 …… (192)
思考与练习题 …… (193)
项目六　泄水建筑物下游水流消能计算 …… (195)
任务一　泄水建筑物下游水流消能认知 …… (195)
任务二　底流式衔接与消能的水力计算 …… (197)
任务三　消力池水力计算 …… (203)
小　结 …… (215)
思考与练习题 …… (216)
项目七　渠系连接建筑物的水力计算 …… (218)
任务一　渡槽水力计算 …… (218)
任务二　明槽渐变段水力计算 …… (223)
任务三　跌水和陡坡水力计算 …… (226)
小　结 …… (236)
思考与练习题 …… (236)
附　录 …… (238)
附录Ⅰ　梯形和矩形断面明渠正常水深求解图 …… (238)
附录Ⅱ　梯形和矩形断面明渠底宽求解图 …… (239)
附录Ⅲ　梯形、矩形、圆形断面明槽临界水深求解图 …… (240)
附录Ⅳ　建筑物下游河槽为矩形时收缩断面水深及其共轭水深求解图 …… (241)
参考文献 …… (242)

任务二　水击计算

一、水击认知

(一)水击现象

水击:由于外界原因使有压管道中水流流速突然变化,致使管内压强发生急剧升降的现象。

水锤:由于升压和降压交替进行时,对于管壁或阀门的作用犹如锤击一样。

(二)发生水击的原因

如图 3-18 所示,在分析过程中,为了简便起见,在水击的分析和计算中忽略流速水头和水头损失。在分析水击时,考虑液体是可压缩的,管道也是弹性体。

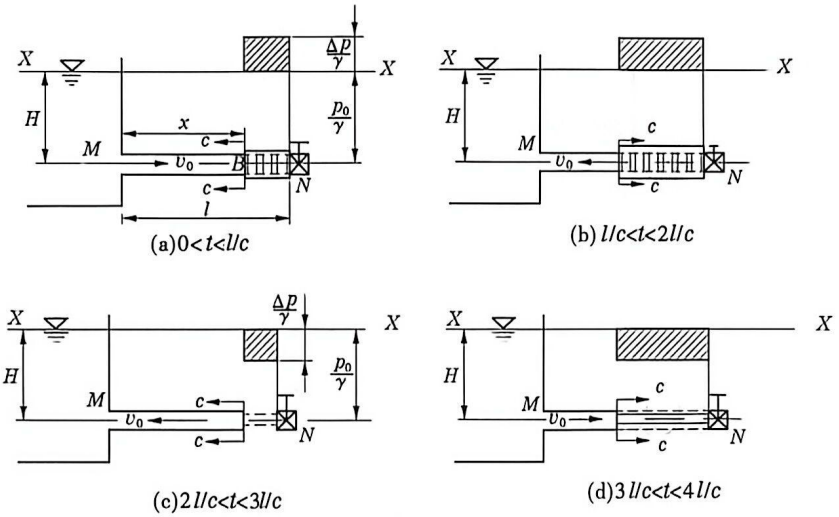


图 3-18

如果把阀门突然关闭,则紧靠阀门的一层水首先停止流动,其流速突然变成零。动量变化等于外界对其作用力的冲量。此作用力即为阀门对水的作用力。因此,紧靠阀门这一层水的压强也突然升高至 $p_0 + \Delta p$,升高的压强 Δp 即为水击压强。在水击压强的作用下如果考虑液体的压缩性和管道的弹性就会产生两种变形,即水的压缩和管壁的膨胀。

从上面的分析可以看出:引起管道水流速度突然变化的因素是发生水击的外在条件,水流本身具有的惯性和压缩性则是发生水击的内在原因。

(三)水击的传播过程

有压管路的布置如图 3-18 所示,现分析如阀门突然关闭而发生水击时的压强变化及传播情况。

第一阶段[减速增压过程,见图 3-18(a)]:过程:$v_0 \rightarrow 0$,$p_0 \rightarrow p_0 + \Delta p$

终态:$v = 0$,$p = p_0 + \Delta p$

第二阶段[减速减压过程,见图 3-18(b)]:过程:$0 \rightarrow -v_0$,$p_0 + \Delta p \rightarrow p_0$

终态：$v=-v_0$，$p=p_0$

第一阶段[增速减压过程，见图3-18(c)]：过程：$-v_0\rightarrow 0$，$p_0\rightarrow p_0-\Delta p$

终态：$v=0$，$p=p_0-\Delta p$

第一阶段[增速增压过程，见图3-18(d)]：过程：$0\rightarrow v_0$，$p_0-\Delta p\rightarrow p_0$

终态：$v=v_0$，$p=p_0$

周期：从阀门关闭时$t=0$起，管内经过减速增压、减速减压、增速减压和增速增压四个阶段，历时$t=\dfrac{4l}{c}$（c指向上下游传递的波速），称为一个周期。

相：在一个周期里，水击波在阀门和管道进口之间往返了一次就为一个相。

如果仅考虑理想液体，则水击波一旦产生后就会一直周期性地传播下去，见图3-19。然而实际上液体在运动过程中由于液体具有黏滞性及液体和管壁的变形，使能量损失很大，因此水击压强会迅速衰减，见图3-20。

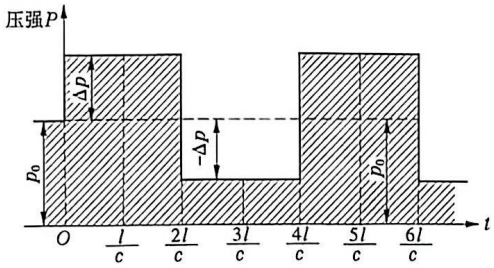


图3-19 理想情况下水击压强变化图

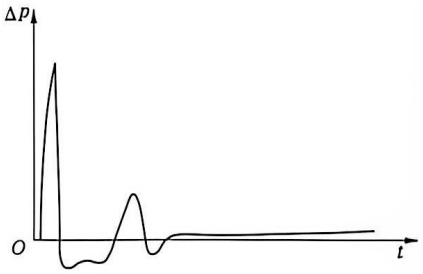


图3-20 水击压强变化实测图

二、简单管道最大水击压强的计算

(一)水击压强

1. 直接水击

如果关闭阀门的时间t小于一个相长，即$t<\dfrac{2l}{c}$，那么最早发出的水击波的反射波在到达阀门之前，阀门已经关闭完毕。这样水击波的运动特征与上面讨论的阀门突然关闭($t=0$)水击波特征相同，这样的水击就称为直接水击。

如图3-21所示，在断面$m—m$上的压强为$p_0+\Delta p$，水击波的传播速度为c，则经过时间Δt后水击波传至断面$n—n$。这时流段内的液流速度由$v_0\rightarrow v$，密度由$\rho\rightarrow\rho+\Delta\rho$，管壁膨胀，则过水断面面积也由$A\rightarrow A+\Delta A$。

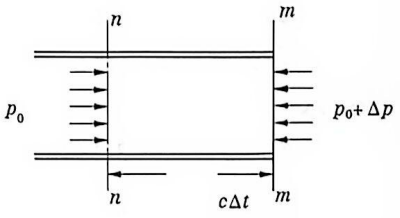


图3-21 水击管段上的压强

水击压强增量为

$$\Delta p=\rho c(v_0-v)$$

如果阀门是快速全部关闭，即$v=0$，则

$$\Delta p = \rho c v_0 \tag{3-20}$$

2. 间接水击

如果管道长度较短，或阀门关闭的时间较长，以致 $t > \frac{2l}{c}$，那么阀门开始关闭时发出的水击波（增压波）的反射波（减压波）到达阀门时，阀门仍在继续关闭，则增压和减压会相互叠加后抵消，使这种水击——间接水击在阀门处的水击压强小于直接水击的水击压强。

间接水击在阀门处的最大升压的近似值计算是按照这样的假定计算的，即假定最大升压和关闭时间的乘积是一个常量，也就是说

$$\Delta p = \rho v_0 \frac{2l}{t} \tag{3-21}$$

式中　t——阀门关闭时间。

（二）水击波的传播速度

为了计算水击压强，或者分析各阶段水击波的动力特征，都需要水击波的传播速度 c。均质、薄壁圆管中水击波传播速度 c 的计算式为

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho\left(\frac{1}{K} + \frac{D}{E\delta}\right)}} = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K}{E}\frac{D}{\delta}}} \tag{3-22}$$

式中　E——管壁材料的弹性系数；

K——液体的体积弹性系数；

D——管道的直径；

δ——管壁的厚度。

式中，对于水而言，$\sqrt{\frac{K}{\rho}} = 1\ 400\ \text{m/s}$。

从式（3-22）可以看出，水击波的波速与管材弹性模量 E 成正比，对于绝对刚性的管壁（$E \to \square$），水击波传播速度最大，水击波的波速又与管径 D 成反比，而与管壁厚 δ 成正比，所以为了减小水击压强，应该选择管径大、管壁较薄的水管。

（三）减小水击压强的措施

从上面的分析可知，水击压强是巨大的。这一巨大压强可使水管变形、接缝裂开，甚至爆裂。为了防止水击压强给管道带来的危害，在管道设计和运用管理上应尽量避免发生直接水击，并设法减小间接水击的压强。

减小水击压强的具体措施如下：

（1）延长阀门启闭时间 t。在工程中，总是力求避免发生直接水击，并尽可能地设法延长阀门的启闭时间。但要注意，根据水电站运转的要求，阀门启闭时间的延长是有限度的。

（2）缩短压力管道的长度。压力管愈长，则水击波从阀门处传播到水库，再由水库反

射回阀门处所需要的时间也愈长,在阀门处所引起的最大水击压强也就愈不容易得到缓解。为了缩短相长,在水电站设计中应尽可能缩短压力管道的长度。

(3)管道上设置安全阀、水击消除阀等装置。

(4)在管道上设置空气室、调压塔等装置。调压装置是一个具有一定贮水容量的建筑物,当水电站压力管道的阀门(或水轮机导叶)关闭而减小引用流量时,压力管道中的水流,因惯性作用而分流进入调压构筑物中,使调压构筑物内水位上升。调压构筑物下游的压力管道中虽发生水击,但由于调压构筑物内的水位及其流动发生变化,从而对水击压强的增减起了控制作用,也就在一定程度上限制或完全制止了水击波向上游水库的传播。这就等于缩短了压力管道的长度,从而使下游压力管道中的水击压强大为降低。

(5)限制管中流速。如果压力管道中原来的流速 v_0 比较小,则因阀门突然关闭而引起的流速变化也较小,水流惯性引起的水击压强也就不会很大。从这点出发,在工程设计时,可采用加大管径的办法,以达到减小流速 v_0 的目的。在不允许增加管径时,则可在压力管道末端设置放空阀。当阀门突然关闭时,可用放空阀将管内的一部分水从旁边放出去,同样可达到减小管道中流速变化,从而减小水击压强的目的。

一般来说,在输水管道中发生水击是有害的。但是事物都是一分为二的,水击既有破坏性的一面,又有可利用的一面。只要我们掌握了它的基本规律,利用和发挥有益的作用,例如水击泵就是利用水击的压强增值来扬水的。

小 结

本项目介绍了管道系统、简单管道水力计算、串联和并联管道水力计算以及管网的水力计算,是解决实际水利工程中有压水流计算的重要理论基础。

思考与练习题

3-1 什么是管流?它的主要特点是什么?

3-2 何为短管和长管?判别标准是什么?长管和短管的主要区别是什么?

3-3 压力管水力计算的主要内容是什么?

3-4 管道直径的确定方法有几种?各是如何计算的?

3-5 抽水机安装高度和虹吸管安装高度的计算公式是否相同?具体是什么?

3-6 什么是水泵的扬程?水泵的扬程与上下游水位差是否相等?

3-7 什么是直接水击和间接水击?

3-8 坝下埋设一预制混凝土引水管(见图3-22),直径 D 为1 m,长100 m,进口处有一道平板闸门来控制流量,引水管出口底部高程为62.5 m。当上游水位为70.0 m,下游水位为60.5 m,闸门全开时能引多少流量?

GONGCHENG SHUILIXUE

组稿编辑　王路平
　　陈俊克
责任编辑　赵红菲
封面设计　李思璇
责任校对　杨丽峰
责任监制　常红昕

ISBN 978-7-5509-3343-9

定价：50.00元