

高等学校交通运输与工程类专业规划教材



Hydraulics and Hydrology for Bridge Engineering

水力学与桥涵水文

| 第3版 |

叶镇国 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

Hydraulics and Hydrology for Bridge Engineering

水力学与桥涵水文

(第3版)

叶镇国 编著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书是高等学校交通运输与工程类专业教材。全书融入了编著者数十年从事教材编写与教学实践研究的成果,教材的理论阐述有创新,易教易学。其中:不满管流最大流量和最大流速充满度的精确解,从“微波流速传播特性”入手建立的明渠非均匀流理论阐述新体系,经验累计频率公式的“简法”推证,以及小流域面积暴雨洪峰流量推算原理的数解法与图解法等四大内容均为本书所独创,提升了本书的理论性。

本书共 15 章,内容包括:绪论,水静力学基础,水动力学基础,水流阻力与水头损失,有压管流与孔口、管嘴出流,明渠水流,堰流、闸孔出流及泄水建筑物下游的衔接与消能,渗流,河流概论,水文统计的基本原理与方法,桥涵设计流量及水位推算,大中桥位勘测设计,桥梁墩台冲刷计算,小桥涵勘测设计,相似原理与量纲分析方法等。书中标“*”部分可供各院校选学或作课外阅读,以利拓宽专业知识面。

本书可作为高等学校非水利类土木工程专业(道路、桥梁与岩土工程专业方向)、道路桥梁与渡河工程专业等教学用书,亦可作为有关专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水力学与桥涵水文 / 叶镇国编著. —3 版. —北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2019. 1

ISBN 978-7-114-15151-4

I. ①水… II. ①叶… III. ①水力学—高等学校—教材
②桥涵工程—工程水文学—高等学校—教材 IV.

①TV13②U442.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 272981 号

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

书 名: 水力学与桥涵水文(第 3 版)

著 者: 叶镇国

责任编辑: 李 喆

责任校对: 宿秀英

责任印制: 张 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京印匠彩色印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 27

字 数: 656 千

版 次: 1998 年 6 月 第 1 版 2011 年 7 月 第 2 版 2019 年 1 月 第 3 版

印 次: 2019 年 1 月 第 3 版 第 1 次印刷 总第 33 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-15151-4

定 价: 65.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

第3版前言

《水力学与桥涵水文》(第3版)是教材编写与教学实践研究的成果。书名是原全国路桥专业指导委员会指定,本书第1版编写大纲由本人起草,经全国会议讨论通过,并经原全国路桥专业指导委员会认定本人为主编,东南大学闻德荪教授为主审。编者初心是希望编一本中国式且适合路桥专业用的专业基础课教材,从20世纪50年代至90年代的数十年间才算完成了基本设想,编成了这本独一无二的教材,并延续至今。

在20世纪50年代“水力学与桥涵水文”引用的是苏联的教材,共三门课:“水力学”“水文学”“桥涵水文”,后合并为“水力学”“桥涵水文”,我们称为传统的“水力学”,传统的“桥涵水文”。这两门课,风格各异,彼此搭接过多,有的公式只介绍结果不介绍由来,教学矛盾不少。为了提高这两门课的教学效果,20世纪50年代作者和学生“三同”,参加学生的生产实习,实习中带领学生讲现场课,参加洪水调查,了解专业课,作为编教材的准备。直到20世纪末期,为贯彻落实教育部关于“压缩课程门数与周学时”的决定,湖南大学率先在教学改革中将这两门课合二为一,这给了我们好机会,随即编写了合二为一的讲义《桥涵水力水文基础》,并在一些兄弟院校中交流应用数届,这就奠定了本书的基本编写思路与教材内容编排框架。约在1993年,本人在全国院校会议上被推选为《水力学及桥涵水文》(专科用)的主编,并通过了我起草的编写大纲;约在1997年,本人又在全国院校会议上被推选为《水力学与桥涵水文》(本科用)的主编,并通过了我起草的编写大纲,这又给我一个良好的机会,使我“不忘初心、牢记设想”,编撰了一本颇具特色的二

合一教材。

《水力学与桥涵水文》的第1、第2版完成了水力学与桥涵水文两部分内容的有机优化组合,不仅加强了两者之间的有机关系,而且加强了教材的理论性与专业应用的针对性。水力学作为基本理论贯穿全书,水文学作为本书的第二基本理论并为水力计算数据之源,水力水文计算则为桥涵有关专业设计的理论依据,三者关系紧密,节约了过多课时搭接,突出了专业基础课应有的理论特色,本书独具创新特色之处在于以下8个方面:

(1)这本二合一教材是国内首创,减少了课程门数,减少了周学时,减少了过多的课程搭接学时,是一门专业基础课程。

(2)明渠非均匀流,至今仍是水力学的一大难点。传统水力学从“断面比能”入手,介绍急流、缓流与临界流等有关概念,长期实践结果表明,该部分内容抽象难懂,难教、难学。本人通过多年教材编写与教学实践研究,第一个提出从“微波波速传播特性”入手,介绍急流、缓流与临界流等有关概念,建立了明渠非均匀流的一套新体系,内容深入浅出,简明形象,多年来的教学实践证明难点被分散,效果良好,易懂、易学。

(3)经验累计频率公式,传统水文学从来不讲公式的由来,只讲公式的用法,同学们误认为是“经验”公式,本人根据多年教材编写与教学实践经验,利用“简法”推证出公式,简明易懂。

(4)舍特大值系列的频率分析方法,传统水文学方法用文字叙述,本人根据多年教材编写与教学实践经验,利用数学方法讲 C_{vN} 计算,同学自己也能推出公式,文字叙述变成了几个公式,简单明了,一目了然。

(5)对于“小流域暴雨洪峰流量的推算”,传统水文学只介绍了图解法,但图解原理未加介绍,学生难以理解,本人根据多年教材编写与教学实践经验,推出了解算原理,得出了数解法与图解法,并举有算例,同学们既能明理,又能实践操作运算,效果良好。

(6)暴雨洪峰流量计算,传统水文学是利用“推理公式”直接计算,原理未说透,实际上是快了两步。本人根据多年教材编写与教学实践经验,第一步先用等流时线法,并用图解法证明最大流量发生在净雨历时 τ 时段(流域最大汇流历时),第二步用量纲分析法证明暴雨洪峰流量的基本形式,再按“推理公式”推求其中的参数,顺理成章,好懂易学。

(7)传统水文学只有年频率,没有次频率,本人给出了简单的关系,很好懂。

(8)传统水力学的“无压圆管最大流量发生在 $\alpha_Q = \left(\frac{h}{d}\right)_Q = 0.95$ 处”,此值有错。本人给出的精确解为最大流量发生在 $\alpha_Q = \left(\frac{h}{d}\right)_Q = 0.9382$ 处,最大流速发生在 $\alpha_V = \left(\frac{h}{d}\right)_V = 0.8182$ 处。

此外,对于本书第3版,本人还做了增删,引用了最新规范,广泛吸取了各兄弟院校的宝贵教学经验,例如:在内容方面,重点放在明渠流,适当引用“*”作为“选讲选学”的机动内容等。

本人从20世纪50年代便开始了教材编写与教学实践探索,共出版过11部教材及专著,并发表论文10篇,译文40万字,提出了国内外首创的“水力学计算理论及防拍打理论”,因此很希望能编出一本中国式的、中国人自己的教材。前面说的8个方面的问题,只能是“勇于变革、勇于创新、永不僵化、永不停滞”,才能取得教材改革的胜利。总结既往,编书不等于抄书。完成这本教材,不想已是耄耋之年(今年84岁),人生苦短,但“编者初心”没有忘记,中国人自己编写的、有创新的教材,终于完成。欢迎读者批评指正。

本书由叶镇国教授编著,还得到人民交通出版社股份有限公司李喆编辑的大力帮助,为我提供了全部规范,使我顺利地完成了此次修订工作,特此感谢。

编著者

2018年7月31日于长沙

第2版前言

本书第1版是全国路桥专业教学改革的一项创新成果。教材名称由原全国路桥专业指导委员会定为《水力学与桥涵水文》，编写大纲经原全国路桥专业指导委员会讨论通过，并经原交通部教材会议确定为全国高等学校路桥专业通用教材。本书第1版1998年发行至今，应用景况良好，借再版之际特向兄弟院校及应用各界致谢！

“水力学”与“桥涵水文”课最早长期分设为两门课，分用两本体系独立、风格各异且内容搭接过多的教材，教学矛盾不少。20世纪70年代末期，为贯彻落实教育部关于“压缩课程门数与周学时”的决定，湖南大学率先将两门课合二为一，编著者亦为此编写了合二为一的过渡性教材《桥涵水力水文基础》（讲义），并在一些兄弟院校中应用交流数届，奠定了本书的基本编写思路与内容编排框架。20世纪80年代，我国教育改革迎来了科学的春天，本书第1版亦应运而生。这两门课的变革成果，至今仍有实际意义。

《水力学与桥涵水文》（第2版）是水力学与桥涵水文两大内容的进一步优化组合，不仅加强了两者之间的有机联系，而且加强了教材的理论性和专业应用的针对性。水力学作为基本理论贯穿全书，水文学为本书的第二基本理论并为水力计算数据之源，水力水文计算则为小桥涵勘测设计的理论依据，三者关系紧密，节约了以往过多的课程搭接学时，突出了专业技术基础课应有的理论性特色。第2版教材对于传统水力学与水文学的教材内容还作了不少更新，并编入了编著者多年教材编写探索与教学实践的研究成果。

明渠非均匀流部分为水力学教学一大难点,本书从“微波波速及其传播特性”入手,阐明明渠急流、缓流与临界流概念,建立了本书理论阐述的新体系,内容简明形象,深入浅出,多年教学效果良好。水文学传统教材多以单纯文字阐述、罗列公式用法为主,缺少逻辑演绎方式。本书对此亦有所更新。例如采用“简法”推证经验累积频率公式,同时还采用了图文并用、数学演绎的方法建立了一些计算公式。关于小流域面积暴雨洪峰流量计算,传统水文学中只介绍图解法,但制图原理从略,本书提出的数解法,理论关系严密,逻辑概念清楚,还可以破解制图原理,使有关计算与现代先进计算手段接轨,这在目前水文计算中,尚属首创。再者,本书所载关于“无压圆管水流水力最佳充满度 $\left(\frac{h}{d}\right)_Q = 0.9382$ ”相对传统水力学教材 $\left(\frac{h}{d}\right)_Q = 0.95$ 则是编著者新发现的精确解。

此外,为了有助于学生减负增效,编著者还更新了《习题集》的编写方式,编写出版了教学系列配套用书《实用桥涵水力水文计算原理与解法指南》(人民交通出版社,2001.2),此书只介绍解题的分析思路与理论应用方法,解题过程及答案留给学生完成,可引导学生参与教学互动,调动学生钻研理论的积极性,以较少的课外学时弄懂更多的理论知识。

本书对第1版教材作了删减、充实和调整,引用了最新规范及水文科技最新成果,较广泛收集了各兄弟院校宝贵的教学实践经验,提升了本书的理论性与专业应用针对性,也深化了教材的教学法变革内涵。

本书由叶镇国教授与彭文波老师编著,其中叶镇国编著第一、二、三、四、五、六、七、八及十五章,负责全书统稿及审校,并提供了本书一~七章课件;彭文波编著第九、十、十一、十二、十三、十四章,提供了九~十四章课件。

编著者从20世纪50年代起便开始了教学实践与教材编写探索,20世纪80年代后,曾先后编写出版了全国教材及专著十本,深知教材编写艺术博大精深,总结既往历程,只为抛砖引玉,限于水平,欢迎批评指正。

编著者

2011.2.28 于长沙岳麓山

第1版前言

《水力学与桥涵水文》(本科用)是高等学校路桥及交通工程专业用教材,内容侧重基本原理、方法及其应用,同时还考虑了拓宽专业知识面的需要。全书由湖南大学叶镇国教授编著,东南大学闻德荪教授主审。

本书对于多年来因水力学与桥涵水文课程分设,教材单行中存在的一些概念提法不一,符号多样等问题作了较规范化统一,加强了水力学与桥涵水文两大部分的有机衔接,尽量引用了最新规范及参考文献。全书共十五章,其中有“*”符号部分可供各校选讲选学或课外阅读,以利拓宽专业知识面。本书的出版,希望有益于教和学、有益于工程技术人员和广大读者。

本书在拟定编写大纲以及教材编写过程中,曾得到主审闻德荪教授及各兄弟院校老师们的关心支持,提供了许多宝贵的经验和建议,使本书有所集思广益、博采众长,在此特表鸣谢。如有欠妥之处,敬希读者指正。

编著者

1997年5月于长沙

目录

CONTENTS

第一章 绪论	1
第一节 水力学与桥涵水文的性质与任务	1
第二节 水力学的研究方法	2
第三节 液体的主要物理性质	2
第四节 作用在液体上的力	9
习题	10
第二章 水静力学基础	12
第一节 静水压强及其特性	12
第二节 静水压强分布规律	14
第三节 重力作用下水静力学基本方程	17
第四节 点压强测量	23
第五节 作用在平面壁上的静水总压力	24
第六节 作用在曲面壁上的静水总压力	29
习题	36
第三章 水动力学基础	41
第一节 描述液体运动的两种方法	41
第二节 欧拉法的基本概念	44
第三节 恒定流连续性方程	52
第四节 恒定流元流能量方程(元流伯诺里方程)	54
第五节 恒定流实际液体总流能量方程(总流伯诺里方程)	58
第六节 恒定流总流动量方程	64
习题	69
第四章 水流阻力与水头损失	73
第一节 水流阻力与水头损失的类型	73
第二节 液体运动的两种流动形态——层流与紊流	74

第三节	沿程水头损失计算	78
第四节	圆管层流沿程阻力系数	82
第五节	圆管紊流沿程阻力系数	84
第六节	局部水头损失计算	94
	习题	97
第五章	有压管流与孔口、管嘴出流	99
第一节	有压管路水力计算	99
* 第二节	孔口出流	110
* 第三节	管嘴出流	112
	习题	113
第六章	明渠水流	117
第一节	明渠几何特征与容许流速	117
第二节	明渠均匀流特性	120
第三节	明渠均匀流基本公式	121
第四节	明渠均匀流水力计算基本问题	126
第五节	明渠非均匀流	132
第六节	急流、缓流及临界流的判别标准	135
第七节	明渠三种水流状态的水力特性	138
第八节	明渠急变流	142
第九节	明渠恒定渐变流基本微分方程	152
第十节	棱柱形渠道恒定渐变流水面曲线定性分析	154
第十一节	明渠恒定渐变流水面曲线计算(分段求和法)	159
	习题	163
第七章	堰流、闸孔出流及泄水建筑物下游的衔接与消能	165
第一节	堰的类型及流量公式	165
第二节	堰的流量系数、侧收缩系数及淹没系数	169
第三节	宽顶堰水力计算	172
* 第四节	闸孔出流	178
第五节	泄水建筑物下游的衔接与消能	181
	习题	194
第八章	渗流	196
第一节	渗流达西定律	196
第二节	无压恒定渐变渗流浸润线方程	200
* 第三节	集水廊道及井的渗流计算	205
	习题	213
第九章	河流概论	215
第一节	河川水文现象的特点与桥涵水文的研究方法	215
第二节	河流及流域	217
第三节	河川径流	222

第四节	河川水文资料的收集与整理方法	226
第五节	河流的泥沙运动	231
第六节	河床演变	234
	习题	236
第十章	水文统计的基本原理与方法	238
第一节	水文统计的基本概念	238
第二节	经验累积频率曲线	243
第三节	理论累积频率曲线	249
第四节	现行频率分析方法	258
第五节	相关分析	266
	习题	273
第十一章	桥涵设计流量及水位推算	276
第一节	按实测流量资料推算	276
第二节	按洪水调查资料推算	277
第三节	按暴雨资料推算	281
第四节	桥位断面设计流量和设计水位推算	294
	习题	294
第十二章	大中桥位勘测设计	296
第一节	桥涵分类及一般规定	296
第二节	桥位选择	298
第三节	桥位勘测	303
第四节	大中桥孔计算	304
第五节	桥面高程计算	311
第六节	调治构造物	318
	习题	324
第十三章	桥梁墩台冲刷计算	326
第一节	墩台冲刷类型	326
第二节	桥下断面一般冲刷深度	327
第三节	墩台局部冲刷深度	334
第四节	桥下河槽最低冲刷线	336
	习题	341
第十四章	小桥涵勘测设计	343
第一节	小桥涵勘测设计内容	343
第二节	小桥涵位置选择	344
第三节	小桥涵勘测与调查	347
第四节	小桥涵类型选择与布置	349
第五节	小桥孔径计算	353
第六节	涵洞孔径计算	360
第七节	小桥及涵洞构造	366

第八节 涵洞进出口沟床的加固与防护·····	368
习题·····	373
* 第十五章 相似原理与量纲分析方法·····	375
第一节 相似概念·····	375
第二节 相似准则·····	377
第三节 模型设计·····	381
第四节 量纲分析方法·····	383
习题·····	388
附录·····	389
参考文献·····	415

绪论

第一节 水力学与桥涵水文的性质与任务

“水力学与桥涵水文”课程是非水利类土木工程专业(道路、桥梁等)的一门技术基础课,应侧重介绍有关基本原理与方法,为专业课作前期基础理论应用训练及业务素质的培养。

水力学属于物理学中力学的一个分支,它的任务是以水为模型研究液体平衡与运动的规律,侧重于演绎推导及原理方法的应用。它在交通土建、市政工程、水利、环境保护、机械制造、石油工业、金属冶炼、化学工业等方面都有广泛的应用。总的说来,水力学的研究方法包括理论分析、试验验证补充以及利用现代化的电子技术快速求解。

桥涵水文属于工程河川水文学范畴,并独具专业性应用特点。水文现象(河流的流量、水位、降雨量等的统称)发生的数值大小及其发生的时间,会受到众多因素的影响,因而都具有一定的随机性。因此,它主要依靠实地调查勘测的河川水文资料,应用数理统计分析方法,从中选择设计值,通过水力计算解决工程有关问题,并以此预估桥涵工程可能遭遇的未来水文情势。

第二节 水力学的研究方法

水力学与桥涵水文两部分各有特点、方法各异。关于桥涵水文的研究方法待后详述,下面先介绍水力学研究方法。总的说来,水力学研究方法有三类,分述如下。

一、理论分析方法

从微观角度看,液体分子间有间距,但极小。在标准状态下,每立方厘米水体中约有 3.3×10^{22} 个液体分子,相邻分子间的距离约为 3×10^{-8} cm。这对一般工程问题的空间尺寸来说,所要解决的工程问题只是液体大量分子运动的宏观特性,这一间距完全可以忽略不计。因此,1753年欧拉(Euler)采用了连续介质假说,即认为液体和气体充满一个空间时,分子间没有间隙,是一种连续介质,其物理性质和运动要素都是连续分布的。在此基础上,一般还认为液体是均质的,其物理性质具有均匀等向性。所谓液体中的一“点”,实际上是指微观上充分大,宏观上充分小的液体微团,并称之为液体质点。理论分析方法主要是对液体流动现象作物理描述,其中以液体质点作对象,按照隔离体受力情况建立液体运动的质量守恒、能量守恒、动量定律(简称液流三大方程)等微分方程,从中求解,以确立液体质点各水力要素(如压强、流速等)的空间分布。

二、试验方法

科学试验是自然科学发展的基础。水力学中的试验手段主要是验证和充实理论成果,对一些液体复杂运动特性通过一些经验系数加以粗化描述,运用一些经验公式以简化理论分析。常用的试验方法有以下两种。

1. 原型观测

所谓原型,即实际工程建筑物。原型观测可获得第一手资料,但规律性观测操作难度较大。

2. 模型试验

所谓模型,即按一定比例尺将原型缩小或放大的实物或工程建筑物。此法除可作验证理论的手段外,还可预演各种设计条件的结果,是水力学中不可缺少的常用手段。

三、数值计算法

此法利用当代电子技术进行快速计算,如有限差分法、有限元法等,它可求解理论分析所得极其复杂的数学模型(数学方程),还可配合试验研究作数据监测、采集和处理。目前由此发展起来的数据试验和模拟计算已成为新型研究方法,开创了水力学研究的新途径。

第三节 液体的主要物理性质

液体受力而做机械运动,其状况取决于自身的物理性质,它是分析计算液体运动规律的要素。从宏观角度研究的液体主要物理性质如下。

一、质量和密度

物体中所含物质数量,称为质量,常用符号 m 表示;单位体积内所含液体的质量,称为液体的密度,常用符号 ρ 表示。按定义有

均质液体

$$\rho = \frac{m}{V}$$

非均质液体

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}$$

一般

$$\rho = \rho(x, y, z, t)$$

(1-1)

式中: V ——液体体积;

t ——时间。

式(1-1)表明,按连续介质假说,液体的密度是空间坐标 x, y, z 的函数,而且可随时间过程而变化。一般情况下,压强和温度对 ρ 的影响极小,而且不随时间变化。在理论分析和工程应用中都把液体看成是均质体,并取 $\rho = \text{常数}(\text{const})$ 。在一个标准大气压下,水的密度见表 1-1,水力计算中常取水的密度 $\rho = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$ 。

不同温度下纯水的物理特性

表 1-1

t ($^{\circ}\text{C}$)	γ (kN/m^3)	ρ (kg/m^3)	$\mu \times 10^3$ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	$\nu \times 10^6$ (m^2/s)	p_s (kPa)	σ (N/m)	$E \times 10^6$ (kPa)
0	9.805	999.9	1.781	1.785	0.61	0.075 6	2.02
4	9.800	1000.0	1.567	1.567	—	—	—
10	9.804	999.7	1.307	1.306	1.23	0.074 2	2.1
15	9.798	999.1	1.139	1.139	1.70	0.073 5	2.15
20	9.789	998.2	1.002	1.003	2.34	0.072 8	2.18
25	9.777	997.0	0.890	0.893	3.17	0.072 0	2.22
30	9.746	995.7	0.798	0.800	4.24	0.071 2	2.25
40	9.730	992.2	0.653	0.658	7.38	0.069 6	2.28
50	9.689	988.0	0.547	0.553	12.33	0.067 9	2.29
60	9.642	983.2	0.466	0.474	19.92	0.066 2	2.28
70	9.589	977.8	0.404	0.413	31.16	0.064 4	2.25
80	9.530	971.8	0.354	0.364	47.34	0.062 6	2.20
90	9.466	965.3	0.315	0.326	70.10	0.060 8	2.14
100	9.399	958.4	0.282	0.294	101.33	0.058 9	2.07

注: t -水温; γ -重度; ρ -密度; μ -动力黏度; ν -运动黏度; p_s -汽化压强; σ -表面张力系数; E -体积弹性模量。

由表 1-1 可见,在标准大气压下, $t = 4^{\circ}\text{C}$ 时水的密度最大, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $t = 0 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 时,密度变化很小,其密度只减小了 0.4%,但当 $t = 80 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 时,其密度比 4°C 时的密度减小可达 2.8%~4%。因此,在温差较大的热水循环系统中,应设膨胀接头或膨胀水箱,以防管道或容器被水胀裂。此外, $t = 0^{\circ}\text{C}$ 时,冰的密度和水的密度不同。冰的密度 $\rho_{\text{冰}} = 916.7 \text{ kg/m}^3$,水的密度 $\rho_{\text{水}} = 999.87 \text{ kg/m}^3$,有

$$\frac{V_{冰}}{V_{水}} = \frac{\rho_{水}}{\rho_{冰}} = \frac{999.87}{916.7} = 1.0907$$

可见在 $t=0^{\circ}\text{C}$ 时,冰的体积比水约大 9%,故路基、水管、水泵及盛水容器等在冬季均需加防冰冻破坏措施。

二、重力和重度

液体所受地球的引力,称为重力,常用符号 G 表示;单位体积的液体重力,称为重度,常用符号 γ 表示。按定义有

均质液体
$$\gamma = \frac{G}{V} \tag{1-2a}$$

非均质液体
$$\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V} = \frac{dG}{dV} = \gamma(x, y, z, t) \tag{1-2b}$$

与密度情况类似,在水力计算中常把液体看成均质体,并取 $\gamma = \text{常数}(\text{const})$,且有

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \tag{1-3}$$

式中: g ——重力加速度,一般取 $g=9.80\text{m/s}^2$ 。

关于物理量单位,早年我国有国际单位制与工程单位制两类。在国际单位制中,质量单位为千克(kg),长度单位为米(m),时间单位为秒(s),力的单位为牛顿(N);在工程单位制中,质量单位为公斤力·秒²/米(kgf·s²/m),长度单位为米(m),时间单位为秒(s),力的单位为公斤力(kgf),有

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$1\text{kgf} = 9.8\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = 9.8\text{N}$$

按国际单位制,重度单位为 N/m^3 ,按工程单位制,重度单位为 kgf/m^3 或 tf/m^3 。一般情况,压强和温度对重度的影响极小,而且不随时间变化,理论分析和工程应用中,都把水看成均质体,水力计算中常取水的重度 $\gamma = 9800\text{N/m}^3 = 9.8\text{kN/m}^3$,水银的重度 $\gamma_p = 133.28\text{kN/m}^3$ 。按工程单位制,水的重度为 $\gamma = 1000\text{kgf/m}^3 = 1\text{tf/m}^3$ 。在一个标准大气压下,不同温度时纯水的物理特性见表 1-1,几种常见流体的重度见表 1-2。1982 年 2 月 10 日起我国决定采用国际单位制,一切论著都必须使用国际单位制。但在早年的文献及非正规场合仍可见工程单位制。国际单位制与工程单位制的换算关系见表 1-3。

几种常见流体的重度

表 1-2

名称	空气	水银	汽油	酒精	四氯化碳	海水
$t(^{\circ}\text{C})$	20	0	15	15	20	15
$\gamma(\text{kN/m}^3)$	0.01182	133.28	6.664~7.350	7.7783	15.6	9.996~10.084

国际单位制与工程单位制换算关系

表 1-3

物理量	国际单位制和符号	工程单位制和符号	换算关系
质量	千克(kg)	公斤力·秒 ² /米(kgf·s ² /m)	$1\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m} = 9.8\text{kg}$ $1\text{kg} = 0.102\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$
密度	千克每立方米(kg/m^3)	公斤力·秒 ² /米 ⁴ ($\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)	$1\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 = 9.8\text{kg/m}^3$ $1\text{kg/m}^3 = 0.102\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$