



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国交通土建高职高专规划教材

(第三版)

桥涵水力水文

Qiaohan Shuili Shuiwen

舒国明 主编

高冬光 [长安大学] 主审

薛明 [同济大学]



人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国交通土建高职高专规划教材

桥涵水力水文

Qiaohan Shuili Shuiwen

(第三版)

舒国明 主编
高冬光[长安大学] 主审
薛明[同济大学]

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材、全国交通土建高职高专规划教材。全书共十三章,主要包括水静力学、水动力学基础、明渠均匀流、明渠非均匀流、河流基本知识、水文调查、水文基础、大中桥设计流量推算、小桥涵设计流量推算、桥位选择与大中桥孔径计算、桥下冲刷、小桥涵孔径计算以及工程案例,并附有复习思考题、习题。

本书可作为普通高等学校高职高专道路桥梁工程技术等专业用教材,也可供从事公路桥涵设计、施工、工程监理等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥涵水力水文 / 舒国明主编. —3版. —北京: 人民交通出版社, 2009.12

ISBN 978-7-114-07760-9

I. 桥… II. 舒… III. ①桥涵工程—水力学②桥涵工程—工程水文学 IV. U442.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 080582 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

书 名: 全国交通土建高职高专规划教材
桥涵水力水文(第三版)

著 者: 舒国明

责任编辑: 卢仲贤 黎小东

出版发行: 人民交通出版社

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) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 12.75

插 页: 2

字 数: 301千

版 次: 2002年8月 第1版

2005年7月 第2版

2009年12月 第3版

印 次: 2009年12月 第3版 第1次印刷 总第17次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07760-9

印 数: 67001~70000册

定 价: 23.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

全国交通土建高职高专规划教材编审委员会

主任委员 张洪滨(吉林交通职业技术学院)

副主任委员 (按姓氏笔画为序)

田平(河北交通职业技术学院)

刘建明(青海交通职业技术学院)

李加林(广东交通职业技术学院)

陆春其(江苏省无锡交通高等职业技术学校)

钟建民(山西交通职业技术学院)

郭发忠(浙江交通职业技术学院)

刘志(贵州交通职业技术学院)

陈方晔(湖北交通职业技术学院)

李全文(四川交通职业技术学院)

张润虎(贵州交通职业技术学院)

俞高明(安徽交通职业技术学院)

彭富强(湖南交通职业技术学院)

委员 (按姓氏笔画为序)

王丰胜(安徽交通职业技术学院)

王连威(吉林交通职业技术学院)

王常才(安徽交通职业技术学院)

孙元桃(宁夏交通学校)

刘福明(南昌工程学院)

杨平(四川交通职业技术学院)

付清华(甘肃交通职业技术学院)

张保成(内蒙古大学交通学院)

杨晓丰(黑龙江工程学院)

吴继锋(江西交通职业技术学院)

周传林(南京交通职业技术学院)

周志坚(福建交通职业技术学院)

易操(湖北城市建设职业技术学院)

赵树青(山东交通职业学院)

晏杉(云南交通职业技术学院)

夏连学(河南交通职业技术学院)

梁金江(广西交通职业技术学院)

程兴新(陕西省交通厅交通工程定额站)

谢远光(重庆交通职业技术学院)

薛安顺(陕西交通职业技术学院)

王彤(辽宁交通高等专科学校)

王海春(青海交通职业技术学院)

王穗平(河南交通职业技术学院)

刘孟良(湖南城建职业技术学院)

李中秋(河北交通职业技术学院)

李仕东(鲁东大学交通学院)

沈建康(徐州建筑职业技术学院)

张美珍(山西交通职业技术学院)

张铁成(广东同望科技股份有限公司)

李绪梅(新疆交通职业技术学院)

金仲秋(浙江交通职业技术学院)

金桃(贵州交通职业技术学院)

姚丽(辽宁交通高等专科学校)

高占云(呼和浩特职业学院)

郭秀芹(山东省公路高级技工学校)

栗振锋(太原科技大学)

曹雪梅(四川交通职业技术学院)

彭芳(内蒙古河套大学)

裴俊华(甘肃林业职业技术学院)

秘书长 卢仲贤(人民交通出版社)

总 序

针对高职高专教材建设与发展问题,教育部在《关于加强高职高专教材建设的若干意见》中明确指出:先用2~3年时间,解决好高职高专教材的有无问题,再用2~3年时间,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材,形成**一纲多本、优化配套**的高职高专教育教材体系。

2001年7月,由人民交通出版社发起组织,15所交通高职院校的路桥系主任和骨干教师相聚昆明,研讨交通土建高职高专教材的建设规划,提出了28种高职高专教材的编写与出版计划。后在交通部科教司路桥工程学科委员会的具体指导下,在人民交通出版社精心安排、精心组织下,于2002年7月前完成了28种路桥专业高职高专教材出版工作。

这套教材的出版发行,首先解决了交通高职教育教材的有无问题,有力支持了路桥专业高职教育的顺利发展,也受到了全国各高职院校的普遍欢迎。

随着高职教育教学改革的深入发展、高职教学经验的丰富与积累,以及本行业有关技术标准、规范的更新,本套教材在使用了2~3轮的基础上,对教材适时进行修订是十分必要的,时机也是成熟的。

2004年8月,人民交通出版社在新疆乌鲁木齐召开了有19所交通高职院校领导、系主任、骨干教师共41人参加的教材修订研讨会。会议商定了本套教材修订的基本原则、方法和具体要求。会议决定本套教材更名为“交通土建高职高专统编教材”,并成立了以吉林交通职业技术学院张洪滨为主任委员的“交通土建高职高专统编教材编审委员会”,全面负责本套教材的修订与后续补充教材的建设工作。

2005年6月,编委会在长春召开了同属交通土建大类、与路桥专业链接紧密的“工程监理专业、工程造价专业、高等级公路维护与管理专业”主干课程教材研讨会,正式规划和启动了这三个专业教材的编写出版工作。

2005年12月,教育部高等教育司发布了“关于申报普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”选题的通知(教高司函[2005]195号),人民交通出版社积极推荐本套教材参加了“十一五”国家级规划教材选题的评选。

2006年6月,经教育部组织专家评选、网上公示,本套教材中有十五种入选为“十一五”国家级规划教材,2008年1月,又有六种教材在“十一五”国家级规划教材补报中列选,共计21种,标志着广大参与本套教材编写的教师的辛勤劳动得到了社会的认可、本套教材的编写质量得到了社会的认同。

2006年7月,交通土建高职高专统编教材编审委员会及时在银川召开会议,有24所各省区交通高职院校或开办有交通土建类专业的高等学校系主任、专业带头人、骨干教师以及人民交通出版社领导共39位代表出席了本次会议。会议就全面落实教育部“十一五”国家级规划教材的编写工作进行了研讨。与会代表一致认为必须以入选的十五种国家级规划教材为基本标准,进一步全面提升本套教材的编写质量,编审委员会将严格按照国家级规划教材的要求审稿把关,并决定本套教材更名为“**全国交通土建高职高专规划教材**”,原编委会相应更名为“**全国交通土建高职高专规划教材编审委员会**”。以期在全国绝大多数交通高职院校和开办有交通土建类专业的高等院校的参与、统筹、规划下,本套教材中有更多的进入“十一五”国家

级规划教材行列。

2007年5月,编委会在湖南长沙召开工作会议,就“十一五”国家级规划教材主参编人员的确定和教材的编写原则作出了具体安排,全面启动“十一五”国家级规划教材的编写与出版工作。

2008年4月,编委会在广东珠海召开工作会议,研讨了“工学结合”高职高专教材编写思路,决定在“十一五”国家级规划教材编写过程中,注重高职教学改革新方向,注重工程实践经验的引入,倡导“工学结合”。

本套高职高专规划教材具有以下特色:

——顺应交通高职院校人才培养模式和教学内容体系改革的要求,按照专业培养目标,进一步加强教材内容的针对性和实用性,适应学制转变,合理精简和完善内容,调整教材体系,贴近模块式教学的要求;

——实施开放式的教材编审模式,聘请高等院校知名教授和生产一线专家直接介入教材的编审工作,更加有利于对教材基本理论的严格把关,有利于反映科研生产一线的最新技术,也使得技能培训与实际紧密结合;

——全面反映2003年以来的公路工程行业已颁布实施的新标准、规范;

——服务于师生、服务于教学,重点突出,逐章均配有思考题或习题,并给出本教材的参考教学大纲;

——注重学生基本素质、基本能力的培养,教材从内容上、形式上力求更加贴近实际;

——为加强学生的实际动手能力,针对《工程测量》、《道路建筑材料》等课程,本套教材特别配套有实训类辅导教材;

——为方便教学,本套教材配套有《道路工程制图多媒体教材》、《公路工程试验实训多媒体教材》、《路基路面施工与养护技术多媒体教材》、《桥涵设计多媒体教材》、《桥涵施工技术多媒体教材》、《现代道路测量仪器与技术多媒体教材》等。

本套教材的出版与修订再版,始终得到了交通部科教司路桥工程学科委员会和全国交通职教路桥专业委员会的指导与支持,凝聚了交通行业专家、教师群体的智慧和辛勤劳动。愿我们共同向精品教材的目标持续努力。

向所有关心、支持本套教材编写出版的各级领导、专家、教师、同学和朋友们致以敬意和谢意。

全国交通土建高职高专规划教材编审委员会
人民交通出版社
2008年5月

第三版前言

高等职业技术教育培养的是面向生产和管理第一线的应用型技术人才。如何培养适应社会需要的理论功底扎实、实践动手能力强、具有较强创新意识、适应岗位工作快的高素质的技能加学历的实用型人才,是高等职业技术教育的重要任务。

为了满足高等职业教育发展的需要,根据全国路桥工程学科委员会高职教材联络组 2001 年 7 月昆明会议,按照“交通高等职业教育路桥专业课程设置框架”的要求,编写了《桥涵水力水文》(第一版)教材。由于编写时间紧迫,第一版教材中不可避免地存在着一些不足或疏漏,有必要进行勘误与完善。又因自 2004 年 3 月起,新版《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)发布实施,原教材的部分内容也需要作相应修改,故在 2004 年 8 月新疆会议上,决定对本教材重新进行修订,以适应高等职业技术教育的迅速发展,促进路桥高职教育与教学的健康发展。

2007 年,本书被评为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”,因此,再次对本书进行修订。本教材创新之处在于:着眼于公路桥梁设计的实际,系统地规划教材章节,精心设计教学示例;针对高职学生接受能力,结合设计部门对一线人员的具体要求,合理控制难度;编写内容以本专业实际设计的需要为方向,精心归纳汇总各种易于掌握的内容和经验公式,合理安排内容。

本书内容以“实用、实际、实效”为原则,以《公路工程水文勘测设计规范》(JTG C30—2002)为指导,充分考虑到教学需要,力求做到理论与实践并重,以利于学生综合素质的提高。

本书在原教材的基础上,对内容进行了部分增减,授课大约需要 48 个课时左右。考虑到学习时间已经缩短,故删掉了实验内容,各学校可根据教学的实际情况进行安排。三年制大专可全部讲完,两年制大专可根据实际需要对手力学内容进行部分省略,以达到最好的教学效果。

本书由河北交通职业技术学院舒国明主编。交通土建高职高专规划教材编审委员会特邀长安大学高冬光教授、同济大学薛明教授担任本书主审。两位教授认真审阅了本书,并提出了许多宝贵的修改意见,在此向两位教授深表谢意。

本书具体编写情况如下:第一、二、三、四章由安徽交通职业技术学院徐炬平编写;第五章由四川交通职业技术学院李雪霞编写;第六、七、八、九、十、十一章由河北交通职业技术学院舒国明编写;第十二章由河北交通职业技术学院闫新勇编写;工程案例由中交跨世纪公司艾国志高级工程师编写。

本书在编写过程中,得到了人民交通出版社卢仲贤主任、河北交通勘察设计研究院张国清高级工程师、中交跨世纪公司艾国志高级工程师的指导,也得到了其他院校的大力支持,在此深表谢意。

由于编者的水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正,以便再版时修改。

编 者
2009 年 11 月

第二版前言

高等职业技术教育培养的是面向生产和管理第一线的应用型技术人才。如何培养适应社会需要的理论功底扎实、实践动手能力强、具有较强创新意识、适应岗位工作快的高素质实用型人才，是职业技术教育的重要任务。

为了满足高等职业教育发展的需要，根据全国路桥工程学科委员会高职教材联络组 2001 年 7 月昆明会议，按照《交通高等职业教育路桥专业课程设置框架》的要求编写了本教材，并已试用了三年。由于编写时间紧迫，第一版教材中不可避免的存在着一定的不足或疏漏，有必要进行勘误与完善。又因自 2004 年 3 月起，新版《公路工程技术标准》发布实施，原教材的部分内容也需要作相应修改，故在 2004 年 8 月新疆会议上决定对本教材重新进行修订，以适应高等职业技术教育的迅速发展，促进路桥高职教育与教学的健康发展。

本书第二版内容以“实用、实际、实效”为原则，以新版的《公路工程水文勘测设计规范》(JTG C30—2002)为指导，充分考虑到教学需要，力求做到理论与实践并重，以利于学生综合素质的提高。

本书在原教材的基础上，对内容进行了部分增减，授课大约需要 48 个课时左右。考虑到学习时间已经缩短，故删掉了实验内容，各学校可根据教学的实际情况进行安排。三年制大专可全部讲完，两年制大专可根据实际需要，对水力学内容进行部分省略，以达到最好的教学效果。

本书第二版由河北交通职业技术学院舒国明主编。交通土建高职高专统编教材编审委员会特邀长安大学高冬光教授担任本书主审。高教授认真审核了本书，并提出了许多宝贵的修改意见，使本书的编校质量有了很大提高，在此向高教授深表谢意。

本书第二版具体编写情况如下：第一、二、三、四章由安徽交通职业技术学院徐炬平编写，第五、六、七、八、九、十、十一章由河北交通职业技术学院舒国明编写。

本书在编写的过程中，得到了安徽交通职业技术学院俞高明副院长具体指导，也得到了贵州交通职业技术学院张润虎老师、宁夏交通学校孙元桃老师的大力帮助，在此深表谢意。

由于编者的水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正，以便再版时修改。

编 者

2005 年 7 月

第一版前言

高等职业技术教育培养的是面向生产和管理第一线的应用型技术人才。如何培养适应社会需要的理论功底扎实、实践动手能力强、具有较强创新意识、适应岗位工作快的高素质实用型人才是职业技术教育的重要任务。为了满足高等职业教育发展的需要,根据全国路桥工程学科委员会高职教材联络组 2001 年 7 月昆明会议决议,按照《交通高等职业技术教育路桥专业课程设置框架》的要求组织编写了本教材。本书注意到高等职业教育的特点,内容以“实用、实际、实效”为原则,同时紧密跟踪桥涵水力水文学科的新发展,紧贴以新版的《公路工程水文勘测设计规范》(JTJ 062—2002)为主体的现行有关标准规范,也充分考虑到结合教学规律,力求做到理论与实践并重,以有利于学生综合素质的提高。

本书由安徽交通职业技术学院俞高明主编,河北交通职业技术学院舒国明副主编,贵州交通职业技术学院张润虎主审。具体编写情况如下:绪论第一节和第五、六、七章由安徽交通职业技术学院俞高明编写;绪论第二节和第一章第二节由安徽交通职业技术学院谢查俊编写;第一章第一、三节、第二章第三、四、五节、第三、四章、第十三章由安徽交通职业技术学院徐炬平编写;第二章第一、二节和第八、九、十、十一、十二章及附录由河北交通职业技术学院舒国明编写。

本书于 2002 年 7 月 3 日至 8 日在安徽合肥审稿会上审定。参加审稿会的有贵州交通职业技术学院张润虎,安徽交通职业技术学院俞高明、徐炬平,河北交通职业技术学院舒国明,人民交通出版社王霞、卢仲贤等。

在编写和审稿过程中,得到了安徽路桥总公司和全国各交通职业技术学院的大力支持,在此,一并深表谢意。

由于编者的水平有限,加上时间紧迫,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正,以便再版时修改。

编 者

2002 年 7 月

目 录

第一章 水静力学	1
第一节 静水压强及分布规律	1
第二节 静水总压力计算	5
复习思考题	9
习题	9
第二章 水动力学基础	11
第一节 概述	11
第二节 恒定流的连续性方程	13
第三节 恒定流的能量方程	14
复习思考题	21
习题	21
第三章 明渠均匀流	22
第一节 明渠均匀流的水力特性和基本公式	22
第二节 明渠水力计算	28
复习思考题	30
习题	30
第四章 明渠非均匀流	31
第一节 断面比能及临界水深	31
第二节 非均匀流方程及水面曲线的定性分析	35
第三节 水面曲线计算与绘制	38
第四节 水跌与水跃	40
复习思考题	41
习题	42
第五章 河流基本知识	44
第一节 地面径流	44
第二节 河段分类	48
第三节 泥沙运动	51
复习思考题	54
第六章 水文调查	55
第一节 河床断面测量和水文观测	55
第二节 水文调查	59
第三节 流量计算	63
复习思考题	66
习题	66
第七章 水文基础	67
第一节 水文统计基本知识	67
第二节 经验频率曲线	69

第三节 理论频率曲线	73
复习思考题	87
习题	88
第八章 大中桥设计流量推算	89
第一节 资料的准备和分类	89
第二节 有观测资料时规定频率流量计算	90
第三节 缺乏观测资料的规定频率流量推算	98
第四节 不同断面流量间的关系	99
复习思考题	101
习题	101
第九章 小桥涵设计流量推算	102
第一节 形态调查法	102
第二节 暴雨推理法	107
第三节 直接类比法	116
第四节 小桥涵位设计流量的推算和各种计算方法的比较	127
复习思考题	129
习题	129
第十章 桥位选择与大中桥孔径计算	130
第一节 桥位选择和桥位调查	130
第二节 桥孔长度和桥孔布设	131
第三节 桥面中心和引道路堤最低设计高程的确定	134
复习思考题	147
习题	147
第十一章 桥下冲刷	148
第一节 桥下一般冲刷	148
第二节 墩台局部冲刷计算	151
第三节 确定墩台基底最小埋置深度	156
第四节 调治工程	162
复习思考题	163
习题	164
第十二章 小桥涵孔径计算	165
第一节 小桥孔径计算	165
第二节 涵洞孔径计算	174
第三节 小桥和涵洞孔径计算方法比较	179
复习思考题	179
习题	179
工程案例	181
附录 量纲分析方法	185
教学参考意见	186
参考文献	188

第一章 水静力学

水静力学(Hydrostatics)是研究液体处于静止状态下的力学平衡规律及其应用。处于静止状态下的液体与固体边壁之间不存在相对运动,不产生黏滞切应力,所以静止液体所受的力是边壁压应力和质量力(主要是重力)。

水静力学是水力学的基础,它总结的规律,可用于整个水力学中,同时可在水工建筑物计算中直接应用。

本章主要讨论静水压强的特性,建立静水压强方程,进而研究静水压强的分布规律,进行静水总压力计算。

第一节 静水压强及分布规律

一、静水压强及其特性

1. 静水压强的垂直性

为了方便分析,我们用任意曲面 ab 将容器内液体分割为上下两部分[图 1-1a)],取出脱离体[如图 1-1b)],分析 ab 曲面受力。

因为上下两部分液体没有相对运动,其层间黏滞力为 0,层间不存在切应力,而且,液体不能承受拉力,因此,曲面只存在沿着内法线方向的压力,我们定义为静水压力。

我们在曲面上任取微小面积 ΔA ,沿内法线方向作用静水压力 ΔP ,那么该区域内的平均静水压力为 $\frac{\Delta P}{\Delta A}$ 。当区域无限小

时,可以认为是一点的静水压强 p 。

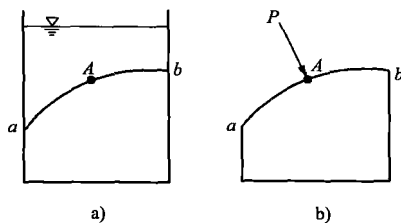


图 1-1

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA} \quad (1-1)$$

从上分析得出:静水压强总是沿着作用面的内法线方向,这就是静水压强的垂直性特征。

2. 静水压强的等值性

任一点静水压强的大小与受压面方向无关,这就是静水压强的等值性。如图 1-2 所示,假设静止水体中存在一微小六面体,若该六面体各方向受到的压力大小不相等,则六面体将发生移动,这与静水前提相矛盾,所以作用于六面体各方向静水压强大小相等。下面通过一个例子说明该特性含义。如图 1-3 所示,平衡液体中有一垂直平板 AB ,设平板上 C 点的静水压强为 p_c , p_c 垂直并指向受压面 AB 。假定 C 点位置固定不动,平板 AB 绕 C 点转动变成图 1-3b) 的情况。 AB 改变方位前后,作用在 C 点的静水压强大小仍然保持不变。

静水压强的垂直性和等值性两个特性,对于分析静水压强的分布规律和计算静水总压力具有重要意义。

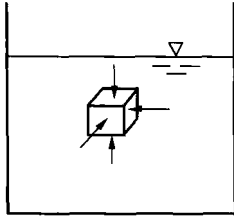


图 1-2

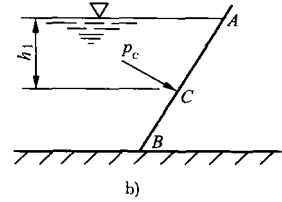
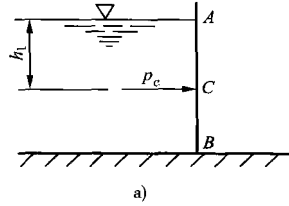


图 1-3

二、静水压强公式及等压面

从中学物理中可知液体中任一点 M (图 1-4) 的压强为:

$$p = p_0 + \gamma \cdot h \quad (1-2)$$

式中: p_0 ——液面压强;

γ ——液体重度;

h ——液面到 M 点铅垂距离。

液体中压强相等的各点所构成的曲面称为等压面。例如,液体自由表面即为等压面,其压强为大气压。对于重力液体等压面有:同种液体,同一高程(或水平面)压强相同,两点间压差看高差。注意等压面概念使用时必须是同一水平面上相连的同种液体。因此,图 1-5a) 中 1—1 为等压面;图 1-5b) 中 2—2 不是等压面(为不同液体),3—3 为等压面;图 1-5c) 中 4—4、5—5 都不是等压面。

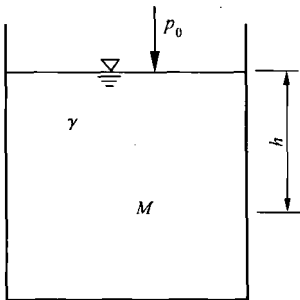


图 1-4

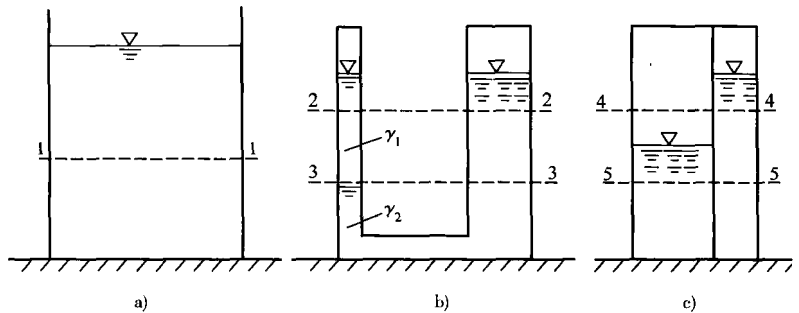


图 1-5

三、静水力学基本方程

液体同其他静止物质一样,具有一定势能。其势能可分为位置势能和压力势能。如图 1-6 所示,假定 M 点存在一单位重力液体,其位置势能为 z ,其压力

势能为 $\frac{p}{\gamma}$,那么其总势能为:

$$C = z + \frac{p}{\gamma} \quad (1-3)$$

式(1-3)就是静水力学基本方程。其中各项具有长度单位,在几何上各项均为一段铅垂高度。在水力学上“高度”习惯称为“水头”。

其中:

$$p = p_0 + \gamma \cdot h$$

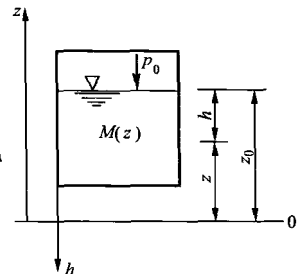


图 1-6

所以

$$C = z + \frac{p_0}{\gamma} + h$$

从图中可以看出同一液面 p_0 为一定值, $z + h$ 为液面到基准面的高差。所以静止液体中各点位置高度与压强高度之和 C 不变。位置高度小处, 压强高度大; 位置高度大处, 压强高度小。

四、绝对压强与相对压强及其测定方法

在实际计算中, 不同情况下采用不同的基准面来度量压强, 即绝对压强与相对压强。

1. 绝对压强

以设想没有大气存在的绝对真空状态为零点计量的压强, 称为绝对压强, 以 p' 表示。

2. 相对压强

相对压强是以当地大气压作为零点计量的压强, 用 p 表示, 其数值可正可负。地球表面大气压因海拔高度及纬度差异而不同。在国际单位制中, 确定 98 223. 4Pa 为一个大气压。工程上习惯用 98kPa 作为大气压强, 称工程大气压^①, 以 p_a 表示。相对压强与绝对压强的关系可表示为:

$$p = p' - p_a \quad (1-4)$$

如果液体中某点的绝对压强 p' 小于当地大气压强 p_a , 或者说相对压强为负值, 就称该点出现了真空。把大气压强与该点绝对压强的差值称为真空值, 以 p_v 表示, 即:

$$p_v = p_a - p' \quad (1-5)$$

由式(1-4)、式(1-5)可以分析得知: 真空值与相对压强的绝对值相等; 真空值越大, 意味着绝对压强越小。图 1-7 描绘了绝对压强、相对压强及真空值的关系。

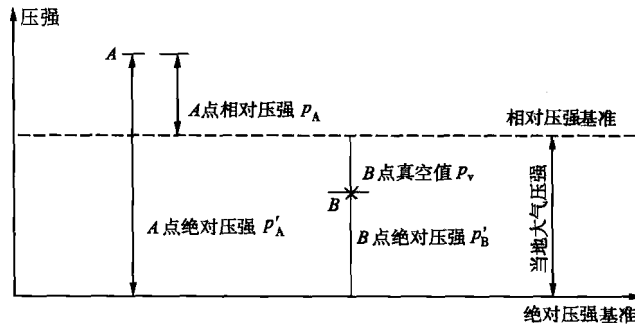


图 1-7

3. 压强的单位

水力学中, 压强的单位除了常用的应力单位(Pa)外, 还有另外两种表达形式: 液柱高度和工程大气压。

在对基本方程进行分析时, 曾得出压强的长度意义, 即 $\frac{p}{\gamma}$ 的单位是米液柱。此液体是水, 压强的单位就是米水柱; 是汞则为米汞柱。

^①法定单位制中, 均属已废除此单位, 为便于新旧单位换算, 故列之。

工程上为了方便,还常用“工程大气压”(即 98kN/m^2) 作为计量单位。这些单位之间的关系是:

$$1 \text{ 工程大气压} = 73.5\text{cm 汞柱} = 10\text{m 水柱} = 98\text{kPa}$$

$$1 \text{ 标准大气压} = 76\text{cm 汞柱}$$

4. 常用压强的测量

利用水静力学原理测量液体(或气体)的方式,主要有以下几种。

(1) 测压管。它是直接用同种液体的液柱高度来测量液体压强的仪器,如图 1-8 中 A 点测压管所示。依据静水压强基本方程, A 点的相对压强为:

$$p_A = \gamma \cdot h \quad (1-6)$$

(2) 只需量出测压管高度就可得出测量点静水压强的。但当压强大于 20kPa 时,测压管水柱将达到 2m ,使用不方便,这时可用 U 形水银测压计。

(3) U 形水银测压计。如图 1-8 中的 B 点测压管所示,这个弯管就是 U 形水银测压计。它是根据连通器原理,确定等压面 N—N。设水银重度为 γ' ,按照水静力学基本方程,可求得 B 点的压强:

$$p_B = p_N - \gamma \cdot h_1 = \gamma' \cdot h_2 - \gamma \cdot h_1 \quad (1-7)$$

U 形水银测压计是常用的压强测量装置,比压计也是利用相同的原理。

5. 压强图示

水静力学基本方程的几何表示,即用线段长度表示各点压强大小,用箭头表示压强的方向,如此绘成的压强分布图形,称为压强分布图。按公式(1-2)有:

$$p = p_0 + \gamma \cdot h = p_0 + p$$

$$p = \gamma \cdot h$$

由此可知,静止液体中的压强由两部分压强组成。 p_0 为表面压强,按帕斯卡原理,它等值传递到液体中各点,与计算点所处深度无关,其压强分布图形是平行四边形或矩形。 p 为液体重力产生的压强,它与水深呈线性关系,自由表面处 $h=0, p=0$,沿水深的压强分布图为直角三角形。关于压强分布图的绘制与应用要点有:

(1) 压强分布图中各点压强方向恒垂直指向作用面,两受压面交点处的压强具有各向等值性。

(2) 压强分布图与受压面所构成的体积,即为作用于受压面上的静水总压力,其作用线通过此力图体积的重心。压强分布图可叠加。

(3) 由于建筑物通常都处于大气之中,作用于建筑物的有效力为相对压强,故一般只需绘制相对压强分布图。

(4) 工程应用中可绘制建筑物有关受压部分的压强分布图。

压强分布图直观明了,有助于分析计算。现列举几种压强分布以作示例,如图 1-9 所示。

例 1-1 设自由表面处压强 $p_0 = p_a$,求淡水自由表面下 2m 深度处的绝对压强和相对压强,并用两种压强单位表示。

解:(1) 绝对压强 p' :

$$p' = p_0 + \gamma \cdot h = 98 + 9.8 \times 2 = 117.6\text{kPa}$$

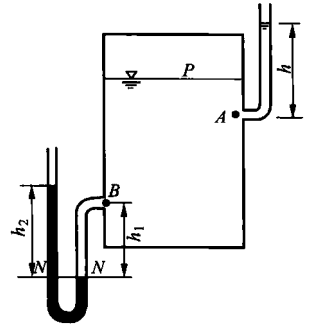


图 1-8

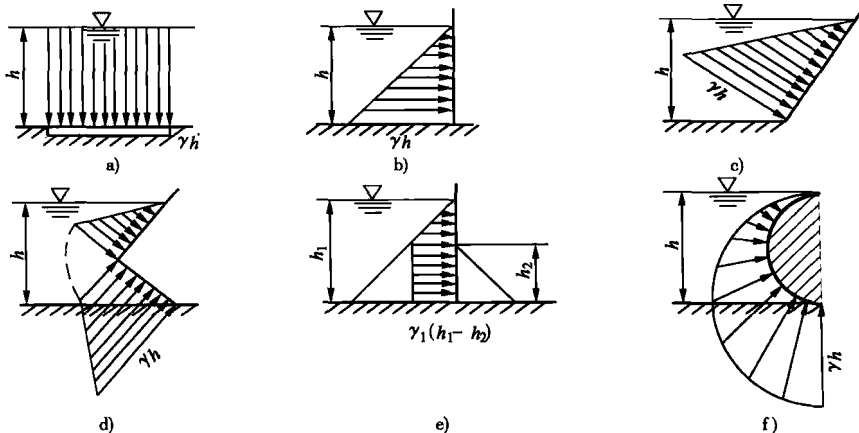


图 1-9

$$\frac{p'}{\gamma} = \frac{117.6}{9.8} = 12\text{m 水柱}$$

$$\frac{p'}{p_a} = \frac{117.6}{98} = 1.2 \text{ 工程大气压}$$

(2) 相对压强 p :

$$p = \gamma \cdot h = 9.8 \times 2 = 19.6\text{kN/m}^2 = 19.6\text{kPa}$$

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{\gamma \cdot h}{\gamma} = h = 2\text{m 水柱}$$

$$\frac{p}{p_a} = \frac{19.6}{98} = 0.2 \text{ 工程大气压}$$

例 1-2 有一水塔(图 1-10),为了量出塔中水位,在地面上装置一 U 形水银测压计,测压计左支用软管与水塔相通。今测出测压计左支水银面高程 $\nabla_1 = 502.00\text{m}$,左右两支水银面高差 $h_1 = 116\text{cm}$,试求出此时塔中水面高程 ∇_2 。

解:令塔中水位与水银测压计左支水银面高差为 h_2 , $h_2 = \nabla_2 - \nabla_1$,从测压计左支看, ∇_1 高程处的相对压强为:

$$p = \gamma(\nabla_2 - \nabla_1) = \gamma h_2$$

从测压计右支看, $p = \gamma' \cdot h_1$, 所以

$$h_2 = \frac{\gamma' \cdot h_1}{\gamma} = \frac{133.28 \times 1.16}{9.8} = 15.78\text{m}$$

塔中水位 $\nabla_2 = \nabla_1 + h_2 = 502.00 + 15.78 = 517.78\text{m}$

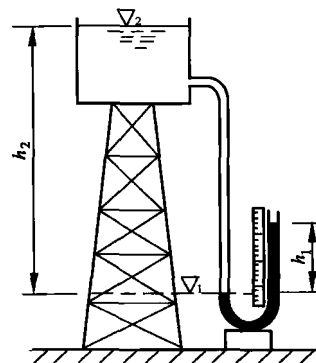


图 1-10

第二节 静水总压力计算

在对水工建筑物设计时,常常需要进行水压力计算。计算的内容不仅是压强的分布情况,还要确定总压力的大小、方向和作用点。

一、解 析 法

设水中任意形状平面 ab , 如图 1-11 所示, 其受压面积为 A , 倾角 α , 平面形心处水深 h_c 。沿平面 ab 取平面坐标系 xoy , x 轴是水平面与坐标面的交线。为了便于分析, 将坐标系绕 y 轴旋转 90° , 以能够完全展示平面的形状。

在平板上任取一点 $M(x, y)$ 进行微分分析。该点微小面积 dA , 水深 h , 承受静水压强 p 可认为均匀分布, 则有:

$$dP = p dA = \gamma h dA \quad (1-8)$$

另有

$$h = y \sin \alpha$$

形心

$$h_c = y_c \sin \alpha$$

合力作用点

$$h_D = y_D \sin \alpha$$

代入式(1-8):

$$dP = \gamma \cdot y \cdot \sin \alpha \cdot dA$$

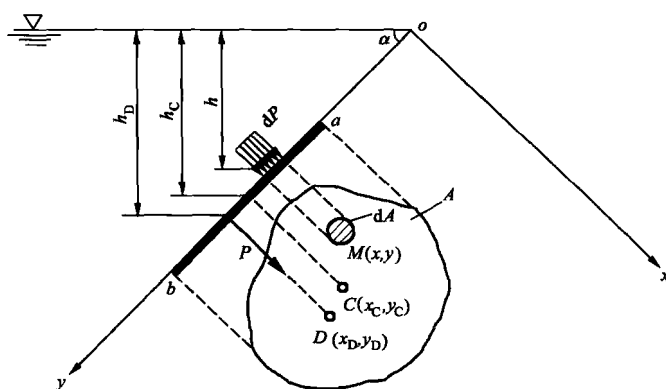


图 1-11

$$\text{全面积积分 } P = \int dP = \int_A p \cdot dA = \gamma \cdot \sin \alpha \int_A y \cdot dA = \gamma \cdot y_c \cdot A \cdot \sin \alpha$$

即

$$P = \gamma \cdot h_c \cdot A = p_c \cdot A \quad (1-9)$$

式中: p_c ——平面形心处的压强;

$\int_A y dA$ ——平面 ab 对 x 轴的面积矩。

公式(1-9)是作用于平面壁上静水总压力的计算公式, 同时它表明平面所受静水总压力的大小, P 等于其形心处的压强 p_c 与受压面面积 A 的乘积。所以, 计算之前应找出受压面形心位置。常用图形形心位置可参见表 1-1。

常见平面图形的面积、形心、惯性矩公式

表 1-1

名 称	几 何 图 形	面 积 A	形 心 y_c	惯 性 矩 I_c
矩 形		bh	$\frac{1}{2}h$	$\frac{1}{12}bh^3$