



2008

注册设备工程师考试专业基础课

■ 冯萃敏 主编

给水排水专业

Edu2401
com
环球职业教育在线



精讲精练



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

2008

注册公用设备工程师考试专业基础课

■ 冯萃敏 主编

给水排水专业

精讲精练



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

本书内容分为给水排水的公共基础和专业基础两部分,紧扣最新专业基础部分考试大纲,由北京建筑工程学院富有教学和实践经验的相关教师编写,具有较强的指导性和实用性。本书内容包括水文学和水文地质、水处理微生物学、水力学、水泵及水泵站、水分析化学和工程测量六部分内容,并附有考试大纲、复习题和解题指导,以提高考生复习备考的效率。本书可作为注册公用设备工程师给水排水专业基础考试的复习资料,也可作为高等院校给水排水工程及相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

2008 注册公用设备工程师考试专业基础课精讲精练. 给水排水专业/冯萃敏主编. —北京:中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-7121-4

I. 2… II. 冯… III. ①城市公用设施-工程技术人员-资格考核-自学参考资料②给排水系统-工程技术人员-资格考核-自学参考资料 IV. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 043453 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑:张鹤凌 电话:010-58383355 邮箱:zhiyezige2008@163.com

责任印制:陈焊彬 责任校对:王瑞秋

北京同江印刷厂印刷·各地新华书店经售

2008 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·16.75 印张·422 千字

定价:38.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

前 言

《2007 注册公用设备工程师考试专业基础课精讲精练·给水排水专业》是按照 2003 年 5 月开始实行的《注册公用设备工程师执业资格制度暂行规定》和《勘察设计注册公用设备工程师制度总体框架实施规划》的规定,以《全国勘察设计注册公用设备工程师给水排水工程专业基础考试大纲》的专业基础部分为依据,组织富有教学经验的相关教师编写的。

本书的内容包含水文学和水文地质、水处理微生物学、水力学、水泵及水泵站、水分析化学和工程测量六门课程。大纲中要求的职业法规部分,可参照具体的法律、规范和标准文件,未包含在本书中。本书章次及参加编写的人员如下。

第 1 章	水文学和水文地质	张思聪
第 2 章	水处理微生物学	曹亚莉
第 3 章	水力学	王文海
第 4 章	水泵及水泵站	冯萃敏
第 5 章	水分析化学	岳冠华
第 6 章	工程测量	陆立

本书在上一版的基础上,参考考试真题,对大纲要求的内容进行了高度的提炼和归纳,精选典型习题并附有参考答案和解题指导,注重精确、精炼和高效,以便于考生在有限的时间内对多门课程进行复习。

本书可作为注册公用设备工程师给水排水工程专业基础考试的参考资料,也可作为高等院校给水排水工程专业及相关专业教师和学生的参考用书。

感谢北京建筑工程学院对本书编写工作的支持!

感谢黄华、张艳秋、龙莹洁、何昱、杨流芳、王斌、霍锡钰、金宏、张雅君、吴俊奇等人对本书编写工作提供的帮助。

感谢广大读者对本书的长期关注和支持!感谢热心读者对本书的修改提出建议!

恳请广大读者继续关注和支持本书,并提出宝贵意见,以便再版时进一步修改完善。

编者

目 录

前言

第1章 水文学和水文地质	1
1.1 水文学基本概念	1
1.1.1 河川径流	1
1.1.2 流域	2
1.1.3 泥沙测算	3
1.2 径流	6
1.2.1 径流的形成过程	6
1.2.2 径流的表示方法和度量单位	7
1.2.3 设计年径流	8
1.2.4 设计枯水流量分析计算	11
1.3 设计洪水	12
1.3.1 由流量资料推求设计洪水	12
1.3.2 由暴雨资料推求设计洪水	15
1.3.3 水文分析计算常用的数理统计方法	18
1.4 地下水储存	22
1.4.1 地下水储存	22
1.4.2 不同埋藏条件下的地下水	27
1.5 地下水运动	29
1.5.1 地下水运动的基本方程	29
1.5.2 地下水向井的运动	31
1.6 地下水的分布特征	33
1.6.1 孔隙水	33
1.6.2 裂隙水	36
1.6.3 岩溶水	37
1.7 地下水资源评价	38
1.7.1 概述	38
1.7.2 地下水资源的组成	38
1.7.3 地下水资源量的计算	39
复习题	43
复习题答案与提示	51
第2章 水处理微生物学	55
2.1 细菌的形态和结构	55
2.1.1 细菌的形态和大小	55
2.1.2 细菌细胞的结构	55

2.1.3 细菌的生长繁殖和命名	57
2.2 细菌的生理特征	57
2.2.1 细菌的营养类型划分	57
2.2.2 酶及影响酶活力的因素	58
2.2.3 细菌的呼吸类型及产物	60
2.2.4 影响细菌生长的环境因素	61
2.2.5 细菌的生长和遗传变异	62
2.3 其他微生物	64
2.3.1 丝状细菌	64
2.3.2 放线菌	65
2.3.3 真菌	65
2.3.4 藻类	65
2.3.5 原生动物	66
2.3.6 后生动物	66
2.3.7 病毒	66
2.3.8 微生物之间的关系	67
2.4 水的卫生细菌学	68
2.4.1 水中的细菌及分布	68
2.4.2 水中的病原细菌	68
2.4.3 水的卫生细菌学检验原理	68
2.4.4 水中病原微生物的控制方法	70
2.4.5 水中的病毒及其检测	70
2.5 废水生物处理中的微生物及水体污染的指示生物	71
2.5.1 废水中污染物在微生物作用下的降解与转化	71
2.5.2 废水生物处理中的微生物	72
2.5.3 水体污染与自净的指示生物	74
复习题	75
复习题答案与提示	81
第3章 水力学	85
3.1 水静力学	85
3.1.1 静水压力	85
3.1.2 阿基米德原理	87
3.1.3 潜、浮体的平衡与稳定	88
3.2 水动力学理论	89
3.2.1 伯努利方程	89
3.2.2 总水头线	91
3.2.3 测压管水头线	91
3.3 水流阻力和水头损失	91
3.3.1 沿程阻力系数变化	92
3.3.2 局部水头损失	92
3.3.3 绕流阻力	93
3.4 孔口、管嘴出流和有压管路	95

VI

3.4.1 孔口、管嘴的变水头出流	95
3.4.2 短管的水力计算	96
3.4.3 长管水力计算	96
3.4.4 管网水力计算基础	97
3.5 明渠均匀流	98
3.5.1 最优断面和允许流速	99
3.5.2 水力计算	99
3.6 明渠非均匀流	101
3.6.1 临界水深	101
3.6.2 缓流	102
3.6.3 急流	103
3.6.4 临界流	103
3.6.5 渐变流微分方程	103
3.7 堰流	104
3.7.1 薄壁堰	104
3.7.2 实用断面堰	105
3.7.3 宽顶堰	106
3.7.4 小桥孔径水力计算	106
3.7.5 消力池	108
复习题	108
复习题答案与提示	115
第4章 水泵及水泵站	118
4.1 叶片式水泵	118
4.1.1 离心泵工作原理	118
4.1.2 离心泵的基本方程式	119
4.1.3 性能曲线	121
4.1.4 管道系统特性曲线	122
4.1.5 水箱出流工况点	123
4.1.6 定速运行工况	123
4.1.7 调速运行	126
4.1.8 比转数	128
4.1.9 并联运行	128
4.1.10 串联运行	130
4.1.11 吸水管中压力变化	131
4.1.12 气穴和气蚀	131
4.1.13 气蚀余量	131
4.1.14 安装高度	132
4.1.15 轴流泵及混流泵	132
4.2 给水泵站	133
4.2.1 泵站分类	133
4.2.2 泵站供电	134
4.2.3 水泵机组布置	138

4.2.4 吸水管路与压水管路	141
4.2.5 泵站水锤	144
4.2.6 泵站噪声	145
4.3 排水泵站	147
4.3.1 排水泵站分类	147
4.3.2 排水泵站的构造特点	148
4.3.3 水泵选择	149
4.3.4 集水池容积	151
4.3.5 水泵机组布置	151
4.3.6 雨水泵站	152
4.3.7 合流泵站	155
4.3.8 螺旋泵污水泵站	156
复习题	157
复习题答案与提示	164
第5章 水分析化学	170
5.1 水分析化学过程的质量保证	170
5.1.1 水样的保存和预处理	170
5.1.2 水分析结果误差	172
5.1.3 分析结果的数据处理	174
5.1.4 有效数字	175
5.1.5 水质物理指标及测定	176
5.2 酸碱理论	177
5.2.1 酸碱平衡	177
5.2.2 酸碱滴定	179
5.2.3 水的碱度与酸度	183
5.3 络合滴定法	186
5.3.1 络合平衡	186
5.3.2 络合滴定	189
5.3.3 硬度及测定	190
5.4 沉淀滴定	192
5.4.1 沉淀滴定原理	192
5.4.2 莫尔法测定水中氯离子	194
5.5 氧化还原滴定法	195
5.5.1 氧化还原反应原理	195
5.5.2 氧化还原滴定	197
5.5.3 高锰酸钾法滴定	199
5.5.4 重铬酸钾法滴定	200
5.5.5 碘量法滴定	202
5.5.6 总需氧量	204
5.5.7 总有机碳	205
5.6 吸收光谱法	205
5.6.1 吸收光谱法原理	205

5.6.2 比色法	208
5.6.3 分光光度法	209
5.7 电化学分析法	210
5.7.1 电位分析法	210
5.7.2 直接电位分析法	211
5.7.3 电位滴定法	214
复习题	216
复习题答案与提示	223
第6章 工程测量	228
6.1 测量误差基本知识	228
6.1.1 测量误差分类与特点	228
6.1.2 评定精度	229
6.1.3 观测值精度评定	230
6.1.4 误差传播定律	231
6.2 控制测量	232
6.2.1 控制测量概述	232
6.2.2 平面控制网定位与定向	232
6.2.3 导线测量	234
6.2.4 交会定点	237
6.2.5 高程控制测量	238
6.3 地形图测绘	239
6.3.1 地形图基本知识	239
6.3.2 地物平面图测绘	241
6.3.3 等高线地形图测绘	242
6.4 地形图的应用	243
6.4.1 建筑设计中的地形图应用	243
6.4.2 城市规划中的地形图应用	243
6.5 建筑工程测量	244
6.5.1 建筑工程控制测量	244
6.5.2 施工放样测量	245
6.5.3 建筑安装测量	248
6.5.4 建筑工程变形观测	249
复习题	250
复习题答案与提示	254
参考文献	258

第1章 水文学和水文地质

考试大纲

- 1.1 水文学概念：河川径流 泥沙测算 流域水量平衡
- 1.2 洪、枯径流：设计枯水流量和水位 设计洪水流量和水位
- 1.3 降水资料收集：暴雨公式 洪峰流量
- 1.4 地下水储存：地质构造 地下水形成 地下水储存 地下水循环
- 1.5 地下水运动：地下水流向并稳定运动 地下水流向并不稳定运动
- 1.6 地下水分布特征：河谷冲积层地下水 沙漠地区地下水 山区丘陵区地下水
- 1.7 地下水资源评价：储量计算 开采量评价

1.1 水文学基本概念

地球上的水以液态、固态和气态的形式分布于海洋、陆地、大气和生物机体中，这些水体构成了地球的水圈。水圈中的各种水体在太阳的辐射下不断地蒸发变成水汽进入大气，并随气流的运动输送到各地，在一定条件下凝结形成降水。降落的雨水，一部分被植物截留并蒸发。落到地面的雨水，一部分渗入地下，另一部分形成地面径流沿江河回归大海，渗入地下的水，有的被土壤或植物根系吸收，然后通过蒸发或散发返回大气；有的渗透到较深的土层形成地下水，并以泉水或地下水流的形式渗入河流回归大海。水圈中的各种水体通过这种不断蒸发、水汽输送、凝结、降落、下渗、地面和地下径流的往复循环过程，称为水文循环，也称为水循环。水文循环是地球上最重要、最活跃的物质循环之一。水是良好的溶剂，水流具有携带能力，因此，自然界中许多物质以水为载体，参与各种物质的循环，可见水循环对人类的生活和生产活动有着重大的影响作用。研究水文循环的目的，在于认识它的基本规律，揭示其内在联系，这对合理开发和利用水资源，抗御洪旱灾害，改造利用自然和保护自然都有十分重要的意义。

1.1.1 河川径流

1. 河流的形成与基本特征

降落到地面的雨水，除下渗、蒸发等损失外，在重力的作用下沿着一定的方向和路径流动，这种水流称为地面径流。地面径流长期侵蚀地面，冲成沟壑，形成溪流，最后汇集成河流。河流不仅接纳地面径流也接受地下径流，河流是水文循环的一条主要路径。

一条河流沿水流方向，自高向低可分为河源、上游、中游、下游和河口五段。河源是河流的发源地，多为泉水、溪涧、冰川、湖泊或沼泽等。上游紧接河源，多处于深山峡谷中，坡陡流急，河谷下切强烈，常有急滩或瀑布。中游河段坡度渐缓，下切力减弱，旁切力加强河槽变宽，两岸常有滩地，冲淤变化不明显，河床较稳定。下游是河流的最下段，一般处于平原区，河槽宽阔，河床坡度和流速都较小，淤积明显，浅滩和河湾较多。河口是河流的终点，即河流注入海洋或内陆湖泊的地方，这一段因流速骤减，泥沙大量淤积，往往形成三角洲。注入海洋的河流，称为外流河，如长江、黄河等；流入内陆湖泊或消失于沙漠中的河

流,称为内流河或内陆河,如新疆的塔里木河和青海的格尔木河等。

河流基本特征可以用河流的长度(自河源沿主河道至河口的距离称为河流长度)、河流断面(河流断面有纵断面和横断面之分。垂直于水流方向的断面称为横断面,断面内通过水流的部分称为过水断面;河流沿水流方向各个断面最大水深点的连线称中泓线,沿中泓线的断面称河流的纵断面,其反映了河床的沿程变化)、河道纵比降(任意河段两端水面或河底的高差 Δh 称为落差)等来表示。

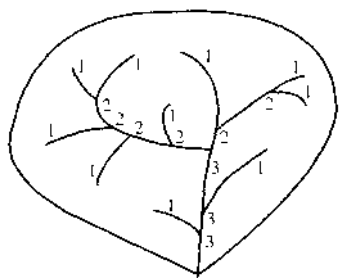


图 1-1 流域和水系
1、2、3—河流的级别

2. 水系

脉络相通的大小河流所构成的系统称为水系、河系或河网,如图 1-1 所示。水系中直接流入海洋、湖泊的河流称为干流,流入干流的河流称为支流。为了区别干支流,常采用斯特拉勒(Strahler)河流分级法进行分级:直接发源于河源的小河流为一级河流;两条同级别的河流汇合而成的河流级别比原来高一级;两条不同级别的河流汇合而成的河流的级别为两条河流中的较高者。以此类推至干流,干流是水系中最高级别的河流。

1.1.2 流域

1. 流域

汇集地面水和地下水的区域称为流域,即分水线包围的区域。分水线有地面、地下之分。当地面分水线与地下分水线相重合,称为闭合流域,否则为不闭合流域,如图 1-2 所示。在实际工作中,一般流域多按闭合流域考虑。流域是相对于某一出口断面而言的,当不指明断面时,流域即指河口断面以上区域。

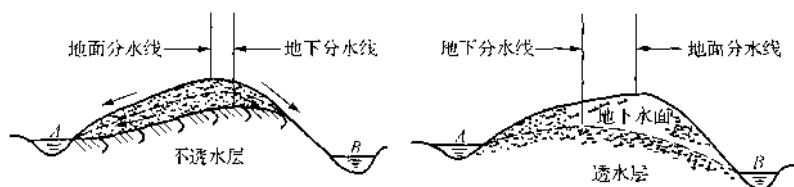


图 1-2 流域地面和地下分水线示意图

2. 流域基本特征

可以用以下的参数来描述流域的基本特征:

(1) 流域面积。流域分水线包围区域的平面投影面积,称为流域面积,记为 F ,以“ km^2 ”计。

(2) 河网密度。流域内河流干、支流总长度与流域面积的比值称为河网密度,以“ $1/\text{km}$ ”计。

(3) 流域的长度和平均宽度。流域长度就是流域轴长。以流域出口为中心向河源方向作一组不同半径的同心圆,在每个圆与流域分水线相交处作割线,各割线中点的连线的长度即为流域的长度,记为 L ,以“ km ”计。流域面积与流域长度之比 $B = F/L$ 称为流域平均宽度,以“ km ”计。

(4) 流域形状系数。流域平均宽度 B 与流域长度 L 之比称为流域形状系数。流域形状系数在一定程度上以定量的方式反映流域的形状。

(5) 流域的平均高度和平均坡度。

(6) 流域自然地理特征。

流域的地理位置：流域的地理位置以流域所处的经纬度来表示，可间接地反映流域气候和地理环境。

流域的气候特征：包括降水、蒸发、湿度、气温、气压、风等要素，这些因素决定流域的水文特征。

流域的下垫面条件：指流域的地形、地质构造、土壤和岩石性质、植被、湖泊、沼泽等情况，对流域汇流有重要影响作用。

3. 流域的水量平衡

根据物质不灭定律，对于任一地区在给定时段内输入的水量与输出的水量之差，必等于区域内蓄水量的变化，这就是水量平衡原理，它是水文学的基本原理。将水量平衡原理应用于某一个流域可表示为

$$I - O = \Delta W \quad (1-1)$$

式中 I ——给定时段内输入该流域的总水量；

O ——给定时段内输出该流域的总水量；

ΔW ——给定时段流域蓄水量的变化值，可正可负。

式 (1-1) 为水量平衡方程的通用形式，对于不同的情况，需要具体分析其输入和输出量的组成，给出具体的水量平衡方程式。对于一定时段内流域的水量平衡方程可表达为

$$P + E_1 + RS_1 + RG_1 + S_1 = E_0 + RS_0 + RG_0 + q + S_2 \quad (1-2)$$

式中，进入某流域的水量有：降水量 P 、凝结量 E_1 、地面径流入流量 RS_1 、地下径流入流量 RG_1 ；流出的水量有：总蒸发量 E_0 、地面径流流出量 RS_0 、地下径流流出量 RG_0 、时段内引用水量 q ； S_1 和 S_2 分别表示流域初始蓄水量和时段末流域蓄水量。式中各项均以“mm”计。

若该流域为闭合流域，不存在地面和地下径流的流入，则

$$RS_1 = 0, RG_1 = 0$$

并令 $R = RS_0 + RG_0$ ，表示流域出口断面总径流量， $E = E_0 - E_1$ 表示净蒸散发量， $\Delta S = S_2 - S_1$ 表示时段内该流域的蓄水变量，并设 $q = 0$ ，则闭合流域水量平衡方程为

$$P - E - R = \Delta S \quad (1-3)$$

对多年平均情况，式 (1-3) 中蓄水变量多年平均值趋于零，因而水量平衡方程可简化为

$$\bar{P} = \bar{R} + \bar{E} \quad (1-4)$$

式中， $\bar{P}$ 、 $\bar{R}$ 、 $\bar{E}$ 分别为流域多年平均降水量、多年平均径流量和多年平均蒸发量。

1.1.3 泥沙测算

河道中水流携带的泥沙叫河流泥沙。河流泥沙给修建水利工程带来不少问题和危害。我国的河流泥沙问题十分严重。为了解决泥沙问题，必须对河流泥沙特性和运动规律进行

研究。

河流中的泥沙,按其运动形式可大致分为悬移质、推移质和河床质三种类型。悬移质泥沙悬浮于水中并随之运动;推移质泥沙受水流冲击沿河底移动或滚动;河床质泥沙指相对静止而停留在河床上的泥沙。三者之间没有一定的界限,随水流条件变化可以相互转化。当水流挟沙能力增加时,原为推移质甚至河床质泥沙颗粒,可能从河底被掀起而成为悬移质;反之,悬移质也有可能成为推移质甚至河床质泥沙。一般工程上,主要估计悬移质输沙量和推移质输沙量。

表示输沙特性的指标有含沙量 ρ 、输沙率 Q_s 和输沙量 W_s 等。单位体积的浑水内所含泥沙的重量,称为含沙量,单位为 kg/m^3 。单位时间流过河流某断面的泥沙重量,称为输沙率,单位为 kg/s 。年输沙量是从泥沙观测资料整编的日平均输沙率得来的。将全年逐日平均输沙率之和除以全年的天数,即得年平均输沙率,再乘以全年秒数,即得年输沙量。

当某断面具有长期实测泥沙资料时,可以直接计算它的多年平均值;当某断面的泥沙资料短缺时,则需设法将短期资料加以展延;当资料缺乏时,则用间接方法进行估算。断面的多年平均年输沙总量,等于多年平均悬移质年输沙量与多年平均推移质年输沙量之和。多年平均悬移质年输沙量的实测资料较多,可按泥沙实测资料充分、不足和缺乏三种情况进行计算;而多年平均推移质年输沙量实测资料较少,且精度不高,常按它与悬移质年输沙量的关系估算。

(1) 多年平均悬移质年输沙量。

1) 具有长期实测泥沙资料情况。当设计断面具有长期实测流量及悬移质含沙量资料时,可直接用这些资料算出各年的悬移质年输沙量,然后用式(1-5)计算多年平均悬移质年输沙量,即

$$\bar{W}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_{s_i} \quad (1-5)$$

式中 $\bar{W}_s$ ——多年平均悬移质年输沙量(kg);

W_{s_i} ——第*i*年的悬移质年输沙量(kg);

n ——实测泥沙资料的年数。

2) 实测泥沙资料不足情况。当设计断面的悬移质输沙量资料不足时,可根据资料的具体情况采用不同的处理方法。若某断面具有长期年径流量资料和短期同步悬移质年输沙量资料系列,且足以建立相关关系时,可利用这种相关关系,由长期年径流量资料插补延长悬移质年输沙量资料系列,然后按式(1-5)求其多年平均年输沙量。若当地汛期降雨侵蚀作用强烈或平行观测年数较短,上述年相关关系并不密切,则可建立汛期径流量与悬移质年输沙量的相关关系,由各年汛期径流量插补延长悬移质年输沙量资料系列。

当设计断面的上游或下游观测站有长系列输沙量资料时,如两测站间无支流汇入,河槽情况无显著变化,自然地理条件大致相同,也可建立设计断面与上游(或下游)观测站悬移质年输沙量相关关系,如相关关系较好,即可用以插补展延系列。

如设计断面悬移质实测资料系列很短,只有两三年,不足以进行相关分析时,则可粗略地假定各年悬移质年输沙量与相应的年径流量的比值的平均值为常数,于是多年平均悬移质年输沙量 $\bar{W}_s$ (吨)可按式(1-6)来推求,即

$$\bar{W}_s = \alpha_s \bar{Q} \quad (1-6)$$

式中 $\bar{Q}$ ——多年平均年径流量（或多年平均汛期径流量）（ m^3 ）；

α_s ——实测各年的悬移质年输沙量与年径流量（或年汛期径流量）之比值的平均值。

3) 缺乏实测泥沙资料的情况。当缺乏实测悬移质资料时，其多年平均年输沙量只能采用下述粗略方法进行估算。

a. 侵蚀模数分区图：输沙量不能完全反映流域地表侵蚀的程度，更不能与其他流域的侵蚀程度相比较。因为流域有大有小，若它们出口断面所测得的输沙量相等，则小的流域被侵蚀程度一定比大的流域严重。因此，为了比较不同流域表面侵蚀情况，判断流域被侵蚀的程度，必须研究流域单位面积的输沙量，这个数值称为侵蚀模数。多年平均悬移质侵蚀模数可由式（1-7）计算得到

$$\bar{M}_s = \frac{\bar{W}_s}{F} \quad (1-7)$$

式中 $\bar{M}_s$ ——多年平均悬移质侵蚀模数（ t/km^2 ）；

F ——流域面积（ km^2 ）；

$\bar{W}_s$ ——多年平均悬移质年输沙量（ t ）。

在我国各省的水文手册中，一般均有多年平均悬移质侵蚀模数分区图。设计流域的多年平均悬移质侵蚀模数可以从图上所在的分区查出，将查出的数值乘以设计断面以上的流域面积，即为设计断面多年平均悬移质年输沙量。必须指出，下垫面因素对河流泥沙径流的特征值影响很大。采用分区图算得的成果必然是很粗略的。而且这种分区图多是按大、中河流的观测站资料绘制出来的，应用于小流域时，还应考虑设计流域的下垫面的特点，以及小河流含沙量与大中河流含沙量的关系加以适当修正。

b. 沙量平衡法：设 $\bar{W}_{s\uparrow}$ 和 $\bar{W}_{s\downarrow}$ 分别为某河干流上游站和下游站的多年平均年输沙量， $\bar{W}_{s\downarrow\downarrow}$ 和 $\bar{W}_{s\uparrow\uparrow}$ 分别为上下游两站间较大支流断面和除去较大支流以外的区间多年平均年输沙量， ΔS 表示上、下游两站间河岸的冲刷量（为正值）或淤积量（为负值），则可写出沙量平衡方程式为

$$\bar{W}_{s\downarrow} = \bar{W}_{s\uparrow} + \bar{W}_{s\downarrow\downarrow} + \bar{W}_{s\uparrow\uparrow} \pm \Delta S \quad (1-8)$$

当上、下游或支流中的任一测站为缺乏资料的设计站，而其他两站具有较长期的观测资料时，即可应用式（1-8）推求设计站的多年平均年输沙量。 $\bar{W}_{s\downarrow}$ 和 ΔS 可由历年资料估计，如数量不大亦可忽略不计。

c. 经验公式法：当完全没有实测资料，而且以上的方法都不能应用时，可由式（1-9）进行粗估，即

$$\bar{\rho} = 10^4 \alpha \sqrt{J} \quad (1-9)$$

式中 $\bar{\rho}$ ——多年平均含沙量（ g/m^3 ）；

J ——河流平均比降；

α ——侵蚀系数，它与流域的冲刷程度有关，可参考下列数值：冲刷剧烈的区域 $\alpha = 6 \sim 8$ ，冲刷中等的区域 $\alpha = 4 \sim 6$ ，冲刷轻微的区域 $\alpha = 1 \sim 2$ ，冲刷极轻的区域

$$\alpha = 0.5 \sim 1。$$

(2) 多年平均推移质年输沙量。许多山区河流, 坡度较陡, 加之山石破碎, 水土流失严重, 推移质来量往往很大, 故对推移质的估计必须重视。

由于推移质的采样和测验工作尚存在许多问题, 它的实测资料比悬移质更为缺乏, 因此, 推移质的估算不宜单以一种方法为准, 应采用多种方法估算, 经过分析比较, 给出合理的结果。

具有多年推移质资料时, 其算术平均值即为多年平均推移质年输沙量。当缺乏实测推移质资料时, 目前采用的方法都不太成熟, 其中一种方法称为系数法, 可供参考。该法考虑推移质输沙量与悬移质输沙量之间具有一定的比例关系, 此关系在一定的地区和河道水文地理条件下相当稳定的情况下, 可用系数法式 (1-10) 计算, 即

$$\bar{W}_b = \beta \bar{W}_s \quad (1-10)$$

式中 $\bar{W}_b$ ——多年平均推移质年输沙量 (t);

$\bar{W}_s$ ——多年平均悬移质年输沙量 (t);

β ——推移质输沙量与悬移质输沙量的比值。

β 值根据相似河流已有短期的实测资料估计, 在一般情况下可参考下列数值: 平原地区河流 $\beta = 0.01 \sim 0.05$, 丘陵地区河流 $\beta = 0.05 \sim 0.15$, 山区河流 $\beta = 0.15 \sim 0.30$ 。

另一种方法是从已建水库淤积资料中, 根据泥沙的颗粒级配, 推算出推移质的数量。一般的方法是把悬移质级配中大于 97% 的粒径作为推移质粒径的下限, 直接估算推移质输沙量。

此外, 为了探索推移质变化规律及推移质输沙率的计算, 国内外不少学者从实验室的试验研究结果中, 提出推移质输沙率的计算公式, 促进了推移质泥沙研究工作的开展, 但受实验室条件以及某些推理或假设的限制, 计算结果往往不能反映天然河流的实际情况, 说明推移质输沙率的计算问题仍是一个很重要而又亟待研究解决的问题。

1.2 径流

径流是指降水所形成的沿着流域地面和地下向河川、湖泊、水库、洼地等流动的水流。其中, 沿着地面流动的水流称为地面径流, 或地表径流; 沿土壤岩石孔隙流动的水流称为地下径流; 它们汇集到河流后, 在重力作用下沿河槽流动的水流称为河川径流。

径流过程是地球上水文循环中的重要一环。在水文循环过程中, 大陆上降水的 34% 转化为地面径流和地下径流汇入海洋。

1.2.1 径流的形成过程

流域内自降雨开始到水流汇集到流域出口断面的整个过程, 称为径流形成过程。径流的形成是一个相当复杂的过程, 为了便于分析, 一般把它概括为产流过程和汇流过程两个阶段。

1. 产流过程

降落到流域内的雨水, 一部分会损失掉, 剩下的部分形成径流。降雨扣除损失后的雨量称为净雨。显然, 净雨和它形成的径流在数量上是相等的, 但两者的过程却完全不同, 净雨是径流的来源, 而径流则是净雨汇流的结果; 净雨止于降雨结束时, 而径流却要滞后一段时

间。我们把降雨扣除损失称为净雨的过程称为产流过程，净雨量也称为产流量。降雨不能产生径流的那部分降雨量则称为损失量。

降雨过程中一部分滞留在植物枝叶上的水量，称为植物截留；落到地面的雨水将向土中下渗，当降雨强度小于下渗强度时，雨水将全部渗入土中；当降雨强度大于下渗强度时，雨水按下渗能力下渗，超出下渗的雨水称为超渗雨。超渗雨会形成地面积水，它积蓄于地面上的坑洼，称为填洼，填洼水量最终消耗于蒸发和下渗。随着降雨持续进行，满足了填洼的地方开始产生地面径流。形成地面径流的净雨，称为地面净雨。下渗到土中的水分，首先被土壤吸收，使包气带上壤含水量不断增加，当达到田间持水量后，下渗则趋于稳定。继续下渗的雨水，沿着土壤孔隙流动，一部分会从坡侧土壤孔隙流出，注入河槽形成径流，称为表层流或壤中流。另一部分会继续向深处下渗，到达地下水水面后，以地下水的形式补给河流，称为地下径流。形成地下径流的净雨称为地下净雨，它包括浅层地下水（潜水）和深层地下水（承压水）。

2. 汇流过程

净雨沿坡面从地面和地下汇入河网，然后再沿着河网汇集到流域出口断面，这一完整的过程称为流域汇流过程。前者称为坡地汇流，后者称为河网汇流。

(1) 坡地汇流过程：坡地汇流分为三种情况：一是超渗雨满足了填洼后产生的地面净雨沿坡面流到附近河网的过程，称为坡面漫流。地面净雨经坡面漫流注入河网，形成地面径流。大雨时产生的地面径流是构成河流流量的主要来源。二是表层流沿坡面侧向表层土壤孔隙流入河网，形成表层流径流。表层流流动比地面径流慢，到达河槽也较迟，但对历时较长的暴雨，数量可能很大，也可成为河流流量的主要组成部分，实际工作中常把表层流归入地面径流。三是地下净雨向下渗透到地下潜水面或深层地下水水体后，沿水力坡度最大的方向流入河网，称为坡地地下汇流。深层地下水汇流很慢，所以降雨以后，地下水流可以维持很长时间，较大河流可以终年不断，是河川的基本径流，所以常称为基流。

(2) 河网汇流过程：各种成分径流经坡地汇流注入河网，从支流到干流，从上游向下游，最后流出流域出口断面，这个过程称为河网汇流或河槽集流过程。坡地水流进入河网后，使河槽水量增加，水位升高，这就是河流洪水的涨水阶段。在涨水段，由于河槽储蓄一部分水量，所以对任一河段，如无旁侧入流下断面流量总小于上断面流量。随降雨和坡地漫流量的逐渐减少直至完全停止，河槽水量减少，水位降低，这就是退水阶段。这种现象称为河槽调蓄作用。

一次降雨过程，经植物截留、下渗、填洼、蒸发等损失，进入河网的水量显然比降雨量少，且经过坡地汇流和河网汇流，使出口断面的径流过程远比降雨过程变化缓慢，历时变长，时间滞后。

1.2.2 径流的表示方法和度量单位

河川径流在一年内和多年期间的变化特性，称为径流情势，前者称为年内变化或年内分配，后者称为年际变化。河川径流情势，常用流量、径流量、径流深、流量模数、径流系数等参数来表示。

1. 流量

单位时间内通过河流某一断面的水量称为流量，记为 Q ，以“ m^3/s ”计。流量随时间的变化过程，用流量过程线 $Q-t$ 表示，流量过程线的最高点称为洪峰流量，简称洪峰，记

为 Q_m 。

水文常用的流量还有日平均流量、月平均流量、年平均流量、多年平均流量及指定时段的平均流量。

2. 径流量

径流量指在时段 T 内通过河流某一断面的总水量，记为 W ，以“ m^3 ”、“ $万/m^3$ ”等计。径流量与流量的关系为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt = \bar{Q}T \quad (1-11)$$

式中 $Q(t)$ —— t 时刻的流量 (m^3/s)；

T ——计算时段， $T = t_2 - t_1$ (s)；

$\bar{Q}$ ——计算时段内的平均流量 (m^3/s)。

3. 径流深

将径流量平铺在整个流域面积上所得的水层深度称为径流深，记为 R ，以“mm”计，按式 (1-12) 计算

$$R = \frac{W}{1000F} = \frac{\bar{Q}T}{1000F} \quad (1-12)$$

式中 F ——流域面积 (km^2)，其余的变量意义同上。

4. 径流模数

流域出口断面流量与流域面积之比值称为径流模数，记为 M ，以“ $L/(s \cdot km^2)$ ”计。按式 (1-13) 计算

$$M = \frac{1000Q}{F} \quad (1-13)$$

5. 径流系数

某一时段的径流深 R 与相应时段内流域平均降雨深度 P 之比值称为径流系数，记为 α

$$\alpha = \frac{R}{P} \quad (1-14)$$

1.2.3 设计年径流

1. 设计年径流分析计算的目的和内容

(1) 目的。年径流分析计算是水资源利用工程中最重要的工作之一。设计年径流是衡量工程规模和确定水资源利用程度的重要指标。

水资源利用工程包括水库蓄水工程、供水工程、水力发电工程和航运工程等，其设计标准用保证率表示，反映对水利资源利用的保证程度，即工程规划设计的既定目标不被破坏的年数占运用年数的百分比。推求不同保证率的年径流量及其分配过程，就是设计年径流分析计算的主要目的。水资源利用程度，在分析枯水径流和时段最小流量时，还可用破坏率，即破坏年数占运用年数的百分比来表示。事实上，保证率和破坏率是事物的两个方面，互为补充，并可进行简单的换算。设保证概率为 P ，破坏概率为 q ，则 $P = 1 - q$ 。