



普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

Gongchenglixue
Yu Shuigong
Jiegou

工程力学与水工结构

(给水排水工程专业技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写
马景善 主编



中国建筑工业出版社
China Architecture & Building Press

普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

工程力学与水工结构

(给水排水工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

马景善 主 编

罗向荣 南振江 副主编

王秀兰 主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学与水工结构/马景善主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2005

普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材. 全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材. 给水排水工程技术专业适用

ISBN 978-7-112-06966-8

I. 工… II. 马… III. ①工程力学-高等学校: 技术学校-教材②水工结构-高等学校: 技术学校-教材
IV. ①TB12②TV3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 066963 号

普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

工程力学与水工结构

(给水排水工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

马景善 主 编

罗向荣 南振江 副主编

王秀兰 主 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 $\frac{1}{4}$ 字数: 446 千字

2005 年 7 月第一版 2008 年 6 月第二次印刷

印数: 3001—4500 册 定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-06966-8

(12920)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本教材编审委员会名单

主 任：张 健

副主任：刘春泽 贺俊杰

委 员：陈思仿 范柳先 孙景芝 刘 玲 蔡可键

蒋志良 贾永康 王青山 谷 峡 陶竹君

谢炜平 张 奎 吕宏德 边喜龙

本书是根据高等职业教育的特点、通过课程整合而形成的一本综合性教材。其内容体系分为工程力学基础、钢筋混凝土结构、砌体结构、水池结构施工图、钢筋混凝土施工技术和钢筋混凝土施工质量控制六个模块，共分12章。

本书内容丰富、知识面宽、综合性大，既有理论又有实践、重点突出技术应用。可作为高等职业教育给水排水工程技术、水工业技术、环境保护工程技术三个专业教学用书，也可作为土建工程从业人员的参考用书。

* * *

责任编辑：齐庆梅 牛 松

责任设计：崔兰萍

责任校对：王雪竹 孙 爽

序 言

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会（原名高等学校土建学科教学指导委员会高等职业教育专业委员会水暖电类专业指导小组）是建设部受教育部委托，并由建设部聘任和管理的专家机构。其主要工作任务是，研究建筑设备类高职高专教育的专业发展方向、专业设置和教育教学改革，按照以能力为本位的教学指导思想，围绕职业岗位范围、知识结构、能力结构、业务规格和素质要求，组织制定并及时修订各专业培养目标、专业教育标准和专业培养方案；组织编写主干课程的教学大纲，以指导全国高职高专院校规范建筑设备类专业办学，达到专业基本标准要求；研究建筑设备类高职高专教材建设，组织教材编审工作；制定专业教育评估标准，协调配合专业教育评估工作的开展；组织开展教学研究活动，构建理论与实践紧密结合的教学内容体系，构筑“校企合作、产学研结合”的人才培养模式，为我国建设事业的健康发展提供智力支持。

在建设部人事教育司和全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的领导下，2002年以来，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会的工作取得了多项成果，编制了建筑设备类高职高专教育指导性专业目录；制定了“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”等专业的教育标准、人才培养方案、主干课程教学大纲、教材编审原则，深入研究了建筑设备类专业人才培养模式。

为适应高职高专教育人才培养模式，使毕业生成为具备本专业必需的文化基础、专业理论知识和专业技能、能胜任建筑设备类专业设计、施工、监理、运行及物业设施管理的高等技术应用性人才，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会，在总结近几年高职高专教育教学改革与实践经验的基础上，通过开发新课程，整合原有课程，更新课程内容，构建了新的课程体系，并于2004年启动了“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业主干课程的教材编写工作。

这套教材的编写坚持贯彻以全面素质为基础，以能力为本位，以实用为主导的指导思想。注意反映国内外最新技术和研究成果，突出高等职业教育的特点，并及时与我国最新技术标准和行业规范相结合，充分体现其先进性、创新性、适用性。它是我国近年来工程技术应用研究和教学工作实践的科学总结，本套教材的使用将会进一步推动建筑设备类专业的建设与发展。

“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业教材的编写工作得到了教育部、建设部相关部门的支持，在全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的领导下，聘请全国高职高专院校本专业享有盛誉、多年从事“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”专业教学、科研、设计的

副教授以上的专家担任主编和主审，同时吸收工程一线具有丰富实践经验的高级工程师及优秀中青年教师参加编写。可以说，该系列教材的出版凝聚了全国各高职高专院校“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业同行的心血，也是他们多年来教学工作的结晶和精诚协作的体现。

各门教材的主编和主审在教材编写过程中认真负责，工作严谨，值此教材出版之际，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会谨向他们致以崇高的敬意。此外，对大力支持这套教材出版的中国建筑工业出版社表示衷心的感谢，向在编写、审稿、出版过程中给予关心和帮助的单位 and 同仁致以诚挚的谢意。衷心希望“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”这三个专业教材的面世，能够受到各高职高专院校和从事本专业工程技术人员的欢迎，能够对高职高专教学改革以及高职高专教育的发展起到积极的推动作用。

**全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会
建筑设备类专业指导分委员会**

2004年9月

前 言

《工程力学与水工结构》是给水排水工程技术、水工业技术、环境保护工程技术三个专业,通过课程整合而形成的一门综合性课程。课程体系分为工程力学基础、钢筋混凝土结构、砌体结构、水池结构施工图、钢筋混凝土施工技术和钢筋混凝土施工质量控制六个模块,共分12章。

本教材是按高等职业教育特点,依据国家标准、规范、行业标准、规程和国家标准图集以及课程教学大纲要求编写。教材内容丰富、知识面宽、综合性大,既有理论又有实践、重点突出技术应用。本书可作为上述三个专业《工程力学与水工结构》课程教材,也可作为土建工程从业人员参考用书。

本教材由黑龙江建筑职业技术学院教师编写。绪论及第一、十、十二章由马景善编写,第二、三章由于英编写,第四、五、六章由罗向荣编写,第七、八、九章由南振江编写,第十一章由马景善、王永发编写。全书由马景善担任主编,罗向荣、南振江担任副主编。

本书由黑龙江建筑职业技术学院王秀兰主审。

教材在编写过程中得到了黑龙江建筑职业技术学院王凤君院长、市政工程技术系主任谷峡教授的大力支持,在本书出版之际表示衷心感谢。

本教材虽经准备与讨论、审查与修改,但毕竟是第一次对课程进行整合,由于编者水平有限,难免有不足之处。恳请读者和业内人士提出宝贵意见,以便进一步修改完善。

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 工程力学基础

第一章 静力学基础	4
第一节 荷载	4
第二节 结构构件的简化	7
第三节 受力分析	10
第四节 力、力矩和力偶矩的计算	13
第五节 平面汇交力系的平衡方程及应用	16
第六节 平面任意力系的平衡方程及应用	18
思考题	23
习题	24
第二章 静定结构内力	27
第一节 概述	27
第二节 轴心拉（压）构件的内力及内力图	28
第三节 受弯构件的内力及内力图	30
第四节 静定平面刚架的内力及内力图	46
思考题	48
习题	48
第三章 构件应力分析	51
第一节 截面的几何性质	51
第二节 应力与应变的概念	57
第三节 轴心拉（压）构件的应力与应变	59
第四节 受弯构件的应力	61
第五节 单向偏心受压、受拉构件的应力	66
思考题	70
习题	70

第二篇 水工结构基本知识

第四章 钢筋混凝土材料的力学性能	73
第一节 钢筋	73
第二节 混凝土	76
第三节 钢筋与混凝土的共同工作	78

思考题	79
第五章 钢筋混凝土受弯构件承载力计算	80
第一节 结构设计的基本原则	80
第二节 受弯构件正截面承载力计算	83
第三节 受弯构件斜截面承载力计算	102
思考题	113
习题	113
第六章 钢筋混凝土受压、受拉构件承载力计算	115
第一节 受压构件承载力计算	115
第二节 受拉构件承载力计算	127
思考题	131
习题	131
第七章 钢筋混凝土受弯构件的裂缝控制和挠度计算	132
第一节 裂缝控制验算	132
第二节 受弯构件挠度验算	136
第三节 预应力混凝土基本知识	139
思考题	143
习题	144
第八章 钢筋混凝土水池	145
第一节 水池的类型	145
第二节 水池的荷载	146
第三节 水池内力计算	150
第四节 水池的构造	166
第五节 水池设计案例	168
思考题	173
习题	173
第九章 砌体结构基本知识	174
第一节 块材	174
第二节 砂浆	178
第三节 砌体构件的承载力	181
思考题	200
习题	200

第三篇 钢筋混凝土施工技术与质量控制

第十章 水池结构施工图	202
第一节 结构施工图基本知识	202
第二节 矩形水池结构施工图	206
思考题	208
第十一章 钢筋混凝土施工技术	209

第一节 模板工程.....	209
第二节 钢筋工程.....	221
第三节 混凝土工程.....	225
思考题.....	234
习题.....	235
第十二章 钢筋混凝土施工质量控制	236
第一节 质量控制概述.....	236
第二节 施工准备质量控制.....	237
第三节 施工过程质量控制.....	239
第四节 施工验收质量控制.....	244
思考题.....	249
习题参考答案.....	250
附录一 型钢规格表	253
附录二 矩形板在分布荷载下作用的静力计算表	266
附录三 钢筋混凝土清水池结构施工图	270
参考文献	282

绪 论

一、课程体系与任务

工程力学与水利结构是通过课程整合而形成的一门综合性课程。课程体系分为工程力学基础、钢筋混凝土结构、砌体结构、水池结构施工图、钢筋混凝土施工技术和钢筋混凝土施工质量控制六个模块。

课程的主要任务：

1. 工程力学基础

主要任务是为水利结构承载力与施工技术应用，打下坚实的基础，这个基础归纳为三力一变，即外力（荷载、约束反力）的平衡、内力的分布规律（弯矩图、剪力图）、应变的概念、应力的计算方法及分布。

2. 钢筋混凝土结构

主要任务是钢筋混凝土材料的力学性能、结构构件（梁、板、柱）的承载力、水池结构设计、构造要求等，是结构施工图、钢筋混凝土施工与质量控制的理论依据。

3. 砌体结构

主要任务是砌体材料技术性能、砌体构件的承载力、构造要求等。

4. 水池结构施工图

主要任务是熟悉结构施工图常用代号和钢筋、预埋件的表示方法；掌握看图的方法和步骤。

5. 钢筋混凝土施工技术

主要任务是熟悉模板设计、钢筋的下料、混凝土配合比设计；掌握模板、钢筋、混凝土施工工艺和技术。

6. 钢筋混凝土施工质量控制

主要任务是了解施工阶段质量控制内容；熟悉施工质量控制的依据，影响工程质量的因素；掌握钢筋混凝土施工质量控制的方法。

二、课程的研究对象

工程力学与水利结构是以构筑物为研究对象。例如水池、泵站等。

结构是工程术语，是指承受荷载而起骨架作用的部分。例如住宅中的墙、柱、梁、楼板等构成的整体称为结构；水池中的池底、池壁、池顶构成的整体也是结构。结构构件是指组成结构的单个物体。例如梁、板、柱、墙等全是结构构件，有时简称构件。因此，研究构筑物必须先研究结构构件。

结构构件是由工程材料加工制作而成，并具有一定特征的物体。工程材料一般分为单一性材料，例如钢材、木材、塑料、砖、石等；复合性材料，例如钢筋混凝土、砌体、型钢等。在材料方面主要研究钢筋、混凝土、砖、砌块、砂浆的力学与技术性能。因此，研究结构构件必须先研究工程材料。

对工程材料、结构构件、构筑物的研究成果最终将体现在图纸上。将图纸上的成果转换成物质形态必须进行施工。因此，还必须对施工技术进行研究。

三、课程研究的内容

水工结构主要采用钢筋混凝土结构，是混凝土结构中的一种。混凝土结构是以混凝土为主制成的结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。素混凝土结构是由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构。由于混凝土抗压能力远大于混凝土抗拉能力，一般混凝土抗拉强度约为抗压强度的 $1/10$ 左右。当荷载作用于受弯构件时受弯构件截面将产生内力，内力又产生应力与应变，应力与应变将截面分为受拉区、受压区。由于混凝土抗拉强度低，荷载较小时将导致受弯构件在受拉侧开裂，使之折断，如图 1 (a) 所示。而受压侧的材料性能没有得到充分利用，即不合理又不经济，而且破坏是突然发生的脆性断裂，这在工程上是不允许的。因此，素混凝土不能作为承载构件。

钢筋混凝土结构是由配置受力的普通钢筋，钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构。这种结构是将混凝土和钢筋这两种性能不同的材料结合起来共同工作，如图 1 (b) 所示。对受弯构件，压力主要由混凝土来承担，拉力由钢筋来承担，互相取长补短，是很好的承载材料。

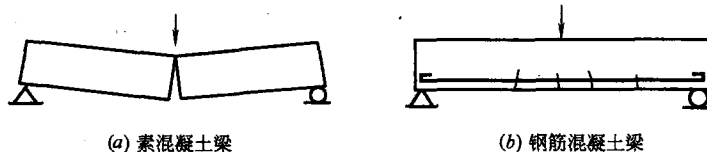


图 1 简支梁

预应力混凝土结构是由配置受力的预应力钢筋，通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构。从而起到提高承载力，抵抗变形和裂缝的作用。

工程中，材料抵抗破坏的能力称为强度，例如水泥的强度、钢筋的强度等。结构构件抵抗破坏的能力通过内力来反映，称为承载力；结构构件抵抗变形的能力称为刚度；对于受压的结构构件存在着稳定性，稳定性是指构件保持直线状态的平衡能力。

工程中的结构或构件应满足设计规定的某一功能要求，即安全性，适用性和耐久性。当结构或构件超过某一特定状态就不满足功能要求时，则此特定状态称为该功能的极限状态。极限状态分为两类，一是承载能力极限状态，二是正常使用极限状态。结构构件应根据承载力极限状态及正常使用极限状态的要求，分别对承载力及稳定，变形、抗裂及裂缝宽度进行计算和验算。

构筑物的施工是一项复杂的过程，为了便于组织施工和验收，我们将工程施工划分为若干分部工程和分项工程，模板工程、钢筋工程和混凝土工程都属于分项工程。搞施工首先必须看懂结构施工图，否则无法施工；其次是施工技术方案和施工程序，例如楼板工程是采用组合模板施工还是采用大模施工方案，混凝土工程采用商品混凝土还是现场配制混凝土，都是施工前应确定的施工方案，否则无法确定人员及资源配置；最后按程序施工。

在施工过程中必须对其质量进行控制，尤其是钢筋混凝土工程属于隐蔽工程尤为重要。质量控制是质量管理体系标准的一个质量术语。其含义是质量管理的一部分，是致力于满足质量要求的一系列相关活动。例如在施工过程质量控制中首先对进场材料如钢筋、

水泥、骨料、外加剂等进行质量控制，其次还要对模板、钢筋、混凝土分项工程施工的质量进行控制。

工程力学与水工结构内容可分为三力一变、按承载力极限状态及正常使用极限状态的要求对水工结构承载力及稳定，变形、抗裂及裂缝宽度进行计算和验算。按施工图进行模板、钢筋、混凝土分项工程施工与质量控制。

四、学习课程的意义

1. 运用知识的能力

本课程涉及很多知识，例如运用平衡方程解决荷载作用下结构构件的平衡问题的知识；画剪力图、弯矩图的知识；钢筋混凝土结构构件配筋的知识以及所配钢筋下料长度计算知识等。

在学习过程中学会运用所学的知识分析问题解决问题。例如在工程中经常遇到结构构件吊装问题，当用绳索两点吊装构件时规定绳索与水平面所成的夹角应大于等于 45° ，为什么不成 30° 呢，运用平衡方程的知识，求解对比当 45° 时绳索的受力小于 30° 时绳索的受力较为安全；又例如对称配筋的构件（混凝土桩，柱子），当两点吊装时合理的吊点位置为什么如图 2 (a) 所示那样呢？若一点吊如图 2 (b) 所示，吊点的位置又在哪呢？若非对称配筋又如何吊装呢？这些工程实际问题运用所学的知识可以解决。

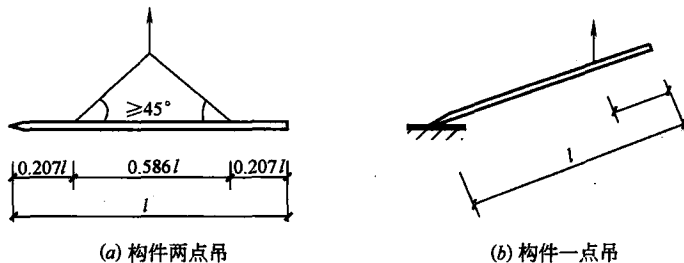


图 2 构件吊装

2. 培养职业能力

高等职业教育培养的是技术应用型人才，是在生产第一线或施工现场将规划、设计、决策变换成物质形态的施工员、建造师。

本课程着重培养懂钢筋混凝土结构设计、懂钢筋混凝土施工质量控制；会看钢筋混凝土结构施工图、会进行砂浆配合比设计；掌握模板的选用、模板的设计、钢筋的代换、下料长度的计算、混凝土配合比设计等职业技能。

第一篇 工程力学基础

第一章 静力学基础

在建筑工程中，静力学主要研究结构或构件在荷载作用下的平衡规律。

平衡是指物体相对地球处于静止或作匀速直线运动的状态。工程中的平衡一般是指结构或构件相对地面处于静止。

本章重点研究下列问题：

1. 受力分析

受力分析是一项综合性的分析，即研究对象分析、荷载分析、约束与约束反力分析。

2. 荷载的简化

简化的目的是确定荷载作用在结构或构件时的平衡条件。

3. 平衡方程

平衡方程是结构或构件的平衡规律，应用平衡方程可以求解结构或构件上的未知力。未知力的确定是下一步结构或构件计算的基础，因此平衡方程的应用是本章的主要目的。

第一节 荷载

一、荷载的概念

荷载是建筑结构术语，是直接作用在结构上的力集（包括集中力和分布力）。结构上的作用是指能使结构产生效应（结构或构件的内力、应力、位移、应变、裂缝等）的各种原因的总称。

作用分为直接作用和间接作用，直接作用所指的是荷载，间接作用所指的是温度变化、材料的收缩和徐变、地基变形、地面运动等现象，这类作用不是直接以力集的形式出现的作用，但所产生的效应与荷载相同，因此结构的作用是广义的作用。

本书按《建筑结构荷载规范》仅限于对直接作用的研究。

二、荷载的分类

1. 结构上的荷载按作用性质可分为下列三类

(1) 永久荷载

在结构使用期间，其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计，或其变化是单调的并能趋于限值的荷载。例如结构自重、土压力、预应力。

(2) 可变荷载

在结构使用期间，其值随时间变化，且其变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载。

例如楼面活荷载、池顶活荷载、风荷载、雪荷载等。

(3) 偶然荷载

在结构使用期间不一定出现，一旦出现，其值很大且持续时间很短的荷载。例如爆炸力、撞击力等。

2. 结构上的荷载按作用的范围可分为下列四类

(1) 集中荷载

荷载的作用范围与结构构件的尺寸相比很小时，将其简化成集中荷载。荷载集中作用于一点称为集中荷载。集中荷载的表示方法如图 1-1 所示。

集中荷载的表示方法实质是反映力的三要素，即力的大小、方向、作用点。集中荷载的大小用符号 F 来表达，集中荷载的单位为 N 或 kN ，方向用线段加箭头表示，作用点如图 1-1 所示的 A 点。对于两个以上的集中荷载作用的情况为了研究问题方便称为力系。

(2) 分布线荷载

分布线荷载分为均布线荷载和非均布线荷载两种。

1) 均布线荷载。在分布长度上各点荷载的大小相同，均布线荷载的表示方法如图 1-2 所示。用 q 表示均布线荷载的大小，单位用 N/m 或 kN/m 。

2) 非均布线荷载。在分布长度上各点荷载的大小不同，主要指按线性分布的情况。按线性分布的非均布线荷载的表示方法如图 1-3 所示。

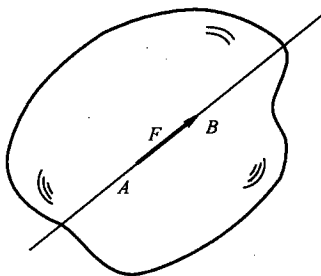


图 1-1 集中荷载的表示方法

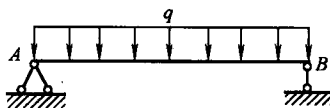


图 1-2 均布线荷载的表示方法

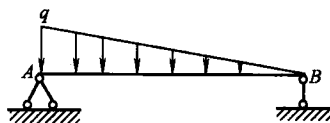
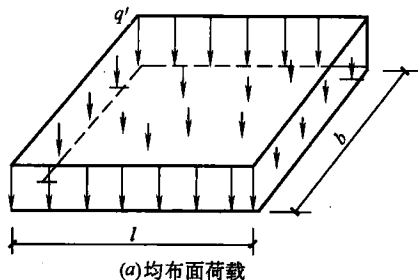


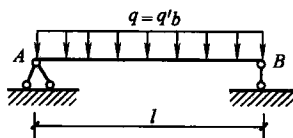
图 1-3 非均布线荷载的表示方法

(3) 分布面荷载

荷载作用在结构构件的面积上。分布面荷载分为均布面荷载和非均布面荷载两种。均布面荷载的表示方法如图 1-4 (a) 所示。用 q' 表示均布面荷载的大小，单位用 N/m^2 或



(a) 均布面荷载



(b) 转换的均布线荷载

图 1-4 分布面荷载的表示方法

kN/m^2 。在单向板计算时需要把均布面荷载转换成均布线荷载,即把一个方向的尺寸聚集到一条线上。若把 b 方向的尺寸聚集到 L 方向上转换成的均布线荷载,如图 1-4 (b) 所示。

(4) 体积荷载

体积荷载是指重力,由常用材料和构件的自重计算确定。部分常用材料和构件的自重复查《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 附录一。

三、荷载计算

1. 体积荷载的计算

当已知构件材料和构件尺寸时,按下式计算构件体积荷载:

$$W = \gamma V \quad \text{或} \quad W = \gamma A l \quad (1-1)$$

式中 W ——构件体积荷载, kN ;

γ ——构件的材料自重, kN/m^3 ;

V ——构件的体积, m^3 ;

A ——构件的截面面积, m^2 ;

l ——构件的长度, m 。

【例 1-1】 钢筋混凝土构件截面尺寸 $b \times h = 250\text{mm} \times 500\text{mm}$, 构件长 $l = 6\text{m}$, 试计算构件体积荷载。

【解】 由构件材料查表取 $\gamma = 25\text{kN/m}^3$

构件体积荷载 $W = \gamma A l = 25 \times 0.25 \times 0.5 \times 6 = 18.75\text{kN}$

2. 构件均布线荷载的计算

在梁、板构件中,构件自重所产生的荷载则简化为均布线荷载,并按下式计算均布线荷载:

$$q = \frac{W}{l} \quad \text{或} \quad q = \gamma A \quad (1-2)$$

式中 q ——均布线荷载, kN/m ;

其他符号意义同上式。

【例 1-2】 接上题,试计算沿构件长度分布的均布线荷载。

【解】 $q = \gamma A = 25 \times 0.25 \times 0.5 = 3.125\text{kN/m}$

3. 集中荷载的计算

当作用在构件的均布线荷载已知时,可用其集中荷载来代替,并按下式计算集中荷载的大小:

$$F = ql \quad (1-3)$$

式中 F ——集中荷载, kN ;

q ——均布线荷载, kN/m ;

l ——均布线荷载的分布长度, m 。

集中荷载的作用位置为均布线荷载分布长度的 $1/2$ 处,如图 1-5 所示。

当作用在构件上的非均布线荷载已知时,可用其集中荷载来代替,分布线荷载为三角形时按下式计算集中荷载的大小:

$$F = \frac{1}{2} ql \quad (1-4)$$