

国家示范院校重点建设专业

水利水电建筑工程专业课程改革系列教材

水工混凝土结构设计 与施工

◎ 主 编 毕守一
◎ 副主编 宋春发 胡昱玲
◎ 主 审 程先中



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑 韩月平 隋彩虹
E-mail: hyp@waterpub.com.cn

国家示范院校重点建设专业 水利水电建筑工程专业课程改革系列教材

水利工程识图实训

水力分析与计算

水工混凝土结构设计
与施工

土坝设计与施工

重力坝设计与施工

水闸设计与施工

泵站设计与施工

水工建筑物监测与维护

水利工程概预算

水利工程施工监理实务

销售分类：水利水电工程 / 水工混凝土结构

ISBN 978-7-5084-7297-3



9 787508 472973 >

定价：22.00 元

国家示范院校重点建设专业

水利水电建筑工程专业课程改革系列教材

水工混凝土结构设计 与施工

◎ 主 编 毕守一

◎ 副主编 宋春发 胡昱玲

◎ 主 审 程先中



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材是按照高职高专水利工程及相关专业培养目标的要求,以工作过程为导向,结合现行《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008),培养学生进行常用水工混凝土结构构件(梁、板、柱、肋形结构等)的结构设计、绘制与识读结构图和水工混凝土结构施工等工作能力。全书分为5个学习项目,分别是:水工钢筋混凝土梁板设计、钢筋混凝土柱设计、钢筋混凝土肋形楼盖结构设计、钢筋混凝土施工、渡槽设计与施工。

本教材可作为高职高专院校水利类各专业及其他成人高校相应专业的教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水工混凝土结构设计施工 / 毕守一主编. — 北京:
中国水利水电出版社, 2010.3

(国家示范院校重点建设专业、水利水电建筑工程专业课程改革系列教材)

ISBN 978-7-5084-7297-3

I. ①水… II. ①毕… III. ①水工结构:混凝土结构—结构设计—高等学校:技术学校—教材②水工结构:混凝土结构—工程施工—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TV331

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第039776号

书 名	国家示范院校重点建设专业 水利水电建筑工程专业课程改革系列教材 水工混凝土结构设计施工
作 者	主 编 毕守一 副主编 宋春发 胡昱玲 主 审 程先中
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 10印张 243千字
版 次	2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	22.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本教材是国家示范院校重点建设专业——水利水电建筑工程专业课程改革成果之一。在编写过程中采用了我国最新的设计、施工规范和行业标准，吸取了水利建筑施工的新技术、新工艺、新方法。其内容的深度和难度按照高等职业教育的特点，着重讲授理论知识在工程实践中的应用。按照突出实用性、突出理论知识的应用和有利于实践能力培养的原则，对课程内容进行了较大的调整。

课程的任务是培养学生进行常用水工混凝土结构构件（梁、板、柱、肋形结构等）的结构设计、绘制与识读结构图和进行混凝土结构构件施工。该课程以《工程力学》、《水工建筑材料》等为前导课程，其后续课程为《水闸设计与施工》等。通过本课程的学习，为水工建筑物设计与施工等岗位技能培养奠定基础，为学生顶岗实习、毕业后能胜任岗位工作及技能证书考核起到支撑作用。

根据改革实施方案和课程改革的基本思路，《水工混凝土结构设计与施工》在课程整体设计过程中以职业能力培养为重点，与企业合作进行基于工作过程的课程开发与设计。根据专业发展需要，学生未来工作岗位所需要的知识、能力和素质的要求，划分为5个学习项目。编写中注重学生的职业能力的训练和个性培养，力求实现学生由“会干”向“能干”的转变。

本教材由安徽水利水电职业技术学院毕守一任主编并统稿，宋春发、胡昱玲任副主编，由安徽水安建设发展股份有限公司程先中高级工程师任主审。全书共有5个学习工作项目，由以下人员编写完成：项目1由安徽水利水电职业技术学院毕守一编写；项目2由安徽水利水电职业技术学院胡昱玲编写，项目3由安徽水利水电职业技术学院费成效编写，项目4由安徽水利水电职业技术学院李方灵、朱英明和董相如合作编写，项目5由安徽水利水电职业技术学院宋春发编写。

编写过程中，水利工程系专业建设团队老师提出了许多宝贵意见，学院及教务处领导也给予了大力支持，同时还得到了安徽水利水电勘测设计院、安徽省水利厅质检站和安徽水利开发股份有限公司的积极参与和大力帮助，在此表示最诚挚的感谢。

由于时间紧，作者水平有限，本书难免有一些疏漏和不足之处在所难免，恳请广大师生和读者提出意见和建议。

编者

2010年1月

前言

项目 1 水工钢筋混凝土梁板设计	1
单元 1.1 梁板的构造	1
1.1.1 梁的构造要求	1
1.1.2 板的构造要求	3
单元 1.2 水工混凝土结构极限状态设计表达式	4
1.2.1 结构的功能要求	4
1.2.2 结构的极限状态	4
1.2.3 荷载和荷载效应	5
1.2.4 结构的抗力	6
1.2.5 承载力极限状态设计表达式	6
1.2.6 正常使用极限状态设计表达式	7
单元 1.3 单筋矩形梁板正截面承载力计算	7
1.3.1 受弯构件正截面的破坏形态	8
1.3.2 单筋矩形截面受弯破坏试验及现象	9
1.3.3 基本公式	9
单元 1.4 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	15
1.4.1 双筋矩形截面的应用条件	15
1.4.2 基本公式	15
1.4.3 实用设计计算	16
单元 1.5 T形截面受弯构件正截面承载力计算	19
1.5.1 T形截面的特点	19
1.5.2 翼缘计算宽度的确定	20
1.5.3 基本公式及适用条件	20
1.5.4 实用设计计算	21
单元 1.6 梁板的斜截面承载力计算	23
1.6.1 腹筋的作用	24
1.6.2 影响斜截面抗剪承载力的主要因素	24
1.6.3 有腹筋梁斜截面受剪破坏的主要形态	25
1.6.4 有腹筋梁斜截面受剪承载力计算的基本公式	26
1.6.5 承载力计算	28
1.6.6 梁的斜截面受弯承载力	30
1.6.7 钢筋骨架的构造规定	33

单元 1.7	钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	36
1.7.1	抗裂验算	36
1.7.2	裂缝开展宽度的验算	39
1.7.3	变形验算	41
单元 1.8	梁板设计案例	43
思考题与实训题	46
项目 2	钢筋混凝土柱设计	50
单元 2.1	轴心受压构件的承载力	50
2.1.1	破坏试验及现象	50
2.1.2	普通箍筋柱的计算	51
单元 2.2	偏心受压构件的承载力	52
2.2.1	破坏试验及现象	52
2.2.2	大、小偏心受压的界限及判别	53
2.2.3	偏心距增大系数	53
2.2.4	矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算公式	53
2.2.5	矩形截面大偏心受压柱设计	54
2.2.6	矩形截面小偏心受压柱设计	55
2.2.7	矩形截面偏心受压柱承载力复核	55
2.2.8	矩形截面对称配筋偏心受压构件设计	58
单元 2.3	受拉柱的设计	60
2.3.1	受拉构件的分类	60
2.3.2	轴心受拉构件	61
2.3.3	偏心受拉构件	61
单元 2.4	柱的构造要求	64
2.4.1	材料等级	64
2.4.2	截面形式及尺寸	64
2.4.3	纵向钢筋	65
2.4.4	箍筋	65
思考题与实训题	66
项目 3	钢筋混凝土肋形楼盖结构设计	70
单元 3.1	整体式单向板梁板结构	70
3.1.1	梁板结构分类	70
3.1.2	梁格布局	71
3.1.3	计算简图	71
3.1.4	弹性理论法计算内力	73
3.1.5	截面配筋	77
3.1.6	绘制施工图	77
单元 3.2	整体式双向板梁板结构	85
3.2.1	双向板的受力分析	85

3.2.2	弹性方法计算内力	86
3.2.3	双向板的截面设计与构造	87
3.2.4	支承双向板的梁的计算	88
	思考题与实训题	88
项目 4	钢筋混凝土施工	92
单元 4.1	钢筋工程施工	92
4.1.1	钢筋的分类	92
4.1.2	钢筋的选用	93
4.1.3	钢筋的检验与保管	94
4.1.4	钢筋的配料	97
4.1.5	钢筋代换	99
4.1.6	钢筋加工	99
4.1.7	钢筋的绑扎与安装	106
4.1.8	钢筋的焊接连接	107
4.1.9	钢筋机械连接	113
单元 4.2	混凝土工程施工	114
4.2.1	模板工程	114
4.2.2	混凝土的强度和选用	120
4.2.3	混凝土施工准备	121
4.2.4	混凝土制备	122
4.2.5	混凝土运输	127
4.2.6	混凝土浇筑	130
4.2.7	混凝土养护	135
4.2.8	混凝土施工缺陷及防治	135
	思考题与实训题	137
项目 5	渡槽设计与施工	139
单元 5.1	渡槽的认识	139
5.1.1	渡槽的组成与作用	139
5.1.2	渡槽的类型	139
5.1.3	渡槽的总体布置	141
5.1.4	进出口建筑物	142
5.1.5	基础布置	143
单元 5.2	梁式渡槽结构设计	144
5.2.1	渡槽设计的一般步骤	144
5.2.2	槽身设计	144
5.2.3	渡槽的支承结构	146
	思考题与实训题	149
	参考文献	151



项目 1 水工钢筋混凝土梁板设计

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成的共同受力结构。混凝土具有较高的抗压强度和良好的耐久性能，而钢筋具有较高的抗拉强度和良好的塑性。为了充分利用两种材料的性能，把混凝土和钢筋结合在一起，使混凝土主要承受压力、钢筋主要承受拉力以满足工程结构的使用要求。

单元 1.1 梁板的构造

1.1.1 梁的构造要求

1. 截面形状及尺寸

常见梁的截面形式有矩形和 T 形截面。在装配式构件中，为了减轻自重及增大截面惯性矩，也采用工字形、箱形和槽形等截面，如图 1.1 所示。

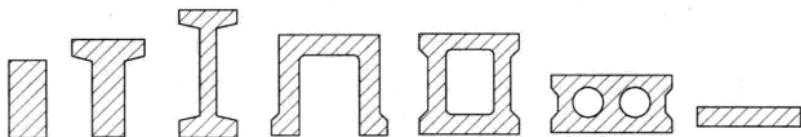


图 1.1 梁、板的截面形式

梁的截面尺寸除满足承载力要求外，还应满足刚度要求和施工上的便利，尺寸应有统一标准，以便模板重复利用。通常应考虑以下规定：

(1) 梁的高度 h 通常取梁的跨度 l_0 的 $1/8 \sim 1/12$ ，矩形截面梁的宽度 b 按高宽比 $h/b = 2 \sim 3$ 选择，T 形截面梁的肋宽 b 按高宽比 $h/b = 2.5 \sim 4$ 选择。

(2) 截面尺寸还应满足模数要求：梁高 h 常取为 300mm, 350mm, 400mm, …, 800mm，以 50mm 为模数递增；800mm 以上取 100mm 为模数递增。矩形梁梁宽及 T 形梁肋宽常取为 120mm, 150mm, 180mm, 200mm, 220mm, 250mm, …, 250mm 以上以 50mm 为模数递增。

2. 混凝土保护层

纵向受力钢筋外边缘到混凝土近表面的距离，称为混凝土保护层，如图 1.2 所示，其大小与混凝土结构所处的环境类别有直接关系。其作用是防止钢筋在空气中的氧化和其他侵蚀性介质的侵蚀，并保证钢筋与混凝土间有足够的黏结力。不同构件受力钢筋的混凝土保护层最小厚度一般不小于粗骨料最大粒径的 1.25 倍，同时不应小于表 1.1 所列数值。

3. 纵向受力钢筋的构造

纵向受力钢筋的作用是承受由 M 在梁内引起的拉力，至少需要两根，配置在梁的受拉一侧。



表 1.1

混凝土保护层最小厚度

单位: mm

项次	构件类别	环境条件类别				
		一	二	三	四	五
1	板、墙	20	25	30	45	50
2	梁、柱、墩	30	35	45	55	60
3	截面厚度不小于 2.5m 的底板与墩墙	—	40	50	60	65

- 注
1. 直接与地基接触的结构底层钢筋或无检修条件的结构, 保护层厚度应适当增大。
 2. 有抗冲耐磨要求的结构面层钢筋, 保护层厚度应适当增大。
 3. 混凝土强度等级不低于 C30 且浇筑质量有保证的预制构件或薄板, 保护层厚度可按表中数值减小 5mm。
 4. 钢筋表面涂塑或结构外表面敷设永久性涂料或面层时, 保护层厚度可适当减小。
 5. 严寒和寒冷地区受冰冻的部位, 保护层厚度还应符合《水工建筑物抗冰冻设计规范》(SL 211—2006) 的规定。

纵向受拉钢筋合力点到截面受拉边缘的距离, 称为混凝土保护层的计算厚度 (用 a_s 表示)。全部纵向受拉钢筋的合力点到截面受压边缘的距离, 称为截面有效高度 (用 h_0 表示), $h_0 = h - a_s$, 如图 1.2 所示。 a_s 值可由混凝土保护层厚度 c 和钢筋直径 d 计算得到。当钢筋为一层布置时, $a_s = c + d/2$, 一般情况下 $a_s = 40 \sim 50\text{mm}$; 当钢筋为两层布置时, $a_s = c + d + e/2$, 其中 e 为钢筋之间的净距。一般情况下 $a_s = 65 \sim 75\text{mm}$ 。

梁内纵筋应尽可能布置为一层, 当纵筋根数较多, 若布置为一层不能满足钢筋的间距、混凝土保护层厚度的构造规定时, 则应布置为 2~3 层。其中靠外侧钢筋的根数宜多一些, 直径宜粗一些, 如图 1.2 所示。梁中钢筋的标注方式为根数+钢筋级别符号+直径, 如 $6\phi 22$ 表示 6 根直径 22 的 HPB235 的钢筋。

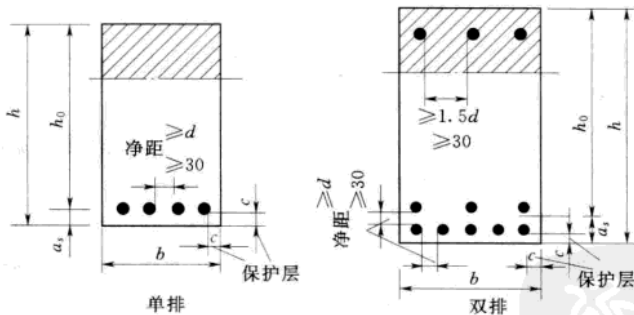


图 1.2 梁内钢筋净距及保护层

(1) 直径 d 。为保证钢筋骨架的刚度, 便于施工, 纵向受力钢筋的直径不能太细, 同时为了避免受拉区混凝土产生的裂缝过宽, 直径也不宜太粗。通常直径采用 $12 \sim 25\text{mm}$ 。梁内同侧 (受拉或受压) 钢筋直径宜尽可能相同。当采用两种不同直径的钢筋时, 其直径相差应在 2mm 以上, 以便识别但也不宜超过 6mm 。

(2) 净距 e 。为了方便混凝土浇捣、保证钢筋在混凝土内得到有效锚固, 梁内下部纵向钢筋净距不应小于钢筋直径 d , 上部纵向钢筋净距不应小于 $1.5d$, 同时均不小于 30mm 及不小于最大骨料粒径的 1.5 倍。当梁下部纵筋配置多于两层时, 两层以上纵筋之间的净距应比下面两层的净距增大 1 倍。上、下两层钢筋应对齐布置, 以免影响混凝土浇筑。



4. 架立钢筋的构造

为了使纵向受力筋和箍筋绑扎成刚性较好的骨架，箍筋的四角在没有纵向受力筋的地方，应设置架立筋。

架立筋规定：当梁的跨度 $l < 4\text{m}$ 时，架立筋直径 $d \geq 8\text{mm}$ ；当梁的跨度 $4\text{m} \leq l \leq 6\text{m}$ 时， $d \geq 10\text{mm}$ ；当梁跨度 $l > 6\text{m}$ 时， $d \geq 12\text{mm}$ 。

1.1.2 板的构造要求

1.1.2.1 截面形式与尺寸

在水工建筑中，板的厚度变化范围很大，对于实心板的厚度一般不宜小于 100mm，但有些屋面板厚度也可为 60mm。板的厚度在 250mm 以下，以 10mm 为模数递增；板厚在 250mm 以上者以 50mm 为模数递增。

板的厚度要满足承载力、刚度和抗裂（或裂缝宽度）的要求。一般厚度的板，板厚约为板跨的 $1/12 \sim 1/20$ 。

1.1.2.2 板内钢筋

板内钢筋有两种：受力钢筋和分布钢筋，如图 1.3 所示。

1. 受力钢筋

受力钢筋沿板的跨度方向在受拉区配置，承受荷载作用下所产生的拉力。一般厚度板，其受力钢筋直径常用 6mm、8mm、10mm、12mm；厚板（如闸底板）中常用 12~25mm，

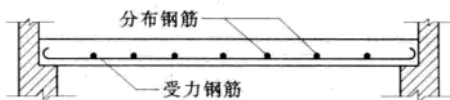


图 1.3 板的配筋

也有用到 32mm、36mm 的。同一板中受力筋可采用两种不同直径，但直径相差应在 2mm 以上，以便识别。

为传力均匀及避免混凝土局部破坏，板中受力钢筋的间距不能太稀，但为了便于施工，也不宜太密。板中受力钢筋的最小间距为 70mm，即每米板宽内最多放 14 根钢筋。板中受力钢筋的最大间距可取为（ h 为板厚）：

$$h \leq 200\text{mm} \text{ 时：} 250\text{mm}$$

$$200\text{mm} < h \leq 1500\text{mm} \text{ 时：} 300\text{mm}$$

$$h > 1500\text{mm} \text{ 时：} 0.2h \text{ 及 } 400\text{mm}$$

板中受力钢筋宜采用每米 6~10 根。钢筋的标注方式为直径+间距，如 $\Phi 6@250$ 表示直径是 6，间距为 250mm 的布置。

2. 分布钢筋

板内的分布钢筋是构造钢筋，分布钢筋应垂直于受力钢筋并均匀布置在受力钢筋内侧，与受力钢筋绑扎或焊接形成钢筋网。分布钢筋的作用是将板面上荷载均匀地传给受力钢筋，同时用以固定受力钢筋，并抵抗混凝土收缩和温度应力的作用。《水工混凝土结构设计规范》规定，每米板宽中分布筋的截面面积不少于受力钢筋截面面积的 15%（集中荷载时为 25%）；分布钢筋的直径在一般厚度板中多用 6~8mm，每米板宽内不少于 3 根。对承受分布荷载的厚板，分布钢筋的直径可采用 10~16mm，间距为 200~400mm，一般采用光面钢筋。



单元 1.2 水工混凝土结构极限状态设计表达式

在结构设计中,首先就会遇到一些基础性问题,如荷载如何确定,材料强度如何取值,对结构有何要求,结构安全适用的标准是什么等,这些都是结构设计的基础。工程设计应贯彻执行国家的技术经济政策,做到安全适用、技术先进、经济合理。

《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)(以下简称《水工规范》)采用概率极限状态设计法,以可靠指标来度量结构构件的可靠度,并采用极限状态设计表达式进行设计。

1.2.1 结构的功能要求

《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50199—94)规定:1级水工建筑物结构的设计基准期为100年,其他永久性建筑物结构的设计基准期为50年。

结构设计的目的是在现有的技术基础上,以最经济的手段,使结构在预定的设计基准期内能够满足下列3个方面的功能要求:

(1) 安全性。要求结构在正常施工和正常使用时,能承受可能出现的各种直接作用和间接作用;在出现预定的偶然作用时,主体结构仍然保持稳定性。

(2) 适用性。要求结构在正常使用时具有良好的工作性能,不出现过大的变形和过宽的裂缝。

(3) 耐久性。要求结构在正常维护下具有足够的耐久性。水工混凝土结构应根据所处的环境条件来满足相应的耐久性要求。水工混凝土结构所处的环境类别条件见表1.2。

表 1.2 水工混凝土结构所处的环境类别

环境类别	环境条件
一	室内正常环境
二	室内潮湿环境;露天环境;长期处于水下或地下的环境
三	淡水水位变化区;有轻度化学侵蚀性地下水的地下环境;海水水下区
四	海上大气区;轻度盐雾作用区;海水水位变化区;中度化学侵蚀性环境
五	使用除冰盐的环境;海水浪溅区;重度盐雾作用区;严重化学侵蚀性环境

注 1. 海上大气区与浪溅区的分界线为设计最高水位加1.5m;浪溅区与水位变化区的分界线为最高水位减1.0m;重度盐雾作用区为高涨潮岸线50m内的陆上室外环境;轻度盐雾作用区为高涨潮岸线50~500m内的陆上室外环境。

2. 冻融比较严重的二类、三类环境条件的建筑物,可将其环境类别分别提高为三类、四类。

安全性、适用性、耐久性统称结构的可靠性,也称为结构的基本功能要求。

结构的可靠性和结构的经济性常常是相互矛盾的。比如在相同荷载作用下,要提高混凝土结构的可靠性,一般可以采用加大截面尺寸、增加钢筋的用量或提高材料强度等级等措施,但这些将使建筑物的造价提高,导致经济效益下降。

科学的设计方法就是能在结构的可靠和经济之间选择一种最佳的方案,使其既经济合理,又具有适当的可靠性。

1.2.2 结构的极限状态

结构的极限状态是指结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某



一功能要求，此特定状态称为该功能的极限状态。一旦超过这种状态，结构就将丧失某一功能，即结构失效。

结构极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两大类。

1. 承载能力极限状态

当结构或构件达到最大承载力，或者达到不适于继续承受荷载的变形状态时，称该结构或构件达到承载能力极限状态。当结构或构件出现下列状态之一时，即认为超过了承载能力极限状态：

- (1) 结构或结构的一部分丧失稳定（如受压失稳等）。
- (2) 结构或结构的一部分形成机动体系。
- (3) 结构发生滑移、倾覆等不稳定情况。
- (4) 结构构件因强度不足而破坏。
- (5) 结构或构件产生过大的塑性变形，不再适于继续承受荷载。

2. 正常使用极限状态

结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值，称为正常使用极限状态。当结构或构件出现下列状态之一时，即认为超过了正常使用极限状态：

- (1) 产生过宽的裂缝。
- (2) 产生过大的变形。
- (3) 产生过大的振动。

结构设计时，先进行承载能力计算，然后根据使用上的要求进行抗裂验算、裂缝宽度验算和变形验算。

1.2.3 荷载和荷载效应

结构在使用过程中，除承受自重外，还承受人群荷载、设备重量、风荷载、雪荷载、水压力、浪压力等荷载作用。

荷载按随时间的变异性 and 出现的可能性分为以下三类：

(1) 永久荷载（恒荷载）。指在设计基准期内其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计的荷载，例如结构自重，土压力等。当为分布荷载时用 g 表示，当为集中荷载时用 G 表示。

(2) 可变荷载（活荷载）。指在设计基准期内其值随时间变化，且变化与平均值相比不能忽略的荷载，例如楼面活荷载、风荷载、吊车荷载等，当为分布荷载时用 q 表示，当为集中荷载时用 Q 表示。

(3) 偶然荷载。指在设计基准期内不一定出现，一旦出现，其量值很大，且持续时间很短的荷载。例如校核洪水作用、地震作用等，用 A 表示。

《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》（GB 50199—94）规定，永久荷载、可变荷载均以荷载标准值作为代表值。荷载标准值是指结构构件在使用期间的正常情况下可能出现的最大荷载值。荷载标准值按《水工建筑物荷载设计规范》（DL 5077—1997）规定直接查表或计算。例如水工建筑物（结构）的自重标准值可按结构设计尺寸与其材料重度计算确定。

作用在结构上的各种荷载会使结构产生内力、变形和裂缝等，统称为荷载效应，用 S 表示。



1.2.4 结构的抗力

结构或构件抵抗荷载效应的能力,称为结构抗力,用 R 表示。抗力包括承载能力和抗变形能力,如强度、刚度、抗裂度等。结构的抗力取决于材料的性能、结构的几何参数、施工质量等因素。

1.2.5 承载力极限状态设计表达式

在水利水电工程中,由于各种不定性因素对结构的设计、施工、使用存在着影响。用概率论的观点来看,即使按正常的方法来设计、建造和使用结构,也不能认为它绝对安全可靠,结构仍存在抗力 R 小于荷载效应 S 的可能性,当这种可能性极小时,我们就可以认为这个结构是可靠的。工程界用结构的失效概率 P_f 和可靠指标 β 来度量结构的可靠性,即概率极限状态设计法。

《水工规范》规定,承载力极限状态设计采用式(1-1)设计表达式,并考虑荷载效应的基本组合和偶然组合两种情况。

$$KS \leq R \quad (1-1)$$

式中: K 为承载力安全系数,按表1.3的规定采用; S 为荷载效应组合设计值; R 为结构抗力,按结构构件的类别、材料强度设计值及截面尺寸等因素计算得出。

表 1.3 混凝土结构构件的承载力安全系数 K

水工建筑物级别	1		2、3		4、5	
	基本组合	偶然组合	基本组合	偶然组合	基本组合	偶然组合
钢筋混凝土、预应力混凝土	1.35	1.15	1.20	1.00	1.15	1.00

- 注 1. 水工建筑物的级别应根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252—2000)确定。
 2. 结构在使用、施工、检修期的承载力计算,安全系数 K 应按表中基本组合取值;对地震及校核洪水位的承载力计算,安全系数 K 应按表中偶然组合取值。
 3. 当荷载效应组合由永久荷载控制时,表列安全系数 K 应增加 0.05。
 4. 当结构的受力情况较为复杂、施工特别困难、荷载不能准确计算、缺乏成熟的设计方法或结构有特殊要求时,承载力安全系数 K 宜适当提高。

1. 基本组合

基本组合是持久状况或短暂状况下永久荷载与可变荷载效应的组合。基本组合下承载力极限状态设计表达式要考虑两种情况。

当永久荷载对结构起不利作用时:

$$S = 1.05S_{G1K} + 1.20S_{G2K} + 1.20S_{Q1K} + 1.10S_{Q2K} \quad (1-2)$$

式中: S_{G1K} 为自重、设备等永久荷载标准值产生的荷载效应; S_{G2K} 为土压力、淤沙压力及围岩压力等永久荷载标准值产生的荷载效应; S_{Q1K} 为一般可变荷载标准值产生的荷载效应; S_{Q2K} 为可控制其不超出规定限值的可变荷载标准值产生的荷载效应。

当永久荷载对结构起有利作用时:

$$S = 0.95S_{G1K} + 0.95S_{G2K} + 1.20S_{Q1K} + 1.10S_{Q2K} \quad (1-3)$$

2. 偶然组合

偶然组合是偶然状况下,永久荷载、可变荷载与一种偶然荷载效应的组合。对于偶然组合,承载能力极限状态设计表达式按式(1-4)确定。

$$S = 1.05S_{G1K} + 1.20S_{G2K} + 1.20S_{Q1K} + 1.10S_{Q2K} + 1.0S_{AK} \quad (1-4)$$



式中： S_{AK} 为偶然荷载标准值产生的荷载效应。

参与组合的某些可变荷载标准值，可根据有关标准作适当折减。荷载的标准值可按《水工建筑物荷载设计规范》（DL 5077—1977）及《水工建筑物抗震设计规范》（SL 203—97）的规定取用。

1.2.6 正常使用极限状态设计表达式

正常使用极限状态验算的目的是保证结构构件在正常使用条件下，裂缝宽度和挠度不超过相应的允许值。对于有不允许裂缝出现要求的构件在正常使用条件下应满足抗裂要求。

正常使用极限状态验算是在承载力满足要求的前提下进行的，其可靠度要求较低。材料强度采用标准值而不用设计值，荷载用标准值而不用设计值。

$$S_K(G_K, Q_K, f_k, a_k) \leq C \quad (1-5)$$

式中： S_K 为正常使用极限状态的荷载效应标准组合值函数； C 为结构构件达到正常使用要求所规定的变形、裂缝宽度等限值； G_K 、 Q_K 为永久荷载、可变荷载标准值； f_k 为材料强度标准值； a_k 为结构构件几何参数标准值。

承载能力及正常使用极限状态设计表达式是极限状态设计的一般表达式，对各种结构构件而言有各自具体的计算公式，将在以后项目或单元中分别讨论。

【例 1.1】 某 4 级水工建筑物上有一钢筋混凝土简支梁， $b \times h = 250\text{mm} \times 450\text{mm}$ ，净跨 $l_n = 5.7\text{m}$ ，计算跨度 $l_0 = 6.0\text{m}$ 。永久荷载（包括梁自重）标准值 $g_k = 10\text{kN/m}$ ，可变荷载标准值 $q_k = 12\text{kN/m}$ ，求持久状况下梁跨中截面弯矩设计值 M 和支座边缘截面剪力设计值 V 。

解：由工程力学内容可知，简支梁在均布荷载作用下：

$$\text{跨中截面弯矩设计值} \quad M = \frac{1}{8} q l_0^2$$

支座边缘截面剪力设计值 $V = q l_n / 2$ （注：结构配筋计算时所用到的剪力，按净跨 l_n 计算）

$$\begin{aligned} \text{由式 (1-2) 得} \quad M &= 1.05 S_{G1K} + 1.2 S_{Q1K} \\ &= 1.05 \times \frac{1}{8} \times 10 \times 6.0^2 + 1.2 \times \frac{1}{8} \times 12 \times 6.0^2 \\ &= 112.05 \text{ (kN} \cdot \text{m)} \\ V &= 1.05 S_{G1K} + 1.2 S_{Q1K} \\ &= 1.05 \times \frac{1}{2} \times 10 \times 5.7 + 1.2 \times \frac{1}{2} \times 12 \times 5.7 \\ &= 70.97 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

单元 1.3 单筋矩形梁板正截面承载力计算

梁、板构件就是典型的受弯构件，受弯构件是指截面上承受弯矩和剪力作用的构件。在实际工程中，如水闸的底板、挡土墙的立板与底板、水电站厂房屋面梁及吊车梁等都是受弯构件。

受弯构件的破坏有两种可能：一是由弯矩引起的破坏，破坏截面垂直于梁纵轴线，称



为正截面受弯破坏,如图 1.4 所示;二是由弯矩和剪力共同作用而引起的破坏,破坏截面是倾斜的,称为斜截面受弯破坏,如图 1.5 所示。

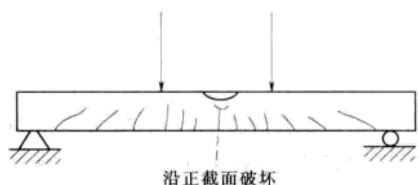


图 1.4 梁正截面受弯破坏

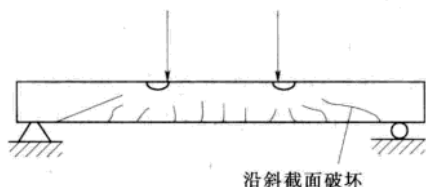


图 1.5 梁斜截面受弯破坏

矩形截面通常分为单筋矩形截面和双筋矩形截面两种形式。仅在受拉区配置纵向受力钢筋的截面称为单筋矩形截面,如图 1.6 (a) 所示;受拉区和受压区都配置纵向受力钢筋的截面称为双筋截面,如图 1.6 (b) 所示。

1.3.1 受弯构件正截面的破坏形态

钢筋混凝土构件的计算理论是建立在试验基础上的。大量试验表明,受弯构件的破坏特征取决于配筋率、混凝土的强度等级、截面尺寸等因素。但以配筋率对构件破坏特征的影响最为明显。对同截面、同跨度和同样材料的梁,由于配筋率的不同,其破坏形态将会发生本质的变化。受弯构件的截面配筋率是指受拉钢筋面积与正截面有效面积的百分比,用 ρ 来表示。

$$\rho = \frac{A_s}{bh_0} \quad (1-6)$$

式中: A_s 为纵向受拉钢筋的截面面积; b 为梁的截面宽度; h_0 为梁的截面有效高度,即从纵向受拉钢筋的合力点到截面受压边缘的距离。

根据配筋率 ρ 的不同,一般受弯构件正截面会出现超筋、适筋、少筋 3 种破坏形态。

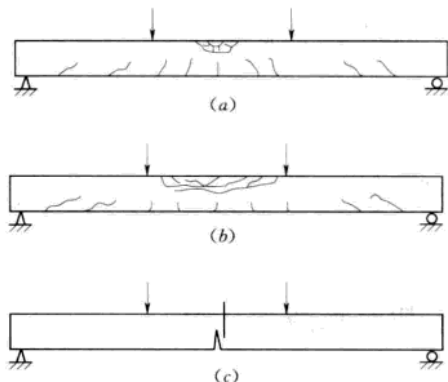


图 1.7 梁正截面破坏形式

(a) 适筋梁; (b) 超筋梁; (c) 少筋梁

2. 适筋破坏

当构件配筋量适中时,试验表明,梁的受力从加载到破坏,正截面的应力不断变化,

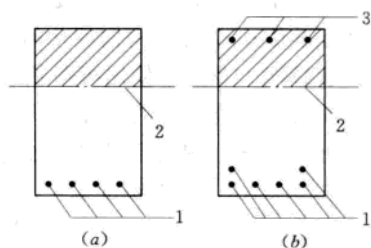


图 1.6 截面配筋形式

(a) 单筋截面; (b) 双筋截面

1—受拉钢筋; 2—中性轴; 3—受压钢筋

1. 超筋破坏

当构件配筋太多,即 ρ 太大时,构件则可能发生超筋破坏。其特征是受拉钢筋尚未达到屈服强度,受压区混凝土压应变达到极限压应变而被压碎,构件破坏。破坏前裂缝开展不宽,梁挠度不大,如图 1.7 (b) 所示,破坏突然,无明显预兆,属脆性破坏。

超筋构件的承载力控制于受压混凝土的抗压能力,过多的配筋量并不能增加截面承载力,反而使受拉钢筋的强度得不到充分发挥,既不安全也不经济,实际工程设计中不允许采用超筋梁。



整个过程经历了 3 个阶段。

第 I 阶段：荷载很小，变形也很小，压区一直呈现弹性，拉区开始呈弹性，最后显示塑性，钢筋的应力一直都很小，整个阶段构件未出现裂缝，称为未裂阶段，此阶段是抗裂计算的依据。

第 II 阶段：随着荷载的增大，构件在拉区边缘薄弱处首先开裂，即进入第二阶段。由于混凝土的开裂，拉力基本上都由钢筋承担，当荷载增大到某一值时，受拉区钢筋应力达到屈服强度 f_y ，整个过程构件都是带裂缝而工作，称为裂缝阶段。此阶段的弯矩为 M_y （屈服弯矩），此阶段是进行正常使用极限状态变形、裂缝开展宽度验算的依据。

第 III 阶段：当钢筋屈服后，钢筋应变加大，迫使中和轴迅速上移，压区减小，压应力增大，直到受压区混凝土发生纵向水平裂缝被压碎，梁告破坏，称为破坏阶段。此阶段是受弯构件正截面承载力计算的依据。

适筋破坏特征是钢筋先屈服，结构仍能承受荷载，直至压区混凝土应变达到极限压应变被压碎，构件即告破坏，如图 1.7 (a) 所示。整个过程产生很大的塑性变形，引起了较大的裂缝，有明显预兆，属塑性破坏。

3. 少筋破坏

当梁内配筋过少 (ρ 很小) 时，则可能发生少筋破坏。其特征是破坏时的极限弯矩等于开裂弯矩，一裂即断。构件一旦开裂，裂缝截面混凝土退出工作，拉力由钢筋承担而使钢筋应力突增，并很快达到甚至超过屈服强度而进入强化阶段。如果钢筋数量极少，也可能被拉断，导致较宽的裂缝和较大的变形而使构件破坏，如图 1.7 (c) 所示。因少筋梁破坏是突然的，属脆性破坏，其承载力很低，工程设计中应避免设计成少筋梁。

1.3.2 单筋矩形截面受弯破坏试验及现象

对钢筋混凝土单筋矩形截面适筋梁进行破坏试验，随着荷载的增大，构件在受拉区边缘薄弱处首先开裂。由于混凝土的开裂，拉力基本上都由受拉区钢筋承担。随着荷载的增加，钢筋应力首先达到屈服强度 f_y ，钢筋应变加大，迫使中性轴迅速上移，压区减小，混凝土的应力达到轴心抗压强度 f_c ，直到受压区混凝土达到极限压应变后破坏。

1.3.3 基本公式

1.3.3.1 计算简图

根据钢筋混凝土适筋梁破坏现象，得到：破坏时钢筋应力达到了 f_y ，混凝土的应力达到了 f_c ，混凝土受压区高度设为 x ，承载力计算简图如图 1.8 所示。

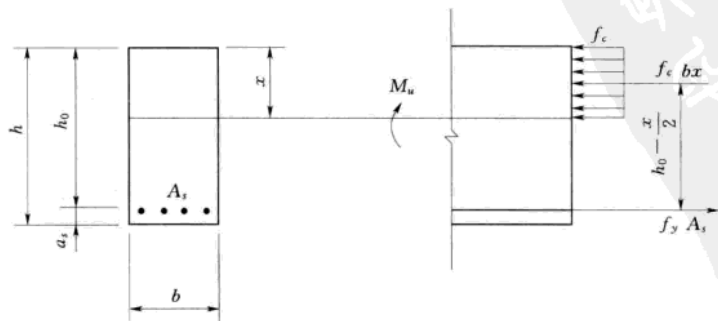


图 1.8 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算简图