

SIMPLIFIED SERIES OF
CIVIL ENGINEERING

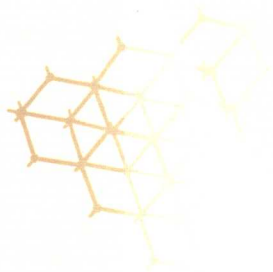
清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

李美东 编著

简明土木工程系列专辑

公路桥涵钢筋混凝土 受弯构件的计算



中国水利水电出版社 
www.waterpub.com.cn

知识产权出版社 
www.cnipr.com

Simplified Series of Civil Engineering

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

李美东 编著

简明土木工程系列专辑

公路桥涵钢筋混凝土 受弯构件的计算

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn
知识产权出版社
www.cnipr.com



内容提要

本书是由清华大学土木工程系编的“土木工程系列专辑”中的一本。本书以现行规范《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ D62-2004)及《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60-2004)为依据,系统地阐述了钢筋混凝土受弯构件的受力特点、计算方法和构造要求。书中通过列举大量例题,详细说明受弯构件各部分的计算方法,对规范所给的公式做了细致的说明。通过编制实用的计算表格,可以方便地查出所需的数据,使工程计算得到简化,能起到类似设计手册的作用。

本书可供工程结构设计人员,以及高等院校相关专业的师生参考。

选题策划: 阳 森 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip.sina.com; z_baolin@263.net

责任编辑: 阳 森 张宝林

文字编辑: 董拯民

图书在版编目(CIP)数据

公路桥涵钢筋混凝土受弯构件的计算/李美东编著.

北京: 中国水利水电出版社: 知识产权出版社, 2006

(简明土木工程系列专辑/崔京浩主编)

ISBN 7-5084-3695-4

I. 公... II. 李... III. 公路桥: 钢筋混凝土桥—

受弯构件—计算 IV. U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 027136 号

简明土木工程系列专辑

公路桥涵钢筋混凝土受弯构件的计算

李美东 编著

中国水利水电出版社 出版 发行 (北京市西城区三里河路 6 号; 电话: 010-68331835 68357319)
知识产权出版社 (北京市海淀区马甸南村 1 号; 电话、传真: 010-82000893)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京市兴怀印刷厂印刷

850mm×1168mm 32 开 9.375 印张 252 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷

印数: 0001—4000 册

定价: 19.00 元

ISBN 7-5084-3695-4

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题, 可寄中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub.com.cn)

土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

新颖性——反映新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法

实用性——深入浅出，让人一看就懂，一懂能用，不是手册，胜似手册

科学性——编写内容均有出处

——摘自《简明土木工程系列专辑》总序

清华大学土木工程系组编

简明土木工程系列专辑

编 委 会

名誉主编 陈肇元 袁 驷

主 编 崔京浩

副主编 石永久 宋二祥

编 委 (按汉语拼音排序)

陈永灿 胡和平 金 峰 李庆斌

刘洪玉 钱稼茹 王志浩 王忠静

武晓峰 辛克贵 阳 森 杨 强

余锡平 张建民 张建平

编 辑 办 公 室

主 任 阳 森

成 员 张宝林 董拯民 彭天赦 谈智慧

周 媛 莫 莉 张 冰 邹艳芳

总 序

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程（Civil Engineering）是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。土木工程是一个专业覆盖面极广的一级学科。

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程（Military Engineering）而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，地下防护工程、航天发射塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

土木工程是国家的基础产业和支柱产业，是开发和吸纳我国劳动力资源的一个重要平台，由于它投入大、带动的行业多，对国民经济的消长具有举足轻重的作用。改革开放后，我国国民经济持续高涨，土建行业的贡献率达到 $1/3$ ；近年来，我国固定资产的投入接近甚至超过 GDP 总量的 50%，其中绝大多数都与土建行业有关。随着城市化的发展，这一趋势还将继续呈现增长的势头。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生得更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，呈现出勃勃生机。其中工程材料的变革和力学理论的发展起

着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖瓦灰砂石，而是由新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法武装起来的为众多领域和行业不可或缺的大型综合性学科，一个古老而又年轻的学科。

综上所述，土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编写一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

清华大学土木工程系是清华大学建校后成立最早的科系之一，历史悠久，实力也比较雄厚，有较强的社会影响和较广泛的社会联系，组编一套“简明土木工程系列专辑”，既是应尽的责任也是一份贡献，但面对土木工程这样一个覆盖面极广的一级学科，我们组编实际起两个作用：其一是组织工作，组织广大兄弟院校及设计施工部门的专家和学者们编写；其二是保证质量的作用，我们有一个较为完善的专家库，必要时请专家审阅、定稿。

简明土木工程系列专辑包括以下几层含义：简明，就是避免不必要的理论证明和繁琐的公式推导，采用简洁明快的表述方法，图文并茂，深入浅出，浅显易懂；系列，指不是一本书而是一套书，这套书力争囊括土木工程涵盖的各个次级学科和专业；专辑，就是以某个特定内容编辑成册的图书，每本书的内容可以是某种结构的分析与计算，某个设计施工方法，一种安装工艺流程，某种监测判定手段，一个特定的行业标准等等，均可独立成册。

这套丛书不称其为“手册”而命名为“系列专辑”，原因之一是一些特定专题不易用手册的方法编写；原因之二是传统的手册往往“大而全”，书厚且涉及的技术领域多，而任何一个工程技术人员在某一个阶段所从事的具体工作又是针对性很强的，将几个专业甚至一个项目的某个阶段集中在一本“大而全”的手册势必造成携带、查阅上的不方便，加之图书的成本过高，编写人员臃肿，组织协调困难，出书及再版周期过长，以致很难反映现

代技术飞速发展、标准规范规程更新速度太快的现实。考虑到这些弊端,这套系列专辑采用小开本,在选题上尽量划分得细一些,视专业、行业、工种甚至流程的不同,能独立成册的绝不合二为一,每本书原则上只讨论一个专题,根据专题的性质和特点有的书名仍冠以“手册”两字。

这套系列专辑的编写严格贯彻“新颖性、实用性、科学性”三大原则。

新颖性,就是充分反映有关新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法,老的、过时的、已退出市场的一律不要。体现强劲的时代风貌。

实用性,就是避免不必要的说理和冗长的论述,尽可能从实用的角度用简洁的语言以及数据、表格、曲线图形来表述;深入浅出,让人一看就懂,一懂能用;不是手册,胜似手册。

科学性,就是编写内容均有出处,参考文献除国家标准、行业标准、地方标准必须列出以外,尚包括引用的论文、专著、手册及教科书。

这套系列专辑的读者对象是比较宽泛的,它包括大专院校师生,土木工程领域的管理、设计、施工人员,以及具有一定阅读能力的建筑工人。它既可作为土建技术人员随身携带及时查阅的手册,又可选作大专院校、高职高专的教材及专题性教辅材料。

崔京浩

2005年10月于清华园

崔京浩,男,山东淄博人。1960年清华大学土建系毕业,1964年清华大学结构力学研究生毕业,1986~1988年赴挪威皇家科学技术委员会做博士后,从事围岩应力分析的研究。先后发表论文150多篇,编著专业书4本,参加并组织编写巨著《中国土木工程指南》,任编辑办公室主任,并为该书撰写绪论;主持编写由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”和“简明土木工程系列专辑”,并任主编。曾任清华大学土木系副系主任,现为中国力学学会理事,《工程力学》学报主编,享受国务院特殊津贴。

前 言

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004)及《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004)于2004年10月份正式颁布实施。新规范采用了以概率理论为基础的极限状态设计方法。为适应设计规范的变化,本书以现行规范为依据,系统的阐述了钢筋混凝土受弯构件的受力特点、计算方法和构造要求。书中通过列举大量例题,详细说明受弯构件的计算方法,对规范所给出的公式做了细致的说明。通过编制实用的计算表格,使受弯构件的计算更加简捷。读者通过查阅相关表格就可非常方便的得到所需的相关数据。从实用的角度出发,希望能起到类似设计手册的作用。

书中例题多采用基本公式法和查表法两种计算方法进行计算。通过对相关例题的学习,读者可以进一步理解和掌握规范中的计算公式,同时,非常方便地学会表格的应用。同时,在本书的第6章,向大家详细介绍了一个受弯构件的综合例题,将受弯构件的全部设计计算过程和构造要求融合在一起。读者通过该例题的学习,可以对受弯构件的设计计算、施工图绘制及材料统计有一个全面而系统的认识。

全书由绪论和六章内容组成。第1章为受弯构件正截面的承载力计算;第2章为受弯构件斜截面承载力计算;第3章为受弯构件持久状况裂缝验算;第4章为受弯构件持久状况挠度验算;第5章为受弯构件短暂状况应力验算;第6章为梁、板构造要求及综合例题。

本书绪论及第1章、第2章由李美东编写;第3章、第4章由董鹏编写;第5章由郭红梅编写;第6章由郭红梅、李美东共同编写。全书由李美东统稿。

对在本书编写过程中提供过帮助的同志、老师以及我们引用和参考过的文献作者致以衷心的感谢。

限于编者的水平，书中难免存在不妥之处，真诚希望读者给予批评指正。

作者

2006年4月

“简明土木工程系列专辑”

系列出版物

伟大的土木工程

原位测试

客运站设计

建筑消防系统

土坡稳定分析

建筑装饰材料

建筑工程结构荷载学

品味钢筋混凝土

轻钢结构新技术

土力学与地基基础

空间钢结构新技术

高性能膨胀混凝土

水泥混凝土及外加剂

水电站设计的新进展

建筑抗震鉴定与加固

多高层钢结构住宅设计

浅基础设计及程序设计

弹性地基梁板实用计算

建筑的灾害与安全设防

钢-混凝土组合梁设计

自密实混凝土技术手册

城市生活垃圾处理工程

框架结构的计算与构造

房屋改造工程原理与应用

火灾后建筑物鉴定与加固

基础隔震设计及施工手册

剪力墙结构的分析与设计

钢筋混凝土圆形容器设计

结构原理与结构概念设计

桥梁施工技术及质量控制

城市污水处理及回用技术

预应力加固法理论与实践

土力学与地基基础应试要点

高层建筑基础实用设计方法

新型建筑防水材料实用手册

预应力混凝土圆池结构设计

拱坝整体地质力学模型试验

建筑施工常见质量问题及对策

混凝土结构加固实用技术手册

抗氯离子侵蚀混凝土设计手册

区域性特殊土的地基处理技术

计算机程序在土木工程中的应用

结构工程师常用计算数据速查手册

房屋建筑加固实用方法及其新技术

高层建筑结构地震响应的时程分析法

公路桥涵钢筋混凝土受弯构件的计算

工程事故与安全·结构裂损机理

工程事故与安全·后桩基础时代

工程事故与安全·结构加固技术

工程事故与安全·典型事故实例

工程事故与工程安全结构方案

在役桥梁检测、可靠性分析与寿命

预测

平面结构弹塑性地震响应分析软件

NDAS2D 及其应用

……

目 录

总序

前言

绪 论 1

第 1 章 受弯构件正截面的承载力计算 6

第 1 节 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算 / 7

第 2 节 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算 / 17

第 3 节 T 形截面受弯构件正截面承载力计算 / 26

第 2 章 受弯构件斜截面承载力的计算 71

第 1 节 计算简图及基本公式 / 73

第 2 节 斜截面抗剪腹筋设计计算 / 76

第 3 节 斜截面抗剪承载力复核 / 89

第 3 章 受弯构件持久状况裂缝验算 158

第 1 节 基本公式及裂缝宽度限值 / 159

第 2 节 裂缝宽度的计算 / 164

第 4 章 受弯构件持久状况挠度验算 175

第 1 节 基本公式及容许挠度限值 / 175

第 2 节 挠度和预拱度的计算 / 179

第 5 章 受弯构件短暂状况应力验算 190

第 1 节 基本公式及容许应力限值 / 190

第 2 节 应力计算例题 / 201

第 6 章 梁、板构造要求及综合例题 241

第 1 节 梁、板构造要求 / 241

第 2 节 综合例题 / 250

附 录 277

附表 1 混凝土强度标准值及设计值 / 277

附表 2 普通钢筋强度标准值及设计值 / 278

附表 3 混凝土的弹性模量 / 278

附表 4 钢筋的弹性模量 / 278

附表 5 混凝土相对界限受压区高度 (受压高度界限系数) / 279

附表 6 钢筋的计算截面面积及理论质量 / 279

附表 7 每米板宽内的钢筋截面面积 / 280

附表 8 桥涵分类 / 280

附表 9 公路桥涵安全等级 / 281

附表 10 钢筋与混凝土弹性模量比值 α_E / 281

参考文献 282

出版者的话

绪 论

在桥梁工程中,存在着大量的受弯构件。组成桥梁主体结构的梁和板都是典型的受弯构件。

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTGD62-2004)(以下简称为《公桥规范》)采用了以概率理论为基础的极限状态设计方法。以“公路桥梁可靠度”研究为基础,把影响结构可靠性的各主要因素均视为不确定的随机性变量,从荷载和结构抗力(包括材料性能、几何参数和计算模式不定性)两个方面进行了全国性的调查、实测、试验和统计分析,运用统计数学的方法寻求各随机变量的统计特性(统计参数和概率分布类型),进而探讨原规范隐含的可靠性。从而确定适合于当前我国公路桥涵设计总体水平的失效概率(或目标可靠指标),再从这个总体失效概率出发,通过优化分析或直接从各基本变量的概率分布中求得设计所需要各相关参数。从而建立起“概率极限状态设计法”。

按照国家标准《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283-1999)(以下简称为《公路统一标准》)的规定,《公桥规范》将桥涵设计分为承载能力极限状态(对应于桥涵及其构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形或变位状态)和正常使用极限状态(对应于桥涵及其构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态)。

承载能力极限状态设计关系到桥涵的安全问题。例如,结构构件或其连接是否超出其强度而破坏(包括疲劳破坏);结构整体或局部构件是否失稳等,所以这类设计必须具有足够的安全度,在设计中做到万无一失,避免造成重大事故。因此,在

进行承载能力计算时,荷载及材料强度均采用设计值。

正常使用极限状态设计仅涉及桥涵的使用条件和耐久问题,例如,结构的变形或振动是否过大;构件的裂缝是否出现过早、过宽等,但这些现象并不引起结构的破坏,造成生命财产的严重损失。因此,正常使用极限状态设计的可靠度水平一般要低于承载能力极限状态设计。在进行正常使用极限状态设计时,荷载常采用短期效应组合值和长期效应组合值。尽管如此,此类设计仍须确保符合结构的适用性和耐久性的要求,避免引起人们心理上的不适感或恐惧感。

显然,对于任何一个结构构件都必须满足承载能力和正常使用这两种极限状态的要求,才能保证结构的可靠性,使桥涵达到其全部预定的功能。

在外力作用下,受弯构件将承受弯矩(M)和剪力(V)的作用。按照《公桥规范》的规定,受弯构件需进行承载能力和正常使用两种极限状态的计算。具体而言,设计受弯构件时,应包含如下内容的设计。

1. 承载能力极限状态的计算

设计受弯构件时,应进行持久状况(指桥梁的使用阶段)正截面(在弯矩 M 作用下)承载能力及斜截面(在弯矩 M 和剪力 V 共同作用下)承载能力两种极限状态的计算。按照《公桥规范》承载能力极限状态的设计表达式,在进行承载能力计算时,作用(或荷载)和结构构件的抗力(指抗弯或抗剪承载力)均采用考虑了分项系数的设计值。在多种荷载作用下,应将各设计值效应(指产生的弯矩和剪力)进行最不利组合。并根据参与组合的作用(或荷载)情况,取用不同的效应组合系数,得到荷载效应组合设计值。

作用(或荷载)设计值等于作用(或荷载)标准值乘以作用分项系数。结构抗力(指抗弯或抗剪承载力)设计值是以材料强度设计值为基础得到的抗弯或抗剪承载力。材料强度设计值等于材料强度标准值除以材料强度分项系数。同时在该表达

式中引入结构重要性系数 γ_0 。即将作用（或荷载）效应组合设计值乘以 γ_0 来表示对不同安全等级的桥涵的结构可靠度的调整。

公路桥涵结构按承载能力极限状态设计时，其基本组合的效应组合设计值表达式为

$$\gamma_0 S_{sd} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{GKi} + \gamma_{Q1} S_{Q1K} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{QjK} \right)$$

式中： S_{sd} 为承载能力极限状态下作用效应组合设计值； γ_0 结构重要性系数，按附表 9 采用； γ_{Gi} 为第 i 个永久作用效应的分项系数，一般取 1.2； S_{GKi} 为第 i 个永久作用效应的标准值； γ_{Q1} 为汽车荷载效应的分项系数，取 1.4； S_{Q1K} 为汽车荷载效应的标准值； γ_{Qj} 为在作用效应组合中除汽车荷载、风荷载外的其他第 j 个可变作用效应的分项系数，取 1.4，但风荷载的分项系数取 1.1； S_{QjK} 为在作用效应组合中除汽车荷载效应外第 j 个可变作用效应的标准值； ψ_c 为在作用效应组合中除汽车荷载效应外的其他可变作用效应的组合系数，当其他可变作用效应为一种时取 0.8，为两种时取 0.7，为三种时取 0.6，为四种及以上时取 0.5。

因此，本书的第 1 章和第 2 章所涉及的计算公式中，所有作用（或荷载）均指荷载效应组合设计值，结构构件的抗力均以材料强度设计值为基础得到的抗弯或抗剪承载力。

2. 正常使用极限状态的计算

从正常使用的角度出发，受弯构件正常使用极限状态的计算包括持久状况裂缝宽度和挠度验算两方面的内容。

正常使用极限状态设计的可靠度水平一般要低于承载能力极限状态设计。因此，对正常使用极限状态的设计作用取用短期荷载效应组合和长期荷载效应组合。短期荷载效应组合为永久作用标准值效应与可变作用频遇值效应的组合。长期荷载效应组合为永久作用标准值效应与可变作用准永久值效应的组合。具体组合数值在本书第 3 章、第 4 章中详细说明。

3. 短暂状况（指桥梁的施工阶段）应力验算

对于普通钢筋混凝土受弯构件，在构件的制作、运输及安装过程中，还需要对构件进行短暂状况（施工阶段）的正截面和斜截面的应力验算。该验算属于构件弹性阶段的强度计算。因此，施工荷载均采用标准值组合。

4. 耐久性设计

在现行的新规范《公桥规范》中，首次提出了关于耐久性的设计问题，对不同的使用环境，提出了结构混凝土应满足的混凝土耐久性的基本要求。目前的耐久性设计仍处于概念设计阶段，即仅对构成混凝土的各种材料的含量提出最低要求来保证，尚无定量计算。关于耐久性的基本要求列于本书第6章的结构构造一节中。

5. 构造措施

对某些不易详细计算的因素则通过构造措施来弥补。同时，某些构造措施也是为了方便施工需要，以保证施工质量。

因此，设计一个受弯构件，必须对上述各项内容进行详细计算并考虑构造要求和耐久性的要求后，才算设计出一个完整的梁和板。

本书将从以上各个方面，以浅显的文字对普通钢筋混凝土受弯构件的受力特点、计算方法及构造要求进行全面的阐述。通过列举大量的计算例题详细说明受弯构件各部分的计算方法。书中配有大量的计算表格。通过表格，读者可以方便的查出所需的数据，使工程设计计算得到简化。

此外，在实际工程中，常会遇到弯矩、剪力和扭矩同时作用于同一构件的情况，目前《公桥规范》所采取的计算方法是部分相关、部分叠加的简化计算。即按照弯矩单独作用计算纵向受拉钢筋。按照考虑建立和扭矩间的相互作用，采用剪扭共同作用计算抗剪箍筋和抗扭纵筋，以及抗扭纵筋（抗扭纵筋应沿构件四周均匀布置）。然后，将抗扭纵筋与相应位置的抗弯纵筋相叠加，将抗扭箍筋与抗剪箍筋相叠加，得到最后的配筋。