

SIMPLIFIED SERIES OF
CIVIL ENGINEERING

清華

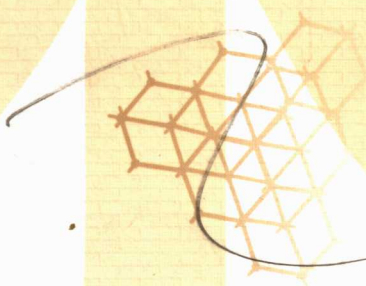
清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

李著璟 编著

简明土木工程系列专辑

钢筋混凝土圆形容容器设计



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



知识产权出版社
www.cnipr.com



TU375.04

7

2007

Journal of Civil Engineering

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

李著璟 编著

简明土木工程系列专辑

钢筋混凝土圆形容器的设计

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组编的“简明土木工程系列专辑”中的一本,对钢筋混凝土圆形容器(重点为水池)设计所需的理论分析及构造作了简短而又全面的论述。书中附有圆形水池分析计算用表,可以减轻设计时的计算工作量,还附有圆形储液池的计算机程序,可用以进行设计时的运算。

本书可供高等院校土木工程专业高年级本科生和研究生,以及相关的工程设计人员参考。

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 兰国钰

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土圆容器设计/李著琛编著. —北京: 中国水利水电出版社: 知识产权出版社, 2007

(简明土木工程系列专辑/崔京浩主编)

ISBN 978-7-5084-4312-6

I. 钢... II. 李... III. 钢筋混凝土结构—圆形—容器—结构设计 IV. TU375.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第152203号

简明土木工程系列专辑

钢筋混凝土圆容器设计

李著琛 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)

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经销

中国水利水电出版社微机排版中心排版

北京市兴怀印刷厂印刷

850mm×1168mm 32开 4印张 108千字

2007年1月第1版 2007年1月第1次印刷

印数: 0001—3500册

定价: 10.00元

ISBN 978-7-5084-4312-6

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)

作者简介

李著璟 湖南长沙人，清华大学土木工程系教授。1949年毕业于上海交通大学土木工程系，1950年于美国德州大学（Univ. of Texas, Austin）获土木工程硕士学位。1950~1951年在美国休斯顿从事油井钻塔及天线塔设计工作；1950~1956年在美国纽约从事桥梁船坞设计工作；1957~1991年在北京清华大学土木工程系结构教研室任教，1991年退休。

主要著作及参与著作：

《水工钢筋混凝土结构学》，水利出版社，1979年1月。

《水工钢筋混凝土结构学》，第二版，水利出版社，1983年12月。

《混合结构设计》，中国建筑工业出版社，1979年6月。（合作者：清华大学建筑工程系）

《钢筋混凝土结构理论》，中国建筑工业出版社，1985年3月。（王传志、滕智明主编）

《钢筋混凝土基本构件》，清华大学出版社，1985年4月。（滕智明主编）

《结构优化设计方法》，清华大学出版社，1985年9月。（合作者：陶全心）。

《特殊结构》，清华大学出版社，1988年8月。

《机器基础》（《机械设计手册》第4卷第36篇），机械工业出版社，1991年9月。

Elementary Rein forced Concrete Design（初等钢筋混凝土结构），地震出版社，1992年。

Elementary Rein forced Concrete Design（初等钢筋混凝土结构），第二版，清华大学出版社，2005年1月。

《工程优化技术》，中国水利水电出版社，知识产权出版社，2006年8月。

出版者的话

尊敬的读者：

为适应国家建设发展的需要，为及时反映有关“新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法”，为有志于在土木工程领域传播和推广科学技术知识的人士构筑学术出版平台，为渴求知识的读者在工作实践中的学习交流和继续教育创造机会，由中国水利水电出版社和知识产权出版社与清华大学土木工程系联手，倾力推出的“简明土木工程系列专辑”中的第一批出版物正式与您见面了。

在此，我们特别感谢您对本套专辑的热切关注。

为使您对本套专辑有更多的了解，以下一并列出2006年和2007年两年内本套专辑即将陆续出版的图书。如果您有什么要求，有什么意见和建议，真诚地希望和欢迎您随时与我们联系。具体联系方式详见版权页上的E-mail地址。

再次感谢您对本套专辑的支持与厚爱！

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 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，编写机构臃肿，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

本书是由清华大学土木工程系组编的“简明土木工程系列专辑”中的一册，对钢筋混凝土圆容器设计（重点为水池）所需的理论分析及构造作了简短而又全面的论述。

1910年，美国著名的土木工程师曼斯菲尔德·梅里曼（Mansfield Merriman）在他主编的《美国土木工程师手册（American Civil Engineers' Handbook）》一书的序言中，告诫手册的使用者，必须对所使用的条文及公式有透彻的理解。圆容器的设计及分析超出了一般大学土木工程系本科教学的内容范围，因此本书对所涉及的计算公式做了提示性的推演。希望这些推演不会过于冗长，以致有违本系列专辑简明的宗旨。

书中附有圆形水池分析计算用表，可用以减轻设计时的计算工作量。还附有圆形储液池的计算机程序，可用以进行设计时的运算。虽然这些计算用表及程序都经过校核及试用证明准确无误，但使用者仍需根据自己所面临的问题审慎地决定这些计算用表及程序是否适用。作者及出版单位对使用这些程序及计算用表所产生的后果不承担任何责任。为了便于学习使用这些程序，读者可到中国水利水电出版社网站的下载中心下载，网址：<http://www.waterpub.com.cn>。

读者在使用本书的过程中，如发现任何错误，务请告知作者，本人将不胜感激。

作 者

2006年5月

目 录

总序

前言

第1章 弹性地基上的受弯构件	1
第1节 弹性地基梁的内力分析	1
第2节 变系数地基上的变截面梁	4
第2章 圆柱形器壁分析	5
第1节 概述	5
第2节 圆柱形容容器壁内力分析	5
第3节 储液池池壁的内力分析	6
第3章 圆形底板分析	21
第1节 弹性地基上圆板的内力分析	21
第2节 池底板在边缘均布力作用下的内力分析	23
第3节 板中心作用集中荷载的底板内力分析	31
第4章 顶板内力分析	35
第1节 轴对称平面圆板位移方程	35
第2节 圆板的内力计算	36
第3节 中心支柱圆板内力计算	44
第5章 钢筋混凝土储液池截面设计及配筋构造	51
第1节 强度设计	51
第2节 池壁与底板的连接	52
第3节 底板的浇筑	53
第4节 池壁与顶板的连接	53
第5节 池壁分缝问题	54
第6节 池壁混凝土的浇筑及养护	55

第 7 节	顶板及底板的配筋构造 / 55	
第 8 节	顶板支柱的设置 / 56	
第 6 章	钢筋混凝土球形穹顶	57
第 1 节	概述 / 57	
第 2 节	穹顶薄膜内力分析 / 58	
第 7 章	颗粒性储料的器壁内力分析	62
第 8 章	钢筋混凝土圆形容器计算用表	65
第 1 节	概述 / 65	
第 2 节	壁底固接壁顶自由池壁计算用表 / 68	
第 3 节	壁底铰接壁顶自由池壁计算用表 / 72	
第 4 节	壁底剪力计算用表 / 75	
第 5 节	池壁抗弯刚度计算用表 / 76	
第 6 节	圆板计算用表 / 76	
第 9 章	圆形容器设计计算机程序	81
第 1 节	概述 / 81	
第 2 节	储液池受力分析计算程序 / 82	
第 3 节	颗粒性储物容器器壁分析程序 / 98	
附录 1	地基抗压刚度系数	103
附录 2	颗粒性储料物理特性参数	104
附录 3	钢筋混凝土配筋计算图表	105
参考文献		112

第 1 章 弹性地基上的受弯构件

第 1 节 弹性地基梁的内力分析

所谓弹性地基梁是指梁的全长放置在弹性支承上，支承对梁的反力与梁的位移成正比，如图 1.1 所示，即

$$p = Ky \quad (1.1)$$

式中： p 为地基反力，以向上为正； K 为地基上产生单位压陷所需的线压力，称为地基系数； y 为地基的压陷深度。

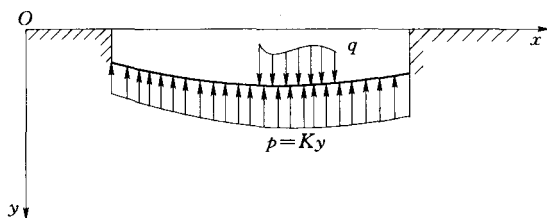


图 1.1 弹性地基梁

图中， q 为梁上荷载，以向下为正。

在梁中取出一微段 dx 如图 1.2 所示，可建立剪力 Q 与荷载的平衡方程式，即

$$dQ = (p - q)dx$$

或
$$\frac{dQ}{dx} = p - q = Ky - q$$

将其代入材料力学中的关系式：

$$Q = \frac{dM}{dx} \quad M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2}$$

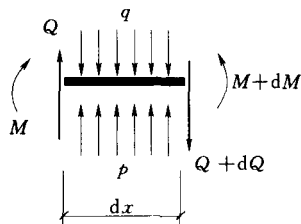


图 1.2 弹性地基梁的平衡

可得

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -Ky + q$$

或
$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{K}{EI} y = \frac{q}{EI} \quad (1.2)$$

式中: E 为材料的弹性模量; I 为梁截面的惯性矩。

式(1.2)即为弹性地基梁的位移基本方程式, 其中荷载 q 为 x 的函数。引入

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \sqrt[4]{K/4EI} \\ A &= 1/EI \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

式(1.2)也可表达为如下形式:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + 4\lambda^4 y = Aq(x) \quad (1.4)$$

式(1.4)的通解为

$$y_0 = e^{\lambda x} (C_1 \cos \lambda x + C_2 \sin \lambda x) + e^{-\lambda x} (C_3 \cos \lambda x + C_4 \sin \lambda x) \quad (1.5)$$

或 $y_0 = A\phi_1(\lambda x) + B\phi_2(\lambda x) + C\phi_3(\lambda x) + D\phi_4(\lambda x) \quad (1.6)$

其中
$$\left. \begin{aligned} \phi_1(\lambda x) &= \operatorname{ch} \lambda x \cos \lambda x \\ \phi_2(\lambda x) &= \operatorname{ch} \lambda x \sin \lambda x \\ \phi_3(\lambda x) &= \operatorname{sh} \lambda x \cos \lambda x \\ \phi_4(\lambda x) &= \operatorname{sh} \lambda x \sin \lambda x \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

若将坐标原点 O 建立在梁的一端, 并设梁端的位移、倾角、弯矩及剪力的初始数值分别为 Y_0 、 θ_0 、 M_0 及 Q_0 (见图 1.3),

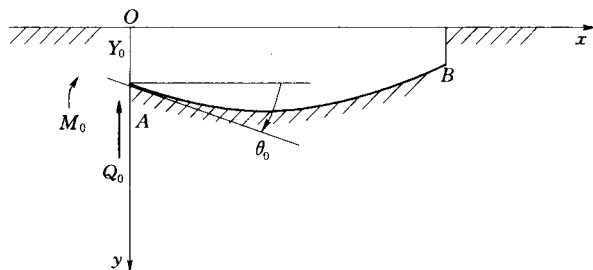


图 1.3 弹性地基梁的初始参数

将这些边界条件代入式(1.5),可得

$$\left. \begin{aligned} Y_0 &= C_1 + C_3 \\ \theta_0 &= \left(\frac{dy}{dx} \right)_0 = \lambda(C_1 + C_2 - C_3 + C_4) \\ M_0 &= -EI \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)_0 = 2\lambda^2 EI(-C_2 + C_4) \\ Q_0 &= -EI \left(\frac{d^3 y}{dx^3} \right)_0 = 2\lambda^3 EI(C_1 - C_2 - C_3 - C_4) \end{aligned} \right\}$$

联立解上式, 可得以梁端初始条件表达的各 C 值为

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{2}Y_0 + \frac{1}{4\lambda}\theta_0 + \frac{1}{8\lambda^3 EI}Q_0 \\ C_2 &= \frac{1}{4\lambda}\theta_0 - \frac{1}{4\lambda^2 EI}M_0 - \frac{1}{8\lambda^3 EI}Q_0 \\ C_3 &= \frac{1}{2}Y_0 - \frac{1}{4\lambda}\theta_0 - \frac{1}{8\lambda^3 EI}Q_0 \\ C_4 &= \frac{1}{4\lambda}\theta_0 + \frac{1}{4\lambda^2 EI}M_0 - \frac{1}{8\lambda^3 EI}Q_0 \end{aligned} \right\}$$

将各 C 值代入式(1.5), 并引入双曲函数, 可得以梁端条件为积分常数的通解形式:

$$y_0 = Y_0 F_1(\lambda x) + \frac{\theta_0}{\lambda} F_2(\lambda x) - \frac{M_0}{\lambda^2 EI} F_3(\lambda x) - \frac{Q_0}{\lambda^3 EI} F_4(\lambda x)$$

$$\text{其中, } \left. \begin{aligned} F_1(\lambda x) &= \operatorname{ch} \lambda x \cos \lambda x \\ F_2(\lambda x) &= (\operatorname{ch} \lambda x \sin \lambda x + \operatorname{sh} \lambda x \cos \lambda x) / 2 \\ F_3(\lambda x) &= (\operatorname{sh} \lambda x \sin \lambda x) / 2 \\ F_4(\lambda x) &= (\operatorname{ch} \lambda x \sin \lambda x - \operatorname{sh} \lambda x \cos \lambda x) / 4 \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

方程式的特解 $Y(x)$ 取决于荷载 $q(x)$ 的函数, 必须根据具体的荷载分布来求解。方程式的全解为

$$y = y_0 + Y(x) \quad (1.9)$$

不难看出, 各 F 之间存在下列简单关系:

$$F'_1 = \frac{dF_1}{dx} = -4\lambda F_4 \quad F'_2 = \frac{dF_2}{dx} = \lambda F_1$$

$$F_3' = \frac{dF_3}{dx} = \lambda F_2 \quad F_4' = \frac{dF_4}{dx} = \lambda F_3$$

因此, 梁的位移、倾角、弯矩及剪力可以表达为

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= Y_0 F_1(\lambda x) + \frac{\theta_0}{\lambda} F_2(\lambda x) - \frac{M_0}{\lambda^2 EI} F_3(\lambda x) \\ &\quad - \frac{Q_0}{\lambda^3 EI} F_4(\lambda x) + Y \\ \theta &= \frac{dy}{dx} = -4\lambda Y_0 F_1(\lambda x) + \theta_0 F_1(\lambda x) - \frac{M_0}{\lambda EI} F_2(\lambda x) \\ &\quad - \frac{Q_0}{\lambda^2 EI} F_3(\lambda x) + \frac{dY}{dx} \\ M &= -EI \frac{d^2 y}{dx^2} = 4EI\lambda^2 Y_0 F_3(\lambda x) + 4EI\lambda \theta_0 F_4(\lambda x) \\ &\quad + M_0 F_1(\lambda x) + \frac{Q_0}{\lambda} F_2(\lambda x) - EI \frac{d^2 Y}{dx^2} \\ Q &= -EI \frac{d^3 y}{dx^3} = 4EI\lambda^3 Y_0 F_2(\lambda x) + 4EI\lambda^2 \theta_0 F_3(\lambda x) \\ &\quad - 4\lambda M_0 F_4(\lambda x) + Q_0 F_1(\lambda x) - EI \frac{d^3 Y}{dx^3} \end{aligned} \right\} (1.10)$$

第 2 节 变系数地基上的变截面梁

设沿梁长度上, 地基系数 $K = K(x)$ 为一变量, 并且梁的截面刚度 $I = I(x)$ 亦为一变量, 则根据材料力学的关系, 有

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M \quad \text{及} \quad \frac{d^2 M}{dx^2} = p = Ky$$

可得

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) + Ky = 0$$

展开微分关系, 可得

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{2}{I} \frac{dI}{dx} \frac{d^3 y}{dx^3} + \frac{1}{I} \frac{d^2 I}{dx^2} \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{K}{EI} y = 0 \quad (1.11)$$

式(1.11)即为当地基系数 K 与梁截面惯性矩 I 沿梁长度呈连续变化时的位移微分方程。