

HUNNINGTU YIXINGZHU

混凝土异形柱 结构设计

JIEGOU SHEJI

◎ 田稳苓 周明杰 陈向上 / 编著

◎ 华德徽 / 审核

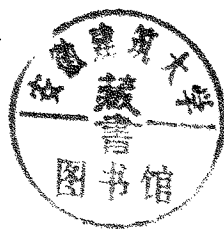


附 CD-ROM 多媒体光盘一张

中国建材工业出版社

混凝土异形柱结构设计

田稳苓 周明杰 陈向上 编著
华德徽 审核



中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土异形柱结构设计/田稳苓, 周明杰, 陈向上编
著. —北京: 中国建材工业出版社, 2007. 10

ISBN 978-7-80227-285-9

I. 混… II. ①田…②周…③陈… III. 混凝土结构—柱
(结构)—结构设计 IV. TU375.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 068617 号

内 容 简 介

本书介绍了混凝土异形柱结构的特点、适用范围、设计特性和设计方法; 系统地阐述了异形柱结构的设计理论和实用设计方法, 包括: 结构体系和建筑体型设计的基本原则、地震作用的计算方法、结构分析的基本理论和设计参数调整、异形柱的截面设计与构造等, 并对结构设计合理性判断的内容和方法进行了较全面的总结和概括。全书共分六章, 主要内容为异形柱结构概述、结构体系与建筑体型、地震作用、结构计算分析、截面设计与结构构造、结构设计合理性判断。本书可供工程设计人员及科研人员参考。随书配有光盘, 可使读者对书中的内容有更为直观的了解。

混凝土异形柱结构设计

田稳苓 周明杰 陈向上 编著

华德徽 审核

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 7.5

字 数: 134 千字

版 次: 2007 年 10 月第 1 版

印 次: 2007 年 10 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-285-9

ISBN 978-7-89992-072-5 (光盘)

定 价: 20.00 元 (含光盘)

本社网址: www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

序

异形柱结构的产生最初是为落实国家墙体改革政策，提出采用异形柱框架和轻质墙体组成的框轻结构，经过研究逐步发展为异形柱结构。我国从 20 世纪 70 年代中后期开始研究和试点，到 90 年代天津市、广东、江苏、河北、安徽等省先后编制了异形柱结构设计规程。2006 年 8 月 1 日中华人民共和国行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》（JGJ 149—2006）颁布、实施，对推动异形柱结构的发展和应用起到了积极作用。

编著组成员从 90 年代初期开始从事异形柱结构方面的研究工作和应用推广工作，在异形柱结构的设计理论方面取得了一些有实用价值的成果，在工程应用方面积累了一定的经验。编著组成员以研究成果为基础，分析、比较《混凝土异形柱结构技术规程》（JGJ 149—2006）和各地方规程，收集、整理了工程技术人员在异形柱结构设计中的常见问题，有针对性、系统地编著了此书。这本书对异形柱结构的发展和应用进行了概括和总结，并按照结构设计的基本程序，对结构体系和结构体型设计原理及方法进行了详细的论述；对适于异形柱结构的地震作用和受力分析方法进行了分析和阐述；针对异形柱受力特征，叙述了适合的截面设计方法；最后阐述了异形柱结构设计合理性判断方法。本书可使读者系统地了解异形柱结构的研究现状和工程设计方法，为工程技术人员提供系统的异形柱结构设计方面的专业指导，是一本很好的参考书。

赵国藩

2007 年 8 月

前 言

钢筋混凝土矩形截面柱结构在室内出现柱棱角,既影响美观,又减少了使用空间。为了弥补矩形柱的不足,满足人们对住宅建筑的需求,落实国家墙体改革政策,20世纪70年代我们首先在天津市提出在住宅结构中采用异形柱框架结构体系。该结构体系自提出以后,首先在天津及周边地区得到推广应用,并逐步扩展到全国许多地区。异形柱结构体系室内不见棱角,围护墙及隔墙较薄,增加了使用面积;同时结合墙体改革,采用保温、隔热、轻质、高效的墙体材料作为框架填充墙及内隔墙,节约能源,利用废料,适应了环境保护的要求。

随着异形柱框架结构体系的推广和应用,该项目积累了宝贵的工程实践经验。在此基础上,天津市1990年编制了第一本异形柱规程,即《框架轻型住宅设计与施工的若干技术规程》(JYG 4—90),该规程先后于1998年和2003年进行了两次修订。在此期间,河北省、安徽省等其他省市也先后颁布了各地的地方标准或规程。2006年8月1日,中华人民共和国行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149—2006)颁布、实施,对推动异形柱结构的发展和应用起到了积极作用。

编著组成员从90年代初期开始从事异形柱结构方面的研究工作和应用推广工作,在异形柱结构的设计理论方面取得了一些有实用价值的成果,在工程应用方面积累了一定的经验。编著此书的出发点是为了总结混凝土异形柱结构多年来的科研成果和工程实践经验,系统阐述混凝土异形柱结构的设计方法,达到进一步深入推广该结构体系的目的。本书在内容安排上注重实用性、系统性和全面性,并注重对结构整体性及建筑体型的分析和设计,主要内容包括结构体系和建筑体型设计的基本原则、地震作用的计算方法、结构分析的基本理论和设计参数调整、异形柱的截面设计与构造以及结构设计的合理性判断。

本书由河北工业大学田稳苓（编写第1、2、6章）、河北工业大学周明杰（编写第4、5章）、河北工业大学陈向上（编写第3章）共同编写，田稳苓负责制定编写大纲及统稿。河北工业大学华德徽审阅了全部书稿，并提出了很多宝贵的建议和具体的修改意见，在此表示衷心感谢。

由于编写时间仓促及受编者的水平所限，书中错误和不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2007年8月

目 录

1 概 述	1
1.1 混凝土异形柱结构	1
1.1.1 异形柱结构的发展与应用概况	1
1.1.2 混凝土异形柱及其结构体系	2
1.1.3 混凝土异形柱结构的特点及适用范围	5
1.2 混凝土异形柱结构设计	6
1.2.1 异形柱结构设计特性	6
1.2.2 混凝土异形柱结构设计规程	6
1.2.3 混凝土异形柱结构设计方法	8
2 结构体系与建筑体型	9
2.1 结构体系	9
2.1.1 结构体系的基本要求	9
2.1.2 竖向结构布置应注意的几个问题	9
2.1.3 楼板结构	12
2.2 建筑体型	14
2.2.1 建筑体型及其设计原则	14
2.2.2 不规则体型的震害	16
2.2.3 规则体型的基本要求	20
2.2.4 建筑体型不规则类型及设计规定	26
2.2.5 建筑体型设计及抗震措施	26
3 地震作用	31
3.1 概 述	31
3.2 扭转耦联振型分解法	32
3.2.1 结构动力计算简图	32
3.2.2 串联刚片系动力特性的求解	33

3.2.3	平动自振周期与扭转自振周期	35
3.2.4	串联刚片系地震作用计算	38
3.2.5	地震作用效应计算	39
3.2.6	地震作用方向	41
3.2.7	地震扭转效应	41
3.3	弹性时程分析法	43
3.3.1	时程分析法概述	43
3.3.2	弹性时程分析法的要点	44
3.3.3	纽马克 (Newmark)- β 法	45
3.4	弹塑性分析方法	47
3.4.1	弹塑性分析方法概述	47
3.4.2	能力谱法计算步骤与框图	48
4	结构计算分析	52
4.1	结构计算的主要内容	52
4.2	结构分析模型	53
4.3	矩阵位移法	55
4.3.1	空间杆系模型	55
4.3.2	空间杆系-薄壁柱模型	60
4.3.3	空间杆系-墙元模型	63
4.4	结构计算参数的调整	64
4.4.1	概 述	64
4.4.2	调整参数的力学概念	65
5	截面设计与结构构造	71
5.1	结构设计的延性准则	71
5.1.1	延性结构的基本概念	71
5.1.2	异形柱框架延性结构的设计方法	73
5.1.3	异形截面双向压弯柱的延性性能	76
5.2	截面设计	78
5.2.1	异形柱正截面承载力计算	78
5.2.2	异形截面柱斜截面受剪承载力计算	83
5.2.3	异形截面柱框架梁柱节点受剪承载力计算	85
5.3	结构构造	88

5.3.1	一般规定	88
5.3.2	异形截面框架柱	89
5.3.3	异形柱框架梁柱节点	94
6	结构设计合理性判断	98
6.1	结构刚度	98
6.1.1	结构的动力特性	99
6.1.2	水平地震剪力系数（剪重比）	100
6.1.3	结构层间侧移	102
6.1.4	构件之间刚度应匹配	103
6.2	延性结构指标判断	104
6.2.1	构件截面尺寸	104
6.2.2	梁、异形柱纵向受力钢筋数量	105
6.2.3	剪压比	105
6.2.4	没有计算的附加应力大小	106
	参 考 文 献	108

1 概述

1.1 混凝土异形柱结构

1.1.1 异形柱结构的发展与应用概况

混凝土异形柱结构体系是以异形柱代替一般框架柱作为竖向支撑构件而构成的结构体系。

由于人们生活水平的提高,住房条件也得到了较大的改善,人们在追求舒适性的同时开始越来越注重美观及结构布置的多样性。矩形截面柱在布置时经常出现室内的棱角,影响了美观,也减小了使用面积。在商品房时代,为了弥补矩形柱的不足,满足人们对住宅建筑的需求,落实国家墙体改革政策,天津市 20 世纪 70 年代开始在住宅结构中采用异形柱框架结构体系,从 1988 年起经历了三年三大步的持续发展,逐步在天津市及全国各地住宅结构中推广了异形柱框架结构体系。1999 年,国务院办公厅 72 号文件《关于推进住宅产业现代化提高住宅质量若干意见的通知》的“加强新型结构技术的开发研究”专题中,将异形柱框轻体系列为住宅建设的五种结构体系之一。

异形柱结构体系避免了普通框架柱在室内凸出、占用建筑空间的问题,改善了建筑观瞻,为建筑设计及使用功能带来灵活性和方便性。由于室内不见棱角,围护墙及隔墙较薄,与黏土砖结构相比,增加使用面积 8%~10%;与矩形柱框架结构相比,增加使用面积 0.6%~1.2% 以上。同时,结合墙体改革,采用保温、隔热、轻质、高效的墙体材料作为框架填充墙及内隔墙,推荐使用轻质填充墙,可以使结构平均自重不超过 $12\sim 14\text{kN/m}^2$,以此来代替传统的烧结黏土砖墙,以贯彻国家关于节约能源、节约土地、利用废料、保护环境的政策。

采用异形柱框架结构,是墙体改革、节约能源消耗、减轻建筑物自重、增加使用面积、适应功能变化需求的主要途径之一。最初,异形柱结构体系主要用于住宅建筑,近年来逐步扩展到用于较规则的宿舍建筑等。图 1-1 为河北工业大学学生宿舍,采用 12 层异形柱框架-剪力墙结构。



图 1-1 河北工业大学学生宿舍楼（异形柱框架-剪力墙结构）

随着异形柱框架结构体系的推广和应用，人们积累了宝贵的工程实践经验。工程实践表明：异形柱框架结构体系具有良好的经济效益、环境效益和社会效益，并显示出良好的发展前景。

1.1.2 混凝土异形柱及其结构体系

(1) 异形柱

截面几何形状为“T”形、“L”形和“十”字形，且截面各肢的肢长与肢厚之比不大于4的柱，称为异形截面柱，简称异形柱（图 1-2）。异形柱与墙的主要区别，是肢长（ h ）与肢厚（ b ）的比值不同，如表 1-1 所示。异形柱的内力和变形具有一般杆件的特征，并不满足薄壁杆件条件，因此在结构分析时异形柱应采用杆系模型。

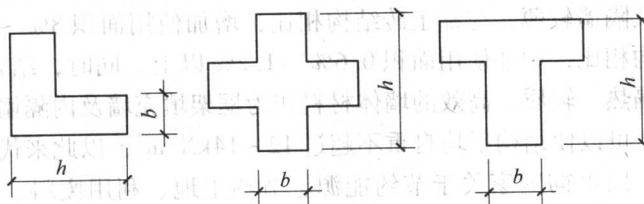


图 1-2 异形柱截面

表 1-1 异形柱、短肢剪力墙、剪力墙的肢长与肢厚之比

h/b	2~4	4~5	5~8	8 以上
构件类型	异形柱	小墙肢	短肢剪力墙	剪力墙

(2) 混凝土异形柱结构体系

混凝土异形柱结构体系是以异形柱代替一般框架柱作为竖向支撑构件而构成的结构体系，主要包括异形柱框架结构体系（图 1-3）和异形柱框架-剪力墙结构体系（图 1-4）。当根据建筑功能要设置底部大空间时，可通过框架底部抽柱并设置转换梁（转换构件宜采用梁），形成底部抽柱带转换层的异形柱结构（图 1-5）。

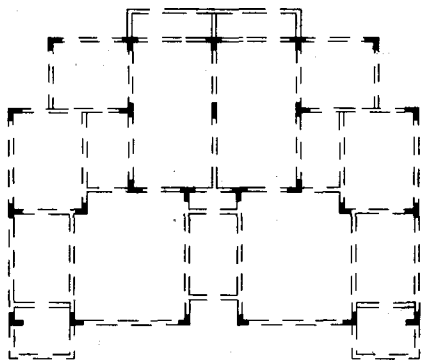


图 1-3 异形柱框架结构体系

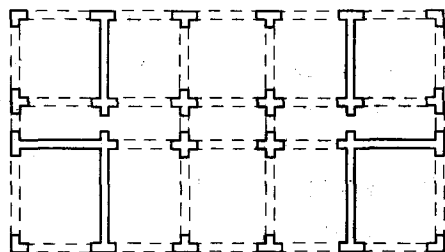


图 1-4 异形柱框架-剪力墙结构体系

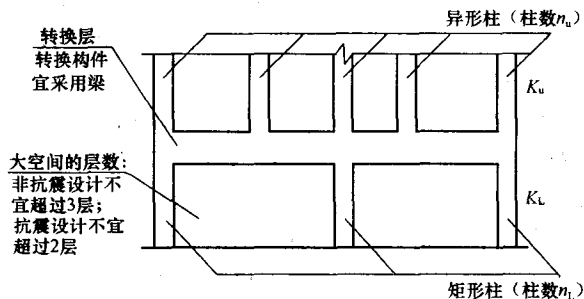


图 1-5 底部抽柱带转换层的异形柱结构

1) 混凝土异形柱框架结构体系

异形柱框架结构体系通过合理设计，可具有良好的延性，即所谓实现“延性框架”设计。因此在地震作用下，框架结构本身的抗震性能是好的。但另一方面，由于框架结构侧向刚度较小，水平作用下位移较大，易引起非结构性构件的破坏，有时甚至会造成结构破坏。从受力合理和结构延性角度考虑，异形柱框架结构不宜建得过高。

根据建筑布置及结构受力的需要，异形柱结构中的框架柱，可全部采用异形柱，也可部分采用一般框架柱（图 1-3）。

2) 混凝土异形柱框架-剪力墙结构体系

混凝土异形柱框架-剪力墙结构体系是在异形柱框架结构体系中设置一定数量的剪力墙所构成的结构体系。

混凝土异形柱框架体系中,在适当位置布置一定数量的剪力墙,有效地减少了异形柱承担的内力,增加了结构的刚度,还能使建筑布置有一定的灵活性。

混凝土异形柱框架-剪力墙结构体系属多道抗震防线的结构体系,剪力墙作为第一道防线,异形柱框架作为第二道防线,增强了结构的抗震能力,是实际工程中常用的一种结构体系(图1-4)。

3) 底部大空间异形柱结构体系

当根据建筑功能需要设置底部大空间时,可通过框架底部抽柱并设置转换梁(转换构件宜采用梁),形成底部抽柱带转换层的异形柱结构(图1-5)。

底部大空间异形柱结构可用于非抗震设计和6度、7度(0.10g)抗震设计的房屋建筑,设计时应满足如下基本要求:

①在地面以上大空间的层数:非抗震设计不超过3层,抗震设计不超过2层;

②适用的房屋最大高度应按表1-3规定的限值降低不少于10%,且异形柱框架结构不应超过6层,异形柱框架-剪力墙结构非抗震设计时不应超过12层,抗震设计时不应超过10层;

③异形柱框架结构的底部托柱框架不应采用单跨框架;

④落地的框架柱应连续贯通房屋全高,转换层下部结构的框架柱不应采用异形柱;不落地的框架柱应连续贯通转换层以上的所有楼层;

⑤托柱梁应双向布置,可双向均为框架梁,或一方向为框架梁,另一方向为托柱次梁(图1-6);托柱框架梁的截面尺寸要求如图1-7所示,其中 L_b 为框架梁的跨度;

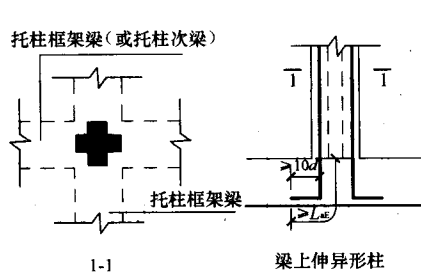


图 1-6 托柱梁应双向布置

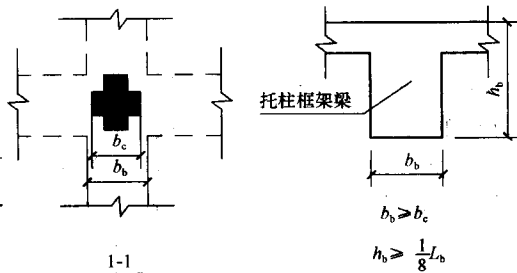


图 1-7 托柱框架梁尺寸

⑥为防止出现软弱层，转换层上部结构与下部结构的侧向刚度比宜接近 1（即 $K_u/K_L \approx 1$ ），转换层下部结构与上部结构的柱子数量之比不宜小于 0.7（即 $n_L/n_u \geq 0.7$ ）；

⑦转换层楼板应采用不小于 150mm 厚的现浇板，且应双层双向配筋，每层每方向的配筋率不宜小于 0.25%；

⑧转换层上部异形柱向底部框架柱转换时，下部框架柱截面的外轮廓尺寸不宜小于上部异形柱截面外轮廓尺寸。转换层上部异形柱截面形心与下部框架柱截面形心宜重合，当不重合时应考虑偏心影响（图 1-8）。

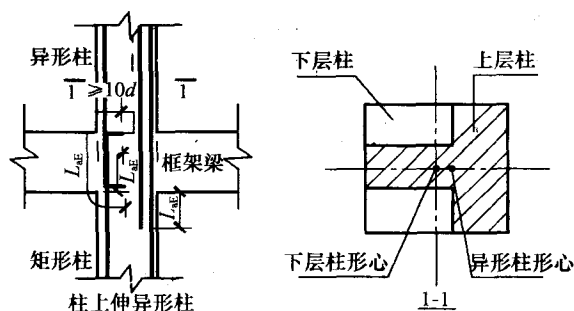


图 1-8 防止出现软弱层的基本要求

1.1.3 混凝土异形柱结构的特点及适用范围

(1) 混凝土异形柱结构的一般特点

与普通柱框架结构和砌体结构相比，异形柱结构具有如表 1-2 所示的一般特点。

表 1-2 混凝土异形柱结构的一般特点

结构形式 项目	异形柱框架	普通柱框架	砌体结构
适用设防烈度	6 度、7 度、8 度 (0.2g)	6~9 度	6~9 度
建筑类型	一般居住建筑	无规定	无规定
7 度最大适用高度	21m (7 度 0.1g)	55m	21m (7 层)
填充墙体材料	优先采用轻质墙体材料	—	—
建筑物平均自重	宜控制在 12~14kN/m ²	—	—
使用特点	室内不见柱棱，使用面积较砖混结构增加 8%~10%	—	—

(2) 混凝土异形柱结构体系的适用范围

混凝土异形柱结构体系与一般矩形柱结构体系之间存在着共性，也具有自身的特性。由于异形柱与矩形柱二者在截面特性、内力和变形特性、抗震性能方面的显著差异，导致在异形柱结构的设计和施工中存在着一些不容忽视的问题。

题,也决定了异形柱结构在设计时应注意以下几方面的适用范围:

1) 设防烈度:混凝土异形柱结构体系可建造于非地震区及抗震设防烈度为6度(0.05g)、7度(0.10g、0.15g)和8度(0.2g)地震区。

2) 适用特点:适用于一般居住建筑。混凝土异形柱结构体系原来主要用于住宅建筑,近年来逐渐扩展到用于平面及竖向布置较为规则的一般民用建筑,工程实践表明效果良好。

3) 填充墙体材料:混凝土异形柱结构体系的填充墙与隔墙应优先采用轻质墙体材料,其建筑物的平均自重宜控制在 $12 \sim 14 \text{ kN/m}^2$ 。

4) 房屋最大高度:异形柱结构体系适用的房屋最大高度应符合规范要求。

5) 最大高宽比:异形柱结构体系适用的最大高宽比应符合规范要求。

1.2 混凝土异形柱结构设计

1.2.1 异形柱结构设计特性

由于异形柱结构缺乏震害资料,柱肢截面又较小,其结构设计与非异形柱结构相比较,具有以下的主要特性:

(1) 由于异形柱结构震害资料少,为确保结构安全,规程中的某些抗震措施较国家标准的相应规定有所加严;

(2) 试验和理论分析表明:异形柱正截面承载力随水平荷载方向不同而有着较大的差异,要精确地确定各异形柱构件对应的水平地震作用最不利方向是一个很复杂的问题;

(3) 异形柱空间工作特性明确,应采用三维空间内力分析方法,正截面按双向偏心受压及偏心受拉计算;

(4) 异形柱柱肢及节点尺寸较小,钢筋锚固及节点强度是异形柱结构的薄弱环节。

1.2.2 混凝土异形柱结构设计规程

为了在异形柱结构的设计和施工中贯彻和执行国家的技术、经济、墙体改革、保温节能等政策,做到安全适用、技术先进、经济合理、确保工程质量,自1990年以来,天津市、广东、江苏、河北、安徽等省先后编制了异形柱结构设计规程,2006年8月1日中华人民共和国行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149—2006)(以下简称《规程》)颁布实施。

(1) 天津市混凝土异形柱结构规程

天津市1990年编制了第一本规程,即《框架轻型住宅设计与施工的若干

技术规程》(JGJ 4—90)。之后,该规程所依据的原国家标准进行了重大修订,天津市地震动参数有了新的规定,异形柱结构的科研成果不断深化发展,异形柱结构的工程实践经验也逐步积累丰富,以及居住建筑的发展对异形柱结构提出了新的要求。因此,《规程》(JGJ 4—90)又先后进行了两次修订:1998年颁布了第二版规程,即《大开间住宅钢筋混凝土异形柱框轻结构技术规程》(DB 29—16—98);2003年颁布了第三版规程,即《钢筋混凝土异形柱结构技术规程》(DB 29—16—2003)。现举例说明三个版本规程的主要区别,如表1-3所示。

表 1-3 天津市混凝土异形柱结构规程比较

版本	设防烈度 (度)	建筑类型	结构体系	最大适用高度 (0.1g)	结构平均自重 (kN/m ²)	最小肢厚 (mm)
1990 年	8	小开间为主的住宅	框架、框-剪、 框架-斜撑	7 层、21m	8.5	150
1998 年	7、8	柱网尺寸小于 7.2m 的住宅	框架、框-剪、 框架-斜撑	框架: 35m 框-剪: 55m	9	多层: 150 高层: 200
2003 年	7、8 (0.2g)	柱网尺寸小于 6.6m 的居住建筑	框架、框-剪	框架: 25m 框-剪: 45m	10~11	200

(2) 《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149—2006)

中华人民共和国行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149—2006)于2006年3月9日发布,2006年8月1日实施。规程条文共102条,其中强制性条文12条,其目录与主要内容见表1-4。

表 1-4 《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149—2006) 主要内容

目 录	主要内容	条文数	强制性条文
1 总则	适用的设防烈度及建筑类型	3	0
2 术语、符号	异形柱及异形柱结构的定义	7	0
3 结构设计的基本规定	结构适用的最大高度、建筑体型基本要求、抗震等级的规定	13	1
4 结构计算分析	荷载及地震作用方向、计算模型与参数、位移限值	23	4
5 截面设计	异形柱及节点承载力计算方法	18	1
6 结构构造	异形柱及节点构造要求	27	3
7 异形柱结构施工	根据异形柱及节点尺寸较小的特点提出几点特殊要求	11	3
合 计		102	12

1.2.3 混凝土异形柱结构设计方法

异形柱结构设计方法与一般结构基本相同，包括两部分内容：概念设计与计算设计。其主要设计内容如图 1-9 所示。

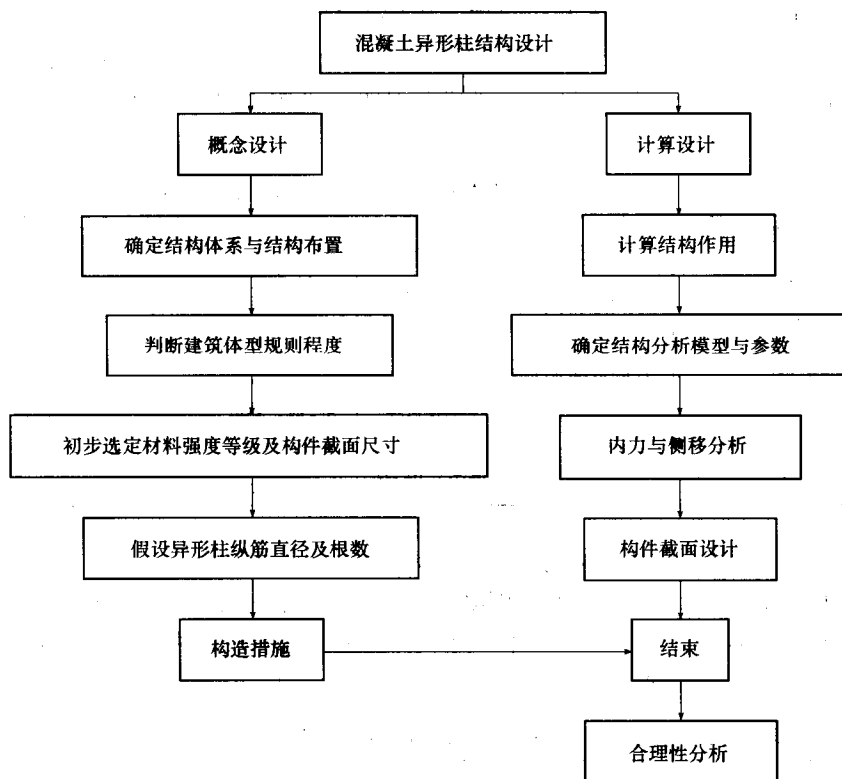


图 1-9 异形柱结构设计内容