

# 空心钢管混凝土

## 结构技术规程理解与应用

查晓雄 钟善桐 徐国林 著 ■

KONGXIN GANGGUAN  
HUNNINGTU  
JIEGOU JISHU  
GUICHENG LIJIE YU  
YINGYONG

中国建筑工业出版社

# 空心钢管混凝土结构技术 规程理解与应用

查晓雄 钟善桐 徐国林 著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

空心钢管混凝土结构技术规程理解与应用/查晓雄, 钟善桐, 徐国林著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010

ISBN 978-7-112-11765-9

I. 空… II. ①查…②钟…③徐… III. 钢管结构; 混凝土结构-技术操作规程 IV. TU375-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 011930 号

本书是与《空心钢管混凝土结构技术规程》CECS 254: 2009 配套的辅助性教材, 具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性的特点。内容包括: 第 1 章主要介绍空心钢管混凝土结构技术规程的内容和范围; 第 2 章介绍空心钢管混凝土的结构类型和结构设计原则; 第 3 章详细讲解空心钢管混凝土承重构件设计; 第 4 章详细讲解节点设计; 第 5 章~第 6 章讲解构件的加工制作和防火; 第 7 章主要是通过试验值与统一设计公式计算结果的比较, 用以证实统一设计公式的可行性; 第 8 章通过 8 道计算例题的详细设计过程, 使读者熟悉规程中统一设计公式的使用。本书可帮助读者更好地理解和应用《空心钢管混凝土结构技术规程》。

责任编辑: 戚大庆 刘瑞霞

责任设计: 赵明霞

责任校对: 赵颖

## 空心钢管混凝土结构技术规程理解与应用

查晓雄 钟善桐 徐国林 著

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

北京红光制版公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9¼ 字数: 230 千字

2010 年 3 月第一版 2010 年 3 月第一次印刷

定价: 24.00 元

ISBN 978-7-112-11765-9

(19015)

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)

# 前 言

《空心钢管混凝土结构技术规程》CECS 254: 2009 是根据中国工程建设标准化协会建标协字 [2007] 81 号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2007 年第二批标准制、修订项目计划的通知》的要求制定的。哈尔滨工业大学(土木工程学院和深圳研究生院)与山东齐星铁塔科技股份有限公司、大连骏翔电力器材有限公司及徐州三元杆塔有限公司等单位合作,完成了大量空心钢管混凝土的试验和研究工作,包括:圆形、十六边形和正方形截面,轴心受压、受弯和压弯构件的试验和研究工作。获得了大量的试验数据,验证了理论分析的正确性,为制订该规程提供了充分的理论依据。该规程内容比较全面,除构件的设计外,还加入了组合可靠度指标的计算,以满足安全的要求。此外,还包含产品的加工制作和质量的检验、施工及防火等。可满足设计、制造和施工的要求。

为了帮助读者更好地理解 and 灵活使用《空心钢管混凝土结构技术规程》CECS 254: 2009,编者根据多年的研究经验编写了这本与该规程配套的《空心钢管混凝土结构技术规程理解与应用》。

本书作为一种辅助性的教材,具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性的特点。与规程同步,编者在内容上作了以下安排:

第 1 章主要介绍空心钢管混凝土结构技术规程的内容和范围;

第 2 章介绍空心钢管混凝土的结构类型和结构设计原则;

第 3 章详细讲解空心钢管混凝土承重构件设计,包括轴压、轴压稳定、轴压弹性模量和轴压刚度、受弯、受剪、受扭、复杂应力状态下的承载力公式,以及公式的使用;

第 4 章详细讲解节点设计,包括管柱直接对接构造与计算、套接连接的构造与计算、内外法兰的构造与计算、梁柱连接节点的构造与计算;

第 5 章~第 6 章讲解构件的加工制作和防火;

第 7 章主要是通过试验值与统一设计公式计算结果的比较,用以证实统一设计公式的可行性;

第 8 章通过 8 道计算例题的详细设计过程,使读者熟悉规程中统一设计公式的使用。

编者衷心希望本书提供的内容能够对读者熟悉规程的使用有所帮助。同时,由于编者的水平有限,本书难免出现不足之处,恳请广大读者批评指正。

# 主要符号

## 作用和作用效应

- $N$ ——轴心压力设计值；
- $N_t$ ——轴心拉力设计值；
- $N_{ok}$ ——截面受压承载力标准值；
- $N_0$ ——截面受压承载力设计值；
- $N_E$ ——欧拉临界力；
- $M$ ——弯矩设计值；
- $M_{ok}$ ——截面受弯承载力标准值；
- $M_0$ ——截面受弯承载力设计值；
- $V$ ——剪力设计值；
- $V_{ok}$ ——截面受剪承载力标准值；
- $V_0$ ——截面受剪承载力设计值；
- $T$ ——扭矩设计值；
- $T_{ok}$ ——截面受扭承载力标准值；
- $T_0$ ——截面受扭承载力设计值；
- $N_t^b$ ——一个普通螺栓的抗拉强度设计值；
- $N_c^b$ ——一个普通螺栓的承压强度设计值；
- $N_v^b$ ——一个普通螺栓的抗剪强度设计值。

## 材料性能和抗力

- $E_s$ ——钢材的弹性模量；
- $E_s'$ ——钢材的切线模量；
- $E_c$ ——混凝土的弹性模量；
- $E_h$ ——空心钢管混凝土的组合轴压弹性模量；
- $E_{hm}$ ——空心钢管混凝土的组合抗弯弹性模量；
- $G_s$ ——钢材的剪变模量；
- $f$ ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
- $f_y$ ——钢材的屈服点，钢材的抗拉、抗压和抗弯强度标准值；
- $f_{ck}$ ——混凝土的（棱柱体）抗压强度标准值；
- $f_c$ ——混凝土的抗压强度设计值；
- $f_h^i$ ——空心钢管混凝土的组合抗压强度标准值；
- $f_h$ ——空心钢管混凝土的组合抗压强度设计值；
- $f_{hv}^i$ ——空心钢管混凝土的组合抗剪强度标准值；
- $f_{hv}$ ——空心钢管混凝土的组合抗剪强度设计值；

$f_c^w$ ——对接焊缝的抗压强度设计值；  
 $f_v^w$ ——对接焊缝的抗剪强度设计值；  
 $f_f^w$ ——角焊缝的抗拉、抗压和抗剪强度设计值；  
 $f_t^b$ ——普通螺栓的抗拉强度设计值；  
 $f_v^b$ ——普通螺栓的抗剪强度设计值；  
 $f_c^b$ ——普通螺栓的承压强度设计值；  
 $\sigma$ ——正应力；  
 $\tau$ ——剪应力。

## 几何参数

$A_s$ ——钢管的截面面积；  
 $A_c$ ——管内混凝土的截面面积；  
 $A_{ho}$ ——空心钢管混凝土构件的组合截面面积，即钢管面积和管内混凝土面积之和；  
 $A_h$ ——管内空心截面的面积；  
 $I_s$ ——钢管的截面惯性矩；  
 $I_c$ ——管内混凝土的截面惯性矩；  
 $I_h$ ——空心钢管混凝土构件的截面组合惯性矩；  
 $I_h^o$ ——空心钢管混凝土受弯构件考虑受拉区混凝土开裂时的截面组合惯性矩；  
 $W_s$ ——钢管的截面模量；  
 $W_c$ ——管内混凝土的截面模量；  
 $W_h$ ——空心钢管混凝土构件的截面组合模量；  
 $i_h$ ——空心钢管混凝土构件的截面组合回转半径；  
 $D$ ——圆形截面的直径，多边形截面二对应外边至外边的距离；  
 $d$ ——混凝土内衬管的内直径，承压挡浆板上的圆孔直径；  
 $B$ ——方形和多边形截面的边长；  
 $r_o$ ——圆钢管混凝土构件的截面半径；  
 $r_{co}$ ——管内混凝土的外半径；  
 $r_{ci}$ ——管内混凝土的内半径；  
 $L_o$ ——受压构件的计算长度；  
 $e$ ——作用荷载的偏心距；  
 $t$ ——钢管的厚度；  
 $\lambda_c$ ——构件的组合长细比，构件的计算长度与组合截面的回转半径之比  $\lambda_c = L_o / i_h$ ；  
 $\lambda_x$ ——构件绕  $x$  轴的长细比；  
 $\lambda_y$ ——构件绕  $y$  轴的长细比；  
 $\lambda_{ox}$ ——格构式构件绕  $x$  轴的换算长细比；  
 $\lambda_{oy}$ ——格构式构件绕  $y$  轴的换算长细比；  
 $\lambda_1$ ——格构式构件的单肢长细比。

## 计算系数

$\alpha$ ——实心截面的含钢率；

- $\alpha_0$ ——空心截面的含钢率；
- $\psi$ ——空心率，空心部分的面积与混凝土的面积加空心部分的面积之和的比值；
- $\theta_{h0}$ ——套箍系数设计值；
- $\varphi$ ——轴心受压构件稳定系数；
- $k_1$ ——由于截面形状不同的紧箍效应折减系数；
- $k_c$ ——混凝土徐变影响系数；
- $k_2$ ——可靠度修正系数；
- $\gamma_{RE}$ ——抗震调正系数；
- $k_v$ ——组合抗剪强度设计值换算系数；
- $k_s$ ——轴压构件长细比修正系数；
- $n$ ——混凝土和钢材的弹性模量比；格构式柱的柱肢数；
- $\beta$ ——钢材和混凝土截面惯性矩之比，拔梢杆计算长度修正系数，冲击系数；
- $\beta_0$ ——多边形截面的截面模量和惯性矩的等效系数；
- $\beta_m$ ——弯矩等效系数。

# 目 录

<b>1 规程内容和范围</b> .....	1
1.1 空心钢管混凝土在我国的应用和发展 <sup>[1]</sup> .....	1
1.2 制订规程的条件 .....	2
1.3 规程内容 .....	2
<b>2 结构类型和结构设计原则</b> .....	3
<b>3 承重构件设计</b> .....	4
3.1 钢管混凝土统一理论简介 <sup>[1]</sup> .....	4
3.2 轴压构件抗压强度 .....	5
3.3 轴压构件的稳定 .....	9
3.4 空心钢管混凝土轴压构件的承载力 .....	14
3.5 空心钢管混凝土构件的轴压弹性模量和轴压刚度 .....	24
3.6 空心钢管混凝土构件的受剪和受扭承载力 .....	25
3.7 空心钢管混凝土构件轴心受拉承载力 .....	26
3.8 空心钢管混凝土构件受弯时的承载力 .....	26
3.9 空心钢管混凝土构件在复杂应力状态下的承载力计算 .....	29
<b>4 节点设计</b> .....	31
4.1 现场安装连接 .....	31
4.2 梁柱连接节点 .....	51
<b>5 构件的加工制作</b> .....	56
<b>6 防火</b> .....	57
6.1 防火涂层 .....	57
6.2 防火涂料厚度 .....	57
<b>7 计算结果与试验结果比较</b> .....	61
<b>8 算例</b> .....	74
附录 A .....	92
附录 B .....	114
附录 C 空心钢管混凝土含钢率计算图 .....	122
参考文献 .....	140



## 1.1 空心钢管混凝土在我国的应用和发展<sup>[1]</sup>

由于钢管混凝土具有突出的优点，由吉林省电力设计院与原哈尔滨建筑工程学院合作，于1981年5月建成投产第一个松蛟220kV输电线路终端塔，如图1-1所示。

横梁高18m，四根立柱采用 $\phi 245\text{mm} \times 4\text{mm}$ 实心钢管混凝土，钢材Q235BF，内灌C30混凝土。立柱受轴心压力500kN。共计用钢材10t，混凝土2.83m<sup>3</sup>，造价18200元。与钢塔比，节约钢材50%，节约投资30%。施工时在现场进行了超载试验，超载50%，工作仍为弹性，安全可靠。至今已安全运营27年。

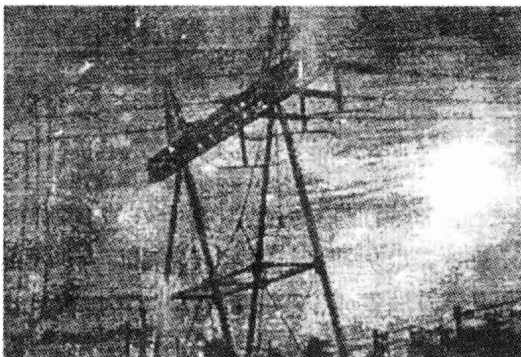


图1-1 松蛟220kV输电线路终端塔

该工程证明了钢管混凝土用于送变电杆塔结构具有很大的优越性，应该大力推广。

然而，由于需现场浇灌混凝土，只能用于城区和靠近城市的工程，对郊外和线路上的塔架结构就无法施工。因此，提出了预制的要求。同时，考虑到预制件的运输，为了减轻构件重量，想到了抽去中心部分的混凝土，这就出现了空心钢管混凝土构件。

随后，原哈尔滨建筑工程学院和辽宁省电力勘测设计院合作，开展了空心圆形钢管混凝土的研究。在瓦房店电力器材厂的支持下，进行了大量的试验工作，包括：轴心受压强度试验，稳定试验，受弯试验和受扭试验等。其中有一个18m长的轴心受压柱的立式试验，可以说是世界少有的大试验。

在研究和试验的基础上，辽宁省电力勘测设计院制订了《送电线路空心钢管混凝土杆段设计技术规定》DLGJ-S11—92。由此，在东北地区大量推广应用了这种新结构。

当时，我国严格控制钢结构的应用，因而电力部门大量采用了预应力钢筋混凝土杆塔结构。但到20世纪90年代中期，这种结构普遍出现了纵向裂缝，影响了杆塔的寿命。为此，浙江省电力勘测设计院徐国林高级工程师开始了空心圆形钢管混凝土的研究和应用。在完成了大量的试验研究工作后，制订了电力行业标准《薄壁离心钢管混凝土结构技术规程》DL/T 5030—1996，并在华东地区大量推广应用了这种结构。

迄今为止，全国已建成运行的采用空心钢管混凝土的送变电构架已达上百个工程。

最大的工程有：浙江省温蒲线220kV线路上的格构式拉线大跨越塔，高度为191.5m和159m各二塔，1992年建成。1996年又建成了浙江省220kV椒江大跨越塔，这是独立式自立

塔, 总高 175m, 双回路。

由此可见, 空心圆形钢管混凝土结构已在我国得到广泛的应用。并已扩展到厂房结构。如 2000~2002 年山东齐星铁塔科技股份有限公司和江苏徐州三元杆塔有限公司, 先后建成了采用圆形空心钢管混凝土格构柱的单层工业厂房, 厂房内备有 20t 桥式吊车。同时, 空心钢管混凝土也已应用于基础桩, 如上海宝钢不少厂房都采用了空心钢管混凝土桩。

随着工程的应用和生产的发展, 截面形式由圆形发展到方形、矩形、八边形和十六边形。如图 1-2 所示。

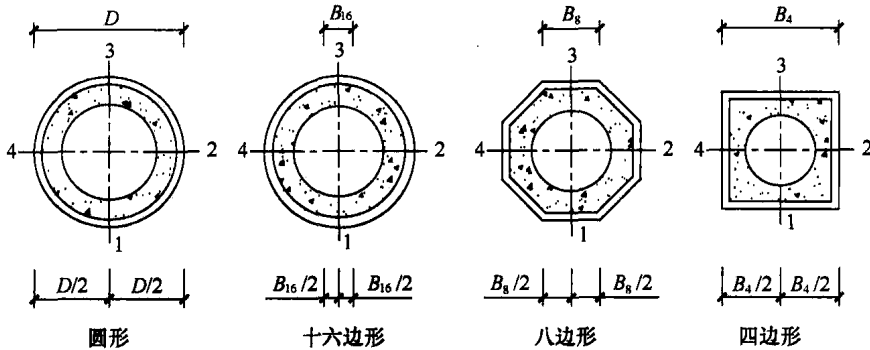


图 1-2 空心钢管混凝土的各种截面形式

显然, 电力行业标准《薄壁离心钢管混凝土结构技术规程》DL/T 5030—1996 已不能适应工程建设的需要, 必需重新制订新规程。

## 1.2 制订规程的条件

2003 年哈尔滨工业大学受徐国林高工的委托, 开展了空心钢管混凝土构件的更广泛深入的研究。在三家空心钢管混凝土制造厂的大力支持下, 结合工程实际的需要, 除圆形构件外, 又对正方形、八边形和十六边形构件, 进行了轴心受压、偏心受压和受弯构件共 113 个试验, 得到了大量有价值的结果, 进一步丰富和充实了“钢管混凝土统一理论”, 为制订《空心钢管混凝土结构技术规程》创立了条件。

## 1.3 规程内容

规程适用内容包括: (1) 工业与民用房屋结构; (2) 送变电塔架结构; (3) 各类通信塔; (4) 基础桩。

上列几种结构中, 只有民用房屋结构尚未有工程采用, 属首次推荐采用。根据其工作性能和规程中采用的一些规定和措施, 在一般中高层建筑中采用空心钢管混凝土柱, 完全可以保证安全可靠。

此外, 由于空心钢管混凝土构件是在工厂中预制的, 因而规程内容除构件和节点的设计, 以及一些构造要求外, 还包括构件的加工制作, 因而内容较多。

## 2 结构类型和结构设计原则

提出了空心钢管混凝土结构适用于下列六种结构类型：

1. 空心钢管混凝土塔架和构筑物结构，含单肢柱及格构柱。
2. 空心钢管混凝土框架结构，即柱采用空心钢管混凝土构件，梁采用钢梁、钢筋混凝土梁或钢-混凝土组合梁。
3. 空心钢管混凝土框架—钢支撑结构。
4. 空心钢管混凝土框架—钢筋混凝土剪力墙结构。
5. 空心钢管混凝土框架—钢筋混凝土核心筒结构。
6. 空心钢管混凝土管桩。

正如上面已经提到的，空心钢管混凝土柱用于多、高层民用建筑尚无工程实例，而且空心构件受轴心压力作用下，通常均为脆性破坏。为了确保建筑物的安全，在多、高层工业和民用建筑的设计原则中作了下列规定：

最大适用高度控制在 A 级钢筋混凝土高层建筑以下水平；

最大构件的截面尺寸（直径或边长）控制在 1m；

高层建筑物的最大高宽比也参照 A 级确定；

限制空心钢管混凝土柱的最大空心率不宜大于 0.75，地震设防区，不宜大于 0.6~0.3，见规程表 5.2.6；

限制空心钢管混凝土柱的最大轴压比见规程表 5.2.7，非地震设防区，不限制轴压比。

### 3.1 钢管混凝土统一理论简介<sup>[1]</sup>

本规程要求同时适用于圆形、十六边形、八边形和正方形截面的构件设计，因此，只有“钢管混凝土统一理论”提出的统一设计公式才能满足要求。

“钢管混凝土统一理论”的内容是：把钢管混凝土视为统一体，是钢材和混凝土组合形成的一种组合材料。它的工作性能随着材料的物理参数、统一体的几何参数和截面形式，以及应力状态的改变而改变。变化是连续的，相关的，计算是统一的。概括而言，钢管混凝土构件的工作性能具有统一性、连续性和相关性。

总之，钢管混凝土可看作是一种组合材料，研究它的组合工作性能，而它的工作性能具有统一性、连续性和相关性。

#### 1. “统一性”

首先反映在钢材和混凝土两种材料的统一。

不是把钢管和混凝土两种材料分割开来计算其承载力，而是把它视为一种组合材料来看待。众所周知，有很多文献和规程是把钢管和混凝土两部分的承载力叠加起来计算构件的承载力，即所谓的承载力叠加法。

其次是不同截面构件的承载力的计算也是统一的。

并不是圆形截面钢管混凝土构件是一种构件，方钢管混凝土构件又是另一种性能迥然不同而各不相干的构件。或者，把实心圆截面视为一种构件，空心的又是另一种构件。或者，圆钢管混凝土构件用一种计算方法，而方钢管混凝土构件又用另一种计算方法；实心钢管混凝土构件用一种计算方法，而空心钢管混凝土构件要用另一种计算方法。实际上，所有这些构件都是统一的，可用同一种设计方法来进行设计。

目前存在的实心圆截面、矩形截面和薄壁空心钢管混凝土结构等几种不同的设计规程，就是忽略了“统一性”。

#### 2. “连续性”

反映在钢管混凝土构件的性能变化是随着材料的物理参数和构件的几何参数的变化而变化的，变化是连续的。

例如：钢管混凝土构件在各种荷载的作用下，包括轴心受压、偏心受压、受剪、受扭以及受弯等，应力和变形的关系曲线都是随着钢材的强度、混凝土的抗压强度的变化而连续变化的，也是随着构件的套箍系数的变化而连续变化的。

上述几种现行钢管混凝土设计规程就是忽略了其连续性。

此外，还有把空心钢管混凝土按空心率的大小分成两种设计方法。空心率  $\psi \leq 0.5$  时，

按实心构件设计； $\psi > 0.5$  时，则按空心构件计算。这也是忽略了它们性能变化的连续性。

### 3. “相关性”

反映在钢管混凝土构件在各种荷载作用下，产生的应力之间存在着相关性。

承载力叠加法忽略了这一关系，因而无法计算受剪时构件的承载力，也无法计算复杂应力状态时钢管混凝土构件的承载力。

总之，“钢管混凝土统一理论”是把钢管混凝土看作一个统一体，视为是一种“组合材料”，研究这种组合材料的组合工作性能，再根据这种组合材料的组合工作性能指标，来进行构件在不同荷载情况下和几种应力状态下承载力的计算，由此得到统一的设计公式。

关于上述统一理论的统一性、连续性和相关性的具体和详细内容，可参阅参考文献 [1] [2]。

目前，我国现有标准化协会规程有：(1)《钢管混凝土结构设计规程》CECS 28:90；(2)《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159:2004；电力行业标准有：(3)《钢-混凝土组合结构设计规程》DL/T 5085—1999；(4)《薄壁离心钢管混凝土结构技术规程》DL/T 5030—1996。此外，还有一些地方设计标准，不一一列举。上列规程 (1) 限于设计圆形截面构件，其中对轴压构件的承载力是采用螺旋箍筋混凝土的原理确定的，其稳定承载力则为实验值。规程 (2) 限于设计矩形截面构件，其中对轴压构件的承载力是采用钢管和混凝土承载力叠加法，其稳定承载力则近似地采用了《钢结构设计规范》GB 50017 中的 b 曲线。规程 (3) 限于设计圆形截面构件，其中对轴压构件的承载力是采用“钢管混凝土统一理论”中的统一设计公式，其稳定承载力是采用切线模量理论求得稳定系数。规程 (4) 也限于设计圆形截面构件，其中对轴压构件的承载力根据试验结果，采用钢管和混凝土承载力叠加法，其稳定承载力也是根据试验结果确定的。

## 3.2 轴压构件抗压强度

### 3.2.1 实心圆形钢管混凝土构件轴心受压时的强度标准值

统一理论提出的钢管混凝土构件在轴心压力作用下，把它看作是一个统一体，是一种组合材料，采用有限元法得到实心圆截面轴压构件的压力和纵向应变的全过程曲线，如图 3-1 所示。

这是首次根据计算得到的全过程关系曲线，是钢管混凝土轴压时的整体工作性能关系曲线。

因为我们把钢管混凝土看作统一体，所以把轴压力  $N$  除以整个截面的面积  $A_{sc}$ ，即得构件的平均应力  $\sigma = N/A_{sc}$ 。图 3-1 也就是平均应力与纵向应变的全过程关系曲线。此关系曲线和长径比 ( $L/D$ ) 为 3~3.5 的轴压试件的试验结果吻合得很好。

上述关系曲线的形状与套箍系数  $\theta = A_s f_y / A_c f_{ck} = \alpha f_y / f_{ck}$  有关。这里  $A_s$  和  $A_c$  分别是钢管和混凝土的截面

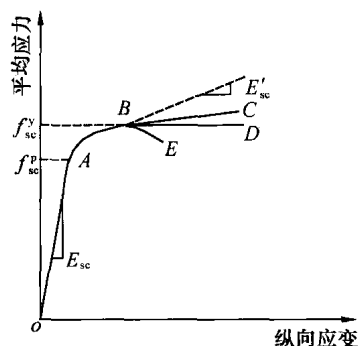


图 3-1 实心圆形钢管混凝土轴压时的平均应力与纵向应变全过程曲线

面积,  $f_y$  和  $f_{ck}$  分别是钢材和混凝土的抗压强度标准值,  $\alpha = A_s/A_c$  是含钢率。

当  $\theta > 1$  时, 曲线有上升段; 当  $\theta = 1$  时, 曲线有水平的塑性段; 当  $\theta < 1$  时, 曲线有下降段。对实心圆截面, 当套箍系数  $\theta \leq 0.5$  时, 无塑性段, 而为极值破坏。如图 3-2 所示。图中套箍系数用  $\xi$  表示。

全过程曲线中的特征点  $b$  是曲线由弹塑性阶段到强化段或由弹塑性阶段到塑性段的分界点。经分析, 对于常用含钢率情况,  $b$  点对应的纵向应变为  $3000\mu\epsilon$  左右。

统一理论是把构件视为统一体, 把应力应变全过程曲线上的特征点  $B$ , 或  $B$  点前的极值点作为钢管和混凝土组合材料的轴压承载力标准值  $f_{sc}^y$ 。经与套箍系数关系的回归分析, 得到组合抗压强度标准值的变化, 如图 3-3 中的  $AB$  线所示。

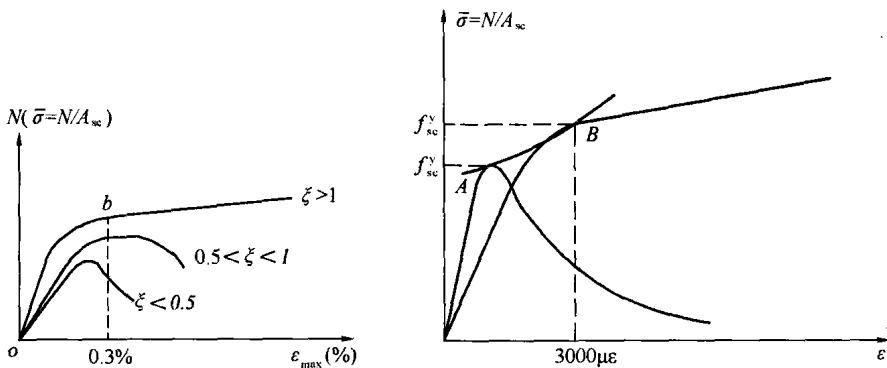


图 3-2 平均应力和纵向应变随套箍系数变化的关系曲线

图 3-3  $B$  点和  $B$  点前极值点的回归关系

用公式表示, 得公式 (3-1):

$$f_{sc}^y = (1.212 + Bk_o\theta + Ck_o^2\theta^2) f_{ck} \quad (3-1)$$

式中  $\theta$ ——套箍系数标准值,  $\theta = A_s f_y / A_c f_{ck} = \alpha f_y / f_{ck}$ ;

$k_o$ ——截面形状系数, 对于实心各种截面  $k_o = 1$ ; 空心截面: 圆形和十六边形  $k_o = 0.6$ , 八边形  $k_o = 0.4$ , 四边形截面  $k_o = 0.3$ ;

$B$ 、 $C$ ——参数;

$A_s$ 、 $A_c$ ——分别为钢管面积和管内混凝土的面积;

$\alpha$ ——含钢率,  $\alpha = A_s / A_c$ ;

$f_y$ 、 $f_{ck}$ ——分别为钢材的屈服点和混凝土的抗压强度标准值, 见表 3-1 和表 3-2。

钢材的强度标准值和设计值 ( $N/mm^2$ )

表 3-1

钢 材		屈服强度 $f_y$	强度设计值		
牌号	钢材厚度 (mm)		抗拉、抗压、 抗弯 $f$	抗剪 $f_v$	端面承压 (刨平顶紧) $f_{ce}$
Q235 钢	$\leq 16$	235	215	125	325
	$> 16 \sim 40$	225	205	120	
	$> 40 \sim 60$	215	200	115	

续表

钢材		屈服强度 $f_y$	强度设计值		
牌号	钢材厚度 (mm)		抗拉、抗压、 抗弯 $f$	抗剪 $f_v$	端面承压 (刨平顶紧) $f_{ce}$
Q345 钢	$\leq 16$	345	310	180	400
	$> 16 \sim 35$	325	295	170	
	$> 35 \sim 50$	295	265	155	
Q390 钢	$\leq 16$	390	350	205	415
	$> 16 \sim 35$	370	335	190	
	$> 35 \sim 50$	350	315	180	
Q420 钢	$\leq 16$	420	380	220	440
	$> 16 \sim 35$	400	360	210	
	$> 35 \sim 50$	380	340	195	

混凝土的抗压强度标准值和设计值 ( $N/mm^2$ )

表 3-2

强度种类	混凝土强度等级								
	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C70	C80
$f_{ck}$	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	44.5	50.2
$f_c$	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	31.8	35.9

由于钢管混凝土构件所用钢材的厚度一般不超过 50mm, 以下由厚度从  $t \leq 16mm$  开始, 简称第一、二、三组钢材。表 3-1 只列出了前三组钢材的强度。

2001 年, 我们研究了各种截面实心构件轴心受压时的工作性能, 得到了各种截面构件的压力和应变的全过程关系曲线, 如图 3-4 所示。图中  $\xi$  是套箍系数。

图 3-4 中分别绘出圆形、八边形、正方形和矩形截面的平均应力与应变的全过程关系曲线。各种截面的轴压强度标准值同公式 (3-1), 只是公式中的参数  $B$  和  $C$  取不同的值。参数  $B$  和  $C$  列入表 3-3。

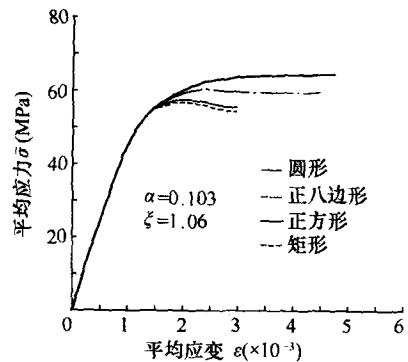


图 3-4 各种截面实心钢管混凝土轴压时的平均应力-应变全过程曲线

各种截面的参数  $B$  和  $C$  值

表 3-3

截面形式	$B$	$C$
圆形和十六边形	$\frac{0.1759f_y}{235} + 0.974$	$\frac{-0.1038 \times 1.1f_{ck}}{20.1} + 0.0309$
八边形	$\frac{0.1401f_y}{235} + 0.7783$	$\frac{-0.07 \times 1.1f_{ck}}{20.1} + 0.0262$
四边形	$\frac{0.131f_y}{235} + 0.723$	$\frac{-0.07 \times 1.1f_{ck}}{20.1} + 0.0262$

以上就是实心钢管混凝土轴压构件按统一体考虑时的标准强度设计指标。即平均应力和纵向应变全过程曲线上，弹塑性阶段与强化阶段或弹性阶段与塑性阶段的交点，无塑性时为极值点。用回归法导得的强度标准值  $f_{sc}^y$  和套箍系数  $\theta$  的关系（公式（3-1）），即图 3-3 中的曲线段 AB。此式适用于常用含钢率范围，经和实验结果比较，符合得很好。

由公式（3-1）计算实心构件的抗压强度标准值  $f_{sc}^y$ ，结果列入附录 A 表 A-1~表 A-9。

有的学者感到公式（3-1）较复杂，对其进行了简化。不过任何脱离平均应力和纵向应变全过程曲线上，弹塑性阶段与强化或弹塑性阶段与塑性阶段交点处强度标准值的简化，都不属于统一理论的范畴。

### 3.2.2 空心钢管混凝土轴心受压时的强度标准值<sup>[2]</sup>

空心钢管混凝土轴压构件由于内部存在空心部分，实验证明都在纵向应变  $3000\mu\epsilon$  前出现极值而破坏，如图 3-5 所示。公式（3-1）也代表空心构件的极值荷载，不过，因空心构件的管内混凝土系离心法浇筑，且采用蒸汽养护，因而混凝土的抗压强度提高 10%，因此，公式（3-1）写为：

$$f_h^y = (1.212 + Bk_o\theta_h + Ck_o^2\theta_h^2)1.1f_{ck} \quad (3-2)$$

式中  $\theta_h$  ——空心构件截面的套箍系数标准值， $\theta_h = \alpha_o f_y / f_{ck}$ ；

$\alpha_o$  ——空心构件的含钢率， $\alpha_o = \alpha / (1 - \psi)$ ；

$\alpha$  ——对应的实心截面的含钢率；

$\psi$  ——空心率， $\psi = A_h / (A_h + A_c)$ ；

$A_c$ 、 $A_h$  ——分别为管内混凝土的面积和空心部分的面积；

$k_o$  ——截面形状系数，圆形和十六边形  $k_o = 0.6$ ；八边形截面  $k_o = 0.4$ ；四边形截面  $k_o = 0.3$ 。

参数 B 和 C 和实心构件同，按表 3-3 采用。

空心圆钢管混凝土构件的抗压强度标准值按公式（3-2）计算的结果列入附录 A 表 A-10~表 A-18。

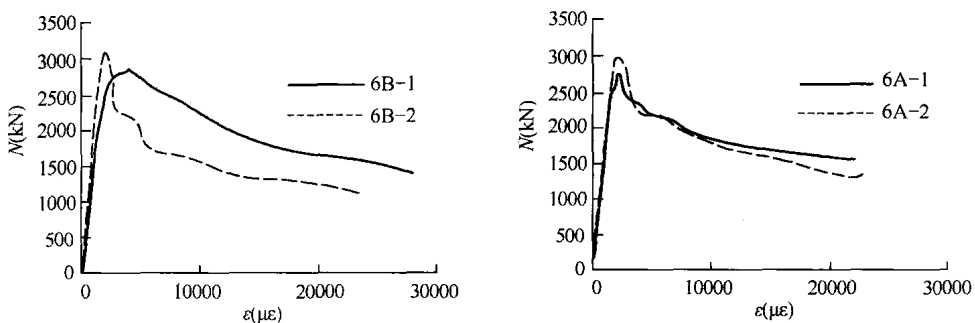


图 3-5 空心钢管混凝土轴压构件荷载和纵向应变的关系

### 3.2.3 实心钢管混凝土轴心受压时的强度设计值

各种截面轴心受压时的抗压强度设计值按式（3-3）计算：



$$f_{sc} = (1.212 + Bk_0\theta_0 + Ck_0^2\theta_0^2)f_c \quad (3-3)$$

式中  $\theta_0$  ——实心截面的套箍系数设计值,  $\theta_0 = \alpha f / f_c$ ;

$\alpha$  ——实心截面的含钢率;

$f$ 、 $f_c$  ——分别为钢材和混凝土的抗压强度设计值;

$k_0$  ——截面形状系数,  $k_0 = 1$ 。

参数  $B$  和  $C$  按表 3-3 采用。

各种截面轴心受压强度设计值列入附录 A 表 A-19~表 A-27。

### 3.2.4 空心钢管混凝土轴心受压时的强度设计值

各种截面轴心受压时的抗压强度设计值按式 (3-4) 计算:

$$f_h = (1.212 + Bk_1\theta_{h0} + Ck_1^2\theta_{h0}^2)1.1f_c \quad (3-4)$$

式中  $\theta_{h0}$  ——空心截面的套箍系数设计值,  $\theta_{h0} = \alpha f / f_c$ ;

$f$ 、 $f_c$  ——分别为钢材和混凝土的抗压强度设计值;

$\alpha_0$  ——空心截面的含钢率,  $\alpha_0 = \alpha / (1 - \psi)$ ;

$\alpha$  ——对应的实心截面的含钢率;

$\psi$  ——空心率,  $\psi = A_h / (A_h + A_c)$ ;

$k_1$  ——由于截面形状不同的紧箍效应折减系数, 圆形和十六边形  $k_1 = 0.6$ ; 八边形截面  $k_1 = 0.4$ ; 四边形截面  $k_1 = 0.3$ 。

参数  $B$  和  $C$  按表 3-3 采用。

第一组钢材各种截面轴心受压强度设计值列入规程附录 B 表 B-1~表 B-3, 第二组、第三组钢材各种截面轴心受压强度设计值列入附录 B 表 B-4~表 B-9。

### 3.2.5 空心钢管混凝土轴心受压时的强度设计值的简化计算

为了设计方便, 假设有一对应的圆形截面, 其套箍系数为  $k_1\theta_{h0}$ , 它的抗压强度设计值为式 (3-4), 令它等于按各种截面的  $B$  和  $C$  算得的抗压强度设计值  $f_h$ , 由此而求得式中的系数  $k_1$ 。这时, 系数  $k_1$  对圆形和十六边形截面取 0.6, 八边形截面为 0.32, 四边形截面为 0.225, 矩形截面应换算成四边形截面进行计算。这时, 参数  $B$  和  $C$  只用圆形截面的。

简化后, 只有圆形和十六边形截面, Q345、Q390 和 Q420 钢材, C80 混凝土, 含钢率  $\alpha_0 = 0.24 \sim 0.28$  的情况, 稍偏于安全。其他情况所得结果和按公式 (3-4) 算得的结果完全一致。

由以上的介绍可见, 按照统一理论得到的钢管混凝土轴压构件的强度设计公式, 无论实心还是空心截面, 或各种不同形状截面, 设计公式是一样的, 这就为各种截面的钢管混凝土结构制订统一的设计规范创造了条件。

有了轴压构件强度值, 其他设计参数如: 轴压弹性模量、抗弯弹性模量、抗剪强度以及剪变模量等, 都和轴压强度值有直接关系。

## 3.3 轴压构件的稳定

在数学上实心钢管混凝土、空心钢管混凝土和空钢管的不同只是空心率的不同,