

文章编号:1007-7596(2001)03-0049-03

钢管混凝土受压构件理论和应用的探讨

周晓玉¹,张兴波²,何 权³,王良辰¹

(1.黑龙江省水利水电勘测设计研究院 哈尔滨 150080;2.绥滨县水务局 黑龙江 绥滨;3.;黑龙江省水利厅基础总站,黑龙江 哈尔滨 150010)

摘 要:钢管混凝土具有构件承载力大,良好的塑性和韧性及经济效果显著三个特点,因而用途比较广阔,最宜用于轴心受压构件以及偏心受压构件。

关键词:钢管混凝土;轴心受压构件;统一理论;套箍系数;承载力

中图分类号:TV32 **文献标识码:**A

1 概述

钢管混凝土结构是在钢管内填充混凝土而形成的结构。组合抗轴压强度是钢管混凝土组合截面所能承受的最大名义压应力。

组合轴压弹性模量是钢管混凝土组合截面的单向受压,且其纵向名义应力和应变呈线性关系时,截面上名义正应力与对应的正应变的比值。

套箍系数是反映钢管混凝土组合截面的几何特征和组成材料的物理特性的综合系数。标准值用 ξ 表示, $\xi = A_s f_y / A_c f_{ck}$, 设计值用 ξ_0 表示, $\xi_0 = A_s f / A_c f_c$ 。其中: A_s ——构件中钢管的截面积; A_c ——构件中混凝土的截面积。

2 材料

2.1 材料规格及搭配 文献推荐的搭配方式如下表所列。

钢的型号	Q235		Q345			Q390	
混凝土	C30	C40	C40	C50	C60	C50	C60

2.2 钢材的分组及强度值:按 GBJ17-88 的规定摘要列表如下(N/mm², MPa)。

钢材	组别	厚度 t	屈服 f_y	设计 f	弹性模量
Q235	一	≤ 16	235	215	205 000
	二	16~40	225	205	
	三	40~60	215	200	
Q345	一	≤ 16	345	315	210 000
	二	16~25	325	300	
	三	25~36	315	290	
Q390	一	≤ 16	390	350	215 000
	二	16~25	375	335	
	三	25~36	355	320	

注:各种钢材(板材)按厚度分为一、二、三组,强度指标有: f_y 和 f 。其中 f_y ——钢材的屈服强度或屈服点; f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值。

2.3 混凝土抗压强度值 按规范列表如下(N/mm², MPa)。

强度等级	C30	C40	C50	C60
标准值 f_{ck}	20.0	27.0	32.0	38.0
设计值 f_c	15.0	19.5	21.5	28.0
弹性模量	30 000	32 500	34 500	36 000

注:混凝土强度指标有: f_{ck} 和 f_c 等。其中 f_{ck} ——混凝土的轴心抗压强度标准值; f_c ——混凝土的轴心抗压强度设计值。

2.4 新旧混凝土标号对照表 为了转换方便,现整理如下,供参考。

原标号 #	100	150	200	250	300	400	500	600
新强度等级	C8	C13	C18	C23	C28	C38	C48	C58

2.5 材料加工要求 钢管宜采用螺旋焊接管或直缝焊接管,焊缝必须采用对接焊缝。混凝土宜采用普通混凝土,水灰比应控制在 0.45 及以下。混凝土的强度等级不宜低于 C30 级,可参照前表材料组合:构件截面的套箍系数标准值不宜小于 0.5。

2.6 构造要求

钢管混凝土结构钢管的外直径不宜小于 100 mm,钢管壁厚不宜小于 4 mm。一般外径 $d = 102 \sim 2\,000$ mm,板厚 $t = 4 \sim 66$ mm。钢管外直径与壁厚之比宜在 20~100 范围内,即常用的截面含钢率 $\alpha_s = 0.04 \sim 0.20$ 。钢管混凝土宜用作轴心受压或作用力偏心较小的受压构件。当作用力偏心较大而采用单根构件不够合理时,宜采用格构式构件。

3 钢管混凝土结构的种类与特点

3.1 种类 钢管混凝土是指在钢管中填充混凝土而形成的构件,通常不再配置钢筋;只在极少数的情况下,在管内另外配置纵向钢筋和箍筋。从截面型式上,有方钢管、圆钢管、多边形钢管混凝土。通常采用圆钢管混凝土,管内浇灌素混凝土,不再配置箍筋。钢管混凝土轴心受压构件在设计荷载作用下,在钢管和核心混凝土之间恒存在着相互作用的紧箍力,核心混凝土处于三向受压状态,钢管主要处于三向异号力场。

收稿日期:2001-04-19

作者简介:周晓玉(1960-),女,工程师

3.2 特点

3.2.1 构件承载力大 由于三向压应力的作用,使混凝土的工作性能发生了质的变化,提高了承载力,增大了极限压缩应变。钢管混凝土轴心受压构件,钢管保护了混凝土,使它三向受压,延缓了受压时的纵向开裂;而混凝土却保证了薄壁钢管的局部稳定,相互弥补了彼此的弱点,却充分发挥了彼此的长处。

文献记载哈尔滨锅炉厂曾经做过对比试验。采用 Q236、 $\phi 400 \times 6$ 钢管, C30 混凝土, 试件长 3180 mm。第一组为空钢管, 轴心受压的破坏荷载 $N_1 = 1392$ kN; 第二组为素混凝土柱(直径为钢管内径 388 mm), $N_2 = 2607$ kN; 第三组为钢管内灌入素混凝土, $N_3 = 6938$ kN。由此可见, 第三组是前二者承载力之和的 173%。从理论计算比较其结果也证明了这种新型结构的承载力比钢筋混凝土结构大很多。

3.2.2 具有良好的塑性和韧性

试验结果表明, 钢管混凝土柱破坏时可以压缩到原长的 2/3, 没有脆性破坏的特征。处于钢管中的核心混凝土, 已经由脆性破坏转变为塑性破坏, 在基本性质方面起了质的变化, 整个构件呈现着弹性和塑性破坏的特征。这种新结构在承受冲击和振动荷载时, 也具有很大的韧性, 因而抗震性能好, 十分安全可靠。钢管混凝土构件的抗震性能胜过钢构件, 不会产生由于钢管局部失稳而引起的破坏。

3.2.3 经济效果显著 同钢结构受压柱比, 可以节约钢材, 造价也可降低。同钢筋混凝土比, 不需要模板, 节约混凝土, 减轻结构自重, 耗钢量和造价也不会增加很多。

3.2.4 施工简单, 可大大缩短工期 同普通钢柱相比, 构件少, 焊缝短, 而且柱脚构造简单, 直接插入混凝土基础预留杯中, 免去了复杂的柱脚构造。同钢筋混凝土柱相比, 免除了支模, 绑扎钢筋和拆模等工序。

4 统一理论基本概念和计算问题

4.1 基本概念

采用钢管混凝土结构, 宜将其用作最能充分发挥其受力特性的构件。结构构件应根据承载力极限状态和正常使用极限状态的要求, 进行下列计算和验算:

4.1.1 承载力及稳定

所有结构构件均应进行承载力(包括压屈失稳)计算。必要时应进行结构的倾覆和滑移验算, 采用荷载设计值。

4.1.2 变形 对使用上需控制变形的结构构件, 应进行变形验算, 采用相应的荷载代表值。

4.1.3 抗裂及裂缝宽度 对使用上要求不出现裂缝的构件, 应进行混凝土抗拉应力验算。对使用上允许出现裂缝的构件, 应进行裂缝宽度验算, 此时均应采用相应的荷载代表值。

4.2 组合指标设计方法 钢管混凝土统一理论(钟善桐)指出: 钢管混凝土构件的工作性能, 随着材料的物理参数、构件的几何参数和截面形式, 以及应力状态的改变而改变, 变化是连续性的、相关的, 计算是统一的。因而可以把钢管混凝土构件视为统一的一种组合材料, 用构件的整体几何特性(全截面面积和抵抗矩等)和钢管混凝土的组合性能指标, 来计算构件的各项承载力, 不再区分钢管和混凝土。在这种思想的指导下, 做了大量的试验和研究, 取得了较为满意的结果。

4.3 计算公式 钢管混凝土轴心受压强度标准值按下式计算:

$$f_x = (1.212 + B\xi + C\xi^2)f_{ck} \quad (\text{MPa})$$

$$B = 0.1759(f_y/235) + 0.974$$

$$C = -0.1038(f_{ck}/20) + 0.0309$$

例: 钢管 Q235 第二组, 混凝土 C40, $f_y = 225$, $f = 205$, f_{ck}

$$= 27, f_c = 19.5. d = 1000 \text{ mm}, t = 20 \text{ mm}, A_s = 61575 \text{ mm}^2, A_c = 723823 \text{ mm}^2, A_x = 785398 \text{ mm}^2, \alpha_s = A_s/A_c = 0.085, \xi = A_s f_y / A_c f_{ck} = 0.7089, B = 1.142415, C = -0.10923, \text{则}$$

$$f_x = 53.10807.$$

钢管混凝土轴心受压强度设计值应按下式计算:

$$f_x = (1.212 + \eta_s \xi_0 + \eta_c \xi_0^2) f_c \quad (\text{MPa})$$

$$\eta_s = 0.1759 f_y / 235 + 0.974$$

$$\eta_c = -0.1038 f_{ck} / 20 + 0.0309$$

例: $\xi_0 = \alpha_s f / f_c = 0.894$, $\eta_s = 1.142$, $\eta_c = -0.109$, 则 $f_x = 41.85326$ 。

f_x, f_x ——钢管混凝土的组合轴压强度标准值和, 设计值;

f_{ck}, f_c ——混凝土的轴心抗压强度标准值和设计值;

f_y ——钢材的屈服强度;

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值;

α_s ——构件截面含钢率;

ξ, ξ_0 ——构件截面的套箍系数标准值和设计值;

A_s, A_c ——钢管和混凝土的截面面积;

B, C, η_s, η_c ——计算系数。

以上系采用第一组钢材的值计算的结果。若采用第二、三组钢材的值应按对应值乘以换算系数 K_1 : 对 Q235 和 Q345 钢, $K_1 = 0.96$; 对 Q390 钢, $K_1 = 0.94$ 。本文作者认为在编制计算程序时, 也可以直接按规范值计算得到, 不必再乘以换算系数。

对钢管混凝土轴压和 $e/r_0 \leq 0.3$ 的偏心受压构件, 其承受永久荷载引起的轴心力占全部轴心力 30% 及以上时, 应将组合强度设计值乘以混凝土徐变影响折减系数 K_c :

K_c 值表

构件长细比 λ	永久荷载引起的轴心力占全部轴心力的比例%		
	30	50	≥ 70
$50 \leq \lambda \leq 70$	0.9	0.85	0.80
$70 < \lambda \leq 120$	0.85	0.80	0.75

注: 表内中间数值可采用插入法求解。

构件的长细比应按下式计算: $\lambda = 4L_0/d$ 。式中: L_0 ——构件的计算长度; d ——钢管的外直径。

4.4 轴心受压构件计算步骤

设计钢管混凝土轴心受压构件的思路是先拟定结构构件的材料及尺寸, 然后计算其截面指标, 再计算其承载力。同已知设计荷载进行比较。构件尺寸规格不能取得太零散, 因而承载力不一定正好等于破坏荷载。 $N \leq N_p$, 相差不大即认为是经济合理的。

计算公式: $N \leq N_p = \phi f_x A_x$

式中: N ——最大承载力设计值;

N_p ——极限荷载或称破坏荷载。

(1) 已知外直径 d (mm), 钢管壁厚 t (mm);

(2) 计算组合截面面积 A_x (mm²), 截面面积 A_s (mm²), 混凝土截面面积 A_c (mm²)。含钢率 $\alpha_s = A_s/A_c$ 。

(3) 确定构件计算长度 L_0 (mm), 长细比 $\lambda = 4L_0/d$, 按长细比查图求得稳定系数 ϕ 。 ϕ 值的计算比较复杂, 这里推荐使用曲线图。

(3) 选定钢材及混凝土规格, 计算钢管混凝土的组合轴压强度设计值 f_x (N/mm², MPa), 选定 K_1 。

(下转第 55 页)

产需要大量水份的初期,融雪径流及时弥补了这时期水量的

表 2 森林融雪径流量分析

年份	降水量 (mm)	降雪量 (mm)	降雪/降水 (%)	年径流量 (mm)	融雪径流 (mm)	融雪径流/ 年径流 (mm)
1985	904.0	86.4	9.6	524.8	50.2	9.6
1986	749.5	131.5	17.5	358.7	86.6	24.1
1987	883.1	112.0	12.7	514.7	52.8	10.3
1988	619.5	197.0	31.8	334.3	143.2	42.8

不足,有效缓解了林木生长干旱的发生。

5 融雪洪水对河流流量的影响分析

融雪洪水系指积雪融化形成径流,汇入河流。冬季森林积雪较厚,随着春季气温的急剧上升,积雪迅速融化,江河流

量剧增,形成融雪洪水。融雪洪水多发生在山区性河流的上中游。

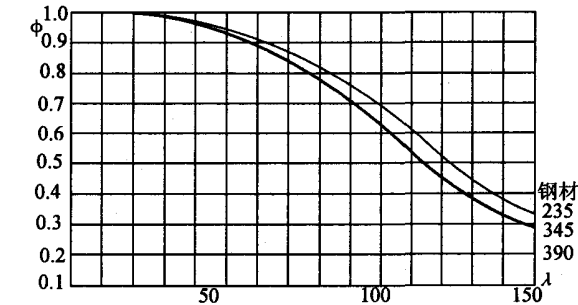
在同一河流同一断面上,多数年份融雪洪水洪峰流量小于同年暴雨洪水的洪峰流量,融雪洪水洪峰流量历年变化较大,见 3。

从表中分析,融雪洪峰流量大于暴雨洪峰流量年数从南到北也有变化,尤其是接近源头的水文站监测数据表明,牡丹江敦化站 35 年资料统计,有 7 年为融雪洪峰大于暴雨洪峰年流量。大兴安岭由于以针叶林为主,低温融雪洪峰推迟,如果与降雨洪峰结合,引起洪灾的机会就会增多。而小兴安岭和东部山区,这种洪害化就会减少。总之,由于东北地区降雪量占全年降水量的比例较少,因而引起融雪洪峰灾害的机率较少,但是随着森林开发强度增大,引起春雪融化洪峰提前到达,但对林区洪峰灾害影响不大。

表 3 融雪洪水与暴雨洪水洪峰流量对比

河名	站名	资料年数 (年)	融雪洪水洪峰流量(m³/s)				$K = \frac{Q_{\max}}{\min}$	融雪洪峰流量大于暴雨 洪峰流量年数(年)
			最大	年份	最小	年份		
牡丹江	敦化	35	209	1980	23.5	1963	8.9	7
牡丹江	长江屯	37	1 670	1965	209	1 978	8.0	3
呼玛河	碧水	20	682	1982	5.94	1972	114.8	2
呼玛河	二道盘查	37	2 100	1960	125	1969	16.8	4
呼兰河	铁力	39	506	1960	8.84	1990	57.2	0
呼兰河	兰西	39	525	1960	45.5	1990	11.5	4
汤旺河	五营	34	467	1976	63.4	1966	7.5	3
汤旺河	晨明	37	1 250	1971	153	1991	8.2	4
拉林河	沈家营	37	196	1966	37.0	1975	5.3	7
拉林河	蔡家沟	41	744	1966	41.5	1959	17.9	2
嫩江	石灰窑	37	1 090	1983	73.3	1977	14.8	12
嫩江	江桥	41	4 020	1960	192	1977	20.9	1

(上接第 50 页)



φ~λ 曲线图

(4)计算 N_p ,为破坏荷载。设计荷载 N 不应大于 N_p 。

5 钢管混凝土在水利水电工程中的应用

钢管混凝土结构已在工业与民用建筑中得到广泛应用,引进到水利水电工程建设中,也将具有广泛的前景。例如:单层水电站厂房支柱,多层厂房支柱,发电设备构架柱,地下结构各种支架柱,送变电工程支架柱,桁架主要压杆,其它结构。在水利水电工程中还可应用于大跨度厂房间支柱,启闭台排架柱等等。钢管混凝土还可以用于受弯构件。另文阐述。

关于外形问题。本文因限于篇幅,只涉及到圆形截面钢管混凝土结构。在水利水电工程实用中,多数为矩形截面。

国内对于矩形截面也有些研究成果,本文暂时不予介绍。如果需要,可以采取伪装措施,即在钢管混凝土结构外边包一层少筋混凝土,取为矩形截面。钢管混凝土外面包一层钢筋混凝土以增加某些性能,国内也有研究成果,有机会另文阐明。

6 关于计算程序

根据试验成果总结归纳出来的公式,是经验公式。公式形式并不复杂,但是计算过程繁琐。研究人员为了节省工作量,编制了许多表格,但是在应用中还得进行内插计算。本人为此编制了计算程序,输入基本数据,立刻输出计算成果。利用计算程序计算,快捷整齐,不易出错,便于方案比选。

参考文献:

[1] 中华人民共和国国家标准. 混凝土结构设计规范(GBJ 10-89)
[2] 中华人民共和国电力行业标准. 钢-混凝土组合结构设计规程(DL/5058-1999)
[3] 中华人民共和国行业标准. 水工混凝土结构设计规范(SL/T 191-96)
[4] 钟善桐. 钢管混凝土结构, 黑龙江科学技术出版社, 1995
[5] 钟善桐. 高层钢管混凝土结构, 黑龙江科学技术出版社, 1999
[6] 韩林海. 钢管混凝土结构, 科学出版社, 2000