

# 用压溃理论分析方钢管砼偏压构件\*

张正国

(郑州工学院)

**摘 要:** 本文依据方钢管砼轴压短柱所表现出来的性能,参照焊接方钢管的实测残余应力分布规律,讨论了压溃理论在方钢管砼偏压构件中的应用问题,并具体用压溃理论对偏压短柱、偏压中长柱进行了大量计算,利用计算结果统计整理出了偏压短柱的强度计算公式和偏压中长柱的稳定计算公式,可用于实际工程设计。

**关键词:** 压溃理论; 方钢管砼。

**中国图书分类号:** TU31

方钢管砼柱的受力变形性能不仅取决于钢管和核心砼各自的材性,而且由于二者之间存在着交互作用,还表现出不能用二者迭加所反映的特殊性能。文献[1]、[2]、[3]、[4]从各个角度讨论了方钢管砼轴压短柱中方钢管对核心砼的约束机理,显示出方钢管砼构件的复杂受力变形性能。进一步分析研究发现,随着构件长细比和荷载偏心距的增加,方钢管对核心砼的约束逐渐减弱并趋于更加复杂化,给精确分析带来了较大困难,同时精确分析的结果及其设计表达式将过于冗繁,不便于实际工程设计。本文依据方钢管砼轴压短柱所表现出来的各种性能,参照焊接方钢管的实测残余应力分布规律,建立了焊接方钢管的平均应力与应变的关系,用较为精确的压溃理论,借助于计算机迭代程序,分析计算了大量方钢管砼偏压构件,由计算结果统计出了方钢管砼偏压构件的强度计算和稳定计算公式。

## 1 压溃理论在方钢管砼偏压构件中的应用

### 1.1 一般概念

压溃理论,也称为最大强度理论,是通过分析偏压构件的荷载挠度关系,找出荷载挠度关系曲线的最高点,此点对应的荷载即为构件所能承担的最大荷载。因为超过此点后,挠度发展过大,偏心力产生的弯矩迅速增加,构件要继续保持平衡,必须不断减小轴力,而在实际结构中,偏压构件承担的轴向力并不会因挠度增大而减小,因而达到最大荷载后,偏压构件将迅速压溃破坏,因而最大荷载也称为压溃荷载。对于简单的矩形截面偏心钢压杆,如果假设钢材为理想弹塑性材料,则可以用解析方法找出压溃荷载的解析表达式,然而此表达式已相当复杂,难于在实际设计中使用。一般情况下,考虑材料的非线性性能、计入残余应力以后,压溃荷载只能用数值法求解。对于方钢管砼偏压构件,尽管截面简单,然而从工程实用角度出发,其压溃荷载的计算必须考虑核心砼的非线性性能、钢管的残余应力分布情况和钢管对核心砼的约束等实际因素,因而拟采用数值方法借助于计算机迭代程序计算其压溃荷载。

\* 收稿日期:1990-11-10

## 1.2 材料应力应变关系

分析构件在偏心荷载作用下的承载能力必须首先了解材料的应力应变本构关系, 本节讨论焊接方钢管和核心砼的应力应变规律。

### 1.2.1 焊接方钢管

文献[5]在讨论方钢管砼偏压短柱的强度计算问题时, 根据文献[6]给出的实测结果, 采用了图1所示的焊接方钢管简化残余应力分布模式。由于偏压构件的最不利受力截面上大部甚至全部受压力作用, 为便于分析, 这里取压应力和压应变为正值, 以受拉为负。假设钢材为理想弹塑性材料, 取其一边分析平均应力与应变之间的关系, 并引入屈服应变  $\varepsilon_y = f_u / E$ , 钢管截面近似取  $A_s = 4at$ ,  $a$  和  $t$  分别为钢管边长和壁厚。

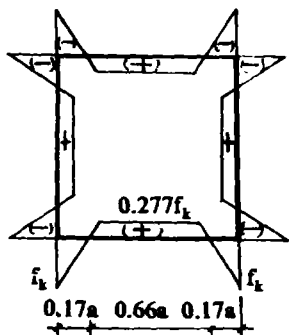


图1 钢管截面残余应力

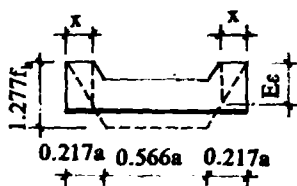


图2

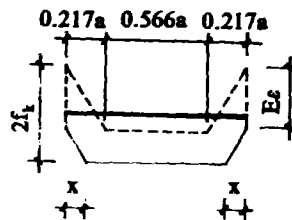


图3

当钢管受拉, 且  $-1.277\varepsilon_y < \varepsilon < 0$  时, 如图2所示, 设弹性区应力增加  $E\varepsilon$ , 荷载为

$$N = 4XtE\varepsilon + 4(a-2X)tE\varepsilon = 4E\varepsilon t(a-x)$$

平均应力

$$\sigma = \frac{N}{4at} = E\varepsilon(1 - \frac{x}{a})$$

由三角形相似关系得

$$X = -E\varepsilon \frac{0.217a}{1.277f_k} = -0.17 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} a$$

故有

$$\sigma_s = f_k \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} (1 + 0.17 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y})$$

当钢管受拉, 且  $\varepsilon \leq -1.277\varepsilon_y$  时, 全截面屈服。

当钢管受压, 且  $\varepsilon \leq 0.723\varepsilon_y$  时, 全截面弹性。

当钢管受压, 且  $0.723\varepsilon_y \leq \varepsilon \leq 2\varepsilon_y$ , 如图3所示, 设弹性区应力增加  $E\varepsilon$ , 荷载为

$$N = 4atf_k - 4xt(2f_k - E\varepsilon)$$

由三角形相似关系得

$$X = (2f_k - E\varepsilon) \frac{0.217a}{1.277f_k} = 0.17a(2 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y})$$

整理得平均应力

$$\sigma_s = \frac{N}{4at} = [0.32 + 0.68 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - 0.17(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y})^2] f_k$$

当钢管受压, 且  $\varepsilon > 2\varepsilon_y$  时, 全截面屈服。汇总得到焊接方钢管的平均应力与应变的关系如下 (拉为负):

$$\sigma_s = \begin{cases} -f_k & \varepsilon \leq -1.277\varepsilon_y \\ f_k \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} (1 + 0.17 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}) & -1.277\varepsilon_y \leq \varepsilon \leq 0 \\ E\varepsilon & 0 \leq \varepsilon \leq 0.723\varepsilon_y \\ f_k [0.32 + 0.68 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - 0.17(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y})^2] & 0.723\varepsilon_y \leq \varepsilon \leq 2\varepsilon_y \\ f_k & \varepsilon \leq 2\varepsilon_y \end{cases} \quad (1)$$

### 1.2.2 核心砼

核心砼的应力应变关系采用文献[2]给出的表达式 (压为正):

$$\sigma_c = \begin{cases} 0 & \varepsilon \leq 0 \\ f_{co} [2 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} - (\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1})^2] & 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1 \\ f_{co} + (f_{co} - f_{cl}) \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} & \varepsilon_1 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_2 \\ f_{cl} & \varepsilon \leq \varepsilon_2 \end{cases} \quad (2)$$

式中,

$$f_{co} = f_{ck} + S \begin{cases} 2350(t/a)^2 + 1.37 & a/t \leq 21 \\ 2880(t/a)^2 + 0.17 & a/t > 21 \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = (1.6 - 0.025 \frac{a}{t}) f_{co} \geq 0 \quad (4)$$

$$\varepsilon_1 = 0.0732 \frac{a}{t} + 2.28 \times 10^{-3}, \quad \varepsilon_2 = 0.015, \quad S = 1 \text{ MPa}.$$

### 1.3 用数值方法求解方钢管砼偏压构件的压溃荷载

用数值方法计算时, 做如下两个假定:

- (1) 压杆的挠曲线为正弦曲线的一个半波;
- (2) 只考虑中间截面的内外力平衡。

具体计算在计算机上进行, 计算步骤如下:

① 将方钢管砼构件的中间截面分成若干钢单元和砼单元。为使计算简化, 将单元取为条形, 其长度方向与弯矩作用轴平行, 如图 4 所示, 截面主轴 X-X 为弯矩作用轴 (弯矩作用在 Y-Y 平面内)。同时计算各单元的 Y 坐标。

② 计算各钢单元的残余应力  $Q_{ri}$ 。计算截面应力时以单元为单位进行计算, 显然按图 4 划分单元时, 钢管上、

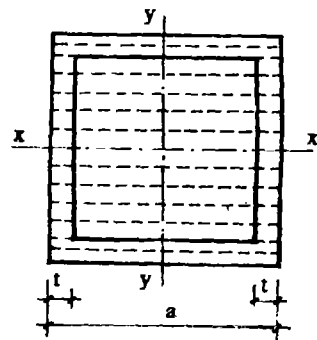


图 4 单元划分

下两边管壁内的钢单元平均残余应力为零。事实上这些单元的残余应力对构件的承载力影响与其分布规律无关(不影响弯矩合成), 因而只需按图1所示规律计算两侧边管壁内各钢单元的残余应力。

③ 给定压杆的中点挠度 $u$ , 则根据假设(1), 柱中截面曲率为 $\frac{\pi^2}{L^2}u$ 。

④ 假设一个柱中截面的平均应变 $\varepsilon_0$ 。

⑤ 由下式计算各单元形心处的钢应变和砼应变:

$$\begin{cases} \varepsilon_{is} = \varepsilon_0 + \frac{\pi^2}{l^2} u y_i + \frac{\sigma_{ri}}{E} \\ \varepsilon_{ic} = \varepsilon_0 + \frac{\pi^2}{l^2} u y_i \end{cases} \quad (5)$$

⑥ 计算各单元形心处的钢应力 $\sigma_{is}$ 和砼应力 $\sigma_{ic}$ 。砼应力 $\sigma_{ic}$ 按式(2)计算。 $\sigma_{is}$ 分两种情况考虑。由于第2步只求出了钢管左右两侧边管壁内各钢单元的残余应力数值, 这里的残余应力分布模式将影响到截面的弯矩合成, 因而需将钢材视为理想弹塑性材料计算 $\sigma_{is}$ (压为正):

$$\sigma_{is} = \begin{cases} -f_k & \varepsilon_{is} \leq -\varepsilon_y \\ E\varepsilon_{is} & -\varepsilon_y \leq \varepsilon_{is} \leq \varepsilon_y \\ f_k & \varepsilon_{is} \geq \varepsilon_y \end{cases} \quad (6)$$

对于上、下两边管壁, 第2步求出的钢单元残余应力为零, 仅表示残余应力在这里的分布模式无关紧要, 但残余应力的存在改变了钢材的理想弹塑性性能, 因此采用式(1)表达的焊接方钢管平均应力应变关系计算 $\sigma_{is}$ 。

⑦ 计算内力 $P_{in}$ 和内力矩 $M_{in}$

$$\begin{cases} P_{in} = \sum_{(i)} (\sigma_{is} \Delta A_{is} + \sigma_{ic} \Delta A_{ic}) \\ M_{in} = \sum_{(i)} (\sigma_{is} \Delta A_{is} + \sigma_{ic} \Delta A_{ic}) y_i \end{cases} \quad (7)$$

值得注意, 在上、下两边管壁内 $\Delta A_{ic} = 0$ 。

⑧ 校核内外力平衡

$$\begin{cases} P = P_{in} \\ M = P(u + e) \end{cases} \quad (8)$$

如上式得不到满足, 则修改第4步假设的 $\varepsilon_0$ , 重复过程5~8, 直到满足为止。计算时注意, 式(2)取砼的抗拉强度为零, 在偏心距较大的情况下可能出现 $\varepsilon_0 < 0$ (平均应变为拉应变)的现象。

完成上述步骤后, 即得到偏压柱荷载与挠度关系曲线上的一个点。

⑨ 给定下一级挠度, 重复过程4~8。

当 $u$ 增大到一定数值时, 计算得到的荷载 $P$ 由增加变为减小, 说明该压杆已达到它的压溃荷载 $P_{max}$ 。

## 1.4 计算程序框图及说明

程序框图如图 5 所示。开机后输入控制信息  $a$ 、 $t$ 、 $l$ 、 $e$ 、 $f_k$  和  $f_{ck}$ ，分别为钢管边长、壁厚、计算长度、偏心距、钢材标准强度和砼标准轴心抗压强度。

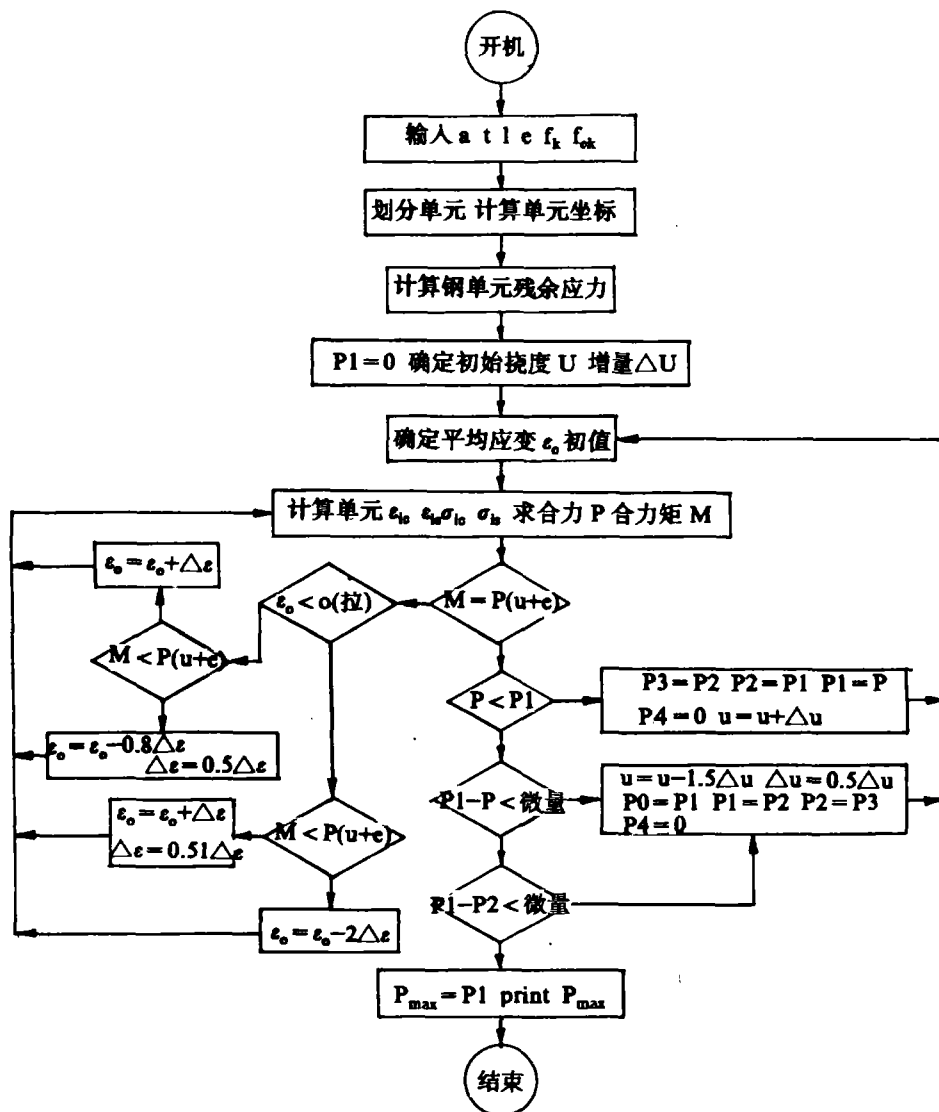


图 5 程序框图

计算钢管两侧边钢单元残余应力时注意残余应力为自平衡力系，尽管图 1 所示残余应力模式近似自相平衡误差（0.2%），经分解单元，计算中近似取各单元残余应力均匀分布，结果仍会出现残余应力之合力不为零的现象，因而需进一步调整，方法是先求出残余应力合力，将其一半按钢单元的面积分配到各单元上。

初始挠度  $u$  与挠度增量  $\Delta u$  最好取相等, 否则在小偏心短柱情况下如初始挠度选择过大, 会出现不收敛现象。当前轮计算确认所取  $u$  值对应的轴力  $p$  未达到  $p_{max}$  时, 按步长  $\Delta u$  增大  $u$  值。当前轮计算的  $p$  开始下降时, 说明  $u$  值已超过  $p_{max}$  对应的挠度, 按  $1.5\Delta u$  减小  $u$  值, 同时步长改为  $0.5\Delta u$ 。特别地, 如果  $p_{max}$  对应的  $u$  值远小于初选值, 按此规律仍能得到  $p_{max}$ 。参数  $p1$ 、 $p2$  和  $p3$  用于记录前几轮计算结果, 以资与计算荷载  $p$  相比较, 它们的初始值应置零。

初始平均应变  $\varepsilon_0$  与增量  $\Delta\varepsilon$  仍应取相等值。值得注意, 由于计算中忽略了砼的抗拉作用, 在大偏压情况下可能出现平均应变  $\varepsilon_0$  的精确值小于零 (为拉应变) 的情况, 因而存在拉、压两个迭代区间。当  $\varepsilon_0$  小于零 (拉应变) 时, 如前次迭代所取  $\varepsilon_0$  偏小, 按步长  $\Delta\varepsilon$  增加后重算, 同时步长改为  $0.51\Delta\varepsilon$ ; 如前次迭代所取  $\varepsilon_0$  偏大, 按步长  $2\Delta\varepsilon$  减小  $\varepsilon_0$  值。当  $\varepsilon_0$  大于零 (压应变) 时, 如前次迭代所取  $\varepsilon_0$  偏小, 按步长  $\Delta\varepsilon$  修正  $\varepsilon_0$ ; 如  $\varepsilon_0$  取值偏大, 按步长  $0.8\Delta\varepsilon$  减小  $\varepsilon_0$  值, 同时步长改为  $0.5\Delta\varepsilon$ 。此规律可满足任意情况下的收敛要求。

计算单元应力后求合力时注意压力为正值。

某轮计算后如果出现计算轴力  $P$  小于前轮计算  $p1$ , 说明  $p \sim u$  曲线已经过最高点, 进一步比较如果出现最后三轮计算结果  $p$ 、 $p1$  和  $p2$  相差很小, 可取  $p1$  为  $p_{max}$ 。

## 2 用压溃理论计算偏压短柱的强度

根据试验结果, 长宽比  $\frac{L}{a} \leq 4$  的方钢管砼轴压和偏压构件将发生强度破坏, 其承载能力不受纵向弯曲的影响<sup>[1][5]</sup>, 故称之为短柱。

与轴压短柱相比, 偏压短柱的承载能力不仅受偏心距影响, 而且由于随偏心距的变化, 钢管对核心砼的约束性能相应发生变化, 因而含钢率、钢号、砼级别对偏压柱的影响也表现出与轴压短柱不同的特性。引入偏心距影响系数  $\varphi_e$ 。

$$\varphi_e = p_{max} / N_u \quad (8)$$

式中,  $N_u$  为轴压短柱的强度承载力

$$N_u = A_s f_k + A_c f_{co} \quad (9)$$

从而偏压短柱的强度承载力可表示为

$$N = p_{max} = \varphi_e (A_s f_k + A_c f_{co}) \quad (10)$$

式中,  $f_{co}$  按式(3)计算。

显然, 偏心距影响系数  $\varphi_e$  与偏心距、含钢率、钢号和砼级别有关。对 A3 和 16Mn 两种钢号, 分别与 C20、C30、C40 和 C50 四个级别的砼配合, 取含钢率为 0.05、0.1、0.15 和 0.2, 分别计算了偏心距为 0.25a、0.5a、0.75a、1.0a、1.25a、1.5a 和 1.75a 共计 224 种情况下的  $\varphi_e$  值, 列入表 1 中。

经过分析对比, 表 1 所列  $\varphi_e$  值可用下式近似表达:

$\varphi_e$  系数表

表 1

钢号	$\mu^e$	$A_3$							$16M_n$						
		0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75
C20	0.05	0.601	0.420	0.299	0.227	0.181	0.150	0.127	0.609	0.430	0.322	0.247	0.200	0.167	0.143
	0.10	0.621	0.451	0.334	0.261	0.212	0.177	0.152	0.625	0.455	0.349	0.275	0.255	0.190	0.164
	0.15	0.633	0.462	0.346	0.272	0.222	0.186	0.160	0.634	0.466	0.357	0.282	0.233	0.196	0.170
	0.20	0.647	0.468	0.351	0.276	0.226	0.190	0.164	0.824	0.608	0.463	0.367	0.302	0.255	0.221
C30	0.05	0.588	0.393	0.271	0.201	0.157	0.128	0.108	0.597	0.415	0.297	0.226	0.180	0.149	0.126
	0.10	0.613	0.435	0.316	0.243	0.195	0.162	0.139	0.619	0.447	0.336	0.261	0.212	0.178	0.153
	0.15	0.630	0.451	0.333	0.259	0.210	0.175	0.151	0.631	0.462	0.348	0.274	0.224	0.188	0.162
	0.20	0.801	0.571	0.424	0.330	0.268	0.225	0.193	0.809	0.592	0.445	0.352	0.288	0.243	0.209
C40	0.05	0.577	0.368	0.246	0.178	0.138	0.112	0.093	0.586	0.397	0.276	0.206	0.162	0.133	0.112
	0.10	0.606	0.420	0.298	0.226	0.180	0.149	0.126	0.613	0.439	0.321	0.248	0.200	0.167	0.142
	0.15	0.626	0.440	0.321	0.247	0.198	0.165	0.141	0.628	0.456	0.338	0.265	0.215	0.180	0.155
	0.20	0.785	0.550	0.402	0.311	0.251	0.210	0.179	0.796	0.575	0.429	0.336	0.275	0.230	0.198

$$\varphi_e = \begin{cases} \frac{\alpha}{2.35(\alpha + \beta)} - 0.98 \frac{e}{a} + \sqrt{\left(\frac{e}{a} - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{e}{a} + \frac{1}{2}\right) \frac{4\beta}{\alpha + 4\beta}} & \varphi_e^e \geq \frac{\beta}{\alpha + 4\beta} \\ 1 - \frac{\alpha\beta}{\alpha + 4\beta} (1 + 2\frac{e}{a}) [1 - \sqrt{1 - 4\frac{e}{a} \frac{\alpha + 4\beta}{\alpha\beta(1 + 2e/a)^2}}] & \varphi_e^e < \frac{\beta}{\alpha + 4\beta} \end{cases} \quad (11)$$

式中,  $\alpha = a/t$  为钢管边长与壁厚之比,  $\beta = f_k/f_{co}$  为钢材与核心砼的强度比。该式是利用文献 [5] 给出的塑性极限抗力导出的, 并做了简化处理和修正, 在  $a/t > 24$  时误差为  $\pm 2\%$ 。在  $a/t < 24$  且为小偏心时, 式 (11) 偏低较多。原因是当含钢率较大时, 核心砼受到的约束较强, 其  $\sigma \sim \varepsilon$  曲线为单值上升曲线, 实际强度高于  $f_{co}$ 。但随着偏心距增大, 约束效应逐渐减弱。

式 (10)、(11) 用于设计时, 应将标准强度  $f_k$ 、 $f_{ck}$  代换为相应的设计强度  $f$ 、 $f_c$ 。

### 3 用压溃理论计算一般偏压柱的承载力

具有一定长度的非短柱受偏心力作用时, 其承载能力将受到纵向弯曲影响而进一步降低。随构件长细比增大, 实际破坏可能是由于最不利受力截面形成塑性铰而产生的强度破坏, 也可能是由于内外力不再维持稳定平衡而产生的失稳破坏。但是无论何种破坏形式, 荷载与挠度的关系曲线在达到承载能力时的表现是一样的, 其顶点对应的荷载即为构件的极限承载能力。因此可以统一用压溃理论计算。

除在短柱中所考虑的参数以外, 再增加考虑长细比影响, 经计算得到综合影响系数  $\varphi_{el}$  如表 2 和表 3 所列。则一般情况下偏压柱的承载力可表达为

$$N = \varphi_{el} (A_s f_k + A_c f_{co}) \quad (12)$$

用于设计时同样把  $f_k$  和  $f_{ck}$  分别代换为  $f$  和  $f_c$ 。

### 4 压溃理论的可行性讨论

文献 [5] 将压溃理论用于分析方钢管砼偏压短柱试件的强度, 对于国内外共 58 个试件的试验结果进行了分析对比, 证明压溃理论能较好地反映实际偏压短柱的承载能力。因此在短柱范围内应用压溃理论是可行的。

A3 钢综合影响系数  $\varphi_d$ 

表 2

砼级别		C20				C30				C40			
$\lambda$	$\mu$ $e_0/h_0$	0.05	0.10	0.15	0.20	0.05	0.10	0.15	0.20	0.05	0.10	0.15	0.20
50	0.25	0.515	0.522	0.515	0.505	0.495	0.508	0.503	0.610	0.477	0.495	0.492	0.584
	0.50	0.358	0.381	0.380	0.374	0.326	0.363	0.368	0.450	0.295	0.342	0.354	0.427
	0.75	0.255	0.287	0.293	0.292	0.225	0.266	0.277	0.346	0.199	0.245	0.262	0.323
	1.00	0.196	0.225	0.233	0.234	0.170	0.207	0.218	0.275	0.148	0.190	0.204	0.255
	1.25	0.158	0.185	0.192	0.194	0.135	0.169	0.180	0.226	0.117	0.154	0.168	0.209
	1.50	0.133	0.157	0.164	0.164	0.112	0.142	0.152	0.193	0.097	0.129	0.142	0.178
	1.75	0.114	0.136	0.142	0.143	0.096	0.123	0.132	0.168	0.082	0.111	0.123	0.155
90	0.25	0.387	0.408	0.412	0.410	0.356	0.382	0.390	0.484	0.332	0.360	0.370	0.452
	0.50	0.274	0.296	0.301	0.300	0.244	0.276	0.283	0.353	0.217	0.258	0.268	0.329
	0.75	0.205	0.235	0.236	0.239	0.175	0.215	0.225	0.281	0.151	0.197	0.211	0.261
	1.00	0.160	0.192	0.198	0.199	0.135	0.172	0.185	0.232	0.116	0.155	0.172	0.215
	1.25	0.132	0.159	0.167	0.169	0.111	0.142	0.154	0.197	0.094	0.127	0.142	0.181
	1.50	0.112	0.136	0.144	0.146	0.094	0.121	0.132	0.169	0.080	0.109	0.121	0.154
	1.75	0.098	0.119	0.125	0.128	0.081	0.106	0.115	0.148	0.069	0.095	0.106	0.135
130	0.25	0.275	0.304	0.311	0.311	0.244	0.279	0.291	0.364	0.219	0.258	0.272	0.337
	0.50	0.204	0.230	0.236	0.236	0.177	0.210	0.220	0.276	0.155	0.193	0.206	0.255
	0.75	0.160	0.188	0.194	0.194	0.136	0.169	0.180	0.227	0.117	0.154	0.168	0.209
	1.00	0.130	0.157	0.164	0.165	0.109	0.140	0.151	0.192	0.093	0.126	0.140	0.176
	1.25	0.109	0.134	0.141	0.143	0.090	0.119	0.130	0.165	0.077	0.106	0.119	0.151
	1.50	0.093	0.116	0.123	0.125	0.078	0.102	0.113	0.145	0.066	0.091	0.103	0.132
	1.75	0.082	0.102	0.109	0.111	0.069	0.090	0.099	0.128	0.058	0.080	0.091	0.117
170	0.25	0.194	0.222	0.230	0.231	0.169	0.201	0.213	0.268	0.150	0.183	0.198	0.247
	0.50	0.151	0.175	0.181	0.182	0.129	0.158	0.168	0.212	0.113	0.143	0.156	0.195
	0.75	0.124	0.147	0.153	0.154	0.105	0.132	0.142	0.179	0.091	0.119	0.131	0.164
	1.00	0.105	0.127	0.133	0.134	0.088	0.113	0.122	0.155	0.076	0.101	0.113	0.143
	1.25	0.091	0.111	0.117	0.118	0.076	0.098	0.107	0.137	0.065	0.088	0.099	0.125
	1.50	0.080	0.098	0.104	0.106	0.066	0.087	0.095	0.122	0.056	0.077	0.088	0.112
	1.75	0.071	0.088	0.094	0.095	0.059	0.078	0.086	0.110	0.050	0.069	0.078	0.100
210	0.25	0.144	0.167	0.173	0.175	0.124	0.150	0.160	0.230	0.109	0.136	0.148	0.186
	0.50	0.114	0.134	0.140	0.141	0.097	0.120	0.129	0.164	0.085	0.109	0.119	0.150
	0.75	0.098	0.116	0.121	0.122	0.083	0.140	0.112	0.142	0.072	0.094	0.103	0.130
	1.00	0.085	0.103	0.108	0.109	0.072	0.092	0.099	0.126	0.062	0.082	0.091	0.115
	1.25	0.075	0.092	0.097	0.098	0.063	0.082	0.089	0.113	0.054	0.073	0.082	0.103
	1.50	0.068	0.083	0.088	0.089	0.056	0.073	0.080	0.103	0.048	0.066	0.074	0.094
	1.75	0.061	0.076	0.080	0.081	0.051	0.067	0.073	0.094	0.043	0.059	0.067	0.086
250	0.25	0.110	0.130	0.136	0.137	0.093	0.116	0.125	0.159	0.081	0.105	0.115	0.145
	0.50	0.089	0.106	0.111	0.112	0.076	0.095	0.102	0.130	0.066	0.085	0.094	0.119
	0.75	0.078	0.093	0.097	0.098	0.066	0.083	0.089	0.114	0.057	0.075	0.082	0.104
	1.00	0.070	0.084	0.088	0.089	0.059	0.075	0.081	0.103	0.051	0.067	0.074	0.094
	1.25	0.063	0.076	0.080	0.081	0.053	0.068	0.074	0.094	0.045	0.061	0.068	0.086
	1.50	0.057	0.070	0.074	0.075	0.048	0.062	0.068	0.086	0.041	0.056	0.062	0.079
	1.75	0.053	0.065	0.068	0.069	0.044	0.057	0.063	0.080	0.037	0.051	0.057	0.073

16Mn 钢综合影响系数  $\phi_{el}$ 

表 3

砼级别		C20				C30				C40			
$\lambda$	$\mu$ $e/\xi$	0.05	0.10	0.15	0.20	0.05	0.10	0.15	0.20	0.05	0.10	0.15	0.20
50	0.25	0.524	0.529	0.523	0.662	0.506	0.515	0.511	0.634	0.489	0.504	0.500	0.609
	0.50	0.367	0.382	0.381	0.482	0.348	0.370	0.372	0.462	0.328	0.358	0.363	0.445
	0.75	0.279	0.299	0.301	0.382	0.252	0.285	0.291	0.365	0.227	0.270	0.280	0.348
	1.00	0.216	0.240	0.244	0.312	0.193	0.225	0.234	0.296	0.173	0.210	0.223	0.280
	1.25	0.176	0.198	0.203	0.261	0.156	0.184	0.193	0.246	0.139	0.171	0.183	0.231
	1.50	0.149	0.168	0.173	0.223	0.131	0.156	0.164	0.209	0.115	0.145	0.155	0.196
	1.75	0.128	0.146	0.150	0.194	0.112	0.136	0.142	0.182	0.099	0.125	0.135	0.171
90	0.25	0.381	0.398	0.398	0.505	0.354	0.379	0.382	0.478	0.331	0.361	0.368	0.454
	0.50	0.276	0.294	0.296	0.377	0.252	0.279	0.284	0.356	0.230	0.264	0.272	0.337
	0.75	0.215	0.236	0.238	0.303	0.190	0.222	0.228	0.287	0.168	0.207	0.218	0.271
	1.00	0.172	0.196	0.200	0.255	0.149	0.181	0.190	0.241	0.131	0.167	0.180	0.227
	1.25	0.142	0.165	0.170	0.219	0.123	0.151	0.160	0.205	0.108	0.138	0.151	0.192
	1.50	0.122	0.142	0.147	0.190	0.106	0.129	0.138	0.178	0.092	0.119	0.130	0.166
	1.75	0.107	0.124	0.129	0.168	0.092	0.114	0.121	0.156	0.080	0.105	0.114	0.146
130	0.25	0.254	0.275	0.278	0.354	0.230	0.257	0.264	0.333	0.210	0.241	0.251	0.313
	0.50	0.195	0.214	0.217	0.277	0.174	0.199	0.206	0.260	0.156	0.186	0.195	0.245
	0.75	0.160	0.178	0.181	0.231	0.140	0.166	0.172	0.217	0.124	0.153	0.163	0.205
	1.00	0.134	0.153	0.156	0.200	0.116	0.141	0.148	0.188	0.103	0.129	0.139	0.176
	1.25	0.115	0.133	0.137	0.175	0.099	0.121	0.129	0.164	0.087	0.111	0.121	0.154
	1.50	0.100	0.117	0.121	0.156	0.086	0.107	0.114	0.146	0.075	0.097	0.107	0.136
	1.75	0.088	0.104	0.109	0.140	0.076	0.095	0.102	0.131	0.066	0.086	0.095	0.122
170	0.25	0.176	0.193	0.197	0.251	0.158	0.179	0.186	0.235	0.142	0.167	0.176	0.221
	0.50	0.139	0.155	0.159	0.203	0.123	0.143	0.150	0.190	0.110	0.133	0.141	0.178
	0.75	0.119	0.134	0.137	0.175	0.105	0.124	0.129	0.164	0.093	0.114	0.122	0.154
	1.00	0.104	0.118	0.121	0.155	0.091	0.109	0.114	0.145	0.080	0.100	0.108	0.136
	1.25	0.092	0.106	0.109	0.140	0.080	0.097	0.102	0.130	0.070	0.089	0.096	0.122
	1.50	0.082	0.095	0.098	0.127	0.071	0.087	0.092	0.118	0.062	0.080	0.087	0.110
	1.75	0.074	0.087	0.090	0.116	0.064	0.079	0.084	0.108	0.056	0.072	0.079	0.101
210	0.25	0.128	0.143	0.146	0.187	0.112	0.132	0.138	0.175	0.100	0.122	0.130	0.164
	0.50	0.104	0.117	0.120	0.153	0.091	0.107	0.113	0.143	0.082	0.099	0.106	0.134
	0.75	0.091	0.102	0.105	0.135	0.080	0.094	0.099	0.126	0.071	0.087	0.093	0.118
	1.00	0.081	0.092	0.095	0.122	0.071	0.085	0.089	0.114	0.063	0.078	0.084	0.106
	1.25	0.074	0.084	0.087	0.112	0.064	0.077	0.082	0.104	0.056	0.071	0.077	0.097
	1.50	0.067	0.078	0.080	0.103	0.058	0.071	0.075	0.096	0.051	0.065	0.071	0.090
	1.75	0.062	0.072	0.074	0.095	0.054	0.066	0.070	0.089	0.047	0.060	0.065	0.083
250	0.25	0.094	0.107	0.110	0.142	0.082	0.098	0.104	0.132	0.073	0.090	0.097	0.123
	0.50	0.081	0.091	0.094	0.121	0.071	0.084	0.088	0.113	0.062	0.077	0.083	0.105
	0.75	0.071	0.081	0.083	0.107	0.062	0.074	0.078	0.100	0.055	0.068	0.073	0.093
	1.00	0.065	0.074	0.076	0.097	0.057	0.068	0.071	0.091	0.050	0.062	0.067	0.085
	1.25	0.060	0.068	0.070	0.090	0.052	0.063	0.066	0.084	0.046	0.058	0.062	0.079
	1.50	0.055	0.064	0.066	0.084	0.048	0.058	0.062	0.079	0.042	0.054	0.058	0.073
	1.75	0.052	0.060	0.062	0.079	0.045	0.055	0.058	0.074	0.039	0.050	0.054	0.069

对于长柱或较长柱，当长细比影响到承载能力时，压溃理论还是否适用，目前国内还没有实验结果，有待于实验验证，中外试验资料也很少。作者在文献[7]中找到了四根偏压长柱的试验结果，用压溃理论分析后汇总于表4。

偏压长柱试验结果与分析结果对比 表4

序号	试件号	$a \times t \times L$ (mm)	$e$ (mm)	$f_c$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$N^{Test}$ (kN)	$N^{cal}$ (kN)	$N^{Test} / N^{cal}$
1	BP-1	76.2×3.35×813	12.3	40.8	323.8	345.6	345.0	1.002
2	BP-2	76.2×3.35×1422	18.0	40.8	323.8	280.9	235.3	1.194
3	BP-3	76.2×3.35×813	33.5	40.8	323.8	216.3	222.8	0.971
4	BP-4	76.2×3.35×1422	36.8	40.8	323.8	156.3	170.3	0.918

表4可见，计算结果与试验结果比较接近，其中试件BP-4没有破坏，因而试验值偏低。

参 考 文 献

(1) 左明生.张正国.方钢管砼轴压短柱在短期一次静载下的基本性能研究.郑州工学院学报, 1985 年第2期.

(2) 张正国.非均匀侧压力约束下砼的基本性能.中州建筑.1988年第3期.

(3) 张正国.组合结构.河南科学技术出版社.1989年3月第1版.

(4) 张正国.方钢管砼柱的机理和承载能力的分析.工业建筑.1989年第11期.

(5) 张正国.方钢管砼偏压短柱基本性能研究.建筑结构学报.1989年第6期.

(6) 吕烈武等.钢结构构件稳定理论.中国建筑工业出版社.1983年12月.

(7) B.Knowles,Park.Strength of Concrete Filled Steel Tubular Columns .Journal of the Structural Division, No.ST.12.December 1969.

Analysis of Concrete Filled Square Steel Tubular  
Beam-Column by Collapse Theory

Zhang Zhengguo  
(Zhengzhou Institute of Technology)

**Abstract:** According to experimental behaviors of concrete filled square steel tubular stubs and welded square steel tube, the paper offered a analysing method to concrete filled square steel tubular beam-column by collapse theory Through a large amount of calculation, the design formulas of concrete filled square steel tubular short and middle long beam-column are established from the calculating data. They may be used in practical design.

**Keywords:** collapse theory,concrete filled square steel tube.