

钢箱 - 混凝土组合梁正截面强度 设计理论与试验研究

钟新谷, 舒小娟, 沈明燕, 莫时旭, 谢文

(湖南科技大学, 湖南湘潭 411201)

[摘要] 基于钢箱 - 混凝土组合梁的基本特性, 提出了正截面强度设计理论, 并分析梁宽厚比、混凝土套箍效应对正截面强度的影响, 提出了该类组合截面的合理尺寸选择原则, 分析表明钢箱 - 混凝土组合梁较空箱的承载力有明显提高, 其受力性能明显改善。同时进行 3 根大比例钢箱 - 混凝土组合梁的模型试验研究, 试验研究表明: 钢箱 - 混凝土组合梁具有良好的抗弯性能和延性, 极限承载力提高显著。钢箱 - 混凝土组合梁通过进一步的试验与理论研究有广泛的应用前景。

[关键词] 钢箱 - 混凝土组合梁; 设计理论; 试验研究

[中图分类号] U44 [文献标识码] A [文章编号] 1009 - 1742(2008)10 - 0047 - 07

1 前言

钢箱 - 混凝土组合截面梁, 正是基于一般型钢 - 混凝土组合结构和钢管(方钢管)混凝土用于梁类结构的不足^[1], 发挥两者的优势同时克服它们的缺点而提出的, 其截面形式如图 1 所示。截面分为上下两个箱室, 受弯矩作用时, 在位于受压区的上室(用于连续梁的负弯矩区也可以是下室)填充混凝土, 该室的受力特点类似方钢管混凝土偏心受压构件; 位于受拉区的一室依然仅由钢材承担拉力, 其作用类似叠合式梁中的型钢; 此外, 它还具有类似于薄壁闭合钢箱梁的特点, 具有良好的抗扭性能。首先, 与空钢箱梁相比: 在受压的箱室中充填了混凝土, 使受压区钢板的局部屈曲强度大为提高, 有利于钢材强度的充分发挥, 很明显刚度则较钢箱梁要大^[2], 并且具有更好的延性。与钢箱梁一样具有抗扭刚度大的特点, 且截面因填充混凝土, 翘曲和畸变受到一定约束, 使结构的扭转性能更优于薄壁钢箱梁。其次, 与叠合式梁截面的组合梁相比: 钢箱 - 混凝土组合梁同样主要利用钢材抗拉性能好、混凝土抗压性

能好的特点, 发挥两者各自优势, 使梁既有较轻的自重, 又能获得较高的承载能力。这样结构能在尽量达到较小建筑高度要求的同时, 减少钢材用量, 获得良好的综合经济效应。钢箱 - 混凝土组合梁中的混凝土处于钢箱壁的套箍作用之中, 处于三向受压的混凝土能更好地发挥抗压性能; 而且, 套箍作用限制了混凝土的开裂, 使梁的延性大为提高。从两者的粘结性能分析, 钢箱 - 混凝土组合梁中两者的结合面积大, 与钢壁对混凝土的紧箍作用一起提供了更为可靠的粘结, 而且不存在纵向开裂问题, 从而免去了复杂的剪力连接件的设计与施工。从施工角度分析, 钢箱 - 混凝土组合梁施工亦较方便。空的钢箱梁焊接并就位后, 本身便是很好的模板, 省去了制作混凝土构件的模板工序, 并且, 利用混凝土泵送技术浇筑室内混凝土, 可以获得较快的施工进度。

无论与圆钢管混凝土还是与方钢管混凝土^[3-5]相比, 钢箱 - 混凝土组合梁在受拉区没有混凝土, 很明显具有更好的抗弯效率, 通过合理设计, 可以保证混凝土处于受压区, 从而减去受拉区混凝土, 减轻自重, 能适用于受弯或大偏心受压构件中。

[收稿日期] 2006 - 12 - 07; 修回日期 2007 - 06 - 26

[项目来源] 国家自然科学基金资助项目(50478099)

[作者简介] 钟新谷(1962 -), 男, 湖南宁乡县人, 博士, 湖南科技大学教授, 主要研究方向为桥梁工程

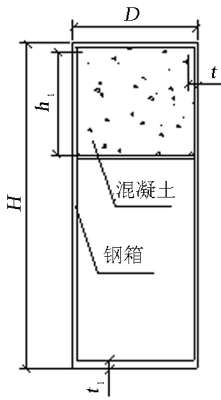


图1 钢箱-混凝土组合梁
Fig.1 Section of steel box concrete composite beam

提出这种新型截面梁,通过一定的理论与试验研究,完全可能用于实际结构。应用该新型组合截面梁对于组合结构的新形式探索研究和建筑结构、桥梁中的应用有重要意义。

2 材料本构关系

2.1 钢材的本构关系

建筑钢材本构关系如图2所示,按2种模型考虑:理想弹塑性模型本构关系如式(1);双折线线性强化模型本构关系如式(2), E' 按Y. Higashibata建议取 $E' = 0.01E$ 。

$$\sigma_s = \begin{cases} -f_y & (\varepsilon \leq -\varepsilon_y) \\ \varepsilon E & (-\varepsilon_y < \varepsilon \leq \varepsilon_y) \\ f_y & (\varepsilon > \varepsilon_y) \end{cases} \quad (1)$$

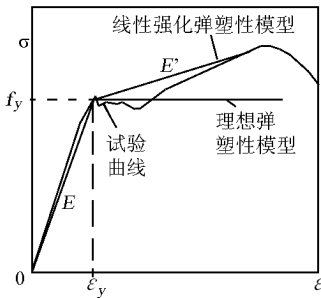


图2 钢材单轴拉伸本构模型
Fig.2 Constitutive relationship of the steel

式中, f_y 为钢材的屈服点; ε_y 为钢材屈服应变。

$$\sigma_s = \begin{cases} -f_y & (\varepsilon \leq -\varepsilon_y) \\ \varepsilon E & (-\varepsilon_y < \varepsilon \leq \varepsilon_y) \\ f_y + E'(\varepsilon - \varepsilon_y) & (\varepsilon > \varepsilon_y) \end{cases} \quad (2)$$

上式中,只考虑拉伸强化效应。

2.2 钢箱-混凝土组合梁受压区的混凝土本构关系

在方钢管混凝土构件受压性能的相关文献中^[4,5],为了简化结构正截面强度计算方法,通过试验提出了方钢管混凝土的压应力-应变的本构关系。钢箱-混凝土组合梁处于受压区的箱室内混凝土完全可视为偏心受压方钢管混凝土,为避免重复研究,钢箱-混凝土组合梁中的混凝土本构关系可采用方钢管混凝土的研究成果。本项目采用文献[6]中提出的偏心荷载作用下方钢管核心混凝土本构关系如下式及图3所示:

$$\sigma_c = \begin{cases} 0 & (\varepsilon \leq 0) \\ f_{c0} \left[2 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \right)^2 \right] & (0 < \varepsilon \leq \varepsilon_1) \\ f_{c0} + (f_{c0} - f_{c1}) \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} & (\varepsilon_1 < \varepsilon \leq \varepsilon_2) \\ f_{c1} & (\varepsilon > \varepsilon_2) \end{cases} \quad (3)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} f_{c0} &= f_0 + 1 \text{MPa} \times \begin{cases} 2350(t/D)^2 + 1.37 & (D/t \leq 21) \\ 2880(t/D)^2 + 0.17 & (D/t > 21) \end{cases} \\ f_{c1} &= (1.6 - 0.025D/t)f_{c0} \quad (0 \leq f_{c1} \leq f_{c0}) \\ \varepsilon_1 &= 0.0732t/D + 2.28 \times 10^{-3} \\ \varepsilon_2 &= 0.015 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

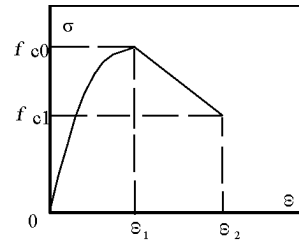


图3 方钢管核心混凝土本构关系
Fig.3 Constitutive relationship of the concrete in square steel

3 正截面强度设计理论

3.1 基本假定

1) 钢箱-混凝土组合梁在弯曲变形时符合平截面假定;

2) 钢材和受压区混凝土的本构关系为式(1)~式(4);

3) 上室钢箱壁与混凝土之间有可靠粘结,两者

之间滑移忽略不计;

4) 钢箱 - 混凝土组合梁变形过程中符合截面周边刚性假定。

3.2 正截面平衡方程

很显然, 钢箱 - 混凝土组合梁, 在弯矩作用下上室钢箱室壁的应力实际处于三向应力状态, 弯曲引起的截面正应力, 沿梁轴线方向; 当套箍作用凸现时, 室壁中出现与壁面平行的环向应力, 以及挤压鼓胀引起的与壁面垂直的横向应力。因为钢箱壁厚与箱内混凝土尺寸相比较薄, 可以近似忽略环向应力沿壁厚的不均匀分布, 同时忽略挤压应力, 则钢材的应力简化为平面应力状态。在弹性变形阶段, 套箍作用显现不明显, 用一维线弹性本构关系就能较准确的计算梁的正截面应力分布; 进入塑性变形发展阶段后, 用块体单元进行有限元分析表明: 钢壁环向应力与轴向应力相比仍然较小, 采用一维本构模型适合钢箱室壁的计算, 符合工程设计要求。

钢箱 - 混凝土组合梁中的混凝土亦不是简单的单轴受压情况, 而是处于复杂应力情况下的混凝土本构关系。有许多文献研究报道^[7-11], 如以塑性力学为基础的三向各向同性的全量模型, 以及 Elwi - Murray^[11] 的增量各向异性模型, 以损伤力学为基础的 Chen - Ting 的应变硬化塑性模型^[9], Bazant - Kim^[10] 的塑性断裂模型, 内时损伤本构模型^[11] 等等。但是, 复杂的三向本构关系模型不便于工程技术人员理解应用。本项目采用文献[3]中提出的方钢管核心混凝土本构关系式(3), 该式已考虑套箍效应在轴向方向混凝土的强化。

根据前述假定, 钢箱 - 混凝土组合梁截面在弯矩作用下受力分析见图 4 (没有考虑钢材的强化), 设受拉为正, 极限弯矩作用下, 组合梁的最上缘混凝土的应变为 ε_{\max} , 中性轴距钢箱顶部的距离为 y_s (假设中性轴在中隔板之下), 钢箱腹板进入拉压屈服区的高度界线位置为 h_y , 混凝土的应变 $\varepsilon = \varepsilon_1$ 处的高度位置为 h_{c0} 。假设钢箱中隔板应变小于屈服应变, 则正截面上钢材部分的合力为

$$N_s = f_y \left[t_1 (D - 2t) + 2t(H - y_s - h_y) - 2t(y_s - h_y) - t(D - 2t) \right] - \varepsilon_m E_s t (D - 2t) \quad (5)$$

考虑套箍作用, 选用本构关系为式(3), 混凝土部分的合力为

$$N_c = - (D - 2t) \left\{ \int_{y_s - D + t}^{h_{c0}} f_{c0} \left[2 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} - \left[\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \right]^2 \right] dy + \right.$$

$$\left. Q \int_{h_{c0}}^{y_s - t} \left[f_{c0} + (f_{c0} - f_{c1}) \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \right] dy \right\} \quad (6)$$

如果中性轴在中隔板以上, 式中 $y_s - D + t$ 用 0 代替即可。

根据静力平衡条件, 有

$$N = N_s + N_c = 0 \quad (7)$$

根据方钢管混凝土柱的试验结果^[5], 约束混凝土最大压应变可达到 $\varepsilon_2 = 0.015$ 。设极限状态时, 末端混凝土应变 $\varepsilon_{\max} = \varepsilon_2$ 。式(5)、式(6)计算积分结果并代入式(7), 得到关于 y_s 的三次方程, 解方程便可确定 y_s 。

对中性轴作用位置取矩, 则混凝土形成的抵抗矩 M_c 为

$$M_c = (D - 2t) \left\{ \int_{-y_s - t}^{-h_{c0}} \left[f_{c0} + (f_{c0} - f_{c1}) \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \right] y dy + \int_{-h_{c0}}^{D - y_s - t} f_{c0} \left[2 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} - \left[\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \right]^2 \right] y dy \right\} \quad (8)$$

钢箱部分形成的抵抗矩 M_D 为

$$M_D = f_y (D - 2t) \left[t_1 (H - y_s + t_1/2) + t(y_s - t/2) \right] + \frac{2}{3} f_y t * h_y^2 + f_y t (H^2 - 2H y_s + 2y_s^2 - h_y^2) + \varepsilon_m E_s t (D - 2t) (y - D + t/2) \quad (9)$$

截面总抵抗矩 M_u 为

$$M_u = M_s + M_c \quad (10)$$

以上的计算, 可以直接积分求出解析解。

3.3 影响正截面极限承载力因素分析

3.3.1 关于混凝土最大应变 ε_{\max} 的取值

图 4 分析图式取混凝土在应变为 $\varepsilon_{\max} = \varepsilon_2$ 时, 截面处于极限平衡状态, 具有最大的抵抗矩。图 3 所示混凝土本构关系曲线, 在 $[\varepsilon_1, \varepsilon_2]$ 区间, 混凝土的应力为负增长。如果混凝土应力减小引起混凝土贡献的抵抗矩减少量, 大于钢箱腹板继续屈服而贡献的抵抗矩增加的量, 那么截面总的抵抗矩将会减少。由此推断在 $[\varepsilon_1, \varepsilon_2]$ 的区间内极限弯矩满足等式(7)存在最大值。考虑本构关系分段和截面的复杂式(7)采用数值逼近的方法求解不同截面组成的 $M - \varepsilon_{\max}$ 关系曲线。 $\varepsilon_{\max} = \varepsilon_2$ 计算的截面承载力 M_{u0} 为基准值, 对底板厚度、材料强度、混凝土箱室高度、宽厚比变化进行分析。分析表明最大截面抵抗矩 M_u 只有宽厚比的变化有影响, 最大截面抵抗矩 M_u 其他因素均不敏感。宽厚比影响如图 5 所示。当宽厚比小于 30 时, 计算结果几乎一致, 当宽厚比为 60 时, 影响可达到 10%。

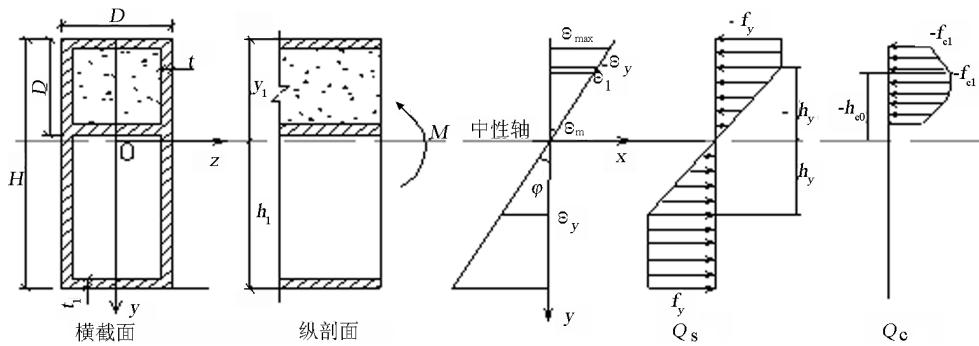


图4 钢箱-混凝土组合梁截面极限平衡状态应力应变图示

Fig. 4 Stress & strain distribution along the depth of the section at ultimate balance status

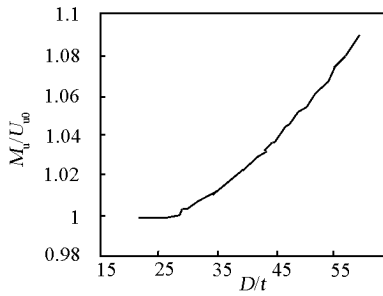


图5 宽厚比对 M_u 计算误差影响

Fig. 5 Influence to the calculated error because of the ratio of width to thickness

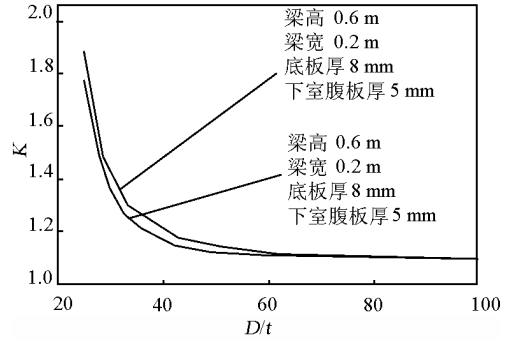


图6 套箍效应提高系数与宽厚比关系图

Fig. 6 Relationship between increasing factor of confining effect and ratio of width to thickness

3.3.2 考虑与不考虑套箍作用的抗弯承载力对比分析

分析表明套箍效应大小主要受宽厚比影响,如果直接用考虑套箍效应的 M_u 与不考虑套箍效应的 M'_{su} 进行比较,受截面含钢量的影响,不能真实反应套箍作用的大小。定义套箍效应提高系数为

$$K = \frac{M_u - M_{su}}{M'_{su} - M_{su}} \quad (11)$$

式中, M_{su} 为空钢箱梁的承载力。 K 反映方钢管对混凝土的套箍作用对混凝土强度的提高程度。不考虑套箍效应时采用的混凝土本构关系为 CEB - FIP 规范的函数式。钢材为 Q235, 混凝土材料为 C40, 分析不同钢箱的宽厚比情况, 得出 K 与 D/t 关系如图 6 所示, 套箍效应提高系数, 随宽厚比增加而减弱, 并且不同的截面组成, 同样的宽厚比, 提高系数也不同。一般钢箱 - 混凝土组合梁底板厚不小于顶板厚度, 此时数值分析表明, 当 $D/t = 25$ 时, K 值不小于 1.5, 当 $D/t = 60$ 时, K 值不小于 1.10。为尽量利用套箍效应发挥混凝土的强度, 截面设计时宽厚比宜选择在 25 ~ 60 之间为宜。

表 1 空钢箱与钢箱 - 混凝土组合梁抗弯承载力比较表

Table 1 Comparison of ultimate bending capacity of void steel box beams and composite ones

H/cm	T/mm	D/t	t_1/mm	$M_{su}/(kN \cdot m^{-1})$	$M_u/(kN \cdot m^{-1})$	K
60	5	25	5	313.70	392.10	1.23
60	5	25	8	339.10	426.40	1.24
60	5	35	5	347.40	440.00	1.23
60	5	35	10	408.10	523.30	1.25
60	5	45	10	455.10	615.80	1.31
60	5	45	15	527.70	715.90	1.32
100	10	25	10	1 831.00	2 254.00	1.20
100	10	25	15	1 975.00	2 454.00	1.21
100	10	35	10	2 030.00	2 624.00	1.23
100	10	35	18	2 362.00	3 046.00	1.23
100	10	45	15	2 460.00	3 432.00	1.30
100	10	45	25	2 961.00	4 124.00	1.32
150	10	30	10	3 898.00	4 963.00	1.22
150	10	30	20	4 404.00	5 675.00	1.24
150	10	40	15	4 607.00	5 958.00	1.21
150	10	40	25	5 270.00	6 943.00	1.24
150	10	50	15	5 008.00	6 763.00	1.22
150	10	50	25	5 849.00	7 970.00	1.25

3.4 钢箱 - 混凝土组合梁与空钢箱抗弯承载力对比分析

钢材采用理想弹塑性模型计算空钢箱正截面抗弯极限抗弯承载力,按全截面塑性发展,形成塑性铰计算极限承载力,根据轴力方向平衡,截面塑性铰的位置 y'_s (至截面上缘距离)形成在将截面分成面积相等的两半的位置处。图 4 所示的空钢箱的截面塑性极限承载力 M_{su} 公式如下:

$$M_{su} = f_y [t(D-t)(y'_s - t/2) + ty'_s + t(H - y'_s)^2 + t_1(D-t)(H - y'_s - t_1/2)] \quad (12)$$

钢箱 - 混凝土组合梁按式 (10) 计算塑性极限承载力 M_u 。设计算钢箱 - 混凝土组合梁中,由混凝土自重引起的弯矩记为 M_e 。现按高跨比为 1/20 假定构件的计算跨径,即 $l = 20H$,则 $M_e = 50qH^2$ 。设

$$k = \frac{M_u - M_e}{M_{su}} \quad (13)$$

定义 k 为钢箱 - 混凝土组合梁与相同尺寸空钢箱梁相比的承载力提高系数。

钢材为 Q235 钢,混凝土为 C40,混凝土容重取 25 kg/m^3 ,空钢箱与钢箱 - 混凝土组合梁抗弯承载力及提高系数如表 1 所示,极限承载力提高约为 20% ~ 30%。由表看出,填充混凝土后,结构的极限承载力有显著提高。同时通过在钢箱上室浇灌混凝土,可明显提高上室钢箱钢板的局部屈曲强度,而提高钢箱 - 混凝土组合结构的极限承载力^[2]。

4 理论分析与试验对比研究

4.1 试验模型

为了验证钢箱 - 混凝土组合梁正截面承载力计算理论,按表 2 所示尺寸在工厂完成 3 根空钢箱梁的制作。根据加工合同的精度要求,由湘潭市银汉机械加工厂承担完成。预制完后将钢箱梁运抵正在施工的湖南科技大学图书馆工地,利用工地的混凝土泵送设备,模拟实际施工状况进行组合梁混凝土灌注。灌注后的梁对混凝土的密实度进行超声波检测结果表明,采用泵送法进行组合梁混凝土的浇筑方法是可行的。在进行试验之前,对模型的材料进行了力学试验。钢材屈服强度平均为 266 MPa,弹性模量为 207 GPa,混凝土立方体抗压强度为 54.9 MPa,弹性模量为 34.5 GPa。试验有用在梁的跨中用分配

梁加集中荷载,在梁的跨中及多个截面粘贴应变计,安装位移测量仪表等。试验加载方案如图 7 所示。

表 2 钢箱 - 混凝土组合梁试验梁尺寸一览表

Table 2 Sizes of the testing steel box concrete composite beam specimens

试验梁 编号	梁高 /mm	上室箱 高度 /mm	梁宽 /mm	腹板厚 /mm	顶板厚 /mm	底板厚 /mm	总长 /mm	计算 跨径 /mm
SCB30-1、 2,3	1 000	300	300	10	10	10	10 000	9 700

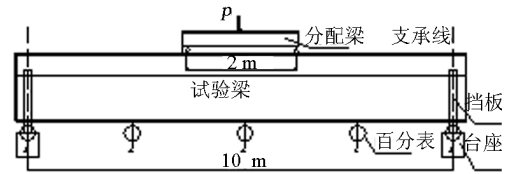


图 7 钢箱 - 混凝土组合梁加载示意图

Fig. 7 Loading on steel box concrete composite beam

4.2 理论分析与试验对比

从图 8 试验曲线可以看出,钢箱 - 混凝土组合梁的整个受力过程三个阶段,即线弹性阶段、弹塑性阶段和塑性破坏阶段。线弹性阶段为从开始加载到极限荷载的 60% ~ 70% 的阶段,挠度与荷载近于线性关系;弹塑性阶段为荷载至极限荷载的 70% ~ 90% 之间,挠度增加速度加快;荷载达到极限荷载的 90% 后,挠度急剧增加,曲线逐渐变平,进

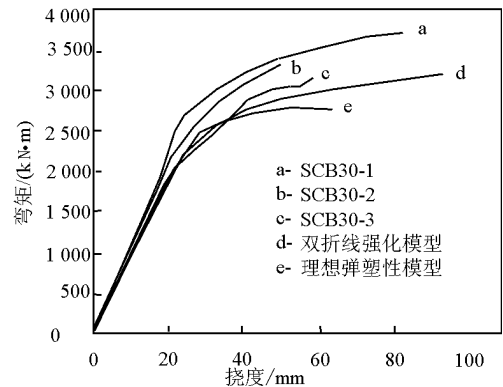


图 8 极限承载力 $M-f$ 曲线试验与计算对比

Fig. 8 Comparison of testing and theoretical $M-f$ curves

入塑性破坏阶段。试验表明钢箱 - 组合梁具有良好的延性,破坏显现明显的塑性特征。表 3 表明钢箱 - 混凝土组合梁相对相同尺寸的空钢箱的承载力有很大程度的提高,与预期的设想相符。同时表 3 和图

8 表明钢箱 - 混凝土组合梁正截面抗弯极限承载力与 $M-f$ 曲线试验值与理论计算值基本接近, 但正截面抗弯极限承载力无论钢材采用哪种本构关系式, 计算值均小于试验值。采用强化模型计算抗弯极限承载力更接近试验值一些, 因而, 分析钢 - 混凝土组合梁的弹塑性极限承载力应当考虑钢材强化作用。正截面抗弯极限承载力计算值小于试验值, 究其可能原因为: a. 约束混凝土的套箍效应影响比采用式(3)有更强的效应, 混凝土 $\sigma - \varepsilon$ 曲线达到顶点后的弱化关系可能与实际工作状态不符; b. 梁在实验室放置时间过长, 3 个月后才完成试验, 混凝土后期强度提高, 而计算时按 28 天标准强度作为依据。

表3 钢箱 - 混凝土组合梁与钢箱
梁试验梁承载力比较表

Table 3 Comparison of ultimate loading capacity
of SBCs and steel beams

试验梁编号	SCB30-1	SCB30-2	SCB30-3
极限荷载/(kN·m ⁻¹)	3 720	3 600	3 120
双折线计算极限荷载/(kN·m ⁻¹)	3 000	3 000	3 000
双折线计算极限荷载/(kN·m ⁻¹)	2 800	2 800	2 800
提高系数	1.69	1.64	1.42

5 结语

1) 本文提出钢箱 - 混凝土组合梁正截面强度设计理论与试验基本相符, 其设计值与试验值相比偏小, 用于工程是偏于安全的。

2) 钢箱 - 混凝土组合梁的合理宽壁比 D/t 最好在 25 ~ 60 之间, 过小的比值, 混凝土所占比例太小, 对强度贡献达不到预期效果; 太大则套箍作用太小, 混凝土的强度得不到提高。

3) 灌注混凝土的钢箱上室高度与梁高之比恰当。为保证充分利用混凝土强度, 应使受荷过程中混凝土位于受压区, 即使在临近极限荷载时, 也应保证混凝土全部或绝大部分位于受压区。同时应注意

选择合理的底板厚度, 使换算截面中性轴至上缘距离和下缘距离差不多。

4) 钢箱 - 混凝土组合梁具有良好的抵抗变形能力, 同时具有非常好的延性, 其破坏特征呈明显的塑性特征。钢箱 - 混凝土梁与空钢箱梁相比, 受力性能大为改善。

5) 钢箱 - 混凝土组合梁相对空钢箱承载力提高十分显著, 实际试验表明钢箱 - 混凝土组合梁相对空钢箱的承载力提高在 1.4 倍以上。

6) SCB30-1, 2, 3 试验模型梁的制作运用了泵送混凝土技术, 在试验前进行过超声波检测, 灌注效果良好, 为实际工程应用采用泵送混凝土技术提供了依据。

参考文献

- [1] 钟新谷, 舒小娟. 钢箱 - 混凝土组合梁正截面承载力的初步研究[J]. 土木工程学报, 2002, 35(6): 73-78
- [2] 莫时旭, 钟新谷, 赵人达. 刚性基底上弹性约束矩形板的屈曲行为分析[J]. 工程力学, 2005, 22(2): 174-178
- [3] 张正国. 方钢管混凝土偏压短柱基本性能研究[J]. 建筑结构学报, 1989, 9(6): 10-20
- [4] 张正国. 方钢管混凝土中长轴压柱稳定分析和实用计算方法[J]. 建筑结构学报, 1993, 4(4): 28-39
- [5] 余勇. 方钢管混凝土结构特性研究[D]. 上海: 同济大学, 1998
- [6] 李四平, 霍达, 王箐, 等. 偏心受压方钢管混凝土柱极限承载力的计算[J]. 建筑结构学报, 1998, (2): 41-51
- [7] 韩林海, 冯九斌. 混凝土本构关系模型及其在钢管混凝土数值分析中的应用[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1995, 28(5): 26-32
- [8] 王仁. 塑性力学引论[M]. 北京: 北京大学出版社, 1982. 89-99
- [9] Bathe k J, Ramaswam S. On three-dimensional nonlinear analysis of concrete structures[J]. Nuclear Engineering and Design, 1979, 52(3): 254-270
- [10] Cesolin L, et al. Triaxial stress-strain relationship for concrete[J]. ASCE, 1977, 103(EM3): 423-439
- [11] Palaniswamy R, Shah S P. Fracture and stress-strain relation of concrete under triaxial compression[J]. ASCE, 1974, 100(ST5): 901-906

Design theory and experimental study for flexural strength of steel box-concrete composite beam

Zhong Xingu, Shu Xiaojuan, Shen Mingyan,
Mo Shixu, Xie Wen

(Civil Engineer School, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China)

[**Abstract**] This article presents design theory for the strength of the cross-section of steel box concrete composite beam, based on the analysis of its mechanic behaviors, analyzes the influence of width-thickness ratio and confined effect on the strength, and puts forward the principles for rational design of its dimensions. The analysis shows that the bearing capacity of such new composite beam increases compared with that of empty steel box beam, and its mechanic behavior is obviously improved. Experimental study of 3 beams shows that steel box composite beam has good behavior of bending resist and flexibility and high bearing capacity. Such kind of beam has widely application prospect after further theoretical and experimental study.

[**Key words**] steel box concrete composite beam; design theory; experimental study

更正启事

由于编者疏忽,本刊2008年第9期31~38页一文的作者及基金项目出现遗漏,谨诚向作者、读者致歉。并更正如下。

作者:胡东生^{1,2,3},张华京⁴,庞西磊¹,徐冰⁵,于学峰²,田新红³,安芷生²,张国伟²。作者单位共计5个,遗漏的作者单位:2.中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室,西安710075。原作者单位序号2,3,4应顺延为3,4,5。基金项目共计3项,前2项为:中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(SKLLQG0701);湖南省重点学科建设项目(D2007001)。

本刊编辑部

2008年10月20日