

文章编号:1671-1637(2014)01-0018-08

混凝土偏压柱承载力计算方法

陈宝春¹, 林上顺^{1,2}

(1. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350108; 2. 福建省交通规划设计院, 福建 福州 350004)

摘要:应用《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)中的砌体柱和素混凝土柱承载力计算方法以及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中的钢筋混凝土柱承载力计算方法,分别对3座跨径为70、160、420 m的钢筋混凝土拱桥进行了主拱承载力验算。考虑长细比、偏心率、配筋率等参数,研究了钢筋混凝土柱的承载力变化规律,分析了混凝土拱等效梁柱的参数范围以及砌体柱、素混凝土柱、钢筋混凝土柱的极限承载力。分析结果表明:配筋率较小的钢筋混凝土拱等效成梁柱后,按JTG D61—2005计算的承载力大于按JTG D62—2004计算的结果。对配筋率较小而长细比、偏心率较大的钢筋混凝土柱,按钢筋混凝土柱计算的承载力反而小于砌体柱或素混凝土柱的承载力。可见,2种规范中混凝土偏压柱承载力计算方法存在不合理之处,需进一步改进。

关键词:桥梁工程;混凝土拱;偏压柱;极限承载力;砌体;素混凝土;钢筋混凝土;设计规范

中图分类号:U448.22

文献标志码:A

Calculation methods of bearing capacities of eccentrically loaded concrete columns

CHEN Bao-chun¹, LIN Shang-shun^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian, China;

2. Fujian Communications Planning and Design Institute, Fuzhou 350004, Fujian, China)

Abstract: By the application of the calculation methods of masonry columns and plain concrete columns in *Codes for Design of Highway Masonry Bridges and Culverts* (JTG D61—2005) and the calculation methods of reinforced concrete columns in *Code for Design of Highway Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Bridges and Culverts* (JTG D62—2004), the load-carrying capacities of 3 reinforced concrete arch bridges with the spans of 70, 160, 420 m were calculated respectively. The change rules of the bearing capacities of reinforced concrete columns were studied considering slenderness ratio, eccentricity, reinforcement ratio, and etc. The parameter ranges of the equivalent beam-column of concrete arches and the ultimate bearing capacities of masonry columns, plain concrete columns and reinforced concrete columns were analyzed. Analysis result shows that the bearing capacities calculated by JTG D61—2005 are greater than those calculated by JTG D62—2004 when reinforced concrete arches with low reinforcement ratio are treated as equivalent beam-column. For reinforced concrete columns with low reinforcement ratios and high slenderness ratios and eccentricities, the bearing capacities calculated by the formulas of reinforced concrete columns are smaller than those calculated by the formulas of masonry columns or plain concrete columns. Thus it can be seen that there are

收稿日期:2013-08-21

基金项目:科技部国际科技合作计划项目(2009DFA72220)

作者简介:陈宝春(1958-),男,福建罗源人,福州大学教授,工学博士,从事桥梁与结构工程研究。

unreasonable factors in the calculation methods of eccentrically loaded concrete columns in two codes, which should be improved. 3 tabs, 7 figs, 25 refs.

Key words: bridge engineering; concrete arch; eccentrically loaded column; ultimate bearing capacity; masonry; plain concrete; reinforced concrete; design code

Author resume: CHEN Bao-chun(1958-), male, professor, PhD, +86-591-22865378, baochunchen@fzu.edu.cn.

0 引言

拱桥是中国桥梁主要桥型之一。本文所研究的混凝土拱包括素混凝土拱与钢筋混凝土拱,其中素混凝土拱主要是指无配筋或少配筋混凝土整体结构。根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)^[1](以下简称为钢混规范)的规定,本文将单侧配筋率小于 0.25% 的拱称为素混凝土拱。《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)^[2](以下简称为圬工规范)和钢混规范均规定采用等效梁柱法计算混凝土拱的面内承载力。混凝土拱的面内承载力是根据拱的边界条件,将主拱圈等效成素混凝土柱或钢筋混凝土柱,如无铰拱的等效梁柱长度为 0.36S, S 为拱圈弧长,然后按照相应的偏压构件(梁柱)进行计算。圬工规范给出了素混凝土柱或砌体柱的承载力计算方法,钢混规范给出了钢筋混凝土柱的承载力计算方法。

在实际工程中常采用圬工规范计算钢筋混凝土拱的面内承载力:杨稚华等经过结构计算得出拱圈关键截面的组合内力后,采用砌体柱的承载力计算公式,进行混凝土拱的承载力计算^[3-4];胡江顺等在进行混凝土拱的设计计算时,均参考了类似的文献^[5-6]。从理论上讲,对于钢筋混凝土拱,不计其钢筋作用而采用圬工规范计算的承载力应该小于按钢筋混凝土结构计算的承载力,是偏于安全的,然而在工程实践中情况往往相反,采用圬工规范计算的承载力常常大于钢混规范计算的承载力,这是不合理的。对于这种不合理现象,目前未见深入探讨,为此,本文开展了系列研究,以探明这种现象产生的原因,并提出解决的办法。本文为该系列研究的第一部分,应用钢混规范和圬工规范对跨径分别为 70、160、420 m 的 3 座钢筋混凝土拱进行了计算。对 2 个直杆构件(柱)进行了参数分析,参数范围为长细比为 5~30,偏心率为 0.1~0.3,配筋率为 0.25%~1.00%,并对收集到的有关试件进行计算分析。在此基础上,本文讨论了 2 种规范的计算方法,并对今

后的研究提出建议。

1 两种规范的承载力计算方法

1.1 圬工规范的计算方法

圬工规范分别提供了砌体偏压柱和素混凝土偏压柱承载力的计算方法。

1.1.1 砌体偏压柱

按照圬工规范第 4.0.5 节规定^[2],砌体受压构件承载力计算公式为

$$\gamma_0 N_d \leq \varphi A f_1 \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{1 - (e_0/y)^m}{[1 + (e_0/i)^2] \{1 + \alpha \beta (\beta - 3) [1 + 1.33(e_0/i)^2]\}} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{B l_0}{3.5 i} \quad (3)$$

式中: γ_0 为结构重要系数; N_d 为轴向力设计值; A 为构件截面面积; f_1 为材料标准抗压强度设计值; φ 为构件轴向力的偏心距 e_0 和砌体构件长细比 β 对受压构件承载力的影响系数; y 为截面重心至偏心方向的截面边缘的距离; i 为截面回转半径; m 为截面形状系数; α 为与砂浆强度有关的系数; B 为不同砌体材料构件的长细比修正系数,混凝土预制块砌体取 1.0; l_0 为构件计算长度。

1.1.2 素混凝土偏压柱

按照圬工规范第 4.0.8 节^[2]规定,混凝土受压柱承载力的计算公式为

$$\gamma_0 N_d \leq \varphi_0 f_1 b (h - 2e_0) \quad (4)$$

式中: φ_0 为混凝土构件的稳定系数; b 、 h 分别为矩形截面宽度与高度。

1.2 钢混规范的计算方法

钢混规范^[1]提供了钢筋混凝土偏压柱的承载力计算方法。根据第 5.3.5 节规定,对于配置普通箍筋的钢筋混凝土矩形偏压构件,其承载力计算公式为

$$\gamma_0 N_d \leq N_u = f_1 b x + f_2 A_{s2} - \sigma_s A_{s1} \quad (5)$$

$$\gamma_0 N_d e_s \leq f_1 b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_2 A_{s2} (h_0 - a_{s2}) \quad (6)$$

$$e_s = \eta e_0 + h/2 - a_{s1} \quad (7)$$

$$\sigma_s = \varepsilon_{cu} E_s \left(\frac{\lambda h_0}{x} - 1 \right) \quad (8)$$

式中: N_u 为构件承载力; x 为截面受压区高度; f_2 为钢筋抗压强度设计值; σ_s 为钢筋的应力; A_{s1} 、 A_{s2} 分别为构件受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积; e_s 为轴力作用点至受拉钢筋合力点的距离; h_0 为截面有效高度; a_{s1} 、 a_{s2} 分别为构件受拉区、受压区纵向普通钢筋的保护层厚度; E_s 为普通钢筋的弹性模量; ε_{cu} 为截面非均匀受压时, 混凝土的极限压应变, 当混凝土强度等级在 C50 及以下时, 取 0.003 3; λ 为截面受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值, 当混凝土强度等级在 C50 及以下时, 取 0.8; η 为偏心距增大系数。

对于 l_0/i 大于 17.5 的构件, η 的计算公式为

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400e_0/h_0} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \zeta_1 \zeta_2 \quad (9)$$

$$\zeta_1 = 0.2 + 2.7 \frac{e_0}{h_0} \leq 1.0 \quad (10)$$

$$\zeta_2 = 1.15 - 0.01 \frac{l_0}{h} \leq 1.0 \quad (11)$$

式中: ζ_1 、 ζ_2 分别为荷载偏心率与构件长细比对应截面曲率的影响系数。

2 钢筋混凝土拱算例分析

为具有代表性, 以跨径分别为 70、160、420 m 的 3 个钢筋混凝土拱桥为例, 分别用圬工规范和钢混规范进行主拱面内承载力的验算。由于圬工规范中素混凝土柱的承载力计算方法只给出了矩形截面的计算公式, 且该方法采用偏心率折减系数与弯曲系数直接相乘来表示, 与砌体柱和钢筋混凝土柱考虑二者的耦合作用的计算方法不同, 所以钢筋混凝土箱拱采用圬工规范计算时, 多采用砌体柱的计算方法, 如文献[3-4]。本节的 3 个算例在应用圬工规范计算时也采用砌体偏压柱的计算方法。

对于钢筋混凝土偏压柱, 第 1.2 节已列出了矩形截面的计算公式, 箱形截面的计算公式此处不再列出, 详见钢混规范。

2.1 拱算例简介

2.1.1 拱算例 1

净跨径为 70 m 的钢筋混凝土箱拱, 净矢高为 10 m, 桥面净宽为 7 m, 总宽为 11 m。拱箱由 U 形预制开口箱、现浇内腹板和微弯板顶板组成, 拱圈横断面构造见图 1, 更详细的设计资料见文献[3]。

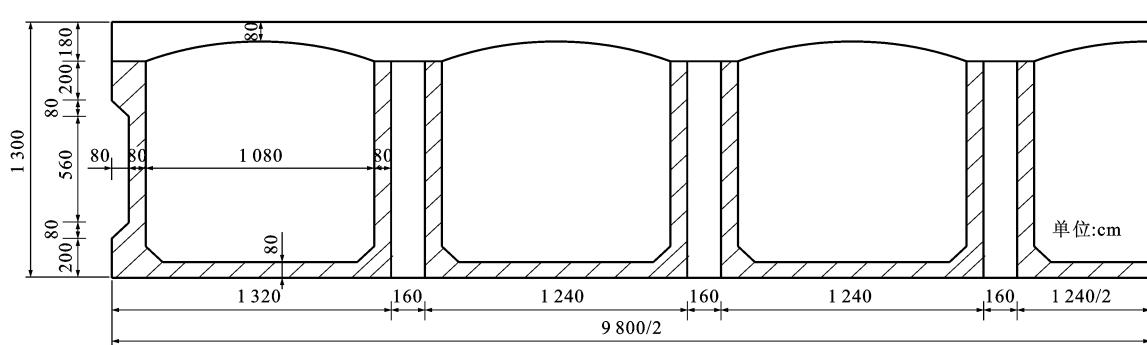


图 1 算例 1 拱圈横断面

Fig. 1 Cross section of arch ring of example 1

2.1.2 拱算例 2

净跨径为 160 m 的钢筋混凝土箱拱, 净矢高为 40 m, 桥面净宽为 9 m, 总宽为 10 m。拱圈为单箱 4 室截面, 箱高为 250 cm, 宽为 800 cm, 拱圈横断面构造见图 2, 更详细的设计资料见文献[7]。

2.1.3 拱算例 3

净跨径为 420 m 的钢筋混凝土箱拱, 矢跨比为 1/5, 桥面净宽为 15 m, 总宽为 24 m。主拱圈为 3 室箱形截面, 高为 7.0 m, 宽为 16.0 m, 拱圈横断面构造见图 3, 更详细的设计资料见文献[4]。

2.2 拱算例分析

3 个算例的主要参数与计算结果见表 1, 其中

N_{u1} 为按圬工规范的砌体柱计算的承载力, N_{u2} 为按钢混规范计算的承载力。3 个算例最不利截面均为拱脚。

3 个算例中, 对按圬工规范和钢混规范计算的承载力 N_{u1} 、 N_{u2} 与设计轴力进行了比较。算例 1 中均小于设计轴力, 不满足规范要求; 算例 2 中 N_{u1} 满足要求, N_{u2} 不满足要求; 算例 3 中 2 个承载力均大于设计轴力, 满足设计要求。进一步分析可知, 无论哪个算例, 按砌体柱计算的承载力 N_{u1} 均大于按钢筋混凝土柱计算的承载力 N_{u2} , 前者与后者的比值为 1.178~1.249, 说明考虑钢筋作用后的承载力小于不考虑钢筋作用时的承载力, 这显然是不合理的。

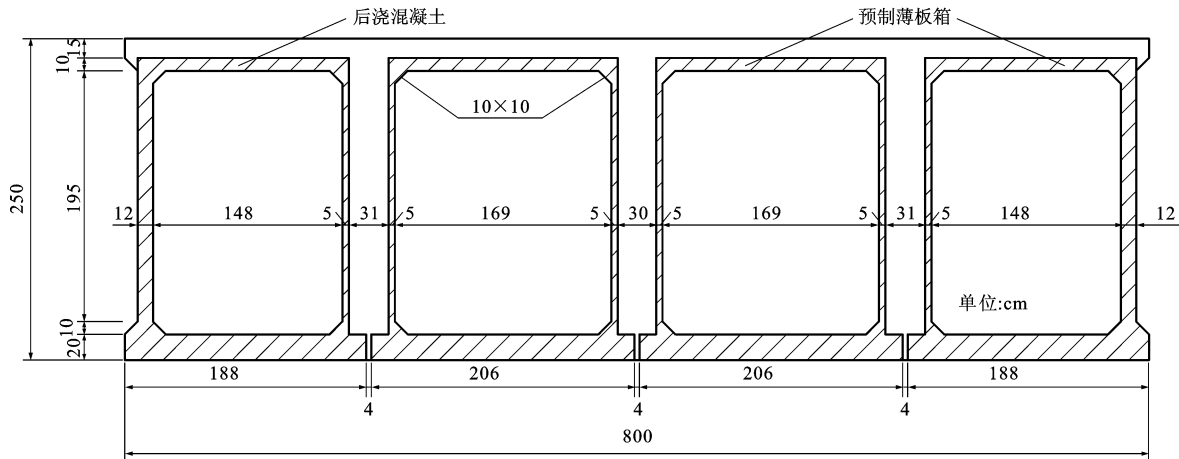


图 2 算例 2 拱圈横断面
Fig. 2 Cross section of arch ring of example 2

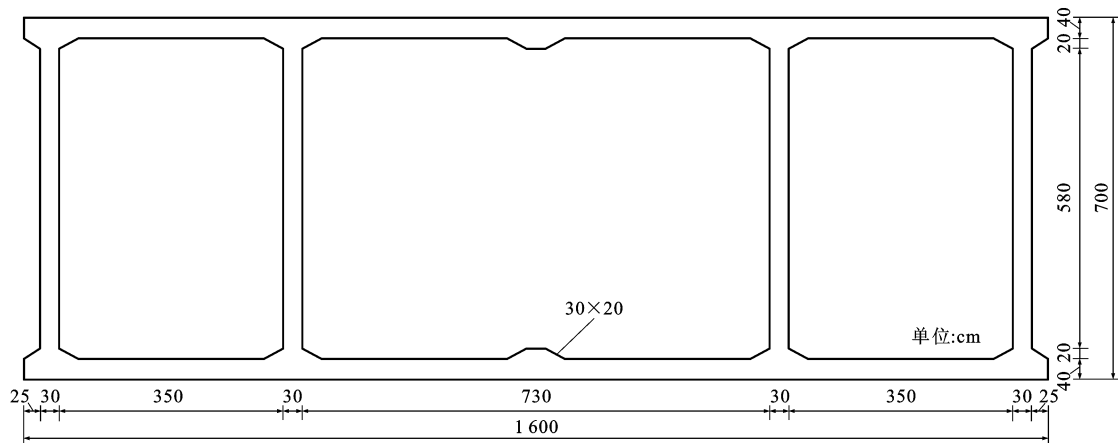


图 3 算例 3 拱圈横断面
Fig. 3 Cross section of arch ring of example 3

表 1 三个拱算例参数计算结果

Tab. 1 Calculation results of parameters of 3 arch examples

参数	算例 1	算例 2	算例 3
设计轴力/kN	35 848	41 205	401 330
设计弯矩/(kN·m)	7 310	22 609	437 266
截面高度/m	1.3	2.5	7.0
保护层厚度/mm	40	120	200
混凝土设计强度/MPa	13.636	23.000	32.500
拱圈长度/m	74.655	186.126	468.802
计算长度/m	26.876	67.005	168.769
初始偏心/m	0.204	0.549	1.090
截面面积/m ²	4.566 2	6.940 0	35.320 0
抗弯惯性矩/m ⁴	1.017	6.063	271.001
回转半径/m	0.472	0.935	2.770
N_{u1} /kN	34 092	45 846	619 378
N_{u2} /kN	28 948	38 092	496 030
N_{u1}/N_{u2}	1.178	1.204	1.249

3 钢筋混凝土柱算例与试件分析

上文拱算例对 2 种不同算法的承载力计算结果的不合理现象是某些点的情况。下文将以钢筋混凝土柱为对象,通过参数变化,分析这种不合理现象出现的规律。

3.1 柱算例简介

3.1.1 柱算例 1

以 2.1 节中拱算例 1 的拱圈材料与截面作为本算例的材料与截面,取偏心率为 0.3。

3.1.2 柱算例 2

构件为矩形截面,宽度为 300 mm,高度为 200 mm,偏心率为 0.3,混凝土立方体强度 f_3 为 38.5 MPa,钢筋屈服强度为 300 MPa。

3.2 柱算例分析

由上文可知,2 本规范 3 个计算方法中关于长细比的定义存在差异,为便于对比,本节算例中长细

比均采用钢混规范的定义,详见 1.3 节。

对于柱算例 1,因其为箱形截面,所以只分别按圬工规范砌体柱和钢混规范钢筋混凝土柱的计算方法计算其承载力。以长细比为参数,计算结果见图 4。由图 4 可知,钢混偏压柱随长细比的承载力曲线为先凸后凹的下降曲线,而砌体偏压柱为凹形的下降曲线。当长细比为 18 时,2 条曲线相交,所计算的承载力相等,此后,按砌体偏压柱计算的承载力大于钢混偏压柱计算的承载力。

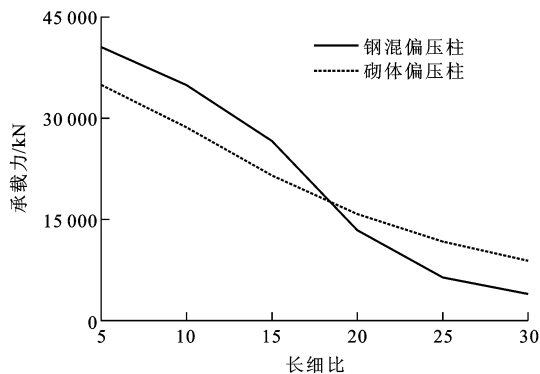


图 4 柱算例 1 承载力与长细比关系

Fig. 4 Relationship between bearing capacities and slenderness ratios of columns in example 1

对于柱算例 2,因其为矩形截面,所以除按砌体柱、钢筋混凝土柱方法计算外,还按素混凝土柱计算其承载力。计算时除长细比参数外,还需考虑配筋率参数。配筋率分别取 0.25%、0.56%、1.00%,配筋率为 0 时是素混凝土柱的计算结果。按文献[8]确定混凝土轴心抗压强度取值,取 $0.8f_3$ 。柱算例 2 取偏心率为 0.3,承载力与长细比的关系曲线见图 5。从图 5 可知,不同配筋率的钢筋混凝土柱的承载力随长细比的变化规律基本相同,但与砌体柱、素混凝土柱承载力的变化规律相差较大。当长细比较大而配筋率较小时,将出现钢筋混凝土柱承载力小

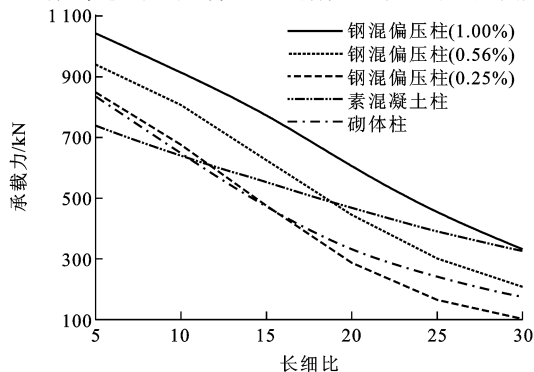


图 5 柱算例 2 承载力与长细比关系

Fig. 5 Relationship between bearing capacities and slenderness ratios of columns in example 2

于砌体柱和素混凝土柱的承载力的不合理现象。如配筋率为 0.25% 的钢筋混凝土柱,长细比不小于 12 时,其承载力小于素混凝土柱的承载力;长细比不小于 17 时,其承载力小于砌体柱的承载力。

素混凝土柱在 3 种钢筋混凝土柱的承载力与长细比关系曲线中下降斜率最小。与砌体柱曲线相比,当长细比为 11 时,2 条曲线相交,素混凝土柱的承载力与砌体柱的相等。长细比小于 11 时,素混凝土柱的承载力反而小于砌体柱的,这显然也是不合理的。

对于柱算例 2,长细比为 20 时,承载力随偏心率的变化规律见图 6。当偏心率较大而配筋率较小时,同样会出现钢筋混凝土柱承载力小于砌体柱和素混凝土柱的不合理现象。如配筋率为 0.25% 的钢筋混凝土柱,偏心率不小于 0.18 时,其承载力小于素混凝土柱的承载力,偏心率不小于 0.20 时,其承载力小于砌体柱的承载力。

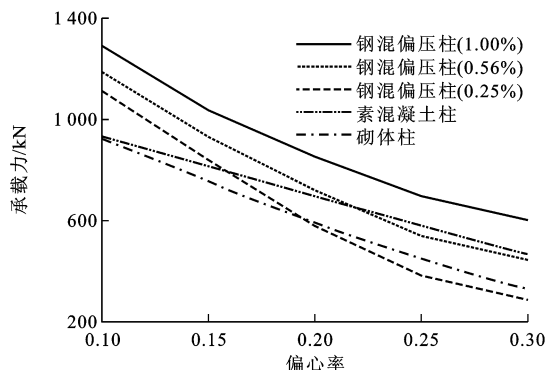


图 6 柱算例 2 承载力与偏心率关系

Fig. 6 Relationship between bearing capacities and eccentricities of columns in example 2

3.3 钢筋混凝土柱试件承载力分析

对收集到的钢筋混凝土受压试验资料^[9-15],应用 2 种规范计算的承载力结果见表 2,表中配筋率为截面上缘(或下缘)钢筋面积与构件截面面积的比值。由表 2 可以看出,对于长细比较大或配筋率较小的构件,如 Z-14,按素混凝土柱计算的承载力大于按钢筋混凝土柱计算的承载力,这种情况进一步证实了目前计算方法存在着不合理性。

4 讨 论

4.1 混凝土拱等效梁柱的参数范围分析

由上文分析可知,当长细比和偏心率较大而配筋率较小时,应用 2 种规范 3 种计算方法进行计算,会出现钢筋混凝土柱的承载力小于砌体柱或素混凝土柱的不合理现象。对文献[16-18]中 55 座

表 2 钢筋混凝土柱试验结果与规范计算结果对比

Tab. 2 Comparison of test result of reinforced concrete column with calculation results by codes

试件编号	来源文献	长细比	偏心率	配筋率/%	试验值/kN	承载力/kN		
						钢混柱	砌体柱	素混凝土柱
DZ-4	[9]	9.6	0.244	0.69	265	247	225	215
DZ-6	[9]	9.6	0.284	0.69	224	228	199	191
Z-14	[10]	18.4	0.293	0.69	157	133	105	140
Z-13	[10]	18.4	0.085	0.69	338	360	285	281
LS1	[10]	5.5	0.170	0.57	736	625	608	542
LM1	[10]	11.5	0.170	0.57	653	553	493	466
2L8-60	[10]	4.3	0.053	1.00	857	852	740	671
2L20-60	[10]	4.3	0.133	1.00	700	712	629	551
C-1	[11]	25.6	0.128	0.66	452	457	265	302
C-2	[11]	29.2	0.182	0.63	264	264	165	222
NY-B2	[12]	18.0	0.250	0.67	990	910	553	687
NY-B3	[12]	19.0	0.250	0.67	844	876	490	624
Z-26	[13]	18.5	0.161	0.45	284	216	185	198
Z-104	[13]	18.7	0.292	0.47	123	81	61	62

国内外混凝土拱桥的资料分析表明:主拱等效成梁柱时的长细比较大,通常为 13.6~29.2;偏心率也较大,通常为 0.10~0.35;主拱的配筋率均较低,一般低于 1%。这样易出现按砌体柱或素混凝土柱计算的承载力反而会大于钢筋混凝土柱的情况。今后应对 2 种规范中砌体柱、素混凝土柱和钢筋混凝土柱的承载力的应用范围和不同材料结构(如素混凝土或钢筋混凝土)计算方法的连续过渡与协调方面开展系统深入的研究,仅针对其中 1 种规范的计算方法研究是不够的。

4.2 砌体柱极限承载力

杨卫忠等对砌体偏压柱进行了大量的试验研究^[19-24]。圬工规范中砌体偏压柱的计算公式是根据四川省建筑科学研究所的试验资料,通过数理统计方法得出的半理论半经验公式。拟合公式的计算结果与试验值比值的均值为 1.02,标准差为 0.114,具有较高的精度。

文献^[19-24]的砌体柱试件长细比均小于 15。对于砖石或混凝土砌块砌体拱桥,当跨径较大时,等效成梁柱后的长细比可能超过 15,现有的计算公式是否合理,还有待研究。

砌体柱的受力性能与破坏模式不仅与砌块形状、尺寸、强度有关,与砂浆强度也有较大的关系。素混凝土柱或钢筋混凝土柱的受力性能与破坏模式与砌体柱有着明显的不同,目前工程界常常直接套用砌体柱的计算公式进行钢筋混凝土或素混凝土柱

的承载力计算,这显然是不科学的,应该予以纠正。

4.3 素混凝土柱极限承载力

由于素混凝土结构在实际工程中应用较少,相关试验研究缺乏。目前仅收集到文献^[25]的 4 个矩形截面素混凝土偏压柱的试验资料。从表 3 中承载力的试验值与计算值对比可见,除偏心率最小的 1 个试件的试验值大于计算值外,其余 3 个试件的计算值均大于试验值,偏于不安全。

表 3 素混凝土柱试验结果与规范计算结果对比

Tab. 3 Comparison of test results of plain concrete column and calculation results using codes

长细比	偏心率	承载力/kN	
		试验值	计算值
22.4	0.153	376	335
22.4	0.213	259	288
22.4	0.233	230	279
22.4	0.253	199	268

由图 5、6 也可以看出,素混凝土柱承载力计算值随长细比和偏心率下降的斜率均小于钢筋混凝土柱,由式(4)可以看出其承载力计算采用偏心率折减系数与弯曲系数直接相乘的方法,而没有考虑二者的耦合作用。由砌体柱和钢筋混凝土柱的试验研究来看,偏心率折减与弯折减在长细比和偏心率均较大时耦合作用较为明显,因此,现有素混凝土柱承载力计算公式的合理性有待进一步的研究。

开展试验研究以弥补现有素混凝土柱承载力研

究资料缺乏的不足是非常必要的。研究重点要放在大长细比和大偏心率的构件上,探明偏心率折减系数与弯曲系数是否存在耦合现象,如果存在则应考虑如何体现在承载力计算方法中。

4.4 钢筋混凝土柱极限承载力

针对现有钢筋混凝土柱试验资料,统计了文献[9-15]的试件长细比和偏心率范围,结果见图7,可以看出,试件总量偏少,试件的参数规律性较差,难以对单一参数进行分析,因此,需补充必要的试验,使得能够就长细比、偏心率参数对承载力的影响进行专门的研究。

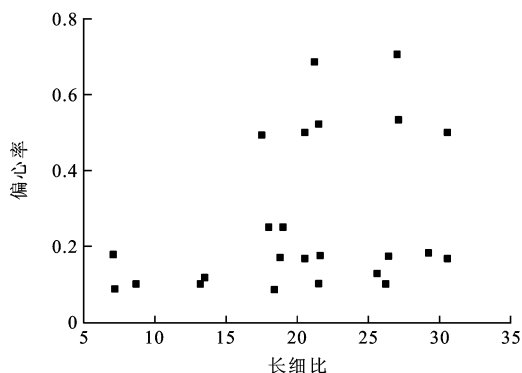


图7 钢筋混凝土偏压柱试验数据统计

Fig. 7 Statistics of test data of eccentrically loaded reinforced concrete columns

在配筋率方面,从表2可以看出,收集到的试件的配筋率均大于0.45%,缺乏低配筋率(包括配筋率为0)的试件。在已有研究中,配筋率较小的构件,如LS1、LM1、Z-26、Z-104,试验值与计算值相差较大,一般超过15%,对于配筋率大于0.60%的构件,试验值更接近于钢混规范,因此,钢混规范的计算方法,今后应将重点放在低配筋率的构件的承载力研究上。

5 结 语

应用圬工规范中砌体柱和素混凝土柱承载力的计算方法和钢混规范中钢筋混凝土柱承载力的计算方法,对2种钢筋混凝土偏压柱和所收集到的试件资料进行分析。结果表明,当长细比与偏心率均较大而配筋率较小时,会出现按钢筋混凝土柱计算的承载力反而小于砌体柱与素混凝土柱的承载力的不合理现象。

钢筋混凝土拱一般配筋率较小,面内承载力等效成梁柱后,也具有长细比和偏心率较大的特点,设计中也同样会出现按圬工规范计算的承载力反而大于按钢混规范计算的结果的现象,因此,今后应对

2种规范中砌体柱、素混凝土柱和钢筋混凝土柱的承载力计算方法开展系统深入的研究。

砌体柱试验资料较多,规范计算公式具有较高的精度。但现有砌体柱试件的长细比均小于15。对于砖石或混凝土砌块砌体拱桥,当跨径较大时,等效成梁柱后的长细比可能超过15,现有的计算公式是否合理,还有待今后的研究。

素混凝土柱的试验资料较少,现有的计算方法中,当偏心率大于0.2时,计算值大于试验值,偏于不安全,所计算的承载力不仅存在着大于钢筋混凝土柱的情况,还存在着小于砌体柱的情况。其承载力计算公式相比于砌体柱和钢筋混凝土柱,精度最差,应是今后3种算法中研究的重点。

钢筋混凝土柱的试件总量还偏少,参数规律性较差,难以对单一参数进行分析,需补充必要的试验,同时,当配筋率较小时,试件的试验值与计算值相差较大,有待进一步研究。

参考文献:

References:

- [1] JTG D62—2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
JTG D62—2004, code for design of highway reinforced concrete and prestressed concrete bridges and culverts[S]. (in Chinese)
- [2] JTG D61—2005,公路圬工桥涵设计规范[S].
JTG D61—2005, code for design of highway masonry bridges and culverts[S]. (in Chinese)
- [3] 杨稚华. 万县长江大桥的设计[C]//中国公路学会. 中国公路学会2001年学术交流论文集. 北京:中国公路学会,2001: 208-221.
YANG Zhi-hua. Design of Wanxian Yangtze River Bridge[C]// China Highway and Transportation Society. 2001 Academic Symposium of China Highway and Transportation Society. Beijing: China Highway and Transportation Society, 2001: 208-221. (in Chinese)
- [4] 王国鼎,钟圣斌. 拱桥[M]. 第二版. 北京:人民交通出版社,2000.
WANG Guo-ding, ZHONG Sheng-bin. Arch Bridge[M]. 2nd Edition. Beijing: China Communications Press, 2000. (in Chinese)
- [5] 胡江顺,陈四德,苏明星. 双潭大桥——一座钢筋混凝土拱桥设计[J]. 中外公路,2008,28(4):156-159.
HU Jiang-shun, CHEN Si-de, SU Ming-xing. Shuangtan Bridge—design on a reinforced concrete arch bridge[J]. Journal of China and Foreign Highway, 2008, 28(4): 156-159. (in Chinese)
- [6] 尹超. 大跨度上承式钢筋混凝土箱肋拱桥设计[J]. 华北水利水电学院学报,2010,31(1):41-44.
YIN Chao. Design on steel reinforced concrete-deck bow-string of large span arch bridge[J]. Journal of North China

- Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2010, 31(1): 41-44. (in Chinese)
- [7] ZHANG Jie, LIU Hai-qing. Research on closure scheme of long-span box arch bridge[C]//RADIC J, CHEN Bao-chun. Proceedings of Chinese-Croatian Joint Colloquium on Long Arch Bridges. Brijuni Islands: Croatian University of Zagred, 2008: 261-268.
- [8] 过镇海,时旭东. 钢筋混凝土原理和分析[M]. 北京:清华大学出版社,2011.
- GUO Zhen-hai, SHI Xu-dong. Reinforced Concrete Theory and Analyses [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011. (in Chinese)
- [9] 陈家夔,崔 锦. 钢筋混凝土偏心受压中长柱的纵向弯曲[J]. 西南交通大学学报,1980,15(3):1-8.
- CHEN Jia-kui, CUI Jin. Secondary bending of eccentriclly loaded medium slender reinforced concrete columns[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1980,15(3): 1-8. (in Chinese)
- [10] VENKATASUBRAMANI G S, YOHANNAN J C, PARAMESWARAN P. Analytical and experimental investigation on eccentrically loaded slender reinforced concrete columns[J]. Journal of Structural Engineering, 2007, 33(5): 391-400.
- [11] 魏 巍,刘 毅,白绍良. 钢筋混凝土偏压杆件非弹性稳定的极限承载力分析[J]. 重庆建筑大学学报,2000,22(增):80-86.
- WEI Wei, LIU Yi, BAI Shao-liang. Ultimate load analysis of non-elastic stability of RC eccentrically compressed member[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2000, 22(S): 80-86. (in Chinese)
- [12] CHUANG P H, KONG F K. Large-scale tests of hinged slender reinforced concrete columns under eccentric loading[R]. Singapore: Nanyang Technological University, 1994.
- [13] 陈家夔,崔 锦. 关于修改我国钢筋混凝土结构设计规范(TJ10—74)中偏心距增大系数 η 值的建议[J]. 西南交通大学学报,1982,17(3):13-28.
- CHEN Jia-kui, CUI Jin. A proposed method of estimating the eccentricity magnification factor η specified in TJ10—74 code[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1982, 17(3): 13-28. (in Chinese)
- [14] 国家建委建筑科学研究院. 钢筋混凝土结构研究报告选集[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1977.
- Construction Academy Building Research Institute. Collections of the Research on the Reinforced Concrete Structure[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1977. (in Chinese)
- [15] 中国建筑科学研究院. 钢筋混凝土结构研究报告选集 2[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1981.
- China Academy of Buiding Research. Collections of the Research on the Reinforced Concrete Structure 2[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1981. (in Chinese)
- [16] 陈宝春,叶 琳. 我国混凝土拱桥现状调查与发展方向分析[J]. 中外公路,2008,28(2):89-96.
- CHEN Bao-chun, YE Lin. The present situation and development of the concrete arch bridges in China[J]. Journal of China and Foreign Highway, 2008, 28(2): 89-96. (in Chinese)
- [17] 韦建刚,陈宝春. 国外大跨度混凝土拱桥的应用与研究进展[J]. 世界桥梁,2009(2):4-8.
- WEI Jian-gang, CHEN Bao-chun. Application and research advancement of long span concrete arch bridges abroad[J]. World Bridges, 2009(2): 4-8. (in Chinese)
- [18] 叶 琳. 平钢腹板-混凝土组合拱试设计研究[D]. 福州:福州大学,2007.
- YE Lin. Trial design of the flat steel web-concrete members[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2007. (in Chinese)
- [19] 杨卫忠,刘 伟. 砌体受压承载力计算[J]. 郑州大学学报:工学版,2003,24(4):50-54.
- YANG Wei-zhong, LIU Wei. Evaluation of load carrying capacity of masonry under compressive loading[J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science, 2003, 24(4): 50-54. (in Chinese)
- [20] 贾圣明,全学友,秦士洪,等. 蒸压粉煤灰砖砌体轴心受压长柱受力性能试验研究[J]. 建筑砌块与砌块建筑,2008(6):27-29.
- JIA Sheng-ming, QUAN Xue-you, QIN Shi-hong, et al. Experimental research on the properties of axial compression long columns of autoclaved flyash-lime brick masonry[J]. Building Block and Block Construction, 2008(6): 27-29. (in Chinese)
- [21] 杨伟军,祝晓庆,马丽慧. 多功能混凝土空心砌块砌体受压承载力试验研究[J]. 长沙交通学院学报,2006,22(1):32-35.
- YANG Wei-jun, ZHU Xiao-qing, MA Li-hui. Experimental study on the compressive capacity of multi-functional concrete hollow block masonry[J]. Journal of Changsha Communications University, 2006, 22(1): 32-35. (in Chinese)
- [22] 徐春一. 蒸压粉煤灰砖砌体受力性能试验与理论研究[D]. 大连:大连理工大学,2011.
- XU Chun-yi. Experimental and theoretical research on the mechanics behavior of autoclaved fly ash brick masonry[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011. (in Chinese)
- [23] 杨国胜,邵联银. 浅谈钢筋混凝土系杆拱桥的施工工艺控制[J]. 筑路机械与施工机械化,2012,29(5):70-73.
- YANG Guo-sheng, SHAO Lian-yin. Discussion on control of construction technology of steel concrete tied-arch bridge[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2012, 29(5): 70-73. (in Chinese)
- [24] 张 华. 兰新铁路大跨度系杆拱桥施工[J]. 筑路机械与施工机械化,2012,29(3):67-69.
- ZHANG Hua. Construction of long-span tied arch bridge of lanxin railway[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2012, 29(3): 67-69. (in Chinese)
- [25] 王引富,刘汉夫. 铁路圬工桥墩临界荷载的非线性分析[J]. 石家庄铁道学院学报,1996,9(3):69-73.
- WANG Yin-fu, LIU Han-fu. The non-linear analysis of the longitudinal bending critical load of concrete and masonry piers[J]. Journal of Shijiazhuang Railway Institute, 1996, 9(3): 69-73. (in Chinese)