

文章编号:1006-7329(2000)01-0025-08

考虑非弹性特征的钢筋 混凝土框架杆件刚度折减系数

⑥
25-32/108

刘毅, 魏巍, 白绍良
(重庆建筑大学 建筑工程学院, 重庆 400045)

TU375.401

摘要:用经过刚度折减的二阶弹性分析来考虑有侧移框架二阶效应的简化设计方法已初步被我国规范所接受。考虑非弹性特征的钢筋混凝土框架杆件刚度折减系数的合理取值应以钢筋混凝土框架非弹性分析为基础,按框架顶点位移和各层层间位移相近似的原则来确定。再通过与美国、新西兰等国家现行的刚度折减方案的对比,为规范修订提供钢筋混凝土框架杆件刚度折减系数的建议方案。

关键词:经过刚度折减的二阶弹性分析;有侧移框架;二阶效应;刚度折减系数
中图分类号:TU375.4

钢筋混凝土框架

文献标识码:A

非弹性特征

1 问题的提出

到目前为止,在钢筋混凝土框架结构、框架-剪力墙结构和框架-核心筒结构的弹性一阶内力分析中,梁、柱的抗弯刚度均取为 $E_c I$,其中 E_c 为规范规定的混凝土弹性模量, I 为不考虑配筋的梁、柱混凝土毛截面惯性矩。在这种刚度取值条件下,经一阶弹性分析求得的结构各杆件内力(荷载效应)与各杆件真实内力之间存在着一定差异。这是因为每个杆件的各个截面在不同内力作用下其受拉区或者开裂或者不开裂,钢筋可能尚未进入屈服或已经进入屈服,混凝土也因受力状态不同而处于不同的非线性阶段。因此各杆件不同单元的实际刚度随受力状态而变,弯矩在节点处各杆端之间的分配比例依受力状态而不同,各杆件内力大小和分布自然也就不同于按纯弹性假定得出的分析结果。

考虑各杆件不同截面开裂状态和非弹性性能的结构内力可以通过结构非线性分析求得。对一般结构实施这种分析目前在软、硬件上都不存在问题。但用于每个日常的结构分析则仍嫌过于繁琐。因此,美国^[1]和新西兰^[2]工程界近年来提出,可以对梁和柱的 $E_c I$ 分别乘以不同的折减系数 α 来从总体上反映结构的非弹性特征。

这一思路也可以用于结构的二阶效应分析。也就是说,可以通过使用折减刚度的弹性二阶内力分析一次性求得考虑杆件开裂特征和非弹性特征的包括一阶内力和二阶内力的各截面总内力,而不再需要在各柱段控制截面中通过计算长度 l_0 和标准偏压柱的偏心距增大系数 η 来考虑二阶效应,从而简化了二阶效应分析。

美国规范 ACI318-95^[1]提出的刚度折减系数为:梁取0.35,柱取0.7;新西兰规范 NZS3101(1994)^[2]提出的刚度折减系数为:矩形截面梁取0.4,T形、L形截面梁取0.35,柱当 $N/f'_c b_c h_c = -0.05$ 取0.4, $N/f'_c b_c h_c = 0.2$ 取0.6, $N/f'_c b_c h_c > 0.5$ 取0.8;在我国《混凝土结构设计规范》1998年到1999年的修订过程中,计划把考虑非弹性刚度折减的弹性二阶分析纳入到细长杆件二阶效应分析方法中来,为此,必须解决梁、柱、墙类构件考虑非弹性特征的刚度折减系数取值问

收稿日期:1999-12-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目,NO:59678035

作者简介:刘毅(1971-),男,重庆人,重庆建筑大学讲师,主要从事钢筋混凝土结构研究。

题。但在上述美国和新西兰规范的说明和背景材料中以及可能查到的国外发表的文献中均未发现对美国和新西兰刚度折减系数背景的进一步说明。因此,我们必须选择自己的刚度折减系数验算方法,以确定刚度折减系数的合理取值。本文将在计算分析的基础上提供框架梁、柱刚度折减系数的取值建议。

2 确定刚度折减系数的基本思路

首先,为了便于工程应用,参照美国和新西兰做法建议了两种折减刚度取值方案。一种是美国的更为粗线条的方案,即按梁和柱分别各给一个笼统的折减系数;另一种是新西兰稍为细化的方案,即梁分矩形和 T 形截面梁两档,柱根据轴压比大小分为三档等。这表明,两个方案给出的刚度折减系数都是反映框架总体非弹性特征的“综合刚度折减系数”。可以判定,当第一方案能给出与第二方案相近的框架顶点位移时,由于第一方案的柱折减刚度取值在底部几层比第二方案小,因此底部几层的位移和二阶内力将比第二方案偏大。但因第一方案底部几层的柱-梁线刚度比小于第二方案,故柱中一阶内力将比第二方案小,最后柱的总内力(一阶加二阶)在多数情况下可能比第二方案小。而在顶部几层,第一方案的柱折减刚度取值比第二方案大,故顶部几层的位移和二阶内力比第二方案偏小。但因第一方案顶部几层的柱-梁线刚度比大于第二方案,故柱中一阶内力将比第二方案大,最后柱的总内力(一阶加二阶)在多数情况下会稍大于第二方案。综上所述可以认为第二方案可能更接近框架的实际受力状态,但第一方案更便于工程应用,因为第二方案需要在内力分析开始之前先根据设计经验或估算给出各柱段轴压比的估计值。

其次,这里讨论的杆件刚度折减系数不是针对正常使用极限状态的,而是针对承载能力极限状态的。又因为对框架中所有的梁均取用相同的刚度折减系数,对同属一个轴压比范围的柱也是取用相同的刚度折减系数,所以,这种折减系数不是分别针对每根杆件自己所处的特定受力状态的,而是近似反映框架的总体受力状态。

在这里需要强调的是,在水平荷载和竖向荷载作用下,各杆件截面都是按各自的最不利内力组合确定截面配筋的,但在某种特定的竖向和水平荷载组合下(例如竖向荷载和左风),则总是一部分柱(例如右侧柱和中柱)处于不利内力作用下,而另一部分柱的内力(例如左侧柱)则远未达到不利状态。也就是说,右侧柱的实际刚度折减系数在这一举例的状态下应是偏小的,左侧柱则应是偏大的。而最后从反映框架总体非弹性特征得出的同层各柱的刚度折减系数既不是右侧柱的具体折减系数,也不是左侧柱的具体折减系数,而是一种综合折减系数。

3 确定刚度折减系数的具体步骤

为了寻找合理的梁、柱刚度折减系数,本文作了大量算例分析,具体的计算步骤如下:

(1) 在选定每个算例中各杆件截面形状、尺寸及荷载后,按现行规范对框架进行设计,直到确定各控制截面配筋,其中梁翼缘有效宽度按规范取用,内力通过一阶分析求得。柱为对称配筋,且每个柱段配筋相同;梁按两个支座和一个跨中截面分别确定配筋。梁、柱配筋应满足最小配筋率的要求。在一阶内力分析中取一般弹性刚度,不折减。

(2) 按各跨恒载及活载满布和一侧水平荷载(荷载均乘有荷载系数)重新计算框架各杆件一阶弹性内力(此时各杆件取一般弹性刚度,不折减)。

(3) 按每个杆件的荷载作用一阶弯矩情况和分布规律及大小,用下文说明的非线性分析原理求出各杆件的折减刚度,这时各杆件自身的刚度折减系数 α 即为: $\alpha = \text{折减刚度} / E_c I$ 。

(4) 利用 ADINA 程序,在每根杆件使用其各自的 $\alpha E_c I$ 的前提下通过弹性二阶分析求得每个

算例框架的层间位移和杆件内力。

(5) 以第4条求得的层间位移和杆件内力为对照依据,再利用ADINA程序中的弹性二阶分析程序,以不同的梁、柱“综合刚度折减系数”方案计算层间位移和杆件内力。并以最接近第4点计算结果的梁、柱“综合刚度折减系数”方案(第一方案和第二方案分别试算)作为首选方案。

4 确定各杆件自身刚度折减系数的计算程序说明

这里使用的单根梁柱刚度折减系数计算程序是以梁柱的实际受力状态为依据的。具体地说,对任意一个从框架结构中分离出的梁柱杆件,采用杆系有限元的做法将其沿长度方向划分为若干单元,然后根据由截面非弹性分析求得的截面弯矩—曲率关系确定各个单元的刚度,从而将一根实际受力状态下的杆件转换成了一根能反映其实际受力特性的变刚度杆,再用平面杆件静力分析程序(PMGJ)求出各个外力作用点位置的位移或转角,有了外力及外力所对应的位移即可求出杆件在外力作用下所作的功。根据能量相等的原则,即可以找到一个等刚度杆,让该杆件在同样外力作用下所作的功不变。该等刚度杆的刚度称为“折减刚度”。该折减刚度与该杆件毛截面弹性刚度 E_c 的比值即为刚度折减系数。

程序编写时为了与实际结构配筋情况相吻合,把梁的正弯矩钢筋不切断而全部伸入支座,梁两端负弯矩区段全部按双筋截面分析计算;正弯矩区段内按单筋截面分析计算。同时考虑到梁板现浇后梁截面惯性矩的增大,参照《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程JGJ 3—91》第4.4.1条取梁的实际惯性矩为梁矩形毛截面惯性矩的二倍。梁端弯矩未作调幅处理。柱子配筋为通长对称配筋。需要具体说明的是:

1) 在梁、柱截面弯矩—曲率关系的计算机模拟中作出了以下几个基本假定:

- (1) 截面应变分布始终符合平截面假定;
- (2) 受拉及受压钢筋采用理想的弹—塑性模型;
- (3) 受压混凝土的应力—应变曲线采用清华大学的建议表达式^[1];
- (4) 不考虑拉区混凝土参与工作;
- (5) 不考虑剪切变形。

2) 取为脱离杆件后梁端作用弯矩是原框架中的实际弯矩;当梁跨中有集中力作用时,集中力也是实际作用荷载的大小。这样,在实际端弯矩和荷载作用下,计算出梁柱的弯矩分布,再从各自的弯矩—曲率关系中求出各单元的刚度。

3) 再以外力作功相等为等代条件求出梁柱的折减刚度,其中已经考虑了截面中钢筋对刚度的贡献。梁的折减刚度还考虑了现浇板翼缘的作用,即梁的刚度折减系数: $\alpha_b = \text{当量刚度} / (2E_c I_{pb})$,其中 I_{pb} 为矩形截面梁的毛截面惯性矩, $(2I_{pb})$ 是考虑翼缘的作用后的近似毛截面惯性矩;柱的刚度折减系数: $\alpha_c = \text{当量刚度} / (E_c I_{pc})$ 。由于柱的毛截面惯性矩 I_{pc} 未考虑钢筋的贡献,所以在外荷载作用较小时,即刚度折减不严重时,有可能出现 $\alpha_c > 1.0$ 的情况。这是正常的。

5 梁柱刚度折减系数算例分析

下面列举的算例1和算例2是本文从大量计算实例中挑选出来的,其计算结果比较具有代表性。两个算例中计算参数相同的是:梁、柱混凝土强度等级C30;混凝土弹性模量 $E_c = 3 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$;混凝土容重 25 kN/m^3 ;各算例楼盖均为现浇方案,板厚 100 mm ;恒载 5.0 kN/m^2 ;活载 2.0 kN/m^2 ;楼面荷载以集中荷载方式传入框架梁。不同的是:算例1为三跨五层框架,基本风压值为 0.7 kN/m^2 (B类),不考虑地震作用;算例2为二跨八层框架,考虑七度抗震(近震,二类场地土),基本风压值

表 2 三种分析方法计算结果比较 (单位:剪力 kN;弯矩 kNm)

楼层	柱子位置	实际折减刚度		美国规范		建议第一方案	
		剪力	下端(上端)弯矩	剪力	下端(上端)弯矩	剪力	下端(上端)弯矩
第一层	左边柱	-9.95	56.20(-15.47)	-15.13	58.58(-8.87)	-7.29	35.53(-7.90)
	左中柱	-85.92	246.90(173.00)	-86.27	233.60(195.20)	-86.36	242.30(182.30)
	右中柱	-72.30	225.70(131.40)	-74.85	215.30(159.30)	-73.51	221.80(142.80)
	右边柱	-61.85	146.40(166.70)	-54.43	131.30(147.90)	-63.05	148.90(-171.00)
	总和	-230.02	675.20(455.63)	-230.68	638.78(493.53)	-230.21	648.53(488.20)
第二层	左边柱	34.15	-71.86(-63.50)	31.32	-65.46(-59.02)	30.50	-62.31(-59.62)
	左中柱	-81.22	161.60(156.70)	-77.96	153.20(153.70)	-86.01	167.10(170.50)
	右中柱	-49.81	98.43(103.10)	-49.75	94.53(108.80)	-50.47	97.18(107.50)
	右边柱	-93.65	182.40(190.60)	-92.95	185.50(182.00)	-84.02	166.50(167.40)
	总和	-190.53	370.57(386.90)	-189.34	367.77(385.48)	-190.00	368.47(385.78)
第三层	左边柱	37.26	-72.30(-74.47)	37.89	-76.79(-72.82)	33.08	-67.15(-63.72)
	左中柱	-71.16	134.30(147.10)	-57.57	105.80(122.90)	-57.68	105.70(124.30)
	右中柱	-43.95	84.72(87.93)	-40.67	73.66(86.93)	-37.94	67.03(83.62)
	右边柱	-67.40	129.30(142.40)	-83.30	161.70(169.00)	-81.86	161.00(164.40)
	总和	-145.25	276.02(302.96)	-143.65	264.37(305.01)	-144.40	266.58(308.60)
第四层	左边柱	41.66	-79.57(-84.81)	45.47	-94.41(-84.16)	47.92	-94.32(-94.60)
	左中柱	-57.34	99.45(126.30)	-36.95	66.78(78.92)	-42.39	75.50(92.18)
	右中柱	-27.32	35.00(73.44)	-25.15	38.44(61.46)	-19.42	30.48(46.83)
	右边柱	-49.12	97.35(99.35)	-74.30	145.10(147.60)	-77.31	145.90(159.60)
	总和	-92.12	152.23(214.48)	-90.93	155.91(203.82)	-91.20	157.56(204.01)
第五层	左边柱	40.91	-75.69(-86.02)	72.68	-130.20(-155.10)	43.99	-78.61(-95.61)
	左中柱	-46.16	55.66(125.90)	-28.38	39.62(72.20)	-29.07	45.78(69.85)
	右中柱	25.03	-49.84(-48.07)	6.14	-9.61(-14.55)	7.06	-9.57(-18.66)
	右边柱	-52.44	99.55(107.60)	-82.74	144.90(180.00)	-54.39	96.47(119.10)
	总和	-32.66	29.68(98.78)	-32.30	44.71(82.55)	-32.41	54.07(74.68)

表 3 不同刚度折减方案层间位移及顶点位移计算结果比较 (单位:mm)

层号	实际折减刚度	美国规范	建议第一方案
1	6.092	6.220	5.695
2	6.640	5.927	5.799
3	6.900	6.061	6.573
4	6.380	5.510	6.253
5	5.718	4.533	5.158
6	4.917	3.392	3.726
7	3.913	2.296	2.826
8	1.897	0.854	1.049
结构顶点位移	42.457	34.793	37.079

注:上述三种方法中刚度折减系数的取值原则分别同算例一。

算例 2 的计算结果如表 3 和表 4 所示。其中的规律与算例 1 大致相同,这里不再重复分析。

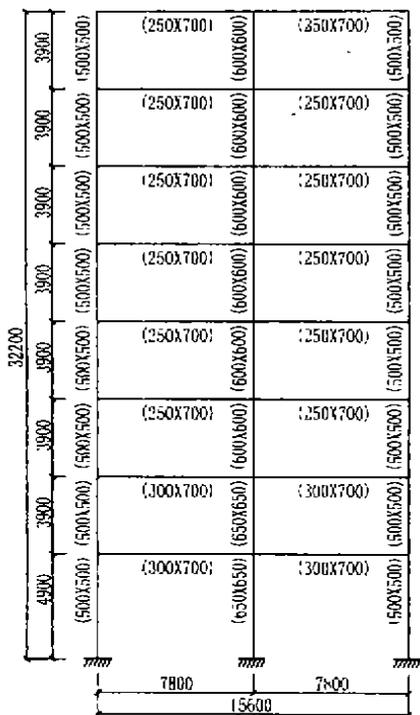


图 3 框架立面图(算例 2)

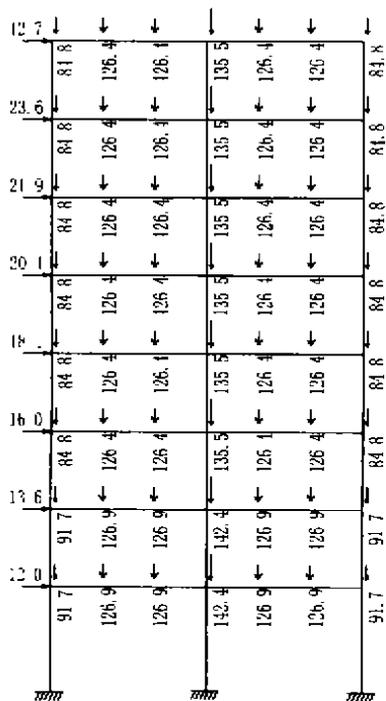


图 4 恒载、风荷载图(算例 2)

表 4 三种分析方法计算结果比较 (单位:剪力 kN;弯矩 kNm)

楼层	柱子位置	实际折减刚度		美国规范		建议第一方案	
		剪力	下端(上端)弯矩	剪力	下端(上端)弯矩	剪力	下端(上端)弯矩
第一层	左边	-9.87	82.37(-43.75)	-11.65	69.45(-21.45)	-5.64	68.82(-51.10)
	中柱	-97.95	346.60(125.40)	-99.09	317.40(164.00)	-101.70	348.20(143.90)
	右边	-71.27	187.90(166.80)	-66.93	168.70(168.70)	-70.51	183.20(168.30)
	总和	-179.09	616.87(248.45)	-177.67	555.55(311.25)	-177.85	600.22(261.10)
第二层	左边	42.39	-87.04(-79.47)	36.67	-80.33(-67.79)	39.19	-80.31(-74.48)
	中柱	-84.07	169.30(160.70)	-82.87	157.70(169.50)	-75.53	150.70(146.00)
	右边	-122.20	253.60(227.50)	-116.20	237.80(221.20)	-125.60	252.50(242.80)
	总和	-163.88	335.86(308.73)	-162.40	314.97(322.91)	-161.94	322.89(314.32)
第五层	左边	56.33	-111.30(-102.90)	52.16	-107.60(-97.05)	48.65	-102.10(-88.81)
	中柱	-52.01	91.59(107.50)	-48.94	84.72(108.50)	-50.03	87.50(110.40)
	右边	-103.50	192.90(214.60)	-101.00	192.90(204.70)	-96.93	186.10(196.00)
	总和	-99.18	173.19(219.20)	-97.78	170.02(216.15)	-98.31	171.50(217.59)
第七层	左边	54.76	-101.00(-109.70)	63.76	-135.40(-113.90)	45.91	-90.68(-89.94)
	中柱	-31.40	29.44(89.59)	-22.13	30.54(56.57)	-25.69	38.96(62.20)
	右边	-68.28	129.40(140.40)	-85.84	166.40(169.90)	-64.55	120.40(134.40)
	总和	-44.92	57.84(140.40)	-44.21	61.54(112.57)	-44.33	68.68(106.56)
第八层	左边	64.49	-115.80(-138.60)	102.8	-175.30(-226.80)	76.25	-135.80(-163.40)
	中柱	-3.10	-20.22(33.28)	-7.68	5.66(24.53)	-6.19	5.09(19.48)
	右边	-76.97	138.00(165.00)	-110.40	181.30(251.00)	-85.40	150.50(184.80)
	总和	-15.58	1.98(59.68)	-15.28	11.66(48.73)	-15.34	19.79(40.88)

6 折减刚度法与传统 $\eta - l_0$ 法的对比

在表5给出了在竖向满载(恒载及活载)和一个方向的水平荷载(风荷载)作用下用各种方法计算出的算例1各柱段的最大一阶端弯矩和最大二阶端弯矩,其中所用的方法有:

(1) 用各梁、柱杆件在上述受力状态下的折减刚度(实际刚度)通过弹性一阶分析求得的柱端最大一阶弯矩和通过弹性二阶分析求得的柱端最大总弯矩(一阶加二阶弯矩);

(2) 用美国 ACI318-95^[1]的折减刚度通过一阶弹性分析和二阶弹性分析分别求得的柱端最大一阶弯矩和最大总弯矩;

(3) 用本文建议的折减刚度第一方案通过一阶弹性分析和二阶弹性分析分别求得的柱端最大一阶弯矩和最大总弯矩;

表5 算例1用各种方法计算柱端控制截面弯矩的结果对比

单位:kNm

层号	位置	弯矩类型	经过刚度折减的二阶弹性分析			传统方法	
			实际折减刚度	美国规范 ACI318-95	建议方案一	ACI318-95 ($\delta - l_0$)	中国规范 ($\eta - l_0$)
	中柱	一阶总弯矩	211.5	198.3	205.7	198.3(206.0, -7.7)	188.60
		考虑二阶效应后的总弯矩	225.7	215.3	221.8	254.95	272.62
1	右边柱	一阶总弯矩	164.1	143.3	166.4	143.3(70.8, 72.5)	125.40
		考虑二阶效应后的总弯矩	166.7	147.9	171.0	162.74	174.15
	中柱	一阶总弯矩	92.03	98.52	96.80	98.5(121.3, -22.8)	98.54
		考虑二阶效应后的总弯矩	103.1	108.8	107.5	127.96	164.07
2	右边柱	一阶总弯矩	184.8	180.0	163.1	180.0(55.7, 124.3)	148.30
		考虑二阶效应后的总弯矩	190.6	185.5	167.4	193.5	189.64
	中柱	一阶总弯矩	80.74	80.86	77.03	80.9(98.7, -17.8)	78.45
		考虑二阶效应后的总弯矩	87.93	86.93	83.62	99.91	127.69
3	右边柱	一阶总弯矩	140.5	166.3	161.5	166.3(45.2, 121.1)	139.20
		考虑二阶效应后的总弯矩	142.4	169.0	164.4	175.08	169.79
	中柱	一阶总弯矩	67.39	58.92	42.91	58.9(66.9, -8.0)	51.97
		考虑二阶效应后的总弯矩	73.44	61.46	46.83	58.9	84.84
4	右边柱	一阶总弯矩	98.87	147.6	157.9	147.6(30.1, 117.5)	124.0
		考虑二阶效应后的总弯矩	99.35	147.6	159.6	147.6	144.03
	中柱	一阶总弯矩	-48.68	-16.44	-19.42	-16.4(28.8, -45.2)	-7.88
		考虑二阶效应后的总弯矩	-49.84	-14.55	-18.66	-16.4	-15.30
5	右边柱	一阶总弯矩	107.00	177.5	118.7	177.5(12.8, 164.7)	132.40
		考虑二阶效应后的总弯矩	107.60	180.0	119.1	177.5	142.10

注:表中 ACI318-95 一栏括号外的数字表示一阶总弯矩;括号内的第一个数字表示引起框架明显侧移的弯矩(M_{1s}),在本算例中即为水平荷载(风荷载)所引起的弯矩;括号内的第二个数字表示引起框架明显侧移的弯矩(M_{2s}),在本算例中即为竖向荷载(恒载+活荷载满布)所引起的弯矩。表中“中国规范”系指《混凝土结构设计规范》修订稿(1999征求意见稿)所提方法。

(4) 按美国 ACI318-95^[1] 的传统 $\delta-l_e$ 法算得的柱端总弯矩, 其中一阶弯矩是按 ACI318-95^[1] 规定的梁、柱折减刚度经弹性一阶分析算出的。

(5) 按我国《混凝土结构设计规范》99 年修订稿(征求意见稿)的 $\eta-l_0$ 法算得的柱端总弯矩(这时初始偏心 e_0 仍按 GBJ10-89^[3] 取用, 同时, 一阶弯矩是用未折减的弹性刚度经一阶分析算出的)。

分析结果的对比表明, 各种方法的计算结果, 特别是其中前三种方法的计算结果总体处于比较一致的水平, 相互差异虽然在某些杆端相对较大, 但总的来说还是可以接受的。美国 $\delta-l_e$ 法和我国 $\eta-l_0$ 法算得的值比前三种方法算得的稍偏大, 我国 $\eta-l_0$ 法又比美国 $\delta-l_e$ 法算得的更大些, 说明传统法都稍偏安全, 而我国方法又更偏安全些。

根据以上分析可以认为上述几种方法从总体上说是等价的, 可以在工程中同时使用。

7 结论及建议

(1) 分析结果证明, 美国和新西兰的考虑钢筋混凝土框架实际非线性特征的刚度折减系数都是从框架顶点位移和层间位移相同或相近的对比标准下得出的“综合刚度折减系数”。用它计算杆件内力, 计算结果(内力相对大小和分布规律)既不同于弹性内力分析结果, 也不同于非线性杆系有限元法的分析结果。用本文讨论的各种刚度折减方法所得的分析结果总体是相近的, 但不排除局部差异可能较大。如果说, 非线性杆系有限元分析结果较能反映框架各杆件在相应受力条件下的真实受力状态, 那么, 弹性分析结果与它的差异在某些部位就仍可能较大。按弹性内力做截面设计的框架就只能靠内力重分布来适应非弹性受力状态下的内力变化。如果承认这个前提, 也就不会对非线性简化方法(折减刚度法)与弹性分析法在内力上的差异不会感到不可接受。

(2) 根据分析结果本文建议框架梁、柱刚度折减系数可以考虑以下两个方案:

方案 1: 梁(带现浇板的 T 形截面)为 0.3; 梁(矩形截面或翼缘宽度很小的 T 形截面)为 0.4; 柱: 当 $N/f_c b_c h_c \leq 0.2$ 时, 取 0.35; 当 $0.2 < N/f_c b_c h_c \leq 0.6$ 时, 取 0.6; 当 $N/f_c b_c h_c > 0.6$ 时, 取 0.9; 剪力墙: 未开裂时取 0.75, 开裂时取 0.35; 剪力墙连梁: 暂按框架梁取用。

方案 2: 梁(带现浇板的 T 形截面)为 0.35; 梁(矩形截面或翼缘宽度很小的 T 形截面)为 0.4; 柱为 0.7; 剪力墙和剪力墙连梁同方案 1。

参考文献:

- [1] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318 R-95) [S]. American Concrete Institute, Detroit, 1995
- [2] New Zealand Standard Concrete Structure Standard (NZS3101 (1994)) [S]
- [3] 混凝土结构设计规范 (GBJ10-89) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993

(下转第 108 页)

参考文献:

- [1] 艾运均. 工程图学分析引论[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984
[2] 陈万钟. 画法几何解题方法[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1984

An Elementary Introduction to Graphic Methods for the Intersection of Straight Line with Curved Surface

ZHENG Hai-lan

(Department of Architecture, Chongqing Architectural College, Chongqing 400030, China)

Abstract: The problem of intersection point of a straight line with a curved surface can be solved on the basis of the interrelation of their positions, their opposite projection and surface characteristics, by changing their projection characteristics through the methods of supplementary surface, supplementary projection and inverse evolution.

Keywords: straight line and curved surface; intersection point; graphic method

(上接第 32 页)

RC Frame Component's Stiffness Reduction Factor Considering Non - elastic Characteristics

LIU Yi, WEI Wei, BAI Shao-liang

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing Jianzhu University, Chongqing 400045, China)

Abstract: The simplified method, in which second - order elasticity analysis having undergone stiffness reduction is employed to research into sway frames' second order effect, has begun to be accepted by Chinese Standard. In the proper ascertainment of the value of stiffness reduction factor considering non - elastic characteristic, it is advisable to properly choose the checking computation method of the stiffness reduction on the basis of a comprehensive analysis of RC frame. Combined with a contrastive analysis of the present schemes in USA and New Zealand, a scheme to ascertain the RC frames component's stiffness reduction is proposed for the revision of the Chinese Standard.

Keywords: second order elastic analysis based on stiffness reduction; sway frames; second order effect; stiffness reduction factor