

结构内力调整及其在 SATWE 中的体现

许春懿

(北京建筑大学, 北京 100044)

【摘要】本文将结构内力调整分为三种类型,即整体调整、局部调整、构件调整,并逐一介绍了规范中的调整方法,以及结合当今国内的主流设计软件 SATWE,阐述了利用软件实现内力调整的方法。

【关键词】内力调整;整体调整;局部调整;构件调整;SATWE

【中图分类号】TU973.3⁺1;TU311.4 【文献标识码】B 【文章编号】1674-7461(2014)00-0071-04

引言

在结构设计过程中,为了实现小震不坏、中震可修、大震不倒的抗震性能目标,工程设计人员一方面采用概率理论为基础的极限状态设计方法;另一方面,设计人员在设计中融入概念设计的概念。概念设计的一个重要体现就是通过内力调整。

根据目前《建筑抗震设计规范》GB50011-2010、《高层混凝土结构设计规范》JGJ3-2010 可以将内力调整主要可分为三类即,整体调整、局部调整、构件调整。

1 整体调整

1) 结构的扭转耦联影响

在水平地震作用下,结构的扭转耦联影响应按《抗规》5.2.3 条进行调整。规则结构不进行扭转耦联计算时,平行于地震相互作用方向的两个边榀各构件,其地震作用效应应乘以增大系数。一般情况,短边可按 1.15 采用,长边可按 1.05 采用;当扭转刚度较小时,周边各构件按不小于 1.3 采用。角部构件宜同时乘以两个方向各自的增大系数。

SATWE 中强制考虑扭转耦联影响,因此不必人为进行干预。

2) 水平地震剪力调整——剪重比(抗规 5.2.5 条)

剪重比是规范考虑长周期结构用振型分解反

应谱法和底部剪力法计算时,因地震影响系数取值可能偏低,而规定了楼层水平地震剪力的最小值。由于地震影响系数在长周期段下降很快,对于周期大于 3.5s 的结构,由此计算的水平地震效应可能过小。对于长周期结构,地震地面运动速度和位移可能对结构的破坏影响更大,但规范中的振型分解反应谱法无法做出合理估计,因此,处于对结构安全的考虑《抗规》5.2.5 条和《高规》4.3.13 都对此作出了规定。

当计算所得剪力不满足规范要求时,《抗规》中给出了以下三种情况下的调整方法:

a. 若结构基本周期位于反应谱的加速度控制段时,各楼层均需乘以同样大小的增大系数。

b. 若结构基本周期位于反应谱的位移控制段时,则各楼层 i 均需按底部的剪力系数的差值 $\Delta\lambda_0$ 增加该层的地震剪力—— $\Delta F_{EKi} = \Delta\lambda_0 G_{Ei}$ 。

c. 若结构基本周期处于反应谱的速度控制段时,则增加值应大于 $\Delta\lambda_0 G_{Ei}$,顶部增加值可取位移作用和加速度作用二者的平均值,中间各层的增加值可近似按线性分布。

SATWE 中计算剪重比时,采用的剪力是通过

对地震作用 CQC 得到的,剪力的实际放大系数为

$\lambda = \max(1, \frac{V_{gki, \min}}{V_{Eki}})$ 。如图 1 所示,勾选调整楼层地震内力后,程序会自动根据规范条文说明的方法进行剪重比调整。弱轴方向指第一平动周期方向,强轴方向指第二平动周期方向。动位移比例

要根据结构周期与 T_g 及 $5T_g$ 的关系确定,当结构周期处于加速度段时,此处填 0;当位于位移段时,此处填 1;位于速度段时填 0.5。填充后,软件会自动按照《抗规》中给出的方法进行调整。需要指出的是,之后用到的结构计算内力都是经过剪重比调整的。

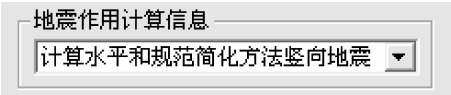


图2 SATWE 中的竖向地震作用计算信息

2 局部调整

1) 竖向不规则调整

竖向不规则包括:侧向刚度变化、抗剪承载力变化、竖向抗侧力构件不连续等。对于此类结构,《抗规》和《高规》的调整方法不同。

《高规》3.5.8 条规定,侧向刚度变化、承载力变化、竖向抗侧力构件连续性不符合规定的楼层,其对应于地震作用标准值的剪力应乘以 1.25 的增大系数。

而《抗规》3.4.4.2 条规定,平面规则而竖向不规则的建筑,应采用空间结构计算模型,刚度小的楼层的地震剪力应乘以不小于 1.15 的增大系数。竖向抗侧力构件不连续时,该构件传递给水平转换构件的地震内力应根据烈度高低和水平转换构件的类型、受力情况、几何尺寸等,乘以 1.25~2.0 的增大系数。

《高规》3.5.8 条规定,A 类高度建筑层间受剪承载力不宜小于上一层的 80%,不应小于上一层的 65%;B 类高度建筑不应小于上一层的 75%。

而《抗规》3.4.4.2 条(3)规定,楼层承载力突变,薄弱层受剪承载力不应小于上一层的 65%。

不同于规范,SATWE 软件将软弱层与薄弱层统称为薄弱层。用户可以根据计算的楼层抗剪承载力比值,以及竖向抗侧力构件不连续情况,人工指定薄弱层位置(如图 3 所示)实现薄弱层调整,软件也会自动根据侧向刚度比自动判断薄弱层,并乘以 1.25 的地震内力放大系数。

例如图 5 所示模型,将一层柱截面尺寸设置为 250×250mm,梁截面为 250×300mm,二层柱设置为 500×500mm,梁为 500×800mm。其薄弱层设置情况如图 3 所示,计算结果如图 4 所示,可以看出程序自动将地震内力扩大了 1.25 倍。

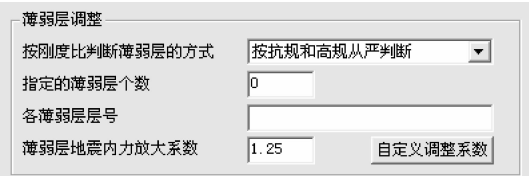


图3 薄弱层的内力调整

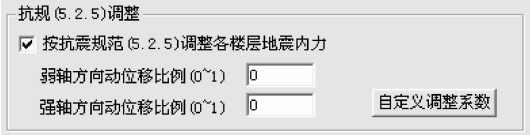


图1 SATWE 剪重比调整

3) 考虑地基与结构动力相互作用的影响的调整

抗震规范 5.2.7 条规定 8 度和 9 度时建造在Ⅲ、Ⅳ类场地,采用刚性较好的筏基和桩箱联合基础的砼高层建筑,当结构基本自振周期处于特征周期 T_g 的 1.2 倍至 5 倍范围时,对刚性地基假定计算出来的水平地震剪力可适当折减,其层间变形可按折减后的楼层剪力计算。

a. 高宽比小于 3 的结构,各楼层的水平地震剪力的折减系数,可按下式计算:

公式 1

$$\varphi = \left(\frac{T_1}{T_1 + \Delta T} \right)$$

φ ——计入地基与结构动力相互作用后的地震剪力折减系数;

T_1 ——按刚性地基假定确定的结构基本自振周期;

ΔT ——计入地基与结构动力相互作用的附加周期

b. 高宽比不小于 3 的结构,底部的地震剪力按 A 规定折减,顶部不折减,中间各层按线性插入值折减。

SATWE 中并未考虑地基与结构相互作用的影响,因此在计算中不会折减。

4) 竖向地震调整

抗规 5.3.1 条与高规 4.3.13 条都涉及了建筑物的竖向地震作用可按各构件承受的重力荷载代表值的比例分配,并宜乘以增大系数 1.5。

如图 2 所示,在此状态下,SATWE 可以实现《抗规》5.3.1 条,计算时程序会自动对竖向地震作用效应增加 1.5 倍。

(iCase)	Shear-X	Shear-Y	Axial	Hx-Btm	My-Btm	Mx-Top	My-Top
N-C = 1	Node-i= 5,	Node-j= 1,	DL= 3.000(m),	Angle= 0.000			
(1*)	-32.1	0.0	37.4	0.0	-51.7	0.0	44.7
(1)	-40.2	0.0	46.8	0.0	-64.6	0.0	55.9
(2*)	0.0	-32.1	37.4	51.7	0.0	44.7	0.0
(2)	0.0	-40.2	46.8	64.6	0.0	55.9	0.0
(3)	-10.0	0.0	10.2	0.0	-15.9	0.0	13.9
(4)	0.0	-10.0	10.2	15.9	0.0	13.9	0.0
(5)	0.7	0.7	-184.7	-0.7	0.7	-1.4	-1.4
(6)	0.3	0.3	-36.0	-0.3	0.3	-0.6	-0.6
C_WKX=	1.250	C_WKY=	1.250				

图 4 薄弱层的内力调整结果

Floor No.	1	Tower No.	1				
Xstif=	3.0000(m)	Ystif=	3.0000(m)	Alf =	45.0000(Degree)		
Xmass=	3.0000(m)	Ymass=	3.0000(m)	Gmass(活荷折减)=	31.5750(	27.9750)	(t)
Eex =	0.0000	Eey =	0.0000				
Ratx =	1.0000	Raty =	1.0000				
Ratx1=	0.4781	Raty1=	0.4781				
薄弱层地震剪力放大系数=							
RJX1 =	1.6204E+04(kN/m)	RJY1 =	1.6204E+04(kN/m)	RJZ1 =	0.0000E+00(kN/m)		
RJX3 =	1.3108E+04(kN/m)	RJY3 =	1.3108E+04(kN/m)	RJZ3 =	0.0000E+00(kN/m)		

图 6 薄弱层自动判断情况



图 5 框架模型简图

2) $0.2V_0$ 调整

对于框架剪力墙结构为了调高框架部分的二道防线抗震能力,《高规》8.14 条规定这类结构中满足框架承担的总剪力 $V_f \geq 0.2 V_0$ 的楼层,框架总剪力不必调整;不满足要求的楼层,其框架总剪力应按 $0.2V_0$ 和 $1.5V_{fmax}$ 二者的较小值采用。各层框架所承担的地震总剪力应按调整前、后总剪力的比值调整每根框架柱和与之相连框架梁的剪力及端部弯矩标准值,框架柱的轴力标准值可不予调整。

同样对于框架核心筒结构,《高规》9.1.11 规定当框架部分分配的地震剪力标准值的最大值小于结构底部地震剪力标准值的 10% 时,各层框架部分承担的地震剪力标准值应增大到结构底部总地震剪力标准值的 15%;此时各层核心筒墙体的地震剪力标准值宜乘以增大系数 1.1,但可不大于结构底部总地震剪力标准值,墙体构造措施应按提高一级采用。当框架部分分配的地震剪力标准值小于结构底部总地震剪力标准值的 20%,不小

于总地震剪力标准值的 10% 时,调整方法同框架剪力墙结构。

对于框架柱数量从下至上基本不变的结构, V_0 应取对应于地震作用标准值的结构底部总剪力;对于框架柱数量从下至上分段有规律变化的结构,应 V_0 取每段底层结构对应于地震作用标准值的总剪力。因此 SATWE 中采用分段调整的方法(如图 7 所示),设计人员可根据实际情况对结构进行调整,默认情况下,程序会自动进行 $0.2 V_0$ 的调整。当输入的起始楼层号为负值时,调整系数会不受限值要求。当输入调整系数上限值为 0 时,表示不做 $0.2 V_0$ 调整。所做的调整结果可在 WVO2Q 文件中可以看到。

0.2V₀ 分段调整

0.2/0.25V₀ 调整分段数

0

0.2/0.25V₀ 调整起始层号

0.2/0.25V₀ 调整终止层号

0.2V₀调整系数上限

2

自定义调整系数

图 7 SATWE 中的内力调整

3) 水平转换构件

对于存在水平转换层的结构,包括采用转换梁、桁架、空腹桁架、箱型结构、斜撑等,《高规》10.2.4 条规定特一、一、二级转换结构的水平地震作用计算内力应分别乘以增大系数 1.9、1.6、1.3。

SATWE 中首先应定义薄弱层层号,然后再到特殊构件补充定义中进行转换构件定义才可实现此项调整。

0.2V0 调整系数

以下为程序自动计算的系数，如用户自己定义了系数，则以自定义系数为准

第 1层, 第 1塔			
0.2V0x =	4015.83	1.5Uxmax =	1515.66
0.2V0y =	3147.93	1.5Uymax =	1620.60
Coef_x	Coef_y	Ucx	Ucy
5.659	8.514	267.848	190.348

图8 SATWE的0.2V0内力调整结果

3 构件调整

构件调整主要是指强柱弱梁、强剪弱弯、强节点弱构件调整。在 SATWE 中,这些调整主要是通过设置构件的抗震等级来实现。

1) 框支剪力墙结构

- a. 框支剪力墙内力调整
- b. 框支柱内力调整

由于落地剪力墙的抗侧刚度远大于框支柱,因此在水平作用下,剪力墙会承担绝大部分的水平力,考虑到实际工程中转换层的面内变形和落地剪力墙的刚度衰变会导致框支柱剪力增大,因此《高规》10.2.17 和《抗规》6.2.10 都规定了框支柱的数量和框支柱承担的最低剪力。

表 1 《高规》中规定的框支墙内力调整系数					
		特一级	一级	二级	三级
地震作用组合 M	底部加强区	1.8	1.5	1.3	1.1
V	底部加强区	1.9	1.6	1.4	1.2

表 2 《抗规》中规定的框支柱内力调整系数					
		一级	二级	三级	四级
顶层上端、底层下端 M		1.5	1.25	—	—
其它层 M		1.4	1.2	1.1	1.1
V《抗规》6.2.5		1.4	1.2	1.1	1.1
地震引起的附加 N		1.5	1.2	—	—

2) 框架柱

梁柱节点处,柱端组合弯矩值剪力值调整。

表 6 《高规》中剪力墙内力调整系数							
		特一级	一级 9 度	一级	二级	三级	四级
底部加强部位 M		1.1	—	—	—	—	—
其他部位 M		1.3	1.2	1.2	—	—	—
底部加强部位 V	考虑地震作用组合的	1.9	1.1 $\frac{M_{wua}}{M_w}$	1.6	1.4	1.2	1.0
其他部位 V	考虑地震作用组合的	1.4	1.3	1.3/1.4(双肢)	—/1.2(双肢)	—/1.1(双肢)	—

表 3 《抗规》中规定的框架柱内力调整系数		一级	二级	三级	四级
其他 M	$1.2 \sum M_{bua} / 1.7$	1.5	1.3	1.2	
底层柱下端 M	$1.7 \times 1.2 \sum M_{bua} / \times 1.7$	1.5 \times 1.5	1.3 \times 1.3	1.2 \times 1.2	
柱 V	1.2 实配值/1.5	1.3	1.2	1.1	

此表不适用于顶层柱和轴压比小于 0.15 的框架柱。

一、二、三、四级框架的角柱,调整后的组合弯矩、剪力设计值还应乘以不小于 1.1 的增大系数。

3) 框架梁、连梁剪力调整

表 4 框架梁、连梁的剪力调整系数		一级 9 度	一级	二级	三级	四级
V	1.1 实配值	1.1 实配值/1.3	1.2	1.1	1.0	

4) 剪力墙内力调整

对于剪力墙的内力调整,《抗规》和《高规》存在一些差异。比较而言,《高规》所规定的内容更为详细。对于一级剪力墙的加强部位以上部位的内力调整,二者存在差异,《高规》的内力放大系数是 1.3,而《抗规》则为 1.2。

表 5 《抗规》中剪力墙内力调整系数		一级 9 度	一级	二级	三级
加强部位以上 M		1.2	1.2	—	—
底部加强部位 V	1.1 $\frac{M_{wua}}{M_w}$	1.6	1.4	1.2	

双肢剪力墙不宜出现小偏心受拉;当任一墙肢为偏心受拉时,另一墙肢的弯矩设计值和及剪力设计值应乘以增大系数 1.25。

4 结束语

内力调整是结构设计过程中概念设计的重要表现,对于结构整体的宏观控制具有重要意义,工程设计人员应合理把握,通过熟悉了解 SATWE 软件的关于规范内力调整的执行方法,才能保证结构设计的安全性与合理性。

参考文献

- [1] GB50011-2010. 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [2] JGJ 3-2010. 高层建筑混凝土技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [3] 徐培福,戴国莹. 超限高层建筑结构基于性能抗震设计的研究[J]. 土木工程学报,2005,38(1):1.
- [4] 扶长生,张小勇,鞠进,等. 高层建筑合理性能目标的选取和实现[J]. 建筑结构,2011,41(S1),1-8.
- [5] 扶长生,张小勇,朱凤涛. 对中震不屈服设防目标的讨

- 论[J]. 建筑结构,2010(8):83-89.
- [6] 张根俞,朱炳寅,张路等. 某大底盘多塔框支剪力墙结构设计与分析[J]. 建筑结构,2014,44(5):57-61.
- [7] 扶长生. 抗震设计中的平扭耦联问题[J]. 建筑结构学报,2006,27(2):40-46.
- [8] 扶长生,鞠进. 楼板不规则及其对结构抗震设计的影响[J]. 建筑结构,2010,40(6):85-89.
- [9] 林同炎,S·D·斯多台斯伯利. 结构概念和体系[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [10] 徐培福. 复杂高层建筑结构设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005

Structural Design and Revelation of a Frame-supported Shearwall Building

Yang Yifen

(Tianhua Architecture planning & Engineering Ltd., Shanghai 200235, China)

Abstract: The structural system of T11-12 building in Rainbow Lot 9 is frame-supported shearwall. With Performance-based design method, it can be proved that the strength and ductility of structure were favorable. According to the result of Pushover analysis, the ductility design was adopted for the shearwall above transfer story. By the above work, it is showed that seismic performance objectives and yield mechanism should be considered correctly, and the structure should be balanced between strength and ductility.

Key Words: Performance-based Design; Yield Mechanism; Frame-Supported Shearwall; YJK

(上接第 74 页)

参考文献

- [1] GB50011-2010 建筑抗震设计规范[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010
- [2] JGJ3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010
- [3] SATWE 用户手册. 中国建筑科学院. 北京,2010
- [4] 马成. 建筑结构剪重比的控制及在 PKPM 软件中的应用[J]. PKPM 新天地,2013,100:26-28.

- [5] 周莹. 多高层建筑结构抗震设计内力调整. 科技情报开发与经济,2004
- [6] 马洪步. 抗震设计内力调整系数的讨论. 建筑结构,北京
- [7] 周雪峰,魏伟. PKPM 结构设计软件运用中的概念设计,重庆工学院学报,2007
- [8] 林涛,宋妍. SATWE 结果文件的分析及应用. 工程结构,2012
- [9] 田浩. 高层建筑剪重比控制与调整,建筑结构
- [10] 王辉. 对剪重比的理解与控制,山西建筑,2007

Structrue Innerforce Adjustment and the Realization in the SATWE Software

Xu Chunyi

(Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

Abstract: In this paper, the structure innerforce adjustment was divided into three categories which included the whole structure adjustment, local structure adjustment and component adjustment. The author introduced the adjustment method in main Chinese Code one by one and the realization methods by the SATWE software.

Key Words: Innerforce Adjustment; Whole Structure Adjustment; Partial Structure Adjustment; Component Adjustment; SATWE