

您现在的位置: 首页 >> 四川建筑杂志 - 精选文章

不规则结构扭转效应控制的对比分析与研究

(所属杂志: 此文章来自原稿) 发布时间: 2010-07-09 已阅读: 2722

于子武, 李进, 李青宁

(西安建筑科技大学土木学院, 陕西西安710055)

摘要: 依据国内外规范对不规则结构扭转控制的条文规定, 本文对不规则结构扭转控制进行分析与研究, 阐述了偶然偏心问题的来源, 分析耦联、非耦联周期比与偏心率之间的关系, 结果表明, 我国现行规范在偶然偏心问题和周期比限制方面仍存在不完善之处, 计算结构扭转效应时无论单、双向地震输入都需要考虑偶然偏心, 在考虑偶然偏心的同时可以放宽对周期比的限制。

关键词: 不规则结构; 扭转效应; 偶然偏心; 位移比; 周期比

中图分类号: TU352.1 文献标识码: A

随着我国城市建设的发展, 高层建筑发展迅速, 建筑功能日趋多样化, 建筑师也不再局限于简单规则的建筑外观, 这些都使得高层建筑结构形式日趋复杂。因此随着复杂体型和不规则结构的高层建筑的逐渐增多, 已成为一种建筑发展趋势, 成为结构工程师设计工作的重点和难点。平面不规则包括凹凸不规则、扭



四川建筑杂志

四川建筑杂志

精选文章

杂志简介

广告刊例

编委会名单

投稿须知



站内搜索

请输入关键字

搜索

转不规则以及楼板局部不连续。结构平面不规则、不连续、不对称造成结构受力情况非常复杂，大量震害调查表明，扭转将产生对结构不利的影晌，加重建筑结构的地震震害。1972年尼加拉瓜马那瓜地震中，15层的中央银行采用框架结构，两个钢筋混凝土电梯井和两个电梯间，均集中于建筑物的一端，同时该端山墙上还砌有填充墙，造成结构很大的偏心，地震时扭转振动强烈，造成严重破坏，修复费用高达原房屋造价的80%;另一幢18层的美洲银行，采用对称布置的钢筋混凝土墙筒，震后该建筑仅3~17层连梁有轻微裂缝，几乎没有其他结构性和非结构性破坏，与中央银行形成鲜明对比^[1]。因此，对建筑结构进行扭转分析、控制及设计是十分必要的。

1 各国抗震规范对结构（不）规则的判断准则及地震扭转设计分析方法

1.1 结构不规则性准则

结构不规则性判断准则隐含了结构扭转效应的宏观控制指标，对结构扭转效应起概念性控制，各国规范对结构规则与否的判断大致分三个方面：结构平面布置（结构平面刚度和质量分布）和立面体形；结构侧向刚度和质量沿高度的分布；楼层承载能力。表 1列出了几个国家规范对（不）规则结构的规定。

表 1 各国规范对（不）规则结构的规定

规范	平面不规则类型	定义
中国 GB50011-200 1	扭转不规则	楼层的最大弹性水平位移（或层间位移）大于该楼层两端弹性水平位移平均值的1.2倍
	凹凸不规则	结构平面凹进的一侧尺寸，大于相应投影方向总尺寸的30%
	楼板局部不连续	楼板的尺寸和平面刚度急剧变化
		垂直于某轴线的结构一端的最大

美国 UBC97	扭转不规则	层位移（考虑偶然扭矩的影响） 大于结构两端的层位移平均值的 1.2倍
	凹角不规则	结构的平面及其抗侧力体系有凹角，且凹角的两边突出部分均大于该方向结构平面尺寸的15%
	楼板不连续	横隔板突然不连续或其刚度变化，包括挖去的或开门的面积大于横隔板毛面积的50%，或某楼层到相邻楼层的横隔板有效刚度变化大于50%
	平面外分支	抵抗侧向力的路线不连续，如垂直构件的平面外分支
	不平行体系	垂直抗侧力构件与抗侧力体系的主正交轴不平行也不对称
美国 NEHRP(2003) 和IBC2003	扭转不规则	比UBC97多定义严重扭转不规则类型1b：即扭转位移比大于1.4时；其余均与UBC97相同（抗震设计类别为E、F时不允许采用不规则结构1b)
欧洲 EC8 (2003)	扭转规则	各楼层的x、y向上，结构刚度偏心距e及刚度扭转半径r满足： $e/r \leq 0.3$ ， $r \geq L_s$ （质量回转半径）

		建筑结构在平面内沿两正交方向的侧向刚度和质量分布接近对称
	凹角规则	平面轮廓简洁紧凑，即无诸如H, I, X等形状，总凹角或单一方向凹入尺寸不超过对应方向建筑总外部平面尺寸的25%
	楼板连续性	楼板平面内刚度同竖向结构构件的侧向刚度相比足够大，以至于楼板变形对竖向结构构件间力的分配影响很小
		在给出了地震力分配情况下，加上偶然偏心，任一楼层沿地震作用方向的位移不超过平均楼层位移的20%
新西兰 NZS-4203	扭转规则	在规范规定的等效横向静力作用下，垂直于横向力方向的端部水平位移比在 $3/7 \sim 7/3$ 之间
		在任意一层，这层以上所有层的质量中心到该层剪力中心的距离不超过0.3倍的层宽度（在垂直于水平力的方向上的尺寸），而且偏心的方向与以上各层相同；
		楼板没有刚度突变或者能显著影响结构的横向力分配力的凹角

注：刚度偏心距e：指刚度中心与质量中心的距离；刚度扭转半径r：指扭

转刚度与侧向刚度比值的平方根

1.2 各国抗震设计方法对比

各国抗震规范中受扭结构的抗震设计方法【4】-【6】见表2、表3。

表2 各国抗震设计方法对比一

规范	地震反应分析方法	偶然扭矩及动力放大系数
<p>中国 GB50011-2001</p>	<p>(1) 对于规则结构可不进行扭转耦联计算 (2) 对于不规则结构采用扭转耦联振型分解反应谱法，当质量刚度明显不对称时还应考虑双向水平地震作用下的扭转影响</p>	<p>没有涉及偶然扭矩的要求，无动力放大系数的要求</p>
<p>美国 UBC97 NEHRP</p>	<p>(1) 等效静力法适用于规则且高度较低的结构。先用类似于底部剪力法的简化方法确定楼层的剪力，地震扭转作用为实际偏心扭矩与偶然偏心扭矩之和。 (2) 振型分解法适用于较复杂或要求较高的结构，对不规则结构必须采用三维空间分析模型 (3) 对于沿两正交方向的扭转效应的组合，对不同的结构类型，</p>	<p>当楼板非柔性时计入偶然扭矩$0.05L_x$；扭转不规则时对偶然扭矩乘以放大系数$A_x = (\delta_{max} / 1.2\delta_{avg})$，$A_x$不超过3.0</p>

	<p>可以采取某个方向的较大值，或取一个方向的100%加上另一个方向的30%</p>	
<p>美国 IBC2003</p>	<p>(1) 等效静力法适用于抗震设计类别为C、D、E或F，高度不超过240英尺的扭转不规则结构，且对扭矩之和乘以动力放大系数A x;</p> <p>(2) 振型分解法：适用于抗震设计类别D、E和F中较复杂或高度较高的结构</p>	<p>同NEHRP</p>
<p>欧洲 EC8 (2003)</p>	<p>(1) 简化振型反应谱法：适用于主要方向的地震反应受高阶振型影响较小的建筑，规则结构扭转效应通过将各榀构件的效应乘以放大系数$\delta=1+0.6X/L_i$来考虑,其中X为该构件在垂直于楼层水平力方向离结构中心的距离，L_i为在上述方向最外边缘承载构件的距离；不规则结构采用$0.05L_i$偶然偏心考虑扭转；不规则但采用平面模型的扭转效应课通过偶然偏心距取$0.1L_i$及上式中0.6增加到1.2</p>	<p>计入偶然扭矩0.05B，但无扭矩动力放大的要求</p>

	<p>(2) 振型分解反应谱法分析：适用于所有结构，扭转效应通过0.05Li的偶然偏心距来考虑</p> <p>(3) 近似分析方法适用于某些平面不规则但立面规则的结构</p>	
<p>新西兰 NZS-4203</p>	<p>(1) 振型分解法：适用于不规则结构，与美国规范类似，只是对不规则结构采用空间分析时，调整质心位置与质量的分布已考虑偶然偏心的影响，当刚性楼面假定时可不调整</p> <p>(2) 时程分析法：适用于不规则结构</p> <p>(3) 等效静力法：类似于美国规范，只是偶然偏心距取0.1Lx</p>	<p>计入偶然扭矩0.1Lx</p>

表3 各国抗震设计方法对比二

规范	是否考虑双向地震作用	双向地震作用组合方法
<p>中国 GB50011-2001</p>	<p>质量和刚度分布明显不对称的结构</p>	<p>SRSS（两正交方向反应谱成0.85倍关系）</p>
<p>美国</p>	<p>地震分区2、3和4内，结构</p>	<p>(1) 输入方向100%+垂直方向30%；</p>

UBC97	在两个主轴方向均存在扭转 不规则	(2) SRSS (两正交方向反应 谱相同)
美国 NEHRP(20 03)	否	输入方向100%+垂直方向30%
美国IBC20 03	否	同UBC97
欧洲 EC8 (200 3)	是	同UBC97
新西兰 NZS4203	否	同UBC97

由表1、表2可以看出，在对扭转不规则的定义中，我国GB50011-2001、美国UBC、NEHRP、IBC和新西兰NZS4203的抗震规范都采用了扭转位移比控制指标，我国规范规定当位移比大于1.2时为不规则结构，上限为1.5；美国NEHRP、IBC还增加了位移比大于1.4时为严重不规则，并且通过动力放大系数 A_x 不超过3.0暗示位移比上限为2.0；就上限而言，我国的抗震规范要比美国的偏严，但是值得注意的是，美国规范采用随着扭转位移比增大而增大的动力放大系数 A_x 来提高结构的抗扭性能；新西兰NZS4203规定位移比在 $3/7 \sim 7/3$ 之间为规则结构，实际上位移比大于1.4时为不规则结构；欧洲EC8则通过偏心率来控制扭转，即同时满足 $e/r \leq 0.3$ 和 $r \geq L_s$ 为规则结构。此外，国外规范在计算扭转位移比时都要求考虑偶然偏心，只是偶然偏心的取值不同，我国抗震规范对规则结构可采用底部剪力法或振型分解反应谱法计算结构地震反应，对结构可能存在的偶然偏心采用平行于地震方向的边榫，地震作用效应乘以增大系数。但偶然偏心会引起所有构件产生扭转效应，而不仅仅是边榫，相比而言，我国抗震规范有进一步完善的空间。

2 偶然偏心问题的讨论

偶然偏心对不同结构的地震作用影响程度是不同的。但正是这些不同造成了对于该问题的认识模糊性和不一致性。

2.1 偶然偏心问题产生的原因

偶然偏心问题的产生是必然的。从随机理论的角度出发,地震作用下结构存

在着很大的不确定性。正是由于这种不确定性,导致了结构在设计和施工甚至使用中都存在偶然偏心的因素,如结构材料性质的不均匀性;荷载分布不均匀性以及结构计算模型与实际结构的差异等。这可以说是结构自身的特点所决定的,称之为偶然偏心的内因。另外,偶然偏心的产生也有其外在因素,一是地震作用本身。地震作用下产生的地震波存在扭转分量,但由于强震观测水平的局限性、扭转分量理论的近似性,目前仍然缺乏相当数量可靠的地震动扭转分量的强震记录。再加上目前抗震规范关于扭转分量设计参数的空白,使得地震扭转分量的考虑显得苍白无力。然而该分量的存在所导致的破坏相当严重,这也正是偶然偏心产生的另一个重要原因^[7]。

分析偶然偏心的产生原因,有利于充分考虑引起结构扭转效应的各种影响因素,从最低程度上加强结构扭转的抗震设计,以防止结构扭转破坏的发生,从而增大结构的抗扭能力。

2.2 关于偶然偏心问题的讨论

我国《抗震规范》和《高规》均是在一定条件下才要求考虑偶然偏心的,《高规》第3.3.3条的条文说明认为,计算双向地震作用时,可不考虑偶然偏心的影响。相比UBC97、NEHRP97、EC8三本规范均要求无条件计入偶然偏心的规定而言,我国的规范在偶然偏心问题上的要求明显更为宽松。

在是否考虑双向水平地震作用方面,我国规范认为对规则或接近规则的结构不要求考虑双向水平地震作用,原因是结构扭转效应(剪力和弯矩)在双向水平地震作用下差别不大。然而考虑双向水平地震作用的结构组合效应包括构件剪力、弯矩和轴力等的组合效应,按规范要求设计可能会对结构某些竖向构件的设计带来不安全的影响,因为即使是规则结构,也存在双向水平地震作用下轴力的组合效应问题。正如魏琏、王森^[8]等人对对称结构抗扭设计方法的研究和讨论中指出的那样:新高规中关于“当计算双向地震作用时可不考虑质量偶然偏心的影响”对于对称和规则结构是不妥当的。因为对称结构在双向地震作用下的计算扭转位移为零,与单向地震作用考虑偶然偏心影响的计算结果相比偏于不安全的;再如李英民、姬淑艳^[9]等通过对不规则结构的偶然偏心的详细研究,指出偶然偏心对不规则结构的地震效应影响相当显著,并设计了33个单层和多层平面不规则结构,用附加偏心距的方法考虑偶然偏心,采用振型分解反应谱法分析单、双向偏心结构在考虑偶然偏心前后的地震效应,同时指出:尽管偶然偏心的影响随着结构不规则程度的增加而减小,但其对平面扭转特别不规则的结构引起的地震效应增加仍然是不可忽略的。

本文对偶然偏心的影响做了进一步研究,研究表明无论结构规则与否都应该考虑双向水平地震作用,并且在计算结构扭转效应时无论单、双向地震输入都需要考虑偶然偏心。

3 周期比对结构振动效应的影响

3.1 周期比

我国《高规》(4.3.5)条的周期比指的是结构固有的以扭转为主的第一振型周期 T_t 与以平动振型为主的第一振型周期 T_1 之比,计算中不考虑偶然偏心导致的质心偏移。对于平面布置均匀、对称的结构,质心和刚心重合,结构具有纯粹的平动和扭转振型,这种情况下结构的周期及周期比 T_t/T_1 为非耦连周期和非耦连周期比;结构的非耦连周期比 T_t/T_1 与结构刚度和质量之间存在简单关系:

$$\frac{T_t}{T_1} = \sqrt{\frac{m_t k_1}{m_1 k_t}} \quad (k_1, k_t \text{ 为抗侧刚度和抗扭刚度, } m_1, m_t \text{ 为质量和转动惯量), \text{ 可}$$

见周期比能直接反映结构抗扭刚度与抗侧刚度的比例关系,周期比小意味着结构抗扭刚度强;反之,周期比大意味着结构抗扭刚度弱,值得注意的是这里的周期比指的是非耦联周期比。对于平面布置不对称、不均匀的结构,质心和刚心不重合,平动振型和扭转振型相互耦连,平动振型中含有扭转成分,扭转振型中含有平动成分,不再是纯粹的平动和扭转振型, 这种情况下的结构周期和周期比 T_t/T_1 则为耦连周期和耦连周期比。虽然《高规》的规定在实践上具有可操作性,能有效地避免出现较大的扭转效应,但是耦联周期比不同于非耦联周期比,在某些情况下两者在控制扭转振动会有不同的效果。^[10]

3.2 耦联周期比

根据文献[11]的研究,结构的位移比 R_d 与非耦联周期比 T_t/T_1 和偏心率 e/r 之间存在确定的函数关系,可记为: $R_d=f(T_t/T_1, e/r)$;结构的耦联周期比 T_t'/T_1' 与非耦联周期比 T_t/T_1 和偏心率 e/r 之间也存在确定的函数关系,可记为: $T_t'/T_1'=g(T_t/T_1, e/r)$ 。根据这些关系式,可以得出非耦联与耦联周期比的差异及与偏心率的关系,如图1所示: 1a,2a,3a分别为位移比 R_d 满足1.2、1.4、1.5界限时的耦联周期比与偏心率的关系曲线; 1b,2b,3b分别为位移比 R_d 满足1.2、1.4、1.5界限时的非耦联周期比与偏心率的关系曲线。

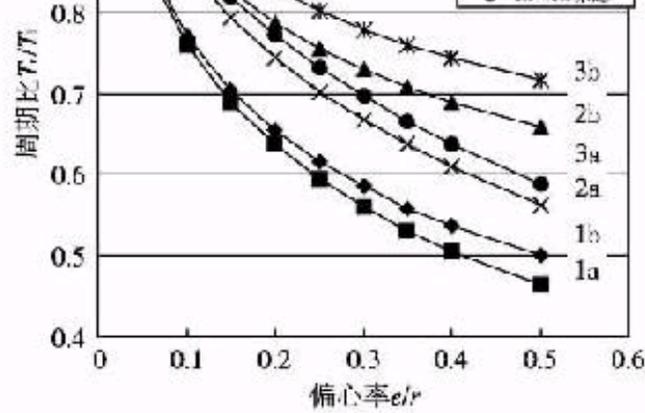


图1 耦联与非耦联周期比与偏心率的关系

从图1中可以看出，如果结构的位移比限制在1.5以内，偏心率取较大值