

对周期比的理解

蒋海云/长沙市规划设计院有限责任公司, 长沙 410007

0 前言

周期比是判断结构扭转效应的一项重要指标, 又称扭转周期比, 是概念设计中加强抗扭刚度的基本要求和保证“大震不倒”的设计原则之一, 周期比还显示了结构布置的合理性程度。本文从规范理解、判断方法和调整措施等方面对周期比进行了讨论, 供设计人员参考。

1 规范理解

《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2010)

[2] (简称高规) 第 3.4.5 条规定“结构扭转为主的第一自振周期 T_t 与平动为主的第一自振周期 T_1 之比, A 级高度高层建筑不应大于 0.9, B 级高度高层建筑、超过 A 级高度的混合结构及本规程第 10 章所指的复杂高层建筑不应大于 0.85”。本规定主要是限制结构的扭转效应, 可从两个方面考虑。

1.1 限制结构平面布置的不规则性

限制结构刚度中心与质量中心不能相距过大, 过大的偏心必然导致结构产生较大的扭转效应, 使楼层竖向构件的位移比也将过大, 明显地显示出结构布置的不合理性和缺陷程度。但在注意规则性的同时还必须强调其合理性和有效性。如图[5]指出的图 1 和图 2 同样是规则对称结构, 抗侧构件的数量也相同, 只是前者剪力墙均匀布置在结构平面的周边, 后者集中布置在结构平面的中央区, 由于布置的合理性和有效性不一样, 其抗扭刚度相差很大, 结构的扭转效应明显不同, 图 1 优于图 2。

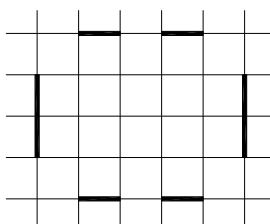


图 1 剪力墙均匀布置在结构的周边

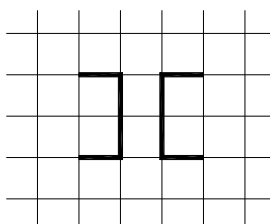


图 2 剪力墙集中布置在结构的中央

框架-核心筒结构中的核心筒是主要的抗侧结构, 高规第 9.2.1 条规定核心筒的宽度不宜小于筒体总高的 $1/12$, 《全国民用建筑工程设计技术措施·结构》[7]第 13.2.8 条规定, 核心筒边长不宜小于外框架相应边长的 $1/3$, 这些规定在增强抗侧刚度、控制层间位移的同时, 也强化了周期比的控制。

1.2 限制结构的抗扭刚度不能太弱

限制结构的抗扭刚度不能太弱, 关键是限制 T_t/T_1 比值不能过大, 当扭转周期和平动周期相接近时, 由于振动耦联的影响, 结构的扭转效应明显增大。扭转效应常用相对扭转变形 Q_t/u 值来量化, Q_t 表示由于扭转产生的离质心距离为回转半径处的位移, u 为质心位移。有资料显示: 当 $T_t/T_1 < 0.5$ 时, Q_t/u 值较小; 当 $T_t/T_1 = 0.85$ 时, Q_t/u 值可达 0.25; 当 $T_t/T_1 \approx 1.00$ 时, Q_t/u 值达 0.50。从上述数值可见, $T_t/T_1 > 0.85$ 时, 相对扭转变形值急剧加大, 扭转效应十分明显。高规对它进行了量化, 这种量化是在对大量的计算资料进行系统分析、对各科研单位的试验成果进行系统论证, 并对比和借鉴国外规范等之后确定的。

上述显示, 在平动周期为某值时对应的扭转周期 T_t 愈长, T_t/T_1 值愈大, 扭转位移角也愈大, 此时只有控制好结构的抗扭刚度, 使 T_t/T_1 值处于理想的区间值, 才能使结构具有一定的抗扭刚度, 保证结构在地震作用下的抗扭能力和结构的抗震安全性。

1.3 如何满足周期比的要求

一般情况下, 在工程设计中的大多数结构都能满足结构扭转周期比限值的要求。一些多翼形平面和狭长形平面等不利布置的结构形式, 会由于扭转周期 T_t 较长而难以满足周期比的限值。

由于周期比显示的是结构侧向刚度和扭转刚度之间的相对关系而非绝对大小, 即不是要求把结构做得如何的“刚”, 而是要求把结构布置得均衡合理。所以, 当周期比不满足限值要求时, 只能从整体上去调整结构的平面布置, 把抗侧力构件布置到更有效、更合理的位置上, 力求结构在两个主轴方向上的抗震性能相接近, 使结构的侧向刚度和扭转刚度处于协调的理想的关系, 此时, 若仅从局部入手做些局部的调整是很难收效的。

规范方法是从公式 T_t/T_1 出发, 采用两种调整措施: 一是减小平面刚度, 去除平面中部的部分剪力墙, 使 T_t 增大; 二是在平面周边增加剪力墙, 提高抗扭刚度, 使 T_t 值减小。

2 T_t 和 T_1 的判断方法

高规第 3.4.5 条没有给出 T_t 和 T_1 的判断方法, 在其条文说明中只从概念上指出, 在扭转耦联振动中有两个平动和一个扭转方向因子, 当扭转方向因子大于 0.5 时, 该振型可认为是以扭转为主的振型。

PKPM 程序以平动系数 ($X+Y$) 和扭转系数来量化,但未显示与扭转方向因子的对应关系。只是从能量的观点把一个振型的反应能量分为平动能量和转动能量,再以它们各自所占总能量的百分比划分为侧振成分和扭振成分。当侧振成分大于 50% 时的振型称为侧振振型,反之为扭振振型。程序认为周期最长的侧振振型对应的就是第一侧振周期 T_1 , 周期最长的扭振振型对应的就是第一扭振周期 T_t 。一般情况从输出的前 6 阶振型周期的平动和扭转系数即可找到 T_1 和 T_t 值,据此可算出周期比。但须注意:

(1) 前 3 阶周期的振型尤其是第一平动周期对应的振型越单纯越好,且一般情况 X 与 Y 向系数值差值越大越好,第一扭动周期滞后者理想。

(2) 确认该振型作用下是否为整体振动,可从输出文件中查看该振型所对应的振动简图,因为开洞、错层和墙体平面外约束过弱或无约束时均可引起某一振型出现局部振动,局部振动对应的周期就不是真正的自振周期。

(3) 看该振型对基底剪力贡献的大小,贡献最大的就是主振型,程序一般都给出了每个振型在每个地震方向的基底剪力,据此可以找到每个地震方向的主振型。

3 周期比不满足即面临“超限审查”

根据住房和城乡建设部“超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点”^[8]附录一表三规定,扭转周期比大于 0.90,混合结构扭转周期比大于 0.85 时,虽房屋高度不超过规定,但建筑结构布置属于抗震规范^[1]和高规^[2]所规定的特别不规则高层建筑工程,仅此一项即应申报和进行超限专项审查,其重点是对结构的抗震安全性和预期的性能目标进行可靠分析、论证和规范构造措施等。诸如试验研究成果的详细论证、总体计算和关键部位计算的工程判断及分析,薄弱部位的抗震措施及其他相关内容的审查。根据具体情况分省级和国家级的专家委员会的审查。

由此可见周期比在结构设计中的重要性,它明确显示了结构的扭转效应的程度和结构布置的合理性,对此设计人应有足够的认识。

4 周期比为刚性楼板假定下的计算值

4.1 刚性楼板假定是建筑结构分析中一个特有的概念

刚性楼板假定,即假定楼板平面内刚度无限大,平面外刚度为零。在此假定下结构在每块板内只有 X 和 Y 向两个平移自由度和一个绕 Z 轴的扭转自由度这三个公共自由度,在板内的每个节点的独立自由度也只有 3 个。这样结构分析的自由度数大大减少,计

算解析的工作量也相应减少,使整个计算过程得以简化,因此,在程序中得到广泛应用。经实践和分析证明,该假定对绝大多数高层建筑的分析具有足够的工程精度,可用于工程设计。

在程序应用中,常用到与刚性假定相关的一种简化模型——“拐把模型”;刚性楼板在水平力作用下做刚性平动时,有一个点总不发生转动,该点即是“楼层刚度中心”,以该点作为“位移”的参考(照)点是最合理的,但要准确求解它却很困难,所以常近似地把每层的质量中心作为参考(照)点,这种模型即为“拐把模型”,它能简化计算而且比沿用的把参考(照)点取在每层同一点的“质量串联模型”更为合理。

4.2 刚性楼板假定能保证计算周期比的准确性和真实性

高规第 5.1.5 条“进行高层建筑的內力和位移计算时,可假定楼板在其自身平面内为无限刚性,设计时应采取相应的措施保证楼板平面内整体刚度。”高规没有明确周期比应在刚性楼板假定下进行计算,但从上述 T_t 和 T_1 的判断方法中得知,其对应的振型应是整体振动的振型,且越明显越单纯越好,并要避免出现局部振动的误判,这只有在“刚性楼板假定”下,才能做到计算周期比的准确性和真实性。

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] JGJ3—2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [3] 中国建筑科学研究院 PKPM CAD 工程部. SATWE, TAT 用户手册及技术条件[M]. 北京, 2005.
- [4] 姜学诗. 建筑结构整体电算时应合理假定楼板的刚度[J]. 建筑结构·技术通讯, 2006, 36(5).
- [5] 魏琰, 王森. 论水平地震作用下对称和规则结构的抗扭设计[J]. 建筑结构, 2005, 35(5): 13-17.
- [6] 陈岱林, 赵兵, 刘民易. PKPM 结构 CAD 软件问题解惑及工程应用实例解析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [7] 建设部工程质量安全监督与行业发展公司, 中国建筑标准设计研究所. 全国民用建筑工程设计技术措施·结构[M]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [8] 住房和城乡建设部. 超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点. 建质[2010]109 号. 北京, 2010.

作者简介: 蒋海云, 高级工程师, 一级注册结构工程师, Email: Jianghaiyun198@163.com。