

高层结构剪力墙最优刚度的数学模型法*

王 全 凤

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

摘要 通过用数学模型法求解高层结构剪力墙的最优刚度, 阐明唯物辩证法在建立求解高层结构剪力墙最优刚度数学模型过程中的运用, 在工程设计中具有明显的经济效益.

关键词 高层结构, 剪力墙, 最优刚度, 数学模型

分类号 TU 12

1 框架-剪力墙高层建筑最优刚度数学模型的建立

1.1 问题的提出

随着高层建筑设计理论的发展, 如何合理地确定框架-剪力墙结构中的剪力墙刚度, 一直是国内外学者研究的课题. 目前, 国内一直是采用先凭设计经验设置后验算的方法, 这样需要经过反复繁冗的计算才能达到目的. 设计方案的优劣很大程度上取决于设计者的技能. 有的学者提出确定剪力墙合理数量的方法, 但没有涉及到剪力墙数量不同对地震作用大小的影响, 加上传统设计方法的局限性, 这样得到的所需剪力墙数量不是节省的; 在国外, 日本是在地震灾害宏观调查的基础上, 提出以每平方米建筑面积上的剪力墙长度或面积作为配置高层房屋不致破坏所需剪力墙数量的下限指标. 由于这个方法也没有考虑到剪力墙刚度与地震作用之间的内在联系, 难以从根本上解决问题.

1.2 优化思想的启示

自古以来, 人们在工程实践中已经萌发出优选的思想, 慎重的能工巧匠总要研究几个可能方案, 再从中择其佳者. 结构型式从实心梁演变到拱、桁架, 就是人们在长期工程实践中搜索与寻求重量轻、材料省和受力性能好的结构型式的经验总结. 在地震区, 如果剪力墙的刚度选择过小, 就不能达到预期抵抗水平地震作用的目的; 如果增大剪力墙的刚度, 房屋的自振周期减少, 地震作用就相应加大. 因此, 这里存在着剪力墙刚度如何取值是最合理的问题, 使它具有最小抗侧移刚度, 又能满足使用要求.

按现在的观点, 随着优化手段的发展, 优化目标也在不断扩大, 从最轻重量、最低造价到现在最佳构件布置、最优结构形状、最好受力状态等. 上述问题显然可以归结为结构优化问题. 找到一个最合理的剪力墙刚度使地震作用尽可能小, 而又能满足结构的变形要求. 这就是说,

* 本文1993-09-30收到

取地震作用为目标函数,剪力墙有效刚度为设计变量,选择适当的约束条件,通过优化方法,找到剪力墙最优刚度值,使整个结构呈现最佳受力状态。

1.3 数学模型的建立

控制论创始人维纳认为:“世界的任何实际部分都不可能这样简单,以至不用抽象就能为人们所理解和控制。所谓抽象就在于用一种结构上相似但是又比较简单的模型来取代研究的世界的那一部分,因而模型在科学研究程序中是最为需要的。”现在来分析结构优化的约束条件。国际上普遍认为,对高层建筑在地震时是否安全,除强度外,变形能力及刚度和延性更为重要。有些人认为,以能量吸收能力和限制侧移为基础的抗震设计,今后将代替目前的应力抗震设计。其二,本文目标函数取的是地震作用,地震作用大小与剪力墙刚度直接有关。如果在最小剪力墙刚度对应最小地震作用情况下,结构能满足变形条件,那么这个最小剪力墙刚度值显然就是最优值。除了对结构最大水平位移控制之外,为了防止非结构构件破坏,层间最大相对水平位移也必须进行限制。再者,我们讨论的是在框架-剪力墙结构中如何设置剪力墙的问题,所以剪力墙刚度非负问题自然得到满足,本约束条件是非负的约束条件。最后,各结构构件应力条件必须满足。

综上所述,确定框架-剪力墙结构剪力墙最优刚度能抽象为数学模型:求剪力墙最优刚度(设计变量),使得地震作用(目标函数)为最小,并满足结构位移约束条件和作为几何约束的结构各构件的应力条件。

2 用实践论观点不断完善数学模型

唯物辩证法认为,实践是认识的唯一来源。实践-认识、再实践-再认识是一个循环往复以至无穷的过程。由于认识是无止境的,因而科研活动也不能就此止步。坚持实践第一观点,在实践基础上不断修改、完善模型。

2.1 抓住事物本质以单变量设计代替多变量设计

钱学森教授在50年代就指出:模型就是通过我们对问题现象的分析,利用我们考察得到的机理,吸收一些要素,略去一切不主要的因素所创造出来的一幅图画……艺术形象化了的自然现象。”当然,与框架梁、柱及层高有关的框架平均抗剪刚度也可以同时作为设计变量。但从工程实践中提出问题,一般都是在建筑材料、结构及其构件型式已定的条件下确定剪力墙的数量。而且,大量的工程设计实践已经总结出一套有规律性的东西,如房屋的高度及垂直荷载已知的情况,柱子断面尺寸基本也可确定。文献[1]也有一个结论,剪力墙刚度变化对框架柱内力影响不大。所以,把柱断面作为常量处理在理论上是容许的,这样必然给优化分析带来很大方便;其二,从优化设计理论范畴也是容许的,这样的优化方法叫经验优化方法。严格地说,这种方法得到的不是最优值,但它很接近于最优值。这种单变量的优化可以大大减少机时和所需计算机容量,为现在基本普及的微型机的应用开辟了广阔的前景。

2.2 由初级本质到二级本质

因为分析的结构属于高次超静定的空间结构,地震作用(目标函数)与剪力墙有效刚度(设计变量)的关系,以及位移(约束条件)与设计变量的关系都是复杂的非线性函数关系,所以整

个数学模型属于非线性规划问题。如果一开始把所有影响结构内力和变形的因素全部考虑,在公式推导复杂过程或结果计算过程中万一有了差错,就得不到正确结论。因此,我们一开始仅仅考虑矛盾的主要方面——剪力墙弯曲变形对该结构内力和变形的影响,给出定性东西;进而逐步修正模型,考虑剪力墙剪切变形对该结构内力和变形的影响;再考虑框架柱轴向变形以及剪力墙基础转动的影响。这样处理,不但得到定量的结果是可信的,而且得到受工程界欢迎的结论:若房屋高度超过50 m,可不考虑剪力墙剪切变形对剪力墙最优刚度的影响;反之,若房屋高度不超过50 m,可不考虑框架柱轴向变形对剪力墙最优刚度的影响。

2.3 正确的思想孕育着明显的经济效益

附表列出根据现行的抗震设计方法^[2]和用本文思想建立的数学模型,在设计同一幢八层框架-剪力墙结构中所需的剪力墙有效抗弯刚度(K)及相应的混凝土体积(V)。

附表 用不同设计方法得到结果的比较

方 法	$K/TN \cdot m^2$	V/m^3
现行抗震设计方法	0.3843	33.333
本文的方法	0.3142	31.108
差值/(%)	-18.2	-6.7

从上表可以看出,混凝土用量节省了6.7%。如果不是剪力墙断面构造要求限制,这个效果会更明显。

参 考 文 献

- 1 王全风,施士升. 框架-剪力墙高层建筑结构抗地震荷载剪力墙数量的优化分析. 土木工程学报,1981,14(3):1~12
- 2 北京建筑工程学院,南京工学院. 建筑结构抗震设计. 北京:地震出版社,1981. 173~205

Mathematical Modeling for Solving Optimal Stiffness of Shear Wall in a Tall Building

Wang Quanfeng

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract In the light of materialist dialectical thinking, a mathematical model is formed for solving the optimal stiffness of shear wall in a tall building. The significance of materialist dialectics in the formation of this mathematical model and obvious economic benefit of its application to engineering design are clarified.

Keywords tall building, shear wall, optimal stiffness, mathematical model