

通过框架方案比较学习概念设计

——写给成长中的结构工程师

徐珂

(北京清城华筑建筑设计研究院, 北京 100083)

随着计算机技术的发展, 新一代结构工程师比前辈以更快的速度去完成一项设计任务, 这是一个优势, 但在另一个方面, 由于时间的压缩, 大部分工作用于完成画图, 很多人感觉对结构概念的理解与掌控缺少深入了解。经常有朋友问笔者如何提高概念设计能力? 对于这类问题其实是不好回答的, 结构设计涉及面非常广, 需要反复学习和经验积累。首先在学习时要理解领会经验中已经成熟的理论, 不能只是简单的记忆, 然后运用到自己的设计中, 还要对经验中的建议去发散性思考, 拓展自己对结构设计的认识。其次在经验积累时需要认真对待自己做的每个项目, 自己的项目往往花费设计人员很长时间去调整梳理, 解决方法和遇到的难题自己最清楚, 完成后只要自己再深入的去研究一下, 往往会取得事半功倍的效果。

设计人员使用概念设计的目的是, 以选定的结构形式在荷载作用下对效应有初步的正确判断, 然后通过软件分析加以验证, 因此设计人员在选择结构方案时就要运用力学规则去判断效应结果, 而不能充当软件操作工, 依靠软件分析数据决定设计成果。

框架结构是设计人员经常遇到的结构形式, 其它结构形式如框架剪力墙结构也包含框架部分, 它的应用范围较广, 许多结构工程师的设计经验往往是从框架结构起步的, 因此做好框架结构对工程师是非常重要的, 本文以框架方案比较, 利用计算软件快速分析, 探讨如何在设计工作中理解概念设计。

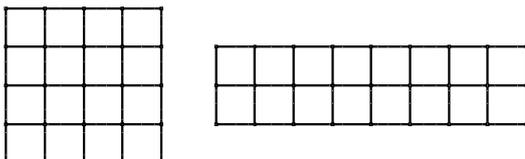


图1 框架方案平面图

以4层框架为例, 柱网尺寸为8.0米, A类方案是4x4柱网布置, B类方案是2x8柱网布置, 两类方案的建筑面积相同, 为了便于对比, 只设置楼面恒荷载和活荷载, 不设置梁上荷载, 两类方案的基底荷载基本是一

致的, 差异在于A类框架柱是25根, 框架梁是40根, B类框架柱是27根, 框架梁是42根, 自重有一定差异, 但变化值占全部基底荷载不超过5%, 其平面布置见图1, 初步设定框架柱截面600x600, 框架梁截面300x700。在层高设置上, 总高为14.4米, 第一种方案各层均为3.6米, 第二种方案首层4.5米, 其余各层3.3米, 第三种方案二层4.5米, 其余各层3.3米, 第四、五种方案中4.5米楼层依次上移一层。遇到这两类方案时, 工程师要思考哪些问题?

首先要判断规则性, 无论建筑方案多么复杂, 结构工程师要养成对结构体系规则性判断的习惯, 这是能否控制好结构方案的基本训练, 帮助工程师找到结构体系中薄弱点在哪里, 明确结构设计重点在何处, 确定结构方案时有正确的选择方向。这两类方案从平面看既不存在凹凸, 也没有平面刚度急剧变化的情况, 符合规范关于平面规则基本要求, 其中4x4柱网两个方向结构布置是一致的, 判断其各项指标应该是一致的, 而2x8柱网两个方向结构布置不同, 各项指标就应该存在差异, 通过软件计算得到表1自振周期的数据, 可以看到在4x4柱网两个方向平动周期是一致的, 2x8柱网则存在差异。如果初步判断与计算分析结果不符, 就要查找原因, 明确出现差异的原因。

表1 方案A、B结构自振周期对比

分类	A类 4x4 自振周期			B类 2x8 自振周期		
	X	Y	N	Y	X	N
方案一	0.60	0.60	0.54	0.61	0.57	0.56
方案二	0.63	0.63	0.57	0.64	0.60	0.59
方案三	0.64	0.64	0.57	0.64	0.61	0.60
方案四	0.60	0.60	0.55	0.61	0.57	0.57
方案五	0.56	0.56	0.51	0.57	0.54	0.53

其次要预估结构振型可能出现的情况是怎样的, 特别是扭转振型会出现在第几阶。这点对于规则结构是比较容易预估的, 主要是前三阶振型分布情况, 前面两类

方案都是平、平、扭排布，这符合结构设计的指导思想。对于平动振型还要预估是 X 向振动还是 Y 向振动，当预估情况与分析验证相吻合，工程师对做好这个结构设计就有很好的掌控能力了。B 类方案中，应该预估其第一平动振型是 Y 向振型，第二平动振型是 X 向振型，因为模型在两个方向有差异，一是梁在 Y 方向是 18 根，X 向是 24 根，Y 向梁线刚度总量比 X 向小。二是柱截面在两个方向一致，构件本身岁抗测力刚度贡献一致，但柱在 Y 向对形心惯性矩 ($A \cdot a^2$) 之和小于 X 向惯性矩之和，则结构 Y 向自振周期要长，通过软件平动参与系数可知，第一自振周期中 Y 向参与系数超过 90%，与预估情况相符。

然后要理解规范中要求控制扭转周期与第一平动周期之比，就是控制扭转周期不要过早出现。为什么要控制扭转周期？很多的书籍都介绍过原因，但可能理论性过强，很多设计人实际感受并不深刻，这里只以日常一个现象来说明，要想拧干一块湿毛巾，如果只是上下左右拉扯，费很大的劲也很难将水挤出，这时把水分理解为结构抗外力能力，只要轻轻拧一下，水分很容易挤出，由此可以理解扭转效应对结构安全的影响，工程师理解了扭转效应，自然会很注意结构体系抗扭转能力。B 类方案分析结果都存在扭转周期与平动周期之比超过 0.9 的情况，需要调整结构方案，调整的方式有很多，工程师需要结合建筑师的需求来进行调整，但主要的思路还是由结构体系的可能性去寻求最佳的解决办法，结构师的方法越多，建筑师的选择范围越广，专业间的配合就越顺利。B 类方案的 Y 向框架布置是一样的，扭转周期出现较早，说明端部框架抗扭刚度与平动刚度相比，或者是端部抗扭刚度较弱，或者是平动刚度较强，这可以结合其它技术指标来判断，如位移、底部剪力系数等，这里以两种方法来对比理解，一种方案是将两个端部框架柱加密至 4.0 米，每侧增加 2 根框架柱，相应减少端部框架梁的线长度，达到增加端部框架抗扭刚度目的，另一种方法是保持端部框架不变，中部 7 榀框架梁截面由 300X700 变为 250X600，达到保持端部框架抗扭刚度，减弱整体平动刚度的目的。各方案的周期值见表 2。

表 2 方案 B 改进方案结构自振周期对比

分类	增加端柱自振周期			减小中梁自振周期		
	X	Y	N	Y	X	N
方案一	0.57	0.54	0.45	0.67	0.62	0.60
方案二	0.59	0.57	0.47	0.70	0.65	0.62
方案三	0.60	0.57	0.48	0.71	0.66	0.63
方案四	0.57	0.54	0.45	0.68	0.63	0.61
方案五	0.54	0.51	0.42	0.64	0.59	0.57

增加端柱方案前三个周期值均比原方案减小，扭转周期下降更快，扭转比下降到 0.8 以下，由于端柱对 Y 向平动刚度也有贡献，第一平动振型由 Y 向变为 X 向，各方案整体 X 向周期变化不大，Y 向周期减小约 5%，扭转周期减小约 15~20%。减小中梁截面方案中，X 向周期略变化不大，Y 向周期增加约 10%，扭转周期增加约 7%。通过这两个方案的对比，可知选用不同的方案，结构效率是不同的，导致设计结果就会有很大差异，例如减小中梁截面方案的扭转比接近 0.9，在后期设计中由于各种因素变化，很容易导致超标的问题，而增加端柱的方案，该值低于 0.8，其适应能力就强。

规范中还建议结构在两个主轴方向的动力特性宜接近，显然调整后的方案更符合规范建议，只要合理布置梁柱及截面，是可以做到两个方向的动力特性基本接近，数据指标会像方案 A 那样，这就带来另外一个问题，规范上要求扭转周期与第一平动周期之比，没有要求与第二平动周期之比，当第一周期与第二周期接近时，扭转周期与第二平动周期之比也会满足要求，试想当第二平动周期与第一平动周期相差较多时，例如 2X8 柱网 X 向振型为第一平动振型，扭转振型是 Y 向两端扭转，Y 向振型为第二平动振型与扭转周期一致，其周期比为 1.0，这有没有问题？从笔者的设计习惯出发，是不会采用这种方案的，设计一方面要遵守规范的条文，还要就具体问题结合规范的建议来处理问题。

再看方案中给出五种层高情况，层高变化在设计中是经常出现的，以表 1 中 A 类方案数据观察，在混凝土用量一致的情况下，结构自振周期相差约 7%。当 4.5 米层高在首、二层时，结构平动刚度较小，抗扭刚度也较小，扭转周期与平动周期之比大于 0.9。当 4.5 米层高在顶层时，由于下面三层结构质量在高度上低于前四种方案，且下部框架整体刚度高于前四种方案，因此自振周期短，扭转周期接近平动周期主要是顶层 4.5 米层高引起，这与前四个方案是不同的，那么在解决扭转问题的处理方法上就会有不同的方法，顶层可能采取减弱平动刚度的方式去调整，其他方案可能就要采取加强外部框架刚度的办法去解决。

上述几个分析并没有什么新概念,但是通过这种对比训练,可以让理论与设计结合在一起,工作中除了做项目,结构工程师要学会用简单的模型去深入理解书本上各种概念和方法,每个人的认识可能不同,但是自己动手训练是最好的学习方法,否者规范永远是条条框框,大师讲课永远是云山雾罩。结构师只要善于思考,不断自我训练,当概念积累在脑海由量变转为质变时,概念设计一定会像“金箍棒”成为结构工程师施展才能的重要武器。

【正式稿件发表于 2012 年 9 月《建筑结构》的技术通讯中建闻天下,欢迎斧正,也欢迎留言提供讨论话题!】

徐珂: 一个普通的结构工程师,参与计算、画图 20 年,关注结构新技术及精细化设计,目前就职北京清华城市规划设计研究院。从 2006 年开始写个人博客 (<http://www.jiegoublog.cn/>),记录工作中的想法和解决方案,希望通过不断地积累与更新,为下一个满意的结构作品做准备。

