

从楼盖设计想到的

——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)

与他人合作设计时,经常回答别人一个问题:这个方案已经做了这么长时间为何还要改?工作中面试一些刚毕业不久的新人,谈起设计经验时有的人说工作后一直在画梁板,我就会问对于梁板体系有什么看法,回答说专业负责人把方案制定好,作为设计人就按照要求画就可以。这两个不相关的事情常引起我去思考,作为建筑师最重要的合作伙伴,为什么结构工程师在很多建筑师眼里是没有创造性的家伙?

刚毕业的时候,我被安排做一个工业转运站的楼层梁板设计,因为头一次做,所以很小心地问前辈:“梁这样布置行不行,板的受力方式可不可以?”前辈已经工作近四十多年,笑眯眯地看着我说:“可以,去做吧!”我心满意足地画图去了。画了几天看了一些图纸、资料后,感觉原来的布置好像有点问题,心有不妥地跑到前辈那说:“我想把平面布置改了一下,这样可不可以?”前辈看完后还是笑眯眯地看着我说:“可以,去做吧!”心里有些奇怪地接着改图去了。改了两天又琢磨出一种布置格局,心里有些惴惴不安很忐忑地问前辈:“改成这种方案行吗?”结果前辈还是笑眯眯地说:“可以,去做吧!”顿时有一种要崩溃的感觉,清晰地记得自己很赌气地对前辈说:“你不能这样,为什么不直接告诉我哪种布置是最好的?”老人家听了还是笑眯眯地说:“肯定还有更好的方案,但是你怎么知道我告诉你的就一定是最好的方案?不好的设计方案也要清楚缺点在哪里,你自己不去尝试,如何知道结构方案的好与坏呀?”

事实上结构设计过程其实就是寻找最合适的结构方案过程,既要满足结构安全需要,又要满足建筑使用功能,随着设计深入都会发生变化,单纯满足一方面要求的方案往往不是个好方案。回到前面的梁板设计方案上,设计中经常遇到 8.1~9.0 米的柱网,这是多种因素综合后的结果,比如结构造价经济性、地下室停车位适用性、上部办公面积合理性等因素决定的,结构尺寸往往是与其它专业发生配合问题的最大因素,梁板体系看

起来很简单,实际也反映设计人员对结构的认知深度。

在既定尺寸的情况下,抛开抗侧力体系和楼层因素来思考结构工程师有多少种方案可以选择?一般情况下会想到图 1 所示的四种方案。

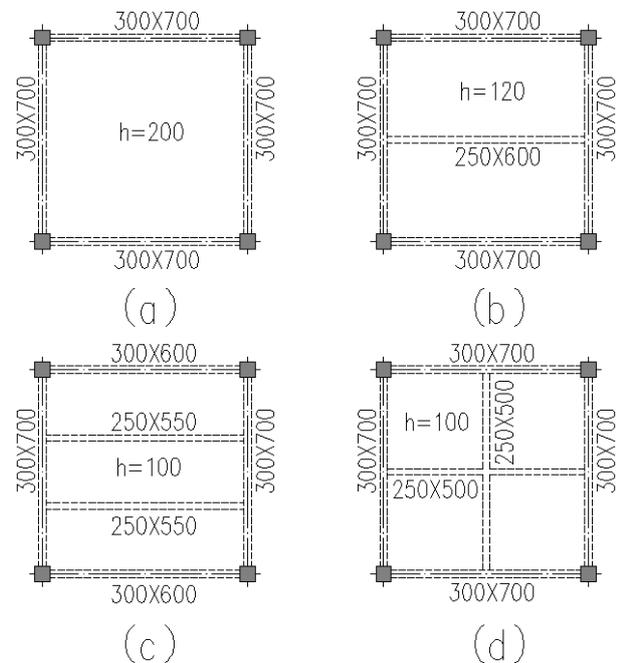


图 1 梁板布置方案

结构工程师在选用楼盖方案时,主观上先从结构设计习惯出发,图 1 (a) 和 (d) 是双向受力体系,区别在于荷载是均布传递还是集中传递给框架梁,当框架梁有次梁因素时,配筋计算需要进行斜截面受剪承载力影响和集中力抗剪设计。(b) 和 (c) 是单向受力体系,区别在于单向传力分散度如何。单纯去看这些方案,确实没有什么可以再总结的,但深入思考一下,重点不在于板厚和次梁数量的变化,要放在楼盖体系安全度的转化,(a) 中框架梁受力均匀,每根梁承载 1/4 荷载总值,平均安全度高于其它三者,(c) 中的主框架梁承担约 1/2 荷载总值,安全度相对低,如果在抗侧向力体系是主力的话,这榀框架的负担就很重,以比喻的方式来说明这个问题,(a) 是四个壮汉在承担,(c) 有可能出

现两个成年人带两个小孩在工作情况,这种方案有利之处是与次梁平行的框架梁在重力荷载的作用下的荷载效应小于另一方向的框架梁,设计中可以根据实际效果确定不同的梁截面,在(C)中图示该区别。

单向受力形式中,当次梁数量足够多的时候,受力体系转变为密肋结构,对于支撑次梁的框架梁是有利变化,(d)的情况类似,会转变为井字梁结构,当梁的数量足够多的时候,梁的高度逐步变小,梁间楼板消失,又会转变成(a)的大板结构,于是在实际应用中出现两种施工工艺,一种是钢筋桁架楼承板体系,一种是双向空心板体系,这两种体系在《建筑结构》杂志上都有介绍,施工上有创新的因素,在设计上并没有超出结构师的能力范围,结构师理清这些关系,灵活运用各种新工艺就是一项很有乐趣的过程。

结构楼盖方案再好,也是需要其它专业同意才可以,梁板体系的高度在限高建筑中不适用,于是结构师又想出图2的两种方案。

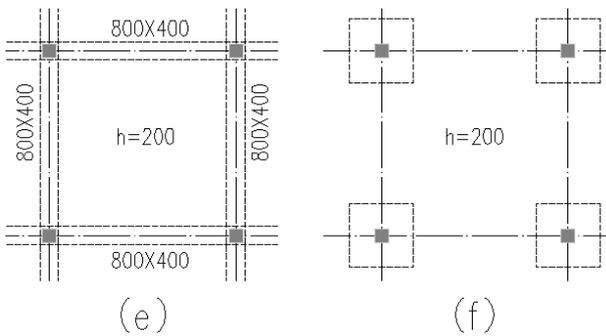


图2 限制结构高度楼盖方案

方案(e)是宽扁梁体系,通过增加梁宽度来弥补高度降低带来的刚度损失,当荷载重、梁高很矮时,梁的宽度会比框架柱尺寸大,当宽度增加到柱网宽度时就转化为(f)无梁楼盖体系,代价就是钢筋用量增加,从结构造价角度出发是不合适,但层高得以满足,设备管线布置灵活,如果一层节省350mm,10层高度就是3500,又可以增加一层建筑高度,提高土地利用率,在综合对比中可能是合适的方案,因此结构专业在制定方案时,首先要服从建筑设计总体指导思想,然后强调结构专业的特殊性,建筑师不了解这些差异时,结构师就要把可用方案的优缺点介绍出来,比如无梁楼盖在地上使用时,节省层高的代价是结构造价增加,但是运用到地下部分特别是停车库、人防结构时,钢筋用量也是较为经济的方案,常规设计时一般采用经验系数法或等代框架法配筋,并未考虑柱帽形成的拱效应,在精细化设计中,将这一有利因素考虑进去,配筋量会进一步减少。而拱的有效性又取决于结构师在与其它专业配合中获得多大柱帽尺寸,图3给出不同尺寸的柱帽形式,与楼板形成的几何刚度不一样,从左到右逐步增加,对于最

终混凝土和钢筋用量就会产生差异。当最右边的拱足够大形成连续效应时,结构设计就会由板承重体系转化为拱承重体系,结构配筋也转化为拱构造设计。在某些时候建筑师可能就需要这种设计,但往往结构师没有将这种扩展性介绍给建筑师而放弃。

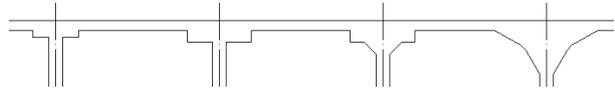


图3 柱帽形式举例

那么除了上述楼盖方案,结构师是否还有选择呢?有!作为结构师一定要有这个想法,结构设计最重要的要求就是看结构师能否将掌握的知识去灵活有效地应用,这里举两个思考来说明。

第一个思考是结构布置是否只能是梁板体系或者是无梁体系,有没有其它的道路可以选择?有,将两种体系结合起来使用,一个方向使用有梁体系,另一个方向采用无梁体系,好处是什么?在一个方向上满足结构尺寸要求,在另一个方向满足其它专业层高要求,这里只需要结构工程师在前期方案时跟各专业沟通,将设备机电专业的主管线沿一个方向布置,将次管线高度垂直布置于结构梁下,这样层高因素就能很好协调。

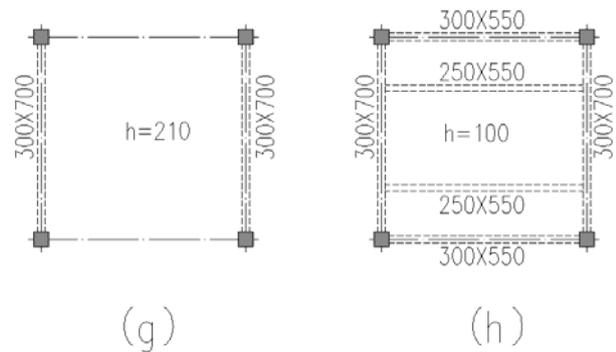


图4 两个思考方案

第二个思考是对于(c)方案,为什么结构师在布置两根次梁时总是采用三分法布置?采用不等间距布置对结构承重体系有何影响?比如8.1米柱网可以采用2.1+3.9+2.1米的方式布置,增加中间板跨度,次梁受荷面积没有变化,减少平行框架梁的受荷面积,同时减少主框架梁的弯矩分布,因为次梁集中荷载向柱端靠近,不利的影是增加中间板块的板受荷面积,相比重要的梁构件这样的变化对于安全性和经济性都是有利的。平行次梁的框架梁由于荷载减少,重力荷载效应减少,就可以有效减少梁高,这在一定程度上也可以达到第一种思考的效果。图4是这两个思考的结构布置。通过上面两个思考可以看出,结构设计应该是很灵活的事情,工程师只要在做完项目的基础上,多思考一下结构实现的可能性,就会为建筑师提供更加灵活的创作空

间，反过来建筑师也会为结构师提供展示能力的舞台。坚持从细节出发思考结构问题，一定会为自己提供广阔的解决之路。

【正式稿件发表于 2012 年 7 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。

