

# 地下车库结构优化探讨

毛国栋

(陕西建工第五建设集团有限公司, 陕西 西安 710032)

**摘要:** 在工程实践中, 不合理的结构设计既不能提高结构的安全性, 也不能为社会创造价值。在影响地下车库结构设计的众多因素中, 以结构基础、地下室外墙以及楼盖体系最为突出, 对基础设计应注重选型, 地下室外墙应控制设计标准, 楼盖体系应经计算后对比选择, 选取高性价比的结构方案, 实现安全与经济的统一。

**关键词:** 结构基础; 地下室外墙; 楼盖体系; 性价比  
**中图分类号:** TU93 **文献标志码:** A



由于一、二线城市土地资源日益稀缺、土地成本不断攀升, 地下空间开发成本较高, 因此在设计阶段就应对项目的成本进行控制, 其中土建部分所占比重较大, 应着重考虑。在技术可行、经济合理、施工便捷的前提下对结构设计进行合理优化, 在节约混凝土、钢筋等主材的同时, 也应关注由于不合理的施工方式所造成施工措施费用上涨的问题, 以及由于设计理念滞后而造成的工程通病。提倡结构设计优化不只是为节约成本, 而是更好节约社会资源, 这更有助于国家早日实现碳达峰和碳中和<sup>[1]</sup>。

## 1 基础优化

在设计基础时, 基础选型应根据工程地质条件、地基处理形式、地基承载力、结构类型以及施工条件综合考虑, 其对工程的成本控制起到决定性作用。在满足地基承载力以及沉降变形的同时, 尽量选择整体性及刚度较大的基础形式。地下车库结构常用的基础形式有独立基础+防水板、条形基础+防水板、筏板基础。

### 1.1 独立基础+防水板与条形基础+防水板

独立基础+防水板、条形基础+防水板基础形式具有受力模型简洁、施工简单、节省材料等特点, 这决定其良好的经济性, 应成为优先选择。根据防水板与基础竖向的相对位置, 通常可分为顶平式、底平式以及居中式。其中居中式由于构造复杂、施工烦琐, 经济性相对较差, 其在工程中应用较少; 底平式可利用上部回填材料布置集水坑、排水沟等, 有利于基础垫

层和防水层的施工, 但同时也会增加地下室外墙的计算跨度和墙柱的竖向长度, 导致墙厚或配筋增大, 后期回填材料的密实度是否达标对地面的质量起到决定性作用。顶平式与底平式相反, 顶平式基础可以减小地下室外墙计算跨度, 缩短墙柱竖向长度, 减小土方开挖及后期肥槽回填量, 同时也避免因回填材料质量导致地面出现质量的问题。如果施工方技术和管理水平可行, 直接在防水板上压光、磨光做耐磨地面, 取代常规的建筑做法, 也可取得更好的经济性。其弊端主要有基础垫层和防水施工略微复杂, 集水坑会增加一定混凝土和钢筋的用量。但综合考虑, 还是应优先选择顶平式基础形式<sup>[2]</sup>。

防水板是地下防水体系的重要组成部分, 也是结构设计的关键构件。当地下抗浮水位较高时, 选择底平式基础, 回填重度较大的材料, 通过增加结构自重减小防水板所受到的净水浮力, 防水板的配筋将减小, 但是当水位较低时, 防水板上的材料重力通过防水板传递给基础, 会增大地基的承载力和基础的配筋。同时还应注意, 各竖向构件荷载差异较大时, 基础的高度会有所不同, 此时应综合考虑土方开挖量、地下室外墙计算高度等因素, 再决定防水板的形式。当地下水位较低、防水板所承受的水浮力小于0时, 防水板的作用为防潮板, 此时底板的厚度和配筋就存在优化空间, 防潮板所需要考虑的是防裂以及由于基础不均匀沉降而产生的抗拉问题。通常防潮板的厚度可控制在200~300 mm, 板的配筋率以满足抗裂为原则,

控制在0.1%~0.15%。采用虚铺或刨松200 mm土层替代聚苯板,可以解决由于基础不均匀沉降所造成的防水板受拉问题。当持力层压缩模量较大时,地基的沉降量本身就很小甚至不存在,防水板的受拉问题就无从谈起,因此防水板底部可不再做处理。

## 1.2 筏板基础

筏板基础与独立基础、条形基础相比,其整体刚度更大,可调节一定程度的不均匀沉降,但混凝土和钢筋用量偏多。筏板基础可分为梁板式基础和平板式基础,后者优势更大。平板式筏基采用合理的有限元计算方法和适当的基础厚度,配筋以构造钢筋拉通、不足处设置附加钢筋为原则,钢筋用量小于梁板式筏基,虽然混凝土用量比梁板式筏基少,但考虑平板式筏板钢筋仅有上下表面钢筋,无箍筋、腰筋等构造钢筋,平板筏基施工便利性更强。平板式筏基的结构体系为框架结构时,基础厚度以框架柱对筏板进行冲切控制,此时会单方面增加基础厚度,造成筏板混凝土和钢筋用量激增,不利于经济性的控制,因此通过增设柱墩解决冲切问题更加合理,而柱上墩和柱下墩的选取原则与独立基础+防水板中顶平式和底平式相同<sup>[3]</sup>。

## 2 地下室外墙优化

地下室外墙的计算通常采用简化模型进行,应根据实际的边界支承条件和受力状况确定与实际尽量相符的计算模型,这样才能在最大限度上保证计算结果的准确性和合理性。

### 2.1 计算模型假定

从整体性看,地下室外墙作为压弯构件,其主要以承受周边土压力、水压力以及上部竖向荷载为主;地下室底板与外墙相比厚度较厚,同时地基对基础底板也发挥一定的约束作用,基础底板为地下室外墙提供固定支承;地下室顶板厚度较薄,不足以约束外墙转动,对外墙仅起支承作用;在中间层楼板处,可假定为连续梁模型。

### 2.2 扶壁柱优化

地下车库外墙整体以单向受弯为主,因此应仔细考量扶壁柱的设置,部分结构设计师认为只要设置扶壁柱,就可以作为地下室外墙的水平支撑,结构力学模型则为双向受弯计算,这种观点是不严谨的。应注意扶壁柱的设置,板块的长宽比(扶壁柱的间距与外墙的高度之比)是影响计算的关键。当长宽比大于2时,单向受弯和双向受弯两种模型计算的竖向弯矩并无差距,可见扶壁柱并未发挥作用;当扶壁柱间距较小或外墙竖向计算跨度较大,板块的长宽比

<1.5时,才能有效发挥双向受弯作用,此时扶壁柱作为外墙的水平支撑点,还应承受外墙所传递的横向荷载。当双向受力效应不是很明显时,不必考虑扶壁柱,应采用单向板计算模型,在简化计算的同时,结构也偏于安全,墙体的竖向钢筋以计算进行确定,水平钢筋则按构造配置,这也可以取得较好的经济效益。

### 2.3 地下室外墙荷载优化

在地下室外墙计算跨度一定的情况,地面荷载以及土压力系数的取值对外墙计算配筋影响较大。部分设计师在计算外墙时,甚至将地面荷载取为20 kPa,普通地下外墙应考虑覆土的扩散作用,地下室外墙所受实际荷载较小。《北京市建筑设计细则》指出:计算地下室外墙时,一般民用建筑的室外地面荷载可取5.0 kN/m<sup>2</sup>,所以应根据实际情况进行荷载取值。在土压力系数取值方面,始终采用静止土压力系数为0.5,注意若工程已采用护坡桩,在计算外墙土压力时,应考虑护坡桩与外墙的共同作用,对静止土压力系数可进一步折减,折减系数可取0.66,同时可取得更为合理的计算结果<sup>[4]</sup>。

### 2.4 地下室外墙裂缝控制

在计算地下室外墙时,混凝土的保护层厚度和裂缝宽度的限值对计算结果影响较大,保护层的厚度取值越大,越不利于裂缝宽度的计算。通常地下室外墙均设置有效的建筑防水层,《混凝土结构设计规范》规定混凝土的保护层厚度不小于25 mm,通常混凝土的保护层厚度取30 mm。当考虑到地下水对钢筋和混凝土有一定的腐蚀性后,混凝土的保护层厚度为50 mm,此时可依据《混凝土结构耐久性设计标准》(GB/T 50476—2019)的规定“当混凝土的保护层厚度超过30 mm时,可将厚度取为30 mm计算混凝土的裂缝”进行计算。由于外墙已经设置防水层,因此可按一类环境考虑,对外墙的裂缝宽度的限值可放宽至0.3 mm,此时可取得较好的经济效益<sup>[5]</sup>。

### 2.5 地下室外墙钢筋优化

当无垂直横隔墙或扶壁柱时,地下室外墙的计算模型为单向受力的单向板或多跨连续板,计算出钢筋为竖向钢筋,而水平钢筋按构造配置。仍有部分结构设计师将墙底部最大弯矩处钢筋直接拉通,没有按外墙的实际受力进行配筋,墙上部多出的钢筋对外墙的承载能力和裂缝控制并没有起到加强作用。实际上,墙底部的弯矩会随着墙高急剧降低,可以采用分段式进行配筋。考虑到墙体根部弯矩较大,同时也是控制裂缝的最不利处,底部钢筋以“细而密”的原则进行

配置,如C18@100,在墙高1/3处可将一半钢筋截断,此时钢筋变为C18@200。与钢筋全高拉通相比,该配筋方式可以取得较高的经济效益。

墙体的水平钢筋,采用水平钢筋贯通的方式比较多,对单向受弯模型,墙体的水平钢筋配置考虑最多的是竖向裂缝问题。部分结构工程师控制竖向裂缝的主要手段是增大水平钢筋配筋量,当墙厚较厚时,水平钢筋的用量较多,这是一种性价比较低的措施。但是从优化的角度看,这种措施性价比较低,但有一定作用,在结构设计时要求混凝土采用低水化热的水泥、补偿收缩混凝土以及细而密的钢筋布置;在施工时采取合理的混凝土配合比、采用充分湿润的木模同时加强对混凝土的养护,这些措施对裂缝的控制也更为有效,经济也更合理<sup>[6]</sup>。

### 3 地下室楼盖优化

地下室楼盖结构的种类较多,可分为有梁楼盖和无梁楼盖,由于目前无梁楼盖工程事故频出,政府部门也出台政策,因此,此处不再讨论无梁楼盖体系。次梁根据布置方式大致可分为单次梁、双平行次梁、十字梁以及无次梁大板,无次梁大板可根据楼板加腋情况再细分。楼盖结构体系的选择受荷载、跨度、裂缝控制原则、钢筋和混凝土单价以及模板施工等因素的影响,难以得出不变的结论,所以在项目设计时应多进行模型计算对比,选择经济性较为合理的楼盖体系。

#### 3.1 中间层楼板

中间层楼板无人防设计要求时,竖向荷载相对偏小,大柱网结构采用双平行次梁经济性最高,无梁大板和井字梁结构分别因板厚度和次梁多的原因,其经济性不佳;中柱网可采用单向次梁或主梁大板结构;小柱网以主梁大板体系为最佳选择。中间层考虑人防设计时,因为人防荷载数值较大,同时楼板厚度也有最低要求,所以楼板合理的跨厚比是计算的关键。根据楼板厚度( $h=200\text{ mm}$ )和人防设计荷载进行楼板计算,控制板的配筋率在 $0.25\%\sim 0.5\%$ ,确定次梁布置,最终选择合理的楼盖体系<sup>[7]</sup>。

#### 3.2 有覆土层的顶板

地下室顶板应考虑覆土重力和施工荷载,当楼板的厚度取值有变化时,不同的楼盖体系经济性也在变化。在结构设计时,对顶板的覆土厚度及重度应进行严格取值,不得随意放大,同时应根据合理的楼板厚度进行计算,确保楼板有较优的配筋率,宜控制在 $0.2\%\sim 0.25\%$ 。经过多项工程测算,在顶板荷载和柱网尺寸一定的情况下,主梁加腋大板经济性最优;其次是主梁大板和双向平行次梁。两者区别在于楼板厚度

的取值,当板厚 $h=250\text{ mm}$ 时,主梁大板可发挥楼板的受弯性能,经济优势明显;而当板厚 $h=160\text{ mm}$ 时,设置双向次梁,可取得明显的经济优势;井字梁楼盖体系由于次梁多、模板施工复杂等原因,导致其经济性较弱<sup>[8]</sup>。

### 4 结束语

(1) 独立基础+防水板、条形基础+防水板由于受力明确、施工简单、经济合理,是地下车库基础首选;平板式筏基础整体刚度好,调节不均匀沉降能力较强,科学的计算、假定和合理的配筋方式也可以取得较好的经济性。

(2) 地下室外墙采取的计算模型,应尽量真实反映结构实际受力情况;外墙裂缝宽度限值应考虑建筑防水做法,裂缝宽度限值可取 $0.3\text{ mm}$ ;外墙竖向钢筋应依据计算弯矩图,采用贯通+附加的配筋方式,对墙体的竖向裂缝不能仅依靠水平钢筋进行控制,应结合混凝土的制作、施工以及后期养护等措施预防裂缝的产生。

(3) 中间层楼盖应选取少梁结构,充分发挥楼板的受弯能力,当考虑人防荷载时,楼板厚度满足规范限值即可,即楼板配筋率控制在 $0.25\%\sim 0.5\%$ ;在地下室顶板设计,控制钢筋和混凝土等主材指标的同时,也应考虑后期施工时模板的工程量和施工的便利性。

#### 参考文献

- [1] 刘显旺,王克峰.地下车库顶板结构优化设计[J].工程建设与设计,2017(5):38-41.
- [2] 常云涛,刘鹏,李琰,等.地下车库结构方案优化,2019(S1):715-717.
- [3] 王强,王勇,崔彩琴.地下车库结构优化设计[J].建筑结构,2012,42(S1):822-823.
- [4] 孙小斌.关于建筑地下室结构的优化设计的探讨[J].设计与案例,2020(10):86.
- [5] 王红艳.建筑结构优化设计基本思路概要[J].建筑与结构设计,2019(4):5-6.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构设计规范:GB 50010—2010[S].2015年版北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S].北京:中国计划出版社,2011.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构耐久性设计标准:GB/T 50476—2019[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.