

# 南宁某医院结构设计难点及经济性分析

马娴

广西农垦设计院有限公司

**摘要：**本文通过介绍南宁某医院的设计过程及重难点和经济性分析，总结了医院结构设计的特殊问题解决方法思路，可供结构设计同仁参考。

**关键词：**基础选型；结构形式；楼盖体系；医院荷载、降板及防辐射；经济性；结构超长

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.01.071

## 一、工程概况

本项目位于南宁市五象新区龙岗片区，总建筑面积约22万m<sup>2</sup>，其中地上建筑面积约15万m<sup>2</sup>，包含门诊医技楼等11个子项；地下建筑面积约7万m<sup>2</sup>，其中地下一层为停车库和医技设备用房，局部设置二层人防地下室，抗力等级为核6常6。场地地势总体西低东高，有较大高差：最高点为场地东侧沿路111.3M，最低点为场地西北角86.6M。场地西侧的最高点为103M。场地东侧与西侧在场地西南部大致1/3处汇成一个山谷，自南向西北的高程94.6~91.9M。

本工程安全等级二级，设计使用年限50年，结构耐久年限50年。设计地震分组第一组，建筑场地类别Ⅱ类。各单体结构参数一览表如图2。

**医疗建筑：**场地基本地震烈度7度，根据中国地震局发文（中震防发[2009]49号）“关于学校、医院等人员密集场所建设工程抗震设防要求确定原则的通知”，设计基本地震加速度值0.15g<sup>[4]</sup>；抗震构造措施按8度考虑。

**非医疗建筑：**场地基本地震烈度7度，设计基本地震加速度值0.10g。

## 二、地基基础设计

根据已有地勘资料总平面图可知，场地开挖平整后地下室底板位于红黏土②（fak=240kpa）或角砾混黏土③（fak=280kpa），场地内的门诊楼、医技楼、高压氧舱、后勤楼、康复中心等单多层建筑可采用天然浅基础。



图1 总平面图 竣工实拍照片

其余6栋高层建筑（1#~4#住院楼、医疗康复楼、医护综合楼）无法采用天然浅基础，可采用CFG桩复合地基，也可采用桩基础，建议选用钻（冲）孔桩或机械旋挖桩基础，以稳定的破碎石灰岩④层作为摩擦桩桩端持力层，桩端应穿过溶洞，全断面进入破碎石灰岩④层不应小于1倍桩径。选取CFG桩复合地基、钻（冲）孔灌注桩、静压预制桩作为方案比选，指标如图3所示。经对比分析，方案①综合总造价最低，施工技术成熟，工期最短，故基础采用方案①CFG桩复合地基。施工过程中局部区域遇破碎石灰岩长螺旋钻机成孔工艺无法穿透时，改用旋挖工艺成孔，成效不错。

地勘报告显示，考虑到周边地形地貌及水文地质条件后，采取分栋建议抗浮水位的方式，建筑抗浮水位建议值分别为93.50m和97.50m，本项目应进行相应抗浮设计，水头约4m，抗浮计算稍有不足情况时采用配重方式解决。由于业主经济性要求，地下室底板未设置基础梁，而是按独基+防水板的受力模式，除计算满足抗浮

子项名称	建筑层数及高度	抗震设防类别 <sup>[1]</sup>	地震加速度	结构形式	抗震等级 <sup>[2]</sup>
门诊楼、医技楼	5F/22.80m	乙类	0.15g	框架结构	二级
1, 2#住院楼	16F/65.70m	乙类	0.15g	框剪结构	一级
3, 4#住院楼	13F、15F/41.25m、44.55m	乙类	0.15g	框剪结构	框架二级、剪力墙一级
高压氧舱	1F	乙类	0.15g	框架结构	二级
医疗康复楼	14F/45.45m	丙类	0.10g	框剪结构	框架三级、剪力墙二级
康复中心	3F/13.10m	丙类	0.10g	框架结构	三级
医护综合楼	19F/69.30m	丙类	0.10g	框剪结构	二级
后勤楼	5F/15.30m	丙类	0.10g	框架结构	三级

图2 各单体结构参数一览表

序号	对比项	方案① CFG桩复合地基	方案② 钻孔灌注桩	方案③ 预应力混凝土管桩
1	桩径(mm)	600	1000 扩大头2000	500
2	桩长(m)	12	28	土层起伏较大,取平均桩长为17m
3	单桩承载力特征	800	5600	1400
4	总桩数(根)	2852	663	3132
5	总桩长(m)	34224	18564	53244
6	桩混凝土量(m <sup>3</sup> )	10644	17642	7837
7	引孔	/	/	需要引孔
8	综合单价(元/m <sup>3</sup> )	800	1380	330
9	综合单价构成	CFG桩长螺旋成孔及灌注为710元/m <sup>3</sup> ,空桩部分以及破除桩头部分折合为90元/m <sup>3</sup> ,机械进退场及安拆费约2.8万元并入总价	灌注桩钢筋210元/m <sup>3</sup> ,桩体部分为1120元/m <sup>3</sup> ,桩体土及桩头渣50元/m <sup>3</sup> ,机械进退场及安拆费约2.8万元并入总价	长螺旋成孔70元/m <sup>3</sup> ,预应力管桩290元/m <sup>3</sup> ,静压桩机械进退场及安拆费约4.2万元并入总价
10	桩总造价(万元)	852	2435	1757
11	施工方式	长螺旋钻机钻孔灌注成桩	旋挖机钻孔灌注成桩	长螺旋钻机引孔+静压桩机压桩
12	施工难度	较易	较难	较难
13	预计工期(d)	75	90	85
14	前期试桩	/	3根	3根
15	试桩费用(万元)	/	12	6
16	检测费用(万元)	40	40	40
17	毛石混凝土回填	3600	/	/
18	毛石混凝土综合单价(元/m <sup>3</sup> )	350	/	/
19	毛石混凝土造价	126	/	/
20	基础底板型式	筏板厚1.5m	承台厚1.5m,其余底板厚0.5m	筏板厚1.5m
21	综合总价(万元)	2079	3392	2865
		工程桩+检测+毛石砼+底板	工程桩+检测+试桩+底板	工程桩+检测+试桩+底板

图3 桩型比选表

要求外,为防止极端天气导致水位增高对地下室带来不利影响,设计要求增设水位监测点,以监测筏板底的水压力。

### 三、上部结构

#### (一) 结构形式

3、4#住院楼,医疗康复楼13F~15F,建筑高度41.25m~44.55m。根据《高层建筑混凝土结构技术规程》表3.3.1-1知,7度设防区,建筑高度<50m可采用框架结构,也可采用框架-剪力墙结构。由于此高度在框架结构50m的临界值,经济性适用性不一定比框架-剪力墙结构好,于是我们进行了方案比选,并从经济性适用性归纳指标如图4,由指标可知:实用性方面框架-剪力墙结构较好,经济性方面两种体系差别不大,综合各方面来看,建议采用框架-剪力墙结构。

#### (二) 楼盖体系

本工程地下室典型柱跨8.1m×8.1m,X、Y方向各取5跨计算,恒载30.5kPa(按覆土1.5m)、活载5.0kPa(非消防车道区域),采用常规框架结构,为了寻求更经济、合理的结构布置形式,参考其他工程经验地下

室楼盖做多种方案进行对比。方案一:单向双次梁,板厚180mm,主梁600×950,次梁300×850。方案二:双向十字梁,板厚180mm,主梁600×850,次梁300×800。方案三:单向单次梁,板厚180mm,主梁600×950,次梁400×850。方案四:双向井字型梁,板厚180mm,主梁600×800,次梁300×700。方案五:框架梁+普通大板结构,板厚300mm、主梁600×850。方案六:框架梁+加腋大板结构,腹板厚250mm、加腋300mm×1500mm(高×宽)、主梁500×750。以上各方案相关经济和技术等指标对比及方案建议如图5。方案一、方案二和方案五都是工程中最常采用的楼盖形式,具有设计理论成熟、可靠性强、施工简单常规、现场易管理、成本可控等优点,常规人防地下室层高条件下亦能保证有效净高的要求,水暖电等设备专业管综的布置灵活方便;对人防地下室有效净高影响较小。通过对比可发现,方案五造价低,工期短,故本工程地下室楼盖采用方案五,框架梁+普通大板结构。

### 四、结构设计中特殊问题处理

#### (一) 医院荷载取值及结构降板

	抗震等级	框架柱截面(mm)	剪力墙厚度(mm)	砼用量(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	梁钢筋用量(kg/m <sup>2</sup> )	框架柱钢筋(kg/m <sup>2</sup> )	剪力墙钢筋(kg/m <sup>2</sup> )	总钢筋用量(kg/m <sup>2</sup> )	总单价(元/m <sup>2</sup> )	位移角
框架-剪力墙结构	框架二级、剪力墙二级	600x800/	300/25	0.40	11	6	12	36	325	1/1190
		600x600/500x500	0/200							
框架结构	二级	800x1000~600x600	0	0.37	17	16	0	40	328	1/570

注:1.钢筋按4500元/吨、混凝土按400元/m<sup>3</sup>计算。2.以上钢筋量、砼用量等指标均为估算,但相对指标可以参考。

图4 结构形式方案指标对比表

	方案一 单向双次梁	方案二 双向十字梁	方案三 单向单次梁	方案四 双向井字型梁	方案五 框架梁+普通大板	方案六 框架梁+加腋大板	方案七 无梁楼盖/无梁空心楼盖
钢筋用量 (kg/m <sup>2</sup> )	55.78	63.06	63.03	65.94	68.97	53.85	为了避免形成多塔楼而造成塔楼偏置而超限,地下室顶板按作为上部单体结构的嵌固端进行设计,根据规范要求(《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2010)第3.6.3条)地下室顶板(-1层顶板)不能做无梁楼盖,无梁空心楼盖。
混凝土量 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	0.357	0.373	0.350	0.396	0.429	0.490	
模板 (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	1.817	1.649	1.528	1.905	1.277	1.126	
工期 (天/1000 m <sup>2</sup> )	7.5	7.5	7	9	6	9	
总单价 (元/m <sup>2</sup> )	530.09	556.65	547.24	598.01	577.75	522.78	
优点	成本较低				工期较短 模板量少	成本较低 层高较低 模板量少	
缺点	模板量多 层高较高		层高较高	成本较高 工期较长 模板量多	成本较高 工期较长 施工有一定难度		
考虑消防车	板格跨度小 消防车荷载大	板格跨度小 消防车荷载大	板格跨度小 消防车荷载大	板格跨度小 消防车荷载大	板格跨度大 消防车荷载小	板格跨度大 消防车荷载小	
地下室顶板 方案建议	主楼范围以外:方案六(框架梁+加腋大板) 主楼范围以内:方案一(单向双次梁)						

注:1.钢筋按4500元/吨,混凝土按400元/立方计算,模板按木模板75元/平方,2.以上钢筋量、砼量等指标为估算,但相对指标可以参考。

图5 顶板楼盖体系指标对比表

医疗建筑特别是医技楼有很多特殊的医疗设备,如CT、DR、DSA检查室、直线加速器、MRI(核磁共振)、高压氧舱等,需考虑设备重量、设备运输与安装,并进行防辐射设计<sup>[6]</sup>。这些会给结构带来一定的难度。一方面《建筑结构荷载规范》中对于此类荷载没有明确规定,另一方面结构降板高度、砖墙或砌墙体厚度也是有要求,这需要相关厂家提前提资。但是从目前设计的十来个医院项目来看,院方很难在前期确定厂家,所以要求设计方具有相关的经验,还有一方面,医疗建筑会随着我国医疗事业的发展进行搬迁、改扩建,还会因为院方运营而调整功能和布局,引起原设计的调整。所以专业的医疗设计团队最好配备相关的医疗工艺流程专业。另一方面结构设计需具有一定前瞻性,尤其是在基础、竖向构件和荷载方面预留一定的空间,在后期运营阶段布局容易改动的门诊、医技楼,结构活荷载按隔墙灵活分隔考虑<sup>[3]</sup>,对于有防辐射要求的房间隔墙(除直线加速器外)优先采用加厚的砖墙而不是砌墙,这样一方面是可以避免结构刚度突变,另外是避免后期调整布局引起拆改工程量太大。

### (二) 结构超长

门诊医技楼结构平面形状为倒T形,且超长超宽,长151.7m,宽97m。为了满足建筑使用功能要求,同时使结构刚度均匀,传力明确,首先设置结构缝将门诊楼与医技楼分离,使两个塔楼成为相对规则的矩形建筑。分离后的门诊楼长151.7m,宽47.7m,医技楼楼长77.4m,宽49.2m,其长度远远超过了《高层建筑混凝土结构技术规程》的要求,为此采取了以下构造措施来控制温度应力<sup>[8]</sup>。一是设置伸缩后浇带。门诊楼在大开洞各一跨外设置了两道伸缩后浇带,医技楼在建筑中间位置设置了一道后浇带,间距不超过40m,以减少混凝土收缩及温度对结构的不利影响。二是对地下室顶板、外墙等受温度影响较大的部位适当提高配筋率,采用较小直径和间距的方式配筋。三是施工时严格控制水灰比,加强养护,采取合理的施工工序以确保结构构件不出现温度裂缝<sup>[7]</sup>。

### (三) 局部大开洞

门诊楼在门厅上方二层结构楼板处开大洞,开洞尺寸24.3m×22.6m,引起楼板局部应力集中,且在三层同

一位置楼板局部开小洞,引起其中两颗框架圆柱跃层高度达14.4m,另外还在9.9m标高处设置悬挑7.1m的钢化玻璃雨篷,中间无任何楼板约束,仅靠弧形框架梁连接。为了确保跃层柱计算的准确性,我们分别用PKPM、YJK模拟了层高改为14.4m、层高按实际但删除弧形框架梁、层高和约束均按实际模型的圆柱、方柱及按考虑二阶弹性设计方法等十个模型进行对比分析计算,并对这两颗圆柱进行概念上的构造加强。

### (四) 局部抽柱、跃层柱

由于建筑立面需要,屋面局部收进,引起结构竖向不连续,须通过设置梁上柱来实现。另外在同一处,业主要求设置一个可以容纳260人的大会议室,所以结构原来的8.1m柱网无法满足,只能局部抽柱形成24.3m的大空间。结构在此处存在竖向不连续、刚度突变、大跨度等难点。为此,首先加强了抬梁上柱的框架梁,配筋均按框支梁要求控制;其次在计算上控制刚度变化的幅度,避免引起刚度严重突变;最后针对大跨度,由于仅有一跨,无法向外延伸进行刚度及弯矩的过渡,仅从截面及配筋上进行加强,裂缝和挠度均满足规范要求。

由于五层大会议室高空间的要求,结构出现了大开洞以及跃层柱,其中一角更是在斜向无任何有效楼板约束,在地震作用下此处极易出现斜向剪切破坏。处理方案一是跟建筑协调,在不影响建筑立面和使用的情况下,在化妆间等位置加一跨楼板,为了保证楼板约束的有效性,此处未采用悬挑梁的方式,而是立梁上柱的方式支撑楼板;二是概念上加强周边框架梁和柱子,并设置斜向45°楼板加强钢筋。

### 五、结束语

医院的结构设计除了要满足各个规范、规程的要求,还因为其医疗设备、防辐射设计以及后期运营的易变动性而与普通建筑的经济性指标差别较大。本文从一个具体工程的设计粗略阐述了如何兼顾医疗建筑的设计前瞻性和经济性,由于篇幅的局限,本文尚未展开阐述各个科室的荷载取值、结构降板、各个类型医院与房地产项目经济性指标对比分析等,留待下一次讨论。

### 参考文献

- [1] GB50223-2008, 建筑工程抗震设防分类标准[S].
- [2] GB50011-2010(2016版), 建筑抗震设计规范[S].
- [3] GB 50009-2012, 建筑结构荷载规范[S].
- [4] 中国地震局. 关于学校、医院等人员密集场所建设工程抗震设防要求确定原则的通知[Z]. 2009.
- [5] 孙明, 郑林进. 安徽蚌埠医学院第二附属医院新院结构设计[J]. 建筑结构, 2015, 45(S2): 315-319.
- [6] 邓晓春. 浅析医院建筑的结构设计[J]. 中外建筑, 2020(07): 165-167.
- [7] 孙明, 郑林进. 浅谈启东市妇幼保健院门诊医技病房楼结构设计[J]. 中国医院建筑与装备, 2017(11): 52-55.
- [8] 冯丽, 顾渭建. 高层建筑超长结构无缝技术裂缝控制的建筑和结构计算[J]. 哈尔滨建筑大学学报2002, 35(2): 40-43.