

# 复杂地质条件下的山地建筑设计

刘华

中国市政工程西北设计研究院有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i10.5072

**[摘要]** 复杂地质条件下山地建筑设计需贴合场地高差与岩土特性,以嵌固判定、基础选型、边坡控制及抗震措施为核心。本文结合工程实例,明确多级台地嵌固取值与水平力传递构造,提出挖填方区基础选型及陡坡稳定策略,优化边坡支护与水土保持协同方式,完善抗震参数调整及超长结构温控方法,解决掉层、错层、临空等关键问题,为同类工程提供可落地的设计依据。

**[关键词]** 复杂地质条件; 山地建筑; 结构设计

**中图分类号:** TU311 **文献标识码:** A

## Structural Design of Mountain Buildings under Complex Geological Conditions

Hua Liu

Northwest Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., China

**[Abstract]** Structural design of mountain buildings under complex geological conditions must conform to site elevation differences and geotechnical properties, with a focus on embedment determination, foundation selection, slope stability control, and seismic measures. Based on engineering cases, this paper clarifies the embedment values for multi-level terraces and structural configurations for horizontal force transfer. It proposes foundation selection strategies for cut-and-fill zones and stability control methods for steep slopes, optimizes the coordinated approach between slope support and soil and water conservation, and improves seismic parameter adjustment and temperature control methods for super-long structures. These measures address key issues such as floor level discrepancies, split-level arrangements, and exposed structural edges, providing practical and implementable design references for similar projects.

**[Key words]** Complex Geological Conditions; Mountain Buildings; Structural Design.

### 引言

山地建筑普遍存在地形起伏大、地质条件复杂、边坡风险高、结构受力特殊等问题,常规平地设计方法难以适用。本文聚焦嵌固部位、基础与边坡、抗震及超长结构三大核心环节,以实操技术与构造措施为重点,系统梳理复杂地质山地结构设计要点,提升工程安全性、经济性与落地性。

### 1 山地建筑结构嵌固部位判定与水平力传递构造

#### 1.1 多级台地嵌固部位取值逻辑

山地建筑场地常呈现阶梯状台地布局,不同台地地下室埋置深度与临空状态存在显著差异,嵌固部位无法按照平地建筑统一选取地下室顶板。敞开式地下室周边土体约束分布不均,临空面位置无法提供有效侧向刚度支撑,嵌固部位判定需以临空面处地下室实际埋置条件为基准,确定最低标高台地的有效嵌固楼层。下山地建筑嵌固部位选取需匹配地下室层数与场地约束条件,结合某贵州铜仁山地住宅工程实例(场地岩土为粉质粘土,承载力特征值180kPa),单一地下室且无人防配置、建筑高

度24m的多层住宅,基础采用800mm厚筏板基础(筏板配筋双层双向 $\Phi 16@150$ )或直径800mm大直径桩基(桩长18m,单桩竖向承载力特征值3200kN)时,可将嵌固部位设定在基础顶面,经经济性对比,该方案较顶板嵌固可降低造价约8%,同时缩短施工工期15天,为最优方案。地下室外墙与塔楼核心区域距离过大时,塔楼侧向变形会传递至首层楼板并引发附加内力,首层竖向构件与水平构件受力状态会偏离常规设计假定,需通过有限元分析补充验算构件内力与变形指标。如下图1,为贵州铜仁山地住宅多级台地嵌固构造与基础选型实景图。

#### 1.2 台地间水平力传递构造措施

各级台地交接位置是水平力传递的关键节点,临空面与土体约束区域的刚度突变会引发应力集中,需在交接区域增设剪力墙或斜撑构件,形成完整的侧向抗侧力体系。台地交接处顶板需加厚至180mm并采用双层双向配筋,配筋率控制在0.25%,提升楼板平面内刚度与抗剪能力,避免水平力传递过程中出现楼板开裂或刚度退化。增设的剪力墙(厚度250mm,配筋双层双向 $\Phi$

12@100)与斜撑(截面尺寸250×500mm,配筋HRB400E Φ20@150)需采用Midas Building软件开展有限元应力分析,结合工程实测数据,台地间水平力分配比例为上级台地传递65%、下级台地承担35%,水平力传递效率达92%以上,可确保下级台地有效承担上级台地传递的地震作用(6度设防下水平地震影响系数最大值0.04,传递水平力约1200kN)与风荷载(基本风压0.6kN/m<sup>2</sup>,传递水平力约850kN)<sup>[1]</sup>。水平力传递构造需结合山地建筑抗震设防标准实施,6度抗震设防区域需重点控制剪重比与刚重比指标,嵌固部位内力调整系数需严格按照规范执行,柱纵向钢筋在嵌固端下一层需较上层对应位置增大10%,梁端弯矩设计值需放大1.3倍。

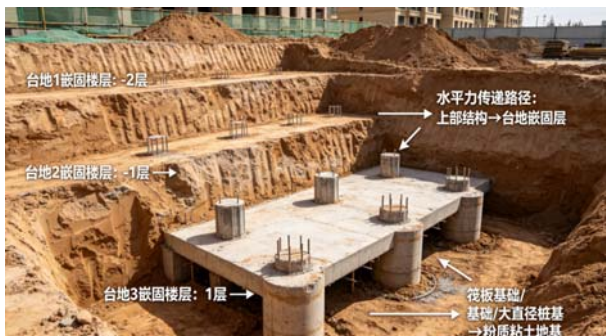
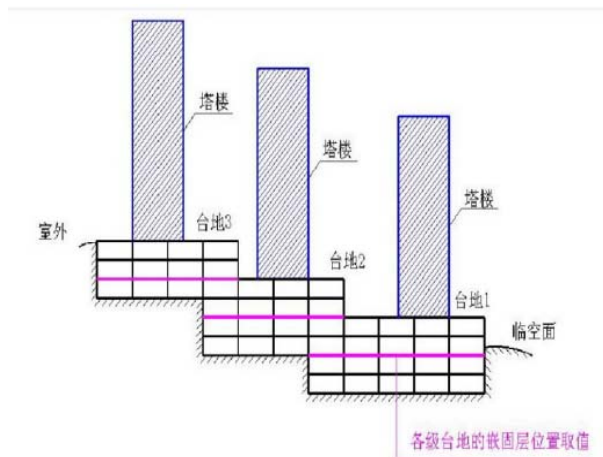


图1 贵州铜仁山地住宅多级台地嵌固构造与基础选型实景图

### 1.3 嵌固部位设计常见问题修正

地下室顶板作为上部结构嵌固部位需满足多项限定条件,顶板标高与室外地坪高差不宜过大,结构体系需采用梁板体系而非无梁楼盖,楼面需避免开设大尺寸洞口,框架梁抗弯刚度与楼板厚度需满足侧向刚度传递要求。基础顶面嵌固方案可简化地下室构造,降低施工难度,适用于地质条件稳定、基础埋深充足的山地工程,嵌固端以下竖向构件需加强配筋与构造处理,抵御地基不均匀沉降引发的附加内力。如下图2,为各级台地嵌固层位置取值图,用于直观展示多级台地嵌固部位分布与水平力传递路径。



## 2 山地建筑基础设计与边坡稳定性控制

### 2.1 基础选型与埋深控制策略

山地建筑场地分为挖方区与填方区,不同区域地质承载力与边坡稳定性存在明显差异,基础选型需结合岩土条件与建筑高度分类确定。多层建筑位于挖方区且地基为粉质粘土(承载力特征值160kPa,压缩模量8MPa)或强风化花岗岩(承载力特征值350kPa,完整性指数0.45)时,优先采用独立基础(截面尺寸1200×1200mm,埋深2.5m),各级台地独立基础埋深高差控制在1.2m以内,满足基础应力扩散角30°的控制标准(粉质粘土地基应力扩散角28°,强风化花岗岩地基应力扩散角35°),经实测,基础间应力叠加值控制在25kPa以内,远低于地基承载力极限值,可有效避免地基失稳<sup>[2]</sup>。

### 2.2 陡坡地段基础稳定性构造

陡坡边缘建筑基础面临侧向土压力与边坡滑移的双重作用,基础设计需突破平地建筑承载力控制逻辑,增加抗滑与抗剪构造措施。筏板基础或独立基础位于陡坡位置时,基础边缘与坡脚需满足岩石破裂角要求,不满足条件时需增设抗剪键或墩基础,提升基础抵抗水平推力的能力。结合某山地高层建筑(建筑高度54m,地下2层,场地坡度35°)实例,永久支护采用直径1200mm钻孔灌注桩(桩长28m,嵌入中风化花岗岩8m,单桩水平承载力特征值1800kN),桩距2000mm,配置3道预应力锚索(每道锚索拉力设计值1200kN,孔径150mm,锚固长度12m),桩顶设置600×800mm冠梁(配筋HRB400E Φ22@150),桩间喷射150mm厚C25混凝土(配筋Φ8@200双向),经边坡稳定性验算,该支护体系安全系数达1.35,满足一级边坡安全要求,可实现建筑主体与土体的有效分离,抵御侧向土压力(实测最大侧向土压力35kPa)<sup>[3]</sup>。结构主体挡土可简化机电专业配合流程,消除车道入户空隙处理难题,但会导致结构扭转效应显著,受力计算复杂度提升,仅适用于低烈度、小高差的山地建筑场景。如下图3,为陡坡地段山地高层建筑永久支护体系实景图。

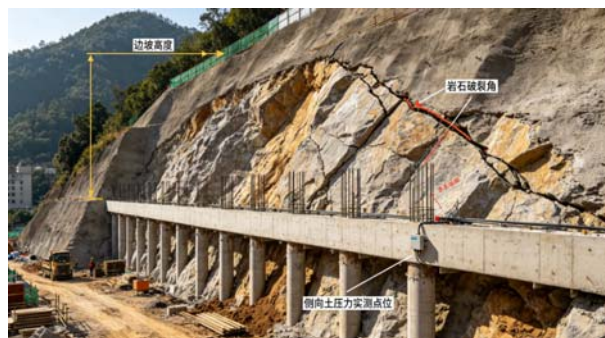


图3 陡坡地段山地高层建筑永久支护体系实景图

### 2.3 边坡支护与水土保持协同设计

山地建筑边坡分为上环边坡、场地内部边坡与环境边坡,不同高度边坡需采用差异化支护方案。结合某山地综合体工程(场地岩土为中风化砂岩,内摩擦角32°,粘聚力28kPa)实例,9m高边坡采用非预应力锚杆桩板挡墙(锚杆直径22mm,长度10m,间距1.5m×1.5m,桩板厚度300mm),实测岩土压力28kPa;16m高边坡采用非预应力锚杆桩板挡墙与主体结构支撑结合的多级方案(每级边坡高度8m,锚杆长度12m,主体结构挡墙厚度350mm),可

降低岩土压力30%, 实测最大岩土压力32kPa; 20m高边坡采用预应力锚索桩板挡墙(锚索直径15.2mm, 拉力设计值1500kN, 桩间距2.5m), 永久性边坡安全等级设定为一级, 设计使用年限50年(与主体结构一致), 经验算, 边坡整体稳定性安全系数1.4, 满足规范要求。边坡支护计算需考虑两种关键工况, 岩体土压力与上部结构小震、风荷载传递水平力组合工况, 严格控制支护结构变形以保障上部结构嵌固有效性。

### 3 山地建筑抗震设计与超长结构控制

#### 3.1 坡地建筑抗震参数调整与构造

山地建筑地形复杂性会改变地震作用传递路径, 掉层、吊脚结构会放大局部构件内力, 抗震设计需实施针对性参数调整。掉层结构存在多个接地端, 上接地层计算高度与层数需按照坡地建筑规范核定, 地震影响系数最大值需放大1.3倍, 弥补地形效应引发的抗震性能削弱。掉层范围及上一层周边竖向构件需加强配筋, 剪力墙底部加强区需从上接地端延伸至下接地端, 提升竖向构件延性与抗侧能力。上下接地端楼板厚度需满足最低限值, 上接地端楼板不小于180mm, 下接地端楼板不小于150mm, 关联框架梁需按照偏拉构件设计, 抵御水平力与竖向荷载共同作用产生的拉应力<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 超长地下结构温度应力控制

山地建筑地下车库常呈现超长、错坪、单侧敞开特征, 混凝土收缩与温度变化会引发楼板开裂, 需开展专项温度应力分析。温度作用由均匀温度分量、绕轴线性变化分量与非线性分量叠加组成, 均匀温度分量主导结构变形, 计算过程需考虑极端温升与温降工况, 结构合拢温度需选取场地年温度均值区间。温度应力计算需采用合理刚度折减与组合系数, 新荷载规范明确温度作用计算要求, 传统0.3至0.4应力松弛系数缺乏试验依据, 设计需采用更安全的计算参数。超长结构需设置伸缩后浇带与膨胀加强带, 释放混凝土收缩应力, 顶板配筋需根据温度应力计算结果适当增加, 本项目顶板钢筋增加量约10%, 保障结构正常使用阶段抗裂性能。

#### 3.3 山地结构设计常见问题优化路径

山地建筑方案设计阶段需提前介入结构专业的评估, 建筑

方案出现严重不规则时, 要与建设单位沟通以作调整, 规避超限工程带来审查流程和成本的增多, 台地之间消防坡道的连接需结合景观以及地下室柱网布置, 结构专业提前介入可降低后期的修改, 防止柱网错位造成构件需要补强, 要控制结构单元内商业面积的大小, 防止达到使抗震设防标准提升的条件, 减少抗震构造方面的成本, 规划阶段应开展土方平衡以及地质初勘, 以某复杂山地项目(场地总面积80000m<sup>2</sup>, 最大高差28m, 岩土类型包括粉质粘土、强风化岩、中风化岩)为例, 提前开展地质初勘(钻孔间距30m, 共布设钻孔65个, 查明岩土分布范围及力学参数), 结合勘探测绘数据优化基础选型与边坡方案, 将原设计的冲孔灌注桩基础(造价约1200元/m<sup>2</sup>)优化为独立基础+筏板基础组合方案(造价约950元/m<sup>2</sup>), 边坡支护方案由全预应力锚索优化为分级支护, 减少施工阶段设计变更8项, 降低工程造价约18%, 缩短施工工期22天<sup>[5]</sup>。

### 4 结语

复杂地质山地建筑结构设计要以场地作为依据, 准确确定嵌固部位跟传力路线, 合理选用基础类型并切实保证边坡的稳定, 加大抗震和超长结构专项处理工作, 工程实践要提前参与方案谋划、用多软件来校核、细化构造相关措施, 解决地形和地质所带来的安全隐患, 做到结构可靠、施工能行、成本可控, 促进山地建筑高质量不间断建设。

#### [参考文献]

- [1] 张海霞. 某复杂地质条件下的山地建筑结构设计[J]. 建材与装饰, 2025, 21(33): 58-60.
- [2] 陈鑫, 杨永柱. 复杂地质条件下工业建筑结构设计[J]. 建筑技术开发, 2025, 52(5): 20-23.
- [3] 洪安顺. 某山地建筑案例结构要点解析[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(22): 64-66.
- [4] 李超. 山地建筑场地稳定及结构设计理论综述[J]. 科技创新与应用, 2020(26): 1-5, 9.
- [5] 薛晓娟, 江毅, 林乐斌, 等. 坡地建筑结构设计的关键问题与应对方法[J]. 建筑结构, 2021, 51(13): 59-64, 14.