

# 某佛学院结构设计关键问题解析

范华君

南京长江都市建筑设计股份有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ERA.2026030039

**摘 要 :** 本文系统探讨了山地学校项目的结构设计全过程。结合场地地质条件, 明确了桩基选型原则, 并深入分析了边坡支护设计对山地建筑安全与稳定的关键影响。详细阐述了特殊计算参数的确定依据及计算方法, 确保结构分析的准确性与可靠性。在此基础上, 归纳并总结了针对山地学校项目的系列结构加强措施, 涵盖抗震设防要求的落实、结构重要性系数的取值、关键计算与构造措施, 以及对不规则结构的处理对策。研究成果为同类复杂地形条件下的教育类建筑项目提供了可借鉴的设计思路与技术参考, 具有良好的工程应用价值。

**关键词 :** 山地项目; 学校项目; 结构设计; 参数计算; 措施总结

## Analysis of Key Issues in Structural Design of a Buddhist College

Fan Huajun

Nanjing Yangtze River Urban Architectural Design Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract :** This paper systematically explores the entire process of structural design for a mountain school project. Based on the site's geological conditions, it clarifies the principles for selecting pile foundations and provides an in-depth analysis of the critical impact of slope support design on the safety and stability of mountain buildings. The paper elaborates on the basis for determining special calculation parameters and their calculation methods, ensuring the accuracy and reliability of structural analysis. Building on this foundation, it summarizes a series of structural reinforcement measures tailored to mountain school projects, covering the implementation of seismic fortification requirements, the selection of structural importance coefficients, key calculation and construction measures, and strategies for dealing with irregular structures. The research findings offer valuable design insights and technical references for educational building projects in similar complex terrain conditions, demonstrating significant practical engineering value.

**Keywords :** mountain projects; school projects; structural design; parameter calculation; measure summarization

## 引言

随着我国城镇化进程步入中后期, 房地产市场整体呈现下行趋势, 住宅类建设项目显著减少, 城市核心区位条件优越的新增公共建筑项目亦随之锐减。同时, 伴随文化旅游产业的蓬勃兴起, 山地资源的开发与利用日益受到重视。在此背景下, 原本在江苏地区较为罕见的山地建设项目逐渐增多, 呈现出新的发展空间与建设需求。本文依托实际工程项目, 聚焦山地环境下的结构设计关键问题, 系统梳理设计难点与应对策略, 提出具有可操作性的技术建议, 旨在形成一个兼具实践价值与推广意义的山地项目设计研究课题, 以期为同类工程提供参考与借鉴。

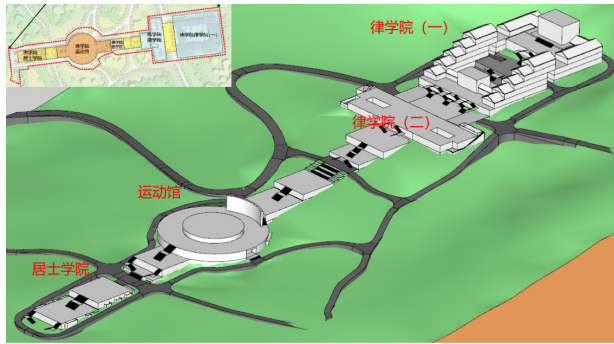
## 一、项目概况

### (一) 基本信息

本项目位于项目地位于南京市溧水区永阳街道, 紧邻东庐山, 本项目位于南京市溧水区东庐山观音寺山上, 拟建建筑物场地依山而靠, 用地南侧为东庐观音寺, 西侧为城市道路溧白路。本地区抗震设防烈度为7度, 设计地震分组为第一组, II类场地。

### (二) 项目特点

本项目为山地学校项目, 由1栋佛学院居士学院、1栋佛学院运动馆(局部下设1层地下室)、1栋佛学院医疗区和1栋佛学院律学院(局部下设1层地下室)组成。场地从起点至终点直线长度约450m, 高差达66.20米。在设计过程中, 根据现状道路与现状高差, 均衡布置重要节点, 并采用分级场地均匀平衡场地高差, 结合永久支护挡墙, 设计后的场地可达到缓坡上行的效果。



图一

## 二、桩基设计

### (一) 地质概况

根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) (2009年版), 结合地勘设计院在该地区的勘察成果, 依据岩土体的成因、时代、埋藏分布等特征, 可将勘探深度内揭示的岩土层具体分述如下:

1-1层杂填土, 呈杂色, 稍湿~湿, 松散, 主要以碎石土、岩块及黏性土组成, 含少量植物根茎, 岩块及碎石含量在20%~45%不等, 不均匀主要为浅部分布, 堆填时间约8年。岩土工程施工等级为I级。局部分布在场内地内, 层顶最小标高88.28m, 层顶最大标高129.77m, 最小厚度0.70m, 最大厚度4.10m。

1-2层素填土, 呈黄灰色~灰黄色, 湿~很湿, 松散, 以黏性土为主夹碎石, 局部夹岩石块, 含植物根茎, 局部夹淤泥质填土, 不均匀, 堆积时间约8年。岩土工程施工等级为I级。局部分布在场内地内, 层顶最小标高63.93m, 层顶最大标高131.74m, 最小厚度0.30m, 最大厚度4.40m。

3层粉质黏土, 呈黄褐色, 局部灰黄色, 硬塑, 局部可塑, 局部夹黏性土团块, 含铁锰质结核, 切面稍有光泽, 干强度高、韧性强, 底部局部含卵砾石及风化岩屑。岩土工程施工等级为III级。局部分布在场内地内, 层顶最小标高62.13m, 层顶最大标高130.54m, 最小厚度0.50m, 最大厚度5.50m。

4层残积土, 呈灰黄色局部黄褐色, 饱和, 可塑局部硬塑, 切面粗糙, 含大量风化碎屑, 偶夹中粗砂及卵砾石, 土质不均匀, 干剪强度高, 韧性强。岩土工程施工等级为III级。局部分布在场内地内, 层顶最小标高62.16m, 层顶最大标高128.24m, 最小厚度0.50m, 最大厚度8.00m。

5-1层强风化凝灰岩, 呈灰色夹灰黄色、青灰色, 原岩经强烈风化呈砂土状, 局部夹碎块状中等风化硬质岩块及呈土状, 手握易散, 极不均质, 遇水易软化, 岩体基本质量等级为V级。岩土工程施工等级为III级。全场分布, 层顶最小标高59.36m, 层顶最大标高126.57m, 最小厚度0.50m, 最大厚度14.90m。

5-2P层中风化破碎状凝灰岩, 呈灰色为主, 局部青灰色、灰黄色, 岩芯呈碎块状~短柱状, 锤击声脆, 易碎, 钻进速度较慢, 属较软岩, 破碎, 局部强度较大达较硬岩, 岩土基本质量等级为

V级, 遇水易软化, 局部岩块较硬, 软硬不均。岩土工程施工等级为IV级。局部分布在场内地内, 层顶最小标高63.21m, 层顶最大标高102.93m, 最小厚度1.40m, 最大厚度3.90m。

5-2层中风化凝灰岩, 呈灰色为主, 局部青灰色、灰黄色, 岩石强度较高, 岩芯呈短柱状~柱状, 局部为碎块状, 锤击声脆, 易碎, 钻进平稳, 遇水易软化, 属较软岩, 较完整, 局部岩石较硬, 达较硬岩, 岩土基本质量等级为IV级, 软硬不均。岩土工程施工等级为IV级局部V级。全场分布, 层顶最小标高52.43m, 层顶最大标高124.94m, 最大揭露厚度19.20m。

### (二) 桩基选型

根据岩土工程勘察报告揭示, 场地底板以下3层粉质黏土为膨胀土, 其自由膨胀率介于36.5%~56.1%之间, 具有显著的胀缩性, 易对基础结构产生不利影响; 其下伏主要持力层为5-2层中风化凝灰岩, 该岩层具有遇水易软化的工程特性, 稳定性受环境水分变化影响较大。

依据《JGJ/T 472-2020 扩展基础与桩基础技术规范》第4.3.4条及其条文说明的指导建议: 宜优先选用桩基, 以减少主体结构变形对支撑结构及地基的附加作用”, 结合场地实际土质条件与工程特性, 经综合比选后, 最终确定采用旋挖成孔灌注桩作为本项目的基础形式。该选型可有效穿越膨胀土层, 将荷载传递至深层稳定岩层, 减小地基变形对主体结构及支护体系的影响, 提升整体结构安全性和耐久性。

## 三、支护设计

### (一) 永久支护挡墙的作用

承担荷载: 在山地建筑中, 如果不设挡墙, 建筑物的基础往往需要直接承受来自山体的巨大侧向土压力。永久挡墙将这部分侧向土压力直接承担下来, 并将其传递至地基或深层岩体。

受力简化: 主体结构的外墙或基础不再需要按“挡土墙”标准设计, 只需承受上部建筑的竖向荷载。这大大简化了主体结构的受力模型, 降低了设计难度和配筋量。

释放变形: 山体和回填土在温度变化、雨水浸泡或自重作用下会发生变形。如果主体结构直接与山体接触(如“掉层”结构未做隔离), 土体的变形会直接拉扯建筑, 导致墙体开裂。

设置缝隙: 永久支护结构通常与主体结构脱开设置(留有缝隙或设置隔离层)。这允许土体和挡墙自身发生微小变形, 而不会将这些变形应力传递给建筑物, 有效防止了主体结构因外力约束而产生裂缝。

能量耗散: 特别是对于格宾网箱或某些加筋土挡墙, 其良好的柔韧性可以在地震发生时随地基一起变形而不破坏, 从而保护后方的主体建筑不受地基位移的牵连。挡墙结构本身在变形过程中可以耗散一部分地震能量, 起到类似“隔震层”的作用。

### (二) 永久挡墙与主体结构关系

鉴于本项目属典型的山地建筑, 为确保主体结构的长期安全与稳定, 必须依赖永久性支护挡土结构。因此, 支护结构的设计成为本项目的核心难点之一。在结构设计阶段, 必须预先统筹考

考虑永久支护结构的位置，并提前与基坑支护专业单位进行充分的技术对接与协调。

以支护条件最为复杂的佛学院运动馆为例，其地形特征显著：东西向顺应山势呈现“西低东高”的态势，南北向亦存在约2米的高差。针对这一复杂的地形变化，设计采用了分级挡墙的支护策略：

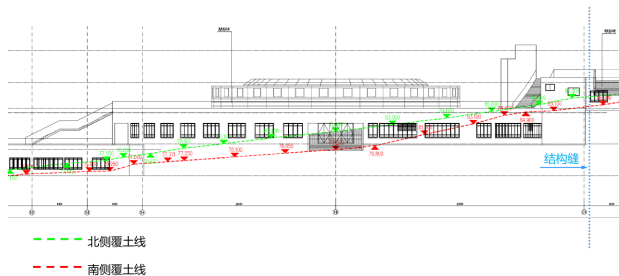
一层区域：外侧覆土高度约为底板以上2米。

一、二层交界处（圆形运动馆下方）：该区域为回填重点部位。设计设置了一道红色挡墙（如图二所示），用以支挡运动馆正下方的填土，主体结构底板则直接落于该层土体之上。

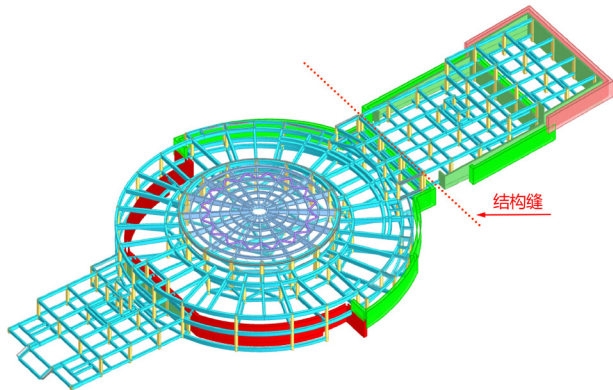
二层区域（运动馆中部向东）：随着地形抬升，覆土高度逐渐超过二层底板标高。为平衡侧向土压力，此处增设了一道绿色挡墙，用于支挡二层外侧的回填土体。

三层区域：其支护逻辑与二层类似，在三层外侧设置了粉色挡墙。

通过上述针对性的永久性挡土墙设计，不仅有效化解了复杂的地形高差带来的侧向压力，更为主体结构提供了稳固的基础支撑，从而保障了建筑的整体安全。



图一



图二

#### 四、地震作用、风荷载计算

##### （一）地震作用放大系数计算

不利地段地震作用放大：根据 JGJ / T472-2020 第 4.2.2 条《建筑抗震设计规范》GB/T50011-2010 第 4.1.8 条及条文说明：居士学院取 1.1，运动馆取 1.2，律学院（一）（二）取 1.3。

居士学院： $5 \leq 6.08 < 15$ ， $H/L=6.08/450 < 0.3$ ，取 1.1

运动馆： $15 \leq 19.6 < 25$ ， $H/L=19.6/450 < 0.3$ ，取 1.2

律学院（二）： $H \geq 25$ ， $H/L=38/450 < 0.3$ ，取 1.3

律学院（一）： $H \geq 25$ ， $H/L=57/450 < 0.3$ ，取 1.3

##### （二）风荷载放大系数计算

依据 GB50009-2012 第 8.2.2 条

居士学院取 1.1，运动馆取 1.33，律学院（二）取 1.63，律学院（一）取 1.95。

#### 五、山地建筑等不规则项加强措施总结

##### （一）抗震管理条例相关要求

本项目是佛学院，在提前公示中已明确为学校建筑，需按重点设防类进行设计，同时应严格执行《建设工程抗震管理条例》相关要求，即设防类别：重点设防类；满足中震正常使用要求；竖向抗侧力构件，转换构件：中震弹性（GB/T 50011-2010 性能 2），水平构件：中震不屈服（GB/T 50011-2010 性能 3）。

##### （二）结构重要性系数

根据 JGJ / T472-2020 第 3.1.12 条：掉层结构上接地层的竖向构件 1.1。由于是乙类建筑，按乙类包络。

##### （三）计算措施

1) 抗侧刚度：JGJ / T472-2020 第 3.4.2 条：对掉层结构，掉层及上接地层掉层范围内结构抗侧刚度不宜小于上一层相应结构部分的抗侧刚度。

2) 受剪承载力：JGJ / T472-2020 第 3.4.3 条：掉层结构的掉层层间受剪承载力不宜小于其上层相应部位竖向构件的受剪承载力之和的 1.1 倍。

3) 质量参与系数：JGJ / T472-2020 第 5.1.2-1 条：掉层结构，振型质量参与系数不小于 95%。

4) 两个软件校核：JGJ / T472-2020 第 5.1.3 条：宜

5) 构件应力分析：JGJ / T472-2020 第 5.1.6 条：受力复杂的结构构件

6) 弹性板内力计算：JGJ / T472-2020 第 5.1.8 条及条文说明：楼盖应补充内力分析，掉层结构上接地端楼盖和上接地层楼盖的框架梁应补充按偏拉（压）构件设计，取包络值。轴向拉力可取弹性楼板时计算值的 1.1 倍。

7) 楼层、基底剪力：JGJ / T472-2020 第 7.1.6 条：掉层结构所有接地部位基底剪力之和应符合下式要求： $V_{ek0} > \lambda GE$

##### （四）构造措施

1) 抗震等级：JGJ / T472-2020 第 7.1.9 条、第 7.1.10 条：按乙类，已提高一级抗震。

2) 楼盖整体性：JGJ / T472-2020 第 7.1.2 条：掉层结构接地端楼盖及未设置接地端楼盖时的上接地层楼盖不应采用楼层错层，开洞面积不应超过 25%，有效楼板宽度不应小于该层楼板典型宽度的 50%。

3) 楼盖厚度和配筋：JGJ / T472-2020 第 7.2.4 条：上接地端宜设置与掉层部分连接的现浇梁板式接地楼盖。当设置接地端楼盖时，多层掉层结构接地端楼盖的楼板厚度不宜小于 120mm。当未设置接地端楼盖时，上接地层楼盖的楼板厚度不应小于

150mm。以上部位配筋均采用双层双向通长布置，单层单向配筋率不应小于0.25%。

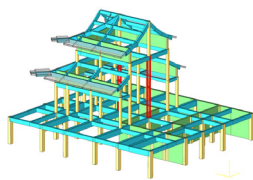
4) 剪力墙：JGJ / T472-2020第7.1.4条：掉层结构上接地层及以下的外侧剪力墙，宜设端柱或翼墙。

5) 接地层柱：JGJ / T472-2020第7.2.1-2条：掉层结构各接地层柱，箍筋应全柱段加密，体积箍筋率宜提高10%。——配筋按此执行

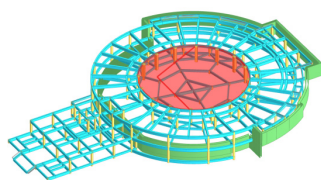
6) 掉层结构上接地层框架梁：JGJ / T472-2020第7.2.2条：沿梁全长顶面和底面应至少各配置两根纵向通长钢筋，钢筋直径不应小于14mm，且顶面和底面的通长筋最小配筋百分率取0.25和 $55f_t/f_y$ 中的较大值；上接地层楼盖与竖向构件相连的梁，除应满足本条第一款要求外，通长钢筋尚不应小于梁两端顶面和底面纵向配筋中较大截面面积的1/4。沿梁腹板高度应配置间距不大于200mm，直径不小于14mm的腰筋。

#### (五) 其他不规则项

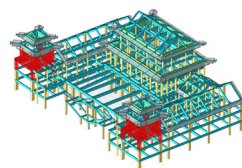
- 1) 穿层柱
- 2) 楼板不连续——进行楼板应力分析
- 3) 转换梁——按中震弹性进行性能化设计
- 4) 律学院（一），坡屋面、逐层收进——弹性板模型包络



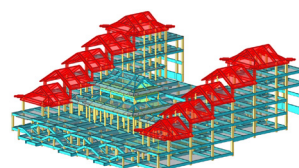
图一 穿层柱



图二 楼板不连续



图三 转换梁



图四 坡屋面、逐层收进

## 六、结束语

本项目作为一个山地学校项目，既有学校项目作为“两区八大类”建筑的典型特点，也有山地项目的典型特点，更有寺庙建筑的诸多特殊节点与造型。本文通过分析项目的基本信息，制定了桩基方案，并在此基础上确定了永久支护的方案及作用。然后结合山地特点，计算了地震放大系数、风荷载放大系数，明确了计算参数中的一些特殊内容，针对山地建筑以及寺庙建筑中的一些特点和 irregular 项进行了总结，为以后类似项目提供了经验参考。

最后，本文撰写已接近尾声，但对山地学校这一特殊类型建筑的思考与探索，却远未结束。本研究围绕山地学校项目的结构设计、场地适应性、安全性能等核心问题展开，通过对典型工程案例的分析与技术方案的论证，力求在复杂地形与高烈度抗震设防要求下，寻求安全、经济、实用的建筑解决方案。

## 参考文献

- [1] JGJ/T472-2020 山地建筑结构设计标准.
- [2] GB/T50011-2010 建筑抗震设计标准.
- [3] GB50009-2012 建筑结构荷载规范.