

# 置换垫层法和超挖褥垫设计 在山区不均匀地基中的应用分析

周小起

贵阳市交通规划勘察设计院有限公司

**摘要:** 山区项目建设通常都需要挖山填谷来提供场地条件, 场地平整后, 往往存在某一轴线位于基岩开挖区而相邻轴线处于素填土回填区。由于素填土和基岩两种持力层的变形指标不一致, 导致地基基础持力层不均匀。本文以贵州省黔东南州某厂房项目为例, 通过在回填区素填土进行换填和在基岩开挖区超挖设置垫层的综合地基处理方法, 经地基检测其强度、变形指标均达到了预期效果, 并经沉降验算, 满足设计需要。结合工程类比, 置换垫层法和超挖设置褥垫的综合处治方案可以解决山区地基不均匀的问题, 具有一定的应用价值。

**关键词:** 换填垫层; 褥垫; 山区; 不均匀地基; 沉降

**【DOI】** 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.10.098

## 引言

山区地形以山地、丘陵为主, 山区城市建设很多地区都需要“向山借地”, 削峰填谷已成为一种常见的场地平整途径。为了平面布局, 拟建单体通常会出现某一轴线基础处于基岩开挖区而相邻轴线基础则可能处于素填土回填区<sup>[1]</sup>, 场地为岩土组合地基, 素填土与基岩变形指标不一致, 地基不均匀, 上部结构稳定性得不到保障。若采用桩基+独基相结合的基础形式, 以中风化基岩作持力层, 这样即便地基均匀稳定, 但素填土回填厚度大, 组成成分复杂, 开挖孔桩往往存在塌孔、缩孔、沉渣过厚等风险, 且桩基较长, 其造价相对偏高, 工期变长。结合工程经验, 解决山区不均匀地基的方法主要从两方面进行, 一是提高高压缩性土的变形指标, 降低其附加沉降变形量, 二是降低低压缩性土的变形指标, 适当增加其变形量, 使其与压缩性较高的地基土相适应<sup>[1]</sup>。鉴于此, 本文以贵州省黔东南州某厂房项目为例, 通过回填区素填土采用换填垫层处理和基岩开挖区采取超挖设置褥垫的综合处治方案, 对处理后的地基土检测其承载力、变形指标是否达到了设计要求, 并经沉降验算其是否满足设计需要, 以期为同类似工程条件的山区项目建设提供借鉴。

## 一、工程概况

场地内从上至下为土体第四系填土层 ( $Q_4^{ml}$ ) 素填土和残坡积层 ( $Q_4^{el+dl}$ ) 红黏土, 基岩为寒武系石冷水组 ( $\in_3^{sh}$ ) 强至中风化白云岩。素填土堆填时间8-10年, 主要由黏土、碎块石等组成, 粒径0.20~22.0cm的含量约占70%, 密实度为松散-稍密, 回填区素填土厚度2-26m, 平均厚度15.1m, 自重固结沉降基本完成, 其物理力学参数值重度 $\gamma=18.6\text{kN/m}^3$ , 变形模量 $E_0=8.0\text{Mpa}$ , 承载力特征值 $f_{ak}=150\text{kPa}$ 。

本文引用的项目案例有3个拟建单体建筑物存在不均匀地基的情况, 本次选择其中的一个拟建单体建筑物A(1F)作论述分析。该拟建单体建筑物A中间降板区域为设备放置区, 荷载最大, 单柱最大荷载3500KN/柱, 其余位置为厂房区, 单柱最大荷载1500KN/柱。按最不利考虑, 选择中间降板区域进行分析, 设计采用筏板基础, 准永久组合基底平均压力 $p=130\text{kPa}$ 。

## 二、换填垫层法与超挖褥垫设计

本文引用的案例存在的主要问题为: 按场地正负零标高平整后, 拟建单体建筑物A大致呈1-5轴交A-G轴为素填土分布的回填区, 6-17轴交A-G轴为中风化基岩开挖区, 场地地基不均匀。为了解决拟建单体建筑物A地基不均匀的问题, 根据工程经验, 为了缩短工期, 本文将采取地基处理的方案进行处治, 考虑到拟建单体单柱荷载较大, 沉降变形敏感, 本文建议回填区的素填土采用换填垫层进行处理, 同时基岩开挖区采取超挖设置褥垫的方法。选取其中某一轴线剖面进行分析验算, 则素填土采用换填垫层处理区域筏板宽度 $b=21.0\text{m}$ , 筏板长度 $l=39.0\text{m}$ ; 基岩超挖设置褥垫区域筏板宽度 $b=21.0\text{m}$ , 筏板长度 $l=50.2\text{m}$ 。

### (一) 换填垫层设计

换填材料优先选择级配碎石、土工合成材料加筋垫层<sup>[2]</sup>, 换填垫层经分层碾压夯实后其压缩指标、承载能力明显提高, 可以有效降低上部结构附加沉降值。

本文建议换填后地基承载力特征值 $f_{ak} \geq 230\text{kPa}$ , 压实系数 $\lambda_c \geq 0.97$ 、变形模量 $E_0 \geq 25\text{Mpa}$  (在地基主要受



图1 地基处理设计图



图2 地基处理现场图



图3 地基检测现场图

力层范围内)，回填土均作换填处理，换填范围宜超出基础范围适当距离，换填深度范围内遇倾斜基岩面时做挖台阶处理，换填厚度为7米。换填后的地基土具体的承载力、变形指标应通过现场静载荷试验确定<sup>[2]</sup>，换填垫层的质量以压实系数 $\lambda_c$ 控制。

### (二) 褥垫设计

褥垫材料宜优先选择中砂、粗砂等材料，单层碾压厚度宜取300-500mm。本文建议褥垫地基承载力特征值 $f_{ak} \geq 230\text{kPa}$ ，压实系数 $\lambda_c \geq 0.97$ 、变形模量 $E_0 \geq 20\text{MPa}$ （在地基主要受力层范围内），褥垫层范围宜结合上部结构布局进行设置，一般以一个基础计算单元为褥垫设计范围，基础下褥垫厚度取3米。褥垫层的具体承载力、变形指标应通过现场静载荷试验确定，褥垫的质量以压实系数 $\lambda_c$ 控制。

### 三、地基处理后的地基土检测

本文引用的案例项目地基处理后的检测由第三方检测单位实施，故本文直接引用其检测成果数据及结论。

#### (一) 换填垫层的检测

采用静载荷试验检测换填垫层的变形指标和承载力，根据试验结果数据，承载力特征值均达到了230kPa，变形模量 $E_0=29.3\sim 56.0\text{MPa}$ ，达到了预期效果。

采用灌砂法试验测定换填垫层的压实度，根据试验结果数据，压实系数 $\lambda_c=0.97\sim 0.99$ ，达到了预期效果。

#### (二) 褥垫的检测

采用静载荷试验检测褥垫的变形指标和承载力，根据试验结果数据，承载力特征值均达到了230kPa，变形模量 $E_0=20.6\sim 38.2\text{MPa}$ ，达到了预期效果。

采用灌砂法试验测定褥垫的压实度，根据试验结果数据，压实系数 $\lambda_c=0.97\sim 0.99$ ，达到了预期效果。

### 四、沉降验算

#### (一) 换填垫层沉降值计算

根据《高层建筑岩土工程勘察标准》（JGJ/T72-2017）附录C，对筏型基础，地基最终平均沉降量可按下式估算：

$$s = \psi_s p b \eta \left( \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{E_{0i}} \right)$$

沉降计算深度  $z_n = (z_m + \xi b)\beta = (12.3 + 0.48 \times 21.0) \times 0.3 = 6.7m$ ，取7m进行计算。换填垫层的沉降量计算如下表1:

表1 基础沉降值计算一览表

计算深度 $Z_i$	变形模量 $E_{0i}$	基础宽度 $b$	应力系数 $\delta_i$	$\delta_i - \delta_{i-1}$	$\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{E_{0i}}$
1	25	21	0.0238	0.0238	0.00095
2	25	21	0.0476	0.0238	0.00095
3	25	21	0.0714	0.0239	0.00096
4	25	21	0.0953	0.0239	0.00096
5	25	21	0.1191	0.0238	0.00095
6	25	21	0.1429	0.0238	0.00095
7	25	21	0.1667	0.0238	0.00095

平均总沉降量:  $s = 1 \times 130 \times 21 \times 1 \times 0.0067 = 18.3mm$

### (二) 褥垫层沉降值计算

基岩开挖区为白云岩，属硬质岩，无压缩性，其沉降可忽略不计，因此只需计算褥垫层的沉降量。同理也可以得到褥垫层的沉降量:

$$s = 1 \times 130 \times 21 \times 1 \times 0.0036 = 9.8mm$$

### (三) 沉降验算分析

通过以上计算分析可知，当回填区素填土采用换填垫层法进行处理、上部结构采用筏板基础，换填厚度取7米时，其回填区上部结构附加荷载作用下的平均沉降量为18.3mm；基岩开挖区通过超挖并设置褥垫，上部结构采用筏板基础，基础下褥垫厚度取3米时，其褥垫层受上部结构附加荷载作用下的沉降量为9.8mm。相邻轴线位置的沉降差为8.5mm，满足设计需要。

## 五、讨论与分析

通过前述地基处理方案，回填区素填土通过换填垫层法可以明显提高其地基强度和变形指标，即对场地软弱土层进行补强可以有效的降低土层的附加沉降值；基岩开挖区通过超挖并设置褥垫，对硬质岩作适当的软化处理，适当增加其变形量，使其与压缩性较高的地基土相适应<sup>[1]</sup>。通过此方案综合处理，不断优化调整换填垫层的厚度及褥垫层的厚度，不均匀地基的沉降差可以得到有效控制。

文本素填土换填厚度恰好为沉降计算深度，即换填处理的范围只需要考虑上部结构附加荷载沉降影响深度即可，且本文引用案例素填土堆填年限较长，已基本完

成自重固结沉降，因此只需针对附加沉降进行处理即可。

为了解决山区不均匀地基问题，工程实践中结合地质剖面情况采取不同的组合方案。本文引用的项目案例，回填区软弱土层分布范围较广，厚度较大，如采用桩基+独基相结合的基础型式，不仅造价相对偏高，而且桩基施工质量难掌控，工期较长，因此项目综合比选后确定采用地基处理方案。回填区软弱土层的强化处理通常有换填、强夯、复合地基等工法，强夯法较换填处理工期较长、处理效果略差，且施工前需要做试夯以确定强夯的适用性<sup>[3]</sup>，复合地基对细粒土地较为适用<sup>[4]</sup>。结合本文项目案例回填区素填土组成成分及造价、工期要求，综合确定了素填土通过换填提高地基土的变形指标和强度。

## 结语

通过以上验算，可以指导项目基础施工，即回填区的素填土可以采用换填垫层法进行施工，素填土经换填垫层处理后，其变形指标、承载能力均得到改善，基岩开挖区采用褥垫适当软化处理，并在地基压缩性相差较大的部位宜结合建筑平面形状、荷载条件、基础形式等设置沉降缝，沉降缝宽度按计算确定且不应小于60mm，经处理后场地地基均匀性、稳定性较好，沉降差满足设计需要，换填垫层法与超挖褥垫设计适用于山区不均匀地基项目建设。

## 参考文献

- [1] 吴言军. 贾志远. 北京浅山区不均匀建筑地基问题研究. 工程地质学报, 2016, 24.
- [2] 赵云. 张来飞. 换填垫层法在风机机位地基处理中的应用. 云南水利发电, 2018, 02.
- [3] 郭尧顺. 强夯法在填方区不均匀地基的应用探析. 福建建筑, 2021, 11.
- [4] 李伟. 山区不均匀地基的CFG桩工程实践, 工程勘察, 2016, 02.
- [5] 王程. 实例浅析不均匀地基处理方法. 内蒙古煤炭经济, 2016, 11.
- [6] 余文章. 李向清. 庞金波. 某深厚素填土地基不均匀沉降控制技术应用及研究. 工程质量, 2018, 36.

作者简介: 周小起 (1991-), 男, 湖南人, 本科, 注册岩土工程师, 主要研究方向工程地质及岩土工程设计。