

# 工业企业道路路基换填技术应用研究

张博涵<sup>1,2</sup> 孙好好<sup>1,2</sup>

1. 北京首钢国际工程技术有限公司, 北京 100043

2. 北京市冶金三维仿真设计工程技术研究中心, 北京 100043

**摘要:**首先概述了路基换填技术的研究现状及其作用原理,然后利用路基荷载工作区法进行软弱地基地段的路基换填深度计算,并通过路面计算程序HAPDS对计算结构进行校核与对比分析。本文通过对比不同计算方法得出的计算结果,分析影响路基换填深度的重要参数。实践表明,通过合理、规范使用路基换填技术,能够显著增强路基结构的承载力与稳定性,保证厂内道路工程项目的整体建设质量,提升厂内道路整体服务水平。

**关键词:**路基换填;换填深度;软弱地基;HAPDS程序;承载力

## 0 引言

软弱路基对道路工程整体建设质量的影响较大,一旦在施工时遇到软弱路基,必须结合工程实际采取有效的处治技术,改善原有路基结构的使用性能。路基换填是常用的一项施工软弱路基处治技术,能够有效防止路基发生差异沉降,显著增强路基的承载力与稳定性。本文重点研究了路基换填技术在厂内道路工程设计施工中的应用,以期为类似工程提供参考。

## 1 国内外研究现状

### 1.1 国外研究现状

国外学者对水盐迁移研究起步相对较早,且内容也较为丰富。Skopp J、Corwin、Nielsen 等通过室内试验研究,得到了非饱和土体中水、热、盐运移规律的基本方程,完善了水盐迁移过程的基本理论。Cary 利用数值模拟与室内试验相结合的办法,研究了盐渍土在水-热-盐多因素作用下的水盐运动变化规律。Nassar 等进行了传热和传质的土壤柱实验,提出了一种耦合迁移理论,该理论同时考虑了水分含量、温度和溶质浓度的影响。Behnametal 将湿陷性土用四种类型的纳米材料(纳米黏土,纳米铜,纳米氧化铝和纳米二氧化硅)进行处理,并在土壤总干重的不同百分比下混合,在自然含水量和密度下进行了土壤测试,研究了纳米材料对土壤湿陷性的影响。AlShabaetal. 提出将铁粉按一定比例与黄土混合进行路基换填来减少地基湿陷的方法,并通过试验验证了减少湿陷的效果。

### 1.2 国内研究现状

换填处理技术是软弱土处理的常用技术,在各类修建过程中也逐步采用。李亚娟<sup>[1]</sup>对依托工程中搜集的资料中,总结贵州山区软土的物理力学特征、破坏形式,并归纳总结了用于山区软基处理的方法,根据山区公路软土的特点,分析了两种典型的用于山区软

基处理的方法,即粉煤灰垫层法和CFG复合地基法。蒋国忠<sup>[2]</sup> 经过大量已建工程沉降观测资料及静载荷试验资料证实:选用统砂石做换填材料具有沉降速率快、总沉降和差异沉降量小等优点,是山区地基处理中值得普遍推广的方法。党改红<sup>[3]</sup> 结合具体的工程实例应用换填法对杂填土的处理过程进行分析,为以后类似工程提供指导借鉴作用。梅玉龙<sup>[4]</sup> 鉴于传统的设计方法存在不足,提出了一种改进的方法,经算例验证该法能更好地确定最佳垫层厚度,同时能适应不同的安全要求,具有较大的灵活性。许健<sup>[5]</sup> 以沈哈线路基A、B组填料为研究对象,采用室内冻胀试验,研究粉黏粒含量对其冻胀特性的影响。刘武军<sup>[6]</sup> 提出木桩固基卵石换填法处理淤泥地基可以大幅减少卵石换填层厚度和换填量,采用该方法对渭南市润峪水库城市供水应急工程中淤泥地基进行了处理。莫百金<sup>[7]</sup> 介绍了湿软地基常用处理技术,其次结合实际工程,重点介绍换填法处置湿软地基等。

### 1 路基换填技术原理及作用

路基换填作为软弱路基处治中常用的一项重要技术,是通过替换不良土层来改善地基的承载力和稳定性,将路基范围内承载力低、压缩性高的软弱土(如淤泥、腐殖土、膨胀土等)挖除,替换为强度高、稳定性好的填料(如砂砾、碎石、灰土等),消除原土层的不良特性。然后结合工程实际选择符合要求的石块、土体等材料实施回填,最后完成密实碾压,防止路基出现差异沉降,增强路基结构的承载力与抗压力<sup>[8]</sup>,确保路基满足设计要求。通常选用的换填材料为山皮石或碎石,也有部分工程选用钢渣及建筑垃圾再生骨料填筑等。路基换填技术的根本目标是优化原有路基结构,改善应力分布,换填层作为新的持力层,能均匀分散上部荷载,减少不均匀沉降风险,提升其承载力与稳定性,有效控制差异沉降,满足道路施工

质量要求。路基换填技术应用过程中，结合工程实际可就近取材，缩短材料运输距离。与此同时，该技术使用的机械设备类型及数量较少，人工、材料等成本较为合理，有利于控制工程造价。相比桩基、预压法等复杂工艺，换填施工简便、成本低，适用于浅层软弱地基处理，因此在路基处理工程中广泛应用。但在确定换填深度时，由于影响因素较多，往往以经验法为主，缺少量化的计算依据。

## 2 路基换填深度计算方法

### 2.1 路基荷载工作区法

作用于路基的荷载主要由路基自重（静载）和汽车轮重（动载）组成，当动载与静载的比值为 0.1、0.2 以下时，此时的路床深度为路基荷载工作区深度。

路基工作区厚度计算公式①：

其中， $z$  为路基工作区厚度（包含路面厚度），m； $P$  为车辆轴载，kN，根据《中国汽车车型手册》中车辆参数选择道路经过车辆的最大轴荷载为  $P$ ； $n$  为系数，承受重交通荷载的高等级公路和城市道路，对路基变形的要求较高，宜选用较高的标准  $n=0.1$ ，对于承重中等或轻交通轴载的一般道路，亦可选用较低的标准  $n=0.2$ ； $\gamma$  为土的重度，KN/m<sup>3</sup>，可从地勘报告中“图层物理力学性质参数表”内查询数据。

换算为路基土的当量厚度计算公式②：

路面材料的平均回弹模量计算公式③：

$$\bar{E} = E_1 * \frac{\text{材料厚度}}{\text{路面厚度}} + E_2 * \frac{\text{材料厚度}}{\text{路面厚度}} + E_3 * \frac{\text{材料厚度}}{\text{路面厚度}}$$

其中， $\bar{E}$  为路面换算为路基土的当量厚度，m； $E$  为路面厚度，m； $E_1$  为路面材料的平均回弹模量，MPa； $E_2$  为路基土的回弹模量，MPa。

路基换填深度计算公式④： $H$

其中，路基换填深度为，m； $H$  为路基高度，m。

### 2.2 HAPDS 路面程序计算法

采用 HAPDS 路面计算程序把换填后的土层当做路面结构层的最下层进行计算，通过程序试算后得出满足要求的层厚即为路基换填深度。HAPDS 路面计算程序需要根据工程实际情况时输入关键计算参数，公路等级，根据交通量确定公路等级；车辆类型，根据设计公路等级选择对应车辆；路面设计类型，根据实际情况选择“新建路面设计”或“改建路面设计（在原有路面上加铺）”；路面设计内容，普通荷载道路可选择“根据设计弯沉值设计”，重荷载道路可选择“根据设计弯沉值和容许拉应力设计”；新建或加铺路面的层数：路面结构层数 +1（1 指路基换填层）；路面

设计层数，路基换填在道路结构的第几层；新建路基回弹模量即为路基土的回弹模量  $E_0$ ；验算防冻厚度，根据工程所在地区冻土层厚度，地勘结论提供中有此数值的参考值；路面结构参数输入，根据路面结构设计输入对应的材料、厚度、平均抗压模量；完整输入参数后即可计算得出结果。



### 2.3 方法对比

通过利用 HAPDS 计算与路基荷载工作区计算的换填深度进行对比后确定设计换填深度。

## 3 工程实例

### 3.1 工程地址情况及地勘建议

场地内普遍分布人工填土层总厚度 5.2~10.8m，平均厚度 7.0m，图的重度约为 18KN/m<sup>3</sup>，天然路基回弹模量约为 28MPa，人工填土层未经处理，不宜直接使用。可通过换填法和预压法满足承载力要求。

### 3.2 路面设计

设计路段交通等级为轻交通，通过车辆最大轴荷载为 90KN。

路面结构做法从上到下一次为：细粒式沥青混凝土 AC-13I 4cm，中粒式沥青混凝土 AC-20I 7cm，水泥稳定碎石（掺水泥 5%）45cm。

### 3.3 路基荷载工作区法计算路基换填厚度

$$Z_a = \sqrt[3]{\frac{P}{2n\gamma}} = \sqrt[3]{\frac{90}{2*0.2*18}} = 2.32m$$

$$\bar{E} = E_1 * \frac{\text{材料厚度}}{\text{路面厚度}} + E_2 * \frac{\text{材料厚度}}{\text{路面厚度}} + E_3 * \frac{\text{材料厚度}}{\text{路面厚度}} = 893$$

$$Z_e = h_{1.25} \sqrt{\frac{\bar{E}}{E_0}} = 0.56 * \sqrt[1.25]{\frac{893}{28}} = 2.24m$$

$$H_o = Z_a - (Z_e - h_1) - H = 2.32 - (2.24 - 0.56) - 0 = 0.64\text{m}$$

### 3.4 HAPDS 路面程序法计算路基换填厚度

#### 二、新建路面结构厚度计算

新建路面的层数	4			
标准轴载	BZZ-100			
路面设计弯沉值	32.2 (0.01mm)			
路面设计层厚倍数	4			
设计层最小厚度	150 (mm)			
层位	结构层材料名称	厚度 (mm)	20℃平均抗压 模量(MPa)	标准差 (MPa)
1	细粒式沥青混凝土	40	1400	0
2	中粒式沥青混凝土	70	1200	0
3	石灰土稳定碎石	450	800	0
4	石渣	?	40	0
5	新建路基		28	

按设计弯沉值计算设计层厚度：

$$LD = 32.2 \text{ (0.01mm)}$$

$$H(4) = 400 \text{ mm} \quad LS = 32.3 \text{ (0.01mm)}$$

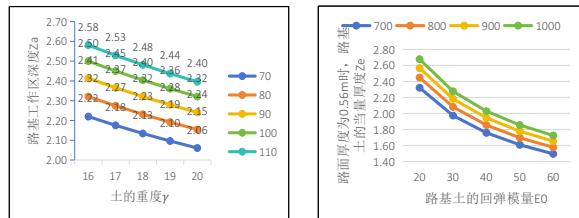
$$H(4) = 450 \text{ mm} \quad LS = 32.1 \text{ (0.01mm)}$$

路面设计层厚度：  
 $H(4) = 424 \text{ mm}$  (仅考虑弯沉)

### 3.5 比较路基荷载工作区法与 HAPDS 路面程序法

通过比较路基荷载工作区法与 HAPDS 路面程序法计算结果，发现两者之间差异很小，最终得出换填深度 0.65m 的结论。

### 4 影响路基换填深度的重要参数



(1) 从式①和上图可以看出，车辆荷载 P 越重，土的重度越小，则路基工作区的深度 Za 就越大。

(2) 从式②和上图可以看出，路面材料的平均回填弹模量越大，路基土的回弹模量越小，则路面换算为路基土的当量厚度就越大，则工作区在路床以下土基中的深度 (-) 就较小。

(3) 从式③可以看出，每一层路面材料的回弹模量都对路面材料的平均回填弹模量有正影响。

### 4 结论

地基换填深度受静载、动载、路面结构、换填料及基底地质和水文等因素的影响较大，很难找到一个万能的计算公式进行计算。

本论文的创新点在于提出了 HAPDS 程序验证与理论计算结合的“双控法”，理论计算与程序计算相结合的方式，相互验证，与传统的经验法相比较，本文的方法将换填深度计算误差从 ±20% 降低至 ±5%，尤

其适用于厂内道路频繁重载工况。

在实际设计过程中应在投标阶段根据粗勘报告及初定的道路结构做法粗算换填厚度，无粗勘报告的情况可参考地质条件相同的项目，并在初设时随结构专业一起提出详勘委托，根据详勘报告再对换填厚度进一步计算，有条件的情况可要求施工单位提供土学性能试验结果，根据试验参数进一步计算施工图道路路基换填深度。

因此，在确定换填深度的过程中，应采用理论和实践相结合的方法。当地基比较复杂，沉降控制的精度要求较高或工程规模很大时，应考虑在正式施工之前，修筑试验路，并对其稳定和沉降情况进行观测，以便根据观测结果调整换填深度。

### 参考文献：

- [1] 李亚娟. 山区软土地基处理典型方法的适用性研究 [D]. 重庆交通大学, 2014. 15
- [2] 蒋国忠. 换填垫层法在地基处理中的应用及效果 [J]. 丽水学院学报, 2006, 28(5): 69-72
- [3] 蒋国忠. 换填垫层法在地基处理中的应用及效果 [J]. 丽水学院学报, 2006, 28(5): 69-72
- [4] 党改红, 丁伯阳, 齐峰. 山区杂填土地基工程特性及处理方法的探讨 [J]. 岩土工程界, 2009(9): 24-27.
- [5] 梅玉龙, 陶桂兰. 换填法垫层厚度的优化设计 [J]. 中国港湾建设, 2006(3): 36-38
- [6] 许健, 牛富俊, 牛永红, 等. 换填法抑制季节冻土区铁路路基冻胀效果分析 [J]. 中国铁道科学, 2011, 32(5): 1-7.
- [7] 刘武军, 王洁, 张向斌, 木桩固基卵石换填法处理淤泥地基施工技术 [J]. 人民黄河, 2012, 33(12): 134-135.
- [8] 莫百金. 湿软地基处理技术及换填法承载力分析 [J]. 公路交通科技, 2008, 9: 021.
- [9] 温莲英. 《砂石换填施工技术在软土路基加固处理中的应用研究》 城市建筑 2019. 16;

作者简介：张博涵（1996-），男，汉，北京，学士，设计师，工程师，研究方向：总图运输。