

高 12 m 的粉煤灰铁路路堤稳定性的数值分析

张旭辉

梁 波

===== (浙江大学土木系) ===== (兰州铁道学院土木系) =====

【提要】以数值分析方法,分析铁路工程中粉煤灰高路堤(12 m)的受力、变形规律和稳定性,给出了路堤断面的合理形式,并应用于实际工程,得到了实践检验。

【关键词】粉煤灰 铁路路堤 数值分析

1 概述

粉煤灰具有自重轻、压缩性强、渗透性强以及水稳性高的优点,已应用于公路工程较低路堤的填筑,但在铁路工程上目前还较少应用,尤其是填筑比较高的路堤尚无先例。本文对高达 12 m 的粉煤灰铁路路堤进行了数值稳定分析,并针对不同的路堤构成形式进行了对比研究,提出了粉煤灰路堤的合理断面形式。该断面形式已应用于实际工程,经受了实践检验。

2 粉煤灰路堤稳定的数值分析模型

2.1 几何模型

路堤中心线填高为 12 m。路肩半宽 3.3 m。路堤边坡率为 1:1.50、1:1.75、1:2.00 三种。填筑形式为:(a)纯粉煤灰填筑;(b)粉煤灰间隔土填筑,粉煤灰厚 0.6 m,土厚 0.3 m。

因线路横断面对称,将路堤简化为二维平面问题,并取横断面的一半进行分析。地基分

析范围由坡脚水平外延 20 m 宽,25 m 深。

2.2 土层性状

地基为粉细砂,地基顶部回填 1 m 厚的砂粘土,路堤为粉煤灰或粉煤灰间隔土,基顶为 1 m 厚的粘性土,且有 0.5 m 厚的粘性土包坡。

分析中采用的材料物理力学参数见表 1。

2.3 有限元离散模型

将路堤简化为平面应变问题,采用 8 节点等参数单元将分析范围进行有限元划分。图 1、图 2 分别给出了高路堤两种填筑形式的有限元网格示意图。

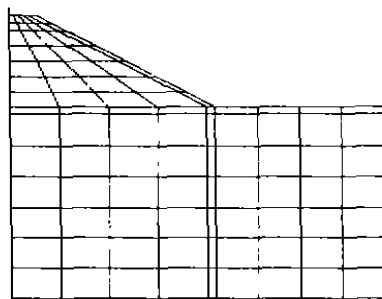


图 1 纯粉煤灰有限元网格

表 1 材料物理力学参数

项目	重力密度 γ (kN/m^3)	弹性模量 E (kPa)	泊松比 μ	内摩擦角 φ /度	粘聚力 C (kPa)	硬化参数 H' (kPa)
粉细砂	20.0	12 000	0.30	24.0	10.0	100
砂粘土	19.0	10 000	0.35	18.0	40.0	100
粉煤灰	12.6	11 000	0.30	35.1	21.5	2 622
粘性土	20.0	10 000	0.35	16.0	60.0	1 000

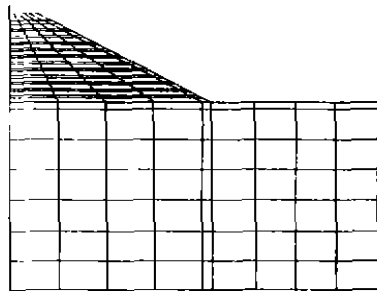


图2 粉煤灰间隔土有限元网格

2.4 材料本构模型

采用二维弹塑性平面应变有限元法进行路堤静力分析。有限元体系静力平衡方程为:

$$K U = R$$

式中: K ——体系的总体刚度矩阵;

U ——体系的节点位移向量;

R ——体系的节点荷载向量。

采用增量弹塑性应力应变关系、Mohr-Coulomb 屈服准则、关联流动法则、等向强化。用初始刚度法进行迭代计算,每次迭代中采用高斯消元法求解体系的平衡方程。以节点位移增量的收敛准则判断求解过程的收敛。对于遵从 Mohr-Coulomb 屈服准则的材料、综合反应材料强度发挥水平的一个指标即强度发挥系数(S.M.F.)可按式计算。当 S.M.F. ≥ 1 时,即认为所论高斯点已进入塑性状态。

$$S.M.F. = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2c \cos \varphi + |\sigma_1 + \sigma_3| \sin \varphi}$$

式中: σ_1, σ_3 ——所论高斯点的最大和最小主应力;

c, φ ——材料的粘聚力和内摩擦角。

2.5 约束及荷载

有限元网格边界约束条件相同:顶部、边坡表面自由;两侧竖向边界受水平约束;底边界水平和竖向均受约束。

在路堤填筑过程中仅有自重,填筑完成后施加活载。考虑到铁路重载发展,活载大小取 80 kPa,沿路基顶面均布。

3 数值分析结果

模拟实际情况,分四阶段计算。阶段 1:天然地基状态。阶段 2:地基开挖并回填砂粘土。阶段 3:填筑路堤。阶段 4:加活载。

3.1 活载施加后的强度分析

3.1.1 不同材料组成下路堤的强度分析

不同材质、相同坡度(1:1.75)路堤的强度发挥系数等值线如图 3、图 4 所示。

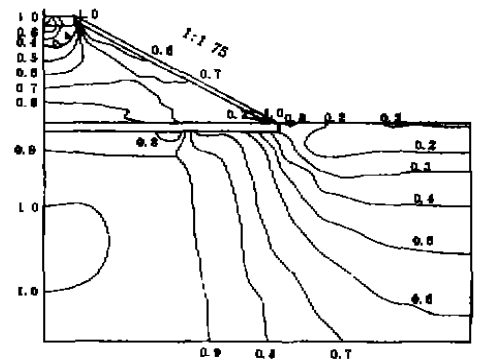


图3 纯粉煤灰断面(1:1.75)

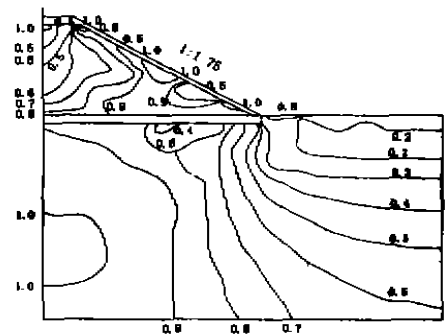


图4 粉煤灰间隔土断面(1:1.75)

3.1.2 不同边坡率下路堤的强度分析

取边坡率为 1:1.5 的两种断面形式的强度发挥系数等值线如图 5、图 6。

3.1.3 分析结论

(1)除在路肩、坡脚等处出现局部塑性区外,其它大部分区域处于弹性状态,路堤是稳定的。

(2)间隔土在竖直方向强度发挥更为均匀。

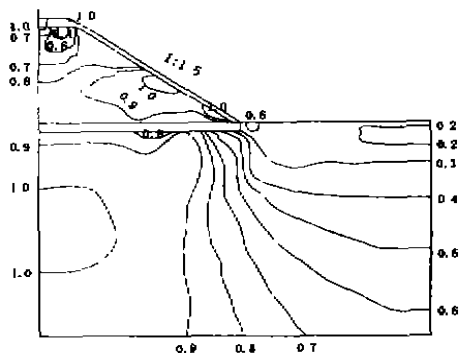


图5 纯粉煤灰断面(1:1.5)

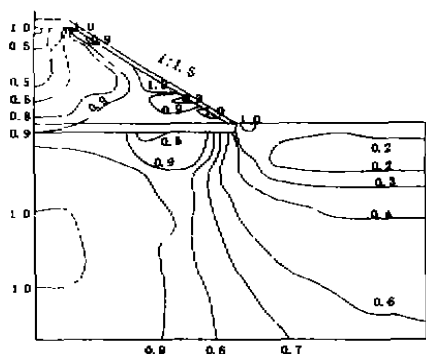


图6 粉煤灰间隔土断面(1:1.5)

(3)边坡率为1:1.75的路堤有较小的塑性区,强度发挥也较为均匀。

(4)与阶段3比较可知,活载对路堤的应力发挥有较大的影响,对地基影响较小。

(5)粘性土包层有利于边坡稳定。在坡脚附近应力变化较为剧烈,需加以重点防护。

3.2 路堤填筑后的位移分析

表2 高路堤各断面基顶最大竖向位移

断面形式	活载	不同边坡率下基顶最大竖向位移/m		
		1:1.50	1:1.75	1:2.00
纯粉煤灰	无	0.306	0.315	0.329
	有	0.440	0.456	0.459
粉煤灰间隔土	无	0.317	0.333	0.341
	有	0.474	0.487	0.492

从综合分析可见,基顶最大竖向位移发生

在中轴线上,其值在自然填筑状态下为0.30~0.34 m,施加活载后又发生0.13~0.16 m的竖向位移。粉煤灰间隔土的位移比纯粉煤灰的大。边坡越陡,竖向位移越小。坡脚处有较大水平位移。

4 结论

4.1 路堤受力变形规律

(1)高路堤受力以自重为主。在路肩、坡脚、对称轴部分区域受力达到屈服。相应这些地方变形较大。

(2)最大竖向位移发生在基顶中轴线上,最大水平位移发生在坡脚处。

(3)粉煤灰间隔土的位移大于纯粉煤灰位移。

(4)缓边坡位移大于陡边坡位移。

4.2 建议的断面形式

综合考虑各断面的受力变形、稳定程度及施工难易,建议高路堤采用1:1.75的边坡率,以纯粉煤灰填筑。

包兰线包白下行段铁路粉煤灰路基试验段采用了上述建议断面。通车加载表明,该路堤结构形式是稳定、合理的。

改回日期:2001-03-05

(责任审编 孟庆伶)

《铁道建筑》能使您:
开卷,得益于他人;
提笔,施惠于别人;
这是知识的交流;
也是情感的交融。