

红色泥岩填筑高路堤防水结构及其施工方法

朱灿明¹ 白少华² 丁健³

1. 常州南天建设集团有限公司, 中国·江苏 常州 213100

2. 南京市六合区河道管理所, 中国·江苏 南京 211500

3. 南京市江宁区水务局, 中国·江苏 南京 211100

摘要: 针对山区高路堤建设中红色泥岩填料遇水易崩解、渗透性高导致的稳定性问题, 本文提出一种新型防水结构及其施工方法。该结构由中心填筑体(红色泥岩层)、边坡路堤防水层和路床防水层组成, 采用粉煤灰、矿粉、硅酸钠与聚二甲基硅氧烷(质量比 5:10:5:1)配制的防水材料 with 红色泥岩形成梯度掺量混合料。通过理论计算确定边坡防水层摊铺宽度(基于降雨强度统计与达西定律), 并分层压实(Z3-Z1 层掺量 80-120 kg/m² 递增)。试验表明, 该材料可使渗透系数降低至 10⁻⁶ cm/s 量级, 较传统水泥包边成本降低 30%。施工中结合双向土工格栅与冲击碾压工艺, 显著提升路堤抗渗性与长期稳定性, 为特殊岩土高填方工程提供新解决方案。

关键词: 粉煤灰-矿粉复合材料; 边坡入渗控制; 梯度掺量设计

Red mudstone filled high embankment waterproofing structure and its construction method

Zhu Canming¹, Bai Shaohua², Ding Jian³

1. Changzhou Nantian Construction Group Co., LTD. China Jiangsu Changzhou 213100

2. River Management Office of Liuhe District, China Jiangsu Nanjing 211500

3. Water Affairs Bureau of Jiangning District, China Jiangsu Nanjing 211100

Abstract: Aiming at the stability problem caused by the easy disintegration and high permeability of red mudstone fillers when exposed to water in the construction of high embankments in mountainous areas, this paper proposes a new waterproof structure and its construction method. This structure consists of a central fill (red mudstone layer), a waterproof layer for the slope embankment and a waterproof layer for the roadbed. A waterproof material prepared with fly ash, mineral powder, sodium silicate and polydimethylsiloxane (mass ratio 5:10:5:1) is used to form a gradient dosage mixture with the red mudstone. The width of the slope waterproofing layer is determined through theoretical calculation (based on rainfall intensity statistics and Darcy's Law), and it is compacted layer by layer (with the dosage of Z3-Z1 layers increasing by 80-120 kg/m²). Tests show that this material can reduce the permeability coefficient to the order of 10⁻⁶ cm/s, and lower the cost by 30% compared with traditional cement edge banding. During construction, the combination of bidirectional geogrids and impact compaction technology significantly enhances the impermeability and long-term stability of the embankment, providing a new solution for high-fill projects in special rock and soil.

Keywords: Fly ash - mineral powder composite materials; Slope infiltration control; Gradient dosage design

0 引言

红色泥岩填筑高路堤防水结构及其施工方法。在山区的道路建设中, 由于多山地地形, 挖方规模大, 为了实现填挖平衡, 大量道路通过高路堤的方式通过山间沟谷地带, 该地区的高路堤填筑高度普遍超过 30 米, 乃至出现 40 米、50 米以上的超高填方路堤。由于山区运输不便, 高路堤的填筑一般利用工程项目自身挖方所产生的弃渣。而某些山区的地质情况比较特殊, 工程开挖的弃渣包含大量

红色泥岩, 其具有遇水后崩解软化的工程特性, 在极端降雨、长期干湿循环、车辆荷载的作用下, 极易发生强度和刚度的降低, 造成高路堤的失稳破坏和路面开裂, 危及行车安全。天然红色泥岩风化料的颗粒级配一般不连续, 工程中一般采用振动碾压、冲击碾压对其大颗粒成分进行破碎, 从而改善其粒径级配的连续性, 提高其密实程度, 而在一定程度上增强其强度、刚度, 降低其渗透性。然而, 在近年来的工程实践中也发现, 常规的振动碾压、冲击碾

压对红色泥岩填料的粒径级配改善作用有限,通常细粒组的含量较低,因此填筑后粗颗粒形成的骨架中,粗颗粒之间的孔隙难以被填充,土体仍具有较大的孔隙率,因此填筑体仍具有较大的渗透性。高路堤施工后,路床区域直接承受来自地面的各种荷载,并将荷载分散至更深的路基中,对于路床区域以及路堤边坡区域,在长期交通荷载和雨水渗入的情况下,极易产生不均匀沉降,甚至是浅层破坏的问题;因此,有必要针对这部分重点区域采取防水和加固措施。

针对如何克服上述现有技术存在的问题,提供一种红色泥岩填筑高路堤防水结构及其施工方法,能够对高路堤易受雨水入渗侵蚀的部位加固,保障高路堤的长期稳定性,提升高路堤的使用寿命。

1 技术方案

为了实现上述目的,采用的技术方案包括以下各方面。一种红色泥岩填筑高路堤防水结构,包括:中心填筑体,中心填筑体的两侧边坡表面分别设置有路堤防水层,中心填筑体的顶部设置有路床防水层,路床防水层的两侧分别延伸到路堤防水层上;中心填筑体包括红色泥岩层,路堤防水层采用红色泥岩填料和防水材料的防水混合料分层填筑、分层压实而成;路床防水层采用红色泥岩填料和防水材料的防水混合料分层填筑、分层压实而成;防水材料由粉煤灰、矿粉、硅酸钠和聚二甲基硅氧烷配制而成。

优选地,路堤防水层包括在中心填筑体的边坡上依次叠加的多层路堤防水子层,路堤防水层由内到外的相邻路堤防水子层中的防水材料的掺量依次增加。

优选地,防水材料由粉煤灰、矿粉、硅酸钠和聚二甲基硅氧烷按照质量比为 5:10:5:1 的比例配制而成。

优选地,路堤防水层中,每立方米红色泥岩填料中的防水材料的掺量为 80kg/m³~120kg/m³;路床防水层中,每立方米红色泥岩填料中的防水材料的掺量为 120kg/m³;红色泥岩填料的含水率为最优含水率的 ±2% 以内。

红色泥岩填筑高路堤防水结构的施工方法,施工方法包括以下步骤:

步骤 S1、获取施工区域红色泥岩填料的干密度、最优含水率、土水特征曲线以及饱和渗透系数 k_s 参数;

步骤 S2、获取施工区域多年内的降雨数据,结合设计的高路堤每级边坡的坡率,获得每级边坡的路堤防水层的横向摊铺宽度 B;

步骤 S3、配制防水材料;防水材料由粉煤灰、矿粉、硅酸钠和聚二甲基硅氧烷按照质量比为 5:10:5:1 的比

例配制;

步骤 S4、对基底进行处理;采用振动碾压的方法对基底进行压实,使基底的压实度不小于 90%;

步骤 S5、施工中心填筑体;采用石灰粉在基底的工作面上标记出中心填筑体的范围,在标记出的中心填筑体的范围内,采用红色泥岩填料填筑红色泥岩层;

步骤 S6、施工路堤防水层;待中心填筑体填筑到预设高度后,在中心填筑体的两侧边坡处分别施工路堤防水层;路堤防水层采用红色泥岩填料和防水材料的防水混合料进行施工;

步骤 S7、重复步骤 S5 和步骤 S6,由下至上分级施工,直至中心填筑体和路堤防水层填筑到高路堤的预设高度;

步骤 S8、施工路床防水层;路床防水层采用红色泥岩填料和防水材料的防水混合料进行施工。

优选地,步骤 S2 中,获得每级边坡的路堤防水层的横向摊铺宽度 B 的过程包括:假定降雨过程中边坡表面不发生积水,同时假定降雨影响深度范围内的土体全部达到饱和状态,根据达西定律,可得:

$$i = k_s \left(\frac{h_w \cos \alpha + S_w}{h_w} \right) = k_s \left(\cos \alpha + \frac{S_w}{h_w} \right)$$

式中: i 表示路堤边坡表面的入渗率; k_s 表示红色泥岩填料的饱和渗透系数; h_w 表示降雨影响深度; α 表示各级路堤边坡与水平位置的夹角; S_w 表示影响深度处红色泥岩的基质吸力;

获得施工区域 10 年内的降雨数据,对 10 年内的降雨数据进行统计分析,得到 95% 置信水平下的置信区间上限,将其作为该地区降雨事件降雨强度的代表值 R_{Ir} :

$$R_{Ir} = b = \bar{R}I + 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

式中, R_{Ir} 表示该地区降雨事件降雨强度的代表值; b 表示该地区降雨事件降雨强度数据样本 95% 置信水平下的置信区间上限值;表示降雨强度数据样本的算术平均值; σ 表示降雨强度数据样本的标准差,按照计算, $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{Ii} - \bar{R}I)^2}$ 为样本中的第 i 个降雨事件的降雨强度; n 表示降雨强度数据样本中的降雨事件总数;

假定在极端降雨事件中,降雨能够完全入渗,即路堤边坡表面的入渗率等于降雨强度,则有:

$i = R_{Ir}$ 根据上式,得到降雨影响深度计算公式:

$$h_w = \frac{S_w}{\frac{1}{k_s} \times \left(\bar{R}I + 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) - \cos \alpha}$$

根据:

$$B = \frac{S_w}{\left(\frac{1}{k_r} \times \left(Rl + 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) - \cos \alpha \right) \times \sin \alpha}$$

计算得到各级路堤防水层的横向摊铺宽度 B。

优选地, 步骤 S6 中, 路堤防水层的施工过程具体包括:

按照设计掺量称量粉煤灰、矿粉、硅酸钠、聚二甲基硅氧烷, 每立方米红色泥岩填料所需的粉煤灰、矿粉、硅酸钠、聚二甲基硅氧烷质量分别为: Mf(粉煤灰) = 0.238c、Mk(矿粉) = 0.476c、Mg(硅酸钠) = 0.238c、Mj(聚二甲基硅氧烷) = 0.048c, 其中, c 表示所需防水材料的总质量;

将路堤防水层等分为三层路堤防水子层, 在路堤防水层的横向摊铺宽度 B 方向上, 将路堤防水子层由内到外分别记为 Z3 层、Z2 层和 Z1 层; Z3 层中的防水材料的掺量为 80kg/m³, Z2 层中的防水材料的掺量为 100kg/m³, Z1 层中的防水材料的掺量为 120kg/m³;

根据每一层路堤防水子层中的防水材料的掺量, 将红色泥岩填料、粉煤灰和矿粉拌和均匀;

在中心填筑体的两侧边坡上按照划分的路堤防水子层, 采用相应的填料按顺序在中心填筑体的边坡上摊铺拌合的混合料, 摊铺到预设厚度后, 压实填料;

每层填料压实完成后, 将硅酸钠、聚二甲基硅氧烷、水按照质量比为 5 : 1 : 5 的比例配制溶液, 将溶液均匀喷洒至压实层表面, 使溶液渗透至填料内。

优选地, 步骤 S6 中, 填料的每层摊铺厚度不大于 200mm; 填料采用 26t 压路机压实, 压实过程包括: 静压一遍、弱振六遍、强振两遍, 振动碾压过程中保证 26t 压路机的行驶速度不大于 5KM/h; 每填筑三层, 采用三角碾进行冲击碾压, 冲击碾压工艺为: 冲击功率 25KJ, 冲击碾压四遍, 冲击碾压速度不低于 10KM/h。

优选地, 步骤 S7 中, 路床防水层的施工过程包括: 将红色泥岩填料与粉煤灰、矿粉均匀按照设计掺量拌和成混合料, 然后均匀摊铺至整个工作面, 每层摊铺厚度为 300mm; 摊铺完成后, 压实混合料; 每层混合料压实完成后, 将硅酸钠、聚二甲基硅氧烷、水按照质量比为 5 : 1 : 5 的比例配制溶液, 将溶液均匀喷洒至压实层表面, 使溶液渗透至填料内。

优选地, 步骤 S6 中, 当路堤防水层施工到预设高度后, 在路堤防水层的顶面铺设一层双向土工格栅; 步骤 S7 在填筑混合料的过程中, 当混合料填筑至路床防水层顶面

之下 800mm 深度处时, 在混合料表面铺设一层双向土工格栅, 当混合料填筑至路床防水层顶面之下 300mm 深度处, 在混合料表面铺设一层双向土工格栅。

2 附图说明

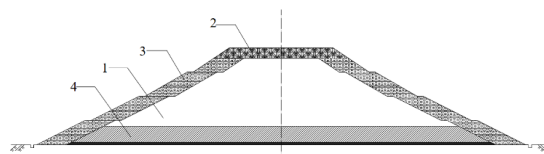


图1 实施例的红色泥岩填筑高路堤防水结构示意图

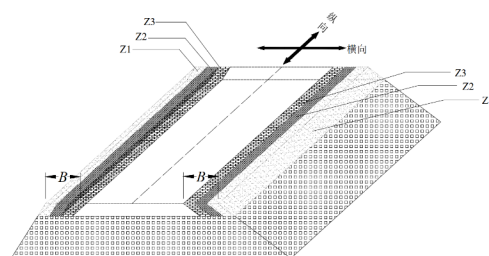


图2 实施例的路堤防水层的分层结构示意图

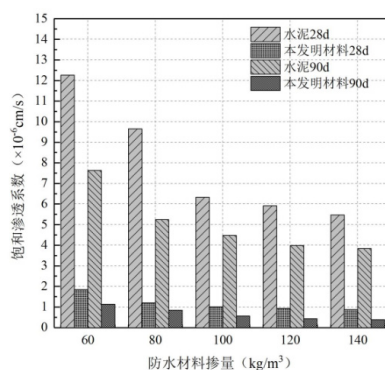


图3 防水材料与传统水泥材料的防水效果对比示意图

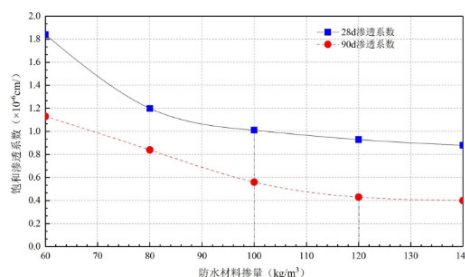


图4 实施例的防水材料在不同掺量、不同养护龄期下的渗透系数变化示意图

3 有益效果

红色泥岩填料作为一种遇水易崩解、易软化的特殊性岩土, 填筑成高路堤后, 高路堤易在降雨等环境因素的影响下发生失稳破坏; 针对这一问题, 传统的做法是对红色泥岩填料破碎, 改善粒径级配的连续性, 然后在高路堤的表面设置水泥包边结构或其他包边结构, 以防雨水或地表水浸入到路堤内, 这些做法不仅增大了施工花费, 而且,

高路堤不同部位受到雨水或地表水影响的情况不同,前述做法无法对路基不同部位灵活施工,增加了材料的浪费;

本方法利用开挖的红色泥岩填料作为高路堤填筑的主要填料,并在红色泥岩填料中掺入由粉煤灰、矿粉、硅酸钠和聚二甲基硅氧烷按照预设比例配制的防水材料,红色泥岩填料和防水材料形成防水混合料,采用防水混合料进行高路堤的防水施工,能够有效防止雨水或地表水浸入路堤内,提升高路堤的防水效果和使用寿命;相对于传统的水泥材料,还实现了工业废料的资源化利用,降低了材料成本。

还根据高路堤不同部位受到雨水或地表水影响情况的不同,采用了差异化的防水措施,在坡率缓、入渗影响大的路床部位,采用全范围防水处理;在高路堤边坡区域,根据降雨影响深度和每级边坡的坡率确定出路堤防水层的横向摊铺宽度,并将路堤防水层划分为多层路堤防水子层,在路堤防水层横向摊铺宽度方向上,逐层增加相邻层的路

堤防水子层中的防水材料的掺量,随着边坡经历降雨次数的增加,防水材料的水化反应由外至内逐步发生,防水效果逐步提升;相对于传统的路堤包边结构,

本方法的防水措施不仅能够灵活防水,还有效降低了防水材料的用量,降低了工程造价。

参考文献:

- [1] 张鹏飞,李志强.红色泥岩填料改良及其在高路堤中的应用[J].岩土工程学报,2020,42(5):832-840.
- [2] ASTM D698-12. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort[S]. 2012.
- [3] Fredlund D G, Rahardjo H. 非饱和土力学[M]. 陈仲颐,译.北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [4] 王建国等.硅酸盐-有机硅复合改性土的渗透特性研究[J].土木工程学报,2021,54(3):112-120.