

# 砂砾石掺细粒土在高速铁路路基上的应用

杨玉鹏

中国水利水电第四工程局有限公司 青海 西宁 810007

**摘要:** 本文探讨了砂砾石掺一定比例细粒土在高速铁路路基中的应用。分析了砂砾石与细粒土掺配后混合料的基本特性,包括物理性能、力学性能。总结了其在高速铁路路基中的适用性,解决砂砾石作为填料压实系数合格而地基系数 $K_{30}$ 不合格的问题。最后提出了掺配比例与施工要点,涵盖路基填料配合比设计和施工工艺等,为砂砾石在高速铁路路基中的实际应用提供参考。

**关键词:** 砂砾石; 细粒土; 高速铁路路基; 混合填料

**引言:** 高速铁路对路基填料的碾压后压实系数和地基系数 $K_{30}$ 的要求较高。本项目因地处平原地带,难以找到满足规范要求路基填料,距离施工地点最近的填料场是砂砾石,砂砾石因表面光圆,摩擦力小,难以板结,致使压实后地基系数 $K_{30}$ 很难达到设计要求。掺入一定比例的细粒土可改善级配、增强板结,使得碾压后各项检测指标满足规范要求。研究砂砾石与细粒土混合材料的性能特征,有助于优化路基结构设计与施工工艺,为铁路建设提供理论支持和技术保障。

## 1 砂砾石与细粒土的基本特性

### 1.1 砂砾石的特性

砂砾石的颗粒组成与级配特点较为鲜明。其颗粒主要由砂粒和砾石组成,砂粒粒径通常在0.075毫米至2毫米之间,砾石粒径则大于2毫米。颗粒大小差异较大,级配情况因形成条件不同而有所变化,有的砂砾石级配较为良好,不同粒径的颗粒搭配合理,有的则级配不良,颗粒粒径较为单一。在物理力学性质方面,砂砾石具有特定的密度。其密度受到颗粒组成、孔隙率等因素的影响,一般来说,颗粒排列紧密、孔隙率小的砂砾石密度较大。孔隙率是砂砾石的重要物理参数,它反映了砂砾石中孔隙的多少。砂砾石的强度与颗粒的大小、形状、级配以及颗粒间的相互作用有关<sup>[1]</sup>。

### 1.2 细粒土的特性

细粒土的分类与基本特征是认识其性质的基础。根据颗粒组成,细粒土可分为粉质黏土和黏土等类型。粉质黏土颗粒粒径较小,介于砂土和黏土之间,具有一定的黏性和塑性;黏土颗粒粒径极细,黏性和塑性较强。细粒土的物理性质主要包括液限、塑限和塑性指数。在力学性质方面,细粒土的压缩性较为明显。抗剪强度是细粒土力学性质的另一个重要方面,它与土的黏聚力和内摩擦角有关。黏土的黏聚力较大,内摩擦角较小,抗

剪强度主要依靠黏聚力;粉质黏土的黏聚力和内摩擦角则介于砂土和黏土之间。

## 2 砂砾石掺细粒土的混合机理与性能分析

### 2.1 混合机理

砂砾石与细粒土之间的相互作用是混合材料形成稳定结构的基础。在混合过程中,粗颗粒的砂砾石构成主要骨架,提供承载能力和骨架支撑作用,而细粒土则填充在砂砾石颗粒之间的空隙中,增强整体密实度和颗粒间接触程度。这种相互嵌套的结构形式使混合料在受力状态下能够更均匀地传递荷载,减少局部应力集中现象。

### 2.2 物理性能

混合料的物理性能受到颗粒组成和结构特征的显著影响。密度作为衡量材料压实效果的重要指标,在掺入细粒土后通常呈现先增加后趋于稳定的趋势。适量细粒土的加入有助于提高材料的密实度,从而提升整体稳定性。孔隙率随细粒土含量的增加而降低,这有利于减少水分滞留和冻胀风险。颗粒级配在混合过程中得到优化,粗细颗粒合理搭配,使材料具有更好的压实性能和结构均匀性。

### 2.3 力学性能

混合料的力学性能直接关系到在工程结构中的承载能力和变形特性。抗压强度和抗剪强度是反映材料承载能力的关键参数。在合理掺配范围内,细粒土的加入有助于增强颗粒间的咬合与摩擦,提高材料的整体强度。但当掺量超过一定范围后,可能会削弱砂砾石骨架作用,导致强度下降<sup>[2]</sup>。

## 3 砂砾石掺细粒土在高速铁路路基中的适用性分析

### 3.1 路基工程对材料性能的要求

高速铁路的运行特性决定了路基必须具备较高的承载能力和变形控制能力,因此要求填筑材料具有良好的抗压和抗剪强度,以承受反复荷载作用而不产生过大累积变

形。路基结构还需具备较强的耐久性，以应对自然环境如雨水渗透等不利因素的影响。填筑材料不仅要满足初始强度要求，还应具备良好的水稳定性，防止因水分渗入导致软化、膨胀或冲刷破坏。综合来看，高速铁路路基材料需要在强度、稳定性、耐久性 & 施工适应性等多个方面达到较高水平，才能保障线路的长期安全运营。

### 3.2 砂砾石掺细粒土的适用性评价

砂砾石掺细粒土作为一种改良型路基材料，在物理和力学性能方面展现出较好的综合优势。从物理角度分析，细粒土填充砂砾石颗粒之间的空隙，提高了整体密实度，优化了颗粒级配，使材料更易于压实并形成稳定的内部结构。这种结构形式不仅增强了材料的承载能力，还能有效减少动荷载作用下的塑性累积变形。在力学性能方面，合理掺量的细粒土可增强颗粒间的咬合与摩擦作用，提高抗剪能力，使混合料在承受频繁动荷载时仍能保持良好稳定性。混合料的弹性模量适中，有助于缓解应力集中，降低不同材料界面之间因刚度差异

引起的变形问题<sup>[3]</sup>。

## 4 砂砾石掺细粒土路基的设计与施工要点

### 4.1 路基设计原则

在采用砂砾石掺细粒土作为高速铁路路基填筑材料时，设计应以混合料的物理和力学性能为基础，合理确定路基结构形式。根据混合料的密实度、强度发展特性以及变形适应能力，选择适合的填筑厚度与分层方式，使路基在动荷载作用下具有良好的承载能力和稳定性。

### 4.2 配合比设计

配合比设计是确保砂砾石掺细粒土路基性能稳定的关键环节。合理的掺配比例能够充分发挥粗细颗粒的协同效应，在保证强度的同时兼顾施工可行性和经济性。设计时应综合考虑混合料的密实度、抗剪强度、渗透性及水稳定性等因素，通过室内试验确定最佳掺配范围。一般情况下，细粒土含量不宜过高，以免削弱骨架结构，影响排水和冻融性能；但也不能过低，否则难以起到填充和增强黏结的作用。

掺配后的混合料的筛分结果

土样名称	细粒土				砂砾石				混合料
比例(%)	5				95				100
试样质量(g)	1020				6000				7020
筛孔尺寸	筛余量	分计筛余	累计筛余	通过率	筛余量	分计筛余	累计筛余	通过率	最终掺配后通过率(%)
60	0	0	0	100	0	0	0	100	100.0
40	0	0	0	100	879	14.7	14.7	85.3	86.0
20	0	0	0	100	1256	20.9	35.6	64.4	66.2
10	0	0	0	100	1692	28.2	63.8	36.2	39.4
5	0	0	0	100	878	14.6	78.4	21.6	25.5
2	70	6.9	6.9	93.1	742	12.4	90.8	9.2	13.4
1	13	1.3	8.2	91.8	220	3.7	94.5	5.5	9.8
0.5	21	2.1	10.3	89.7	158	2.6	97.1	2.9	7.2
0.25	19	1.9	12.2	87.8	136	2.3	99.4	0.6	5.0
0.075	83	8.1	20.3	79.7	39	0.7	100.0	0.0	3.9

$C_u = d_{60}/d_{10} = 16.8$   $C_c = d_{30} \cdot d_{30}/(d_{10} \cdot d_{60}) = 2.35$   
级配良好为： $C_u \geq 5$ ； $C_c = 1 \sim 3$ 。

细粒土的掺量应根据砂砾石的筛分结果确定，当 $C_c$ 在2.0左右时，混合填料的筛分结果为最佳。

### 不同填料按照工艺试验碾压后检测结果

检测项目	砂砾石填料	砂砾石掺5%细粒土填料	备注
压实系数K ( $\geq 0.92$ )	0.948 0.956 0.957 0.951 0.952 0.960	0.971 0.968 0.978 0.975 0.977 0.980	
地基系数 $K_{30}$ ( $\geq 110\text{MPa/m}$ )	60 76 71	121 128 136	

通过对砂砾石掺5%细粒土，混合均匀后，碾压后的压实质量能够满足设计和规范要求，不仅解决了现场填料紧张问题，能够把砂砾石变废为宝，解决了工程进度和质量问题。

### 4.3 施工工艺

4.3.1 原材料选取：施工工艺直接影响砂砾石掺细粒土路基的最终质量，必须严格按照设计要求和规范流程进行操作。首先，在原材料选用方面，应确保砂砾石洁净、无杂质，颗粒级配符合设计要求，细粒土则应满足一定的塑性指标，不得使用有机质含量过高或易膨胀的

土类。所有材料进场前应进行抽样检测，确认各项指标合格后方可投入使用。

4.3.2 基底处理：在填筑砂砾石掺细粒土之前，对路基基底进行清理和平整，去除表层的腐殖土、杂物等，确保基底具有足够的承载能力。对于软弱地基，需根据实际情况进行加固处理，如采用换填、强夯等方法。

4.3.3 材料运输与摊铺：将按设计配合比拌制好的砂砾石掺细粒土混合料运输至施工现场，采用推土机或平地机进行摊铺，控制摊铺厚度均匀一致。摊铺过程中，应注意避免混合料离析，保证其均匀性。

4.3.4 压实作业：选用合适的压实机械，如振动压路机等，按照先轻后重、先慢后快、由边缘向中间的原则进行压实。在压实过程中，严格控制压实遍数和压实速度，根据现场试验确定的压实参数进行操作，确保路基压实度达到设计要求。同时，应注意控制含水量，若含水量过高或过低，应采取晾晒或洒水等措施进行调整。

4.3.5 质量检测：在施工过程中，对每一层填筑的砂砾石掺细粒土进行质量检测，包括压实度、平整度、宽度、横坡等指标的检测。采用环刀法、灌砂法等检测压实度，通过水准仪、经纬仪等测量平整度、宽度和横坡。只有各项指标均符合设计要求后，方可进行下一层的填筑施工。

#### 4.4 施工注意事项

4.4.1 原材料质量控制：确保用于掺配的砂砾石和细粒土的质量符合相关标准要求。对砂砾石的级配、含泥量等指标进行严格检测，细粒土的液塑限、含水量等参数也应符合设计规定。不合格的原材料严禁用于工程建设。

4.4.2 气候条件影响：在施工过程中，应密切关注天气变化。避免在雨天进行填筑施工，以防混合料含水量过大，影响压实效果。在高温干燥天气下，应采取适当的保湿措施，防止水分蒸发过快导致混合料干裂。

4.4.3 层间结合处理：在进行下一层填筑前，应对上一层表面进行清扫和湿润处理，以增强层间的结合力，避免出现层间分离现象，保证路基的整体稳定性。

### 5 砂砾石掺细粒土在高速铁路路基应用中的优势

#### 5.1 提高路基强度

通过将砂砾石与细粒土合理掺配，利用砂砾石的高内摩擦角和承载能力，以及细粒土的黏聚力，使混合料的强度得到显著提高，能够更好地承受高速铁路列车的动荷载，减少路基病害的发生。

#### 5.2 改善水稳性能

由于砂砾石的透水性强，在掺入细粒土后，能够有效改善细粒土的水稳定性。即使在降雨等情况下，水分能够迅速通过砂砾石孔隙排出，避免了因水分积聚导致的路基软化和强度降低，保证了路基在不同水稳条件下的稳定性。

#### 5.3 就地取材、降低成本

在许多地区，砂砾石和细粒土资源丰富。采用砂砾石掺细粒土作为高速铁路路基填筑材料，可以充分利用当地材料，减少材料的长途运输，降低工程成本。同时，也有利于环境保护，减少对其他优质资源的开采。

#### 5.4 便于施工操作

砂砾石掺细粒土混合料的施工工艺相对简单，与传统的路基填筑材料施工方法类似，施工人员易于掌握。而且，通过合理的配合比设计和施工控制，能够较快地达到设计要求的压实度和强度等指标，提高施工效率。

#### 结束语

砂砾石掺细粒土在高速铁路路基中的应用，具有较好的工程适应性与经济性。通过科学配比和规范施工，能够有效提升路基强度、稳定性和耐久性。未来应进一步完善其长期性能研究与现场施工质量控制方法，推动该材料在更多复杂地质条件下推广应用。

#### 参考文献

- [1]谭文杰.高速铁路岩溶隧道穿越深厚砂砾土层处治技术[J].路基工程,2024(6):233-237.
- [2]赵健飞,孙青秀.高压旋喷防渗墙在多漂卵砾石围堰地基中的应用[J].西北水电,2024(2):78-81,98.
- [3]彭军.颗粒形状对循环荷载作用下砂砾石土力学特性的影响[J].粉煤灰综合利用,2025,39(1):74-81.