

# 煤矸石在公路路基施工中的应用

刘挺亮

宁夏交通建设股份有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要：**煤矸石作为工业固体废弃物，在公路路基施工中具有资源化利用潜力。本文分析了煤矸石的物理、化学及工程特性，探讨了其在路基施工中的预处理、填筑工艺及质量控制要点。针对材料性能不稳定、环境污染风险及施工技术难点等问题，提出了材料筛选改良、环保防控及工艺优化等解决方案。煤矸石路基应用可降低工程建设成本，实现固废资源化，但需加强质量管控与环境监测，确保工程安全与生态保护并重。

**关键词：**煤矸石；公路路基；资源化利用；施工工艺；环境保护

结束语：煤矸石堆积带来的环境问题日益突出，在公路路基中的应用可实现固废资源化利用。煤矸石具有强度高、稳定性好等特点，但成分复杂、性能差异大，需通过预处理改善工程性能。研究煤矸石路基施工技术，对降低工程建设成本、促进循环经济发展具有重要意义。分析施工过程中的技术难点与环境风险，探索质量控制与环保措施，可为煤矸石在公路工程中的推广应用提供理论支撑与实践指导。

## 1 煤矸石的基本特性

### 1.1 物理性质

煤矸石的颗粒大小不均，包含块体、碎屑等不同形态，从细小的粉末到数十厘米的硬块分布杂乱。密度受成分影响存在差异，富含石英等硬质矿物的煤矸石密度较大，而以黏土为主的煤矸石密度相对偏小。孔隙率较高且分布不规则，部分孔隙相互贯通形成通道，部分则呈封闭状态藏于颗粒内部<sup>[1]</sup>。其硬度与所含矿物成分相关，含有长石和石英的煤矸石硬度较高，以黏土矿物为主的则较软。部分煤矸石具有一定耐磨性，在受到外力摩擦时不易碎裂成粉末，能在长期使用中保持颗粒形态稳定。这些物理特征直接影响其作为路基材料的压实效果，颗粒级配杂乱会导致压实过程中出现局部空隙，破坏整体结构的紧密性，孔隙率和密度的差异也会改变路基的承载能力和水稳定性。

### 1.2 化学性质

煤矸石主要由硅、铝、铁等元素的氧化物组成，二氧化硅和氧化铝构成其化学组成的主体，还可能含有少量硫化物、碳酸盐等成分。在自然环境中，部分成分可能与水、空气发生反应，硫化物遇水和空气可能生成酸性物质，可溶性盐类在潮湿环境中会逐渐溶解。其化学稳定性需结合具体成分分析，成分中易反应物质较多的煤矸石，长期处于湿润环境中可能引发体积变化，成分以稳

定矿物为主的则能在各种环境下保持性质稳定。这种化学层面的特性关系到路基的长期耐久性，持续的化学变化可能导致材料结构疏松，进而影响路基整体强度。

### 1.3 工程性能

煤矸石的压实性受颗粒级配影响明显，级配合理时粗颗粒可形成骨架，细颗粒填充其间，通过压实能有效减少空隙提高密实度。级配不良时容易出现颗粒分离，即使多次碾压也难以达到理想的紧密状态。承载能力与自身强度及压实程度相关，自身强度较高且压实充分的煤矸石能形成坚硬整体，为路面提供稳定支撑。强度不足或压实不够的煤矸石，承受荷载时易发生颗粒位移，导致路基变形。抗变形能力需满足路基在车辆反复作用下不产生过量沉降，颗粒形状不规则且表面粗糙的煤矸石，颗粒间咬合作用和内摩擦力更强，能形成更稳定的结构。渗透性则影响路基的排水性能，渗透性好的煤矸石能快速排出雨水，避免水分积聚引发软化，渗透性差的在多雨地区需配合排水设施使用，否则可能因积水导致强度下降，需根据路段水文条件评估其适用性。

## 2 煤矸石在公路路基施工中的应用环节

### 2.1 煤矸石的预处理

在煤矸石预处理环节，应优先使用陈放煤矸石，杜绝使用新排煤矸石。这是因为陈放煤矸石经过一定时间的自然风化，其性质相对更稳定，更有利与后续处理和路基填筑工程。（1）要对选用的陈放煤矸石进行破碎处理，借助机械破碎设备把大块煤矸石分解，让颗粒尺寸满足路基填筑要求。破碎时要控制颗粒均匀性，防止出现过多超规格块体或过细粉末，可通过调整破碎设备参数来优化颗粒形态。破碎后利用筛分设备分离不同粒径颗粒，去除过大块体和细小粉末，保留级配适宜的部分用于填筑。（2）对于杂质较多的陈放煤矸石，需进行清洗或分选，用水流冲洗去除表面附着的泥土和可溶

性盐类,或通过重力分选分离出夹杂的废金属、木材等异物,降低有害物质含量。若其工程性能不足,可添加石灰或水泥等改良剂,增强颗粒间粘结力,提升整体强度。预处理后的煤矸石要堆放在平整场地,避免混杂其他杂物,做好防雨措施,堆放高度也不宜过高,以防颗粒分离。

## 2.2 路基填筑工艺

填筑时需按分层厚度摊铺煤矸石,根据煤矸石颗粒大小和压实机械性能确定每层摊铺厚度,通常厚度控制在合理范围内以保证压实效果。摊铺过程中使用平地机或推土机将煤矸石均匀铺开,确保表面平整以利于后续压实,避免出现局部堆积或凹陷,边缘部位需特别注意摊铺到位。压实采用合适的机械类型,对于粒径较大的煤矸石可选用重型振动压路机,粒径较小时可采用中型压路机。根据煤矸石特性选择碾压次数和碾压速度,碾压时遵循先轻后重、先慢后快的原则,从路基边缘向中心推进,确保各部位都能得到充分压实达到规定的密实度。分层填筑完成后需检查层间衔接情况,在摊铺下一层前对已压实层表面进行拉毛处理,避免出现分层离析,增强层间结合力<sup>[2]</sup>。

## 2.3 路基防护与加固

边坡防护可采用植被覆盖或工程措施,植被覆盖选择耐旱、抗逆性强的草本植物,通过根系固定表层煤矸石,防止雨水冲刷导致煤矸石流失;工程措施可采用浆砌片石或网格防护,在边坡表面砌筑防护结构形成屏障,阻挡煤矸石滑落。对于地质条件较差的路段,需对路基基底进行加固处理,采用碎石垫层或灰土挤压等方法增强地基承载力,避免路基沉降过大影响整体承载能力。在路基边缘设置排水设施,如边沟、截水沟和渗沟等,沟体需采用防渗材料处理,及时排出渗透水以减少对煤矸石结构的侵蚀,排水设施需与路基主体结构紧密结合,确保水流顺畅不滞留于路基内部。

## 2.4 质量检测要点

对于进场的煤矸石材料,需重点控制其关键指标。检测CBR值,以此评估材料作为路基填料的适用性;测定耐崩解指数,了解材料在自然环境下的抗崩解能力;分析有机质含量,防止过高有机质影响路基强度与稳定性;检测烧失量,判断材料热稳定性。只有各项指标均符合要求,才可投入使用。在压实度检测方面,规定只能使用灌砂法测定压实度,确保路基具有足够的承载能力。同时,要检查路基顶面的平整度和高程是否满足后续施工条件,使用水准仪和直尺测量高程偏差和平整度误差。此外,需在不同深度和部位采集煤矸石样品,通

过取样分析评估其稳定性,测试抗压强度和抗剪强度变化,判断是否存在潜在的变形风险。还要检查防护措施的完整性和有效性,查看边坡防护结构是否牢固、排水设施是否畅通,对局部破损及时修补,保障路基施工质量达标。

## 3 煤矸石在公路路基施工应用中存在的问题

### 3.1 材料性能不稳定

不同来源的煤矸石成分和结构差异较大,煤矿开采深度、煤层类型以及洗选工艺的不同,都会导致煤矸石中矿物组成和物理结构出现明显差别。这种差异直接造成其工程性能波动明显,有的煤矸石强度较高且压实性好,有的则强度偏低且难以压实<sup>[3]</sup>。同一批次材料可能出现压实效果不一致的情况,在摊铺和碾压过程中,部分区域能达到预期密实度,相邻区域却因材料特性差异始终存在空隙。这种性能的不均匀性会影响路基整体质量均匀性,导致路基各部位承载能力出现偏差,在车辆荷载反复作用下,薄弱区域易先产生沉降变形,进而引发路面开裂等连锁问题。材料性能的不稳定性还会增加施工控制难度,相同的施工参数难以适用于全部材料,需频繁调整工艺以适应材料变化。

### 3.2 环境污染风险

煤矸石中若含有可溶性有害物质,如硫化物、重金属等成分,在雨水渗透作用下可能随水流扩散到周边土壤和水体中。这些物质进入土壤后会改变土壤酸碱度,影响土壤微生物活性,阻碍植物生长;渗入水体后则可能破坏水生生态平衡,威胁动植物生存。尤其在水源保护区等敏感区域需格外关注,一旦有害物质进入饮用水源,可能对人体健康构成潜在威胁。施工过程中煤矸石堆放和运输环节也可能产生粉尘,随风飘散到周边环境中,影响空气质量与周边居民生活。长期堆积的煤矸石若未采取有效的防渗措施,有害物质可能缓慢释放,形成持续的环境污染源,对生态环境造成的影响具有隐蔽性和长期性。

### 3.3 施工技术难点

煤矸石颗粒间摩擦力较大,且颗粒形状不规则,摊铺过程中易出现离析现象,大颗粒聚集在一处,小颗粒集中在另一处,导致局部级配失衡。这种离析会增加均匀性控制难度,即使采用机械摊铺也难以保证材料分布均匀,进而影响后续压实效果,使路基出现密实度不均的情况。部分煤矸石吸水性较强,遇水后可能产生膨胀,体积增大导致路基内部产生附加应力,给压实作业和结构稳定性带来挑战。在压实过程中,吸水膨胀的煤矸石会降低压实机械的作用效果,需要更多碾压次数才

能达到规定密实度。而在路基成型后,若遇持续降雨或地下水浸润,膨胀现象可能再次发生,引发路基隆起或变形,破坏路面结构的完整性,增加后期维修养护的工作量。煤矸石与其他路基材料的兼容性较差,在与相邻结构层衔接处易出现结合不良的问题,影响路基整体受力性能。

#### 4 解决煤矸石应用问题的应对措施

##### 4.1 严格材料筛选与改良

制定煤矸石进场检验标准,明确颗粒级配、强度、有害物质含量等关键指标的合格范围,对每批次进场材料进行全面检测,对不符合性能要求的材料不予使用。检验过程中需关注材料来源信息,优先选择成分相对稳定的煤矸石,减少因来源复杂导致的性能波动<sup>[4]</sup>。通过试验确定合理的改良方案,针对不同煤矸石的特性选择适配的改良材料,对于强度不足的煤矸石,添加适量固化剂增强颗粒间粘结力;对于压实性差的煤矸石,掺入稳定剂改善其级配和可塑性,提升煤矸石的工程性能稳定性。改良过程中需控制改良材料的掺量和搅拌均匀性,确保每一粒煤矸石都能与改良材料充分接触,避免局部改良不彻底影响整体效果。改良后的煤矸石需再次进行性能测试,确认其满足路基施工要求后方可用于填筑,从源头减少材料性能不稳定带来的质量隐患。

##### 4.2 采取环保防控措施

针对煤矸石路基,环保防控措施需精准到位。此措施仅适用于路堤部分,不可用于路床部分。在路堤底部,除铺设抗渗性能优良的土工布外,要确保材料铺设连续完整,接缝处采用热熔焊接或紧密拼接方式处理,以此阻断有害物质渗透路径,防止煤矸石中的可溶性物质随水渗入地下。同时,在路堤两侧增加包边土,进一步增强对有害物质的阻隔效果。设置截水沟和沉淀池,截水沟沿路堤边缘布置,将雨水和渗透水引入沉淀池,经沉淀过滤去除水中携带的悬浮颗粒和部分污染物,对雨水收集处理后再排放,降低污染物扩散风险。沉淀池需定期清理淤积物,防止污染物饱和溢出。定期监测周边环境指标,涵盖土壤酸碱度、水体中有害物质浓度和空气质量等,施工期和运营初期增加监测频率,及时掌握环境变化。若监测发现异常指标,立即排查原因并采取强化防控措施,在敏感区域施工时,扩大环保措施范

围,增设防护屏障或加强监测力度,最大程度降低对生态环境的影响。

##### 4.3 优化施工工艺

改进摊铺方法,采用分层布料和均匀撒布技术减少离析,摊铺前根据路基宽度和煤矸石颗粒特性确定布料范围,使用布料机按预定厚度和宽度均匀布料,避免人工摊铺造成的材料堆积。摊铺过程中安排专人巡查,对出现的颗粒聚集现象及时进行人工分散,确保材料分布均匀。根据煤矸石含水量调整压实参数,施工前测定煤矸石的天然含水率,若含水率过高,在摊铺后进行晾晒,通过翻拌加速水分蒸发;若含水率过低,适量洒水补充水分,使煤矸石处于最佳含水率状态,确保压实效果。引入专用压实设备,针对煤矸石颗粒坚硬、摩擦力大的特点,选用重型振动压路机或冲击压路机,通过高频振动或冲击力打破颗粒间的咬合,提高密实度,提高对煤矸石的压实效率。压实过程中遵循先静后振、由弱到强的原则,逐步增加压实能量,避免过度碾压导致颗粒破碎或结构松散。对于煤矸石与其他材料的衔接部位,采用渐变过渡的施工方式,在交界处铺设过渡层材料,通过碾压使其紧密结合,增强路基整体连贯性。施工完成后对路基表面进行平整处理,为后续结构层施工创造良好条件,减少因表面不平整引发的应力集中问题。

#### 结束语

煤矸石在公路路基中的应用需综合考虑材料特性、施工工艺及环境影响。通过严格筛选改良、优化施工工艺可提升路基质量,环保措施的落实能有效控制污染风险。未来应加强煤矸石性能数据库建设,研发高效改性技术,完善相关标准规范。推动煤矸石资源化利用,对实现工程建设与环境保护协调发展具有重要价值。

#### 参考文献

- [1] 郭凯川.煤矸石的路用性能及其在路基填筑施工中的应用[J].交通世界,2023(9):111-113.
- [2] 贺亮.公路路基施工中煤矸石的应用研究[J].交通世界(上旬刊),2022(11):58-60.
- [3] 刘延敏.煤矸石在高等级公路路基工程中的应用研究[J].交通世界(上旬刊),2022(7):16-18.
- [4] 戴江涛.公路路基填筑施工中的煤矸石技术研究[J].交通世界(上旬刊),2022(3):76-77.