

# 浅析钢渣细集料改良黄土路床施工技术应用

吴德才

甘肃圆陇路桥机械化公路工程有限责任公司

**摘要：**本文以甘肃陇中地区某工程项目为例，对钢渣细集料改良黄土路床施工技术应用要点展开分析，主要内容包括工艺原理、施工前准备工作、素土与钢渣摊铺、再生机拌和施工、整形碾压施工、工程养护及质量控制等。通过控制钢渣细集料撒布量、加强钢渣稳定土拌和均匀性等的检测、跟进稳定土强度验证等施工过程控制，总结编制施工作业指导书，其目的在于充分发挥钢渣细集料稳定土对黄土湿陷性改良的应用优势，提高黄土路床的质量可靠性。

**关键词：**钢渣稳定土；黄土路床；冷再生拌和；质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.13.046

随着西北地区通行交通量大幅增加，各等级公路建设快速发展，黄土作为西北地区路基填筑的主要材料，其改良湿陷性处理材料的需求量不断增大。因此，寻找质量稳定、价格低廉又促进生态环保的改良材料及工艺，是工程施工技术人员探索的方向之一。钢渣作为炼钢生产过程中的固体废料，通过对固废钢渣破碎筛分，利用其含有的硅酸三钙、硅酸二钙等水硬性矿物质作为改良黄土湿陷性掺和材料的稳定因子，既能够解决黄土湿陷性问题，提高公路修筑质量与抗灾能力，又避免了渣灰弃置带来的土地、水源和环境污染等生态环保问题。

## 一、工程项目概述

西北地区甘肃省黄土分布面积广，其中陇中地区黄土具有土层厚、水稳定性差、湿陷性强的特点。黄土作为路基填筑的主要材料，未经改良的黄土直接用于路床填筑将严重影响路基稳定性。为解决前述问题，G312线清傅项目探索新材料、新工艺，将大粒径钢渣经过破碎筛分后，采用3mm以下的钢渣细集料代替传统水泥或石灰稳定黄土，使用就地冷再生施工方法现场拌和混合料进行路床施工作业，整形碾压后成型路床各项指标满足规范要求，为西北地区改良黄土路床施工探索新的工艺。

## 二、钢渣细集料改良黄土路床施工技术应用要点

### (一) 工艺原理及流程

#### 1. 工艺原理

钢渣材料具有良好的颗粒级配和工程填筑特性，其化学成分和力学特性有利于路基填料强度和路基稳定性

的提高。在黄土中掺入一定量的钢渣细集料经充分拌和均匀及压实后，钢渣细集料中游离活性成分吸收一定水分，并与水发生化学反应，从而使改良后的黄土物理力学性质发生根本改变，板结成强度较高无机稳定结合料，从而使路基板结硬化，大大提高路床强度。同时，钢渣材料具有较高的内摩擦角，可增强土体抗剪强度，提高路基整体抗滑稳定性。

#### 2. 工艺流程

钢渣改良黄土路床施工中混合料的生产可采用路拌或厂拌两种工艺进行施工生产，结合项目生产实际，本项目采用全深式冷再生路拌法进行施工，路拌法施工工艺流程如图2.1.2-1。



图2.1.2-1 路拌法施工工艺流程图

### (二) 钢渣掺量确定

钢渣稳定土施工时采用7d龄期无侧限抗压强度、7d龄期后浸水24h强度损失率及CBR值作为质量控制的主要指标。在钢渣参量设计过程中，选择不少于5组不同的掺量比例，分别确定各剂量条件下钢渣稳定土的最佳含水率和最大干密度，再通过预设的压实要求成型标准

试件,检测钢渣稳定土质量控制各项指标,验证不同掺量比例下钢渣稳定土的技术性能,从而确定钢渣的最佳掺量。本项目钢渣掺量设计采用质量比为13%、14%、15%、16%、17%五种掺量进行试验,重点检测上述施工质量控制指标,根据检测结果分析数据,从而确定了此次设计钢渣掺量以15%为最佳掺量。

### (三) 施工前准备工作

试验段开工前,应做好以下施工前准备工作:

(1) 材料准备,对钢渣原材料按照设计文件确定的检测指标进行检测,并对填料所用的黄土在取土场进行彻底焖料,确保填料在拌和均匀后钢渣稳定土混合料含水率比最佳含水率高1%-2%。(2) 设备准备,钢渣细集料具有堆积密度大、内摩擦角大及流动性差等特点,常规粉料撒布车和碎石撒布车不能直接用于钢渣细集料撒布,因此须依据撒布试验确定相关参数后对常规设备进行改进,并生产钢渣细集料撒布专用设备;钢渣稳定土路床施工其他工艺均为常规工艺,所用设备可按工艺要求进场。(3) 试验准备,对钢渣原材料、黄土填料、工程用水等进行原材料检验,对不同钢渣掺量的稳定土混合料进行标准击实试验,确定钢渣稳定土的最大干密度和最佳含水率。(4) 工作面准备,在路线沿线恰当位置布置水准点、导线控制点,建立测量控制网,根据测量控制网对下承层进行测量放样;同时,依据技术规范验收下承层,检测下承层各项指标,使下承层满足设计及规范要求。(5) 技术准备,在工程开工前,编制专项施工方案及作业指导书,并对施工技术人员开展技术、安全、消防及环水保等的培训教育,梳理施工工作流程,明确施工技术各应用阶段的质控要点,以此来拟定完善的施工技术质控体系<sup>[3]</sup>。

### (四) 素土与钢渣摊铺施工

#### 1. 素土摊铺

取土场中提前焖好路基填料通过自卸车拉运至现场,安排专人指挥卸土,利用装载机将填料摊开,保证摊铺厚度达到预设松铺厚度后,使用平地机对摊铺素土进行粗平,确保摊铺表面的平整性与均匀性,为钢渣均匀撒布奠定良好基础。素土摊铺采用网格法进行施工。

#### 2. 钢渣撒布

采用专用撒布机进行钢渣细集料撒布。施工前,依据钢渣设计掺量结合素土松铺厚度精确计算钢渣撒布量,输入撒布车撒布作业相关参数,确定撒布车行进速度及下料口尺寸。钢渣作业面的撒布顺序应遵循“直线段由两侧向路中心、平曲线段由内侧向外侧”的原则进行。撒布车在钢渣撒布作业过程中应匀速行进,专人检查散步搭接位置钢渣的撒布均匀性。钢渣撒布幅宽间隔

10m测量一次钢渣撒布量,钢渣撒布量不足或者不均匀的区域采用人工及时补撒和整修。

### (五) 再生机拌和施工

钢渣稳定土混合料的生产可采用厂拌或路拌两种工艺方法进行施工,本项目采用路拌法施工。路拌法施工应重点注意以下几个方面的事项:(1) 采用就地冷再生机进行拌和施工,以确保拌和深度及拌和均匀性。

(2) 再生机工作行进速度控制在6m/min-8m/min,且应保持匀速状态,避免因行进速度不均导致混合料拌和不均匀。(3) 安排专人随时检测拌和深度及拌和均匀性,确保在拌和过程中不留夹层或夹缝;当再生机进行多刀拌和施工时,应注意拌和工作面的搭接宽度,以保证拌和均匀。(4) 试验人员跟踪检测钢渣掺量、拌和深度及混合料含水率等施工技术指标,根据检测结果动态调整作业相关参数,确保施工的合理性。(5) 在施工过程中,对出现钢渣掺量、混合料含水量、施工深度等施工指标不满足设计要求的,应及时暂停施工,待查明原因并将问题解决后再继续进行施工。

### (六) 整形碾压施工

整形碾压工艺大致分成“初压-粗平-复压-精平-终压”共五道工序,采用平地机、凸块式压路机、单钢轮压路机及轮胎式压路机配合作业,压实工艺总体按“由低向高、由外向内”的原则进行。

#### 1. 初压

在初压阶段,大吨位凸块式压路机跟进再生机作业,采用先静压后强振(高幅低频)的作业方式进行,碾压速度应控制在3km/h以内,强振压实遍数一般应确保在3遍以上,具体压实遍数应根据试验段确定,待施工底部2/3厚度范围压实度均满足要求后,可进行下一作业阶段。

#### 2. 粗平

完成初压后,采用平地机进行粗平,并安排专人挂线测量控制施工标高。在直线段,平地机由两侧向路中心进行刮平,在平曲线段,平地机由内侧向外侧进行刮平,按设计标高调整路面路拱及纵横坡。在整形施工过程中,如果钢渣稳定土混合料表面水分散失较为严重,应及时采用洒水车在表面进行补水作业,以确保混合料含水率处在最佳含水率的状态。

#### 3. 复压

进入复压阶段。采用单钢轮压路机以弱振(低幅高频)方式进行。直线和不设超高的平曲线段,由两侧向路中心碾压,每次应重叠1/2轮宽,压完路面全宽时即为一遍,一般需碾压4~6遍(具体由试验段确定)。压路机行进速度前两遍采用1.5~1.7km/h为宜,后期可提

高至2.0~2.5km/h。压实过程中，如发现弹簧、松散、起皮等现象，应及时翻拌处理；同时，严禁压路机等机械在已完成或正在碾压的钢渣稳定路段上调头或急刹车，以保证稳定土表面不受破坏。

4. 精平

在工作面完成复压，检测压实度满足设计要求后，使用平地机对路床工作面进行精平，作业方式与粗平一致。通过精平，精确地将路拱及路床纵横坡调整至设计指标，消除接缝及压路机压实痕迹，使路床表面平整均匀，保证压实效果。

5. 终压

路床精平作业结束后，采用轮胎式压路机进行终压。终压主要目的是提高路床表面的平整度，消除表面褶皱和微裂缝。压实原则与复压一致，一般压实3遍左右，终压完成即可进入养护阶段。

(七) 工程养护施工

整形压实作业结束，压实度检测合格后，路床进入工程养护阶段。一般情况下，如不连续施工，则应采用覆盖洒水保湿养护不少于7天；如连续施工，则应洒水养护，开展相关试验检测，并在下一层施工结束后24h内完成上层素土覆盖施工<sup>[1]</sup>。在工程养护期间，应中断交通，禁止车辆在已经碾压完毕的路床上通行，避免车辆对成型路床造成破坏。

三、施工过程质量控制

(一) 把好原材料进场关

施工过程中，应严格控制原材料质量，尤其是预先调查钢渣料源，确定其化学成分、矿物组成、陈化时间、钢渣生产工艺等。钢渣原材料应为稳定化处理后的转炉渣或电炉渣，且至少陈化6个月，应对钢渣原材料的放射性、浸出毒性、浸水膨胀率、铁含量、级配等相关指标进行检测。改良黄土用钢渣细集料粒径要求为0-3mm，表观应疏松、干燥、无聚团、结块、受潮变质等，级配须控制3个关键筛孔通过率，包括0.075mm、0.15mm和2.36mm，具体须满足表3.1-1中技术要求。

表3.1-1 钢渣细集料级配技术指标要求

指标	筛孔通过率 (%)						
	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率要求 (%)	100	≥98	≥55	≥35	≥20	≥10	≥6

(二) 严格控制钢渣撒布量

钢渣撒布均匀程度是钢渣稳定土混合料拌和均匀性的关键，因此，必须严格控制钢渣撒布量。施工中，首先应根据钢渣掺量及素土松铺厚度精确计算每平方米撒布量，其次应做好现场撒布量的检测工作，检测频率以撒

布车撒布宽幅范围内每间隔10m一次，撒布均匀性较差时及时调整撒布车行进速度及下料口间距，撒布不足的区域人工及时补撒。

(三) 做好拌和均匀性检测

混合料充分拌和均匀是钢渣稳定土发挥性能的关键工序，施工中，应随时观察且做好拌和均匀性检测工作。一般情况下，每压实层每200m布置一组至少6个检测点，应保证每压实层检测点均衡布置。在抽样的混合料均匀且无离析现象的状态下检测钢渣掺量，计算出该工作面钢渣产量的代表值，该代表值应不小于设计掺量值。同时，要求钢渣掺量合格率≥90%，单点混合料掺量误差值不应超过2%，以确保钢渣稳定土路床施工质量，提高路床承载能力<sup>[4]</sup>。

(四) 加强现场稳定土强度验证

加强现场钢渣稳定土强度验证，能够及时发现潜在的质量隐患问题，及时返工质量不合格部位，确保钢渣路床施工质量。现场拌和成型的稳定土一方面可通过现场取样后在工地试验室成型标准试件，在标准状态下验证7天龄期的无侧限抗压强度和浸水强度损失率；另一方面可通过对现场成型的路床经过不少于7d的养护期后进行钻芯取样，验证其7天龄期的无侧限抗压强度和浸水强度损失率。对验证检测结果不合格的应认真分析原因，并对相应的部位进行返工或采取补强措施，以保证路床施工质量。

四、结束语

综上所述，使用钢渣细集料改良黄土路床施工，通过严格控制施工各个环节，利用钢渣细集料中含有的活性物质与黄土相关成分进行反应、结合，使黄土湿陷性得以改良，为西北地区黄土填料路床施工探索了新的思路及工艺，具有良好的经济及社会效应，值得推广使用。

参考文献

[1] 杨素洁, 张冰, 杨亚东, 等. 钢渣综合利用现状研究[J]. 化工矿物与加工. 2021, (4).

[2] 蒋佳桐, 刘灿, 刘澳, 孔德文, 王玲玲. 钢渣细集料赤泥基混凝土抗渗性能试验研究[J]. 非金属矿, 2022, 45 (03): 27-29.

[3] 陈霞, 高志扬, 彭子凌, 周显. 钢渣细骨料安定性测试方法适应性及评价指标研究[J]. 长江科学院院报, 2021, 38 (11): 142-148+156.

[4] 汪勇, 张晓帆. 水泥稳定钢渣道路基层材料工程应用研究[J]. 城市道桥与防洪, 2020 (12): 166-168+179+21.