

# 水泥粉煤灰稳定湿陷性黄土路基施工技术探讨

范俊杰

中国电建市政建设集团有限公司，天津

收稿日期：2022年2月6日；录用日期：2022年3月1日；发布日期：2022年3月8日

---

## 摘要

湿陷性黄土路基加固处理一直是公路建设所遇到的技术难题之一。本文依托实际工程，探讨了采用水泥粉煤灰稳定湿陷性黄土路基方法加固湿陷性黄土路基，详细论述了该方法的施工工艺，为类似工程提供技术参考。

## 关键词

湿陷性黄土，路基，水泥粉煤灰，施工技术

---

# Discussion on Construction Technology of Cement Fly Ash Stabilized Collapsible Loess Subgrade

Junjie Fan

China Power Construction Municipal Construction Group Co., Ltd., Tianjin

Received: Feb. 6<sup>th</sup>, 2022; accepted: Mar. 1<sup>st</sup>, 2022; published: Mar. 8<sup>th</sup>, 2022

---

## Abstract

The reinforcement treatment of collapsible loess roadbed has always been one of the technical problems encountered in highway construction. Relying on the actual project, this paper discusses the use of cement fly ash to stabilize the collapsible loess roadbed to strengthen the collapsible loess roadbed, discusses the construction technology of this method in detail, and provides a technical reference for similar projects.

## Keywords

### Collapsible Loess, Roadbed, Cement Fly Ash, Construction Technology

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

湿陷性黄土主要由粉土颗粒组成，它的特点是孔隙较大、天然含水量与密度较低，压缩性较大。在自重作用下如果受到外部荷载影响，受水浸湿后极易发生湿陷变形，使土体结构遭到破坏。而土体结构被破坏后，那么土体强度也会下降，这些对于公路工程建设的路基施工来说都是不利的[1] [2]。鉴于目前市政道路改扩建建设、全国高速公路的飞速发展，开展湿陷性黄土地层路基施工技术探讨是非常有必要的。张少朋[3]依托景中高速公路工程，提出了湿陷性黄土区采用深孔强夯(DDC)处治湿陷性施工的相关参数。朱熙明[4]结合兰州新区 NCE10#路道路工程，总结了湿陷性黄土路基处理的几点经验，对同一个道路工程进行不同的地基处理方式，兼顾了技术指标和经济指标。曹格涛[5]提出了根据湿陷性黄土工程的整体特性，结合压实机理来进一步分析与探究黄土路基综合压实施工工艺的效果。陈梦等[6]结合实体工程，采用“路基高压旋喷桩”和“路侧夯实水泥土桩”的组合桩法作为路基沉陷加固方案，对湿陷性黄土地基进行加固处治的效果非常显著。罗小博[7]通过现场试验的方式，在西北湿陷性黄土区进行劈裂注浆地基处理方式，观察注浆后浆脉发展过程，对比研究了劈裂注浆地基处理方式的有效性。虽然前人已采用多种方法进行了湿陷性黄土路基加固处理，但其应用性受到建设成本和材料资源的限制，并不能有效地推广应用。为此，本文依托朔州经济开发区起步区及外部连接道路建设工程，采用水泥粉煤灰稳定湿陷性黄土路基方法，对工程处治效果进行跟踪观测和分析评价，验证了此方法的有效性和实用性。

## 2. 工程概况

本项目位于朔州经济开发区，规划总面积为 10 km<sup>2</sup>，为市政路网及配套市政管线工程。本项目西至经二路，东至经八路，北至南环路，南至纬一路。包含 11 条城市道路，其中主干路 6 条，次干路 5 条，道路总长度 34.18 km。主要包括经二路、经三路、经四路、经五路、经六路、经八路、纬一路、纬二路、纬三路、纬四路、南环路的道路工程、照明工程、污水工程、雨水工程、给水工程、交通工程、再生水工程、电力工程、电信工程、热力工程、燃气工程等工程内容。在南环路与经八路交叉口的东北角处，拟新建 20 m<sup>3</sup>/s 的雨水泵站一座。施工平面布置如图 1 所示。

通过原位测试、野外钻探还有室内土工试验得出得结果，勘探之后的地基土层土自上而下可划分为 5 层，具体划分如下：第①层(Q42ml)，素填土：黄褐色，以粉土为主，含煤屑、植物根等，稍湿~湿，稍密。第②层(Q4al + pl)，黄土状粉土：褐黄色，含云母、氧化铁、氧化铝等，稍湿，稍密，具中高压缩性。地基承载力特征值为 100 kPa。第③层(Q4al + pl)，粉土：褐黄色，含云母、氧化铁、氧化铝等，稍湿~湿，稍密~中密，具中压缩性。地基承载力特征值为 120 kPa。第④层(Q4al + pl)，粉质粘土：褐黄色，含云母、氧化铁、氧化铝等，可塑，具中等压缩性。层间夹粉土、粉细砂(稍密)透镜体。地基承载力特征值为 160 kPa。第⑤层(Q4al + pl)，粉土，黄褐色，含云母、氧化铁、氧化铝等，湿，中密~密实，具中等压缩性。地基承载力特征值为 180 kPa。

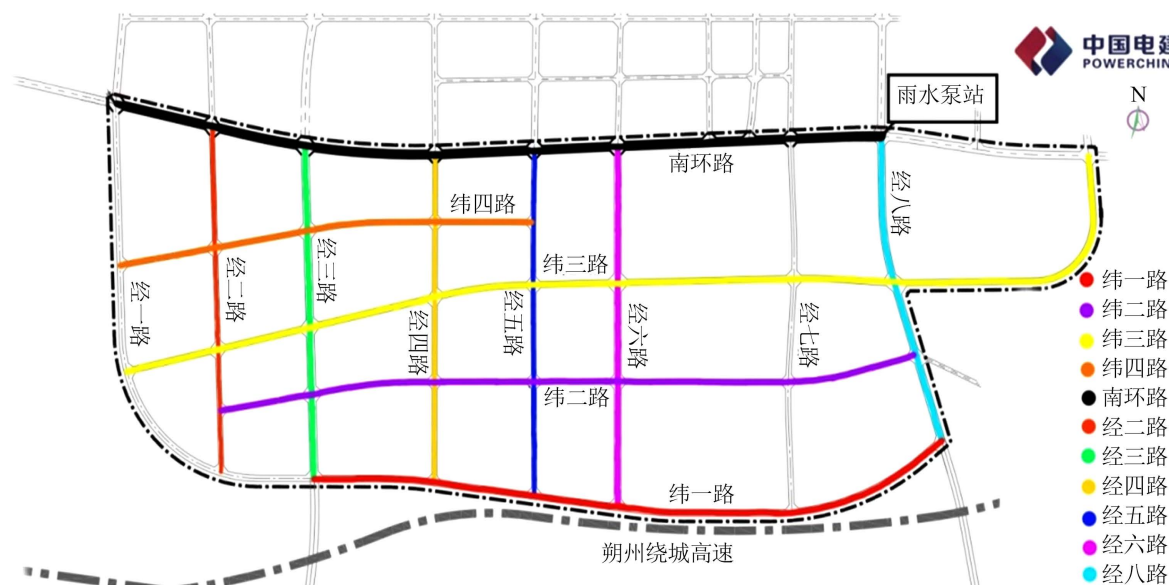


Figure 1. General layout of construction

图 1. 施工总平面布置图

### 3. 水泥粉煤灰稳定基层施工工艺

#### 3.1. 准备层的检查、清扫与验收

对底基层表面的污染物必须刷洗清扫干净，对于部分被其他污染物污染的部分，若不侵占层厚，可不清除，否则应用人工将表面水泥砂浆凿除。粘土块等污物必须清除干净。

#### 3.2. 测量放线

放出布设中线和边线；架设基准钢丝，按大于 800 N 的拉力将钢丝拉紧，并调整好正确高程及平面位置；打基准杆，每 10 m 不少于 1 根。

#### 3.3. 基层施工流程

如图 2 所示。

#### 3.4. 混合料拌和运输

1) 拌和：按照规定的材料配比，在拌和站进行集中拌和。拌和过程中，不定时地对拌和料的含水量、水泥剂量等进行检查，以保证拌料均匀，色泽一致，无灰条、灰团和花面，没有碎石颗粒窝且水分均匀。拌作过程中，视天气、材料含水量的变化等情况，及时调整用水量。

2) 运输：拌和机出料采用带活动门漏斗的料仓，由漏斗出料直接装车，装车时车辆应前后移动，分三次装料，避免混合料离析。

#### 3.5. 混合料摊铺施工

开始摊铺时，必须在其下承层上洒水湿润，但不得有积水。摊铺机准备工作完成，就位后，按工程数据要求调整好铺垫厚度，调整好二台摊铺机的横坡，使其横坡一致。运料车辆与摊铺机之间应相隔一段距离，约 20~30 cm 为最佳，摊铺机在卸料车后向前推动，边前进边卸料，摊铺速度的铺摊速度与卸料速度相协调。中央分隔带一侧摊铺机在前，其左侧挂钢丝，用横坡仪控制坡度；靠边摊铺机右侧挂钢丝，

左侧在已摊铺好的混合料上走“雪橇”。两台摊铺机之间应保留有 10 cm 左右的重叠摊铺宽度，且前后碾压均匀。摊铺机的工作状态应保持连续、均匀、不间断，摊铺速度保持在 2~4 m/min 为最佳。为了确保基层两侧边缘密实，在摊铺时两侧各要超宽 10~20 cm，待水泥稳定碎石强度(一般为 7 天)形成后，修整成设计尺寸。每天作业段端头应设置横模板，其高度与该层压实厚度相同，并与路中线垂直。为避免摊铺接茬处产生纵缝，将接缝处坡面上离析的混合料用铁锹撒在未铺筑面，以便后面推土机用新料重新接缝。

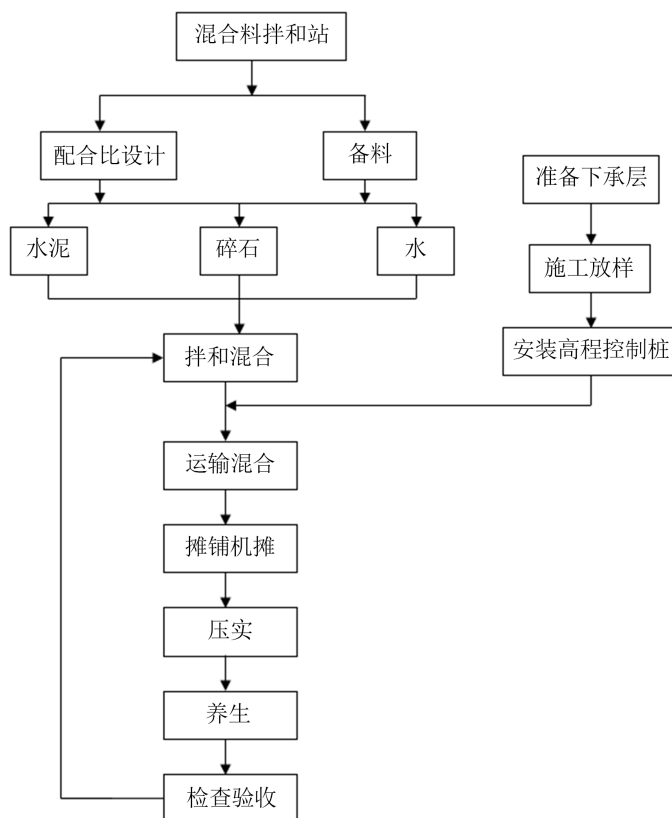


Figure 2. Construction flow chart of the grassroots  
图 2. 基层施工流程图

### 3.6. 碾压

摊铺成型后，当混合料处于 $\pm 1\%$ 的最佳含水量时，进行碾压，如表面水分不足，应适当洒水，但洒水不要过量，严禁水分很大时碾压。碾压应遵循程序与工艺；注意：静力碾压时要充分碾压，振动碾压时保证不起浪、不推移；压实时，遵循静压 $\rightarrow$ 弱振 $\rightarrow$ 强振 $\rightarrow$ 静压的程序，碾压至铺摊层无轮迹为止。用灌砂法来检测碾压完成后的压实度；碾压时应重叠 1/2 轮宽，碾压接头处为阶梯形，每次碾压接头错开 0.5~1 m；在水泥初凝前，碾压工作就要完成，并且延迟时间内完成，要求达到设计所要求的压实度，并且肉眼看不到明显的轮迹。碾压过程中，如果出现弹簧、松散、起皮的现象，应重新翻开换填新鲜混合料重新碾压。

### 3.7. 接缝的连接

泥稳定碎石混合料摊铺时，铺摊机要保持连续作业，如果作业中断，且时间超过 2 h，则需在作业中

断处应设横缝；故每天作业完成收工之后，次日开工时，在两天施工间断处的接头断面也要设置横缝；横缝设置时与路面车道中心线垂直，接缝断面应是竖向平面。

### 3.8. 养生及交通管制

水泥稳定碎石基层试验段完成后在养生期间应保持一定的温度，同时在水泥稳定碎石底基层碾压完成且检验合格后，强度初步形成，即开始养生。最少养生 7 天。养生期间水泥稳定碎石底基层不应忽干忽湿，确保整个养生期间表面始终保持潮湿状态。

每一段碾压完成后立即进行质量检查，合格后应立即开始养生，防止水分的蒸发。养生采用土工布全覆盖洒水保湿养护；每天洒水次数视气候而定。高温期施工，宜上午、下午和洒水 2 次。用洒水车养生时，洒水车的喷头用喷雾式，不得用高压式喷管，以免破坏底基层结构。养生期间，封闭交通禁止任何车辆通行。

### 3.9. 质量检测

#### 1) 施工期间检测项目

- ① 混合料拌合时的结合料剂量，应不少于 4 个样本。
- ② 混合料拌合时的含水率，应不少于 4 个样本。
- ③ 混合料拌合时的级配，应不少于 4 个样本。
- ④ 不同松铺系数下的实际压实厚度。
- ⑤ 不同碾压工艺下的混合料压实度，每种压实工艺的压实度检测样本应不少于 4 个。
- ⑥ 混合料压实后的含水率，应不少于 6 个样本。
- ⑦ 混合料击实试验，测量干密度和含水率，应不少于 3 个样本。

#### 2) 养生 7 d 后检测项目

- ① 标准养生试件的 7 d 无侧限抗压强度。
- ② 水泥稳定材料钻心取样，评价芯样外观，取芯样本量不少于 9 个。
- ③ 将完整试件切成标准试件，测定强度。
- ④ 按车道，每 10 m 一点测定弯沉指标，并按设计规范要求计算回弹弯沉值。
- ⑤ 按车道，每 50 m 一点测定承载比。

#### 3) 检测方法及质量标准

如表 1 所示。

**Table 1.** Quality standard of cement stabilized gravel base

**表 1.** 水泥稳定碎石基层质量标准

序号	检查项目	质量要求		检查规定	
		要求值或容许误差	质量要求	频率	方法
1	压实度(%)	≥97	符合技术规范要求	2 处/200 米/车道	每处测一点，用灌砂法检查，采用重型击实标准
2	平整度(mm)	≤12	平整、无起伏	2 处/200 米	每处用三米直尺连续量 10 尺，每尺取最大间隙
3	纵断高程(mm)	+5, -15	平整顺适	1 点/20 米	水准仪：每 200 m 测 4 个断面，每个断面 3~5 个点

## Continued

4	厚度(mm)	均值 $\geq -10$ 每个值 $\geq -20$	均匀一致	每 1500~2000 m <sup>2</sup> 6 点	路中及边缘任选挖坑丈量
6	宽度(mm)	$>0$	边缘线整齐, 顺适, 无曲折	1 处/40 米	用皮尺丈量
7	横坡度(%)	$\pm 0.5$	/	3 处/100 米	用水准仪测量
8	水泥剂量(%)	$\pm 0.5$	/	每 2000 m <sup>2</sup> 6 个以上样品	EDTA 滴定及总量校核
9	强度(MPa)	$\geq 3.5$	符合设计要求	2 组/天	7 天无侧限抗压强度
10	含水量(%)	$\pm 1$	最佳含水量	随时	烘干法
11	代表弯沉度	不小于设计	符合设计要求	每车道每 20 m 测 2 点	弯沉仪
12	外观要求	表面平整密实, 无浮石, 弹簧现象, 无坑洼、无明显离析; 无明显压路机轮迹。施工接缝平整、稳定			

#### 4. 结论

湿陷性黄土对于土木工程建设领域都是令建设者头疼的技术难题之一。虽然前人采用了多种加固技术手段, 但由于建设成本和材料资源的差异性, 无法广泛应用。为此, 本文依托工程案例, 详细论述了采用水泥粉煤灰稳定湿陷性黄土路基方法加固湿陷性黄土路基施工工艺, 为类似工程提供技术参考。

#### 参考文献

- [1] 梁亚红. 湿陷性黄土地区路基典型病害及防治措施研究[J]. 交通建设, 2019(32): 271-272.
- [2] 郭德贵. 探析湿陷性黄土路基病害成因及处理策略研究[J]. 绿色环保建材, 2021(2): 99-100.
- [3] 张少朋. DDC 深孔强夯技术在解决湿陷性黄土问题中的运用[J]. 价值工程, 2020, 39(16): 169-171.
- [4] 朱熙明. 结合兰州新区 NCE10#路道路工程浅析湿陷性黄土路基处理方案的比选[J]. 城市道桥与防洪, 2021(1): 61-63.
- [5] 曹格涛. 湿陷性黄土地区高速公路路基处治技术分析[J]. 工程技术与应用, 2020, 5(6): 92-93.
- [6] 陈梦, 张涛. 组合桩法处理既有道路湿陷性黄土路基沉降病害应用研究[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(5): 8-9+11.
- [7] 罗小博, 宋彧, 郭启明. 西北湿陷性黄土区劈裂注浆试验及地基加固应用[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2021, 48(9): 52-60.