

# 高速铁路强化基床表层结构的探讨

王黎辉\*

(铁道建筑研究设计院)

**提 要** 和常规铁路相比,高速铁路对基床表层功能的要求更加严格。对此,国外对基床表层都采用不同于传统方式的各种结构形式的“强化层”,但均随之提高了工程造价。因此选择一种适合我国高速铁路建设的经济、合理的强化基床表层十分必要。本文旨在通过对干硬性水泥稳定土材料的工艺及强度等性能的研究,试探其作为高速铁路基床表层的可行性。

**主题词** 高速铁路 基床表层

## 1 高速铁路对基床表层功能的要求

高速铁路基床表层必须具有稳固地支撑高速行车条件下轨道的能力,同时应具有适当的弹性,且应扩散道床荷载,防止由于基床下部软弱所引起的各种路基病害。和常规铁路相比,高速铁路对基床表层功能的要求除使用条件严格外,还考虑到运营过程中维修、养护的难易程度和费用投入的多少。仅仅靠增加土质基床表层的密实度,保证不了基床表层在高速行车所引起动荷载作用下具有恒定的使用能力和耐久性。所以,国外修建高速铁路的经验是,对基床表层都采用了不同于传统方式的各种结构形式的“强化层”。如日本采用碎石沥青保护层;联邦德国采用P<sub>ss</sub>层,法国采用级配良好的砂砾石层。总之,基床“强化层”除具有在动荷载下的力学强度和使用能力外,还应具有气候、水文环境下的耐久性。

可以理解的是,当高速铁路采用与传统基床结构方式不同的“强化层”时,由于填筑材料质量的提高,相应的工程造价也随之提高。结合我国现有国情,选择一种适合我国高速铁路建设的经济、合理的强化基床表层结构,是非常有意义的。下面就干硬性水泥稳定土材料作为高速铁路基床表层的可行性,谈谈作者的浅见。

## 2 干硬性水泥稳定土作为强化基床表层的可行性。

### 2.1 干硬性水泥稳定土特性简介

干硬性水泥稳定土,是将天然土料掺入少量水泥,加水拌和均匀后压实至一定干密度,经养护后形成具有一定强度和耐久性能的结石性材料。其凝硬机理、工程性质已有较为详细的研

\* 本文收稿日期:1995—02—03 王黎辉 工程师 中国铁道建筑总公司建筑研究设计院 北京 邮编 102600

究结果,应用范围日益广泛。由于经济便宜,在国内工程界也愈受重视。

凝硬机理:具冶金部研究总院初步分析,主要有三种成因:(1)水泥的水解和水化反应;(2)离子交换和团粒化作用;(3)凝硬反应。

自身固有特性:(1) 软化而不水解:素土浸水后破坏了土颗粒的粘结方式,导致崩解、坍塌,从而失去了固态和强度;硬化的水泥稳定土浸水不水解,但强度有所下降,强度损失变化幅度在20%~30%。(2) 强度随环境波动:环境温度和湿度影响水泥稳定土的强度发育。试验证明,在5~40℃水温中养护的水泥稳定土强度与温度增长成正比。由于水泥稳定土强度增长缓慢,故合理的养护是保证水泥稳定土强度增长的必要措施。(3) 水泥稳定土的压实干密度控制其强度。松散的水泥稳定土几乎不具有强度,密实的水泥稳定土能得到较高的稳定的强度。一般规定, $K \geq 0.95$ 。

工程性质:

(1) 耐久性:干硬性水泥稳定土的耐久性体现在抗冻融、抗渗透(一般为3cm/年)、抗腐蚀、耐干湿循环,国内外大量工程实践表明干硬性水泥稳定土的这一性能是可靠的。

(2) 强度:一般用单轴抗压强度表示。国外一组资料报道,采用耐干湿、冻融循环标准衡量,7天抗压强度可达到3.432~6.865MPa,28天抗压强度可达到6.865~10.297MPa。影响强度的因素为土料种类、干密度和水泥掺量,此外外部环境条件如养护、软化、龄期等亦对其有一定影响。但可以肯定的是,针对一种土料,通过调整水泥掺量可以配制出适合不同工程需要强度的干硬性水泥稳定土材料。

(3) 变形特性:表现在受力变形和内外作用所引起的体积变形。受力后的变形具有弹性和塑性特征,实验室常通过测试其静弹簧来计算刚度;体积变形主要由于水泥水化反应、含水量、环境温度和冰冻等因素引起,其机理较为复杂。现有研究资料表明,干缩所引起的变形一般小于1%,而湿胀变形主要表现在粘粒含量大的土料制成的水泥稳定土上,体积变形所产生的裂缝,可通过改善土料、控制施工含水量和密实度等措施加以改善。国内外工程实践表明,水泥稳定土所产生的微小体积变形不影响一般工程的使用和寿命。

干硬性水泥稳定土的应用范围:

干硬性水泥稳定土于1935年在美国开始正式应用,最著名的例子是美国农垦局在科罗拉多州东部Bonny水库的护坡工程。此工程在数十年间经受了数千次的干湿和冻融循环,至今使用良好。此外,干硬性水泥稳定土还广泛地应用于各种工程的护坡、路面基层。我国于70年代初开始水泥稳定土的应用研究,至今已成功地将干硬性水泥稳定土应用到水坝护坡、小桥涵工程、防渗工程、地基处理及路面基层等方面。铁道建筑研究设计院专门研究了干硬性水泥稳定土桩复合地基,并将其成功地应用于铁路既有路基加固。已有的工程实例如前几年实施的“阳泉硫铁矿专用线轨道衡地基加固”,正在实施中的“广深准高速铁路既有正线路基加固”,均取得满意的效果。

干硬性水泥稳定土设计及施工方法简介如下。

影响干硬性水泥稳定土的主要因素见下表1。

表中所列因素中,施工方法是关键问题,必须按照设计要求进行彻底地拌和混合原料,并在规定时间内将拌和好的混合料充分压实至规定的密实度。

表 1 影响水泥土性质的因素

材 料	土	土的原来自质	级配、液性限度、塑性指数;所含有机物的数盘和性质;表面的化学性质
		混和前的状态	含水量、粉碎程度
	水 泥	性质、数量	
	外掺剂	性质、数量	
施 工 方 法	拌 和	水泥的掺入方法 外掺剂的性质和数量 含水量 拌和的方法和程度	
	压 实	含水量 外掺剂的性质和数量 压实的方法和程度	
	养 护	养护的方法 养护的时间 养护的温度	
工地的条件	材 龄 荷 重 气 候 周围的情况		

干硬性水泥稳定土的配合设计,要达到这样的目的:要有足够的强度,且对于冻、融和干、湿等有充分的抵抗力。为此需通过下述步骤进行设计:

- (1) 测定土的天然含水量,级配、液塑限。
- (2) 在土料中加入预估的水泥量,做击实试验,求其最佳含水量。
- (3) 利用求得的最佳含水量,以预估的水泥量为基础,每隔增加 1%或 2%的水泥(一般做到 15%的水泥添加量),制成试件,求其 7 天(标养 6 天,浸泡一 1 天)单轴抗压强度。
- (4) 绘制 7 天单轴抗压强度——水泥添加量曲线,求得设计强度所需水泥添加量。

干硬性水泥稳定土室内试验有:

- (1) 原料土的级配、液塑限及天然含水量试验;
- (2) 击实试验;
- (3) 单轴抗压强度试验;
- (4) 耐久性试验(干湿试验、冻融试验);
- (5) 对有机物的试验;
- (6) 对硫酸盐的试验。

2.2 干硬性水泥稳定土材料用于修筑高速铁路强化基床表层的可行性探讨

我国铁路建设有较长的历史,但列车设计速度都较低,已建成的铁路最高设计速度为 120km/h(除广深准高速铁路外),但大多数铁路达不到设计速度。其原因是多方面的,我们认为很重要的一条是路基病害。它直接影响了道床的工作性能,且后期维修养护工作量大,费用

投入多。引起路基病害的最主要原因,是土质基床在列车长期动荷载作用下和气候、水文环境条件影响下强度降低。因此,发展高速铁路,作为土工工程的基床表层结构,应从新的高度和出发点进行考虑。

高速铁路在我国还处于试研阶段,正在修建的广深准高速铁路是实践的开端。笔者认为,广深准高速铁路的基床表层结构形式仅适合 160km/h 准高速条件,能否适应 200km/h 以上的高速行车条件,还需进一步探讨。铁路基床表层作为高速行车条件下的土工工程,除应具有足够的承载力外,更重要的是应具有恒定的使用能力和耐久性。列车荷载比建筑荷载小,但是,列车高速运行时,速度以附加的动力效果产生影响,这一影响随增加的速度以不同的频率及应变大小作用于基床;列车荷载亦和道路荷载不同,因为车辆轮胎以点荷载作用于路面,而列车荷载通过碎石道床以平面荷载方式作用于基床。所以,作为列车动荷载作用下的土工工程,其动力学效应从根本上说只在很低程度上代表了承载力本身的问题,而更多地影响使用能力和耐久性,使得高速铁路基床表层不同于其它土工工程而具有特殊性。因此,高速铁路基床表层的设计原则应是:结构尽可能简单且风险较小,造价合理,使用安全且尽可能少的维修。

干硬性水泥稳定土具有良好的工程性能及经济价值,若用其修筑高速铁路基床表层,将具有如下特点:

- (1) 工程性能好,具有足够的强度和良好的弹性性能,由于形成结石体材料,故能经受重复荷载的作用,具有恒定的使用能力。
- (2) 由于本身具有较好的防渗性能,因此在干湿循环和冻融循环下能保持使用能力,具有良好的耐久性。
- (3) 截断上部水流,防止其渗入基床下部,避免因基床下部软弱而引起路基病害。
- (4) 杜绝翻浆冒泥、道床下陷等病害,减少后期维修养护工作及费用。
- (5) 干硬性水泥稳定土材料来源广泛,基本上不受材料来源条件限制,不破坏自然环境,且造价低廉。
- (6) 施工文明,不污染周围环境。
- (7) 施工技术不复杂,易为施工单位接受。

因此作者认为,干硬性水泥稳定土材料适合修筑我国高速铁路强化基床表层结构。

### 3 建议

- (1) 从我国高速铁路强化基床表层功能要求出发,对干硬性水泥稳定土材料特性、工程性能、经济价值进行深入研究。
- (2) 对干硬性水泥稳定土强化基床表层的结构尺寸进行进一步研究。
- (3) 研究配套的施工工艺。
- (4) 选定合适的工程项目,修筑干硬性水泥稳定土强化基床表层试验路段,经运营试验直接评价使用效果。

## 4 参 考 文 献

- 1 Grundsatzfragen des Erd- und Grundbaus für Hochgeschwindigkeitsstrecken
- 2 《CONCRETE CONSTRUCTION》Vol. 29 • No. 1 • 1981
- 3 日本国有铁道编·土工结构物设计标准和解说·北京:中国铁道出版社 1982
- 4 肖林,王春义,郭汉生合编·建筑材料水泥土·北京:中国水利电力出版社 1987
- 5 (日)内田一郎·道路路面设计方法·北京:中国铁道出版社

## DISCUSSION ON STABILIZED STRUCTURE OF SURFACE LAYER OF FOUNDATION BED FOR HIGH-SPEED RAILWAYS

Wang Lihui

Railway Civil Engineering Research and Design Institute of MOR, Beijing 102600

**Abstract** The functional requirements on surface layer of foundation bed for high-speed railways are rather more strict than for ordinary railways. In other countries, the stabilized layers with various structure forms which are different from the traditional mode have been adopted as the surface layer of foundation bed for high-speed railways, but the engineering costs are raised consequently. Therefore, it is very necessary to select a reasonable and economical stabilized surface layer which is suitable for the conditions of our high-speed railways. The technology, strength and other properties of a dry-hard soil material stabilized by cement are researched in this paper. Based on the research, the realizability of using this material as the surface layer of foundation bed for the high-speed railways has been discussed.

**Keywords** high-speed railway; surface layer of foundation bed

### 建立安全质量保证体系

铁二局湘黔复线工程指挥部,为确保既有线施工和行车安全,1994 年与广州铁路建设指挥部签订了《安全质量风险抵押合同》,狠抓安全质量工作,把施工安全质量包保责任落实到人头,使安全质量工作层层有人抓、处处有人管,形成了一个严密而有序的安全质量保证体系。五处施工的挡墙工程被广铁建指评为湘黔复线“优质样板工程”,在建设单位组织开展的“百日安全活动”竞赛中连续二次获奖,最近,又被广铁建指评为“安全年”先进单位,实现了安全生产 800 天的既定目标。

肖 木