

U415
153

公路、桥梁、隧道施工新技术、新工艺与验收规范 实务全书

史钊 主编

(第 3 册)

金版电子出版公司

目 录

第一篇 公路路基施工新技术、新工艺与验收规范	(1)
第一章 路基工程的特点和要求	(3)
第一节 路基工程的特点和要求	(3)
第二节 路基的受力与强度分析	(5)
第三节 路基的破坏形式与原因分析	(11)
第四节 公路自然区划与土基干湿类型	(16)
第五节 路基土的分类与工程性质	(25)
第二章 土质路基施工	(30)
第一节 概述	(30)
第二节 施工要点	(33)
第三节 路基压实	(38)
第三章 石质路基爆破施工	(48)
第一节 爆破作用原理	(48)
第二节 炸药及起爆方法	(51)
第三节 药包量计算原理及其性质变化	(55)
第四节 设计参数选择及有关数据计算	(64)
第五节 综合爆破方法	(73)
第六节 大爆破设计及施工	(80)
第四章 路堤与路堑施工	(93)
第一节 路堤施工技术	(93)
第二节 路堑施工技术	(104)
第五章 路基排水与防护工程施工	(119)
第一节 路基排水工程施工工艺	(119)
第二节 路基防护工程施工工艺	(129)
第六章 路基加固施工及新技术应用	(138)
第一节 概述	(138)
第二节 换土垫层法	(139)

第三节 挤(压)密法	(142)
第四节 排水固结法	(151)
第五节 化学加固法	(158)
第六节 复合地基技术	(163)
第七节 土钉墙锚喷支护技术的应用	(168)
第七章 路基冲击压实施工新技术	(172)
第一节 概述	(172)
第二节 冲击压实工作原理	(173)
第三节 冲击压实排压方案	(177)
第四节 冲击压实效果分析	(178)
第五节 面波法检测路基压实度方法	(192)
第八章 公路软土地基处治施工及新技术应用	(195)
第一节 概述	(195)
第二节 垫层与浅层处治施工	(196)
第三节 土工合成材料施工工艺	(200)
第四节 竖向排水体施工工艺	(202)
第五节 振冲碎石桩施工工艺	(209)
第六节 粉喷桩施工工艺	(214)
第七节 高压喷射注浆法施工工艺	(218)
第八节 灌浆法施工工艺	(222)
第九节 强夯法施工工艺	(225)
第十节 堆载预压法施工工艺	(228)
第十一节 振冲碎石桩施工应用实例	(257)
第十二节 粉喷搅拌桩施工应用实例	(261)
第九章 公路路基施工新技术、新工艺应用实例	(270)
第一节 丘陵地区路基施工	(270)
第二节 风化红砂岩路基施工	(273)
第三节 潮湿挖方段路基施工	(277)
第四节 多年冻土路基施工	(280)
第十章 公路路基工程质量检验评定与通病防治	(289)
第一节 公路路基工程施工质量控制	(289)
第二节 公路路基工程质量检验评定	(290)
第三节 路床、路肩、边沟和边坡工程质量检查评定	(293)
第四节 公路路基施工基本要求和质量检验项目标准	(295)
第五节 公路路基工程质量通病及防治	(302)

第二篇 公路路面基层施工新技术、新工艺与验收规范	(445)
第一章 公路路面基层工程概述	(447)
第一节 路面基层的分类及特点	(447)
第二节 路面基层的主要技术要求	(448)
第三节 各种基层材料的适用范围	(456)
第二章 公路路面基层施工工艺及新技术应用	(460)
第一节 路面基层工程施工主要术语	(460)
第二节 水泥稳定土施工工艺	(462)
第三节 石灰稳定土施工工艺	(473)
第四节 石灰、粉煤灰砂砾基层(底基层)施工工艺	(483)
第五节 级配砂砾垫层与基层施工工艺	(485)
第六节 钢渣石灰基层(底基层)施工工艺	(487)
第七节 公路路面基层施工常用数据	(490)
第八节 水泥石灰综合稳定土底基层施工应用实例	(501)
第三章 公路路面基层工程质量检验评定与通病防治	(509)
第一节 公路路面基层工程质量管理	(509)
第二节 公路路面基层材料测试	(513)
第三节 公路路面基层质量检验评定	(523)
第四节 公路路面基层质量通病及防治	(530)
第四章 公路路面基层施工与验收相关技术规范	(539)
 第三篇 公路沥青路面施工新技术、新工艺与验收规范	(661)
第一章 公路沥青路面工程概述	(663)
第一节 沥青路面的特征与分类	(663)
第二节 沥青路面对材料的要求	(666)
第三节 沥青路面的使用性能与工作条件	(671)
第四节 沥青路面工程技术的发展	(679)
第二章 沥青路面面层施工	(697)
第一节 沥青表面处治层施工工艺	(697)
第二节 沥青贯入式面层施工工艺	(702)
第三节 热拌沥青混合料面层施工工艺	(706)
第三章 沥青路面半刚性基层施工工艺	(716)
第一节 概述	(716)
第二节 沥青路面半刚性基层材料	(717)
第三节 半刚性路面基层施工工艺	(721)

第四章 沥青路面的压实	(726)
第一节 沥青路面压实的影响因素	(726)
第二节 碾压机械选型和组合	(730)
第三节 温度对压实性能的影响	(737)
第四节 沥青路面压实技术	(741)
第五节 不同类型沥青混合料压实特性	(744)
第六节 沥青路面压实度的提高	(747)
第五章 沥青路面机械化施工技术	(749)
第一节 概述	(749)
第二节 沥青路面材料	(751)
第三节 施工机械的选型配套	(754)
第四节 沥青路面机械化施工	(759)
第六章 改性沥青及 SMA 路面施工技术	(761)
第一节 改性沥青及 SMA 混合料	(761)
第二节 改性沥青及 SMA 混合料的施工工艺	(765)
第三节 改性沥青及 SMA 路面施工质量检测	(771)
第四节 SMA 混合料施工应用实例	(776)
第七章 乳化沥青稀浆封层施工工艺	(782)
第一节 概述	(782)
第二节 施工前的准备工作	(787)
第三节 稀浆封层施工	(792)
第四节 稀浆封层成型养护	(797)
第五节 稀浆封层施工质量控制	(801)
第六节 乳化沥青稀浆封层施工应用实例	(802)
第八章 沥青路面施工质量控制检验与通病防治	(807)
第一节 沥青路面施工质量控制与检测	(807)
第二节 沥青路面工程质量检验评定	(813)
第三节 沥青路面施工质量通病防治	(823)
第九章 公路沥青路面施工与验收相关技术规范	(842)

第四篇 公路水泥混凝土路面施工新技术、新工艺与验收规范

第一章 公路水泥混凝土路面工程概述	(1067)
第一节 水泥混凝土路面的构造和类型	(1067)
第二节 水泥混凝土路面的使用性能	(1075)

第三节 水泥混凝土路面的发展概况	(1079)
第二章 水泥混凝土路面施工工艺	(1084)
第一节 小型机具施工技术	(1084)
第二节 轨道式摊铺机施工技术	(1105)
第三节 碾压混凝土路面施工技术	(1114)
第四节 特殊季节的施工工艺	(1127)
第五节 其它混凝土路面施工	(1144)
第三章 水泥混凝土路面滑模机械施工技术	(1151)
第一节 概述	(1151)
第二节 滑模式摊铺机施工技术	(1167)
第三节 滑模摊铺混凝土路面抗滑、养生和接缝施工	(1173)
第四章 复合式路面及其施工技术	(1199)
第一节 复合式路面概述	(1199)
第二节 复合式路面施工技术	(1203)
第五章 水泥混凝土路面施工质量控制与通病防治	(1228)
第一节 滑模摊铺水泥混凝土路面质量控制	(1228)
第二节 水泥混凝土路面质量通病及防治	(1236)
第六章 公路水泥混凝土路面施工与验收相关技术规范	(1247)
 第五篇 桥梁工程施工新技术、新工艺与验收规范	 (1345)
第一章 桥梁工程概述	(1347)
第一节 桥梁的组成和分类	(1347)
第二节 桥梁施工方法的分类和选择	(1357)
第三节 我国桥梁施工技术的发展	(1366)
第二章 桥梁工程施工基本工艺	(1368)
第一节 沉入桩施工要点	(1368)
第二节 钻孔施工要点	(1380)
第三节 墩台施工要点	(1387)
第四节 桥面系及其附属工程施工要点	(1391)
第三章 各种类型桥梁施工技术	(1398)
第一节 桁式组合拱桥施工技术	(1398)
第二节 钢管混凝土拱桥成桥施工技术	(1407)
第三节 预应力混凝土斜拉桥施工技术	(1410)
第四节 钢桥拼装架设施工技术	(1423)
第五节 地道桥顶进法施工技术	(1428)

第六节 装配式梁桥施工技术	(1436)
第七节 悬索桥施工	(1459)
第四章 桥梁工程施工新技术、新工艺的应用	(1468)
第一节 波形伸缩缝应用实例	(1468)
第二节 GTF 桥梁伸缩缝应用实例	(1471)
第三节 二次成孔施工工艺应用实例	(1478)
第四节 不良地质灌注桩逐步扩孔施工工艺应用实例	(1480)
第五节 钢筋套筒挤压连接技术的应用	(1488)
第六节 桥梁结构工程施工中新工艺的应用	(1496)
第七节 桥面滑模连续铺装技术的应用	(1500)
第五章 桥梁工程质量检验评定与通病防治	(1511)
第一节 桥梁施工质量检测与评定概述	(1511)
第二节 桥涵工程试验检测的内容和依据	(1515)
第三节 桥梁工程质量检验评定方法	(1517)
第四节 桥梁承载能力评定	(1521)
第五节 桥梁工程质量通病及防治	(1525)
第六章 桥梁工程施工与验收相关技术规范	(1543)
 第六篇 隧道工程施工新技术、新工艺与验收规范	 (1683)
第一章 隧道工程概念	(1685)
第一节 隧道的概念和作用	(1685)
第二节 隧道施工的基本概念	(1686)
第三节 隧道施工技术的发展	(1687)
第二章 浅埋隧道施工技术	(1689)
第一节 明挖法施工	(1689)
第二节 地下连续墙施工	(1693)
第三节 盖挖法施工	(1705)
第四节 浅埋暗挖法施工	(1705)
第五节 洞口及明洞施工	(1715)
第三章 沉管隧道施工技术	(1721)
第一节 概述	(1721)
第二节 基槽浚挖技术及设备	(1723)
第三节 管段防水技术	(1728)
第四节 管段拖运及安全保障	(1735)
第五节 沉放技术及设备	(1737)

第六节 基础处理技术	(1741)
第七节 沉管法施工技术的发展	(1745)
第四章 顶管隧道施工技术	(1748)
第一节 概述	(1748)
第二节 顶进箱涵的施工	(1750)
第五章 隧道盾构法施工技术	(1769)
第一节 概述	(1769)
第二节 盾构的分类与构造	(1771)
第三节 盾构施工的准备工作	(1790)
第四节 盾构的开挖和推进	(1796)
第五节 盾构衬砌施工及防水技术	(1803)
第六节 地表下沉与隧道沉降	(1812)
第六章 隧道全断面掘进机施工技术	(1819)
第一节 概述	(1819)
第二节 开敞式掘进机	(1822)
第三节 掘进施工与管理	(1830)
第四节 衬砌施工技术	(1834)
第五节 不良地质地段施工技术	(1835)
第七章 山岭道路隧道施工技术	(1837)
第一节 概述	(1837)
第二节 矿山法施工技术	(1838)
第八章 隧道特殊地质地段施工技术	(1847)
第一节 概述	(1847)
第二节 膨胀土围岩地段施工	(1849)
第三节 黄土地段施工	(1851)
第四节 溶洞处理措施	(1853)
第五节 坍方施工	(1857)
第六节 松散地层施工	(1860)
第七节 流沙	(1861)
第八节 岩爆	(1862)
第九节 高地温地段施工措施	(1864)
第十节 瓦斯地层	(1866)
第九章 隧道施工风水电作业及通风防尘	(1870)
第一节 隧道施工供风和供水	(1870)
第二节 隧道施工供电与照明	(1877)

目 录

第三节	施工通风、防尘、防有害气体	(1883)
第十章	隧道工程施工与验收相关技术规范	(1898)
第七篇	公路、桥梁、隧道工程施工与验收综合性标准规范 ...	(1973)
第八篇	公路、桥梁、隧道工程施工与验收相关法律法规	(2203)
第一章	相关法律法规	(2205)

第三章 水泥混凝土路面滑模机械施工技术

第一节 概 述

一、国内、外水泥混凝土路面滑模施工技术概况

(一)国外水泥混凝土路面滑模施工技术的发展

水泥混凝土路面的滑模机械施工始自 20 世纪 60 年代中期,70~80 年代逐渐发展成熟。该项技术在美国、德国等发达国家经过 30 多年的发展和应用,他们在机械设计、施工技术等方面都积累了相当丰富的经验。以下概述西方发达国家滑模摊铺机的发展历程,以期能对我国滑模摊铺机械及施工技术的进一步发展有所裨益。

1. 滑模摊铺机的设计及改进

西方国家在滑模摊铺机的设计上经过了多轮的改进和提高,大约到 90 年代,大型滑模摊铺机的基本设计思想、主要结构和具备的施工功能才相对确定下来。

最初的滑模摊铺路面的设想显然是受到高耸钢筋混凝土结构垂直顶升滑动活模板的启发。设计者期望通过随机活动模板取消费时费力的固定模板施工方式,提高水泥混凝土路面的施工效率。全世界第一家生产滑模摊铺机的制造商是比利时的 SGME-Moser,他于 1963 年生产了第一台 GUN—TERT & ZIMMERMAN 滑模摊铺机,遗憾的是该滑模摊铺机制造公司在 1986 年倒闭了。

在 60~70 年代,德国、法国使用的滑模摊铺机基本结构与沥青摊铺机是相近的,首先从前方将混凝土卸于摊铺机上,由摊铺机分料机构向后和侧向分料,没有挤压功能,摊铺宽度相对较小,使用的电振捣棒也只是采用普通频率的,后来发现这种结构的滑模

摊铺机一遍的振捣强度远远达不到施工密实混凝土路面厚板的要求。它不像沥青摊铺机,靠一次摊铺厚度薄,密实度靠后续碾压来增强,同时也不能像轨道摊铺机靠反复多次的振捣来保证密实度。

70年代以后,美国、德国的一些厂商就开始进行滑模摊铺机的整体改进研究,取消了由摊铺机进行的混凝土输送,将混凝土料直接倒在基层上,开发液压超高频振捣棒,加大了挤压成型底板对混凝土路面板的挤压作用力,将行走部分改进为液压驱动,同时将传感器也改成了液压控制。实现了全液压工作方式,密实度靠超高频液压振捣棒、挤压底板及坍落度较大的混凝土共同实现,同时采用了平滑不锈钢底板防粘技术,开发了中间前部和侧向拉杆自动插入装置。

80年代,瑞士 WALO 公司生产了传力杆插入配件(DBI:DowelBars Inserting)这种重要的施工自动化部件,使全部缩缝都插入传力杆的水泥混凝土路面自动化施工成为可能。这使水泥混凝土路面的抵抗长期运营时的板间错台的能力大为提高,路面行车舒适性有了极大改善。欧洲和北美一些国家,在高速公路修筑上相当普遍地采用了 DBI 技术。

1988年,人们开始考虑滑模摊铺机的边界最小间隙摊铺问题,以适应城市道路紧贴路缘石的滑模施工,桥面板紧贴栏杆的施工及边侧有障碍物场地的施工,美国 CM1 和 GOMACO 公司将四履带的滑模摊铺机在工作时配置成三履带,德国则采用四履带悬臂式滑模摊铺解决了这个难题。

1990年,美国开发了后部超级抹平器,德国开发了振动搓平梁,进一步提高了路面平整度,与此同时,开发出后置式拉杆插入装置,插入的缺陷将由抹平器和搓平梁来修复。由于是在已经振捣密实挤压成形的混凝土路面板上插入拉杆,所以插入的拉杆的位置精度较前置插入装置为高。

90年代中期,为了适应各种厚度的路面和机场跑道的施工,美国和德国开发出了液压伸缩式侧模板,我国从90年代前期大量进口的美国滑模摊铺机,不少是固定高度的侧向模板,对路基的不平整和铺装桥面板是极不适应的。德国还开发了楔形和波浪形的侧模板,以提高路面板之间侧向传荷能力。后来发现使用楔形模板当面板厚度 $h \leq 30\text{cm}$ 时,使用一段时间会造成公路混凝土路面纵缝破损,于是将其取消了;但波浪形模板在 $h \geq 30\text{cm}$ 的机场跑道上使用情况良好。

最新的滑模摊铺机机械的主要技术特点有:

- (1)激光导向和坡度弯道控制技术;
- (2)计算机施工自动控制和智能化操作系统;
- (3)增加滑模摊铺机的机动性、摊铺宽度自动伸缩系统及适应中部和边侧悬臂伸出施工的装备可变动性;
- (4)单机一次双层混凝土路面板的施工,德国、法国等国家对水泥混凝土路面的舒适性,特别是噪声控制要求很高,上部湿接一层低噪声 C70 高强混凝土抗滑表层。超

大型滑模摊铺机(摊铺宽度 $B \geq 12\text{m}$)加装一节表层夯实摊铺设备和跨越输送皮带和料斗,改进成湿接湿双层滑模摊铺机。

2. 滑模摊铺施工技术的发展

滑模摊铺水泥混凝土路面施工技术的发展几乎与滑模摊铺机械的发展同步。最初 60 年代的滑模摊铺施工只能满足普通素混凝土路面的施工,后来有了传力杆自动插入装置,可以施工所有缩缝都设传力杆的混凝土路面。

在 70 年代,随着发达国家的钢筋混凝土路面增多,以美国为代表的多机链式组合工作方式产生了。它施工时,在滑模摊铺机前方有三台机械:第一台前方布料机布置钢筋网下部的混凝土;第二台为钢筋网摆放机;第三台是侧向布料机,松铺钢筋网上部的混凝土;中间是滑模摊铺机,其后是拉毛养生机。这种链式作业虽然各种机械各司其职,效率较高,但其最大缺点是无论链式系统中哪台设备出故障,整个系统就会瘫痪。而且正常工作时,每台机械的施工速度要保持一致,距离不可拉大,加之链式作业需要投入的设备资金很大,没有很大的施工场地也无法施展。

针对链式作业方式的缺陷,法国和德国在施工钢筋混凝土路面时,多采用简化作业方式,在滑模摊铺机上附加钢筋网定位装置,或事先在基层上设钢筋网支架、接缝支架来施工。目前,在对路面噪声要求较低的欧洲国家特别是德国的施工标准中,要求一台滑模摊铺机除了钢筋定位支架外,同时施工两层混凝土路面:下层是要求较低的普通混凝土路面,可采用再生混凝土来充当骨料;上层是 5cm 厚的低噪声高强混凝土路面,单机一次施工。

在发达国家的高速公路水泥混凝土路面的施工技术标准中,主要是针对滑模摊铺方式提出技术要求,一般而言他们的人工费用较高,因此除了少量修补工程,采用轨道摊铺或三辊轴施工外,大规模水泥混凝土路面均采用滑模摊铺方式,主要目的是既提高施工效率,又保障工程质量。

在滑模摊铺混凝土材料要求上,发达国家一般都比我国的高。例如,美国的滑模摊铺水泥混凝土路面的砂石材料要求洁净,一般规定不得在施工场地上露天堆放,必须罐装。这个措施保证了洗净的原材料不会在施工现场重新被污染,含泥量得以严格控制;同时,较好地控制了砂石料的含水量,使混凝土配合比的误差极小,混凝土拌和物的均匀稳定性很高。

美国规定石料的最大粒径为 20mm 以内,两级配,砂规定用中砂。而德国在水泥混凝土路面上要求的集料级配非常严格,20mm 以内粒径要求使用 4 级配来配制混凝土。这样采用优良的级配曲线,使路面混凝土的变形及干缩大为减小,有利于接缝使用寿命。

发达国家在水泥混凝土路面上多采用 500 号波特兰水泥,相当于我国的 625 号硅酸盐水泥,水泥用量较大,超过 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 。水泥用量一般由滑模摊铺粘聚性和可摊铺的工作性及耐久性来控制。抗折强度有富余,因为西方国家在高速公路水泥混凝土路

面上,设计抗折强度多采用 4.5MPa,而不是我国的 5.0MPa。西方国家为了提高新拌混凝土的粘聚性,使用了很大砂率,一般都采用 40%~50%的砂率。西方国家滑模混凝土的配合比设计基本沿用了泵送混凝土的要求,目的在于使摊铺出的路面外观光滑平整。但是,试验与工程实践表明,砂率过大,塑性收缩裂缝很严重,硬化后干缩亦很大。我国依据砂的总表面积原理,按砂的细度模数优选砂率,在软作抗滑构造时,在最优砂率基础上增加 1%~2%的砂率;在硬刻槽情况下,则直接使用该细度模数的最优砂率。

美国、德国、法国、英国在水泥混凝土路面材料上均规定必须使用引气剂,减水剂则根据需要采用,没有强制规定。理由是引气剂全面提高了水泥混凝土路面的整个技术性能和耐久性,在没有抗冻性要求的地方也规定采用,以提高路面结构的耐候性、抗渗性与抗侵蚀性。我国新编的《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》关于外加剂的要求是与上述国际标准接轨的。

(二)滑模施工技术在我国的发展

1. 国家“八五”攻关前国内滑模摊铺机的使用情况

我国上海市政工程公司最早于 1986 年引进美国 Powercuber 公司的路缘石滑模摊铺机,但是,由于使用的是加水量无法控制的小型自落式滚筒搅拌机,混合料坍落度波动过大而试验失败后,该机就再也没有使用了。

1989 年,黑龙江省引进美国 GOMACO 公司的一台 2000 型路面滑模摊铺机,同时引进意大利的大型混凝土搅拌楼和一台拉毛养生机,在哈尔滨到大庆的一级公路上使用,由于存在塌边和麻面及纵向接缝连接得不好等问题。该路段上滑模摊铺了大约单幅 20km 路面,绝大部分水泥混凝土路面仍采用人工加小型机具的方式施工,到 1990 年哈大路单幅通车,水泥混凝土路面滑模摊铺中暴露的问题并没有很好解决。

1990 年,安徽省公路局引进美国 GOMACO 公司的一台 2000 型路面滑模摊铺机,同时引进意大利的中型混凝土搅拌楼,在合肥到南京的一级公路上使用,一个车道 4.5m 宽摊铺了约 20km 水泥混凝土路面,安徽省在滑模摊铺机的使用上下了较大功夫,体会到其施工效率高所带来的好处。他们在塌边问题上解决得比较好,重新研究了适宜滑模摊铺的混凝土配合比和控制标准,由坍落度控制改为用 VB 值控制。但是,同时出现了较多的麻面,必须进行人工修补。后来,安徽省针对这些问题设立了高速公路水泥混凝土路面成套施工技术研究项目,其中列了滑模摊铺技术内容,研究取得了一定的成效。

1990 年,江西省引进了一台美国 GOMACO 公司的 2000 型滑模摊铺机,引进意大利 ALBA 中型搅拌楼,在萍乡 102 国道上施工了 15km 水泥混凝土路面。由于产生了较多的有规律的纵向塑性收缩裂缝,平整度亦不理想,使施工一度中断,同时也存在较多的塌边和麻面问题,因此江西省后来就没有进行滑模摊铺施工了。

1990年,湖北省路桥总公司引进一台美国 GOMACO 公司的 2500 型滑模摊铺机,进行了试摊铺,结果由于混凝土供应跟不上以及塌边麻面等原因,施工效率上不去,后来就停止使用了。与此同时,武汉市政公司也引进了一台 GOMACO2000 滑模摊铺机,也因为相同的原因而停用。

2. 国家“八五”攻关后国内滑模摊铺机的使用情况

我国滑模摊铺机械使用中存在的普遍问题是:塌边、麻面、裂缝,平整度不理想,机械化施工效率上不去等等。与此同时,我国水泥混凝土路面建设又在逐年增大,为此,为提高水泥混凝土路面的施工质量,交通部通过国家计委设立了《滑模摊铺水泥混凝土路面修筑成套技术研究》的“八五”国家重点科技(攻关)项目(85—403—01—01),由交通部公路科学研究所、河北省交通厅、湖南省交通厅和重庆公路科学研究所共同承担,开始了有组织有目标的大规模工业化生产的攻关研究和推广应用。

二、推广滑模机械施工技术的必要性

(一)我国高等级公路水泥混凝土路面的施工技术现状

我国每年在建的 1.5 万余公里水泥混凝土路面,有 90% 左右是人工施工的,人工施工的高速公路水泥混凝土路面数量也不少。以目前高速公路交通荷载情况看,高速公路水泥混凝土路面的施工必须采用大型滑模机械施工技术,人工施工的水泥混凝土路面即使采用钢筋混凝土也难以承受交通荷载的破坏作用。同时,要求应用最新的混凝土材料科学技术及现代化的滑模施工机械装备。只有这样才能保证水泥混凝土路面具有的比沥青路面长一倍的设计使用年限,这不仅有利于我们节省高等级公路建设的投资,带动当地经济发展,而且有利于提高公路行业的装备标准、技术水平和人员技术素质。

(二)人工施工混凝土路面难以抵抗高速公路上的巨大冲击破坏动能

在高速公路上巨大的车轮破坏力作用下,材料不精良,面板不密实或欠密实,局部抗折强度很差的水泥混凝土路面肯定比机械施工的沥青路面破坏还要快。我国目前在高速公路上水泥混凝土路面质量不如沥青路面,最主要的问题是施工技术原始落后。目前我国的水泥混凝土路面无论施工技术还是装备水平都明显落后于沥青路面。

(三)滑模机械施工可以达到“材料精良,面板密实”

人工施工水泥混凝土路面时,其配套的混凝土生产设备一般难以达到基本要求,更别说达到材料精良的要求。

人工施工水泥混凝土路面的前台,一根振捣棒,一个振动板,一根振动梁加一个辊

杠,漏振、欠振动的部位很多,作者曾在某工地实测结果表明:配合比为 28d 的 6MPa 的混凝土,振捣不密实时其抗折强度仅为 2.6MPa,这样的水泥混凝土路面,早期破坏在所难免。因此,推广使用滑模机械施工方式是解决好高速公路水泥混凝土路面的“材料精良,面板密实”的关键措施。滑模摊铺水泥混凝土路面施工速度很快,必然要配备大型自动化控制的混凝土搅拌楼。这样首先保证了混凝土的搅拌质量,其次滑模摊铺机配备有密集排列(40cm)的超高频率的振捣棒(11 000 ~ 12000 次/min),比人工手持振捣棒 3 000 次/min 的振捣烈度和振动加速度高 10 倍以上,并且有滑模摊铺机的挤压力压实作用。这不仅保证了路面混凝土密实度和抗折强度,而且保证了高平整度和表面抗滑、抗磨性能。

(四)滑模摊铺施工是国内、外高速公路混凝土路面成熟的主导施工技术

滑模摊铺施工方式是目前国际上所有发达国家和中等发达国家普遍采用的水泥混凝土路面成熟的主导施工技术,属于计算机技术、液压技术、自动控制、机械制造、混凝土材料科学与施工工艺等众多高新技术集成的施工设备,具有自动施工数据输入、自动防差错、自学习以及通过英特网与生产厂和全世界同类机械交换施工经验和数据的能力。国外有人称滑模摊铺机为施工机器人(Robot machine)。

我国的施工实践证明,滑模摊铺水泥混凝土路面的平整度和质量有可能不亚于沥青路面。1998 年至 1999 年,采用滑模技术施工的高速公路水泥混凝土路面的平整度已经达到 $\delta = 0.8 \sim 1.0$ (IRI = 1.3 ~ 1.7)。内在质量比人工施工的高得多,国内有几条采用滑模施工和人工施工同时进行的水泥混凝土路面,很能说明问题,运行 5 ~ 10 年后,人工施工的水泥混凝土路面已经严重损坏,而滑模施工的水泥混凝土路面状态良好,基本没有出现损坏。

(五)我国已经编制出高速公路混凝土路面滑模施工技术规程

通过在近 10 年研究和 10 余个省区 1 400km 高等级公路大规模施工实践经验总结的基础上,我国的《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》(以下简称《规程》)已经编制完成,将在 2000 年颁布施行。这标志着我国高速公路水泥混凝土路面滑模机械施工技术已经走向成熟,逐步成为规范化的施工方式,在我国高速公路水泥混凝土路面建设中更大规模应用滑模技术的条件已经具备。它不仅使我国建设、施工、监理、监督各部门有章可循,而且使现代化的滑模施工高新技术通过规范变为推动我国高等级公路水泥混凝土路面建设,提高技术水平和工程质量的强大动力。

三、滑模施工技术特点

水泥混凝土路面的滑模机械施工技术是当今世界上施工速度最快、工程质量最高、

施工规模巨大的现代化、机械化和智能化先进技术。其主要特点是：

(一) 施工速度快

滑模摊铺水泥混凝土路面的施工使用的是不支模板的施工方式,其路面的摊铺、振捣、挤压成形是机动的滑模摊铺机一次完成的。其施工速度是目前已知的和使用的水泥混凝土路面施工系统中速度最快的。按照滑模摊铺机的设计理论上讲,其施工速度可达 $1 \sim 3\text{m/min}$,按平均速度 1.5m/min 计算,能够完成 90m/h , 8h 可完成 720m , 12h 可完成 $1\,080\text{m}$ 。发达国家如美国、德国等国家的水泥混凝土路面滑模施工的最快速度一般接近和达到日施工 $1609\text{m}(1\text{mile})$ 。1996 年我国最快日施工速度 8.5m 宽的路面 1.2km ,平均日施工速度 8.5m 宽路面 600m 。在广东省深汕东段高速公路上一套滑模摊铺系统在 7 个月内完成 25m 宽的水泥混凝土高速路面 35km ,每月完成了 25m 宽, 26cm 厚的水泥混凝土路面 5km 。图 4-3-1 是广东省深汕东段高速公路滑模摊铺水泥混凝土路面情形(日进度为 8.5m 宽, 26cm 厚路面为 926m)。1998 年 9 月,吉林省梅河口市远通实业股份有限公司在湖北省黄(石)黄(梅)高速公路创造了国内施工速度的最快记录是 8m 宽、 24cm 厚的混凝土路面一天完成 1.6km 。这样快的施工速度对于任何其它水泥混凝土路面施工方式而言是无法匹敌的。事实上,滑模摊铺水泥混凝土路面的施工速度比沥青路面机械摊铺还要快,原因是沥青在高速公路上,要铺 3 层,由于原材料不同,必须摊铺 3 遍才能完成。而滑模施工在特定宽度内只要摊铺一遍,一次形成了路面。目前,国际上采用滑模摊铺的机场跑道最厚为 50cm ,一次摊铺,一遍完成。

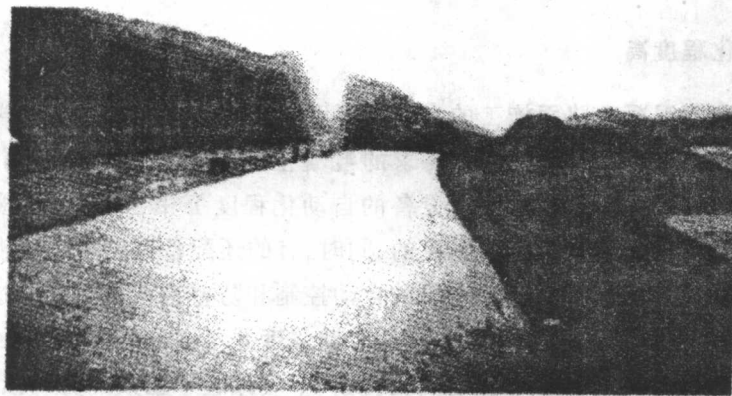


图 4-3-1 广东深汕东高速公路滑模摊铺施工图

施工速度快会带来技术经济优势是显而易见的,因此,滑模摊铺水泥混凝土路面显现出了极强的优势。

(二) 施工规模大

滑模摊铺水泥混凝土路面是大规模的工业生产模式,如果按 8.5m 宽 26cm 厚的路面每天施工 1km 计算,日需供应混凝土 $2\,210\text{m}^3$,混凝土搅拌站的理论配置需要 $300\text{m}^3/\text{h}$;同时需要日供应水泥 900t 左右;石料约 2 700t;砂约 1 800t;水 380t 以上。搅拌站日进出的原材料数量和混凝土运输量达 11 050t。这些原材料和混凝土能装满 20t 的卡车 553 台次;5t 卡车 2 210 台次。可想而知,混凝土搅拌、运输、路面摊铺工作量很大,非常繁忙,施工组织调度的工作量很大。

在国家经贸委的领导下,“九五”期间,设立了 12.5m 宽的滑模摊铺机消化引进吸收项目,如果摊铺 12m 宽、26cm 厚的路面 1km,日供应混凝土 $3\,120\text{m}^3$,则混凝土搅拌站的理论配置要求达到或超过 $400\text{m}^3/\text{h}$,日供应水泥 1 250t,石料 3 744t,砂 2 500t,水 530t 以上,进出搅拌站的混凝土和原材料数量达 15 600t,需要 20t 卡车 780 台次,5t 卡车 3 120 台次。如果不使用大吨位的车辆,小吨位卡车的车流密度将达 6~7 辆/min,如果施工组织上如果不能有效分流车辆,将使搅拌站无法容纳如此多货运车辆。

我们在经济建设上强调要实现工程施工的规模效益,滑模摊铺是实现水泥混凝土路面施工的规模效益的最佳选择。规模效益最终实现了施工速度快,劳动生产率高,其工期效益及经济效益都很高。当然,就目前我国相关行业的供应规模来看,摊铺宽度在 8.5m 时的施工规模就相当大了,这是在搅拌站储备了大量的砂石材料、建立了储备 3000t 以上大型水泥储仓的条件下实现的。大规模的滑模摊铺施工要求水泥、砂石材料、钢材、外加剂等相关行业的供应规模也相应增大,否则会造成停工待料。

(三) 自动化程度高

滑模摊铺水泥混凝土路面施工的自动化程度主要体现在混凝土搅拌楼和滑模摊铺机的自动化上,滑模摊铺混凝土路面要求的混凝土搅拌楼应在 $150\text{m}^3/\text{h}$ 左右比较合适。最小摊铺宽度 8.5m,这些超大型设备的自动化程度都相当高,搅拌楼是由电子计算机自动控制混凝土配合比和称料精度的,同时,有的还配备有电视机监视和打印数据系统。滑模摊铺机也配置有电子计算机的自动控制和防差错系统。只要这些设备的最优工作参数通过试铺调整好以后,操作者的劳动强度并不高,只进行有效的监控即可。

大型滑模摊铺设备的自动化程度大大提高,不仅减轻了工人的劳动强度,而且节省了大量劳动力,使滑模摊铺系统的劳动生产率大大提高。在 8.5m 摊铺宽度时,大约需要机手和劳动力 100 人左右。而一个相同劳动力的人工和小型机具施工队,最多每天能完成 8.5m 宽路面 100m 左右。滑模摊铺系统的劳动生产率是它的 8 倍~15 倍。

滑模摊铺机的自动化还体现在能够适应施工各种混凝土路面结构,如:通过钢筋孔施工钢筋混凝土路面,所有缩缝均由自动传力杆插入装置(DBI)设置传力杆的混凝土路面。并配备侧向拉杆自动打入装置,使手工施工降低到最少,具有很高的生产效率。