

碾压混凝土 路面施工技术

杨金泉 主编



人民交通出版社

Nianya Hunningtu Lumian Shigong Jishu

碾压混凝土路面施工技术

杨金泉 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了碾压混凝土路面的施工技术,内容包括原材料的技术要求,配合比设计,碾压混凝土混合料的拌和和运输,碾压混凝土路面的摊铺、碾压、养生、接缝及表面处理工艺,碾压混凝土路面施工的质量检测和控制,施工组织管理和机械选型等。书末附录还收集了有关碾压混凝土路面施工的试验方法,供参考使用。本书编写力求应用国内外最新研究成果,结合国内碾压混凝土路面工程实践,内容涉及碾压混凝土路面施工的各个环节,叙述简明,对碾压混凝土路面的施工有较高的实用性和指导性。

本书可供公路施工技术人员和管理人员阅读,亦可作为碾压混凝土路面施工的培训教材。

敬告读者:

由山西省交通科学研究所录制的同名录像带同时由我社出版发行,如需购买,可与我社发行部联系。

本书编委会

主 编	杨金泉					
副主编	王京荣	韩志强	孟繁荣	卜润怀		
编 委	袁培钊	韩 萍	马 钢	闫光明	韩 波	
	杨文科	王爱红	刘少文	戴 飞	杨增梅	
	王东卫	李贵顺	赵中安			

目 录

第一章 概述	(1)
第二章 碾压混凝土的路用性能	(8)
第一节 碾压混凝土路面的强度.....	(8)
第二节 碾压混凝土路面的平整度	(16)
第三节 碾压混凝土路面的抗滑性能	(24)
第四节 碾压混凝土路面的耐久性	(28)
第三章 碾压混凝土材料及配合比设计	(33)
第一节 碾压混凝土各组成材料的技术要求	(33)
第二节 碾压混凝土配合比设计	(36)
第三节 正交设计试验法	(41)
第四节 简捷设计试验法	(53)
第四章 碾压混凝土的稠度	(58)
第一节 碾压混凝土的稠度及其测定方法	(58)
第二节 碾压混凝土稠度的影响因素	(64)
第三节 碾压混凝土的稠度对施工质量的影响	(71)
第四节 碾压混凝土的稠度对施工质量管理意义 ..	(75)
第五章 碾压混凝土的拌和和运输	(77)
第一节 碾压混凝土对拌和设备的基本要求	(77)
第二节 碾压混凝土拌和物生产设备	(79)
第三节 典型拌和设备在碾压混凝土生产中的应用 ..	(90)
第四节 碾压混凝土拌和物的运输	(99)

第六章 碾压混凝土拌和物的摊铺和碾压	(101)
第一节 碾压混凝土的压实机理.....	(101)
第二节 摊铺作业质量要求与工艺参数.....	(103)
第三节 摊铺工艺要求.....	(106)
第四节 碾压混凝土路面的拉杆设置.....	(112)
第五节 碾压混凝土路面的碾压.....	(115)
第六节 养生及开放交通.....	(121)
第七章 碾压混凝土路面接缝及表面处理工艺	(126)
第一节 接缝施工工艺.....	(126)
第二节 抗滑耐磨处理.....	(147)
第八章 碾压混凝土路面施工质量检测与控制	(153)
第一节 碾压混凝土质量控制中的数理统计理论.....	(153)
第二节 碾压混凝土路面施工质量控制的内容.....	(156)
第三节 原材料的检测与控制.....	(158)
第四节 碾压混凝土拌和物检测与控制.....	(162)
第五节 碾压混凝土路面现场检测和控制.....	(166)
第九章 机械选型和施工组织管理	(170)
第一节 机械选型.....	(170)
第二节 施工组织管理.....	(180)
附录	(190)
附录 1 路面碾压混凝土稠度试验方法	(190)
附录 2 微波炉含水量快速测定仪的使用方法	(193)
附录 3 路面碾压混凝土抗折强度试件成型方法	(201)
附录 4 核子湿度密度仪现场标定方法	(204)

第一章 概 述

一、国内外碾压混凝土路面发展概况

碾压混凝土路面 (Roller Compacted Concrete Pavement, 简称 RCCP) 是利用沥青混凝土路面摊铺、碾压技术施工的一种水泥混凝土路面。碾压混凝土路面的发展可追溯到第一次世界大战前后, 最早应用于木材储存场、停车场、森林与矿山运输道路、军事交通道路及水工筑坝等工程中。70 年代以来, 这种新型的道路结构形式得到了迅速的发展, 其原因和背景在于: (1) 沥青价格高涨; (2) 摊铺机等施工机械的技术性能得到较大提高; (3) 碾压混凝土筑坝技术日趋完善和普及; (4) 道路建设、维修费用迅速增长, 不断要求开发费用低、耐久性好的路面; (5) 重车和大交通运输量的发展引起沥青路面车辙问题难以解决, 希望尽可能采用水泥混凝土路面。美国、日本、瑞典、西班牙等国在 70 年代将碾压混凝土用于低等级路面中。目前, 西班牙主要还是用于低等级公路, 用于高速公路时仅作为道路的“白色基层”; 法国、加拿大、美国大多是用于木材堆放场、停车场等, 用于道路的比例较小; 日本近年来用于道路的比例逐渐增大, 但仍未用于高等级公路路面。1994 年美国混凝土学会 (ACI) 的“碾压混凝土当前工艺水平的报告”表明, 目前在美国碾压混凝土路面尚未用于高等级公路。导致这种路面发展缓慢, 难以在高等级公路上大规模应用的症结, 主要是由于碾压混凝土本身可修整性差而引起的路面平整度指标不能满足行车要求。

随着我国国民经济的飞速发展,对公路工程的建设提出了更高、更迫切的要求,而目前国道主干线网络还需要相当长一段时间的努力才能完成,高等级公路建设正呈现方兴未艾的发展势头。而沥青资源短缺、强力筑路机械的发展,提高了水泥混凝土路面,特别是碾压混凝土路面的竞争能力,为碾压混凝土路面施工技术的应用创造了有利条件,注入了催化剂。

由于碾压混凝土路面具有技术经济上的诸多优势,将其应用于高等级公路的尝试成为公路建设一个引人注目的热点。我国于80年代初开始碾压混凝土路面铺筑技术的研究,先后有十多个省市列项研究。1987年国家科技工作引导性项目——我国水泥混凝土路面发展对策及修筑技术研究,把碾压混凝土路面作为研究重点之一,对碾压混凝土路面的强度形成机理、材料组成、施工工艺及路用性能等进行了系统研究,并于1990年通过了国家鉴定。我国1994年颁布的《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ012—94)和新修订的《水泥混凝土路面施工及验收规范》(报批稿)已将碾压混凝土路面纳入规范,提出的适应范围为二级、二级以下公路和相应等级的城市道路。特别是“八五”期间,我国又把“高等级公路碾压混凝土路面施工成套技术的研究”作为国家重点科技攻关课题,在路面材料、配合比设计、施工工艺等一系列关键技术方面取得了突破性的成果,于1996年4月通过国家鉴定和验收,使我国的碾压混凝土路面施工技术在国际上处于领先水平。

二、碾压混凝土路面及其主要特征

碾压混凝土(Roller Compacted Concrete,简称RCC)是一种含水率低,通过振动碾压施工工艺达到高密度、高强度的水泥混凝土。其特干硬性的材料特点和碾压成型的施工工艺特点,使碾压混凝土路面具有节约水泥、收缩小、施工速度快、强度高、开放交通早等技术经济上的优势。

碾压混凝土路面与普通水泥混凝土路面所用材料基本组成相同,均为水、水泥、砂、碎(砾)石及外掺剂;不同之处是碾压混凝土为用水量很少的特干硬性混凝土,比普通水泥混凝土节约水泥10%~30%左右。碾压混凝土配合比组成设计是按正交设计试验法和简捷设计试验法设计,以“半出浆改进VC值”稠度指标和小梁抗折强度指标作为设计指标。小梁抗折强度试件按95%压实率计算试件质量,采用上振式振动成型机振动成型。

碾压混凝土路面施工由拌和、运输、摊铺、碾压、切缝、养生等工序组成。混凝土拌和可采用间歇式或连续式强制搅拌机拌和;碾压混凝土路面摊铺采用强夯高密实度摊铺机摊铺;路面碾压作业由初压、复压和终压三个阶段组成,碾压工序是碾压混凝土路面密实成型的关键工序,碾压后的路面表面应平整、均匀,压实度应符合有关规定;切缝工序应在混凝土路面不啃边的前提下尽早锯切,切缝时间与混凝土配合比和气候状况有关,应通过试锯确定;在碾压工序及切缝后应洒水覆盖养生,碾压混凝土路面的潮湿养护时间与水泥品种、配合比和气候状况有关,一般养护时间为5d~7d;碾压混凝土路面板达到设计强度后方可开放交通。

碾压混凝土路面与普通水泥混凝土路面相比,由于碾压混凝土的单位用水量显著减少(只需 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 左右),拌和物非常干硬,可用高密实度沥青摊铺机、振动压路机或轮胎压路机施工,成为一种新型的道路结构型式。碾压混凝土路面与沥青混凝土路面和普通水泥混凝土路面的特性比较示于表1-1。

从表1-1看出,碾压混凝土路面的最大优点是较普通水泥混凝土路面初期投资费用可节省15%~40%,在重交通或某些厚层结构的情况下,初期投资费用甚至低于沥青路面的投资。

一般认为,普通水泥混凝土路面的初期投资高于沥青路面。但是,随着交通和重型车辆的增加,路面设计厚度相应增加,普通

水泥路面与沥青路面的成本差异趋于减小。如果考虑使用期间的维修费用,则水泥混凝土路面在经济上具有明显的优势。目前的情况表明,碾压混凝土路面的初期投资低于普通水泥混凝土路面。碾压混凝土路面在经济上的优势由此可见一斑。

碾压混凝土路面与沥青混凝土路面、

普通水泥混凝土路面的特性比较

表 1-1

与沥青混凝土路面的比较	与普通水泥混凝土路面比较
1. 车辙少 2. 抗磨耗性好; 3. 耐油性好; 4. 平整性差; 5. 使用寿命长, 维修费用少; 6. 重交通或某些厚层结构, 初期投资费用有可能较省	1. 可用沥青路面摊铺机械进行施工; 2. 施工简单、快速, 可不用模板, 能缩短工期; 3. 经济性优越, 估计初期投资费用约节省 15%~40%; 4. 单位用水量和水泥用量少、干缩率小, 可以扩大接缝间距, 有利于行车舒适性; 5. 初期强度高, 养护期短, 可早期开放交通

碾压混凝土路面成本的降低取决于三个方面: ①提高路面施工效率, 降低铺筑施工成本; ②由于接缝减少, 使接缝的成本降低; ③常规水泥混凝土路面的水泥用量一般在 $300\text{kg}/\text{m}^3 \sim 350\text{kg}/\text{m}^3$, 碾压混凝土路面水泥用量大约是 $250\text{kg}/\text{m}^3 \sim 300\text{kg}/\text{m}^3$, 至少节约水泥 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 以上。

路面碾压混凝土达到普通混凝土相同强度时它的水泥用量比较少, 这是碾压混凝土路面比较经济的原因之一。材料的品质要求大致与普通混凝土路面材料的要求一样, 只是石子最大粒径一般以 20mm 为标准。

碾压混凝土所用的水泥一般与普通混凝土路面所用的相同。美国已建成的碾压混凝土路面一直使用 I 型或 II 型硅酸盐水泥, 日本也基本如此。碾压混凝土路面所用的水泥最好是施工时间(从拌和到铺筑的终了)长、强度发展快、干缩比较小。日本目前正在开发提高此类特性的水泥, 有一种专供碾压混凝土用的低收

缩性水泥,其收缩率为普通水泥的70%以下,据日本6个施工实例的试用结果调查,采用此种低收缩性水泥,横缝间距可增加1.5~2倍;还有一种以碾压混凝土路面能早期开放交通为目的的新型水泥,用这种水泥制成的碾压混凝土在铺筑3h之后能通车,确认6h之后能开放交通。

三、碾压混凝土路面在高等级公路中的应用

我国从80年代初开始对碾压混凝土路面进行研究,国家“八五”重点科技项目(攻关)《高等级公路碾压混凝土路面施工成套技术的研究》,经过近四年的攻关,使碾压混凝土路面设计施工技术取得了突破性的进展,特别是该技术成功地应用于307国道汾阳—柳林二级汽车专用公路K73+000~K92+733近20km碾压混凝土路面工程,使我国碾压混凝土路面的修筑技术达到世界领先水平,完全可以满足高等级公路对混凝土路面要求的使用性能。

高等级公路,特别是高速公路应能适应大量交通快速、舒适和安全地通行,这样,要求作为高等级公路的碾压混凝土路面应具有以下使用性能:

1. 强度高,需要通过合理的混合料配合比设计、适宜的施工工艺、严格的施工组织管理和质量控制以保证面板抗折、抗压强度达到设计要求。避免由于行车荷载和温度应力的反复作用而产生早期裂缝、断板等疲劳破坏。

2. 平整度好,平整度是指实际施工的路表面与设计路表面的偏离程度,是高等级公路路面的关键指标。达到较高平整度指标不仅可以满足汽车高速行驶的要求,而且还可以减少汽车燃料消耗和轮胎磨耗,降低噪声,减少运输成本和环境污染,并可避免由于路面不平整使汽车产生的冲击力对路面的破坏作用。

3. 抗滑性能好,即表面应有良好的微观粗糙度和宏观粗糙

度,以提高路面的抗滑能力,减少雨天交通事故。

4. 耐久性,应具有高于一般路面的强度和稳定性,经久耐用,使用年限达到 30 年~50 年。

四、碾压混凝土路面应用前景

为了赶超世界先进水平,把碾压混凝土路面的适用范围扩大到高速公路、城市快速路和机场道面,1996 年 4 月通过国家组织验收及评审的国家“八五”重点科技项目《高等级公路碾压混凝土路面施工成套技术的研究》(简称 403 课题,下同),重点是对全厚式碾压混凝土路面的研究,共列了路面材料、施工技术、抗滑技术、接缝技术四个专题。其评审结果认为高等级公路碾压混凝土路面施工成套技术研究成果整体上达到国际先进水平,路面平整度技术指标及试验、研究规模达到世界领先水平,全幅、全厚式机械化施工拉杆设置技术为国际首创。因此该课题的完成基本上解决了以前由于可修整性差而带来的平整度问题、表面质量的均匀性和耐久性问题,使碾压混凝土路面出现了向前发展的勃勃生机。我们有理由相信高等级公路碾压混凝土路面施工成套技术具有较广泛的推广应用前景。

1. 目前我国公路事业处于蓬勃发展的大好时期,这给碾压混凝土路面这项新技术的发展带来了机遇。碾压混凝土路面施工技术可加快施工进度,与普通水泥混凝土路面相比可降低施工费用,据测算可降低工程总造价 10% 以上。

2. 从资源配置上讲,我国煤炭、石灰岩矿藏丰富,而石油资源相对短缺,由于市场价格调节的原因,我国水泥混凝土路面发展迅速,在高等级公路上所占的比例也逐年增长。

3. 从技术优势上讲水泥混凝土路面具有使用寿命长、养护费用少的特点。而碾压混凝土除具有上述优点外还有收缩小、接缝间距长、开放交通早等独特优势。

4. 从设备条件上讲,我国沥青摊铺机的拥有量远多于水泥混凝土摊铺机,而碾压混凝土路面具有施工机具通用性好的优点,可以充分利用现有的沥青路面施工设备。碾压混凝土路面施工的许多工艺性研究成果提高了路面使用品质和使用寿命,降低了劳动强度,减少了交通事故,其经济效益和社会效益十分可观。

第二章 碾压混凝土的路用性能

碾压混凝土是一种干硬性混凝土,其成型依赖于压实机械的碾压,因而广义认为它包含在水泥稳定土的范畴之内。碾压混凝土混合料和普通水泥混凝土混合料的组成相同,均由水泥和矿质集料组成,或水泥、粉煤灰和矿质集料组成,矿质集料包括碎石、砂和部分石屑。碾压混凝土的路用性能受配合比及施工工艺的影响较大,如混合料各组成成分的配合比例、混合料拌和的均匀性、混合料的稠度(VC 值)、碾压的及时性及其工艺、压实度等。

第一节 碾压混凝土路面的强度

硬化后的水泥混凝土在路面结构中,受到复杂的动态复合应力,因此,对硬化后的干硬性水泥混凝土材料要求具备各种力学强度(如抗压、抗拉、抗弯、抗冲击……等)。但各种力学强度都与抗压强度有一定的相关性,为了确切反应路面的受力状况,对于道路路面或机场道面,通常以抗折强度(或称抗弯拉强度)为主要强度指标,抗压强度作为参考强度指标。

一、抗压强度及抗折强度鲍罗米经验公式

有关碾压混凝土路面材料的研究结果表明:碾压混凝土抗压强度、抗折强度在压实率一定时服从于阿布拉姆斯(D. A. AbLams)水灰比定则,即碾压混凝土抗压强度、抗折强度和其他性能完全由灰水比决定,压实率是指混合料最大密实体积占理论

密实体积的百分率。

为了得出碾压混凝土 28 天抗压强度 R_{28} (或抗折强度 F_{28}) 与水泥强度 (R_c) 和灰水比 (C/W) 的直线关系即鲍罗米经验公式, 采用 425 号和 525 号硅酸盐水泥、425 号普通水泥、425 号矿渣水泥、425 号和 525 号道路水泥及 525 号中热水泥 6 个水泥样品, 分别进行 4 个不同灰水比碾压混凝土混合料配合比设计, 并测定其抗压强度和抗折强度, 建立碾压混凝土抗压强度、抗折强度鲍罗米经验公式, 试验结果汇总于表 2-1。结果表明, 碾压混凝土抗压强度、抗折强度与水泥胶砂强度及灰水比均有显著的相关性, 两个鲍罗米经验公式的回归偏差系数均小于 9%, 回归精度满足使用要求。

配合比试验建立的鲍罗米经验公式

表 2-1

相关关系	回归经验公式	样本数 n	相关系数 r	剩余标准差 s (MPa)	回归偏差系数 C_v (%)
$R_{28} \sim R_c, C/W$	$R_{28} = 0.327R_c(C/W + 0.074)$	24	0.816	4.1	8.1
$F_{28} \sim F_c, C/W$	$F_{28} = 0.213F_c(C/W + 0.898)$	24	0.720	0.51	7.4
备 注	R_{28} ——混凝土抗压强度 (MPa); F_{28} ——混凝土抗折强度 (MPa); C/W ——灰水比; R_c ——水泥胶砂抗压强度 (MPa); F_c ——水泥胶砂抗折强度 (MPa)				

普通混凝土配合比设计方法的研究, 根据 108 组试验数据建立的抗折强度鲍罗米经验公式为:

$$F_{28} = 0.209F_c(C/W + 0.798)$$

$$(n = 108, r = 0.812, s = 0.33\text{MPa}, C_v = 6.47\%)$$

比较碾压混凝土和普通混凝土的抗折强度鲍罗米经验公式, 可见两个经验公式的系数非常接近。采用这两个经验公式计算 425 号、525 号、625 号三个水泥标号灰水比分别为 2.4、2.8、3.2 时的混凝土抗折强度, 二者的推定误差不超过 5%。

二、碾压混凝土强度发展规律

碾压混凝土和普通混凝土的对比试验表明,碾压混凝土和普通混凝土一样,其抗压强度及抗折强度与龄期有极好的相关性。试验采用的水泥为 525 号中热硅酸盐水泥,对碾压混凝土和普通混凝土分别测定掺与不掺粉煤灰的 1d、3d、7d、28d 抗压强度及抗折强度,其配合比及试验结果参见表 2-2、图 2-1、图 2-2(碾压混凝土的抗折试件均按 96% 的压实率成型)。

路面碾压混凝土及普通混凝土的配合比及稠度 表 2-2

混凝土品种	粗集料 粒径(mm)	粉煤灰 掺量(%)	材料用量(kg/m ³)					石子填充 体积(砂率)(%)	混凝土稠度	
			水	水泥	粉煤灰	河砂	碎石			
碾压混凝土	5~20	0	100	270	0	868	1 323	80(39.6)	改进 VC 值	44s
		20	95	216	80	842	1 323	80(38.9)		41s
普通混凝土	5~40	0	140	300	0	755	1 310	75(36.6)	塌落 度	3.4cm
		20	130	240	90	718	1 310	75(35.4)		4.2cm

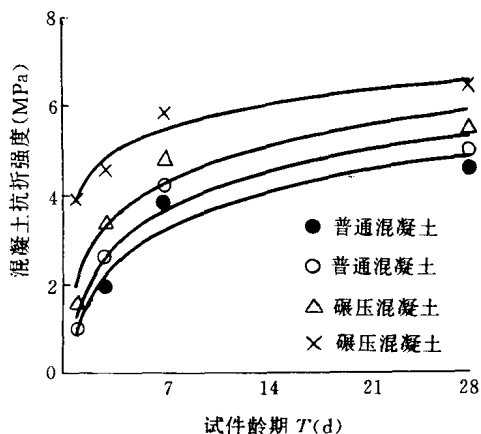


图 2-1 路面碾压混凝土及普通混凝土抗折强度发展趋势

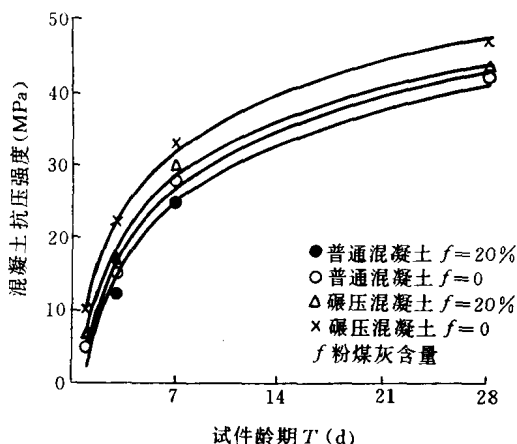


图 2-2 路面碾压混凝土及普通混凝土抗压强度发展趋势

从图 2-1、图 2-2 可以看出：

1) 碾压混凝土和普通混凝土一样，其抗压强度及抗折强度与龄期均有很好的相关性，强度 (Y) 随龄期 (T) 发展的趋势符合双曲线函数 $Y = mT / (T + t)$ (m 为 $T \rightarrow \infty$ 时的极限强度值， t 为强度增长至极限强度的一半时所经历的时间) 所展现的规律：早期强度增长快，随着时间的延长，增长速度逐渐缓慢，最终强度值趋于稳定。

2) 无论碾压混凝土还是普通混凝土，抗折强度的增长速度要比抗压强度快的多，越是早期，增长速度越快。

3) 由于碾压混凝土的用水量较普通混凝土低的多，因此碾压混凝土的强度增长速度比普通混凝土快；不掺粉煤灰的混凝土强度增长速度比掺粉煤灰的快。在不掺粉煤灰的情况下，碾压混凝土 3d 抗折强度可以达到 28d 的 70% 以上，而普通混凝土才达 50% 左右；在掺 20% 粉煤灰的情况下，碾压混凝土 3d 抗折强度可以达到 28d 的 60% 以上，而普通混凝土才可以达到 40% 左右。由此可见，碾压混凝土特别适用于路面工程，不仅可充分发挥其