

---

# 旧水泥混凝土路面碎石化 技术应用指南

王松根 等著



人民交通出版社

China Communications Press

Jiushuini Hunningtu Lumian Suishihua  
Jishu Yingyong Zhinan  
旧水泥混凝土路面碎石化  
技术应用指南

王松根 等著

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书全面介绍了对旧水泥混凝土路面进行碎石化以达到规定粒径作为新铺沥青路面基层的各项技术和相关标准,主要包括碎石化强度形成机理、适用条件和应注意的问题、应用碎石化前旧路调查、碎石化加铺层结构设计、碎石化施工工艺和质量控制、MHB 碎石化施工质量标准、应用实例等内容。

本书适合于从事公路养护管理、设计、施工、监理的技术人员学习和参考。

**书 名:** 旧水泥混凝土路面碎石化技术应用指南

**著 者:** 王松根 等

**责任编辑:** 毛 鹏 岑 瑜

**出版发行:** 人民交通出版社

**地 址:** (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

**网 址:** <http://www.ccpres.com.cn>

**销售电话:** (010)85285838, 85285995

**总 经 销:** 北京中交盛世书刊有限公司

**经 销:** 各地新华书店、交通书店、建筑书店

**印 刷:** 北京交通印务实业公司

**开 本:** 850 × 1168 1/32

**印 张:** 2.375

**字 数:** 43 千

**版 次:** 2007 年 1 月第 1 版

**印 次:** 2007 年 1 月第 1 次印刷

**统一书号:** 15114 · 1018

**印 数:** 0001 ~ 4000 册

**定 价:** 9.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

## 前 言

自 20 世纪 80 年代起,水泥混凝土路面作为路面的主要形式之一,在国内开始大规模修建。截至 2005 年底,全国水泥混凝土路面总里程已达 30 万余公里,其中山东省水泥混凝土路面总里程超过 7000km。随着使用年限的增长和超载车辆的破坏,一些早期修建的水泥混凝土路面不同程度地出现了各种破坏,急需维修改造。目前,国内旧水泥混凝土路面传统的维修改造方案主要有:压浆修补后直接加铺面层、破碎后加铺基层和面层、清除后重建等方式。这些维修改造方案存在的共同问题是对旧水泥混凝土的处治不合理,有些方案还存在污染环境以及工程隐患等弊端,有待寻求新的维修改造方案。

碎石化(Rubblization)技术于 20 世纪后期起源于美国,该技术是将水泥混凝土路面的面板,通过专用设备一次性破碎为碎块柔性结构,这种结构不仅具有一定承载力,而且可以具有有效防止或限制反射裂缝发生、发展的作用。实践证明:碎石化技术是目前旧水泥混凝土路面维修改造最好的技术之一。

山东省是国内最早引进该技术的省份。为解决旧水泥路面维修改造的技术问题,山东省公路养护工程有限公司于2002年首次从美国引进了MHB碎石化技术。为加快该技术的推广和发展,山东省交通厅公路局与东南大学、山东省公路养护工程有限公司就其具体应用展开联合科研攻关,在紧密结合大量工程实践的基础上,对其强度机理、加铺层设计和施工关键技术等进行了系统研究,取得了一定成果,并于2005年顺利通过山东省科技厅组织的专家鉴定。与此同时,该技术在山东、安徽、浙江等省的高速公路、国省干线、县乡路、城市道路改建过程中得到了广泛应用,取得了很好的使用效果。

为响应中央提出的建设资源节约型、环境友好型以及技术创新型社会的要求,有效解决国内面临的水泥混凝土路面改造难题,不断完善和推广应用旧水泥混凝土路面碎石化技术,山东省交通厅公路局组织有关人员,编制了《旧水泥混凝土路面碎石化技术应用指南》。该指南以满足工程应用需要为主线,重点就适用条件、强度机理、加铺层设计、质量控制和评定的关键技术进行了系统介绍,可供广大同仁在工程应用中参考。

本指南在撰写过程中得到了山东大学宋修广博士、山东省交通厅公路局毕玉峰博士以及东南大学熊帆、邓松等同志的帮助,在此一并表示感谢。本指南是基于目前研究成果而编写的,作为旧水泥混凝土路面重建的一项新技术,必将随

着工程实践的发展而日臻完善,不妥之处敬请广大同仁谅解和斧正。

主书主要著作者有:王松根、张玉宏、黄晓明、李昶、孙同波、张建。

著者

2006年10月

# 目 录

1	概述	1
1.1	碎石化概念	1
1.2	碎石化技术的主要特点	2
1.3	碎石化技术的主要优势	2
1.4	碎石化技术专用设备及特点	3
1.5	碎石化技术在国内外的工程应用	5
2	路面碎石化后的强度形成机理	7
2.1	路面碎石化后的强度形成机理	7
2.2	碎石化混凝土层的功能定位	9
3	碎石化技术适用条件和注意问题	11
3.1	旧水泥路面养护措施概述	11
3.2	旧路重建的基本条件	12
3.3	碎石化的技术条件	13
3.4	碎石化的经济条件	13
3.5	碎石化技术应用的注意问题	14
3.6	直接加铺面层时的技术要求	15
4	应用碎石化技术前的旧路路况调查	16
4.1	碎石化技术应用前的调查	16
4.2	路面结构强度评价	18
5	碎石化后加铺层结构设计	21
5.1	加铺层结构类型	21
5.2	碎石化沥青加铺结构设计方法	22
5.3	碎石化后沥青加铺层结构组合	30
6	路面碎石化的施工工艺和质量控制方法	34

6.1	MHB 设备的一般施工工艺 .....	34
6.2	路面碎石化前的处理 .....	35
6.3	路面碎石化施工 .....	37
6.4	路面碎石化的施工质量控制方法 .....	40
6.5	路面碎石化施工中需特别注意的问题 .....	42
7	MHB 碎石化施工质量标准 .....	44
7.1	路面碎石化后的粒径范围 .....	44
7.2	路面碎石化后顶面的当量回弹模量 .....	44
7.3	路面碎石化后的回弹弯沉 .....	45
7.4	MHB 碎石化施工质量标准及检测频率 .....	45
8	MHB 碎石化技术应用工程实例 .....	47
8.1	京沪高速泰化段大修工程调查状况 .....	47
8.2	京沪高速泰化段大修工程经济性分析 .....	48
8.3	京沪高速碎石化沥青加铺层设计 .....	50
8.4	碎石化施工过程 .....	51
8.5	碎石化技术应用效果 .....	57
附录	用动力圆锥触探仪(DCP)现场测试路基 CBR 的试验方法 .....	58
	参考文献 .....	62



# 1 概述

## 1.1 碎石化概念

水泥混凝土路面碎石化(Rubblization)是一种旧水泥混凝土路面破碎处治技术,是对旧水泥混凝土路面大修或改造的重要手段。碎石化技术于20世纪后期起源于美国,该技术是将水泥混凝土路面的面板,通过专用设备一次性破碎为碎块柔性结构,因破碎后其颗粒粒径小,力学模式更趋向于级配碎石,因而将其命名为碎石化。这种结构不仅具有一定承载力,而且具有有效防止或限制反射裂缝发生、发展的作用。在国外(如美国),旧水泥混凝土路面的破碎处治技术主要包括打裂压稳(Crack and Seat)、打碎压稳(Break and Seat)和碎石化(Rubblization)。水泥混凝土路面破碎与碎石化的涵义不同,破碎包含碎石化,而碎石化(Rubblization)则是破碎后颗粒粒径最小的一种破碎方式。

实施碎石化的主要设备有MHB(Multiple-Head Breaker)类设备和共振式设备两种类型。这两种设备相比,共振式碎石化设备破碎程度较高,破碎后颗粒粒径更小,因而板块强度损失程度也较大,需要加铺的路面结构要求更高,不够经济,因此,MHB逐步发展成为碎石化的主要设备。

本册是主要针对 MHB 碎石化再生技术编制的应用指南,主要内容是 MHB 类设备碎石化再生技术的研究和应用。

## 1.2 碎石化技术的主要特点

MHB 碎石化再生技术的主要优势是:通过破碎将旧水泥混凝土路面结构强度降低到一定程度,防止反射裂缝的发生,同时能够实现两者较好的平衡,如图 1-1 所示。旧路面进行 MHB 碎石化后应具有以下特点:

- (1)碎石化能使原水泥混凝土板块在平面上强度分布均匀;
- (2)碎石化后仍能保留原水泥混凝土路面的一定强度;
- (3)碎石化可以消除原水泥混凝土路面病害;
- (4)碎石化后的粒径合理,不会产生应力集中现象。

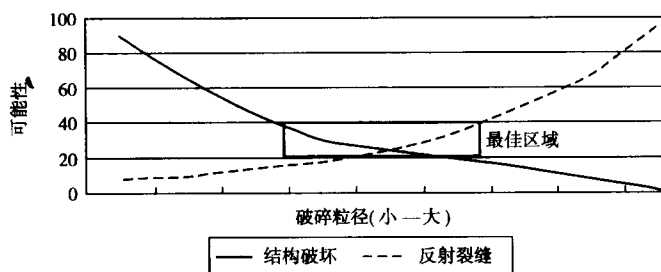


图 1-1 破碎粒径对结构的影响

## 1.3 碎石化技术的主要优势

利用 MHB 类设备对旧水泥混凝土路面碎石化后,可以直接作为新路面结构的基层或底基层,如果旧水泥混凝土路面碎石化后具有较高的强度,能够满足道路承载需求,可作

为路面基层直接加铺路面面层。

新加铺面层可以是沥青混凝土路面,也可以是水泥混凝土路面。

## 1.4 碎石化技术专用设备特点

### 1.4.1 碎石化技术专用设备

实施 MHB 类碎石化技术,主要设备是 MHB (Multiple-Head Breaker)多锤头破碎机和 Z 型压路机。

MHB 多锤头破碎机携带有 8 对质量为 1000 ~ 1200lb (450 ~ 550kg)的重锤,分两排装配在机械的尾部,每对重锤单独配备一套液压提升系统,破碎时按一定规律下落。重锤下落时可产生 1000 ~ 8000lb·ft (1383 ~ 11060N·m)的冲击能量,如图 1-2 所示。

Z 型压路机是一种在钢轮表面带有 Z 状纹理的振动式压路机,自重不小于 10t,其作用是进一步碾压碎石化后的路面,为加铺层提供一个平整的表面,如图 1-3 所示。



图 1-2 MHB 碎石化设备



图 1-3 Z 型压路机照片

### 1.4.2 碎石化技术专用设备特点

MHB 的破碎机理是通过重锤的下落对水泥混凝土板块

产生瞬时、点状的冲击作用。这种破碎机械具有以下特点：

(1)整幅车道宽度单次多点破碎。原水泥混凝土板块的破碎只要进行一次，MHB 类设备有效工作宽度为 45 ~ 400cm；宽度可以调节，可以一次对单个车道实施破碎。

(2)锤击功可以方便调节。MHB 重锤的质量是固定的，重锤下落高度、锤击频率和机械行走速度则是可调的。选择合适的锤击功和机械行驶速度可以使原水泥混凝土路面板破碎后的颗粒粒径分布合理。

(3)破碎效率很高。一个台班内，其典型工作量是单车道 0.8 ~ 1.2km。

(4)破碎后颗粒组成特性较好。MHB 破碎能量能传递到较大的深度，离重锤作用位置较远处吸收的能量占总能量的比例相对较小，产生的颗粒较大。图 1-4 是使用 MHB 设备后开挖试坑时的情况。



图 1-4 破碎后试坑开挖检查颗粒粒径

(5)破碎后的表面平整度较高。使用 MHB 破碎产生的碎石化表面平整度高，在经过 Z 型压路机碾压数遍后就能得到坚实稳定的加铺工作平台。

(6)方便调节,作业灵活。MHB 类设备宽度和锤击功可以调节,所以在某些特殊构造物处可以控制部分重锤避让构造物。

## 1.5 碎石化技术在国内外的工程应用

国外水泥混凝土路面碎石化工艺应用很广泛,例如,美国从 20 世纪 70 年代末、80 年代初开始,因大范围水泥混凝土路面损害的出现,碎石化工艺逐渐发展起来,至今,该技术已在海外广泛应用。截至 2001 年,美国已经有密歇根州、科罗拉多州、密苏里州等 35 个州大规模使用了碎石化技术,项目数量 300 多个,使用里程达到 900 多公里,改造面积 1300 余万平方米。在美国,碎石化后的水泥混凝土路面一般直接加铺沥青混凝土面层。根据交通量、老路承载力的不同情况,加铺厚度一般不小于 15cm。采用碎石化工艺的大多数工程应用是成功的,在配合采用较厚的沥青加铺层时,甚至预期可有长达 30 年(包括磨耗层铣刨与加铺)的使用寿命,是一种先进的旧水泥混凝土路面处治工艺。美国沥青协会以及很多州均将该技术列入规范,并将其作为水泥路面改造的推荐方法。

山东省是国内最早引进该技术的省份。为解决旧水泥路面维修改造的技术问题,山东省公路养护工程有限公司于 2002 年,首次从美国引进了 MHB 碎石化技术。为加快该技术的推广和发展,山东省交通厅公路局与东南大学、山东省公路养护工程有限公司就其具体应用展开联合科研攻关,在紧密结合大量工程试验基础上,对其强度机理、加铺层设计

和施工关键技术等进行了系统研究,在罩面结构设计、使用条件等方面取得了重大突破,取得了一定成果,并于 2005 年顺利通过山东省科技厅组织的专家鉴定。山东省于 2002 年独家引进了碎石化技术后,相继在 205 国道临沂段、京沪高速泰化段、329 省道肥城城区段三种不同等级的道路上做了试验段。自 2003 年起,安徽、浙江等省开始应用该技术。截至 2006 年 6 月,国内已有近 200km 水泥混凝土路面应用碎石化技术进行了改造。从目前看,所有改造路段均未出现反射裂缝。国内工程实践证明:碎石化技术解决反射裂缝的效果非常明显。

## 2 路面碎石化后的强度形成机理

### 2.1 路面碎石化后的强度形成机理

笔者结合工程实践和研究成果,可以得出这样的结论:水泥混凝土路面碎石化后分为表面细粒散层、碎石化层上部和碎石化层下部三个层次,碎石化后表层约 2~5cm,碎石化层上部厚度约 10cm,碎石化层下部厚度约 10cm,如图 2-1 所示。

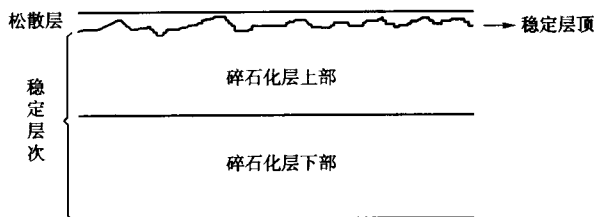


图 2-1 碎石化粒径分层

(1)碎石化层表层在压实过程中,颗粒被压密,形成嵌挤薄层,通过洒布透层油,具有较高的黏结力,并具有一定的强度和稳定性。

(2)碎石化层上部强度来源。碎石化层上部强度主要有:一是来源于内摩阻角,粒径越大,则内摩擦角越大;二是来源于预压应力,因旧水泥混凝土面板破碎时,混凝土产生

侧向体积膨胀,混凝土颗粒的粒径越小,膨胀趋势越大,产生的预压应力越大。

(3)碎石化层下部强度来源。研究表明:碎石化层下部是“裂而不碎、契合良好、联锁咬合”的块体结构,具有良好的“拱效应”,能将竖向压力变为水平推力,借以扩散荷载(如图 2-2、图 2-3 和图 2-4 所示)。另外,该结构静定且自稳,具有很好的咬合嵌挤作用。由于碎石化下层是由整体的水泥混凝土板破碎成裂而不碎的一层,并没有竖向贯穿裂纹,因此,该层中邻近的混凝土块在形状上有较好的啮合度,伴随着收敛位移的发生,呈交错咬合状排列,如图 2-5 所示。该层处于联锁咬合状态,形成所谓的“联锁咬合块体”结构,具体表现为各种形式的咬合梁、拱结构。在外力作用下邻近的混凝土块间产生的咬合嵌挤作用,比普通嵌锁作用更大,提供的强度更高,具有更好的结构稳定特性。

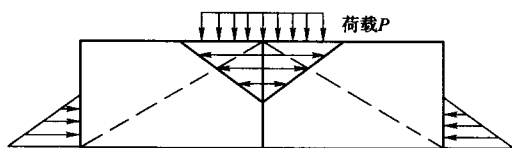


图 2-2 水平挤压力的产生

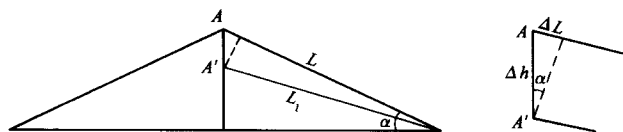


图 2-3 拱效应示意图



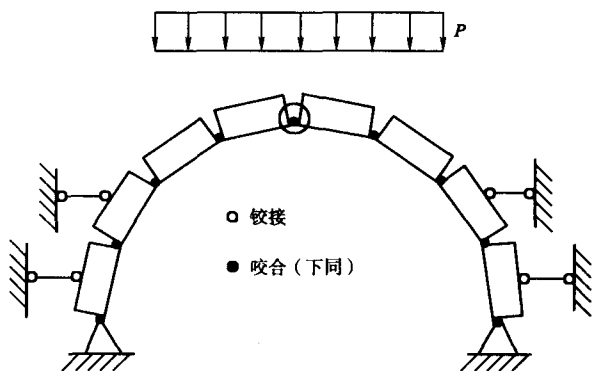


图 2-4 自然咬合拱结构模型

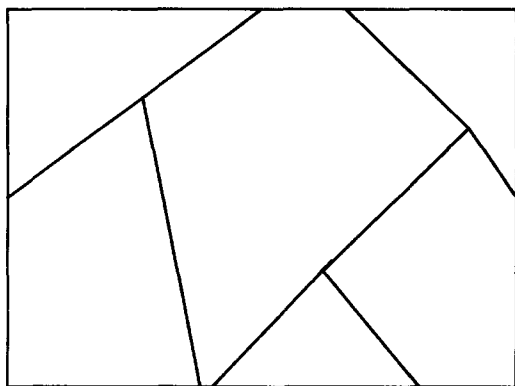


图 2-5 相互咬合的混凝土块

## 2.2 碎石化后混凝土层的功能定位

为准确评价碎石化层的强度变化规律,对碎石化结构层进行科学、合理的定位,课题组在京沪高速公路泰安试验路进行了大量的数据采集、分析,表 2-1 是碎石化后顶面回弹模量的部分实测数据。