

公路大修改造工程

Gonglu Daxiu Gaizao
Gongcheng
Shigong Xinjishu

施工新技术

武和平 何唯平 崔志波 编 著



人民交通出版社

China Communications Press

公路大修改造工程施工新技术

武和平 何唯平 崔志波 编 著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书根据我国高速公路、国省道路面大修工程设计与施工特点,结合近几年来作者在这方面的科研成果,并在总结作者参与路面大修工程施工实践的基础上,重点介绍了路面大修工程有关设计与施工工艺、沥青混合料设计方法与工程级配设计实例、钢桥面铺装设计及施工控制与路面主要材料技术指标控制等内容,并结合工程实例,介绍了新材料、新技术的应用。

全书反映了我国目前高速公路罩面大修以及国省道路面大修工程设计与施工的既有经验和最新发展,可供交通行业设计、监理、施工单位工程技术人员及相关科研人员与大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路大修改造工程施工新技术/武和平等编著. —北京:
人民交通出版社, 2008. 8

ISBN 978-7-114-07339-7

I. 公… II. 武… III. 路面—大修—工程施工—技术
IV. U418.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 128605 号

书 名: 公路大修改造工程施工新技术

著 作 者: 武和平 何唯平 崔志波

责任编辑: 卢仲贤 黎小东

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.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×960 1/16

印 张: 13.25

字 数: 214 千

版 次: 2008 年 8 月 第 1 版

印 次: 2008 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07339-7

印 数: 0001~3000 册

定 价: 32.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

自 20 世纪 80 年代开始,我国公路建设的速度与规模达到了前所未有的程度,取得了举世瞩目的成就。截至到 2007 年年底,高速公路通车里程已达到 358 万公里,其中高速公路 5.4 万公里,二级及以上公路里程占公路总里程的比例达到 10.6%。特别是国省道干线公路建设得到了快速发展,通车里程已达到 39.2 万公里。随着交通量的迅猛增长,加之重载车辆数量急剧增加等原因,公路路面早期破坏现象日益严重,国省道干线公路也面临着较大规模的升级改造。可以说,今后一个时期内,我国公路大修改造任务将越来越繁重。与公路新建工程相比,公路大修改造工程项目管理、设计与施工技术的影响因素将更加复杂。因此,如何加强公路改造以及大中修工程管理,进一步提高设计质量与施工质量,确保工程的使用寿命,这不仅是我们公路工作者所面临的巨大挑战,而且是亟待解决的问题之一。

《公路大修改造工程施工新技术》一书是作者根据多年来从事公路大修改造工程技术研究和工作的实践所积累的丰富知识,结合我国现行的公路设

计与施工技术规范,在总结分析近年来国内外有关公路大修改造工程方面的经验和教训的基础上编著的。这本书针对公路大修改造工程项目技术管理存在的问题,提出了较为切实可行的措施和有效途径;针对工程结构设计方法及沥青混合料设计存在的不足,介绍了沥青罩面典型结构的应用与试验方法的改进,同时,结合工程实例,介绍了高性价比的新材料抗车辙剂外掺改性施工工艺,包括采用动态弯沉新技术在刚性路面整体结构强度与板底脱空检测和评价方面的应用。书中既有理论分析,又有工程实例,是一本理论联系实际、有实用价值的书籍。

探索和建立符合我国国情的公路大修改造工程成套技术,提高公路的通行能力和服务水平,是公路部门一项长期而又艰巨的任务,我们必须常抓不懈,持之以恒。希望广大公路工作者在实践中以科学的态度,求实的精神,结合工程项目,认真总结经验,有针对性地开展相关应用技术的科技联合攻关,开展新材料、新技术推广应用工作,不断提高工程管理水平与施工技术水平,促进我国公路大修工程项目管理水平与施工质量迈上一个新的台阶。

交通运输部公路司

李华

2008年8月14日

前 言

我国公路建设经过近三十年的高速度、大规模发展,已经取得了举世瞩目的成就,高速公路的通车里程已跃居世界第二位。随着国民经济的快速增长,交通量剧增,车辆轴载日益重型化,加之施工质量等方面的原因,路面早期破坏现象屡见不鲜,尤其是早期建设的公路路面破坏现象更加严重,有相当一部分路面已丧失使用功能。同时,国省道干线公路也已面临着大规模的升级改造。近几年来,我国部分高速公路、国省道干线公路已经开始了大规模的路面大修改改造工程。从2000年开始,我国公路行业设计、施工与材料试验等技术规范和规程先后进行了全面的改进和修订。目前,我国公路技术规范在设计指标、技术标准、施工工艺控制等方面对公路建设提出了更高、更严格的标准和要求。可以说,针对施工环境和工艺技术更加复杂的大修改改造工程,如何建设一个确保使用寿命的高质量公路项目,这对于广大建设管理人员和工程技术人员是一个巨大的挑战。因此,不断地总结公路大修改工程施工实践的教训和经验,探索和建立符合中国国情的公路大修改工程设计与施工工艺的成套技术,无疑是十分重要的。

本书根据我国高速公路、国省道干线公路大修改造工程设计与施工的特点,结合近几年来作者在这方面的应用课题研究成果,并在总结作者参与路面大修工程施工实践的基础上,重点在工程项目技术管理、结构设计原则与方法、工程设计级配的选择、沥青混合料试验方法改进、施工工艺控制等方面,找出存在的问题,提出了解决问题的途径与措施,给出了工程应用的实例;并在提高沥青路面抗车辙性能与旧水泥混凝土路面整体结构强度与承载力评价方面,提出了高性价比的新材料抗车辙剂外掺改性工艺,以及动态弯沉仪(FWD)新技术应用与评价方法。本书力求做到深入浅出,突出实用性和可操作性,同时,希望在公路大修改造工程关键技术应用方面,起到抛砖引玉的作用。

本书共分六章,第1章主要介绍水泥混凝土路面病害调查与评定方法,并结合工程实例,提出了动态弯沉检测新技术在刚性路面结构整体强度和承载力评价方法及评定标准的应用,包括在刚性路面板脱空状态的检测评定方面的应用。第2章主要介绍了国际上在旧水泥混凝土路面上加铺沥青面层的罩面设计方法的使用现状,初步提出了基于有效厚度的设计方法,通过近几年国内路面大修改造工程的施工实践的总结,提出了不同公路等级,不同交通量条件下旧水泥混凝土路面加铺沥青层罩面典型结构图例,并阐述了其施工工艺质量控制要点,同时,就公路大修改造工程施工过程中存在的技術管理问题,提出了有效管理措施和建议。第3章主要介绍了针对马歇尔试验方法存在的不足,进行了沥青混合料体积参数分析,提出了混合料设计方法的改进与设计指标的修正方法。第4章主要介绍了国内外抗滑级配的使用现状与发展,通过国内外典型抗滑级配性能试验结果分析,提出了性能优良的抗滑级配类型,并结合现行规范

与工程应用实例,阐述了工程设计级配调整与确定试验方法。第5章主要介绍了沥青路面车辙病害的原因分析,结合工程实际应用,阐述了抗车辙剂对沥青混合料性能的试验结果以及工程使用的实际效果,并就抗车辙剂外掺改性工艺提出了技术要求与施工工艺质量控制要点。第6章主要介绍了国内外钢桥面铺装的使用与发展现状,通过钢桥面铺装结构组合方案与钢桥面板防锈涂装方案的对比试验结果分析,提出了我国钢桥面铺装 SMA 结构设计原则与结构组合应考虑若干技术要求,提出了钢桥面铺装施工工序质量控制要点,并介绍了钢桥面铺装检测评定标准。

本书在撰写过程中,得到了交通运输部公路司领导的支持和指导,并为本书作序。深圳海川工程科技有限公司道路研究所、河南省驻马店市公路管理局、长沙理工大学交通运输工程学院、福建省高速公路建设投资股份有限公司、广东加美科技咨询有限公司等单位向本书提供了宝贵资料,长沙理工大学研究生纪耀辉、王万平参与了本书的编排和校对工作,在此,一并致谢。应当提出的是,本书提出的新材料与新技术的工程应用以及旧水泥混凝土板罩面典型结构图例,由于工程使用时间不长,尚需长期使用效果验证,以便进一步改进与完善。由于作者的能力与水平有限,书中介绍的内容难免存在不足,恳望业界同仁不吝赐教。

作 者

2008年7月

目 录

第1章	刚性路面结构性能与缺陷检测评价方法	1
1.1	旧水泥混凝土路面状况的调查与评价	1
1.2	刚性路面结构性能评价方法	9
1.3	混凝土面板脱空检测方法与评价指标	22
第2章	复合式路面结构与施工质量控制	32
2.1	复合式路面组合特点与典型结构	32
2.2	公路大修工程技术管理措施	35
2.3	路面集料加工性指标的讨论	37
2.4	路面集料加工料场质量管理措施	43
2.5	施工级配波动及沥青用量变化的允许范围	46
2.6	路面压实标准的修正	51
2.7	复合式路面施工工艺质量控制要点	56
第3章	沥青混合料设计参数与试验方法的修订	78
3.1	马歇尔设计方法存在的问题	80
3.2	沥青混合料体积参数分析	81
3.3	马歇尔试验方法的程序改进	87
第4章	路面抗滑表层类型与工程设计级配	101
4.1	国内外抗滑表层的现状与发展	101
4.2	典型抗滑级配类型性能试验对比	106
4.3	工程设计级配确定方法与调整原则	141
4.4	工程设计级配试验确定的工程实例	143
第5章	提高路面结构抗车辙性能措施的施工实践	153
5.1	沥青路面车辙病害原因分析	153
5.2	抗车辙剂外掺改性工艺的技术应用	155
5.3	抗车辙剂外掺改性工艺技术要求与控制要点	159

第6章 钢桥面铺装设计与施工工序质量控制	163
6.1 国内外钢箱梁桥面铺装的使用与发展状况	163
6.2 钢桥面铺装技术要求与设计原则	166
6.3 钢桥面铺装结构组合方案使用性能试验对比分析	169
6.4 钢桥面板防锈涂装方案试验对比	173
6.5 铺装层 SMA 混合料设计要求与方法	178
6.6 钢桥面铺装施工工序质量控制	182
6.7 钢桥面铺装检测评定标准	193
参考文献	200

第1章 刚性路面结构性能与缺陷检测评价方法

1.1 旧水泥混凝土路面状况的调查与评价

1.1.1 水泥混凝土路面病害类型和分级

水泥混凝土路面的病害通常用类型、轻重程度和发生范围三方面属性来描述。由于造成病害的影响因素错综复杂,表现的形态多样化,因而有必要对各种病害进行科学的分类,赋予明确的定义,以便有统一的调查和描述结果。病害的产生和发展有个过程,而不同发展过程对路面的使用性能有不同程度的影响,为此对各种病害按其特点和影响程度分别划分为2~3个轻重程度等级。

水泥混凝土路面的病害,可按损坏的特征和范围分为断裂类、竖向位移类、接缝类3种类型。

1. 断裂类病害

混凝土路面板出现贯穿全厚的断裂裂缝,板被分割成数块,从而破坏了面层结构的整体性,降低了路面结构的承载能力。按裂缝出现的方位和板断裂的块数,断裂类病害分为纵向裂缝、横向或斜向裂缝、角隅断裂、交叉裂缝和破碎板4种。

纵向裂缝大多出现在路基横向有不均匀沉降的路段。横向或斜向裂缝通常由于重载反复作用、温度或湿度梯度产生的翘曲应力或者干缩应力等因素单独或综合作用所引起。而在开放交通前出现的横向或斜向裂缝,则主要由于施工期间锯切缝的时间安排不当所造成。角隅断裂通常由表面水侵入、地基承载力降低、接缝处出现唧泥、板底形成脱空、接缝传荷能力差、重载反复作用等综合作用所引起。有裂缝板在基层和路基浸水软化及重载反复作用下进一步断裂,便形成交叉裂缝和破碎板。纵向、横向或斜向裂缝和角隅断裂病害,按裂缝缝隙边缘碎裂程度和缝隙宽度,可分为下列3个轻重程度等级:

(1) 轻微——缝隙边缘无碎裂或错台,缝隙宽度小于 3mm;或者填缝良好、边缘无碎裂或错台。

(2) 中等——缝隙边缘中等碎裂或错台小于 10mm,且缝隙宽度小于 15mm。

(3) 严重——缝隙边缘严重碎裂或错台大于 10mm,且缝隙宽度大于 15mm。

交叉裂缝和断裂板病害,按裂缝等级和板断裂的块数可分为下列 3 个轻重等级:

(1) 轻微——板被轻微裂缝分割成 2~3 块。

(2) 中等——板被中等裂缝分割成 3~4 块,或被轻微裂缝分割成 5 块以上。

(3) 严重——板被严重裂缝分割成 4~5 块,或被中等裂缝分割成 5 块以上。

2. 竖向位移类病害

有这类病害的路面出现较大的竖向位移,影响行车的舒适和安全,但混凝土路面板的结构整体性未遭破坏。沉陷指路面在局部路段范围内的下沉,主要由于路基填土或地基的固结沉降或不均匀沉降所引起。胀起指混凝土路面板在局部路段范围内的向上隆起,主要由于路基的冻胀或膨胀土膨胀所引起。

这类病害主要按其对于行车舒适性和安全性的影响划分为三个轻重等级:

(1) 轻微——车辆以限速驶过时仅引起无不舒适感的轻微跳动。

(2) 中等——车辆驶过时产生不舒适感的较大跳动。

(3) 严重——车辆驶过时产生过大的跳动,引起严重不舒适或不安全。

3. 接缝类病害

接缝是水泥混凝土路面的薄弱环节,出现病害的几率大,类型也多。由于施工不当(接缝筑做,传力杆设置)或养护不及时,而出现唧泥、错台、拱起、接缝碎裂、填缝料失效等病害。接缝类病害的发生范围虽然是局部的,但往往会引起板块出现断裂而使使用寿命迅速降低。

水泥混凝土路面板接缝处的病害,按损害的形态和影响范围可分为下列六种:①接缝填缝料损坏;②纵向裂缝张开;③唧泥和板底脱空;④错台;⑤接缝碎裂;⑥拱起。

纵向裂缝张开病害是由于在纵缝内未按规定要求设置拉杆,相邻车道板块在温度和横向坡度的影响下出现横向位移,使纵缝缝隙逐渐变宽。

唧泥和脱空病害是指板接(裂)缝或边缘下的基层细粒料被渗入缝下并积滞在板底的有压水从缝中或边缘处唧出,并由此造成板底面与基层顶面出现局部范围的脱空。接缝填缝料失效、基层材料不耐冲刷、接缝传荷能力差和重载反复作用是引起唧泥的主要原因。

唧泥发生和发展过程中,基层顶面受冲刷,细料被有压水冲积,使接缝或裂缝两侧板面出现高程差,便形成错台病害。

由于接缝施工不当(包括传力杆设置不当)或者缝隙内进入不可压缩材料,邻近接缝或裂缝约60cm宽度范围内出现并未扩展到整个板厚的裂缝,或者混凝土分裂成碎块或碎屑,这种损坏称为接缝碎裂病害。

拱起病害通常发生在春季和炎热夏季,横向接缝或裂缝处板块由于膨胀受阻而出现突发性的向上隆起,有时还伴随出现邻近板块的横向断裂。

接缝填缝料损坏,按填缝料出现老化、挤出、缺损的情况,可分为3个轻重程度等级:

(1)轻微——整个路段接缝填缝料情况良好,仅有少量接缝出现上述损坏。

(2)中等——整个路段接缝填缝料情况尚可,1/3以下的接缝长度出现损坏,水和硬质材料易渗入或挤入。

(3)严重——接缝填缝料情况很差,1/3以下的接缝长度出现上述损坏,水和硬质材料能自由渗入或挤入,填缝料需立即更换。

纵向接缝张开病害,按接缝的张开量可分为两个轻重程度等级:

(1)轻微——接缝张开10mm以下。

(2)严重——接缝张开10mm以上。

唧泥和板底脱空病害,可分为两个轻重程度等级:

(1)轻微——车辆驶过时,有水从板缝或边缘处唧出,或者在板接(裂)缝或边缘的邻近表面残留有少量唧出材料的沉淀物。

(2)严重——在板接(裂)缝或边缘的表面残留有大量唧出材料的沉淀物,车辆驶过时,板有明显的颤动和脱空感。

错台病害,按相邻板边缘的高差大小可分为3个轻重程度等级:

(1)轻微——错台量小于5mm。

(2)中等——错台量5~10mm。

(3)严重——错台量大于5mm。

接缝碎裂病害,按碎裂范围和程度可分为3个轻重程度等级:

(1)轻微——碎裂仅出现在接缝或裂缝两侧8cm范围内,尚未采取临时修补措施。

(2)中等——碎裂范围大于8cm,部分碎块松动或散失,但不影响安全或危害轮胎。

(3)严重——影响行车安全或危害轮胎。

拱起危害的轻重程度分级同水泥混凝土路面竖向位移类病害。

1.1.2 水泥混凝土路面状况调查和评定

路面状况调查和评定包含7个方面:①路面破损状况;②结构承载能力;③行驶质量;④抗滑能力;⑤交通状况(车辆组成和轴载);⑥路基和路面排水状况;⑦路面修建和养护历史。

1. 路面破损状况调查

目前大多数采用目测确定病害类型和轻重程度等级、简单仪器量测和记录出现范围的方法。先进的摄像和图像识别方法,目前尚未达到实用阶段。各种病害,无论是长度的(如各种裂缝)还是面积的(如沉陷、磨损、网裂等),都以出现该种病害的板块数计量。对于某些接缝类病害,如错台、纵向接缝张开和填缝料损坏,出现该种接缝病害的相邻板块,仅以1块板计量;而对于出现唧泥病害的接缝,按两块板计量,但同一板块的其他接缝也出现唧泥时,其他缝仅按1块板计量。

为确定需采取养护措施的路段(地点),或为路面改建设计提供依据,应沿整个调查路段逐板块进行调查。

为改建设计而进行的结构承载能力调查,需测定各结构层的厚度、模量或(和)强度、接缝的传荷能力、板底脱空情况以及结构的承载力。调查可以采用无破损测定方法,或者无破损和破损相结合的方法进行。无破损测定包括采用落锤弯沉仪测定路面表面的弯沉曲线、接缝传荷能力、板底脱空情况和反算结构层的模量以及雷达测定结构层的厚度,也可采用贝克曼梁(长杆)或承载板法测定板面弯沉值后,反算基层顶面回弹模量。破损测定则为钻取各结构层的试样,进行厚度以及室内劈裂强度和模量的测定。通常,采用无破损与破损测定相结合的方法,可以得到较好的分析和评定结果。

行使质量调查可采用反应类仪器或断面类仪器进行路面平整度测定。

不同类型仪器的测定结果,应按预先经过试验建立的关系曲线,统一换算成国际平整度指数(IRI)。平整度测定的仪器和方法很多,主要有断面类和反应类两大类。前者有静态纵断面测定(如水准仪高程测量、梁式断面仪等)和动态纵断面测定仪(如惯性断面仪、不接触式纵断面仪等),后者则有颠簸累计仪等。各种方法所采用的平整度指标不尽相同。因而,各种测定结果的可比性较差,并且概念上也很容易混淆,给评定工作带来困难。为此,选用一个通用的国际平整度指数,并通过标定试验建立不同仪器的测定结果与国际平整度指数间的相关关系方程,以便将不同指标表示的测定结果转换为以统一的指标表示。

抗滑能力调查包括路面表面摩阻系数和构造深度测定两项。摩阻系数可采用摆式仪测定路表面抗滑值(SRV),或者采用偏转轮拖车测定侧向力系数(SF),或者采用锁轮拖车测定滑移指数(SN)得到。路表面构造深度采用砂容量法测定。摩阻系数测定结果反映了路表面的低速行驶时的抗滑能力,而构造深度测定结果则反映了路表面在高速行驶时的抗滑能力。摩阻系数的测定仪器和指标也有多种。摆式仪的测定结果,变异性大,代表性差,但由于其他测定方法的仪器设备需要较大的投资,摆式仪法仍为国内常用的摩阻系数测定方法。

2. 路面状况评定

路面破损状况评定采用路面状况指数(PCI)和断板率(DBL)两个指标。

路面状况指数(PCI)是一项综合性评定指标,它反映调查路段包括各种损害在内的路面总破损状况,即反映病害的三方面属性(类型、轻重程度和范围)对路面状况影响程度的综合度量指标。PCI以百分制计量,对不同病害的类型、轻重程度和范围规定不同的扣分值,按路段的损坏状况累计其扣分值后,以剩余的分值表示路面的破损状况,评价其完好程度。

采用路面状况指数(PCI)和断板率(DBL)两项指标评定路面破损状况。依据路段破损状况调查得到的病害类型、轻重程度和密度数据,按下列公式确定该路段的路面状况指数(PCI),以100分制表示:

$$PCI = 100 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} DP_{ij} W_{ij} \quad (1-1)$$

$$DP_{ij} = A_{ij} D_{ij} B_{ij}$$

$$W_{ij} = \begin{cases} 2.5R_{ij} & R_{ij} < 0.2 \\ 0.5 + 0.686(R_{ij} - 0.2) & 0.2 \leq R_{ij} < 0.55 \\ 0.74 + 0.28(R_{ij} - 0.55) & 0.55 \leq R_{ij} < 0.8 \\ 0.81 + 0.95(R_{ij} - 0.8) & R_{ij} \geq 0.8 \end{cases}$$

$$R_{ij} = \frac{DP_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} DP_{ij}}$$

式中： i 、 j ——病害种类和轻重程度；

n ——病害种类总数；

m_i —— i 种病害的轻重程度等级数；

DP_{ij} —— i 种病害和 j 种轻重程度的单项扣分值，它是破损密度 D_{ij} 的函数；

D_{ij} —— i 种病害 j 种轻重程度的板块数占调查路段板块总数的比例；

A_{ij} 、 B_{ij} ——系数，可参考表 1-1 确定；

W_{ij} ——同时出现多种破损时， i 种病害和 j 种轻重程度扣分值的修正系数；

R_{ij} ——各单项扣分值占总扣分值的比例。

计算单项扣分值的系数 A_{ij} 和 B_{ij}

表 1-1

系 数	A_{ij}			B_{ij}		
轻重程度 病害类型	轻	中	重	轻	中	重
纵、横、斜向裂缝	30	65	93	0.55	0.52	0.54
角隅断裂	49	73	95	0.76	0.64	0.61
交叉裂缝、断裂板	70	88	103	0.60	0.50	0.42
沉陷、胀起	49	65	92	0.76	0.64	0.52

续上表

系 数 轻 重 程 度 病害类型	A_{ij}			B_{ij}		
	轻	中	重	轻	中	重
唧泥	25	—	65	0.90	—	0.80
错台	30	60	92	0.70	0.61	0.53
接缝碎裂	23	30	51	0.81	0.61	0.71
拱起	49	65	92	0.76	0.64	0.52
纵缝张开	30	—	70	0.90	—	0.70
填缝料损坏	10	35	60	0.95	0.90	0.80
纹裂或网裂和起皮	22	60	90	0.70	0.60	0.50
磨损和露骨	20	—	60	0.70	—	0.50
坑洞	—	30	—	—	0.60	—
活性集料反应	25	47	70	0.90	0.80	0.70
修补损坏	10	60	90	0.95	0.60	0.54

由于水泥混凝土路面最主要的病害是各种断裂,它们对结构的承载能力和使用性能的影响最大,对养护对策的选择影响也很大,因而从各种病害中专门引出一个反映路面结构性破损状况的指标——断板率(DBL)。依据路段破损状况调查得到的断裂类病害的板块数,按断裂缝种类和严重程度的不同,采用不同的权系数进行修正后,由下式确定该路段的断板率(DBL),以百分数表示:

$$DBL = \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m DB_{ij} W'_{ij})}{BS} \quad (1-2)$$

式中: DB_{ij} —— i 种类裂缝病害 j 种轻重程度的板块数;

W'_{ij} —— i 种类裂缝病害 j 种轻重程度的修正权系数,按表 1-2 确定;

BS——评定路段内的板块总数。