

当代科技重要著作·交通领域

著作·交通领域

姚祖康 著

水泥 混凝土路面 设计

SHUINI
HUNNINGTU
LUMIAN
SHEJI

安徽科学技术出版社

泥 凝土路面 计

SHUINI
HUNNINGTU
LUMIAN
SHEJI

安徽科学技术出版社

水泥混凝土路面设计

姚祖康 编著

JZ 2/04

北方交通大学

藏 书

图书馆

安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

水泥混凝土路面设计/姚祖康编著. —合肥:安徽科学技术出版社,1999

ISBN 7-5337-1794-5

I. 水… I. 姚… III. 水泥混凝土路面-设计
N. U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 16688 号

策划编辑:李亚平 何宗华

责任编辑:何宗华

封面设计:王国亮

*

安徽科学技术出版社出版

(合肥市跃进路1号新闻出版大厦)

邮政编码:230063

电话号码:2825419

新华书店经销 合肥商中印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:348千

1999年7月第1版 1999年7月第1次印刷

印数:4 000

ISBN 7-5337-1794-5/U·19 定价:19.00元

(本书如有倒装、缺页等问题请向本社发行科调换)

当代科技重要著作丛书

总 序

科学技术作为生产力,在人类社会的发展过程中,越来越发挥着日益重要的作用。而作为人类生产实践、科学实验的积累和结晶的现代科学技术著作,则是科学技术知识潜在的生产力。它们所传播的正确的、先进的科学技术内容,一旦为人们所掌握,并运用到社会生产实践中去,便会变化成现实的、巨大的社会生产力,起着推动社会物质文明和精神文明迅猛发展的重大作用。

在当今世界新技术革命迅速发展的形势下,要振兴我国的国民经济,缩短我们在经济技术上同发达国家之间的差距,促进我国经济向前发展,就必须积极引进、吸收国外的先进科学技术,并使之同国内的科学研究和生产实践密切结合起来,而在我国及时翻译出版世界重要科技著作,并使之在国内广为传播,就是其中一个重要方面。

有鉴于此,中国出版工作者协会科技出版工作委员会,本着科技出版工作要面向世界、面向未来、面向现代化的方针,为使科技出版工作在吸收引进外国先进科学技术方面作出应有的贡献,于1986年在全国科技出版社社长总编辑第四届年会上发出倡议,要求发挥科技出版社的优势,协作出版《当代科技重要著作丛书》,在国内系统地翻译出版当代世界有重大影响的科技著作。这一有建设性的倡议,得到全国各家科技出版社的大力支持。在中国出版工作者协会科技出版工作委员会和各科技出版社的共同努力下,这一工作得到了国内科技界专家、学者的广泛注意和热情支持,各项工作正在逐步开展。

根据我国科学技术研究和发展的总体规划,考虑到国家的现行体制和专业门类,经统筹安排,该套大型丛书划分为两大类共36个单元。第一类为高科技领域图书,主要包括的学科有生物技术、信息工程、航天航空、自动化、能源、激光、新材料等;第二类为应用科学领域图书,主要包括的学科有地质、煤炭、石油、冶金、机械、化学、建筑、水利、电力、交通、铁道、邮电、轻工、纺织、农业、林业、医学、海洋科学、气象学、环境科学、国防科学、数学、力学、物理、化学、天文、地理、生物学、交叉科学、培训图书等。

《当代科技重要著作丛书》的出版工作,数量大,时间长,涉及面广,是一项非常复杂而又艰巨的工作,需要国内科技界的专家、学者以及全国各科技出版社的共同努力,并且需要有志于祖国建设的海外侨胞和人类共同进步事业的外国学者的大力支持。中国出版工作者协会科技出版工作委员会,为此专门成立了《当代科技重要著作丛书》总编委员会各单元编委会,负责协调丛书的出版工作和各单元出版计划的具体实施。

尽管丛书的出版工作是非常艰巨的,但我们相信,为了祖国的科技进步,为了中华民族的繁荣昌盛,经广大同仁携手努力,丛书必定陆续付梓,以饕国内读者。

中国出版工作者协会
科技出版工作委员会

当代科技重要著作丛书(交通领域)

序 言

为了及时总结、推广国内专家、学者的科研成果,系统地引进吸收国外先进科学技术,遵照中国出版工作者协会科技出版工作委员会的工作布置,由人民交通出版社和机械工业出版社牵头,联系大连海运学院出版社、大连理工大学出版社、天津大学出版社、同济大学出版社、上海交通大学出版社、天津科学技术出版社、安徽科学技术出版社、广东科学技术出版社、四川科学技术出版社等十一家出版社,于1988年6月在京共同组成了《当代科技重要著作丛书(交通领域)》出版工作协调小组,以统筹规划实施该套丛书的出版工作。由于丛书涉及的专业面广,而每一出版社又具有不同专业的出版优势,为了充分发挥各出版社的特长,经出席协调小组成立大会的代表共同商议,决定按照学科专业优势将交通领域当代科技重要著作丛书划分为六个单元,分别组成相应的六个评委会,具体负责选题评定和出版工作。六个评委会及其分工如下:

一、公路、桥梁工程和工程机械单元评委会,由同济大学出版社牵头,安徽科学技术出版社、东南大学出版社、四川科学技术出版社参加,共同负责;

二、港口、航道工程单元评委会,由天津大学出版社牵头,大连理工大学出版社和天津科学技术出版社参加,共同负责;

三、船舶设计、制造单元评委会,由上海交通大学出版社牵头,大连理工大学出版社和天津大学出版社参加,共同负责;

四、船舶运输和营运管理单元评委会,由大连海运学院出版社牵头,广东科学技术出版社和人民交通出版社参加,共同负责;

五、汽车、起重搬运和港口装卸机械单元评委会,由机械工业出版社牵头,天津大学出版社和人民交通出版社参加,共同负责;

六、交通运输管理和交通工程单元评委会,由人民交通出版社牵头,安徽科学技术出版社、同济大学出版社和东南大学出版社参加,共同负责。

出版这套丛书是一项艰巨复杂的系统工程,需要广大专家学者和十一家出版社同仁持续不断的共同努力。为了我国交通运输业的发展,为了我国科技出版事业的繁荣兴旺,我们深信这一工作将会得到社会各界的大力支持。这套丛书必将融入发展我国交通运输业的同一范畴,对我国交通运输科学技术的发展起到积极的推动作用。

当代科技重要著作丛书(交通领域)

出版协调小组

1990年11月20日

前 言

水泥混凝土路面是一种常用的铺面。但在1970年,全国公路水泥混凝土路面的里程仅有200km,占高级和次高级路面总里程的0.87%。到1980年,混凝土路面的里程增为1600km,仍仅占高级和次高级路面里程的1.01%。随着高等级公路的发展,混凝土路面相应地得到较快的发展,1990年的里程增加到11773km,占高级和次高级路面总里程的比例提高到4.37%。而进入90年代,混凝土路面的发展速度更为迅猛,到1997年,铺筑里程达到68740km,已占高级和次高级路面总里程的14.7%,7年内平均每年铺筑8138km。

混凝土路面的发展,对水泥混凝土路面的设计、施工和维修技术不断提出新的问题和要求。为推动和适应水泥混凝土路面的发展,从70年代中期起一些道路科技人员就开始对混凝土路面的使用性能进行试验研究。浙江省交通设计院和东南大学等率先在浙江省台州地区修筑试验路,进行荷载应力和挠度的测定以及疲劳试验。随后,在交通部公路规划设计院和同济大学的主持下,组织全国不同部门的许多科技人员,对混凝土路面设计理论、设计方法和参数协同开展了长期、系统的研究工作。从1978年到1993年的16年期间,分4个阶段分别在下述方面:①荷载应力和温度应力的计算分析和试验验证;②疲劳特性和轴载换算;③结构设计方法;④结构性能评定和加铺层设计;⑤可靠度设计理论和方法;⑥混凝土强度和模量值、基层顶面综合模量、温度梯度、轮迹横向分布、接缝传荷系数、动荷系数等设计参数,取得了大量的理论和应用成果,为建立我国水泥混凝土路面设计理论和方法奠定了坚实的基础,也为推动我国混凝土路面的发展作出了积极的贡献。

国外对水泥混凝土路面结构分析理论和设计方法的研究,从H. M. Westergaard起迄今已有70余年历史。在此期间,通过不间断的理论探讨、大规模的试验验证和使用实践的总结,在混凝土路面的结构特性和性能、结构分析理论和方法、结构设计方法和参数等方面,取得了不断深化的认识和掌握。这些经验和研究成果为我国混凝土路面的各个研究阶段都提供了有益的启发和借鉴。

作者从70年代中期起便积极参与了混凝土路面设计理论、方法和参数的各项工作以及有关设计规范的编写工作,通过学习和探讨、计算分析和试验验证、实践和总结,对混凝土路面的特性、使用性能和设计方法的认识不断深入。为了总结20年来所取得的研究成果和心得,反映国外在混凝土路面设计理论和方法方面的进展和水平,以推动和促进我国混凝土路面设计的进一步发展,特撰写本书。

全书共七章,分别讨论混凝土路面的结构特性、结构分析理论和方法、新建和改建路面结构设计方法以及混凝土路面的表面特性。第一章作为全书的引言,概要介绍水泥混凝土路面的结构组成和各组分的功能和作用,阐明路面使用性能的概念以及混凝土路面设计的内容和特点。第二章分别对混凝土路面的各个结构组成部分(面层、基垫层、路基、内部排水和路肩)的结构特性和使用性能以及它们在整个路面结构中的作用,进一步作深入

详细的阐述。第三章和第四章论述混凝土路面的结构分析理论和方法。其中,第三章介绍荷载应力分析理论和方法,主要阐述弹性地基板的解析解和有限元分析方法,计算分析的试验验证和参数选用。而第四章论述温度应力的分析理论和方法,同时也分析了混凝土板内温度和湿度变化的规律,并着重讨论了建立板内温度梯度预估模型的经验 and 理论方法。第五章和第六章阐述新建和改建路面的结构设计方法。在第五章中,较详尽地介绍了三种结构设计方法——以控制疲劳断裂为设计标准的力学-经验法,以控制服务能力水平为设计标准的经验-力学法,以及考虑材料和结构设计参数和交通荷载参数变异性的可靠度设计方法,着重阐明这些设计方法的构筑思路、制订依据和参数选用。第六章阐述旧混凝土路面的结构性能评定方法和加铺层设计方法,前者着重讨论弯沉测定和分析方法,后者主要论述水泥混凝土加铺层的厚度设计方法以及减缓沥青加铺层出现反射裂缝的技术措施。第七章主要讨论混凝土路面的表面特性对行车安全和车轮滚动噪音的影响,并着重介绍各种提高混凝土路表面抗滑能力和降低滚动噪音的技术措施。

本书第六章和第七章由唐伯明和姚祖康共同撰写。在全书写作过程中,唐伯明提供了许多参考文献,谨此表示衷心感谢。作者的学识和认识水平有限,书中阐述的观点和引述的材料难免有不当或错误之处,恳请读者不吝指正。

姚祖康

1999年4月

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 构造和类型.....	(1)
第二节 混凝土路面的使用性能.....	(7)
第三节 混凝土路面设计的任务、内容和方法.....	(10)
第二章 混凝土路面的结构特性	(15)
第一节 面层混凝土的强度和应力-应变特性.....	(15)
第二节 面层混凝土的疲劳特性	(29)
第三节 接缝的性能	(35)
第四节 土基和基层	(47)
第五节 路面结构内部排水	(54)
第六节 路肩	(60)
第三章 荷载应力分析	(68)
第一节 力学模型和计算理论	(68)
第二节 弹性地基板	(70)
第三节 Westergaard 公式	(79)
第四节 有限单元法	(83)
第五节 弹性多层体系理论分析.....	(104)
第四章 混凝土路面的温度和湿度状况及温度应力分析	(110)
第一节 温度状况及其预估.....	(110)
第二节 温度翘曲应力.....	(120)
第三节 温度伸缩应力.....	(136)
第四节 湿度状况及其影响.....	(138)
第五章 混凝土路面结构设计方法	(143)
第一节 控制疲劳断裂的结构设计方法.....	(143)
第二节 以服务能力为标准的结构设计方法.....	(159)
第三节 可靠度设计方法.....	(169)
第六章 加铺层设计	(185)
第一节 路面结构性能评定.....	(185)
第二节 水泥混凝土加铺层设计.....	(193)
第三节 沥青加铺层设计.....	(198)
第七章 混凝土路面的表面特性和设计	(206)
第一节 路面表面的抗滑性能.....	(206)
第二节 轮胎-路表面的噪音特性	(212)

(一) 普通混凝土

普通混凝土或称有接缝素混凝土,是指除接缝处和一些局部范围(如角隅、边缘或路口周围)外,面层板内不配置钢筋的水泥混凝土面层。这是目前应用最为广泛的一种面层类型。道路路面的混凝土面层通常采用等厚断面,其厚度变动于18cm~30cm,视轴载大小和作用次数以及混凝土强度而定。依据美国的分析和经验,当面层厚度由20cm~23cm增加到25cm或以上时,路面的使用性能可以得到很显著的提高;而当厚度增加到30cm以上时,面层厚度的增加对使用性能的影响就不大了^[1]。面层混凝土的弯拉强度变动于4.0MPa~5.0MPa。面层通常采用整体(整层)式浇筑,集料最大粒径为40mm。面层厚时,也可采用双层浇筑方式,上层采用较小的集料(最大粒径20mm以下)。面层由纵向和横向接缝划分为矩形板块,纵缝的位置通常按车道宽度设定,横缝间距一般为4m~6m(随基层刚度的增大而减小);板块的平面尺寸通常不宜超过25m²。横缝内设置传力杆以传递荷载。

(二) 碾压混凝土

这是采用不同施工方法的一种普通混凝土。它不是通过在混合料内部振捣密实成型,而是采用类似于水泥稳定粒料基层的方法铺筑,通过路碾压实成型。这类面层具有不需专用的混凝土铺面机械施工,完工后可以较早地开放交通(如7天或14天),以及可以通过粉煤灰掺代水泥而降低造价等优点。然而,其表面的平整度较差,混合料性质的均匀性较差(即变异性大),接缝处难以设置拉杆或传力杆。因而,碾压混凝土面层目前尚主要用于行车速度不太高的道路、停车场或停机坪的面层;或者,用作下面层,在其上面铺筑高强的普通混凝土、钢纤维混凝土或沥青混凝土薄面层,而形成复合式面层。碾压混凝土混合料的集料最大粒径为20mm,用作下面层时,最大粒径可略大。面层厚度和接缝设置与内部振捣式普通混凝土面层相同。

(三) 钢筋混凝土

这是一种为防止混凝土面层板产生的裂缝缝隙张开而在板内配置纵向和横向钢筋的混凝土面层。通常,它仅在下述情况下采用:

- (1) 板的长度较大,如6m以上;
- (2) 板下埋有沟、管、线等地下设施或者路基可能产生不均匀沉降而使板开裂;
- (3) 板的平面形状不规则或板内开设孔口等。

随板长、板底摩擦和钢筋强度的不同,配筋率(钢筋截面积占面层横断面面积的百分率)一般为0.10%~0.15%。由于板的长度大,接缝缝隙宽,因而横缝内应设置传力杆以提供相邻板的传荷能力。这类面层,除遇特殊情况外,已很少采用。

(四) 连续配筋混凝土

这是一种除了在邻近构造物处或与其它路面交接处设置胀缝,以及视施工需要设置施工缝外,在路段长度内不设横缝,而配置纵向连续钢筋和横向钢筋的混凝土面层。纵向钢筋的配筋率通常为0.5%~0.7%,横向钢筋的用量为纵向钢筋的1/8~1/5。连续钢筋混凝土面层的厚度为普通混凝土面层厚度的0.8~0.9倍。由于不设横缝,面层会产生横向裂缝,其平均间距为1.0m~4.5m;但由于纵向钢筋的作用,缝隙宽度较小,平均为0.2mm~0.5mm。为了约束连续配筋混凝土面层端部的过量纵向位移,以减小对邻接构造物或其它路面的推力(或压力),在其端部须采用矩形地梁或灌注桩锚固措施,或者接

连设置多条胀缝等。这类面层由于钢筋用量大，造价高，一般仅用于高速公路或交通繁重的道路，或者用于加铺已损坏的旧混凝土路面。

(五) 钢纤维混凝土

在混凝土中掺拌钢纤维，可以提高混凝土的韧度和强度，减少其收缩量。钢纤维可以采用不同方式制造，如钢丝截断法、薄钢板剪切法、熔抽法和钢坯铣削法，相应得到不同形状和横截面的纤维。前两种钢纤维所需的用量较大，体积掺量（占混凝土体积的百分率）一般为1.0%~1.2%（78~94kg纤维/m³）。熔抽法主要生产不锈钢纤维。铣削纤维的掺量为30~60kg纤维/m³。由于钢纤维混凝土的弯拉强度高于普通混凝土，因此它所需的面层厚度薄于普通混凝土面层。由于钢纤维混凝土的造价高，因而主要用作设计标高受到限制的旧混凝土路面上的加铺层，或者用作复合式混凝土面层的上面层。

二、接缝类型和构造

为了减小由于伸缩和翘曲变形受到约束而产生的应力，并满足混凝土铺筑的要求，混凝土面层需设置各种类型的接缝。按作用的不同，接缝可分为缩缝、胀缝和施工缝三类。其设置位置和构造应能满足三方面的要求：

- (1) 控制温度伸缩应力和翘曲应力所引起的开裂出现的位置；
- (2) 能提供一定的荷载传递能力；
- (3) 防止路表水下渗和坚硬杂物贯入缝隙内。

(一) 缩 缝

缩缝的作用是控制混凝土的收缩应力和翘曲应力。按设置位置的不同，有横向缩缝和纵向缩缝两种。后者在混凝土一次铺筑宽度大于4.5m时设置，接缝平行于路中线。

横向缩缝通常都垂直于路中线，等间距布置。为了控制由翘曲应力所产生的裂缝，缩缝的间距（即面层板长度）一般都在4m~6m内选用，基层的刚度越大，选用的间距应越短。为改善行驶质量，也可采用变间距缩缝，并倾斜于路中线布置，使车辆的两侧车轮不同时驶经横缝，从而减少接缝不平整的影响，避免出现车辆共振现象。例如，倾斜斜率1:6，变间距4.8m/5.7m/3.6m，或3.0m/4.2m/3.9m/2.7m，或5.1m/6.9m/6.6m/4.8m等^[2]。

缩缝有假缝、设传力杆假缝和设拉杆假缝三种构造形式（图1-2）。假缝是在混凝土表层做一槽口，待槽口下的混凝土断裂后，依靠断裂面处集料的嵌锁作用传递荷载。设传力杆假缝是在假缝内设置不妨碍混凝土板收缩位移的传力杆（圆钢筋），依靠传力杆传递荷载。这两种假缝形式用于横向缩缝，在特重和重交通道路上，应采用设传力杆假缝，以减少唧泥和错台病害的出现。设拉杆假缝为在假缝内设置拉杆（螺纹钢筋），以防止两

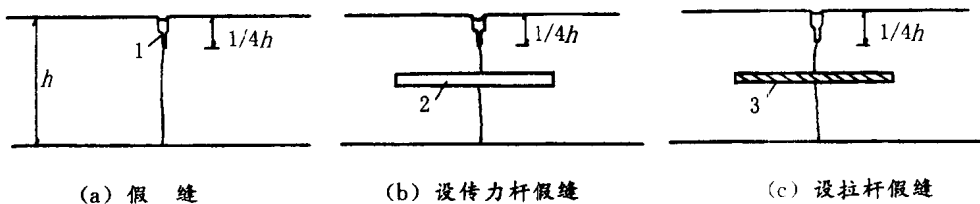


图1-2 缩缝构造

1. 槽口 2. 传力杆 3. 拉杆

侧混凝土板分开。这种形式用于纵向缩缝。

接缝的槽口可以采用在硬化混凝土中锯切或者在新鲜混凝土中压入的方式形成。槽口深度约为板厚的 1/4。槽口深度不足,则该缩缝处混凝土截面的强度削弱得不够,因而难以保证混凝土板在该预定位置处断开。槽口的宽度为 3mm~8mm,锯切的槽口,宽度小;压入的槽口,宽度较大。

槽口断面常采用窄而深的形状。这种形状的槽口,在缩缝缝隙因板伸缩而变化时,槽内的填封材料易被挤出或出现不足。因而,在采用锯切方式做槽口时,宜采用厚锯片进行第二次浅锯切,以加宽上部槽口,形成深宽度比为 1.5~3.0 的断面,容纳填封材料(图 1-3)。

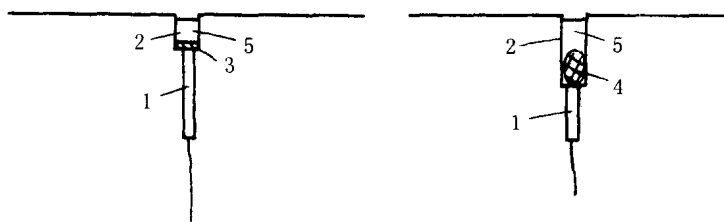


图 1-3 接缝槽口

1. 第一次锯切槽口 2. 第二次锯切槽口 3. 隔离填封料与浅槽口底部的条带
4. 隔离填封料与浅槽口底部的堵塞材料 5. 填封料

缩缝内的传力杆需不妨碍混凝土板收缩,并且不产生锈蚀。因而钢筋表面需覆以环氧涂层,或采用不锈钢钢筋。同时,传力杆应保持正确的定位,平行于路中线和板顶面,其容许偏差为每 40cm 长 ± 6 mm。为实现此要求,可在浇筑混凝土之前在基层顶面设置钢筋支架以固定传力杆的位置。传力杆的直径为 25mm~40mm,或面层厚度的 1/8,但建议采用的最小直径为 30mm。传力杆的最小长度为 40cm~50cm,其横向布置间距约为 30cm,最外侧传力杆距接缝或自由边的距离一般为 15cm。

设拉杆的纵向缩缝,由于拉杆的锚固作用,其槽口深度应大些,以保证槽口下的混凝土开裂。基层为粒料时,槽口深度为板厚的 1/3;半刚性基层时,则增加到板厚的 4/10。拉杆的尺寸和布置间距,视设拉杆接缝到自由边或者允许发生位移的接缝之间的距离而定。表 1-1 所列可供设计时参考。用拉杆连结的车道数不宜超过 4 个(15m 左右)。

表 1-1 拉杆尺寸和间距

面层板厚度 (m)	到自由边或允许发生位移的接缝间的距离 (m)	
	3.6	7.2
≤ 20	13×60×75	13×60×45
21~25	16×75×90	16×75×55
26~30	16×75×90	16×75×45

注:拉杆的数字为直径(mm)×长度(cm)×间距(cm)。

(二) 胀 缝

在采用短缩缝距和不是在低温时浇筑混凝土的情况下,仅可在邻近构造物或与其它路面不对称交叉处设置胀缝。胀缝的构造如图 1-4 所示。胀缝传力杆的尺寸、布置间距和要求,与缩缝传力杆相同。但胀缝传力杆的一端需加一金属套,套子应能罩住传力杆 5cm

长,并在套顶留下至少 2cm~2.5cm 长的空间,供板伸长位移时传力杆相应地向向前移动的余地。

(三) 施工缝

每天工作结束或因临时原因而中断施工时,需设置横向施工缝。混凝土一次铺筑宽度小于路面宽度时,需设置纵向施工缝。横向施工缝应尽可能设在缩缝处,做成设传力杆的平缝形式(图 1-5)。如有困难而设在缩缝之间时,施工缝采用设拉杆的企口形式,以保证缝隙不张开。纵向施工缝则采用设拉杆的平缝或设拉杆的企口缝形式。传力杆和拉杆的尺寸和间距,与前述缩缝和胀缝的传力杆和拉杆相同。

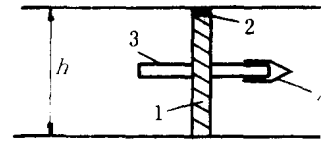


图 1-4 胀缝构造

1. 预制填缝板条 2. 填封料
3. 传力杆 4. 端部套子

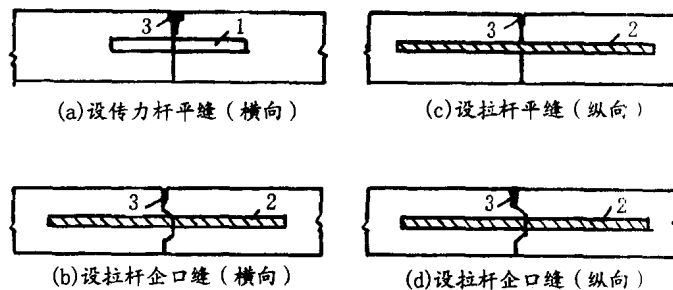


图 1-5 施工缝构造

1. 传力杆 2. 拉杆 3. 填封料

(四) 填封(缝)料

接缝槽口的填封(缝)料应具有弹性好,与缝壁混凝土表面粘结力强,温度敏感性小和耐久性好的性质。常用的填封料有热灌的橡胶沥青类、常温施工的聚氨脂焦油类或有机硅树脂以及预制压缩性嵌条等类型。

三、基层和垫层类型

对于混凝土面层下的基层,要求能提供均匀的支承,并且具有一定的刚度和耐冲刷能力。可供选择的基层类型有:

- (1) 细料(小于 0.074mm)含量少(不超过 15%)的粒料(碎石或砂砾);
- (2) 结合料(水泥、石灰-粉煤灰或沥青)稳定粒料(碎石或砾石);
- (3) 贫混凝土、碾压混凝土。

上述三类基层的刚度,随序次而增大。刚度大的基层,可以减少荷载作用下板边和板角处的挠度量,增加接缝的传荷能力及其耐久性。然而,它会引起面层板产生较大的温度翘曲应力,并增加板与基层顶面间的摩阻力,从而使混凝土面层易于出现开裂。

基层具有一定的排水能力,可将通过面层接缝或裂缝渗入路面结构内的水分迅速排除,由此提高路面的使用性能和使用寿命。因而,采用不含或少含细料的开级配粒料,或者结合料稳定开级配粒料做基层,其使用性能要优于低透水或不透水的密级配基层。

排水基层下面应设置反滤层或者密级配粒料基层,以防止路基中的细料向上迁移到基层内,堵塞排水基层。路基软弱(如粘性土填料)或潮湿(地下水位高或排水不畅)时,

应在路基顶面铺设垫层，以改善路基湿度状况和提供均匀支承，并为基层修筑提供较坚实和稳定的基础。在季节性冰冻地区，为了防止或减轻路基不均匀冻胀对面层的不利影响，路面结构应达到一定的厚度。此最小厚度随当地的最大冰冻深度和路基土质而定，见表 1-2。当混凝土面层和基层的厚度低于此最小厚度要求时，应在基层下设置垫层补足。

表 1-2 季节性冰冻地区混凝土路面结构最小厚度 (cm) 要求

最大冰冻深度 (cm)	中湿路基		潮湿路基	
	粘性土、细亚砂土	粉性土	粘性土、细亚砂土	粉性土
50~100	30~50	40~60	40~60	45~70
100~150	40~60	50~70	50~70	55~80
150~200	50~70	60~85	60~90	70~100
>200	60~95	70~110	75~120	80~130

垫层可以选用粒料 (砂砾) 或结合料 (水泥、石灰-粉煤灰、石灰) 稳定土 (或粒料)。用于排水基层下的垫层，须采用符合反滤要求的密级配粒料。

垫层的宽度宜按路基顶面的全宽铺筑。基层的宽度应比面层宽度每侧各宽出 30cm~60cm，以提供立侧模和 (或) 混凝土摊铺机械行驶所需的空间。排水基层的宽度可按路基顶面的全宽修筑，或者结合排水系统的设计 (集水沟和管的位置) 要求确定。

基层厚度一般在 15cm~25cm 内选取。垫层所需的厚度，则应按路基的水稳定性和刚度以及施工和使用期间交通的繁重程度确定；在季节性冰冻地区，则要考虑满足表 1-2 中路面结构最小厚度的要求。

四、路面排水

排水是混凝土路面设计的一项重要内容，它对路面的使用性能和使用寿命有很大的影响。

降落在路表面的水，通过路面和路肩的横坡向两侧排流。路面的横坡为 1%~2%，降水量大和行车道宽度大时，取高值。路肩的横坡应比路面的横坡大 1% 以上。流向路基边缘的表面水，通过漫流 (散流) 形式沿路基坡面汇集到两侧边沟或地面排水系统。仅在路基坡面有可能受到冲刷的情况下，在路肩外侧边缘设置拦水带，汇集表面水后经间隔一定距离布设的泄水口排出路基。

渗入路面结构内的自由水，在路基土为低透水性时，可设置路面边缘或排水基层排水系统。路面边缘排水系统为路面边缘设置纵向集水沟和管，并间隔一定距离设置横向排水管。集水沟采用透水性回填料，汇集路面-基层-路肩界面处的渗入水，并渗流入集水管，而后通过排水管排流出路基 (图 1-6)。排水基层排水系统为面层下设置由透水性材料修筑的基层，并在基层边缘设置集水沟和管，汇集排水基层内的渗流水，而后通过间隔一定距离设置的横向排水管排流出路基，参见图 1-1 中右侧断面。排水基层下应设置反

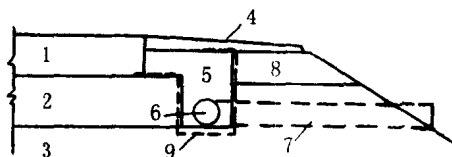


图 1-6 路面边缘排水系统

1. 混凝土面层
2. 基层
3. 垫层
4. 路肩面层
5. 纵向集水沟
6. 纵向集水管
7. 横向排水管
8. 路肩基(垫)层
9. 反滤织物

滤层或不透水垫层，以避免路基土细粒的进入而引起堵塞。排水基层也可修筑成路基全宽式，渗入基层内的水可横向排流出路基顶面。排水基层的排水效果优于边缘排水系统，后者常用于改善旧混凝土路面的排水状况。

五、路 肩

路肩的面层可以采用沥青混合料或者水泥混凝土。近年来，国外越来越多地采用混凝土路肩。混凝土路肩面层的厚度为 15cm~20cm，或者与行车道路面面层的厚度相同。路肩面层板采用与路面面层板相同的横缝间距布置，并通过拉杆与路面面层相连结。设置排水基层时，集水沟和管应设在混凝土路肩的外侧（图 1-1）。路肩垫层尽可能采用透水性材料，以提供路面内渗入水的排水通道。

为了改善路面和路肩界面处表面水渗入的不利影响以及改善路面板边缘受荷的不利状况，可以采用加宽外侧车道混凝土路面宽度 0.70m 的措施，而行车道边缘仍按原位置划线，以避免车辆沿路面板边缘行驶。

第二节 混凝土路面的使用性能

路面使用性能是指路面在使用期内为道路使用者所能提供的服务质量和服务水平。道路使用者对路面使用性能的要求，主要表现在行驶舒适、行车安全、运行经济以及减少对环境的不良影响（如降低噪音）等方面。路面向道路使用者所能提供的这些服务，通常称为路面的功能性使用性能。

为道路使用者提供功能性能的路面结构，其物理性质和状况由于行车和环境因素的不断作用而随时间发生变化，这主要表现在路面结构承载能力的退化和各种路面损坏的出现。路面的功能性能是路面结构的性质和状况的外在表现，结构性质和状况的退化必将影响功能性能，使路面的服务水平也随时间而下降。道路部门为维持路面的功能性能，更直接关注路面结构的性质和状况（通常称为路面结构性使用性能）的变化。

一、功能性能

路面功能性能是路面表面与轮胎或车辆相互作用的反映。一方面与轮胎或车辆作用的性状有关，另一方面则与路面的表面特性有关。路面表面在纵向的不平整（同理想表面间的偏差），可以用波长和波幅表示。图 1-7 中所示为路表面在不同波长时所表现出的不同功能性能问题。

波长小于 0.5mm 时，称为路表面的细构造。它与水泥砂浆和粗集料的表面粗糙度有关，为轮胎胎面提供附着力，以保证路表面的抗滑能力。波长为 0.5mm~50mm 的路表面称为粗构造，系通过拉毛、刻槽等措施在混凝土表面形成的细沟槽。它为路表水从快速滚动的车轮胎面下排除提供通路，以保证雨天高速行驶的安全性。波长 50mm~0.5m 的路表不平整称为宏构造，是由于施工方法或质量和路面材料不均匀性所造成的。波长 1mm 以上的粗构造和宏构造，都会使滚动的车轮轮胎产生较大的噪音。波长 0.5m~50m 范围的路表面起伏称为不平整度，它直接影响到行驶的舒适性和经济性。路表面的细构造和粗构造是保证行车安全所必需的，而宏构造和不平整度则不利于使用性能，应尽量

减小。

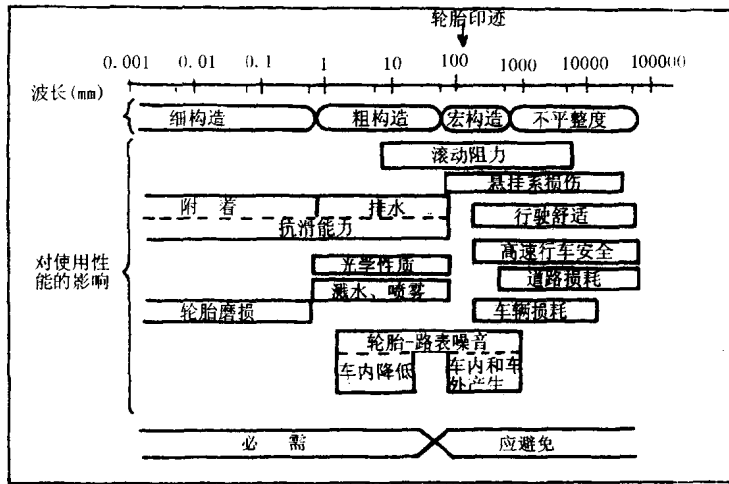


图 1-7 路面表面不平整与轮胎或车辆性状的相互作用

(一) 行驶舒适性

车辆在路面上行驶的舒适性，与①路面表面的不平整程度；②车辆悬挂系统的振动特性；③乘客对振动的反应和接受能力三方面因素有关。从路面状况的角度看，影响行驶舒适性的主要因素是路面的平整度。

路面平整度可定义为路面表面诱使行驶车辆出现振动的高程变化。路表面的这种高程变化（纵向起伏）的波长范围为 0.5m~100m。它可用两种仪器进行测量：一种是断面类测定仪器，直接沿行驶车辆的轮迹量测路表面的纵断面；另一种是反应类测量仪器，测定车辆以一定速度驶经不平整路表面时其悬挂系的累计竖向位移量。不同测定仪器的量测结果可以通过转换而采用统一的平整度指标——国际平整度指数（IRI）表示。

影响行驶舒适性的因素中包含乘客的主观感受和接受能力。因而，对舒适性的评价便带有主观成分，往往采用由评分小组对路面的舒适性进行主观评分（称为行驶质量指数，RQI），并在对路面的平整度进行客观量测后，通过回归分析建立主-客观相结合的行驶舒适性评价模型，再制定相应的行驶舒适性（或称行驶质量）等级和标准。

混凝土路面表面的不平整主要来源于裂缝和接缝。缝隙的宽度、接缝的错台和碎裂病害都会严重地影响到行驶的舒适性。而接缝间混凝土板块的竖向位移以及板表面的纵向和横向起伏，也会影响行驶的舒适性。路面的初始平整度取决于混凝土面层的施工质量，而随后平整度随时间的退化，则与混凝土路面的结构性能以及行车荷载和环境因素的作用有关。

(二) 运行经济性

车辆在路上行驶的运行费用主要包括燃油、轮胎及维修配件和工时的消耗。道路的线形（平面、纵断面和横断面）和交通状况对于车辆的运行费用有较大的影响，而路面的表面状况也会影响到车辆的运行费用。根据世界银行所进行的野外试验和分析，影响轮胎磨损的主要是路面表面的细构造和宏构造，影响燃油消耗的主要是路面表面的宏构

造和短波长的不平整，而影响车辆损耗的则是路面表面的宏构造及短波长和中波长的不平整^[3]。因而，车辆运行的经济性一部分同路表面的平整度有关（主要是维修配件和工时消耗），而其余部分同路表面的构造特性有关。

（三）行车安全

路面在提供行车安全方面的功能包括抗滑、溅水、喷雾和眩光等，其中主要是抗滑。路面的抗滑能力依赖于车轮胎面与路表面间的附着力，由路表面的细构造所提供。细构造主要指砂浆和粗集料的表面粗糙度，它会随轮胎反复作用而逐渐磨光。其磨光速率与砂和集料的硬度、交通量和气候条件有关。粗构造在行车速度较高（50km/h以上）时，对路面的抗滑能力起决定作用，其功能是使车轮胎面下的路表水迅速排除，以免在胎面与路表面间形成水膜。粗构造是采用各种机械方法在路表面拉出、压出或刻出的槽口，或者使粗集料外露而在集料间形成的构造。粗构造也会随车轮的反复作用而逐渐磨光，而影响其磨耗速率的主要是构造深度、交通组成（轮胎压力对粗构造的磨耗起主要作用，因而重车比轻车的影响大得多）和气候条件。

（四）对环境的影响

众多的接缝，较高的刚度，以及为提供抗滑能力而在路表面筑做的粗构造，使行驶在混凝土路表面的车轮轮胎产生较大的噪音。这使混凝土路面对周围环境带来不良影响。近年来，探讨了多种措施以降低混凝土路面的噪音。这些措施主要是在设计混凝土表层材料时优化路表面的构造特性，以达到平衡抗滑和降低噪音的矛盾要求。

二、结构性能

混凝土路面的结构性使用性能包含各种路面损坏（病害）和结构的承载能力。它反映了结构的完好程度和变化趋势。

（一）路面损坏

路面在使用过程中会随行车荷载和环境因素的不断作用而出现各种损坏。这些损坏具有不同的形态和肇因，并对结构性能和功能性能产生不同的影响。它们可分为以下四大类。

1. 断裂类

混凝土板块出现纵向、横向、斜向或角隅断裂裂缝。这些裂缝的缝隙随时间而逐渐变宽，并在缝隙边缘出现碎裂。断裂的进一步发展，使板出现两条以上交叉裂缝，并进一步断裂成三块以上的破碎板。裂缝的出现是由于板内产生的应力超出了混凝土的强度或疲劳强度。断裂损坏破坏了板的结构完整性，使之迅速丧失承载能力。在断裂出现的初期，裂缝对路面行驶舒适性没有很大影响。但随着裂缝的发展，特别是出现破碎板，路面的平整度可严重恶化到必须进行改建或重建。

2. 接缝损坏类

这也是混凝土路面最常见的一类病害，包括填封料损坏和丧失、接缝碎裂、唧泥、错台和拱起等。接缝是混凝土路面的薄弱部位，施工或养护的不当，水和坚硬杂物的进入，都会使接缝两侧的混凝土出现病害。这些损坏在早期并不影响混凝土板的结构完整性，但可影响路面的行驶舒适性。而发展到后期，由于接缝两侧板底出现脱空，可使面层板迅速出现断裂损坏。