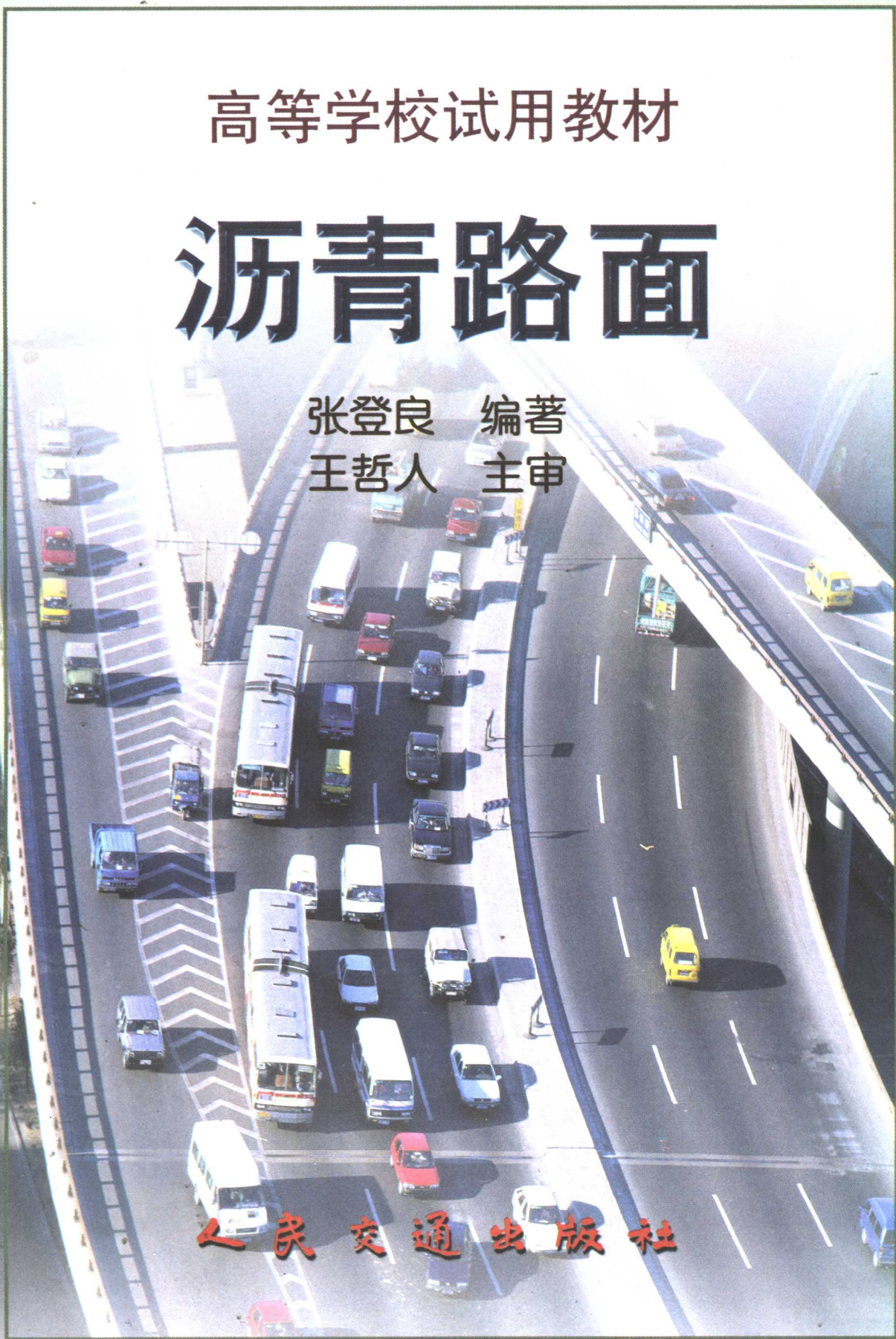


高等学校试用教材

沥青路面

张登良 编著
王哲人 主审

人民交通出版社



高等学校试用教材

Liqing Lumian

沥青路面

(公路与城市道路工程专业用)

张登良 编著

王哲人 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

《沥青路面》是一本论述沥青路面结构强度理论、路用技术性能、配合比设计与结构设计及养护管理等内容的专著。书中纳入了国内外沥青路面领域的最新研究成果。

本书可作为高等院校公路与城市道路工程专业研究生教材,亦可供有关专业科技人员、工程技术人员、高校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

沥青路面/张登良编著.-北京:人民交通出版社,1998

ISBN 7-114-03088-6

I. 沥… II. 张… III. 沥青路面 IV. U416.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 20155 号

高等学校试用教材

沥 青 路 面

(公路与城市道路工程专业用)

张登良 编著

王哲人 主审

责任印制:张 凯 版式设计:崔凤莲 责任校对:张 捷

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京京东印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:13 字数:332 千

1998 年 12 月 第 1 版

1998 年 12 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—3000 册 定价:16.00 元

ISBN 7-114-03088-6

U·02219

前 言

随着我国公路运输事业的蓬勃发展，公路建设日新月异，特别是改革开放以来，我国高等级公路建设像雨后春笋般得到了突飞猛进的发展。截至1997年底，全国公路总里程已达118万公里，其中高等级汽车专用公路1.78万公里，高速公路3258km。在国内外的高等级公路的路面中，绝大多数为沥青路面。交通量的增长，汽车载重量的加大，以及行车速度的提高对沥青路面的使用性能提出了更高的要求。

数十年来，世界各国对沥青路面的研究都给予了极大的关注，并取得了长足的进展。特别是1994年完成的美国战略公路研究计划（SHRP）对沥青材料、沥青混合料及沥青路面等各个领域进行了系统、广泛地研究，取得了系列成果。我国自80年代以来，在“六五”、“七五”和“八五”科技攻关中，都把沥青路面列为重点研究课题，取得了可喜的进展。

《沥青路面》是路面工程专业研究生教材。该教材重点论述高等级公路沥青面层，对沥青路面的结构强度理论、路用性能、配合比设计与结构设计以及养护管理等进行了系统论述，还介绍了四种新型沥青路面的有关内容。本教材在编写过程中，吸收了国内外近年来的最新科研成果，包括美国SHRP成果和我国近年来科技攻关方面的成果，并纳入了本书编著者近年的部分研究成果。

本书力图从沥青路面的结构强度理论和力学特性（本构关系）入手，扩展到沥青路面材料的路用性能，在此基础上提出沥青混合料配合比设计和结构设计方法及养护管理系统，使沥青路面的结构设计同使用性能统一起来。沥青路面的施工工艺固然重要，但考虑到本书的体系，未作专门论述。

本书由张登良教授主编，第一、六、七章由西安交通大学张登良编写，第二、三章由延西利编写，第四、五章由郝培文编写，第八章由韩森编写，全书由哈尔滨建筑大学王哲人教授主审。

由于编著者水平所限，书中错误与不妥之处在所难免，敬请批评指正。

目 录

第一章 总论	1
§ 1-1 沥青路面及其发展	1
§ 1-2 沥青路面的工作条件与工作特性	4
§ 1-3 沥青路面的损坏类型及其原因	8
§ 1-4 对沥青路面的基本要求	9
§ 1-5 沥青路面使用性能的气候分区	11
第二章 沥青路面面层材料的结构与强度机理	16
§ 2-1 三相体系与压实性能	16
§ 2-2 沥青路面的结构类型与强度特性	18
§ 2-3 沥青路面强度理论与强度参数	20
第三章 沥青路面的力学特性	23
§ 3-1 基本力学特征	23
§ 3-2 沥青路面材料的粘弹性性质	26
§ 3-3 沥青路面材料的力学模型	31
第四章 沥青路面的稳定性与耐久性	35
§ 4-1 沥青路面的高温稳定性	35
§ 4-2 沥青路面的低温抗裂性	55
§ 4-3 沥青路面的水稳定性	75
§ 4-4 沥青路面的疲劳特性	81
§ 4-5 沥青路面的老化性能	100
第五章 沥青路面混合料组成设计	109
§ 5-1 沥青混合料组成设计的目的与内容	109
§ 5-2 矿料级配理论和组成原理	110
§ 5-3 沥青路面混合料组成设计 (I)	116
§ 5-4 沥青路面混合料组成设计 (II)	130
§ 5-5 沥青路面混合料组成设计 (III)	138
§ 5-6 不同沥青混合料组成设计方法评价	151
第六章 沥青路面结构设计	153
§ 6-1 总则	153
§ 6-2 沥青路面结构组合设计	154
§ 6-3 沥青面层的类型及对组成材料的要求	159
§ 6-4 半刚性基层上沥青面层合理厚度的确定	162
§ 6-5 新建沥青路面结构厚度计算	164
§ 6-6 改建沥青路面设计	167

第七章 沥青路面养护管理系统	170
§ 7-1 沥青路面长期使用性能	170
§ 7-2 沥青路面养护管理系统综述	174
第八章 新型沥青路面结构	185
§ 8-1 沥青玛蹄脂碎石路面	185
§ 8-2 透水性沥青路面	188
§ 8-3 塑料格栅沥青路面	192
§ 8-4 半刚性沥青路面	196
参考文献	199

第一章 总 论

§ 1-1 沥青路面及其发展

据历史记载，远在公元前 3800 年到 2500 年间，人类就开始使用沥青，并先后在埃及的尼罗河、美索不达米亚的底格里斯河及幼发拉底河、巴基斯坦的编河等流域开发沥青矿藏。

约在公元前 600 年，在巴比伦铺筑了第一条沥青路面，但这种技艺不久便失传了，一直到 19 世纪，人们才又用沥青来筑路。据记载，1833 年在英国开始进行煤沥青碎石路面铺装；1854 年在巴黎首次用碾压法进行沥青路面铺装；1870 年前后在伦敦、华盛顿、纽约等地采用沥青做路面铺装。

自从沥青用于道路工程之后，由于自原油蒸馏所得的渣油感温性差，迫切需要加以处理，于是各种沥青改性措施便应运而生。大约在 1866 年，曾有人采用硫化法，即用硫磺与沥青共热的方法，使所得产品软化点升高，针入度降低，其商品名曰匹兹堡沥青(Pittsberg flux)。1881 年 E. J. De Smedt 使用化学氧化剂制取氧化沥青，成功地改善了沥青的性质。1894 年美国的 F. X. Byerleg 在沥青温度为 316 C (600 F) 时吹入空气，成功地制取了氧化沥青。

人们在筑路或其他作业时，常感到沥青需要加热，使用上很不方便，1910 年在科诺大学广场上开始第一次使用稀释沥青。当时，沥青的铺路技术，还只限于在道路表面上涂刷一层沥青，即当今的单层沥青表面处治。在此以前，可以算是沥青材料在道路工程中使用的启蒙时期。

第二个时期大约在 20 世纪的 20 年代到 50 年代，在这个时期中，沥青路面技术在欧美等许多国家得到迅速发展。1911 年美国首先提出按针入度作为沥青的分级指标。1916 年德国马尔库逊 (Malcuson) 提出了最初的沥青组份分析方法，研究了沥青组份含量和路用性能的关系。其后，经过雷西希娜 (Жирихина)、哈巴尔特 (Habalt)、科贝尔特 (kobelt)、饭岛博等人的补充和修正，形成了目前的组份分析法。在这一时期中，各国对沥青的物理性能、化学结构及试验方法等进行了大量的研究。但是由于沥青组成和结构的复杂性，研究未取得重大的突破。

近几十年来，随着公路等级的不断提高，对沥青材料提出了更高的要求，促使研究工作进一步深入开展。除针入度、延度、软化点等目前习用的三大指标外，先后提出了脆点、含蜡量、族组份分析、粘附性以及回转变膜烘箱老化等一系非常规指标。还应用流变学的理论和方法研究了沥青的粘弹性力学特性、蠕变、应力松弛、沥青性能对温度和时间的依赖关系，以及劲度和针入度指数等与流变学有关的指标。

与此同时，出现了各种改性沥青，如往沥青中掺入橡胶、树脂、硫磺及其他高聚物等。

在路面结构类型方面，由于单层沥青表面处治已不能满足交通要求，出现了用沥青混合料摊铺的沥青路面，并开始制定沥青混合料的技术要求和质量评定方法。沥青混合料的试验方法首先是 1920 年出现的哈伯费尔特法 (试样直径 2in、高 1in)，随后，随着交通量的增长、

车辆荷重的增大, 沥青路面结构层使用颗粒较粗的碎石, 对哈伯费尔特试验进行了修正, 提出了修正的哈伯费尔特法(试样直径 6in、高 3in)。第二次世界大战期间, 美国工程兵团为谋求机场工程施工快速化, 由密西西比州道路局的马歇尔工程兵团提出了马歇尔稳定度试验方法, 并通过试验研究提出了初期的马歇尔稳定度标准。该标准确定对双轮胎压力 0.7MPa, 要求稳定度在 2270N 以上, 流值在 20 (1/10mm) 以下, 空隙率 3%~7%。还有维姆法和单轴压缩试验法也用于沥青混合料试验, 亦提出了相应的标准。这些试验方法至今仍在沿用, 只是根据交通发展的要求对标准进行了适当修订。

近年来, 乳化沥青的问世受到了人们的关注, 并有逐渐取代稀释沥青的趋势。

这个时期, 在一些石油资源开发较晚或贫油的国家中, 沥青路面也开始了试验应用。我国于 1935 年在南京附近利用进口沥青修筑了沥青路面试验路段; 1941 年又在滇缅公路修筑了沥青双层表面处治 155km; 抗日战争胜利后又在宁杭公路修筑了沥青贯入式及双层沥青表面处治等沥青路面。

随着公路交通运输的发展, 路面的铺装率迅速提高, 技术等级较高的公路多数采用沥青路面, 因此石油沥青的需求量逐年上升。

从 50 年代开始, 沥青路面的研究进入了沥青及沥青混合料的理论研究阶段, 即沥青路面发展的第三个时期。在这个时期沥青路面的研究主要有以下几个方面:

(1) 研究沥青材料的性质及其与矿料之间的相互作用机理, 借以改善沥青性能, 提高沥青混合料的强度与稳定性。

(2) 在车辆荷载的重复作用下, 低温时产生收缩与疲劳开裂, 高温时产生永久变形和车辙, 这些是沥青路面的典型破坏现象。裂缝及车辙的形成规律及其预测与防治方法是近年来以及今后一个时期研究的重要课题。

(3) 以提高耐久性为目的的沥青路面结构类型的研究也是近些年来重点研究的课题之一。目前大交通量的沥青路面, 除采用沥青混凝土面层外, 有些国家主张采用密实的沥青面层, 如德国的摊铺式沥青路面, 英国的碾压式沥青路面和美国的沥青砂胶面层, 还有一些国家研究采用沥青玛蹄脂碎石路面和半刚性沥青路面, 这些对提高沥青面层的路用性能都具有重要的意义。

(4) 沥青路面的平整度与粗糙度是两项主要的表面特性, 也是这个时期研究的重要课题。沥青路面的平整度, 主要通过改进、完善沥青混凝土摊铺设备来实现。为了提高沥青路面的粗糙度, 研究提出了采用间断级配的防滑面层结构, 还有一些国家研究试铺了大空隙透水性沥青路面结构。

(5) 沥青及沥青混合料性能改善的研究, 也引起了世界各国的极大关注, 采用橡胶类、热塑性弹性体和树脂类等各种聚合物改善沥青性能已成为当今沥青路面研究的一个热门课题。

(6) 许多国家都力图建立沥青路面的数学力学模型, 同时大力开展沥青混合料的蠕变性能和动力性能研究, 以建立一套完整的设计方法及提供必要的设计参数。

(7) 近年来, 由于多次出现能源危机, 沥青路面的再生和沥青材料重复利用受到了极大的重视。许多国家对沥青路面再生机理、再生混合料的性能与设计方法, 以及对旧沥青路面的回收、加热、拌和、摊铺等施工工艺与施工机械等都进行了大量的研究。

改革开放以来, 我国在沥青路面方面通过三个五年计划的科技攻关, 取得了较大进展, 现概述如下:

“六五”期间主要针对我国生产的普通石油沥青进行了沥青混合料的部分性能及改性沥青

的研究。在高温稳定性方面，用粘弹性理论计算（预估）车辙深度，用单轴蠕变试验确定有关参数，提出我国各个地区的沥青有效使用温度；在沥青低温抗裂性方面，借用希尔斯公式判断开裂温度，用低温劲度试验确定相应的参数，用能量法计算低温开裂，以及用应力消解层缓解反射裂缝；在沥青改性方面，主要研究用橡胶（丁苯橡胶、废橡胶粉）改善沥青性能，并研制出丁苯橡胶母体。

“七五”期间，主要针对我国重交通道路石油沥青——单家寺沥青的使用性能进行了较为系统的试验研究工作。在高温稳定性方面，沿用粘弹性理论计算车辙深度，并进行了车辙试验及少量环道试验与快速加载试验；在低温抗裂性方面，进一步用能量法计算低温开裂，用劈裂试验确定有关参数，对路面温度应力计算进行了理论推导；在沥青改性方面，对聚乙烯、碳黑等改性沥青性能进行了探索性研究，丁苯橡胶母体得到了一定范围的推广应用。

“八五”期间，借助美国“战略公路研究计划”（SHRP），针对当前国产的七种沥青及其沥青混合料进行了全面系统的研究，提出符合我国不同自然区域道路实际使用状况与路用性能的沥青及沥青混合料的技术指标及相应的试验方法，主要包括高温、低温、水损害、老化等几个方面，并提出初步技术标准建议值。

值得一提的是美国 SHRP 计划中的沥青研究项目（1988~1993 年），其研究经费占整个 SHRP 计划的三个之一，约五千万美元。该研究项目的主要任务是制定一个以路面性能为基础的沥青材料规范，沥青混合料规范，以及相配套的沥青混合料设计分析方法。其基本思路是一方面将沥青的化学性质和物理性质分别与路面性能的研究联系起来，研究化学性质与物理性质之间的关系，从而将沥青混合料性质同路面使用性能联系起来，整个研究项目中由一个实验设计、协调和材料控制的合同组织起来，朝着经济上、技术上可行的方向发展。试验研究中共采集了 32 种沥青、11 种集料和 82 种改性剂。沥青研究项目共有九个合同：（1）实验设计、协调与材料控制；（2）沥青胶结料特性与评价；（3）研究沥青胶结料的新方法；（4）沥青核磁共振研究；（5）沥青—集料相互作用和混合料的试验与测试；（6）沥青—集料相互作用的基本性质研究；（7）沥青改性和改性剂；（8）性能模型和试验结果验证；（9）沥青混合料性能规范。沥青研究成果共 22 项，其中规范 2 个，试验方法 18 个，软件/手册 2 个，可归纳为六个方面：（1）沥青与沥青混合料路用性能规范；（2）沥青性能试验；（3）沥青混合料加速性能试验；（4）沥青水敏感性；（5）沥青样品准备与条件；（6）沥青炼制指南及沥青成分分析技术。

尽管 60 年代以来，国内外许多学者对沥青的性能和结构进行了大量的研究，但是由于沥青材料是一种成分极为复杂的无定型高分子化合物的混合物，而目前的分析仪器，如红外光谱吸收仪、各种光线衍射仪、电子探针等，仅适用于分析结晶型高聚物，而沥青属于无定型领域中的高分子化合物的混合物范畴，用这些仪器分析沥青诚难奏效。虽然目前扫描电子显微镜可以直接观察到无定型高分子物质的聚集状态，但对其聚集状态的分析还存在着许多困难。另外，沥青路面的品质同沥青性能、拌和方法、混合料设计、集料类型和施工质量等密切相关，同时沥青路面又是工作在复杂多变的气候条件与交通荷载的情况下，如何将各种情况下沥青路面的使用品质同沥青及沥青混合料的性能指标联系起来，尚需进行大量的工作。

沥青路面今后需进一步深入研究的课题有下列几个方面：

1. 进一步验证与完善已提出的沥青及沥青混合料的性能指标与标准，使其与路面的使用性能相适应；

2. 进一步深入研究改善沥青与沥青混合料的新型改性剂及改性工艺，以期提高在不同条

件下沥青路面的使用品质；

3. 研究新型沥青路面结构与铺筑工艺，以提高沥青路面的使用品质，延长其使用寿命；
4. 改进与完善沥青混合料设计方法，以满足各种不同环境下沥青路面的使用要求；
5. 研究半刚性基层沥青路面结构中沥青面层的功能及其合理厚度的确定；
6. 研究沥青路面使用性能的评价与预测方法，提出合理的维修养护时机与方法。

§ 1-2 沥青路面的工作条件与工作特性

当前世界各国的高等级公路大多采用沥青路面，其原因是由于它具有下列诸多固有的良好性能：

- (1) 足够的力学强度，因而沥青路面能很好地承受车辆荷载施加到路面上的各种作用力；
- (2) 一定的弹性和塑性变形能力，因而能承受应变而不破坏；
- (3) 与汽车轮胎的附着力较好，可保证行车安全；
- (4) 有高度的减振性，可使汽车快速行驶，平稳而低噪声；
- (5) 不扬尘，且容易清扫和冲洗；
- (6) 维修工作比较简单，且沥青路面可再生利用。

沥青路面的使用经验表明，由于选料或施工、养护不当，常常过早地发生各种变形和损坏，导致路面的使用期限缩短或维修费用增加。为了提高沥青路面的使用品质和耐久性，必须认清其工作条件和工作特性。

具有显著流变性质的沥青路面的强度、稳定性和可靠性有别于一般固体的相应概念，这是因为沥青路面的性质具有随温度和加荷时间而变化的特性。即在不同的温度和加荷方式的情况下，沥青路面可具有弹性、粘滞性或塑性的性质。

沥青路面在低温、短时间荷载的作用下接近于弹性体；随温度升高，特别是荷载作用时间的增长或荷载重复次数的增多，沥青路面逐渐接近于塑性体。沥青路面的变形则由其粘滞性质所决定。当荷载作用时间较短时，沥青路面的变形基本上是弹性的，但又不像弹性体那样变形瞬时就能恢复，而是受粘滞度的影响而逐渐恢复；当荷载作用时间较长或荷载重复作用时，会因粘滞蠕动而产生残余变形。

沥青路面通常用来作为路面的面层，因而它承受着各种车辆荷载和自然因素的直接作用。

作用于路面上的行车荷载是比较复杂的。从荷载作用的方向来看，有垂直荷载和水平荷载；就荷载的动力性质而言有静荷载与动荷载；而荷载作用的时间和频率，不仅有较长时间的作用，而且有瞬时的多次反复作用等等。

行车荷载对路面施加的作用力，大致可分为下列几种：①通过车轮传给路面的垂直压力；②由于制动、加速、转向以及克服前进中的各种阻力对路面施加的水平力；③由于路面高低不平、汽车颠簸和汽车机件振动而施加于路面的冲击力和振动力；④由于车轮后方与路面之间形成暂时的真空而产生的真空吸力。

沥青路面在车轮荷载的重复作用下，塑性变形逐步积累，导致产生永久变形或车辙，从而使路面平整度降低。这种塑性变形主要发生在高温季节沥青路面的“软化”时期。

沥青路面在车轮垂直荷载的作用下，当基层整体强度较低时，将产生较大的弯拉应力和弯拉应变；在低温季节，沥青路面质地脆硬，抵抗变形的能力极差，在车轮荷载的反复作用下，当应力或应变超过沥青路面的疲劳极限时，则产生裂缝，这是导致路面破坏的主要原因

之一。

行车荷载的水平力作用对沥青面层的力学特性有着重要的意义。在垂直力与水平力的综合作用下，沥青面层中将产生较大的剪切应力。在高温季节，路面的强度降低，当所产生的剪切应力超过其本身的抗剪强度时，常发生沥青路面的推移、拥包等。这种现象多发生在急弯、陡坡以及车站、十字路口等水平力作用较大之处。

沥青路面由于刚度较低，对来自车轮荷载的冲击、振动力有一定的缓冲与消振的能力。

铺筑在路表的沥青面层还承受着车轮的磨耗作用，由于沥青膜包裹了矿料表面，使得沥青路面的耐磨性有所提高。

由于沥青路面中的细料被沥青牢固地粘结在一起，故在真空吸力作用下不会导致扬尘。

各种自然因素对沥青路面的物理、力学性质有直接的影响，尤其是温度和水这两个因素对沥青路面具有极其重要的影响。

沥青的粘度受温度的影响极大，即随着温度的升高，其粘度下降，由低温时的硬脆固体，到常温下的粘弹性体，以致高温时呈流动状态。研究表明，沥青的针入度 (P) 与温度 (T) 之间存在如下关系：

$$\lg P = aT + b \quad (1-1)$$

式中， a 、 b 为试验常数。

同时，沥青混合料的强度受温度的影响也很大。当温度高于沥青混合料的脆化点温度时，沥青混合料的强度随着温度的降低而急剧增大；当温度低于其脆化点温度以后，沥青混合料的强度则随着温度的降低而减小。应注意的是，虽然在低温时沥青混合料具有很高的强度，但其抵抗变形的能力则显著降低。因而在冬季低温期间，沥青路面常由于面层本身的收缩，当路面的延伸度超过其允许极限值时，即导致沥青面层的开裂。

必须提出的是，沥青路面的温度与气温并不相同，沥青路面内不同深度处的温度也不一致，它是随着观测季节、观测时间、路面厚度等因素而变化的一个复杂变量。

日本的秋山政敬对沥青路面温度的调查研究得出了下列几点结论性意见：

(1) 沥青路面的表面温度 T_s 与气温 T_a 之间，在雨天时大致有直线关系，而在晴天与阴天时则呈曲线关系，其关系式表达为：

$$\text{雨天时} \quad T_s = 1.233T_a + 0.833 \quad (1-2)$$

$$\text{晴天与阴天时} \quad T_s = 1.100T_a + 1.500 + 1.700e^{0.126T_a} \quad (1-3)$$

(2) 沥青路面面层内最高温度 T_{\max} 与其表面温度之间，不管层厚大小，皆为直线关系。但层厚越大则其比率也越大，其关系式表达为：

$$T_{\max} = mT_s + b \quad (1-4)$$

式中， m 、 b 为系数，随路面层厚不同而有如下变化：

层厚 (cm)	m	b
25	0.802	1.702
20	0.804	1.401
15	0.854	0.688
10	0.918	0.303
5	0.980	0.798

(3) 沥青路面内温度与其表面温度之间的关系是：越接近沥青层的表面，气温对层内温

度的影响越大，反之则越小；每天的11~12点表面温度最高，13点以后表面温度开始下降，此时层内温度反而偏高。

(4) 当气温在10℃左右时，以及在雨天时，沥青路面的表面及层内温度最为稳定。一般在3月和11月时，由于昼夜温差较小，沥青路面的温度变化幅度较小。

(5) 从整层着眼，采用沥青层的层内平均温度作为计算温度较为合理，通常把这个温度称为“平衡点温度”。

我国上海地区沥青混凝土面层温度状况的回归方程为：

$$T_{\max} = 8.68 + 0.874T_{\max}^0 + 0.007L \quad (1-5)$$

式中： T_{\max} ——路面表面最高温度（℃）；

T_{\max}^0 ——最高气温（℃）；

L ——日辐射热（ $J/cm^2 \cdot d$ ）。

可以认为，路面表面温度的周期性变化与气温的变化规律基本上是一致的。但是，在太阳直接辐射下，由于有一部分辐射热被路面吸收，致使路面表面的温度较气温高。

图1-1所示为沥青路面中不同深度的昼夜温度变化。可以看出，太阳辐射和气温对沥青路面的温度有很大影响。路面不同深度处的温度，也随气温变化呈现出周期性变化，但变化的幅度随深度的增大而减小。

图1-2示出原苏联阿利耶夫在巴库地区夏季炎热一天观测的沥青混凝土路面受热的规律性。曲线表明，该地区沥青混凝土路面的最高温度达到62℃，此温度发生在最炽热的日光辐射后，并能保持2h左右。此时的路面温度比地面温度高出将近一倍。

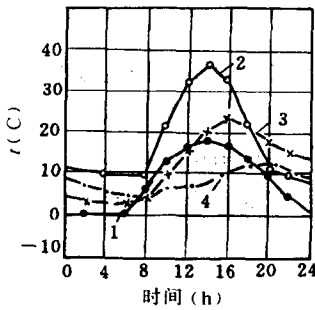


图1-1 沥青路面的昼夜温度变化规律

1-气温；2-6.5cm深；3-10cm深；4-30cm深

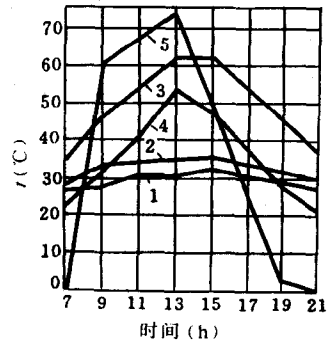


图1-2 沥青混凝土路面受热的规律性

图1-2中：1-沥青混凝土路面上空（高1.8m处）的空气温度；

2-沥青混凝土路面上空（高0.1m处）的空气温度；

3-沥青混凝土路面的温度；

4-土壤表面处的温度；

5-日光辐射温度。

综上所述可以认为：决定沥青路面结构层内温度状况的因素有外部和内部两类，外部因素主要是气候条件，诸如太阳辐射、气温、风速、降水量和蒸发量等。其中太阳辐射和大气温度是决定路面温度状况两项最重要的因素。射到路面的短波辐射热（太阳直接辐射和大气散射辐射），一部分被路面反射掉，余下部分则被路面吸收而增高其温度。大气和路面发出的长波辐射，构成了路面的再辐射，使路面放出部分热量。大气和路面之间的温度差异，引起

了对流热的变换。风的作用加强了对流，加速了路面热量的散失。降水和随后的蒸发都会使路面的温度降低。

内部因素则为路面各结构层的热力学参数，主要有热传导率、热容量（比热）和辐射热的吸收能力等。

路面内的温度可根据气象资料应用理论方法来估算。假设路面温度在平面方向上为均匀分布，则其温度场可用一维热传导方程表示：

$$\frac{\partial T}{\partial Z^2} = \frac{\gamma S \partial T}{K \alpha} \quad (1-6)$$

式中：T——温度场（C）；

Z——距路面表面的深度（m）；

t——时间（s）；

γ ——路面材料的密度（kg/cm³）；

S——路面材料的热容量（J/kg·C）；沥青混凝土 S = (837~921) J/kg·C；

K——路面材料的热传导率（W/m·C）；沥青混凝土 K = (1.214~3.099) W/m·C。

应用不同的边界条件和方法求解上述偏微分方程即可得到温度场的解析式。

美国 E. S. Barber 把影响路面温度的两项主要气象因素——气温和辐射热，综合成一种当量的有效温度 T_e ，并假设其随时间呈正弦周期性变化：

$$T_e = T_M + T_V \sin \frac{\pi t}{12} \quad (1-7)$$

并且假设路面结构为半无限体，根据这些条件解得路面的温度场为：

$$T = T_M + T_V \frac{H}{\sqrt{(C+H)^2 + C^2}} e^{-z} \sin\left(\frac{\pi t}{12} - 2C - \arctg \frac{C}{C+H}\right) \quad (1-8)$$

式中： T_M ——平均有效温度（C）；

$$T_M = T_A + R$$

V——平均风速（km/h）；

T_A ——平均气温（C）；

R——辐射热使气温增高为有效温度的平均增量（C），估计长波再辐射的净损失平均约为 1/3，则

$$R = \frac{0.67bQ}{24h_c} \quad (1-9)$$

b——路面对辐射热的吸收能力（%），沥青混凝土 b = 88%~95%；

Q——太阳日辐射热（J/m²）；

h_c ——考虑到对流和再辐射的表面系数（对流系数），

$$h_c = 7.37 + 2.46V^{0.73}$$

T_V ——同平均有效温度的最大偏差（C）；

$$T_V = 0.5T_R + 3R$$

T_R ——气温的日变化幅度（C）；

t——从温度周期起点的起算时间（h）；

H——对流系数与面层材料传导率的比值，即 $H = h_c/K$ ；

C——路面材料热特性综合参数，

$$C = \sqrt{\frac{\pi sr}{24k}}$$

计算路面的最高温度时,以 $Z=0$ 和正弦函数值为 1 代入 Barber 计算式可得简化公式为:

$$T_{\max} = T_A + R + \frac{H}{\sqrt{(C+H)^2 + C^2}} (0.5T_R + 3R) \quad (1-10)$$

水对沥青路面的影响主要表现在: ①沥青路面在水的作用下会使沥青与矿料分离, 还会将沥青中某些可溶性化合物溶解并冲走, 尤其是当水中含有易溶盐时会发生乳化作用, 从而加剧了溶蚀作用; ②沥青路面长时间浸水后会因含水量增加而发生体积膨胀, 强度降低。沥青路面受水影响的程度取决于当地的气候、水文情况、路表的排水能力、路面的渗水性, 以及沥青路面本身的水稳定性。

此外, 沥青路面在使用过程中, 在阳光、温度、空气等大气因素的作用下, 沥青中的轻质组份逐渐挥发, 并不断发生氧化聚合反应, 使沥青中的油份、树脂逐渐减少, 沥青质相对增多, 且因为沥青质部分地转化为沥青碳, 致使沥青路面粘塑性降低, 路面干涩、裂缝、松散相继出现, 即发生沥青路面的“老化”。随着老化现象的发展, 沥青变脆, 沥青路面的抗变形能力降低, 在行车荷载和冰冻的作用下, 极易产生裂缝, 最终形成龟裂而导致路面的破坏。沥青路面的老化速度取决于当地的气候、沥青路面的层位, 以及沥青和沥青混合料的性能。在气温较高及日照时间较长的地区, 受大气因素作用较为剧烈的表层, 老化速度最快; 沥青中不饱和烃及芳香烃较多时, 也易发生老化; 沥青混合料的空隙率大会加速老化; 矿料中含有铝、铁等盐类时, 会起催化作用, 它们与沥青中的沥青酸作用生成有机酸铝盐或铁盐, 从而亦加速沥青的老化。

§ 1-3 沥青路面的损坏类型及其原因

高等级公路沥青路面上常见的损坏现象主要有裂缝(横向、纵向及网状裂缝)、车辙、松散剥落和表面磨光等。

1. 裂缝 沥青路面上出现的裂缝, 按其成因不同分为横向裂缝、纵向裂缝和网状裂缝三种类型。裂缝是高等级公路沥青路面最主要的一种破损形式。

横向裂缝是指垂直于行车方向的裂缝。按其成因不同, 横向裂缝又可分为荷载型裂缝与非荷载型裂缝两大类。

荷载型裂缝是由于路面结构设计不当或施工质量低劣, 或者由于车辆严重超载, 致使半刚性基层沥青路面在反复的交通荷载作用下, 沥青面层或半刚性基层内产生的拉应力超过其疲劳强度而断裂。荷载型裂缝首先在路面的底面发生, 在车辆荷载的反复作用下, 裂缝逐渐向上扩展至表面。

由车轮荷载产生的裂缝反映在面层上, 往往不是单独的、稀疏的或较有规则的裂缝, 而是稠密的、有时是互相联系的裂缝。

非荷载型裂缝是横向裂缝的主要型式。这种裂缝又有两种情况: 沥青面层缩裂和基层反射裂缝。

沥青面层缩裂多发生在冬季气温较低的地区或易发生温度骤变的地区。当沥青面层中的平均温度低于其断裂温度时, 或者说在降温过程中沥青面层所产生的拉应力超过其在该温度时的抗拉强度时, 沥青面层即发生断裂。另外, 当骤然降温(如南方高温天气突然降雨, 或

北方寒流袭击)时,沥青面层骤然收缩,其产生的应力来不及松弛,也会导致沥青面层的开裂。应指出的是,沥青面层的温缩裂缝经常是在温度应力的反复作用下,逐渐发展与扩张的。

基层反射裂缝是指半刚性基层先于沥青面层开裂。在荷载应力与温度应力的共同作用下,在基层开裂处的面层底部产生应力集中而导致面层底部开裂,尔后逐渐向上扩张而使裂缝贯穿。半刚性基层的开裂通常由温缩或干缩引起,多数情况是在基层铺筑后,由于未及时按规定养生或由于未及时铺筑沥青面层,使基层长期暴露在大气中,在降温和水分蒸发联合作用下而开裂;当然也可能是在铺筑沥青面层后,路面在使用过程中,由于温度骤变使基层的日温差超过某一范围致使其温度应力超过其抗拉强度时而断裂。后者一般发生在沥青面层较薄且在日温差较大的地区。

非荷载型横向裂缝一般比较规则,每隔一定的距离产生一道裂缝,裂缝间距的大小取决于当地的气温和沥青面层与半刚性基层材料的抗裂性能。气温高、日温差变化小、面层和基层材料抗裂性能好的路段,一般间距较大,且出现裂缝的时间也较晚。

纵向裂缝产生的原因有两种可能性,一种情况是沥青面层分路幅摊铺时,两幅接茬处未处理好,在车辆荷载与大气因素作用下逐渐开裂;另一种情况是由于路基压实度不均匀或由于路基边缘受水浸蚀产生不均匀沉陷而引起。

网状裂缝主要是由于路面的整体强度不足而引起,其原因可能是路面结构设计不合理,路基路面压实度不足,路面材料配比不当或未拌和均匀等;也可能是由于路面出现横向或纵向裂缝后未及时封填,致使水分渗入下层,尤其在融雪期间冻融交加,加剧了路面的破损。沥青在施工期间以及在长期使用过程中的老化也是导致沥青面层形成网裂的原因之一。

2. 车辙 车辙是渠化交通的高等级公路沥青路面的主要损坏类型之一。当车辙达到一定深度时,由于辙槽内积水,极易发生汽车飘滑而导致交通事故。车辙一般是在温度较高的季节,沥青面层在车辆的反复碾压下产生永久变形和塑性流动而逐渐形成。车辙通常是在伴随着沥青面层压缩沉陷的同时,出现侧向隆起,二者组合起来构成车辙。应指出的是,对于半刚性基层沥青路面,由于半刚性基层具有较大的刚度,路面的永久变形主要发生在沥青面层中。因此,为了延缓车辙的形成,应主要从提高沥青面层材料的高温稳定性着手。

3. 松散剥落 是指沥青从矿料表面脱落。在车辆的作用下沥青面层呈现松散状态,以致从路面剥落形成坑凹。产生松散剥落的原因主要是由于沥青与矿料之间的粘附性较差,在水或冰冻的作用下,沥青从矿料表面剥离所致。产生松散剥落的另一种可能性是由于施工中混合料加热温度过高,致使沥青老化失去粘性。

4. 表面磨光 沥青路面在使用过程中,在车轮反复滚动摩擦的作用下,集料表面被逐渐磨光,有时还伴有沥青的不断上翻,从而导致沥青面层表面光滑,尤其是在雨季常会因此而酿成车祸。表面磨光的内在原因是集料质地软弱,缺少棱角,或矿料级配不当,粗集料尺寸偏小,细料偏多,或沥青用量偏多等。

§ 1-4 对沥青路面的基本要求

如前所述,沥青路面通常用作道路路面的面层,它直接承受车辆作用和大气因素的作用,而且沥青材料的物理、力学性质受气候因素和时间因素的影响很大,这是沥青路面使用中的

一个重要特点。根据这一特点，沥青路面必须满足下列基本要求：

1. 高温稳定性 沥青路面的强度与刚度随温度升高而显著下降，为了保证沥青路面于高温季节在行车荷载的反复作用下不致产生诸如波浪、推移、车辙、泛油、粘轮等病害，沥青路面应具有良好的高温稳定性，即在高温时具有足够的强度与刚度。

为了提高沥青路面的高温稳定性，可采用在混合料中增加粗集料含量，或控制剩余空隙率，使粗集料形成空间骨架结构，以提高沥青混合料的内摩阻力；适当地提高沥青材料的稠度，控制沥青与矿粉的比例，严格控制沥青用量，采用活性较高的矿粉，以改善沥青与矿料之间的相互作用，从而提高沥青混合料的粘聚力。此外，在沥青中掺入聚合物改善沥青性能，亦可取得较为满意的结果。

2. 低温抗裂性 裂缝是沥青路面的一种主要破坏形式，且裂缝的出现往往是路面损坏急剧增加的开始。

沥青路面的裂缝可归为两种类型：一种是在交通荷载反复作用下的疲劳开裂；另一种是由于降温而产生的温度收缩裂缝，或由于半刚性基层开裂而引起的反射裂缝。

由于沥青路面在高温时变形能力较强，而低温时较差，故不论哪种裂缝，以在低温时发生的居多。从低温抗裂性的要求出发，沥青路面在低温时应具有较低的劲度和较大的抗变形能力，且在行车荷载和其他因素的反复作用下不致产生疲劳开裂。

使用稠度较低及温度敏感性低的沥青，可提高沥青路面的低温抗裂性能。沥青材料的老化会使其低温抗裂性能恶化，故为了提高沥青路面的低温抗裂性能，应选用抗老化能力较强的沥青。往沥青中掺加橡胶类高分子聚合物，对提高沥青路面的低温抗裂性能具有较为明显的效果。在沥青路面结构层中铺设沥青橡胶、土工布或塑料格栅等应力吸收薄膜，对防止沥青路面的低温开裂具有显著的作用。

3. 耐久性 沥青路面应具有抵抗温度、阳光、空气、水等各种大气因素作用的能力，即在这些因素的作用下，沥青路面的性质不致很快恶化——失去粘性、性质变脆，以致在行车荷载和其他因素的作用下发生碎裂，乃至沥青与矿料脱离，使路面松散破坏。

研究表明，沥青路面的使用寿命与沥青混合料中的沥青含量有很大关系。当沥青用量不足时，则沥青膜变薄，沥青路面的延伸能力降低，脆性增加，且沥青路面的空隙率增大，使沥青膜暴露增多，从而促进了老化作用。此外，空隙率增大也会使混合料的渗水率增加，从而加剧了水对沥青膜的剥落作用。

4. 抗滑能力 现代交通车速不断提高，对路面的抗滑能力也提出更高的要求。沥青路面应具有足够的抗滑能力，以保证在最不利的情况下（当路面潮湿时），车辆能够高速安全行驶，而且在外界因素作用下其抗滑能力不致很快降低。

沥青路面的粗糙度与矿质集料的微表面性质、混合料的级配组成，以及沥青用量等因素有关。为保证沥青路面的粗糙度不致很快降低，应选择硬质有棱角的石料。研究表明，沥青用量对抗滑性的影响相当敏感，当沥青量超过最佳用量 0.5% 时就会导致抗滑系数的明显降低。

5. 防渗能力 当沥青路面防渗能力较差时，不仅影响路面本身的稳定性，而且还会影响到基层的稳定性。因此，沥青路面必须具有较好的抗渗能力。在潮湿多雨地区尤为重要。

沥青路面的抗渗能力主要取决于沥青路面的空隙率。空隙率越大，其抗渗能力越差。

沥青路面的技术要求见表 1-1。

沥青路面技术要求与指标体系

表 1-1

技术要求	病害类型	技术指标
高温稳定性	车辙、拥包	马歇尔稳定度, 动稳定度
低温抗裂性	横向开裂	低温蠕变速率, 应变能, 冻断温度
水稳定性	松散、剥落、坑槽	马歇尔残留稳定度, 冻融劈裂强度
疲劳特性	纵裂、网裂	疲劳强度
气候稳定性	龟裂、松散	老化试验后强度与稳定性
刚度	不均匀沉降, 平整度下降	回弹模量, 整体弯沉
抗滑性能	表面光滑	路面摩擦系数, 石料磨光值, 构造深度

§ 1-5 沥青路面使用性能的气候分区

我国幅员辽阔, 气候变化大, 各个地区对沥青路面的使用性能的要求应有差别。在“八五”期间, 交通部公路科学研究所与中国气象科学研究院合作, 使用了全国 600 多个气象台站 30 年的气象数据进行统计分析, 提出了我国“沥青及沥青混合料气候分区指标”及相应的“分区图”。

由于沥青路面的使用性能除主要受温度的影响外, 还与水分有关, 因此对影响沥青路面使用性能的三个主要因素进行研究, 并按照概率大体相等的原则提出了分区指标的界限及气候分区图(见表 1-2、1-3, 图 1-3、1-4)。

沥青气候分区指标

表 1-2

气候型	型名	温度(°C)	
		七月平均最高气温	年极端最低气温
1-1	夏炎热, 冬严寒	>30	<-37
1-2	夏炎热, 冬寒	>30	-37~-21.5
1-3	夏炎热, 冬冷	>30	-21.5~-9
1-4	夏炎热, 冬温	>30	>-9
2-1	夏热, 冬严寒	20~30	<-37
2-2	夏热, 冬寒	20~30	-37~-21.5
2-3	夏热, 冬冷	20~30	-21.5~-9
2-4	夏热, 冬温	20~30	>-9
3-2	夏凉, 冬寒	<20	-37~-21.5

沥青混合料气候分区指标

表 1-3

气候型	型名	温度(°C)		雨量(mm)
		七月平均最高气温	年极端最低气温	年降水总量
1-1-4	夏炎热冬严寒干旱	>30	<-37	<250
1-2-2	夏炎热冬寒湿润	>30	-37~-21.5	500~1000