

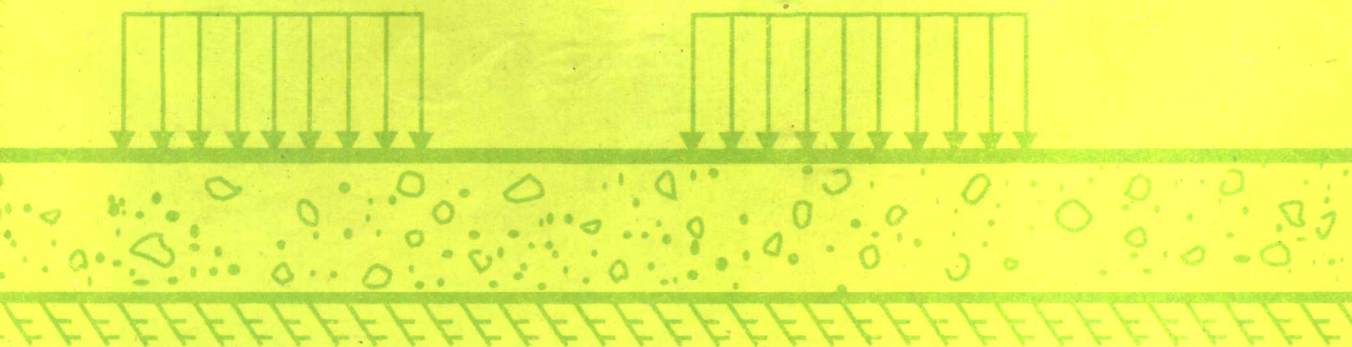
高等学校教材

路面工程

(公路与城市道路工程专业用)

第二版

方福森 主编



人民交通出版社

高 等 学 校 教 材

Lumian Gong cheng

路 面 工 程

(公路与城市道路工程专业用)

第 二 版

方 福 森 主 编

人 民 交 通 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

路面工程/方福森主编.—2版—北京:人民
交通出版社,1996重印

高等学校教材

ISBN 7-114-00746-9

I. 路…II. 方…III. 路面-道路工程-高等学
校-教材IV. U416.2

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第13726号

高等学校教材

路 面 工 程

(公路与城市道路工程专业用)

第 二 版

方福森 主编

责任编辑:常行宪

封面设计:梁毓英

技术设计:周 圆

插图设计:高静芳

责任校对:梁秀清

责任印制:孙树田

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经售

三河市新艺印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:339千

1979年12月 第1版

1998年4月 第2版 第12次印刷

印数:90351—98350 定价:11.60元

ISBN 7-114-00746-9

U·00438

内 容 提 要

本书主要阐述公路与城市道路建筑工程中各类路面的设计原理和计算方法,对各类路面结构层的强度形成和结构组合原则以及对材料的要求,也予以重点介绍。至于各类路面结构层的建筑施工和养护操作技术,仅简要地叙述其一般原则、要点和方法。

本书为高等院校公路与城市道路工程专业教材,也可供从事公路与城市道路建设及交通部门有关专业人员进修和业余学习参考。

(作者通信地址:方福森 210018 南京四牌楼2号东南大学)

前 言

路面工程已发展成为一门独立的科学技术，它主要研究和讨论公路与城市道路柔性路面和刚性路面的设计原理和计算方法，同时，研究的课题还扩展到各类路面结构的强度形成原理、结构组合以及对路面用材料的要求等。

本书是根据我国最新的有关公路与城市道路路面各种工程技术标准、规范和准则而编写的，并适当地介绍了国外有关路面工程技术的现状和发展趋向。

与路面工程学科有关的科学很多，其中包括土质学土力学、道路建筑材料、路基工程、公路勘测设计、城市道路、弹性力学和道路电算等课程。要求学生在学习本课程的同时，把这些有关课程学好。

在讲授本课程时，如能借助幻灯、录相和电影进行讲学，则效果更好。在学习本课程过程中，要通过听讲、研读教材和有关参考资料，系统地掌握基本理论，并通过习题和课程作业来巩固所学到的理论。

为了贯彻理论同实践相结合的原则，要配合本课程的教学，组织一次实习。可选择两三种路面结构为代表进行实习，组织学生参加技术管理和施工质量检验工作，使学生能初步掌握两三种路面结构的设计和施工的全过程，并联系了解其它类型路面结构的特点和施工方法，尚不足部分可通过讲解或结合参观等方式以求有所了解。通过这次实习，使学生能得到公路与城市道路路面工程实践的基本训练，初步掌握路面建筑施工的具体操作技能和组织管理知识，并提高学生运用理论解决实际问题的能力。至于我国公路与城市道路路面工程中遇到的一些疑难问题，以及如何结合我国路面工程实际，运用外国先进技术经验等问题，宜在毕业实践、科学研究中予以解决。

本教材是在第一版的基础上，结合有关新规范，经过较大的修改、补充而成。本书第一章由南京工学院方福森编写，第二章由南京工学院邓学钧编写，第三章由南京工学院沈善土编写，第四章由南京工学院庄海涛编写，第五章由西安公路学院王秉纲编写，第六、七两章由南京工学院陈雅贞编写。全书由方福森主编，由西安公路学院张登良主审。

本书采用国家法定计量单位，即国际单位制（SI）。进行公制与国际单位制换算时，为计算简便，重力加速度一律取为 10m/s^2 。

希望使用本书的单位或个人多多提出宝贵意见，送寄南京工学院或西安公路学院公路与城市道路工程教研组，以便再版时修改。

目 录

第一章 总论	1
§1-1 我国道路路面工程发展概况.....	1
§1-2 路面的功能及对路面的要求.....	4
§1-3 路面结构及其层次划分.....	6
§1-4 路面的分级与分类.....	8
第二章 行车荷载、环境因素与土基的力学特性	10
§2-1 行车荷载.....	10
§2-2 环境因素对路面的影响.....	16
§2-3 土基的荷载-变形特性	22
第三章 石料、稳定土及工业废渣路面与基层	35
§3-1 块石路面与基层.....	35
§3-2 碎、砾石路面的力学特性.....	39
§3-3 碎石路面与基层.....	42
§3-4 级配砾（碎）石路面与基（垫）层.....	45
§3-5 碎（砾）石路面的养护.....	46
§3-6 稳定土路面材料的力学特性.....	49
§3-7 石灰土基层.....	51
§3-8 其它稳定土基层.....	60
§3-9 工业废渣基层.....	67
第四章 沥青类路面	71
§4-1 沥青类路面的基本特性和分类.....	71
§4-2 沥青路面材料的力学特性与温度稳定性.....	73
§4-3 对沥青路面材料的要求.....	87
§4-4 沥青类路面的施工与质量控制.....	91
§4-5 沥青类路面的防滑问题	100
§4-6 沥青路面的病害与防治	103
§4-7 沥青与沥青混合料基地	105
第五章 柔性路面设计	109
§5-1 弹性层状体系理论概述	109
§5-2 路面结构的破坏状态与设计标准	114
§5-3 路面结构组合设计	116
§5-4 以弯沉为设计标准的路面结构计算方法	118
§5-5 路面结构层弯拉应力计算	135
§5-6 路面结构的剪应力 计算	143

§5-7	柔性路面结构设计计算程序	149
§5-8	柔性路面补强设计	149
§5-9	国外柔性路面设计方法概述	158
第六章	水泥混凝土路面	165
§6-1	概述	165
§6-2	水泥混凝土路面构造	166
§6-3	水泥混凝土路面施工工艺	174
§6-4	水泥混凝土路面的病害防治与维修	181
§6-5	其它类型混凝土路面简介	183
第七章	刚性路面设计	188
§7-1	刚性路面的力学特性与计算理论	188
§7-2	文克勒地基板的荷载应力分析	190
§7-3	弹性半空间体地基板的荷载应力分析	193
§7-4	半无限地基板荷载应力的有限元解	200
§7-5	水泥混凝土路面板厚的计算方法	202
§7-6	混凝土路面平面尺寸设计	208
§7-7	双层混凝土路面的板厚计算	212
§7-8	其它设计方法简介	217

第一章 总 论

§1-1 我国道路路面工程发展概况

路面工程是古老的道路工程学科派生出来的一个重要分支，它主要研究公路与城市道路路面的设计原理和方法、路面结构组合、对路面材料性能要求以及路面结构层施工、养护、维修和管理技术等。

我国古代曾以条石、块石或石板等铺筑道路路面，以提供人、畜以及人力、兽力车辆的运行。二十世纪初，汽车输入我国，为保证汽车能以正常速度安全运行，一些公路与城市道路开始铺筑简易的砂石路面。到了二十年代末期，少数大城市开始铺筑沥青，水泥混凝土和块料等高级、次高级路面。到了三十和四十年代，公路上也开始铺筑这些类型路面。但是到1949年解放前夕，我国公路上仅有这些类型路面约计315km。

建国以来，随着我国公路与城市道路建设的蓬勃发展，路面工程科学技术水平也相应地得到很快提高。解放后不久，各地即根据就地取材原则，广泛修筑了级配砾（碎）石路面，并进行试验研究。五十年代中期，还对我国首创的一种路面结构形式——泥结碎石路面，进行了大量的调查研究，对它的结构组合，材料规格和施工方法进行系统的总结，得到了推广采用。此外，在中、低级路面上，还广泛铺筑了磨耗层和保护层，对确保公路行车畅通，减轻养路工作量，起了很大作用。

我国石灰岩蕴藏丰富，对石灰的生产和使用，已有悠久的历史和丰富的经验。解放以来，我国公路与城市道路有关部门对石灰稳定土材料进行研究，通过反复试验，不断总结经验，推广使用石灰土和碎（砾）石灰土作为路面基层，获得了良好效果。此外，不少公路与城市道路部门还利用工业废渣、如煤渣、矿渣、石灰下脚料等，修筑路面基层。这不仅解决了废渣的处理问题，改善了环境卫生条件，也降低了筑路材料费用，节约了筑路资金。七十年代后期，我国少数公路部门还根据援外筑路经验，开始使用水泥混凝土和水泥稳定砂砾修筑路面基层，也获得了良好的效果。

沥青是石油工业的副产品。解放前，我国筑路用沥青完全依赖国外进口。多年来，我国连续发现很多油田，加以石油的开采和提炼加工技术不断改进，国产沥青产量稳步增长，这就为大量修筑沥青路面提供了良好的物质基础。但是我国所产原油大多为石蜡基，所产沥青主要是多蜡慢凝液体沥青，俗称“渣油”。它的延伸度和稠度均低，对温度感应性强，在国外一般认为不适用于修筑路面。六十年代初期，我国北方一些公路与城市道路部门开始试验使用国产沥青修筑表面处治和贯入式次高级路面，效果不错，后来即逐渐被推广到全国各地采用。近些年来，我国对改善国产沥青路用性能进行了大量的试验研究工作，现在已能使用它来修筑沥青混凝土和沥青碎石等高级路面。目前全国铺有各类沥青路面的公路与城市道路已占有较大的比重。不少公路与城市道路部门还在研究使用乳化沥青修筑路面以及旧沥青路面的回收再生利用技术等问题。

总之，使用石灰土和工业废渣作基层和使用国产沥青作面层的路面结构，能符合“优面

强基稳定土基”的结构原则，它形成了我国路面建筑的独特风格，大大改善了我国公路与城市道路的面貌。这种路面结构对改善道路旅途条件，减少路旁农作物蒙尘损失，支援工农业生产 and 国防建设以及发展旅游事业等，都发挥了很大的作用。

五十年代以来，为适应道路交通日益繁重的需要，在一些城市道路，厂矿道路和飞机场上，还修筑了不少水泥混凝土路面。个别城市还铺筑了少量无筋预应力混凝土路面和装配式混凝土路面的试验路段。到了七十年代，少数省和自治区也在一些干线公路上修筑了水泥混凝土路面。并对其结构组合、材料工艺和施工工艺进行试验研究，以便为其推广使用创造条件。

至于块石路面，我国西南各省为了提高公路急弯、陡坡路段的路面抗滑能力，曾修筑一些卵石路面，在铁路、公路平交道口和有履带式车辆通过的交叉路口，为保持路面的耐久性，还修筑一些半整齐石块路面。个别大城市广场和名胜古迹地点，还用整齐块石修建了一些高级块石路面，其中包括嵌花式小方块石路面以及长30~100cm，宽30~50cm，厚15~20cm的大型块石路面。这种路面具有很高的强度和耐久性，而且能增进路容美观，发挥了我国传统的路面建筑风格。

为提高路面质量，加快施工进度，降低劳动强度，节约劳动力，各地建立了不少筑路机械厂，研制和生产多种类型的筑路机具，如压路机、轧石机、拌和机、沥青洒布机、沥青混合料摊铺机等。至于沥青混合料搅拌厂，解放前只有个别大城市有从国外进口的设备，现在我国自行建设的具有先进的电子自动控制设备的沥青混合料搅拌工厂和沥青基地，不但在大、中城市有，而且也建立在一些干线公路上。对水泥混凝土路面的施工，还研制了小型配套机具，其中包括真空吸水作业设备以及抹光、锯缝、切缝、刻槽和钻蕊试样等机具。

为加强路面施工管理，检验路面质量，七十年代以来，各公路与城市道路部门研制了多种路面检测仪器装置，其中包括弯沉仪，曲率半径仪、平整度仪、摩擦系数仪、透水性仪、路面混合料组成分析仪和交通量自动观测仪等等。此外，各种不同类型路面的施工和验收技术规范也正在积极研究制订与修订，其中有些已制订完成。

在路面设计方面，解放前完全凭经验，解放初期沿用苏联方法，不仅不符合我国实际情况，而且理论本身也存在不少问题。到了六十年代，在使用国产沥青修筑路面的推动下，我国柔性路面设计理论和方法得到了初步建立与完善。七十年代以来，全国各公路、城市道路、厂矿道路、空军、民航机场和高等院校等有关单位，除对柔性路面与刚性路面的设计理论进行了系统而深入的研究外，还对两种路面的设计参数和工作状态进行大量的试验，并铺筑了大规模的试验路段进行理论验证。

我国现已研究制订出一套具有我国特色的、密切结合我国实际情况的公路与城市道路柔性路面与刚性路面设计规范，对柔性路面是采用以弹性层状体系为理论基础，并以路表回弹弯沉和层底抗弯拉应力等为控制指标的设计方法；对刚性路面，则采用以弹性半无限地基上弹性薄板理论为基础，以混凝土疲劳强度为控制指标，并根据位移法有限元分析结果来进行设计。这些都将成为我国今后更进一步完善路面设计理论和方法奠定了良好的基础。

综上所述，我国在路面工程科学技术上，已做了大量的工作，并获得巨大成就。为了赶超世界先进水平，还必须注意做好以下工作：

1. 在路面设计方面，应用弹、粘、塑性体系理论对沥青路面结构进行分析研究。同时，随着电子计算机和系统工程的发展，应当研究柔性路面和刚性路面管理系统设计，亦即综合考虑路面环境因素、材料、造价、使用性能评价、寿命估计、维修管理、运输效益等因素，

把它们有机地联系起来作为一个总的系统来处理，采用计算机程序编制各个子系统，反复迭代，运用优化设计技术，获得最大经济效益。

2.在路面材料方面，应当进一步研究：（1）稳定土的工艺，其中包括掺入少量表面活性剂，催化剂，离子交换剂等，以增强结合料的渗透、吸附和分散作用，提高稳定效果；（2）改善国产沥青的路用性能，其中包括掺入少量聚合物，树脂、橡胶和硫磺等，并研究各种乳化沥青、混合沥青和调配沥青的生产工艺，还要研究如何提高沥青混合料的高温稳定性和低温抗裂性以及旧路面再生工艺；（3）工业废渣在筑路中的应用；（4）在水泥混凝土混合料中，掺入钢纤维或膨胀水泥，以提高其强度和使用寿命，增进经济效益。

3.在路面机械化施工方面，应研究使用一条龙的单机配套机械进行流水作业和多功能的联合施工机械，以提高施工效率和施工质量，节约劳动力。为实现施工机械的自动化，应使用电子装置和激光技术。对施工现场，要使用无线电装置进行遥控，并使用电视装置进行观察。

4.在路面测试方面，应研究使用能自动连续量测在动、静两种荷载作用下的路面弯沉仪和曲率半径仪；研究使用冲击法、超声波法测定路面强度和弹性模量；并研究用同位素等方法测定密实度和厚度；以及研究使用自动连续量测路面抗滑性能和平整度的仪器等等。

为作好公路与城市道路路面工程建设，实现路面施工技术现代化，还必须注意以下各点：

1.路面工程线路长，工程量大，季节性强，必须做好施工管理与组织计划，实行流水作业，严格施工管理。每个工序应该严格把关，一环扣一环，前一工序未经验收，不得进行下一工序。

2.建造路面要耗费大量筑路材料，每千米达数千吨，而且它是路面投资的主要组成部分。我国幅员辽阔，各地可供修筑路面的材料很多，要认真做好调查研究，充分利用当地材料和工业废渣，以修建经济而适用的路面。

3.道路建成初期，交通量常不大。随着沿路经济的发展，交通量不断增长，从而对路面提出更高的要求。因此，在设计和修建路面时，应尽量采用分期修建原则。在初期可建造等级较低的路面；待交通量增长后，再在原有路面上加铺等级较高的层次，以减少初期投资，并使前期工程能为后期所利用。

4.路面结构的整体强度和稳定性同土基的强度和稳定性有重大关系。强度或稳定性差的土基极易导致路面的开裂、沉陷和车辙等破坏现象。因此，在修建路面时，应对路面和土基进行综合考虑，积极采取措施提高软弱土基的强度和稳定性，例如换土、压实、掺入粒料或结合料，加铺垫层或土工编织物等，以发挥土基潜力，从而减薄路面厚度，提高经济效益。

5.为保证路面工程质量，要做到精心设计、精心施工。要克服那种重设计，轻施工和重建筑、轻养护的错误思想。要把设计、施工和养护工作有机地结合起来，根据调查研究做好设计工作，根据施工条件及时修改设计，根据养护工作中所收集的资料，提供给设计与施工时参考。

6.在路面工程中，要广泛开展技术革新和科学试验，认真总结经验。积极采用新技术、新结构、新材料、新工艺和新装备。同时，还要注意学习和引进国外先进的路面科学技术，以提高我国路面工程的技术水平。

§1-2 路面的功能及对路面的要求

公路与城市道路路面是在路基表面上用各种不同材料或混合料分层铺筑而成的一种层状结构物，它的功能不仅是提供汽车在道路上能全天候地行驶，而且要保证汽车以一定的速度，安全、舒适而经济地运行。

路面工程是公路与城市道路建设中一个重要组成部分。路面的好坏直接影响行车速度、运输成本、行车安全和舒适。如将沥青路面同砂石路面相比，行车速度一般可以从30km/h提高到50~60km/h，油料消耗降低约15~20%，轮胎行驶里程增加约20%，运输成本下降约18~20%，同一类型路面，因施工和养护质量的优劣，也会使运输效率与成本以及服务质量产生很大差异。同时，路面在道路造价中占很大比重，一般高级路面要占道路总投资的60~70%，低级路面也要占20~30%。因此，修好路面，对发挥整个公路与城市道路运输的经济效益，具有十分重要的意义。

为了保证公路与城市道路全年通车，提高行车速度，增强安全性和舒适性，降低运输成本和延长道路使用年限，要求路面具有足够的下述一系列的性能：

一、强度和刚度

汽车在路面上行驶，除了克服各种阻力外，还会通过车轮把垂直力和水平力传给路面，在水平力中又分为纵向的和横向的两种。此外，由于汽车发动机的机械震动和悬挂系统与车身的相对运动，路面还会受到车辆的震动力和冲击力作用；在车身后还会产生真空吸力作用。

在上述各种外力的综合作用下，路面结构内会产生不同大小的压应力，拉应力和剪应力。如果这些应力超过路面结构整体或某一组成部分的强度，则路面会出现断裂、沉陷、波浪和磨损等破坏。这就会影响道路的使用质量，严重时还可能中断交通。因此，路面结构整体及其各组成部分必须具备足够的强度以抵抗在行车作用下所产生的各种应力，避免破坏。

所谓刚度，是指路面抵抗变形的能力。路面结构整体或某一组成部分刚度不足，即使强度足够，在车轮荷载作用下也会产生过量的变形，而构成车辙、沉陷或波浪等破坏。因此，除了研究路面结构的应力和强度之间的关系外，还要研究其荷载和变形或应力和应变之间的关系，使整个路面结构及其各组成部分的变形量控制在容许范围内。

二、稳定性

路面结构坦露于大气之中，经常受到温度和水分变化的影响，其力学性能也就随着不断发生变化，强度和刚度不稳定，路况时好时坏。例如，沥青路面在夏季高温时会变软而产生车辙和推挤；冬季低温时又可能因收缩或变脆而开裂；水泥混凝土路面在高温时会发生拱胀破坏，温度急骤变化时会因翘曲而产生破坏；砂石路面在雨季时，会因雨水渗入路面结构，使其含水量增多，强度下降，产生沉陷、车辙或波浪。因此，要研究路面结构的温度和湿度状况及其对路面结构性能的影响，以便在此基础上，修筑能在当地气候条件下足够稳定的路面结构。

三、耐久性

路面结构要承受行车荷载和冷热、干湿气候因素的多次重复作用，由此而逐渐产生疲劳

破坏和塑性形变累积。另外，路面材料还可能由于老化衰变而导致破坏。这些都将缩短路面的使用年限，增加养护工作量。因此，路面结构必须具备足够的抗疲劳强度以及抗老化和抗形变累积的能力。

四、表面平整度

不平整的路表面会增大行车阻力，并使车辆产生附加的振动作用。这种振动作用会造成行车颠簸，影响行车的速度和安全、驾驶的平稳和乘客的舒适。同时，振动作用还会对路面施加冲击力，从而加剧路面和汽车机件的损坏和轮胎的磨损，并增大油料的消耗。而且，不平整的路面还会积滞雨水，加速路面的破坏。

一般将包括冲击力在内的车辆荷载同静载的比值称为动荷系数，并以汽车每行驶1km距离，车身和后桥相对垂直位移的累计数(m)来表示路面的不平整度，图1-1表示一个后轮荷载为41kN，轮胎压力为0.492MPa的汽车以64.4km/h的速度行驶于水泥混凝土路面上，其路面不平整度与动荷系数之间的关系。由图可见，动荷系数值随着路面平整度的恶化而急骤增大，最大可达1.65。而且，在相同的不平整度路面上行车时，动荷系数会随着车速的降低而减小，例如当行车速度降至32.2km/h时，最大动荷系数减为1.47。因此，为了减小动荷系数（冲击力），提高行车速度和增进行车舒适性、安全性，路面应保持一定的平整度。道路等级越高，设计车速越大，对路面平整度的要求也越高。

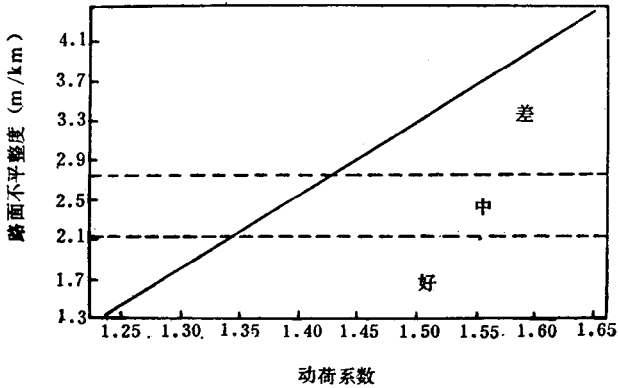


图1-1 路面不平整度与动荷系数的关系

平整的路表面，要依靠优良的施工机具、精细的施工工艺、严格的施工质量控制以及经常和及时的养护来保证。同时，路面的平整度还同整个路面结构和面层材料的强度和抗变形能力有关。强度和抗变形能力差的路面结构和面层混合料，经不起车轮荷载的反复作用，极易出现沉陷、车辙和推挤等破坏，从而形成不平整的路表面。

五、表面抗滑性能

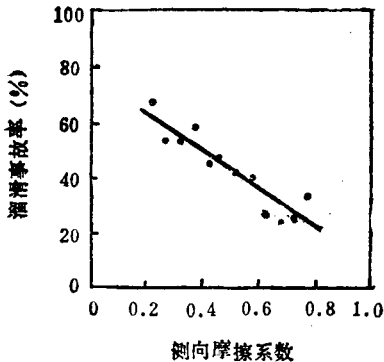


图1-2 溜滑事故率同路面抗滑能力的关系

汽车在光滑的路面上行驶时，车轮与路面之间缺乏足够的附着力或摩擦阻力。在雨天高速行驶，或紧急制动或突然起动，或爬坡、转弯时，车轮也易产生空转或打滑，致使行车速度降低，油料消耗增多，甚至引起严重的交通事故。如以侧向摩擦系数来表示路面抗滑能力，则一汽车以50km/h速度在潮湿路面上行驶时，侧向摩擦系数同滑溜事故占总事故数的百分率的关系示于图1-2。由图可见，路表面摩擦阻力越小，也即抗滑能力越小，引起滑溜事故的百分率越高。因此，路表面应具备足够的抗滑性能，特别是行车速度

较高时，对抗滑性能要求应越高。

路表面的抗滑能力可以通过采用坚硬、耐磨、表面粗糙的骨料组成路面表层材料来实现，有时也可采用一些工艺性措施来实现，如水泥混凝土路面的刷毛或刻槽等。此外，路上的积雪、浮冰或污泥等，也会降低路面的抗滑性，必须及时予以清除。

六、少 尘 性

汽车在砂石路面上行驶时，车身后部所产生的真空吸力会将表层中较细材料吸出而飞扬尘土，甚至导致路面松散，脱落和坑洞等破坏。扬尘还会加速汽车机件的损坏，减短行车视距，降低行车速度，而且对旅客和沿路居民的环境卫生，以及货物和路旁农作物均带来不良影响。因此，要求路面在行车过程中尽量减少扬尘。

§1-3 路面结构及其层次划分

为了减小雨水对路面的浸湿和渗透入路基，从而减弱路面结构的强度，路面表面应筑成直线型或抛物线型的路拱。等级较高的路面，其平整度和水稳性较好，透水性也小，可采用较小的路拱横坡度，反之则应采用较大的横坡度。表 1-1 列出各种不同类型路面的路拱平均横坡度范围。在具体选用时，应注意：在干旱和有积雪、浮冰地区，应采用低值，多雨地区采用高值；当道路纵坡较大或路面较宽，或行车速度较高时，或交通量和车辆载质量较大时，或常有拖挂汽车行驶时，应采用平均横坡度的低值；反之则应取用高值。

各类路面的路拱平均横坡度

表 1-1

路 面 类 型	路 拱 平 均 横 坡 度 (%)
沥青混凝土、水泥混凝土	1~2
厂拌沥青碎石、路拌沥青碎（砾）石、沥青贯入碎（砾）石、沥青表面处治、整齐石块	1.5~2.5
半整齐石块，不整齐石块	2~3
碎石、砾石等粒料路面	2.5~3.5
炉渣土、砾石土、砂砾土等	3~4

高速公路和一级公路设有中央分隔带，通常也应做成中间高两边低的路拱；但当路中设有排水设备时，也可将两幅路面分别独自做成中间高两边低的路拱。

路肩横坡度应较路面横坡大 1%，以利迅速排水。路肩全宽或部分宽度表面最好用砂石材料或再加结合料予以处治，形成平整、坚实、不透水的表面。这样，既可增加车行道的有效宽度，又可改善路面边部的结构条件，延长路面使用寿命。对沥青路面和水泥混凝土路面，为保护其边缘，可用块石，条石或水泥混凝土预制块铺成路缘石，其宽度为 15~25cm，厚度为 15~20cm。

行车荷载和大气因素对路面的作用是随着路面下深度的增大而逐渐减弱。同时，路基的湿度和温度状况也会影响路面的工作情况。因此，一般根据使用要求，受力情况和自然因素等作用程度的不同，把整个路面结构自上而下分成若干层次来铺筑。如图 1-3 所示。

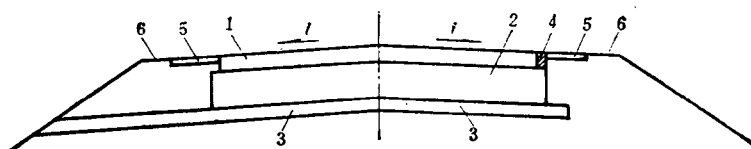


图1-3 路面结构层次划分示意图

i-路拱横坡度；1-面层；2-基层（有时包括底基层）；3-垫层；4-路缘石；5-加固路肩；6-土路肩

一、面 层

面层是直接同行车和大气接触的表面层次，它承受行车荷载的垂直力，水平力和冲击力作用以及雨水和气温变化的不利影响最大。因此，同其他层次相比，面层应具备较高的结构强度、刚度和稳定性，而且应当耐磨、不透水；其表面还应有良好的抗滑性和平整度。

修筑面层所用的材料主要有：水泥混凝土、沥青混凝土、沥青碎（砾）石混合料、砂砾或碎石掺土或不掺土的混合料以及块石等。

面层有时分两层铺筑，如下层用沥青贯入式，上层用沥青混凝土等。但是砂石路面上所铺的2~3cm厚的磨耗层或（和）1cm厚的保护层，以及厚度不超过1cm的简易沥青表面处治，因很薄，不能作为一个独立的层次来看待，仍应看成是面层的一部分。

二、基 层

基层主要承受由面层传来的车辆荷载垂直力，并把它扩散到垫层和土基中，故基层应有足够的强度和刚度。车轮荷载水平力作用，沿深度递减得很快，对基层影响很小，故对基层材料的耐磨性可不予重视。基层也应有平整的表面，以保证面层厚度均匀。基层遭受大气因素的影响虽比面层为小，但难于阻止地下水的侵入；当面层透水时，也不能阻止雨水的渗入，所以基层结构应有足够的水稳性。

修筑基层所用的材料主要有：各种结合料（如石灰、水泥或沥青等）稳定土或稳定碎（砾）石、贫水泥混凝土、天然砂砾、各种碎石或砾石、片石、块石或圆石，各种工业废渣（如煤渣、粉煤灰、矿渣、石灰渣等）所组成的混合料以及它们与土、砂、石所组成的混合料等。

基层有时可分两层铺筑，其上层仍称基层，下层则称底基层。对底基层材料质量的要求可低些，可使用当地材料来修筑。

三、垫 层

在土基与基层之间设置垫层，其功能是改善土基的湿度和温度状况，以保证面层和基层的强度和刚度的稳定性和不受冻胀翻浆作用。垫层通常设在排水不良和有冰冻翻浆路段，在地下水位较高地区铺设的能起隔水作用的垫层称隔离层；在冻深较大地区铺设的能起防冻作用的垫层称防冻层。此外，垫层还能扩散由面层和基层传来的车轮荷载垂直作用力，以减小土基的应力和变形；而且它也能阻止路基土挤入基层中，影响基层结构的性能。

修筑垫层所用的材料，强度不一定要高，但水稳定性和隔热性要好。常用材料有两类：一类是用松散粒料，如砂、砾石、炉渣、片石或圆石等组成的透水性垫层；另一类是由整体性材料，如石灰土或炉渣石灰土等组成的稳定性垫层。

应当指出,图 1-3 所示只不过是一个典型的路面结构示意图。实际上,路面并不一定都具有那么多的结构层次。例如,修筑在土基上的碎(砾)石路面,块石路面或水泥混凝土路面,都只有一个层次。又例如,我国当前流行的石灰土基层上的沥青面层结构,只有两个层次。相反地,为适应某种结构性能的需要,有时在面层与基层之间,另设一个层次。例如,为减轻或消除石灰土基层开裂而反射到沥青面层所设置的碎石缓冲层;为防止沥青面层沿着基层表面滑移所设置的沥青混合料联结层;以及为了便利水泥混凝土面层沿着基层表面伸缩移动所设置的沥青砂整平层等。

此外,路面各结构层次的划分,也不是一成不变的。例如,在道路改建过程中,如在旧碎(砾)石路面上加铺沥青或水泥混凝土面层,则旧路面即成为新路面的基层;如在旧碎(砾)石路面上加铺石灰土补强层和沥青或水泥混凝土面层,则旧路面即成为新路面的底基层,而石灰土即成为基层。

还应指出,为保护沥青路面的边缘,其基层应较面层每边宽出约0.25m;垫层也要较基层每边宽出约0.25m。当不设横向盲沟时,应将垫层向两侧延伸直至路基边坡表面,以便利排水(图1-3)。此外,在路基顶面一定深度内的土层,不论是填方或挖方,均应按规定予以严格压实。否则在行车和自然因素的反复作用下,会产生过量的变形,从而造成路面破坏。

§1-4 路面的分级与分类

通常可按面层的使用品质,材料组成类型以及结构强度和稳定性的不同,将路面分成四个等级。表 1-2 列出了各等级路面所具有的面层类型及其所适用的公路等级。

各等级路面所具有的面层类型及其所适用的公路等级		表1-2
路面等级	面 层 类 型	所适用的公路等级
高 级	水泥混凝土、沥青混凝土、厂拌沥青碎石、整齐石块或条石。	高速、一级、二级
次 高 级	沥青贯入碎(砾)石、路拌沥青碎(砾)石、沥青表面处治、半整齐石块。	二级、三级
中 级	泥结或级配碎(砾)石、水结碎石、不整齐石块、其他粒料	三级、四级
低 级	各种粒料或当地材料改善土,如炉渣土、砾石土和砂砾土等	四 级

(一)高级路面 特点是强度和刚度高,稳定性好,使用寿命长,能适应较繁重的交通量,平整无尘,能保证高速行驶。它的养护费用少,运输成本低,但其基建投资大,需要质量较高的材料来修筑。

(二)次高级路面 与高级路面相比,它的强度和刚度较差,使用寿命较短,所适应的交通量较小,行车速度也较低。它的造价虽较高级路面低些,但要求定期修理。养护费用和运输成本也较高。

(三)中级路面 它的强度和刚度低,稳定性差,使用期限短,平整度差,易扬尘,仅能适应较小的交通量,行车速度低,它需要经常维修和补充材料,才能延长使用年限。它的造价虽低,但养护工作量大,运输成本也高。

(四)低级路面 它的强度和刚度最低,水稳性和平整度均差,易扬尘,故只能保证低速

行车，所适应的交通量最小，在雨季有时不能通车。它的造价虽低，但要求经常养护修理，而且运输成本很高。

从路面力学特性出发，一般把路面分为下述两种结构类型：

(一)柔性路面 它主要包括用各种基层（水泥混凝土除外）和各类沥青面层、碎（砾）石面层或块石面层所组成的路面结构。柔性路面刚度小，在荷载作用下所产生的弯沉变形较大，路面结构本身抗弯拉强度较低。车轮荷载通过各结构层向下传递到土基，使土基受到较大的单位压力，因而土基的强度和稳定性，对路面结构整体强度有较大影响。

(二)刚性路面 主要指用水泥混凝土作面层或基层的路面结构。水泥混凝土的强度很高，特别是它的抗弯拉强度，较之其他各种路面材料要高得多。它的弹性模量也较其他各种路面材料大得多，故呈现出较大的刚性。水泥混凝土路面板在车轮荷载作用下的弯沉变形极小，荷载通过混凝土板体的扩散分布作用，传递到基础上的单位压力，要较柔性路面小得多。

应当补充指出，用石灰或水泥稳定土或处治碎（砾）石，以及用各种含有水硬性结合料的工业废渣修筑成的基层，在前期具有柔性路面的力学特性，当环境适宜时，其强度和刚度会随着时间的推移而不断增大，但其最终抗弯拉强度和弹性模量，还是远较刚性基层为低。因此有人把这类基层称为半刚性基层，而把含有这类基层的路面结构称为半刚性路面。

第二章 行车荷载、环境因素与土基的力学特性

§2-1 行车荷载

一、车辆的种类

如§1-2所述,道路路面主要是提供汽车以一定的速度,在道路上安全而舒适地行驶,因此在路面设计与施工中,首先要研究汽车的特性及其对路面的作用。

通常在道路上行驶的车辆有以下几种:

1.小客车 车速高,自身重量与满载总重量都比较小。如“上海牌SH760”型小客车,总重17.66kN,最高车速为130km/h;“红旗牌CA770A”型小客车,总重量32.9kN,最高车速160km/h。

2.大客车 供城间客运和城市公共交通用。满载总重一般为100kN,如“广州牌GZ655”型大客车总重为107.6kN,最高车速为65~75km/h。在一些大城市,普遍使用铰接式大客车,如“天津牌TJ660”型铰接式大客车总重为186.3kN,最高车速为57km/h。

3.货车 按照用途的不同又分为载重汽车,倾卸汽车与牵引汽车三种,载重汽车总重量为50~150kN,如“跃进牌NJ130”型载重汽车总重为53.6kN,“黄河牌JN150”型载重汽车总重为150.6kN,最高车速均为70~80km/h。倾卸汽车主要用于矿山内部运输与工地施工材料运输,总重150~500kN以上,如“黄河牌OD351”型倾卸汽车总重145.65kN,“上海牌SH380”型倾卸汽车总重540kN,由于倾卸汽车一般不作长途运输之用,最高车速仅为40~50km/h。牵引车用于牵引挂车,平板车,集装箱车等。牵引车本身自重50kN左右,被牵引的挂车重量最重的可达1000kN以上。

由于大客车、货车的重量远较小客车为大,在路面结构设计中,主要考虑大客车与货车的作用,但是在评定路面的表面特性时,如路面的平整度,防滑性能等,则应考虑到小客车高速行驶时的安全性与可靠性。

二、汽车按轴型分类

汽车的重量通过车轮传递给路面。为了保护路面结构不因超载而损坏,许多国家对汽车的轴载都有所限制。当汽车总重增加时,轴数与轮数也相应增加,以利于扩大荷载的分布面积,按照轮轴的组合型式,大致可以将行驶在道路上的车辆分成三大类(见图2-1):

1.固定车身类 这是一种最常用的车辆,前轴一般为单轴、单轮组,前轴轴载约占汽车总重的1/3左右。少数汽车前轴由双轴单轮组组成。双前轴二根轴的重量约占汽车总重的一半。汽车的后轴由双轮组组成。少数载重量轻的越野汽车后轴采用单轮。通常,后轴总重约为前轴总重的两倍。目前在公路与城市道路上行驶的汽车后轴轴载,一般变动于30~130kN,而绝大部分为60kN以上。