

高等学校试用教材

路面工程

(公路工程专业用)

南京工学院 主编

人民交通出版社

高等学校试用教材

路面工程

(公路工程专业用)

南京工学院 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要叙述道路各类路面的设计原理和计算方法；对各类路面结构的强度形成、结构组合和对材料要求，也予以重点介绍；至于各类路面的建筑施工和养护操作技术，仅简要地叙述其一般要求、要点和方法。

本书是作为高等工业院校“公路工程”专业教材，也可供公路交通部门有关专业人员进修和业余学习的参考。

高等学校试用教材

路 面 工 程

(公路工程专业用)

南京工学院 主编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：13.5 字数：331千

1979年12月 第1版

1979年12月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3,950册 定价：1.40元

前 言

《路面工程》已发展成为一门独立的科学技术，它主要研究和讨论道路柔性路面和刚性路面的设计原理和计算方法；对各类路面结构的强度形成原理、结构组合和对材料要求，也予以重点介绍；至于各类路面的建筑施工与养护操作技术等，仅简要地叙述其一般原则、要点和方法。

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

与《路面工程》科学有关的学科很多，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、弹性力学和机电基础等课程。要求学生学习本课程的同时，把这些有关课程学好。

在讲授本课程时，要辅以挂图、挂表和模型。如能借助幻灯和电影进行讲学，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，并通过习题课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，组织一次为期两周的实习。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，要求在毕业实践、科学研究中予以解决。

本书第一、六和七章由南京工学院方福森编写，第二章由哈尔滨建筑工程学院王哲人编写，第三和第五章分别由北京建筑工程学院袁德熙和唐质勇编写，第四章由哈尔滨建筑工程学院蔡乃森、王哲人和同济大学朱以敬共同编写，附录由西安公路学院许永明编写。全书由南京工学院方福森主编，并由西安公路学院张登良和王秉纲主审。

本书采用国家标准计量单位，即国际单位制（SI），但为了配合我国现行路面工程技术有关规范和准则，并照顾目前我国工程人员习惯起见，也在国家标准计量单位数字之后，以括弧列出其相应的公制计量单位数字。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 10米/秒^2 。

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

目 录

前 言

第一章 总论	1
§1-1 我国公路路面工程发展概况.....	1
§1-2 路面的横断面形式.....	4
§1-3 对路面的基本要求.....	8
§1-4 路面结构层次划分.....	10
§1-5 路面的分级与分类.....	12
第二章 稳定土与工业废渣路面	14
§2-1 概述.....	14
§2-2 石灰土路面的强度形成原理与使用情况.....	15
§2-3 石灰土路面的施工.....	21
§2-4 其它稳定土路面.....	25
§2-5 工业废渣路面.....	29
第三章 块石与碎（砾）石路面	34
§3-1 块石路面.....	34
§3-2 碎石路面.....	37
§3-3 级配砾（碎）石路面.....	41
§3-4 碎（砾）石路面的养护.....	45
第四章 沥青类路面	48
§4-1 概述.....	48
§4-2 沥青表面处治.....	51
§4-3 沥青贯入式路面.....	56
§4-4 沥青混凝土路面.....	57
§4-5 沥青碎石路面.....	61
§4-6 路拌沥青碎（砾）石混合料路面.....	61
§4-7 沥青类路面施工质量的检查与验收.....	62
§4-8 沥青路面结构层的强度与稳定性.....	63
§4-9 沥青路面的抗滑问题.....	69
§4-10 沥青类路面病害防治与维修.....	72
§4-11 沥青与沥青混合料基地.....	75
第五章 柔性路面设计	81
§5-1 柔性路面设计的任务与设计程序.....	81
§5-2 行车荷载与柔性路面的力学性质.....	82
§5-3 柔性路面应力、应变分析及设计强度标准.....	89

§5-4	柔性路面结构设计	99
§5-5	现行柔性路面厚度设计	114
§5-6	国外柔性路面设计方法简介	137
第六章	水泥混凝土路面	147
§6-1	概述	147
§6-2	水泥混凝土路面的构造	148
§6-3	水泥混凝土路面的施工	155
§6-4	水泥混凝土路面的病害与养护维修	165
§6-5	其它类型混凝土路面简介	167
第七章	刚性路面设计	170
§7-1	刚性路面的工作特性	170
§7-2	刚性路面的计算参数	170
§7-3	刚性路面板厚度的计算	175
§7-4	刚性路面板横断面和边缘钢筋的设计	184
§7-5	刚性路面板接缝的计算	185
§7-6	双层式水泥混凝土路面板的计算	190
§7-7	刚性路面计算理论存在的问题与发展趋向	192
附录 I	路面技术指标的测定方法	195
一、	路面强度指标的测定方法	195
二、	路面平整度的测定方法	200
三、	路面抗滑性能的测定方法	201
四、	沥青路面透水性试验方法	204
五、	石灰土中石灰剂量的测定方法	205
六、	沥青混合料工地油石比检验方法	207
附录 II	原有路面技术状况的综合调查	208

第一章 总 论

§1-1 我国公路路面工程发展概况

建国以来。随着我国社会主义革命与建设的蓬勃发展，公路作为交通运输中的一个重要环节，公路建设也相应地得到迅速发展。为把我国建成一个比较完整的工业体系和国民经济体系，实现农业、工业、国防和科学技术的现代化，公路运输担负着极其重要的任务。

路面工程是公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。以我国当前广泛修筑的沥青路面同砂石路面相比，行车时速一般可从30~40千米提高到50~60千米，油料消耗降低约20%，轮胎行驶里程增加约20%，运输成本下降约15~20%。同一类型路面，因施工和养护工作的优劣，也会使运输效率和服务质量产生很大差异。同时，路面在公路造价中占很大比重，一般高级路面要占公路总投资的60~70%，低级路面也要占公路总投资的20~30%。因此，修好路面，对降低行车营运费用，延长公路使用年限，发挥运输效能，具有十分重要的作用。

我国解放前，在反动政权统治下，谈不上什么经济建设，公路更是量少质劣，分布极不平衡，绝大多数公路都集中在东部沿海一带，而广大西北、西南地区公路极少。至于路面，虽有部分公路铺有简易的砂石路面，但更多的是土路，雨天不能通车。解放后，随着我国国民经济建设飞跃发展，公路建设也取得很大成就，不但在数量上增长迅速，而且在质量上也不断提高，一个四通八达的全国公路网正在形成，对经济、政治、文化与国防建设，都具有重要意义。

在路面工程技术方面，解放后不久，各地即根据就地取材原则，广泛修筑级配砾（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，还广泛铺筑磨耗层和保护层，对确保行车畅通，减轻养路工作量，起很大作用。

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，我国有关公路部门对石灰稳定土进行研究，通过反复试验，不断总结经验，广泛地使用石灰土和碎（砾）石灰土作为路面基层，获得良好效果。此外，公路和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，改善了城市环境卫生，也降低了筑路材料费用，节约了筑路资金。

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。近些年来，我国连续发现不少油田，加以石油的开采和提炼加工技术不断改进，国产沥青产量急骤增长，这就为大量修筑沥青路面提供良好的物质基础。但是我国所产原油大多为石蜡基，目前所生产的沥青主要是多蜡慢凝液体沥青，俗称“渣油”，它的延性低，稠度也低，夏季易软化，在国外一般被认为不能用于修筑路面。六十年代初期，我国北方一些省市筑路职工，发扬自力更生、艰苦奋斗的革命精神，开始试验使用国产沥青修筑次高级沥青路面——表面处治和

贯入式，效果良好，后来被逐渐推广到全国各地采用。通过生产实践经验的累积，还制订出适合我国具体情况的施工技术规范。六十年代后期，国产沥青又被用于修筑高级沥青路面——沥青混凝土和沥青碎石。目前全国铺有各类沥青路面的公路已占公路总里程一定的比重。

总之，石灰土和工业废渣基层和使用国产沥青作沥青面层的路面结构，形成了我国路面建筑的独特风格，它大大改善我国公路面貌，是我国公路建设史上的创举。这种路面结构对改善旅途条件，减少路旁农作物蒙尘损害，支援工农业生产与国防建设，发挥很大作用。

为适应交通量日益增长的需要，在一些城市道路、厂矿道路、机场跑道和个别公路干线上，也修筑了不少水泥混凝土路面，除对其结构设计、材料组成和施工方法进行试验研究外，还铺筑了少量装配式混凝土路面和无筋预应力混凝土路面的试验路段。

至于块石路面，某些地区为了提高急弯陡坡路段路面的抗滑能力，修筑一些不整齐石块路面。在铁路公路平交道口和有履带式车辆行驶的交叉路口，为避免路面破坏，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，还用整齐石块修建了一些高级块石路面，其中包括嵌花式小方石块路面及15~20厘米厚、30~50厘米宽和30~100厘米长的大型块石路面。这种路面具有很高的强度和耐久性，而且增进路容美观，发挥了我国传统的路面建筑风格。

为提高路面施工质量，加快施工进度，节约劳动力，降低劳动强度，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、沥青混合料摊铺机和水泥混凝土路面摊铺机等。近年来还生产了沥青路面联合铺筑机，将进料、拌和、出料与摊铺各项工序集中在一起进行流水作业，得到了普遍的重视。至于沥青混合料搅拌厂，解放前只有个别大城市有从外国进口的设备，现在我国自行建设的沥青混合料搅拌厂和沥青基地，不但在大、中型城市有，而且也建立在个别公路干线上。

生产上的发展促进路面工程科学技术的发展。在路面设计方面，解放前大多凭经验，解放初期沿用苏联方法，不仅同我国实际情况有较大差异，设计理论本身也存在不少问题。六十年代以来，在使用国产沥青修筑路面的推动下，柔性路面设计理论得到了逐步发展与完善。到了七十年代，全国有关公路单位对路基、路面进行了系统的调查研究和科学试验，为制订具有我国特色，密切结合我国实际的《公路柔性路面设计规范》提供大量的基础资料。

至于刚性路面设计方面，各公路、城市道路、厂矿道路和飞机场以及大专院校等有关单位，也正在开展协作进行试验研究并铺筑试验路段，力求摸索出一套具有我国特色的、密切结合我国生产实际的设计理论和方法，据以制定《刚性路面技术规范》供生产使用。

综合以上所述，我国在路面工程技术方面，已做了大量工作，并获得巨大成就。但与世界上工业发达国家相比，还有较大差距。目前工业发达国家路面工程技术现状与发展趋向主要是：

一、在路面设计方面，利用电子计算机程序和有限元法，应用弹性层状体系理论、粘弹性理论和断裂力学对路面进行研究和计算，可计算多至12~15层次的柔性路面和有限平面尺寸的刚性路面板。此外，还力图建立一种包括荷载、环境、施工、维修、材料、经济、几何结构和使用性能等因素在内的最优化系统设计方法。

二、在综合稳定土方面，使用有机和无机结合料，加入微量化学试剂，如表面活性材料、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。

三、在沥青路面方面，一些国家提倡采用浇铸式或热压式沥青混合料；另一些国家则修

筑全厚式沥青路面。为了改善沥青材料的路用性能，还掺入各种聚合物、树脂、橡胶和硫磺等外掺剂；有些国家还生产正规的混合沥青和各种乳化沥青。

四、在水泥混凝土路面方面，提倡少设或不设胀缝，并着重试验研究钢纤维混凝土路面、连续配筋混凝土路面以及预应力混凝土路面，其中包括用膨胀水泥的自应力混凝土路面。对已磨损的旧混凝土路面，还研究其罩面和提高抗滑性能的方法。

五、在路面测试方面，推广使用能自动连续测定动荷载作用下的路面弯沉仪；利用冲击法、超声波法和波传法测定路面强度、弹性模量、厚度和密实度；以及采用自动连续量测路面抗滑性能和平整度的仪器。

六、在路面施工机械化方面，使用电子装置和激光技术，能使平地机自动控制铲刀位置，摊铺机能自动找平，并使各种机械能自动导向。对工地现场，还使用无线电装置进行遥控，并使用电视装置进行观察。

为了要做好路面工程建设，实现路面现代化，必须注意以下几点：

一、路面工程线路长，工程量大，季节性强，必须做好施工组织计划，实行流水作业，严格施工管理和质量检验。为提高生产率和施工质量，节约劳动力，必须努力研制或引进高效能、低消耗的路面施工机械，逐步实现筑路与养路的机械化与自动化。

二、建造路面要耗费大量的筑路材料，每千米达数十兆牛（数千吨），它不仅是路面投资的主要组成部分，而且涉及同农业争用劳动力和运输量。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，根据因地制宜和就地取材的原则，充分利用当地材料和工业废渣，修建经济而适用的路面。

三、公路建成初期，往往交通量不大，随着沿线经济的发展，交通量不断增加，从而对路面提出更高的要求。因此，在设计和修建路面时，应考虑采用分期修建的原则。当交通量不大时，建造等级较低的路面；待交通量逐步增长后，再在原有路面上加铺等级较高的层次，使第一次投资不至过大，前期工程能为后期所利用。

四、路面结构的整体强度和稳定性与土基的强度和稳定性有重大关系。强度不足或稳定性差的土基，极易导致路面的车辙、沉陷、裂缝等破坏。因此，在修筑路面时，应当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、压实和掺入粒料或结合料等，以便发挥土基的潜力，从而减薄路面的厚度，为国家节约大量的资金、劳动力和材料。

五、路面建设要做到精心设计，精心施工，以保证工程质量。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。

六、在路面工程中，要广泛开展技术革新和科学实验，认真总结经验，积极采用新结构、新材料、新工艺和新设备，同时还要注意学习和掌握国外先进的现代化路面科学技术，以便提高路面工程的技术水平。

搞好路面建设，是实现四个现代化的需要，是发展社会主义革命与建设的需要。我们公路工作者担负着极其艰巨而光荣的任务。

§1-2 路面的横断面形式

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结构物，它提供汽车在正常行驶速度下，安全而舒适地运行。路面的横断面形式有下述两种：

一、槽式 一般公路路面都采用槽式横断面，它是在车行道范围内把路基筑成路槽，在槽内铺筑路面。在整个路面宽度内，除个别特殊情况外，一般都做成相等厚度的路面（图1-1a）。

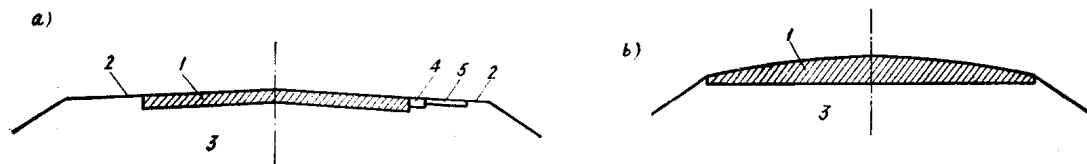


图1-1 路面横断面形式

a) 槽式；b) 全铺式

1-路面；2-土路肩；3-路基；4-路缘石（侧石）；5-加固路肩

二、全铺式 它是在整个路基宽度内，包括路肩都铺筑路面。路面中部厚度最大，逐渐向两侧减薄，至边缘处厚度约为2~3厘米（图1-1b）。在丰产石料地区，路基较窄的中、低级路面上，可采用全铺式断面。沙漠地区的公路，为固定路肩的土砂，也宜采用这种断面。

路面的宽度按1972年《公路工程技术标准》规定：一级公路设置四个车道，路中设置中央分隔带，路面宽度为 2×7.5 米；二级公路设置两个车道，路面宽度为7米，但在平原微丘地区，有必要时可增至9米；三级公路也设置两个车道，路面宽度也用7米，但在山岭、重丘地区，条件受限制时可减至6米；四级公路设置一个车道，路面宽度取为3.5米。

为保证路面上的雨水及时向两旁排泄，路面表面应做成中间高、两边低的形状，称为路拱。在图1-2中，路面上某点P所排泄的水量应等于 x 路段上的降雨量，即：

$$LHv = qxL$$

但

$$v = C\sqrt{RS}$$

所以

$$C\sqrt{RS}H = qx$$

或

$$C^2RSH^2 = q^2x^2$$

但

$$R \cong H,$$

$$\therefore S = \frac{dy}{dx} = \frac{q^2x^2}{C^2H^3}$$

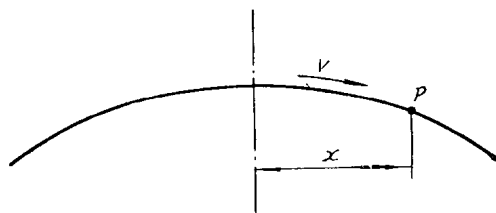


图1-2 路拱排水示意图

式中： L ——道路纵向单位长度；

H ——路面上积水深度；

v ——水的流速；

q ——暴雨强度；

R ——水力半径；

S ——水力坡度；

C ——流速系数。

$$\text{令 } k = \frac{q^2}{3C^2H^3}, \text{ 得 } dy = 3kx^2dx$$

积分得:

$$y = kx^3 + C$$

当 $x = 0$, $y = 0$ 时, $c = 0$,

所以

$$y = kx^3 \quad (1-1)$$

式 1-1 表明, 从排水角度出发, 路拱曲线应是三次抛物线。但三次抛物线在路面两侧边缘附近的横坡过陡, 影响行车的平稳性, 并造成汽车各个车轮对路面所施加荷载的不均匀性, 故应对三次抛物线进行合理的调整与修改。目前公路路面常用的路拱形式有如下两种:

一、二次抛物线形 (图1-3)

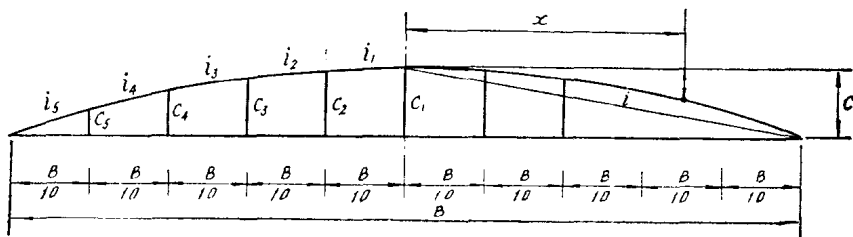


图1-3 二次抛物线形路拱

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{4C}{B^2} x^2 \\ C &= C_1 = \frac{Bi}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中: C 和 C_1 ——路拱顶点与两侧边缘的高差, 米;

B ——路面宽度, 米;

i ——路拱平均横坡度, 以小数计;

x 和 y ——分别为抛物线上某点与路拱顶点的水平距离和高差, 米。

按式 1-2 计算得: $C_2 = 0.96C$, $C_3 = 0.84C$, $C_4 = 0.64C$, $C_5 = 0.36C$ 。这种形式路拱横坡在中部 i_1 甚平缓, 而在边部 i_5 则太陡, 例如当 $B = 7m$, $i = 3.5\%$ 时, i_1 竟达 6.3% 。对中、低级路面, 因 B 较小, i 较大, 而且行车不多, 车辆大多靠中央行驶, 故可采用这种形式的路拱, 既保证行车平稳, 又便利两侧排泄雨水。

二、直线形 用两根倾斜直线连成 (图 1-4) 在路面两侧边缘附近横坡较平缓, 故行车平稳, 路面受力也较均匀, 但不利于排水。为便利车辆驶过路面中央尖峰, 应在中央插入一段圆曲线。圆曲线长度一般为路面宽度的 $1/3$, 但不得超过 3 米。

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{b}{2i_1} \\ h_1 &\cong \frac{x_T^2}{2R} \\ i_1 &= \frac{2H}{B}, \quad i = \frac{2h_n}{B} \\ h_n &= H - h_T \\ x_w &= \frac{B - b}{2} \\ h &= \frac{x^2}{2R} + i_1(x_T - x) - h_T \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

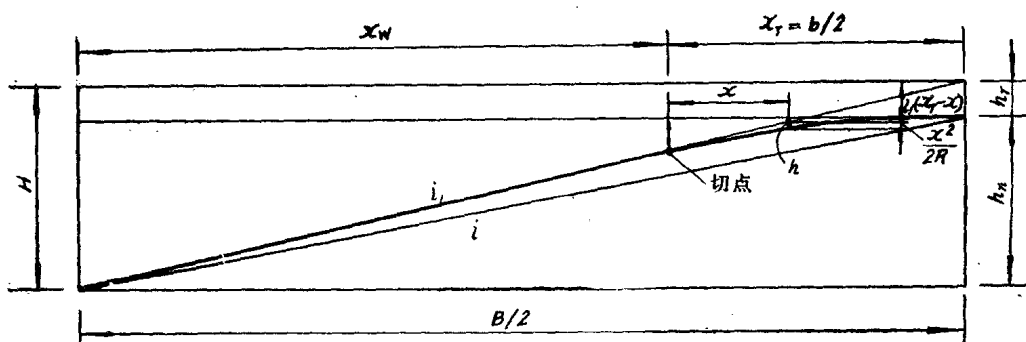


图1-4 直线形路拱

式中: R 和 b ——分别为圆曲线的半径和长度, 米;

 i_1 ——两侧直线横坡度，以小数计； i ——路拱平均横坡度，以小数计；

x 和 h ——分别为圆曲线与直线的切点至曲线上任意点的水平距离和高差, 米;

x_T 和 h_T ——分别为圆曲线与直线的切点至路中心的水平距离和高差, 米。

直线形路拱，在路拱平均横坡较小，以及较窄的和等级较高的路面上采用较普通。

对于城市道路，通常路面较宽，而且等级较高，两侧又有路缘石，所以常采用特殊形式的路拱，它有如下几种：

一、修正的二次抛物线形

$$y = \frac{2C}{B^2} x^2 + \frac{C}{B} x \quad (1-4)$$

式中代号同式 1-2。

按式 1-4 计算得: $C_2 = 0.88C$, $C_3 = 0.72C$, $C_4 = 0.52C$, $C_5 = 0.28C$ 。与二次抛物线形路拱相比, 这种形式路拱横坡在中部 i 较陡, 而边部 i 则较平缓, 一般对较宽的中级路面较为适用。

二、修正的三次抛物线形

$$y = \frac{4C}{B^3} x^3 + \frac{C}{B} x \quad (1-5)$$

式中代号同式 1-2。

按式 1-5 计算得: $C_2 = 0.90C$, $C_3 = 0.77C$, $C_4 = 0.59C$, $C_5 = 0.34C$ 。与三次抛物线形路拱相比, 这种形式“路拱横坡在中部较陡, 可达 0.5~1.0%, 能保证排水顺畅, 而在边部横坡一般也能保持在 3~4% 以内, 故有利于行车和排水, 在南方多雨地区, 路面较宽和等级较高时, 宜于采用。

三、变次方的抛物线形

$$y = \frac{2^n C}{B^n} x^n \quad (1-6)$$

式中, n ——抛物线的方次数。

为使路面横坡在边缘处不至过大以利行车,在中部又不至过小以利排水, n 值应根据路面宽度 B 和平均横坡度 i 来选定,如表1-1所列。这些 n 值能保证自路面中心至横距0.5米处的割线坡度不小于0.3%,自路面边缘至横距0.5米处的割线坡度不超过 $2i$ 。

四、中央插入缓和直线的直线形(图1-5)

这种形式路拱在较宽的和等级较高的路面上,如水泥混凝土路面采用较多。当路拱横坡为1.5%时,在路面中央插入两段对称的坡度为0.8~1.0%的直线(图1-5a)。当路拱横坡为2%时,在路面中央插入四段对称的直线,其横坡度为1.5%和0.8~1.0%(图1-5b)。为便利两侧路缘石附近排水,离缘石1米距离内应将横坡分别增至3%和4%。

等级较高的路面,其平整度和水稳性较好,透水性较小,可采用较小的路拱横坡度,反

不同 i 和 B 值时的 n 值

表1-1

平均横坡度 i (%)	路面宽度 B (米)	n 值
1	6	1.50
	7~20	1.25
1.5	6~14	1.50
	15~20	1.25
2.0	5~7	1.75
	9~20	1.50
2.5	6~10	1.75
	12~20	1.50
3.0	5~12	1.75
	13~20	1.50
3.5	5~9	1.75
4.0	6~9	1.75

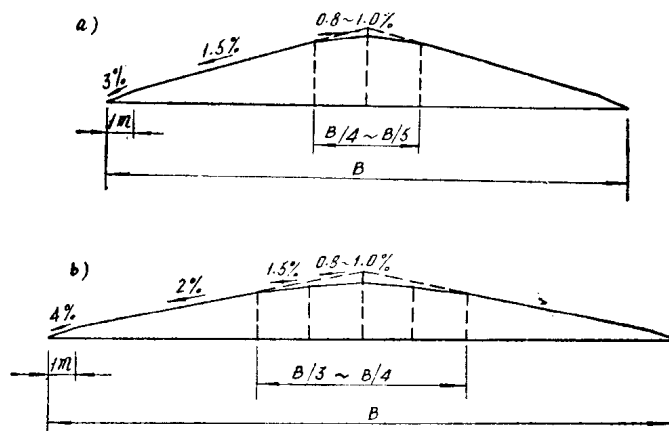


图1-5 中央插入缓和直线的直线形路拱

之则应采用较大的路拱横坡度。表1-2列出了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，潮湿多雨地区应采用高值；当道路纵坡较大，或路面较宽，或行车速度较高，或交通量和车辆载重较大，或经常有拖挂汽车行驶时，均应采用平均横坡度的低值，反之则应取用高值。

一级公路设有中央分隔带，为了便利雨水向两侧排泄，通常仍应按常规作成中间高两边低的凸形路拱；但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、两边低的凸形路拱。

在槽式断面中，路面两旁为路肩。路肩对路面起着横向支撑作用，还能保证路面上雨水向两侧排出，并可用以停放车辆和筑路机具以及堆放筑路材料。路肩多用土筑成，其水稳性和平整度较路面为差，透水性较大，故其横坡度应较路面横坡大1%，但在干旱地区和有较多非机动车辆行驶的路段上，路肩横坡宜与路面横坡相等。在设置超高的弯道上，路面和路肩均应按照所需超高度做成单向倾斜的横坡。

不同类型路面的路拱平均横坡度

表1-2

路 面 类 型	路 拱 平 均 横 坡 度 (%)
水泥混凝土	1.0~1.5
沥青混凝土	1.0~2.0
热拌沥青碎石混合物	
沥青贯入式碎(砾)石	1.5~2.5
冷拌沥青碎(砾)石	
沥青碎(砾)石表面处治	
沥青灰土表面处治	
整齐、半整齐石块与条石	2.0~3.0
不整齐石块	
泥结、水结、干结及级配碎(砾)石等	2.5~3.5
砂、砾石、碎砖	
粒料改善土	3.0~4.0
当地材料改善土	

对沥青路面和水泥混凝土路面,为保护其边缘,可沿路面边缘,用块石、条石、砖块或混凝土预制块铺砌成路缘石(侧石),其宽度约为15~25厘米,厚度约为15~20厘米。路肩外侧应保留50厘米宽度供植草用,其余部分可用砂砾或碎石等材料予以加固。对砂石路面,当交通量较大,或有很多非机动车通行时,也宜用当地廉价材料将路肩适当加固。对挖方弯道内侧路肩,也应视具体情况予以加固。

§1-3 对路面的基本要求

修筑路面的目的,主要是改善车辆运行条件,保证全年通车,提高行车速度和安全性,以及降低运输成本等。为达到这些目的,路面必须满足下述各项基本要求:

一、具有足够的强度

汽车施加于路面上的力的大小由车辆荷载所决定。目前我国行驶于公路上的国产载重车辆主要有解放 CA-10B 和黄河 JN-150 两种型号,前者满载时的总重为0.08兆牛(8吨),后轴重0.06兆牛(6吨),车辆对路面所施加的垂直压力约为0.5兆帕(5公斤/平方厘米);后者满载时的总重为0.15兆牛(15吨),后轴重0.1兆牛(10吨),车轮对路面所施加的垂直压力约为0.7兆帕(7公斤/平方厘米)。此外,汽车以正常速度行驶时,为了克服各种阻力,还会对路面施加大约相当于0.3倍垂直压力的纵向水平力;而在紧急制动、突然起动或上下坡时,这纵向水平力最大可增至垂直压力的0.7~0.8倍。

除上述而外,当汽车行驶时,由于发动机的机械震动和汽车悬挂系统与车辆的相对运动,路面还会受到车辆的震动力和冲击力作用;在车辆后面还会产生真空吸力作用。

在上述各种力的综合作用下,路面会逐渐出现磨损、开裂、坑槽、沉陷和波浪等破坏,这就会降低行车速度、行车安全性和舒适性,并提高运输成本,严重时还可能中断交通。因此,整个路面结构必须具有足够的强度。以支承行车荷载,抵抗其破坏作用,使不产生影响

行车的各种变形。

二、具有足够的稳定性

路面暴露于大气之中，经常因遭受各种自然因素的不利影响而导致破坏。例如，沥青路面在高温时，会变软而产生轮辙和推移等病害，低温时会变脆开裂；水泥混凝土路面在高温时可能产生拱胀破坏，低温时会收缩开裂。又如在雨季，雨水渗入路面，使路面结构中的含水量增多，强度下降，产生沉陷、轮辙和裂缝等破坏，这种现象对泥土含量较多的砂石路面，表现得特别严重。此外，路面使用时间长久后，路面材料还可能由于老化衰变而导致破坏。

鉴于以上所述，为保证路面正常使用，要使它的强度在使用期内的变化幅度愈小愈好。这种强度变化的幅度称为稳定性，强度变化幅度愈小，则稳定性愈好。由于水分变化所促成的强度变化称为水稳性；由于温度变化所促成的强度变化称为温度稳定性；由于使用时间长久所促成的强度变化称为时间稳定性（又称耐久性）。

三、具有足够的平整度

不平整的路面会增大行车阻力并造成行车颠簸，从而导致行车速度、舒适性和安全性的降低，并使行车对路面施加冲击力，它不但加速路面和汽车机件的损坏，而且也加速轮胎的磨损和增大油料的消耗。同时，不平整的路面会积滞雨水，加速路面的破坏。

图1-6为路面不平整度与车轮冲击力关系的一项试验结果，图中不平整度是以试验车行

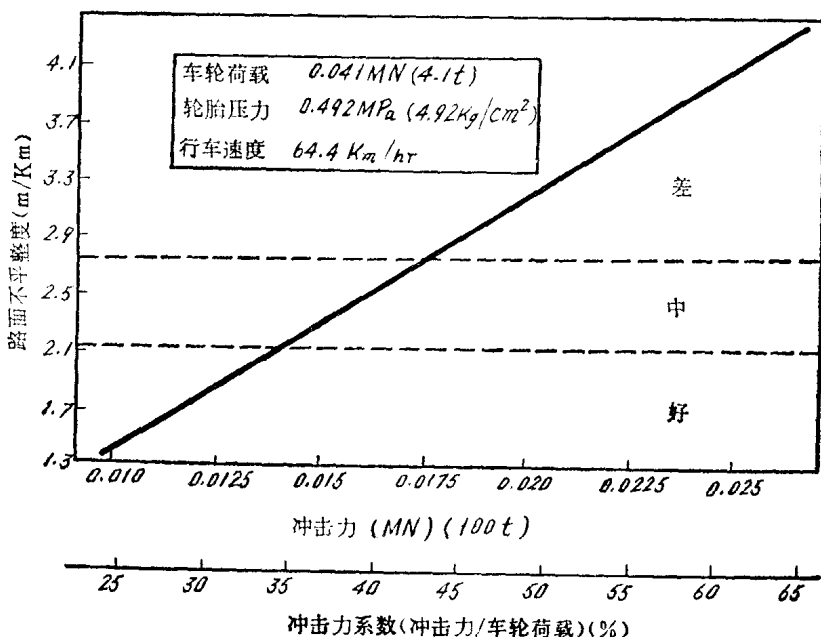


图1-6 路面不平整度与冲击力和冲击力系数的关系

驶1千米距离，车身与后桥的相对垂直位移的累计数（米）来表示。由图可见，在不平整路面上行车，冲击力增大很多，其冲击力系数（冲击力/车轮荷载）最高可达65%。而且，在相同不平整度的路面上行车时，冲击力系数会随着车速的提高而增大。因此，为减小车轮冲击力，保证高速行车，路面应保持足够的平整度。道路等级越高，设计车速越高，对路面平整度的要求也越高。

四、具有足够的抗滑性能

汽车在光滑的路面上行驶，车轮与路面之间缺乏足够的摩擦阻力，特别是在雨天高速行驶，或紧急制动或突然起动，或爬坡时，均易产生打滑和空转，致使行车速度降低，油料消耗增多，而且也容易引起行车事故。

图1-7为在潮湿状态沥青表面处治路面上所做的一项试验结果。由图可见，在光滑路面

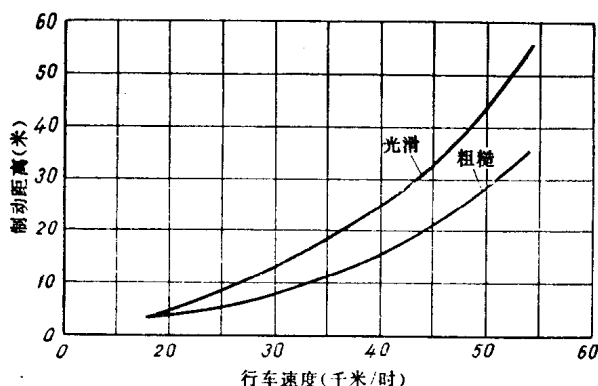


图1-7 路表状况、行车速度与制动距离的关系

上的汽车制动距离要较粗糙路面上大得多；车速越高，则制动距离越长，行车的 安全性 越小。随着车速的提高，光滑路面就越容易引起交通事故，因此，路表面应具有足够的抗滑性，也就是要有一定的摩擦阻力系数，特别是行车速度高时，对抗滑性的要求应越高。但是路面的抗滑性，除与面层结构、材料性能和组成等有关外，还和路面上是否有积雪、浮冰和污泥等有关，它们都会降低路面的抗滑性，所以必须及时予以清除。

五、具有尽可能低的扬尘性

汽车在砂石路面上行驶时，车轮后面所产生的真空吸力会将面层表面或其中的细料吸出而扬尘，甚至导致路面松散、脱落和坑洞等破坏。扬尘会加速汽车机件损坏，减短行车视距，降低行车速度，而且对旅客和沿路居民的卫生条件，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。

六、具有足够的不透水性

透水的路面，雨水容易渗入路面结构和土基，使它们的含水量增大而强度降低，特别是水稳性不良的基层结构和土基，常因面层透水导致路面破坏。

§1-4 路面结构层次划分

路面结构的整体强度，由土基和各结构层的强度以及它们的组合和层间的连结情况所决定。行车荷载和大气因素等对路面的作用是随着深度而逐渐减弱的。此外，路基水文地质情况也影响到路面的工作状况。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，把整个路面结构分成若干层次来铺筑，如图1-8所示。

一、面层

面层直接同车轮和大气接触，它所承受行车荷载各种力的作用以及雨水和气温变化的不利影响最大。因此，面层材料应具备较高的力学强度和稳定性，而且应当耐磨不透水，其表

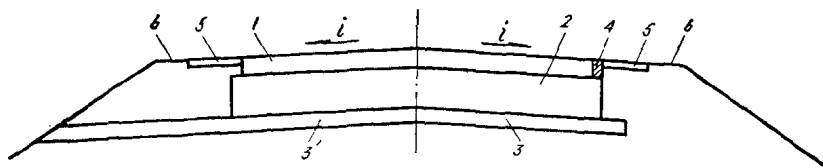


图1-8 路面结构层次划分示意图

i -路拱横坡度；1-面层；2-基层(有时包括底基层)；3-垫层；3'-隔离层；4-路缘石(侧石)；5-加固路肩；6-土路肩
面还应有良好的抗滑性和平整度。

砂石路面耐磨性差，容易透水，所以使用不久，即易产生松散、脱落、坑洞和搓板等损坏。为了延长其使用年限，改善行车条件，常在面层上用砾石、石屑等材料铺成2~3厘米厚的磨耗层。为延长磨耗层的使用年限，保证路面平整度，有时在磨耗层上再用砂土材料铺成厚度不超过1厘米的保护层。磨耗层和保护层仍属于面层的组成部分，不能作为独立的层次。面层有时分两层铺筑。例如，下层用沥青贯入式，上层用沥青混凝土或沥青表面处治；又如，双层式的水泥混凝土面层等。为延长沥青类路面的使用年限，增进抗滑能力，也可在其上用沥青石屑铺成2~3厘米厚的磨耗层。至于厚度不超过1厘米的简易式沥青表面处治，则属于养护措施，不能当作独立的层次，至多只能看成是一种磨耗层。

修筑面层所用的材料主要有：水泥混凝土、沥青混凝土、粒料与沥青组成的混合料、砂砾或碎石掺土或不掺土的混合料以及块石等。

二、基层

基层主要承受由面层传来的车轮荷载垂直压力，并把它扩散分布到下面的层次中，所以基层材料应具有足够的抗压强度和扩散应力的能力。车轮荷载水平力作用，沿着深度递减得很快，对基层影响很小。由于基层不直接与车轮接触，故一般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。同时基层和面层要有很好的结合性，以提高路面结构整体强度，避免面层沿基层滑动和推挤。基层遭受大气因素的影响虽比面层为小，但不能阻止地下水和地表水的侵入；当面层透水时，也不能阻止雨水的侵入，所以基层结构应具有足够的水稳性。

为适应某种结构性能的需要，有时在面层与基层之间，另设一个联结层或整平层。例如，为减轻或消除石灰土基层开裂而反射到面层和防止面层沿着基层表面滑动所设置的碎石联结层，以及在高级沥青面层与基层之间所设置的沥青混合料联结层。又例如，为便利水泥混凝土面层沿着基层表面伸缩移动而设置的沥青砂整平等。

修筑基层所用的材料主要有：碎(砾)石，天然砂砾，用石灰、水泥或沥青稳定土，用石灰、水泥或沥青处治的碎(砾)石，各种工业废渣(煤渣、矿渣、石灰渣等)和它们与土、砂、石所组成的混合料以及水泥混凝土等。

基层有时分两层铺筑，其上面一层仍称基层，下面一层则称底基层。修筑底基层所用材料的质量要求可较基层差些。

三、垫层

在排水不良或有冻胀的土基上，应在基层之下加设垫层。垫层的作用，主要是调节和改善土基的温度状况，一方面也可减轻土基不均匀冻胀和隔断地下毛细管水上升或地表水下渗，同时还可贮存基层或土基中多余的水分。此外，垫层还能阻止路基土挤入基层中，以保证路面结构的稳定性；而且它也能扩散由基层传来的车轮荷载垂直作用力，以减小土基的应力和弯沉。