

第 1 章 总 论

1.1 道路工程发展概况

我国在公路施工技术有着悠久的历史。早在 4000 多年前，我国就有了车和行的路。商代开始有驿道传送。西周开创了以城市为中心的道路体系，建立了比较完善的道路管理制度。秦代修建直道、驰道，建立了规模宏大的道路交通网，总里程达 1.2 万 km。西汉时期设驿站 3 万多处，道路交通呈现出更加繁荣的景象，特别是连接欧亚大陆的“丝绸之路”的开通，为东西方文化交流做出了贡献。唐代是中国古代经济和文化发展的昌盛时期，也是我国古代道路发展的鼎盛时期，初步建立了以城市为中心的四通八达的道路网，其间在道路结构、施工方法等方面均有许多创新。到了清代，已经将道路分成了“官马大路”、“大路”、“小路”三个等级，其中仅“官马大路”就已超过 2000km。

20 世纪初，第一辆汽车输入我国，通行汽车的公路在我国开始发展。1908 年建成了我国历史上第一条公路，即广西龙州至那堪公路，长 30km。1912—1949 年（民国时期）是我国近代公路的发展时期，全国先后共修建了 13 万 km 公路，但这些公路大多标准低、质量差，到 1949 年，能够勉强维持通车的公路仅 8 万 km，汽车保有量约 5 万台，但大多分布在沿海及中部地区，而大部分山区、农村和边疆仍然交通闭塞，行路艰难。

新中国成立以后，我国工农业迅速发展，建立和发展了汽车工业和石油工业，使我国的公路交通事业得到了迅速的发展。20 世纪 50 年代，举世闻名的青藏公路、康藏公路及海南岛公路、成都至阿坝公路等 10 余条重点公路相继竣工。在这些自然条件复杂、工程艰巨但工期要求短的公路施工过程中，我国的公路工程技术人员创造了土石方大爆破、泥结碎石路面、泥结碎石路面加铺级配磨耗层和保护层、软土地基处理等一系列公路设计施工新技术，使我国的公路工程技术水平有了一个整体上的提高。20 世纪 60~80 年代初，是我国公路发展的普及时期，这个时期共修建公路 80 多万 km，其中高级、次高级公路（主要是渣油表处路面）达 10 万 km。

从 20 世纪 80 年代开始，国家执行了以经济建设为中心的新政策，开始了建设有中国特色社会主义的新时期，公路建设也开创了崭新的局面。到 1998 年底，全国公路通车里程达到 127.8 万 km，其中高速公路总里程为 8733km，全国汽车保有量约 1500 万辆。公路运输已渗入到经济建设和社会生活的各个方面，在国民经济中占有越来越重要的地位。

1988 年我国高速公路实现了零的突破，结束了中国大陆没有高速公路的历史。10 多年来，陆续投入运行的主要高速公路有京石、京津唐、沈大、合宁、济青、开洛、广深、合芜、成渝、沪宁、哈大、泉厦、石安、安新等 20 余条线路。高速公路的建设和使用，为汽车快速、高效、安全、经济的行驶提供了良好的条件，标志着我国公路运输事业和公

路工程技术水平进入了现代化的新时代。

1.1.1 路基路面工程科研成果简介

路基路面结构直接承受行驶车辆的作用，是道路工程最重要的组成部分，而路基路面工程学科又是古老的道路工程学科派生出的一个重要的学科分支。它主要研究公路、城市道路和机场跑道路基路面设计原理和方法、路基路面结构组合、路用材料性能要求以及路基路面结构层施工、养护、维修和管理技术等。

新中国成立以来，我国公路管理部门和广大道路工程科学技术人员，从我国实际建设需要出发，在积极引进国外先进技术的同时，刻苦钻研，反复实践，在路基路面工程建设和科学研究中取得了许多突破性的成果，主要表现在如下几个方面：

(1) 公路自然区划 我国幅员辽阔，各地自然条件和道路工程性质差异很大，为此按自然条件大致相近划分为主，使在同一区划内从事公路规划、设计、施工及管理有许多共性因素可相互参照。我国现行的《公路自然区划标准》(JTJ003—86)分三级区划：一级区划根据地理、地貌、气候、土质等因素将我国划分为7个大区；二级区划以气候和地形为主导因素；三级区划则以行政区域作为界限。

(2) 土的工程分类 土是我国路基的主要建筑材料，由于天然成因的差异，不同的路基土表现出截然不同的工程性质。依据土的颗粒组成特征、土的塑性指标及土中有机质的存在情况，按照不同的工程性质将公路用土划分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土4大类，并细分为11种。确认土的类别需应用标准的仪器，采用统一的标准进行界定。为了在野外勘察中能迅速准确地对不同土类进行鉴别，总结出了“简易鉴别，分类描述”的方法和细节。

(3) 路基强度和稳定性 作为路面结构基础的路基应有足够的强度和稳定性。我国较早地确定了以回弹模量作为评价路基强度和稳定性的指标，并建立了成套室内外试验的标准方法和仪器设备。为了在施工中能以物理量指标控制路基工程质量从而保证达到规定的强度指标，广泛开展了不同土类的最佳含水量与最大密实度的相关关系的研究，并统一规定以重型击实实验作为基本控制标准。为了提高路基的强度和稳定性，根据不同类别土壤的特性，研究了粒料、石灰、水泥、专用固化剂等不同材料对土壤进行加固等有效的技术措施。在多年冻土、膨胀土、沙漠土、黄土及盐渍土等特殊地区，采用各种通过研究得出的有效技术措施修建公路路基取得了十分宝贵的经验。

(4) 高路堤修筑技术与路基支挡结构 为提高高路堤的稳定性而研究提出了减轻路堤自重、采用轻质塑料块修筑路堤、修筑轻型路基支挡结构等技术措施，特别是采用条带加筋、网络加筋、土工织物加筋等加筋挡土墙的研究和工程建设在我国取得了许多成就，且效果良好。

(5) 软土地基稳定处理技术 在软土地基上修筑路基路面结构，将改变天然地面的自然平衡状态，使路基在很长时间内均处于不稳定状况。为此广泛研究了软土的调查与鉴定方法及对软土进行加固的技术措施，如排水固结法、排水加载固结法、无机结合料深层加固法等。在力学分析研究方面则通过现场跟踪观测并建立预测分析模型来预估和控制软土地基加固处理后的沉降，以提高路基的稳定性。

(6) 沥青路面结构及施工方法研究 沥青是石油工业的副产品。建国前，我国路用沥

青完全依赖进口，建国后我国石油资源大量开发，石油开采和提炼加工技术不断改进，国产沥青产量稳步增长，为大量修筑沥青路面提供了良好的物质基础。早期的沥青路面主要是铺设在现有中级路面上的薄层表面处治，以改善行车条件。20世纪70年代末，逐步形成了以贯入式路面为主的沥青路面承重结构。20世纪80年代末，开始修建高速公路，沥青路面是一种主要结构形式，大量采用了总厚度超过70cm的重型沥青路面结构。在长期的科学研究过程中，逐步形成了适合我国实际情况的整套沥青路面技术，如沥青材料的生产工艺、装备、沥青材料的技术标准与指标、试验设备及方法、沥青混合料技术标准与指标、混合料设计方法、性能检测设备和方法以及整套沥青路面现代化施工设备、施工技术及科学的施工管理方法等。

(7) 柔性路面设计理论与方法 长期以来，我国道路工程科技人员在广泛调查研究和理论研究基础上，建立了符合我国实际的柔性路面设计理论方法体系，它汲取了世界上在道路设计方面各种流派的学术思想及各个国家设计方法的优点。在力学理论基础方面，建立了弹性多层结构承受多个圆形荷载的分析系统及相应的计算机程序，提出了控制路面结构主要性能的设计指标体系，形成了符合我国目前交通状况的荷载作用模式及交通分析方法，提出了一整套完整的设计参数指标、标准及测试仪器与方法，建立了切实可行的设计计算方法系统。近年来，在路面功能设计、路面结构可靠度设计等方面的研究已有了明显的进展，并将不断地在实际工程中得到应用和推广。

(8) 刚性路面结构及施工方法研究 20世纪50年代以来，为适应道路交通日益繁重的需要，我国在一些城市道路、厂矿道路和机场跑道上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试验段。到20世纪70年代中期，交通运输发展加快，不少省市为提高其干线公路的承载能力，相继采用水泥混凝土路面结构。随后，针对水泥混凝土路面在各方面存在的问题，开展了大规模系统的科学研究，研究的内容包括路用水泥的性能、指标、标准及生产工艺；水泥混凝土路面基层的作用及路面结构性能与设计方法；接缝的工作原理、构造及设计方法；水泥混凝土路面人工加小型机械的施工方法和现代化大规模成套机械化施工装备与施工方法及施工组织管理方法等。

(9) 刚性路面设计理论与方法 与水泥混凝土路面结构及施工方法研究相应的刚性路面设计方法的研究，同样始于20世纪70年代。在力学基础理论方面，运用解析法及有限元分析法建立了弹性层状体系结构，弹性地基板结构模型，形成了完整而系统的设计计算方法及与之相应的计算机程序；建立了以弹性力学为基础，以混凝土弯拉应力为设计控制指标，综合考虑荷载应力与温度应力作用的设计体系与方法；研究并建立了地基支承、疲劳效应、动力效应等一整套设计参数的取值与测试方法；对钢纤维混凝土路面、连续配筋混凝土路面、碾压混凝土路面、复合结构混凝土路面、预应力混凝土路面等新型路面结构开展了系统研究，并取得了具有实用性的研究成果。

(10) 半刚性路面结构 以水泥、石灰及工业废渣为主的稳定类材料作为基层、底基层的半刚性路面结构研究与应用始于20世纪60年代。30多年来，对半刚性路面的强度发展规律、强度形成机理、路用性质等课题开展了广泛的研究。由于半刚性路面材料不仅能满足作为路面结构承重的基本要求，而且能以当地土石及工业废料为主要材料，成型也相对简单，因而具有明显的技术经济优势，目前已广泛用于高等级公路与城市道路，成为

一种主要的结构型式。对于它的长期使用性能和变形规律等问题，目前正在作深入的研究，对于面层结构的半刚性技术途径也正在研究之中。

(11) 路面使用性能与表面特征 路面平整度、破损状况、结构承载能力及抗滑性能是路面使用性能的重要方面。关于路面使用性能对于行车的影响、路面使用性能与路面结构设计的关系、路用材料及施工水平对路面使用性能的影响等问题，一直是各国道路工程工作者极为关注的问题，我国在这些问题的研究方面已取得了令人瞩目的成果，而对于路面使用性能数据的采集与量测方法、路面使用性能的评价指标与标准，以及路面使用性能在车辆荷载反复作用下的性能衰减及恢复手段等问题也开展了广泛的研究，并已成功地应用于工程实际之中。

(12) 路面维护管理 采用系统分析方法，综合考虑技术、经济、社会和政治各方面的因素，协调各项路面管理活动。建立路面管理系统是 20 世纪 70 年代公路研究人员最重要的贡献之一。我国从 1984 年引进英国的 BSM 系统开始，“七五”期间在引进消化的基础上通过了国家重点科技攻关项目“干线公路路面评价养护系统成套技术”的研究，建立了我国的干线公路路面评价养护系统，即路面管理系统 CPMS (China Pavement Management System)。

1.1.2 路基路面工程技术发展趋势

路基路面工程作为一个学科分支，在我国正随着交通运输事业的快速发展以较快的速度逐步接近国外同类学科的前沿。进入 21 世纪，交通运输不论在中国还是在其他发达国家，仍然是一个重要的科技领域，我国道路工程技术工作者将从中国的实际出发，不断汲取交叉学科的新成就及世界各国的先进经验，以推动路基路面工程学科的发展。从当前路基路面工程学科的科技发展趋势可以看出，以下几方面学科与路基路面工程学科的交叉与发展将有利于路基路面工程学科的发展：

(1) 材料科学 路基路面工程每一项新技术的出现，均首先在路用材料上着手，如路基土性质的改善与稳定措施，水泥、沥青等材料的性能改善，路用塑料、橡胶等的应用均与工程材料科学有关。材料微观结构的研究、复合材料的研究等成果也逐步应用于路基路面工程。

(2) 岩土工程学 路基路面结构均依托天然地表的岩石与土壤构筑而成。因此，岩石力学、土质土力学、水文地质学等岩土工程学的科技成果都是路基路面工程学的重要理论基础。

(3) 结构分析理论 由于路基路面结构的复杂性以及车辆荷载与环境因素变化的复杂性，目前多数国家的设计方法所依据的静力线弹性力学分析理论还不能完全满足要求，许多学者仍然致力于路基路面结构分析的力学基础研究，如动力荷载与结构动力效应，非线性及粘弹性等数学力学模型的建立，以及适应于各种要求、各种边界条件的数学分析方法和数值解析方法等。路基路面工程结构分析理论的进一步发展将有可能使宏观结构分析与材料的组成特性以及材料的微观结构与微观力学融为一体，而成为路基路面工程设计的重要基础。

(4) 机电工程 现代化道路路基路面工程与机场道面工程对使用性能及使用品质的要求，使其施工过程对于施工装备的性能要求越来越高，如振动压路机的吨位、振动频率及

振幅对各个不同的结构层产生的效应也截然不同，而许多专用的施工设备就是针对结构强度形成的理论和工艺要求而设计的。因而，有些国家和地区在研究路基路面工程新技术时，常将施工工艺与施工装备同时列入研究计划而同步开发研究，为实现施工机械自动化，还将使用电子装置和激光技术对施工现场进行遥控监测。

(5) 自动控制与检测技术 为确保路基路面工程质量，使道路具有良好的使用品质，必须在施工过程中严格控制各项技术指标，在道路投入使用后的运行过程中也需作长期的跟踪检测。因此，在路基路面工程质量检测方面，将研究使用能自动连续量测动、静两种荷载作用下的路基路面弯沉仪和弯沉盆曲率半径仪，研究采用冲击波、超声波测定路基路面结构强度和弹性模量的方法，并研究使用同位素方法测定密实度和厚度以及研究使用电脑自动连续量测路面抗滑性能和平整度的仪器设备等。

(6) 系统工程及现代管理科学 从现代管理科学的角度进行分析，路基路面工程在某一区域范围内属于一个大的系统工程，且道路规划、设计、施工、养护、维护及管理的全过程，持续数十年之久，采用系统的分析方法，通过管理系统对区域范围内路基路面工程各个阶段的数据信息进行监测、采集、存储、处理，并定期作出评估与预测，正确决策路基路面投资走向，合理经营和管理道路资产，必要时提出合理而有效的养护维修对策，使路基路面始终具有良好的使用品质，并充分发挥效益，是现代化系统管理的总概念，具有十分重要的经济价值和社会效益。

1.2 路基路面的功能和要求

路基路面是道路的主要工程结构物。路基是在天然地基上按路线的平面位置及纵坡要求开挖或填筑成一定断面形状的土质或石质结构物，它是道路这一线形建筑物的主体，又是路面的基础；而路面则是在路基表面上用不同材料或混合料分层铺筑而成的供汽车行驶的一种层状结构物，它们共同承受着行车荷载和自然因素的作用，其质量好坏直接影响到道路的使用品质。

路基路面工程是道路工程的重要组成部分，其工程数量十分可观，如平原、微丘区的三级公路，每公里土石方数量为 $8000\sim 16000\text{m}^3$ ，山岭、重丘区的三级公路，每公里土石方数量则可达 $20000\sim 60000\text{m}^3$ ，对于高等级公路，其工程数量就更为可观。

路基路面是一种线形构筑物，有的公路连续数百公里甚至上千公里，跨越若干省份。公路沿线地形起伏，地质、地貌、气候特征多变，再加上沿线城镇乡村经济发达程度与交通繁忙程度不一，从而决定了路基路面工程复杂多变的特点。

现代化的公路交通运输要求道路具有良好的使用性能，能为车辆运行提供良好的行驶条件和服务水平，使车辆在各种气候条件下均能快速、安全、舒适、经济地运行。因此，路基路面结构应具有以下一系列基本性能。

(1) 足够的强度和刚度 行驶在路面上的车辆，一方面通过车轮将竖向压力传递给路基路面，另一方面又使路面受到水平力的作用。在这些外力的作用下，路基路面结构内将产生不同性质和大小的应力、应变及位移，如果路基路面结构整体或某一部分强度或刚度不足以抵抗这些应力、应变及位移的作用，则路基路面结构将出现断裂、碎裂或沉陷、波浪、磨损等损坏和变形现象，使路况恶化，服务质量下降。因此，路基路面结构必须具有

足够的强度以抵抗荷载作用下产生的各种应力，并且有足够的刚度以抵抗荷载长期作用下所产生的变形。

(2) 足够的稳定性 路基路面结构袒露在大气中，经常受到大气温度、湿度变化的影响，而路基路面材料对于气候和水分变化因素的影响又较为敏感，从而使其性能也随之发生变化，这些变化使路基路面结构的强度和刚度也同时发生变化，这种变化幅度的大小，称为路基路面结构的稳定性。

路基直接在天然地基上开挖或填筑而成，路基修建后改变了原地面的自然平衡状态，也改变了原地层结构的受力状况，有可能使原来处于稳定状态的地层结构由于路基的开挖或填筑而引起不平衡，导致路基失稳，如路基沉陷、边坡滑塌、溜方和滑坡以及边坡的剥落和碎落等破坏现象。

路基路面结构在地面水和地下水的作用下，其强度也将发生显著降低现象，如大气降水使路基路面结构内部湿度状态发生变化，低洼地带的矮路堤，因排水不良而引起的长期积水，将使路基土软化，失去承载能力，而山坡路基也会由于排水不良而引起滑坡或边坡滑塌；水泥混凝土路面结构中的水分若不能及时排出，将产生唧泥、错台等现象，进而出现板块碎裂现象，降低道路的使用寿命；而沥青路面结构中的水分侵蚀，将引起沥青层剥落、结构松散等现象；砂石路面在雨季时，会因雨水渗入路面结构而导致强度下降，产生沉陷、波浪、车辙等病害。

大气温度的周期变化对路面结构的稳定性有重要影响。高温季节沥青路面软化，在车辆荷载作用下将产生永久变形；冬季低温时，又可能由于收缩变脆而开裂。水泥混凝土路面在温度变化时，板块将发生拱胀或翘曲现象。另外，半刚性基层路面结构在低温情况下，将由于低温收缩现象而产生大量裂缝，最终失去承载能力。而在北方冰冻地区，低温引起的路基路面不稳定则是多方面的，如冬季冻胀、春融、翻浆等。

(3) 耐久性 路基路面结构在车辆荷载和气候因素的反复作用下，将逐渐出现疲劳破坏和塑性变形累积，使道路使用性能逐年下降，路基路面材料的各项性能也将由于老化而衰变，这些都将增加道路养护工作量，缩短道路的使用寿命。因此，路基路面结构必须具有足够的抗疲劳、抗老化和抗变形积累的能力。

(4) 表面平整 不平整的路表面将增大行车阻力，并使车辆产生附加振动，这种振动作用将引起行车颠簸，影响行车速度和行驶安全，并影响驾驶的平稳性和乘车舒适性。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及轮胎的磨损，并增大油料消耗。不平整的路表面还将积渍雨水，加速路面的损坏。

平整的路表面，需依靠优良的施工设备、精细的施工工艺、严格的质量控制及经常而及时的维修养护来保证。同时，路面的平整度还与整个路基路面结构和路基顶面的强度和抗变形能力有关，同结构层所用材料的强度、抗变形能力及均匀性有很大的关系。强度和抗变形能力不能满足要求的路基路面结构和面层混合料难以抵抗车辆荷载的反复作用，极易出现沉陷、车辙、波浪和推挤等破坏，从而形成不平整的路表面。

(5) 表面抗滑性能 现代交通车速不断提高，对路面的抗滑能力提出了更高的要求，道路表面应具有足够的抗滑能力，以保证在最不利情况下，车辆能高速安全行驶，而且在外界因素作用下，其抗滑能力不致很快降低。

道路表面的抗滑能力可以通过采用坚硬、耐磨、表面粗糙的粒料组成路面表层来实

现，也可以采用一些工艺措施来实现，如水泥混凝土路面表面的刷毛或刻槽等。此外，路表面的积雪、浮冰、污染等也会降低路面的抗滑性能，必须及时予以清除。

1.3 影响路基路面稳定性的因素

路基路面结构的主体裸露在大气中，并具有路线长、与大自然接触面广的特点，其稳定性在很大程度上由当地自然条件所决定。因此，应在深入调查道路沿线从总体到局部，从大区域到具体路段的自然情况的基础上，分析研究掌握各有关自然因素的变化规律及对路基路面结构稳定性的影响，从而针对当地实际情况，采取有效的工程措施，以保证路基路面具有足够的强度和稳定性。

1.3.1 影响路基路面稳定性的自然因素

(1) 地质和地理条件 道路沿线的地形、地貌及海拔高度，不仅影响到道路的路线走向和线形设计，还影响到路基路面设计。平原、丘陵及山岭区地势各不相同，水温情况各异，平原区地势平坦，易积聚地面水，地下水位高，路基需保证最小填土高度，路面结构层则需选择水稳定性良好的材料，并采用适当的结构排水设施；丘陵区地势起伏，山岭区地势陡峭，如路基路面排水设计不当，易导致路基路面稳定性下降，出现各种变形和破坏现象。

道路沿线的地质条件，如岩石的种类、成因、节理、风化及裂隙情况，岩层的走向、倾向和倾角、层理和厚度以及有无软弱层或遇水软化的夹层，有无断层或其他特殊的地质现象（岩溶、冰川、泥石流、地震带）等，都对路基路面的稳定性有一定影响。

(2) 气候条件 气候条件如气温、降水、空气湿度、冰冻深度、日照、蒸发、风向、风力等，都将影响道路沿线地面水和地下水的状况，并影响到路基路面的水温状况。

一年之中气候的季节性变化，使路基路面的水温状况也发生季节性周期变化。气候还受到地形的影响，如山南与山北、山顶与山脚的气候差别等因素，都将影响路基路面的稳定性。

(3) 水文及水文地质条件 水文条件如道路沿线地表水的排泄情况，河流洪水位、常水位的高低，有无地表积水和积水期的长短，河岸的冲刷和淤积情况等；水文地质条件如地下水位、地下水的移动情况，有无泉水、层间水、裂隙水等，所有这些地面水与地下水都将影响路基路面的稳定性，如处理不当，极易引起各种病害。

(4) 土的种类和强度 土是修筑路基路面的基本材料，不同类别的土具有不同的工程性质，将直接影响到路基路面的强度和稳定性。不同类别的土含有不同的颗粒成分，砂粒成分较多的土，由内摩擦力构成其主要强度，强度较高且不易受水的影响，但施工时压实困难；颗粒直径较细的砂，在渗流的情况下易流动而形成流砂；粘粒成分较高的土，由粘聚力构成其主要强度，强度随密实度的不同有较大的变化，且随水分的增加而降低；粉土类土毛细作用强烈，其强度和承载能力随毛细水上升高度增加、湿度加大而降低，在负温的情况下，水分通过毛细作用移动并积聚，发生冻胀，最后导致路基翻浆、路面结构层断裂等。

1.3.2 影响路基路面稳定性的人为因素

(1) 荷载作用 包括静载、动载的大小及重复作用次数。

(2) 路基路面结构 包括路基填土或填石的类别与性质、路基的断面形式、路面的等级与结构类型、排水构筑物的设置情况、路面表层是否渗水等。

(3) 施工方法与质量 包括不同类别的土是否分层填筑、路基压实方法及质量、面层的施工质量与水平等。

(4) 养护措施 包括一般措施及在设计、施工中未及时采用而在养护过程中加以补充的改善措施。

此外，还有沿线附近的人为设施，如水库、排灌渠道、水田及人为的活动等。

1.4 路基土的分类及各类土的工程性质

在生产实践中，我们常可看到不含骨料的土路遇雨雪后泥泞不堪，车辆驶过时便形成车辙，久晴之后土路却又非常坚硬且尘土飞扬。这说明土的状态和性质与其含水量、颗粒组成及有机质的存在有着十分密切的关系。我国的公路用土根据土的塑性指标、土的颗粒组成特征和土中有机质存在的情况，分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土四类，其分类总体系如图 1-1 所示。

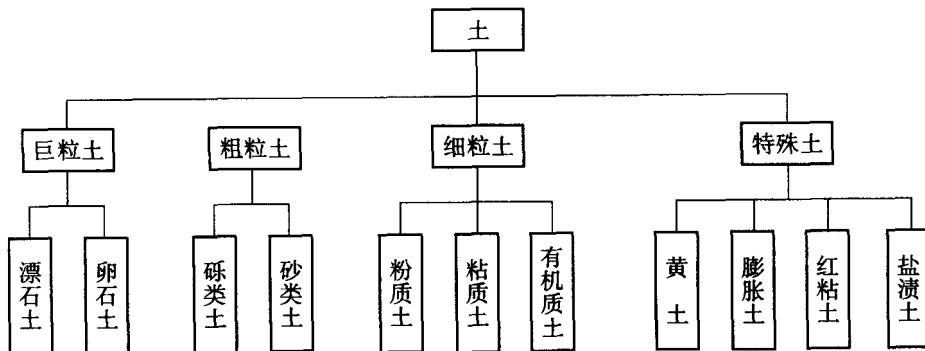


图 1-1 公路用土分类总体系

1.4.1 土的分类依据

(1) 土的塑性性质 以塑性指数 (I_p) 表示的土的可塑性大小是粘性土区别于砂性土的主要特征， I_p 值越大，土的粘性颗粒所占的比例愈大。

(2) 土的颗粒组成特征 根据筛分法确定土中各粒组的含量，再按粒组范围划分为表 1-1 所示的粒组。

表 1-1 粒组划分

200		60		20		5		2		0.5		0.25		0.074		0.002	
巨粒组			粗粒组										细粒组				
漂石	卵石	砾(角砾)						砂				粉粒	粘粒				
(块石)	(小块石)	粗	中	细	粗	中	细										

粒组划分界限反映了土的某些性质改变的粒径值，如分子运动、毛细水上升、导水性、渗透性等。

土的颗粒组成特征以不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 表示。

不均匀系数 C_u 反映粒径分布曲线上的土粒分布范围，按下式计算：

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

曲率系数 C_c 反映粒径分布曲线上的土粒分布情况，按下式计算：

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (1-2)$$

式中 d_{10} , d_{30} , d_{60} ——土的粒径分布曲线上分别对应通过率 10%, 30%, 60% 的粒径, mm。

细粒土应根据塑性图分类。

(3) 土中有机质存在的情况 土中的有机质包括未完全分解的动植物残骸和完全分解的无定形物质，后者多呈黑色或暗色，有臭味，有弹性，可借目测、手摸及嗅觉判别。不能判定时，可将试样置于 105~110℃ 的烘箱中烘烤，若烘烤 24h 后，试样的液限为烘烤前的 3/4，则可判定该试样为有机质土。

1.4.2 土的名称基本代号

公路用土分类基本代号见表 1-2。

表 1-2 土的基本代号

代号 特征	土类			
	巨粒土	粗粒土	细粒土	有机土
成分代号	漂石 B 块石 Ba 卵石 Cb 小块石 Cb _a	砾石 G 角砾石 G 砂 S	粉土 M 粘土 C 细粒土 (C 和 M 合称) F 粗细粒土合称 SI	有机质土 O
级配和液限高低代号	级配良好 W、高液限 H、级配不良 P、低液限 L			

土类名称可由基本代号构成，其构成方法为：

两个基本代号构成时，第一个代号表示土的主成分，第二个代号表示土的副成分

(土的液限或级配)如代号 CbSI 表示卵石夹土, GW 表示级配良好的砾石。三个基本代号构成时,第一个代号表示土的主成分,第二个代号表示液限或级配情况,第三个代号则表示土中所含次要成分,如 CHG 为含砾高液限粘土, MHO 表示含有机质高液限粉土。液限的高低以 50 为界。

1.4.3 公路用土分类

1.4.3.1 巨粒土分类

试样中巨粒组质量大于总质量 50% 的土称巨粒土,巨粒土可根据巨粒组中巨粒含量分类并命名,其分类如表 1-3。如土中巨粒组质量少于总质量 15%,可扣除巨粒按粗粒土或细粒土的相应规定分类定名。

表 1-3 巨粒土分类表

土 组		土组代号	漂石粒 (>200mm 颗粒) 含量 (%)
漂 (卵石) (大于 60mm 颗粒 >75%)	漂 石	B	>50
	卵 石	Cb	≤50
漂 (卵) 石夹土 (大于 60mm 颗粒占 50% ~ 75%)	漂石夹土	BSI	>50
	卵石夹土	CbSI	≤50
漂 (卵) 石质土 (大于 60mm 颗粒占 15% ~ 50%)	漂石质土	SIB	>卵石粒含量
	卵石质土	SICb	<卵石粒含量

1.4.3.2 粗粒土分类

试样中粗粒组质量大于总质量 50% 的土称为粗粒土。粗粒土可根据砾粒组的含量分为砾类土和砂类土。砾粒组质量大于总质量 50% 的土称为砾类土,如表 1-4。砾粒组质量小于或等于 50% 的则称为砂类土(表 1-5)。砾类土和砂类土又可根据其中细粒 (F) 含量和类别及粗粒组级配进行分类和定名。

表 1-4 砾类土分类表

土 组		土组代号	细粒组 (<0.074mm 颗粒) 含量 (%)
砾	级配良好砾	GW	<5
	级配不良砾	GP	<5
含细粒土砾		GF	5~5
细粒土质砾	粉土质砾	GM	15~50
	粘土质砾	GC	15~50

表 1-5 砂类土分类表

土 组		土组代号	细粒组 (<0.074mm 颗粒) 含量 (%)
砂	级配良好砂	SW	<5
	级配不良砂	SP	<5
含细粒土砂		SF	5~5
细粒土质砂	粉土质砂	SM	15~50
	粘土质砂	SC	15~50

4.3.3 细粒土分类

试样中的细粒组质量大于总质量 50% 的土称为细粒土，其分类体系如图 1-2 所示。

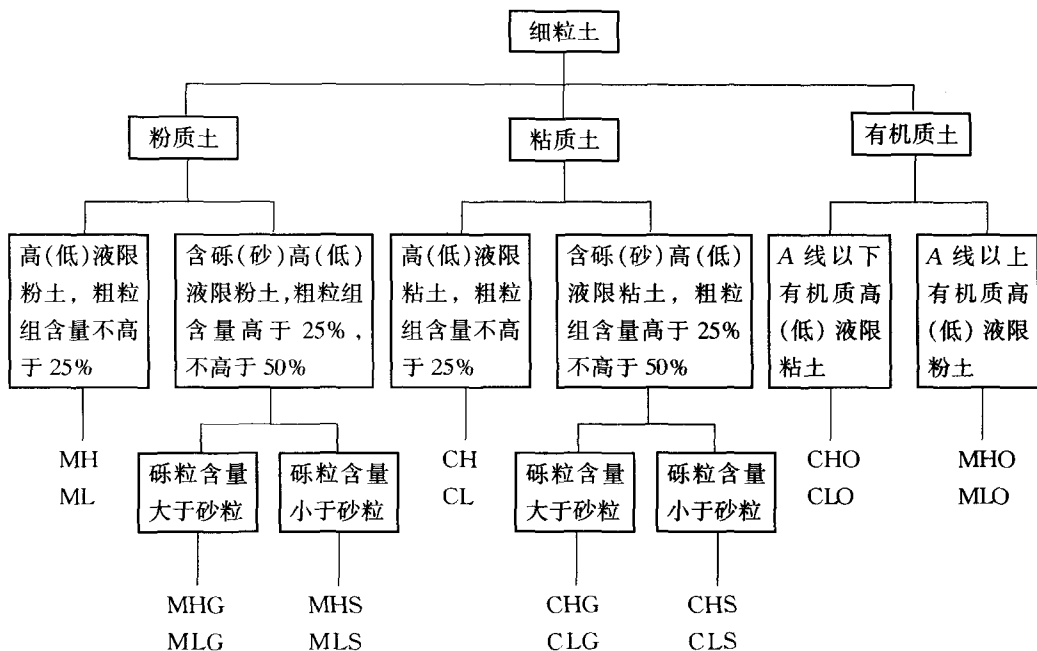


图 1-2 细粒土分类体系

现行土工试验规程将塑性图作为细粒土的分类标准。

对于一般细粒土，可按液限 (w_L) 将其分为低液限 ($w_L < 28\%$)、中液限 ($w_L = 28\% \sim 50\%$)、高液限 ($w_L = 50\% \sim 70\%$) 和很高液限 ($w_L > 70\%$) 四类。

细粒土的分类及性质在很大程度上与土的塑性指标相关，图 1-3 是《公路土工试验规程》(JJJ051—93) 中采用的

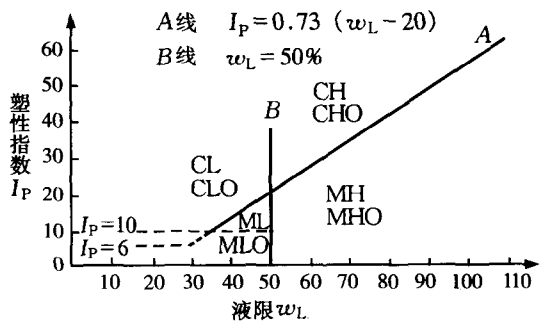


图 1-3 塑性图

塑性图，它表明了土的塑性指数 (I_p) 与液限 (w_L) 的良好线性相关关系。图中用 A、B 两线将坐标空间划分为四个区域，大致区分了细粒土的塑性性质。利用塑性图，可确定细粒土或有机质土土类名称，其规则如下：

(1) 细粒土位于塑性图 A 线以上

① B 线右侧，称高液限粘土 (CH) 或有机质高液限粘土 (CHO)；

② B 线左侧， $I_p = 10$ 线以上，称低液限粘土 (CL) 或有机质低液限粘土 (CLO)；

(2) 细粒土位于塑性图 A 线以下

① B 线右侧，称高液限粉土 (MH) 或有机质高液限粉土 (MHO)；

② B 线左侧， $I_p = 10$ 线以下，称低液限粉土 (ML) 或有机质低液限粉土 (MLO)；

(3) 细粒土位于 A 或 B 线上

土中粗、细粒组质量相同，称为细粒土 (F)；

位于塑性图 A 线上，称为粘土 (C)；

位于塑性图 B 线上，A 线上方，称为高液限粘土 (CH)；

位于塑性图 B 线上，A 线下方，称为高液限粉土 (MH)。

当细粒土中含有粗粒时，若粗粒组中砾类占优势，称为含砾细粒土，在细粒土代号后缀以代号“G”；若粗粒组中砂类占优势，则称其为含砂细粒土，在细粒土代号后缀以代号“S”。

1.4.3.4 特殊土分类

特殊土主要包括黄土、膨胀土、红粘土和盐渍土。黄土、膨胀土、红粘土根据其特殊土塑性图 (图 1-4) 中的位置定名。

黄土属低液限粘土 (CLY)，大部分分布在 A 线上方， $w_L < 40\%$ ；

膨胀土属高液限粘土 (CHE)，大部分分布在 A 线上方， $w_L > 50\%$ ；

红粘土属高液限粉土 (MHR)，大部分分布在 A 线下方， $w_L > 55\%$ 。

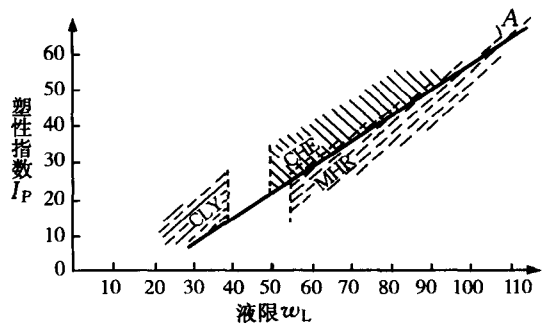


图 1-4 特殊土塑性图

盐渍土依据土层中含盐量高低及含盐的种类进行分类 (表 1-6)

表 1-6 盐渍土分类

名称	被利用的土层中平均总盐量 (以质量百分比计)	
	氯化物和硫酸盐氯化物	氯化物硫酸盐和硫酸盐
弱盐渍土	0.3~1.0	0.3~0.5
中盐渍土	1~5	0.5~2
强盐渍土	5~8	2~5
过盐渍土	>8	>5

1.4.4 公路用土的工程性质

公路用土的工程性质主要从路堤填土的角度考虑，不同的土类具有不同的工程性质，在选择路基填筑材料和修筑稳定土路面结构层时应根据不同的土类采取不同的技术措施。

1.5 公路自然区划

1.5.1 公路自然区划的划分原则

我国地域辽阔，各地的地形、地貌、水文及水文地质条件和气候条件各不相同。不同地区自然条件的差异与公路建设密切相关。为区分不同地理区域自然条件对公路工程影响的差异及不同的筑路特点，有关部门经长期调查研究，制定了中国《公路自然区划标准》(JTJ003—86)，以便在公路设计与施工中应用。城市道路设计与施工可参照公路自然区划执行。该标准依以下基本原则制定：

(1) 道路工程特征相似性原则 同一区划内，在相同的自然因素作用下，筑路具有相似性原则。

(2) 地表气候区差异性原则 地表气候是地带性差异与非地带性差异的综合结果。

(3) 自然气候要素既综合又有主导作用原则 自然气候的变化是各种因素综合作用的结果，但其中又有某种因素起主导作用。

1.5.2 公路自然区划

根据 1987 年交通部《公路自然区划标准》(JTJ003—86) 规定，我国公路自然区划分为三个等级。

1.5.2.1 一级自然区

根据全国大范围内对公路建设具有控制作用的地理—气候因素，并适当考虑土质和其他自然因素，将全国划分为冻土、温湿、干湿过渡、湿热、潮暖、干旱和高寒 7 个大区。在该 7 个自然区内，路基路面结构设计应重点考虑的特点各不相同，现简单分叙如下：

(1) I 区，北部多年冻土区 该区北部为连续分布的多年冻土，南部为岛状分布多年冻土。对于地沼地带多年冻土层，应使路基下部保持冻结状态而不受到大气热量的影响，保温是道路设计的重要原则。因此，不可轻易挖去天然地表原有的覆盖层。对于非多年冻土层，则需将表面泥炭层全部或局部挖除，疏干水分后填筑路堤。而对于该地区的林区山间道路，因地表土湿度大，地表径流量大，易产生翻浆现象，应采取换填稳定土及铺设砂垫层等方法进行处理。

(2) II 区，东部湿润季冻区 翻浆和冻胀是该区路基路面结构最常见的病害，其轻重程度主要取决于路基潮湿程度，可根据不同的路基潮湿状态采取相应的措施。

(3) III 区，黄土高原干湿过渡区 由于黄土对水的敏感性，使该区路基呈两种截然不同的状态即干燥地段土基强度高、水稳定性好，而河谷盆地的潮湿路段以及灌区耕地土基稳定性差、强度低，需采取相应措施，认真处理。

(4) IV 区，东南湿热区 该区季节性雨季雨量充沛集中，台风暴雨多，水毁、冲刷、

滑坡是道路的主要病害，应设置完整而畅通的路基路面综合排水系统。另外，该区水稻田多，土基湿软，强度低，应采取相应措施。针对该区夏季气温高、热季长的特点，若采用沥青路面结构，则应充分考虑沥青材料的高温稳定性。

(5) V区，西南潮暖区 该区多山，有丰富的筑路材料，可充分利用当地筑路材料，以降低工程造价，但对于水文及水文地质不良地段，则应采取稳定路基的措施。

(6) VI区，西北干旱区 该区冰冻深度多在 100~150cm 以上，大部分地区地下水位低，一般道路冻害较轻，但如河套灌区、内蒙草原洼地等个别地区地下水位高，翻浆严重；丘陵区 1.5m 以上深路堑冬季积雪较厚，雪水易侵入路面结构而造成危害，故沥青面层材料应具有良好的防水性能并对路肩也作防水处理。由于该区气候干燥，砂石路面常出现松散、搓板和波浪等现象。

(7) VII区，青藏高寒区 该区局部路段有多年冻土，需按保温原则设计，又由于其地处高原，气候寒冷，昼夜温差大，日照时间长，沥青材料易老化。另外，该区年平均气温相对偏低，路基路面结构易受冻害。

1.5.2.2 二级自然区

二级自然区仍以气候和地形为主导因素，但其标志是以潮湿系数 K 为主的标志体系，与一级自然区划有显著差别。

二级区划根据主导因素与标志在全国 7 个一级区内又分为 33 个二级区和 19 个副区(亚区)并根据全年潮湿系数 K 值的大小，分为 6 个等级，即：

过湿区	$K > 2.00$	中湿区	$2.00 \geq K > 1.50$;	润湿区	$1.50 \geq K > 1.00$;
润干区	$1.00 \geq K > 0.50$;	中干区	$0.50 \geq K > 0.25$;	过干区	$K \leq 0.25$ 。

潮湿系数 K 按下式计算：

$$K = \frac{R}{Z}$$

式中 R ——一年降雨量，mm；

Z ——一年蒸发量，mm。

由于年蒸发量 Z 值无法直接测定，可用可能蒸发量 E_T 代替，可能蒸发量 E_T 采用 H.L. 彭曼公式计算，即

$$E_T = F \cdot \epsilon_0$$

式中 F ——季节系数；

ϵ_0 ——水面蒸发量，mm。

1.5.2.3 三级自然区

三级自然区划系根据各地区自然条件表现出来的特点，在二级区划内进一步划分而得。有两种划分方法：其一，按照地貌、水文和土类将二级区进一步划分为若干类型单元；其二，是按水热、地理和地貌等标志，将二级区细分为若干区域，各地可根据当地具体条件选用。

全国各自然区划一、二级区名称见表 1-7。

表 1-7 全国公路自然区划名称表

I 北部多年冻土区	
I ₁ 连续多年冻土区	IV ₇ 华南沿海台风区
I ₂ 岛状多年冻土区	IV _{7a} 台湾山地副区
II 东部湿润季冻区	IV _{7b} 海南岛西部润干副区
II ₁ 东北东部山地湿冻区	IV _{7c} 南海诸岛副区
II _{1a} 三江平原副区	V 西南潮暖区
II ₂ 东北中部山前平原重冻区	V ₁ 秦巴山区润湿区
II _{2a} 辽河平原冻融交替副区	V ₂ 四川盆地中湿区
II ₃ 东北西部润干冻区	V _{2a} 雅安乐山过湿副区
II ₄ 海滦中冻区	V ₃ 三西、贵州山地过湿区
II _{4a} 冀热山地副区	V _{3a} 滇南、桂西润湿副区
II _{4b} 旅大丘陵副区	V ₄ 川、滇、黔高原干湿交替区
II ₅ 鲁豫轻冻区	V ₅ 滇西横断山地区
II _{5a} 山东丘陵副区	V _{5a} 大理副区
III 黄土高原干湿过渡区	VI 西北干旱区
III ₁ 山西山地、盆地中冻区	VI ₁ 内蒙草原中干区
III _{1a} 雁北张宣副区	VI _{1a} 河套副区
III ₂ 陕北典型黄土高原中冻区	VI ₂ 绿洲、荒漠区
III _{2a} 榆林副区	VI ₃ 阿尔泰山地冻土区
III ₃ 甘东黄土山地区	VI ₄ 天山、界山山地区
III ₄ 黄渭间山地、盆地轻冻区	VI _{4a} 塔城副区
IV 东南湿热区	VI _{4b} 伊犁河谷副区
IV ₁ 长江下游平原润湿区	VII 青藏高寒区
IV _{1a} 盐城副区	VII ₁ 祁连、昆仑山地区
IV ₂ 江淮丘陵山地润湿区	VII ₂ 柴达木荒漠区
IV ₃ 长江中游平原润湿区	VII ₃ 河源山原草甸区
IV ₄ 浙闽沿海山地中湿区	VII ₄ 羌塘高原冻土区
IV ₅ 江南丘陵过湿区	VII ₅ 川藏高山峡谷区
IV ₆ 武夷南岭山地过湿区	VII ₆ 藏南高山台地区
IV _{6a} 武夷副区	VII _{6a} 拉萨副区

我国公路自然区划示意图，见图 1-5。

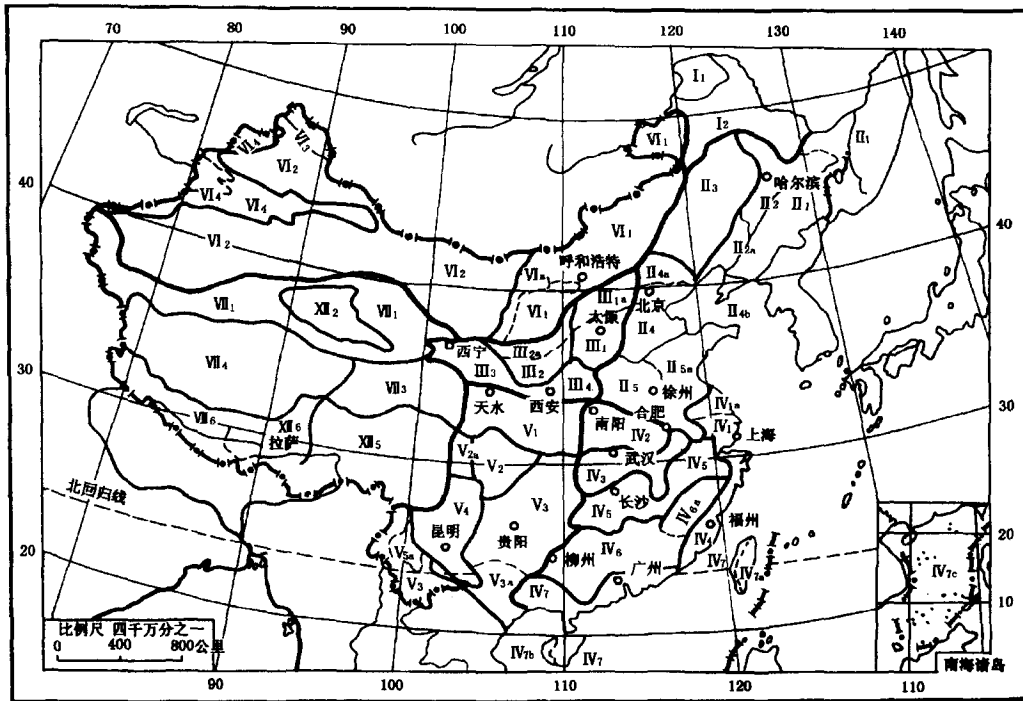


图 1-5 全国公路自然区划

1.6 路面分级与分类

1.6.1 路面分级

根据现行道路技术标准、路面面层的使用品质、材料组成类型及其结构强度和稳定性，将路面分为四个等级，不同路面等级适应的各种路面类型及道路等级见表 1-8。

表 1-8 路面等级及面层类型

路面等级	面层主要类型	使用年限(年)	适应的道路等级
高级路面	沥青混凝土, 厂拌沥青碎石	15	高速、一级公路
	水泥混凝土	30~40	城市快速路、主干路
次高级路面	沥青贯入碎(砾)石, 路拌沥青碎石	12	汽车专用二级公路
	沥青表面处治	8	城市主干路、次干路
中级路面	级配砾石、泥结碎石及其他粒料	5	一般二、三级公路, 城市支路
低级路面	加固土或改善土	5	四级公路

(1) 高级路面 具有强度高、刚度大、稳定性好的特点, 其使用寿命长, 能承载繁重

的交通，且平整无尘，能保证高速行驶，养护费用少，运输成本低，但初期建设投资高，需采用高质量的材料修筑，一般适用于交通量大、行车速度高的道路。

(2) 次高级路面 强度、稳定性及耐久性均低于高级路面，所适应的交通量也较小，能保证车辆以较高速行驶，但必须作经常性的养护和维修，其初期修建费用略低于高级路面，但使用期的养护费用较高。

(3) 中级路面 一般适应于中等交通的道路，其强度低，平整度差，易扬尘，行车速度低，需经常养护、维修，运输成本较高，但可使用当地材料，造价较低。

(4) 低级路面 仅适应于交通量很少的道路，与中级路面相比，其强度更低、稳定性和平整度也差，易扬尘，只能保证低速行车，雨季通车困难，但可大量使用当地材料，造价低。

1.6.2 路面分类

路面类型一般按照面层所使用的主要材料划分，但在进行路面结构设计时，则主要依据路面结构在行车荷载作用下的力学特征，将路面分为柔性路面、刚性路面和半刚性路面三类。

(1) 柔性路面 主要包括由各种未经处治的粒料基层和各类沥青面层及碎（砾）石或块石面层组成的路面结构。其结构的总体刚度较小，在车辆荷载作用下，产生较大的弯沉变形，由于其结构本身的抗弯拉强度较低，它通过各结构层将车辆荷载传递给土基，使土基承受较大的应力作用。因此，土基的强度和稳定性对整个路面结构有较大影响。

(2) 刚性路面 主要指用水泥混凝土作面层或基层的路面结构，由于其板体有较高的刚度和抗压强度，因而具有较大的扩散荷载的能力。在车辆荷载作用下，土基所承受的应力较小，且水泥混凝土结构层处于弹性工作状态，结构产生的竖向变形也较小。

(3) 半刚性路面 指用石灰、水泥或其他工业废渣作结合料的稳定土或稳定粒料作基层的路面结构。这类基层完工初期具有柔软的工作特性，但随着时间的延长，其强度逐步提高，板体性增加，刚度增大，故称之为半刚性基层。由于半刚性基层具有一系列良好的性能，且能使用当地材料，成型工艺也较简单，目前已成为我国高级道路的主要类型之一。

1.7 路面结构及层次划分

1.7.1 路面结构组成

行车荷载和自然因素对路面的影响随深度的增加而逐渐减弱。因此，对路面材料的强度、刚度及稳定性等要求也可随深度而逐渐降低。为适应这一特点，路面结构通常按深度递减的原则采用不同的材料分层铺筑。现行路面设计规范规定，高级路面结构由面层、基层和垫层组成，各层又可分为 2~3 层(图 1-6)。

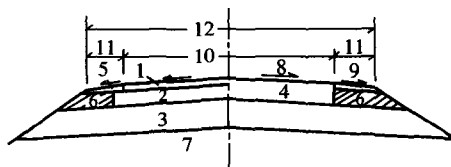


图 1-6 路面结构组成

1—面层；2—基层；3—垫层；4—水泥混凝土路面板；
5—路肩面层；6—路肩基层；7—路基；8—路拱横坡；
9—路肩横坡；10—行车道宽度；11—路肩宽度；
12—路基顶宽