

高等学校教材

路基工程

(公路与城市道路工程专业用)

LUJI GONGCHENG

方 左 英 主 编

人 民 交 通 出 版 社

高等学校教材

路基工程

(公路与城市道路工程专业用)

方左英 主编

人民交通出版社

高等学校教材
路基工程
(公路与城市道路工程专业用)

方左英 主编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

一二〇二印刷厂印

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 15.5 字数: 382千

1987年12月 第1版

1987年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—16,950册 定价: 2.60元

前 言

《路基工程》是高等学校公路与城市道路工程专业必修的专业课之一，课程内容与工程实践联系密切，并有地区的差异。本课程的任务，在于通过教学使学生掌握路基工程的基础理论和基本知识。

本课程的基本要求是：

1. 培养学生运用已学的《工程地质学》、《水力学》、《土质学与土力学》、《公路勘测设计》等有关知识，掌握路基工程的基础理论和基本知识，以便使学生具有分析与解决路基工程实际问题的能力。

2. 通过本课程的学习，使学生在路基排水设计、路基稳定性设计和挡土墙设计等方面，具有独立设计与计算的能力；在路基施工方法、路基防护加固及路基工程有关设施等方面，具有必要的基本知识，以为将来参加实际工作打下基础。

某些地区性较强的路基工程问题，如一些特殊地区（沙漠、泥沼、盐渍土、雪害、泥石流、翻浆、多年冻土、等等地区）的路基工程，不在本书阐述之列。各校可参考公路设计手册《路基》第五篇、铁路工程设计技术手册《路基》第四篇及有关文献，自行选择与列为教学内容。

本书根据交通部1982年在长沙召开的高等学校路桥专业教材编审委员会扩大会议审定的教学大纲编写，并在1983年北京召开的路基和路面课程讨论会上讨论了编写大纲。编写中参照1980年4月《路基工程》教材，并根据1985年12月出版的公路设计手册《路基》和1986年6月交通部颁《公路路基设计规范》(JTJ013-86)，对原有教材内容作了必要的调整，有的章节重新编写。

《公路桥涵设计通用规范》(JTJ021-85)及《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ024-85)、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ022-85)已颁布，本书第六章挡土墙设计中，对有关部分作了简介，考虑用极限状态法设计挡土墙目前资料较少，故挡土墙设计算例部分仍以原《公路桥涵设计规范》(试行)中容许应力法设计。

本书八章中，总论是对路基工程作了总的论述，为以后各章所要研究和解决的问题作先导。第三、四、六章是本课程课堂教学的重点，第五章仅作有关内容的扼要介绍，第七章以土基压实为主，第八章各校根据需要安排教学。

本书第一、四章由南京工学院方左英编写，第二、三、五、七章由南京工学院周宪华编写，第六章由西安公路学院陈继安编写，第八章由北京工业大学王鸿渠编写。

全书由南京工学院方左英主编，由西安公路学院李斌主审。

南京工学院周宪华参加全书统稿工作。

本书采用法定单位，为便于换算，重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ 。

本书如有未尽善之外，希有关院校师生及读者，提出改进意见，以便再版时加以修改。

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 路基工程特点	(1)
第二节 影响路基稳定性的因素	(1)
第三节 路基土的分类	(3)
第四节 路基潮湿情况与干湿类型	(10)
第五节 路基受力与工作区	(13)
第六节 路基的变形、破坏及其原因与措施	(19)
第七节 公路自然区划及路基临界高度	(24)
第二章 一般路基设计	(31)
第一节 路基典型横断面及其设计要点	(31)
第二节 路基的基本构造	(36)
第三节 有关附属设施	(44)
第三章 路基排水设计	(46)
第一节 路基排水要求及设计一般原则	(46)
第二节 路基排水设备的构造与布置	(47)
第三节 排水系统的综合设计	(57)
第四节 明渠的水文水力计算	(59)
第五节 暗沟的水文水力计算	(68)
第四章 路基稳定性设计	(77)
第一节 概述	(77)
第二节 直线法验算	(79)
第三节 圆弧法验算之一(分段法)	(82)
第四节 圆弧法验算之二(公式计算法)	(88)
第五节 圆弧法验算之三(表解法)	(96)
第六节 河滩路堤稳定性验算	(100)
第七节 陡坡路堤稳定性验算	(106)
第五章 路基防护与加固	(108)
第一节 基本概念	(108)
第二节 坡面防护	(109)
第三节 冲刷防护	(112)
第四节 湿软地基加固	(114)
第六章 挡土墙设计	(119)
第一节 挡土墙的用途、类型与使用条件	(119)

第二节	重力式挡土墙的构造	(122)
第三节	挡土墙的布置	(126)
第四节	挡土墙土压力计算	(128)
第五节	重力式挡土墙设计与稳定性验算	(148)
第六节	浸水地区挡土墙设计	(157)
第七节	地震地区挡土墙设计	(162)
第八节	重力式挡土墙设计算例	(164)
第九节	轻型挡土墙	(174)
第七章	土质路基施工	(187)
第一节	基本概念	(187)
第二节	施工要点	(189)
第三节	路基压实	(194)
第八章	路基石方爆破	(201)
第一节	爆破作用原理	(201)
第二节	炸药、起爆器材及起爆方法	(203)
第三节	药包量的计算原理及其性质的变化	(206)
第四节	设计参数的选择及有关数据的计算	(214)
第五节	综合爆破方法	(222)
第六节	大爆破设计及施工	(228)
主要参考文献		(240)

第一章 总 论

第一节 路基工程特点

一、路基工程特点

在公路建设中,路基工程的主要特点是:工艺较简单,工程数量大,耗费劳力多,涉及面较广,耗资亦甚多。以平原、微丘区的三级公路为例,每公里的土石数量约 $8000\sim 16000\text{m}^3$,山岭、重丘区的三级公路每公里可达 $20000\sim 60000\text{m}^3$ 以上。建国以来部分资料的分析,一般公路的路基修建投资约占公路总投资的 $25\sim 45\%$,个别山区公路可达 65% 。路基施工改变了沿线原有自然状态,挖填借弃土石方涉及当地生态平衡、水土保持和农田水利。路基工程对施工期限的影响亦较大,土石方相对集中或条件比较复杂的路段,往往是公路施工期限的关键。路基稳定与否,对路面工程质量影响甚大,关系到公路的正常投入使用。因此,做好路基工程设计、施工与养护,不容忽视。

二、路基工程与有关工程项目的关系

1. 路基设计与路线设计的关系——路线的确定,不能仅仅是考虑线形的优劣,必须同时考虑路基稳定条件、工程难易、土石方数量大小和占用农田多少等因素。特别是路线通过山岭地区的工程困难地段或地质不良地段,更需注意路线路基的协调配合。因此,路基设计与路线设计是相辅相成的。合理选定线位,可以避开地质不良地段和工程艰巨路段,保证路基稳定,减少工程数量,节约工程投资;反之,如路线难以绕避地质不良地段和工程困难路段,也可通过正确的路基设计,作出恰当处理。

2. 路基工程与路面工程的关系——路基的强度与稳定性,是保证路面强度与稳定性的基本条件,提高路基的强度与稳定性,就可以减少路面厚度、降低路面造价。特别是当前公路交通量迅速增长,公路等级需要提高,采用高级、次高级路面势将增加,从而对路基强度与稳定性的要求就更高。因此,路基设计与路面设计,应作综合考虑。

3. 路基工程与桥涵工程的关系——桥头引道路基,同桥位选设和桥孔设计关系密切,其勘测与设计两者须相互配合;路基与涵洞等结构物,亦应配合恰当。故在路线纵断面设计中,更须很好地考虑路基与桥涵在布置与标高方面的关系。处在河滩的桥头引道路基(河滩路堤),还应进行稳定性设计与验算。

第二节 影响路基稳定性的因素

公路路基是一种线形结构物,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,深入调查公路沿线的自然条件,从整体(按地区)

和局部（按具体路段）去分析研究，掌握各有关自然因素的变化规律及其对路基稳定性的影响，从而因地制宜地采取有效工程技术措施，以达到正确进行路基设计、施工和养护的目的。

一、影响路基稳定性的自然因素

路基稳定性及水温情况，是与下列自然因素有关：

1. 地形——地形不仅影响到路线的选定与线形设计，也影响路基设计。平原、丘陵、山岭各区地势不同，水温情况也异。平原区地势平坦，地面水易于积聚，地下水水位亦高，因而路基需要保持一定的最小填土高度（特别是在水稻田地区）；丘陵区地势起伏，山岭区地势陡峻，如排水设计不当，或地质情况不良，易致降低路基的强度与稳定性，出现各种变形与破坏现象。

2. 气候——气候条件，如气温、降水（包括数量、强度和形态之为雨、雪、雹）、湿度、冰冻深度、日照、年蒸发量、风向和风力等，都影响到路基的水温情况。

在一年之中，气候有季节性的变化，因此路基水温情况也随而变化。气候还受地形的影响，例如山顶与山脚、山南与山北，就有所不同，即所谓“小区地形与小区气候”，因而路基水温情况也有所差异。在山顶，一日之中，气候数变，温度与湿度变化较大，风化较烈，山南日照较山北为多，水温情况也有所差异，在选线与路基设计中应予注意。

3. 水文与水文地质——水文条件，如地面径流、河流洪水位、常水位及其排泄条件、有无积水和积水期的长短、以及河岸的冲刷和淤积情况等。水文地质条件，如地下水位、地下水移动情况、有无泉水、层间水等。所有这些，都会影响路基的稳定性，如处理不当，往往导致路基各种病害。

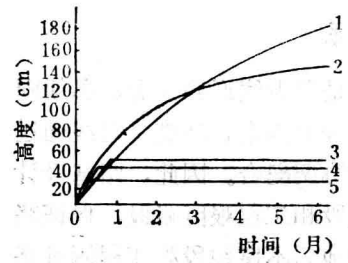


图1-1 毛细水上升高度与时间的关系
1-粘土；2-粉质亚粘土；3-亚砂土；
4-细砂；5-中砂

4. 土的类型——土是建筑路基和路面的材料，并影响到路基的形状和尺寸。土的性质，视其类别而定。

一般毛细水上升高度与毛细管直径（或土粒粒径）成反比；上升速度，则与毛细管直径（或土粒粒径）成正比。土的粒径愈细（阻力愈大），上升速度愈缓，如图1-1所示。

另外，毛细管直径愈细，毛细水的冻结温度愈低（见表1-1），因而土在零下温度时，毛细水仍能移动，促使水份积聚，发生冻害。

毛细水冰点与毛细管直径的关系

表1-1

毛细管直径 (mm)	1.57	0.24	0.15	0.06
毛细水冰点 (°C)	-6.10	-13.3	-14.5	-18.5

地下排水和浸水路堤，要根据土的渗透性或渗透系数进行设计。一般粒径较粗的土其渗透系数较大，粒径较细的土其渗透系数较小。具有竖向结构的大孔土（如黄土），则竖向渗透系数较水平向为大；具有水平层理的土，则水平向渗透系数较竖向为大。土经过充分压实，孔隙减小，透水性也因而降低甚至可不透水。故充分压实的粘土层，特别是用重粘土时，可以起隔离层的作用。

土的强度，砂粒成分多则以摩擦力为主，粘土粒成分多则以粘聚力为主。水份增大，粘聚力降低。

5. 地质条件——沿线的地质条件，如沿线岩石种类及风化程度，岩层走向、倾向和倾角、层理、厚度、节理发育程度，以及有无断层、不良地质现象（岩溶、冰川、泥石流、地震）等，都对路基稳定性有一定影响。

6. 植物覆盖——植物覆盖影响地面径流和导热情况，从而在一定程度上影响路基水温情况的改变。

二、影响路基稳定性的人为因素

1. 荷载作用——包括静载、活载及其大小和重复作用次数。

2. 路基结构——包括路基填土或填石的类别与性质，路基形式，路面等级与类型，排水结构物的设置等。

3. 施工方法——包括是否分层填筑、压实是否充分和压实的方法等等。

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，以及人为活动等。

由于路基水温情况的变化与自然因素和人为因素密切相关，因而路基水温情况，不仅地区之间和路段之间有差别，而且路基与原有地面及周围地面之间也有差别。这些差别，服从于同一公路自然区划一般温度和湿度的规律性变化。因此，设计者的重要任务，是针对这种差异和变化，作出正确的设计。

总之，路基的水温情况，与前述自然因素及人为因素密切相关。因此，路基设计时应掌握沿线的温度和湿度变化规律，因地制宜地采用相应的调节水温情况的措施，以保证路基具有足够的强度与稳定性。

第三节 路基土的分类

一、路基土的分类

公路用土按土的粒径分为巨、粗、细三组，详见表1-2。

表1-2

粒径 (mm)	200	60	20	5	2	0.5	0.25	0.074	0.02	0.001
粒 组	巨 粒 组		粗 粒 组						细 粒 组	
粒 名	漂 石	卵 石	砾			砂			粉 粒	粘 粒
	(块石)	(碎石)	粗	中	细	粗	中	细		

公路用土的分类符号见表1-3。

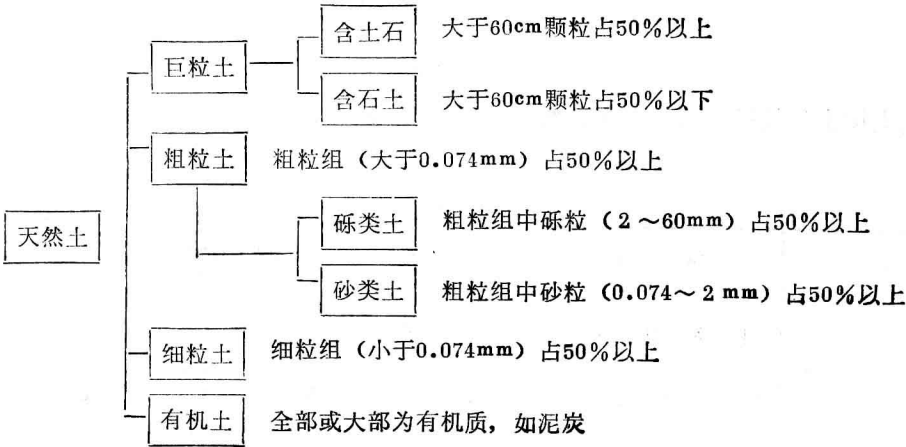
表1-3

符号 特征 土类	巨粒土 (石)	粗粒土	细粒土	有机土
成分	B-漂石 (块石) C _b -卵石 (碎石)	G-砾 S-砂	F-细粒土 C-粘土 M-粉土 O-有机质土	P _t
级配 或 土性		W-良好级配 P-不良级配 P _u -均匀级配 P _g -阶段级配	V-很高液限 $w_L > 70$ H-高液限 $50 < w_L < 70$ I-中液限 $28 < w_L < 50$ L-低液限 $w_L < 28$	

说明:

- 1. 用两个符号组成时: (1) 前一个符号表示土的主成分, 后一个符号表示土的级配。如GW为良好级配砾; ML为低液限粉土。(2) 前一个符号表示土的主成分, 后一个符号表示土的副成分; 粗粒土中“微含”细粒土时, 二者之间以短横相连, 如“含”则不加短横。如GC为含粘土砾; S-M为微含粉土砂。
- 2. 用三个符号表示土类时, 第一个符号均表示成分, 第二个和第三个符号表示为: (1) 第二为级配, 第三为副成分。如GW-C为微含粘土良好级配砾; SP-M为微含粉土不良级配砂。(2) 第二为副成分, 第三为土性。如GCH为高液限含粘土砾; SMl为中液限含粉土砾。(3) 第二表土性, 第三为副成分。如CHG为含砾石高液限粘土; MIS为含砂中液限粉土。
- 3. 用四个符号表示土石混合料时, 两种材料的符号用加减号“±”连接, 主材料写在前面, 加号“+”表示“含”, 减号“-”表示微含。如CIS+B为漂石和砂的中液限粘土; C_b-MIG为微含砾中液限粉土的卵石

公路用土分类的总体系如下:



巨粒土分类如表1-4。

表1-4

土 组	组 符 号	小于60mm土 (粗粒土和细 粒土) 含量%	石 (漂石和卵 石) 含 量 %
含 土 石 (大于60mm颗粒占50% 以上)	不含土漂 (卵) 石	B C _b	0~5
	微含土漂 (卵) 石	B - 土 C _b - 土	5~15
	含土漂 (卵) 土	B + 土 C _b + 土	15~50
含 土 石 (大于60mm颗粒占50% 以下)	不含石土	按粗粒土划分	0~5
	微含石土	土 - B 土 - C _b	5~15
	含石土 (或称石质土)	土 + B 土 + C _b	15~50

粗粒土分类:

大于0.074mm颗粒占总土重50%以上的粗粒土, 其分类详见表1-5。

表1-5

土 组	土 名	组 符 号	细粒组含量 %	说 明
砾 类 土 粗粒组中砾粒 (2~60mm)占总土重 50%以上	砾	G ^{GW} G ^P	0~5	
	微含粉 (粘) 土砾	G - F ^{G-M} G - C	5~15	
	含粉 (粘) 土砾或 称粉 (粘) 土质砾	G F ^{GM} G C	15~50	
砂 类 土 粗粒组中砂粒 (2~0.074mm) 占总 土重50%以上	砂	S SM S - P	0~5	粘径2~0.5mm颗粒 占50%以上 (粗砂)
	微含粉 (粘) 土砂	S - M ^{S-M} S - G	5~15	粒径0.5~0.25mm颗粒 占50%以上 (中砂)
	含粉 (粘) 土砂或 称粉 (粘) 土质砂	S F SM S C	15~50	粒径0.25~0.074mm颗 粒占50%以上 (细砂)

细粒土分类:

小于0.047mm颗粒占总土重50%的细粒土, 其分类详见表1-6。

表1-6

土 组	组 符 号	细粒组含量%	粗粒组含量%	说 明
细 粒 土	粉 质 土	F - M	>70	
	粘 质 土	F - C	>70	
含粗粒土的细粒土	不 含 砾 土		0~5	按细粒土划分
	微 含 砾 土	F - G	M - G C - G	5~15
	含 砾 土	F G	M G C G	15~50
有机质土	含有机质的土组后缀以符号“O”, 例如M1O为有机质中液限粘土; P _t 为泥炭			

以上表1-1~表1-6,是《公路土工试验规程》(JTJ 051-85)所定的公路用土分类。

长期以来我国对于路基用土,曾按土的颗粒组成和土的物理力学性质,划分为五组(除石质土而外)十二类,见表1-7和表1-8。各类土的野外鉴定方法,详见表1-9。

砂土的强度基本不随含水量的变化而异。粉质砂土的强度接近干亚砂土,故将粉质砂土、粗亚砂土、细亚砂土合为一组,统称砂性土。粉质亚砂土、粉土、粉质轻亚粘土、粉质重亚粘土,其性质相近,亦合为一组,统称粉性土。轻亚粘土、重亚粘土和轻粘土,合称粘性土。重粘土系指塑性指数大于40的粘土类,并考虑了粘土矿物的影响。这样,把砂土从砂性土分出,把最细的重粘土从粘土中分出,以资对照。

按粒度成分分类

表1-7

土 组	土 名	颗 粒 组 成 (按 重 量 % 计)	
		砂 2 ~ 0.05 mm	粘 粒 < 0.002mm
砂 土	砂 土	80~100	0 ~ 3
砂性土	粉质砂土	50~80	0 ~ 3
	粗亚砂土	>50粗砂多于细砂	3 ~ 10
	细亚砂土	>50细砂多于粗砂	3 ~ 10
粉性土	粉质亚砂土	20~50	0 ~ 10
	粉 土	<20	0 ~ 10
	粉质轻亚粘土	<45	10~20
	粉质重亚粘土	<40	20~30
粘性土	轻亚粘土	>45	10~20
	重亚粘土	>40	20~30
	轻粘土	<70	30~55
重粘土	重粘土	<45	>55

注:① 表中各土组的颗粒组成均以小于2mm作为100%;

② 定名时应根据粒径分组由大到小,以最先符合者定名。

按塑性指数分类

表1-8

土 类	塑 性 指 数 I_p	液 限 w_L
砂 土	< 2	< 10
粉质砂土、粉土、亚砂土、粉质亚砂土	> 2	16~28
轻亚粘土、粉质轻亚粘土	> 10	28~38
重亚粘土、粉质重亚粘土	> 18	38~50
轻粘土	> 26	50~70
重粘土	> 40	> 70

土的野外鉴定方法

表1-9

土组	土名	用手搓捻时的感觉	用肉眼及放大镜观察时的情况	土的状态		
				干时	潮湿时	潮湿时将土搓捻的情况
砂土	粗砂	感到是粗糙的砂粒	看到比较粗的砂居多	疏散	无塑性	不能搓成土条
	中砂	感到是不太粗的砂粒	看到砂粒不太粗	疏散	无塑性	不能搓成土条
	细砂	感到是细的砂粒	看到细的砂粒多	疏散	无塑性	不能搓成土条
	极细砂	感到是极细的砂粒	看到极细的砂粒多	疏散	无塑性	不能搓成土条
砂性土	粉质砂土	在手掌上揉捻时沾有许多粉土粒	看到砂粒而夹有粉土粒	疏散	无塑性	不能搓成土条
	粗亚砂土	含砂粒较多,湿润时用力可捏成土团,干后有少量粘土沾在手上不易去掉	看到砂粒而夹有粘土粒	土块用指甲及在铲上抛掷时易破碎	无塑性	不能搓成土条
	细亚砂土	感到含细颗粒较多	看到砂粒而夹有粘土粒	没胶结	无塑性	难搓成细土条,搓至直径3~5mm即断
粉性土	粉质亚砂土	有干粉末感	明显看出砂粒少粉土粒多	没胶结,干土块用手轻压即碎	流动的溶解状态	揉动时易使土球成为饼状,不能搓成细土条
	粉土	有干粉末感	看到粉土粒更多	没胶结,干土块用手轻压即碎	流动的溶解状态	揉动时易使土球成为饼状,不能搓成细土条
	粉质轻亚粘土	感到砂粒多,土饼易于压碎	可以看到细的粉土颗粒	土块不硬,用锤打时易成细块	有塑性、粘着性	不能搓成长的细土条
	粉质重亚粘土	感到砂粒多,土块易压碎	可以看到细的粉土颗粒	土块不硬,用锤打时易成细块	有塑性、粘着性、唯塑性程度较大	不能搓成长的细土条,搓成细土条稍长
粘性土	轻亚粘土	感到有砂粒,湿润后有粘土沾手,土块易压碎	明显看出细粒粉末中有砂粒	干土块压碎时,常要用力	塑性与粘着性低微	不能搓成长的细土条
	重亚粘土	干时用手揉捻感到砂粒很少,土块难压碎	可以看到细的粉土颗粒	土块不硬,用锤打时易成细块	塑性与粘着性较大	揉捻时可以得到1~2mm直径的细土条,将小土球压成扁块时,周边不易发生破裂
	轻粘土	潮湿时用手揉捻感觉不到砂粒,土块很难压碎	粘土构成的均匀细粉末物质,几乎不含大于0.25mm的颗粒	土块坚硬,用锤可以将大土块变小土块,但不易成粉末,干土块不易用手压碎	塑性和粘着性极大,易于沾手涂污	可以搓成小于1mm直径的细土条,易于团成小球,压成扁土块时,周边不易破裂
重粘土	重粘土	潮湿时用手揉捻感觉不到砂粒,土块很难压碎	粘土构成的均匀细粉末物质,几乎不含大于0.25mm的颗粒	土块坚硬,用锤可以将大土块变小土块,但不易成粉末,干土块不易用手压碎	塑性和粘着性极大,易于沾手涂污,唯塑性和粘着性更大	可以搓成小于1mm直径的细土条,易于团成小球,压成扁土块时,周边不易破裂

此类土组的划分,可以突出了引起公路病害影响最大的粉性土(粉粒成分控制),同时也考虑了粘粒中的矿物成分,特别是蒙脱土。粘土矿物成分主要包括蒙脱土、伊里土和高岭土。蒙脱土主要分布在东北,伊里土分布在华北、华中,高岭土分布在南方。就土的吸水性、物理力学性质而言,高岭土最好,伊里土次之,蒙脱土最差。各自然分区粘性土的强度不同与此有关。

为了对路基土的分类进行对照,现行规范列出新、老土名的对照表,详见表1-10。

公路路基土分类对照表

表1-10

土组	土名	老土名	分类符号	颗粒组成(按重量%计)		塑性指数 I_P	液限 w_L (%)
				砂粒 ($2 \sim 0.074$ mm)	粘粒 (< 0.002 mm)		
砂土	粗砂: 粒径 $2 \sim 0.5$ mm 颗粒占50%以上 中砂: 粒径 $0.5 \sim 0.25$ mm 颗粒占50%以上 细砂: 粒径 $0.25 \sim 0.074$ mm 颗粒占59%以上	粗砂: > 0.5 mm者多于50% 中砂: > 0.25 mm者多于50% 细砂: > 0.1 mm者多于75% 极细砂: > 0.1 mm者少于75%	—	> 80	$0 \sim 3$	< 2	< 16
砂性土	粉质低液限砂土	粉质砂土	SLM	$50 \sim 80$	$0 \sim 3$	> 2	$16 \sim 28$
	低液限粘土	粗亚砂土	CL	> 50 粗砂多于细砂	$3 \sim 10$	> 2	$16 \sim 28$
		细亚砂土		> 50 细砂多于粗砂	$3 \sim 10$	> 2	$16 \sim 28$
粉性土	粉质低液限粘土	粉质亚砂土	CLM	$20 \sim 50$	$0 \sim 10$	> 2	$16 \sim 28$
	粉土	粉土	ML MI	< 20	$0 \sim 10$	> 2	$16 \sim 28$
	粉质中液限粘土	粉质轻亚粘土 粉质重亚粘土	CIM	< 45 < 40	$10 \sim 20$ $20 \sim 30$	> 10 > 18	$28 \sim 38$ $38 \sim 50$
粘性土	中液限粘土	轻亚粘土 重亚粘土	CI	> 45 > 40	$10 \sim 20$ $20 \sim 30$	> 10 > 18	$28 \sim 38$ $38 \sim 50$
	高液限粘土	轻粘土	CH	< 70	$30 \sim 50$	> 26	$50 \sim 70$
重粘土	很高液限粘土	重粘土	CV	< 45	> 50	> 40	> 70

注: 1. 表中各土组的颗粒组成均以小于2mm的作为100%计;

2. 定名时应根据粒径分组由大到小, 以优先符合者定名;

3. 表中 I_P 和 w_L 系按交通部现行《公路土工试验规程》中液、塑限联合试验的新土名所决定, 即100g锥重测得的塑性指数和液限;

4. 如采用老土名, 应同时注明相应的新土名及其分类符号。

5. 新、老塑性指数及相对含水量关系:

① 新老塑性指数关系式

$$\bar{I}_P = 0.67 I_P - 0.26$$

$$I_P = 0.7(w_L - 12.17)$$

$$I_P = 8 + 0.56c$$

式中: $\bar{I}_P$ ——76g平衡锥的塑性指数

I_P ——100g锥的塑性指数;

w_L ——100g锥的液限;

c —— < 0.002 mm的粘土含量, %。

② 新、老液限关系式

$$w_y = 6.5 + 0.66 w_L$$

式中: w_y ——76g平衡锥的液限。

③ 新、老相对含水量关系式

$$w_x = \frac{\bar{w}}{w_L}$$

$$\bar{w}_x = \frac{\bar{w}}{w_y} = \frac{\bar{w}}{6.5 + 0.66 w_L}$$

式中: $\bar{w}$ ——路槽底面以下80cm深度内的算术平均含水量, %;

w_x ——相对含水量(按100g锥);

w_x ——相对含水量(按76g锥)。

二、土的工程性质

公路用土分类新、老分类有所改变。现以表1-7的老分类为准，将各土组的主要工程性质进行概括说明。

砂土无塑性，但透水性良好，毛细水上升高度很小，具有较大的摩擦系数。采用砂土修筑路基，强度高，水稳性好。但砂土粘结性小，易于松散，车辆通过时容易产生较深车辙。为克服此一缺点，可添入一些粘性大的土（如粘性土），以改善路基质量。

砂性土为修筑路基的良好材料。含一定数量的粗颗粒，使路基获得足够的内摩擦力，又含一定数量的细颗粒，使之具有一定的粘聚力，不致过分松散。一般遇水干得快，不膨胀，干时有足够的粘结性，扬尘少。因此，雨天不泥泞，晴天不扬尘。其颗粒组成级配较好，因而用砂性土修筑路基，在行车作用下易被压实，并易构成平整坚实的表面。

粉性土为最差的筑路材料。因含有较多的粉土粒，干时虽稍具粘结性，但易被压碎、扬尘大、浸水时很快被湿透，易成流体状态（稀泥）。粉性土的毛细水上升高度大，在季节性冰冻地区更容易使路基产生水份累积，造成严重的冬时冻胀、春时翻浆，故又称为翻浆土。如遇粉性土，特别是在水文条件不良时，应采取一定措施，以改善其工程性质。

粘性土透水性很差，粘聚力大，因而干时坚硬，不易挖掘。它具有较大的可塑性、粘结性和膨胀性，毛细管现象也很显著，用来筑路比粉性土为好，但不如砂性土。浸水后，粘性土能比较长时间保持水分，因而承载力很小。对于粘性土如在适当含水量时加以充分压实和有良好的排水设施，筑成的路基也能获得稳定。

重粘土的塑性指数与液限都很高。其工程性质与粘土相似，但受粘土矿物成分影响较大（前已述及，含高岭土为最好，伊里土次之，蒙脱土最差）。重粘土不透水，粘聚力特强，干时很坚硬，很难挖掘，膨胀性和塑性都很大。

除前述土类外，还有一些具有特殊性质和含有害物质的土类，如具有特殊结构的土（大孔土或黄土），含有机质的土（泥炭、硅藻土等），以及含易溶盐的土（盐渍土、石膏土等），均应在设计与施工上采取适当措施。

三、路基土的工程分级

在施工中，路基土石按其开挖难易程度，又可分为六级，详见表1-11。

土、石工程分级

表1-11

土、石等级	土、石类别	土、石名称	钻1m所需时间			爆破1m³所需炮眼长度(m)		开挖方法
			湿式凿岩一字合金钻头净钻时间(min)	湿式凿岩普通淬火钻头净钻时间(min)	双人打眼(人工)	路堑	隧道导坑	
I	松土	砂类土、腐殖土、种植土、中密的粘性土及砂性土、松散的水分不大的粘土，含有30mm以下树根或灌木根的泥炭土						用铁锹挖，脚蹬一下到底的松散土层

续表

土、石等级	土、石类别	土、石名称	钻 1m 所需时间			爆破 1 m ³ 所需炮眼长度 (m)		开挖方法
			湿式凿岩一字合金钻头净钻时间 (min)	湿式凿岩普通淬火钻头净钻时间 (min)	双人打眼 (人工)	路 堑	隧道导坑	
II	普通土	水分较大的粘土、密实的粘性土及砂性土、半干硬状态的黄土、含有30mm以上的树根或灌木根的泥炭土、碎石类土 (不包括块石土及漂石土)						部分用镐刨松,再用锹挖,以脚踏锹需连蹬数次才能挖动
III	硬 土	硬粘土、密实的硬黄土,含有较多的块石土及漂石土;各种风化成土块的岩石						必须用镐先整个刨过才能用锹
IV	软 石	各种松软岩石、盐岩、胶结不紧的砾岩、泥质页岩、砂岩、煤、较坚实的泥灰岩、块石土及漂石土、软的节理多的石灰岩		7 以 内	0.2以内	0.2以内	2.0以内	部分用撬棍或十字镐及大锤开挖,部分用爆破法开挖
V	次坚石	硅质页岩、砂岩、白云岩、石灰岩、坚实的泥灰岩、软玄武岩、片麻岩、正长岩、花岗岩	15以内	7~20	0.2~1.0	0.2~0.4	2.0~3.5	用爆破法开挖
VI	坚 石	硬玄武岩、坚实的石灰岩、白云岩、大理岩、石英岩、闪长岩、粗粒花岗岩、正长岩	15以上	20以上	1.0以上	0.4以上	3.5以上	用爆破法开挖

第四节 路基潮湿情况与干湿类型

一、路基潮湿来源

路基湿度变化的水源(见图1-2):

1. 大气降水——大气降水通过路面、路肩和边沟渗入路基;
2. 地面水——边沟的流水、地表迳流水因排水不良,形成积水,渗入路基。
3. 地下水——路基下面一定范围内的地下水浸入路基。
4. 毛细水——路基下的地下水,在毛细管作用下,上升到路基。
5. 水蒸汽及其凝结水——在土的空隙中流动的水蒸汽,遇冷凝结为水。
6. 薄膜移动的水——通过水膜从含水量较高处向较低处或从温度较高处向较低处移动而来的水分。

水在土中不论呈液态或汽态移动,均是由高压处向低压处、由高温处向低温处、由高含水量处向低含水量处移动。

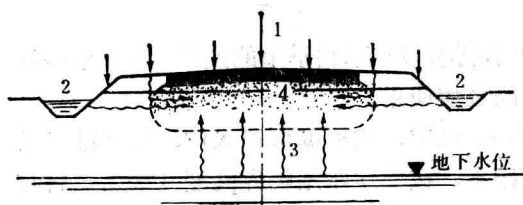


图1-2 路基湿度来源示意图

1-降水；2-地面水；3-地下水上升的毛细水；4-水蒸汽凝结的水

当水由下向上移动时，溶解盐类也随之移动，因而在干燥地点或干旱地区将积聚于地面而成盐渍土。

上述各种路基湿度变化的水源，其相对值随自然地理分区、当地自然条件与特点，以及工程技术措施等而不同。

路基的潮湿程度，既影响路基的强度与稳定性，也影响排水结构物的布置、类型、构造、数量和尺寸。

因此，对不同的水温情况，路基设计应有相应的措施。例如，在地下水位较近地面的路段，就要适当提高路基，保证路基具有足够的最小填土高度，避免毛细水上升的影响。在地下水位距地面较深的路段，就可以设计成矮路堤或与地面相平甚至低于地面（浅路堑）。

二、土的相对含水量及其形态

土的相对含水量和土的类别、密实度等，都是影响土基强度的重要因素。对于砂性土、粉性土、粘性土和重粘土，可用相对含水量 $\frac{w}{w_y}$ （ w 为土的含水量， w_y 为土的液限）将各种形态的过渡边界准确地表示之。

1. 液态——土对于荷载完全没有抵抗力，相对含水量大于1.00。

2. 塑态

a. 软塑——土对于荷载具有很小的抵抗力，相对含水量为1.00~0.75。

b. 硬塑——土对于荷载具有相当抵抗力，相对含水量为0.75~0.50。

3. 固态——土在压实状态下，强度很大，相对含水量小于0.50。

根据土基强度与荷载的相互作用，在接近路面的土基中，土的塑性不应超出硬塑状态的上限，一般不容许相对含水量高于0.60。

为了避免土在极低含水量时其脆性和硬度增加，使之略具塑性以缓和车轮的冲击，建议对于粘性土的最小相对含水量，宜控制在0.30~0.40左右。

三、路基干湿类型

路基的强度与稳定性，同路基的干湿类型有密切关系，并在很大程度上影响路面的结构及厚度的确定。

路基干湿类型划分为四类：干燥、中湿、潮湿和过湿。划分标准是根据上述四种干湿类型的分界相对含水量： w_0 、 w_1 、 w_2 和 w_3 。各公路自然区划，不同土组的分界相对含水量如表1-12，路基干湿类型如表1-13。

路面设计一般要求路基处于干燥或中湿状态。过湿状态的路基必须处理后方可铺筑路面。

路基干湿类型按不利季节路槽底面以下80cm深度内的平均相对含水量 $\bar{w}_x$ 确定：

$$\bar{w}_x = \frac{\bar{w}}{w_y} \quad (1-1)$$

式中： $\bar{w}$ ——路槽底面以下80cm深度内的算术平均含水量；