

交通系统中等专业学校试用教材

公 路 工 程

(中 册)

(公路与桥梁专业用)

呼和浩特交通学校等六校 合编

人 民 交 通 出 版 社

交通系统中等专业学校试用教材

公 路 工 程

(中 册)

(公路与桥梁专业用)

呼和浩特交通学校等六校 合编

人民交通出版社

内 容 提 要

《公路工程》共分三册，本书是中册。中册内容包括两篇：第一篇是路基设计，根据行车对路基强度与稳定性的要求，介绍了路基强度理论，边坡稳定性设计，排水设计与防护工程；第二篇是路基施工与养护，介绍了土质与石质路基施工方法，路基的养护与维修。

本书为中等专业学校公路与桥梁专业试用教材，亦可供有关专业人员工作与学习的参考。

交通系统中等专业学校试用教材

公 路 工 程

(中 册)

(公路与桥梁专业用)

呼和浩特交通学校等六校 合编

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

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：9 字数：224 千

1979年9月 第1版

1979年9月 第1版 第1次印刷

印数：0001—13,800册 定价：0.75元

(本社发行)

前 言

本书是根据交通系统中等专业学校汽车、公路专业教材座谈会拟定的《公路与桥梁专业》教学计划(草案)编写的。

本书内容包括公路工程概论、路线设计、公路勘测设计、路基设计、路基施工、路面设计和路面施工等七篇。全书所采用的技术标准、计算公式和数据,主要是根据中华人民共和国交通部部标准《公路工程技术标准》(试行)(1972年)、《渣油路面施工养护技术规范》(试行)(1973年)、《石灰土路面施工技术规范》(试行)(1977年),并参考采用了有关技术资料。本书的编写,注意到贯彻少而精的原则,重视和加强基础理论,并力求叙述的系统性。

为了理论联系实际,本书在介绍路线、路基和路面设计原理的同时,并介绍了设计方法,使学生通过课程设计和计算例题,初步掌握课程内容,为在生产实习中综合运用打下必要的基础。

根据教育部的指示,全书计量单位采用了国际单位制(见附表1、2),为了照顾习惯,适当介绍和并用了现存的其它单位。

本书第一篇、第二篇第三、四章、第三篇第八章由呼和浩特交通学校王国柱编写;第二篇第一、二章、第五篇第三章由甘肃省交通学校邓覬铖编写;第三篇第一、二、三、四、五章由吉林省交通学校蹇贵奇编写;第四篇、第六篇第三章、第七篇第五章由呼和浩特交通学校陈恩双编写;第五篇第一、二章、第三篇第七、九章由福建省交通学校陈谋铨编写;第六篇第一、二章由辽宁省交通学校蒋承楷编写;第七篇第一、二、三章和第四章分别由山东省交通学校谢克臻和韩大康编写。全书由呼和浩特交通学校王国柱、陈恩双主编。

本书编写过程中,承蒙南京工学院、湖南大学、西安公路学院、交通部第一、二公路勘察设计院、交通部公路规划设计院、湖南省交通学校、湖北省公路工程学校等单位给本书初稿提出宝贵意见,并提供了有关资料,在此表示衷心的感谢。

由于编者政治、业务水平有限,编写时间比较仓促,因此,书中的缺点和错误在所难免,热忱地希望读者提出宝贵意见,以便再版时修改。

目 录

第四篇 路基设计

第一章 概述..... 1	第一节 高路堤设计及稳定性验算..... 23
第一节 路基的作用及对路基的一般要求..... 1	第二节 陡坡路堤稳定性验算..... 32
第二节 路基的破坏型式及一般原因..... 1	第三节 深路堑设计..... 34
第二章 路基的强度与水稳定性..... 4	第四章 路基排水设计..... 36
第一节 土基的受力状态及其强度的评定..... 4	第一节 概述..... 36
第二节 路基用土..... 7	第二节 地面排水设计..... 36
第三节 路基的水温状况及对强度的影响..... 9	第三节 地下排水设计..... 41
第四节 公路自然区划与地带类型..... 11	第四节 排水系统设计..... 45
第五节 土基水温状况的调节..... 17	第五章 路基防护与加固..... 46
第三章 路基稳定性设计..... 23	第一节 路基防护与加固工程的分类..... 46
	第二节 坡面防护..... 47
	第三节 冲刷防护..... 53
	第四节 挡土墙..... 59

第五篇 路基施工

第一章 准备工作..... 63	第三节 爆破作用原理..... 105
第一节 概述..... 63	第四节 爆破技术设计..... 111
第二节 施工前的准备工作..... 66	第五节 爆破作业..... 123
第三节 临时工程..... 70	第四章 路基养护、修理与改善..... 126
第二章 土质路基施工..... 70	第一节 路基养护和修理的任务..... 126
第一节 路堤的填筑..... 70	第二节 路基各组成部分的养护与修理..... 126
第二节 路堑开挖..... 73	第三节 路基的加固与改善..... 129
第三节 土质路基施工方法..... 75	第四节 路基翻浆的防治..... 131
第四节 土基压实..... 90	第五节 路基的滑坍、崩塌和缺口等的防治..... 133
第五节 路基整修、检查验收及维修..... 96	附录..... 140
第三章 石质路基施工..... 97	
第一节 概述..... 97	
第二节 炸药及引爆器材..... 98	

第四篇 路基设计

第一章 概 述

第一节 路基的作用及对路基的一般要求

一、路基的作用

路基是路面的基础。一条公路的使用品质，不仅与公路线型和路面质量有关，同时也与路基质量有关。路基松软，不仅会引起面层不均匀沉陷，影响路面平整度，降低车速，增加油料消耗和汽车修理费用，而且会招致面层的过早破坏；反之，路基坚强，不仅可以增强路面，提高公路的使用品质，而且还可以减薄路面厚度，降低路面造价和维修费用。

二、对路基的一般要求

由于路基在技术、经济方面具有诸如上述的重要作用，因此，在路基设计中，必须使路基满足以下要求：

(一)具有足够的整体稳定性

路基建成后，一般都改变了原地面的天然平衡状态，尤其是地质不良地段，甚至加剧了原地面的不平衡状态。例如：在路堑地段，由于两侧边坡失去了原土层的支承，很可能失去稳定而发生坍方现象；修筑在天然斜坡上的路堤，也可能因自重作用而下滑，严重影响道路的使用。在这种情况下，必须采取措施，来保证整个路基结构的稳定性。

(二)具有足够的强度

车轮通过路面传给路基一定的压力，使路基产生变形，这种变形直接反映到路面上，影响到路面的工作状况。因此，路基必须具有足够的抵抗变形的能力，在荷载作用下不发生超过允许的变形。

(三)具有足够的水稳定性

土基在大气、地面水及地下水的侵蚀作用下，其强度会发生很大变动，当土基中积聚水分后，就会造成土质松软、密实度降低，强度急剧下降。因此，路基不仅应具有足够的强度，而且应保证在最不利的水、温作用下，其强度不致显著下降，确保路面强度维持正常的稳定状态。

第二节 路基的破坏型式及一般原因

路基的破坏变形是多种多样的，其原因也是错综复杂的。根据路基破坏的形态、原因和严重程度，可以把破坏变形归纳为如下几种类型。

一、路基的沉陷

路基沉陷表现为路基顶面在垂直方向产生较大的沉落，如图4-1-1 a所示。这是由于较高的路堤因压实不足而受到浸湿作用，或采用了过湿的填土，也可能是采用了冻土块填堆而未经打碎和压实所引起。透水性不同的土壤，在施工中没有采用合理的填筑方法，也能引起不均匀的沉陷。

填筑在淤泥、泥炭或软土层上的路堤，常因基底土层具有高压缩性而下沉。或者在基底上层承载力显著不足时，发生侧面剪裂凸起，如图4-1-1b所示。

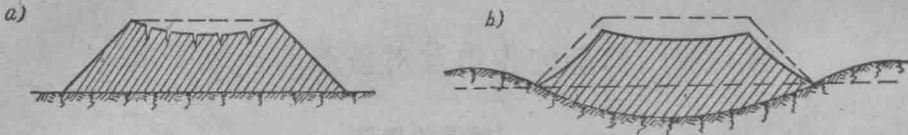


图4-1-1 路基沉陷与侧面凸起
a)路基沉陷；b)侧面凸起

二、路基边坡的坍方

路基边坡的坍方，是路基最常见的破坏现象。按破坏的原因和程度不同，路基边坡的坍方可分为剥落、碎落、滑坍、崩塌和坍塌等。

剥落是指边坡表层土或风化岩石，受到大气的干湿和冷热作用，坡面上深度不大的土层发生胀缩现象，使表层土成片状或带状地从坡面上剥落下来，堆在坡脚，而且表层是逐层剥落，坡脚不断堆积。在土体不均匀和易溶盐含量大的土层(如黄土)及泥灰岩、泥质页岩、绿泥岩等松软岩层较易产生。路堑边坡剥落的碎屑堆积在坡脚下，堵塞边沟，影响路基的稳定和妨碍交通。碎落的原因，主要是边坡过陡(大于 45°)、坡面岩石本身破碎和风化严重，在胀缩、震动及水的浸蚀和冲刷作用下，以致局部碎屑不断向下滚落，其破坏程度大于剥落。如果落下的岩块较大(直径在40厘米以上)，以单个或多块落下，此种碎落现象，可称为落石或坠落。落石的体积较大而且速度极快，所产生的冲击力，可使路基结构遭到破坏，亦威胁到行车和行人的安全，有时还会引起其他病害同时发生。

滑坍是边坡土体或岩石沿着某一滑动面成整体的向下滑动，如图4-1-2所示。滑坍的规模与危害程度较碎落严重得多，有时滑动体可达数百方以上，造成严重阻车。产生滑坍的主要原因是边坡较高(大于10~20米)，坡度较陡(陡于 50°)，或是路堑边坡中有倾向路基(倾斜面在 $50^\circ\sim 75^\circ$ 之间)的软弱结构面，或是不正确地按倾斜层次填筑路堤以及压实不足，或缺少应有的支撑与加固等，在遇水浸蚀和冲刷作用下，形成滑动面，致使局部土石方失去平衡而向下滑动。

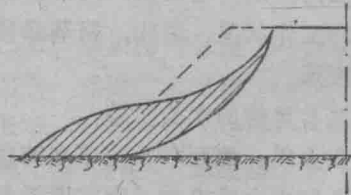


图4-1-2 路基边坡的滑坍

崩塌是在山区深路堑地段，常因斜坡陡峻(一般大于 45° ，而以 $55^\circ\sim 75^\circ$ 的居多)，岩层又被各种倾斜较陡的构造面(层理、片理、节理、劈理、断层错动面等)以及各种自然营力的影响(如裂缝中渗入水的冰冻或地下水沿裂缝流动、植物根系的深入与生长等使裂缝扩大；受重力或震动影响使裂面间的剪切力增大等)分裂成块，巨大的岩块或土体便失去了与母岩的

结合力，突然而猛烈地崩落或翻滚下来。崩塌与碎落在性质上相似，但崩塌的破坏程度及其危害，则远远超过碎落，崩塌所产生的冲击力，常使建筑物受到严重破坏，经常阻断交通，并给行车安全带来很大威胁。

坍塌(亦称为堆塌)主要是由于土体(或土石混杂的堆积物)遇水软化，在 $45\sim 60^\circ$ 的较陡边坡无支撑情况下，自身重量所产生的剪切力超过粘结力和摩擦力所构成的抗剪力，因而土体沿松动面坠落散开，其运动速度比崩塌慢，很少有翻滚现象。

三、路堤沿山坡的滑动

修筑在山坡上的路堤，因地面坡度较陡，受水的润滑而减少了接触面上的摩阻力，如果在施工中措施不当(如原地面清除不够，或地表层未挖台阶，以及排水和加固不足等)，就会发生整个或部分路堤因下滑力超过摩阻力而沿坡面滑动的破坏现象，如图4-1-3。

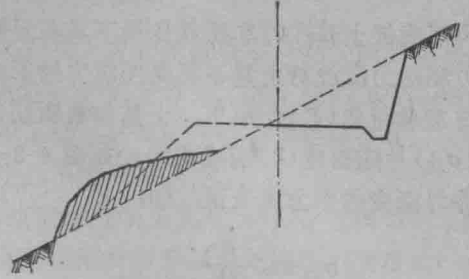


图4-1-3 路堤沿山坡滑动

四、不良地质水文条件造成的路基破坏

公路通过不良地质水文地区，或遭遇较大的自然灾害作用，如巨型滑坡、错落、泥石流、雪崩、溶洞陷落、地震及特大暴雨等，均能导致路基的大规模毁坏。为此，要求在路线勘测设计过程中，对沿线地质和水文条件进行周密的调查，力求避开这些地区或采取相应的技术措施，以保证公路正常使用。

综上所述，造成路基破坏的主要原因可以归纳为如下几方面：

(一)不良的工程地质条件，如地质构造复杂、岩性软弱、风化严重、节理发达、水文地质情况不良等。

(二)不利的水文及气候因素，如降雨、洪水、湿度与气温变化等。

(三)设计不合理，如路基横断面尺寸(边坡坡率与最小填土高度等)不合理，排水设施不当，防护与加固措施不足等。

(四)施工不当，如施工压实不足，填筑顺序不妥、盲目采用大爆破，不遵守施工操作规程，以致工程质量未能达到规定的要求等。

在上述原因中，不利的地质土质条件是引起路基破坏的内因，不利的水文地质、地形地貌、气候及水文因素、再加上行车作用，是引起破坏的外因。不利的外因通过不利的内因而起作用，使路基失去了必要的强度和稳定性而破坏。为能保证路基在强度和稳定性方面达到应有的要求，必须针对上述因素，采取正确的设计与施工方案以及相应的工程措施，以达到工程经济、技术合理。

第二章 路基的强度与水稳定性

第一节 土基的受力状态及其强度的评定

一、土基的受力状态

为了确保土基在行车荷载作用下具有足够的强度和稳定性，首先，应该了解作用在路面上静力和动力荷载对土基不同深度应力的影响。

在车轮荷载(P)作用下，土基内部所引起的应力($\sigma_{动}$)是随深度(Z)而减弱的，如图 4-2-1 所示，并与深度的平方成反比，即：

$$\sigma_{动} = K \frac{P}{Z^2} \quad (4-2-1)$$

式中： $K \approx \frac{1}{2}$ 。

土基自重和路面自重两者所引起的应力($\sigma_{静}$)则是与深度成正比的，即：

$$\sigma_{静} = \gamma_1 Z_1 + \gamma_2 Z_2 \quad (4-2-2)$$

式中： γ_1 和 γ_2 ——分别为路面和土的容重；

Z_1 和 Z_2 ——分别为路面厚度和荷载在土中所达到的深度。

在一定深度 Z_a 以下，当 $\sigma_{动}$ 与 $\sigma_{静}$ 的比值 $\left(\frac{1}{n}\right)$ 很小时，例如 $\frac{1}{n} \leq \frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ 时，此时动力荷载对土基强度与稳定性影响不大，可以不计。在此深度以上的区域，便可看作为对于支承路面并经受行车荷载作用有较大影响的土基范围，或称之为应力作用区。该应力作用区深度(假定 $\gamma_1 \approx \gamma_2$ 并以 γ 表示)可按下式计算：

$$K \cdot \frac{P}{Z_a^2} = \frac{\gamma Z_a}{n}$$

$$Z_a = \sqrt[3]{\frac{KnP}{\gamma}} \quad (4-2-3)$$

在应力作用区内，必须保证其具有足够的强度和水稳定性，使之不致产生过大的形变而影响路面工作。

车轮荷载愈大，应力作用的深度愈深；而路面愈厚，刚度愈大时，应力作用区的深度则相应的较浅。一般情况下约为0.9~1.30米(自路面顶面计)。

当路堤高度较大时，应力作用区包含在填方路基内(图4-2-2 a)。在这种情况下，应从填土及压实的质量方面去提高应力作用区内土基强度。在低路堤或挖方地段，应力作用区有一部分或全部处于天然土层内(图4-2-2 b)。此时，不仅应注意填土和压实工作，而且还应该在填筑路堤之前，对原地面进行清除和压实，必要时还要采取换土、加固等措施，以保证土基的强度和水稳定性。

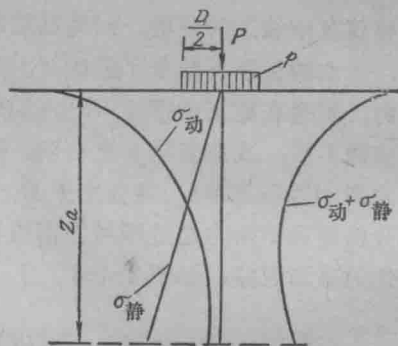


图4-2-1 土基在行车荷载及自重作用下应力沿深度的分布



图4-2-2 路基高度与应力作用区深度的关系示意图
a) $H > Z_{a3}$ b) $H < Z_{a3}$

二、土基受力与变形的关系

通过路面传至土基的垂直压力，必然使土基产生一定程度的变形。据观测，荷载作用下柔性路面表面出现的总弯沉变形中，土基的形变占70~85%以上。而土基的形变必然使路面也随之形变，从而影响到路面的使用年限和使用品质，严重时还会造成路面破坏。因此，对土基强度的分析，应着重于研究它在行车荷载作用下的形变程度。

通常把土基假定为均质的弹性体(其应力和应变成直线关系)，利用弹性理论来求解荷载和形变之间的关系。传到土基顶面的垂直压力可近似地看作是圆形均布的局部荷载，此时荷载(单位压力为 p)同土基顶面上离中心轴的径向距离为 r 处的弯沉(垂直位移) l_r (见图4-2-3)之间存在下列关系：

$$l_r = \frac{2p\delta(1-\mu_0^2)}{E_0} \alpha \quad (4-2-4)$$

式中： δ ——圆形均布荷载面积半径，厘米；

E_0 ——土基的弹性模量，帕(公斤/厘米²)；

μ_0 ——土的横向膨胀系数(或称泊松系数)，其值在0(垂直应力作用下无水平位移的理想材料)至0.5(体积不可压缩的材料)之间，一般可取 $\mu_0 = 0.35$ ；

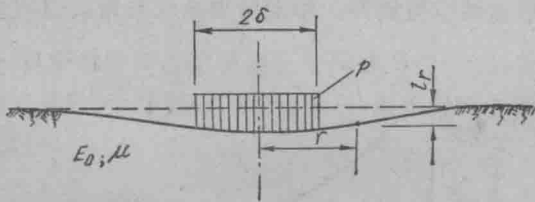


图4-2-3 在圆形均布荷载作用下土基表面的形变(垂直位移)

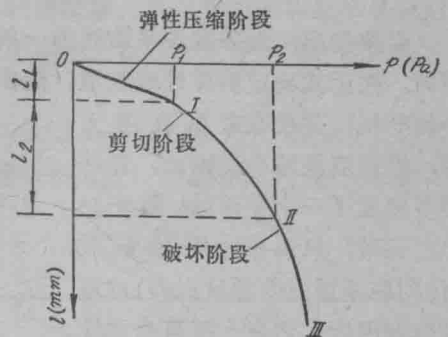


图4-2-4 土基荷载与变形的关系曲线

α ——随径向距离(以比值 $m = \frac{r}{\delta}$ 表示)而变的弯沉系数；荷载中心处($m = 0$)， $\alpha = 1.0$ ；

荷载边缘处($m = 1$)， $\alpha = \frac{2}{\pi} = 0.637$ ；荷载作用面积外($m > 1$) $\alpha = \frac{1}{2m} \left(1 + \frac{1}{8m^2} + \frac{3}{64m} + \dots\right)$ 。

图4-2-4系实测的在每级荷载作用下中轴处的弯沉值，所绘成的荷载——弯沉关系曲线。

曲线说明土基并非弹性体，各级荷载作用下的形变，包括弹性(可恢复)形变和塑性(不可恢复)形变两部分。整个曲线一般可划分为三段。

0-I阶段——曲线呈凹形。此阶段形变增量随荷载的增大而减小，说明土基在荷载作用下处于压缩阶段。

I-II阶段——曲线变为凸形。此阶段形变增量的增长快于荷载的增大。

II-III阶段——曲线变陡。此阶段土基已达到极限破坏阶段，荷载增加极少或不增加，形变仍迅速增长，此时土基完全丧失了承载能力。

并非所有土基的荷载——弯沉曲线都呈现出这三阶段的特征来。只是在土基疏松(压实不足)或试验时承载板安置得与土基顶面不密贴时，才会出现凹形曲线段。通常，曲线都是以直线或凸形曲线开始的。

在土基压实程度较高、土很干燥时，或者荷载与弯沉值小时，关系曲线初始阶段将为一一直线或可近似地看成直线。此时，土基符合弹性体的假设。

三、土基的强度评定

(一)土基的强度指标

目前土基强度一般用弹性模量 E_0 作为评定的指标。在上述荷载——弯沉曲线的初始阶段为一近似直线的范围内，它反映了作用荷载与路基顶面弯沉值之间的弹性变形关系，表征了路基的形变能力。故当在荷载下中轴处，弹性模量仍可按下式确定：

$$E_0 = \frac{2P\delta(1-\mu_0^2)}{l} C \quad (4-2-5)$$

式中： C ——测定弯沉时承载板的刚性系数，柔性时为1，刚性时为 $\frac{\pi}{4}$ 。

必须指出，大多数关系曲线为一条指数曲线。即使在初始阶段，曲线上各点的斜率也不相同。按上式确定的弹性模量值，随曲线上所取点的位置而异，即随所取荷载与弯沉值的大小而变化。荷载或弯沉值越大时，模量值便越小。由此，弹性模量便成了一个变数(见图4-2-5)。此时，只能在一定的荷载(传到路基顶面的垂直压力)或弯沉值范围内，假定土基符合弹性体，为之确定一个条件性的平均值。例如，选用弯沉值为1毫米，计算在此弯沉值范围内的平均模量值，作为土基的强度指标，此值即称为弹性模量。

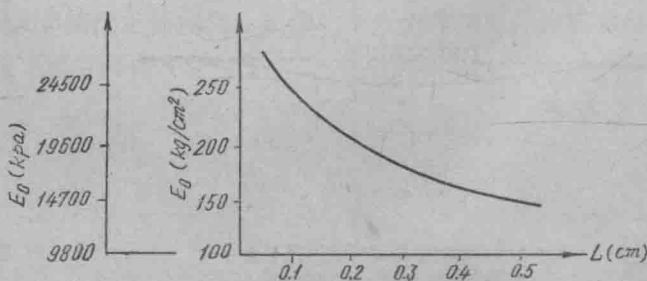


图4-2-5 E_0 与L的关系曲线

(二)土基弹性模量测定方法

土基弹性模量值可在野外利用压入承载板法(或称大型测定)，在土基顶面通过圆形刚性承载板(其直径为25或28厘米)，逐级施加荷载，在每级荷载作用下，读取变形趋于稳定时的荷载 P 及相应的垂直形变 l 并绘成荷载——弯沉曲线(如图4-2-4)。

确定土基弹性模量的另一种方法，是逐级加载——卸载测定法。试验时，每加一级荷载读取弯沉值后，再卸载至零并读取残留的弯沉值。加载时的弯沉值减去卸载后的残留弯沉

值，即为该荷载的回弹弯沉值，它反映了总弯沉值中的可恢复的形变（即弹性形变）部分。如此测得各级荷载的回弹弯沉值后，便可绘制荷载——回弹弯沉曲线，再按式(4-2-5)以回弹弯沉 $l_{\text{回}}$ 代替 l 定出弹性模量值 E_0 ，此值称为回弹模量。由于弯沉值中扣除了残留（即塑性形变）部分，并且消除了试验时承载板安置与土基顶面不密贴和加载系统的初始阻力等原因引起的误差，荷载回弹弯沉曲线就比较接近于直线，同时测定的结果也比较稳定准确。因此，目前在路面设计中都采用回弹模量作为土基的强度指标。

回弹模量也可按利用汽车作弯沉测定的方法进行（参见第六篇第二章）。

第二节 路基用土

从(4-2-5)式可知，作为土基强度指标的弹性模量 E_0 值是随对应于一定荷载的形变 (l) 成反比的。即弹性模量愈大，形变愈小；弹性模量愈小，则形变愈大。所以，我们要求路基具有足够的强度，就直接表现为要求路基在一定荷载作用下不超过容许范围的形变。而路基形变的大小，首先决定于路基材料的工程性质。因此，对路基用土工程性质的研究在路基设计中具有重要的意义。

一、路基土的分类

路基是用当地材料修筑的。石质路基的材料为整体或碎块岩石，其强度和水稳定性较好，因此，这种路基除了整体稳定性可能不足外，在一般情况下是极为坚固和稳定的。

土质路基则是由土修筑的。这里所指的土既包括颗粒及细的粘性土，又包括没有粘性的砂子，乃至碎石、砾石及卵石。土粒的粗细决定着土粒的性质。自然界的土一般都是粗细混杂、比例不一、多种多样。土基的工作能力就决定于土基中土粒的性质、土粒粗细的组合情况和土粒间的联系。

目前公路路基土根据土中所含石粒 (> 2 毫米)、砂粒 (2.0~0.05 毫米)、粉粒 (0.05~0.002 毫米) 和粘粒 (< 0.002 毫米) 的不同组成以及塑性指数和液限，将其分为六组十七类，见表 4-2-1。

路基土分类表

表 4-2-1

编号	土组	土类	颗粒组成 (重量%)				塑性指数 W_p	液限 (%) W_L
			石粒 > 2 毫米	砂 粒 2.0~0.05 毫米	粉 粒 0.05~ 0.002 毫 米	粘粒 < 0.002 毫米		
1	碎石 (砾土)	×××质碎(砾)土	>50					
		碎(砾)石质×××土	<50					
2	砂 土	粗 砂 土	<10	>0.5毫米颗粒多于50	<20	0~3	<1	<16
		中 砂 土	<10	>0.25毫米颗粒多于50	<20	0~3	<1	<16
		细 砂 土	<10	>0.1毫米颗粒多于75	<20	0~3	<1	<16
		极细砂土	<10	>0.1毫米颗粒少于75	<20	0~3	<1	<16

续表4-2-1

编 号	土组	土 类	颗 粒 组 成 (重量%)				塑性 指数 W _z	液限 (%) W _y	
			石 粒 > 2毫米	砂 粒 2.0~0.05毫米		粉 粒 0.05~ 0.002 毫 米			粘 粒 <0.002 毫 米
8	砂 性 土	粉 质 砂 土	<10	50~80	>0.25毫米者多	20~50	0~3	<1	≥16
		粗 亚 砂 土	<10	>50		少于砂粒含量	3~10	1~7	16~20
		细 亚 砂 土	<10	>50	>0.25毫米者少	少于砂粒含量	3~10	1~7	21~25
4	粉 性 土	粉 质 亚 砂 土	<10	20~50			0~10	<7	≥21~25
		粉 土	<10	<20		多于砂粒含量	0~10	<7	>20
		粉 质 轻 亚 粘 土	<10	<40			10~20	7~12	≥26~32
		粉 质 重 亚 粘 土	<10	<40			20~30	12~17	≥33~39
5	粘 性 土	轻 亚 粘 土	<10	>40			10~20	7~12	26~32
		重 亚 粘 土	<10	>40	多于粉粒含量		20~30	12~17	33~39
		轻 粘 土	<10	<70			30~50	17~27	40~52
6	重粘土	粘 土	<10	<50			>50	>27	>52

注：①编号2~6各土组均应以小于2毫米颗粒作为100%计，大于2毫米含量只作参考。

②公路路基土一般只按土组、土类分类，必要时可以成因分类，加以补充。需用成因分类时，在土类之前冠以成因类别，如：黄土类粉质轻亚粘土，生草灰化土类亚砂土等。

③“碎(砾)石”在必要时可注明小于2毫米的含量，如70%碎(砾)石+30%轻亚粘土“×××质碎(砾)石”，“碎(砾)石质×××土”中的“×××”字样系，以小于2毫米者为100%，按土类划分的名称。

二、各类土的工程性质

表中砂土没有塑性，其强度基本上不随含水量而变化，具有良好的透水性，遇水时毛细上升的高度很小(仅0.2~0.3米)，具有较大的内摩擦系数。采用砂土修筑的路基，强度高，水稳定性好，唯无粘结性，表面易于松散，需增加粘结料，以改善路基的使用品质。

砂性土是修筑路基最合适的材料，它既具有一定数量的粗粒组(砂土组)，使路基具有足够的强度和水稳定性(毛细上升高度为0.3~0.8米)，又能保持一定数量的细颗粒，使土具有一定的粘性，不致过分松散。亚砂土的粒径组成接近于最佳级配，因之亚砂土修筑的路基适应于行车时的压实作用，能构成平整坚实的路基表面，雨天不泥泞，晴天不扬尘。

粉性土是最差的路基材料，它含有较多的粉土粒，虽有一定的塑性，但不易稳定，雨天水多了，易成流体状态(泥浆)，晴天则尘土飞扬，毛细上升的高度很大，可达0.8~2.0米。在季节性冰冻区会造成很大的湿度聚积，导致严重的冰胀和翻浆，因此，常称它为翻浆土。故在粉土分布区，且水文地质条件不良时，应采取相应的措施以改善其工程性质。

粘性土粘性很大，干时相当坚硬，不易挖掘，也不易打碎和压实。透水性极差，遇水不易浸湿，但浸湿后又不易干燥。湿时强度急剧下降，过湿则成弹簧状，不能压实。干湿循环时膨胀收缩引起的体积变化很大。然而用来修路比粉性土好，但比砂性土差。如有足够的压实和良好的排水条件，路基还是稳定的。

重粘土系指塑性指数大于27的粘性土，它不透水，粘结力特强，干时很坚硬，难于施工。膨胀性和可塑性大，作为筑路材料，不如轻粘土，故而单列一类。

土粒的大小与毛细作用和渗透作用有着密切的关系。

通常是毛细水的上升高度与土粒间的毛细管直径成反比。毛细管直径约等于土粒直径，即土粒愈细，毛细水上升愈高。毛细水上升的速度，则同土粒的直径成正比，土粒愈细，上升愈慢。图 4-2-6 是几种土壤毛细水上升高度与时间的关系示意图。一般是砂性土的毛细水能在较短的时间上升至最大高度，但它的上升高度不大；粉性土的毛细水最大上升高度比砂性土显著增大，其绝对值有时虽比粘性土低，但初期的上升速度比粘性土要快，所以粉性土的毛细水作用，对路基的危害最显著。由此可见，合理选择用土、保证路基具有必须的最小填土高度，以及加强路基排水和降低地下水位，是保证路基强度与稳定性的基本措施。此外，根据实践得知，经过充分压实的土基，由于土粒间的空隙甚小，几乎被不能移动的薄膜水所占据，毛细水的作用接近于停止，所以充分压实的粘土层，可以起隔水层的作用，是调节土基水温状况的工程措施之一。

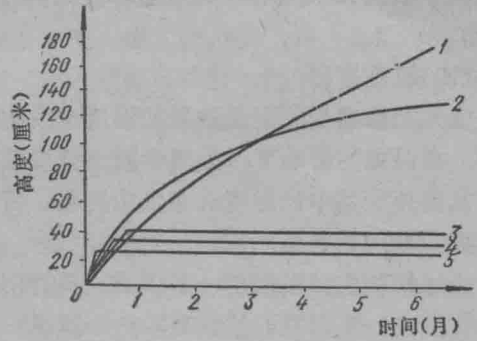


图 4-2-6 毛细水上升高度与时间的关系示意图
1-粘土；2-粉质亚粘土；3-亚粘土；4-细砂；5-中砂

地面水和地下水在重力作用下，在土基中自高处向低处流动，称为渗透作用。水在土中的渗透，通常是用渗透系数 k 表示，它说明水在土中的流动速度，即单位时间的流动距离。 k 值同土粒的直径有关，粒径愈细， k 值愈小。例如对于粘土， $k \leq 1.10^{-7}$ 厘米/秒，即每秒钟移动不到一千万分之 1.10 厘米；对于粗砂， $k = 1.10^{-2} \sim 1.10^{-1}$ 厘米/秒，即每秒钟移动

为 $\frac{1.10}{100} \sim \frac{1.10}{10}$ 厘米。对于竖向结构的大孔土(如黄土)，则竖向的 k 值，大于它的水平方向；对于具有水平方向结构的土壤，则水平方向的 k 值，大于它的竖直方向。土壤经过充分压实后，空隙减小，它的渗透性降低或不透水。所以土壤的人工压实，又是防止水流渗入、保证路基强度与稳定性的重要措施。

第三节 路基的水温状况及对强度的影响

一、影响路基湿度变化的主要因素及其规律

土基受到各种外界因素的作用而使其湿度发生着变化，这些因素主要有：

(一) 大气降水和蒸发

降水从路面透水或裂缝处及路肩、边坡等处渗入土基，浸湿各个部分；蒸发又使其中的水分逸出而促使路基趋于干燥，因而土基潮湿的程度与降雨量、蒸发量以及路面的性质和状况有关。

(二) 地面水

道路两侧地势低洼排水不良处的积水，通过毛细浸湿和渗透作用进入土基，浸入的数量与积水期长短及土质有关。

(三) 地下水

地下水位高时，从地下水水面因毛细作用而上升进入土基内的水分，浸湿土基上层。地

下水位一般随大气降水和农田灌溉情况而升降，土基受浸湿的程度随地下水位的高低和土质而异。

(四) 温度变化

大气的温度变化促使路基的温度也发生相应的变化，并造成土基内不同深度处温度出现差异。在温差的影响下，土基中的水分以液态或气态由热处向冷处转移，并积聚或凝结在该处，从而使土基中的湿度分布发生变化。特别是在季节性冰冻地区，因负温差的作用而引起的湿度积聚现象更为严重。

上述影响土基湿度的一些因素，具有明显的季节性变化和地区性差异的特点，其浸湿路基的程度在一年四季内按各地区的不同规律不断地变化着。降雨量小的月份，土基的湿度较低，降雨量大的月份，土基的湿度便增大；在主要受地下水影响的路段上，土基湿度随地下水位的升降(受降雨和灌溉的影响)而发生变化；在季节性冰冻地区，还会因土基内负温差的影响而产生比南方地区严重得多的湿度积聚。

土基湿度的这种季节性变化和地区性差异特点，必然反映到土基强度上，使之也发生着季节性变化并存在着地区性差异。因而在确定土基的强度值时，必须考虑到这个特点，应选择在不利季节进行测定或者按不利季节的湿度状况进行换算。

二、水温对土基的综合作用——对冻胀与翻浆的分析

季节性冰冻地区且水文条件又不良的路段上，土基常易出现冻胀与翻浆，使路面遭到严重损坏，交通运输受到严重影响。

冻胀与翻浆是在什么条件下出现的呢？

(一) 冻胀前的不利条件

季节性冰冻地区的雨季一般都在七、八月份，个别年份甚至延至九、十月份，这就使得秋季地表潮湿和地下水位升高。土基填土较低而土质又不良(粉性土)时，冻前土基内的湿度便较大，给冻胀时水分积聚创造了有利条件。

(二) 冰冻时的水分积聚过程和冻胀的形成

冬季，上层土基开始冻结。随着气温下降，土基冻结深度不断向深处发展，其上层温度低而下层温度高，形成了温度坡差。在负温区内，土中的毛细水、自由水(存在于土粒吸引力作用范围以外的土粒空隙中，受重力和表面张力的支配)首先冻结，再冷时，弱粘结水(被土颗粒吸附在表面的水膜，故也叫薄膜水，受土粒吸引力支配而与重力无关)也逐渐移向冰晶体而冻结，于是该处土粒周围的水膜减薄而剩余了许多表面能，增加了从水膜较厚的土粒处吸湿的能力。土中温度高处的水分便向上移动，补充低温处土粒薄膜水的转移。在正温区，因零度等温线附近土层中自由水的冻结，形成了与深处土层间的温度坡差，从而使下层的水分向零度等温线附近移动。正温区内的汽态水由于冷处比暖处气压小而移向冰晶体凝结成液态水；正温区的毛细水通过毛细上升作用也移向冰晶体。这些水分，部分在冰晶体处冻结，部分转变为薄膜水以补给负温区的水分转移。在地下水位较高时，这种汽态水和毛细水的补给负温区的水分移动便源源不断，从而造成水分大量积聚在土基上层。由此看来，冬季湿度积聚的数量与冻前土基湿度有关，也与地下水或地面积水的影响程度有关。同时，湿度积聚量还与当地的气候条件有关。如果冬季严寒，且冷得很快，则土基很快冻结到路基深处，下层水分便来不及向上层积聚。反之，若入冬尚暖，降温缓慢；或时寒时暖，则土基冻结进程也缓慢，冰冻线长时间停留在土基上层的某个深度，使水分有可能充分地向上积聚在该处，

形成聚冰层，造成该处湿度特别大。在继续降温过程中，凡冰冻线在某个深度长期停留或反复时，都必在该处形成聚冰层。因此，在路基中会出现一层、两层或多层聚冰层，分布在不同的深度内。土基中水分冻结后体积膨胀，当超过土中空隙所能容纳的体积后，便会引起土体的隆起。由于土质的不均匀，冻胀往往也是不均匀的。在冰冻线长期停留和反复处，湿度的积聚就比较严重，便形成较大的冻胀，使路面冻裂或冻胀隆起。

(三)翻浆现象的产生

春天，气温逐渐回升到零上，土基开始解冻。由于路面的导热性大，路中的融解速度较两侧快，因而融解过程中多量的水分不易向下及两侧排除，土基上层便呈过湿状态。当融解到聚冰层时，土层的湿度便达到了极大的程度，有时甚至超出液限。因此土基的承载能力极低，再加之有大量的运输车辆通过，尤其是重车的通过，稀软的泥浆便会沿着开裂的路面缝隙挤出或形成较深的车辙和鼓包，此即所谓的翻浆现象。聚冰层位愈高，厚度愈大，翻浆现象就愈严重；若聚冰层处于路基深层，且又较薄，翻浆现象就轻或不翻浆。聚冰层位于水稳性好的路基土层内(如砂土)，翻浆就不会发生。当融解深度大致超过最大冻深的一半后，土基中的水分一部分由地表蒸发，一部分均布于土体中，土基便逐渐疏干，强度逐渐恢复。春季的气候情况对翻浆的严重程度有较大的影响。春天若到来很快且很暖和时，则土基很快解冻以至不能及时排除过量的水分，土基强度便很低，而翻浆现象显得严重，如在春融期间再降一场春雨，则情况会更加严重。反之，若天气逐渐转暖，土基逐渐解冻，水分能得到及时的蒸发与疏干，则土基要显得干燥些，翻浆现象可轻些。

综合上述分析可知，造成土基冻胀与翻浆的条件主要有：

- 1.土质——若采用粉砂土做路基，便构成了冻胀与翻浆的内因；
- 2.水文——地面排水困难或地下水位较高的路段，为水分积聚提供充足的水源；
- 3.气候——多雨的秋天；暖和的冬天，且寒暖交替而暖天较多；骤热的晚春；春融期降雨等都是加剧湿度积聚和翻浆现象的坏天气；
- 4.行车——通行过大的交通量或过重的汽车，便加速翻浆爆发；
- 5.养护——不及时的养护(排除积水，弥补裂缝等)会促成或加剧翻浆的出现。

第四节 公路自然区划与地带类型

一、自然区划

影响土基湿度的一些因素，如降水、温度变化等，带有地区差异性的特点；另一些因素，如地下水和地面积水，具有地带性(该处的地势)差异的特点。不同地区和不同地带的土基湿度状况具有各自的特色，在强度和水稳定性方面存在着不同的问题。根据这个规律，可以把全国按气候、地理和其它自然条件的差别划分为不同的区划和地带。那末，只要知道路基所处的区划和地带，就可以概略地了解该路基的湿度状况，亦即可知强度和水稳定性的特点。

我国新拟定的中国公路自然区划，是三级区划制。

(一)一级区划

一级区划主要按大范围的气候，地理和地貌等条件的差异来划分，它既考虑了纬度地带性差异，也考虑了东西不同经度和垂直带非地带性的气候差异。划分的界线为：

- 1.根据我国的自然地形的特点按1000和3000米等高线为界划为三个阶梯，即划分为低于1000米、1000~3000米及高于3000米等三大片；

公路自然区划各分区的主要特征

一级区	二级区 (包括副区)	水			热		状况		地表状况	路基路面的特点
		潮湿系数 (K)	年降水量 (毫米)	雨型	多年平均最大 冻深(厘米)	地下水埋深 (米)	地形、谷地			
I 北 部 区	I ₁ 连续永冻区	0.75~1.00	400~600	夏秋雨	>300	1~3	北部<200 南部200~500	需采用保温措施,防止夏季融化 降低土基强度		
	I ₂ 岛状永冻区	0.50~1.00	400~600	夏秋雨	250~300	1~3	200~500	在季冻区要着重考虑翻浆问题		
II 东 部 湿 季 冻 区	II ₁ 东北东部山地温冻区	0.75~1.50	600~1200	夏雨	80~250	>8 1~1.5	大部为: 200~500	土质条件好,故翻浆问题并不严重		
	1a 三江平原副区	0.75~1.00	600~800	夏雨	150~200	<1	除完达山外,大部为平原	软土和沼泽分布广泛,公路基础 条件不佳,冻胀翻浆亦严重		
	II ₂ 东北中部山前平原 重冻区	0.50~1.25	400~600	夏雨	120~240	>8 谷地1~3	大部为平原	冬季降温较快,水分积聚条件较差 春季升温亦较慢,冰冻较厚,水分 易下渗,故翻浆期长,但翻浆程度 并不最严重的		
	2a 辽河平原冻融交替区	0.75~1.25	600~800	夏雨	80~120	1~3 海滨<1	大部为平原	冬季降温较慢,易于水分积聚,春 季升温快,冰冻时间短,冻融交替 典型,故翻浆最为严重		
	II ₃ 东北西部干冻区	0.50~0.75	200~600	夏雨	100~240	1~3 山前>8	大部为平原 或200~500	因水分来源较缺,冻融问题不如同 纬度地区突出		
	II ₄ 海滨中冻区	0.50~0.75	400~800	夏秋雨	40~100	1~2 海滨<1	大部为平原	秋雨增加了冻前土基水分,春季升 温亦快,故翻浆时间虽短,但是相 当严重		
	4a 冀辽山地副区	0.75~1.00	600~800	夏秋雨	100~120	>8 谷地2~4	200~500	路基条件较好		
	4b 旅大丘陵副区	0.75~1.00	600~800	夏秋雨	60~80	>8	微丘	由于冻深较浅,且土质排水条件好 故冻胀翻浆较轻		
	II ₅ 鲁豫轻冻区	0.50~1.00	600~800	夏秋雨	10~40	2~3 海滨<2	平原	翻浆只是在某些路段偶而发生		
	5a 山东丘陵副区	0.75~1.25	600~1000	夏秋雨	30~50	>8 谷地、海滨<8	<200或 200~500	路基强度较高		