

就地取材的道路

A. K. 比 魯 亞 著
同济大学道路教研组译

人民交通出版社

本書對近年來蘇聯公路建設事業中採用當地筑路材料修建道路方面的成就，作了綜合而深湛的論述。此外，對各種當地材料所具有的性質，以及這些材料用於路面結構中的理論根據也作了詳盡的說明。

此書可供道路工程技術人員參考，亦可作為大學道路工程專業有關部分的教学參考書。

參加本書翻譯的有：翁朝慶、龔雨雷、徐崑生、朱照宏、蔡乃森。全書由蔡乃森校。

就地取材的道路

Проф. А. К. БИРУЛЯ

ДОРОГИ ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
АВТОТРАНСПОРТНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1955

本書根據蘇聯汽車運輸與公路部出版社1955年莫斯科俄文版本譯出

同濟大學道路教研組譯

*

人民交通出版社出版

（北京安定門外和平里）

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六号

新華書店發行

公私合營慈成印刷工廠印刷

*

1958年8月北京第一版 1958年8月北京第一次印刷

開本：787×1092 1/32 印張：4 1/2

全書：100,000字 印數：1—1,650册

統一書號：15044·1264

定價（10）：0.65元



录

序

第一章	对路面稳定性的要求	2
§1.	路面的强度与稳定性.....	2
§2.	当地自然条件的影响.....	7
§3.	道路气候分区.....	10
第二章	路面结构设计的原则	17
§4.	路面概述及其分类.....	17
§5.	路面-路基整体结构设计的原则.....	20
第三章	当地材料及其利用	28
§6.	对于当地材料的要求.....	28
第四章	作为当地筑路材料用的土壤	39
§7.	以压实的粘性土壤筑成的路面层.....	39
§8.	在粘性很低的砂土上保证行车的最简单方法.....	44
§9.	通过拌和的土壤改善法.....	46
§10.	土壤的热处治.....	54
第五章	用结合料改善土壤	56
§11.	用有机结合料处治土壤.....	56
§12.	用矿质结合料处治土壤.....	68
§13.	掺盐类以提高土壤的稳定性.....	78
§14.	用泥炭改善土壤.....	80
第六章	土壤碎石和砾石路面	82
§15.	土壤碎石.....	82

§16.	礫石路	93
§17.	路面的逐漸礫石化	105
第七章	工業廢品的利用	107
§18.	冶金礦渣	107
§19.	爐渣	114
§20.	模砂	116
§21.	煤礦燒岩	116
§22.	采石場的廢料	120
第八章	天然軟質石料的利用	124
§23.	路面中的軟質石料	124
§24.	礦山碎石（風化石）	131
§25.	海產貝壳	132
§26.	砂質、石灰質及其他結核的塊料	134
§27.	泥灰石與蛋白石	136
§28.	低強度材料的磨耗層	137
§29.	採用有機結合料的保護層	140

序

为了降低路面的造价，通常，路面应当采用当地材料来修筑。道路工作者的任务是大量增加修筑路面的当地材料。不仅要使用强度高的石料，而且还要采用强度低的石料，使它们适用于相应的道路结构，并研究使用这些材料的方法。

本书叙述了路面结构中运用当地材料的原则和方法。同时还研究了材料的性质、各种条件下的路面结构及其使用质量。关于施工操作问题，仅在阐明路面结构的必要范围内，略予述及。

对于那些尚未获得广泛推广的路面材料和结构，将予以特别注意。

在苏联，在重工业不断增长的基础上，发展了轻工业、食品工业和国民经济的其他部门（包括农业在内）。

由于农业生产的急剧增长，生荒地和熟荒地的开垦，以及人民要求商品生产的扩大，就需要大大地增加良好的和设备完善的道路。

因此，要求道路工作者发挥高度的积极性和创造性，并利用在道路结构和修筑方法方面近几十年来的丰富经验和无数科学的研究成果，尽可能地使用当地材料，以加快道路建筑的速度和降低其造价。作者为了弥补道路技术文献中所存在的这个问题，故写成此书。

第一章 对路面稳定性的要求

§ 1. 路面的强度与稳定性

解决路面中采用各种当地材料（其中包括强度低的材料）的问题时，需要详细地分析作为工程结构物的路面，特别是关于它的强度因素。

路面的耐久性与优良的使用质量，主要决定于土壤基础的强度与不变性（稳定性）。

因此，在道路的设计、施工和养护中，整个路基土体，特别是作为路面土壤基础的上部稳定性，具有重大的意义。

从路面稳定性的观点来说，主要的注意力应集中于保证土壤基础的强度及其一年内各季节中的不变性。

路面修筑在路基上，其抵抗荷载的能力在很多方面取决于路基上层土壤的强度。

这对于柔性路面来说更为严重，因为柔性路面没有抗弯能力，它的全部各点紧接土壤，并随着土壤的沉落而沉陷。

当汽车驶过时，若强度不足的土壤基础的沉落，就会造成柔性路面的弯陷，甚至破坏。

土壤基础的强度随土壤的湿度和温度变化而改变。

当汽车驶过一次，仅产生很小的沉陷，但经过多次短暂的重复后，沉陷就累积起来，因此在柔性路面上便出现和逐渐形成窞坑和不平整。

这些不平整性的累积，虽然不会造成路面的破裂，但由于路面平整性的破坏，便大大地降低了道路的使用质量。

各种土壤的强度与其密度和湿度有关。因此，在道路使用期间，土壤基础的沉陷可以认为是由于土壤不够密实和在潮湿季节中土壤过分潮湿所造成的。

在路面上不平整度累积的大小和速度是与土壤基础的强度和在水方向的不均匀性、路面的强度、荷重的大小和频率有关。

路面对土壤基础强度不足和不均匀的感应特别灵敏。道路的设计车速愈高，则对路面不平整度的容许值愈小。

从结构观点来看，路面应该是一个多层体系，各层的强度（刚度）随深度而变化，其下层应多少接近于路基整体上层的强度。

由行驶的车辆所引起的静荷载和动荷载作用在路面上，并经过路面作用传至路基土壤上，以致使路基土壤中产生应力状态和一定的变形。

当车辆（汽车重 $0.6 \sim 0.7$ ）在制动和滑动时，磨损层和部分承重层承受到水平（切线）力的作用，但这种水平力随着深度很快地减小（见图1）。水平力将力图使磨损层沿着下面的承重层滑动。如果在这些层次中粘结力不够，就会发生剪移。

除了各磨损层之间产生剪移外，水平力还可能引起磨损层内部材料的塑性剪变，并可能同时引起路面的波浪形和破裂。

这种水平力还会引起表面处治层的磨损。因此，在设计

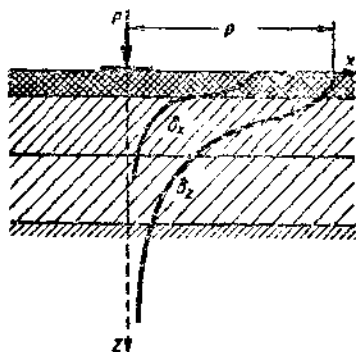


图1 由车轮引起的垂直应力 σ_z 和水平应力 σ_x 图

路面表面处治层和磨耗层时，应考虑到水平力的作用。

对于路面的下面各结构层，通常采用垂直的静力和动力作为计算力。垂直力使路面和路基土壤各结构层至一定的深度产生应力状态。

为了保证路基和路面的稳定性和耐久性，必需尽量做到使土壤在外力作用下仅产生弹性变形（即当车轮驶过后能恢复的变形），这就保证了路基在一定时间内的相对不变性。

在外力作用下产生的应力将扩散到整个土体中。

大家知道，土壤抵抗压应力的程度较大，抵抗剪应力的程度甚小，而抵抗拉应力的程度亦不大。

在车轮荷载作用下土壤的应力状态区域可以按照大家熟知的布辛尼克应力公式用弹性体内压应力的等值线来描绘，如图 2 所示。

从图 2 中可以看出，最大的垂直应力产生在经过外力作用点的垂线上。在这种情况下，可将这些

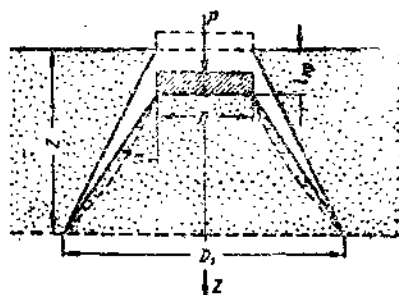
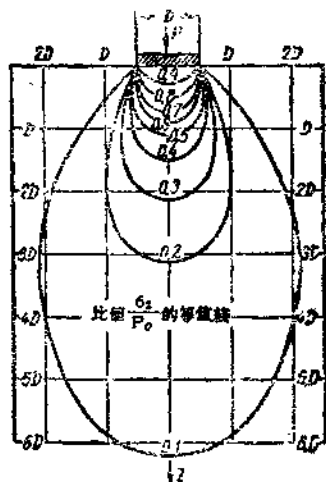


图 2 在均质土壤中的应力等值线(上图)；在荷载作用下土体的破裂(下图)；

应力随深度的变化规律写成为下式:

$$\sigma_z = k \frac{P}{z^2},$$

其中

$$k \sim \frac{1}{2}.$$

除了車輪荷載以外，在土壤上還有其自重作用，在均質土壤中，由自重而產生的應力與深度成正比例的規律，為：

$$\sigma_B = \gamma \times z, \text{ 其中 } \gamma \text{——土壤的容重。}$$

既然，由外力而產生的應力隨深度很快減小，而由自重產生的應力隨深度而增加（見圖 3）；因而至某一深度 z_a 處，第一種應力就成為第二種應力的某一比值 $1/n$ 。

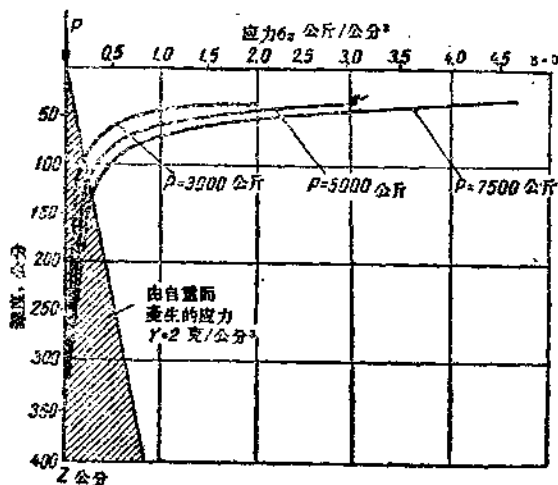


圖 3 在不同荷載下由輪壓 P 引起的垂直應力和自重引起的應力

這一深度可以從下一關係式求得：

$$k \frac{P}{z_a^2} = \frac{\gamma z_a}{n},$$

或

$$z_a = \sqrt[3]{\frac{knP}{\gamma}}$$

图4所示为 $n=10$ 和 $n=5$ 时， z_a 与在轮上各种不同荷载 P 之间的关系，其中设容重 $\gamma=0.0015$ 公斤/立方公分。一般认为在深度 z_a 处可以忽略由外力所引起的应力；当 $n=10$ 或 $n=5$ 时，深度 z_a 值大致为：

$$z_a \cong \sqrt[3]{\frac{1 \times 10 \times P}{2 \times 0.0015}} \cong \sqrt[3]{3000P} ;$$

$$z_a \cong \sqrt[3]{\frac{1 \times 5 \times P}{2 \times 0.0015}} \cong \sqrt[3]{1500P} .$$

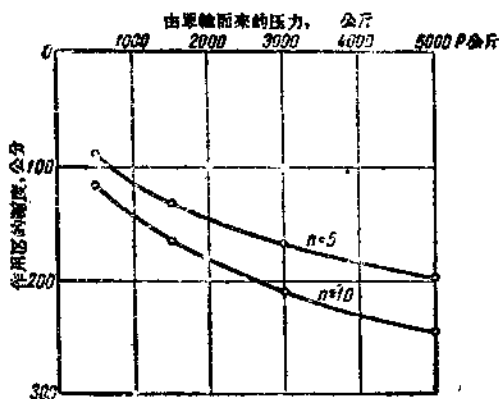


图4 随车辆荷载而变化的作用区深度

在进行更精确的分析时，必需考虑到在上层有更高刚度的结构层，它会影晌应力的分布并提高它的自重，这样 z_a 值便略为减小。

因此，包括路面在内的路基上层，在近代汽车（ $P=500 \sim 1500$ 公斤）车轮作用下起作用的深度约达（当 $n=5$ 时）

土壤基础和路基的水温情况与当地土壤上层的水温情况是不相同的。

在修筑路基时，在取土坑内的土壤已被机械所扰动并转移到路基上去。这样，在当地自然因素长期作用下，土壤的天然结构破坏了。与取土坑中的土壤相比较，在路基中的土壤是按另一种次序堆置起来，此时土壤将随着修筑路基时使用那一种机器和方法而有不同的密实度。在路基中造壤因素对土壤的作用也就停止了。

采用结合料的近代路面使土壤中的空气和水气与大气的相互交流很困难，甚至完全停止；因而路基中的空气和水气的交换与天然土壤不同。

路面-土壤-路基整体的新的水温情况与力学作用使路基中的土壤形成一种新的平衡状态。

随着时间的增长，土壤在新的因素作用下，新结构的形成过程造成了一种动力平衡状态，此时，土壤的湿度、密实度和温度将随着当地的自然条件变动于一定的范围以内。这种土壤的强度将随着各季度和更长时期内的循环规律而变化着。

路面-路基整体设计和建筑的任务是：借助于结构与技术操作上的措施使土壤基础的湿度和温度的变动范围变为极小，因此，就可使路面和路基土壤的强度在很小的范围内变动。

大家知道，对土壤强度有影响的是，土壤的颗粒组成、胶体部分的组成、土壤的密实度和湿度、温度等。

一般说来，土壤的颗粒组成是保持不变的，虽然随着时间的增长，由于泥浆渗入土中亦可能造成若干变化。

土壤的密实度在良好的条件下可以保持长期不变 (§9)。在杂砂土和轻杂粘土中，地基土壤的密实度在道路使用期内可能由于车轮的动力作用而增加。在路基中，从一定深度处开

始，由于上层重量的作用和其他因素的影响，土壤的密实度亦随着时间而增加。春季，土壤过湿的地区，土壤的密实度会暂时降低，然后随着一年中水温情况的循环过程又重新增长，因此，土壤的密实度和强度就变化得很厉害。

在路基和路面中使用土壤时，应考虑到土壤的一项重要性质——水稳定性。

水稳定土壤的特点是：

- 1) 当湿度变化时具有良好的抵抗力；
- 2) 当湿度变化时，其力学性质变化不大。

湿度在一年中的变化幅度极为剧烈，为了改善这一点，应在道路设计、修筑和养护时采取主要的措施。

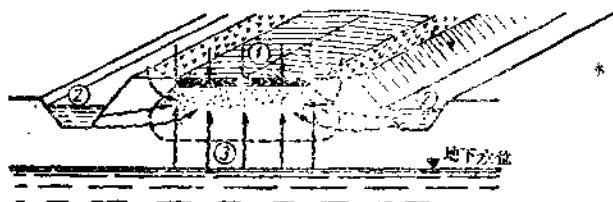


圖 6 土壤基础中湿度的来源

从图 6 中可以看出，水份可以从好几种来源渗入土壤基础：

- 1) 大气中的水份经过透水路而而渗入；
- 2) 停留在路基旁地面上及边沟中的水经过毛细作用而移入；
- 3) 地下水经过毛细作用而升入。

在设计中的措施应当能做到防止水份渗入土壤基础，以避免在一年中湿度最不利的时期内土壤基础被浸湿。

当路基中的湿度降低到零度以下，并产生温差时，则毛细水和薄膜水将自较高温的下层进入较低温的上层。当在土壤中

含有粉土成份并具有相当大的水源（地下水，路基旁地面积水）时，则在土壤基础中将积聚大量的水份并结成冰晶块（冻胀）。在春季，当这些冰晶块融化时便造成土壤基础极其严重的过湿，并使整个路面强度显著降低。

只有在翻浆性土壤（主要是粉土）中，有相当大的水份来源并在土壤冻结时才会产生翻浆（冻胀）现象。如果上述诸原因中缺少任何一个因素，实际上，翻浆是不会产生的。因此，翻浆现象的产生是与当地的自然条件有关。

在正确设计和修筑的路基中，不应产生翻浆现象。

在路基中最稳定的土壤有粗粒和中粒砂、非粉土质杂砂土、轻杂粘土。

从理论上来说，只要在采用某一种能保证土壤水稳定性和强度的构造和建筑措施的条件下，任何土壤都可以用作修筑路基的材料。

当研究路基中土壤的稳定性时，必需与当地自然区域的水温情况密切联系起来。同一种土壤，在不同的自然区域和在不同的路段上，它们的稳定性是不相同的。如果道路经过正确的设计、修筑和养护，则完全有可能保证土壤基础的稳定性和保持路面的强度。

§ 3. 道路气候分区

路基和路面的稳定性决定于路基土壤与不同温度下水份之间复杂的相互作用。因此，当地的水温情况是道路气候分区的主要因素。

象苏联这样一个领土宽广的国家，自然条件极为复杂，因而道路气候分区具有特别重要的意义。

目前苏联的道路气候分区（表1），主要是根据苏联地

表 1

气候区 编 号	分区的特徵	地 圖 上 的 界 限
I	冰冻区	包括冻土带, 森林苔原带和森林地带的东北部。 南面边界为: 蒙契戈尔斯克—波德依—涅西—奥什康里亞—苏哈雅通古斯卡—坎斯克—哥斯格拉尼查—比罗比詹—堪卡斯特里
II	过湿区	包括森林地带。南面边界为: 尔沃夫—日托米尔—卡盧加—高尔基城—伊热夫斯克—托博尔斯克—托姆斯克—坎斯克以及第一区以南到与中华人民共和国接界处
III	变动的浸湿区	包括第II区以南的森林草原带。南面边界为: 基希涅夫—基洛夫格勒—哈尔科夫—古比雪夫—契卡洛夫—鄂木斯克—比斯克
IV	不甚浸湿的地区	包括草原地带。自第III区边界以南到第V区的边界为止
V	干旱区	包括沙漠草原和沙漠区, 并分布有鹽漬土。在下列一线之东与南: 朱尔法—斯大林格勒—烏拉尔斯克—阿克秋宾斯克—圖尔盖—卡拉干达—塞米巴拉丁斯克
VI	垂直分带的地区	下列諸山山区: 噶尔巴达, 克里姆, 高加索, 中亚細亞, 阿尔泰, 薩楊, 远东山区

理学家对苏联地理景观的研究而作出的。

划分道路气候区边界时, 应考虑到一年各季节中土壤水份的不同情况。

在运用表 1 的資料时, 必需考虑到自西向东(阿尔汗格尔斯克——阿斯特拉罕綫以东地区)气候逐渐变化为大陆性, 雨量减少, 在一年各季节中气温的变化幅度、負温度的持續日期和绝对值都会增加。

按表 1 的分区仅具有概括的特点, 它将苏联領域划分成为大区, 但在每一大区之内, 还存在着影响道路設計的极其复杂的气候条件。在每一气候区内, 应按照土壤的类型和水文資料对道路設計、施工和养护的条件进行繼續的区分。

因此，必需从速研究在这些大区之内的小面积的特征分区。

决定路基水温情况和水份平衡的各种因素——水份的来源，其强度和在一年中的变化幅度、蒸发强度、温度的季节性变化——在各个地理区域和自然区域中的特征是极为明显的。

因此，对每一区域，应根据水份来源的性质和强度、温度在一年中的变化以及路基土壤的水份平衡情况，研究出水温情况的标准（计算）图式。

整年中土壤基础湿度的变化可以作为路基水温情况的标志，因为整个路面系统的形变模量直接与土壤基础的湿度有关。

为了保证路基和路面的稳定性，必需减少土壤基础湿度变化的幅度。

如将粘性土壤塑性上限（流性下限）的湿度取等于 1，则可将土壤的湿度以它的百分数计的重量含水量与塑性上限的重量含水量的比率表明之（或称为相对湿度）。

研究指出，当粘性土壤的相对湿度相同时，它的稠度亦是相同的，并由它们的物理力学性质确定，对于粘性土壤来说，某些湿度值是有其特性的。

以下列出粘性土壤（非盐渍土）的特征性湿度，以相对单位 Θ 表示之（见图 7）：

塑性上限	1.00
软塑状态	0.75~1.00
硬塑状态	0.50~0.75
完全分子湿度 (A.Φ. 列别谢夫)	0.50
中型压路机压实最佳湿度	0.60

Θ 土壤的相对湿度等于：土壤的实有含水量（重量百分比）与该土的塑性上限（ F ）（重量百分比）二值的商数。

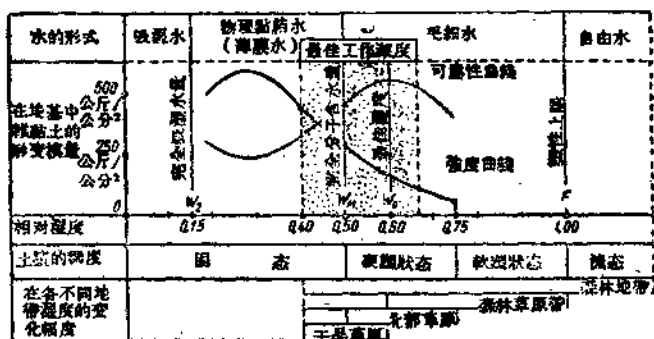


图1 土壤的物理力学性质随湿度而变化的示意图

对于具有一定颗粒组成和胶体部分的土壤，塑性上限时的含水量是一个特征值。对此值有影响的，不仅是颗粒组成，而且还有物理与化学性质。同时，在不同的湿度下土壤的形变模量值亦与土壤的物理和化学性质有关。

用平衡锥体（国家标准 5184-49）来确定土壤的塑性上限是适宜和足够准确的；如果采用哈尔科夫公路学院所建议的方法，则这一湿度值可以容易地和很快地在野外条件下确定之。

颗粒组成不同的土壤，可以大致地以塑性上限来表征，如表2所列。

在表征土壤的物理力学性质时，建议采用塑性上限作为一个指标。

根据以上所述，在作道路气候划区中，除去那些次要的指标，而按照路基和土壤基础的水文情况研究时，土壤的相对含水量的变动幅

表2

土 壤	粘土颗粒的含量, %	塑性上限 F %
砂土.....	< 3	< 16
细砂土.....	3~12	16~26
细粘土.....	12~18	26~34
重细粘土.....	18~25	34~42
粘土.....	> 25	> 42