

公路路基稳定设计原理

Gonglu Lujiwending Shejiyuanli

吴承志 应旭棋 编著

人民交通出版社

前 言

极大部分公路路基(包括路堤和路堑)是用当地土壤建造的,它是最重要、造价又是最昂贵的公路路面的基础。路面的强度、稳定性乃至使用品质,很大程度上决定于路基的强度和稳定性。

实践表明建好公路的最关键问题,首先还在于建好路基。

这里所指的路基稳定性,仅仅是指作为路面基础而言的部分,不包括高填、深挖路基边坡的稳定性。

公路路线一般都较长,穿越地带的情况千变万化。公路路基因其地基、土壤类别、土质、成因和所处的自然条件极不相同,设计、施工人员弄清楚各种路基的稳定原理并有针对性地查清复杂多变的相关因素则是根本。撰写这个小册子的目的即在于此。

这个小册子中基本上不罗列各种处理措施的具体参数,要求设计人员在掌握稳定设计原理的基础上,调查当地情况和了解当地经验或组织必要的试验研究工作,提出切实可行的处理办法和具体参数,切忌生搬硬套。

作 者

一九九二年十二月

(京)新登字091号

内 容 提 要

本书主要论述公路路基的稳定性原理,着重论述季节性冻土、多年冻土、湿陷性黄土、戈壁及盐渍土等地区 and 软土地基上的路基稳定设计原理。该书内容系作者多年从事公路工程建设实践的经验总结。

该书可供从事公路工程、铁路工程和其他土建工程的工程技术人员参考。

公路路基稳定设计原理

吴承志 应旭棋 编著

插图设计:秦淑珍 正文设计:崔凤莲 责任校对:梁秀清

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

全国各地新华书店经销

北京四季青印刷厂印刷

开本:787×1092 1/32 印张:1.375 字数:31千

1994年7月 第1版

1994年7月 第1版 第1次印刷

印数:0001—5000册 定价:1.50元

ISBN 7-114-01910-6

U·01267

目 录

前 言

一、土方压实路基·····	1
二、路基土的水稳定性·····	5
三、季节冻土地区路基·····	7
四、多年冻土地区路基·····	13
五、湿陷性黄土地区路基·····	19
六、戈壁地区路基·····	23
七、盐渍土地区路基·····	26
八、软土地基上的路基·····	33

一、土方压实路基

松散状态摊铺成的填土路基必须经过充分压实，以提高土基的强度、水稳定性，将路面可能发生的各类塑性变形控制到尽可能小的程度。

填土路基压实质量控制中有两个重要的问题，即标准压实法的参数选用和压实标准的控制。

标准压实法是一种实验室土工试验法。该方法的要点是将松土土样分层填在一定体积的带活底的圆柱形金属筒内，以一定质量的金属锤按规定的落锤高度和一定的锤击次数对土体进行自由落体锤击。所谓“一定质量的金属锤”（用 m 表示），所谓“规定的落锤高度”（用 h 表示），所谓“一定的锤击次数”（用 n 表示），三者综合在一起，即 $n \times mg \times h$ 表示一定的压实功，用 A 来表示。

锤击完毕后，测定土样的含水量（用 w 表示）和干密度（用 δ 表示）。

对不同含水量的同种土样，重复以上试验，可得出的一组 $\delta-w$ 数据。将这些数据点绘在坐标纸上，并联成曲线，可得到 δ 的最大值及相应含水量，即 $\delta_{\max}$ 和对应的 w_0 。称 w_0 为最佳含水量，称 $\delta_{\max}$ 为最大干密度。

因此，实验室标准压实法的实质在于单位体积的土样，在规定的压实功作用下，求得最佳含水量和相应的最大干密度。

标准压实法有轻型、重型之分，主要区别在于重型压实的金属筒体积大、土样多、压实功大、单位土体的压实功也

较大。目前，国内外均趋向采用重型标准压实法。表1以示例方式介绍了轻、重型标准压实法的主要参数。

压实标准控制是指土方压实的工地控制标准。要求在最佳含水量（试验室确定） w_0 条件下，实际达到的干密度 δ_0 应等于或大于 $k \cdot \delta_{\max}$ 。其中 k 为压实系数，一般均小于1。 k 值在施工规程中均有规定。

施工现场往往会遇到这样一些问题，譬如，如何选择压实机械、碾压多少遍才相当于标准压实法中的压实功 A 。有时，尽管控制了最佳含水量，由于压实机械偏轻，在土体具备一定的强度之后，尽管反复碾压，但压实变形很小，所做的压实功不会因压实机械重复行驶而有所增加（因为功是力和力方向上的位移值之乘积），结果无法达到 $k \cdot \delta_{\max}$ 的密度值。反之，如果压实机械偏重，由于土体强度不足，重复碾压会引起过大的变形，压实功过大，使土体中的多余水份挤出，土体呈弹簧状变形，甚至翻浆。出现了“压不实”的情况。

有时，天然土的含水量已大于实验室的最佳含水量，按规定要晾干再压。可是，当时当地的气候条件又不许可，出现了“压不了”的情况。

也有许多地区，天然土的含水量远小于实验室的最佳含水量，按规定要洒水再压。可是，当地缺水，远运水耗资巨大，出现了“压不起”的情况。

有人研究过不同压实功条件下的土样压实效果，大体上得到如图1所示的实验关系，即 $\delta = f(w, A)$ 。这种实验关系表明 $\delta_{\max}$ 是 $w = w_0$ 和 A 的二元函数，即 $\delta_{\max} = f(w_0, A)$ 。如果施工中只控制最佳含水量 w_0 ，而不能控制好相应的压实功 A ，那是不能获得相应的最大干密度 $\delta_{\max}$ 的。

这种实验关系还表明，如果施工中控制最佳含水量 w_{02} ，

表1

轻、重型标准压实法的主要参数

试 验 方 法	锤 质 量 (kg)	锤 面 直 径 (cm)	落 高 (cm)	金 属 筒 尺 寸			锤 击 层 数	锤 击 击 数	平均单位体积压实功 (J/cm ³)	备 注
				直 径 (cm)	高 度 (cm)	体 积 (cm ³)				
轻 型	葡 氏	2.51	30.48	10.12	11.65	943.9	3	25	0.608	
	AASHTO T-99	2.51	30.48	15.24	11.65	2124	3	56	0.605	
	原 苏 联	2.5	30	10	12.7	1000	3	20 25 30 40	0.450 0.563 0.675 0.900	砂土 亚砂土 亚粘土 粘土
	日 本	2.5	30	10 15	12.7 12.5	1000 2209	3	25 55	0.563 0.561	
重 型	正 修 葡 氏	4.54	45.6	10.12	11.65	943.9	5	25	2.74	
	AASHTO T-180	4.54	45.6	10.12 15.24	11.65 11.65	943.9 2124	5	25 56	2.74 2.73	最大粒径19mm
	日 本	4.5	45	10 15 15	12.7 12.5 12.5	1000 2209 2209	5 5 3	25 55 92	2.53 2.52 2.53	最大粒径25.4mm 最大粒径25.4mm 最大粒径38mm

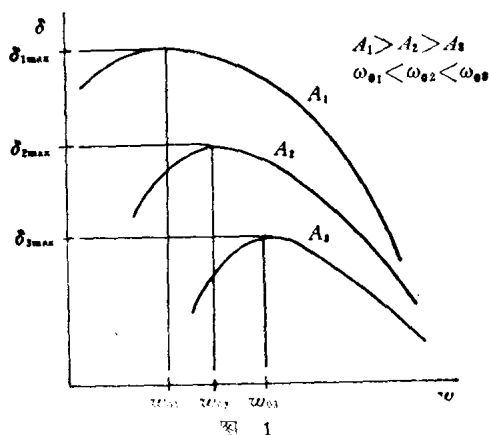


图 1

而压实功为 $A_3 (< A_2)$ ，那么，碾压后不能获得 $\delta_{2\max}$ 。压实功偏小，工地压实得到的 $\delta < \delta_{2\max}$ 。又如果施工中控制最佳含水量为 w_{02} ，而压实功为 $A_1 (> A_2)$ ，那么，土体会表现出含水过剩，引起弹簧状变形或翻浆。

这项研究成果向我们提出问题，即施工中的压实功（或单位土体压实功）应该如何计算确定。因为，施工中不单是要控制 w_0 ，同时还要控制 A 值。施工中 A 值如何计算确定的问题至今还未解决。

这项研究成果还向我们提出另外一个问题，即施工中究竟要得到某一定数值的 δ 值，还是要得到 w_0 和 A 条件下的 $\delta_{\max}$ 值。这是完全不同的两回事。按照 $\delta_{\max} = f(w_0, A)$ 的关系， w 较大时，只能用较小的压实功，获得一个较小的 $\delta_{\max}$ 值。而当 w 较小时，则一定要做较大的压实功，去获得一个是否必要的又较大的 $\delta_{\max}$ 值。这与对路基强度的要求是不相匹配的。

应该注意到，现在工地土方碾压的实际做法是这样的：选择一种经验上认为可行的压实机械 (mg)，在大体接近最

佳含水量 w_0 （室内试验获得）的某个含水量 w （ $w \neq w_0$ ）条件下，碾压（不是击实）若干遍（压实功 A 不明确），测定干密度 δ ，然后去同室内试验条件下获得的 $\delta_{\max}$ 相比较，检查一下 $k(\delta/\delta_{\max})$ 是否符合规范规定。工地条件下的压实周界条件（无侧限，而不是有侧限）、压实方式、压实功、含水量均不同于试验室。为什么工地实测的干密度 δ 要同室内试验条件下得到的最大干密度 $\delta_{\max}$ 相比较呢？

是否可以把压实问题作这样的调整：对于不同的路基土，按照强度，特别是水稳定性的要求，首先确定必须的最大干密度 $\delta_{\max}$ ，然后选择适宜的压实机械，合理又是可能的含水量，进行碾压，使碾压后达到的干密度 $\delta \geq k \cdot \delta_{\max}$ 。作者认为这种做法是合理的，是实现的，完全可以办到的。

弄清楚以上这些问题，对于土方压实工作的实施具有很大的现实意义。

三、路基土的水稳定性

路基土受到水分的影响，其强度要下降。下降后的强度对下降前的强度之比，称作水稳定性系数。水稳定系数越小，表示路基土强度受到水分影响越大。

路基承受由路面传来的汽车荷重的作用。根据由汽车荷重引起的路基应力和路基土自重压应力的相对关系，通常认为路面底下 $1 \sim 1.5\text{m}$ 范围内的路基土是路基的“工作区”或“作用区”。路基工作区或作用区的强度和水稳定性对路面的强度、稳定性及使用品质起关键作用。当然，路基下的地基土对公路的使用品质也有重要的影响。

可以不十分严谨地说，水是对路基危害最大的因素。要

保证路面具有可靠的使用品质，必须千方百计，尽最大可能使路面下的路基工作区保持比较干燥的状态，也就是说，要尽量减小水分对该工作区的影响。

影响公路路基水稳定性的水源，主要有：

（1）地面水。主要是降雨、降雪及周围地面的地表迳流水或地面积水。

（2）地下水。地下水可以有无盐水和含盐水。补给水影响地下水位的升降。负温度影响下，下层的水分可向上集聚。夏季含盐的水分会上升，对上层路基土起到补充盐分的作用。

（3）凝聚水。水蒸汽可以集聚在路面底下的路基工作区中，并凝聚成液态水。

（4）土体水。如土颗粒间的游离水、毛细水和薄膜水。

路基土中水分的存在与许多因素相关联，主要有：

（1）土的性质。例如，粉、粘性土的纳水性大大超过砂砾类路基土。

（2）土的成因。例如，软土含有大量的水分，而黄土则极干。

（3）土的结构。同一土种，疏松状态其纳水性就比密实状态的大得多，其水稳定性差得多。

（4）气候条件。降水量、蒸发量、风力和风向对路基土的干湿状态有相当的影响。

（5）气温情况。负温度的大小、变化速度、冰冻深度等都会影响路基土的湿度。

（6）日照情况。一般讲，日照对路基土的干燥是有利的；但强烈的日照，也可以使黑色路面下的上部路基土存在大量气态水或水蒸汽。

（7）地下水位。地下水位的高低对路基土的影响是最大的。

(8) 周围地形条件。路基外围的地面坡度,若能使地表水向路基外流出的,则有利于路基土的疏干。相反,近处有积水坑,或地表水向路基汇流的,均会对路基土产生不利影响。

路基稳定设计中的防水、排水措施,其目的均在于尽可能减少纳入路基土中的水分。除特殊情况外,一般性的措施主要有:

(1) 路拱排水。排除降落在路面上的雨、雪水。

(2) 边沟排水。

(3) 截水沟。截除路基外侧来水。

(4) 加深型排水沟。降低路基工作区的地下水位。

(5) 隔离层。用砂石材料或其他不透水材料隔断地下水的上升。

(6) 提高路基。可使路基工作区远离地下水、地表积水的影响区。

(7) 暗管、盲沟。汇集路基土体内的水分,并排引到路基外。

(8) 隔温层。减少负温度条件下地下水对上层土的补给作用,或者减少大气负温传入路基土中,保证地基的稳定。

三、季节冻土地区路基

出现负气温的地区,在负温度影响下,地下形成仅能在一定季节内保持一层或几层有限厚度的冻结土,这种冻结土称为季节冻土。历年中,季节冻土的最大冻结深度,称为季节冻土的最大冻深,或称冻结下限。在最大冻深范围内的土体,仅在一定季节内保持冻结状态。在最大冻深范围以下,无论在什么季节,土体均不冻结。季节冻土只有冻结下限,没有

冻结上限(或者说冻结上限就是天然地面的表面)。季节冻土广泛分布在我国北方地区和青藏高原。

季节冻土的最大冻深，除了和气温、土的类别有关外，还与地下水位的深度有关。当地下水位较高时，负温度使下层粉、粘性土中的水分子(毛细水、薄膜水)向上层粉、粘性土体积聚，使最大冻深加大。

在气温升高到摄氏零度以上的条件下，季节冻土表层土体不断从大气中吸收热量，天然地面首先开始融化，地层表部逐渐形成一个深度渐渐增大的融区(图2)。

融区还没有达到最大冻深(即冻结下限)之前，融区土体含水量大、密度低，强度和稳定性差。这是因为：(1) 冻结冰融化成水；(2) 融期内雨雪水下渗；(3) 尚未融化的冻结层是一个不透水的冰冻土夹层；(4) 融区融冰水和下渗的雨雪水积聚在融区土体中；(5) 融区土体遭到冻-融循环作用，土体结构遭到严重破坏。

如果在季节冻土天然地面局部范围的表面直接铺筑了一层吸热较强的材料层

(例如：沥青类材料或其它吸热较强的填料)，那么，在融期中，由于该局部范围与其周围天然地面范围的吸入热量不同(前者大于后者)，于是，吸热较强的材料

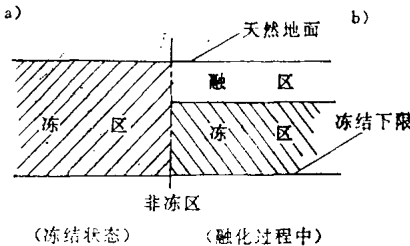


图 2

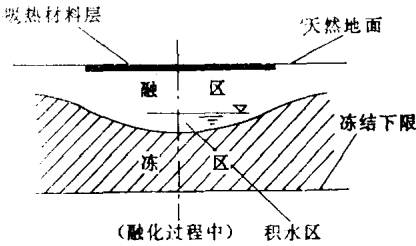


图 3

层底下的土体融深加大，融面低于天然地面以下的融面。此时，尚未融完的冻土层表面呈洼坑形(图3)，融化水和渗入土体中的雨雪水均积聚在这里。路面或填料层下的这种积水区，使得作为道路工程的路基，其工作状态变得极差，往往造成路基土翻浆。而如果铺设在天然地面上的吸热材料层又是不吸水、不透气的(沥青类材料最典型)，那么，融区中的水分既不能往下排渗，又不能以气态向上逸出(往往以水珠形式集聚在黑色面层的底面上)，这就使路基路面处于更加恶劣的工作状态。季节冻土地区公路路基设计的根本任务就是要消除路基土的翻浆病害，改善作为路面基础的路基工作区的水热条件。

如果在季节冻土天然地面上开挖路堑，而又无其他保护措施(图4)，那么，在融化过程中路堑底部以下的未融化冻

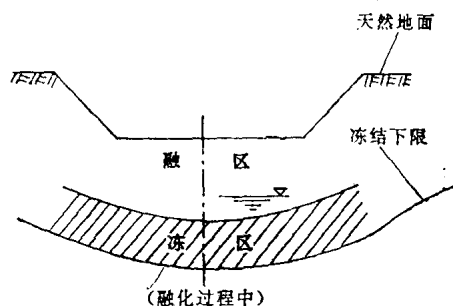


图 4

土表面将呈洼坑形。由于路堑的地表排水条件差，因此，融区的情况也更糟。如果在路堑底部表面上铺设吸热较强，而又不吸水不透气的材料层，那么，融区的情况将更严峻。因此，公路设计中对季节冻土的挖方路段要更加认真对待。

季节冻土地区公路路基的保护措施主要是竖向保护。竖向保护措施的目的是保护路基本身。现分述如下：

(1) 填方路基。填方路基可以使路基填土范围内的冻结

下限上升，使融化过程中的冻区表面呈拱背形，使融区内的自由状态水及时排渗出来(图 5)。路基填料应采用隔水类(如灰土、水泥土等)或透水类(砂砾等)的填料。当路面为吸热较强的材料层时，多吸入的热量应由路基填料平衡掉，使路面下的冻结下限较天然地面的冻结下限高一些，以保证融化过程中尚未融化的冻区表面形成拱背形(图 6)。

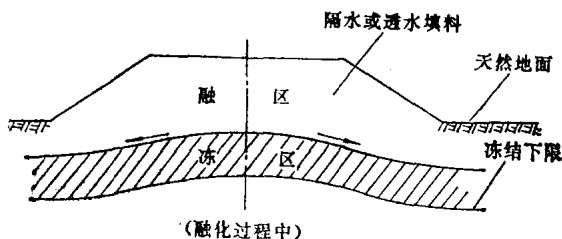


图 5

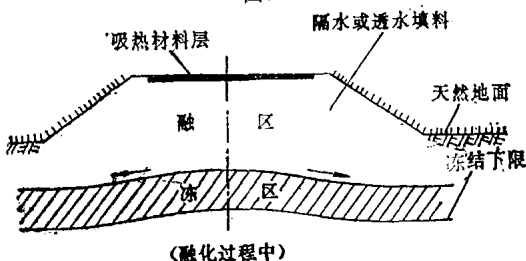


图 6

当路基填高不足以平衡为路面多吸入的热量时，路面以下的冻结下限较天然地面下的冻结下限来得低，这种情况下，路面下的未融冻区表面同样会呈洼坑形，季节冻土上的路基翻浆仍不能避免。

某些情况下，路基设计填高受到限制，则可采取如图 7 所示的方式来处理。天然地面上先铺筑隔热材料，在其上再填高路基，使被路面多吸入的热量由填土和隔热材料来平衡掉。最终还是要使路面下冻结下限界面呈拱背形，即融化过

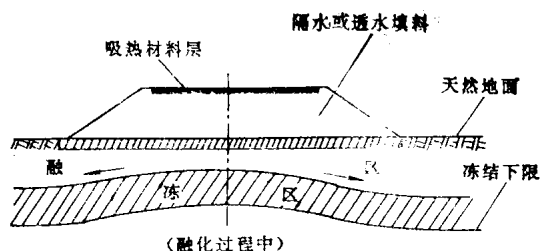


图 7

程中的未融冻区表面呈拱背形。

因为季节冻土地区的路基本身在负温作用下也要冻结，如果路基用透水不良的材料填筑，那么吸热较强的材料层底下的路基填土会在冻土融化过程中形成洼坑形的融区（图 8）。若路面材料是不透气的，则路基融区土体含水量会相当大，路基土会发生翻浆。因此，路基顶部，在条件许可时，

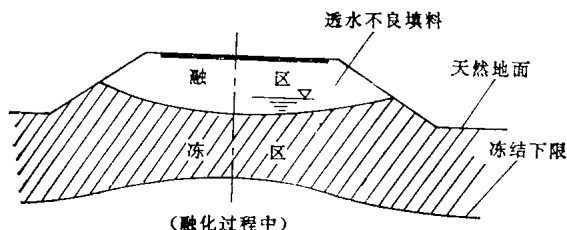


图 8

尽可能采用透水良好的砂砾材料来填筑。也可以用石灰来处理当地土作为路基上层料，使其不发生水分积聚过程。如用粉、粘性土来填筑路基，除要注意保持一定的填高外，填土本身含水量应限制在压实最佳含水量或以下；注意不使雨雪水渗入路基；处理好路基两侧的排水系统，尤其是农灌地区。

（2）挖方路基。如图9所示，要在路面底下，必要时还要在两侧边坡铺设隔热材料，使融化过程中的冻区表面形成拱背状。

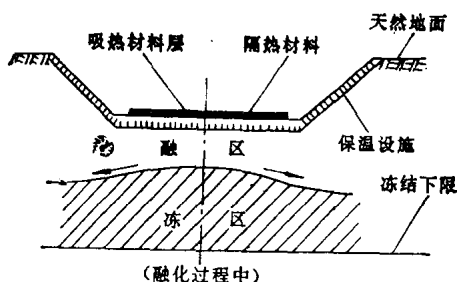


图 9

三十多年来，我国北方地区和青藏高原修筑了许多铺有黑色路面的公路，在处理季节冻土地区路基翻浆方面已有了相当丰富的经验，只要认真学习和总结当地的经验做法，都是可以奏效的。

在季节冻土地区修筑公路路基同样也要注意采取侧向保护路基的措施，但其程度可较多年冻土地区保护冻土的侧向保护措施简单一些。季节冻土地区侧向保护路基的措施主要是两侧排水。

公路勘测设计中应该注意以下几点：

(1) 查清线路经过地段的地下水位变化情况及地下水浸入持力层的年持续时间，尤其是入冻前可能存在的地表积水。注意可能存在的地下泉水，挖方断面可能出现的边坡渗水。注意农业冬灌水流入公路路基。

(2) 旧路改建中要探明最大冻深范围内的含水量和土质。

(3) 不论新建或改建工程，都要搜集并弄清楚本地区的天然最大冻深和负气温方面的资料。

所有以上这些资料，都可以与本地区已建工程的成败经验类对照，获得切实可靠的设计参数和确定具体的处治方案。