

# 水泥稳定土 基层和底基层

沙庆林 编著

人民交通出版社

# 水泥稳定土 基层和底基层

沙庆林 编著

人民交通出版社

## 水泥稳定土基层和底基层

沙庆林 编著

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

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$  印张：8 字数：176千

1981年5月第1版

1981年5月第1版第1次印刷

印数：0001—3,100册 定价：1.50元

## 内 容 提 要

本书着重介绍了水泥稳定土基层及底基层的各种施工方法以及现场质量控制。书中还较全面地介绍了水泥稳定土的性质，影响水泥稳定土抗压强度的各种因素，以及国内外具有水泥稳定土基层的柔性路面的使用性能。书后附录中还列有水泥稳定土各种室内外试验方法。

本书可供公路、城市道路、机场工程技术人员，有关院校师生参考。我国援外公路工程技术人员使用本书更为方便。

## 前 言

随着交通量的逐渐增长，道路建设的规模将日益增大。但质量好的可直接用作道路路面（或机场道面）基层的传统材料，一方面在数量上不断减少，另一方面也日益不能满足重交通的需要。例如，级配碎石、级配砾石在中等交通以下的道路上还可以满意地用作路面的基层。但在重交通道路上，特别是今后重型载重汽车将不断增多的情况下，直接用这种材料作为路面基层，就往往容易导致沥青面层过早破坏。因此，如何利用当地的不能直接用作路面基层的各种材料（包括当地的细粒土）来铺筑路面的基层和底基层，就成为越来越迫切需要解决的问题。这个问题的解决，定能降低路面的造价，提高路面的质量，加快建设速度。用水泥来稳定这些土，使其能用于路面和机场道面建筑，是解决这个问题的重要途径之一。近几十年来，用水泥稳定各种土（从粗粒土到细粒土）铺筑路面和机场道面的基层和底基层，在世界各大洲的数十个国家都得到了广泛的应用，而且应用得越来越多。在我国援外的公路工程中以及国内的一些公路上，也早就开始应用水泥稳定土来铺筑路面基层。

适宜用水泥稳定的土的范围相当广泛。含土较多的或塑性指数较大的砂砾土、含土很少没有塑性指数的砂砾（包括硬度不大的软质砂砾）、塑性指数不过大以及有机质含量不多的各种细粒土，都可以成功地用水泥稳定。由于水泥稳定土的强度可以方便地加以控制，从抗压强度只有几公斤/厘米<sup>2</sup>

到上百公斤/厘米<sup>2</sup>，因此它既可以用在一般交通的道路上，又可以成功地用在重交通道路和高速公路上。它既能适应重交通道路上路面基层的要求，又能适应轻交通道路上路面底基层的要求。水泥稳定土不愧是一种优质的路面材料。它在我国公路和机场建设中，必将得到广泛的应用。

根据国内外丰富的试验、调查和研究资料，本书较全面地介绍了水泥稳定土的性质以及一些国家对具有水泥稳定土基层的路面使用性能的调查结果。同时探讨了水泥稳定土的几个强度指标之间的关系，并提出根据试验精度确定试验数量以及确定用作控制的平均强度的方法。在第三章中详细探讨了影响水泥稳定土强度的诸因素。这些因素首先是属于原材料的，如土的化学成分、物理组成以及水泥的剂量。其次是与施工工艺有关的诸因素，如：土的粉碎程度，施工含水量是否合适，土、水泥和水拌和的均匀程度，混合料的压实程度以及养生条件等。当然，从改变土的固有性质，使土具有新的、稳定的质量来讲，施工工艺只起着量变的作用。在第五章中着重介绍了水泥稳定土基层（或底基层）的三种施工方法。由于我国目前主要采用就地拌和法，所以较详细地介绍了这个方法的各个工序及所需的机械。水泥稳定土的施工比其他路面材料的施工要求更为严格。因为它要求在较短的时间内（通常是2~3小时）完成从加水拌和到碾压密实的几个工序。下雨对正在施工中的水泥稳定土的危害作用也较大。因此，应该尽可能采用高效率的拌和机械，并严密组织施工。要使竣工后的水泥稳定土的质量符合设计要求，还必须掌握水泥土混合料的组成设计及工地质量控制这两个环节。为此，本书第五章和附录介绍了室内试验、工地试验和工地质量控制的各项内容及具体的试验方法。

# 目 录

第一章 水泥稳定土的一般知识.....	1
第一节 主要术语的定义.....	1
第二节 水泥在稳定土中的作用.....	4
第三节 用水泥稳定的土的类型.....	7
第四节 水泥稳定土在道路上的应用.....	10
第五节 水泥稳定土的优缺点.....	14
第二章 水泥稳定土的强度指标.....	16
第一节 水泥稳定土的质量指标.....	16
第二节 水泥稳定土的不同强度指标间的关系.....	21
第三节 影响抗压强度试验结果的因素.....	26
第四节 室内强度试验的精度及应做的试验数量 .....	38
第三章 影响水泥稳定土强度的因素.....	43
第一节 土的化学成分的影响.....	44
第二节 土的物理组成的影响.....	49
第三节 水泥的影响.....	51
第四节 混合料的干容重和含水量的影响.....	54
第五节 施工中其它因素的影响.....	62
第六节 添加剂的影响（综合稳定土）.....	71
第七节 室内试验和施工现场的差别.....	74
第四章 水泥稳定土的使用性能.....	77
第一节 水泥稳定土具有较大的刚性.....	77

第二节	水泥稳定土基层上沥青面层的允许弯沉值	79
第三节	美国对一些具有水泥稳定土基层道路的使用情况的调查	82
第四节	英国对部分有水泥结粒料基层道路的使用情况的调查	84
第五节	赞比亚几条有水泥稳定土基层的公路的使用情况调查	85
第六节	苏联对一些具有水泥稳定土基层道路的使用情况调查	88
第七节	非洲一些国家使用水泥稳定土基层的简况	96
第八节	水泥稳定土的裂缝	97
第九节	引起水泥稳定土基层产生破坏性裂缝的因素	103
第十节	减少裂缝的措施	112
第十一节	水泥稳定土基层的反射裂缝	114
第十二节	水泥稳定土基层的其它破坏现象	115
<b>第五章</b>	<b>水泥稳定土的施工</b>	<b>117</b>
第一节	水泥稳定土的技术要求	119
第二节	室内试验	122
第三节	野外(工地)控制试验	129
第四节	就地拌和法	131
第五节	移动式拌和机法	155
第六节	中心站(或集中)拌和法	58
第七节	不同施工方法的比较	161
第八节	工地控制	166
<b>附录一</b>	<b>水泥稳定土材料几种主要技术指标的试验</b>	



<b>方法</b> .....	169
(一) 含水量试验法 (烘干法) .....	169
(二) 含水量辅助试验法 (砂浴法) .....	172
(三) 含水量辅助试验法 (酒精法) .....	175
(四) 水泥稳定土混合料的击实试验法 (重型击实试验法) .....	176
(五) 水泥稳定土的无侧限抗压强度试验法.....	187
(六) 水泥稳定土的间接抗拉强度试验法 (劈裂试验) .....	196
(七) 水泥稳定土的承载比试验法.....	202
(八) 工地容重试验法 (用灌砂法测定细粒土和中粒土的容重) .....	212
(九) 工地容重试验法 (用灌砂法测定粗粒土的容重) .....	218
(十) 水泥稳定土中水泥剂量的测定方法.....	225
(十一) 集料压碎值试验法.....	229
(十二) 能干扰硅酸盐水泥水化的土中有机物的检验法.....	234
<b>附录二 正态分布表 (附表 2)</b> .....	238
<b>参考文献</b> .....	243

# 第一章 水泥稳定土的一般知识

## 第一节 主要术语的定义

1. 土 在工程地质学和土力学中所谓的土，与我们一般生活中俗称的土不同。我们日常生活中所称的土，是一种细颗粒的材料，它可能是砂、粉粒和粘粒三者的混合物，一般不含或很少含有砾石。本书中采用工程地质学和土力学中所称的土，它既可能是细颗粒的材料，也可能是砾石、砂、粉粒和粘粒的混合物，即粗细颗粒的混合物。同时也包括破碎的或未破碎的砂和砾石、碎石以及其他材料，例如级配不好的采石场的废料。

(1) 对于土中的各不同组成部分，采用以下粒径区分：

土的组成部分的名称		颗粒尺寸 <sup>①</sup> ，毫米
圆角的	有棱角的	
粗砾石	粗碎石	20~60 <sup>②</sup>
中砾石	中碎石	5.0~20
细砾石	细碎石	2.0~5.0
砂粒	碎砂	0.05~2.0
粉粒		0.005~0.05
粘粒		小于0.005

① 颗粒尺寸均以方孔筛的筛孔尺寸为准。如采用圆孔筛时，筛孔尺寸可约为所列数值的1.25倍。

② 在现代机械施工的公路路面结构层中，所用材料的最大粒径一般不超过60毫米，而且粒径达60毫米的材料通常只用于底基层。

因此，本书中所称的土是由粒径小于60毫米的材料组成的。

(2)根据土中所含粗细颗粒的不同比例，又将土分成下列三种：

细粒土 土中小于2毫米的颗粒含量不少于90%；

中粒土 土中小于20毫米的颗粒含量不少于85%；

粗粒土 土中小于40毫米的颗粒含量不少于85%。

(3)细土。指土中粒径小于0.5毫米的那部分土。

(4)砂砾。指粒径大于或小于2毫米的颗粒含量超过25%，小于0.005毫米的粘粒含量0~5%，塑性指数小于1的土。也就是颗粒的主要部分是砂和砾石的混合料。如混合料中以砂粒为主，则称砾质砂。如混合料中以砾石为主，则称砂质砾石。

(5)砂砾土。指粒径大于或小于2毫米的颗粒含量超过25%，小于0.005毫米的粘粒含量大于5%，塑性指数大于1的土。如其中的土属于粉土，则称粉土质砂砾。如其中的土属于粘性土，则称粉土质砂砾。如其中的土属于粘性土，则称粘土质砂砾。角砾土（包括俗称的天然碎石土和坡积碎石土）也属于此类。

(6)粘性土。指有粘土成分、粗细颗粒可以粘结在一起的土。

(7)非粘性土。指不能粘结在一起的粒料土。

2.水泥处治土 它是粉碎的土、水泥和水的混合料的通称。它不包括任何质量要求，只是说明在土中加了水泥和水。

3.水泥稳定土 它也是粉碎的土、水泥和水的混合物，但是经过拌和、机械压实及养生后变成一种耐久性和强度都大大提高的结硬的新材料。换句话说，有足够的水泥加入土中使其结硬，混合料的含水量能满足压实和水泥水化的需

要。常用的结硬指标是耐久性或抗压强度。水泥土混合物应满足这两种指标之一的特殊规定。

在我国公路工程实践中，又往往将水泥稳定细粒土称做水泥稳定土或水泥土，将水泥稳定中粒土或粗粒土称做水泥稳定砂砾（当原材料是天然的砂砾或砂砾土时）或水泥稳定碎石土（当原材料是人工轧制的碎石和土时）。

4. 水泥改善土 这是粉碎的土、水泥和水的混合物，但它是不结硬的或半结硬的材料。水泥改善土通常只是改善土的物理性质，如降低土的塑性指数或改善土的承载能力。因此，水泥改善土所用的水泥剂量通常小于水泥稳定土所用的水泥剂量。

5. 塑性水泥土 它是粉碎的土、水泥和足够多的水形成的一种混合物，其稠度较水泥稳定土低，经过养生，变成结硬的材料。它与水泥稳定土一样能符合规定的耐久性和稳定性指标。

6. 耐久性 在此指水泥稳定土经过干湿循环试验或冻融循环试验后的重量损失的程度。

7. 抗压强度 水泥稳定土试件在无侧限的情况下进行压缩试验所得到的破坏强度（参看附录）。

8. 承载比 将直径5厘米的压头以每分钟1~1.25毫米的速度压入某材料中2.5毫米时，所用的单位压力与标准单位压力（70公斤/厘米<sup>2</sup>）的比值，即为该材料的承载比<sup>①</sup>（参看附录）。

9. 重型击实试验法 这是一种确定土、级配材料、水泥稳定土、石灰稳定土等的干容重-含水量关系曲线的试验

---

<sup>①</sup> 这个指标和试验方法来源于美国加利福尼亚州，故在一些技术书籍中常用缩写CBR表示。

方法。用这种方法确定它们的最佳含水量和最大干容重。它是相对于我国至今所采用的老的击实试验法而讲的。因现行试验法的击实功能小，而书中所建议的试验法的击实功能约是它的4倍左右，达27.4公斤·厘米/厘米<sup>3</sup>，故称重型击实试验法（参看附录）。

## 第二节 水泥在稳定土中的作用

将水加入水泥中后，主要的水化产物是碱性的硅酸钙、铝酸钙和消石灰。前两种产物是主要的胶结成分，而石灰则沉淀成为分离的透明的固体。

将水泥加在粒料土中时，胶结很象混凝土中的现象，只是水泥并没有填满土颗粒间的孔隙。换句话说，胶结作用主要靠硅酸钙和铝酸钙与矿质颗粒表面的结合。

当水泥稳定细粒土时，胶结作用包括机械结合和化学结合两部分。化学结合包括水泥和土颗粒表面的相互作用。土中的粉粒和粘粒含量增加时，颗粒的表面积也大大增加，水化水泥和颗粒表面间的化学作用的机会也大大增加。水化过程中产生的石灰在此化学作用过程中起着明显的作用。首先，它与颗粒表面附着的离子有交换作用。其次，石灰与硅土（和铝土）作用，在硅土颗粒表面形成辅助的含水硅酸钙（和铝酸钙）。这种离子交换作用使土的塑性减小，并使土对水分变化的敏感性变小。辅助的含水硅酸钙是胶结物，它进一步使颗粒相互结合。土中细料含量愈多，粘粒愈多，这种辅助作用愈重要。

土中的水泥增加时，自由的粉粒和粘粒的数量明显减少，得到一种持水能力低、体积稳定性增加、承载能力增加的粗颗粒。这是水泥改善土。水泥继续增加时，粗颗粒的数

量也增加，直到全部土颗粒都保持在一个固体内，像是一种结构。这是水泥稳定土。

用水泥稳定粘性土时，粘性土中的单个土颗粒较水泥颗粒小得多。因此，水泥不可能包覆土颗粒。实际上，粘性土被粉碎后成为一个一个小土块。小土块被水泥浆包覆，然后在压实作用下被压缩成一整体，如图1〔1〕。图中线条代表包覆粘性土土块的水泥。在水泥水化作用之前，整个土体的强度与粘土的粘结强度相同。但在水化作用后，土体的强度将与互相连接的包覆水泥所形成的骨架结构的强度有关。在这种情况下，可以看到整个稳定土体的强度随土块尺

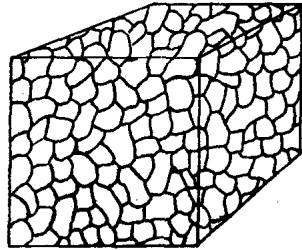


图1 水泥粘土混合料的图示模型

寸的减小而增加〔参看第四章第二节〕。

用水泥稳定非粘性土时，由于非粘性土的单个土颗粒的尺寸大于水泥颗粒，水泥有可能全部地或部分地包覆单个土颗粒。如单个土颗粒被水泥包覆，并通过压实使颗粒紧密接触，当水泥硬化时，它们将胶结在一起。胶结使非粘性土具有明显的粘性，并使它能够抵抗交通荷载或温度应力所引起的形变。混合料中胶结面积增加，能够改善材料的强度。增加水泥剂量，选择接触点最多的级配材料以及压实都能使接触面积增加。

许多天然土是粘土、粉土、砂（有时可能还有砾石）的混合料。在砾石颗粒较少的情况下，砾石如“填料”一样悬浮在细的稳定土中。包含少量粉土和粘土的砂砾和砂比“清洁”的材料更容易稳定，因为它的整个级配好。

缺乏细料的粗颗粒材料，可能需要过量的水泥，以保证

形成一个满意的水泥稳定层。  
 对这种材料，实际上应该添加砂及其他较细材料改善其级配组成。级配好的材料经压实后，本身就有较高的强度和稳定性，添加若干水泥更能增加其强度和稳定性。

归结起来，水泥在稳定土中的作用，从工程观点看主要有以下两条：

1. 改变土的塑性 水泥加入塑性土中能大大降低土的塑性。图2所示，为在一种塑性砂砾土中加入水泥后，土的塑性的变化情况。这种砂砾土的颗粒组成如下：

筛孔尺寸，毫米： 4.76 0.25 0.05 0.005

通过百分率，%： 85 42 34 18

加水泥后的塑性含水量是水泥水化两天后测定的。

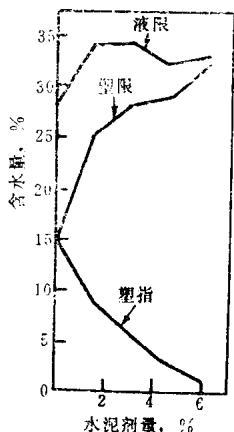


图2 水泥对砂砾土的塑性的影响  
 注：图上水泥剂量是以干土重的百分率表示的。例如，用5克水泥稳定100克干土时，水泥的剂量为5%。在美国的一些州以及另一些地方，用体积百分率表示。本书中，除特殊说明者外，均以干土重的百分率表示水泥剂量。

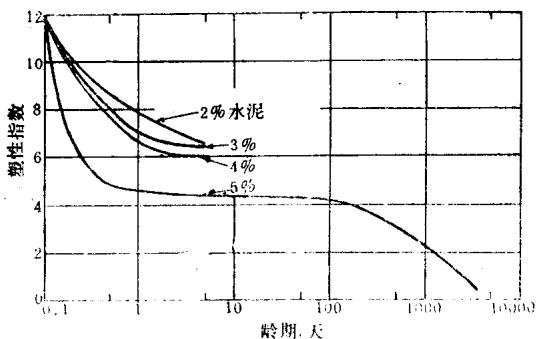


图3 水泥剂量及龄期对水泥处治土的塑性指数的影响

图3所示的曲线表明，土的塑性指数的降低程度既随水泥剂量而增加，又随时间而变。水泥稳定土的龄期愈长，其塑性指数愈小〔2〕。

2. 增加土的强度和稳定性  
水泥加入土中后，将大大增加土的强度和稳定性，而且水泥剂量愈大，稳定土的强度愈高、稳定性愈好。用不同剂量的水泥稳定几种不同土后，稳定土抗压强度的增加情况列在图4上〔3〕。

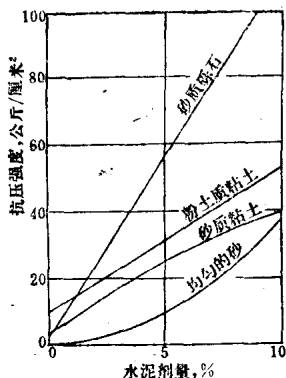


图4 水泥剂量对水泥稳定土抗压强度的影响（试件在25°C温度下及含水量不变的情况下养生7天）

### 第三节 用水泥稳定的土的类型

除有机质含量大及硫酸盐含量大的土外，只要土中的最大颗粒的粒径不超过规定的路面基层材料的最大粒径（例如50毫米<sup>①</sup>），或不超过规定的底基层材料的最大粒径（例如60毫米），几乎各种类型的土都可以用水泥稳定。当然这并不是说，用水泥稳定各种类型的土经常都是经济合理的。除天然的土外，风化的岩石、浮石、珊瑚、工业废渣等都可以成功地用水泥稳定。

虽然，各种类型的土都可以用水泥稳定，但是，考虑到经济性和施工的可能性，实际上各国对适宜于用水泥稳定的土的颗粒组成范围都有一定的限制。例如，美国的经验表

<sup>①</sup> 美国加利福尼亚州对水泥稳定基层的平整度要求很高，根据这种基层的整平工作的实践，规定用水泥稳定的土的最大粒径为19毫米〔4〕。



明，含有10~35%粉粒和粘粒的砂土和砂砾土，用水泥稳定最好。在英国认为，液限大于45%、塑性指数大于20%的土，用水泥稳定是不经济的。英国规定的适宜于用水泥稳定的土的颗粒组成范围如图5所示。除图上所规定的颗粒组成范围外，并要求土的均匀系数 $D_{60} : D_{10}$  ( $D_{60}$ ——指某一筛孔尺寸，土中小于此尺寸的颗粒占60%， $D_{10}$ ——指某一筛孔尺寸，土中小于此尺寸的颗粒占10%) 不小于5，最好是10 [1]。

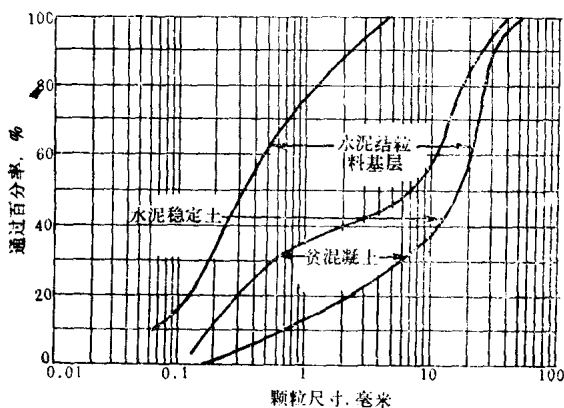


图5 几种不同类型水泥处治土①的颗粒组成范围(英国)

英国的经验证明，较图5中所列颗粒组成范围更粗的材料，用水泥稳定是不合适的。因为过大或过粗的材料在拌和过程中可能损坏机械，在施工过程中容易发生材料离析(包括集中拌和后混合料在运输过程中的离析及现场摊铺过程中的离析)，而且整平比较困难。

① 在英国将水泥处治的基层和底基层材料分成三等，即贫混凝土、水泥结粒料基层和水泥稳定土。水泥稳定土的颗粒组成范围包括水泥结粒料基层和贫混凝土的颗粒组成在内。但是，水泥结粒料基层和贫混凝土都必须在中心站的拌和机内拌和。虽然材料的颗粒组成符合水泥结粒料基层的级配要求，如果它是就地拌和的，则仍然属于水泥稳定土。