

用少量波特兰水泥 稳定的礫石基层

B.A.施立尼科夫 M.B.庫勃拉諾娃 著

楊家琪 譯

人民交通出版社

內 容 提 要

本書敘述了苏联用少量水泥穩定路面基層的經驗。如用水泥可以消滅土壤的有害影响等，并在書中舉出实例，介紹施工程序，施工方法，及施工时有关的技术監理。

本書可供从事路面工程施工技術人員参考。

用少量波特兰水泥穩定的礫石基層

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СООБЩЕНИЯ

В. А. ШИЛЬНИКОВ, М. Б. КУБЛАНОВА

ОСНОВАНИЯ
ИЗ ГРАВИЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ,
УКРЕПЛЕННЫХ МАЛЫМИ ДОЗАМИ
ПОРТЛАНД-ЦЕМЕНТА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
АВТОТРАНСПОРТНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1966

本書根据苏联汽車運輸与公路部出版社1958年莫斯科俄文版本譯出

楊家琪 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

人民交通出版社印刷厂印刷

1959年12月北京第一版 1959年12月北京第一次印刷

开本：787×1092毫米 印張： 壹 張

全書：14,000字 印數：1—1,500册

統一書号：15044·1379

定价(10)：0.11元

目 录

序言	2
緒論	3
波特兰水泥稳定砾石和砾石沙的研究	6
原材料的鑑定	6
在實驗室和野外条件下用波特兰水泥稳定砾石材料和砾石沙的性質	8
試驗路段的基层施工	13
莫斯科—列宁格勒路上的試驗路段	13
金吉謝尔—斯兰崔路上的試驗路段	15
試驗路段施工的技术监理	16
結論和建議	18

序 言

为了广泛和合理地利用含有灰尘和粘土颗粒的砾石和砾石沙来修建瀝青混凝土路面的基层，苏联公路科学研究院列宁格勒分院曾进行了用波特兰水泥来稳定上述材料的实验室工作和野外工作。

根据試驗路段的科学研究和施工証明：用少量波特兰水泥（4—6%）稳定的砾石和砾石沙有耐水性，耐冻性和高的承载能力。

目前，在第二气候区中，这种稳定的材料可以很成功地采用作为瀝青混凝土路面的基层，当然，也还要有足够的技术经济根据。

在本情报信内简单地叙述在实验室和野外条件中进行研究的结果。

这工作是在一级科学研究员科学技术副博士B.A. 施立尼科夫的领导下，在科学研究员M.B. 庫勃拉諾娃，工程师A.П. 庫茲涅措娃，列宁格勒工程建筑学院应届毕业生A.C. 薩赫諾夫斯基和苏联公路总局第十七工程局的工作人员参加下完成的。

对本情报信的意见和建议請寄苏联公路科学研究院，地址：莫斯科 МОСКВА, В-35 СОФИЙСКАЯ НА6.34.

苏联公路科学研究院院长科学技术副博士

Н.Ф. 哈罗希洛夫

緒 論

砾石和砾石沙很广泛地分布在苏联欧州部份的西北部。然而用这种天然材料来修建瀝青混凝土路面的基层常常是不合适的。因为在这种天然材料中含有大量的小于2毫米的顆粒(特别是小于0.074毫米的顆粒)。这种材料做成的基层,在夏季和秋季充飽了水,并在汽車的作用下变成很不稳定的基层,且由于冰冻又会翻漿。使用瀝青混凝土作面层的路面工作經驗表明,鋪設在含有大量小于2毫米顆粒的砾石基层上的路面,在不利的土壤水文条件下,使用1—2年后大部份都发现有大量的形变和破坏。

如能提高这些材料的稳定性来反对变化无常的溫度和湿度的作用,并消除材料中所含細小顆粒对他们承载能力的坏影响时,則利用这些不标准的砾石和砾石沙来修筑路面基层是可以得到应有的效果的。

最近几年来苏联和其他国家对这問題进行了很多次的研究。他們进行多次实验室的和生产上的試驗,采用各种物質来消灭土壤建筑方面的有害性質如:浸透、流动性和膨胀。曾經研究过一些不同的物質:波特兰水泥、石灰、粉末状爐渣、瀝青、柏油質等对黏性和非粘性土壤作用的效果。

根据試驗結果大部份研究者一致認為在目前在技术經濟方面波特兰水泥是最现实的和最合算的稳定材料。但試驗室試驗和在建筑上大部份用波特兰水泥来稳定粘性土壤,而很少注意稳定砾石和砾石沙,所以在参考文献上对这問題談得也比较少。

如在路綫附近有砾石产区，則用波特兰水泥来稳定砾石材料比用波特兰水泥来稳定粘性土壤有很多的优点，这些优点要根据这些材料的物理化学和力学的性質特点来决定。

土壤是一种复杂的极度分散的組織，正如理論和实践的研究表明，重1克的土壤最小顆粒的(粘土的和胶質的)比面积要大几十甚至几千平方米^①。所以稳定土壤需要用大量的波特兰水泥。砾石中相当于粘土大小的顆粒仅占整个材料的很小一部份。因此，砾石的比面积比土壤要小很多，因为大于5毫米的砾石顆粒已算作是石料。因为砾石的比面积比較小，所以稳定时波特兰水泥的用量将只为稳定土壤用量的几分之一。根据B.M.別茲露克材料，在稳定土壤时波特兰水泥的用量(占混合料重量的百分比)如下：

沙土和砾石土	5—8
杂沙土	8—10
灰尘土和杂粘土	10—12
粘土、粘黑土、含盐土	12—15

在伊斯坦布尔(土耳其)举行的第十届国际道路會議上，在德国、意大利、法国、日本和美国的专家們所作的报告中得到类似的用量，也是依土壤質量来决定波特兰水泥的用量。在很多参考文献中也指出，当用10—15%波特兰水泥时就会得到整体的水泥土基层：这种基层7天后的抗压强度等于15—20公斤/平方厘米，28天后达100公斤/平方厘米以上。

但在稳定砾石时，没有必要要得到整体的道路基层，而只是要消灭砾石中細顆粒有害的影响，从而提高这些材料的承载

① B.M.別茲露克，“水泥稳定土壤的理論基础”汽車運輸与公路部出版社，

1956年出版。

能力就行了。这样，波特兰水泥的用量就可以少到最小。加利福尼亚的（美国）设计准则编制时会考虑到这一点。根据准则将水泥胶结化分为三级：A、B和C；A级水泥用量最大，C级则最小。

按照C级稳定砾石时只加入少量的波特兰水泥—1—2.5%。这样的定量是为稳定那些对道路结构没有足够承载能力的材料。但在用这样少量的波特兰水泥时必须注意仔细拌合。

在伊斯坦布尔第十届国际道路会议上，法国代表勒·貝立切也在自己的报告中指出用少量波特兰水泥稳定砾石的合理性。他认为用少量（2—4%）波特兰水泥对砾石进行加工，是改善含有大量细小颗粒砾石的质量的最好和最便宜的方法。用这种波特兰水泥时，要把水泥合成乳状而后再加到材料中。按照勒·貝立切也的意见，这样加工的砾石其成本相当于制备非常便宜的波特兰水泥含量40—80公厘/立方米贫水泥混凝土的成本。

波特兰水泥稳定砾石和砾石沙的研究

苏联公路科学研究院列宁格勒分院在实验室和生产条件下用少量波特兰水泥—3—6%稳定砾石和砾石沙。稳定的主要目的是为了用水泥使材料中小于2毫米（特别是小于0.074毫米）的颗粒連結成比较大的集合体，以便减小他们在饱水状态下的流动性，降低材料的含水量和减少在变化无常温度的影响下，材料中颗粒的聚集。

用少量波特兰水泥来稳定砾石基层得到了良好的结果。试验指出，为了得到稳定的有规定强度的砾石或沙基层，就像使用土壤一样，没有必要将他们作成整体。

原材料的鉴定

为了试验使用了阿波拉克兴—波勒出产的砾石和契尔诺夫斯基采石场的砾石沙。

在莫斯科—列宁格勒的路线上，在铁路车站乌沙基，柴漏和留彭区中曾利用砾石修建沥青混凝土路面的基层。材料是圆滑的颗粒，多半是石灰石岩石（表1），级配特点是含有大量小于2毫米的颗粒。根据杰瓦里氏圆筒中得到的磨损指数来看这种材料相当于3—4级。

研究表明，用阿波拉克兴—波勒出产的且未经波特兰水泥稳定的砾石做成的基层强度很小。从这种砾石基层中取得的试件的变形模量等于100—200公斤/平方厘米。

在金吉谢普—斯兰崔的道路上是用砾石沙修建沥青混凝土

路面的基层的（因为该区缺乏石料），这种砾石沙的级配见表3。为了使基层坚固，采用400号波特兰水泥对他进行稳定。

表 1

砾石岩类学的组成%				颗粒的主要形式
火山岩	石灰石岩	砂岩	砂化岩	
25	67	5	3	圆滑的

表 2

颗粒的尺寸(毫米)	数量%(27次分析的平均数)	颗粒的尺寸(毫米)	数量%(27次分析的平均数)
>50	2.8	1—0.5	5.0
50—25	13.1	0.5—0.25	4.5
25—15	14.3	0.25—0.15	8.3
15—5	17.7	0.15—0.074	1.7
5—2	12.0	<0.074	13.1
2—1	7.5		

表 3

颗粒的尺寸 (毫米)	数量%		颗粒的尺寸 (毫米)	数量%	
	试件1号	试件2号		试件1号	试件2号
>5	7.8	4.0	0.5—0.25	32.0	57.8
5—2	19.8	16.2	0.25—0.15	11.0	11.7
2—1	13.0	12.8	0.15—0.074	7.6	7.4
1—0.5	6.0	7.5	<0.074	2.8	2.6

注：沙中多数是不很圆滑的中等石英颗粒，颗粒大小相似，表面粗糙；下余的是各种水成岩、部分沙中有有机污物。

在實驗室和野外条件下用波特兰水泥

稳定时砾石材料和砾石沙的性質

用波特兰水泥稳定砾石和砾石沙时曾研究了下列性質：小于2毫米顆粒的流动性，小于2毫米顆粒的級配变化，水中的膨胀性，毛細管吸入量和耐冻性，形变模量和抗压极限强度。大部份性質是用阿波拉克兴一波勒出产的砾石进行研究的。

小于2毫米顆粒的流动性。大家都知道当汽車行驶时，道路基层受振动和撞击的作用。在这些作用影响下砾石混合物中小于2毫米的顆粒（其中还有小于0.074毫米的顆粒）在受湿时开始变成流动状态一流散。这时顆粒間的胶結力减小，砾石的承載能力降低。

为了弄清波特兰水泥对小于2毫米顆粒波动性的影响，采用苏联公路科学研究院列宁格勒分院制定的方法，以确定这种顆粒在饱水状态下的流动性。試驗用混合物是按照选择密实混合料的曲綫选择的，在最佳含水量下的波出系数为0.9和0.7，顆粒小于2毫米。为了确定混合物稳定时他的最佳含水量，开始先要求出沒用波特兰水泥时的最佳含水量。为此，取混合物試件，加水使其湿润，从6%加起（材料重的%）直至得到最佳含水量为止，这时这种混合物有最大的单位容重。混合料的单位容重用鋼截錐体模型（图1）中做成的試件来确定。模型中的材料用标准夯棒夯打五次。

确定未用波特兰水泥的混合物的最佳含水量后，再計算有波特兰水泥的同样混合物的最佳含水量。为此，要对未用波特兰水泥稳定的，已求出最佳含水量的，且含有小于2毫米顆粒的混合物加水，加水量等于水泥浆标准浓度的指标乘上該混合

料中波特兰水泥的百分比含量，再除上100。

为了明确用多少波特兰水泥稳定才有效，在圆锥形模型中用不同波特兰水泥用量的混合料制成试件，这些试件，在潮湿的环境中经过7和28天的凝固，然后浸在水中，以后放在标准小桌上进行振动。

小于2毫米颗粒的流动性以标准小桌上50和200次振动时试件坍落的程度来表示。

进行研究的結果(表4)表明，甚至用最少量的波特兰水泥(1%~2.5%)来稳定，小于2毫米的颗粒也会失去流动性而变成不膨胀性的。用同样颗粒、但未用水泥稳定的试件，则有很大的坍落度或坍落成餅状，且易在水中浸透。

用已研究过的试件磨碎再制成试件，这种试件仍能看到丧失流动性和不浸透性。

小于2毫米颗粒级配的变化、用波特兰水泥稳定砾石时，由于把这些小颗粒联成一个较大的集合体，因而细小颗粒的数量变少了。用阿泼拉克兴—波勒产地材料施工时，在拌合机中用7—8%波特兰水泥来稳定，把这些材料存放在潮湿的环境中，28天就能看到这种现象。

毛细管吸入量和耐冻性。用阿泼拉克兴—波勒出产的砾石

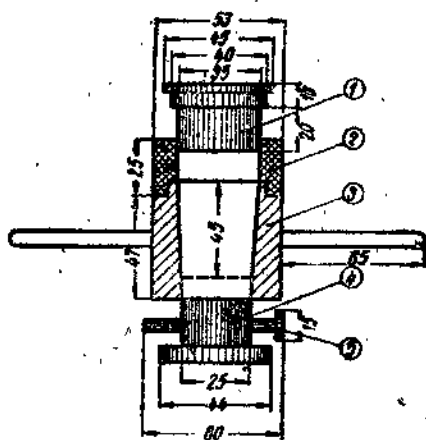


图1 制备有小于2毫米颗粒的混合料的试件用的模型

1-上柱塞；2-接合物（可折下的圆环）；3-模型；4-下柱塞；5-限制器。

表 4

流出系数	水泥用量, (重量百分比)	最佳含水量 (%)	单位容重(克/ 立方厘米)	吸水率 (%)	在50/200次振动时 圆锥体的坍落度 (毫米)
0.7	0	9.0	1.81	14.1	28次坍成饼状
0.7	1	9.3	1.90	1.5	
0.7	2.5	9.7	2.09	小于1	
0.7	5	10.4	2.00		
0.7	10	12.8	2.08		
0.9	0	10.0	1.75	17.3	24/38
0.9	1	10.3	1.80	小于1	
0.9	2.5	10.7	1.92		
0.9	5	11.4	1.92		无坍落
0.9	10	12.8	1.92		

和不同数量波特兰水泥料制成的立方体 (20×20×20厘米) 試件来研究毛细管的吸水量。在同一条件下对两个試件进行抗压試驗, 其研究結果見表 6。

表 5

取試件地点和 材料的状态	試件 編号	顆 粒 大 小 (毫米)					
		2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.15	0.15-0.074	<0.074
		数 量 (%)					
从运沙带上	1	8.24	9.12	45.00	9.12	8.58	21.33
用水泥穩定前	2	12.09	10.67	37.72	7.68	8.23	23.61
从Г-1拌合机中	3	27.90	27.80	40.34	1.02	0.61	2.24
砾石用水泥拌 合后	4	33.20	17.06	32.10	7.10	1.13	3.41

注: < 2 毫米顆粒的級配用篩上水冲洗方法决定。

表 6

水泥量: 占砾石 料重的%	试件的抗压强度极限(公斤/平方厘米)		28天龄期试件, 在10 天过程中的毛细管吸 入量占材料重的%
	在28天龄期后	在90天龄期后	
0	—	—	10
4	39	—	5
6	43	58	4
8	68	83	2
10	123	130	2

从表 6 可以看出, 随波特兰水泥用量的增大, 抗压强度的极限增大, 而毛细管吸入量减小。甚至使用少量水泥(4%), 吸入量也要比不用稳定砾石制成的试件小 $\frac{1}{2}$ 。

用稳定的砾石作成的试件和28天龄期在饱水状态中小于2毫米颗粒的试件(用塑料板包装), 试验时经受25次冻融(冻 -20° , 融 $+18^{\circ}$)几乎没破坏。从基层底层取的试件(水泥用量小于4%)经50次冻融试验后其抗压强度小50%。

形变模量和抗压强度极限。用水泥稳定的砾石对形变模量有特别明显的良好影响(按我们制订的方法在实验室确定的)。形变模量是道路基层中砾石和沙强度的主要指标。

请看下列各表: 28天龄期的已稳定砾石试件(表7)、用已

表 7

水泥量占 砾石料重 量的%	制试件时湿 合料的含水 量(%)	形变模量(公 斤/平方厘米)	水泥量占砾 石料重量的%	制试件时湿 合料的含水 量(%)	形变模量(公 斤/平方厘米)
0	6.7	125	1	5.2	950米
0	4.5	300	2	5.2	1950—1450
1	5	750—950	2	5.2	1600—1200

* 试验前试品处于饱水状态。

注: 试件放在潮湿的环境中, 所以在试验时其含水量几与在稳定时含水量同, 预先饱水试件的含水量在确定形变模量时要比在稳定时的大2—3%。

穩定并选择过的密实砾石混合物作的試件（表8），莫斯科—列宁格勒道路上砾石基层的試件（表9），金吉謝普—斯兰崔道路上的砾石沙基层的試件（表10）

表 8

流出系数	水泥量占砾石料重的%	制試件时混合料的含水量(%)	形变模量(公斤/平方厘米)
0.7	3	5	2500—3000
0.9	3	6	1500—1800

表 9

取基層試件地点	砾石沙穩定时的含水量(按重量%)	水泥量占沙重%	抗压强度極限(公斤/平方厘米)	形变模量(公斤/平方厘米)
下層	8.35—8.40	4	—	1530—2060
上層	8.70—8.80	6—7	22—35*	3800—5300

* 試件单位容重—2.05—2.10

表10

路段	基 層	水泥量占砾石料重的%	穩定时的含水量(%)	压实基層中取得的穩定砾石的单位容重(公斤/平方米)	抗压强度極限(公斤/平方厘米)	形变模量(公斤/平方厘米)
A	下層	3	5.3	2	10	2000
	上層	5	3.8—4.8	2	16—30	3000
B	下層	3—4	6—8.5	2.1—2.3	18—26	—
	上層	6—8	5—7	2.1—2.2	25—27	—
B	單層基層(用拌合机拌合)	7—8	6—7.5	2.1—2.2	36	3000* 3000

* 試件在飽水状态下試驗。

从表7、8、9和10所列材料看到，用波特兰水泥穩定砾石和砾石沙会使他們的形变模量大大提高。

試驗路段的基層施工

上面已經說過，1955年—1957年間曾在莫斯科—列寧格勒和金吉謝普—斯蘭崔路上修了不同結構的試驗路段。在這些路段上打算弄清穩定的效果和確定各種不同構造基層的施工工藝程序。試驗路段系根據早已制好的施工工藝計劃來施工。此計劃系根據道路現有機器和筑路機械情況編制的。

莫斯科—列寧格勒路上的試驗路段

這路段上瀝青混凝土路面的基層是用阿波拉克興—波勒出產的（見表1和2）、用波特蘭水泥穩定過的礫石修建的。在這條路上曾修建9個不同結構的基層（表11）

表11

段 別	里 程	段 長 (米)	基 層 的 下 層		基 層 的 上 層	
			厚度 (厘米)	水泥用量占礫 石料重的%	厚度 (厘米)	水泥用量占礫 石料重的%
1*	668—672	400	—	—	10	3.5
2*	672—675	300	—	—	—	—
3	682—683+60	160	—	—	12	6
4*	684+15—686	185	—	—	12	6
5	717—725	800	14	3	8	7
6	736—743	700	14	3	8	7
7	847—860	1300	14	4	8	8
8	843+50—847	250	12	4	8	9
9	840—843+50	350	—	—	12	7—8

* 在雙層瀝青混凝土路面和穩定的礫石基層間修了黑色礫石層厚度6厘米。

注：1. 1、3和4段的基層修重厚30—35厘米的墊層上。

2. 2段的基層是用未經穩定的礫石修建的，厚度60厘米。

3. 5、6、7和9段的基層修在被翻漿破壞的原有瀝青混凝土路面上。

4. 8段的基層修在沙層（厚30厘米）和未經穩定的礫石層（厚6厘米）上。

5. 在第9段上修建的基層系用Г-1拌和機拌合的水泥和礫石鋪成的。

砾石稳定的施工工艺过程是按两个计划来进行的。

第一计划（道路上拌合）。波特兰水泥和砾石在2/3行车道宽度上用犁状拌合机（爱沙尼亚的）和平路机拌合。

在砾石稳定过程中完成下列工序：

1. 砾石沿路肩堆成菱形。
2. 用平地机将这些材料从菱形中分散到行车道的2/3宽度上，其他1/3留下作行驶汽车之用。
3. 用平地机耙平砾石，并用轻压路机压实。
4. 沿耙平的砾石的中线上放波特兰水泥袋，用人工把水泥撒散或从自动倾卸卡车下下来后立即撒散。
5. 用灰耙把水泥铺开。
6. 用犁状拌和机（爱沙尼亚的）和平地机拌合砾石和波特兰水泥，同样在开始时是在道路行车道的2/3宽度上进行拌合。

7. 在拌合过程中用喷水车将砾石材料润湿到要求的最佳含水量；以后再用平地机拌合。

8. 已拌合的材料用平地机耙平在道路的全宽上。

9. 用平地机把耙平的材料作成规定的断面。

10. 用10吨压路机对已作好横断面的基层进行压实。

11. 在已修好的基层上铺基层的第二层或铺沥青混凝土路面。

第二计划（在拌合机中拌合）。按这一计划材料是在拌和机Г-1中进行拌合的。拌好的混合料用自动倾卸卡车运送到铺筑地点，再用铺筑机П-15%铺在道路基层上，然后用压路机进行压实。

施工工艺过程如下：

1. 把砾石材料和波特兰水泥送入拌和机的料斗内，水泥按

照配方配置。

2. 在拌和机中拌合砾石和波特兰水泥，并加水 7%—8%。

3. 混合料卸在自动倾卸卡车中。

4. 把混合料运到铺筑地点装入瀝青混凝土铺筑机的料斗内。

5. 用瀝青混凝土铺筑机把混合料铺在道路基层中。

6. 用压路机压实道路基层。

7. 修筑瀝青混凝土路面。

按照第一和第二计划工作时，为了保证强度的正常增长，已稳定的基层每天要喷水（用喷水汽车），直到铺筑路面的另一层为止。

在试验路段施工时路上并未断绝交通。

定额资料。用稳定砾石材料修筑单层基层的过程中，在试验路段一个长400米的路段上得到下列定额资料。

在2/3行车道宽度上耙平砾石时平地机通过

次数..... 5

7个工人用手撒散水泥时所用时间..... 1小时15分

耙状拌和机拌合时通过次数..... 12

平地机拌合时通过次数..... 14

作基层成为规定横断面时平地机通过次数..... 8

金吉谢尔—斯兰崔路上的试验路段

金吉谢尔—斯兰崔路上试验路段的道路基层是用契尔诺夫斯基采石场的（见表3）（用400号波特兰水泥稳定）当地砾石沙修建的。在试验路段每段的工作过程中不允许汽车通行。