

文章编号: 0451-0712(2006)01-0062-05

中图分类号: U416.216

文献标识码: B

多孔贫混凝土基层施工技术研究

谭 华¹, 邓家喜¹, 孟连生², 田 波³

(1. 广西交通科学研究所 南宁市 530001; 2. 广西八桂工程监理公司 南宁市 530000;

3. 交通部公路科学研究所 北京市 100088)

摘 要: 在室内试验和现场检验的基础上, 对多孔贫混凝土透水基层的施工工艺, 包括拌和工艺、成型工艺和养生工艺等 3 个方面进行研究, 最终推荐采用摊铺机或平地机进行摊铺, 按静碾和振动碾压组合的方式进行压实。

关键词: 多孔贫混凝土; 路面; 基层; 施工

多孔贫混凝土透水基层的施工工艺包括拌和工艺、成型工艺和养生工艺 3 个方面。对于多孔贫混凝土基层的施工技术, 美国联邦公路局建议: 根据施工荷载和底基层的条件确定水泥用量; 调节材料的含水量来控制材料离析; 改造施工机械, 防止摊铺时材料离析; 若没有性能损失, 可考虑取消潮湿养生。施工中还应考虑的一些因素: 避免过度压实造成骨料被过度压碎, 影响级配和渗透性; 尽量减少施工交通量, 缩短运输距离; 保证路面横坡; 保护好底基层, 防

止施工中底基层损坏; 防止污染, 以免污染后无法处理。

国内对多孔贫混凝土基层施工工艺多采用静碾法, 并禁止使用振动压路机。若采用不压密方法施工, 由于摊铺高度就是基层厚度, 所以摊铺的标高比较好控制, 但会影响到基层强度和耐久性。若采用压密方法施工, 不适当的压实会带来集料压碎问题, 影响基层强度、排水性和表面均匀性。同时多孔贫混凝土具有开放式孔隙, 路面基层施工摊铺面积较大, 水

收稿日期: 2005-07-13

[10] 朱百里, 沈珠江. 计算土力学[M]. 上海: 上海科学技术出版社.

[11] JTG D60-2004, 公路桥涵设计通用规范[S].

[12] 广东交通集团检测中心, 武汉大学. 深汕高速公路海丽高尔夫球场段路基稳定性研究报告[R]. 2003.

Finite Element Analysis of Wetting Deformation for Sandy Roadbed

WANG Qiang^{1,2}, FU Xu-dong³, LUO Yun-hua³

(1. Civil Engineering Department, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China; 2. Testing Center of Guangdong Provincial Communication Group, Guangzhou 510800, China; 3. Civil Engineering Department, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Since there are some shortages in calculating the wetting deformation of sand with the Nobari method and the Single-Line method, the initial stress increment FEM is put forward in this paper and the corresponding program is developed. With the parameters of Duncan-Chang model samples obtained from the triaxial test of sand of an expressway, analyses are executed. The results show that if the sandy roadbed is saturated for long and has vehicles on it, it will evolve some additional wetting settlement. Although the settlement is not enormous and will not destroy the roadbed and the flexibility pavement, it is also a key factor for highway maintenance.

Key words: sandy roadbed; wetting deformation; initial stress increment FEM

分蒸发快,无法保证成型后的强度及孔隙率。成型后的养生也是重要问题,因养生不好,或施工中交通车辆运行的需要,往往导致基层表面松散。为此本文对以上问题展开研究。

1 拌和工艺的研究

1.1 投料搅拌工艺对强度的影响

拌和工艺分裹浆法搅拌与普通搅拌 2 种工艺。裹浆法又称造壳法,是用水泥浆将砂、石表面包裹起来的造壳搅拌方法。表 1 为不同拌和工艺的试验结果。

表 1 多孔贫混凝土不同拌和工艺的试验结果

搅拌工艺	搅拌方法	孔隙率 %	抗压强度/MPa	
			7 d	28 d
常规搅拌	加水拌和 1 min 后再加入三乙醇胺,共搅拌 3 min。	26.7	4.5	6.6
裹浆法搅拌	第一次投料为:石+70%的水,搅拌 1 min;然后第二次投料(胶结料+30%的水+外加剂),搅拌 2 min,后出料。	25.4	4.0	5.4

注:集料为 2.36~26.5 mm 配制级配碎石,强度为 3 次试验的平均值。

从试验结果可知,在孔隙率相差不多的情况下,裹浆法比常规搅拌法所得的强度要低,因而裹浆搅拌工艺对多孔贫混凝土的强度有一定影响,同时采用二次搅拌的工艺在实际生产中会增加成本。所以,对多孔贫混凝土仍采用普通搅拌工艺进行拌和。

1.2 搅拌时间对强度的影响

采用不同搅拌时间对多孔贫混凝土强度影响的试验结果见表 2。

表 2 不同搅拌时间对强度的影响

水泥:集料:水	搅拌时间 s	抗压强度/MPa	
		7 d	28 d
1:10:0.41	60	2.5	3.6
	120	3.6	4.3
	180	4.0	5.3

注:采用静压成型法成型。

试验结果表明,搅拌时间对多孔贫混凝土的强度有一定影响,搅拌时间越长,多孔贫混凝土的强度越高。但搅拌时间过长又会对出料速度造成一定影响,因而建议搅拌时间可根据搅拌机的叶片行程来定。当以搅拌叶片的平均行程进行控制时,搅拌叶片的平均行程为 70~100 m 即可拌和均匀。

常见单卧轴强制式搅拌机,搅拌叶片线速度为 1.0~1.47 m/s;双卧轴强制式搅拌机,搅拌叶片线速度为 1.5~1.8 m/s。施工中单卧轴强制式搅拌机的搅拌时间为 50~90 s,双卧轴强制式搅拌机的搅拌时间为 30~35 s。

2 成型工艺的研究

目前国内多孔贫混凝土基层的压实成型工艺主要是采用压路机进行静碾压实,国外对多孔贫混凝土透水基层的成型是采用轻型压路机拖动一个全宽重型振动板进行碾压。考虑到国内基层主导施工机械的实际情况,采用压路机对多孔贫混凝土混合料进行碾压成型比较可行,下面就静碾和振动碾压 2 种不同碾压方式对多孔贫混凝土材料强度和孔隙率的影响进行研究。

2.1 振动成型工艺的研究

首先进行多孔贫混凝土的频率影响试验,找到多孔贫混凝土的响应频率;然后按响应频率来进行静面压力、激振力的单因素影响试验,找到这些振动参数对压实效果的影响规律;最后进行振动时间对压实效果的影响试验来确定成型试件所需的振动时间;最终提出最合适的多孔贫混凝土振动压实条件。

(1) 振动频率影响。

试验条件如下:静面压力为 109 kPa,激振力为 3 000 N。水泥:集料:水=1:8:0.40;多孔贫混凝土孔隙率为 20%。表 3 所列为振动频率对贫混凝土强度的影响。

表 3 振动频率对强度的影响

编号	频率 Hz	名义振幅 mm	振动时间 s	7 d 抗压强度 MPa
B-2	20	1.5	5	8.3
B-3	25	0.9	2	8.3
B-4	35	0.5	7	7.9
B-5	45	0.2	23	7.1

试验结果表明:同一激振力下,低频高幅的振动方式,只需较少的时间就可使混合料达到预计的孔隙率,并获到较高的抗压强度。多孔贫混凝土的响应频率应在 30 Hz 左右。

(2) 激振力影响。

试验条件如下:静面压力为 109 kPa,多孔贫混凝土孔隙率为 20%,在同一频率下变化激振力进行试验。从试验结果看:同一频率下,激振力越高,多孔

贫混凝土的强度越高,激振力在 5 000 N~8 000 N 之间可获得较高的强度指标值,见表 4。

表 4 相同频率下不同激振力对强度的影响

频率/Hz	激振力 N	7 d 抗压强度 MPa
25	3 000	8.3
	3 897	7.9
	5 286	7.9
30	2 249	8.9
	7 612	11
45	3 000	7.1
	5 061	8.9

(3) 静面压力的影响。

试验条件如下:当振动频率设为 30 Hz、激振力设为 7 612 N 时,在相同振动时间(5 s)条件下,观测静面压力对压实效果的影响。试验结果见表 5。

表 5 静面压力对孔隙率及破碎率的影响

静面压力 kPa	孔隙率 %	骨料破碎率 %
100	25	3.8
109	20	4.2
120	18	4.2
130	18	6.0

从试验结果可知:在同一振动时间内,随着静面压力的增大,多孔贫混凝土的孔隙率变小,即随着静面压力的增大多孔贫混凝土的密度也增大;但静面压力不宜超过 120 kPa,否则会造成骨料的大比例破碎而影响到多孔贫混凝土的强度。

(4) 振幅的影响。

试验条件如下:频率为 30 Hz,激振力为 6 000 N,控制孔隙率为 20%,变化不同的振幅来进行试验。表 6 中所列振动时间是指达到相同压实度时的振动时间。

表 6 振幅对破碎率及强度的影响

名义振幅/mm	0.2	0.5	0.9	1.2	1.5	1.7
破碎率/%	3.5	3.4	4.3	6	4.1	7.2
振动时间/s	23	7	2	3.3	5	31.2
7d 抗压强度/MPa	7.1	7.9	8.3	7.9	8.3	9.0

试验结果表明:大振幅会导致较高的破碎率。要达到相同的孔隙率,过低或过高的振幅都要较多的振动时间。振幅在 0.9~1.5 mm 的范围内时,各项

指标均较为合适。

根据上述试验结果,多孔贫混凝土在振动频率为 30 Hz、激振力为 7 612 N、静面压力为 109 kPa、振幅为 1.5 mm 时达到了较好的压实效果,其强度最高,振动时间较为适宜,破碎率也不大。

2.2 静压成型工艺

由表 7 可见,随着成型压力的增大,骨料的破碎率明显增大,因而需控制压路机的吨位,以防止过重的压路机碾碎骨料,造成新鲜的破裂面而使材料的强度降低。

表 7 不同成型压力下混合料的破碎率

碎石粒径/mm	每方材料用量(水泥:集料 :水:三乙醇胺)/kg	预计孔隙率为 20%	
		成型压力 kN	破碎率 %
31.5~4.75	202.6:1 620.5:77:0.2	305	7.9
26.5~4.75	202.6:1 620.5:77:0.2	231	13.0
19~4.75	193.5:1 548:73.5:0.19	283	18.8

2.3 2 种成型方式对强度的影响

由表 8 可见,在相同的压实度下,振动压实和静力压实 2 种成型方式对多孔贫混凝土材料强度的影响比材料的级配变化带来的影响要大。对于不同的级配,振动压实提高材料的抗压强度和回弹模量的趋势是相同的。由此可见,为提高多孔贫混凝土基层材料的强度宜采用振动成型。

表 8 振动压实与静力压实对材料的影响 MPa

碎石粒径/mm	7 d 抗压强度		28 d 抗压强度		28 d 抗压回弹模量	
	振动	静压	振动	静压	振动	静压
4.75~26.5	6.3	5.2	8.9	6.1	10 000	9 000
单粒级 19	6.0	4.3	8.1	5.2	9 000	8 600

2.4 延时成型时间的研究

从混合料拌和到碾压成型需要一定的操作时间,但此时间对多孔贫混凝土的强度会有一定的影响。用 4 组不同的配合比来进行延时成型时间对强度影响的研究,结果见表 9。

由表 9 可见,随着成型时间的延迟,多孔贫混凝土抗压强度降低,并且强度损失幅度随延迟成型时间的加长而增大,特别是早期强度的延期强度损失较大,而 28 d 的强度损失幅度相对 7 d 的强度损失幅度较少。因此,需针对多孔贫混凝土强度的时效性进行现场管理,尽量在拌和后 2 h 内完成多孔贫混凝土基层的碾压成型工作。

表 9 成型延迟时间对强度的影响

编号	配合比	7 d 强度/MPa			外加剂名称及掺量
	水泥:集料:水	立即成型	2 h 后成型	3 h 后成型	
Z-1	1:8:0.4	7.2	6.5	4.7	
Z-2	1:8:0.38	7.8	6.1	5.2	三乙醇胺,0.075%
Z-9	1:8:0.38	8.1	6.2	5.1	Ca(OH) ₂ , 2%
Z-12	1:8:0.38	7.0	5.8	4.6	Ca(OH) ₂ , 3%
编号	配合比	28 d 强度/MPa			外加剂名称及掺量
	水泥:集料:水	立即成型	2 h 后成型	3 h 后成型	
Z-1	1:8:0.4	8.6	7.8	7.1	
Z-2	1:8:0.38	8.6	7.1	6.5	三乙醇胺,0.075%
Z-9	1:8:0.38	7.4	6.7	5.6	Ca(OH) ₂ , 2%
Z-12	1:8:0.38	6.3	6.0	4.6	Ca(OH) ₂ , 3%

3 现场质量控制技术研究

在多孔贫混凝土排水基层的施工过程中,一定要使排水基层同时满足压实度(强度)和孔隙率(渗透系数)2个方面的要求,因此,关键要掌握好压路机吨位、碾压遍数和松铺系数3个要素,并注意防止污染多孔贫混凝土基层。下面分别就施工过程中影响强度和孔隙率的因素展开研究。

3.1 拌和物搅拌均匀性控制

多孔贫混凝土应采用强制式拌和机械或卧式叶片拌和机等厂拌设备集中拌和。影响拌和物均匀性的因素有:拌和楼的数量,水泥、集料等原材料的质量,应严格控制集料级配、水泥用量和用水量。

为使混合料稠度控制适当,可先采用目测法,应以混合料带有金属光泽且表面无水滴下淌的现象为合适。也可以采用抓验的方法:抓一把多孔贫混凝土混合料并将其攥成球形,然后松开,如果稠度适当,混合料则不会破碎。

对有疑惑的材料进行水洗法检验,其应在设计集灰比±0.5的范围内。

给汽车装料时,应选择适当的装料顺序,以使意外结团现象降到最低程度。

3.2 适宜的运输方式和合理的运距

应尽快将拌好的混合料运送到铺筑现场。一般采用自卸车运输,车上的混合料应该覆盖,以减少水分损失。当运距较远时,宜考虑采用搅拌运输车搅拌运输,或应添加减水剂使混凝土缓凝。由于多孔贫混凝土失水较快,加入掺有缓凝剂的拌和水后,在60~

90 min 内应将混合料从汽车内卸出。

合理的运距应在10 km 以内,以确保在2 h 内能完成混合料碾压成型的工序。

3.3 延迟时间的控制

现场施工多孔贫混凝土基层,可以从2个方面来控制延迟时间。

(1)在延迟时间外(拌和以前)做好充分准备,根据工地的实际情况做合理安排,将延迟时间内的一些工序提到拌和以前,保证拌和前各工序的质量合格,消除一切可能影响延迟时间的因素。准备工作具体有以下几点:①下承层的准备;②外形尺寸控制时,在铺筑范围边缘打好中桩、边桩,并做好标记,测出铺筑高程,在整形时快速打出桩点、标出高程;③配料准确,严格按计算数据配料,减少不必要的差错。

(2)延迟时间内提高效率的方法。运输、布料、整形、碾压等工序在符合规定的要求下加快速度,并注意各工序的紧密衔接,不要出现空档时间。施工中应注意备足施工机械,以加快速度。影响延迟时间的关键工序是拌和与碾压,因此,拌和设备、运输设备、摊铺设备及碾压设备均要认真设计、精心安排,确保各工序的顺利衔接。

3.4 适宜的摊铺方法

多孔贫混凝土混合料的离析现象,表现为粗颗粒和细颗粒分开,这样容易造成局部强度的不均匀性。因此,可用平地机或摊铺机摊铺,应设专人指挥车辆均匀卸料,在摊铺宽度范围内,宜分多堆卸料。

3.5 压实工艺

压实是道路施工中的主要工序,通过对材料施加机械外力,使材料密实度获得提高。在外力的作用下,多孔贫混凝土材料发生位移,相互靠近,颗粒重新排列。实践证明,对于一般基层材料,只要有压路机碾压,不论是静碾还是振动压实,在相互揉搓过程中有些软弱棱角会被磨掉,从而可能使孔隙减少,密实度进一步提高(所以在设计多孔材料时,应考虑这部分体积的减少)。因此,除去必不可少的破碎外,必须研究压实机械的选型、吨位与压实方法,使压实后的多孔贫混凝土材料达到其强度设计值及孔隙率设计值。

多孔贫混凝土基层施工过程中,由于材料本身在100%压实度下就具有一定的孔隙,所以施工工艺的重点是如何使材料的压实度接近100%,同时又要保证材料尽可能少被压碎。因此,压实的关键是掌握松铺系数、压路机吨位、碾压遍数和压实度。

室内试验的初步成果表明,多孔贫混凝土在振

动频率为 30 Hz、激振力为 7 612 N、静面压力为 109 kPa、振幅为 1.5 mm 时达到了较好的压实效果,这时多孔贫混凝土的强度最高,振动时间较为适宜,破碎率也不大。激振力对材料级配衰退影响比较明显,激振力越大级配衰退越严重;相对激振力的影响而言,静面压力和振动时间对材料级配衰退的影响都很小。

松铺系数的大小和施工工艺有关。根据经验,多孔贫混凝土基层的松铺系数在 1.22 左右。

在试验路施工中采用了 3 种压实工艺。第 1 种:振动压路机静碾 1 遍→低频高振幅(大振)碾压 1 遍→胶轮压路机碾压 2 遍→高频低振幅(小振)碾压 1 遍→静碾去轮迹。第 2 种:胶轮压路机碾压 2 遍→小振碾压 1 遍→静碾去轮迹。第 3 种:静碾 1 遍→大振碾压 1 遍→小振碾压 1 遍→静碾去轮迹。

从实际效果来看,3 种工艺均能达到设计要求;从节省施工机械的角度考虑,可采用第 3 种施工工艺。

3.6 压实度控制

压实度控制时,需要确定最大干密度的大小。确定最大干密度可以采用 2 种方法:一种是用理论计算最大干密度;另一种是试验确定。

理论计算最大干密度可采用下式:

$$\rho_t = \frac{m_a + m_c + m_w}{\frac{m_a}{\rho_a} + \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_w}{\rho_w}}$$

式中: m_a 、 m_c 、 m_w 分别为集料、水泥和水在混合料中的总质量,其中 $m_w = 0.25m_c$; ρ_t 为混合料的理论密度; ρ_a 、 ρ_c 、 ρ_w 分别为集料、水泥和水的密度。

试验的方法推荐使用上置式振动成型试验。振动时间一般有 30 s 即可,振动频率为 50 Hz。在条件不允许时,可采用振动台成型,但试件上方必须配重,配重质量为 5 kg。在试验前先称取一定质量的混合料,混合料的质量可做适当调整,使得最终的试件高度固定。在成型完成后,立即打碎试件并称取重量,接着用取土盒平行取 2 份样品,烘干确定含水量,最终确定最大干密度。

以多孔贫混凝土材料的最大干密度作为分母,

以现场实测密度作为分子,即可求得压实度。

4 养生方法的研究

试验主要模拟现场多孔贫混凝土养生条件,分析其水分损失的规律,提出保证强度发展的养生措施。

试验表明,多孔贫混凝土孔隙越多,失水越快;并且多孔贫混凝土在室外风干的条件下,一般 2 h 左右,混凝土表面开始发白,所以养生必须及时。一般应在多孔贫混凝土成型 8 h 后开始洒水养护,洒水时应在 2~3 m 高用散射水养护。良好的养生条件(包括一定温度和湿度)不但能加快半刚性基层的强度增长速度,而且能大大减少由于水分蒸发引起的干缩应变,使水泥混凝土中水化凝胶物增多,从而增加其抗收缩能力,减少半刚性基层的收缩裂缝。

5 结语

(1)多孔贫混凝土基层材料适于使用常规的普通搅拌工艺,应当延长搅拌时间以利于强度的增长。

(2)振动压实更有利于多孔贫混凝土混合料的压实。试验证明,多孔贫混凝土在振动频率为 30 Hz、激振力为 7 612 N、静面压力为 109 kPa、振幅为 1.5 mm 时达到了较好的压实效果。

(3)多孔贫混凝土材料可采用摊铺机或平地机摊铺,从摊铺到碾压应尽快完成。

(4)建议按“振动压路机静碾 1 遍→低频高振幅(大振)碾压 1 遍→高频低振幅(小振)碾压 1 遍→静碾去轮迹”的碾压组合进行碾压施工。

(5)压实度的控制可采用最大理论干密度,或上置式振动成型试验确定最大干密度。

参考文献:

- [1] 沙庆林. 公路压实与压实标准[M]. 北京:人民交通出版社, 2000.
- [2] JTJ 018—97, 公路排水设计规范[S].
- [3] JTJ 034—2000, 公路路面基层施工技术规范[S].