

文章编号:1671-6833(2017)06-0079-04

路面免碾压贫混凝土基层工作性研究

盛燕萍¹, 孙仕伟¹, 赵澍林¹, 周辉丽², 陈拴发¹

(1. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710064; 2. 青海省交通科学研究院, 青海 西宁 810008)

摘要:设计了一种免碾压贫混凝土基层,它可有效保证贫混凝土基层的稳定性和平整度,同时可减少施工机械、减化施工工序、缩短周期、改善施工环境.通过研究免碾压贫混凝土基层材料,分析了影响贫混凝土工作性的因素,并提出采用维勃稠度试验作为其工作性评价方法,以及维勃稠度作为其工作性评价指标,最后,采用多因素正交设计试验,并根据极差分析和方差分析,得到评价指标维勃稠度的回归公式.结果表明,维勃稠度值能够较好地评价免碾压贫混凝土的工作性.

关键词:道路工程;贫混凝土;免碾压;维勃稠度值;工作性

中图分类号: U416 217

文献标志码: A

doi:10.13705/j.issn.1671-6833.2016.06.014

0 引言

目前,半刚性基层已是我国高等级公路的主要结构类型,其强弱和好坏显著影响整个路面结构的使用质量和使用寿命^[1].贫混凝土(Lean Concrete)是水泥用量较少的混凝土,相比水泥稳定碎石和二次碎石等半刚性基层,其承载力更高、抗冲刷性能和耐久性更好,是一种优质的基层材料^[2-3].

现阶段重载交通路面结构破坏的现场调查显示,损坏很大程度上是由于承载力原因造成,部分因为基层施工原因导致的温缩和干缩裂缝进而形成路面结构反射裂缝.若调整基层施工方式和工艺,提高基层的承载力,能够改善路面的使用性能,延长使用寿命^[4].目前,具备优良性能的贫混凝土基层已经得到广泛应用,但现场施工大部分依然采用传统的振动成型或插捣成型工艺,针对贫混凝土水泥含量少的特殊性,笔者提出了不同于普通碾压方式的免碾压成型方法,成型过程中无振动和插捣步骤,依靠材料自身的嵌挤和粘附让混合料达到密实性.免碾压与传统振捣施工相比,可以显著提高贫混凝土基层的质量,减少和优化施工机械和工序,减少施工时间,降低施工噪音对环境的污染.笔者对免碾压多孔混凝土进行了

较为深入的研究^[5-10],但多孔混凝土不同于贫混凝土,笔者结合免碾压贫混凝土的特点,重点对其工作性进行分析,提出了针对免碾压贫混凝土基层的工作性评价方法和指标.

1 免碾压贫混凝土工作性影响因素

工作性至少包含流动性和黏聚性两个部分,但这两个方面又相互矛盾.混凝土增加流动性的过程是混合料中自由水增加的过程,必将导致混合料的黏聚性减小;而为保证混合料的黏聚性和整体性,不管降低用水量还是增加增稠介质,都会限制混合料的自由水量,降低其流动性.因此,混凝土在施工时要根据结构形式和现场条件,选择流动性和黏聚性最佳的混合料组合^[11-13].

1.1 集浆比

保持贫混凝土材料的水灰比不变,加入的水泥浆量越多,则集料颗粒表面的包裹浆层将越厚,润滑效果更好,混凝土具有更好的流动性,反之则小.若混合料中浆量过多,流浆和泌水现象将不可避免,降低了贫混凝土的粘聚性和保水性,影响其强度与耐久性.若混合料中水泥浆量太少,集料表面得不到充分裹覆,会减小贫混凝土的黏聚性,甚至产生崩塌,因此,贫混凝土的集浆比应以满足拌

收稿日期:2016-07-28;修订日期:2017-01-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51208047;51208046),中国博士后科学基金资助项目(2013M532005;2015T81000),青海省科技计划项目(2017-22J-763;2017-25ZJ-764)

作者简介:盛燕萍(1981—),女,浙江临安人,长安大学副教授,主要从事道路材料与结构方面的研究,E-mail:shengyanping2003@163.com.

合物流动性要求为准。

1.2 水灰比

确定集浆比后,水灰比将决定混合料中的水泥浆稠度.水灰比小说明水泥浆稠,混合料的流动性将较小;反之,水灰比较大,虽然混合料具有较大的流动性,但其整体性和保水性将变差.因此,在实际工程中若通过增加用水量提高混合料流动性时,水泥用量必需同时加大,确保水灰比保持恒定.

1.3 砂率

集料总表面积和空隙率受到砂率变化的影响,且水泥砂浆不仅会润滑粗骨料,还将粗集料之间从点接触变成面接触,显著提高集料间的粘结效果,改善贫混凝土基层的工作性,提高其强度和稳定性.

2 工作性评价方法和指标

贫混凝土的水泥胶结料含量较少,强度主要靠粗集料彼此之间的内摩阻力形成,细集料填充空隙,对免碾压贫混凝土而言,既要保证混合料有足够的流动性,又要满足混合料之间的粘聚性而确保强度.免碾压贫混凝土工作性研究分析的目的在于寻找保证良好工作性的水泥砂浆量,以此评价其工作性.

坍落度试验和维勃稠度试验是目前普遍采用的检测混凝土稠度的方法.对于免碾压贫混凝土,坍落度试验并不能准确测出不同拌合物稠度的差异性;对于高流动性混合料,坍落度数值更不能反

映其成型后稳定性的优劣,且稠度差异的混合料也依然可能具有相同的坍落度值,即坍落度大小与混合料稠度的高低并不存在对应关系.

维勃稠度试验^[14]的操作过程很短,可以评价干硬性混合料填充模型的能力,弥补坍落度试验对测试低流动性混合料灵敏度的不足,虽然维勃稠度试验对于流动性高,坍落度大的新拌混凝土灵敏度差,但由于免碾压贫混凝土相对普通成型的混合料的浆集比更高,在现场连续施工时的可操作性更强,因此,可以采用维勃稠度评价免碾压贫混凝土的工作性.

3 免碾压贫混凝土工作性评价

3.1 试验用原材料

笔者所用水泥为秦岭 42.5 强度等级的普通硅酸盐水泥,技术指标见表 1.所用粗细集料均为西安本地石灰岩碎石,技术指标分别列于表 2 和表 3.采用规范推荐的级配,具体级配要求见表 4.

维勃稠度值受多方面因素的影响,笔者采用正交试验进行试验安排.采取含水量(水占水泥、砂和集料总质量的百分比)、水泥剂量及砂率 3 个因素,各因素根据实践经验取如表 5 所示的 4 个水平.试验选择正交表 $L_{16}(4^5)$ 的前 3 列安排试验,其中 4、5 列为空列.根据该试验安排,具体的配合比和测试结果见表 6.在此基础上,对正交试验结果分别进行极差分析和方差分析.

表 1 水泥技术指标

Tab.1 Technical index of cement

项目	水泥胶砂弯拉强度/MPa		水泥胶砂抗压强度/MPa		凝结时间/min		细度 /%	标准稠度 需水量/%	安定性
	3 d	28 d	3 d	28 d	初凝	终凝			
实测值	3.95	8.7	19.3	45.8	232	318	3.76	28.0	合格

表 2 粗集料技术指标

Tab.2 Technical index of thick aggregate

试验项目	松堆密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	吸水率/%	含泥量/%	针、片状含量/%	压碎值/%
实测值	1.452	0.877	0.40	5.82	6.50

表 3 细集料技术指标

Tab.3 Technical index of thin aggregate

试验项目	细度模数	含泥量/%	表观密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	吸水率/%
实测值	2.86	2.10	2.937	1.283

表 4 粗集料级配范围要求

Tab.4 Thick aggregate gradations

筛孔/mm	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75	2.36
通过筛孔百分率/%	100	95 ~ 100	60 ~ 75	30 ~ 50	10 ~ 30	0 ~ 10	0 ~ 5

表 5 贫混凝土配合比试验正交设计因素水平表

Tab.5 Table of factors and levels of orthogonal design for lean concrete mix ratio test

水平 s	因素 r		
	A	B	C
	含水量 w/%	水泥剂量 c/%	砂率 β_s /%
I	5.75	7	33
II	6.00	8	36
III	6.25	9	39
IV	6.50	10	42

3.2 极差分析

对表 6 所示试验结果进行极差分析,其结果如表 7 所示.表 7 中 I_j 是指第 j 列取 I 水平下的指标和, R_j 是指第 j 列中 I_j, II_j, III_j 和 IV_j 之间最大值与最小值之差,称为极差.极差的大小代表该

因素变化对指标值的影响程度.通过极差的大小排序可以得到各个影响因素对VB值的影响大小,其相应顺序如表8所示.

在此基础上,得到各个影响因素的不同水平值与相应指标的变化趋势关系,如图1所示.

表6 正交设计和配合比安排与试验结果

Tab.6 Orthogonality design, mixture ratio arrangement and test results

配比编号	试验号	A	B	C	D 空列	E 空列	配合比/(kg·m ⁻³)				维勃稠度 VB/s
							水	水泥	砂	集料	
I - 1	1	1	1	1	1	1	113	128	604	1227	54
I - 2	2	1	2	2	2	2	108	139	627	1115	51
I - 3	3	1	3	3	3	3	106	152	660	1032	65
I - 4	4	1	4	4	4	4	111	175	734	1014	80
II - 1	5	2	1	2	3	4	112	123	630	1121	25
II - 2	6	2	2	1	4	3	113	139	575	1168	31
II - 3	7	2	3	4	1	2	111	153	715	987	42
II - 4	8	2	4	3	2	1	112	170	664	1038	49
III - 1	9	3	1	3	4	2	117	122	682	1067	22
III - 2	10	3	2	4	3	1	116	138	723	999	19
III - 3	11	3	3	1	2	4	119	157	576	1169	32
III - 4	12	3	4	2	1	3	118	172	619	1101	29
IV - 1	13	4	1	4	2	3	123	123	741	1023	29
IV - 2	14	4	2	3	1	4	125	142	692	1083	20
IV - 3	15	4	3	2	4	1	124	157	629	1118	29
IV - 4	16	4	4	1	3	2	126	176	581	1180	17

表7 极差计算结果

Tab.7 Results of range analysis

维勃稠度	A	B	C
I _j	250	130	134
II _j	147	121	133
III _j	102	168	156
IV _j	95	175	170
R _j	155	54	36
最优方案	A4	B2	C2

对正交表的极差分析仅能得到对VB影响的

一般规律,无法得出对VB有显著影响的因素.因此,对其进一步采取方差分析,并通过分析结果归纳回归相应的关系式,为评价免碾压贫混凝土基层的工作性提供定量化依据,根据表6的试验结果进行方差分析,结果如表9.

从表9可以看出,当置信率为95%时,含水量对贫混凝土的维勃稠度有显著影响;含水量和水泥用量均会显著影响贫混凝土的维勃稠度,该影响因素的排序和表7中的极差分析结论一致.

表8 各因素对指标的影响及最佳因素水平组合

Tab.8 The factors influence on the index and the best factors combination

考核指标	各因素对考核指标影响大小的排序	最佳因素水平组合
维勃稠度 VB	A(含水量) > B(水泥用量) > C(砂率)	A4、B2 和 C2

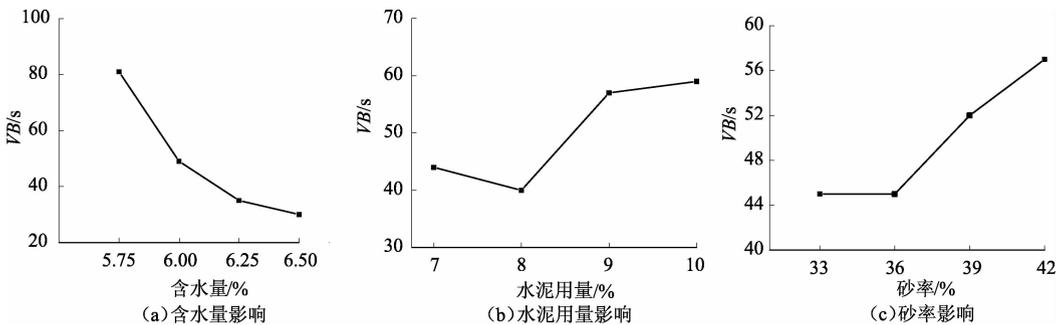


图1 各个因素的水平变化影响

Fig.1 The influence of various factors on the level of change

表9 正交表的方差分析

Tab.9 Variance analysis of orthogonal arrays

方差来源	离差平方和 SS	自由度 DF	方差 MS	F 值	临界值	显著性
A(含水量)	3 800.48	3	1 266.83	25.32		
B(水泥用量)	537.36	3	179.12	3.58		
C(砂率)	245.06	3	81.69	1.63	$F_{0.95}(3,6) = 4.76$	显著
D(空列)	205.12	6	50.04	—		
E(空列)	95.12	6	50.04	—		

3.3 提出回归方程

对表6中数据进行回归分析,得到维勃稠度 VB 与含水量、水泥剂量及砂率的关系:

$$VB = 268.514 - 5084.3w + 452.975c + 110.492\beta_s, \\ R = 0.889. \quad (1)$$

式中: VB 为维勃稠度, s ; w 为含水量, $\%$; c 为水泥剂量, $\%$,水泥剂量 $c = \text{水泥质量} / (\text{砂质量} + \text{石子质量})$; β_s 为砂率, $\%$.

另外,施工工艺也会明显影响免碾压贫混凝土的工作性,不同施工方式应满足表10要求的不同维勃稠度值^[13].

表10 不同施工方式下贫混凝土的维勃稠度推荐值

Tab.10 Vebe consistometer recommended value of lean concrete in different construction ways

摊铺方式	滑模摊铺机	轨道摊铺机	三辊轴机组
出机维勃稠度	15~35	25~45	35~55
摊铺维勃稠度	20~40	30~50	40~60

对于提出的回归方程(1),其参数和对应结果是在较为理想的室内条件下得出,而贫混凝土在实际施工过程中,受气候、温度、降水等诸多环境因素影响,会导致维勃稠度值产生不规律波动,为进一步平滑该波动,笔者在提出的维勃稠度值基础上,增加允许波动时间5s,以此平滑 VB 的变动和切合现场情况,即免碾压贫混凝土工作性的允许波动范围为 $VB \pm 5s$,若实测值在此范围内,则认为贫混凝土满足工作性要求。

4 结论

(1) 贫混凝土免碾压成型方式充分利用材料的自密实性,利于提高混凝土强度和降低混合料渗透性,能够减少施工机械和施工工序及周期,对提高生产率,减少噪音和环境保护有积极的效果。

(2) 贫混凝土是干硬性混凝土,其组成材料、水灰比、集浆比和砂率是影响贫混凝土工作性的主要因素,通过正交试验设计得出各因素对工作性影响的顺序:含水量 > 水泥用量 > 砂率。

(3) 维勃稠度(VB)是能够简单、易行、快速

评价免碾压贫混凝土工作性的适宜指标,通过试验研究得出免碾压贫混凝土满足工作性要求的允许波动范围为 $VB \pm 5s$ 。

参考文献:

- [1] 盛燕萍,李海滨,陈拴发. 基于抗冲刷性能的半刚性基层材料组成设计方法[J]. 郑州大学学报(工学版),2012,33(3):19-23.
- [2] 王浩,陈剑,谭华. 贫混凝土基层水泥混凝土路面结构使用性能对比[J]. 中外公路,2011,31(5):46-50.
- [3] 付其林,陈拴发,彭种. 贫混凝土基层沥青路面温度荷载耦合应力分析[J]. 郑州大学学报(工学版),2009,30(3):82-85.
- [4] 刘根昌. 振捣式贫混凝土道路基层施工中裂缝的成因及防止[J]. 公路交通技术,2003(5):7-10.
- [5] 盛燕萍,陈拴发,郑木莲,等. 免振捣多孔混凝土配合比设计方法. 交通运输工程学报,2009,9(1):44-49.
- [6] SHENG Y P, LI H B, GUAN Bowen. Study on performance of normal and compaction-free porous concrete permeable base [J]. Advanced materials research,2013,345:316-319.
- [7] SHENG Y P, LI H B, CHEN S F. Mix design of compaction-free porous concrete permeable base [J]. Advanced materials research,2012,368:1416-1419.
- [8] 盛燕萍,陈拴发,李占全. 免振捣多孔混凝土工作性研究[J]. 混凝土,2007(8):37-41.
- [9] 盛燕萍,陈拴发,郑木莲. 不同成型方法的多孔混凝土路面性能对比[J]. 公路,2008(10):193-196.
- [10] 盛燕萍. 免振捣多孔混凝土性能及其配合比设计方法研究[D]. 西安:长安大学公路学院,2006.
- [11] 孙丽娟. 免振捣贫混凝土工作性研究[D]. 西安:长安大学公路学院,2010.
- [12] 林俊,姜小磊,姚佳良等. 路面基层碾压贫混凝土工作性影响因素试验研究[J]. 中外公路,2010,30(5):110-115.
- [13] 赵淑林. 免振捣贫混凝土性能及配合比设计方法研究[D]. 西安:长安大学公路学院,2007.
- [14] 梁思明,魏亚,张倩倩. 路面碾压混凝土稠度与配合比研究[J]. 混凝土,2014(1):150-153.

参考文献:

- [1] 张彦灼,任珺,陶玲,等.凹凸棒石粘土的物化性质研究进展[J].中国非金属矿工业导刊,2013(1):24-26.
- [2] 王秀芳,田勇,张会平.高比表面积煤质活性炭的制备与活化机理[J].化工学报,2009,60(3):733-737.
- [3] 何余生,李忠,奚红霞,等.气固吸附等温线的研究进展[J].离子交换与吸附,2004,20(4):376-384.
- [4] MANGUN C L, DEBARR J A, ECONOM Y J. Adsorption of sulfur dioxide on ammonia-treated activated carbon fiber[J]. Carbon, 2001, 39(11): 1689-1696.
- [5] MIRZABE G H, KESHTKAR A R. Selective sorption of U(VI) from aqueous solutions using a novel aminated $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{PVA}$ nanofiber adsorbent prepared by electro-spinning method[J]. J Radioanal Nucl Chem, 2015, 303(1): 561-576.
- [6] 张婕,尚成江,陈卫航,等.胺基化杂化微球对溶液中 Cu 和 Pb(II) 的吸附[J].郑州大学学报(工学版),2015,36(5):1-5.

Study on Absorption of Pb(II) from Aqueous Solution by Modified ATP

ZHANG Jie, CAI Li, WANG Jingtao, CHEN Weihang

(School of Chemical Engineering and Energy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: With APTES as a modifier, the modified ATP was successfully prepared. And the adsorption of Pb(II) from aqueous solution by modified ATP was studied. The physical structure and chemical composition of raw ATP, purified ATP and modified ATP were characterized by SEM, XRD, BET, FTIR and TGA, respectively. The effects of contact time, the dosage of adsorbent, temperature and initial concentration on the adsorption property for Pb(II) were investigated through single factor static experiments. The results showed that the equilibrium adsorption capacity of Pb(II) was $241.4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ under the following conditions: contact time 80 min, the dosage of adsorbent $0.35 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, temperature 35°C , pH 6 and initial concentration $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Key words: attapulgitic(ATP); modified; adsorption; Pb(II)

(上接第82页)

Research on Workability of Compaction-free Lean Concrete Base

SHENG Yanping¹, SUN Shiwei¹, ZHAO Shulin¹, ZHOU Huili², CHEN Shuanfa¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Qinghai Research Institute Transportation, Xining 810008, China)

Abstract: A kind of compaction-free lean concrete (CFLC) base was put forward in this paper. The smoothness and stability of the base could be ensured by using compaction-free lean concrete base. Meanwhile, the construction machinery and construction cycle could be reduced. Also, construction environment could be improved. Factors influence workability of CFLC were analyzed, the method and index of evaluating workability of CFLC were advanced. Orthogonality test design was adopted in tests, regression formula of evaluating index-vebe consistency value was deduced. The results showed that the workability of CFLC could be evaluated by vebe consistency value.

Key words: road engineering; lean concrete; compaction-free; vebe consistency value; workability