

文章编号: 1002-0268 (2005) 03-0086-03

新型轻质桥面混凝土的研究与应用

王发洲¹, 胡曙光¹, 荻军¹, 陆光全²

(1. 武汉理工大学硅酸盐材料工程教育部重点实验室, 湖北 武汉 430070;
2. 宜昌光大陶粒公司, 湖北 宜昌 442000)

摘要: 为减轻桥梁自重, 提高桥梁的承载能力, 延长桥梁使用寿命, 文中根据旧桥改造的需要, 提出桥面混凝土材料的设计思想, 利用轻集料为主要原料研制出 LC30~LC50 新型轻质桥面混凝土, 对其容重、工作性能、力学性能、干缩性能和抗渗性能进行了研究。研究开发出的新型轻质桥面混凝土在湖北宜昌远安—当阳一级公路等重点工程得到成功应用。本项研究为我国大量的旧桥改造提供了一条新的技术途径和方法。

关键词: 轻集料; 轻质混凝土; 旧桥改造; 桥面混凝土

中图分类号: TU528.2

文献标识码: A

Research on High Performance Lightweight Concrete and Its Application in Old-bridge Deck Rebuilding

WANG Fa-zhou¹, HU Shu-guang¹, DING Qing-jun¹, LU Guang-quan²

(1. Material Science and Technology College of WUT, Hubei Wuhan 430070, China;
2. Yichang Guangdataoli Company, Hubei Yichang 442000, China)

Abstract: In order to cut down the dead weight of bridge and improve the loading ability and the life span of bridge, it is important to research one kind of new lightweight bridge deck concrete. In this paper, according to the old-bridge rebuilding demand, the design rule of bridge deck concrete is given. By using the lightweight aggregate and other materials, the LC30 to LC50 high performance lightweight concrete was produced, and its density, workability, mechanic performance, shrinkage rate and resistance to permeability are also researched. This kind of new bridge deck concrete has been used in Caidian Han River Bridge and highway from Yuanan to Dangyang. This research provide a new technique and method for old bridge rebuilt.

Key words: Lightweight aggregate; Lightweight concrete; Old bridge rebuilt; Bridge deck concrete

长期以来, 旧桥面改造主要使用容重为 2500kg/m³ 左右的普通密度混凝土, 由于旧桥的承载能力已有所下降, 使用自重较大的普通混凝土势必会影响桥梁的通行能力和使用寿命, 有时为了提高行车舒适性和增加路面美观, 还往往在桥面加铺厚度为 4cm 左右的沥青面层, 这将使桥面自重增加, 从而降低桥梁的承载能力和减少使用年限。轻质桥面混凝土是由轻集料、水泥等原料配制而成的容重小于 1950kg/m³ 的混

凝土。相比普通密度混凝土, 它能够在保持较高强度的前提下自重降低 20%~25%, 并且具有较高的耐久性, 显然这种材料在旧桥改造工程无疑具有十分广阔的应用前景。然而, 我国对于轻质混凝土的相关研究比较落后, 尤其是轻质混凝土强度较低、工作性较差、收缩大等应用技术难题还没有得到较好的解决, 因此开展高性能轻质混凝土的研究, 并将其应用于旧桥改造工程具有十分重要的意义。

收稿日期: 2004-04-01

基金项目: 国家自然科学基金资助 (50272045) 硅酸盐材料工程教育部重点实验室 (武汉理工大学) 开放课题基金资助 (SYSJJ2004-10)

作者简介: 王发洲 (1975-), 男, 湖北襄樊人, 博士, 主要研究方向为高性能水泥与混凝土。

1 原材料及实验方法

1.1 原材料

水泥: 堡垒牌 42.5 级普通硅酸盐水泥, 比表面积 $360\text{m}^2/\text{kg}$ 。

粉煤灰: II 级粉煤灰, 比表面积为 $380\text{m}^2/\text{kg}$, 需水量比 95%。

硅灰: 密度 $2.2\text{g}/\text{cm}^3$, 平均粒径为 $0.18\mu\text{m}$, 比表面积 $20000\text{m}^2/\text{kg}$ 。

轻集料: 800 级高强碎石形页岩陶粒, 吸水率 4.2%, 筒压强度 6.8MPa 。

外加剂: 高效保塑减水剂 A。

细集料: 中粗河砂, 细度模数为 $2.7\sim 2.8$, 含泥量小于 1%。

纤维: 分别采用钢纤维、聚丙烯纤维和聚丙烯腈纤维三种纤维, 它们的物理力学性能见表 1。

表 1 纤维的主要技术参数

材料类别	长度 /mm	直径 / μm	比重 / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	抗拉强度 /MPa	弹性模量 /MPa
聚丙烯纤维	19	9	0.91	276	3793
聚丙烯腈纤维	6	13	1.18	> 910	17100
钢纤维	30	100	9.85	3000	200000

1.2 实验方法

(1) 混凝土收缩实验方法

实验中每组混凝土成型 3 个 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 300\text{mm}$ 的试样, 试件两端预埋可拆卸式铜探头。成型 1d 后拆模并将试样置于 $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $(60\pm 5)\%$ 的养护室中养护。采用外径千分尺分别测定试件在 1、3、7、14、28、60、90、180d 龄期时混凝土的收缩值, 精确度为 $0.01\text{mm}^{[1]}$ 。

(2) 混凝土渗透性测试方法

快速氯离子渗透实验按照 ASTM C1202-97 标准进行, 测定试样在 60V 电压、6h 内通过的电量, 并计算混凝土的氯离子渗透系数^[4]。溶液气压法实验所用混凝土试件尺寸为 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 100\text{mm}$, 加压到 1.2MPa , 然后测试混凝土的渗透深度^[3]。

2 结果与讨论

2.1 轻质桥面混凝土设计

在对旧桥进行改造时, 使用轻质混凝土进行桥面铺装可降低桥梁静载; 在保持桥梁基本不变的情况下还可增加桥面铺装层厚度, 进而提高桥面的耐久性; 或者可以增加沥青面层厚度, 提高沥青面层防止反射裂缝的能力。除了使用密度较小的轻质高强混凝土之

外, 旧桥桥面改造还应遵循以下原则: 首先, 桥面混凝土具有较小的收缩, 体积稳定、抗裂性好, 以防止在沥青面层产生反射裂缝。其次, 桥面混凝土具有高耐久性, 尤其是高抗渗性。以防止水渗至桥梁的下部结构, 导致混凝土中钢筋锈蚀, 降低桥梁使用寿命。

根据以上用于旧桥改造桥面混凝土设计的指导思想, 确定使用 800 级高强页岩陶粒, 通过对组成材料配比进行优化设计, 以提高桥面混凝土的物理力学性能和耐久性, 轻质桥面混凝土的配比设计方案见表 2。

表 2 轻质桥面材料的配比设计方案

编号	水泥:轻集料:砂 / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	纤维 / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	辅助胶凝材料/%	
			粉煤灰	硅灰
0 #	1:1.00:1.22	—	10	—
1 #	1:1.00:1.22	—	—	—
2 #	1:1.09:1.33	—	10	—
3 #	1:1.21:1.47	—	20	—
4 #	1:1.20:1.46	—	10	10
5 #	1:1.14:1.39	—	10	5
6 #	1:1.27:1.55	—	20	5
7 #	1:1.08:1.32	—	—	10
8 #	1:0.95:1.17	1.0	13	—
9 #	1:0.95:1.17	1.0	13	—
10 #	1:0.95:1.17	93.6	13	—

注: 0 #是普通密度混凝土; 8 #掺加杜拉纤维; 9 #掺加聚丙烯腈纤维; 10 #掺加钢纤维。

2.2 轻质桥面混凝土的性能

2.2.1 物理力学性能

对表 2 中各组混凝土的工作性能、物理力学性能进行了试验研究, 结果见表 3。0 #普通混凝土的容重为 $2350\text{kg}/\text{m}^3$, 1 #~10 #轻集料混凝土的湿密度为 $1930\sim 2005\text{kg}/\text{m}^3$, 比普通混凝土容重降低了约 20% 以上。在强度方面, 轻集料混凝土具有早期强度发展快的特点, 其 7d 抗压强度达到了 28d 抗压强度的 80% 以上, 轻集料混凝土的这个特点对于加快施工进度, 缩短工程建设周期具有重要的意义。

表 3 轻质桥面材料的物理力学性能

编号	坍落度 /cm	扩展度 /cm	流动性	稳定性	抗压强度/MPa		湿密度 / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
					7d	28d	
0 #	20	60	☆	☆	42.5	67.0	2350
1 #	18	55	○	○	46.5	60.0	1930
2 #	21	58	☆	○	47.0	61.0	1935
3 #	23	62	☆	☆	40.0	52.0	1920
4 #	16	54	○	☆	46.0	67.0	1960
5 #	24	65	☆	☆	44.0	64.0	1965
6 #	24	64	☆	☆	47.0	59.0	1954
7 #	16	48	△	☆	54.5	68.5	1990
8 #	23	55	○	☆	—	62.0	1950
9 #	20	50	○	☆	—	64.0	1952
10 #	8	—	△	○	—	65.0	2010

注: ☆, 好; ○, 较好; △, 差。

在工作性方面,未掺加辅助胶凝材料的1#基准轻集料混凝土的流动性和稳定性一般,轻集料在混凝土拌和过程中有轻微上浮现象。但这一问题在掺加粉煤灰或硅灰之后得到了显著改善,如掺加10%~20%的粉煤灰或10%的硅灰,轻集料混凝土的流动性和稳定性都有显著的提高,其中微观形态呈球状的粉煤灰具有润滑作用,有利于提高轻集料混凝土的流动性。硅灰的加入,能够显著提高混凝土结构粘度,从而起到抑制轻集料上浮的作用。通过复合使用粉煤灰和硅灰,利用其复合叠加效应,不仅使混凝土(4#、5#、6#)具有良好的流动性,而且还保持较高的稳定性。并且在工作性能得到保证的同时,其力学性能也有显著的提高。

掺加纤维的8#、9#和10#混凝土,其28d抗压强度虽有一定的增加,但增加幅度较小,说明纤维的加入对于混凝土的强度没有显著的影响,但各组混凝土的流动性降低较为明显。掺加钢纤维的10#混凝土的容重相对于基准混凝土增加了50kg/m³以上。而掺加聚丙烯和聚丙烯腈纤维的8#、9#混凝土的容重变化不大。

2.2.2 干缩性能

图1中8#、9#分别掺加了1kg/m³的杜拉和德兰尼特纤维,10#掺加了体积掺量为1.2%的钢纤维。同钢纤维相比,聚丙烯纤维和聚丙烯腈纤维的细度大得多,在较小掺量下就有很多的纤维根数,数量可达到700~3000万根/kg,这类纤维具备较强地抑制塑性开裂的能力,由图1可见,掺加纤维能够显著地降低轻集料混凝土的收缩率,尤其是早期收缩率。但两种纤维对于降低轻集料混凝土长期收缩的作用效果不同,其中,聚丙烯纤维弹性模量比较小,对减小混凝土长期收缩的作用效果不明显,如8#混凝土的180d收缩依然达到了400×10⁻⁶。而高弹性模量的德兰尼特纤维降低收缩的作用相当明显,9#混凝土的180d收缩率为290×10⁻⁶。钢纤维降低轻集料混凝土收缩的作用则更加明显,其180d收缩率仅为240×10⁻⁶。该试验结果说明使用聚丙烯腈类纤维将可以在不增加混凝土的容重的同时,显著地降低混凝土的收缩。并且研究表明^[4],纤维还能够提高轻集料混凝土的断裂韧性,高韧性对于提高桥面混凝土的耐久也具有非常重要的作用。

2.2.3 抗渗性能

如表4所示,混凝土的导电量越高、渗水高度越大,其抗渗性越低。由表可见,两种实验方法得到的结果具有一致的规律。比较表4中0#和1#试样的

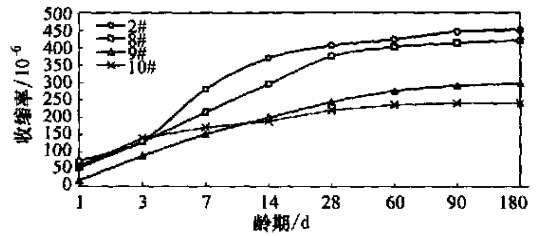


图1 纤维对轻集料混凝土收缩的影响

强度和导电量可知,在相同强度等级条件下,轻集料混凝土的渗透性大于普通混凝土。对比1#、2#、3#、4#试样的氯离子渗透系数和渗水高度可以发现,掺加粉煤灰和硅灰能够显著提高轻集料混凝土的抗渗性,其中以单掺硅灰的作用最明显,如7#混凝土的氯离子渗透系数仅为 $4.6 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$,渗水高度仅10.1mm。复合掺加10%的粉煤灰和5%的硅灰降低混凝土渗透性的作用效果非常突出,5#试样的渗透系数仅为 $4.9 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

表4 混凝土的配合比与实验结果

试样	28d 抗压强度 /MPa	导电量 /C	氯离子渗透系数 ($\times 10^{-9}$) / $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	渗水高度 /mm
0#	67.0	1818	11.5	20.2
1#	64.0	2495	14.9	24.5
2#	61.0	1467	9.8	17.7
5#	64.0	520	4.9	12.2
7#	66.5	414	4.6	10.1

2.3 工程应用及跟踪调查情况

文献[5]已介绍了LC40泵送纤维增强轻集料混凝土在京珠高速公路蔡甸汉江大桥桥面的应用情况。2003年4~8月,湖北远安至当阳国防公路两座旧桥桥面改造又分别使用了LC30高性能轻质桥面混凝土。其中三道河桥总长43.4m,结构型式为13.6m+13.6m+13.6m;魏家岗桥总长35.6m,结构型式为13.6m+6.8m+13.6m。以上两座桥梁原桥面多年失修,破坏严重。桥面改造通过使用近1000m³的LC30轻质混凝土,由于大大降低了桥梁静载,提高了桥梁承受动载的能力,因而不需要对其进行基础加固,节约了桥梁加固费用。混凝土的坍落度控制在8~12cm,桥面铺装厚度为8~10cm。通过对比发现,工程应用情况良好,并且新型轻质桥面混凝土呈现出较好的耐磨性,其表面磨损情况甚至好于桥两端普通水泥混凝土路面,应用取得了显著的社会与经济效益。

3 结论

(1) 提出用于旧桥改造桥面混凝土的设计指导思想,要求桥面混凝土具有容重小、(下转第100页)

段的有效性如何,有什么利弊,尚缺乏相关的试验验证分析。具体到限速标志、减速丘、减速标线的设置,还有很多细节问题需要试验确定,如减速丘相对安全的尺寸、减速标线重复次数等。

(3) 关于速度和安全还有许多问题需要进一步采集数据进行分析,以指导我国公路的速度控制实践。

参考文献:

[1] 吴京梅. 浅析平均速度控制理论 [J]. 公路交通科技, 2003, 20 (6) .

[2] American Association of State Highway and Transportation Officials A Policy on Geometric Design of Highways and Streets [M]. Washington, D.C.: 2001

[3] G210 陕西境内 K1073~K1100 安全评价报告 [R]. 交通部公路科学研究所, 2004. 4

[4] D Solomon. Accidents on Main Rural Highways Related to Speed, Driver, and Vehicle [R]. Washington, D.C.: Federal Highway Adminis-

tration, 1964

[5] N N Bowie, Jr., M Waltz. Data Analysis of the Speed-Related Crash Issues [J]. Auto and Traffic Safety, 1994

[6] M R Parker, Jr.. Effects of Raising and Lowering Speed Limits on Selected Roadway Sections [R]. Publication NO. FHWA-RD-97-084

[7] V Knowles, B Persaud, M Parker, Jr, G Wilde. Safety, Speed & Speed Management [R]. Ottawa Ontario: Transport Canada, March 1997.

[8] Federal Highway Administration. MUTCD2003: Manual on Uniform Traffic Control Devices [M]. Washington, D.C.: Millennium Edition, 2003.

[9] Elizabeth Alicandri and Davey L Warren. Managing Speed [J]. Public Roads, Federal Highway Administration, January/ February 2003.

[10] AS1742 4-1999 Manual on Uniform Traffic Control Devices, Part 4: Speed controls [S]. 2003, 2

[11] D Webster. Road Humps for Controlling Vehicle Speeds [R]. England: TRL Project Report 18, Transport Research Laboratory, Crowthorne 1993

(上接第 88 页)

高强、干缩小和抗渗性好,施工性能好的特点。

(2) 研制开发出强度等级达到 LC50 高性能轻质桥面混凝土,该材料具有不离析、不泌水,初始坍落度大于 18cm、扩展度高于 50cm,抗渗性能好、收缩小的特点。

(3) LC30~LC40 高性能轻质桥面混凝土成功应用于京珠高速公路蔡甸汉江大桥和湖北远安至当阳一级公路桥,取得了显著的社会与经济效益。

参考文献:

[1] 王发洲, 丁庆军, 等. 影响轻集料混凝土体积干缩的若干因素

研究 [J]. 建筑材料学报, 2003. 6 (4): 431—435.

[2] 冯乃谦, 邢峰. 高性能混凝土技术 [M]. 北京: 原子能工业出版社, 2002

[3] 曹芳, 马保国, 等. 混凝土的渗透性及测试方法的对比分析 [J]. 混凝土, 2002, (10): 15—17.

[4] 张勇, 不同纤维对轻集料混凝土韧性性能影响的研究 [J]. 混凝土, 2002, (5): 30—32

[5] 张勇, 丁庆军, 等. 高强轻集料混凝土泵送和桥面施工技术 [J]. 混凝土, 2002, (1): 20—24