



砂岩机制砂 C50 箱梁混凝土配制 及耐久性能研究

徐文冰^{1,2}, 张坤球³, 胡莉强³, 张柏泉^{1,2}, 秦明强^{1,2}

(1. 中交武汉港湾工程设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430040;

2. 海工结构新材料及维护加固技术湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430040;

3. 广西路建工程集团有限公司, 广西 南宁 530200)

摘要: 根据广西梧柳高速公路工程 C50 箱梁混凝土的设计要求, 结合当地环境的腐蚀特点, 开展了砂岩机制砂与天然河砂配制 C50 箱梁混凝土的配制技术研究。对比分析其在力学性能、抗裂性能、耐久性能及体积稳定性能方面的影响规律。研究表明, 砂岩机制砂配制的 C50 箱梁混凝土工作性能与河砂混凝土相当, 在力学性能、抗压强度、轴心抗压强度及弹性模量方面均体现出优于河砂混凝土的性能特征。在选择适当的胶凝材料用量及掺合料掺量时, 可配制出耐久性与体积稳定性比河砂混凝土更优的砂岩机制砂 C50 箱梁混凝土。

关键词: 砂岩; 机制砂箱梁混凝土; 配合比设计; 力学性能; 耐久性能

中图分类号: U 214.1⁺8

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)08-0043-05

Preparation and durability performance of C50 box girder concrete with sandstone-mechanism sand

XU Wen-bing^{1,2}, ZHANG Kun-qiu³, HU Li-qiang³, ZHANG Bo-quan^{1,2}, QIN Ming-qiang^{1,2}

(1. CCCC Wuhan Harbor Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430040, China;

2. Hubei Key Laboratory of Advanced Materials & Reinforcement Technology Research for Marine Environment Structures, Wuhan 430040, China;

3. Guangxi Road Construction Engineering Group Co., Ltd., Nanning 530200, China)

Abstract: This paper researches the preparation technology of C50 box girder concrete with mechanism sand and natural river sand, according to the engineering design requirements of C50 box girder concrete of Guangxi Wuliu highway engineering, and combining with the corrosion characteristics of the local environment. Comparing and analyzing the mechanical properties, crack resistance, durability performance and volume stability of the two kinds of concretes, we draw the conclusion that the working performance of C50 sandstone-mechanism sand box girders concrete is similar to that of the concrete with natural river sand; the physical performance of the former such as compressive strength, axial compressive strength and elastic modulus are better than that of river sand concrete. Selecting appropriate dosage of the gelled material and the admixture, we can proportion the C50 sandstone-mechanism sand box girder concrete which has better durability performance and volume stability than the river sand concrete

Keywords: sandstone; box girder concrete with mechanism sand; design of mix proportion; physical performance; durability performance

梧州至柳州高速公路横跨金秀大瑶山山脉, 沿线地质条件复杂。为了达到高等级公路技术标准, 需要克服各种不利地形。梧柳高速公路

215.55 km 主线中桥梁隧道总长超过 70 km, 桥隧比高达 34.3%。工程规模巨大, 总投资达 199.6 亿元, 是当前广西在建、拟建高速公路中线路最长、

收稿日期: 2015-05-20

作者简介: 徐文冰 (1985—), 男, 硕士, 工程师, 从事建筑材料研发。

投资规模最大的项目。

梧柳高速公路沿线气候水文环境对混凝土结构工程的作用因素主要涉及温度、风、湿度及其变化(干湿交替)和酸雨、地下水、硫酸盐等对混凝土的腐蚀。同时工程所在地属于亚热带气候,常年平均气温较高,加剧了酸雨及其他腐蚀介质对混凝土的侵蚀作用^[1]。严酷的工程条件对混凝土结构耐久性提出了较高的要求。另外,基于广西地区河砂运输困难,成本较高的特点,有效利用当地矿山资源,开发生产碎石及机制砂具有较高的经济技术性。因此,结合工程箱梁结构的要求及特点开展砂岩机制砂 C50 箱梁混凝土的配制技术、力学性能及耐久性能研究以满足工程使用要求尤为必要和紧迫。

1 试验原材料及试验方法

1.1 原材料

1) 水泥: P II 42.5 硅酸盐水泥,比表面积 330 m²/kg,标准稠度用水量 24.4%,7 d 和 28 d

抗压强度分别为 30.0 MPa 和 54.4 MPa。

2) 粉煤灰: I 级粉煤灰,密度 2.235 g/cm³,细度 2.16%,需水量比 95%,烧失量 2.0%。

3) 矿粉: S95 级矿粉,比表面积 400 m²/kg,流动度比 96%,烧失量 1.9%,28 d 活性指数 105%。

4) 粗集料: 项目部自产的 5~25 mm 连续级配碎石。堆积密度 1 550 kg/m³,针片状含量 6.8%,压碎值 4.2%,吸水率 0.47%。

5) 减水剂: 聚羧酸高性能减水剂,减水率为 29%。

6) 砂: 使用河砂与机制砂进行对比研究。河砂与机制砂性能指标分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 河砂的物理性能指标

细度模数	含泥量/ %	泥块 含量/%	堆积密度/ (kg·m ⁻³)	表观密度/ (kg·m ⁻³)
3.0	1.2	0.2	1 770	2 560

表 2 机制砂的物理性能指标(自产)

母岩	细度模数	石粉含量/%	MB 值	压碎/%	密度/(kg·m ⁻³)		吸水率/%
					堆积	表观	
砂岩	3.0	6.8	0.9	18	1 760	2 640	0.58

1.2 试验方法

混凝土拌合物坍落度测试按 GB/T 50080—2002《普通混凝土拌和物性能试验方法》进行。抗压强度测试按 GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法》进行。C50 箱梁混凝土抗氯离子渗透性能、抗裂性能及收缩性能试验分别按 GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性试验方法》中的快速氯离子迁移系数法(RCM 法)和早期抗裂试验及收缩性能测试方法进行。

2 混凝土配制与性能研究

2.1 混凝土配制目标

C50 混凝土箱梁为预应力结构,是高速公路桥梁中重要的承重结构,其强度等级高,早期需进行张拉,因此配合比设计时综合考虑早期强度高、抗裂性好和体积稳定性好等特点,对混凝土

的性能指标提出如下要求(表 3)。

表 3 C50 梁混凝土技术指标

混凝土等级	坍落度/ mm	和易性	抗压强度/MPa		56 d 电通量/C
			7 d	28 d ^①	
C50	180 ± 20	良好	设计强度 95%	59.8	≤ 1 000

注: ①指箱梁混凝土试配时,根据 $f_{cu,0} = f_{cu,k} + t\sigma$, 配制抗压强度应比设计强度高。

1) 较高的早期强度。混凝土强度等级为 C50,考虑混凝土预应力张拉,要求混凝土早期强度高,混凝土 7 d 抗压强度大于设计值的 95%。

2) 混凝土要有良好的工作性。控制混凝土坍落度为 160~200 mm,并且粘聚性好、不离析、不泌水;混凝土的经时坍落度损失小(1 h 经时损失值小于 10%)。

3) 混凝土外观质量好。箱梁混凝土外观无色差,表面无龟裂纹。

4) 抗氯离子侵蚀: 56 d 电通量小于 1 000 C。

2.2 试验配合比及工作性能

试验分别对不同胶材用量、不同胶材比例和不同水胶比的砂岩机制砂梁高性能混凝土进行配制, 并与 C50 河砂的相关性能进行对比分析, 研究砂岩机制砂与河砂配制混凝土的性能差异。砂岩机制砂梁高性能混凝土的试验配合比及工作性

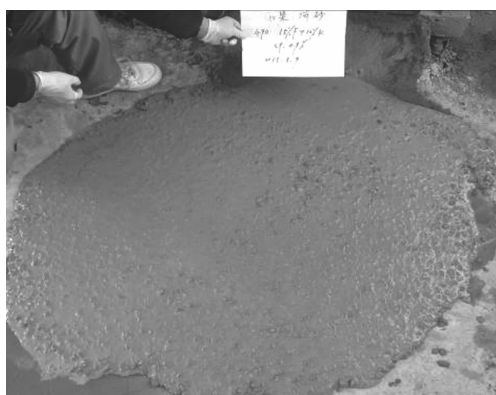
能结果见表 4 和图 1。从表 4 可知, 各组试配混凝土的工作性能均能满足设计要求, 其中 L2 和 L6 二组砂岩机制砂机制砂梁混凝土的工作性能最优, 与河砂混凝土相当。混凝土工作性能随着粉煤灰掺量的增加而增加, 矿粉的加入则会增加混凝土的黏度, 混凝土坍落度与扩展度略有下降。

表 4 C50 梁砂岩机制砂高性能混凝土试验配合比

编号	胶材用量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	水胶比	粉煤灰和 矿粉掺量/%	原材料用量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)						工作性能/mm		
				水泥	粉煤灰	矿粉	砂	碎石	水	外加剂	坍落度	扩展度
L1	480	0.31	15	408.0	72		797	974	148.8	4.80	190	460
L2	480	0.31	25	360.0	120		797	974	148.8	4.80	205	500
L3	480	0.31	15 + 10	360.0	72	48.0	797	974	148.8	4.80	180	450
L4	490	0.30	15 + 10	367.5	73.5	49.0	793	970	147.0	4.90	190	470
L5	490	0.30	10 + 15	367.5	49	73.5	793	970	147.0	4.90	210	480
L6	490	0.30	20 + 10	343.0	98	49.0	793	970	147.0	4.90	200	520
L7	500	0.29	20 + 10	350.0	100	50.0	790	965	145.0	5.00	205	480
L8	500	0.29	10 + 10	400.0	50	50.0	790	965	145.0	5.00	200	485
L 河砂	490	0.30	15 + 10	367.5	73.5	49.0	758	1005	147.0	4.41	205	510



a) 砂岩机制砂混凝土



b) 河砂混凝土

图 1 砂岩机制砂与河砂混凝土状态对比

2.3 力学性能

C50 梁砂岩机制砂高性能混凝土的早期力学性能试验结果如表 5 所示。从表 5 可知, 为了满足梁早期张拉的力学性能要求, L1、L4 ~ L8 组配合比所配制的混凝土的 7 d 抗压强度均达到了设计值 95% 以上, L1、L5 的 7 d 抗压强度达到了 50 MPa。粉煤灰掺量对梁混凝土早期强度影响较大, 随着粉煤灰掺量增加, 混凝土早期抗压强度有所降低。而提高胶材用量和增加水泥用量对提高砂岩机制砂梁混凝土的早期抗压强度有一定的作用。由 28 d 和 56 d 抗压强度数据可以看出, 各试验配合比的抗压强度均已达到配制强度要求且存在一定的富余, 机制砂混凝土的抗压强度与河砂混凝土的抗压强度相当。对比不同粉煤灰和矿粉掺量的抗压强度数据可以看出: 粉煤灰的掺入使早期抗压强度略有降低, 而矿粉的掺入对抗压强度有明显的提高作用。后期混凝土抗压强度受粉煤灰和矿粉掺合料的影响较小, 掺合料掺量的增加对提高混凝土后期强度有利。

表5 C50梁砂岩机制砂高性能混凝土力学性能试验结果

编号	抗压强度/MPa				轴心抗压强度/MPa		弹性模量/ 10 ⁴ MPa	
	3 d	7 d	28 d	56 d	7 d	28 d	7 d	28 d
L1	37.2	52.3	64.5	68.9				
L2	35.1	45.8	61.1	68.4	36.4	47.7	4.01	4.27
L3	34.9	47.2	63.3	67.4	38.8	51.2	4.17	4.35
L4	35.1	49.2	64.8	68.0				
L5	35.4	50.1	67.3	70.1				
L6	32.5	46.0	65.0	69.0	35.9	52.0	3.98	4.12
L7	36.7	49.6	65.5	72.1				
L8	38.5	51.6	68.8	75.7				
L河砂	39.9	50.9	65.1	68.2	38.4	45.9	3.83	4.04

砂岩机制砂混凝土的轴心抗压强度与弹性模量均比同龄期的河砂混凝土高，与河砂相比具有一定的优势。其中L3组28d弹性模量达到 4.35×10^4 MPa，L2组混凝土的7d轴心抗压强度发展较慢，但28d轴心抗压强度和弹性模量均体现出较高的增长，分别达47.7 MPa和 4.27×10^4 MPa，呈现出良好的力学性能。

砂岩机制砂具有颗粒粗糙、棱角多、骨料强度大及坚固性好的特点，在利用砂岩机制砂配制混凝土时，其机制砂多棱角的特点使得骨料见嵌集咬合作用更明显，表现出比河砂更优的骨架作用。而粗糙的表面能提高骨料与水化硅酸钙凝胶之间的界面粘接作用，也提高其界面过渡区的强度，对混凝土的强度发展及弹性模量的发展均起到积极的作用。

2.4 抗氯离子渗透性能

C50梁砂岩机制砂高性能混凝土抗氯离子渗透性能试验结果见图2。由图2可以看出，机制砂混凝土的抗氯离子渗透性能与河砂混凝土的抗氯离子渗透性能均能满足设计要求。总体而言，河

砂混凝土的抗氯离子渗透性能略优于砂岩机制砂混凝土，但通过调整粉煤灰和矿粉掺量，砂岩机制砂混凝土的抗氯离子渗透可达到河砂混凝土相当的性能。而对比L6、L7可以看出，部分机制砂混凝土的抗渗性能甚至优于河砂。胶材用量和胶材比例对C50梁混凝土抗氯离子渗透性能有较大的影响，对比L1~L3与L4~L6的电通量数据得出，胶材用量越大，混凝土抗氯离子渗透性能越优。对比L4~L8各组电通量数据得出，相比粉煤灰，矿粉能够更有效地提高混凝土的抗氯离子渗透性能，矿粉掺量越多，混凝土抗氯离子渗透能力越强。

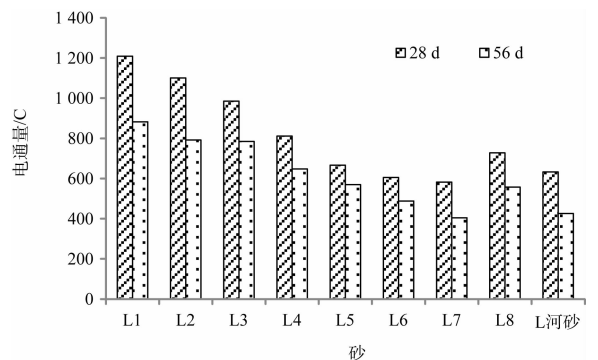


图2 C50梁砂岩机制砂高性能混凝土抗氯离子渗透性能试验结果

2.5 抗裂性能

C50梁砂岩机制砂高性能混凝土的早期平板法抗裂性能试验结果如表6所示。从试验结果可知，各组C50梁混凝土配合比抗裂性能均为L-IV级，其中，L2、L5、L8开裂面积依次增大。随着胶凝材料和水用量的增加，梁混凝土水化热增大，开裂风险也更大，而L2与L3在胶凝材料相同时，掺入矿粉较多的L3比粉煤灰掺量较多的L2抗开裂性能略好，但均能满足要求。

表6 机制砂C50梁海工混凝土早期抗裂性能

编号	胶凝材料及比例	早期抗裂评价指标			
		n/根	a/(mm ² ·根 ⁻¹)	b/(根·m ⁻²)	c/(mm ² ·m ⁻²)
L2	480(75:25:0)	1	28.4	6.35	180
L3	480(75:15:10)	1	26.3	8.41	221
L5	490(75:10:15)	1	23.5	9.20	216
L8	500(70:15:15)	1	30.2	8.25	249
L河砂	490(75:15:20)	2	48.6	4.12	200

2.6 收缩性能

不同胶材用量和胶材比例的 C50 梁砂岩机制砂高性能混凝土干燥收缩性能见图 3。由图 3 可以看出, 胶凝材料用量较多时 (500 kg/m^3) 比胶凝材料较少时 (480 kg/m^3) 的混凝土早期收缩略大, 粉煤灰对梁砂岩机制砂混凝土的早期干燥收缩具有一定的影响: 掺量越多, 干燥收缩率越大, 而矿粉能改善混凝土早期的收缩性能。河砂混凝土的早期收缩略低于砂岩机制砂混凝土, 但后期砂岩机制砂混凝土 (L5) 的收缩低于河砂混凝土, 表现出良好的体积稳定性。混凝土早期收缩主要受胶凝材料用量的影响较大, 机制砂的骨架作用并不明显, 而在后期, 机制砂粗糙的表面, 骨料间的嵌集咬合作用更明显, 并且机制砂中的石粉也对混凝土起到一定的填充作用, 使得混凝土内部孔隙率降低, 密实性增加, 混凝土具有良好的体积稳定性^[2-4]。

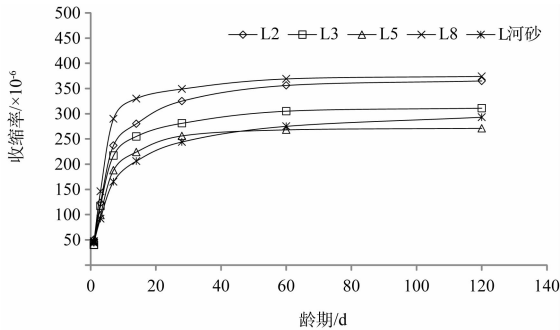


图 3 C50 梁砂岩机制砂高性能混凝土收缩性能

3 结论

1) 砂岩机制砂配制的 C50 箱梁混凝土工作性能与河砂混凝土相当, 具有良好的施工性能。

2) 砂岩机制砂混凝土具有良好的力学性能, 在抗压强度、轴心抗压强度及弹性模量方面均优于河砂混凝土。

3) 砂岩机制砂的抗氯离子渗透性能、抗裂性能和收缩性能与河砂混凝土相当, 在选择适当的胶凝材料用量及掺合料掺量时, 可配制出耐久性与体积稳定性比河砂混凝土更优的砂岩机制砂 C50 箱梁混凝土。

4) 砂岩机制砂具有颗粒粗糙、棱角多、骨料强度大及坚固性好的特点, 在利用砂岩机制砂配制混凝土时, 其机制砂多棱角的特点使得骨料见嵌集咬合作用更明显, 表现出比河砂更优的骨架作用。而粗糙的表面能提高骨料与水化硅酸钙凝胶之间的界面粘接作用, 也提高其界面过渡区的强度。并且机制砂中的石粉也对混凝土起到一定的填充作用, 使得混凝土内部孔隙率降低、密实性增加, 对混凝土的强度发展、弹性模量的发展及体积稳定性均起到积极的作用。

参考文献:

- [1] 张小伟, 肖瑞敏, 张雄, 等. 粉煤灰掺量对混凝土收缩的影响及作用机理分析[J]. 混凝土与水泥制品, 2005(4): 14-16.
- [2] 徐文冰, 秦明强, 占文, 等. 机制砂特性对 C50 管片混凝土性能的影响[J]. 混凝土世界, 2013(2): 77-82.
- [3] 范莲花. 矿渣微粉对混凝土收缩性能的影响[J]. 应用技术, 2007(5): 80-81.
- [4] 蒋正武, 孙振平, 梅世龙, 等. 矿物掺合料对机制砂砂浆性能的影响[J]. 粉煤灰综合利用, 2006(5): 17-19.

(本文编辑 郭雪珍)

征订通知

2016 年《水运工程》杂志征订工作已经开始, 订阅方式请登录《水运工程》杂志社官方网站: www.sygc.com.cn, 首页下载中心下载 2016 年《水运工程》征订通知单, 有关要求和反馈信息一应俱全。