

高含量石粉机制砂对隧道二衬混凝土性能影响试验研究

夏吉涛¹, 王海彦², 战启芳², 宓荣三²

(1. 中铁二十一局集团有限公司, 甘肃 兰州 730015; 2. 石家庄铁路职业技术学院, 河北 石家庄 050041)

摘要: 随着混凝土用量急速增长, 必将引起天然砂的过量开采, 对自然环境造成破坏, 如何正确使用机制砂替代河砂成为混凝土行业可持续发展的必然趋势。针对云南地区隧道二衬混凝土处于侵蚀环境特点, 以拟配 C40 混凝土为研究对象, 在胶凝材用量、水胶比、砂率均相同的条件下, 分别掺入 0%、15%、25%、35%、45% 和 55% 的机制砂等量替代天然砂, 研究不同的机制砂替代率下混凝土的工作性能和力学性能的变化规律, 从而找到适用于隧道二衬混凝土的机制砂最佳替代率为 35% 左右, 在该掺量下混凝土的工作和力学性能均有好的发挥。

关键词: 机制砂; 石粉; 隧道二衬混凝土; 工作性能; 力学性能

中图分类号: TU528 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2015)01-0058-05

0 引言

砂作为混凝土的主要原材料之一, 包括天然砂和机制砂两大类。受自然资源的限制, 以河砂为主的天然砂越来越无法满足日益增长的混凝土用量的需求, 尤其在我国西南地区。另外因过量的开采天然砂源, 对自然环境所造成的压力也日益增加, 使用机制砂替代河砂在国内外已成为混凝土行业可持续发展的一种趋势。机制砂已经在砂浆、混凝土、砌块中已经得到一定程度的应用, 尤其在云南、贵州等河砂自然资源短缺的地区。

机制砂是指岩石经除土开采、机械破碎、筛分而成的, 公称粒径小于 5 mm 的岩石颗粒。机制砂一般是由石灰岩碎石加工场筛分出来的石屑, 是碎石厂的边角废料, 粉状颗粒含量偏多, 其中公称粒径小于 80 μm 的颗粒含量远远超出人工砂粉状颗粒含量 $\leq 7\%$ 的指标。

使用机制砂替代混凝土中的天然砂的研究, 已有不少工程技术人员做过相关试验研究和探索。但以往的试验都是完全以机制砂作为混凝土的细骨料, 由于机制砂的石粉含量过大, 混凝土的需水量较大、工作性较差、强度下降, 难以满足隧道二衬混凝土施工需要, 故机制砂不适宜作为泵送混凝土的细骨料利用。如果在天然砂中掺入一定量的机制砂作为混凝土的细骨料, 而又不降低混凝土的各项性能, 则既可以解决天然砂紧缺的局面, 又可以降低混凝土的成本, 同时还减少对环境的污染^[1-6]。

大广线祥云隧道位于云南省大理市祥云县境内, 隧道全长 6 940 m, 隧道初期支护喷射混凝土和二衬模筑混凝土用量达 14 万 m^3 , 但当地天然砂缺乏, 需由外地远运, 成本太高。用机制砂部分取代天然砂, 不仅起到降低成本, 减少了使用天然砂而对产砂地的环境破坏, 还有效利用了碎石场的废料, 具有较高的经济效益和社会效益。

收稿日期: 2014-11-03 责任编辑: 刘宪福 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxsbzrb.2015.01.12

作者简介: 夏吉涛(1965-), 男, 高级工程师, 主要从事土木工程施工与管理。E-mail: 525850632@qq.com

通讯作者: 王海彦(1975-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为隧道与地下工程。E-mail: why8621@163.com

基金项目: 河北省教育厅重点资助课题(ZD2014093); 河北省人才工程培养经费资助科研课题(2013-41)

夏吉涛, 王海彦, 战启芳, 等. 高含量石粉机制砂对隧道二衬混凝土性能影响试验研究[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2014, 28(1): 58-61.

1 试验用原材料

1.1 水泥

本试验选用云南大理水泥 P·O42.5 ,其主要性能指标见表 1。

表 1 水泥主要的物理力学性能

比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	标准稠度 用水量/%	凝结时间(h: min)		安定性	强度/MPa			
		初凝	终凝		3 d 抗折	3 d 抗压	28 d 抗折	28 d 抗压
360	29.6	3:35	4:31	合格	6.1	25.6	9.3	48.3

1.2 粉煤灰

本试验选用云南大理白族自治州电厂生产的Ⅱ级粉煤灰 ,其主要的技术性能指标见表 2。

表 2 粉煤灰主要的技术性能指标

需水 量比/%	烧失 量/%	比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	SiO ₂ /%	Al ₂ O ₃ /%	Fe ₂ O ₃ /%	CaO/%	MgO/%	水分/%	SO ₃ /%	FCaO/%
31.0	5.3	500	54.12	25.26	5.64	3.66	2.18	0.7	0.76	0.85

1.3 天然砂及机制砂

本试验选用的天然砂为云南大理中粗河砂 ,机制砂采用从当地碎石场筛分出来的石灰岩石屑。其主要品质指标见表 3。

表 3 中砂主要品质指标

种类	细度模数	表观密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	含泥量/%	泥块含量/%	石粉含量/%
天然砂	2.6	2 600	0.3	0.0	—
机制砂	3.3	2 645	0.1	0.0	13.5

1.4 碎石

本试验选用云南祥云生产连续级配粗细 3 种碎石 ,按 2: 5: 3 的比例复配而成 ,一种碎石的粒径 5 ~ 10 mm ,一种碎石的粒径 10 ~ 20 mm ,另一种碎石的粒径 16 ~ 25 mm ,粗骨料的筛分试验结果如表 4 所示 ,性能参数如表 5 所示。

表 4 碎石筛分试验结果

项目	筛孔尺寸/mm			
	25	16	5	2.5
标准	0 ~ 5	30 ~ 70	90 ~ 100	95 ~ 100
实测	4.1	59.4	98.3	98.5

表 5 碎石性能参数

针、片状含量/%	压碎指标值/%	表观密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	堆积密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	空隙率/%	含泥量/%
2.1	8.8	2 760	1 450	42	0.10

1.5 减水剂和拌合水

本试验所用减水剂为巴斯夫中国化学建材有限公司生产的聚羧酸高效减水剂 ,外观颜色是棕红色 ,减水率 28% ,坍落度保持能力为 2.0 h ,坍落度 2 h 损失不超过 80 mm。其主要性能指标见表 6。

表 6 高效减水剂主要的技术性能指标

密度/($\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$)	PH 值	固含量	7 d 抗压强度比/%	28 d 抗压强度比/%
1.014	7.2	14.0	≥115	≥110

水是混凝土的重要组成部分 ,用水量的多少和水质好坏 ,会对混凝土性能产生很大影响 ,本试验拌合用水为洁净自来水 ,各项指标均满足要求。

2 试验方案及配合比设计

2.1 试验方案设计

祥云隧道处于侵蚀环境中 ,二衬混凝土设计强度等级为 C40 ,故本实验以拟配 C40 混凝土为研究对

象,试验研究在胶凝材用量、水胶比、砂率均相同的条件下,分别掺入 0%、15%、25%、35%、45% 和 55% 的机制砂等量替代天然砂,研究不同的机制砂替代率下混凝土的工作性能和力学性能,以找出机制砂掺入的最佳比例。

2.2 配合比设计

拟配 C40 混凝土配合比设计主要参数为:胶凝材用量 420 kg、水胶比 0.40、砂率 40%,由于当地矿粉资源紧缺,质量不稳定,所以胶凝材料中只掺入粉煤灰,用粉煤灰等量替代 20% 的水泥,减水剂均按胶凝材量的 1.2% 掺入。试验所采用的详细配合比见表 7。

表 7 不同机制砂替代率的混凝土配合比

试件编号							kg · m ⁻³		
	水泥	粉煤灰	石	水	减水剂	砂总量	天然砂	机制砂	替代率/%
S0	336	84	1087	168	5.0	725	725	0	0
S1	336	84	1087	168	5.0	725	616	109	15
S2	336	84	1087	168	5.0	725	544	181	25
S3	336	84	1087	168	5.0	725	471	254	35
S4	336	84	1087	168	5.0	725	399	326	45
S5	336	84	1087	168	5.0	725	326	399	55

3 试验结果与分析

3.1 试验结果

按表 6 配合比配制不同机制砂替代率的混凝土并制作成标准立方体试件,测试不同机制砂替代率的混凝土工作性能和不同龄期的混凝土力学性能,试验结果见表 8 和图 1 ~ 图 4。

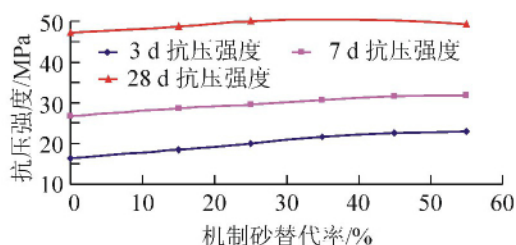


图 1 不同替代率下混凝土各龄期强度变化曲线

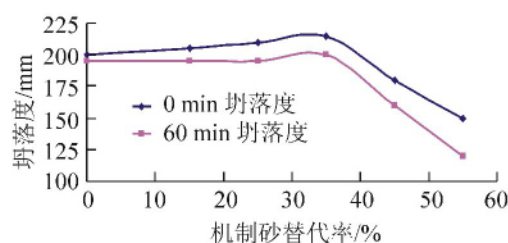


图 2 不同替代率下混凝土坍落度变化曲线

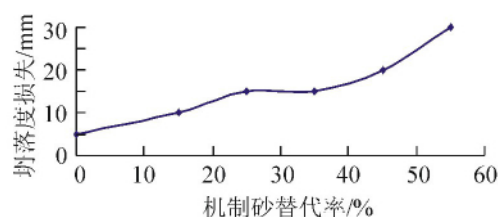


图 3 不同替代率下混凝土坍落度损失变化曲线

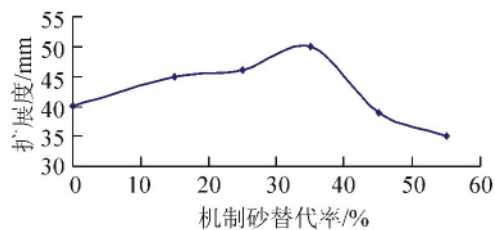


图 4 不同替代率下混凝土扩展度变化曲线

表 8 不同机制砂替代率的混凝土工作性能和力学性能试验结果

试件编号	抗压强度/MPa			坍落度/mm		扩展度/mm	和易性
	3 d	7 d	28 d	0 min	60 min		
S0	16.4	26.7	47.2	200	195	40	一般
S1	18.5	28.6	48.7	205	195	45	好
S2	20.0	29.6	50.0	210	195	46	好
S3	21.7	30.7	50.4	215	200	50	很好
S4	22.5	31.6	50.2	180	160	39	一般
S5	22.9	31.8	49.3	150	120	35	差

3.2 结果分析

3.2.1 机制砂掺入量对混凝土力学性能的影响

由表 8 和图 1 可以看出,随着机制砂掺入量的增大,混凝土的早期抗压强度逐步提高,3 d 抗压强度

增长显著;而在机制砂替代率不超过 45% 时,混凝土 28 d 抗压强度逐步提高,在替代率超过 45% 后 28 d 抗压强度开始下降。

因机制砂中的石粉不具有活性,石粉的微细颗粒在水泥水化物的结晶中只起微集料填充的作用,增加混凝土的密实度,改善了混凝土的孔隙特征,改善了骨料与水泥浆体之间的界面结构,适量的机制砂替代率可提高混凝土的抗压强度。但当机制砂替代率较大时,由于细集料中粉体颗粒含量偏高,致使粗颗粒含量偏少,颗粒级配变差,减弱了混凝土的骨架支撑作用。因此,过量的机制砂替代率会影响混凝土后期强度^[1-2]。

3.2.2 机制砂掺入量对混凝土工作性能的影响

由表 8 和图 2 ~ 图 4 可以看出,当河砂中机制砂掺入量小于 35% 的混凝土初始坍落度与基准混凝土相差不大,1 h 混凝土坍落度保持一致,在坍落度经时损失量不大于 15 mm。而从和易性目测结果来看,在机制砂替代率小于 35% 时,随着机制替代率的增大,混凝土的和易性也在逐步变好,混凝土的泵送性更佳。而当机制砂替代率大于 35% 时,混凝土的初始坍落度下降迅速,1 h 的坍落度损失量增大较快。

机制砂与天然砂相比,由于其含有较多的石粉,在混凝土中以惰性微粉颗粒的形式存在,相当于增大了混凝土中的胶凝材料;这种胶凝材料虽不具有水化活性,但在新拌混凝土中起到一定的滚珠作用,在河砂中掺入量在某一范围内能够增加混凝土的流动性,使混凝土的工作性明显改善。但因为机制砂是由天然石材经机械破碎、筛分制成,其颗粒表面粗糙、棱角突出,且石屑颗粒内部微裂纹较多、空隙大,当机制砂替代率较大时,机制砂以上的缺点将显露出来。若机制砂的替代率较大时,会极大地增加单方混凝土细集料的总表面积,从而增加单方混凝土的需水量,导致混凝土的工作性能下降^[1]。

4 结论

(1) 在天然河砂中掺入 0% ~ 35% 的机制砂,混凝土的初始坍落度相差不大,1 h 的混凝土坍落度损失量保持一致,随着掺量的增加混凝土的扩展度有所增加,而当机制砂替代率大于 35% 时,混凝土的初始坍落度下降迅速,1 h 的坍落度损失量增大较快,说明适量掺入机制砂可改善混凝土的和易性。

(2) 机制砂替代部分天然砂在不同替代率下,均可有效提高混凝土的早期抗压强度;机制砂在不大于 35% 范围内等量替代天然砂时,混凝土 3 d、7 d 和 28 d 抗压强度均得到有效提高,当替代率超过 35% 后,28 d 抗压强度开始下降。

(3) 机制砂等量替代部分天然砂其替代率达到 35% 后,混凝土的工作性能开始下降,28 d 抗压强度没有提高,说明机制砂等量替代部分天然砂的最佳替代率在 35% 左右。

参 考 文 献

- [1] 陈卓利. 石粉对混凝土性能影响的试验研究[J]. 广西城镇建设, 2007(7): 65-68.
- [2] 何盛东, 刘立新, 王华, 等. 不同替代率下机制砂混凝土抗压强度的试验研究[J]. 混凝土, 2010(10): 109-111.
- [3] 陈正发, 刘桂凤, 秦彦龙, 等. 恶劣环境下机制砂混凝土的强度和耐久性能[J]. 建筑材料学报, 2012, 15(3): 391-394.
- [4] 陈正发, 刘桂凤, 马建. 机制砂混凝土在冻融循环下的强度和耐久性研究[J]. 混凝土, 2011(7): 79-81.
- [5] 张胜, 周以林. 基于正交试验的机制砂混凝土配合比设计与研究[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(5): 1097-1102.
- [6] 郑怡, 张耀庭. 石灰岩质机制砂混凝土收缩徐变性能的试验研究[J]. 土木工程学报, 2013, 46(12): 59-65.

(下转第 81 页)

- [7]王琦,梁云仙,陈兴龙,等. 预烧蚀双脉冲激光诱导 Fe 等离子体发射光谱的实验研究[J]. 中国激光, 2011, 38(12): 1215001.
- [8]NIST. Atomic Spectra Database [EB/OL]. (2008-08-28). [2014-10-05]. <http://www.physics.nist.gov/physRefData/ASD/lines-form.html>.
- [9]Nagli L, Gaft M, Gornushkin I. Comparison of single and double-pulse excitation during the earliest stage of laser induced plasma[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2011, 400: 3216.

Spectrum Experimental Research on Double-Pulse Laser Induced Soil Plasma

Guo Rui¹, Song Haiyan²

(1. College of Arts and Sciences, Shanxi Agricultural University, Taigu Shanxi 030801, China;

2. College of Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu Shanxi 030801, China)

Abstract: The Nd-YAG pulse lasers with wavelength of 532 nm and 1 064 nm are used as excitation source, and with the echelle spectrometer and intensity charge-coupled device (ICCD) as the spectral acquisition and detection devices, an analysis is made of the influence laser pulse interval and integral time delay on Pb element laser induced breakdown plasma emission spectrum in soil. The experimental results show that the plasma spectral line intensity excited by double-pulse laser has an overall lift compared with single pulse, the spectral line intensity has a peak in 0 ~ -20 μs pulse interval range, when the pulse interval is -15 μs, Pb element plasma spectral enhancement effect is best; the plasma emission spectral line intensity of different pulse interval shows a attenuation trend with the increase of the integral time delay, the bigger the pulse interval, the greater the attenuation rate. Based on the index curve fitting of Pb element plasma spectral line intensity and integral delay, the double-pulse LIBS plasma spectrum attenuation time of -5 μs pulse interval is obtained and is about 1.5 times to -15 μs pulse interval.

Key words: double-pulse; laser-induced; plasma; pulse interval; integral time

(上接第 61 页)

Experiment Study on Influence of Manufactured Sand with High Limestone Powder Content on Tunnel Lining Concrete Performance

Xia Jitao¹, Wang Haiyan², Zhan Qifang², Mi Rongsan²

(1. China Railway 21st Bureau Group Co., Ltd Lanzhou 730015, China;

2. Shijiazhuang Vocational College of Railway Technology, Shijiazhuang 050041, China)

Abstract: With the development of national infrastructure, the use of concrete has been increasing sharply, which leads to excessive exploitation of natural sand. It would result in serious damage of the environment. Regarding sustainable development of the concrete industry, there is an inevitable trend of using the artificial sand correctly to replace river sand. In view of the erosive environment of tunnel lining concrete in Yunnan Province and the study of making C40 concrete under the same conditions of the gelled material dosage, water-blinder ratio and sand ratio, the concrete is mixed with 0%、15%、25%、35%、45% and 55% of manufactured sand in place of natural river sand, respectively to investigate variation rules of working performance and mechanical function of tunnel lining concrete with diverse substitute rate. The result shows that the best substitute rate of manufactured sand is about 35%, with which the working performance and mechanical function of the concrete works well.

Key words: manufactured sand; limestone powder; tunnel lining concrete; working performance; mechanical performance