

# 机制砂 T 梁 C55 混凝土配制及性能研究

徐 鑫<sup>1</sup>, 夏京亮<sup>2</sup>, 周永祥<sup>2</sup>, 冷发光<sup>2</sup>, 吴振兴<sup>1</sup>

(1.中交隧道工程局有限公司,北京 100102;2.中国建筑科学研究院,北京 100013)

**摘 要:** 针对肯尼亚“一带一路”建设工程内马铁路项目沿线缺乏河砂的现状,采用肯尼亚当地原材料,从胶凝材料体系优化、粉煤灰掺量、砂率、机制砂石粉含量等对混凝土工作性、力学性能和耐久性影响的角度对机制砂 T 梁 C55 混凝土配合比进行了研究。结果表明:采用机制砂可以配制出满足现行铁路标准要求的 T 梁 C55 混凝土,砂率在 36%~44%之间,抗压强度均满足 C55 混凝土的设计强度,砂率 36%、38%时混凝土轻微泌水及流动性稍差,砂率 40%~44%混凝土状态较好,石粉含量 3.2%的机制砂混凝土出现泌水现象,结合标准要求和试验情况,石粉含量推荐控制在 5%~7%。机制砂混凝土含气量小于河砂混凝土,密度比河砂混凝土大,机制砂混凝土抗压强度比河砂混凝土大,但是相差不多,机制砂 T 梁 C55 混凝土耐久性与河砂混凝土相差不多。

**关键词:** 一带一路;内马铁路;机制砂;T 梁混凝土

**中图分类号:** TU528.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-3550(2019)04-0134-04

Study on the preparation and properties of C55 concrete of mechanism sand T beam

XU Xin<sup>1</sup>, XIA Jingliang<sup>2</sup>, ZHOU Yongxiang<sup>2</sup>, LENG Faguang<sup>2</sup>, WU Zhenxing<sup>1</sup>

(1.CCCC Tunnel Engineering Company Limited, Beijing 100102, China;

2.China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Accord to the present situation of Kenya The Belt and Road Kenya Nairobi-Naivasha Standard Gauge Railway Project construction project along the river sand by lack of local raw materials, Kenya, from the angle of cementitious material system optimization, fly ash, sand, sand content rate mechanism on workability, mechanical properties and durability influence mechanism of sand T beam C55 concrete mix ratio was studied. The results show that the prepared T beams C55 concrete meet the standard requirements of the current railway adopts the mechanism of sand, sand ratio between 36%~44%, the compressive strength could meet the design strength of C55 concrete, 36% sand ratio and 38% concrete slight bleeding and less liquid, sand ratio 40%~44% better mixed concrete. Machine-made sand the concrete content of 3.2% powder bleeding, according to the standard requirements and test conditions, the content of stone powder recommended control in 5%~7%. The mechanism of sand concrete containing gas is less than the river sand concrete, bulk density than river sand concrete. The compressive strength of manufactured sand concrete than river sand concrete, but not much difference, mechanism of sand T beam C55 concrete river sand concrete durability with little difference.

**Key words:** The Belt and Road Initiative, Kenya Nairobi-Naivasha Standard Gauge Railway Project, manufactured sand, T beam concrete

## 0 引言

当前,我国正在积极推进“一带一路”发展战略,肯尼亚是“一带一路”战略东非布局的首站,蒙内铁路已建成通车,作为延长线的内马铁路正在建设,内马铁路是继蒙内铁路之后继续完全采用中国标准设计施工、中国技术集成、中国管理经验、中国机电设备建造的又一条国际干线铁路,项目建设将进一步夯实中国铁路标准在东非乃至整个非洲推广应用的基础。另外,内马铁路将与蒙内铁路和乌干达境内铁路接轨,并逐步与坦桑尼亚、卢旺达、布隆迪、南苏丹等国家的铁路实现联网,构成东非公共交通的“大动脉”,进一步推动东非次区域互联互通和一体化进程。

收稿日期:2018-02-05

基金项目:国家科技支撑计划项目课题(2016YFC0701000)

肯尼亚大部分地区常年干旱,河流较少且水流量不大,河砂匮乏,且存在含泥量和泥块含量过大、轻物质含量和有机物含量过多等质量问题,同时肯尼亚非常注重环境保护,其多个郡都有限制或禁止开采河砂的法律,而且内马铁路工程沿线缺少可以开采利用的河砂,采用机制砂是必然的选择。机制砂与河砂有较大差异,机制砂颗粒由于具有棱角、形状不规则,含有不少针片状颗粒。机制砂颗粒相互咬合,流动阻力大,因而拌制的混凝土工作性较差,易产生离析,机制砂颗粒间的咬合作用能够提高混凝土的抗折强度和抗拉强度,对混凝土的变形有限制作用;机制砂表面较粗糙,粗糙的表面增加颗粒流动阻力而对工作性产生不利影响,但也增加了集料与水泥浆之间的

黏结强度,同时粗糙的表面会增加吸水率,影响混凝土用水量和坍落度损失等性能,机制砂级配不良,通常是两头多中间少,即粗颗粒(2.36 mm 以上)和细颗粒(0.15 mm 以下)较多,但中间颗粒(尤其是 1.18~0.3 mm 之间)较少,配制的混凝土易于离析泌水,对混凝土强度和耐久性也有不利影响<sup>[1-5]</sup>。

机制砂在铁路混凝土中的应用研究多集中在涵洞和桥梁下部结构,用于 T 梁预制高强混凝土的相对较少<sup>[6-9]</sup>。本研究从胶凝材料体系优化、粉煤灰掺量、砂率、机制砂石粉含量等对混凝土工作性、力学性能和耐久性影响的角度对机制砂 T 梁 C55 混凝土配合比及其性能进行了研究。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验原材料

本试验混凝土主要使用如下原材料进行配制:

水泥:采用肯尼亚拉法基集团控股 Bamburi 水泥厂生产的 CEM I 52.5 水泥,生产执行的标准为 EN 197-1,初凝 155 min,终凝 255 min,3、28 d 抗压强度分别为 27.2、58.6 MPa,比表面积 320 m<sup>2</sup>/kg。

粉煤灰:采用印度 I 级粉煤灰,细度(45 μm 筛余)10.1%,需水量比 85%,烧失量 1.45%。

细骨料:机制砂,内马铁路 DK143 料场生产,表观密度 2 840 kg/m<sup>3</sup>,吸水率 1.6%,压碎值 5%,细度模数 2.6,石粉含量 6.1%,MB 值 0.9,级配见图 1;对比用河砂为肯尼亚河砂,细度模数 2.5,级配见图 1。

粗骨料:内马铁路 DK143 料场生产 5~20 mm 连续级配碎石,岩性为玄武岩,母材强度 160 MPa,表观密度 2 840 kg/m<sup>3</sup>,吸水率 1.2%,压碎值 6%,针片状含量 3%。

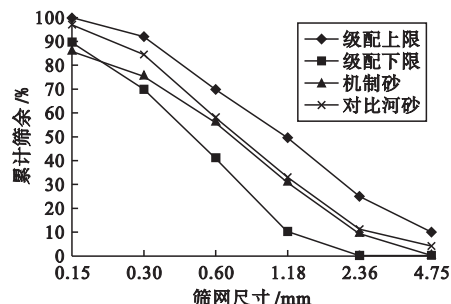


图 1 细骨料级配曲线

减水剂:国内某聚羧酸减水剂,固含量 30%,减水率 29.3%。

### 1.2 试验方法

混凝土工作性能按照 GB/T 50080—2002《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》进行,力学性能按照 GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》进行,长期性能和耐久性能按照 GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 混凝土工作性和力学性能

#### 2.1.1 胶凝材料体系优化

根据机制砂含有一定的石粉、颗粒表面较粗糙的特点,优化胶凝材料体系,试验配合比见表 1,混凝土抗压强度见图 2。由图 2 试验结果可知,随着胶凝材料用量的增加和水胶比的降低,混凝土各龄期抗压强度均增加,28 d 龄期时,3 个胶凝材料用量的混凝土强度均满足 C55 混凝土的设计要求,考虑强度要一定的富余及成本,推荐胶凝材料用量 480 kg/m<sup>3</sup>,水胶比 0.30。

表 1 胶凝材料体系变化 T 梁混凝土配合比

编号	水胶比	胶凝材料用量/(kg/m <sup>3</sup> )	水泥/(kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰/(kg/m <sup>3</sup> )	砂/(kg/m <sup>3</sup> )	碎石/(kg/m <sup>3</sup> )	水/(kg/m <sup>3</sup> )	减水剂/(kg/m <sup>3</sup> )
LJ-1	0.31	465	388	77	752	1 129	144	5.58
LJ-2	0.30	480	400	80	746	1 120	144	5.76
LJ-3	0.29	495	412	83	740	1 110	144	5.94

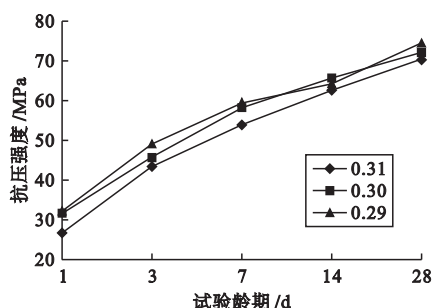


图 2 不同胶凝材料 T 梁混凝土的抗压强度

#### 2.1.2 粉煤灰掺量的影响

保持胶凝材料总量不变,调整粉煤灰掺量,试验不同

粉煤灰掺量对 T 梁用机制砂混凝土性能的影响,试验配合比见表 2,混凝土抗压强度见图 3。由图 3 试验结果可知,在水胶比固定条件下,粉煤灰等量取代水泥,混凝土抗压强度随粉煤灰取代率的增加而降低,早期抗压强度下降幅度较大,28 d 抗压强度下降幅度较小。T 梁混凝土对早期强度要求较高,粉煤灰掺量不易过大,而粉煤灰对提高混凝土耐久性贡献较大,掺量也不易过小,综合考虑,推荐粉煤灰掺量 16%。

#### 2.1.3 砂率的影响

鉴于机制砂含有石粉且细度模数偏大,考虑适当提高砂率,试验不同砂率对 T 梁机制砂混凝土性能的影响。试

表 2 不同粉煤灰掺量 T 梁混凝土配合比

编号	粉煤灰掺量/%	水泥/(kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰/(kg/m <sup>3</sup> )	砂/(kg/m <sup>3</sup> )	碎石/(kg/m <sup>3</sup> )	水/(kg/m <sup>3</sup> )	减水剂/(kg/m <sup>3</sup> )
LJ-4	11	424	56	746	1 120	144	5.76
LJ-2	16	400	80	746	1 120	144	5.76
LJ-5	21	376	104	746	1 120	144	5.76

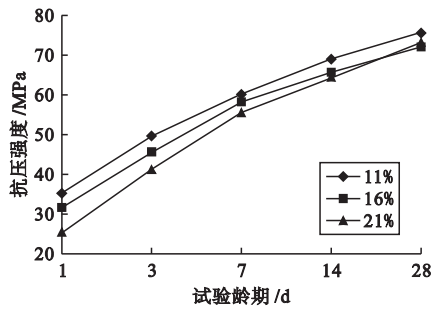


图3 不同粉煤灰掺量T梁混凝土的抗压强度

表3 不同砂率T梁混凝土配合比

编号	砂率/%	水泥/(kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰/(kg/m <sup>3</sup> )	砂/(kg/m <sup>3</sup> )	碎石/(kg/m <sup>3</sup> )	水/(kg/m <sup>3</sup> )	减水剂/(kg/m <sup>3</sup> )
LJ-6	36	400	80	672	1 194	144	5.76
LJ-7	38	400	80	709	1 157	144	5.76
LJ-2	40	400	80	746	1 120	144	5.76
LJ-8	42	400	80	784	1 082	144	5.76
LJ-9	44	400	80	821	1 045	144	5.76

表4 不同砂率T梁混凝土工作性和抗压强度

编号	抗压强度/MPa					坍落度/mm	工作性描述
	1 d	3 d	7 d	14 d	28 d		
LJ-6	29.2	49.1	57.8	67.2	74.1	160	轻微泌水
LJ-7	32.1	47.4	55.6	64.1	75.1	160	流动性偏差
LJ-2	31.6	45.6	58.6	65.8	72.2	170	黏聚性好、流动性好
LJ-8	28.4	46.2	53.1	62.3	72.7	170	黏聚性好、流动性好
LJ-9	25.3	44.9	52.3	61.6	71.4	165	黏聚性好

(MB<1.40), 国标规定(GB/T 14684—2011《建筑用砂》)石粉含量≤10%即可, 铁路混凝土预T梁的标准TB/T 3043—2005 机制砂参照标准JGJ 52—2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》规定石粉含量≤7%。试验不同石粉含量对机制砂T梁混凝土强度的影响, 试验配合比见表5, 混凝土工作性和抗压强度见表6和图5。由表6和图5试

表5 不同机制砂石粉含量T梁混凝土配合比

编号	石粉含量/%	水泥/(kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰/(kg/m <sup>3</sup> )	砂/(kg/m <sup>3</sup> )	碎石/(kg/m <sup>3</sup> )	水/(kg/m <sup>3</sup> )	减水剂/(kg/m <sup>3</sup> )
LJ-10	3.2	400	80	746	1 120	144	5.76
LJ-2	6.1	400	80	746	1 120	144	5.76
LJ-11	10.0	400	80	746	1 120	144	5.76

表6 不同机制砂石粉含量T梁混凝土工作性和抗压强度

编号	抗压强度/MPa					坍落度/mm	工作性描述
	1 d	3 d	7 d	14 d	28 d		
LJ-10	34.7	52.8	59.8	68.6	75.2	140	泌水
LJ-2	31.6	45.6	58.6	65.8	72.2	170	黏聚性好、流动性好
LJ-11	28.3	44.9	55.2	64.3	70.6	165	黏聚性好、流动性好

### 2.1.5 机制砂与河砂对比

采用河砂与机制砂进行对比试验, 试验配合比见表7, 混凝土工作性见表8, 混凝土力学性能见表9。由表8、9试验结果可知, 机制砂混凝土含气量小于河砂混凝土, 密度比河砂混凝土大, 机制砂混凝土抗压强度比河砂混凝土大, 但是相差不多, 均满足C55混凝土力学性能要求。

验配合比见表3, 混凝土抗压强度和工作性见表4和图4。由表4和图4试验结果可知, 砂率对混凝土抗压强度具有一定的影响, 砂率在36%~44%之间, 抗压强度均满足C55混凝土的设计强度, 砂率36%、38%时混凝土轻微泌水及流动性稍差, 砂率40%~44%混凝土状态较好, 在混凝土工作性满足要求的情况下, 砂率推荐下限。

### 2.1.4 石粉含量的影响

机制砂生产过程中产生石粉是难以避免的, 这也是其区别于河砂的主要特点之一。在MB值试验合格的基础上

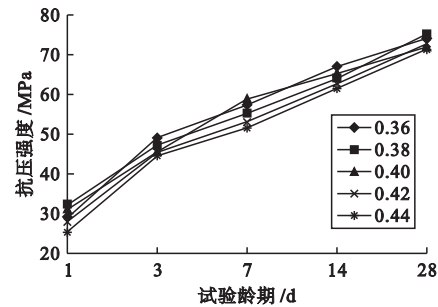


图4 不同砂率T梁混凝土的抗压强度

验结果可知, 机制砂石粉含量越低配制的混凝土强度越高, 试验采用3个石粉含量机制砂配制的混凝土抗压强度均满足C55混凝土设计要求。石粉含量3.2%的机制砂混凝土出现泌水现象, 机制砂石粉含量结合标准要求和试验情况, 推荐控制在5%~7%。

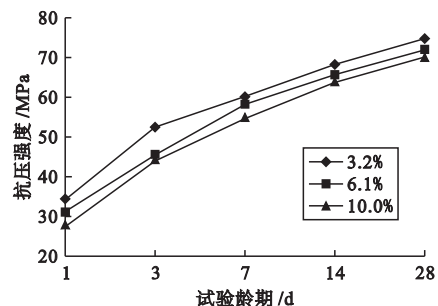


图5 不同机制砂石粉含量混凝土的抗压强度

## 2.2 机制砂T梁混凝土耐久性

通过2.1节机制砂T梁混凝土工作性和力学性能, 优选出机制砂T梁配合比见表7, 采用该配合比进行了混凝土耐久性试验, 并与河砂混凝土进行对比, 结果见表10, 由

表7 河砂机制砂对比T梁混凝土配合比 kg/m<sup>3</sup>

编号	水泥	粉煤灰	机制砂	河砂	碎石	水	减水剂
LJ-0	400	80	-	690	1 176	144	5.28
LJ-2	400	80	746	-	1 120	144	5.76

表8 河砂机制砂对比混凝土工作性

编号	含气量/%	密度/(kg/m <sup>3</sup> )	坍落度/mm
LJ-0	3.8	2 430	180
LJ-2	3.0	2 480	170

表10 T梁混凝土耐久性

水泥 /(kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰 /(kg/m <sup>3</sup> )	河砂 /(kg/m <sup>3</sup> )	机制砂 /(kg/m <sup>3</sup> )	碎石 /(kg/m <sup>3</sup> )	水 /(kg/m <sup>3</sup> )	减水剂 /(kg/m <sup>3</sup> )	电通量/C		抗渗
							28 d	56 d	
400	80	690	-	1 176	144	5.28	843	510	P20
400	80	-	746	1 120	144	5.76	896	485	P20

### 3 结论

通过混凝土工作性、力学性能和耐久性试验,优选出机制砂T梁C55混凝土配合比作为推荐配合比,见表11,混凝土性能见

表12 推荐机制砂T梁C55混凝土性能

含气量 /%	表观密度 /(kg/m <sup>3</sup> )	坍落度 /mm	抗压强度/MPa					弹性模量/GPa		28 d 电通量/C	抗渗	
			1 d	3 d	7 d	14 d	28 d	14 d	28 d			
3.0	2 480	170	31.6	45.6	58.6	65.8	72.2	38.6	43.5	896	485	P20

参考文献:

- [1] 艾长发,彭浩,胡超.机制砂级配对混凝土性能的影响规律与作用效应[J].混凝土,2013(1):73-77.
- [2] 李北星,周明凯.石灰岩机制砂中石粉作掺和料对混凝土工作性和强度的影响[J].公路,2007(12):141-145.
- [3] 王稷良.机制砂特性对混凝土性能的影响及机理研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.
- [4] 蔡基伟,李北星,周明凯,等.石粉对低中强度机制砂混凝土性能的影响[J].武汉理工大学学报,2006,28(4):27-30.
- [5] 岳海军,李北星,周明凯,等.水泥混凝土用机制砂的级配探讨与试验[J].混凝土,2012(3):91-94.
- [6] 赵淮生.混合砂配制高性能混凝土在铁路工程中的应用[J].铁道·上接第133页

梁端,也是负弯矩最大处连接。

#### 3.5.3 竖向构件连接方式差异

本项目中,框架柱主筋采用成熟的套筒灌浆连接。预制框架柱有稳定的柱底连接面,实际操作中,各种精度均稳定可控;而国内标准中,框架主筋连接方式模棱两可, JGJ 1—2014 中 7.1.2 规定受力主筋可套筒灌浆、浆锚搭接、焊接。但到 GB/T 51231—2016 中 5.6.4 条又给出挤压套筒概念。另外国内现行的标准 GB/T 51231—2016 和规程 JGJ 1—2014 在框架结构的节点处理上很难实现,预制柱是悬空的,水平精度、垂直精度难以控制。在有限空间内主筋连接很难、精度不宜保证。

#### 3.5.4 水平构件连接方式差异

本项目中,预制桁架筋叠合楼板板厚 70 mm,四面不出底筋,侧向连接采用密拼缝方式,而国内标准中,通常的要求是端部出筋,侧面出筋且要有不少于 200 mm 的后浇带。这对于 PC 构件的工业化生产是极为不利的。

表9 河砂机制砂对比T梁混凝土力学性能

编号	抗压强度/MPa					弹性模量/GPa	
	1 d	3 d	7 d	14 d	28 d	14 d	28 d
ZJ-0	30.7	42.3	53.6	63.2	70.8	41.7	46.2
ZJ-2	31.6	45.6	58.6	65.8	72.2	40.6	44.7

试验结果可知,机制砂混凝土电通量与河砂混凝土相差不多,均满足标准要求。机制砂混凝土和河砂混凝土抗水渗试验均做到了 P20,两种混凝土抗水渗性能相差不多。

表11 推荐机制砂T梁C55混凝土 kg/m<sup>3</sup>

水泥	粉煤灰	机制砂	碎石	水	减水剂
400	80	746	1 120	144	5.76

表12 机制砂C55混凝土满足T梁混凝土性能的标准要求。

建筑,2010(8):147-150.

- [7] 房玉中,陈晓成,罗先刚,等.铁路隧道机制砂生产经济技术研究[J].公路交通技术,2016(2):113-117.
- [8] 钟美秦,刘光明,张奇男.机制砂在铁路高性能混凝土中的应用研究[J].混凝土世界,2014(10):34-45.
- [9] 房玉中,谢国强,陈晓成.渝黔铁路天坪隧道机制砂生产关键技术研究[J].隧道建设,2015(9):883-891.

第一作者:徐鑫(1978-)男,工程师。

联系地址:北京市朝阳区北三环东路30号C-1806(100102)

联系电话:15811222505

### 4 结语

与发达国家相比,我国的装配式建筑算是刚刚起步,但推广力度之大、范围之广是任何国家无法相比的。针对于公共建筑来说,框架或框剪结构是主流,PC技术在此领域的应用值得深入探讨和研究。在大力推进我国装配式建筑发展过程中,我们应该在设计理论、基础研究、生产工艺、安装维护、技术规范等各方面进行更深入的研究,学习西方的先进技术的同时,结合国情,结合国内的生产实践,及时更新,走出适应中国本土的PC技术的应用发展之路。

第一作者:顾威(1972-)女,副教授,研究方向:现代建筑产业之装配式木构建筑,建筑历史遗产保护与再利用。

联系地址:沈阳市浑南区创新路195号,东北大学建筑学院建筑系(110169)

联系电话:18624057555