

喷射混凝土的研究及应用

王杰之, 温树磊, 张超, 魏文安, 杨卫其

(北京建工新型建材有限责任公司, 100015, 北京)

摘 要:以国道 109 高速公路工程为依托,对喷射混凝土的配合比进行设计。在配合比设计过程中掺加适宜的速凝剂调整混凝土的凝结时间,通过对拌合物和易性能、回弹率以及喷射机工作时的压力等研究,选取最优的配合比进行实际工程应用。此外,通过施工现场实践,不断地进行优化、改进,积累经验,总结出一套完整的喷射混凝土应用技术,对以后隧道等工程初期支护有很好的实用价值。

关键词:喷射混凝土;速凝剂;和易性;回弹率

中图分类号: TU 74

文献标志码: A

文章编号: 1000-4726(2022)10-1295-03

RESEARCH AND APPLICATION OF SHOTCRETE

WANG Jie-zhi, WEN Shu-lei, ZHANG Chao, WEI Wen-an, YANG Wei-qi
(BCEG Advanced Construction Materials Co., Ltd., 100015, Beijing, China)

Abstract: Based on the national highway 109 expressway project, the shotcrete mix ratio is designed. In the process of mixing ratio design, appropriate accelerating agent is added to adjust the setting time of concrete, and the optimal mixing ratio is selected for practical engineering application by studying the workability of mixture, springback rate and pressure of jet at work. In addition, through the construction site practice, continuous optimization, improvement, accumulation of experience, a complete set of shotcrete application technology is summed up. It has a very good practical value for the later tunnel engineering initial support.

Keywords: shotcrete; accelerator; workability; resilient rate

喷射混凝土是一种原材料与常规混凝土相同,而施工工艺特殊的混凝土。该混凝土是借助于喷射机械臂将掺有一定量速凝剂的混凝土喷向隧道岩石层或者初期支护部位表面,以达到保护岩石或者结构部位。此施工工艺简便快捷,提高施工速度,减少了模板施工的拆卸工序,且混凝土密实度高,抗渗性能良好,经济效益显著提升。

喷射混凝土按施工方法可分为干法和湿法两类,干法施工是将水泥、掺合料、砂、石等原材料在干燥状态下,靠喷射机压力将材料和速凝剂送到机械臂口,使其与水混合后喷至结构表面。

湿法施工是将搅拌好的、和易性良好的混凝土与速凝剂混合,借助喷射机喷至结构表面。干法施工粉尘大,污染严重,对人体伤害极大,并且回弹率大。

此外,干法施工过程中用水量不固定,全凭操作手的经验用水,严重影响了混凝土的喷射质量。湿法施工是在拌和站生产出的和易性良好的混凝土基础上调整喷射压力,送至结构表面,不需要二次加水调整,喷射时不产生粉尘,施工环境良好,喷射效果良好,

混凝土质量得到有力保证。

依托国道 109 新线高速公路(西六环路—市界段)工程开展研究及应用,该工程设计桥梁 33 座,约 25 km,隧道 18 处,约 34 km,桥隧比为 90.26%。其中隧道初期支护混凝土全部采用 C25 喷射混凝土。针对湿喷法进行配合比设计,结合实际进行研究和应用。

1 试验

1.1 原材料选用

P·O42.5 普通硅酸盐水泥;F 类 I 级粉煤灰;细骨料采用 II 区中砂,细度模数 2.7,含泥量 1.2%,泥块含量 0.2%;粗骨料采用涑水县生产的碎石,粒径为 5~10 mm 单粒粒级,含泥量 0.2%,泥块含量 0.1%,针片状 3.2%;减水剂采用北京市生产的标准型聚羧酸系高性能减水剂,型号为 AN4000;速凝剂采用北京市生产的速凝剂(液体),型号为 ANS,分为有碱和无碱两种,其性能指标见表 1、表 2。

表 1 速凝剂(有碱)性能指标

密度 / (g/cm ³)	pH	含固量 /%	碱含量 /%	外观特征
1.453	11.68	44.14	11.0	液体,米黄色

收稿日期: 2022-08-01

作者简介:王杰之(1988—),男,河北邢台人,工程师, e-mail: 770689625@qq.com.

表 4 有碱和无碱速凝剂掺量对胶砂强度的影响

速凝剂	速凝剂 掺量	抗压强度 /MPa			28 d 抗压 强度比 /%	90 d 抗压强度 保留率 /%
		1 d	28 d	90 d		
基准(未掺速凝剂)		6.6	52.4	58.5	—	—
有碱速凝剂	2%	10.4	44.8	48.7	85	83
	3%	10.9	36.5	40.1	70	69
	4%	7.2	33.4	36.2	64	62
无碱速凝剂	3%	9.1	53.5	58.9	102	101
	6%	11.5	53.2	59.2	102	102
	9%	10.4	52.0	58.3	99	100
指标值	有碱	≥ 7.0	—	—	≥ 70	≥ 70
	无碱	≥ 7.0	—	—	≥ 90	≥ 100

速凝剂	速凝剂掺量	凝结时间/min	
		初凝	终凝
基准（未掺速凝剂）	—	130	186
有碱速凝剂	2%	22 : 45	60 : 36
	3%	3 : 45	7 : 48
	4%	2 : 32	6 : 14
无碱速凝剂	3%	34 : 28	80 : 22
	6%	4 : 25	7 : 44
	9%	2 : 30	6 : 53
注：GB/T35159—2017	指标值	≤ 5	≤ 12

喷射混凝土设计等级为 C25, 通过对胶凝材料用量以及实际施工过程中坍落度、回弹率和工作风压等进行分析, 选取最优的配合比数据。试验结果见表 5。

表5 不同胶凝材料、坍落度对实际喷射的影响情况

试验 编号	水灰比	胶凝材料 (kg/m ³)	坍落度/ mm	实际生产喷射情况		回弹率 /%
				工作风 压/MPa	喷射距 离/m	
S1-1	0.52	390	230	0.45	2.3	51
S1-2	0.47	390	200	0.25	1.3	33
S1-3	0.42	390	170	0.22	1.1	23
S1-4	0.37	390	130	0.44	2.3	41
S2-1	0.49	420	220	0.38	1.8	42
S2-2	0.44	420	200	0.25	1.3	22
S2-3	0.39	420	170	0.20	1.0	15
S2-4	0.34	420	130	0.42	2.3	34
S3-1	0.46	450	215	0.48	2.4	33
S3-2	0.41	450	200	0.34	1.7	22
S3-3	0.36	450	165	0.31	1.6	18
S3-4	0.31	450	120	0.50	2.5	35
S4-1	0.43	480	225	0.53	2.6	25
S4-2	0.38	480	205	0.45	2.3	16
S4-3	0.34	480	175	0.40	2.0	15
S4-4	0.30	480	125	0.52	2.6	34

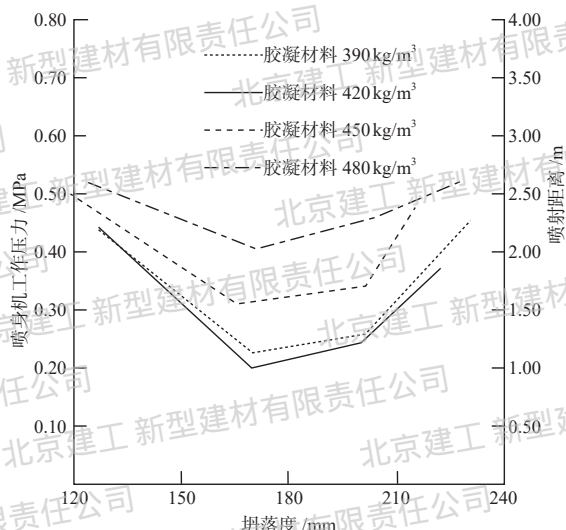


图1 工作压力及喷射距离关系

坍落度大小对喷射机工作时的压力、喷射距离以及回弹率也有一定影响。坍落度过大或过小都会使喷射机工作压力增大,喷射距离不易控制,回弹率也增大,当坍落度控制在170mm左右时,工作压力和回弹率比较良好,喷射距离也基本稳定。

综合表5和图1可得,当胶凝材料用量为 420 kg/m^3 、水灰比为0.39时,坍落度为170mm,喷射机工作压力、喷射距离以及回弹率都相对良好。

综合以上试验数据,根据JGJ55—2011《普通混凝土配合比设计规程》及JGJ/T372—2016《喷射混凝土应用技术规程》,此次配合比设计采用单掺粉煤灰,掺量为20%,取砂率为48%,用质量法进行计算,最终配合比如下。水泥:粉煤灰:砂子:石子:减水剂:速凝剂:水=336:84:833:902:4.20:25.2:165。

2 工程应用

2.1 机械设备

项目施工现场采用的是河南省耿力工程设备有限公司出厂的湿喷台车,型号为GHP3015D,该设备技术参数见表6。

2.2 喷射工艺流程

喷射台车工艺流程如图2所示。

2.3 喷射工序及注意事项

(1) 喷射之前清理隧道表面岩石,如有条件可以清洗隧道岩石表面,但不宜太潮湿。

(2) 喷射要连续,以保证速凝剂发挥最优效果。

(3) 喷射作业应分片、分段,自下而上的顺序,每段长度不宜大于6m,对有较大蜂窝、低凹处等应先进行处理,符合要求后再进行喷射。

表6 湿喷台车技术参数

项目	基本性能	参数
泵送系统	理论喷射排量/(m^3/h)	30
	输送管径/mm	$\varnothing 125\sim\varnothing 90$ 变径
	喷射骨料最大粒径/mm	$\varnothing 15$
	混凝土出口压力/bar	83
	料斗容量/ m^3	0.3
机械臂	最大喷射高度/m	深7.4 高15.8
	最大喷射宽度/m	± 13.5
速凝剂系统	速凝剂箱容量/L	1000

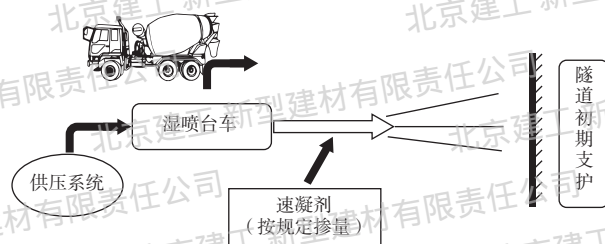


图2 喷射台车工艺流程

(4) 进行喷射时,喷射机机械臂应与喷射面尽可能成 90° 夹角喷射,机械臂顶端与架构表面的距离宜为0.8~1.5m,效果较好。

(5) 采用分层喷射,第2次喷射应在第1次喷射混凝土终凝后再进行。

2.4 喷射混凝土的养护

喷射混凝土层一般较薄,当空气中水分不足时,极易发生早期干裂,同时加入了一定量的速凝剂,从某种程度上抑制了水泥的水化,对早期强度有一定的限制,因此在浇筑完成后要及时保湿养护,养护时间不得少于7d,重要工程不得少于14d。

3 结论

采用湿喷法进行实际施工时,应控制好混凝土的和易性,尤其是胶凝材料用量和坍落度,建议胶凝材料用量控制在 $420\sim 450\text{ kg/m}^3$,坍落度控制在 $(170\pm 10)\text{ mm}$,砂率45%~50%,坍落度过大或过小都会导致操作手控制难度增大,甚至可能伤人。操作手操控喷射机机械臂时,应控制好机械臂出口与隧道岩石表面的距离(建议0.6~1.2m)与工作时的压力,压力大小和喷射距离将直接影响回弹率,操作手操作起来更加困难,更严重影响喷射混凝土质量。

参考文献

- [1] 李学峰,张元继,吕玉娥.无碱速凝剂在喷射混凝土中的推广应用[J].四川水力发电,2010,29(S2):37-41.
- [2] 喷射混凝土应用技术规程:JGJ/T372—2016[S].
- [3] 喷射混凝土用速凝剂:GB/T35159—2017[S].