

高速公路隧道用洞渣混凝土耐久性研究与应用

王杰之, 温树磊, 魏文安, 张超, 陈喜旺, 孔凡敏

(北京建工新型建材有限公司, 100015, 北京)

摘要:以某高速公路隧道混凝土为例,阐述了隧道高性能混凝土的配合比设计理念,针对隧道混凝土的耐久性进行了研究。由于目前市场天然砂紧缺的原因,因此用优质机制砂替代了部分天然砂,试验过程中使用的粗骨料及机制砂均产自隧道洞渣。研究表明,通过控制配合比设计过程中的水胶比、砂率以及机制砂石粉含量,能有效改善隧道衬砌混凝土的抗冻性能、抗氯离子渗透性能及抗硫酸盐侵蚀性能。

关键词:隧道混凝土;耐久性;洞渣;抗冻性能;抗氯离子渗透性能;抗硫酸盐侵蚀

中图分类号: TU 74

文献标志码: A

文章编号: 1000-4726(2023)19-2355-04

RESEARCH AND APPLICATION OF DURABILITY OF SLAG CONCRETE FOR EXPRESSWAY TUNNELS

WANG Jie-zhi, WEN Shu-lei, WEI Wen-an, ZHANG Chao, CHEN Xi-wang, KONG Fan-min

(BCEG Advanced Construction Materials Co., Ltd., 100015, Beijing, China)

Abstract: In this paper, based on the example of the concrete of an expressway tunnel, the mix ratio design concept for high-performance tunnel concrete is expounded, and the durability of tunnel concrete is studied. As natural sand is scarce in the current market, high-quality machine-made sand is used to replace some of the natural sand, and coarse aggregate and machine-made sand used in experiments all come from tunnel slags. The study shows that the frost resistance, the resistance to chloride ion permeability and the sulfate erosion resistance of tunnel lining concrete can be effectively improved by controlling the water-cement ratio, sand coarse aggregate ratio and machine-made stone powder content during the mix ratio design.

Keywords: tunnel concrete; durability; slag; frost resistance; resistance to chloride ion permeability; sulfate erosion resistance

随着我国基础建设的大力推进,混凝土作为应用广泛的建筑材料,其结构的耐久性问题也越来越受到重视,但混凝土结构耐久性的研究大多集中在工业、

民用建筑和桥梁结构中,关于隧道混凝土耐久性的研究非常欠缺。为此,通过对部分既有高速公路隧道混凝土耐久性的调查,发现隧道所处的环境条件和地上结构不同:隧道内空气质量较差,汽车尾气等有害气体浓度较高,对混凝土的腐蚀性较大,在围岩条件差、昼夜温差大和地下水发育的部位,病害更加严重,我

收稿日期: 2023-08-10

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

蒸汽养护的方式提高构件早期强度,按24h为一个生产周期计算,从浇筑到养护完成需控制在16h之内。

(2)在环境温度为25℃的情况下,从节约能源的角度来看,首选不蒸养的模式进行构件养护。

(3)当环境温度为10℃时,养护温度应设置为40~60℃,此时养护阶段碳排放量为4015.87~4063.68kg。

(4)当环境温度为-5℃时,宜采取预热模台、预养护等方式缩短构件收面时间,并提高养护温度,降低碳排放量,但不宜超过65℃。

(5)构件养护过程中应注意升温、降温速率及构件的保湿养护。

参考文献

- [1] 杜珂,张凯,杨秀文.预制构件行业的发展现状[J].现代制造技术与装备,2019(10): 200-202.
- [2] 张子明,周红军,赵吉坤.温度对混凝土强度的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2004(11): 674-679.
- [3] 丁建峰.PC混凝土构件的蒸汽养护技术[J].泰州职业技术学院学报,2021(8): 72-74.
- [4] 杜淑雯.基于碳减排视角的装配式建筑增量成本及效益评价研究[D].绵阳:西南科技大学,2023.
- [5] 何江.施工阶段碾压混凝土坝温度应力优化控制研究[J].陕西水利,2023(5): 20-21,24.
- [6] 陈廷华,孙学坤.环境温度和浇筑温度对混凝土温度应力耦合作用分析[J].中国新技术新产品,2023(11): 120-122.
- [7] 赵飞,方禹.水工结构大体积混凝土温度监测及浇筑施工技术分析[J].工程与建设,2023,37(2): 739-742,775.

国既有高速公路隧道耐久性普遍不足,运营后易出现不同程度的病害,其中比较常见的破坏形式有硫酸盐侵蚀、冻融破坏、氯离子渗透。

鉴于目前河砂资源匮乏,机制砂替代天然砂已成为混凝土行业可持续发展的一种趋势,而隧道内的洞渣正好可以就地取材,破碎生产为粗骨料和机制砂。机制砂的材料特性与天然砂有较大的区别,最显著的区别在于机制砂中含有大量粒径小于 0.075 mm 的颗粒,称为石粉,但与天然砂中小于 0.075 mm 的颗粒不同,天然砂中细小颗粒对混凝土的和易性、强度、耐久性都有不利影响,而石粉来源于母岩,其物理性质与母岩相同,通过不同石粉含量对比试验对隧道混凝土耐久性进行研究,以为隧道混凝土的应用提供参考。

1 试验概况

1.1 原材料选用

1.1.1 水泥和粉煤灰

水泥采用 P·O42.5 普通硅酸盐水泥,比表面积 342 m²/kg,碱含量 0.42%;粉煤灰采用质量等级优良的 F 类 I 级粉煤灰;矿粉采用 S95 级矿粉,比表面积 442 m²/kg,碱含量 0.85%,氯离子含量 0.019%。

1.1.2 骨料

粗骨料产自某高速公路隧道洞渣,粒径为 10~20 mm 和 5~10 mm 双级配,比例为 8:2,10~20 mm 碎石含泥量 0.3%,泥块含量 0.1%,针片状 3.0%,压碎指标 8%,5~10 mm 碎石含泥量 0.2%,泥块含量 0.1%,针片状 4.0%,坚固性 3%,洞渣母岩强度 78.6 MPa。

细骨料采用天然砂与机制砂混合配置的方式,比例为 1:1,天然砂选用 II 区中砂,细度模数 2.7,

含泥量 1.0%,泥块含量 0.2%,机制砂为洞渣破碎制成,细度模数 3.0,选用不同石粉含量作对比试验。

1.1.3 外加剂

减水剂采用标准型聚羧酸系高性能减水剂,减水率 33%,28 d 收缩率比 98%,泌水率比 0%;引气剂密度 1.009 g/cm³,含固量 1.85%,pH 值 6.5,含气量 4.8%。

1.2 配合比设计

选取不同水胶比、不同砂率、不同机制砂石粉含量进行混凝土配合比试配,检测混凝土的和易性、抗硫酸盐侵蚀、抗冻融、氯离子渗透等性能进行分析,配合比见表 1。

2 试验方法及分析

2.1 抗硫酸盐侵蚀

试验依据 GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》,按上述配比制作 100 mm×100 mm×100 mm 混凝土试件,每组 3 块,同时制作抗压强度对比试件,养护至 26 d 从标养室取出,擦干表面水分,并在 (80±5)℃烘箱中烘干 48 h,烘干冷却后在 5% Na₂SO₄ 溶液中进行干湿循环试验,整个过程自动进行,在循环 150 次时,将试块取出测试抗压强度,试验结果如图 1~图 3 所示。

结果分析:本试验以抗压强度耐蚀系数表征混凝土抗腐蚀性能,图 1 为不同水胶比的混凝土抗压强度耐蚀系数,由图 1 可以看出,水胶比为 0.32 时混凝土抗压强度耐蚀系数高于水胶比 0.42 时的系数,这是因为水胶比会直接影响混凝土浆体的致密程度,水胶比越低,混凝土浆体越致密,渗透性会越低,好的致密性将会有效提高混凝土抗硫酸盐侵蚀性能。不同砂率时的混凝土抗压强度耐蚀系数如图 2 所示。

表 1 配合比

试验编号	水胶比/%	砂率	水泥	天然砂	机制砂	石粉含量/%	碎石	碎石	粉煤灰	矿粉	减水剂 10~20 mm	引气剂 5~10 mm
S1-1	0.42	43	303	390	390	—	826	207	59	31	4.72	1.97
S1-2	0.37	43	343	378	378	—	802	201	67	36	5.35	2.23
S1-3	0.32	43	398	363	363	—	770	193	77	41	6.19	2.58
S1-4	0.37	48	343	422	422	—	733	183	67	36	5.35	2.23
S1-5	0.37	43	343	378	378	—	802	201	67	36	5.35	2.23
S1-6	0.37	38	343	334	334	—	874	218	67	36	5.35	2.23
S1-7	0.37	43	343	378	378	0	802	201	67	36	5.35	2.23
S1-8	0.37	43	343	378	378	5	802	201	67	36	5.35	2.23
S1-9	0.37	43	343	378	378	10	802	201	67	36	5.35	2.23
S1-10	0.37	43	343	378	378	15	802	201	67	36	5.35	2.23

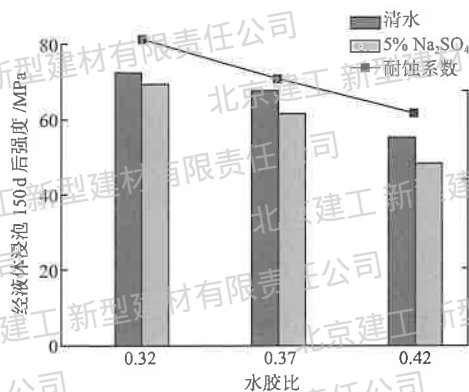


图1 不同水胶比的混凝土抗压强度耐蚀系数

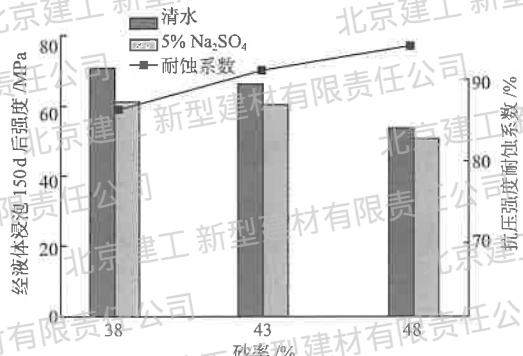


图2 不同砂率的混凝土抗压强度耐蚀系数

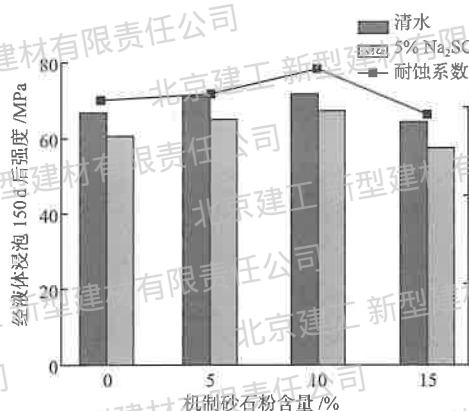


图3 不同石粉含量的混凝土抗压强度耐蚀系数

由图2可以看出,随着砂率的降低,抗压强度耐蚀系数也随之降低,这是由于随着砂率的降低,混凝土填充密实所需要的浆体越多,导致浆体不足,致密性降低,混凝土抗硫酸盐侵蚀性能也随之降低。图3是用不同石粉含量的机制砂代替天然砂时的混凝土抗压强度耐蚀系数,由图3可以看出,掺入部分含有石粉的机制砂可以提高混凝土抗压强度耐蚀系数,这是因为掺入含有石粉的机制砂可以用石粉充当致密所需的浆体,所以混凝土致密性会更好,但是由试验S1-10可以看出,当机制砂石粉含量超过10%达到15%时,抗压强度耐蚀系数降低,混凝土抗压强度也出现降低现象,说明石粉含量达到一定值时,会起到一定的反作用,使混凝土抗硫酸盐侵蚀性能降低。

2.2 抗氯离子渗透

氯离子渗透性能是反映混凝土抵抗外界有害介质侵入能力的一个重要指标,氯离子渗透主要是通过混凝土内部空隙从周围环境渗向混凝土内部,从而导致混凝土耐久性降低。对于氯离子渗透性能通常用电通量法试验。

此试验采用直径 $100\pm 1\text{mm}$ 、高度 $50\pm 2\text{mm}$ 的圆柱体试件,试件表面处理干净,不得含有钢筋等导电材料,本次试验在56d进行,室内温度保持在 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$,试验结果如图4~图6所示。

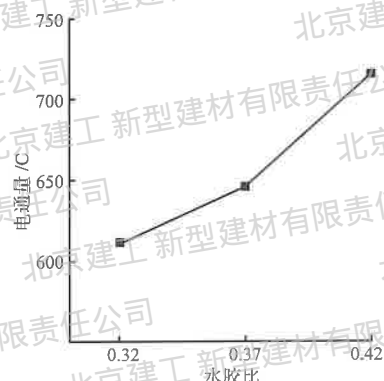


图4 不同水胶比的混凝土电通量

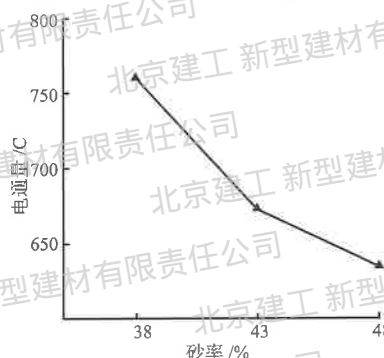


图5 不同砂率的混凝土电通量

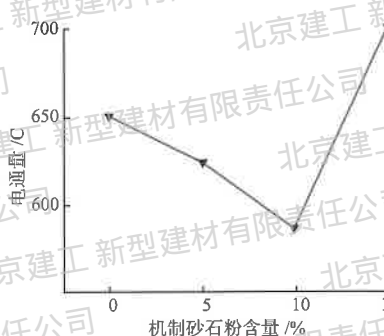


图6 不同石粉含量的混凝土电通量

结果分析:图4是不同水胶比的混凝土电通量结果,由图4可以看出,水胶比从0.42降到0.32时,电通量也随之降低明显,这是由于降低水胶比,混凝土内部空隙减少,外部环境有害介质难以侵入,从而提高混凝土抗氯离子渗透性能。

图5为不同砂率时的电通量结果,通过对比得出,随着砂率的降低,电通量反而随之增大,随着砂率的降低混凝土内部空隙可能会相应地增多,降低混凝土的渗透性,导致有害介质渗入,降低了混凝土抗氯离子渗透性。

图6中不同石粉含量的机制砂也对电通量试验起到一定的影响,可以看出,随着石粉含量的增加,电通量降低,氯离子渗透性发生变化,但是石粉含量超过一定量时,随着石粉含量的不断增加,会使混凝土抗压强度降低,因此应将石粉含量控制在合理的范围内,从而达到力学性能和抗氯离子渗透性能良好的效果。

2.3 抗冻性能

抗冻性能也是混凝土耐久性的一个重要方面,依据 GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》,由表1配合比制作 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 混凝土试件,并采用快冻法,对比在300次冻融循环下混凝土的质量损失率和相对动弹性模量,表征混凝土的抗冻性能,试验结果如图7~图9。

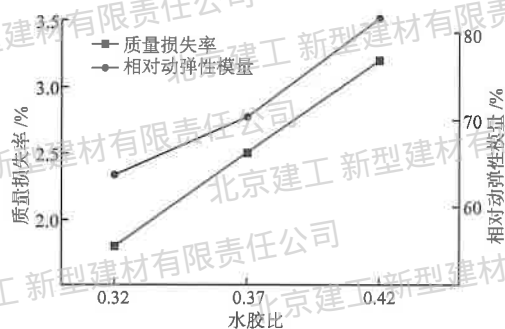


图7 不同水胶比的抗冻性能

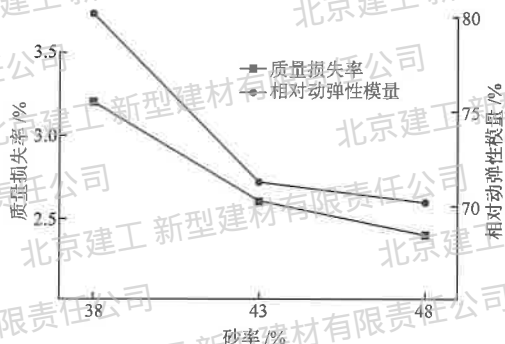


图8 不同砂率的抗冻性能

结果分析:由图7相对动弹性模量和质量损失率的变化情况可以看出,水胶比越大,抗冻性能越差,这是由于水胶比不同,混凝土密实程度、内部孔隙结构也会不同,水胶比越大,混凝土在硬化过程中蒸发

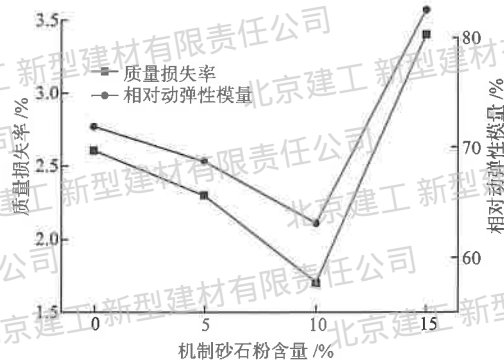


图9 不同石粉含量的抗冻性能

掉的水分越多,就会产生更多的孔隙,这样孔隙之间相互连通,使混凝土渗透性增大,最容易导致冻融破坏。

从图8可以看出,随着砂率的减小,混凝土抗冻性能也随之降低,由于降低砂率会使混凝土保水性下降,泌水通道增加,因而使混凝土内部连通孔隙的数量增多,降低混凝土的抗冻性能。

从图9可以看出,混凝土的抗冻性能随着机制砂石粉含量的增加而提高,由于石粉含量的增多,提高了混凝土的密实性,因此抗冻性能有所提高,但是当石粉含量超过10%达到15%时,混凝土质量损失率较大,因此在实际中应合理控制机制砂石粉含量。

3 结论

(1) 水胶比是影响混凝土耐久性的一项重要指标。较低的水胶比可以提高混凝土的抗硫酸盐侵蚀、抗氯离子渗透和抗冻性能。

(2) 砂率控制在合理范围内对耐久性也起到了一定的影响,良好的砂率(40%~45%)可有效改善混凝土的耐久性。

(3) 含有一定量石粉的机制砂的使用可有效提高混凝土的耐久性,但石粉含量应控制在一定的范围内,从试验可以看出,石粉含量在10%以内,机制砂的使用可以提高混凝土的耐久性,但是石粉含量超过10%后,力学性能和耐久性会起到一定的副作用。

(4) 建议根据施工特点对隧道衬砌混凝土进行相应条件的养护,以达到提高耐久性的目的。

参考文献

- [1] 于和平. 特长隧道耐久性混凝土配合比设计及施工控制[J]. 建材与装饰, 2017(12): 257-258.
- [2] 韩少洲. 寒区隧道混凝土衬砌结构耐久性研究综述[J]. 混凝土与水泥制品, 2021(3): 24-27.
- [3] 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准: GB/T 50082—2009[S].
- [4] 公路工程混凝土结构耐久性设计规范: JTG/T 3310—2019[S].