

混凝土养护剂在地铁隧道管片中的应用研究

沈晓琴

(上海隧道工程智造海盐有限公司, 浙江 嘉兴 314304)

摘要: 混凝土管片的养护方式决定管片最终的力学性能和耐久性能。首先通过试验,对养护剂的基本性能进行研究。继而,进一步将养护剂养护与常规水溶液养护两种方式进行对比,探究养护剂养护方式对混凝土管片外观质量、强度、抗渗性能等的影响,验证了该种养护剂在地铁隧道管片中应用的可能性。

关键词: 混凝土养护剂;隧道管片;养护方式

中图分类号: U454

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)09-0279-04

0 引言

地铁隧道管片是整个隧道的支撑体系结构,是隧道结构的重要组成部分。管片作为隧道最外层屏障,承担着抵抗土层压力、地下水压力以及一些特殊荷载的作用,因此管片质量直接关系到隧道的整体质量和安全。管片的后期养护是其生产过程中的一个重要环节,研究表明^[1],合适的养护能够大幅度提高混凝土管片的耐久性、强度、耐磨性、体积稳定性以及抗冻融性等性能,保障地铁隧道在服役期内的安全性。

工程上常用的混凝土养护方式主要有洒水覆盖的自然养护方式和在碱性养护池中浸泡的水溶液养护方式。自然养护虽然简单方便,但养护后的管片表面易产生较多干缩裂纹。水溶液养护效果好,是管片最常使用的养护方式,但在不少工程应用中表明水养会使管片因表面水化程度不同产生色差、频繁的驳运易造成管片磕碰损伤,且耗费大量水资源不利于绿色低碳施工^[2,3]。而养护剂作为一种新型的养护方式,施工工艺简单、养护效果优良,近年来在道路、桥梁工程中得到广泛的应用^[4],也为地铁隧道管片的养护提供了新的方向。

目前,市场上养护剂的种类繁多,根据作用机理不同可分为成膜型和渗透型两类。成膜型养护剂通过在混凝土表面形成一层不透水的薄膜,阻止混凝土中水分的蒸发,减少混凝土收缩和龟裂。渗透型养

护剂通过与混凝土中的“游离”氧化钙反应,生成一种致密、高强的化学物质填充混凝土的毛细孔,减少混凝土中的水分通过毛细孔向外蒸发,避免细小裂纹的产生,对混凝土同时起到养护和硬化作用。

成膜型养护剂分为无机和有机两类。研究表明^[5]:无机类养护剂成膜性能较低,养护效果差,且易水解并老化脱落,影响混凝土的外观质量;有机类养护剂部分含有挥发性溶剂容易污染环境,或养护膜牢固难以破除,大多生产成本较高。因此,本试验采用的是无毒、无味、不含挥发性物质的渗透型养护剂。该养护剂施工操作简单,使用温度范围广,除了减少水分蒸发起到混凝土养护作用外,还可以起到硬化混凝土表面,减轻混凝土表面色差的作用。

1 养护剂的基本性能研究

1.1 试验方法

试验所用材料为:P·II 52.5 硅酸盐水泥、II级中砂、5~25 mm 粒径碎石、F II 级粉煤灰、S95 级矿粉、聚羧酸高效减水剂(减水率不小于 20%)、自来水、渗透型养护剂。

依据 GB/T 8077—2012《混凝土外加剂匀质性试验方法》检验养护剂中的固含量,依据《水泥混凝土养护剂》(JC 901—2002)检验:(1)成膜后浸水溶解性:养护剂在塑料板上完全干燥后,在 20℃左右的水中是否发生溶解;(2)成膜耐热性:养护剂在玻璃板上完全干燥后,在 65℃环境下是否出现熔化、变色现象;(3)有效保水率:表面喷涂养护剂的试块与未喷涂养护剂的基准试块在环境箱中的水分损失情况;

收稿日期: 2023-09-11

作者简介: 沈晓琴(1996—),女,硕士,助理工程师,从事隧道工程科研管理工作。

(4)抗压强度比:表面涂养护剂的混凝土试块与标准条件养护下的基准试块 7 d 和 28 d 抗压强度之比。

1.2 试验结果

经检测,该养护剂的基本性能见表 1。养护剂的含固量为 24.34%;养护剂完全干燥后在 20℃的水中浸泡 1 h,表面未发生溶解;干燥后的养护剂置于 65℃的烘箱中 10 min 后,表面未出现熔化现象,仍然为无色透明状未变色,成膜耐热性合格;与基准试件相对比,涂养护剂试件在 38℃温度、32%湿度、1.5 m/s 风速的环境箱中水分蒸发量更少,起到了混凝土保水效果,有效保水率达 88%;涂养护剂混凝土试块与基准试块的强度相比略低一点,7 d 抗压强度比为 96%,28 d 抗压强度比为 98%,但都到达了 90%以上,满足标准要求。依据 JC 901—2002《水泥混凝土养护剂》标准判断,该养护剂达到合格品的要求,可用于混凝土的养护。

表 1 养护剂的基本性能		
检验项目	合格品要求	检测结果
固含量 /%	≥ 20	24.44
成膜后浸水溶解性	应注明溶或不溶	不溶
成膜耐热性	合格	合格
有效保水率 /%	≥ 75	88
抗压强度比 /%	7 d	≥ 90
	28 d	≥ 90

2 养护剂的应用效果对比分析

为比较养护剂养护方式与水溶液养护方式对管片强度和耐久性,以及外观质量的影响,选用同一天、同一班次生产的相同型号管片进行对比试验。采用水溶液养护方式的管片:该环管片脱模起吊后,先在车间内暂放;待管片自然冷却至室温后,及时入养护池养护;养护 7 d 后,将管片驳运至堆场。采用养护剂养护方式的管片:该环管片脱模起吊后,待表面无存水后即可喷涂养护剂;将养护剂均匀且足量地喷涂在管片每一个外表面,用量控制在 12~15 m²/L;喷涂养护剂后的管片先在车间内放置 3 d,再驳运至堆场。

2.1 试验过程

本试验以某地铁隧道工程的管片为研究对象。该工程管片环外径 13 000 mm,内径 11 900 mm,环宽 2 000 mm,壁厚 550 mm,由 9 分块构成,管片强度等级为 C60,抗渗等级为 P12。管片生产采用流水线生产方式,生产工艺流程如下:钢模清理、涂抹脱

模剂、钢筋笼入模、预埋件安装、混凝土浇捣、收水抹面、管片蒸养、脱模起吊、管片养护等。

该工程管片采用 C60 配合比,配合比见表 2,混凝土拌合物的坍落度控制在(100±20)mm。P·II 52.5 水泥、粉煤灰、矿粉作为胶凝材料,粗骨料选用 5~25 mm 连续粒径碎石,细骨料选用Ⅱ级中砂,减水剂为聚羧酸高效减水剂(减水率不小于 20%),拌合水为自来水,养护剂选用渗透型养护剂。

表 2 C60 管片混凝土配合比		
名称	规格	用量 /(kg·m ⁻³)
水泥	P·II 52.5	359
细骨料	中砂	679
粗骨料	5-25 mm	1 100
粉煤灰	F II	39
矿粉	S95	77
水	自来水	148
外加剂	聚羧酸型	4.27

2.2 试验检验

管片养护至一定龄期后进行各项性能检测:

(1)通过肉眼观察采用水溶液养护和养护剂养护的管片表面是否存在色差。为进一步评价两种养护方式对管片的外观质量的影响,持续跟踪调查该项目生产的管片分别采用水溶液养护和养护剂养护后边角的磕碰情况。

(2)管片强度的检测采用回弹法,对龄期分别为 7、14、28、56、84 d 的管片进行回弹强度测试。每一龄期选取一块相同型号管片进行测试,每一管片选取 10 组数据,每组数据测 16 个点。为保证数据具有代表性,回弹区域的选择应涵盖到管片各个部位,在管片四个侧面各取相应区域进行测量。对比时,所选取的 10 个位置应尽量都相同,避免由于管片内部结构不同而带来的数据偏差。

(3)管片养护 28 d 后,取水溶液养护和养护剂养护的管片各一块(型号相同)做检漏测试,评价养护方式对管片抗渗性能的影响。依据《预制混凝土管片》(GB/T 22082—2017)标准,将管片固定在检漏试验架后,按 0.05 MPa/min 的加压速度,加压到 0.2 MPa,再继续加压到 0.4 MPa、0.6 MPa..... 每级恒压时间 10 min,直至加压到 0.8 MPa 恒压 3 h,检查管片是否由渗漏水现象,记录侧面渗透高度。

2.3 试验结果与对比分析

2.3.1 管片外观质量

经水溶液养护和养护剂养护后的管片外观见图

1、图 2。由图 1 可以看到,管片经水养后表面出现明显色差,部分区域颜色深,部分区域颜色浅。分析认为,首先养护池溶液 pH 值较高,碱性溶液与混凝土中化学物质发生反应,混凝土表面水化程度不均匀,造成颜色不一致。另外,管片在养护池中养护时,需在管片间放置垫木以避免表面发生摩擦或磕碰,但这导致直接与垫木接触部分的混凝土与周围存在色差,见图 1 中白色的方块区域。图 2 为采用养护剂养护后的管片。可见,采用养护剂养护的管片,表明呈现出统一的灰白色,无明显色差,说明采用养护剂养护方式可以改善混凝土管片表面的色差,提升管片的外观质量。



图 1 水溶液养护后的管片表面



图 2 养护剂养护后的管片表面

此外,养护方式还直接影响管片外观磕碰损伤。入池水养,管片将经历多次翻身和起吊,容易造成边角磕碰撞坏。喷涂养护剂养护,管片可直接驳运至堆场,减少了管片吊运次数,从而减少管片发生磕碰的概率。试验中,管片部分采用水溶液养护,部分采用养护剂养护,统计管片从脱模起吊至运到堆场期间发生磕碰情况,见表 3。统计结果显示,采用养护剂养护的管片边角磕碰率比采用水溶液养护的管片降低了约 55%,表明了采用养护剂养护可以有效减少管片磕碰损伤的风险,减少缺角修补,提升管片的外观质量。

2.3.2 管片回弹强度

测量两组试验管片中 B2、B3、B4 和 L1 型号管

表 3 两种养护方式的管片边角磕碰情况

养护方式	管片量 / 环	管片量 / 块	边角磕碰数量 / 块	边角磕碰率 / %
水溶液养护	100	900	76	8.44
养护剂养护	100	900	34	3.78

片 7、14、28、56、84 d 的回弹强度,每块管片在 4 个侧面的不同位置测 10 组数据,每组数据打 16 个点,得到表 4 所示的结果。两种养护方式在养护 28 d 后均能达到 60 MPa 以上的设计强度。从试验结果可得,在早期第 7 d 和 14 d 测得采用水溶液养护的管片强度比采用养护剂养护的管片强度略高;但随着养护时间的增加,混凝土中的水泥不断水化,两种养护方式测得的强度差逐渐缩小,到后期第 28 d 和 56 d 时测得两种养护方式的管片强度基本差不多;甚至在第 84 d 后测得采用养护剂养护的管片强度略高。表明了采用养护剂对管片进行养护可以起到减少混凝土中水分蒸发,促进水泥水化的作用,在地铁隧道管片工程应用中具有良好的养护效果。

表 4 两种养护方式的管片回弹强度 单位:MPa

养护方式	型号	7 d	14 d	28 d	56 d	84 d
水溶液 养护	B2	51.2	58.1	64.8	72.5	71.9
	B3	57.6	53.3	61.6	70.8	72.8
	B4	56.8	57.9	60.0	67.3	70.5
	L1	57.7	54.8	61.4	67.6	68.7
	平均强度	55.8	56.0	62.0	69.6	71.0
养护剂 养护	B2	48.9	54.9	63.1	71.7	73.4
	B3	47.6	54.2	60.9	66.5	71.5
	B4	47.6	51.2	60.9	70.5	71.2
	L1	51.1	52.2	60.0	65.9	70.6
	平均强度	48.8	53.1	61.2	68.7	71.7

为检验养护剂是否喷涂均匀,是否有因为部分区域养护剂喷涂不到位而造成强度较低的现象,统计了回弹强度的标准差得到表 5。从表 5 中可以看出每块管片测得的标准差大多在 2~4 之间,且采用水溶液养护与养护剂养护测得的标准差基本一致,表明了两种方式在管片不同部位测得的数据均比较集中。喷涂的养护剂在管片表面能均匀分布,没有喷涂不到位的区域,可以起到了良好的保水效果。

2.3.3 管片抗渗性能

依照《预制混凝土管片》(GB/T 22082—2017)标准,对两组试验中 B1 型号的管片进行分别进行检漏测试。水压从 0.2 MPa 逐级加压至 0.8 MPa 后,恒压 3 h,结果见表 6。试验结果显示,采用水溶液养护和

表 5 两种养护方式的管片回弹强度标准差 单位:MPa						
养护方式	型号	7 d	14 d	28 d	56 d	84 d
水溶液 养护	B2	2.56	3.05	2.68	1.61	2.45
	B3	3.48	2.57	4.16	3.10	2.96
	B4	3.91	3.22	2.30	3.46	3.17
	L1	4.06	2.52	4.51	3.48	4.58
	平均强度	3.50	2.84	3.41	2.91	3.29
养护剂 养护	B2	3.58	3.12	4.66	3.05	3.25
	B3	2.05	2.42	4.74	2.87	4.06
	B4	4.49	3.17	3.54	3.44	3.82
	L1	3.33	3.45	2.75	2.78	3.05
	平均强度	3.36	3.04	3.92	3.04	3.55

养护剂养护的管片在加压至 0.8 MPa 恒压 3 h 后,渗水高度都未超过钢筋保护层厚度 5 cm,满足设计要求。因此采用养护剂养护对管片抗渗性能没有影响,管片可以达到设计要求。

3 结 语

通过在地铁隧道管片上使用水溶液养护和养护剂养护方式,对比发现:与水溶液养护相比,养护剂养护后的管片表面没有色差,且可以减少管片磕碰损伤概率,进一步提升管片外观质量;管片的回弹强度可以达到设计强度,且后期强度不断增长比水溶液养护更高;管片抗渗性能良好,满足设计要求。综

表 6 两种养护方式的管片回弹强度标准差					
养护方式	压力 / MPa	无渗漏	检漏描述 有渗漏	渗水 高度	是否 合格
水溶液 养护	0.2	√			合格
	0.4	√			
	0.6	√			
	0.8		√	1.5 cm	
养护剂 养护	0.2	√			合格
	0.4	√			
	0.6	√			
	0.8		√	2 cm	

上所述,养护剂对地铁隧道管片的养护具有优良的效果,可以起到减少水分蒸发,促进混凝土内部水泥水化的作用。

参考文献:

[1] 刘李斌.基于不同养护方式下混凝土表面电阻率影响因素试验研究[D].昆明:昆明理工大学,2018.

[2] 曾锋,宋天田,苏华友.盾构管片在不同 pH 值水下质量研究[J].隧道建设,2017,37(2):174-178.

[3] 李强.望京隧道大直径盾构管片表面缺陷成因分析及防治措施[J].国防交通工程与技术,2017,15(增刊 1):6-7,10.

[4] 裴迎春.混凝土养护剂在 S581 线木耳镇至大峪沟公路的混凝土驳岸墙应用[J].甘肃科技,2019,35(12):84-85,124.

[5] 李漠.不同种类混凝土养护剂的养护效果对比试验研究[J].涂层与防护,2020,41(4):46-52.

(上接第 266 页)

极易出现水分流失,不利于水化反应,导致水化产物减少而混凝土强度增长缓慢;

(3)混凝土内部空隙致密情况影响水泥水化产物以及碳酸钙等物质生成,进而导致空隙无法充分填充,自然养护的混凝土在烧失量方面表现较好;

(4)本文采用的养护剂对混凝土抗裂纹性能表现不足。改性丙烯酸复合养护剂养护的管片裂纹控制更加集中,对局部构件的影响较小。

参考文献:

[1] 程冠之,曾志,郁培云,等.混凝土养护膜保湿性能及其养护效果研究[J].铁道建筑,,2019,59(1):129-133.

[2] 王铁梦.工程结构裂缝控制的综合方法[J].施工技术,2000(5):5-9.

[3] 谢迁,陈小平,温丽媛.混凝土养护剂的发展现状与展望[J].硅酸盐通报,2016,35(6):1761-1766,1771.

[4] 周全会.以烧失量鉴定混凝土受火温度的分析研究[D].重庆:重庆大学,2005.

[5] 王培铭,丰曙霞,刘贤萍.水泥水化程度研究方法及其进展[J].建筑材料学报,2005(6):646-652.