

# 无机和有机类混凝土养护剂养护效果研究

朱凌杰

(上海城建隧道装备科技发展有限公司,上海市 201800)

**摘要:**为研究无机和有机类混凝土养护剂的养护效果,通过选择市售常见的渗透型无机类改性水玻璃养护剂和成膜型有机类改性丙烯酸养护剂,对比不同养护条件,获得试验结果。研究表明,上述养护剂对混凝土抗裂性能表现不足。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。混凝土强度随龄期增长,但频繁洒水不利于表面成膜。水性养护剂对环境要求高,水分易流失不利于水化反应。混凝土内部空隙影响水化反应和碳酸钙生成。该结论为今后混凝土构件外养护剂选择提供了参考性。

**关键词:**混凝土养护剂;养护效果;裂纹扩展;烧失量;强度增长

**中图分类号:** U454

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)09-0264-03

## 0 引言

混凝土的使用和发展伴随着城市建设不断向更快、更好发展,而混凝土的使用也覆盖了建筑工程、市政工程和装饰工程等领域。众所周知,混凝土在使用前需进行充分的养护,以达到设计强度要求。养护的作用是保护混凝土内部水分不会过度流失、蒸发,导致其内部因无法获得充分水分进行水化反应,不利于性能发展。另外,混凝土在干燥过程中会发生收缩,如果缺乏水分,干燥过程会加速,混凝土表面因失水收缩,导致内部应力无法得到缓解,表面出现裂缝<sup>[1]</sup>。因此,混凝土的养护效果对混凝土的力学性能、耐久性能和抗裂性能的发展具有重要的作用<sup>[2]</sup>。

现代工程中,混凝土的养护方式主要有蒸汽养护、水养护、填埋养护和塑料薄膜覆盖养护等。上述养护方式在操作时间、成本控制、养护质量等方面存在一定优劣势,无法满足大型工程、智能制造工程的需要,不符合国家关于建筑业节能减排的指导方针。基于混凝土行业推广价值考虑,混凝土养护剂应运而生。养护剂主要分为内养护和外养护,外养护是在混凝土施工后,在其表层喷洒或涂抹一层具有成膜性、渗透性的化学物质,该物质在短时间内形成一层均匀连续的致密薄膜,从而抑制混凝土内部水分蒸发,促使胶凝材料充分水化<sup>[3]</sup>。

文章针对盾构隧道管片用混凝土分别选取了具

有代表性的一种常用渗透型无机类改性水玻璃养护剂和两种成膜型有机类改性丙烯酸养护剂在的养护效果分析。该养护剂针对管片混凝土要求的早期强度、抗裂性能、抗渗防水性等做了专项定制,以此来对比不同养护剂对混凝土强度增长、抗裂性能、烧失量等方面的影响,从而对比养护效果,以期今后的工程提供有效的建议。

## 1 试验原材料

### 1.1 混凝土原材料及配合比

混凝土隧道衬砌在隧道中起着支撑土体,保护隧道内部人员、设备安全的作用。具备极高的抗压性能,能够承受较大的静荷载和动荷载;所使用的混凝土防水、抗渗性能应满足隧道安全和干燥的设计要求。本次试验所采用的混凝土强度等级为C60,抗渗等级P12,设计坍落度为 $(100 \pm 20)$ mm,其材料组分为:硅酸盐水泥(P·II 52.5):海盐泰山南方;砂(中砂):芜湖县光明建材;石子(5~25 mm):福州三顺石料;粉煤灰(II级):上海高热实业新宝粉煤灰综合利用厂;矿粉(S95):上海宝田新型建材。另外,养护剂分别为改性水玻璃、改性丙烯酸以及改性丙烯酸复合养护剂,均为市售产品。

混凝土配合比见表1,其中外加剂掺量为 $4.27 \text{ kg/m}^3$ 混凝土材料。

### 1.2 混凝土养护剂

本文选用了3种市售常见的混凝土外养护剂:改性水玻璃、改性丙烯酸和改性丙烯酸复合养护剂。为

收稿日期:2023-09-28

作者简介:朱凌杰(1994—),男,硕士,助理工程师,从事市政工程预制构件制作与研究工作。

表 1 混凝土配合比

| 原材料 | kg·m <sup>-3</sup> |
|-----|--------------------|
| 水泥  | 359                |
| 砂   | 679                |
| 石子  | 1 100              |
| 粉煤灰 | 39                 |
| 矿粉  | 77                 |
| 水   | 148                |
| 外加剂 | 4.27               |

体现试验一致性原则,3 种养护剂在试验混凝土中参量一致。改性水玻璃养护剂为无机类养护剂,主要成份为硅酸钠,其原理是硅酸盐组分渗透入混凝土表面微孔与水化产物  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  反应生成硅酸钙胶体形成致密薄膜,通过体积膨胀阻塞表面微孔,防止水分蒸发。同时也有以硫酸盐为主的养护剂,其硫酸盐同水化产物  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、水化铝酸钙反应生成钙矾石针状晶体、水化硫铝酸盐,对阻塞混凝土表面空隙、降低水分蒸发起到促进作用<sup>[3]</sup>。改性丙烯酸和改性丙烯酸复合养护剂能够在混凝土表面形成一层保水膜,从而隔绝空气,大幅降低表面水分的流失,以最大限度保证其内部水化作用所需的水分。此外,该保水膜通过与混凝土浅层游离氢氧化钙反应,在渗透层内形成致密且坚硬的表层,为混凝土提供一定的强度支撑。

2 试验方法

本试验基于混凝土管片预制构件制作背景下,分别在标准养护、自然养护、同条件养护以及在 3 种混凝土养护剂作用下的标准养护环境中从混凝土强度、实体裂纹检测以及水泥烧失量等方面研究无机和有机混凝土养护剂的作用效果。

按照上述混凝土配合比制作标准立方体试件(150 mm×150 mm×150 mm),用于混凝土强度测试;水泥烧失量测试方法采用化学结合水法,也是一种普通升温法。具体测试方法为:抗压试样满足龄期要求后破碎,过 1.18 mm 方孔筛。随后将称重后的样品放于带盖坩埚中,通过直接升温至 105℃下干燥 24 h 后再干燥箱内密封冷却至室温后称重。目的是去除样品中的非化学结合水。随后再灼烧至 1 050℃并保温直至样品恒重,记录样品在 105℃~1 050℃的质量损失,该质量差即为样品化学结合水含量<sup>[4-5]</sup>;实体裂纹检测则采用实体混凝土管片测试。

本试验混凝土养护剂的涂刷方式采用毛刷涂刷

方式。混凝土试块成型脱模后,待其表面水分消失后,用干净的毛刷第一次涂刷养护剂,使其表面形成保护膜,观察表面成型情况再涂刷第二层养护剂达到厂家推荐用量。

3 结果分析

3.1 混凝土强度

本文分别在不同养护条件和混凝土养护剂养护条件下,测试了混凝土的 3、7、28、56 d 抗压强度,试验结果见表 2。试验条件为除标准养护条件下,其他养护方式均处在相同的实验室环境中,温度为(30±3)℃、相对湿度为(70±10)%。每天洒水 3 次,当达到试验龄期时,方可进行拆模试验。

表 2 不同养护条件和混凝土养护剂混凝土的抗压强

| 养护方式         | 3 d 抗压强度 /MPa | 7 d 抗压强度 /MPa | 28 d 抗压强度 /MPa | 56 d 抗压强度 /MPa |
|--------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| 标准养护         | 52.3          | 66.5          | 80.4           | 84.8           |
| 同条件养护        | 51.3          | 68.9          | 82.8           | 87.4           |
| 自然养护         | 46.8          | 64.9          | 77.9           | 80.0           |
| 自然养护,改性水玻璃   | 47.5          | 62.2          | 76.6           | 78.6           |
| 自然养护,改性丙烯酸复合 | 44.8          | 62.7          | 74.0           | 75.2           |
| 自然养护,改性丙烯酸   | 49.9          | 63.0          | 70.9           | 81.0           |

图 1 为不同养护条件和混凝土养护剂混凝土的抗压强度变化趋势。结合表 2 和图 1 结果表明:在标准养护、同条件养护条件下,试件的各龄期强度均大于自然养护条件下的各种养护剂养护抗压强度,而仅自然养护条件下,7 d 和 28 d 的抗压强度也超过养护剂养护的同龄期试块抗压强度。这是因为养护剂在材料功能上属于涂膜材料,其可在混凝土构件表面喷涂或刷涂,待溶液中水分挥发后,方可在混凝土表面上形成一层致密的薄膜,起到隔绝混凝土表面空气,大幅度降低水分从表面蒸发损失,且内部水分蒸发的速度也相对放缓,使得混凝土自身的水分能够满足水化作用所需,起到养护的作用。而频繁的洒水会冲刷混凝土表面成膜,影响致密程度,不利于强度增长。此外,不论是否涂刷养护剂,混凝土的 28 d 和 56 d 强度相较于 3 d 和 7 d 强度的增长幅度大幅放缓,这是因为养护剂是起到“保护”混凝土的作用,并不是“养护”混凝土。养护一方面防止混凝土表面水分蒸发流失,另一方面还要通过内部的水分补充,帮助水泥水化,最终使得强度增长。本试验采

用的养护剂均为水性材料,随着时间的推移,养护剂的保水性能逐渐消退,混凝土水化反应所需的水分愈发减少不利于水化产物生成,因而强度增长较为缓慢。

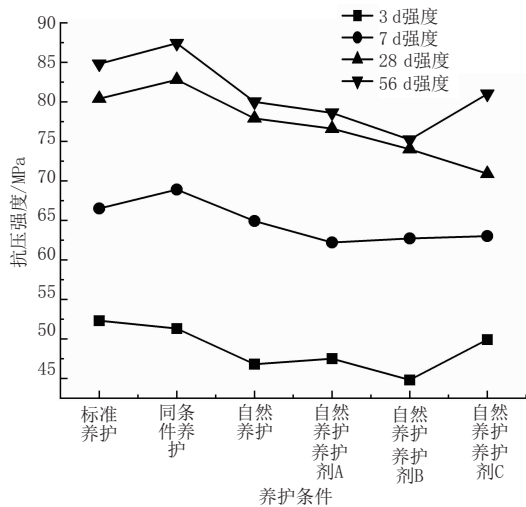


图1 不同养护条件和混凝土养护剂混凝土的抗压强度变化趋势(单位:MPa)

3.2 混凝土烧失量

表3和图2分别展示了不同养护条件和混凝土养护剂的烧失量的数值和变化趋势。可以观察到,随着养护时间的增加,各种养护方式的混凝土样品收烧失量呈上升趋势。这是因为随着龄期增加,混凝土内部水泥的水化产物与周围环境中的CO<sub>2</sub>化学反应减慢,生成的碳酸钙等物质减少,不能充分填充混凝土内部原有的空隙。自然养护的水泥烧失量在上述图表中,在各个龄期皆表现出相对最低烧失量,这表明自然养护条件下大部分水分蒸发流失,少部分水分参与水化反应,不能充分生成水化产物。仅使用洒水养护方式相较于其他养护方式在混凝土烧失量方面具有一定优势。

表3 不同养护条件和混凝土养护剂混凝土的烧失量

| 养护方式         | 3 d 烧失量 / % | 7 d 烧失量 / % | 28 d 烧失量 / % | 56 d 烧失量 / % |
|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 标准养护         | 9.42        | 9.64        | 10.46        | 11.92        |
| 同条件养护        | 9.70        | 9.30        | 10.59        | 10.02        |
| 自然养护         | 5.60        | 7.85        | 8.37         | 8.51         |
| 自然养护,改性水玻璃   | 8.96        | 8.63        | 8.55         | 10.77        |
| 自然养护,改性丙烯酸复合 | 6.95        | 8.78        | 9.94         | 9.40         |
| 自然养护,改性丙烯酸   | 8.54        | 8.51        | 9.57         | 9.17         |

3.3 混凝土实体裂纹情况

试验分别选择了标准养护、自然养护以及三种

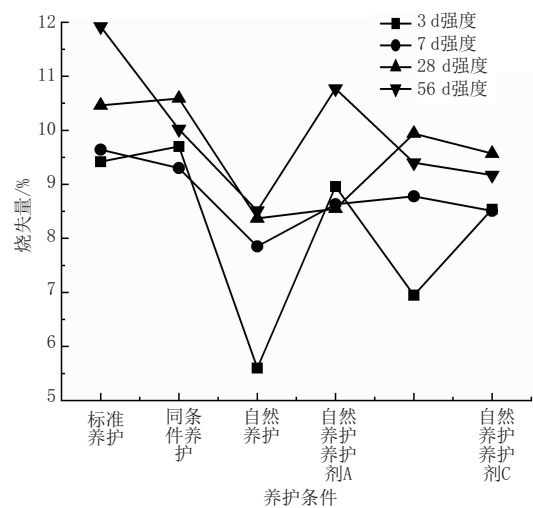


图2 不同养护条件和混凝土养护剂混凝土的烧失量变化趋势(单位:%)

养护剂标准养护条件下的混凝土管片为试样。表4中可以看到,标准养护采用改性丙烯酸复合养护剂养护的管片在平均开裂面积和单位面积总开裂面积数值均处于较低水平,而单位面积裂缝数量为8.3根/m<sup>2</sup>为最多。表明丙烯酸复合养护剂的养护剂裂纹控制更加集中,对局部构件的影响较小。此外,对比自然养护条件下的构件开裂情况,发现本试验所选取的3种有机和无机型混凝土养护剂并未表现出突出的抗裂纹性能。

表4 不同养护条件和混凝土养护剂混凝土的实体裂纹情况

| 养护条件         | 平均开裂面积 / m <sup>2</sup> | 单位面积裂缝数目 / (根·m <sup>-2</sup> ) | 单位面积总开裂面积 / (mm <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> ) |
|--------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|
| 标准养护         | 0                       | 0                               | 0                                               |
| 自然养护         | 30                      | 7.2                             | 214                                             |
| 标准养护,改性水玻璃   | 27                      | 6.2                             | 168                                             |
| 标准养护,改性丙烯酸复合 | 16                      | 8.3                             | 137                                             |
| 标准养护,改性丙烯酸   | 38                      | 7.2                             | 276                                             |

4 结 论

通过研究常用无机类改性水玻璃养护剂和两种有机类改性丙烯酸养护剂的养护效果分析,可以得出以下结论。

(1)随着龄期增长,混凝土强度逐渐增长,标准和同条件养护强度更高。7 d 和 28 d 的抗压强度超过养护剂养护的同龄期试块抗压强度。频繁洒水冲刷不利于混凝土表面形成致密的保护膜,影响混凝土水化反应;

(2)水性养护剂在高温高湿环境中,混凝土表面

(下转第 282 页)

| 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<br>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<br>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<br>有渗漏 | 渗水<br>高度 | 是否<br>合格 |
| 水溶液<br>养护            | 0.2      | √   |             |          | 合格       |
|                      | 0.4      | √   |             |          |          |
|                      | 0.6      | √   |             |          |          |
|                      | 0.8      |     | √           | 1.5 cm   |          |
| 养护剂<br>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.