

Research and Application of Diatomite Epoxy Resin Concrete

Cheng Chen¹ Ting Lv¹ Lei He^{2,3} Qingda Li⁴ Yunfei Zou¹

1. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China
2. Yunnan Key Laboratory of Traffic Engineering Experiment and Enterprises Testing, Kunming, Yunnan, 650011, China
3. Yunnan Science Research Institute of Communication Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650011, China
4. Yunnan Communications Investment & Construction Group Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650011, China

Abstract

Epoxy resin concrete has high early strength, can be cured at normal temperature and low temperature, and has good adhesion to most materials. However, due to its early hardening speed, Pouring time is shorter and the construction difficulty is increased. The unique porous structure to diatomite can adsorb curing agent, and delay the reaction time of epoxy resin and curing agent, thus controlling the hardening speed of epoxy resin concrete and facilitating construction. The experiment proves that diatomite as a filler has a significant improvement on the performance of epoxy resin concrete, and it has a certain slowing effect on the curing time of epoxy resin.

Keywords

epoxy resin; diatomite; concrete; early strength; curing agent

硅藻土环氧树脂混凝土的研究与运用

陈诚¹ 吕婷¹ 何磊^{2,3} 李庆达⁴ 邹云飞¹

1. 重庆交通大学河海学院, 中国·重庆 400074
2. 云南省交通工程试验检测企业重点实验室, 中国·云南 昆明 650011
3. 云南省交通科学研究院有限公司, 中国·云南 昆明 650011
4. 云南交投集团云岭建设有限公司, 中国·云南 昆明 650011

摘要

环氧树脂混凝土早期强度高,可在常温和低温下固化,并且与大多数材料有很好的粘附性。然而由于其早期硬化速度过快,对浇筑时间要求较高,增加施工难度。而硅藻土特有的多孔结构能吸附固化剂,延缓环氧树脂与固化剂的反应时间,从而控制环氧树脂混凝土的硬化速度,便于施工。实验证明硅藻土作为填料对环氧树脂混凝土的性能有较明显提升,并且对环氧树脂的固化时间起到一定的减缓作用。

关键词

环氧树脂; 硅藻土; 混凝土; 早期强度; 固化剂

1 引言

环氧树脂混凝土作为一种聚合物混凝土与普通混凝土相比具有较好的力学性能,同时早期强度高、粘附性较好、对外界的化学物质、细菌、水气等都有良好的抗侵蚀性能。因此,被广泛应用于混凝土结构的修复与加固中,尤其在对修复时间要求较高的桥梁装铺以及伸缩缝修补方面的应用更为广泛^[1,2]。李宇峙等人^[3]系统研究了不同级配环氧树脂混凝土的工作性能、抗弯能力和抗压强度,并提出了最优配合比。赵锋军等人^[4]研究发现薄层环氧树脂混凝土材料层间粘结强

度以表面拉应变是满足铺装层设计所应考虑的主要指标。徐磊等人^[5]采用自主研发的促进剂能使环氧树脂混凝土早期拉剪强度迅速提高,从而满足结构快速修复的需求。孙杨勇等人^[6]用改性胶凝剂进行配合比设计,并论证了马歇尔配合比设计法对环氧树脂混凝土的适用性。张争崎等人^[7]对桥面装铺用环氧树脂混凝土的级配、性能和粘结特性做出了研究,并论证了环氧树脂混凝土在桥面修补方向的适用性。Mani等人^[8]利用硅烷耦合剂对环氧混凝土进行改性,可使其抗压强度提升36%。Haidar等人^[9]结合弯曲和压缩实验以及电镜观察混凝土孔隙等实验对环氧树脂混凝土的力学性能进行了全

面研究。不仅如此,环氧树脂混凝土在实际工程中也有被成功使用的例子,例如在中国西安的高速公路灞河大桥段的伸缩缝施工中就运用了环氧树脂混凝土^[10]。在2004年的宜大高速公路上,也成功用环氧树脂混凝土修补公路病害。

由此可见对环氧树脂混凝土的研究主要在以下方面:(1)环氧树脂混凝土的配料种类与配合比研究;(2)环氧树脂混凝土的强度、耐久性、抗冻性、耐腐蚀性研究;(3)环氧树脂代替普通混凝土用于结构修复和加固;(4)降低环氧树脂混凝土造价方面的研究。

然而由于环氧树脂混凝土存在早期硬化速度过快,浇筑时间不易控制,并且耐磨性能较差等问题。但随着人们对环氧树脂的研究越来越深入,填充物成了改变环氧树脂混凝土工作性能的主要途径。因此,使用填充物提升环氧树脂混凝土在各方面的力学和工作性能成为了现有阶段主要研究的目标。

不同的填料对混凝土有不同的影响,一般来说,填料自身的硬度越高,能承受的外力对整体结构的滑移就较大,而湿性填料对提升混凝土的流动性很有帮助。如在现阶段,有以高硬度著称的B4C、AL2O3等填料,对混凝土的强度提升比较明显,同时,B4C和AL2O3分别属于无吸湿性填料以及弱吸湿性填料,所以B4C和AL2O3是优秀的提升混凝土强度以及流动性的填料。中国辽宁工程技术大学的周梅等人对环氧混凝土的填料也做出了许多实验研究,分析了不同填料对混凝土工作性能的影响以及应用^[11]。李智超也在文章中系统讲述了各种填料对环氧树脂混凝土的性能的影响^[12]。

但是本项目不仅需要加强环氧树脂混凝土本身的强度,还需要减缓反映从而加长施工时期。而硅藻土其本身的多孔隙结构,使其具有良好的吸附性,这可以减少固化剂与环氧反映程度。硅藻土在声学材料、建筑材料、涂料、隔热保温材料等行业的应用日趋广泛^[13]。也正是因为其特有的性质,硅藻土也常被用作功能性填充材料,以增强其他材料的各种力学性质,而且中国对硅藻土作为填料的性质研究仍然不多,所以硅藻土作为建筑结构的填料在中国的发展前景十分可观^[14]。

因此本实验选用硅藻土吸附固化剂的方式来延缓环氧树脂与固化剂的反应时间,从而降低环氧树脂混凝土的硬化速度,便于控制施工进度。通过正交设计的方法对硅藻土环氧树脂混凝土进行配合比优化设计,在满足施工和易性的基础

上,以24h的抗压强度作为性能评价指标,选出最佳配合比。

2 实验配合比设计

2.1 原材料技术指标

2.1.1 环氧树脂

选用中国石化集团资产经营管理有限公司巴陵石化分公司生产的E51型环氧树脂,其检测指标如表1。

表1 CYD-128型环氧树脂指标

环氧当量 (g/mol)	可水解氯 %	软化点 (°C)	粘度 (mPa·s)	挥发份 %
190	≤ 0.10	16	125000	0.15

2.1.2 硅藻土

选用由中国吉林远通矿业有限公司生产的硅藻土,建议与固化剂的质量吸附比为1:1。

2.1.3 T31 固化剂

选用由亿丰化工有限公司生产的T31环氧树脂固化剂,建议一般用量为15~40份,室温干燥条件下用量为15~20份,在低温或潮湿环境用量应提高到25~40份。

2.1.4 三乙醇胺

选用由中国无锡市亚泰联合化工有限公司生产的三乙醇胺。

2.1.5 无水乙醇

选用由中国杭州双林化工试剂厂生产的无水乙醇。

2.1.6 石子及砂子

选用粒径为2~10mm的石灰岩,砂子为中砂,选用干燥河沙。试验中砂石质量比为1:1.5。

2.2 配合比设计

本实验主要在满足施工和易性的基础上,通过调整各组分掺量、环氧树脂温度以及稀释剂比例,以浇筑后24h的抗压强度作为性能评价指标,按照表2和表3进行相应抗压试验。

表2 因素与水平表

水平 \ 因素	T31 固化剂 (A)	三乙醇胺 (B)	环氧树脂温度 (C)
1	16	5	160°C
2	20	7.5	100°C
3	30	10	60°C

表3 正交试验方案及硅藻土环氧树脂混凝土配合比

因素 水平	T31 固化剂 (A)	三乙醇胺 (B)	环氧树脂温度 (°C) (C)	E51 环氧树脂	骨料	硅藻土	无水乙醇与环氧树脂质量比 (%)
1	16.00	4.00	160	100.00	600.00	20.00	7.5
2	18.00	4.50	160	100.00	600.00	22.50	7.5
3	20.00	5.00	160	100.00	600.00	25.00	7.5
4	20.00	5.00	160	100.00	600.00	0.00	0.0
5	20.00	5.00	160	100.00	600.00	0.00	7.5
6	21.00	5.25	160	100.00	600.00	26.25	7.5
7	20.00	7.50	160	100.00	600.00	27.50	7.5
8	30.00	7.50	60	100.00	600.00	37.50	7.5
9	30.00	7.50	100	100.00	600.00	37.50	7.5
10	30.00	10.00	100	100.00	600.00	40.00	10
11	32.50	10.00	100	100.00	600.00	42.50	10

3 试验结果及分析

试件成型 4h 后拆模，随后置于实验室达到相应龄期后进行单轴抗压试验。荷载采用位移控制的方式进行加载，加载速率为 0.05mm/s。试验所得各龄期强度试验结果如表 4 所示。

表4 不同龄期抗压强度结果

硅藻土环氧树脂混凝土	4h(MPa)	8h(MPa)	24h(MPa)	48h(MPa)	72h(MPa)
1组	-	-	1.35	-	-
2组	-	-	3.54	-	-
3组	2.72	3.63	6.10	10.42	17.10
4组	9.01	-	21.69	-	-
5组	7.86	-	20.53	-	-
6组	7.72	-	13.25	20.26	33.19
7组	2.81	4.80	7.08	12.65	21.32
8组	-	-	-	43.50	-
9组	-	-	23.83	34.64	-
10组	-	-	29.81	40.24	-
11组	-	-	28.09	34.38	-

3.1 固化剂含量对抗压强度的影响

图 1 为龄期与试件抗压强度间的关系。由图可知，随着龄期的增加，硅藻土环氧树脂混凝土的抗压强度随之上升。当浇筑时间小于 24h 时，试件硬化时间较慢。随后随着龄期的增加，混凝土强度迅速上升。由此可见，硅藻土有效缓解了环氧树脂与固化剂的反应速度，使前期强度有所降低。

由图 2 可见，24h 混凝土抗压强度与固化剂含量呈线性增长，固化剂含量越高，试件抗压强度也越大，第十组 24h 抗压强度最大。

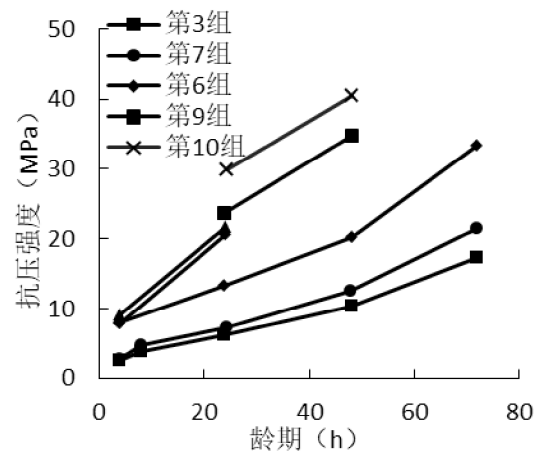


图1 龄期与抗压强度的关系

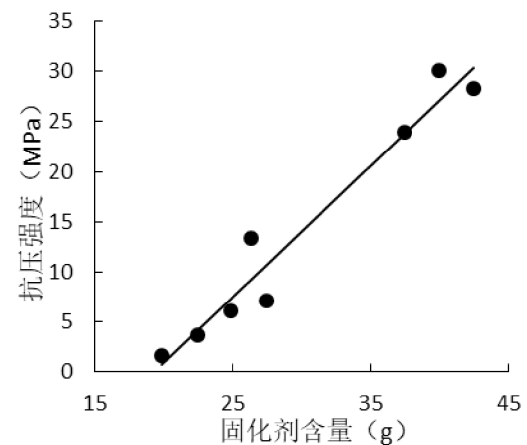


图2 固化剂含量与 24h 抗压强度的关系

3.2 环氧树脂拌合温度及无水乙醇含量对抗压强度的影响

随着固化剂含量的增加，混凝土的早期强度也迅速上升，硅藻土的含量也随之增加。然而，由于硅藻土是一种结构疏松的矿物质，掺入拌合物后使拌合流动性变差，对和易性产生很大影响。对于第八组试件，虽然 48h 抗压强度大于第十组试件，但由于环氧树脂拌合物温度以及无水乙醇含量度过低，拌合物和易性较差。因此，本实验主要通过控制环氧树脂的拌合温度及无水乙醇的含量来控制拌合物的和易性。

由第一组至第八组可知，若拌合环氧树脂温度较高，则拌合物初凝时间较快，浇筑时间不易控制。若拌合环氧树脂温度较低，则拌合物过于粘稠，不利于施工。由第四组和第五组可知，虽然无水乙醇的掺入会增加拌合物的和易性，但也会降低试件的抗压强度，因此无水乙醇的掺量不宜过大。由第九组至第十组可知，可以通过控制环氧树脂拌合温度

及无水乙醇含量的方法在满足试件强度的同时控制拌合物的和易性。

综合考虑以上 24h 抗压强度以及拌合物的和易性, 可得 T31 固化剂选用水平 3 (掺量 30), 三乙醇胺选用水平 3 (掺量 10), 环氧树脂拌合温度用水平 2 (100℃) 即正交设计表中的第 10 组作为最佳配合比。

4 工程应用

工程现场试验选址于 S11 遂内高速出口处 K86+920 下行方向, 对一条伸缩缝进行维修, 维修材料的制备生产在中国四川遂资高速公路有限公司内进行。伸缩缝原补填混凝土均局部环损, 双缝双车道 8m 修复总长共计 16m; 先将原有填补混凝土凿除, 替换成新型修补材料。硅藻土环氧树脂混凝土的施工工艺流程如图 3 所示, 先生产制备固化剂, 然后再将集料中拌入加热后的环氧树脂最后加入固化剂。所有用料在养护基地一次性投料生产, 集料按集配在养护基地备料。伸缩缝的修补采用半幅施工方法, 临时封闭一条车道、分两次进行。

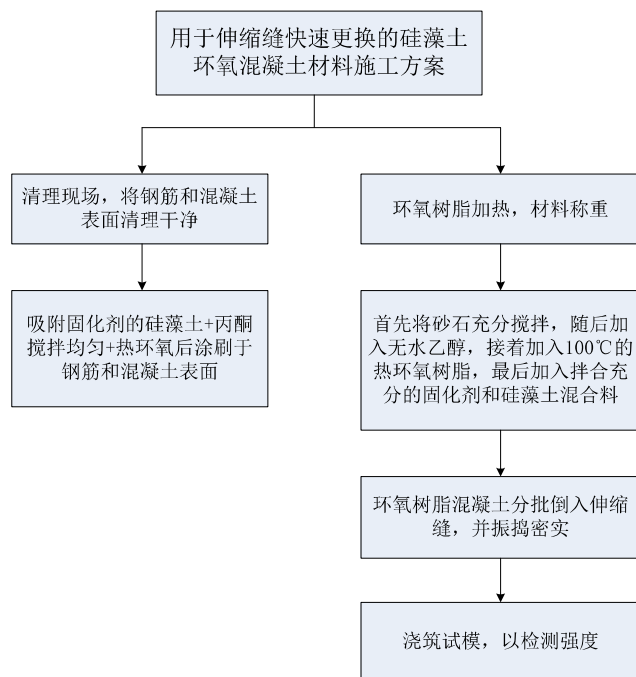


图3 施工工艺流程图

为了延缓固化剂与环氧树脂的反应时间, 在施工前首先将固化剂和硅藻土充分搅拌, 使硅藻土充分吸附固化剂。基于工地现场条件, 采用搅拌机为装备对固化剂和硅藻土进行搅拌。待拌合物搅拌充分后, 装入容器中并密封, 以防固化剂挥发。对于环氧树脂由于拌合前需对其加热, 基于工地

现场条件, 采用加热带对环氧树脂进行加热, 待其温度达到 100℃后加入集料中进行拌合。

现场修补填筑前, 首先将混凝土和钢筋表面用钢刷清理干净, 随后在钢筋和混凝土表面涂抹丙酮 (图 4)。待丙酮挥发后, 在钢筋及整个修补结合面均涂刷粘层胶, 粘层胶由环氧树脂和固化剂按比例混合而成。将修补料填筑于坑槽内, 先用振动棒进行插捣振动, 随后, 用振动板对表面振捣密实。



图4 粘层胶涂刷

修补成型后的伸缩缝如下图 5 所示, 保持完好至今, 后期情况正在进一步观察中。



图5 伸缩缝完工修复完工后最终状态

5 小结

新型修补材料的室内实验和依托工程现场施工两阶段研究表明, 新型修补材料可以冷拌施工, 养护期可在 1d 以内, 能够达到快速修补的目的。实验得出主要结论如下:

(1) 本文采用硅藻土作为环氧树脂混凝土的填充材料, 研究了用硅藻土填充的环氧树脂混凝土的力学特性。从实验数据来看, 相较其他填充物, 硅藻土对混凝土强度增长规律的变化还是比较明显的。在 4 小时之后, 硅藻土环氧树脂混

凝土较普通环氧树脂混凝土的强度有所下降,这也表明此时硅藻土中的添加剂与环氧没能充分反映,此时的混凝土流动性较大,便于施工。在24小时后,硅藻土环氧树脂混凝土的强度有较大提升,基本超过普通环氧树脂混凝土,硅藻土作为填充剂的优势开始体现。在48小时后,硅藻土环氧树脂混凝土强度已接近40MPa,其强度已经满足高速公路基本通行要求。

(2) 硅藻土环氧树脂能有效延缓硬化时间,便于施工,其流动性在浇筑后12小时内变化较小,在12小时后强度提升速度越来越快。所以硅藻土环氧树脂混凝土在浇筑后12小时内为最佳施工时间,其后虽然也能施工,但流动性会越来越小,施工难度越来越大。

(3) 固化剂能提升硅藻土环氧树脂混凝土的前期强度,加快水化热反映速率。从图中曲线来看,固化剂能明显加强硅藻土环氧树脂混凝土的强度,且固化剂越多,混凝土早期强度越高,但固化剂量的变化不会影响混凝土整体强度的变化规律,硅藻土环氧树脂混凝土的强度变化仍遵循初始强度提升速率慢,24小时后强度提升速率快的特点。

(4) 从多组实验数据可以看出,除了固化剂对硅藻土环氧树脂混凝土的影响较大,集料级配也对其工作特性有一定影响。合适的配料比例能让硅藻土的性能发挥到最大。本次实验中的第10组比例为最终调试试值,但是前后两组比例差距不小,所以优化集料级配是接下来研究硅藻土环氧树脂混凝土的重点方向。

本次实验还有需要进一步完善的工作,如胶结料的制备应用专门的化工设备生产,以保证关键材料的匀质性和稳定性;胶结料的配方还可优化,进一步提高快速固化能力、缩短养护期,新型修补材料的集配还可进一步优化,并且施工现场应能保证稳定性。现场拌和宜采用强制式机械搅拌机,以保证修补材料均匀性;桥梁伸缩缝新的结构形式仍需进一步探索,设计时应将材料与结构作一体化考虑。

通过依托工程的实施,表明本项目提出的新型修补材料可以应用于伸缩缝的更换中,材料可以迅速达到预期性能,

实现快速修补的目的。

参考文献:

- [1] 徐磊. 钢桥面铺装修补用环氧树脂混凝土实验及应用研究 [D]. 长沙:长沙理工大学,2014.
- [2] 刘克非. 环氧沥青结合料的试验研究 [D]. 长沙理工大学,2008.
- [3] 程经纬. 环氧树脂基混凝土的冲击和老化性能研究 [D]. 广州:华南理工大学,2016.
- [4] 赵锋军,李宇峙. 钢桥面薄层环氧树脂混凝土铺装材料路用性能试验研究 [J]. 公路,2010,(02).
- [5] 徐磊,李宇峙,张平. 钢桥面铺装修补用环氧树脂混凝土固化性能试验研究 [J]. 公路,2014,(07):23-25.
- [6] 钱振东,王江洋. 环氧沥青混凝土裂纹起裂与失稳扩展的临界特征 [J]. 工程力学,2015,01:96-103
- [7] 张争奇,张苛,李志宏,王康. 环氧沥青混凝土增柔增韧改性技术 [J]. 长安大学学报(自然科学版),2015,01:1-7.
- [8] Mani P,Gupta A K,Krishnamoorthy S.Comparative study of epoxy and polyester resin-based polymer concretes[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives,1987,7(3):157-163.
- [9] Haidar M,Ghorbe I E,Toutanji H. Optimization of the formulation of micro-polymer concretes[J].Construction and Building Materials,2011,25(4): 1632-1644.
- [10] 秦海兰,朱方之,吴剑. 环氧树脂混凝土的研究现状和工程应用 [J]. 焦作工学院学报,2003,22(2):109-113.
- [11] Zhou M,Liu S X.Influence of different kind of filler and its consumption on strength of epoxy concrete[J]. New building Materials,2001(3):4-6.
- [12] 李智超,黄张洪. 填料对环氧树脂混凝土力学性能影响 [J]. 热固性树脂,2003,18(5):16-17.
- [13] 郑水林,孙志明,胡志波,张广心. 中国硅藻土资源及加工利用现状与发展趋势 [J]. 地学前缘,2014,21(2):274-279.
- [14] 金洋,王春贺,黄帮蕊. 硅藻土的特点及其应用进展 [J]. 硅酸盐通报,2016,35(3):810-813.