

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.07.016

桥梁加固用结构胶的制备与性能影响分析

魏保立, 邓苗毅, 董晓马

(郑州航空工业管理学院 土木建筑工程学院, 河南 郑州 450015)

摘要: 为了改进粘钢加固用结构胶的力学性能, 对结构胶的各个构成组分进行试验分析确定其用量比例, 通过室内试验和力学性能测试研究粘钢加固用结构胶的力学性能特点。采用正交试验得出结构胶各个组分对力学性能影响的主次顺序, 确定了粘钢加固用结构胶的配比。通过分析不同固化剂用量对结构胶的性能影响, 确定固化剂用量, 并对试配的结构胶进行了力学性能试验, 得出的力学性能指标满足粘钢加固用结构胶的使用要求, 试配的结构胶可以用于混凝土桥梁的加固补强。另外, 对适配的结构胶在使用过程中的表面处理、固化时间、固化温度与相对湿度、固化压力提出了指导性建议研究方法, 可为桥梁结构的加固提供借鉴意义。

关键词: 桥梁工程; 结构胶; 正交试验; 力学性能; 桥梁加固; 粘钢

中图分类号: U445.7⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2012)07-0091-06

Preparation of Structural Adhesives for Bridge Strengthening and Analysis of Its Influence on Performance

WEI Baoli, DENG Miaoyi, DONG Xiaoma

(School of Civil Engineering, Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou Henan 450015, China)

Abstract: In order to improve the mechanical performance of the structural adhesives for bridge structure members strengthening with bonded steel plate, the composition of the structural adhesive was experimental analyzed to determine its proportion. The mechanical performance of the structural adhesive was studied through laboratory and mechanical tests. The primary and secondary sequences of the influence of various components of the structural adhesive on the mechanical performance was obtained by orthogonal test, and then the proportion of the structural adhesive for structure member strengthening with bonded steel plate was determined. By analyzing the influence of amount of curing agent on the structural adhesive properties, the amount of curing agent was determined. Then the mechanical performance of the trial structural adhesive was tested, which can meet the requirements of structure member strengthening with bonded steel plate. The trial structural adhesive can be used to reinforce the concrete bridge. Besides, the suggestions on surface treatment, curing time, curing temperature and relative humidity, and curing pressure in the process of using this structural adhesive were put forward, which is helpful for reinforcement of bridge structures.

Key words: bridge engineering; structural adhesive; orthogonal test; mechanical performance; bridge strengthening; structure member strengthening with bonded steel plate

收稿日期: 2011-12-21

基金项目: 河南省教育厅自然科学基金项目(2010A430020)

作者简介: 魏保立(1978-), 男, 河南漯河人, 硕士。(zzwbl2000@163.com)

0 引言

随着国民经济的持续增长,城市进程的加快,高速公路和高速铁路建设日新月异,然而随之出现的汽车超载、铁路提速等现象对现有桥梁结构也是新的考验。在超载和高速情况下,桥梁结构在使用工程中经常出现裂缝,这些裂缝如不及时修补必然引起桥梁结构承载力降低,甚至引起桥梁结构倒塌。而且原来旧的桥梁由于使用时间较长,设计荷载偏低,在使用过程也会出现病害(裂缝、坏化),这些都会危及桥梁的使用寿命,必须对健康状况不良的桥梁结构进行加固补强,以满足使用要求。

近30 a来,国内出现了许多桥梁结构加固的工程实例,在桥梁加固技术改造方面,特别是混凝土结构的加固补强,积累了丰富的实践经验,取得了丰硕的成果。加固方法很多,粘钢加固技术^[1-5]就是其中一种有效的加固方法。它是将钢板用结构胶粘牢于被加固的混凝土构件外部,保证混凝土与板材作为一个新的整体,共同受力达到加固补强的目的。它克服了常用传统的加固方法,如增大截面法,在强度、刚度和稳定性方面,对时间、空间及材料等方面的要求。在工程实践中将板材粘贴于被加固的钢筋混凝土梁受力部位表面,不仅能最充分地发挥板材的强度,封闭粘贴部位加固构件的裂缝,约束混凝土变形,而且能有效地提高加固构件的刚度与抗裂性^[6-8]。除此之外,粘钢加固法的整个施工流程所需的时间约1~2 d,比其他加固法大大节省了施工时间,且其施工工序只包括清理和修补构件表面、拌胶粘贴、加压固化等,工艺简便且易达到操作要求。

然而,在灌注粘钢加固中,加固效果的好坏和结构胶的性能优良直接相关。《公路桥梁加固设计规范》中就明确规定了粘钢加固用结构胶与混凝土的正拉粘结强度必须大于等于2.5 MPa,且破坏为混凝土内聚破坏。但由于新工艺大范围应用的时间不长,对所用结构胶的研究资料很少,而且结构胶性能的影响因素较为复杂,有必要对桥梁加固用结构胶的组成、性能及应用进行深入的研究。

桥梁加固用结构胶,其力学性能必须满足加固后结构的承载能力要求。在结构胶使用过程中,首先保证的应该是其使用力学性能,然后再考虑其他的特性,如粘度低、耐高温和耐久性好等。力学性能优良可以保证被加固的桥梁结构达到原有的承载能力水平,从而保证桥梁结构的使用要求。基于上

述目的及意义,本文对粘钢加固用结构胶的组成、性能及应用进行了试验研究,对结构胶在桥梁加固工程中的推广和应用具有积极的指导意义。

1 原材料及试验方案

1.1 原材料

(1) 环氧树脂

环氧胶粘剂是由环氧树脂、固化剂、稀释剂、增韧剂、填料等组成的液态或固态胶粘剂,各种组分材料的种类、用量及不同的固化体系对胶粘剂性能有很大的影响^[9]。本文采用的原材料以增加树脂体系力学性能为目标,按力学性能最优,其他功能适宜为原则,分析各改性组分对结构胶力学性能的影响规律和不同固化体系的性能特点,确定结构胶的配方。

在众多的胶粘剂类型中,由于新型环氧树脂、新型固化剂和添加剂的不断涌现,以环氧树脂为基料研制而成的胶粘剂以其优异的性能、丰富的品种及广泛的适应性成为重要的一类胶粘剂。环氧树脂有多种类型,其中双酚F型、双酚S型环氧树脂属低粘度树脂,但是因其来源较少,价格昂贵而在建筑结构胶中应用较少。使用最多的是双酚A型环氧树脂,据资料^[10]显示,双酚A型环氧树脂产量最大,占环氧树脂总量的90%左右,而且价格便宜,故本文采用此类环氧树脂。型号为E-51(618),环氧值当量为每100 g 0.48~0.54,有机氯当量为每100 g ≤ 0.02 ,无机氯当量为每100 g ≤ 0.01 ,挥发分 $\leq 2\%$,色泽号 ≤ 2 。

(2) 固化剂

改性聚酰胺树脂,外观为黄棕色透明粘稠液体,胺值为 (400 ± 200) ,粘度(40℃)为500~2 500 MPa·s。

(3) 活性增韧稀释剂

为降低环氧树脂体系的粘度,改善胶液的流动性,提高其浸润能力和湿润能力,必须加入适量的稀释剂。稀释剂分为非活性和活性稀释剂两大类^[10]。非活性稀释剂与树脂仅是机械混合,在固化过程中会挥发掉而使固化物收缩率相对增大,一般不选用;活性稀释剂是指带1个或2个环氧基的低分子化合物,它们可以直接参与环氧树脂的固化反应,对固化产物的性能几乎无影响,有时还能增加固化体系的韧性。本文选用活性增韧稀释剂,其主要成分为丁基缩水甘油醚,环氧值当量为每100 g 0.64~0.71,有机氯当量为每100 g ≤ 0.005 ,粘度

(25℃) 为 $1.5 \sim 3.5 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ 。

(4) 增塑剂

增韧剂可分为活性和非活性两大类^[10]。非活性增韧剂也可称为增塑剂, 它在胶粘剂中能提高固化物柔韧性和改进耐低温性。增塑剂粘度低, 沸点高, 因而能增加树脂的流动性, 有利于浸润、扩散和吸附, 但它不能和树脂很好地混溶, 只是以游离态存在于固化的胶层中, 有从胶层中迁移出来的倾向, 因而降低了固化产物的拉伸强度、弯曲强度、弹性模量和介电性能等。所以, 每 100 份 (以质量计) 环氧胶粘剂添加增塑剂的份数以 $5 \sim 10$ 份为宜。常用增塑剂有邻苯二甲酸酯类、脂肪酸酯类、磷酸酯类等, 其中邻苯二甲酸酯类产量占增塑剂总量的 80% 左右, 常用的如邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯。邻苯二甲酸二丁酯室温下粘度最小且可安全使用, 考虑选用。其用量大小还应通过试验确定。

邻苯二甲酸二丁酯, 简称 DBP, 分子量为 278.35, 无色或淡黄色透明油状液体, 粘度 (25℃) 为 $16.35 \text{ MPa} \cdot \text{s}$, 沸点为 339℃, 闪点为 171.4℃, 与乙醇、丙酮、苯等多种有机溶剂混溶, 不溶于水, 可燃, 微毒。

(5) 增韧剂

活性增韧剂自身带有活性的基团, 可以与主体材料在一定条件下发生化学反应, 在固化完成后, 一般也不会因环境情况与时间推移而被析出, 反而能改进胶体耐老化、耐介质、耐疲劳性能, 大大改善胶粘剂的韧性、弹性及粘结强度等, 所以大多数建筑结构胶加入增韧剂以改进其综合性能^[11]。

常见增韧剂有如下几类: 热塑性树脂或高分子材料, 如长链聚醚、聚酯、低分子液体聚酰胺等; 应用较广的橡胶类, 如液体聚硫橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶和丁基橡胶等, 以及其他长链大分子物质等。其中橡胶类增韧剂因其货源丰富、价格适宜、性能优良、增韧机理较为清楚等特点而被广泛使用。各种增韧剂加入工艺有所差异, 如液体聚硫改进环氧树脂的韧性。因此, 根据建筑结构胶的使用条件, 本文选用了使用方便的液体聚硫作增韧剂。其通过极性的 HS 基与环氧树脂的环氧基反应使环氧树脂增韧, 获得粘附性、耐介质性、耐热性、内聚强度都较好的固化物。

液体聚硫橡胶, 牌号为 JLY-121, 外观为棕褐色均匀粘稠液体, 有特殊臭味。平均分子量为 $1\,000 \pm 200$, 水分 $< 0.1\%$, 总硫含量为 $37\% \sim 40\%$, pH 值 $5 \sim 8$ 。

(6) 偶联剂

偶联剂是一种界面交联剂, 作用是改进界面之间的粘合。它的加入不但提高了粘结强度, 而且改善了耐水性、耐热性、耐潮湿性等^[12], 扩大了建筑结构胶的使用范围。它虽价格较贵, 但用量极少, 所以也得到了广泛的应用。偶联剂有若干类型, 其中以硅烷及其衍生物为主。一般认为硅烷偶联剂粘度小, 表面张力低, 当涂抹在被粘物的表面上即可展开, 并可渗透到被粘物表面极其细微的空隙中。本文采用 KH-55 为氨基官能团硅烷, 其为无色低粘度透明液体, 沸点为 217℃, 密度为 0.946 g/cm^3 , 闪点为 98℃。

1.2 试验方案

为了达到桥梁加固用胶黏剂的物理力学性能, 以粘钢加固用结构胶的性能为目标, 采用原材料进行正交试验, 得出体系中各组分对性能的影响规律, 按照粘结强度最优, 其他性能合适为配置原则, 确定各个组分的用量。然后对于固化剂的用量进行试配, 得出粘钢加固用胶黏剂的合理配比。

在测试结构胶与混凝土抗剪和抗拉强度时, 采用 C50 混凝土制作成 $70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 试块, 养护 28 d 后用于试验。钢板采用 Q235 制作成 $15 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 试件, 钢板表面经油污处理和喷砂处理, 粘合前进行丙酮处理。每组试验制作 5 个试样用于测试, 选取 3 组, 每一组试验的测试过程和数据处理按照《混凝土加固设计规范》^[13] 进行, 具体的试验图如图 1 和图 2 所示。

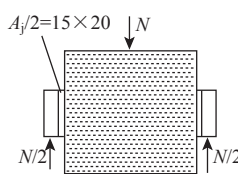


图1 结构胶抗剪粘结强度试验

Fig. 1 Shear bond strength test for structural adhesive

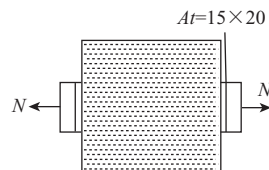


图2 结构胶抗拉粘结强度试验

Fig. 2 Tensile bond strength test for structural adhesive

2 结构胶的组分确定

2.1 试验过程

结构胶的配方是根据使用时所要求的环境温度、

物理力学性能、操作时间和工艺而确定的^[1]。在同一固化体系中，建筑结构胶的组成对其性能有显著的影响。本文将采用正交试验设计方法对胶粘剂组分配比进行研究，理清结构胶中各改性组分与性能的影响关系，研究稀释剂、增塑剂、增韧剂、偶联剂 4 种组分的用量大小将会对胶液性能产生的有利或不利两方面的作用。将此 4 组分作为影响因素，并根据专业知识和初步的试验，每个因素各取 4 个水平，见表 1。采用正交表 $L_{16}(4^3)$ 进行试验，试验结果见表 2，暂不考虑各因素间的交互作用。

表 1 结构胶组分筛选试验因素水平表

Tab. 1 Factor levels of component screening test for structural adhesive

水平	因素			
	稀释剂/%	增塑剂/%	增韧剂/%	偶联剂/%
1	20	17	5	3
2	15	8	10	0
3	0	0	15	5
4	6	10	0	3

表 2 试验方案及结果

Tab. 2 Test scheme and result

试验号	A 稀释剂/%	B 增塑剂/%	C 增韧剂/%	D 偶联剂/%	E 误差	与混凝土 抗拉粘结 强度/MPa	与混凝土 抗剪粘结 强度/MPa
1	1	2	3	3	2	3.07	4.42
2	2	4	1	2	2	2.88	4.47
3	3	4	3	4	3	2.90	4.19
4	4	2	1	1	3	3.40	4.48
5	1	3	1	4	4	2.81	3.88
6	2	1	3	1	4	3.04	4.43
7	3	1	1	3	1	3.28	3.92
8	4	3	3	2	1	2.69	3.84
9	1	1	4	2	3	2.94	3.87
10	2	3	2	3	3	3.40	4.44
11	3	3	4	1	2	2.76	3.95
12	4	1	2	4	2	3.10	4.14
13	1	4	2	1	1	3.22	3.95
14	2	2	4	4	1	2.74	4.27
15	3	2	2	2	4	3.35	4.42
16	4	4	4	3	4	3.11	4.16

2.2 试验结果分析

(1) 各因素/水平对抗拉强度的影响

根据表 2 中的试验结果，对各组分与混凝土粘

结抗拉强度值进行数据处理，结果见表 3。从表 3 中可以看出各因素极差的大小次序： $B > D > C > A$ ，也就是说影响力学性能的各因素的主次顺序为： $B > D > C > A$ 。由此可见，增塑剂对抗拉强度影响最大，抗拉强度可从 3.26 MPa 下降到 2.91 MPa，下降幅度为 10.7%；其次为偶联剂；增韧剂和稀释剂作用不显著，且增韧剂在水平 1 时使力学性能增大，稀释剂随着用量的减小其力学性能反而有增大的趋势，减小到某一用量后其力学性能影响也随之减小。从各因素的不同水平上看，稀释剂在水平 2 时使抗拉强度最大，增塑剂、增韧剂和偶联剂用量适当时力学性能最优。

表 3 与混凝土粘结抗拉强度正交试验结果极差分析表

Tab. 3 Range analysis of orthogonal test result of tensile strength of components bonding with concrete

统计参数	因素			
	A 稀释剂	B 增塑剂	C 增韧剂	D 偶联剂
K_1	11.86	11.65	12.67	12.67
K_2	12.71	11.93	11.65	11.39
K_3	12.30	12.43	12.55	12.57
K_4	12.16	13.02	12.17	12.41
k_1	2.97	2.91	3.17	3.17
k_2	3.18	2.98	2.91	2.85
k_3	3.08	3.11	3.14	3.14
k_4	3.04	3.26	3.04	3.10
极差 R	0.21	0.34	0.26	0.32
因素主次顺序	$B > D > C > A$			
优水平	A_2	B_4	C_1	D_1
优组合	$A_2 B_4 C_1 D_1$			

(2) 各因素/水平对抗剪强度的影响

根据表 2 中的试验结果，对各组分与混凝土粘结抗剪强度值进行数据处理，结果见表 4。从表 3 中可以看出各因素极差的大小次序： $C > B > D > A$ ，影响力学性能的各因素的主次顺序为： $C > B > D > A$ 。从而得出，增韧剂对抗剪强度影响最大，抗拉强度可从 4.22 MPa 下降到 3.91 MPa，下降幅度为 7.3%；而增塑剂、稀释剂和偶联剂对混凝土抗剪强度影响水平相当，极差均在 0.15 左右。但是稀释剂和增塑剂均随着用量减小对抗剪强度有增大趋势，减小一定数值又使抗剪强度减小；偶联剂是在用量达到最大用量时其抗剪强度也达到最大。综合比较，增塑剂用量达到最大，稀释剂和增韧剂用量适当，偶联剂在水平 4 和水平 3 之间时，对与混凝土粘结抗剪

强度影响性能最优。

表 4 与混凝土粘结抗剪强度正交试验结果极差分析表
Tab. 4 Range analysis of orthogonal test result of shear strength of components bonding with concrete

统计参数	因素			
	A 稀释剂	B 增塑剂	C 增韧剂	D 偶联剂
K_1	16. 06	16. 22	15. 66	16. 75
K_2	16. 61	16. 51	16. 63	16. 36
K_3	16. 59	16. 83	16. 53	16. 44
K_4	16. 44	16. 14	16. 88	16. 15
k_1	4. 02	4. 05	3. 91	4. 19
k_2	4. 15	4. 13	4. 16	4. 09
k_3	4. 15	4. 21	4. 22	4. 11
k_4	4. 11	4. 03	3. 92	4. 04
极差 R	0. 14	0. 17	0. 31	0. 15
因素主次顺序 $C > B > D > A$				
优水平	A_2	B_3	C_4	D_1
优组合	$A_2 B_3 C_4 D_1$			

(3) 结构胶配比的确定

在上述正交试验设计分析结果的基础上, 按各性能指标最优的原则确定因素用量范围。对各指标影响因素的用量加以总结, 见表 5。

表 5 各指标与因素用量表
Tab. 5 Proportion of indexes and factors

指标	因素			
	A 稀释剂/%	B 增塑剂/%	C 增韧剂/%	D 偶联剂/%
与混凝土抗拉强度	10 ~ 15	8 ~ 10	0 ~ 5	0 ~ 3
与混凝土抗剪强度	15	17	10	3 ~ 5

由表 5 得到的是单个指标对应的因素的用量范围, 要想使胶粘剂各项性能都满足使用要求, 还要按主功能最优, 其他功能适当, 同时考虑经济性的原则, 即施工性能优良、力学性能良好的低粘度建筑结构胶的要求, 对初步配方进行优化。最后初步确定各因素的用量范围, 见表 6。对最终配比进行试验得出与混凝土抗拉强度为 3. 06 MPa, 与混凝土抗剪强度为 4. 12 MPa, 结果满足《公路桥涵加固设计规范》要求。

表 6 各因素用量表
Tab. 6 Proportion of factors

因素	A 稀释剂	B 增塑剂	C 增韧剂	D 偶联剂
用量/%	10 ~ 15	8 ~ 10	0 ~ 5	3

2. 3 固化剂用量的确定

不同固化体系对结构胶黏剂性能的影响很大, 在工程应用中正确选用固化体系具有重要意义。本文选用的固化体系属室温固化型, 适合在工程中使用, 其用量范围广, 固化物韧性好, 但粘度较高且固化速度较慢。为此, 确定 4 组试验, 各组分用量如表 7 所示, 试验得到的数据如表 7 所示。

表 7 不同固化剂用量试验方案

Tab. 7 Test schemes with different curing agent amounts					
试验号		17	18	19	20
组分	基料/%	100	100	100	100
	稀释剂/%	15	15	15	15
	增塑剂/%	8	8	8	8
	增韧剂/%	0	0	0	0
	偶联剂/%	3	3	3	3
	固化剂/%	45	0	15	30
适用期/min		90	10	21	30
粘度/(MPa·s)		1 501	—	1 050. 24	1 405. 66
与混凝土抗拉强度(14 d)/MPa		2. 78	—	3. 08	2. 99
与混凝土抗剪强度(14 d)/MPa		4. 10	—	3. 25	3. 95
伸长率/%		3. 2	—	2. 3	2. 8

从表 7 中可以看出固化剂用量在 15% 时, 与混凝土粘结抗拉强度到最大值 3. 08 MPa; 固化剂用量在 45% 时, 与混凝土粘结抗剪强度达到最大值 4. 10MPa。随着固化剂用量的减小, 与混凝土抗剪强度有减小趋势, 而固化剂在用量适中时, 与混凝土抗拉强度最优, 用量 40% 时可以使 2 种力学性能达到最优值。综上所述, 最终确定结构胶的配比 (%) 为: 基料: 稀释剂: 增塑剂: 增韧剂: 偶联剂: 固化剂 = 100: 10 ~ 15: 8 ~ 10: 0 ~ 5: 3: 40。

3 结构胶的固化条件

胶粘剂的胶粘过程是一个复杂的物理和化学过程, 胶结性能(强度、耐热性、耐腐蚀性等)不但取决于胶粘剂本身的性能, 而且和胶粘剂的试验方法、胶结工艺以及被粘物表面特征等密切相关, 同时还受周围环境(温度、湿度、压力等)的制约。因此, 环氧胶粘剂的使用必须与上述影响因素相适应, 才能获得最佳结果。

3. 1 表面处理

在测定钢板与混凝土粘结强度时, 依据《公路

桥梁加固施工技术规范》的要求,混凝土粘合面必须清洁、干燥、平整,而且要有适宜的粗糙度。一般情况下,只作表面清洁磨光即可,若粘结强度要求更高或者使用条件恶劣的情况下,可用偶联剂配成1%~2%浓度的乙醇溶液处理表面以强化粘结,条件许可时还可做高温处理,效果更好。钢板粘合面可用喷砂或平砂轮打磨直至露出金属光泽,打磨纹路应与钢板受力方向垂直,钢板粘结面应有一定的粗糙度,钢板外露面必须除锈直至呈现金属光泽并保持干燥。

3.2 固化时间

固化时间是指在一定的温度压力下,胶粘剂固化所需的时间。由于胶粘剂的品种不同,其固化时间差别很大。固化时间的长短与固化温度密切相关,降低温度可以适当延长固化时间,升高温度可以缩短固化时间。测定与混凝土粘结性能时所用的固化时间采用14 d,在实际利用中可以采用3 d或7 d,依据结构胶的性能而定。

3.3 固化温度与相对湿度

结构胶固化需要一定的温度,一般说来,适当提高固化温度,有利于提高粘结强度,缩短固化时间^[1]。结构胶要求常温固化,适用温度范围为5~35℃。为避免温度对试验产生影响,并考虑施工环境条件,各种试验的固化温度定为(23±2)℃。

结构胶固化环境湿度对于结构胶的粘度和性能也有一定的影响,桥梁结构的环境类别按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》为大气环境或无侵蚀的水环境。实验室采用的相对湿度一般为60%~70%。

3.4 固化压力

在结构胶固化过程中,一般都应施加一定的压力,一方面可使结构胶在压力作用下更好地产生塑性流动,使其粘结均匀;另一方面可以保证结构胶与被粘材料紧密结合,提高粘结效果。本文试验结构胶固化压力可以接触压力粘合,以刮刀或其他工具将粘结处压刮几次,以排除气泡,使其粘合密贴。

4 结论和展望

从以上的分析中可以得出如下结论:

(1) 粘钢加固用结构胶的各个组分中,增塑剂和偶联剂对其混凝土抗拉强度影响显著,增韧剂和增塑剂对其混凝土抗剪强度影响显著,而在实际配置结果中,考虑到结构胶的不同的性能,例如粘度,耐老化性,内聚强度等,采用表6中所示的配方,

在实际工程中可以根据主性能最优原则确定具体的组分组成。

(2) 对于固化剂的用量的选择,因为不同的固化剂其对结构胶的影响不同,本文采用的这种聚酰胺缺点是固化速度慢,且粘度较高,但是其对结构胶的抗拉和抗剪强度影响不显著,故可采用。在实际试配过程中可以考虑采用2种或2种以上固化剂按照一定比例组合,综合考虑施工中粘度、固化时间和环境条件等确定合适比例。

(3) 另外对于考核指标,本文采用与混凝土抗拉和抗剪强度指标,因为桥梁结构粘钢加固用结构胶在使用过程中以这2种受力状态为主。在粘钢加固中,结构胶所受的力学状态为复杂应力状态,本着主功能最优其他性能适宜的原则,本文考虑的指标是可以满足结构胶使用性能的。

参考文献:

References:

- [1] JTG/T J22—2008, 公路桥梁加固设计规范 [S]. JTG/T J22—2008, Specifications for Strengthening Design of Highway Bridges [S].
- [2] JTG/T J23—2008, 公路桥梁加固施工技术规范 [S]. JTG/T J23—2008, Technical Specifications for Strengthening Construction of High Bridges [S].
- [3] 贾了, 张朝新, 胡逾, 等. 粘钢加固技术的发展现状与尚待研究解决的基本问题 [C] // 建筑物鉴定与加固第3届全国学术讨论会论文集 (第1册). 北京: 中国建筑工业出版社, 1995: 123-130. JIA Liao, ZHANG Chaixin, HU Yu, et al. Development and Problems of Strengthening Technology with Bonded Steel Plate [C] // Proceedings of the Third National Academic Conference of Identification and Reinforcement for Buildings (Volume I). Beijing: China Building Industry Press, 1995: 123-130.
- [4] 杜青, 蔡美峰, 张献民, 等. 粘贴钢板加固钢筋混凝土矩形受弯构件的非线性有限元数值模拟 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (5): 97-99. DU Qing, CAI Meifeng, ZHANG Xianmin, et al. Nonlinear Numerical Simulation of Rectangular RC Members with Steel-adhered Reinforcement in Bend [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (5): 97-99.
- [5] OEHLERS D J, MOHAMED A M S, LUO W. Upgrading Continuous Reinforced Concrete Beams by Gluing Steel Plates to Their Tension Faces [J]. Journal of Structure Engineering, ASCE, 1998, 124 (3): 224-232.

(下转第103页)