

钢筋表面掺石墨烯水性导电防腐涂料的研究

孙红尧, 张兴铎, 杜恒, 徐雪峰, 徐宁, 蒲朋朋

Study on the water-based conductive anticorrosive coating by adding graphene applied on the surface of steel bar

SUN Hongyao, ZHANG Xingduo, DU Heng, XU Xuefeng, XU Ning, PU Pengpeng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12170/20200331004>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

钢筋在堆石料中的拉拔试验研究

Pull-out test analysis of steel bar in rockfill materials

水利水运工程学报. 2017(5): 74 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.05.011>

配筋率对混凝土 I - II 复合型断裂过程声发射特征的影响

Effect of reinforcement ratio on acoustic emission characteristics during I - II mixed-mode fracture process of concrete

水利水运工程学报. 2020(6): 55 <https://doi.org/10.12170/20191225002>

基于能量法的水环境混凝土疲劳裂缝扩展模型

Fatigue crack propagation model of concrete under water pressure based on energy approach

水利水运工程学报. 2020(3): 106 <https://doi.org/10.12170/20190303001>

不同初始孔隙水压力下混凝土动态力学特性

Dynamic properties of concrete under different initial pore water pressure

水利水运工程学报. 2017(3): 99 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.03.014>

压剪共同作用下混凝土的损伤演化研究

Damage evolution study of concrete under joint action of compression and shear

水利水运工程学报. 2018(2): 112 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.02.015>

考虑率效应的混凝土压剪强度及破坏准则试验研究

Experimental studies on compressive shear strength and failure criterion of concrete considering rate effect

水利水运工程学报. 2018(4): 46 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.04.007>



扫码进入官网，阅读更多精彩文章



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI:10.12170/20200331004

孙红尧, 张兴铎, 杜恒, 等. 钢筋表面掺石墨烯水性导电防腐涂料的研究 [J]. 水利水运工程学报, 2021(2): 138-144. (SUN Hongyao, ZHANG Xingduo, DU Heng, et al. Study on the water-based conductive anticorrosive coating by adding graphene applied on the surface of steel bar[J]. Hydro-Science and Engineering, 2021(2): 138-144. (in Chinese))

钢筋表面掺石墨烯水性导电防腐涂料的研究

孙红尧¹, 张兴铎¹, 杜恒^{1,2}, 徐雪峰¹, 徐宁¹, 蒲朋朋¹

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学 力学与材料学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 作为钢筋混凝土防腐措施的环氧涂层钢筋, 在结构运行维护时, 由于环氧涂层的绝缘特性而不能采用电化学保护措施。为这个问题, 利用石墨烯纳米材料具有导电、防腐、抗冲击等特性, 以水性环氧树脂为主要成膜物质, 掺石墨烯材料和其他导电填料研制得到导电防腐涂料。用电镜表征导电填料的形状和涂层的结构, 分析了涂层的导电和防腐作用机制, 并测试了导电涂层钢筋与混凝土的粘接性能、耐阴极剥离性能和抗弯性能。试验结果表明: 涂层导电性能可达到方块电阻值 $3\ 000\ \Omega/\text{sq}$ 以下, 涂层耐碱溶液浸泡, 在碱性含 Cl^- 溶液中 21 d 以上涂层不起泡、不生锈, 在中性 Cl^- 溶液中 21 d 以上不起泡、14 d 不生锈。石墨烯与其他导电填料混掺才能得到导电性和防腐性能优异的涂层, 作用原理是通过薄片状石墨烯、片状石墨和球状炭黑颗粒之间的相互接触传导电子进行导电, 利用石墨烯的薄片特点延长介质的渗透通道从而提升涂层的防腐性能。涂层钢筋与混凝土的粘接强度比无涂层钢筋的强度降低约 15%, 符合国家标准 GB/T 25826—2010 的要求。

关键词: 涂料; 钢筋; 混凝土; 石墨烯; 环氧树脂; 导电涂料; 防腐

中图分类号: TU593

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2021)02-0138-07

环氧树脂粉末涂层钢筋是钢筋混凝土结构防腐措施之一^[1-3], 一旦表面涂层破损则可能会加速钢筋腐蚀。金属涂层如锌涂层也有用于钢筋表面的防护^[4], 尽管其具有牺牲阳极保护功能, 但金属涂层的腐蚀产物与铁的腐蚀产物一样体积会增大, 同样会破坏混凝土。在氯离子腐蚀环境中, 逐步应用阴极保护技术保护钢筋^[5]。阴极保护包括外加电流和牺牲阳极两种方式, 但钢筋之间必须具备较好的电连接, 这是阴极保护应用的前提。环氧粉末绝缘涂层使得钢筋之间不能形成电连接, 因此在钢筋混凝土结构运行维护时不能与电化学阴极保护措施联合使用。如在钢筋表面涂敷导电涂料, 将有可能解决电连接的问题。导电涂料分为本征型和复合型导电涂料, 本征型导电涂料的成膜树脂是导电高分子聚合物, 本身具有导电性, 成膜后通过聚合物内的共轭 π 键传导电流; 而复合型导电涂料的成膜树脂绝缘, 通过复合加入一些导电材料, 成膜后导电材料在涂层中均匀分布形成导电通路, 使电子可以通过这些导电材料在涂层内移动而形成电流, 导电材料的性质和其在涂层内的分布决定了涂层导电性的高低。目前本征型导电涂料除聚苯胺外, 其余在合成制造、施工等方面均存在一定困难, 因此实际生产中应用较少^[6-7]。而复合型导电涂料由于选材广泛、制备方便、成本低廉等优点而被广泛应用。石墨烯是具有高载流子迁移速率、高热导率、柔性透明、极大的比表面积以及极高的化学和光电灵敏特性的二维片状纳米材料, 与树脂等材料复合可以增强其力学、导电及防腐等性能。石墨烯作为填料添加于涂料中可以制成防腐涂料^[8]和导电涂料^[9], 因此通过在涂料中添加导电石墨烯应可以制成具有导电性能和防腐性能的钢筋表面涂料。

本文以水性环氧树脂为主要成膜物质, 掺石墨烯材料和其他导电填料研制得到导电防腐涂料。利用

收稿日期: 2020-03-31

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFC0406702); 中央级公益类科研院所基本科研业务费(Y417001)

作者简介: 孙红尧(1965—), 男, 江苏盐城人, 正高级工程师, 主要从事钢结构和混凝土结构的腐蚀与防护研究。

E-mail: rehaha@163.com

电镜表征导电填料的形状和涂层的结构,分析涂层的导电和防腐作用机制,并测试导电涂层钢筋与混凝土的粘接性能。

1 试验材料和试验方法

试验中使用的水性环氧树脂及固化剂、各种助剂、石墨烯粉末和浆料、多种导电填料等均为市购。

1.1 涂料的制备

石墨烯浆料的制备:先在分散容器内加入水,然后加入石墨烯分散剂,在慢速搅拌下,逐步加入石墨烯粉末,粉末完全加入后中速搅拌 20 min 以上进行初分散,将初分散液转移到超声分散器中进行超声分散 60 min 以上,包装备用。

填料浆的制备:将填料(不包括石墨烯)、部分助剂、部分环氧树脂和水在高速分散机里分散搅拌 30 min 后,转移到砂磨机中进行研磨,直到细度不大于 50 μm 后结束研磨,过滤出料备用。

涂料的配制:在高速分散器中先加入剩余环氧树脂、助剂和水,边搅拌边慢慢加入填料浆,然后再加入石墨烯浆料,高速分散 60 min 以上均匀分散后,出料包装即为 A 组分。在固化剂中加入助剂搅拌均匀即为 B 组分。A 组分和 B 组分按一定比例混合,同时搅拌直至均匀,静置 15 min 后进行涂敷。涂料黏度可用水进行稀释,但稀释用水质量应不大于涂料总质量的 10%。

1.2 测试试件的制作

根据 GB 1727—1992《漆膜一般制备法》进行涂层的制备。基材使用 120 mm×50 mm×0.28 mm 马口铁板、150 mm×70 mm×1 mm 钢板、 $\Phi 10$ mm 光圆钢筋、 $\Phi 20$ mm 带肋钢筋和 PTFE 塑料板,钢板或钢筋打磨除锈后保持干燥备用。PTFE 塑料板表面用无水乙醇擦拭干净后干燥备用。涂装方式可以采用刷涂、辊涂和喷涂。按树脂 A 和固化剂 B(质量比)一定的比例将 B 组分加入 A 组分中搅拌均匀后熟化 15 min 左右进行涂装。涂层表干后可进行后道涂装,一道涂层的干膜厚度保持在 30~40 μm 。涂层实干后在室温下放置 14 d 后可进行涂层物理性能、溶液浸泡防腐性能 and 涂层钢筋性能测试。

混凝土浇筑选用水泥强度等级为 42.5 普通硅酸盐水泥,最大粗骨料粒径为 20 mm,中砂,砂率为 33%。混凝土配合比(质量比)为: $m(\text{水}):m(\text{水泥}):m(\text{砂}):m(\text{石子})=0.410:1.000:1.045:2.121$,成型后放入养护室,2 d 后拆模,继续标准养护,28 d 后可以进行拉拔试验。

1.3 试验方法

涂层厚度按 GB/T 13452.2—2008、附着力按 GB/T 9286—1998、耐冲击性按 GB/T 1732—1993 和柔韧性按 GB/T 1731—1993 中相关的方法测定。

涂层导电性能测试:将涂料涂布于 PTFE 板上,固化成膜后将其完整剥离,并剪切成 2 cm×2 cm 的方形涂膜。使用测厚仪测量涂膜厚度,使用数字显示四探针电阻测试仪测量涂膜的表面方块电阻值。根据式(1)计算涂膜的电导率。

$$\sigma = 1/\rho = 1/R_{\text{sq}} \times W \times D \quad (1)$$

式中: σ 为涂膜的电导率(S/m); ρ 为涂膜的电阻率($\Omega\cdot\text{m}$); R_{sq} 为涂膜表面方块电阻值(Ω/sq),以下简称电阻; W 为所测涂膜平均厚度(m); D 为涂膜形状修正系数,与涂膜形状和边长有关,试验涂膜为 2 cm×2 cm 正方形,对应系数为 0.931 2。

涂层的溶液浸泡防腐试验:将涂层试件用石蜡或厚浆涂料进行封边处理,然后放置在按要求配制的溶液中浸泡,定期更换溶液,并以 7 d 为周期对试件表面状况照相记录。浸泡的溶液配置是:3%NaCl (3% 为质量分数),0.3 mol/L KOH+0.05 mol/L NaOH,0.3 mol/L KOH+0.05 mol/L NaOH + 3% NaCl,分别代表中性含 Cl^- 环境,高碱性环境,碱性含 Cl^- 环境。

涂层钢筋拉拔试验参照标准 DL/T 5150—2017《水工混凝土试验规程》进行。

2 掺石墨烯导电防腐涂料的研制

环氧涂层以其良好的附着力、阻隔性及耐盐和耐碱性等优点被广泛应用。水性涂料以水为溶剂,具有改善涂装环境、节能环保、无毒无害等优点,在涂料领域的占比较大^[10]。所以,选择水性环氧树脂作为涂料的主要成膜树脂。

2.1 分散剂对石墨烯分散的影响

石墨烯材料由于其特殊结构,表面疏水性强,易于团聚,目前对石墨烯材料常采用含有石墨烯亲和基团(含有大 π 键)的表面活性剂进行分散,可在不破坏石墨烯共轭结构的基础上,使石墨烯在水中保持分散,但分散液中石墨烯质量浓度较低,一般低于 50 mg/mL。本文选择 3 种分散剂对多层石墨烯进行分散试验,结果见表 1。从表 1 可见,试验中石墨烯的分散质量浓度较低,最大为 9 mg/mL,且石墨烯在 FS-1 和 FS-2 分散剂的体系中分散为悬浊液后,经过较短时间的放置就出现较多沉淀。

表 1 分散剂对石墨烯分散的影响
Tab. 1 Effect of dispersant on dispersion of graphene

分散剂	石墨烯质量浓度/(mg·mL ⁻¹)	分散情况
FS-1	5	石墨烯在分散液中悬浊,存在少量颗粒在杯壁附着,静置2 d后几乎完全沉淀。
FS-2	4	石墨烯在分散液中分布均匀,多余石墨烯在液面悬浮,静置2 d后部分沉淀,上清液中仍有微量絮状物。
FS-3	9	石墨烯在分散液中分布均匀,多余石墨烯在液面悬浮,静置2 d后沉淀较少。

2.2 导电填料对涂层性能的影响

目前使用较多的导电填料以碳系、金属系或金属氧化物系为主,石墨、炭黑等碳系材料成本低、导电性较好。氧化锌、二氧化锡等金属氧化物稳定性好,但电阻较高导电性一般,另外还有表面包覆金属的云母粉和钛白粉等材料成本较低,但加工稳定性较差导电性一般。锌铝等比铁活泼的金属粉末在介质的存在下优先腐蚀产生体积比金属本身大的腐蚀产物,会影响混凝土的性能,铜等比铁惰性的金属粉会加快铁的腐蚀,所以钢筋表面涂层中不能选用金属导电填料。本文选择石墨、炭黑、导电云母粉等作为导电填料,与石墨烯共同复合加入到环氧树脂中制备导电涂层。

为了得到具有最优导电性的涂料对应的填料组合,进行了导电填料的正交试验。以导电炭黑、乙炔炭黑、石墨、石墨烯材料作为影响因子,以不同的添加量设计 5 水平级,选用 L₂₅(5⁶) 正交表进行正交试验,以涂层的导电性能作为试验结果的控制指标,进行导电填料的筛选,试验结果见表 2。

由表 2 可见:导电炭黑对导电性能影响最大,且在添加量为 50.0% 时最好;乙炔炭黑、石墨烯、石墨的影响依次减小;石墨烯和乙炔炭黑均以较少的添加量对涂层的导电性造成较大的影响。本次试验中的最优组合为 4.0% 石墨烯材料+50.0% 导电炭黑+15.0% 乙炔炭黑+20.0% 石墨,按此填料组合添加树脂和固化剂等制作涂层,其电导率为 120.00 S/m,方块电阻值 90 Ω /sq。

2.3 不同导电填料对涂层防腐性能的影响

分别将含有不同填料组合的涂层试件完全浸泡于碱性溶液、碱性含 Cl⁻溶液和中性含 Cl⁻溶液中,其涂层起泡和生锈情况如表 3 所示。

表 2 正交试验电导率统计
Tab. 2 Conductivity statistical table of orthogonal test

各水平平均值	电导率/(S·m ⁻¹)			
	石墨烯	导电炭黑	乙炔炭黑	石墨
K1	27.5	4.8	12.4	30.0
K2	22.3	14.6	38.5	32.7
K3	39.9	23.0	33.3	42.4
K4	40.9	54.3	37.8	39.0
K5	44.2	78.0	52.8	30.8
极差	21.9	73.2	40.4	12.4

由表 3 可以看出, 未加任何导电填料的涂层 14 d 开始起泡, 7 d 开始生锈, 说明没有填料的涂层介质更易渗透到金属表面。在碱性溶液和碱性含 Cl⁻ 溶液中浸泡, 大部分涂层可以表现出良好的耐受性, 其中综合表现最好的是 4.0% 石墨烯+12.5% 炭黑+60.0% 石墨, 石墨烯含量越高, 总体性能越好; 但其他填料量的比例变化对性能的影响无明显规律。原因可能是石墨烯材料提供的屏蔽作用, 阻碍了 Cl⁻ 的渗透, 涂层内孔隙越少, 渗透扩散路径越长, 试件发生腐蚀的时间越迟。碱性溶液中的涂层性能明显优于碱性含 Cl⁻ 的环境, 更优于中性 Cl⁻ 的环境。当试件处于高碱性环境时, 试验周期内均未出现生锈现象, 在碱性含 Cl⁻ 环境中, 大多数试件仅在后期出现少量锈蚀产物, 而在中性含 Cl⁻ 环境中, 大多数试件在浸泡初期即开始锈蚀, 仅有个别试件在中期开始锈蚀。

表 3 导电填料对涂层的防腐性能的影响
Tab. 3 Effect of conductive fillers on corrosion resistance of coating

涂层填料含量/%				电阻/(Ω·sq ⁻¹)	开始起泡时间/d			开始生锈时间/d		
石墨烯	导电炭黑	乙炔炭黑	石墨		碱溶液	碱含Cl ⁻ 溶液	含Cl ⁻ 溶液	碱溶液	碱含Cl ⁻ 溶液	含Cl ⁻ 溶液
0	0	0	0	>10 ⁶	>21	21	14	>21	>21	7
4.0	37.0	18.5	60.0	181	>21	14	21	>21	21	7
4.0	12.5	0	60.0	805	>21	>21	>21	>21	>21	14
4.0	0	15.0	60.0	471	>21	>21	>21	>21	21	7
4.0	24.7	11.1	60.0	130	>21	21	21	>21	21	7
4.0	50.0	12.0	20.0	130	7	21	14	>21	21	7
3.0	12.5	15.0	20.0	348	>21	7	14	>21	21	14
3.0	25.0	0	30.0	1 302	>21	>21	>21	>21	21	7
0.5	25.0	9.0	20.0	234	14	7	14	>21	21	7
0.5	50.0	15.0	40.0	126	14	>21	21	>21	21	7

2.4 石墨烯导电涂料配方组成及性能指标

经过大量的配方优化筛选试验, 综合考虑涂层的导电性能和防腐性能的平衡, 最终得到石墨烯复合导电防腐涂料配方(表 4)。按此配方制得的涂层, 涂装均匀(黑色), 储存稳定性良好, 7 d 无结皮、无硬块; 附着力为 1 级, 耐冲击强度为 50 kg·cm, 柔韧性为 1 mm, 表面方块电阻≤3 000 Ω/sq。

表 4 掺石墨烯导电防腐涂料配方
Tab. 4 Formulation of conductive anticorrosive coating by adding graphene

A组分		B组分	
原材料	质量/g	原材料	质量/g
环氧树脂乳液	18.0~32.0	固化剂	70.0~79.0
增韧剂	0.5~2.0	缓蚀剂	0.5~4.5
石墨烯浆料	21.0~30.0	水	2.5~29.0
导电填料浆料	34.0~45.0		
助剂	0.3~3.3		

3 涂层结构表征及其石墨烯的导电机制分析

图 1 是石墨烯、石墨、导电炭黑和乙炔炭黑的电镜图。由图 1 可知, 导电炭黑和乙炔炭黑都是类球状颗粒。导电炭黑颗粒粒径一般在 44 nm 左右, 聚集密度较大; 乙炔炭黑粒径差别较大, 在 35~65 nm, 其聚集密度比导电炭黑小; 而石墨呈片块状结构, 其中片层尺寸差别较大, 并且较大的石墨片上有较多小尺寸片层附着, 小尺寸片层可能由大片层断裂形成; 石墨烯是透明薄膜状材料, 有皱褶和片层叠加存在。

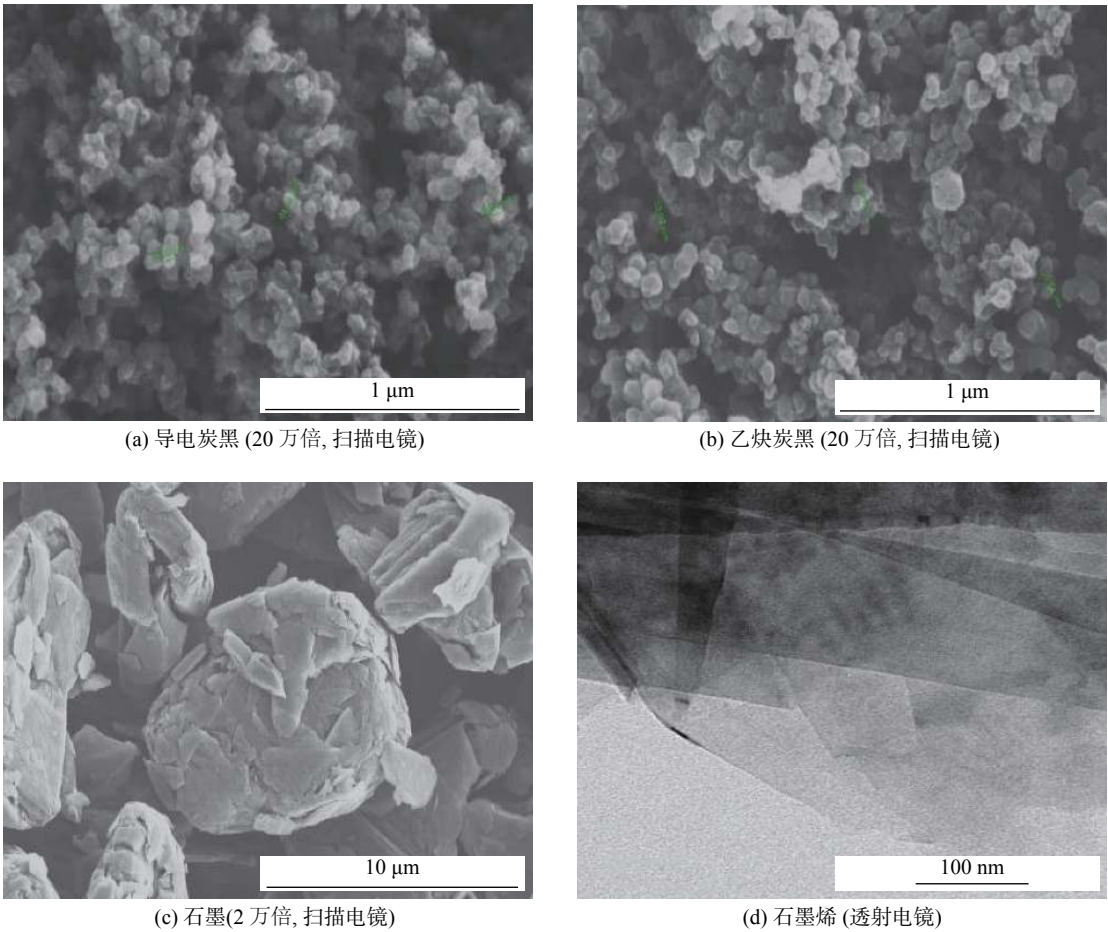


图 1 导电填料的电镜照片

Fig. 1 Electron micrograph photos of conductive fillers

涂层的导电性能与导电填料在基料中的分布密切相关。另外, 不同形状大小的导电填料对涂层导电性的影响也各有差异。图 2 为炭黑/石墨/石墨烯复合导电涂层的断面 SEM(10k)形貌照片。石墨在涂层中可以互相搭接(图 2 中 1 区域), 还可以和炭黑颗粒之间形成炭黑-石墨或炭黑-树脂-石墨的面接触。涂层中石墨和炭黑含量较高时, 树脂不能完全包覆填料, 部分块状石墨和炭黑骨架周围存在孔隙(图 2 中 2 区域), 这使涂层存在一定缺陷。石墨烯材料与其他导电填料混合后, 同样可以与炭黑、石墨等接触形成导电通道(图 2 中 3 区域), 而且石墨烯具有大片层柔性结构, 这使石墨烯材料在树脂和填料中可以向其他方向延展, 从而连接不同区域的导电填料, 使导电网络内的电子传导路径更多。所以, 导电填料通过互相接触形成连续的导电网络或通过电子迁移发射形成电子导通, 共同作用从而使涂层导电。

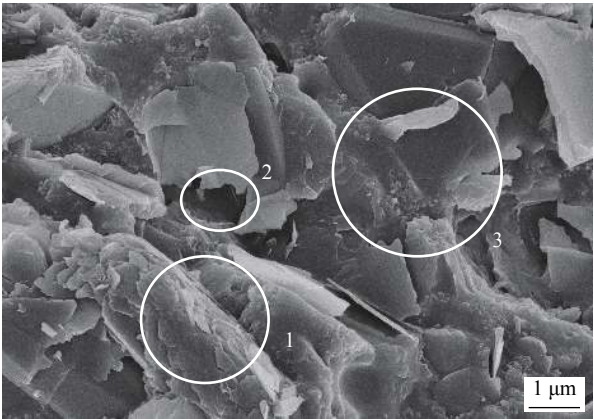


图 2 炭黑/石墨/石墨烯复合导电涂层断面 SEM 照片

Fig. 2 SEM photos of conductive coating with carbon black and graphite and graphene

4 涂层钢筋与混凝土之间的粘接性能

表 5 是不同体系涂层钢筋与混凝土的粘接强度, 并与无涂层钢筋进行对比, 得到相应的强度比例。

表 5 涂层钢筋与混凝土的粘接强度
Tab. 5 Bonding strength of coated steel bar to concrete

钢筋涂层种类	特定滑移量对应荷载/kN			破坏时荷载/kN	粘接强度/MPa	相对于无涂层钢筋的百分比/%
	0.01 mm	0.05 mm	0.10 mm			
无涂层	63	90	104	132.0	12.99	—
A0涂层	30	68	86	92.0	9.30	71.6
AG涂层	49	77	91	114.0	10.97	84.4
AGC涂层	51	73	95	106.7	11.07	85.2

注: A0为未添加导电填料, AG为添加石墨烯, AGC为添加石墨烯和导电炭黑。

由表 5 可见, 纯环氧涂层(无填料)粘接强度损失较大(28.4%), 其他添加填料的涂层粘接强度损失有所减少, 约为 15%, 说明环氧涂层表面光滑, 摩擦力小, 肋间阻力变小, 使钢筋开始滑移后随着荷载增加其滑移量增加较大, 更快地发生劈裂破坏, 而涂层中加入石墨烯及其他填料后, 表面粗糙度增加且摩擦力增大, 与混凝土的粘接力得到提升。根据标准 GB/T 25826—2010 要求, 环氧涂层钢筋的粘接强度损失应低于 15% 方可使用。

5 结 语

以石墨烯、导电炭黑、乙炔炭黑、石墨、导电云母粉等导电填料制备得到可用于钢筋表面保护的掺石墨烯导电防腐涂料, 导电方块电阻值可低于 3 000 Ω/sq, 在碱性含 Cl⁻浸泡 21 d 以上不起泡和不生锈, 在中性含 Cl⁻溶液中 21 d 以上不起泡和 14 d 不生锈。通过扫描电镜和透射电镜对填料形状及涂层结构进行了表征, 发现导电炭黑和乙炔炭黑为球状颗粒, 石墨为片块状, 石墨烯为二维薄膜状纳米材料。根据涂层的导电性能和耐溶液浸泡性能, 分析了涂层的导电和防腐作用机制, 得出涂层是通过导电填料之间的接触传导电子, 通过石墨烯的片层延长了介质渗透通道来提高涂层的耐腐蚀性能。最后测试了涂层钢筋与混凝土的粘接力, 粘接力损失幅度符合规范要求。但涂层钢筋的加工工艺要求涂层快速固化成型、便于包装和堆放。本试验涂层体系为水性环氧树脂体系, 尚不能达到快速固化的要求, 所以需要继续对涂层配方体系和钢筋的加工工艺做进一步完善。

参 考 文 献:

[1] 潘琪, 苏和. 环氧树脂涂层钢筋在南麂码头工程中的应用[J]. 交通世界, 2017(20): 156-157, 160. (PAN Qi, SU He. Application of epoxy resin coated steel bars in Nanji wharf project[J]. Transpoworld, 2017(20): 156-157, 160. (in Chinese))

[2] 程致高, 宋华清, 孙士辉. 环氧钢筋在金塘大桥中的应用[J]. 公路, 2009(1): 209-212. (CHENG Zhigao, SONG Huaqing, SUN Shihui. Application of epoxy resin coated reinforcement in Jintang bridge[J]. Highway, 2009(1): 209-212. (in Chinese))

[3] 中国科学院金属研究所. 港珠澳大桥通车, 金属所耐久性技术保护超级工程[EB/OL]. [2018-10-24]. <http://www.ecorr.org/dhTJDAOHANG/cjzl/yejiedongtai/2018-10-24/170782.html>. (Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences. Hong Kong Zhuhai Macao bridge opened to traffic, super project of durability technical protection of metal institute[EB/OL]. [2018-10-24]. <http://www.ecorr.org/dhTJDAOHANG/cjzl/yejiedongtai/2018-10-24/170782.html>. (in Chinese))

[4] 刘新福. 锌加涂层在高铁桥梁下部结构钢筋防腐中的应用[J]. 铁道建筑技术, 2012(8): 1-3, 40. (LIU Xinfu. Application of zinga in anti-corrosion of substructure steel bar in bridges on high-speed railway[J]. Railway Construction Technology,

2012(8): 1-3, 40. (in Chinese))

- [5] 王弯弯, 张胜寒, 张秀丽, 等. 沿海及盐渍地区输电杆塔混凝土钢筋阴极保护技术研究[J]. 华北电力技术, 2016(8): 13-17. (WANG Wanwan, ZHANG Shenghan, ZHANG Xiuli, et al. Research on cathodic protection of reinforced concrete transmission tower in salinization and coastal areas[J]. North China Electric Power, 2016(8): 13-17. (in Chinese))
- [6] 朱宇光. 本征型与添加型导电防腐涂料的性能对比和应用[J]. 上海涂料, 2010, 48(9): 19-21. (ZHU Yuguang. Performance comparison and application of intrinsic type and additional type antistatic anticorrosion paint[J]. Shanghai Coatings, 2010, 48(9): 19-21. (in Chinese))
- [7] 梁永纯, 杜春苹, 王伟, 等. 导电涂料研究现状及其应用[J]. 广东电力, 2012, 25(3): 1-4, 30. (LIANG Yongchun, DU Chunping, WANG Wei, et al. Research status of conducting paint and its application[J]. Guangdong Electric Power, 2012, 25(3): 1-4, 30. (in Chinese))
- [8] 罗健, 王继虎, 温绍国, 等. 石墨烯在防腐涂料中的研究进展[J]. 涂料工业, 2017, 47(11): 69-76. (LUO Jian, WANG Jihu, WEN Shaoguo, et al. Research progress in graphene for anticorrosive coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2017, 47(11): 69-76. (in Chinese))
- [9] 孟晓明, 楼平, 赵永生, 等. 碳纳米管、石墨烯在导电涂料中的应用研究进展[J]. 涂料工业, 2015, 45(5): 82-87. (MENG Xiaoming, LOU Ping, ZHAO Yongsheng, et al. Progress in application of carbon nanotubes and graphene in conductive coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2015, 45(5): 82-87. (in Chinese))
- [10] 钟涛. 水性金属防腐涂料的研制及功能化[D]. 扬州: 扬州大学, 2012. (ZHONG Tao. Development and functionalization of waterborne anticorrosive coatings for metals[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2012. (in Chinese))

Study on the water-based conductive anticorrosive coating by adding graphene applied on the surface of steel bar

SUN Hongyao¹, ZHANG Xingduo¹, DU Heng^{1,2}, XU Xuefeng¹, XU Ning¹, PU Pengpeng¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. College of Mechanical and Material, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Epoxy coated reinforcement is one of the anti-corrosion measures for reinforced concrete. Due to the insulation characteristics of epoxy coating, electrochemical protection measures can not be used in the later maintenance of reinforced concrete structure, but this problem may be solved by using conductive anti-corrosion coating on the surface of reinforcement. Graphene has special properties of conductivity, corrosion resistance and impact resistance. In this paper, a conductive anticorrosive coating composed of water-based epoxy resin, graphene and other conductive fillers is studied. The shape of the conductive filler and the structure of the coating are characterized by electron microscope. The acting mechanisms of conductive and anticorrosive of the coating are analyzed, and the adhesion strength to concrete of the conductive coated reinforcement is tested. The results show that the conductivity of the coating can be less than the square resistance value of 3000 Ω/sq . The coating is alkali resistant while soaked in alkaline solution, and the coating does not blister or rust for more than 21 days in alkaline solution containing Cl^- , and does not blister for more than 21 days and does not rust for 14 days in Cl^- solution. The coating must be obtained by mixing different conductive fillers including graphene. The conductive mechanism may be that conducts electricity is obtained through the mutual contact among film graphene, flake graphite and spherical carbon black particles. The corrosion resistance of the coating is improved by using the film characteristics of graphene to extend the permeability channel of the medium. The bond strength of coated steel to concrete is about 15% lower than that of uncoated steel, and the result meets the requirements of national standard GB/T 25826—2010.

Key words: coating; reinforcement; concrete; graphene; epoxy resin; conductive coating; anti-corrosion