锌加涂料在桥梁钢结构腐蚀防护中的应用

(中铁武汉桥梁科学研究院，武汉 430050)

摘要：结合特大桥梁工程，介绍了锌加涂料在桥梁钢结构实用防腐蚀保护系统中的应用，分析和探讨了桥梁钢结构辞加涂料防腐蚀保护技术厦应用中的有关问题。

关键词：锌加涂料；桥梁涂裴；钢结构；腐蚀防护

桥梁处在跨越江河湖海的自然环境下，长期暴露在风雨、潮湿和被污染的环境中，而且长期承受动载和静载，很容易遭受腐蚀破坏，国内外都有钢结构破坏失效的实例，而且这些破坏失效引起的安全事故和经济上的损失是非常惨重的。为了保证桥梁的安全营运，需要对桥梁钢结构系统进行防腐保护。目前应用较多的是通过热镀锌、热喷锌和多层涂料涂装进行钢结构腐蚀防护。近年来锌加涂料的开发应用，又为桥梁钢结构实用新型长效防护系统提供了新的防腐技术和材料。

1 锌加涂料及特点

金属腐蚀防护措施主要应用以下 3 个基本原理：①屏障保护。利用涂层膜形成屏障，将钢铁表面和环境中的电解质隔离，在钢铁表面形成一道对空气中的水蒸气和氧气等的保护屏障。②化学抑制。在涂料中添加的有效化学成分，能抑制金属阳极或阴极反应。③电流（阴极）保护。利用涂料中的大量金属（锌、铝等）粒子积聚对钢铁产生电流保护，如同在钢铁表面上形成锌（铝）阳极。实际使用的一般金属防护主要是应用阴极保护和屏障保护 2 种防护功能，锌加涂料兼顾这两种防护体系的优点。

常规应用的富锌涂料也有同 时利用阴极保护和屏障保护的特点，但实用富锌涂料 因含锌量低、阴极保护作用不强，与普通涂料一样以屏障保护作用为主，防腐蚀性不如锌加涂料。

1． 1 锌加涂料

用于钢结构防腐保护的锌加涂料是由纯度高于 99．995 %以原子化提炼的锌粉（干膜中含 96 %以上的纯锌）、挥发性溶剂和有机树脂三部分配制而成的单组分的系列产品。它不含任何铅、镉等重金属成分，溶剂中不含甲苯、二甲苯、一氯甲烷或甲乙酮等有机溶剂，具备环保功能。由于含锌量高，锌加干膜含有 96 %以上的纯锌，足以为钢结构材料提供较好的阴极保护。当锌加被氧化时，会在锌加表面缓慢产生一层锌盐层来提供屏障保护。同时，锌加中的黏结剂能提供一层附加的屏障保护，从而减缓锌的氧化。锌加的复合防 腐性能，有效地结合了锌层的镀锌性质和有机涂料的 屏障保护，对钢铁的防锈效果优异。

在防护性能方面锌加涂层具有优良的柔韧性和很强的抗机械磨损性能，锌加涂层与钢结构表面具有机械结合和化学结合优良的附着力，即使受到磨损破坏，锌加也不会剥落。锌加涂层具备易于重涂维修的优 点，使用锌加涂层可用于替代热浸锌、热喷锌防护；已 经应用过热喷锌、热镀锌的钢结构还可应用锌加作为 长期保护。对于使用热镀锌不方便的结构和使用热镀 锌容易引起变形的结构，使用锌加保护就更具优势。锌加的适用性较强，可用于潮湿的表面和环境，对于由 焊接、切割、钻孔、铆接等引起的防护层破坏和损害，锌 加是比较理想的涂装防护修补涂料。

1． 2 钢结构防护应用锌加的优点

实用结果表明，热镀锌、热喷锌（铝）是钢结构比较有效的保护技术，利用锌（铝）作为牺牲阳极，可以使钢铁表面受到保护，但这种镀锌保护技术较难在工地现 场应用，镀锌、喷铝（锌）防护的施工要求较高，劳动强度较大，质量易受操作者情绪变化和施工条件的影响。

锌加具备施工简便的优点，防护用锌加涂料采用 单组分包装，开罐充分搅拌后即可直接使用，一般不必稀释。

应用时可以采用刷（辊）涂、有气喷涂、无气喷涂 或浸涂，也可使用喷罐包装锌加直接进行喷涂，锌加既可以在室内条件下涂装施工，亦可在室外现场涂装施 工，施工方法灵活简单。只要去除钢结构表面的油污 和浮锈，锌加即可涂装，轻度锈蚀的钢结构表面也不影 响锌加涂装的防护效果。钢结构维修保养时，可以直 接在旧的锌加涂层上涂装新的锌加涂层，在这种使用条件下，旧的锌加涂

层可以重新溶解和新的锌加涂层 融合成单一的锌加涂层。锌加可以应用于热镀锌、热喷锌钢构件的重涂和维修更新，使用锌加涂层防护效 果好，维修施工方便，且节省费用。

2 锌加涂料在桥梁钢结构中的应用

由于桥梁钢结构的重要性和后期维护困难，一直 优先采用性能优良的重防腐涂料涂装、特殊包覆密封 等防护技术。各种先进的防腐新技术、新工艺、新材料在桥梁钢结构防护中有较好的市场前景和投资效益，近年来锌加涂料在桥梁钢结构中也得到了开发应用。由于锌加涂料施工方法简单、灵活、方便，锌加涂料可 广泛用于各种桥梁钢结构的腐蚀防护和维修。

2 ． 1 锌加涂料在桥梁缆索系防护中的应用

锌加涂料可以方便地用于悬索桥缆索锚固结构、主鞍和散索鞍（ 含埋件 ）、索夹、主缆和吊索锚具等的腐 蚀防护；用于斜拉桥的斜拉索锚固结构和锚具等的防 护；用于拱桥吊索锚具结构部分和拱结构的防护。

2 ． 2 锌加涂料在桥梁钢梁、钢塔防护中的应用

可以选用锌加涂料作为桥梁钢塔、钢箱梁、钢桁梁、钢锚固件等钢结构的防护涂料。在这些桥梁钢结 构上应用锌加涂料，主要是用于重防腐涂装的底层，与 其他配套涂层一起形成可靠的长效涂装保护层。

3 锌加涂料应用

索鞍是一种结构比较复杂的特大型结构件，质量大、加工难度大，是悬索桥的永久结构件，由于体积大 不能实施热镀锌，以前防护主要是热喷锌，由于结构复 杂有一定的施工难度，为了适应工期要求，减少防护难度，广州珠江黄埔大桥在悬索桥主鞍和散索鞍（ 含埋件制造 ）中应用了锌加涂料防护。

3 ． 1 锌加材料

珠江黄埔大桥索鞍及埋件锌加涂料采用的是进口 锌加涂料，主要技术参数见表 1 。

表 1 进口锌加涂料的主要技术参数

3 ． 2 锌加涂装工艺

锌加涂料可根据钢结构和涂装条件的具体情况， 灵活运用不同的涂装方法和涂装工艺。锌加涂装的控 制主要是表面处理、涂装施工和质量检查 3 个环节。

3．2．1 表面处理

锌加涂料涂装前，待涂表面必须彻底清除油脂，必要时应用专用清洁剂清洗。对氧化皮致密的钢板，需 要经过机械喷砂处理，使其表面清洁度达到 Sa2．5 级，粗糙度约 5O ～ 70 μ m 的控制标准，喷砂后要用清洁的 压缩空气将涂装结构上的灰尘除尽。对旧钢材表面，需要去掉污物、旧漆膜、松动的锈斑，可用手动或风动等工具打磨至 St3 级，允许有少量 (5 %～ 1O %) 局部的锈蚀面积，环境条件限制时，允许在潮湿的钢结构表面 涂装锌加。

锌加用于电焊、切割等部位的涂装或修补 时，应先除去结构表面的焊瘤、“飞溅”等；锌加用于涂装在热镀锌、热喷锌层上，或复涂在旧锌加涂层上时，应采取有效措施去除涂层表面的“锌盐”及油脂、油污 和松动的锌层，以免影响层间附着力。

3．2．2 涂装

小面积手工刷涂、辊涂时，因为锌加是单组分包装， 只需要开罐后充分搅拌即可直接使用，一般不必稀释。

大面积涂装最好采用喷涂，应用空气喷涂及高压 无气喷涂需要选择合适的喷涂设备，可使用适宜富锌涂料类喷涂的设备，并合理选择施工技术参数 (见表 2) 。 稀释锌加只能用锌加专用溶剂即 ZINGASOLV 锌加稀释剂，由于锌加内含有较高的锌粉，所以在使用 前必须充分搅拌。施工过程中，手工刷 (辊) 涂每隔 10 ～ 15 min 搅拌 1 次；喷涂时建议配套相应的搅拌机， 边搅拌边施工。

表 2 施工技术参数

锌加涂料的使用条件比较宽松，但在锌加涂层表 面喷涂其他涂料时，还是要严格执行推荐的施工技术 参数及其对环境条件的要求。

3．2．3 涂装质量控制

为了保证锌加涂料材料合格和使用效果，使用前应对锌加材料进行检查验收和工艺试验。涂装前要检查被涂表面的处理情况，保证表面符合涂装条件；涂装过程中要控制涂装参数，同时避免施工和二次污染；涂装过程中和涂装后要进行质量检查验收，进行表观检查，用厚度仪测涂层厚度，进行试板试验和检验等。不合格的要及时返工处理，局部缺陷及时修补。

主要涂装效果检查内容见表 3 。

表 3 主要涂装效果检查

3 ． 3 应用改进措施

珠江黄埔大桥索鞍（含埋件）应用锌加涂装后取得了较好的涂装效果，使用过程中也暴露出一些问题。埋件涂装后是直接埋地使用，没有后续工序，由于锌加涂层与混凝土结合较好，又能防腐，使用效果较好。而索鞍还有一些后续辅助工序，组配吊装等容易造成涂层破坏和二次污染，影响二道涂层的涂装质量，而且影响外观。由于锌加涂料的特点是阴极保护功能，涂装层暴露一段时间后容易出现表面氧化反应，使涂层表面有色差变化，而且在室外环境下涂层容易污染和损伤，对涂装和涂装后的一些工序造成影响，污染和损伤还会影响涂层的防护效果。根据使用中暴露的问题建议在锌加涂层表面增加一道涂料防护，即加强屏蔽保护层，以便适应后续辅助工序和吊装运输。根据锌加供应商提供的资料，锌加涂层上除不能复涂醇酸类油性涂料外，环氧树脂涂料、氯化橡胶涂料、环氧沥青涂料、乙烯树脂涂料、丙烯酸涂料、聚氨酯涂料等均可复涂。在锌加外层复涂面层涂料后，可以方便后续施工和运输、吊装。

根据使用情况，在长期暴露在外的钢结构复合防护中，锌加宜于用作底层涂料，如果在锌加涂层上涂装有效的中层和面层涂料，形成的多层涂装系统能有效延长防护年限。在桥梁钢结构中可以直接借用成熟的配套涂装防护方案，用锌加涂层，替代原防护系统的底层涂料或热镀锌、热喷锌等防护层，然后应用匹配的中间涂层和面层涂料。一方面提供涂层的屏蔽 作用，强化防护和延长防护年限；另一方面表层涂料可 适用各种表面外观颜色，提供涂层较强的耐蚀性、耐候性（抗紫外线）等特殊防护功能。

4 结语

近年来桥梁工程领域中钢结构得到了越来越多的应用，随着社会经济的发展和技术进步，钢结构已成为现代大跨度桥梁的主要结构件。由于桥梁结构的特殊要求和重要性，锌加涂料作为一种新材料在桥梁钢结构腐蚀防护中有良好的应用前景。特别是对于需要重防腐而又难以实施热镀锌和热喷锌的钢结构，应用锌加涂料使用简单、操作方便、容易修补，有一定优势。锌加涂料可以用于桥梁缆索（斜拉索、主缆索股、吊索等）锚具、锚固系统的外层防护；可以用于悬索

桥的埋件和索鞍索夹防护；可以用于桥梁钢塔、钢箱梁、钢桁梁、钢拱和其他钢结构的底层涂装防护。

锌加涂料的性能直接影响防腐效果，目前主要是 采用进口锌加涂料，由于从国外进口，存在锌加涂料价格偏高的问题，目前价格对锌加涂料的推广应用有一定的制约。锌加涂料对涂装配合和涂装工艺技术有一些特殊要求，二次污染和损坏也影响涂装质量和效果， 需要改进和提高锌加涂料的使用性能，重视涂装技术 和工艺的开发研究。在涂料涂装实用中，由于工艺或施工操作不当造成的问题比较多，一定要重视涂装质量和施工质量控制，施工过程造成的缺陷、损伤和破坏 要及时修补。用于室外环境和后续工地作业条件下， 为了真正体现出锌加涂料的优势和特点， 锌加宜用作底层涂料，与其他长效中层和面层涂料配套使用，改进和提高桥梁钢结构腐蚀防护效果，延长桥梁的安全使用寿命。

根据使用情况，在长期暴露在外的钢结构复合防护中，锌加宜于用作底层涂料，如果在锌加涂层上涂装有效的中层和面层涂料，形成的多层涂装系统能有效延长防护年限。在桥梁钢结构中可以直接借用成熟的配套涂装防护方案，用锌加涂层，替代原防护系统的底层涂料或热镀锌、热喷锌等防护层，然后应用匹配的中间涂层和面层涂料。一方面提供涂层的屏蔽 作用，强化防护和延长防护年限；另一方面表层涂料可 适用各种表面外观颜色，提供涂层较强的耐蚀性、耐候性（ 抗紫外线 ）等特殊防护功能。