

金属焊接件海运包装防护技术研究

吴坤培^{1,2}, 阮红梅¹, 赵钺¹, 王俊¹, 黄海军¹, 骆汉英^{1,3}, 揭晓华², 揭敢新¹

(1. 中国电器科学研究院有限公司工业产品环境适应性国家重点实验室, 广州 510663;

2. 广东工业大学, 广州 510006; 3. 威凯检测技术有限公司, 广州 510663)

摘要: **目的** 研究新型包装防护技术对焊接件的防护效果及其对后续焊接、涂装等工艺的影响, 解决常规包装无法解决的焊接部位腐蚀防护问题。 **方法** 通过自然环境暴露实验、中性盐雾实验对焊接件常规包装防护方式和改进后的新型包装防护方式, 即PE袋密封包装、气相防锈袋和气相防锈袋+冷喷锌的防护效果进行对比研究。 **结果** 30 d盐雾实验后, PE袋密封包装防护下焊接件基材、焊缝都出现了腐蚀迹象, 其中焊缝部位相对于基材锈蚀更加严重。气相防锈袋密封包装防护下焊接件基材基本上无锈蚀, 焊缝部位出现轻微腐蚀。气相防锈袋+冷喷锌包装防护下焊接件基材以及焊缝部位都相对完好, 未出现任何锈蚀现象。 **结论** 常规的包装防护方式对焊接件基材有一定的保护作用, 但是对焊接部位并不能起到较好的保护。改进后的气相防锈袋+冷喷锌包装防护方式综合了气相防锈技术和冷喷锌的双重优势, 对焊接件的基材、焊缝及热影响区均具有较好的保护效果, 且不影响后续的喷涂焊接工艺等, 该组合型防护方式可有效应用到焊接件的海运包装防护中。

关键词: 冷喷锌; 焊接件; 海运; 包装防护

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)07-0066-05

Packaging Protection Technology of Weldments in the Process of Sea Transport

WU Kun-pei^{1,2}, RUAN Hong-mei¹, ZHAO Yue¹, WANG Jun¹, HUANG Hai-jun¹, LUO Han-ying^{1,3},
JIE Xiao-hua², JIE Gan-xin¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Adaptability for Industrial Products, Guangzhou 510663, China;

2. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

3. Vkan Certification & Testing Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

ABSTRACT: This work aimed to study the protective effect of cold sprayed zinc on the welding structure parts and the influence of its subsequent treatment processes such as welding, coating and so on, and to solve the problem of weld corrosion which cannot be solved by conventional packaging. The effect of the three protection methods used in protective packaging for metal structure parts was studied, including PE bag packaging, VCI packaging and VCI and cold zinc sprayed protective packaging, through the natural environmental exposure test, the neutral salt spray test and other laboratory methods. After 30 days of salt spray test, the metal substrate of welding plates under the protection of PE bag packaging showed corrosion in both the substrate and the welds, and the welds showed more serious corrosion than the substrate. The metal substrate of welding plates under the protection of VCI packaging showed no obvious corrosion, but their weld and heat affected zones showed a few signs of corrosion. In contrast, the welding plates under the protection of the VCI and cold

收稿日期: 2015-07-16

基金项目: 广东省中国电器院风电装备腐蚀控制关键技术院士工作站(2013B090400023)

作者简介: 吴坤培(1987—), 男, 江西人, 广东工业大学硕士生, 主攻工业产品的环境适应性技术。

通讯作者: 揭敢新(1966—), 男, 江西人, 高级工程师, 主要研究方向为工业产品的环境适应性技术。

zinc sprayed protective packaging showed no obvious sign of corrosion. The results showed that the conventional protective packaging could only protect the metal substrate, but not the weld joint. The improved protective packaging method, cold sprayed zinc, had outstanding protective effects, and was easy to use. This method had less pollution, and would not affect the subsequent painting and welding or other process. Besides, the VCI packaging could provide good protection on metal substrate. So the combined type protective packaging could be an effective protection way applied to welding metal structure parts.

KEY WORDS: cold sprayed zinc; welding parts; sea transportation; protective packaging

随着我国高铁等技术的进步,国家“一带一路”政策逐步实施,机车等焊接件出口量将不断增加,值得注意的是,焊接件中焊缝及热影响区通常优先于基材发生腐蚀^[1-2]。海洋运输过程中,如果包装防护控制措施不当,很容易发生早期焊缝腐蚀问题。对于海运过程中造成产品锈蚀的问题,这不仅使企业蒙受经济损失,而且对出口企业的形象和声誉也造成不良影响。目前针对焊接件的海运包装主要采用真空包装、PE袋密封包装、气相防锈包装等常规的包装防护方式,这些包装防护方式都对焊接件有一定的防护效果,但对于一些有特殊要求的包装防护案例来说,常规的包装也不能完全满足需求。例如某公司机车出口到南非,因到达目的地后需组焊成车体,其客户要求产品运输到达目的地后,无大面积锈蚀,关键焊缝必须确保无锈蚀,所选防护方案必须不影响后续的焊接操作及性能,需确保到达目的地后工件无需大范围清理或打磨,且不影响后续涂装工序。常规的包装防护方式只能对焊接件基材起到一定的保护作用,对焊缝、热影响区等易腐蚀部位保护效果有限,难以满足客户要求。

近年来,冷喷锌技术迅猛发展,其广泛地应用于国家大剧院、电厂、大桥等钢结构长效性防护中,其防护效果也得到行业认可。冷喷锌综合了热浸镀锌及喷涂锌(铝)和富锌涂料的优点,不仅防护性能优异,而且使用方便,污染少,修复简单,因此尝试将冷喷锌应用于

焊接件焊接部位的临时性防护中^[3-8]。这里主要通过中性盐雾实验对金属焊接件常规包装防护方式和改进后的包装防护方式的防护效果进行对比研究。

1 实验

1.1 材料

实验所用焊接件基材为Q235A,其中C的质量分数为0.14%~0.22%,Mn的质量分数为0.30%~0.65%,Si的质量分数不大于0.30%,S的质量分数不大于0.050%,P的质量分数不大于0.045%,切成100 mm×50 mm×3 mm的钢板,然后采用气保焊的焊接方式将两块钢焊接成尺寸约为100 mm×100 mm×3 mm的焊接件。实验用普通PE袋、气相防锈袋均为某包装公司提供的实际海运包装防护用材料。冷喷锌为某厂家提供的单组份环保产品。

1.2 方法

中性盐雾实验采用Atlas的试验箱,喷雾箱内温度设为35℃,盐雾沉降的速度为1~2 mL/(80 cm²·h⁻¹),氯化钠溶液质量分数为5%,pH值为6.5~7.2,盐雾箱内湿度在95%以上,实验标准为GB/T 2423.17—2008。

取焊接件试样12片,将其按表1中不同的包装方式开展相关实验。

表1 焊接件的不同包装防护方式

Tab.1 The different protective packaging methods for welding parts

组号	包装防护方式	实验类型	备注
1	无任何防护	自然暴露实验 30 d	空白对照组
2	普通PE袋+干燥剂	中性盐雾实验 30 d	模拟常规PE袋密封包装,将工件置于普通PE袋中,并放入规定剂量的干燥剂
3	气相防锈袋+干燥剂	中性盐雾实验 30 d	模拟常规气相防锈包装,将工件置于气相防锈袋中,并放入规定剂量的干燥剂
4	气相防锈袋+干燥剂+冷喷锌	中性盐雾实验 30 d	焊缝及热影响区采用冷喷锌进行特殊保护后再整体采用气相防锈袋+干燥剂进行包装防护

2 结果与讨论

2.1 焊接件不同部位耐蚀性能研究

广东地区是典型的高温、高湿、高盐雾亚热带及海洋性气候,焊接件长期处于这种恶劣大气环境当中,容易引发腐蚀问题。为了研究海运过程中焊接件在无任何包装防护下焊缝、热影响区以及基材的耐腐蚀能力,笔者将焊接件直接放置于广东地区开展自然暴露实验。实验前,焊接件表面无任何腐蚀迹象,见图1a。经过30 d自然暴露后,焊接件表面出现了严重锈蚀,其中焊缝及热影响区腐蚀现象最为明显,见图1b。说明在严酷环境下,焊接件的焊缝、热影响区的耐蚀能力要比基材弱^[9],需要重点保护。

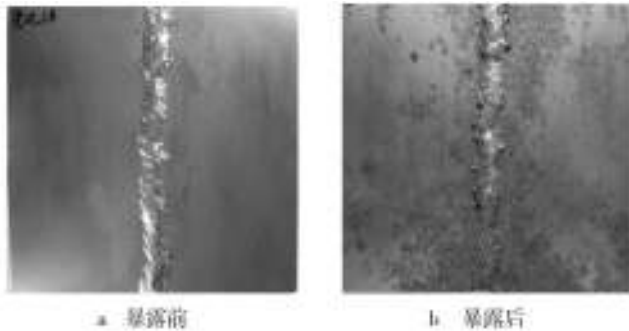


图1 无包装防护的焊接件在湿热环境下暴露30 d前后形貌
Fig.1 The topography of welding parts without packaging before and after 30-day exposure in hot and humid environment

2.2 常规包装防护方式对焊接件的防护效果

从经济角度考虑,海运是焊接件类产品出口的首选方式,目前焊接件海洋运输过程中通常采用PE袋+干燥剂密封包装和气相防锈袋+干燥剂密封包装这两种方式进行有效防护。为了模拟海洋环境的严酷性,笔者通过中性盐雾实验对PE袋+干燥剂密封包装以及气相防锈袋+干燥剂密封包装两种常规包装方式的防护效果进行了研究。在30 d的中性盐雾实验后,普通PE袋+干燥剂包装防护下焊接板形貌见图2,基材、焊缝都出现了腐蚀迹象。由此可见,普通PE袋+干燥剂的防护方式并不能对其进行完全保护,尤其是焊缝及热影响区部位。

随着气相防锈技术的迅速发展,气相防锈产品逐渐被应用到包装运输^[10-13]等行业,其防护效果也得到行业的广泛认可。在气相防锈袋+干燥剂的包装防护方式下,焊接件在中性盐雾30 d前后的外观见图3,实验后焊接件基材无锈蚀,仅焊缝部位出现轻微腐蚀。

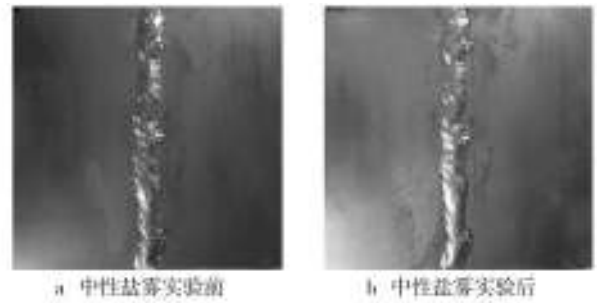


图2 普通PE袋+干燥剂包装防护下的焊接件在中性盐雾30 d前后形貌

Fig.2 The topography of welding parts protected by combination packaging of PE bags and desiccant before and after the neutral salt spray test for 30 days

可以看出,气相防锈袋相比普通PE袋有一定优势。因气相防锈袋内部散发的气相防锈剂会在材料表面形成几个分子层厚度的气相分子保护层,进而改变金属表面性质,抑制了金属腐蚀^[14-19]。

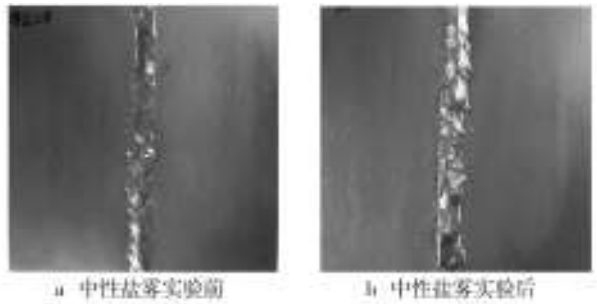


图3 气相防锈袋+干燥剂包装防护下的焊接件在中性盐雾30 d前后形貌

Fig.3 The topography of welding parts protected by combination packaging of vapor phase corrosion inhibitor bags and desiccant before and after the neutral salt spray test for 30 days

2.3 改进后包装防护方式对焊接件的防护效果

近几年,冷喷锌技术发展迅速,逐渐受到行业重视,被广泛地应用于国家大剧院、电厂、大桥等钢结构长效性防护中,其防护效果也得到行业认可。冷喷锌是由纯度高于99.995%以原子化提炼的锌粉、特殊融合剂组成的单组份产品,冷喷锌涂层干膜中锌的质量分数达到96%以上,常温施工,氧化率为1%~5%,综合了热浸镀锌及喷涂锌(铝)和富锌涂料的优点,其保护原理类似热浸镀锌,具有双重保护,一是阴极保护,二是屏障保护^[20]。同时,它克服了热浸镀锌防腐技术中热变形大、污染大、能耗高、重涂修复困难等弊病。同时由于其优秀的导电性,不影响焊接点火,在厚度较薄的情况下,不会影响后续焊接与涂装工艺,因此尝试将冷喷锌应用于焊接件焊接部位的临时性防护。

焊接件实验前的形貌和采用气相防锈袋+冷喷锌+干燥剂方式进行包装防护后开展中性盐雾实验后的形貌见图4,中性盐雾30 d后,焊接件基材以及焊缝部位都相对完好,未出现任何锈蚀现象。

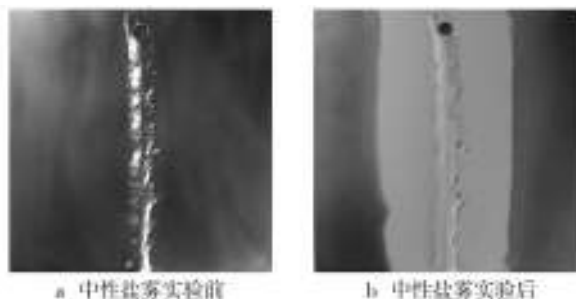


图4 气相防锈袋+冷喷锌+干燥剂包装防护下的焊接件在中性盐雾30 d前后形貌

Fig.4 The topography of welding parts protected by combination packaging of VCI bags, cold sprayed zinc and desiccant before and after the neutral salt spray test for 30 days

气相防锈袋对焊接件基材具有较好的防护效果,而冷喷锌对焊缝及热影响区具有良好的防护效果,并且使用方便,污染少。将这两种防护方式组合在一起,对焊接件的基材、焊缝及热影响区均具有较好的防护效果,且不影响后续的喷涂焊接工艺,该组合型防护方式可有效应用到焊接件的海运包装防护中。

2.4 冷喷锌对焊接件后续涂装焊接工艺的影响

锌的沸点为 $906\text{ }^{\circ}\text{C}$,而焊接溶池平均温度在 $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,溶滴温度超过 $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$,因此在已喷涂冷喷锌的焊接件后续补焊过程中,熔池超高温便会将表面喷涂的冷喷锌“烧掉”,不会影响后续焊接工艺(厚度过大会造成较多烟雾)。焊接件表面喷涂冷喷锌,并选择合适的中间漆、面漆便不会影响后续的涂装工艺。另外,若特殊情况下需要去除冷喷锌层,则用电动工具刷可轻易去除,见图5。

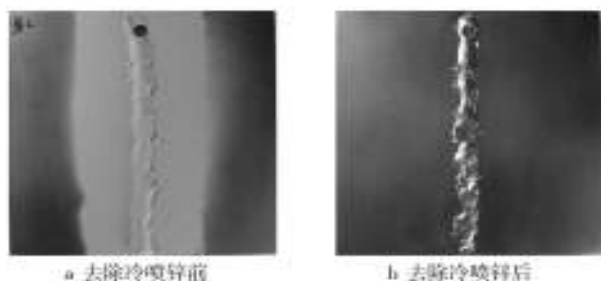


图5 焊接件焊缝部位冷喷锌保护后形貌和电动钢丝刷去除冷喷锌后形貌

Fig.5 The topography of welding parts protected by the cold sprayed zinc before and after removal of cold sprayed zinc

3 结语

严酷环境下,焊接件的焊缝、热影响区耐蚀能力要比基材弱,优先于基材发生腐蚀。

常规的包装防护方式中,普通PE袋+干燥剂对焊接件有一定的防护效果,但是焊接件基材、焊缝部位仍会出现明显锈蚀,其中焊缝锈蚀严重,将直接影响后续喷涂焊接工艺。而在气相防锈袋+干燥剂包装防护下,对焊接件整体有较好的防护效果,但是对于易腐蚀的焊缝及热影响区域仍不能起到很好的防护作用。故常规的包装防护方式对焊接件基材有一定的保护作用,但是对焊接部位并不能起到较好的防护作用。

改进后的气相防锈袋+冷喷锌+干燥剂包装防护方式中气相防锈包装对焊接件基材具有较好的保护效果,冷喷锌对焊缝、热影响区进行重点保护,且冷喷锌单组份使用方便,污染少,同时不影响后续涂装及补焊等工艺,将这两种防护方式组合在一起,对焊接件的基材、焊缝及热影响区均具有较好的保护效果,且不影响后续的喷涂焊接工艺等,该组合型防护方式可有效应用到焊接件的海运包装防护中。

参考文献:

- [1] 赖春晓. 焊缝腐蚀的原因和解决方法[J]. 全面腐蚀控制, 2004, 18(6): 10—12.
LAI Chun-xiao. The Cause and Solution of Weld Corrosion[J]. Total Corrosion Control, 2004, 18(6): 10—12.
- [2] 阮红梅,董泽华,石维,等. 基于电化学噪声研究缓蚀剂对6063铝合金点蚀的影响[J]. 物理化学学报, 2012, 28(9): 2097—2107.
RUAN Hong-mei, DONG Ze-hua, SHI Wei, et al. Effect of Inhibitors on Pitting Corrosion of 6063 Aluminium Alloy Based on Electrochemical Noise[J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2012, 28(9): 2097—2107.
- [3] 李洋,郭丽娟. 轨道车辆车体预涂底漆薄钢板的焊接性研究[J]. 焊接技术, 2014, 43(7): 15—18.
LI Yang, GUO Li-juan. Study on the Welding Properties of the Thin Pre-treatment Primer of the Rail Vehicle Body[J]. Welding Technology, 2014, 43(7): 15—18.
- [4] 刘雨薇,曹公望,王振尧,等. 镀锌钢在红沿河大气环境中的腐蚀行为[J]. 表面技术, 2016, 45(3): 152—157.

- LIU Yu-wei, CAO Gong-wang, WANG Zhen-yao, et al. Atmospheric Corrosion of Galvanized Steel at Hongyanhe Nuclear Power Station[J]. Surface Technology, 2016, 45(3): 152—157.
- [5] 刘胜林, 孙亮, 袁毅, 等. 热镀锌层在模拟湿热酸性大气环境中的耐蚀性研究[J]. 表面技术, 2015, 44(2): 99—104.
LIU Sheng-lin, SUN Liang, YUAN Yi, et al. Research on the Corrosion Resistance of Hot Dip Galvanized Coating in Simulated Hot and Humid Acidic Atmospheric Environment[J]. Surface Technology, 2015, 44(2): 99—104.
- [6] 牛宗伟, 徐明玉, 李明哲. 机械镀锌中超声功率对镀层耐腐蚀性能的影响[J]. 表面技术, 2015, 44(1): 64—67.
NIU Zong-wei, XU Ming-yu, LI Ming-zhe. Effect of Ultrasonic Power in Mechanical Galvanizing on the Corrosion Resistance of the Coating[J]. Surface Technology, 2015, 44(1): 64—67.
- [7] 李军伟, 衣守志, 冯瑞沁, 等. 热镀锌板三价铬钝化剂的制备及其钝化膜耐蚀性能[J]. 表面技术, 2014, 43(2): 109—113.
LI Jun-wei, YI Shou-zhi, FENG Rui-qin, et al. Preparation and Corrosion Resistance of Trivalent Chromium Passivation Agent on Hot Dipped Galvanized Steel[J]. Surface Technology, 2014, 43(2): 109—113.
- [8] 李广敏, 牛宗伟, 董海青. 锌粉粒度对机械镀锌层耐腐蚀性能的影响[J]. 表面技术, 2013, 42(5): 5—7.
LI Guang-min, NIU Zong-wei, DONG Hai-qing. Effect of Zinc Powders of Different Particle Size on Corrosion Resistance of Mechanical Zinc Coatings[J]. Surface Technology, 2013, 42(5): 5—7.
- [9] 崔爽. 气相防锈包装技术及其发展[J]. 包装工程, 2009, 30(4): 90—92.
CUI Shuang. Vapor Phase Corrosion Inhibitors Packaging Technology and Its Development[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 90—92.
- [10] 李文钊, 田春雷, 李良春. 基于气相防锈技术的弹药包装研究[J]. 包装工程, 2006, 27(1): 112—114.
LI Wen-zhao, TIAN Chun-lei, LI Liang-chun. Study of Ammunition Packaging Based on the Technology[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 112—114.
- [11] 陈愚, 蔡建, 罗俊杰. 当前军用包装防锈蚀技术现状[J]. 装备环境工程, 2005, 2(4): 81—83.
CHEN Yu, CAI Jian, LUO Jun-jie. The Current Status of Military Packaging Corrosion Inhibitors Technology[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(4): 81—83.
- [12] 刘媛媛, 王萌, 陈鹏宇. 气相防锈在工程机械零配件包装中的应用[J]. 制造与检测, 2012(11): 92—93.
LIU Yuan-yuan, WANG Meng, CHEN Peng-yu. The Application of VCI on Engineering Mechanical Parts Packing System[J]. Manufacturing and Detection, 2012(11): 92—93.
- [13] 阮红梅, 吴坤培, 王俊, 等. 气相防锈技术在电器设备防腐中的应用[J]. 装备环境工程, 2015, 12(4): 32—37.
RUAN Hong-mei, WU Kun-pei, WANG Jun, et al. Application of the Vapor Phase Corrosion Inhibitor in the Electrical Equipment Corrosion[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(4): 32—37.
- [14] 何新快, 陈白珍, 张钦发. 气相缓蚀剂的研究现状与展望[J]. 中国腐蚀与防护学会, 2004, 24(4): 245—248.
HE Xin-kui, CHEN Bai-zhen, ZHANG Qin-fa. The Research Status and Prospect of Vapor Phase Corrosion Inhibitors[J]. China Society for Corrosion and Protection, 2004, 24(4): 245—248.
- [15] 张大全. 气相缓蚀剂研究开发及应用的进展[J]. 材料保护, 2010, 43(4): 61—64.
ZHANG Da-quan. Development and Application of Volatile Corrosion Inhibitors[J]. Materials Protection, 2010, 43(4): 61—64.
- [16] 高国, 梁成浩. 气相缓蚀剂的研究现状及发展趋势[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2007, 27(4): 252—255.
GAO Guo, LIANG Chen-hao. Present Situation and Development of Volatile Corrosion Inhibitors[J]. Chinese Journal of Corrosion and Protection, 2007, 27(4): 252—255.
- [17] 马广强, 毛晓军, 郭四洲, 等. 气相防锈剂在牵引电机制造过程中的应用[J]. 环境技术, 2014(4): 15—19.
MA Guang-qiang, MAO Xiao-jun, GUO Si-zhou, et al. Application of the VCI in the Manufacturing Process of the Traction Motor[J]. Environmental Technology, 2014(4): 15—19.
- [18] 李志广, 黄红军, 万红敬, 等. 金属气相防锈技术的应用进展[J]. 腐蚀与防护, 2008, 29(11): 654—656.
LI Zhi-guang, HUANG Hong-jun, WAN Hong-jing, et al. The Application of Metal Vapor Phase Anti-Rust Technology Progress[J]. Corrosion and Protection, 2008, 29(11): 654—656.
- [19] 鞠玉琳, 李焰. 气相缓蚀剂的研究进展[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2014, 34(1): 27—36.
JU Yu-lin, LI Yan. The Research Progress of Vapor Phase Corrosion Inhibitor[J]. Chinese Journal of Corrosion and Protection, 2014, 34(1): 27—36.
- [20] 郭小军, 王春耀. 冷喷锌防腐工艺在螺栓防腐中的应用[J]. 新疆农机化, 2012(3): 63—64.
GUO Xiao-jun, WANG Chun-yao. Application of Cold Sprayed Zinc Coating in the Bolt Corrosion Protection[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2012(3): 63—64.