

# The Application of Ecological Revetment on Comprehensive Remediation in River Environment

Junjie Peng<sup>1</sup>, Shuo Zhao<sup>2</sup>, Haiming Peng<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Environmental Sciences Institute of Huizhou, Huizhou Guangdong

<sup>2</sup>Chiaki Albert Guangdong Environmental Services Ltd., Huizhou Guangdong

<sup>3</sup>College of Civil and Environmental Engineering, University of Missouri, Columbia Missouri

Email: pengjunjie2003@163.com

Received: Jan. 25<sup>th</sup>, 2017; accepted: Feb. 18<sup>th</sup>, 2017; published: Feb. 21<sup>st</sup>, 2017

---

## Abstract

River ecosystems do play a dramatically significant role in the ecological environment of watershed. Functional location and structural analysis of the rivers are the prerequisite for the comprehensive remediation and ecological restoration of river environment. In view of the current situation that comprehensive remediation is going to be implemented on the river environment, the main technical points and the main forms of the river ecological revetments at home and abroad were discussed, and the limitations of the conventional slope protection were analyzed. The application of ecological revetment technology integrated with local conditions has been carried out in the South China region, and the effects of ecological slope protection on the river ecological environment and landscape have been analyzed initially. The impact of ecological environment and landscape enhancing is evidently fabulous; the cost of construction and maintenance is relatively low, as well as construction process can be performed readily. The comprehensive application of ecological revetment in urban river environment has manifest social and environmental benefits.

## Keywords

River Ecological Restoration, Ecological Slope Protection, Environment, Comprehensive Remediation, Application

---

# 生态护坡技术在河流环境综合治理中的应用实践

彭俊杰<sup>1</sup>, 赵 烁<sup>2</sup>, 彭海明<sup>3</sup>

<sup>1</sup>惠州市环境科学研究所, 广东 惠州

<sup>2</sup>广东千秋伟业环境服务有限公司, 广东 惠州

作者简介: 彭俊杰(1969-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事环境污染治理及政策研究。

<sup>3</sup>密苏里大学土木与环境工程系, 密苏里 哥伦比亚  
Email: pengjunjie2003@163.com

收稿日期: 2017年1月25日; 录用日期: 2017年2月18日; 发布日期: 2017年2月21日

## 摘要

河流生态系统在流域生态环境中承担着重要的功能, 河流的功能定位与结构分析是确定河流环境综合整治和生态修复方案的首要前提条件。针对目前河流环境综合整治的形势, 探讨了国内外河流生态护坡技术要点及工程的主要形式, 分析了传统护坡的局限性。在华南地区开展了河流生态护坡技术因地制宜集成应用实践, 并初步分析了生态护坡对河流生态环境和景观的影响, 其改善河流生态环境及景观的效果较好, 建设与维护成本较低、施工简单。将生态护坡技术综合应用于城镇河流环境综合整治具有明显的社会效益和环境效益。

## 关键词

河流生态修复, 生态护坡, 环境, 综合治理, 应用

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

近年来, 我国在极力倡导尊重自然、顺应自然、保护自然的理念, 牢固树立了山水林田湖是一个生命共同体的理念, 树立了创新、协调、绿色、发展、共享的发展理念, 生态和绿色的发展理念已深入人心。提升生态环境质量是全面建设生态文明城市的必然选择, 生态建设技术已广泛应用在工程建设的各个领域。同时, 各种生态技术在实践应用中也需要不断优化, 不断推广应用。本文针对国内外河流护坡技术进行了初步调研, 将目前多种生态护坡技术因地制宜进行集成和优化, 成功应用于本地的河流生态修复实践, 并进行了跟踪观测和分析研究, 以期不断改进后推广应用。

## 2. 河流生态治理的形势

有史以来, 河流生态系统为人类提供淡水、食品等资源, 承担着涵养水源、调节气候、排涝泄洪、水体自净等功能, 支撑维系了地球的生命支持系统, 与人类福祉息息相关[1]。小流域内的众多小河流作为大江大河的“毛细血管”, 其水质、水文状况和生态的完整性与整体河湖系统的生态安全一脉相承。

随着社会经济的全面发展, 河流的功能也不断发生改变, 河流生态系统受到较大干扰, 水质污染、生态破坏现象较为明显。特别是经济发达地区, 城镇内河流水体黑臭现象普遍, 部分河涌基本丧失自净功能, 水环境整治任务相当繁重[2]。改善河流水质, 恢复河流水系的生态系统是水生态文明建设和环境保护的重要基础工作。2013年, 水利部印发了《关于加快推进水生态文明建设工作的意见》; 2015年, 国务院出台了《水污染防治行动计划》, 国家从战略层面开启了治水和治污的全国范围内的大行动, 旨在协调推进水安全、水环境、水资源、水景观的全面优化提质。因此, 河流生态环境综合治理是城镇现代化建设和流域管理的重中之重, 也使得河流生态环境综合整治成为一项较为复杂的系统工程。

### 3. 河流结构与功能定位

从河流治理和生态修复的角度,河流结构可以划分为河流基底(河床)、河流岸坡带(边坡)及河流缓冲带(河堤)三部分,其范围区分如图1所示。河流基底作为河床土质类型及构成、污染状况、河床形态及其演变、河床稳定性等综合内容的一部分,具有水利、航运、环保、节能、生态等专业领域的综合功能[3];河流岸坡是水陆交错带的重要区域,具有安全防护、生态、景观等综合功能,岸坡区域应有满足安全防护功能前提下,从生态环境改善角度构建良好的生物生息环境;河流缓冲带是陆地生态系统和水生生态系统的过渡带,是河流周边生态系统中各陆生物种的重要栖息地,也是河流中物质和能量的重要来源,直接影响整个河流的水质以及流域的生态景观价值,其主要功能为生态、防洪、社会经济服务等方面[4]。从以上分析可以看出,河流岸坡带是河流生态系统和陆地生态系统的连接通道,对河流的安全、生态、景观等具有重要的影响,河流护坡的建设也成为相关专业技术人员关注和研究的热点。

### 4. 传统河流护坡的局限性分析

长期以来,河流边坡建设主要关注边坡稳定性和排洪安全,对于传统的河流治理侧重于满足河流的防洪功能,护岸结构则多采用浆砌或干砌块石护坡、现浇混凝土护坡、预制混凝土块体护坡等硬化护坡。这些传统形式的护坡在防止水土流失、保持河流坡岸的稳定性以及防洪排涝等方面发挥一定的作用,但对环境、景观、生态等方面具有较大的负面影响[5]。

首先,传统的河流护坡工程破坏了水体—土壤—生物之间的物质和能量循环。硬质化的护坡、不透水的内衬无疑会造成生物栖息地的急剧减少,物种多样性同样会受到极大的抑制。因此,传统护坡对水生和陆地生物体的丰富度、生物量和多样性都会有很大程度的负面影响,从而导致河流生态系统发生功能性改变[6]。传统护坡的建设会阻隔河流水体与陆地的生物链,不利于河流生态系统水体自净能力的发挥和自然生态系统的恢复,严重影响天然河流的水质,并使河流失去原有生机活力;其次,硬质化的护坡无植被,断面整齐划一,走向笔直,严重影响河岸带的自然风貌和生态景观,使现代社会的人文景观和自然景观不协调;另外,传统河流护坡的建设耗费大量的水泥、沙石,甚至钢筋等,建设成本较高,不利于节能减排,且混凝土在河道中易腐蚀,生命周期与使用年限较短。

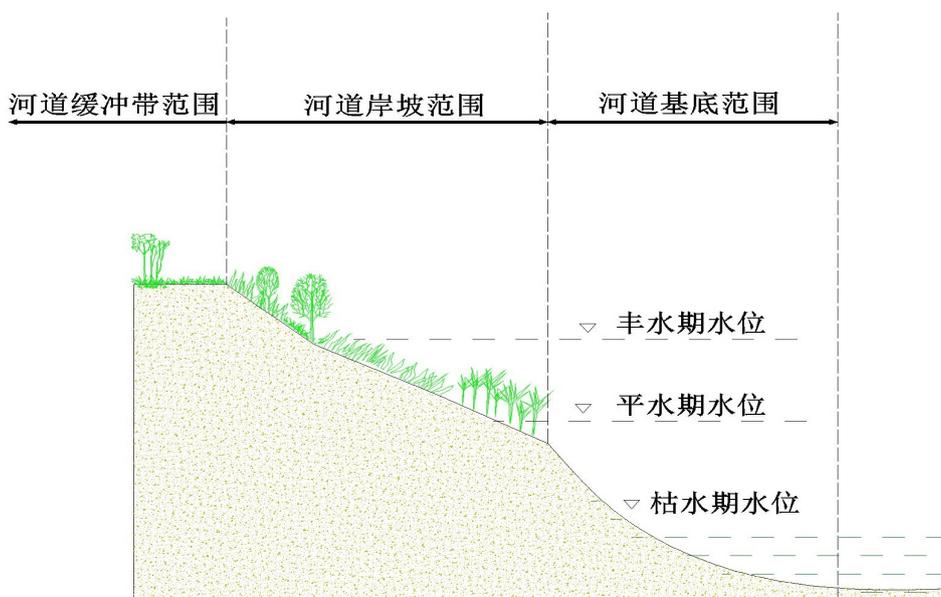


Figure 1. The diagram of river structure section  
图1. 河流断面结构示意图

据世界建筑与材料领域权威学会 ACI (美国混凝土学会)调查研究,河道中混凝土边坡易腐蚀的原因大体可以归为三类:1) 由于高速水流中压强的变化,进而导致的水体中气泡破裂形成的空穴作用;2) 水体中本身携带的沙石、碎屑、冰晶等较为坚硬的固体物质所磨损造成的腐蚀作用;3) 河道水流中的化学物质,包括有机污染物、氮磷化合物等对边坡的混凝土结构造成较大的损害与腐蚀[7]。因此,设计开发新的更为生态可行的边坡结构,替代传统的完全混凝土式护坡已经成为了环境科研工作者的当务之急。

## 5. 生态护坡定义及技术要点

为了避免河流传统硬质护坡对生态环境造成的不良影响,开发利用既能满足河流防洪安全,又有利于保护河流生态环境以及维护河流生态景观的生态护坡技术显得尤其迫切和重要。

生态护坡技术是综合工程力学、土壤学、生态学和植物学等学科知识对斜坡或边坡进行支护,形成由植物或工程和植物组成的综合护坡系统的护坡方法。生态护坡,就是综合考虑“水安全、水环境、水资源、水景观”的协调,在满足抗洪、排涝和航运等工程需求的同时,充分考虑生态效应,把河堤由过去的混凝土建筑物改造成成为适合生物生长的,水体和土壤、水体和植物或生物相互涵养的仿自然状态的护坡[8]。

生态护坡具备以下技术要素:首先,其是一个完整的生态系统,不仅包括植物,还应包括动物及微生物,系统内部之间以及系统与相邻系统(如河流生态系统、陆地生态系统等)间均发生着物质、能量和信息的交换,具有很强的动态性;其次,在保证边坡稳定和的基础上,以营造边坡的生物多样性为目标,在水体、土壤、生物之间,形成物质、信息和能量的循环体系,进行自组织和自我修复,使护坡不仅具有景观效果,还能修复受污染的河流水体,营造健康的河流生态系统[9]。

生态护坡对水生态系统的修复相当重要,其主要功能有:植被有深根锚固、浅根加筋的作用;防止水土流失:能降低坡体孔隙水压力、截留降雨、削弱溅蚀、控制水土流失;改善环境功能,植被能恢复被破坏的生态环境,促进有机污染物的降解,净化空气,调节小气候;能营造出自然和谐的水生态环境,打造优美的城乡景观[10]。

目前,国内外常见的河流生态护坡形式有植物型护坡(草木护坡)[11]、土工材料复合种植基护坡、土壤生物工程护坡[12]、生态石笼护坡、植被型生态混凝土护坡、生态袋护坡、多孔结构护坡、自嵌式挡土墙护坡等[13]。

## 6. 生态护坡技术的应用实践

2014年,广东惠州市启动了“美丽乡村·清水治污”活动,全面推进城镇水环境综合整治,大力开展农村生活污水治理、饮用水源保护、河道整治、工业废水治理、养殖污染治理、农村水生态文化培育等六大行动,提出79条中小河流的环境综合整治任务。针对城镇河流整治时间紧、任务重、资金少的情况,有关部门组织环保公益事业单位开展了广泛调研,积极引进和消化河流生态治理技术,因地制宜应用到本地城镇中小河流的环境综合整治中,2016年4月在惠州龙门县平陵河开展了生态护坡技术的应用实践工作。

### 6.1. 示范河段基本情况

根据当地有关部门的需求,选取了惠州龙门平陵河作为河流生态治理的示范研究项目。该河段河长约1000m,宽10~20m,水深1.5~3m,河床底泥约0.5~1m,平水期流速小于1m/s,属于缓流型河流。

### 6.2. 生态护坡建设方案

结合该河流现场地初步勘察的情况,结合整治的资金状况,提出了以适度清理河床、整理边坡、构建生态护岸、构建土壤生物工程、构建水陆交错带的挺水植物群落、恢复河道多样化断面、恢复河流水体和边坡的生态系统、改善水质等为主要措施的河流生态修复技术集成应用。

在整理边坡和构建生态护岸前,将河床中原有的非法种植的菜地进行了清理,在不减小河道过水断面,不

影响排洪通量的情况下，将坡脚区、岸坡区、河漫滩区和过渡区进行优化改造，在部分河段的常水位下 0.2~0.3 m 处采用了松木桩固土护坡，构建宽为 1~1.5 m 的挺水植物的边坡过渡带，在其中种植根系发达，茎和叶有一定柔性的菖蒲、香蒲、野茭白、水葱、花叶芦竹、芦苇等[14]。部分河段从过渡区到坡顶以 1:3 的坡度构建土壤护坡，再在此段边坡上种植耐湿的乔、灌、草植被，具体设计如图 2 所示。在部分以 1:2 的坡度构建的土壤护坡上铺设高度为 0.05 m，边长为 0.2 m，宽为 0.05 m 的空心六边形方块砖对边护进行保护，方块砖的空心部位种植本地物种的绿化植被，结构如图 3 所示。

### 6.3. 生态环境影响评价

示范工程的施工期为 15 天，施工结束后，对生态护坡的生态状况和稳定性进行了常规的跟踪调查，开展了初步的生态调查研究。过渡带的挺水植物和边坡的乔、灌、草等植被，以及边坡的土壤和空心六边形方块砖经历了 3 次比较大的洪水冲刷，仍然完好无损，植被生长良好。生态护坡及过渡带的植物为各种不同微生物的吸附和代谢提供了良好的附着栖息场所，为水中的污染物提供了足够的分解者；同时，过渡带的水生植物作为初级生产者，成为鱼类或其他水生动物的食物；水生地被植物栽于水陆交界之处，其发达根系较强的扭结力，能减少地表径流，防止水对边坡的侵蚀和冲刷，减少水土流失；水生植物群落为亲水的水鸟、昆虫和其他野生动物提供食物来源。水生植物使得水体成为具有生命活力的生态良性循环的生态系统，从而维持了河流水生态环境的生物多样性。

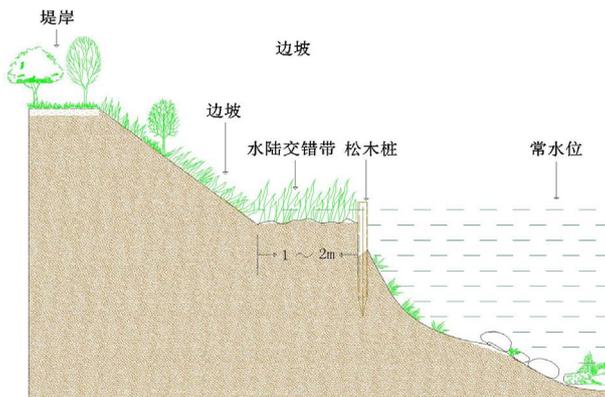


Figure 2. The design sketch of some part river ecological revetment  
图 2. 部分河段生态护坡设计示意图

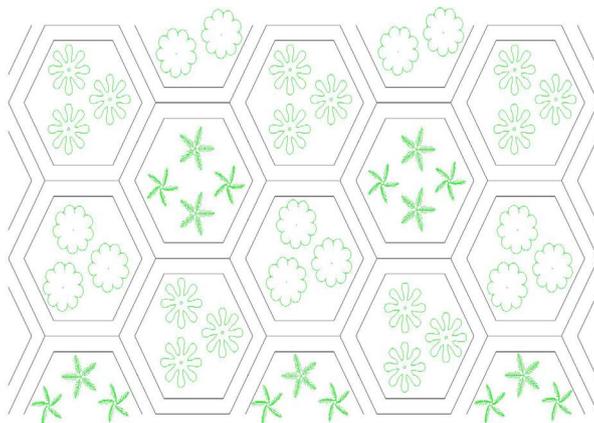


Figure 3. The design sketch of hollow block brick revetment  
图 3. 空心方块砖护坡设计示意图

观测了边坡植物根系新生根系生物量和生长深度的情况, 5 个月后, 部分挺水植物在茎叶的高度达到 1 m 左右, 根系的深度也达到了 1 m 左右, 以水杉为代表的乔木长势良好, 边坡灌丛和草丛的覆盖率达到 100%, 新增生物量(干重)约为 2 kg/m<sup>2</sup>, 生物多样性和丰富度显著提高, 密集的边坡植物明显增强了边坡土壤的抗侵蚀能力[6]。

同时, 河流生态护坡和过渡带湿地植物对河流水质有一定净化作用, 主要体现在以下几个方面: 1) 吸收水体中的氮、磷等污染物和其他营养盐, 消除污染, 净化水质; 2) 湿地植物进行光合作用时, 吸收环境中的二氧化碳、放出氧气, 增加水中的溶解氧; 3) 能吸收底泥中的污染物, 改变底泥理化环境, 稳定底质, 防止内源污染进一步扩散; 4) 过渡带湿地的植物吸附水中的细微悬浮物, 减缓底泥扰动, 抑制藻类暴发, 提高水体透明度。

#### 6.4. 景观影响评价

该河段的示范工程中重点考虑了保持河道原有的天然面貌, 保留了河流自然美景; 同时, 按照合理的植物配置, 采用乔灌草组成的植物群落, 选用了四季常绿的本土化物种, 形成郁郁葱葱的景观效果。根据水位的变化, 种植不同的湿地植物, 达到层次丰富的植物景观效果, 正常水位下生长着水生植物, 水流较急的坡脚采用抛石护岸加固, 正常水位上有湿生乔灌植物, 生态护坡工程不但防止了水流对护岸的冲刷, 护坡上的部分观赏植物的花期较长, 具有美学价值, 明显改善了河流的自然景观。

### 7. 结语

生态护坡技术是利用植物与工程材料相结合的方法, 在边坡上构建具有生态功能的边坡防护系统, 可实现减少水土流失、维持生态多样性和生态平衡、营造健康的河流生态系统和改善人居环境等目标[15], 合理解决了“绿化与硬化”的矛盾, 对于营造城镇生态景观、美化环境, 起到了积极作用, 是城乡河流生态环境综合治理的相对高级形态和必然趋势。

在惠州龙门实施的示范工程完成半年多以来, 河流边坡稳定, 河滨植被生长良好, 其稳定坡岸和改善河流生态环境及景观的效果较好, 设计合理的生态护坡既能保障河堤安全, 又能改善河流环境, 另外, 其建设与维护成本较低、施工简单。实践表明, 将生态护坡技术综合应用于该河段整治的示范工程, 是本地城镇河流环境综合整治的有益尝试, 为在更多的城镇河流生态治理中推广应用生态护坡技术打下了良好的基础。

### 基金项目

国家“十二五”水专项子课题城镇化水源集水区域水污染系统控制技术集成与综合示范(2012ZX07206-003)。

### 参考文献 (References)

- [1] 董哲仁, 等. 河流生态修复[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.  
DONG Zheren, et al. River ecological restoration. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2013. (in Chinese)
- [2] 陈文龙, 杨芳, 胡晓张, 等. 珠三角城镇水生态修复理论与技术实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.  
CHENG Wenlong, YANG Fang, HU Xiaozhang, et al. Theory and practice of urban water ecological restoration in Pearl River Delta. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2015. (in Chinese)
- [3] 董哲仁, 孙东亚, 等. 生态水利工程原理与技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.  
DONG Zheren, SUN Dongya, et al. Principles and techniques of ecological hydraulic engineering. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2007. (in Chinese)
- [4] 张丹丹, 史常青, 王冬梅. 河岸带生态护坡技术研究与应用[J]. 湖南农业科学, 2013(22): 28-31.  
ZHANG Dandan, SHI Changqing and WANG Dongmei. Research and application of ecological slope protection technology in riparian zone. Hunan Agricultural Sciences, 2013(22): 28-31. (in Chinese)
- [5] 聂青, 孙丽娜, 崔广柏. 生态护坡技术在城市河道整治中的应用[J]. 中国河道治理与生态修复技术专刊, 中国水利技术信息中心.

- NIE Qing, SUN Lina and CUI Guangbo. Application of ecological slope protection technology in urban river regulation. China River Management and Ecological Restoration Technology, China Water Conservancy Technical Information Center. (in Chinese)
- [6] SHI, R.-H., XU, S.-G. and LI, X.-G. Assessment and prioritization of eco-revetment projects in urban rivers. *River Research and Applications*, 2009(25): 946-961. <https://doi.org/10.1002/rra.1193>
- [7] GRAHAM, J. R. Erosion of concrete in hydraulic structure. ACI Committee 210, ACI Manual Practice, Part 1, 1998.
- [8] 马志敏, 郑军亮, 逯文兵. 城市生态河道生态护岸设计[J]. *河南水利*, 2006(11): 11-12.  
MA Zhimin, ZHENG Junliang and LU Wenbing. City ecological ecological river embankment design. *Henan Water Conservancy*, 2006(11): 11-12. (in Chinese)
- [9] 蔡杰龙, 杨永民, 卢伟伟. 生态护坡技术在广东省中小河流治理工程中的应用[J]. *广东水利水电*, 2016(7): 51-58.  
CAI Jielong, YANG Yunming and LU Weiwei. Application of ecological slope protection technology in small and medium rivers in Guangdong Province. *Guangdong Water Conservancy and Hydropower*, 2016(7): 51-58. (in Chinese)
- [10] 刘栋. 村镇河流生态适应性护岸景观设计研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.  
LIU Dong. Study on river ecological revetment design of rural landscape. Changsha: Agricultural University of Hunan, 2011. (in Chinese)
- [11] 王凯浩, 张静文. 生态护坡技术在城市河道整治中的应用[J]. *水利水电工程设计*, 2011(1): 29-31.  
WANG Kaihao, ZHANG Jingwen. Application of ecological slope protection technology in urban river regulation. *Water Conservancy and Hydropower Engineering Design*, 2011(1): 29-31. (in Chinese)
- [12] 刘瑛, 高甲荣. 土壤生物工程技术在河流生态修复中的应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.  
LIU Ying, GAO Jiarong. Application of soil bioengineering technology in river ecological restoration. Beijing: China Forestry Publishing House, 2012. (in Chinese)
- [13] 陈小华, 李小平. 农业流域的河流生态护坡技术研究[J]. *农业环境科学学报*, 2006(S1): 140-145.  
CHEN Xiaohua, LI Xiaoping. Study on river ecological slope protection technology in agricultural watershed. *Journal of Agro Environment Science*, 2006(S1): 140-145. (in Chinese)
- [14] 段晓明, 苗增健, 刘连新, 等. 生态护坡应用及护坡植物群落的选择[J]. *安徽农业科学*, 2009(37): 327-329.  
DUAN Xiaoming, MIAO Zengjian, LIU Lianxin, et al. Application of ecological slope protection and selection of slope protection plant community. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009(37): 327-329. (in Chinese)
- [15] YAO, S. M., YUE, H. Y. and LI, L. G. Analysis on current situation and development trend of ecological revetment works in middle and lower reaches of Yangtze River. *Procedia Engineering*, 2012(28): 307-313.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.724>