

河川裸地沙尘害防治对策的研究

张桢欢<sup>1</sup>, 陈文福<sup>2</sup>

(1 “水利署 第八河川局, 台湾; 2 中兴大学水土保持学系, 台湾 台中 402)

**摘 要:** 卑南溪是台湾东部主要河川之一, 发源于卑南主山, 在台东市东北方注入太平洋。卑南溪是形成台东纵谷南段平原的主要自然因素, 两岸由于土壤肥沃, 植物生长茂盛, 形成许多人类聚集的城镇及农村。由于卑南溪洪水期及枯水期流量差异甚大, 枯水期河床裸露地面积很大, 故于刮强风的日子风沙笼罩卑南溪两岸平原地带, 形成沙尘害, 所以台东市向素有“砂城”之称。探讨沙尘害形成原因并提出以“水覆盖”、“绿覆盖”及“人工护甲化河床”交错布置的方法, 抑止风沙扬起, 同时营造具生态保育功能的河域环境。

**关键词:** 沙尘害; 绿覆盖; 水覆盖; 护甲化河床

中图分类号: P445.4      文献标识码: A      文章编号: 1005-3409(2002)03-0084-04

Control Strategy of Sand-mote Hazard of River Bare Land

ZHANG Zhen-huan<sup>1</sup>, CHEN Wen-fu<sup>2</sup>

(1 “The Eighth River Bureau of Water Resource Agency”, Taiwan, China;  
2 Department of Soil and Water Conservation, Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, China)

**Abstract:** The Paynan River is one of the main rivers in eastern Taiwan, originated from the main Paynan mountain. The river join the Pacific Ocean at the north-east of Taitung City. The Paynan River is the key natural factor to form the south plain of Taitung valley. The soils are rich and plants are densely grown on two riversides. The two river sides are populated with towns and villages. The flow discharge varies a lot between flood season and dry season; many riverbed areas are bare in dry season. Sand-mote covers all over the plain areas of the two riversides of the Paynan River and become sand-dust hazard. So Taitung was named for the “sandy city”. The objectives of the study are to discuss the causes of sand-dust hazard, to control the wind sand being up lifted by alternated layouts of water cover, green cover and armoring river bed, in the meantime to build a river environment with ecologically conserved function.

**Key words:** sand-mote hazard; green cover; water cover; armoring riverbed

1 前 言

台湾东部的河川大多数丰枯水期流量差异甚大, 以致造成枯水期河床裸露地面积所占比例偏高。如果加上强风风扬效应, 则容易引起沙尘害, 不但造成沙尘直接危害人体诸如眼睛及呼吸器官, 同时也严重污染环境, 破坏景观, 其中坚硬的硅矿物颗粒甚至磨损诸如计算机硬盘、飞机引擎等器械, 造成财物上巨大损失。

卑南溪在台东市的东北注入太平洋, 枯水期河床裸露地与绿覆盖区域及水覆盖区域面积经河川局以影像分析结果如表 1。其中水覆盖区域与裸露地相互消长, 沙尘主要来自河床裸露地(包括砂石业工作场), 故减少沙尘扬逸的手段主要在于处理裸露地, 使其转化为绿覆盖区域或水覆盖区域。

2 沙尘害问题剖析

依据台东县环保局的调查, 台东市的沙尘害在卑南溪河口一带其来源如表 2。受害最烈的台东市区经追踪调查, 污染源经扬尘、落尘形成公害的过程, 如图 1 流程图。兹简述各类扬尘形成机制如下:

2.1 裸露河床及地表

卑南溪出海口段洪水期过后, 河床干涸, 经烈日曝晒, 地表土壤颗粒表面水分蒸发殆尽, 颗粒之间吸引力消失, 而本区风速风向记录显示, 大于 5.7 m/s 风速的日子以东北风占百分比最多达 16% (台东县环保局, 1998) 在强风拖电力的影响下, 细沙颗粒逐扬升飞逸并随强风侵入市区。裸露地表扬尘之产生及传播方式主要是经由风吹, (风速大于 5.4 m/

<sup>1</sup> 收稿日期: 2002-05-01  
作者简介: 张桢欢, “水利署”第八河川局正工程司, 水利技师, 河川局工程师; 陈文福, 中兴大学水土保持系教授兼主任。

s) 及机械力之作用, 再借着大气扩散作用而传播, 并影响附近地区之空气品质。其移动之方式和距离, 当风速须大于

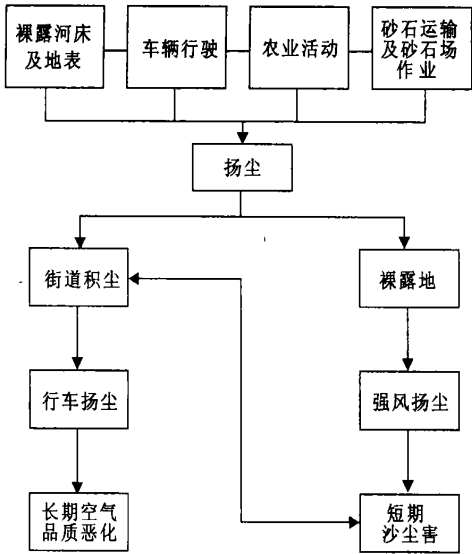


图 1 扬尘- 空气品质恶化流程图

表 1 河口段地貌分类

地 貌	面 积/ m <sup>2</sup>	百分比/ %
绿覆盖面积	2 962 160	53. 70
水覆盖面积	824 274	14. 94
裸露地面积	1 730 606	31. 36
河口段全面积	5 571 040	100

表 2 逸散性粒状物质污染源分类

大 类	细 项
道路车辆行车扬尘	铺面道路
	未铺面道路
砂石土运输及作业	砂石土运输
	砂石场作业
农业扬尘	农耕整地
	农地风蚀
裸露地表扬尘	裸露地表
	风 蚀

临界摩擦速度(Threshold Friction Velocity)  $U_i$ , 才能将颗粒扬起于气流中。临界摩擦速度以下式定义之:

$$U_i = K \left[ \frac{d g \rho_p}{\rho_a} \right]^{1/2}$$

( 1 )

式中:  $d$ ——颗粒直径;  $g$ ——重力加速度;  $\rho_p$ ——颗粒密度;  $\rho_a$ ——空气密度;  $K$ ——无因次参数(为平均流体剪力与颗粒重力之比值)。

颗粒从气流中沉降之终端速度  $U_f$  (Terminal Velocity) 可表示为:

$$U_f = \frac{2 \rho_p g}{\mu_a} \left( \frac{d}{6} \right)^2 \left( \frac{24}{C_d Re} \right)$$

( 2 )

式中:  $\mu_a$ ——空气黏滞度( Air Viscosity);  $Re$ ——雷诺数( Reynolds Number);  $C_d$ ——拖曳系数( Drag Coefficient)。

当  $U_f/U_i = 1$  时, 亦即临界摩擦速度等于颗粒之终端速度时, 颗粒将成为悬浮状态。临界摩擦速度是微粒悬浮于大气中之必要条件。Noel de Nevers(1995)。

2. 2 行车扬尘

道路可依铺面与否区分为铺面道路及未铺面道路。铺面道路系以柏油路面及混凝土路面为主, 车辆行驶于铺面道路时, 由于所造成气流扰动作用, 产生路面尘土之卷扬而形成扬尘污染, 其所掀起之扬尘量常难以估计, 依车辆种类、速度、路面条件与气候条件而异。

未铺面道路通常以砂石路面居多, 土质路面次之, 当车辆行驶于未铺面道路时, 由轮胎加于道路表面之压力或剪力, 造成表面物粉碎。微粒上升及下降乃随车辆之运动与道路表面暴露在由紊流剪切作用所造成之气旋中, 而造成大量固体微粒( 粉尘) 逸散问题。

2. 3 砂石业运输及作业

砂石土之运输与砂石场作业, 在扬尘逸散具有相当地关联性, 分述如下:

2. 3. 1 砂石运输 一般而言, 砂石运输业对空气品质的影响程度决定于:

- ( 1 ) 砂石车装载密闭和外观整洁程度。
- ( 2 ) 砂石车之行驶密度。
- ( 3 ) 砂石车之行驶频率。
- ( 4 ) 砂石车运输路线之隔离程度。

而在运输的过程中, 对铺面道路而言。一般因车辆活动而扰动了路面粉尘并使这类物质变成悬浮于空气中的状态所致, 路面粉尘定义为存于道路铺面上的外来物质, 并有悬浮于空中之可能者, 而路面粉尘的量则由以下几项所合并而成:

- ( 1 ) 车辆携带泥土的沉淀。
- ( 2 ) 移动车辆之溢漏。
- ( 3 ) 道路铺面材质的磨损。
- ( 4 ) 邻近地区之逸散或风蚀作用产物。
- ( 5 ) 大气落尘。
- ( 6 ) ( 微) 生物尸体残余物。
- ( 7 ) 轮胎及煞车片之磨损。
- ( 8 ) 车辆排气内之逸散物。
- ( 9 ) 随意弃置的物质。

不同于铺面道路者, 未铺面道路之粉尘产生来源, 大部分来自形成道路表面本身的物质而不是铺面的物质; 但不论是那一种道路, 造成粒状污染物的原因都是车辆运动的结果, 除了车辆外, 风的扰流也会使路面粉尘悬浮于空气中。

2. 3. 2 砂石场 砂石业原料以卡车运送, 进厂后一部分堆置, 一部分直接倾卸入搅拌机, 经过数道破碎、筛分及洗砂过程, 分离出不同粒径之碎石与粗砂成品, 过程以输送带运送, 用水冲洗以去除碎石上之细砂粒, 成品先经堆置, 视需要再以铲土机上车出货, 流程中主要之扬尘来源为:

- ( 1 ) 倾卸、取料: 物料之倾卸及取料过程, 因物料由高处

落下造成之冲击扰动,易造成物料之飞扬,成为污染源。

(2) 堆置:如前所述,因砂石业原料大都来自河川,其料源多含大量水分,制程中亦不断冲水洗泥,故输送间无污染之虞;但堆积过程中经日照风吹后,表层极易干燥,可能因风扬或扰动而造成污染物之溢散。

(3) 交通运输:砂石场地面常遗留有大量砂土,砂土干燥后经车辆碾压及风扬作用,造成尘扬之情形极为严重,为砂石场最主要之空气污染来源。

## 2.4 农业扬尘

农田整土之目的为得到所需之土壤结构除去杂草,犁田为最普通之整土方法,其操作时由于松动及粉碎土壤等过程所造成之灰尘微粒,遇风时则吹扬于大气中,造成污染情形;当粉尘粒径较大时则可能仅落于农田附近,只影响四周环境,但若粉尘粒径细小( $< 10 \mu\text{m}$ )时,则可能形成悬浮性粒状物,其影响之范围较广大,一般而言,农耕整地所造成粒状物扬逸,直接与农田面积成正比,其它影响因素则有表面土壤组成及表面土壤含水量等。

综观上述,细沙扬尘主要形成原因,不论其为农地耕作或运输道路未铺面层,或河床被洪水冲刷裸露都是由于土壤地表裸露所致,所以处理裸露地成为抑止沙尘害的主要思维。

## 3 沙尘抑止对策

由现场的调查,以及沙尘扬起机制的分析,针对卑南溪河口段沙尘害提出以下对策:

### 3.1 扩大绿覆盖面积

所谓绿覆盖泛指一切由植物生长所覆盖的地貌。在卑南溪河口段主要绿覆盖植物为水稻、蔬菜、水生植物及高滩植物。河川区域内的植物对防止风蚀扬尘有极佳效果,其主要机制为隔绝快速气流拖曳地表沙尘颗粒,及增加地表气流阻抗减低地表层附近气流流速。洪水时段,河川区域内植物生存会受洪流威胁,但是由长期统计资料显示,卑南溪河口洪水冲刷高滩地绿覆盖区域机率极少,主深槽平均流速约为  $4 \sim 5 \text{ m/s}$  间,对植物有毁灭性威胁,但次深槽或高滩地流速急剧减弱。由河川局于观测所得资料,近 10 年流量最大的象神台洪在台东大桥流量站测得主槽流速  $6.35 \text{ m/s}$  次槽流速  $5.36 \text{ m/s}$  淹没高滩地流速  $1.51 \text{ m/s}$ ,对根系抓地力较强的植物例如甜根子草、五节芒、台东火棘、桤柳之类已不构成威胁。即使是水稻在  $1.5 \text{ m/s}$  流速的拖曳下依然存在,只是倒伏而已,尚具定砂功能。由前人研究得知植生工程以扩大原植群面积最为有效,故本文建议卑南溪河口应以人工复育手段扩大分布中华大桥下方一带及台东大桥右岸下方一带原有植物覆盖面积,以期减少裸露地面积。

### 3.2 营造水覆盖面积

由前文可知,固体微粒扬起临界摩擦速度,  $U_t$  与颗粒重量成正比关系,故湿润的地表有助沙尘扬升之抑止。经由地形测量得知,出海口段主槽坡度为  $1/153 \sim 1/200$ ,枯水期只要在适当地点布置抬水带工,将河槽梯田化即可增加水覆盖

面积形成人工湖面,不但有利鱼类生存,在景观上亦获极佳效果,同时也湿润周边土地有利抑止风沙并供绿覆盖植物生长所需水分。

季节性抬水带工所需工程费用颇经济,以现场材料敷造即可。季节性抬水带工由于构造简单,于洪水来临时将不会妨碍水流。洪水达一定流速,即会令其崩溃冲走以增加洪水时段通水断面积。故以经济型季节性抬水带工抬高枯水期水位,增加河域水覆盖面积颇适合本岛河川运用。

### 3.3 滨水河域护甲化

河川内绿覆盖区域及水覆盖区域以外的土地为滨临水流,寻常洪水可达植物较不易留住的区域。这块区域在台湾某些河川由于天然粒径的分布粗颗粒占的百分比比较高,容易产生护甲现象。近景参阅卑南溪河口段河床质垂直分布情况。因此如果经由粒径调查分析发现,适合以人工方法改变其粒径的分布状态者,则适合施作人工护甲,利用粗颗粒覆盖裸露地抑止沙尘扬起。由于护甲状态在中低流速时并不易被破坏,所以颇适合中低流速占大部分时间的河川。

最早研究冲积河流河床护甲化者为 Harrison(1950),并发现粗颗粒之铺盖不需要完整之一层,护甲化过程即可完成,尹学良(1963) Little & Mayer(1976)、Ashida & Michiue(1971)、刘兴年(1986)、陆永军、张华庆(1993)、杨美卿(1991)等对河床护甲化试验作了不同方面之尝试,惟诸多试验条件均局限于亚临界流,亦即属于缓坡清水冲刷之情况,阮香兰等(1996)则尝试进行超临界流况之渠槽河床护甲化试验,以提供或补充不同领域之实验数据,并以试验结果验证 Gessler 护甲层级配推估模式在超临界流况下,仍具有其实用性。其主要结论如下:

(1) 经由试验结果分析得知,当原始床砂之级配已知之情况,水流条件若足以使部分泥砂起动,同时却无法带动所有泥砂形成整体运动时,则经过长时间之冲刷,将完成护甲化之过程成为一稳定结构,若非更强之水流条件不足以破坏之。

(2) 欲求护甲层级配,首先必须找出在某一水流条件下,各个粒径范围内之泥砂停留机率  $q_i$  Gessler 认为底床剪应力之脉动遵循常态分布,以下式表示

$$q = \frac{1}{\sigma} \frac{1}{2\pi} \frac{\tau_c}{\tau}^{-1} \exp\left[-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (3)$$

式中:  $\sigma$  表示底床剪应力脉动值之标准偏差,约为 0.57。

并推导出当雷诺数  $Re^* > 200$  时粒径为  $D_i$  之床砂停留机率  $q_i$  如下式:

$$q_i = \frac{1}{\sigma} \frac{1}{2\pi} \frac{0.047(Y_s - Y)}{\tau} \exp\left[-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (4)$$

式中:  $Y$ ——水之单位体积重;  $Y_s$ ——泥砂之单位体积重。

其试验数据之验证结果,估计值与实测值之误差在 0.52% ~ 33% 之间,尚属合理,由此可判断 Gessler 模式在超临界条件下,仍具有其实用性。

阮香兰等(1996)指出:护甲化现象之完成,最主要在于

粗颗粒对细颗粒之隐蔽效应。当粗颗粒突出在河床之表面时, 水流经过这些颗粒会产生分离, 在颗粒之背水面形成回流区, 处于回流中之细颗粒泥砂将不直接与主流相接触而受到隐蔽。在退水阶段, 床面上可见到许多砾石林立, 细砂环绕在周围, 若偶而被水流冲动, 就在砾石间迂回前进, 逐渐地完成护甲化过程, 达到一个新平衡状态, 当各种砂样完成第一组试验, 加大流量再继续试验时, 较强之水流条件将破坏原先之稳定结构, 床砂又开始起动, 而重新发展成配合当时流

况之另一个护甲层结构。

卑南溪洪水时为超临界流况, 依据河川局的调查, 卑南溪河口段每  $\text{m}^3$  河床质中粒径分布大于 3 以上约占 35% (历年略有不同, 但变化不大)。如经过人工护甲施作改变粗颗粒分布位置, 可以达到完全遮蔽细颗粒的效果, 同时至少维持 7 个月左右, 一般低流量洪水很难破坏其护甲结构, 故人工护甲合并前述绿覆盖与水覆盖将可有效覆盖卑南溪河口段裸露地。



图 2 卑南溪河口段沙尘防治构想图

4 结 论

(1) 各种形式的覆盖对沙尘害的抑止最为有效。其中以水覆盖效果最好, 可达 100% 预期效率。绿覆盖依植物种类而异平均可达 65% 预期效率, 水稻田则可达 100%。人工护甲覆盖预期可达 50% ~ 90% 的效率依季节而异。喷洒化学硬化材效果虽佳但有化学污染的问题所以不宜采用。

(2) 以上所述方法尚不能完全抑止风沙扬起, 少量沙尘则由沿河口岸防风林负责遮阻。

(3) 绿覆盖、水覆盖、人工护甲于较大流量的洪水冲刷后会改变, 需以河川永续管理的角度编列预算继续维持。美丽愿景如图 7。

参考文献:

[ 1 ] 阮香兰、冯晓雯. 清水冲刷非均匀河床之粗粒化, 试验研究[ J ]. “水土保持学报”, 1996, 28( 1 ): 52- 53.

[ 2 ] 林锐敏、戴华山. 卑南溪出海口扬尘问题管理对策之研究[ R ]. 台东县环保局计划, 1999. 3-5- 3-16.

[ 3 ] Gessler, J. The beginning of bedload movement of mixtures investigated as nature armoring in channels[ R ]. Translation T-5, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Tesources, California Institute of Technology, Pasadena, Calif., . 1965.

[ 4 ] Harrison, AS. Report on special investigation of bed sediment segregation in a degrading bad[ R ]. University of California. 1950.

[ 5 ] Noel de Nevers. Air Pollution Control Engineering[ Z ]. 1995.