

# 防砂工程与河川物理栖地复育探讨 ——以石门水库苏乐溪及匹亚溪为例

陈树群, 吴俊鋐

(台湾中兴大学 水土保持学系, 台湾 台中 40227)

**摘要:** 过往河川经历土砂灾害后, 往往采用人为工程控制土砂, 一方面保护下游水库库容, 另一方面则快速达到集水区土砂稳定; 但兴建工程方式在近年逐渐出现破坏河川栖地之反对声音。以石门水库集水区两条土砂灾害严重之河川(包括苏乐溪及匹亚溪)进行探讨, 由长期监测及河川物理栖地调查, 说明防砂工程对河川复育之选择性及必要性, 并强调防砂工程兴建需因应土砂量变化而进行长期调整概念, 作为防砂工程与栖地复育相互依存参考。

**关键词:** 河川物理栖地; 栖地复育; 五层分类法; 石门水库集水区

中图分类号: TV822.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)01-0266-06

## Influence of the River Engineering on the Restoration of River Physical Habitat — A Case in Sule and Pia River in Shihmen Reservoir Watershed

CHEN Su-chin, WU Chun-hung

(Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 40227, China)

**Abstract:** The study proceeded long-term observation of the river physical habitat in Sule and Pia river watershed in Shihmen reservoir watershed. The result of long-term observation indicates that the engineering must be established in the river watersheds with much sediment yields to achieve the stable sediment. The study proposes the river engineering assessment procedure to decide to establish, adjust or remove the engineering based on the integrated analysis of the protected objects, the debris flow or flood events, and the discharge and suspended load of the river. The assessment can be a reference for the establishment, adjustment or removal of the river engineering in the future.

**Key words:** river physical habitat; habitat restoration; stream classification system with five levels, Shihmen reservoir watershed

2004 年艾利台风在石门水库集水区降下平均 967 mm 之雨量<sup>[1]</sup>, 也引发石门水库集水区崩塌及泥石流等灾害, 大量土砂进入库区, 其中又以苏乐溪及匹亚溪为土砂产量较大的野溪, 该年度石门水库库区淤积量总共增加 2 788 万 m<sup>3</sup>, 约占总库容量的 9%。对工程人员而言, 防砂工程的兴建是过往至今针对山坡地野溪或河川, 欲减缓流速、控制土砂并降低淘刷的主要方式; 但对生态保育人员而言, 防砂工程兴建犹如是破坏环境栖地的原凶, 观点差异也在近年苏乐溪整治的讨论上产生不同的意见。

本研究主要以石门水库集水区之内之苏乐溪及匹

亚溪为探讨对象, 利用 2~4 a 之长期调查监测, 并在屡次调查进行河川物理栖地复育评估, 以长期复育评估结果分析并探讨该河川栖地在近年复育进展, 也分析防砂工程在该区段之适宜性, 并提出未来建议如何调整或改变, 而能降低防砂工程对自然生态及河川环境之破坏。本文主要目的在于探讨如何在人为工程兴建跟自然环境复育这两者看似冲突的角色, 尝试找到平衡点或修正方式。

### 1 研究区域概况

石门水库集水区总面积 763.4 km<sup>2</sup>, 主流为大汉

收稿日期: 2011-07-18

修回日期: 2011-10-26

资助项目: 行政院经济部水利署(MOEAWRA0990074)

作者简介: 陈树群(1958—), 男, 台湾澎湖人, 博士, 教授, 研究方向: 河床演变学、溪流工程整治、泥沙运动力学、坡地防灾工程。E-mail: sc-chen@nchu.edu.tw

通信作者: 吴俊鋐(1976—), 男, 台湾台南人, 博士后研究员, 研究方向: 崩塌及土石流灾害、崩塌模式建构、水利渠槽实验、环境永续发展。E-mail: chwu@mail.nchu.edu.tw

溪。集水区以陡坡为主,集水区高程超过 1 000 m 之面积占总面积之 71%,平均高程为 1 752 m;集水区平均坡度为 32°,坡度在 55% 以上占总面积之 61%;集水区属于亚热带性海洋气候,本研究搜集石门水库集水区邻近 6 个雨量站长期降雨数据进行分析,年平均降雨量约为 2 124~2 716 mm,年降雨可分为旱季(每年 10 月—翌年 3 月)及雨季(每年 4—9 月),雨季总累积雨量约可占年雨量之 75%~80%;根据长期降雨资料分析结果,雨季雨量增加主要集中在 7 月及 9 月,且近年出现年降雨量增加、雨季月降雨量集中及旱季雨量减少等三特性。

本研究主要探讨苏乐溪及匹亚溪为主,苏乐溪及匹亚溪位于集水区中游,匹亚溪及苏乐溪之地质主要以澳底层为主,澳底层属于古第三纪岩层,古第三纪岩层包括下部乌来群及上部乌来群,上部乌来群又可分为大桶山层及澳底层,澳底层由中粒白砂岩及薄层页岩或砂质页岩与延展不规则之煤页岩构成<sup>[2]</sup>。

匹亚溪集水区面积 12.6 km<sup>2</sup>,地势西高东低,集水区平均坡度为 33°,河道受到两岸山势地形之影响,河川平面形态则呈现蜿蜒状态且树枝状水系;匹亚溪河川整体坡降约为 11.2%,河川侵蚀下切能力强,属于丘陵蜿蜒粗颗粒 V 型河谷;丘陵蜿蜒粗颗粒河川特性为受地形或地质特性局限影响蜿蜒,河川走向与地质构造垂直,溪流切穿多地质构造而蜿蜒,适度的侵蚀及宽深比,凹岸冲蚀能力强,具有高度之崩塌潜势,凸岸淤积能力强,边滩稳定且易增长。苏乐溪集水区面积 6.0 km<sup>2</sup>,地势西高东低,集水区平均坡度为 34°,河川整体坡降约为 44.4%,河川侵蚀下切能力强,苏乐溪河道受到两岸山势地形之影响,其平面形态则呈山区蜿蜒粗颗粒 V 型河谷;山区蜿蜒粗颗粒河川特性为受地形影响蜿蜒,河床由基岩组成,受 X 状断裂或 X 状节理控制,多为横谷,新构造运动较强烈抬升,河床主要由页岩与粉砂岩组成,呈互层构造,岩层倾角小,新构造运动缓慢抬升,地形起伏明显,适度的侵蚀及宽深比,窄且较陡的溪谷,以急流为主。

## 2 研究方法

(1)土砂量估算。本研究采用三次崩塌事件来评估研究区域近年土砂产量,包含 2001 年桃芝台风后、2004 年艾利台风后及 2009 年莫拉克台风后;土砂产量估算包含崩塌量估算、土壤冲蚀量估算及总土砂产量估算,崩塌量主要采崩塌面积乘上平均崩塌深度<sup>[3]</sup>进行估算,土壤冲蚀量估算则采用土壤冲蚀指针模式(Soil Erosion Index Model,后简写 SEIM)<sup>[4-5]</sup>,考虑泥砂递移率(Sediment Delivery Ratio, SDR)概念<sup>[6]</sup>

估算总土砂量。

(2)河川物理栖地评估。物理栖地评估方式以河川型态五层分类法<sup>[7]</sup>第五层为主;河川型态五层分类法分为第一层流域特性、第二层水系特性、第三层主流特性、第四层河道特性及第五层栖地单元 5 个方面。第五层评估以河川栖地物理组成为主,评估目的在于检视栖地物理组成之多样性,是否可提供多样性之生存与栖息空间。评估方式分为滨水区与水域,水域主要探讨水流中溪流栖地单元分布,滨水区探讨水域与陆域间廊道与生物栖地组成等,利用栖地物理组成调查数据,进行水域、滨水区与沙洲中之泥砂、水流、地形、人为、植生等物理性栖地组成评估。整体评估标准及评分如表 1 所示。栖地经评分之后,将各因子评分值正规化成 0 至 100 分,即可分析五项因子在栖地环境之影响。

## 3 调查结果分析

(1)匹亚溪集水区。表 2 为匹亚溪近年总土砂产量估算,本研究以崩塌率(崩塌面积除以总集水区面积)超过 1% 视为严重崩塌事件,则 2004 年艾利台风是主要的土砂灾害事件。近年因降雨逐渐转为集中且降雨强度增加,也造成土壤冲蚀量逐渐增加。

本研究于现场调查(图 1—2)可发现:河川横向工程是水流连续性及水域环境欠缺主要因素,现阶段上游集水区土砂淤积严重、两岸植生种类多但对河道庇护程度小,且人为工程对当地河川物理栖地之影响大。匹亚溪上游施作人为工程主因在于稳定集水区土砂量,避免大量土砂急速往下游输送,因此水流环境、底床土砂组成多样性及植生目前都处于不佳的情况。由历年照片可发现河岸植生复育为复育最快速的评估面,但也可发现在上游集水区流量小但土砂淤积量大的情况下,目前上游集水区消化淤积土砂量能力小,要达集水区土砂量稳定尚须不短的时间。

因近年有大量土砂产生,可发现河川断面拓宽、河川易摆动或崩塌新增及扩大现象;根据本研究于现场调查土砂特性:堆积粒径以巨砾、卵石及土砂居多,土砂堆积量大,目前已设置工程,河川主流成为地底伏流,地表面无任何流况产生。本研究于 2007 年起进行现场调查,现场调查分述如图 2 所示,可发现泥沙及地形评估面评估分数则些微降低。

(2)苏乐溪集水区。表 2 为苏乐溪近年总土砂产量估算,2004 年艾利台风及 2009 年莫拉克台风事件之崩塌率都在 1% 以上;近年因降雨逐渐转为集中且降雨强度增加,也造成土壤冲蚀量逐渐增加。

表 1  河川型态五层分类法第五层栖地评估方式

因素	项目	水域评估			
地形	基质稳定性	超过 70%稳定底床质适合营造新的栖地,或可供水域生物生存,通常存有不是新落下断落树枝、深潭、草木的突出部份、巨砾/大卵石或其它稳定栖息地之要素	40%~70%之底床质适合生物拓殖使用,出现新落下的枝条与原木	20%~40%之底床质适合生物拓殖使用,基质经常被扰动或移除	少于 20%的稳定良好栖息地存在,底床质不稳定或缺乏
	评分(01)	20~16	15~11	10~6	5~1
	地形多样性	浅滩出现频率高,浅滩间距与河宽之比值小于 1,溪流中浅滩具有连续性,且浅滩由块石至更大之石块所组成	浅滩出现频率低,浅滩间距与河宽之比值为 1~2	浅滩不常见,底床提供些许栖地空间,浅滩间距与河宽之比值为 3~5	大量平坦河床或水流全为浅水之浅滩,浅滩间距与河宽之比值大于 5
	评分(02)	20~16	15~11	10~6	5~1
	泥沙				
泥沙	底质孔隙多样性	卵石、砾石、块石间孔隙被砂粒填满 25%以下,并提供多样孔隙	砾石、卵石、块石间之孔隙被砂粒填满 25%~50%	砾石、卵石、块石间之孔隙被砂粒填满 50%~75%	砾石、卵石、块石间之孔隙被砂粒填满 75%以上
	评分(03)	20~16	15~11	10~6	5~1
	土砂堆积程度	没有或只有少数沙洲出现,少于 5%的水域受到泥沙堆积影响	出现一些新沙洲,由砾石、砂与细砂组成,5~30%水域受到泥沙堆积影响,深潭中轻微泥沙淤积	中度泥沙堆积,30~50%(缓坡 50~80%)水域受到泥沙堆积影响,水道阻碍、束缩、弯曲处及深潭受到中等泥沙淤积影响	强烈的泥沙堆积,大量细颗粒泥沙淤积使沙洲增长,50%以上的水域受到泥沙堆积影响,深潭因而几乎消失
	评分(04)	20~16	15~11	10~6	5~1
	人为				
人为	人工构造物种类	没有人工构造物,也无工程活动	人工构造物为自然资材	人工构造物为自然资材加人造	人工构造物全为人造
	评分(05)	20~16	15~11	10~6	5~1
	人工构造物高度	没有人工构造物,也无工程活动	人工构造物高度 0.3 至 1 m,抑制了区段里生物之移动,如:固床工	人工构造物高度 1~5 m,也许附设功能良好鱼道,如:潜坝	人工构造物高度 5 m 以上,也许附设功能良好鱼道,如:防砂坝
	评分(06)	20~16	15~11	10~6	5~1
	人工构造物排列密度	没有人工构造物,也无工程活动	只有单一构造物	连续的人工构造物	密集的人工构造物,甚至水域底床为水泥封底。
水流	评分(07)	20~16	15~11	10~6	5~1
	水流稳定性	日常流量下有效河道皆有水流流动,只有很少的河川底质暴露出来	日常流量下水流填满有效河道之 75%以上,或是少于 25%的河床底质暴露出来	日常流量下水流填满有效河道之 25%~75%,或浅滩的底床质露出	日常流量下河道几乎无水流,或只在深潭中存在水流,形成静水潭
	评分(08)	20~16	15~11	10~6	5~1
	水流多样性	浅滩/浅流/深潭/深流四种型态皆出现	浅滩/浅流/深潭/深流 4 种型态出现其中 3 种	浅滩/浅流/深潭/深流 四种型态出现其中 2 种	浅滩/浅流/深潭/深流 四种型态出现其中 1 种
	评分(09)	20~16	15~11	10~6	5~1
滨水区与沙洲					
地形	河岸稳定度	河岸稳定,几乎很少被冲刷,小于 5%的河岸受到影响	中度稳定,有小区域的冲刷发生但回复稳定,5%~30%的河岸有被冲刷的影响	中度不稳定,30~60%的河岸受到冲刷影响,在洪水期间,有高度被冲刷的可能	极不稳定,河岸明显的被破坏,60%以上的河岸受到冲刷影响
	评分(10)	左岸 10~9	8~6	5~3	2~0
	评分(11)	右岸 10~9	8~6	5~3	2~0

续表 1:

泥砂	泥砂孔隙多样性	卵石、砾石、块石间之孔隙被砂粒填满 25% 以下,表层提供多样的孔隙	砾石、卵石、块石间之孔隙被砂粒填满 25% ~50%	砾石、卵石、块石间之孔隙被砂粒填满 50% ~75%	砾石、卵石、块石间之孔隙被砂粒填满 75% 以上
	评分(12)	20~16	15~11	10~6	5~1
	土砂堆积程度	少数边滩出现	出现一些新的边滩,由砾石、细砂所组成	新旧边滩上有中等程度的砾石、细砂淤积	大量细颗粒泥砂淤积并使边滩增长
	评分(13)	20~16	15~11	10~6	5~1
人为	人为影响程度	河岸被渠道化或挖浚的程度很低,保有原始的自然状态	通常只有在桥梁附近,有部分河岸被渠道化,有少许挖浚,人为设施是原有的不是新介入的	河岸被渠道化的程度很高,堤防或是截弯出现在两侧河岸,40%~80% 的河岸被改变或扰动	河岸为箱笼或水泥,超过 80% 的河川被渠道化或扰动,使得两岸栖地环境大多被影响甚至完全破坏
	评分(14)	20~16	15~11	10~6	5~1
	资材种类影响程度	无,范围或影响不大	只有堤防或只有砌石护岸	砌石护岸比例大于水泥护岸。	水泥护岸多数。
	评分(15)	20~16	15~11	10~6	5~1
植生	河岸植生群保护程度	滨水区植生覆盖超过 90%,包括各类溪滨植物,没有明显的人为放牧及除草行为,植生大部分都自然地生长	滨水区植生覆盖在 70%~90% 之间,少许人为活动介入,但不影响大部分自然植生的生长情况	滨水区植生覆盖在 5% 0~70% 之间,明显的人为扰动,河岸存在赤裸的荒地或植生非滨溪植生而为农作物	滨水区植生覆盖小于 50%,高度人为开发活动,严重破坏溪滨植生环境
	评分(16)	20~16	15~11	10~6	5~1
	植生族群影响程度	出现乔木	出现灌木	出现草本植物	无植生出现
	评分(17)	20~16	15~11	10~6	5~1
	丰多度影响程度	4 种以上	3~4 种	1~2 种	无
	评分(18)	20~16	15~11	10~6	5~1

表 2 匹亚溪及苏乐溪近年土砂产量估算

指 标	匹亚溪集水区			苏乐溪集水区		
	桃芝台风	艾利台风	莫拉克台风	桃芝台风	艾利台风	莫拉克台风
崩塌面积/hm <sup>2</sup>	1.8	15.0	3.3	4.1	26.5	15.4
崩塌率/%	0.2	1.8	0.3	0.5	3.3	2.5
总崩塌量/万 m <sup>3</sup>	3.8	42.1	8.2	12.0	73.9	38.6
冲蚀量/万 m <sup>3</sup>	31.6	46.1	2.6	11.3	20.5	0.9
总产砂量/万 m <sup>3</sup>	35.3	88.1	10.8	23.3	94.4	39.6

本研究于现场进行调查(图 1—2)可发现:河川横向工程是水流连续性及水域环境欠缺主要因素,现阶段上游集水区土砂淤积严重,两岸植生种类多但对河道庇护程度小,主因在于调查点位有大量土砂淤积,目前无水流环境,河川主流在大部分时间成为地底伏流,河岸植生复育良好。目前苏乐桥上下游都兴建多数阶段式防砂坝,但主流流量无法消化大量土砂淤积,目前河川环境评估分数低则为过渡阶段,苏乐溪集水区欲达集水区土砂量稳定或较良好河川物理栖地环境尚须一段时间。

因近年有大量土砂产生,集水区上游发现河道拓宽、河岸旁易崩塌、河川摆动及原崩塌扩大等现象;根

据本研究于现场调查土砂特性:土砂堆积粒径以巨砾、卵石及土砂居多,土砂堆积量大,河川主流在洪水季尚能出现在地表,但流动水深降低且流动面积缩减,但在旱季时则成为地底伏流居多,可知土砂量产生对苏乐溪集水区河川栖地环境影响大。本研究于 2008 年起进行现场调查,可发现泥沙、水流、植生及人为评估面评估分数都降低。

(3)防砂工程应随河川物理栖地复育情况而进行调整。河川集水区整治的目标应先达集水区土砂量稳定,方可进行河川栖地保育;以匹亚溪及苏乐溪此类具有大量土砂产量的河川,若在未达集水区土砂量稳定前,便以河川栖地保育为整治主轴,可能在一次

风灾过后,过往所投入的整治效果一夕全被冲毁。利用防砂工程求集水区土砂量稳定势必会让河川物理栖地复育情况降低,但此降低并非永远,陈树群等所提出之会呼吸的防砂坝体<sup>[8]</sup>概念中,强调以防砂工程应随河川物理栖地复育情况而进行调整,来为工程施工及生态保育之间找到平衡点。当集水区土砂量逐

渐达稳定时,无法改变形式的防砂工程成为河川物理栖地复育欠佳或停滞的主因,陈树群等<sup>[7]</sup>建议当发现河川物理栖地复育已达停滞时,便适时调整防砂工程形式(图 3),重新启动河川物理栖地复育,经过观察物理栖地复育达停滞与进行防砂工程调整的循环,不论初始工程选择,都可减少河川物理栖地复育停滞。

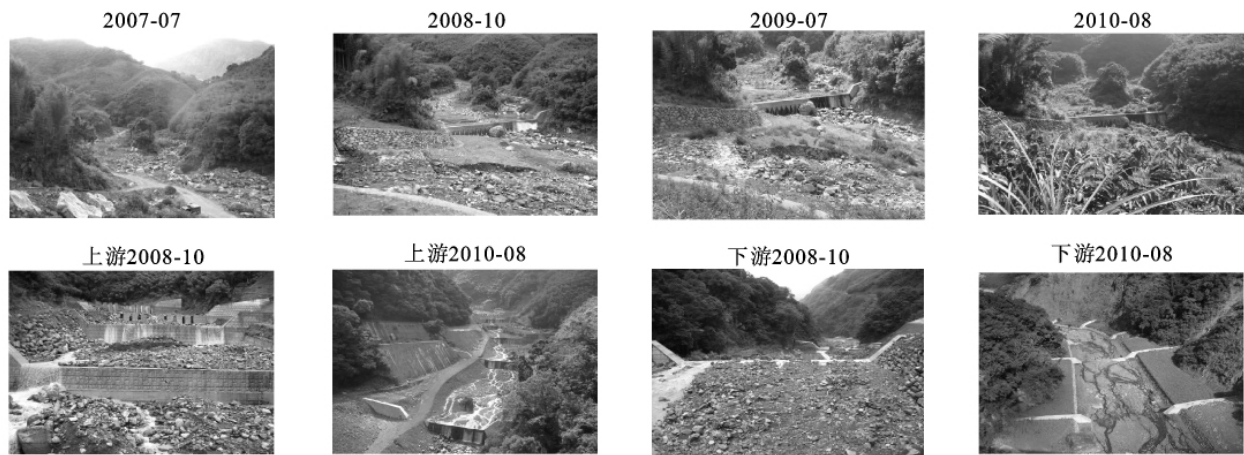


图 1 匹亚溪(上)与苏东溪(下)近年现场调查结果

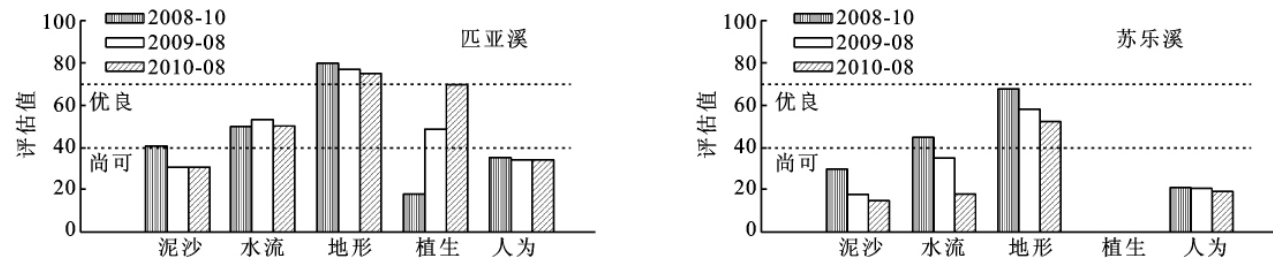


图 2 匹亚溪及苏东溪近年现场调查结果

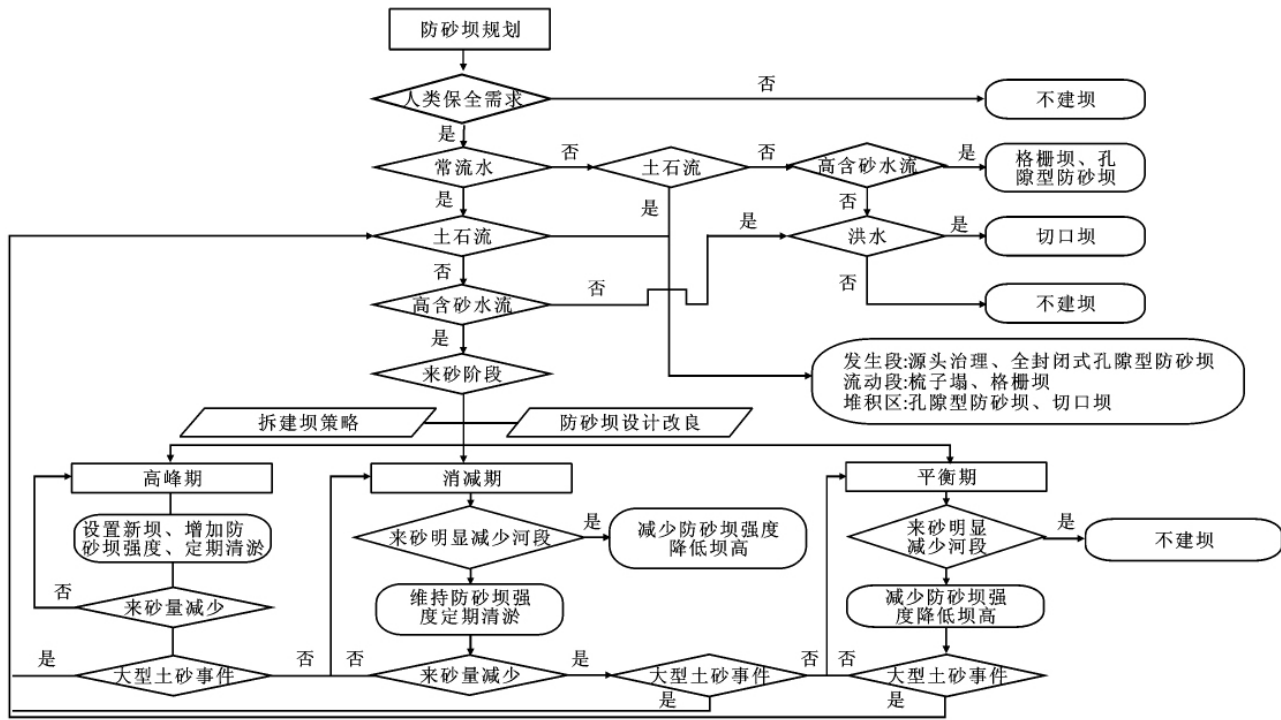


图 3 防砂工程选择评估图<sup>[8]</sup>

根据图 3,匹亚溪及苏乐溪目前评估结果都为土石流治理,因此现阶段采用防砂工程是正确的选择,待集水区土砂较为稳定后,逐渐更改为透过性坝体。防砂工程应随河川物理栖地复育情况而进行调整的观念也为过往工程施作常被诟病为环境破坏之主因问题找到解答,防砂工程对河川物理栖地问题在于河川环境一直改变,但人为工程可变动性太少,无法因应河川环境情况而进行调整,导致未来在改变的河川环境与不变的人为工程之间,丧失了栖地可继续复育的空间。因此若能依循防砂工程应随河川物理栖地复育情况而进行调整概念及防砂工程选择评估图调整工程形式,等同使防砂工程在土砂来砂量高时保护河川,在土砂来砂量小时也降低工程对栖地复育之障碍。

## 4 结 论

河川工程兴建总在初期可收治理成效,但在工程兴建后中长期反被质疑是生态或栖地复育主要问题;本研究认为人为工程能否因应河段来砂量而进行改变是河川物理栖地复育成果的关键,依据本研究提出之河川来砂量而进行调整的河川工程概念兴建河川工程,也利用长期监测并进行工程调整,一则可在初

期协助集水区达土砂稳定,二则也可在中长期利用坝体形式改变,而减少或移除生态或栖地复育的阻碍。

### 参考文献:

- [1] 吴俊铨. 降雨引發邊坡崩塌潛勢評估模式之建構[R]. 台湾中兴:国立中兴大学水土保持学研究所,2004.
- [2] 中华水土保持学会. 石门水库集水区第二阶段治理计划[R]. 台湾省石门水库管理局,2000.
- [3] 陈树群,翁恺翎,吴俊铨. 玉峰溪集水区崩塌特性与崩塌体积之探讨[J]. 中华水土保持学报,2010,41(3):217-229.
- [4] Chen S C, Chien S, Hsieh C D. Development of Soil Erosion Index Model in Taiwan Watershed[J]. International Journal of Sediment Research,2001,16(1):80-90.
- [5] 吴岳霖. 土壤冲蚀指针模式应用于石门水库集水区土砂流失量推估之研究[D]. 台湾中兴:国立中兴大学水土保持学研究所,2006.
- [6] 陈树群,赖益成. 水库集水区土砂评量与整治率评估模式[J]. 中华水土保持学报,2004,35(1):53-67.
- [7] 陈树群,彭思显. 台湾河川型态五层分类法研究[J]. 中华水土保持学报,2002,33(3):175-190.
- [8] 陈树群,吴俊铨,安轩霏,等. 石门水库集水区防砂工程对河川物理栖地复育之影响[J]. 中华水土保持学报,2011(待刊).

(上接第 245 页)

### 参考文献:

- [1] 金凤君,张晓平,王长征. 中国沿海地区土地利用问题及集约利用途径[J]. 资源科学,2004,26(5):53-60.
- [2] 刘凤莲,林爱文. 资源枯竭城市土地集约利用综合评价研究[J]. 山西大学学报,2011,34(1):163-168.
- [3] 邵晓梅,刘庆,张衍毓. 土地集约利用的研究进展及展望[J]. 地理科学进展,2006,25(2):85-95.
- [4] 赵小风,黄贤金,陈逸,等. 城市土地集约利用研究进展[J]. 自然资源学报,2010,25(11):1979-1995.
- [5] 虎陈霞,郭旭东,连纲. 村镇土地资源集约利用评价与影响因素分析:以四川省葛仙山镇为例[J]. 生态环境学报,2010,19(12):2281-2286.
- [6] 黄雅丹,朱传民,吴佳. 基于多因素指标的土地集约利用水平定量评价:以江西省南城县为例[J]. 中国农学通报,2010,26(13):359-362.
- [7] 崔娟敏. 县域土地节约集约利用评价研究:以辽宁省绥中县为例[J]. 安徽农业科学,2010,38(2):1038-1042.
- [8] 朱天明,杨桂山,苏伟忠,等. 兴化市小城镇土地集约利用综合评价研究[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(1):24-29.
- [9] 杨阳,付梅臣,赵丽. 县域土地集约利用评价:以廊坊市固安县为例[J]. 资源与产业,2010,12(2):1979-1995.
- [10] 王春霞,杨庆媛,刘胜,等. 县城土地节约集约利用研究:以四川省犍为县为例[J]. 安徽农业科学,2006,34(14):3434-3436.