

试论长江三峡河段深槽的成因*

杨达源 赖莲英

(南京大学大地海洋科学系)

提 要 长江三峡河段共有近 90 个深槽, 累计长度占河段总长的 45% 左右。它们分布在由多种原因造成的河槽束狭部位的下方、水下岩埂的下方、峡谷急流奔泄及河道拐折处, 槽底基岩岩性相对较软弱的地段。它们是在三峡地区构造抬升、流水强烈深切过程中主要由跌水掏蚀与急流冲刷所形成的, 其深度不受海面高度的限制。

关键词 长江三峡 流水深切 深槽

山地河流深槽的发育具有普遍性。深槽的成因则是地貌学基本问题之一, 它动摇着河流侵蚀基准面基本概念。深槽发育的研究, 对于发生在谷坡的自然灾害事件的成因机制的分析、航运与水利工程建设等都有重要的意义。

长江三峡河段全长近 200 公里, 自西向东横切川东—鄂西山区, 槽底有一连串深槽的分布。沈玉昌先生(1965)^[1]曾把三斗坪附近至宜昌南津关段江底的 12 个深达吴淞零点以下的槽状洼地定为“深槽”, 并认为它们基本上是由于河底岩石性质的不同、地质构造破碎带的存在和河流侵蚀特别是淘蚀的结果。我们分析了长江三峡深槽的分布与形态特点, 对深槽的发育有了进一步的认识, 现将有关资料与我们的初步认识提供阅者参考。

一、深槽的分布

在教科书中把河槽纵剖面线上的相对低洼部分定义为深槽。长江三峡河段河槽的平均水深在 35—40 米以上, 纵剖面线曲折, 起伏高差也达 40 米以上。我们试把其槽底纵剖面线上枯水期水深超过 40 米, 又比其上游槽底陡深 20 米以上且其长度超过该地河宽的低洼部分称为深槽, 若相对起伏不足 20 米者称洼槽, 若长度小于该地河宽者则称深穴, 深槽中的深穴称深坑或深潭。按这个定义, 在三峡河段共有近 90 个深槽, 累计的深槽长度占河段总长度的 45% 左右(图 1)。

(一) 白帝城—大溪河段

本河段为瞿塘峡峡谷, 长约 7.5 公里, 横切由灰岩为主夹砂岩、泥岩组成的背斜山齐岳山, 背斜核部为砂页岩。峡谷两侧为海拔 1000—1500 米的峻峭山岭, 谷壁陡直似墙高几百米, 底部有狭窄的基岩平台与岩矾, 谷底枯水期平均水深逾 66 米, 它总体上为一大型深槽。槽底起伏高差近 40 米, 纵剖面线曲折度(折线总长与水平距离之比)3.3 左右。分割槽

* 本研究曾得长江流域规划办公室下属单位的大力支持和协助, 还曾得到本单位部分师生的指教和协助, 图件由顾国琴清绘, 顺致感谢。

本文改回日期: 1992-01-07。

底的 5 个深槽平均间距约 1.3 公里,深槽剖面具上坡较陡直而下坡较平缓的特点。槽底最深点位于中央,向两端依次变浅。各深槽之间的凸出部分又为深穴与洼槽分割呈锯齿状。

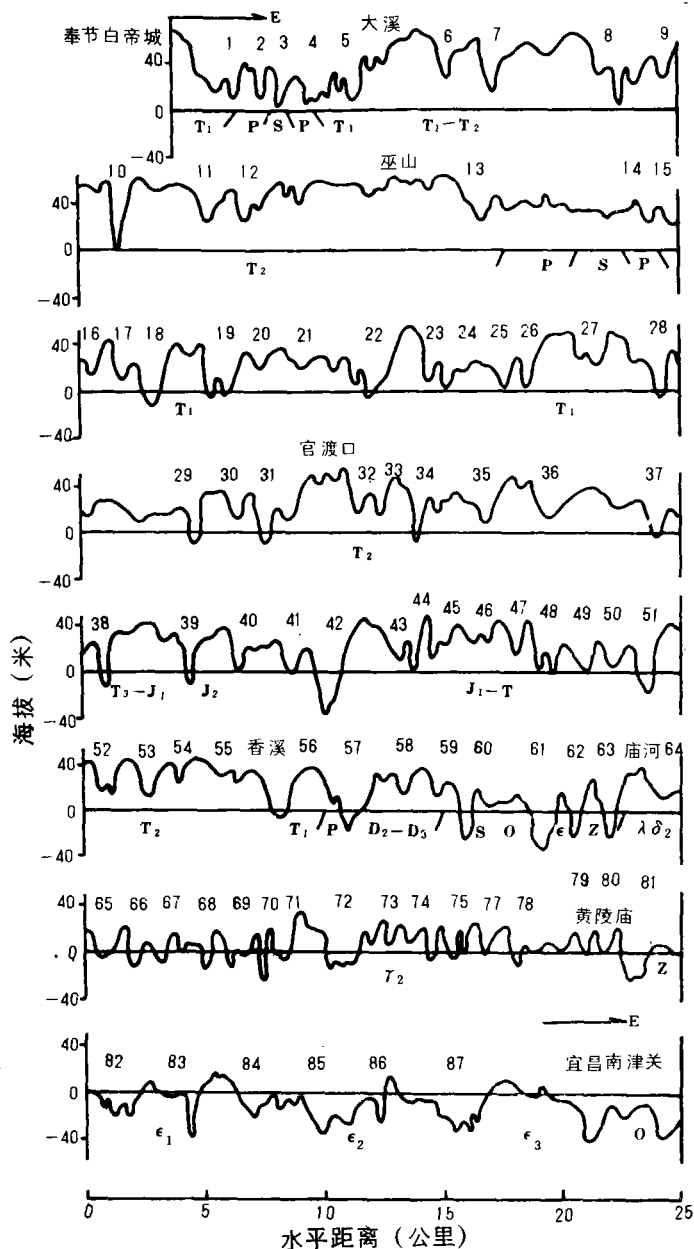


图 1 长江三峡槽底纵剖面图

Fig. 1 Longitudinal diagram of the valley bottom at the Three Gorges reaches of the Changjiang River

- J₂ 砂岩、页岩及泥岩;
- J₁ 砂岩、页岩夹煤层;
- T₃ 砂岩、页岩夹煤层;
- T₂ 砂岩、粉砂岩及泥岩;
- T₁ 灰岩、泥灰岩、白云质灰岩;
- P 灰岩夹砂页岩或硅质页岩;
- D₃ 砂岩、页岩、泥灰岩;
- D₂ 石英岩、石英砂岩;
- S 砂页岩、底部炭质页岩;
- O 白云岩、灰岩、泥灰岩夹页岩;
- ←₃ 白云质灰岩、硅质白云岩;
- ←₂ 灰岩、白云岩夹页岩;
- ←₁ 白云岩、泥灰岩和页岩;
- Z₂ 白云岩夹页岩、灰岩;
- Z₁ 石英砂岩、砂砾岩、泥岩;
- λσ₂ 石英闪长岩;
- γ₂ 花岗岩、花岗闪长岩;
- 1, 25 为深槽的顺序编号

(二)大溪—巫山河段

本河段长约 27 公里称大宁河宽谷,河谷走向与岩层走向近乎平行,两侧多砂页岩构成的次成山和次成宽谷。江槽中在支流入口处发育溪口滩。在上段约 20 公里距离内有 7 个深槽和 3 个洼槽,深槽上坡较陡直而下坡较平缓呈凸型。这些深槽多位在溪口滩的下

方。下段长约 7 公里,床底起伏小于 20 米,有较厚堆积物。

(三)巫山—官渡口河段

本河段为巫峡峡谷,长约 44.5 公里,但槽底纵剖面线水平距离则略短一点。巫峡横切巫山背斜,两侧多灰岩峭峰,切割深度逾千米,峡谷谷壁常被溪沟深切呈上端尖峭的三角面状,高几百米。河槽多转折,槽中多岩滩、岩矶和岩礁。上段长约 12 公里,除大宁河口边滩下方一个深槽外,大部分河段槽底起伏仅 10 米左右,有若干个尖凸,槽深向下游方向增大,平均坡度 2.7 米/公里以上,尾段有 5 个向下游逐级加深的深槽。下段约 32.5 公里,槽底为青石、培石、冷水碛、黄花口下、作揖沱下及官渡口等地一些显著的凸起分割出 10 多个深槽,其中有 8 个为长短不一的复合深槽,即有多个小深槽、深坑与洼槽组成的大型深槽,最深点多位在其下端。单个深槽多位在河槽转折处的下方。在直道上的深槽呈串珠状分布(图 2-I, II)。深槽形态有的上坡较陡,有的下坡较陡,在河道转折处或显著凸起之下方的深槽多为上坡较陡,在主要凸起前方的深槽多为下坡较陡。本段共有 7 处深槽槽底达海拔零米以下。

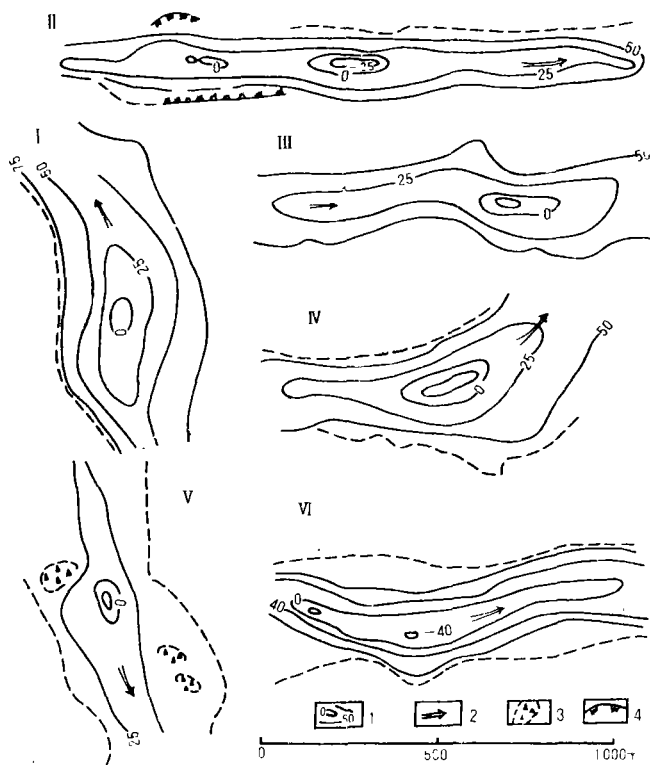


图 2 长江三峡河段中典型深槽平面形态图

Fig. 2 Plane figure of typical deep troughs at the Three Gorges reaches of the Changjiang River

I. 大溪—巫山河段上段第 7 号母猪石深槽; II. 巫山—官渡口河段中上段第 17、18 号孔明碑深槽; III. 巫山—官渡口河段中下段第 28 号黄花口深槽; IV. 官渡口—香溪河段中段第 42 号水马溪深槽; V. 庙河—黄陵庙河段中段第 70 号深槽; VI. 黄陵庙—南津关河段中段第 85 号石碑深槽。

1. 等高线; 2. 江流方向; 3. 深槽边部的岩礁; 4. 陡直谷壁

(四)官渡口—香溪河段

本河段称香溪宽谷,长约 48 公里,深切中生代构造盆地中的碎屑沉积岩系。上段约 28 公里河道大体与岩层走向相一致,南岸为不纯灰岩构成的顺向坡,北岸为砂页岩构成的逆向坡,两边多小型巨砾质溪口滩、崩滑堆积体与岩滩。槽底纵剖面呈宽凸锯齿状,相对

起伏 35 米左右,有 11 个深槽和四处洼槽,深槽的平均间距不足 3 公里,下端 4 个深槽间距比较小,槽型多数是上坡较陡而下坡较缓呈凸型坡,槽底尖窄,槽深作周期性地加深,其中第 34,38,42 号深槽的槽深也是向下游逐级加深,从-10 米加深到-40 米左右。下段约 20 公里河道与岩层走向相斜交,有多条石英砂岩岩埂斜插河槽之中。在秭归附近有著名的“九龙奔江”和一些“梁”。它们使槽底呈波状起伏,可分出 12 个深槽,其中有 6 个深槽为双生槽,平均槽距仅 1 公里左右。槽深亦参差不齐,但槽间凸起的高度比较一致,在海拔 40 米左右。本河段的 23 个深槽多位在溪口滩下方、岩埂下方、崩滑堆积体的下方等河槽由束窄始转宽的部位。

(五)香溪—南津关河段

自香溪到三峡出口端南津关长约 65 公里,统称西陵峡峡谷。本河段斜切黄陵背斜构造,自上而下香溪—庙河段长约 16 公里为横切背斜西翼的逆向谷,两侧有多列灰岩单面山,峡谷壁陡峭但时凹时凸,河道时宽时窄多拐折,两岸多岩崩、滑塌、碎石流,水势汹涌多泡漩,水下多岩礁险滩,槽底纵剖面起伏急剧,最大高差近 70 米,平均曲折度 2.63,下段约 7 公里的纵剖面线曲折度达 3.40 以上。本河段有 8 个深槽,出现在二叠系到震旦系的砂页岩夹层出露部位,其中出现在泥盆系夹层部位的深槽比较浅,出现在下古生界夹层部位的深槽深达-25 米左右。深槽的形态特点是上口较开阔达 1—2 公里左右,但槽底特别深窄。深槽的槽底连线与槽间凸起顶点的连线均呈下凹弧线状。

庙河—黄陵庙段长约 24.5 公里,河谷比较开阔。三斗坪附近洪水期江面宽 1.4 公里左右,但枯水期仍很狭窄。河道切割黄陵背斜核部前震旦系闪长岩体,两侧基岩丘岗的高度依次向河边递降,河槽中多岩岛、岩礁、岩滩和较宽的边滩。本河段有 18 个深槽、几处深穴和洼槽,上段的 8 个深槽深穴分布疏密不匀,槽形与槽深的变化也不规则,其中的第 68,69,71 号深槽均带有长 800 米左右的深水平台,海拔 0 米左右。下段的深槽与洼槽排列紧密,一般上口长约 500—800 米,但槽底尖深。其中有几个深槽槽底有厚 10—20 米的砂砾堆积^[1]。

黄陵庙—南津关段长约 24.5 公里。上段约 7.0 公里河槽深切在被下古生界沉积岩掩盖的前震旦系花岗岩中,下段约 17.5 公里河槽深切震旦系一下古生界沉积岩盖层为顺向谷。本河段长江两岸多灰岩山丘,上口为古宽谷,峡谷谷壁多悬谷和高低不一的基岩平台。河槽槽底高差达 50 米左右,由几处岩尖分隔出 7 个大型复合深槽和 1 个深穴,它们累计长度占本河段总长的 75%以上。槽深达-30—-40 米左右。大型深槽的共同特点是有几级深槽平台,有的深槽平台又被切割呈锯齿状。深槽平台的高度在海拔 0 米、-10—-15 米、-25 米左右,有的深槽槽底形态也呈平底状(图 1)。

二、深槽发育的基本特征

我们主要从以下几方面来分析长江三峡河段深槽的发育与成因。

(一)深槽分布的位置

长江三峡河段内有 4 个峡谷段(瞿塘峡,巫峡,西陵峡上段香溪—庙河段与西陵峡下

段黄陵庙—南津关段),总长约 92 公里,内有 40 个深槽,其中有 33 个深槽连同其相邻的洼槽、深穴组成 16 个大型复合深槽。深槽的累计长度占 4 段峡谷总长的 60%左右。大型复合深槽多位在峡谷中河道比较顺直的河段,单深槽多位在峡谷的河道转弯或转折部位或河道束窄部位的下方(见图 2-I,Ⅲ,Ⅳ)。

长江三峡河段内的 3 个宽谷段(大溪—巫山段,官渡口—香溪段和庙河—黄陵庙段)内有近 50 个深槽,累计长度约占三段宽谷总长的 31%。这些深槽多分布在各宽谷段的上半段即峡谷段出口以下,具体又多位在支流入口溪口滩下方、崩滑堆积体侧下方及岩埂的下方(见图 2-I,Ⅳ,Ⅴ),也即在河道束狭部位的下方。

(二)深槽的深度变化

长江三峡河段槽底高程是向下游方向逐步下降的,平均坡度为 0.27 米/公里左右。值得注意的是深槽底高程的变化比较复杂(见图 1)。瞿塘峡中心深槽槽底高程为 0 米左右;大溪—巫山段只有中下段的一个深槽达 0 米左右;巫峡中有 7 处槽底深达 -5—-18 米;官渡口—香溪段有 9 处槽底深达目前海平面高度以下,最深点 -37 米左右;西陵峡上段有 6 处低于目前海平面高度,最深点 -32 米左右;西陵峡中段有 16 处槽底在 0 米以下,最深点 -24 米左右;西陵峡下段有 80%左右的河槽槽底在 0 米以下,最深点 -40 米以下。总的来说是峡谷段槽底比宽谷段要低一些。深槽最深点的平均坡降比全河段槽底的平均坡降要小一点,它反映了长江三峡河段的上游段河流深切尤为强烈的特点。

对各河段来说,其中最深的深槽多数位在各河段的中段,仅西陵峡下段各深槽的槽底是向下游方向递降的(见图 1)。

(三)深槽的形态特征

长江三峡各深槽的纵剖面形态可分为三种类型:第一种其上坡与下坡的坡度较接近,一般为 20—50 米/公里左右;第二种其上坡明显地比下坡陡,上坡坡度达 70—150 米/公里;第三种其上坡比下坡坡度较平缓一些。第一种深槽数量比较少,一般出现在宽谷段。第二种深槽数量特别多,占深槽总数的 70%左右。第三种深槽占深槽总数的 20%左右,多数出现在一些槽底凸起的两侧,具有上、下坡坡长差别较大的特点。

深槽形态的另一特征是大部分深槽在槽坡上带有深水基岩平台,有的深槽具几级平台²⁾,而深槽的最深部位则呈尖底漏斗状,或为深坑。

(四)深槽分布与基岩岩性的关系

长江三峡河段沿程深切了前震旦系岩浆岩、变质岩及震旦系到中中生界的沉积岩(见图 1),穿越了三个背斜构造和二向斜盆地,除了大溪—巫山段和官渡口以下约 28 公里长为走向谷之外,其余为顺向谷或逆向谷,香溪以上约 20 公里长河槽与岩层走向呈斜切关系。在黄陵背斜核部前震旦系结晶岩出露区,有一些与河道相斜交的构造破碎带。另一方面从震旦系到中中生界的沉积岩系则均夹有抗蚀强度较弱的岩层,如泥岩、砂页岩、页岩和煤层等(见图 1)。而大部分深槽分布在长江三峡河段沿程与软弱岩层或构造破碎带相交切的部位。如瞿塘峡中最深的深槽出现在横交的背斜构造的核部志留系砂页岩出露的部位。秭归附近,坚硬的石英砂岩层斜插在河槽中成为岩埂或岩梁,而岩埂或岩梁的下方出露软弱页岩、粉砂岩、泥岩岩层的部位便发育深槽。在峡岩段,通常由坚硬厚层的岩层

构成岩矶、岩礁和基岩平台,而其下方软弱岩层出露部位便发育深槽。

三、深槽的成因

(一)深槽发育的基础

长江三峡河段深槽发育的基础是地区性的构造抬升和出露岩层抗蚀强度的差别。在长江三峡地区存在着二级夷平面,目前高程分别为海拔 2000—1500 米左右与 1000—800 米左右,另外在长江三峡河谷中还存在多级河流阶地^[1]。根据我们的调查,在奉节—南津关河段内有四级尚存冲积层的河流阶地,第四级阶地的相对高度在 92—101 米之间,其形成时代为中更新世中晚期^[3]。它们说明长江三峡地区在新构造运动中存在大面积整体抬升的特点。

长江三峡地区存在着燕山运动以前发育的背斜构造和向斜盆地,所以中中生代以前发育的沉积岩系和结晶岩系均已发生不同程度的倾斜变形和构造破碎。长江三峡河段横切了三个背斜构造和二向斜盆地,从而穿越了不同时代的坚硬岩层及其岩性软弱的夹层,为在软弱岩层出露部位发育深槽创造了条件。

(二)深槽发育的动力

长江三峡河段深槽发育的动力是急流的冲蚀和跌水的掏蚀。据 1877—1980 年的实测资料,长江三峡出口处的多年平均流量达每秒 14300 立方米,最大达每秒 71100 立方米。在三峡河段内水面比降也大,汛期峡谷段水面比降一般达到 5—6‰,流速可达每秒 5—7 米。当水流翻越岩埂、岩礁或奔出岩矶狭口时,常形成急湍、泡漩、剪刀水等。在香溪以下,流水冲出由三叠系、二叠系灰岩组成的兵书宝剑峡之后进入由志留系砂页岩构成的新滩段河槽,在峡口处流经门坝石枯水期水位落差达 7 米多,古有“十丈悬流万堆雪,惊天如看广陵涛”之说。正是在跌水的掏蚀作用下,在志留系构成的河床中发育了上坡与下坡均很陡的深槽(图 1 中的第 60 号深槽),目前该深槽的槽底已比其北侧第四级阶地的志留系组成的基座岩面低了 100 余米。

由于长江三峡中的深槽是在急流冲蚀与跌水冲击掏蚀作用下发育的,深槽发育可以达到的深度主要取决于续流所具有的动能能量的大小,所以它并不受远在近 2000 公里以外的海洋水面高度的限制。

参 考 文 献

- [1] 沈玉昌,1965,长江上游河谷地貌,科学出版社,第 114—154 页。
- [2] 杨达源,1988,长江三峡阶地的成因机制,地理学报,43(2),第 120—126 页。
- [3] 杨达源、陈宝冲、韩辉友,1988,长江三峡阶地的研究(Ⅰ:阶地的分布与阶地位相分析),南京大学学报(地理学),总第 9 期,第 32—43 页。

STUDY ON THE ORIGIN OF THE DEEP TROUGHS AT THE THREE GORGES REACHES OF THE CHANGJIANG RIVER

Yang Dayuan Lai Lianying

(Department of Geography, Nanjing University)

Abstract

The reaches of the Changjiang River between Baidicheng, Fengjie, Sichuan and Nanjguan, Yichang, Hubei, called the Three Gorges reaches, are about 200 km. There are approach 90 deep troughs in the reaches, of which progressive length is 45% of total one of the reaches.

Most of the deep troughs are situated behind the rock beams, rock projectings, rock beaches and rock reefs which are made up of the solid rocks, for example, the thick bedded quartz sandstone, the thick bedded limestone and the massive crystalline. Some deep troughs are situated behind the gravelly fan of the rivulet mouth and the rockfall deposits. And most of the deep troughs are characterized by what the upper slope is more steep than the lower slope.

The deep troughs in the Three Gorges reaches are developed on the basis of regional tectonic uplift and difference in antierosion intensity of rock formations, and they are formed by scouring, down-cutting and excavation of chute stream and falling water on the places outcropping weak interbeds.

Key words the Three Gorges of the Changjiang River, down-cutting, deep troughs