

基本馆藏

126742

河槽的水力几何形态 反其在地文学上的意义

L. B. 里奥普 T. 麥杜克 著

6028

水利出版社

511

732/6028

IC 7

中國科學院水工研究室譯叢第二種
河槽的水力幾何形態
及其在地文學上的意義

L. B. 里奧普 T. 麥杜克 著

錢 寧 譯

水 利 出 版 社

1957年5月

1,000 磅
0.44
0.06
0.50
2.970
2.0
1.9
135
500

天然河流的河槽形狀及水力因素，決定于來自該流域的流量及泥沙量。本書結合水力学及地貌学的研究，从定量方面討論這兩者間的关系，可供从事水文及河相学工作者的参考。

河槽的水力幾何形态及其在地文学上的意义

- 原 書 名 The Hydraulic Geometry of Stream Channels
and Some Physiographic Implications (Geological Survey Professional Paper 252)
- 原 作 者 L.B. LEOPOLD and T.MADDOCK, JR.
- 原 出 版 处 UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING
OFFICE, WASHINGTON
- 原出版年份 1953
- 譯 者 錢 寧
- 出 版 者 水利出版社(北京和平門內北新華街35号)
北京市書刊出版業營業許可証出字第080号
- 印 刷 者 水利出版社印刷厂(北京西城成方街13号)
- 發 行 者 新華書店

83千字 插图5頁 787×1092 1/32开 47/16印張
1957年5月第一版 北京第一次印刷 印数1~3,300
統一書号: 15047.48 定价: (11)0.80元

目 錄

摘 要	(1)
一、緒論	(4)
二、河槽的水力几何形态	(7)
流量頻率的概念	(7)
河流某一断面上水力特性的变化	(11)
沿下游方向水力特性的变化	(18)
河槽形状与流量頻率的关系	(27)
三、河槽水力几何形态与輸沙率的关系	(33)
某一断面的懸移質輸沙率与流量的关系	(33)
沿下游方向懸移質輸沙率与流量的关系	(38)
在一定流量下河寬、水深、流速与懸移質輸沙率的相互关系	(41)
在不同流量下河寬、水深、流速与懸移質輸沙率的相互关系	(43)
在一定流量下河寬、水深、流速与推移質輸沙率的相互关系	(52)
在个别洪水过程中河槽形状的調整	(57)
河槽形状因來沙量而調整的过程中，河槽糙率 and 坡降的作用	(66)
四、在地文学上的意义	(81)
穩定的灌溉渠道和均夷河流間的相似	(81)
泥沙及河流的縱剖面	(92)
五、結論及闡釋	(99)
参考文献	(103)
附 錄	
A. 在年平均流量下河槽形状的特性	(107)
B. 在一定流量下的平均河槽特性及平均懸移質輸沙率	(114)

摘 要

在河流的任何一个断面上，河道的某些水力特性——水深、河寬、流速及懸移質輸沙率——和流量成簡單的指數关系。只要沿河各断面所取流量的發生頻率一致，則类似的关系也存在于沿河各断面間。在一个断面上和沿河不同断面間所得的函数，所不同的只是系数和指数的数值。这些函数为：

$$w = aQ^b$$

$$d = cQ^f$$

$$v = kQ^m$$

$$L = pQ^j$$

式中 w = 河寬；

d = 平均水深；

v = 平均流速；

L = 懸移質輸沙率，以每單位時間內通过的重量計；

Q = 流量，以立方呎/秒計；

a, c, k, p, b, f, m 及 j 为常数。

即使是地文背景完全不同的河系，这些关系在圖上仍顯得有十分相像之处。这样的关系我們称之为河槽的“水力几何形态”。

根据实測資料，我們發現在沿河各点上，如果所取流量發生的頻率是一样的話，亦即等于或超过所取流量的時間百

分比是一样的話，那末，从上游到下游，流速、河寬及水深都随流量而增加。流速所以愈往下游愈大，是因为水深的增加，已經抵消并超过了坡降减低的影响。虽然愈到下游組成河床的泥沙的粒徑愈細，但大部分河流上都有这种趋势。这一点指出在某一河段上的平均流速，并不僅是所輸送泥沙的粒徑的函数，而是好几个因素間錯綜复雜的相互作用所造成的結果。

在一些不同的河流断面上都曾進行过懸移質輸沙測量。在解釋天然河流的一些特性时，懸移質輸沙可以作为輸沙总量的一个指标。

从天然河道的实测資料里，我們找到了一个河寬、水深、流速、流量及懸移質輸沙率間的經驗关系。这个关系說明水深、河寬及流速都是河道所挟帶的泥沙量的函数。

举一个簡單的例子，如果流量是常数，則經驗关系如次：在一定流量下，如果流速不变而河寬增加，則懸移質輸沙率將减少；相反地，如果流量及流速不变而河寬增加，則推移質輸沙率將增加。

像其他許多人一样，本文作者認為流量和泥沙來量均因流域性質而定，基本上与河道本身無關。我們曾用具体的数字指出懸移質輸沙率和流量間的典型关系。明确地說，在河流某一断面上，單位流量所能挟帶的懸移質輸沙率是因流量的增加而迅速加大。但是，从上游到下游，每一單位容積水里所含的懸移質数量却略有减少。

这些特性对于河道断面的形态，以及从上游到下游断面形态的漸次改变，都有决定性的作用。根据河道水力特性与懸移質輸沙率間的經驗关系，使我們对于河道的形态半定量地有了一个合理的解釋。

在本文中列举了不同河系的河槽水力几何形态。我們發現用在河道和不冲不淤的穩定渠道上的公式有十分相似之处：說明一般的河系都有一种趋势，要在河槽及其所必須輸移的泥沙及水量之間，建立起近似的平衡。即使在最上游的非均夷的支流上，以及某一断面，当水流尚未溢出主槽时的各个流量下，也都存在着这样一个近似的平衡。

一、緒 論

地貌学是地質学中專門研究各种地形和它們的形成及歷史的一門科学。过去对于这一門科学的处理几乎完全偏重在定性方面。台維斯为了教学上的原因，曾創造了一些術語，提供了一些直喻，虽然講解生动，便于記憶，可是究竟只是以一些錯綜复雜而一般性的推論作为根据，并無实测資料的基礎。从定性方面來研究地貌学固然有一定的貢獻，但从定量方面來分析其中一些概念也是需要的。

过去七十年內在全美各河流測量的結果，目前具有大量河流資料。工程師們在測定流量的过程中，同时測量了平均流速、河寬、断面面積及形狀。此外，最近十年內并有系統地开始搜集了懸沙的資料，虽然从事于这一方面工作的測站还不多。

本文中分析了上述一部分資料，在分析的过程中，随时都考慮到在地貌学上的应用。这些現有的实测結果，不一定是分析河道演变过程所需的最好的資料。对于这样的分析來說，所測的变值或者也不是最有意义的。縱然如此，目前所有的資料还是可以對地貌学者提供若干一般性的关系。

这篇报告的結構如下：

最先我們在若干河流断面上，对河槽形态的特性加以檢驗研究。在某一断面上，河槽的寬深以及流速都因通过断面的流量而异。我們發現由于流量改变而引起的寬深及流速的

变化，自具一定的特性，这些特性可以在許多天然河流断面上应用。本文的第一部分就是要指出这些相似之处。

其次，我們向下游沿着全河檢查这些特性如何改变。坡降及糙率的变化虽然对观察結果有相当作用，不过我們暂时还不深研，而留待以后再作討論。

資料的來源是各河流水文測站所進行的河流流量測量。当然从事这样的測量时并不是为了研究河相学，因此就作者們的目的來說，这些資料是不完全的。特別是坡降和河床糙率部分更是殘缺不全。不过，即便从不完整的資料中，还是可以推求出一些有用的概念。

在第二部分里，我們將討論河槽的特性（包括坡降和糙率在內）与懸移質輸沙間的关系。在一开始我們就認識到未經測定的推移質的重要性，以及缺乏这一部分資料，对于最后的結論所加的限制。但是，只用懸移質的資料，还是可以得到若干極饒兴趣的关系。这些关系提供了一幅圖画，說明与河槽形狀有关的水力特性及部分輸沙間的相互作用，因此仍不失为研究河流演变过程的有用工具。

河槽的特性与懸移質輸沙率間的关系，涉及河槽形狀及輸沙間的相互適應过程問題。要了解均夷河流，必須首先知道河流的輸沙能力和上游來沙量之間是如何配合適應的，因此只要我們对后者的認識推進一步，就有利于对前者的理解。

河流之如何適應于上游泥沙來量，可以从兩個不同的水平去研究。比較細致的方法是直接研究泥沙的輸移力学，它是屬於流体动力学范疇以內。另外一个更具一般性的方法是通过河道水力学去研究，而并不考慮流体动力学上的細節。在本文中我們采用的是第二种方法，这是因为一則通过这

样的方法，可以更好地理解水力学与地貌学間的关系，二則这也正是本文作者的專長所在。

在本文的最后部分，是企圖初步探求如何把这些水力变值間的关系应用到地貌学的问题上。

在这里要特別強調的，就是这样的一个研究，只是一个初步的尝试。从水文測量以及泥沙測量所得的資料，顯然不足以完全包括和地貌学特別有关的因子。除此以外，目前的分析，主要是指出測量所得各变值間关系的一般趋势，我們还需要更多的工作，才能明了何以有时候会和这些趋势發生偏离。最后，目前所有的懸移質輸沙資料主要來自西部的河流。在潤湿地区的河流的資料就非常缺乏[●]。本文作者充分認識到这一系列的限制，而且在行文中，將不斷向讀者們指出資料的局限性，我們所要強調指出的是一般的趋势，而不是無數个別的变化。

对于这些个別的变化解釋，以及如何改進基本的概念，都尚需要更多的工作。

● “譯者注” 在本文發表以後，華爾門 (M. G. Wolman) 分析美國东部勃蘭第華恩河系的測量資料，証實本文中所得結論的一般性。見 M. G. Wolman 著“賓塞凡尼亞州勃蘭第華恩溪的天然河槽”美國地質測量局技術報告第 271 号，1955 年出版。

二、河槽的水力几何形态

流量频率的概念

在沒有說明河道断面上的河槽特性，以及这些特性如何沿河有所改变以前，我們需要先从定义上來分別討論一下流量的频率，以及累積频率曲綫、或者流量持久曲綫。对于水文学家來說，这些概念已經成了日用的工具，可是为了使地质学家也能了解以后的論点，我們需要对频率关系作一極簡單的介紹。

关于河流測量的程序，在文献中已有詳盡的說明^(5,30)。

日平均流量是一天内所有流量的平均值，單位以秒立方呎計。美國地質測量局在其每年發行的“給水报告”中，对于許多河流上各測站逐日的平均流量都有紀錄。

在某一測站上，日平均流量的频率是根据該流量在一定紀錄时期內發生的次数决定的。在水文学上，習慣于把發生的次数表示成为累積频率曲綫或流量持久曲綫，如圖1所示⁽³⁰⁾。要繪制这样的曲綫，首先我們把流量任意分成若干級別。根据資料，我們可以算出属于每一个流量級內的日平均流量的天数。然后我們从最大的流量級起，逐次地把属于每一級的天数加起來，由此所得的不同总和，再除以紀錄的总天数。这样所得到的比例，就代表在該測站上等于或超过某一流量的時間百分数。

現在我們可以把这些時間百分数和它們的流量画成流量

持久曲綫，圖 1 便是一个例子。在圖上，等于或超过 1,000 秒立方呎的流量占全部時間的百分之八。这意思就是說，在長时期內，百分之八的日子里，或者 100 天中平均有八天，流量等于或超过 1,000 秒立方呎。

日平均流量的累積頻率或者持久度，是以等于或超过这一流量的時間百分数來表示。对于不同的河流來說，相当于同一累積頻率的流量也各有不同。例如在大干河上的一点和在小支流上的一点，都可能有一同累積頻率——或者，按習用的名辭，頻率——的流量；不过在支流上，这个流量只是几个秒立方呎，而在干流上可能会达到几千秒立方呎。

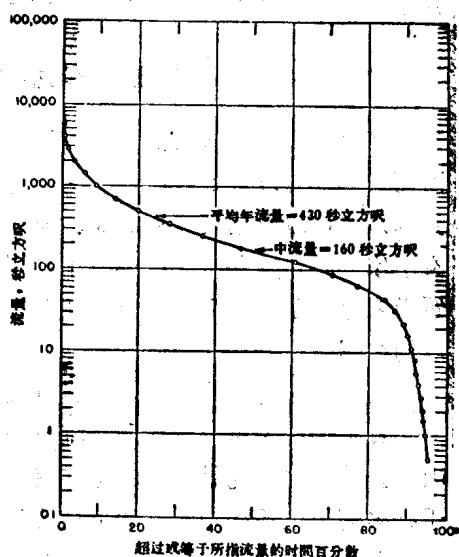


圖 1. 1917—50 年華俄明州波特河在阿尔伐达的流量累積頻率曲綫或流量持久曲綫

中值流量相当于百分之五十的時間內流量等于或超过此值；那就是說，一半日子裡的流量大于中值流量，另一半則小于中值流量。在阿尔伐达，中值流量約等于 160 秒立方呎。阿尔伐达的年平均流量或逐日流量的算術平均則为 430 秒立方呎，差不多等于中值流量的三倍。年平均流量一般都大于

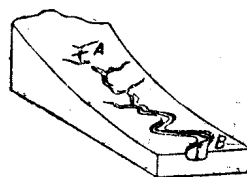
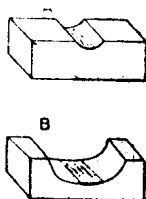
中值流量，在一條河流的大部分斷面上，等於或超過平均流量的時間常不及一半。

作為一個很粗略的原則，我們可以說，在許多大河的各點上，等於或超過年平均流量的時間百分數差不多是一樣的。

在美國許多河流測站上的年平均流量，可以直接從美國地質測量局的“給水報告”中查到。例如波特河在華俄明州阿爾伐達城 1916—47 年間的平均流量及測站情形的詳細說明，可以在“給水報告”第 1086 號（1950 年）237 頁上查到。

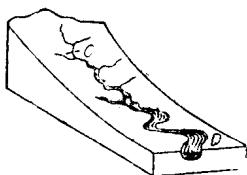
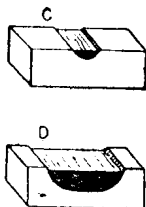
為了把定義弄清楚，我們現在說明一下，在同一斷面上，或者沿河不同斷面間，流量的變化的概念。在圖 2 中，斷面 A 及 B 代表在低水流量時沿河的兩點；C 及 D 為同樣的斷

低水流量
（例如百分之九十的時間等於或超過于此的流量）



低水流量，各點流量頻率相等（各點通過流量均為低水流量）

洪水流量，不常有的情形
（例如百分之一的時間等於或超過于此的流量）



洪水流量，各點流量頻率相等（各點通過流量均為洪水流量）

圖2. 在某一河流斷面上，及沿河朝下游各點間不同流量的比較

面在高水流量时的情形。在圖的右边，我們分低水流量及高水流量兩種不同的情形，把断面在全河上的位置画出來，这样可以看出每一个断面所控制的流域面積。虽然在最高流量时水流可能越出主槽，可是在本文中我們只考慮水流在未溢出主槽时的情形。

这几張圖說明这样的概念，即在同一断面上，河寬和水深是因流量的增加而增加。根据断面的位置和河流的情形，流量过程綫自具一定的形式。在同一断面上，不同流量的發生頻率也不同。頻率則是流域及其水文、物理特性的一个函数。

在圖 2 右上角所示的低水流量的情形下，我們可以想像，那时沿河各点的流量都是相当于該点的低水流量；或者說，如果各点的流量都是比較小时，在某一点的流量的頻率差不多就等于任何其他一点的流量的頻率。当然，如果我們不考慮頻率而只考慮流量本身的話，那末，在河口的地方，因为流域面積大，流量自然要比上游各点大得多。对于圖 2 右下角的高水流量的情形，我們也可以作同样的推想。

所以用这两張流域圖，是要強調下面兩点：第一，在同一断面上，不同的流量具有不同的頻率；第二，沿河各点不同的断面上，流量通常也各有不同。在本文中，凡是对沿河各断面作比較时，我們都假定当时通过各断面的流量具有同一的頻率。

在本文中，“在某一測站”是指在某一断面，“沿下游方向”則指沿河的各断面。“沿下游流量的改变”是指在沿河各断面上，具有同一頻率的不同的流量。

以后將會指出，在某一測站，或者沿下游方向的流量的不同，是和河寬、水深及流速的不同有一定的关系。

河流某一断面上水力特性的变化

在河流某一断面上，随着流量的增加，流速、水深与河宽也将发生变化。因为河流断面一般都趋向于半椭圆形、梯形或三角形，因此流量的增加也将引起上列三因素的增大。在下面我们将指出各种河流不同断面处，河宽、水深、流速与流量间的典型关系。这些关系一般都是简单的指数关系。

在圖 3 A 中，我們分別画出若干变值与水位的关系。水位是水面高出某一基准面的高程，也就是水文站上水位仪所纪录下来的数值。流量、河宽及平均流速是以水位为纵坐标而繪成。在圖 3 B 中，我們又用对数尺度画出河宽、水深和流速与流量的关系，可以和圖 3 A 作一比較。

在測站上，当用流速仪测定流速來計算流量时，同时还記錄了水面寬度以及断面上不同位置的水深和流速。圖 3 以及文中其他类似的圖，都是根据流速仪測量紀錄画出來的。

水位和流量的关系，在工程上的習慣用語，又称为測站的率定曲綫。在高水位时，水位每上升一單位所引起的流量的增加，远比低水位时为巨，一切河流断面的情形都是如此。因此，像圖 3 A 中那样的率定曲綫是十分典型的。

圖 3 中的河宽是在不同水位时的水面寬度。

測站上一般都是沿着离河岸不同距离的垂綫上，進行水深和流速的測量。根据这一些水深，以及各垂綫的間距，可以算出过水面積。

在本文中，水深代表某一流量的平均水深，它等于过水面積除以水面寬度。由此所得到的平均水深，相当于一个矩形断面的深度，矩形断面的水面寬度和面積，則等于在該

水位下天然河槽中的数值。

文中所用的流速是等于流量除以过水面积，也就是水力学中常用的断面平均流速⁽³⁰⁾。平均流速对于泥沙的输移而言，并不是一个最具意义的参变数，但它是唯一有大量纪录的有关速度的数值。虽然作者认识到平均流速在应用上的局限性，可是在缺乏合适的资料，足以从中找出一个更具意义的参变数以前，我们在这里还是用平均流速。

图 3 A 指出如果将河宽和流速画成与水位的关系，点子分散得相当广，而且画出来的曲线也很难用数学公式表示。如果将河宽、水深和流速在对数纸上画成与流量的关系，所得结果就近于一条直线（见图 3），可以很简单地用数学公式表示。

在分析大量测站纪录，画出同样的曲线以后，所得结果都和图 3 B 差不多。在对数纸上，这些资料全成直线关系，尽管直线的斜率和轴交点的位置彼此间略有不同。

图 4 中画出另一些像这种曲线的例子，指出在相当大的流量范围内，用这样的作图法，在对数纸上差不多都得到直线。自然，这些图上点子的分散是相当广的。一部分的分散显然是由于河床的暂时刷深和淤积。在低水流量，不用桥梁或缆绳，而是涉水进行测量时，由于连续的测量可能并不恰恰在同一断面上，也会引起一部分点子的分散。就当前的目的说，我们所关心的，只在代表平均关系的直线的一般位置。至于点子为什么分散，以及其重要性究竟有多大，则犹待以后继续研究。

在本文中，如果测站只有短期的纪录，我们就把全部流速仪测得的流量纪录都画出来。如果测站的纪录为期较久，就从资料中任意选出一些来作图，图 3 和 4 便是这样一种情

形的典型。我們取用了足够的点子，來画出該測站全部流量範圍內的曲綫。

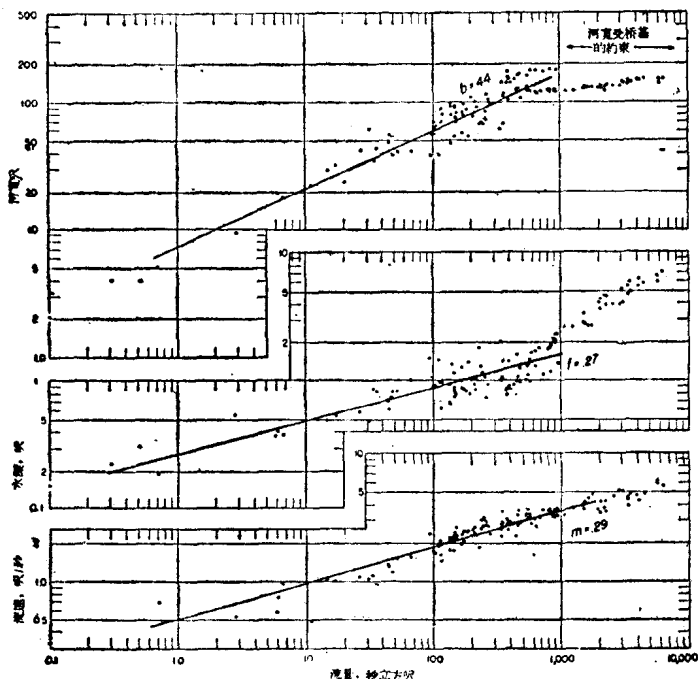


圖4A.華俄明州波特河在阿尔伐达的河寬、水深、流速与流量間的关系

測站位置一般都选在流量与水位的关系比較穩定的河流断面上。更明确地說，选定的測站上的水位—流量关系最好是一根光滑曲綫。由于这个原因，測站或是位于一个“控制断面”的上游，或是位于“河槽控制”段上。所謂“控制断面”是指基岩暴露，或者有明石灘的断面，該处流速接近于水力学上的臨界流速。“河槽控制”段則指比較順直均匀、