

設計橋渡時河床 演變過程的估算問題

О·В·安德列耶夫 合著
И·А·雅羅斯拉烏彩夫
鐵道部鐵道研究所 譯

人民鐵道出版社

設計橋渡時河床 演變過程的估算問題

О·В·安德列耶夫 合著

И·А·雅羅斯拉烏彩夫

鐵道部鐵道研究所 譯

人民鐵道出版社

一九五五年·北京

爲了達到合理的橋渡設計，必須先能正確地預測在變遷型的河流下的河床變形。本書是蘇聯鐵路建築與設計科學研究院研究了這項工作之後所發出一個通報，供給了某些預測橋渡處河床變形的的方法和某些關於河床演變過程的一般資料，可作爲橋渡設計者和養護者參考之用。

本書是鐵道部鐵道研究所水工研究組徐在庸余雲傑合譯並經華東水利學院張書農教授校閱。

目 錄

- | | |
|------------------------|----|
| 1. 概 說..... | 2 |
| 2. 修築橋渡前河床演變過程的研究..... | 9 |
| 3. 有橋渡處河床演變過程的研究..... | 25 |

設計橋渡時河床 演變過程的估算問題

ВОПРОСЫ УЧЕТА РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

О. В. АНДРЕЕВ
蘇聯 И. А. ЯРОСЛАВЦЕВ 合著

蘇聯國家鐵路運輸出版社（一九五三年莫斯科俄文版）

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ

Москва 1953

鐵道部鐵道研究所 譯

責任編輯 陳思誠

人民鐵道出版社出版（北京市霞公府十七號）

北京市書刊出版營業許可證出字第零壹零號

新 華 書 店 發 行

人民鐵道出版社印刷廠印（北京市建國門外七聖廟）

一九五五年八月初版第一次印刷平裝印 1—1,310 册

書號：359 開本：850×1168 $\frac{1}{2}$ 印張1 $\frac{1}{4}$ 31千字 定價(8)0.25元

前 言

要進行合理的橋渡設計，特別是在變遷型的河流上，只有對於威脅橋渡建築物穩定性的河床變形有了正確的預測時，才能作到。要想最有效地和適當地利用臨時防護建築物以保護橋渡，也只有根據事先的，雖然是短期的對於河床變形有了預測，才能達到。因此，改進在橋渡束狹河流區段上對於河床演變過程的預測工作，並由此得出一種可用作工程計算的預測方法，是一件刻不容緩的任務。

因為計算河床變形的現行方法不能認為是完善，更不是詳盡無遺，故全蘇鐵路建築與設計科學研究院開始進行一系列的工作，來建立一個全面的、一般的預測有橋渡處河床變形的辦法。根據這個方法，將來可能確定在建橋地點調整河流的現代理論。在本通報中，目前只敘述這項工作的初步結果。

通報目的在於使設計者注意某些預測橋渡河床變形的辦法，以及注意某些關於河床演變過程的一般資料，這些資料都是設計和養護橋渡所必須的。

因此，為了在各種不同情形下預測河床變形，就必須備有關於河床演變過程之天然資料的各種特殊方法。全蘇鐵路建築和設計科學研究院將盡可能地貢獻預測河床變形方面的意見。

對本通報的一切問題和意見，請寄下列地址：莫斯科，亞羅斯拉夫鐵路，羅興諾奧斯特諾夫斯基站，交通部全蘇鐵路建築與設計科學研究院，通報出版部

院 長

T. 沃努美麗耶夫

鐵路勘測設計處長

A. 窩 洛 金

1. 概 說

在鐵路和公路實際運營過程中所發生的橋渡損傷和破壞，在大多數情形下都是由於不利的河床變形（橋墩、橋台、調整建築物 and 路基的冲刷）。這種變形是由於天然河床改造的結果，也是由於水流受到橋渡建築物的影響而改變其運動方法的結果（橋梁引道、橋墩等束狹水流的作用）。

為了保證建築物在其使用時期內有必要的穩定性，在橋渡設計時就應考慮到可能發生的河床變形。這一點，對於通過變遷型河流的橋渡特別重要；在這種河床上天然河床變形的進行特別迅速，常常導致建築物的損毀。

現在有很多的計算有橋渡處河床變形的具體方法〔參考文獻 1〕。設計橋渡時，一般地計算下列各項：

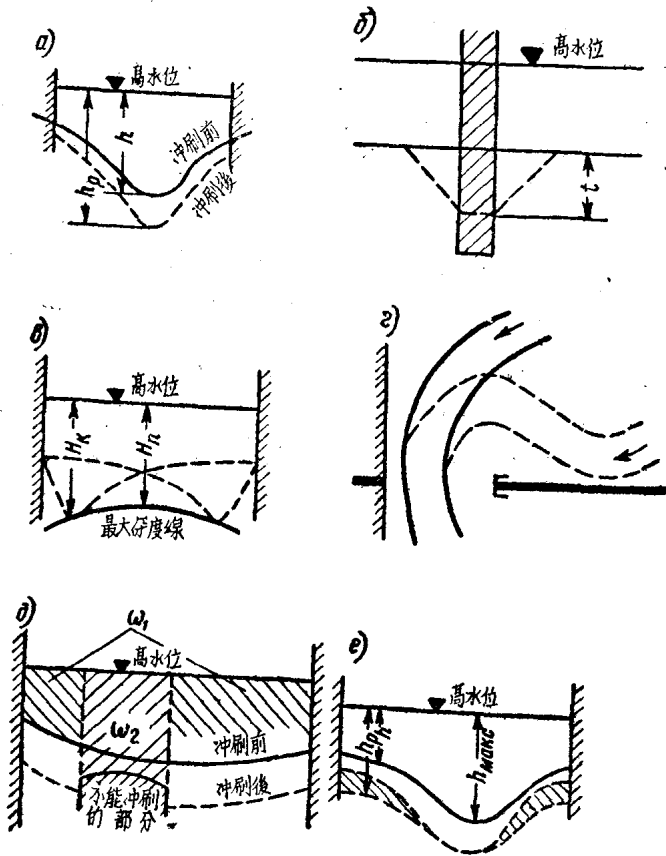
甲) 橋下橫断面的一般冲刷，這是由於橋下水流的設計流速大於主要河床的平常流速而發生的（第1圖a）；

乙) 橋墩旁邊的局部冲刷，這是由於水流環繞橋墩時，沿着橋墩旁邊向下的水流所引起的（第1圖b）；

丙) 橋下河床的橫向移動，這是由於河灣處的河底在縱方向上天然地移動而發生的（第1圖，B）；

丁) 橋下河床個別部分的過度加深，這是由於在橋下具有較大深度的河灣的移動、河灣曲率增加（第1圖r），或由於橋下橫断面中存在着某些不能被冲刷的部分（第1圖d），或由於調整建築物的工作不適當或沒有設置調整建築物所致（第1圖e）。

但是，河床變形的計算還不够完善。例如，在大多數情形下一般冲刷是當作與水深成正比來計算的；只有某些經驗豐富的設



第 1 圖 有橋渡處河床變形的種類

計者，按照各橋跨間的相當的過水模量來分配流量，並且依據水流深度和地質層次的不同來確定的河床達到平衡的流速，這樣才使這個現行計算方法改進一些。墩台附近、在許多情形下可能達到大量的局部冲刷，但也只按照極為近似的公式來計算。

各種河床變形的出現期限現在仍未能確定，如果能把它確定，就可以按照時間來修築必要的調整建築物 確定有橋渡處河床變形的速度的試驗〔參考文獻 2〕，目前除了平均統計特性之

外，還得不到什麼別的，故在各個具體情形下，河床演變的過程仍舊無法確定。水流束狹和河灣變形時橋下河床發生形態上的特性變化，現在並不予以考慮，雖然這些變化是一定會發生的，而且對於不同類型的河流在原則上是不同的。

有橋渡處河床變形的計算之所以不够完善的主要原因，特別是通過不穩定河床的河流的橋渡，就在於我們對於河床演變過程的知識不完備，特別是在人工改變河性的條件下。因此，擬訂一種計算橋下河床變形的方法是一件重要的科學任務，這種方法必須以河床演變過程的全面研究為根據，並且考慮各類河流的具體特點。

橋渡建築物是在河床不斷地變形的複雜條件下擔任工作的。

隨時間而變的河床演變過程，簡稱「河床過程」，其強度和特性和許多因素有關，這些因素的相互作用就決定河床過程的實質。

一切天然水流，當沿着可以冲刷的河床流動時，就推動了組成河底和河岸的土壤顆粒。在這裏，一方面為液體相，另一方面為覆蓋在河床上並為水流所推移的固體相，兩者互相作用着，這是未被束狹的河流中河床演變過程的主要內在實質〔參考文獻3〕。

水流的特性和在可以冲刷的土壤上水流運動過程中所形成的河床，當橋渡建築物將水流束狹時，就會發生巨大的變化。這樣，在橋渡區域內的河床過程，就成為水、土壤和橋渡工程建築物三者之間的活動的相互作用過程。

從一方面說，這個過程是連續的（水流，河床和大多數情形下的橋墩，三者之間的互相作用着）；從另一方面說，這個過程是間斷的，因為橋梁引道、導流和其他的高水調整建築物，通常只在很大的春汛和洪水時才能與水流發生相互作用，而這種情況在河流上有時可能隔很多年都不會遇到。

工程建築物對水流的作用，影響到水流的方向，水流的結構，也影響到水流所搬運的泥砂。工程建築物也受到水流方面的

反作用，這種反作用可能引起建築物的冲刷，破壞其基底並損傷建築物的本身。

爲了能够正確地設計橋渡的每一部份起見，應該預先知道水流對建築物之影響的可能形式和範圍。

在每一個具體的橋渡條件下，河床過程還會爲若干次要原因所複雜化，這些次要原因可以舉出這一些，例如，空氣介質的影響（形成風浪及其對建築物的損壞），植物的影響（植物的存在會延緩冲刷），河流的局部地質特性等等。

現在設計橋渡時所採用的計算方法，其中主要部份是決定河流的平均水力特性，這樣計算實際上不是反映三個因素，而只是反映兩個因素，即水流和工程建築物之間的相互作用。現行的方法並不把綜合的第三個因素——被水所冲刷和搬運的泥砂列爲主要因素，而這項因素也並未影響這些計算。固體相變形的決定僅取橋渡建築物束狹河流而使天然的水力特性產生變化的結果，但這些水力參數因水流中之固體相的改組（由於橋渡將水流壓縮）所起的變化則未計算在內。

所以，現行的計算方法是把固體相在水流的主動影響以及因它而引起的水流改組的主動影響，都是除去不計的。這樣的概念，在若干情形中，特別是對於河床過程進度迅速的河流，會引起對河床中發生的現象作成不正確的理解。例如，設計橋渡時，橋下截面的河床冲刷被看成是「主動」運動的水對「被動」被冲刷的土壤的作用的單方面的過程。同時，對於促使河流對橋下土壤所形成的不均勻的冲刷，並且沿河寬不斷地重新分配流量的直接原因仍未查明，這是因爲水流與河床的相互作用仍未計算的原故。水流對河床的不均勻冲刷，主要爲那些移動的並隨時變化本身形狀的固體相結構狀沉積堆對於水流的壓縮所決定，這個相互作用的具體表現，也就在於此。

在橋渡工作的多年期間內，經常變化着的河床狀況，有時會比只用圖解計算河床過程的現行方法所預估出來的狀況要危險得

多。如有未預計到的河床變形的狀況出現，就使橋渡的個別建築物處於毀壞的威脅之下。建築物已發生了損壞，而用與水鬥爭的方法來調整和維持橋渡使處於正常狀態，則需要極大的耗費，所以必須重新審查橋渡設計和計算方法，以使在計算中能計入每個具體河流所特有的河床過程的實際進程。

計算橋渡時，尤其是在河床過程表現顯明和進行強烈的河流上，是必須這樣計算河床過程的。但在平原河流上，水流速度較低，通常並不為泥沙創造強烈運動的條件，因此，天然河床過程的基本環節——水流與水流所帶動之土壤的相互作用——並不能盡量發展；在這樣的河流上，橋渡區段的水流結構主要是被建築物對水流的作用所決定，很少因固體相的作用而破壞或變化。對於這種河流，不至有很大的錯誤，就可以採用現行的計算橋渡的方法。

設計橋渡所採用的現行計算方法，早在上一世紀七十年代就產生了。那時所修築的鐵路和橋渡，主要都在俄國的中央地帶，那裏的河流是以緩慢的河床過程為其特徵的。在這種條件下，計算結果與實際情況的互相符合，可在實際經營中證實，因為在平原河流上的橋渡，通常不僅可以毫無困難地通過計算流量，就是超過計算流量也常常可以毫無困難地通過。

但在河床過程進展劇烈的河流上，可以觀察到另一幅圖畫。在這種河流上，設計時如沒有考慮到水流與河床的相互作用（在這種情形下是主要因素），以及這項主要因素是決定水流對建築物的作用，其中首先是固體相的不連續沉積堆的移動對水流結構的作用，這就會引起巨大的錯誤。這裏，可以很清楚地觀察到計算結果一定與橋下斷面發生的河床現象的實質不相符合。它常常是這樣：曾經計算能夠安全地通過最大洪水的橋渡，竟在較低的洪水中遭到損壞，這是由於計算時對於河床過程的估計不足（不是對於洪水高度的估計不足），所以就構成了橋渡工作的最不利條件。

鐵路網中與水鬥爭的資財耗費的不均勻分佈，以及橋渡個別建築物損壞情形的不均勻分佈，多半是與這類河流處於同一區域，這就證實了在河床過程進展劇烈的河流上，必須計入河床過程。

設計橋渡時計算河床過程的全部要求，實際上就是要在計算中把橋渡上將要發生的河床變化反映進去。只有事先知道在橋渡工作時間內河床可能發生的一切變形，才能够確切的規定每個建築物的尺寸和結構，並在沒有多餘安全因數的條件下保證其穩定性。爲了解決這項不僅是技術的，而且也是經濟的問題，首先必須在認識河床過程基本規律的基礎上，擬訂一種預測河床變形的方方法，使在河床過程進行中的任何不利條件下都能够足夠準確地決定河床變形。這裏的重要性並不亞於預測河床過程問題中擬訂新的和確定現在所用的調整河床過程的方法，即是說，一些影響水流的方法，其目的是使河床過程儘可能地有利於橋渡工程建築物之工作條件。

這兩項任務，都是只有在詳細分析河床過程的基礎上，才能順利解決。

長時間觀測天然資料是研究河床變形過程的基礎，無論建橋之前或是建橋之後，均是如此。

河床形狀的更換和河床平面位置的顯著變化是在極長的時間中，即在若干年中進行的；河床過程通常是緩慢的發展；這樣就使得按照天然資料來研究河床過程問題複雜起來。但是，甚至對照已有的測繪圖，例如河床的平面測繪圖，也不是永遠地都能够完全表示出河床變化過程本身的物理實質。若只根據個別測繪圖的資料進行分析來研究河床過程，其困難還在於常常很難把次要因素分開，而這些次要因素在測繪圖之間的不同時期內可能使河床過程的進展複雜起來。這一切，就促使每當必須根據天然資料作出河床過程的特性和規律的結論時，要極端謹慎地處理天然資料。

為了使天然資料的分析變得容易和較迅速的表示出河床過程的基本規律起見，用實驗室的試驗工作來輔助這個天然過程的研究，是有好處的。當模型的河床過程在性質上與自然界相似，而其區別僅在於沒有次要因素致使河床過程發展複雜化時，在這樣的條件下，相似的試驗就可以表示出若干天然河床過程的特性。河床過程的一般特性的試驗資料，使得有可能地進行較為有方向的天然觀測，按照這種天然觀測資料就可以把模型中所發現的河床過程基本趨勢加以確定，並且可以規定每條具體河流所特有的次要因素對於基本過程的影響。

這樣，河床過程的實驗室試驗研究，對於天然資料較少時特別重要，它對於天然資料是一項很好的補充。當河性受到人為變化時，其中如修築束狹水流的橋渡建築物時，也可以利用它作為預測河床變形的方方法之一。

為了預測河床的移動和變形，實驗室的試驗研究不能在剛性模型（固定河床）上進行，因為在剛性模型（固定河床）上只能得出在河床固定不變的作用之下的水流之水力參數的分配圖。在試驗之前用人工方法造成可以被冲刷的河床模型中進行研究，也不完全適合，因為模型中只有遭受束狹的水流處，才發生泥沙的運動；這樣的模型試驗方法只適宜於研究一種河床變形，即工程建築物與河床變形相互作用時所發生的局部變形。為了同時預測天然河床的變遷、橋渡工程建築物作用下的河床變形和建築物附近之河床局部變形起見，必須應用天然模型試驗（也叫作自由模型試驗），即是說，在實驗室內造成一條具有活動河床的小型河流，具有洪水時期和平水時期，其河床過程在主要特點上反映了原型之河流的河床過程。

蘇聯某些水工實驗室曾採用過這種模型試驗法的要素。天然模型試驗的一般理論和方法，尚在擬製階段，將模型特性換算至自然界特性的良好比例關係，目前也還未得到。因此，現在只可以確切地談談關於性質方面上原型與模型之間的關係，至於河床

過程的數量特徵，對於模型河流來說，是按照相應於模型中所求到的河床過程趨勢的天然資料來計算的。

一九五一年鐵路建築與設計科學研究院橋渡實驗室採用了天然模型法，來研究橋渡修築之前的河床移動，以及在自然界隨時觀察到的不穩定水流狀態下由於橋渡束狹水流而引起的河床移動的變化。研究係在兩方面進行：

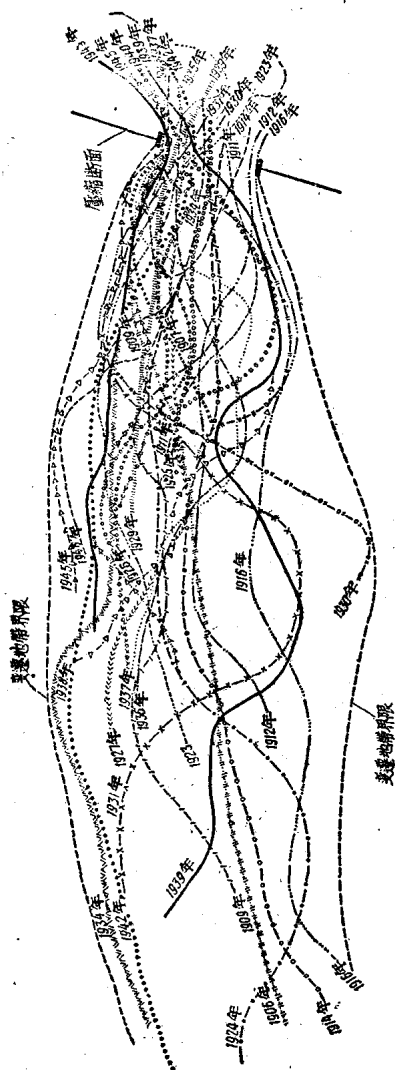
- 1) 擬訂造成所指定的河床過程類型的河流模型的方法；
- 2) 規定河床移動及演變過程的某些特性，以便能夠建立一種預測橋渡河床變形的的方法。

將實驗室試驗資料與天然資料盡可能的比對，以確定研究的性質方面的結果，運用到自然界的規律性，是研究的必須的組成部分。

由於實驗室要執行其他的研究工作，首先必須擬定一種方法使在實驗室內能夠得到變遷型河流（按照К.И.羅辛斯基和И.А.古茲明〔參考文獻4〕的分類法）的模型。在擬定這種方法時，已知（在一定限度內）模型坡度和模型上泥沙的粒徑，用一定的調節的河流水量和在模型上游斷面放入泥沙量的方法，可以得到各種類型的河床演變過程；這個原理相當於B. M. 羅赫金〔參考文獻3〕關於在具體條件下決定河床過程特性的基本因素的著名假說；此處所謂河流水量是指河流的流量數值和洪水的變化率而言。

2. 修築橋渡前河床演變過程的研究

我們研究的目的是，是要由模型內窺知變遷型河流之劇烈的河床演變過程。在這種變遷型河流的平水河床變遷地帶的整個寬度上都有泥沙移動着，也就是說，實際上泥沙在洪水泛濫的整個寬度上移動着。這裏曾經具體地考慮了重複某條大河的河床過程。在這條大河，當流速很大時，河床和河岸泥土的活動性，對於側向



第2圖 某條河流上航道的移動

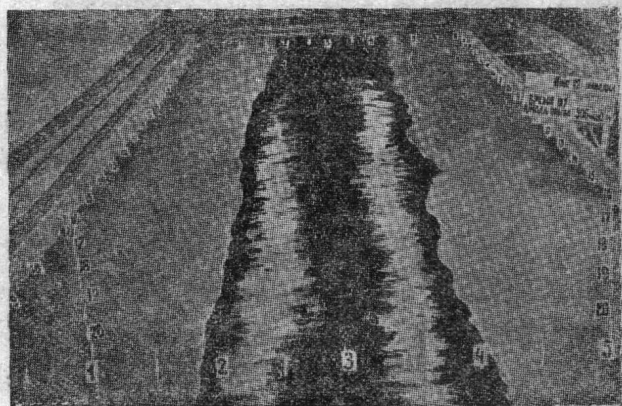
的和局部深向的冲刷以及劇烈的河床過程，有決定性的意義。在這條河流上，河床過程的強烈性就表現於平水河床位置的常常變遷，即某些支流和叉流完全被堵死了，另外又產生了一些支流和汊流，同時航道又橫向地移動了很大的距離；所有這些，有時在一次洪水中就可能遇到（第2圖）。這種特點和其他某些自然的河床過程的特點，就是模型中河床過程應該在質的相似方面與其相適合的。在模型內研究所指定的河流類型的河床過程時，亦可附帶研究它的另外的特徵和平水時期河床形成的過程。試驗時，可採用某些措施，以使模型河床的過程按所希望的方向發展。

所述試驗應重複決定天然河床演變過程的主要原因之一，即水的不穩定

流動(洪水和平水時期)。模型內的不穩定流動係按照天然的流量過程綫來規定。此外，在模型的進水口處撒放一定數量的泥沙，以使模型內有必要的泥沙運動狀態。按時撒放泥沙的強度，應按

洪水的流量過程綫而定。年循環——平水期加洪水期——在模型內爲二小時。

試驗開始時，模型是個平整的土層，其土壤極爲均勻，縱坡爲0.005；模型工作部份的平面尺寸爲6.25×25公尺。第3圖爲第12次洪峯時河床模型的一般情形。河床過程的基本特徵係在不爲次要因素而複雜化的條件下而確定的，也就是說，土壤是均勻的，洪水河床是順直的（見第2圖和第3圖）；模型河床是在沒有橋渡建築物束狹水流時形成的，也就是在天然的條件下進行。在模型中並不重複所觀測的全部活性河床的蜿蜒曲折，尤其是平原地帶的河流（不要把活性河床的蜿蜒曲折和平水河床的蜿蜒曲折混爲一談，因爲平水河床僅爲活性河床的一部份）。這樣，在模型內的河流，就能反映河床過程劇烈變形的整個變遷地帶。



第3圖 通過12次洪峯時模型的情況

在研究中首先可以見到的，河床過程的特點之一，是在活性河床中出現了爲水流所挾移的固體相（泥土）的結構狀沉積堆。在某種程度上反映着紊流結構（所謂大規模的紊動性）對冲刷河底的作用時，同時可以見到冲刷和土粒移動的過程，在時間上和寬度上並非是連續均勻的，而是以斷續的結構狀沉積堆形式不均

勻地移動着（在結構狀沉積堆中，泥粒的個別運動集合爲一般的運動）。

固體相的結構狀沉積堆是在洪水時形成，並得到主要的發展。在平水時期就可清楚地看到它們，因爲洪水退後，這些結構狀沉積堆便現出來了，成爲過渡河槽的淺灘（如同天然河道中發生的一樣，第4圖）。第5圖是經12次洪水後的平水河床（通過該洪水時模型的形狀見第3圖）。

水退後所現出來的泥沙結構狀沉積堆，使原先在直線形活性河床中的平水水流完全彎曲了（見第4圖和第5圖）。

淺灘或其他固體相之結構狀沉積堆的變形和向下游移動，是河床形成過程的主要特點。淺灘移動時，其上游部份的泥土劇烈的淤高，然後泥土沿淺灘的表面幾乎是直線地運動，最終在它的下游部份沉積下來。因爲淺灘的位置通常在洪水退後就固定下來，所以上述泥粒的移動過程在視覺上可以看作是淺灘向下移動。

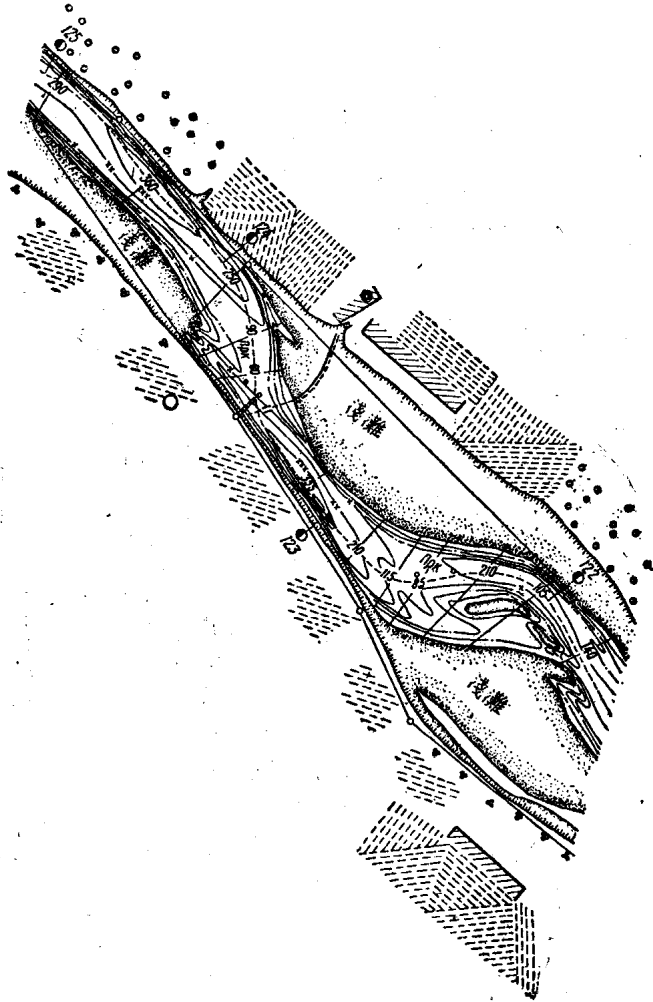
按着洪水通過的順序，把模型內淺灘的移動情形以圖解方式表示在第6圖上。在圖上每個淺灘以兩點表示，其中一點相應於某次洪水後模型中淺灘頂部的位罝，另一點則表示淺灘的下游端的位置。

自圖上可以看出，淺灘的運動是不均勻的。在某些洪水時，淺灘頂部仍處於原位；在其他洪水時，它大大地向下游移動了。若洪水時，淺灘的頂部並不移動，則在一般情況下，正如模型中見到的一樣，淺灘的形狀會發生劇烈的變化（變形）；其頂部向平水河床移動，最後和淺灘分離而成沙島。

圖上淺灘向下游移動，就是泥沙結構狀移動的過程；淺灘在河床中的分佈位置，就決定了水流的形式和結構。在底沙運動中，比重很大的結構狀沉積堆，可以用模型中泥沙的輸出圖說明之。爲了明顯起見，把該圖和淺灘運動圖（第6圖）放在一起。自這些圖內可以看出，當淺灘頂部移近模型的出口斷面時，所挾移的泥沙量增多了好幾倍；這說明了底沙的主要部份，在洪水

時，是成爲結構狀沉積堆而移動的。

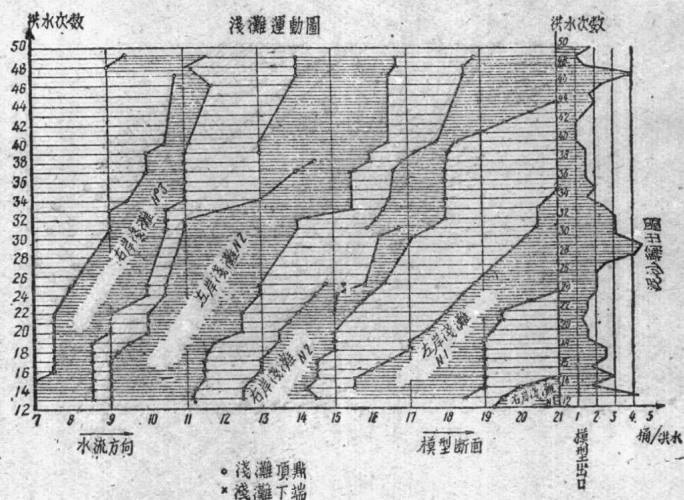
在實驗中所得出的河床過程的這種數量的特點（不僅是根據天然資料，爲人所熟知的泥沙結構狀沉積堆的形成的事實本身）是非常重要的；因爲藉助於此，我們在計算河床變形時，才有必



第 4 圖 過渡河槽的平面圖



第5圖 通過第12次洪水後模型中平水河床的樣式



第6圖 模型中淺灘運動圖

要和可能計算到作為河床外形構成者的底沙的實際上不連續和極不均勻的移動過程。衆所週知，河水所挾移的底沙量也可以用計算結構狀沉積堆的體積的方法得知[參考文獻3]，從而可以避免極不精確的並且困難的以取樣器測量底沙流量的方法。