



实验地貌学

Н. И. 马卡維耶夫等

科学出版社

Н. И. 馬卡維耶夫 Н. В. 赫麥列娃
И. П. 扎伊托夫 Н. В. 列別杰娃

实驗地貌学

濮靜娟 陆中臣 等翻譯
楊毅芬 杜端秉
龔國元 沈玉昌 等审校
經 緯

科 学 出 版 社

1 9 6 6

Н. И. Маккавеев, Н. В. Хмелева,

И. Р. Зайтов, Н. В. Лебедева

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Изд-во МГУ

1961

内 容 简 介

本书是苏联莫斯科大学地理系进行河流地貌系统试验的总结, 书中研究了河床形态的形成过程和地壳结构及地貌形态的形成过程, 其中着重研究了河流纵剖面的演变和阶地的形成问题。书中对每一系列试验都提出了具体任务、方法和基本结论。

这本书所介绍的实验方法是重演地貌形成过程, 为地貌学的研究开辟了新的途径, 并为地貌学如何从定性方面转到定量方面为生产服务提供了新的方法。可供地貌、地质、水利等方面的科学研究单位和有关生产部门的业务人员参考。

实 验 地 貌 学

[苏] Н. И. 马卡维耶夫等著

濮 静 娟等译校

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业许可証出字第 061 号

上海新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1966年3月第一版 开本: 850×1168 1/32

1966年3月第一次印刷 印张: 5 插页: 1

印数: 0001—3,050 字数: 131,000

统一书号: 12031·116

本社书号: 3427·12

定价: [科七] 0.90 元

目 录

前言	(1)
第一章 研究的目的、任务和方法	(2)
1. 地貌学实验方法的发展	(2)
2. 模型装置,测量仪器,观测方法	(11)
3. 在地貌过程实验研究中应用立体摄影测量的试验	(18)
4. 模型试验方法的应用	(33)
第二章 气候因素对纵剖面发育和阶地形成的影响(第一组试验)	(40)
5. 试验任务	(40)
6. 试验 1: 因水流中泥沙浓度的变化而形成的堆积和侵蚀	(41)
7. 试验 2: 河流水量增加的试验	(48)
8. 试验 3: 由于径流量的不均勻性引起的河流下切	(54)
9. 试验 4: 河漫滩植被对河床状况的影响	(58)
10. 河床形态的某些特点及其形态测量特征	(61)
11. 基本结论	(68)
第三章 侵蚀基准面的变化和阶地形成(第二组试验)	(70)
12. 第二组试验的任务	(70)
13. 试验 1: 侵蚀基准面急剧抬升	(71)
14. 试验 2: 侵蚀基准面快速降低	(76)
15. 试验 3: 受水池水位缓慢下降	(81)
16. 试验 4: 在陆棚相当倾斜的条件下,侵蚀基准面的下降	(87)
17. 基本结论	(91)
第四章 局部侵蚀基准面(第三组试验)	(93)
18. 试验任务	(93)
19. 试验 1: 岩坎	(94)
20. 试验 2: 水库	(99)
21. 基本结论	(112)
第五章 构造过程和侵蚀-堆积过程的相互关系(第四组试验)	(113)
22. 问题的提出	(113)

23. 先成谷的形成	(114)
24. 穹窿构造的成因	(121)
25. 基本結論	(133)
第六章 沙波	(136)
26. 研究的内容和任务	(136)
27. 不同类型沙波产生的条件、发展特点和形态	(138)
28. 影响沙波形成过程的几种因素	(147)
29. 基本結論	(151)
参考文献	(152)

前 言

实验方法在地貌学中正处于形成阶段，在实验室里重演地貌过程的试验目前还不系统，数量还不多。但是随着地貌学成长为愈益密切和愈益积极地参与国民经济各部门实际问题探讨的科学，如果没有一些足以帮助进行数量论证和进行预测的研究方法，那是应付不了局面的。而实验方法便是能对野外调查的结论加以检验和发展的研究方法之一。此外，缺乏实验室的帮助，就不能深入研究地貌过程的自然本质和精确地查明决定地貌形成因素的作用。

莫斯科大学地理系考虑到实验方法的巨大意义，所以建立了专门的实验室。在这个专门的研究室中，地貌教研室的工作人员对许多专门的问题进行了连续几年的系统研究。这些问题可归纳为两大项：1.河谷形态的成因；2.内力因素和外力因素不断相互作用形成的地貌形态和构造结构的形成过程。其中对于纵剖面的形成和河谷中阶地的出现(是由于河流水文状况的变化，侵蚀基准面的升降和局部的构造运动而产生的)问题，尤其特别注意。

第一章

研究的目的、任务和方法

(1) 地貌学实验方法的发展

在地貌学中，实验研究法还只占次要地位，应用范围也有限。但不能低估它的可能的发展远景以及不久将来必然能获得更大的意义。随着作为一门独立科学的地貌学的发展，随着它与生产实践联系的日益加强，地貌学的研究重心势必会移到实验方法上来，从而提供定量解决和精确预报问题的可能性。这种研究方法的变化，乃是任何一门逐渐发展的科学部门的必然现象。

毋庸置疑：对自然实质，决定地貌形成的各个过程的机理，以及地形随地球外壳各部分自然-历史条件而变化的规律等，进行深入观察，乃是地貌学发展所必经的主要途径。地貌学实际应用范围扩大的可能性取决于对这些问题的探索的成就。

不论所提出的实际任务的内容如何，为了使工作的成果不是来自偶然所致，对决定研究现象发展的诸因素和这些因素相互作用的特点必须有清楚的概念，同时要善于找出可以用来进行计算和预报的定量指标。在这方面，实验方法给予了难以估价的帮助。在实验室里可以查明各种因素的作用，分别观察它们在“单纯形式”下和在各种组合中所发生的影响，可以预见这些现象或过程的未来，最后还能得到这些过程定量特征的原始资料，从而确定把模型换算成原型(天然情况)的比尺系数。

实际上，在许多实验研究部门中，上述问题(比较估价各因素的相互作用，预报和定量特征)都已得到完全肯定的解决，而其精度也能满足实际目的的需要。在其他许多部门里(很遗憾，地貌实验暂

时也还不得不包括在内),实验方法作了初步尝试。实验研究的成果,在初期是非常简单的,但是,不能降低这种方法的潜在可能性。

不能漠视,要在地貌研究实践中运用实验方法,需要预先做大量的工作,克服重大困难。在自然界中影响地形发展的因素多种多样,对各个过程的机理的研究不足,许多现象的定量特征还不明确,所有这些,都提出了迄今还根本不能一般地予以解决的任务,解决了这些任务便能产生出具有普遍意义的模型实验方法。在地貌学研究时一切部门都能有充分把握以实验为基础以前,还要做大量的工作。

实验研究可以分为两个主要类型: 1. 直接在自然界中进行的实验, 2. 实验室试验。

直接在野外做试验时,人为的改变原有的条件,然后用观察方法查明由于这些条件的关系,在自然过程中发生了怎样的变化。直接在自然界进行的试验,可以以贝茨和亨利 (Bates and Henry, 1928 年) 为了估计森林对气候、径流和侵蚀影响进行的试验作为例子: 在格兰德河森林地区(美国西部)选择两条流域相同的小溪。两个小溪的流域面积各为 200 英亩,具有相同的土壤土质条件,生长其上的樺-松树林的密度及地位级也相同。在各河谷地区设有几个气象站。观测的前八年間(这期间业已查明两个集水区的气候条件是相同的),有一个集水区的森林被砍伐净尽,随后又进行了七年观测,发现由于森林的砍伐引起了以下变化: 2 米高处的风速差不多增加了近两倍,在同样高度上,下午的温度提高 $1-2^{\circ}\text{C}$, 春天融雪提前结束四天,径流层从 160 毫米增加到 184 毫米,洪峰高度增加 0.5 倍,降水量减少 2%, 溪流的平均含沙量增加了七倍,试验获得了极有价值 and 令人信服的成果,但它的实验用了十五年的时间。尽管如此,从地貌学的观点,它仍不能认为是完善的,因为它仍没有查明在条件改变以后,谷坡的形态和河流纵剖面将如何变化。

必须花费很多时间和大量的物质,是在野外直接进行试验的大缺点,上述的缺点限制了野外试验的运用范围。因为用这种方

法来研究在地质时代中和大面积地区内进行的各种过程（而且其中包括的物质和能量又特别大），在很多情况下，实际上是不可能的。只是有时候，在某些情况下，即由于采用了某些经济措施，显著改变了自然环境的条件时，才能进行这种试验性研究：比方说，河谷中兴建了许多水库，这样就有可能从第一阶段，即从库岸形成时起，就对大量实体进行观测。对地貌学家来说，由松散沉积物组成的库岸地形的形成过程幸而进行的较快（几十年内），因此他们才能对这种过程（在各个阶段和不同条件下）进行研究。

实验室里的试验，可以在任何的时间比尺中完成。研究者仿佛戴上了时间的放大镜，可以任意加速或延缓诸种过程，同时试验工作人员对于所研究的过程赖以进行的条件也大有可能加以创造和迅速改变。不过，除了这些优点以外，实验室方法同野外的试验方法比较，在某种程度上也有两个缺点：第一，任何时候都不能完全确信在实验室中演示的变化和自然界中类似条件的变化是类同的。问题在于，自然界中一种因素的变化，不可避免地要引起影响研究过程的其他许多因素的变化。例如，如果我们研究气候湿度对河谷发育的影响时，那么应当注意降水量的变化，不仅影响河流的径流量，而且也影响集水区土壤-植被、谷坡上的坡积过程，从水文网上游进入河床的固体物质的性质和数量，以及河流的冰情等的变化。在实验室内重演所有变化的总和，实际上是办不到的，因此，把它们引入试验条件时需要进行修正，在很大程度上以假设条件来补偿这些变化。

实验方法第二个严重的缺点，是模拟试验的理论不完善，以致在试图进行定量预报时遇到了很多困难。甚至只就水流模拟试验理论来说，这个领域中虽然从 L. 达芬奇时代实验方法便已开始发展，但到目前为止仍然存在着许多不能解决的矛盾。如果把保持力学相似原则作为模型计算的基础〔自然界和模型中的水流动力度量相同；换句话说，弗劳德(Froude)数不变〕，那末水流的紊动程度(用雷诺数表示)将受到很大歪曲，如果使模型和自然界的水流紊动程度相同，那末力学特征就会有很大歪曲，例如，在模型上

得到的是急流，而在自然中却是緩流；也就是說，模型河流具有山区河流特性，而應該重演的却是平原河流。

在进行河床模型試驗时，为了保持水流的紊动状态，通常不得不把模型的几何相似条件变态一下，要放大它的垂直比尺，因此在模型上，整个斜面坡度要比自然界中的大。当在可冲河槽中研究水流的侵蝕作用时，模拟試驗的任务就更加复杂。为了保持几何相似性和力的相似性，需要縮小冲积物和泥沙的粒径，但是，这种改变的本身，又引起冲刷阻力的本质变化。如果砾石和沙子的冲刷阻力主要取决于单个顆粒的权重的話，那么当机械組成較細时，則顆粒之間的凝聚力就起着相当大的作用，因此，为了按照模型中水流侵蝕能力的縮小程度来削弱冲刷能力，就必须同时縮小冲积物的粒径和降低比重。为了降低比重，所以采用了冲积物的代用品——木屑、煤屑、琥珀以及其他物质，它們的比重都不大。但是要使代用品具有和冲积物相同的形态和糙率，实际上却办不到。

我們不再贅述进行河床水流模拟試驗时遇到的困难和模糊的問題了，但要指出：在試驗的領域中，由于几年的工作，实验人員毕竟找到了許多方法，可以借此有相当把握地选择試驗条件，从而保証获得解决許多实际任务所要求的精度和可靠性。实验室里重演的过程和自然界中进行的过程，它們对表上的相似性是评价試驗准确性和可靠性的主要和必須的标准。因此，在試驗的各个阶段，都尽可能地使“模型与真实联系”。

闡明与地貌学直接或間接有关的模拟試驗問題和論述这类研究成果的已发表的文献是相当丰富的，即使把它們綜述一下，也都是专门著作的事。讀者可以参看 Д. Л. 阿尔曼德(Арманд, 1948年)和 G. C. 薩默(Summer, 1932 年)闡述这些問題的文章。在此我們只探討与問題有最密切关系的許多工作(莫斯科大学地貌實驗室已进行这方面的研究)，也就是构造过程和流水过程的模拟試驗。

在實驗室中进行构造过程的試驗研究，已有 150 年的历史了，1815 年詹姆斯·赫尔就設計了“构造机器”——輕便水平压力机。——他利用这种器械以不同顏色的块状物质和潮湿的粘土层代

替岩石,研究了褶皱的形成,十九世紀最后 25 年和本世紀初,試驗方法大受欢迎,当时很多地质学家都建立了简单的实验设备,并利用各种可塑性物质(橡皮、瀝青、粘土等)来代替岩石,研究了构造錯动机理的基本规律,以及大构造区结构的基本特点。在这个时期的工作中,法国地质学家 A. 道布雷(Daubrée, 1879 年)的著作最有名,他詳細的研究了取决于作用力性质的各种不同类型的构造变形。这些工作的成果直到目前为止还未失去其意义。鮑耳克(Paulcke, 1912 年)和马克卡尔提进行了很有意义的研究;他們仿制了在塑性下垫层(軟的粘土、橡皮等)上的地层在压力作用下进行的褶皱过程,模拟了山系的具体地区,在模型上得到的剖面可以和自然界中的地质剖面对比。

虽然进行了大量的研究工作,但結果毕竟帶有很大的定性性质,而在許多情况下,所得結果的可靠性还有可疑之处。无论是模拟試驗的一般理論,或者选择試驗条件的方法,都不是十分明确。例如,究竟采用哪种物质来代替岩石,以保証和自然界相似,就沒有多大把握。除了塑性粘胶物质以外,还使用了固体弹性物质。A. 道布雷(1879 年)在玻璃片上研究了与挠曲(在差异性上升或下降时产生)有关的变形;M. 斯莫魯霍斯基(Smoluchowski, 1909 年)在有弹性的玻璃片上研究了褶皱系的形成,那时,用图画紙进行了东亚島弧重演試驗(阿尔曼德, 1948 年)。

所得結果的假定性及其与野外实际情况的不完全符合,使人們对构造試驗研究产生了怀疑。在本世紀 30—40 年代实验研究的数量也就因此显著减少。从四十年代以来,試驗研究迅速发展,并重新代替了暂时退步的局面,在試驗方法和試驗内容上都有了很大的变化。

在近年来的研究中,出现了新的质的变化,其中包括:第一,試驗开始建立在物理相似理論的基础上,誠然,目前只能說是这个理論的开始,但毕竟出现了通过試驗条件来进行計算的某些原理。目前盛行的研究方向的第二个特点是对于試驗对象和模型比尺的选择,有了显著不同的改变,从前研究者只着重用很小的模型演示庞

大的构造区,而且只要試驗模型和真象在外表上大体近似,就算滿足了。在近几年的研究中,模型試驗的比尺放大了很多;模型本身也大多了,而选择的模拟的对象却較小,这就有可能更詳細地判定过程的不同特点,得出的关系不仅是定性的,而且也是定量的。对地质勘查有直接帮助的可能性了,这又轉而刺激了試驗研究的进一步发展。

穹窿构造研究領域中的工作,就是一例:众所周知,了解穹窿构造的形成机理,对寻找石油具有很大的意义。L. L. 内特尔頓(Nettleton, 1943年, 1947年), Н. Б. 列別杰娃, Т. Д. 帕尔克尔(Паркер, 1956年)和 А. 麦克杜威(Мак-Доуэлл, 1955年) Д. Б. 庫雷(Кьюррей, 1956年), А. М. 塞切娃-米哈依洛娃(Сычева-Михайлова, 1958年)等的深入的試驗研究,为获得关于底辟穹窿构造以及伴生的断裂破坏形式的全部基本特点的清楚概念提供了可能性。查明了不同的构造核抬升的不同特点和速度,变形层的厚度、性质以及邻近构造相互作用等等因素对构造形态的影响。确定了断裂位移产生的条件,以及它的发育形态和规模,得到的結果和自然界观察到的很符合,这种类型的构造研究仿佛是試驗方法成功地經受考驗的一次入学考試。

利用模型研究河成过程对地形的作用,开始于上世紀的最后二十五年。对发展这门模拟試驗的条件是非常有利的,因为可以从水工模型試驗的丰富經驗中吸取很多方法。

首先在地貌分析上运用实验室試驗的是法国学者諾埃和马格里(Noë G. 和 Margerie E., 1888年),他們明显的指出:构造和剝蝕过程对地形具有同样的影响。但是試驗是过分簡單了,以致許多結論都引起怀疑。其中,在模拟河流纵剖面发育过程时,水流被小股的砂子所代替,因此,产生的形态就因重力过程相符而和河成过程不相符合了。

在研究方法上, А. И. 巴甫洛夫(Павлов, 1898年)做的比較全面,其中的一些結論至今尚未失去其价值。为了驗證他提出的关于潜水单向谷谷坡的塑造有很大影响的假定, А. И. 巴甫洛夫

做了由透水性不同的岩层组成的河谷模型，观察在人工降雨时形成的潜水水流作用下谷坡会产生如何的变形。

A. 乌尔姆 (Wurm, 1935 年, 1936 年) 在符次堡地质学院做的试验很有名，他的试验设备是一个 80×80 厘米的场地，并受到人工降雨的冲刷，侵蚀基准面可以变动，在模拟原始地形时，采用了由不同硬度和不同颜色的物质组成的地层。乌尔姆重演了阶梯状平原发育的过程，研究了单面山形成的机理，验证了 W. 彭克关于山前阶梯成因的假说，并对其他一系列问题进行了研究。有趣的是，在试验条件下，坡地受到片状侵蚀作用后并没有变平，而是保持其本身的坡度或者甚至使坡度更大向后撤退，小比尺模型以及不重视模拟理论，不可能使试验成果具有说服力。其中，乌尔姆关于片蚀对坡地发育影响的结论，没有被在较大模型上研究这一过程的研究者所证实。显然，当模型上水层厚度很小以及坡地的坡度很大时，水流状态为层流——急流。这种特殊的研究得不详尽的水情可以和特殊的侵蚀类型相伴产生。

一般说来，侵蚀过程模型试验所走过的道路同构造过程模型试验所走过的道路相似。起初，着眼于大区的研究，采用的是小型模型，试验条件和模拟试验理论也不相吻合，自然大多数地貌学家便对试验方法产生了怀疑。

只是在最近几年，即当试验工作人员开始在大模型上工作，采用了更加完善的技术装备，挑选了和模型试验理论相符的试验条件，更精确地区分了决定因素影响的过程，这时，实验室研究方法才获得承认。

近几年来，在流水过程研究中，出现了两个研究方向：1) 片状侵蚀研究，2) 河床(綫状)侵蚀研究。

在许多研究片状冲刷规律的工作中，B. 埃利森 (Ellison, 1944 年) 的试验占显著的地位，他研究了在雨季由于雨滴和沿坡面流动的水流同时作用而在坡面上发生的侵蚀作用。为了定量计算排走的固体物质，利用了陷井——截住水的飞沫的挡板(在雨滴抨击下漂起的) 和小槽——沿坡流动的水分过滤器。一部分试验在暗室

中进行，在此处对降落的雨点利用光线进行照象。这种情况很有意思，即当降落的雨点打击飞溅时，漂起的土壤颗粒尽管大部分被带到坡脚方向去了，但也有相当数量的物质沿着斜坡向上移动。

苏联科学院土壤研究所的实验室，对片蚀研究得特别细致[B. 古萨克(Гусак), 1949年, 1950年]。应用装有电影机的显微镜直接观察了土壤水分之间接触的现象性质。首先是确定边界层——直接以土壤表面为界的极薄的水层中的流速分布和流束方向。B. 古萨克对各种水流的侵蚀作用进行研究，指出土壤冲刷过程乃是很复杂的物理现象；它不仅决定于流束的力学作用，而且也取决于电学现象(在液体运动时产生)，表面张力的性质以及液体的溶解能力。例如，在水中具有不同冲刷指标的两种土壤标本，它们在煤油流的作用下，它们在抗冲稳定性方面有的地方发生了交替。

在苏联科学院地理研究所(阿尔曼德, 1950年)和土壤研究所[A. И. 斯皮里多诺夫(Спирidonov), 1951年]实验室利用人工降雨设备，研究了降雨对斜坡的影响，使用可以改变降水强度的人工降雨装置灌溉铺着沙的小块地面。A. И. 斯皮里多诺夫的试验指出，沙质坡面的上部在降雨的影响下，受到最强烈的冲刷，即坡面在片状侵蚀的作用下变平缓了。在Л. Л. 阿尔曼德的试验中，首先注重到坡面上小侵蚀犁沟的发育特征。这种发育的特点已大体上包括在“原生平原”水文网发育的经典图式中，可以观察到在集水区里这些侵蚀形态的“斗争”，是通过犁沟间的袭夺进行的。

在苏联科学院地理研究所实验室中，E. A. 涅菲迪耶娃(Нефедьева)和H. B. 赫麦列娃(1956年)对雨水作用下产生在坡面上的小侵蚀形态进行了较详细的研究。她们查明了流量、原始面的比降、组成坡面的沙子粒度对形成的切沟形态和切沟形成速度的影响。

苏联科学院地理研究所实验室1947年开始进行大型流水形态发育过程的研究，由M. A. 维利卡诺夫(Великанов, 1950年)负责领导。他们研究了在流量和原始地面比降不同的条件下水流在沙质河床中的切割过程。各个试验前后历时达1,500小时，尽管

侵蝕基準面和水流的水量在各個試驗期間是穩定的，但是伴隨着切割的進行，在“谷”坡上經常都有一些階地狀的陡坎形成。陡坎的形成和河曲的擺動有關，它們發展得很迅速，根本改變了呈直綫壟斷形式的河床的原始形態。和一般公認的概念相反，旁蝕在切割過程初期總是比後期更為劇烈[沙拉什基娜(Шарашкина), 1953年]。

匈牙利德布勒森大學地理系試驗室，也製造了河谷模型[卡達爾(Kadar), 1956年]。模型長5米，寬1.35米。在模型中研究了溯源堆積的發育，階地的形成以及在侵蝕基準面不同時三角洲的形成過程。

因此，在實驗室的條件下，河流的自由河曲可以很容易形成，並且能方便地觀察其整個的發育過程(凹岸沖刷，向下游移動、形成牛軋湖等)。近幾年來，對河曲形成的問題做了很多試驗工作，其中，首先必須指出J. 弗里德金(Friedkin, 1954年)在威克斯堡實驗室中所做的研究工作。在弗里德金的試驗中，是利用在原始直綫河槽中逐漸發育彎曲而產生曲流的，試驗指出了流量和比降對曲流形態的影響，同時也指出了凹岸沖刷產物移動的基本規律。在O. A. 安德列耶夫(Андреев)和亞羅斯拉夫切夫(Ярославцев, 1953年)，哈爾洛克(Harlock, 1955年)，卡達爾(1955年)和И. М. 科諾瓦洛夫(Коновалов, 1959年)等的實驗室中也研究了曲流的變形。

在各種河床地形形態中，淺灘的模擬試驗受到極大的注意，這是因為航運上需要改善水道的關係。關於這個問題，許多國家已做了大量的工作予以闡明。А. И. 洛西耶夫斯基(Лосиевский, 1934年)的工作，對淺灘形成過程進行了最詳細的試驗研究，在他的工作中，查明了最終造成淺灘的那些河床形式的原因序列，查明了淺灘上的底流性質以及河床地形的這種特殊活動形式的其他特點。

同樣也要指出布拉什和沃尔曼(Brush and Wolman, 1960年)的有價值的試驗研究，他們研究了侵蝕和堆積過程，以及在縱剖面顯著轉折地段形成的河谷形態。試驗証實：在縱剖面轉折處，伴隨

着溯源侵蝕的进行,下游河段发生强烈的堆积。

这样一来,試驗研究便包括了流水过程的不同阶段,但是已完成的工作大多数都局限于一些定性的結論。而流水过程很多的特点却完全未在实验室内研究过。

为了对其他影响到地形形成的各种过程进行研究起见,也在成功地采用着实验室方法。但限于篇幅,这里只能举几个例子。

在风成地形形成过程的研究中,实验室試驗已占巩固的地位,А. 巴格諾尔德(Bagnold, 1941 年)和 А. И. 茲納敏斯基 (Знаменский, 1958 年)的工作最为有名,他們在风洞里研究了风沙搬运过程和风成地形形态的成因。

在冻土和与冻土有关的地形形成过程的研究中,試驗研究获得了很大的成就。这些工作的成果已刊登在苏联科学院《冻土試驗研究資料》的这套集刊中。

还有探討喀斯特现象[阿斯塔謝夫(Асташев), 1932 年; 布蒂林(Бутырин), 1936 年; 德夫达里阿尼(Девдариани), 1959 年], 冰川活动形成的地形[罗日斯基(Rózycki), 1958 年], 以及受波浪作用的岸坡的形成[古格尼亚耶夫(Гугняев), 1954 年]等实验工作。很显然,在不久的将来試驗研究将扩展到地貌学的各个部门里。

(2) 模型装置, 測量仪器, 观测方法

莫斯科大学地理系野外地貌实验室設在莫斯科河开闊的河漫滩上, 靠近莫扎依水电站, 实验室系由一个大模型組成, 在这个模型上, 已进行了四年(1954—1957 年)的試驗, 在試驗过程中, 模型逐渐完善和改进。模型的进行試驗部分, 是由一个流入集水盆的“水系”組成, 集水盆的水位就是水系的侵蝕基准面。除了干流以外, 另有三条支流从左岸流入(图 1)。

干流河谷是在河漫滩粘土质壤土上挖成的小槽, 它的底部比降为 0.01, 干流长度(沿河谷軸綫計算)根据受水盆的水而变, 平均在 55 米到 60 米之間。在試驗的第一年(1954 年), 主谷谷底的宽度, 当岸坡几乎垂直时为 1 米, 随后几年, 小槽底部展宽到 2 米。

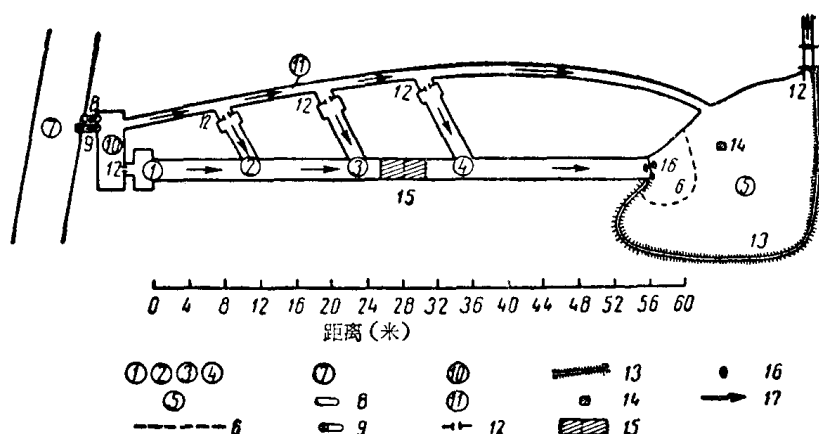


图 1 模型略图

1、2、3、4——干支流的水源；5——集水(尾水)盆；6——侵蚀基准面在正常位置情况下三角洲的边界；7——水电站引水渠；8——虹吸管；9——泵；10——蓄水池；11——边渠；12——备有调节闸门的溢水道；13——围绕集水区的堤；14——“瓦耳戴”自记水位计；15——重演背斜抬升的机构；16——穹形结构；17——流向。

由于斜坡的倾角为 30° ，所以连沉积层厚度在内的河谷底部宽度为 2.05 米到 2.40 米。小槽的斜坡上面浇灌着混凝土，沿着两侧混凝土结构的小路铺上走小车的铁轨。

干支流衔接的角度为 30° ，而支流底宽从 0.5 米到 1.0 米，支流汇入处距干流河源的距离：支流 I 为 12 米；支流 II 为 24 米，支流 III 为 36 米，支流 III 河口下游为河流下游无支流河段，其长度取决于侵蚀基准面的高度。

河流注入的集水盆，底面平坦，岸坡倾斜，其面积为 400 平方米 (20×20 米)。水下和水上岸坡的平均比降约为 0.03。集水盆的水位利用叠梁闸门(шандорный шлюз)¹⁾，确定所需要的高程。水库深水区的海拔深度，变幅在 0.3—1.2 米之间。

1) 试验的第一年，使用带有挡板的闸门，当径流量具有季节变化时，它就能更精确的调整水位。但是试验指出：在模型上采用这种水量分配系统，实际上可以保证水流不断的进入集水盆。如果径流是逐渐变化的话，那末水库的水位变化通常小于 1 毫米。