

人工降雨入滲 資料的分析研究

交通部公路科學研究所
田劍影 編著

人民交通出版社

人工降雨入海 資料的分析研究

臺灣區水利科學中心
編輯部 編纂

中華民國七十四年

人工降雨入渗資料的分析研究

交通部公路科學研究所

田劍影 編著

*

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號

新華書店發行

人民交通出版社印刷廠印刷

* —

1960年3月北京第一版 1960年3月北京第一次印刷

開本: 787×1092 1/32 印張: 5 1/2 插圖頁 4

全書: 18,000 字 印數: 1—2,000 冊

統一書號: 15044·2040

定價(10): 0.21元

目 录

前 言	2
一、资料情况	3
二、入渗资料的整理	5
1. 整理资料的方法	5
2. 土壤种类的划分	6
三、人工降雨入渗资料的分析	6
四、平均入渗累积曲线的绘制	12
五、几点建议	13
参考文献	15

附表(1)(2): 人工降雨土壤入渗资料简明表

附图 1. 北方地区土壤入渗量与含沙率关系曲线

2. 南方地区土壤入渗量与含沙率关系曲线

3. 第四类土壤(南方) $\frac{h_{\text{试}}}{h_{\text{容}}}$ 与降雨强度的关系图

4. 第五类土壤(南方) $\frac{h_{\text{试}}}{h_{\text{容}}}$ 与降雨强度的关系图

5. 第六类土壤(南方) $\frac{h_{\text{试}}}{h_{\text{容}}}$ 与降雨强度的关系图

6. 南方地区含水率对入渗影响的关系图

7. 第四类土壤(四川重庆)土壤入渗过程线

8. 南方地区土壤平均入渗曲线

9. 北方地区土壤平均入渗曲线

10. 苏联H. H. 柴可达也夫与Л. T. 貝欽可娃平均入渗曲线与我国南、北方地区平均入渗曲线比较图

前 言

为了制定我国的小流域地面逕流标准，去年，我們曾对暴雨分区逕流簡化公式等专题进行了研究，取得了初步的成果。今年我們为了制定各分区的面逕流厚度，曾对土壤入渗损失进行收集資料和分析研究。

在铁道部铁道科学研究所，各铁道設計院工作同志的大力协作下，我們收集到了一些人工降雨土壤入渗試驗資料。根据这些資料，繪制了南北两个区的土壤平均入渗累积曲綫，初步提出供公路铁路及其他方面桥涵水文工作者的参考。

因为我們的工作經驗不多，理論水平較低，分析能力較差，所以錯誤在所难免，还請各方面的专家們提出指正。

本研究专题是在公路科学研究所甘城道工程师领导和铁道科学研究所水工水文研究室徐在庸工程师、黃文俊同志的指导下进行的，最后又請徐在庸工程师校审，提出不少宝贵意見，特此致謝。

田劍影

一、資料情况

計算小流域暴雨地面逕流，其主要依据，是降雨、土壤入渗、以及流域地理特性等因素，在这些因素中，决定降雨条件可根据現有雨量資料来进行分析。在这方面我們已进行了一些工作，初步制定了全国的暴雨分区图和各区的降雨量—历时—重现期曲綫等，流域特性是由其地理位置及几何形状所决定。因此剩下一個很重要而沒有完全解决的問題，就是土壤入渗損失量的决定，而这一部分，在逕流形成过程中占有降雨量的很大一部分，有时甚至达到一半以上。

一九五七年鐵道科学研究院在北碚逕流实验站作了人工降雨試驗，其資料及分析結果刊載在“小流域暴雨地面逕流之研究（三）”上。鑑于今年人工降雨入渗試驗資料比去年又增多，同时为了及时滿足生产单位的需要，早日制定出計算設計流量的逕流厚度表，于是我們对各单位試驗的人工降雨資料进行整理及分析工作，制定出土壤平均入渗累积曲綫，提供設計时应用。

我們收集的資料有鐵道科学研究院北碚逕流实验站人工降雨入渗資料111个，选用了其中89个，鐵道部第一設計院在西北地区的入渗試驗資料119个，鐵道部第四設計院在中南、华东地区的入渗試驗資料48个，鐵道部第三設計院試驗資料3个，还有水利电力部太原逕流实验站的入渗資料，并在这次整理时对太原逕流实验站的土壤入渗資料仅作为参考，因它沒有每一次試驗的土壤含沙率，仅有若干次試驗的平均含沙率。以上

試驗資料分为南北两个地区，詳見人工降雨土壤入渗資料簡明表（附表1及附表2）。

这些資料包括：随時間变化的入渗量，以及土壤的物理特征、比重、容重、机械組成等，还有降雨强度和降雨历时。在鐵道部第一設計院的資料中，还有試驗場地坡度、高程等的數據。在这些試驗資料中，几个主要特征的变化范围如下：

北方地区：降雨历时：	100~500分鐘
平均雨强：	0.80~2.90毫米/分鐘
含沙百分率：	9~99.9%
試驗前土壤含水率：	1~30.8%
試驗后土壤含水率：	9.8~40.1%
南方地区：降雨历时：	128~428分鐘
平均强度：	0.39~2.57毫米/分鐘
含沙百分率：	6.0~95.0%
試驗前土壤含水率：	3.3~37.4%
試驗后土壤含水率：	10.4~34.5%

由于資料为数不多，包括得还不全面，还不能把区域分得很細来进行整理；目前祇能概括地分为南北两区。我們現把北滲逕流实验站的資料和鐵道部第四設計院的資料合併起来加以整理，作为我国南方地区的資料，（該地区包括中国暴雨分区图（已出版）：第4、5、6、7、8、9、10、11、12区），应用于南方地区。把鐵道部第一設計院、第三設計院及太原逕流站的人工降雨入渗資料合併加以整理，作为北方地区（包括中国暴雨分区图第1、2、3、13、14、15、16、17、18区），应用于北方地区。这样作法主要是为了滿足生产方面的急迫需要，待今后資料积累更多之后，再詳加分区整理。

分区采用資料情况：共收集到試驗資料278个：南方地区

采用了137个，北方地区采用了141个。

二、入渗资料的整理

1. 整理资料的方法：

我們整理人工降雨土壤入渗資料所用的方法，是根据所采用的逕流計算的公式而定出的，我国公路部門采用了 E. B. 波尔达柯夫的逕流計算公式。

在計算地面余水时，有两条途径，一种是降雨强度减去入渗强度；另一种是乘一折减系数，两种方法的表如下式：

$$q = a - i \dots\dots\dots (1)$$

$$q = a\psi \dots\dots\dots (2)$$

式中： q ——逕流模数

a ——降雨强度

i ——入渗强度

ψ ——逕流系数。 $0 < \psi < 1$

主张用第一种方法的有以苏联的 M. M. 普罗托記亞可諾夫—E. B. 波尔达柯夫和 H. H. 柴可达也夫等，他們采用着 $a - i$ (或 $H - h$) 的形式。而主张用第二种方法的有 A. П. 索柯洛夫斯基 T. П. 罗斯托莫夫等苏联水文学者。我国交通部公路科学研究所和铁道部第四設計院采用了第一种方法即： $q = (a - i)$ 。铁道科学研究所及铁道部第一、二設計院均采用了 $q = a\psi$ 的方法。因此在我们整理人工降雨土壤入渗資料的过程中主要根据第一种方法来計算逕流，因此要寻求入渗量随時間变化的規律，即得出土壤平均入渗累积曲綫。

2. 土壤种类的划分:

土壤分类根据需要不同, 分法极多; 一般则以砂粒、粉土粒、粘土粒三者来区分土壤, 如苏联道路工程手册1953年版中所建议的土壤分类, 把土壤分为九类, M. M. 费拉托夫在道路土壤概论中根据土壤颗粒组成把土壤分为21类。还有许多其他各种分法, 我们主要根据影响土壤入渗的主要因素、土壤的含砂率为准, 以H. H. 威戈戴夫著“小流域逕流計算細則”图111为基本依据, 把土壤分成六类, 列如表1:

表 1

类 别	土 壤 名 称	含 砂 率 %
I	蓝青泥凝土、冻土、无胶凝岩石	0~3
II	粘土、肥沃粘壤土、龜裂土、盐土和碱土	3~13
III	灰化土、肥沃黑土、沙粘土、灰色森林土	13~30
IV	黑土、灰化沙土、栗色生草粘沙土	30~63
V	粘沙土、輕灰化土	63~83
VI	沙	83~100

注: 粘壤土为粘土質垆土。

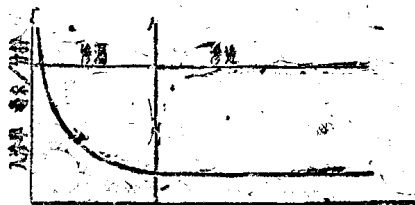
三、人工降雨入渗資料的分析

雨水自地表进入土中, 并在土中运动, 这个现象我们称之为入渗。入渗过程可以分为两个阶段, 即渗漏与渗透两阶段: 渗漏阶段的特征为不稳定流。又因其分子力占主导作用时称为吸水时段, 在重力作用占优势时称为渗漏阶段, 該阶段水利部

門又稱為初損階段。滲透階段的特徵為穩定流，土壤吸水符合達西定律，該段水利部門稱為穩損階段。如下圖：

從降雨強度和入滲率的相對大小來說，又可分為自由入滲（降雨強度小於入滲率）和壓力入滲（雨強大於入滲率）。

在入滲過程中，水的運動是存複雜的土壤—水—空氣三相系統中交互作用下發生的，因此我們現在



來分別研究土壤問題、降雨問題及入滲隨時間的變化規律。

土壤特徵是被它的機械組成與其結構構成的孔隙及比重、容重所表征。土壤吸水性以其物理性質：含水率、滲透性，毛細管上升高度等因素表征。對我們橋涵水文計算方面來說，在現有情況下，土壤特徵我們用土壤分類來表征；而土壤種類，我們又用含沙率來表征。

我們將各時段的入滲量 h_{10} 、 h_{30} 、 h_{60} 、 h_{120} …… h_{900} 作為縱座標，再以含沙率百分數 D 作為橫座標，分別作出關係圖，從圖中可以看出， h 與 D 有著一定的相关關係，雖然它們相關不夠密切，但在現階段上，現有資料情況下，我們作出其相關關係，對實用來說還是必要的。從圖中可以看出，其關係大致為某一幕次拋物綫，又因從實測點子的分布情勢來看，該拋物綫的起點並不是從零點開始，而是從某一個定值起始，這一現象我們認為是符合實際的，因為當含沙率為零，全部是粘土時，由於粘粒的物理化學等性質以及團粒等作用，是有一定的入滲量的，因此我們採用下列方程式：

$$n = mD^n + b \dots\dots\dots (3)$$

用相关的方法并参攷文献的試驗参数数据，确定出公式中的 m 、 n 、及 b ，我們以 h_{60} 为分析对象，得到公式：

南方地区： $h = 0.00866D^2 + 6.2 \dots\dots\dots (4)$

北方地区： $h = 0.00725D^2 + 24.6 \dots\dots\dots (5)$

然后把这个公式計算的数值繪入 $h_{60} = f(D)$ 的图中，如图 1、2 可以看出每一类土壤的平均 $\bar{h}$ 值，均在此綫的左右两侧摆动，說明曲綫还是代表一定的規律。

于是我們即連續作出 h_{10} ； h_{30} ； h_{60} h_{300} 的相关关系：

(見表 2)

表 2

南方地区：	北方地区：
$h_{10} = 0.00169D^2 + 4.5$	$h_{10} = 0.00138D^2 + 8.6$
$h_{30} = 0.00475D^2 + 5.1$	$h_{30} = 0.0038D^2 + 16.6$
$h_{120} = 0.0152D^2 + 5.2$	$h_{120} = 0.0133D^2 + 39.2$
$h_{240} = 0.0288D^2 - 10.0$	$h_{240} = 0.0245D^2 + 53.7$
$h_{300} = 0.0337D^2 - 10.0$	

我們分析南方地区时，采用先固定 b 为一定值 $b = 10.0$ ，然后再設 m 等于 $m_1 t^a$ ，于是列表如次 (表 3)：

表 3

t	10'	30'	60'	120'	240'	300'
m	0.00169	0.00475	0.00856	0.0152	0.0288	0.0337

把它們点繪在对数格紙上，繪成一根直綫 (因为固定了 b 值的关系，所以关系并不太好)，求得参数 m_1 、 a 值，于是得

到下式:

$$h = 0.00047 D^{2t^{0.7}} + 10 \dots \dots \dots (6)$$

在我們分析北方地区的入渗資料时，发现固定 b 值是不妥
当的，因为土壤入渗在不同时段，它的 b 值也是不同的。否則
就会发生以下現象：时段小于 60' 的入渗量、 h_{10} 、 h_{30} 曲綫会偏
高，而大于 80' 的 h_{120} 、 h_{180} 、 h_{240} 曲綫就显得偏低，因此我們
采用了不固定 b 值，同样設：

$m = m_1 t^\alpha$ ，求得下式：

$$h = 0.00017 D^{2t^{0.9}} + k \dots \dots \dots (7)$$

k 值見表 4。

表 4

t	10'	30'	60'	120'	180'	240'
k	8.6	16.6	25.0	39.0	48.7	56.7

上式 t 的指数 α 值，根据 A. H. 致斯加可夫的意見， α 变化
于 0.3 到 0.7 之間，我們的北方地区的 α 值 为 0.9，超过 0.8，
这可能与选取 D 的指数 n 有关，我們分別用图解找出各时段的
 n 值（表 5）来，我們最后选用的 $n = 2$ ，这就影响到 $m = f$
(t)，曲綫变陡而加大了 α 值。因此今后似应注意这种现象。

表 5

t	30'	60'	120'	180'	240'
n	1.64	1.72	1.94	2.1	2.36

总的說来，資料的平均值与我們所选定的关系曲綫符合較
好，但是也有許多个別資料相差几倍。我們以 k_{60} 为分析的对

象，用公式： $\frac{1}{n} \sum \left| \frac{h_{\text{試}}}{h_{\text{觀}}} - 1 \right|$ 作為其平均誤差，求得其誤差

為：

南方地區：誤差：54.6%，

北方地區：誤差：34.8%，

以上的誤差是較大的，至於試驗資料相差這樣大，這已不屬於偶然誤差範圍，主要的原因是我們研究土壤的性質不夠，以含沙率代表土壤種類及土壤結構（結構土壤有團粒結構、塊狀結構）是不夠的，應該尋求一種能表征土壤機械組成及土壤結構的特徵，才能更好的研究土壤入滲問題。

近代著名的土壤吸水的理論，是Г. А. 阿列克賽也夫建議的公式，А. И. 布達戈夫斯基又加以發展，其形式為：

$$i = (\omega - \omega_0) k \left(1 + \frac{h_H + h_K}{\gamma} \right) \dots\dots\dots (8)$$

式中：

i ——土壤入滲率。

ω ——濕潤部份的穩定含水率。

ω_0 ——試驗前土壤含水率（沿深度均勻一致）。

h_H ——土壤表面上水層深。

γ ——入滲水柱高。

h_K ——水在土壤毛細管中上升的平均高度。

在⑥⑦式中，我們可以用 $\omega - \omega_0$ 、 h_K 、 k 等因素來表征土壤結構及土壤機械組成等的客觀反映。而 h_H 是反映充分供水還是非充分供水的問題，如降雨強度大，則供水就較充分；降雨強度小，供水就不夠充分。在鐵道部第一設計院的試驗資料中，曾經用同心環和人工降雨入滲資料進行比較，其比值約為

1.4 : 1.0 即說明在充分供水时，其入渗值約大40%，也就是說在降雨强度很大时，其入渗值也会显著的增加，这一点可用 Г. А. 阿列克赛也夫—А. И. 布达戈夫斯基等理論來說明。因此，我們把降雨强度作为影响入渗的一个因素是必要的。于是我們采用了下式，进行分析研究。

$$\frac{h_{\text{試}}}{h_{\text{經}}} = f(a) \dots \dots \dots (9)$$

$\frac{h_{\text{試}}}{h_{\text{經}}}$ 与降雨强度的关系如图 3、4、5 所示。

同时并分別以各种土壤种类进行单独的比較，得到下列的 IV、V、VI 各土壤的經驗相关关系如下 (表 6)：

表 6

南方地区：			北方地区：
土壤种类	4	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.86a$	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.49a$
	5	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.89a$	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.55a$
	6	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.78a$	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.57a$

式中降雨强度 a 的指数应该是小于 1 的数值，由于資料不够充足，作为初步的定量用一次方还是可以的，并不妨碍其精确性，并考虑到当 a 的指数小于 1 时，势必增加工程技术人員的計算工作量，因此我們采用 a 的指数等于 1。于是得到下列諸式 (見表 7)。

其次我們再来研究含水率对入渗的影响，从公式⑧可以看出，当 $(\omega - \omega_0)$ 大时，則 i 值亦随之增大， $(\omega - \omega_0)$ 小时，則 i 值亦随之减少，因此研究土壤的含水率是非常必要的。于是

表 7

南方地区：		北方地区：	
土壤种类	4	$h = [0.00047D^2t^{0.7} + 10] \times 0.66a$	$h = [0.00017D^2t^{0.9} + K] \times 0.48a$
	5	$h = [0.00047D^2t^{0.7} + 10] \times 0.67a$	$h = [0.00017D^2t^{0.9} + K] \times 0.55a$
	6	$h = [0.00047D^2t^{0.7} + 10] \times 0.73a$	$h = [0.00017D^2t^{0.9} + K] \times 0.57a$

我們用 $\frac{h_{\text{試}}}{h_{\text{經}} f(a)} = f(\omega - \omega_0)$ 的公式形式，但是其結果很难令

人滿意，我們繪制成圖六。但由於點數較少，含水率試樣的代表性不夠，不可能找出其經驗關係，因此我們還是粗略的探索了一下，提出非常粗淺的結果作一定性說明。

因時間很緊迫和資料數量較少，對其他各項因素均未進行分析。

四、平均入滲累積曲線的繪制

將已經分析的結果，按土壤分類的含沙率數值分別繪出各類土壤的上下界線的土壤入滲量隨時間變化的關係曲線，用表 7 諸式進行計算，式中的降雨強度 a 值是隨時間變化的，我們採用南方地區的降雨平均強度：60' 以前 $a_{60} = 1.2$ ，在 90' 內採用 $a_{90} = 1.1$ 。在 120' 以內 $a_{120} = 1.0$ 。在 240' 以後 $a_{240} = 0.9$ 。（北方地區因氣候複雜，雨強差別很大，故對雨強未詳加考慮）。

同時我們將蘇聯 H. H. 柴可達也夫和 Л. Т. 貝欽可娃的平均土壤入滲曲線，繪到圖上與我國南方地區和北方地區土壤平均入滲曲線相比較如圖十所示，一般的可認為，蘇聯的曲線比我

們所採用的各類土壤的平均入滲曲綫均高，H.H.柴可達也夫的曲綫尤甚，這個原因，在很大程度上是由於我國降雨較多，試驗前的含水率也較大，另外我國北方地區曲綫大部均高於南方地區曲綫，這種現象也是以上原因所引起的。

在蘇聯道路科學研究院製定的“逕流標準”中曾規定土壤種類，在季候風地區，土壤入滲應降低一類，也就是說減少了入滲，如原來是第三類土壤，而在季候風地區，應按第二類土壤入滲曲綫進行設計。這樣И.Т.貝欽可娃的曲綫大部都在我國曲綫的下部，而偏於安全，我們的南方、北方地區的曲綫，在他們調整範圍的平均位置，這樣就可避免以往直接應用蘇聯入滲曲綫時，由於提高而發生偏於安全或入滲過大的情況。

從試驗的各類土壤入滲過程綫看來，每一類土壤的上下變幅都很大，如果在設計綫路的個別地區降雨強度很大時，可把該類土壤的入滲曲綫提高一類，降雨強度很小的地區可把該類土壤的入滲曲綫降低一類。然後再進行設計計算。

五、幾點建議

1. 希望今後在進行道路勘測設計時，試用本報告中的各類土壤平均入滲累積曲綫進行水文計算。並驗證其是否合理。

2. 土壤種類的區分，暫用含沙率來鑑別，同時可採用現場簡易測定法確定。

3. 採用這些曲綫的同時，如條件許可在各個地區進行洪水調查，以資比較。有條件時，可作人工降雨或同心環入滲試驗來比較。

4. 建議各單位作人工降雨入滲試驗，求得各省的土壤入滲

曲綫，对逕流厚度表进行調整及改进。

5. 各部門在使用这些曲綫时，可結合当地的土壤性質和名称，初步得出当地哪些土壤符合于本文的那一类曲綫，以便弥补只以含沙率分类的缺陷。

6. 今后应该繼續进行土壤入渗的系統研究，并繼續进行精确的土壤按下渗分类，繼續进行前期含水量的修正和降雨强度的影响等研究工作。