

人工降雨入渗 資料的分析研究

交通部公路科学研究所
田劍影 編著

人民交通出版社

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 插圖頁 4

全書: 18,000 字 印數: 1—2,000 册

統一書號: 15044·2040

定價(10): 0.21元

目 录

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

附表(1)(2): 人工降雨土壤入渗資料簡明表

附圖 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) $\frac{h_{試}}{h_{經}}$ 与降雨强度的关系图

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

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

6. 南方地区含水量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. B. 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。

在鉄道部鉄道科学研究院，各鉄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，初步提出来供公路鉄路及其他方面桥涵水文工作者的参攷。

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鉄道科学研究院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，提出不少宝貴意見，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。

一九五七年鉄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。

我們收集的資料有鉄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，鉄道部第一設計院在西北地区的入渗試驗資料119个，鉄道部第四設計院在中南、华东地区的入渗試驗資料48个，鉄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攷，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滲資料簡明表（附表1及附表2）。

这些資料包括：随時間变化的入滲量，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：	178~428分鐘
平均强度：	0.30~2.57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。我們現把北流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滲資料合併加以整理，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；另一种是乘一折減系数，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： $q = (a-i)$ 。铁道科学研究院及铁道部第一、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线。

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 費拉托夫在道路土壤概論中根据土壤顆粒組成把土壤分为21类。还有许多其他各种分法, 我們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. 戚戈載夫著“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	重青泥炭土、冻土、无發縫岩石	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, 这个现象我們称之为入渗。入渗过程可以分为两个阶段, 即滲漏与滲透两阶段: 滲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滲漏阶段, 該阶段水利部

門又稱為初損階段。滲透階段的特征為穩定流，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，水的運動是在複雜的土壤—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。

土壤特征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，土壤特征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_{300} 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 有着一定的相關關係，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，其關係大致為某一羈次拋物綫，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： $h = 0.00856D^2 + 6.2 \dots \dots \dots (4)$

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} ； $h_{60} \dots \dots \dots h_{300}$ 的相关关系：

(見表 2)

表 2

南方地区：	北方地区：
$h_{10} = 0.00169D^2 + 4.5$	$h_{10} = 0.00138D^2 + 8.8$
$h_{30} = 0.00475D^2 + 5.1$	$h_{30} = 0.0038D^2 + 16.6$
$h_{120} = 0.0152D^2 + 5.2$	$h_{120} = 0.0133D^2 + 39.2$
$h_{240} = 0.0238D^2 - 10.0$	$h_{240} = 0.0245D^2 + 58.7$
$h_{300} = 0.0337D^2 - 10.0$	

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 $m_1 10^a$ ，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	0.0238	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 、 c 值，于是得

到下式:

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

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} 、 \dots 、 h_{300} 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:

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

k 值見表 4。

表 4

	10'	30'	60'	120'	180'	240'
k	8.8	10.8	25.0	39.0	48.7	56.7

上式 t 的指数 α 值, 根据 A. H. 攷斯加可夫的意見, 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現象。

表 5

t	30'	60'	120'	180'	240'
n	1.64	1.72	1.94	2.1	2.26

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, 但是也有許多个别資料相差几倍。我們以 h_{60} 为分析的对

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

为：

南方地区：誤差：51.6%，

北方地区：誤差：34.8%，

以上的誤差是較大的，至于試驗資料相差这样大，这已不属于偶然誤差范围，主要的原因是我們研究土壤的性質不够，以含沙率代表土壤种类及土壤結構（結構土壤有团粒結構、块狀結構）是不够的，應該寻求一种能表征土壤机械組成及土壤結構的特征，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.布达戈夫斯基又加以發展，其形式为：

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

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_H 、 k 等因素来表征土壤結構及土壤机械組成等的客观反映。而 h_H 是反映充分供水还是非充分供水的問題，如降雨强度大，則供水就較充分；降雨强度小，供水就不够充分。在鐵道部第一設計院的試驗資料中，曾經用同心环和人工降雨入滲資料进行比較，其比值約为

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Γ. A. 阿列克賽也夫—A. H. 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 II、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	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.69a$	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.49a$
	5	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.69a$	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.55a$
	8	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.78a$	$h_{\text{試}}/h_{\text{經}}=0.57a$

式中降雨强度 a 的指数應該是小于 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

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

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，我們繪制成图六。但由于点据較少，含水率試样的代表性不够，不可能找出其經驗关系，因此我們还是粗略的探索了一下，提出非常粗淺的結果作一定性說明。

因時間很紧迫和資料数量較少，对其他各項因素均未进行分析。

四、平均入渗累积曲綫的繪制

將已經分析的結果，按土壤分类的含沙率数值分別繪出各类土壤的上下界綫的土壤入渗量随時間变化的关系曲綫，用表 7 諸式进行計算，式中的降雨强度 a 值是随時間变化的，我采用南方地区的降雨平均强度：60' 以前 $a_{60} = 1.2$ ，在 60' 內采用 $a_{90} = 1.1$ 。在 120' 以內 $a_{120} = 1.0$ 。在 240' 以后 $a_{240} = 0.9$ 。（北方地区因气候复杂，雨强差別很大，故对雨强未詳加考虑）。

同时我們將苏联 H. H. 柴可达也夫和 Л. Т. 貝欽可娃的平均土壤入渗曲綫，繪到图上与我国南方地区和北方地区土壤平均入渗曲綫相比較如图 1 所示，一般的可認為，苏联的曲綫比我

們所採用的各類土壤的平均入滲曲綫均高，H.H. 貝可達也大的曲綫尤甚，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制定的“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Н.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太的情況。

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。

参 考 文 献

1. 小流域暴雨地面逕流之研究 (三)、
铁道科学研究院
徐在庸黃文俊
1958年北京
2. 水流与渗流的研究
铁道科学研究院編譯
人民铁道出版社
1958年北京
3. 水向土中入渗 A. И. 布达戈夫斯基著
水利出版社
徐在庸譯
1957年
4. 人工降雨試驗土壤入渗研究 (底稿)
铁道部第一設計院
1959年兰州
5. 小流域逕流計算細則
樊学鵬譯徐在庸校
苏联運輸建筑部編
铁道研究院1957年
6. 中国暴雨分区图的研究
公路科学研究所
甘城道田劍影
1959年
7. 土壤入渗測驗資料的整理
水利譯丛
苏联B. A. 自林斯基
1957年第6期
8. 人工降雨入渗損失試驗研究報告 (油印本)
河南省水利厅水利科学研究所
1958年
10. Речной сток Д. Л. Соколовский Гидрометеиздат 1952
11. Потери на впитывание при ливневом стоке Л. Т. Бычкова Информационное письмо №79 Дорнии
Автотраниздат

人工降雨土壤入渗资料摘要表

南方地区:

附表 (1)

编号	历时 分钟	雨量 毫米/分钟	含沙率 %	含水率%		入 渗 量 毫 米						
				试验前	试验后	h_{10}	h_{30}	h_{60}	h_{120}	h_{180}	h_{240}	h_{300}
①	214	1.56	44	27	28	2	18	25	34	43	52	62
2	305	1.51	59		20	9	16	24	36	47	58	69
5	253	1.39	56		27	6	10	16	23	30	37	44
6	310	1.47	51		24	5	10	16	26	36	47	57
7	300	1.53	52		25	6	13	23	45	66	87	109
8	334	1.08	57		13	3	12	17	28	38	49	59
9	308	1.31	35		19	0	9	13	18	21	25	29
10	318	1.14	49		22	4	7	9	15	21	27	32
11	314	1.08	44		21	3	3	12	19	27	34	42
12	258	1.24	44		19	6	11	17	29	40	52	64
13	354	1.24	43		35	5	11	20	37	51	62	73
14	298	1.18	60		19	8	15	21	30	39	48	56
15	318	1.23	65		10	13	20	39	58	77	95	114
16	284	1.02	62		20	11	20	31	50	70	90	109
17	232	1.16	63		16	12	23	43	61	73	82	89
18	240	1.37	38		22	10	24	36	54	68	82	97
19	210	1.22	46		19	13	26	39	65	70	85	99
20	268	1.33	47		25	9	19	30	50	71	91	110
21	342	1.21	50		17	13	23	31	39	46	53	60
22	302	1.03	40		23	10	22	34	45	53	61	69
23	312	1.20	48		25	6	16	15	26	27	48	59
24	422	1.44	30		13	9	13	18	26	34	46	47
25	428	0.50	51		21	6	12	13	28	38	49	59
26	292	1.31	52		20	7	16	25	43	60	77	94
34	322	1.68	84	12	19	23	64	124	239	309	368	467
35	312	1.81	92	9	26	28	76	132	245	316	390	468

注: ①铁道部科学研究院北碚站1957年资料

30	380	1.46	95	13	23	6	44	83	157	228	299	376
37	240	2.37	53	9	22	32	80	140	244	346	443	543
38	363	2.40	94	9	26	24	63	123	210	291	372	453
39	324	1.85	53	23	24	21	67	126	225	301	364	414
40	308	1.78	92	11	25	23	60	107	186	252	318	384
41	340	1.87	94	10	25	23	60	110	197	279	362	443
42	320	1.77	92	12	22	30	67	108	171	232	293	353
43	350	1.50	81	11	24	17	33	69	123	173	217	258
44	328	1.36	77	12	23	16	30	49	84	116	147	176
45	328	1.73	88		22	23	68	124	214	287	370	423
46	370	1.63	95		26	31	79	129	201	269	343	388
47	358	1.64	97	13	19	22	54	98	162	215	266	312
48	312	1.24	91	13	24	17	34	66	90	118	146	172
49	376	1.22	85	13	22	16	30	44	71	97	120	144
50	384	1.33	93	10	28	23	37	110	176	230	277	321
51	340	1.08	87	15	22	15	28	38	56	74	91	108
52	360	1.57	95	9	27	23	69	129	225	307	373	430
53	376	1.79	96	9	22	26	64	116	207	273	346	406
54	424	1.95	83	12	25	15	27	41	66	90	110	136
55	384	0.98	88	13	16	10	13	27	47	65	84	107
56	356	0.81	84	15	22	6	14	24	34	47	66	81
70	348	0.77	56	22	24	3	3	8	10	13	17	20
71	216	0.71	57	21	25	5	10	15	22	29	36	43
72	360	0.74	57	20	23	3	3	6	8	10	12	14
73	360	0.80	60	22	22	4	10	14	21	27	34	40
74	344	0.77	62	21	23	3	6	8	12	16	20	24
75	368	0.73	62	22	24	2	3	6	7	9	11	13
76	340	0.85	61	21	24	7	13	17	24	31	37	44
77	356	0.82	72	19	24	6	12	16	23	30	37	45
78	376	0.86	68	23	25	5	11	12	19	26	33	39
79	372	0.87	53	18	23	10	13	20	37	48	59	70
80	344	0.92	56	20	24	6	11	14	20	27	34	41
81	412	0.82	56	23	27	4	8	11	15	19	23	26

續表

編 號	雨時 分鐘	雨強 毫米/ 分鐘	含沙 率 %	含水率%		入 滲 量 毫 米						
				試驗 前	試驗 后	h_{12}	h_{30}	h_{60}	h_{120}	h_{180}	h_{240}	h_{300}
1①	200	1.21	38	9	21	8	21	32	72	102		
2	292	1.20	51	14	16	10	26	49	90	127	165	203
3	376	0.77	35	9	22	8	21	34	53	70	88	104
4	380	0.84	36	11	22	4	11	17	27	37	40	47
5	412	0.82	33	17	20	2	5	9	15	21	27	32
6	396	0.87	44	12	20	4	11	17	26	33	40	48
7	400	0.36	41	15	18	5	14	26	45	66	86	107
8	384	0.31	41	18	24	6	17	27	43	59	71	83
9	332	0.73	49	11	21	9	15	19	22	23	32	37
10	313	0.85	47	11	23	9	18	24	30	36	41	47
11	334	0.83	40	10	28	10	19	26	32	39	45	53
12	334	0.81	56	9	18	4	3	11	16	20	24	28
13	356	0.85	55	15	21	1	3	4	5	7	10	11
14	338	0.79	51	12	20	2	4	7	11	14	18	21
15	372	0.85	62	12	19	3	6	3	10	13	16	18
16	368	0.87	48	7	21	1	3	4	5	6	8	9
17	396	0.85	68	9	21	8	17	24	34	42	48	53
18	400	0.76	62	13	24	7	14	21	32	41	51	61
19	360	0.70	67	15	25	6	12	20	32	43	54	66
20	368	0.82	75	7	26	7	14	23	42	59	74	89
21	300	0.68	62	9	20	7	16	23	49	69	90	110
22	372	0.65	56	3	18	7	18	16	24	31	38	46
23	372	0.75	63	11	17	2	3	8	11	16	20	26
24	368	0.80	50	14	23	6	13	21	34	48	63	76
25	304	0.93	53	8	22	11	26	45	83	120	150	177
26	252	1.05	55	7	23	10	26	47	88	130	171	213
27	256	0.91	25	14	19	12	19	26	38	48	56	62
28	268	0.92	30	12	19	11	22	34	52	66	77	86
29	208	0.71	38	17	26	9	21	36	61	83		

注：①铁道研究院北塘运流实验站1968年資料

續表

30	224	1.99	38	18	23	8	18	30	51	70	90
1①	178	0.58	50	13	18	7	17	28	41	53	
2	183	0.42	49	15	21	5	14	18	28	35	
3	180	0.69	38	12	22	17	23	27	37	46	
4	180	0.43	35	28	32	5	15	30	50	69	
5	180	0.51	34	15	26	6	13	21	40	59	
6	180	1.18	27	14	23	20	28	37	52	67	
7	178	0.40	25	26	29	6	13	23	45	58	
8	180	1.36	25	18	18	20	27	33	57	75	
9	180	0.56	24	25	27	12	16	26	47	63	
10	180	0.89	23	16	16	16	18	27	40	69	
11	180	0.30	21	18	21	8	9	12	17	20	
12	178	0.57	13	19	25	8	17	27	43	58	
13	178	0.35	17	28	32	4	10	24	34	43	
14	178	0.35	17	13	23	5	13	24	42	58	
15	180	0.74	16	21	29	20	29	44	73	109	
16	180	0.54	15	24	25	5	15	28	52	76	
17	180	1.12	14	11	31	12	28	46	74	103	
18	180	0.32	13	18	23	6	12	19	30	38	
19	180	0.74	13	18	27	13	29	43	69	98	
20	180	0.70	10	19	29	16	23	33	50	63	
21	180	0.48	6	45	17	8	9	12	18	24	
1②	180	1.05	60	14	17	2	4	5	6	8	
2	180	1.05	13	20	28	3	7	11	16	21	
3	180	1.00	12	21	28	3	6	8	13	17	
4	180	0.93	39	24	19	2	3	4	5	6	
5	180	1.19	19	25	26	3	3	11	19	25	
6	180	1.01	22	24	27	2	5	8	12	15	
7	180	0.99	13	22	25	2	7	11	16	22	
8	180	0.98	10	27	30	3	4	5	7	8	
9	180	0.95	10	25	26	2	5	8	15	20	

注：①鐵道部第四設計院津浦綫徐州至浦口段資料

②鐵道部第四設計院沪宁綫上海至南京段資料

續表

編號	時間 分鐘	雨強 毫米/分鐘	含沙率 %	含水率%		入 滲 量 毫米						
				試驗前	試驗后	h_{10}	h_{30}	h_{50}	h_{75}	h_{100}	h_{240}	h_{300}
10	180	0.95	9	20	28	2	6	9	16	21		
11	180	0.93	11	15	27	3	4	6	7	9		
12	180	1.03	10	17	28	3	4	6	8	12		
13	180	0.95	10	19	25	2	4	5	7	10		
14	180	1.05	15	26	26	2	4	8	14	18		
15	180	1.07	14	20	24	3	6	9	13	16		
16	130	1.13	15	24	25	2	4	6	10	16		
17	180	1.01	12	20	27	2	3	7	6	8		
18	130	0.91	17	23	25	2	2	3	5	6		
19	180	1.02	19	23	23	2	4	6	7	8		
20	130	2.1	19	34	35	4	10	14	23	30		
21	180	1.79	15	23	24	4	9	11	14	20		
22	180	1.40	14			3	4	7	11	14		
23	180	1.09	16			2	5	6	10	14		
24	180	1.37	19			2	5	8	13	16		
25	130	0.88	13			3	5	7	8	11		
26	130	0.87	18	22	25	2	4	7	8	11		
27	180	1.03	18	24.8	25	2	5	8	12	16		
28	180	1.05	22	21	24	2	4	6	12	15		
29	180	1.04	17	20	25	3	5	8	9	10		

人工降雨土质入渗资料简明表

北方地区:

附表(2)

编 号	历时 分钟	雨量 毫米/分钟	全沙率		含水率%		入 渗 量 毫 米						
			前	后	前	后	h_{10}	h_{30}	h_{60}	h_{120}	h_{180}	h_{240}	h_{300}
1	130	1.81	46	12	18	5	13	5	43				
2	246	2.18	26	7	30	8	17	25	47	72	95		
3	180	1.20	32	8	30	12	22	38	61	91			
4	248	2.21	27	8	25	8	17	28	46	62	80		
5	232	2.47	25	12	20	3	6	12	23	34	41		
6	233	2.73	22	11	20	5	12	22	38	70			
7	180	2.24	22	8	30	10	17	26	51	76			
8	216	2.20	23	10	30	6	10	16	30	46			
9	244	2.58	23	11	24	9	19	33	67	122	156		
10	252	1.00	35	9	26	5	11	18	51	87	64		
11	250	1.85	30	9	31	8	20	33	61	68	113		
12	258	1.62	21	8	22	6	12	20	34	69	61		
13	244	1.35	25	11	28	8	11	17	28	40	43		
14	240	1.47	32	9	22.3	5	10	16	30	43	54		
15	246	1.90	30	7	30	21	30	33	52	67	81		
16	274	1.52	35	7	21	7	12	17	27	38	47		
17	240	1.60	21	3	23	11	22	30	50	74	86		
18	248	1.75	31	5	23	7	14	22	36	61	66		
19	258	1.50	32	2	21	9	16	25	42	59	76		
20	242	2.95	13	4	31	7	16	25	44	61	78		
21	250	2.21	91	2	18	30	80	134	220	291	342		
22	232	2.43	39	1	20	42	110	137	314	426			
23	240	2.09	34	4	20	9	15	22	34	45	56		
24	258	2.06	34	1	10	7	15	23	38	52	65		
25	513	2.43	96	3	13	22	60	119	228	328	415	496	
26	210	2.73	97	3	20	18	66	115	249	369			
27	242	2.49	79	4	28	10	17	25	39	51	68		

注: ①铁道部第一设计院试验资料

續表

觀 號	雨時 分鐘	雨強 毫米/ 分鐘	含沙 率 %	含水率%		入 滲 量 毫 米						
				試驗 前	試驗 后	h_{10}	h_{20}	h_{30}	h_{120}	h_{180}	h_{240}	h_{300}
28	300	2.25	94	2	13	23	63	121	215	305	386	467
29	343	2.06	71	1	28	16	28	40	65	86	107	
30	270	1.90	59	4	20	21	46	72	116	156	197	
31	254	2.33	82	3	15	28	74	125	213	281	348	
32	264	1.84	80	5	24	11	32	57	102	146	197	
33	260	2.07	47	9	18	12	28	47	76	103	132	
34	299	2.19	93	4	18	22	60	112	219	325	467	
35	220	2.46	84	3	21	18	48	83	144	208		
36	318	1.76	75	8	21	13	38	66	116	166	199	242
37	248	2.02	81	3	19	17	50	91	159	232	285	
38	244	2.08	77	2	20	18	47	86	152	207	261	
39	282	1.96	63	2	—	11	23	40	83	117	151	
40	242	2.32	49	3	22	4	13	23	48	70	93	
41	244	2.16	37	4	24	7	16	26	48	69	90	
42	240	2.18	36	3	26	13	30	47	68	94	122	
43	240	2.45	34	11	27	14	26	40	64	85	104	
44	240	1.88	17	4	30	7	13	23	44	63	82	
45	242	2.04	19	4	23	10	20	34	62	88	117	
46	202	2.69	36	3	17	8	15	23	38	55	73	
47a	240	2.14	31	3.3		8	13	19	36	50	64	
47b	240	2.02	31		30	8	10	16	28	40	52	
48	208	2.35	20	3	23	16	31	52	89	123		
49	180	2.67	19	11	25	6	12	20	32	44		
50	142	2.27	19	8	31	5	12	22	40	57	76	
51	240	2.93	28	6	25	4	8	12	19	30	41	
52	210	2.11	39	12	25	8	18	30	58	88		
53	158	2.13	58	15	20	6	8	12	20			
54	150	2.63	53	15	21	5	9	14	27			
55	200	2.54	40	12	24	8	18	31	55	80		

續表

56	210	2.74	31	8	28	8	15	25	15	62	
57	240	0.82	27	14	30	8	17	28	51	71	87.6
58a	210	0.81	23	11		6	11	16	32	47	
58b	122	0.80	23		30	9	14	20	35		
59	240	1.43	22	15	30	8	18	38	62	90	118
60a	180	1.05	27	10		7	11	19	31	44	
60b	180	1.09	27			5	13	18	26	36	
60c	180	0.99	27			5	9	15	26	35	
60d	180	1.07	27			4	8	15	25	35	
60e	182	1.43	27			4	8	14	25	37	
60f	180	1.37	27		25	6	10	16	28	36	
61	240	1.13	25	7	23	7	11	17	29	40	50
62	243	1.57	25	9	28	8	15	27	53	76	102
63	182	1.54	98	4	17	22	47	81	153	226	
64	182	1.38	94	4	14	25	51	82	162	240	
65a	180	1.56	99.9	4		23	56	96	175	274	
65b	180	1.09	99.9		17	14	34	63	125	183	
65c	180	1.94	99.9	3	15	22	50	90	168	238	
66	180	1.53	99	3	16	16	43	85	170	242	
67	180	1.44	99	3	13	20	47	89	167	235	
68	180	1.68	96	3	13	18	52	106	200	275	
69	180	2.13	99.9	2	13	23	55	100	191	275	
70	180	1.83	90	2	13	21	57	108	209	314	
71	188	1.80	97	3	15	16	41	72	123	167	
72	182	1.87	82	4	12	16	29	47	88	127	
73	182	2.25	85	6	20	32	72	110	172	227	
74	300	2.28	57	5	21	22	43	72	125	175	232
75	300	2.81	92	2	16	22	59	117	215	307	398
76a	240	2.16	85	2		21	54	87	155	227	305
76b	182	2.51	95		17	20	47	84	152	222	
77	296	1.81	99	2	17	32	70	120	223	329	449
78	182	2.17	87	3	14	34	62	111	199	284	
79	240	2.81	86	1	18	21	53	105	205	300	386

續表

點 號	時 分	時 分	含沙 率 %	含水率%		入 滲 量 毫 米						
				試驗 前	試驗 后	h_{10}	h_{20}	h_{30}	h_{120}	h_{180}	h_{240}	h_{300}
80	245	2.14	91	3	13	17	38	75	169	266	356.6	
81	215	2.06	77	4	17	22	55	98	157	212		
82	244	1.74	90	1	15	13	30	54	94	123	151	
83	302	1.99	99	3	19	17	37	71	140	210	267	316
84	303	1.96		6	28	18	38	63	102	140	173	209
85	304	1.85	33	5	20	16	32	54	91	123	152	176
86	190	2.54	94	2	13	28	57	105	187	261		
87	304	2.08	82	1	11	12	31	50	87	112	140	167
88	142	2.14	83	3	11	27	51	76	120	157	190	
89	240	2.35	94	4	18	23	64	109	188	249	301	
90	312	1.93	84	13	15	12	21	32	51	66	81	95
91	240	2.06	88	5	15	21	48	84	143	192	232	
92	240	2.19	93	3	11	9	19	32	52	70	87	
93	200	1.61	21	22	31	12	21	31	45	56		
94	300	1.69	13	29	31	19.3	36	46	62	73	91	
95	240	1.39	17	31	43	14	35	48	71	92	113	
96	170	2.25	17	25	31	26	61	99	155			
97	312	2.03	70	3	12	9	20	34	56	74	89	102
98	240	1.96	74	3	23	8	20	36	64	90	114	
99	315	1.46	55	5	15	10	19	29	45	59	75	91
100	302	1.65	47	13	15	18	38	63	107	151	188	226
101	300	1.49	37	7	20	14	27	43	71	100	128	156
102	240	1.82	50	8	13	13	24	38	64	90	111	
103	240	1.60	76	5	18	15	39	65	110	151	189	
104	240	1.87	51	9	24	13	25	33	61	81	100	
105	329	1.56	45	10	28	10	18	28	47	65	84	102
106	240	1.57	57	6	25	14	27	43	71	99	130	
107	240	1.64	54	11	20	18	39	56	81	101	121	
108	330	1.77	70	9	19	31	56	77	108	134	158	182

附表

109	240	1.55	68	7	25	16	42	76	122	150	93	
1①	180	0.88	25			10	24	45	91			
2	180	0.90	25			8	18	35	72	111		
3	180	1.10	26			10	28	56	103	158		
4	180	0.80	26			9	19	34	61	97		
5	188	1.1	26			11	26	50	94			
6	184	1.2	26			14	29	51	91			
7	180	2.14	48			10	18	28	46	63	112	
8	180	1.97	41			8	15	26	34	40	62	72
9		2.0	31			7	13	19	27	49		
10		2.1	33			11	22	36	63	92		
11	180	1.26	20	14	19	10	19	28	48			
12	180	1.60	20	17	20	9	16	26				
13	186	1.27	20	18	23	10	20	32	54			
14	190	1.74	24	13	19	5	11	17	30	43		
15	180	1.84	24	13	18	5	8	13	24	34		
16	180	1.57	42	14	20	14	32	50	78			
17	330	1.57	42	14	22	6	18	27	44	58	72	80
18	150	1.50	42	14	22	15	40	71	125			
19	180	1.60	30			14	27	37	54	63		
1②		1.58	47			11	24	39	59	80		
2		1.33	62			23	54	89	151	212		
3		1.18	66			11	26	43	74	105		

注：①太原逕流實驗站資料（1957年）
太原逕流實驗站資料（1956年）

②鐵道第三設計院津浦綫實驗資料

