

潞河流域坡面水土保持 工程措施作用的分析

潞 河 綜 合 試 驗 站
水利科学研究院河渠研究所潞河工作組

水 利 电 力 出 版 社

萍河流域坡面水土保持工程措施作用的分析

萍 河 綜 合 試 驗 站
水利科學研究院河渠研究所萍河工作組

*

1625S529

水利電力出版社出版 (北京西郊科學路二里壽)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 開本 * 1 $\frac{3}{4}$ 印張 * 45千字

1959年1月北京第1版

1959年1月北京第1次印刷(0001--3,100冊)

統一書號: 15143·1432 定價(第9類)0.29元

前 言

去冬今春在全国范围内开展了规模壮阔的包括水土保持坡面工程措施的水利建设高潮。为了总结这方面的群众经验，今年河南省在潞河流域布置了径流观测。本文就是根据该地一部分观测成果来说明坡面水土保持工程措施对液固体径流的影响，并对其中一些问题进行了分析。

这里所指的工程措施，在山区为鱼鳞坑和水平沟，在丘陵区则为梯田水窖。

由于本文完成比较仓促，特别由于我们水平所限，所以谬误之处一定很多，热切希望批评指正。

文中图表是潞河综合试验站的观测成果。河渠研究所参加潞河工作组的同志是侯晖昌、姜乃森和周文浩。

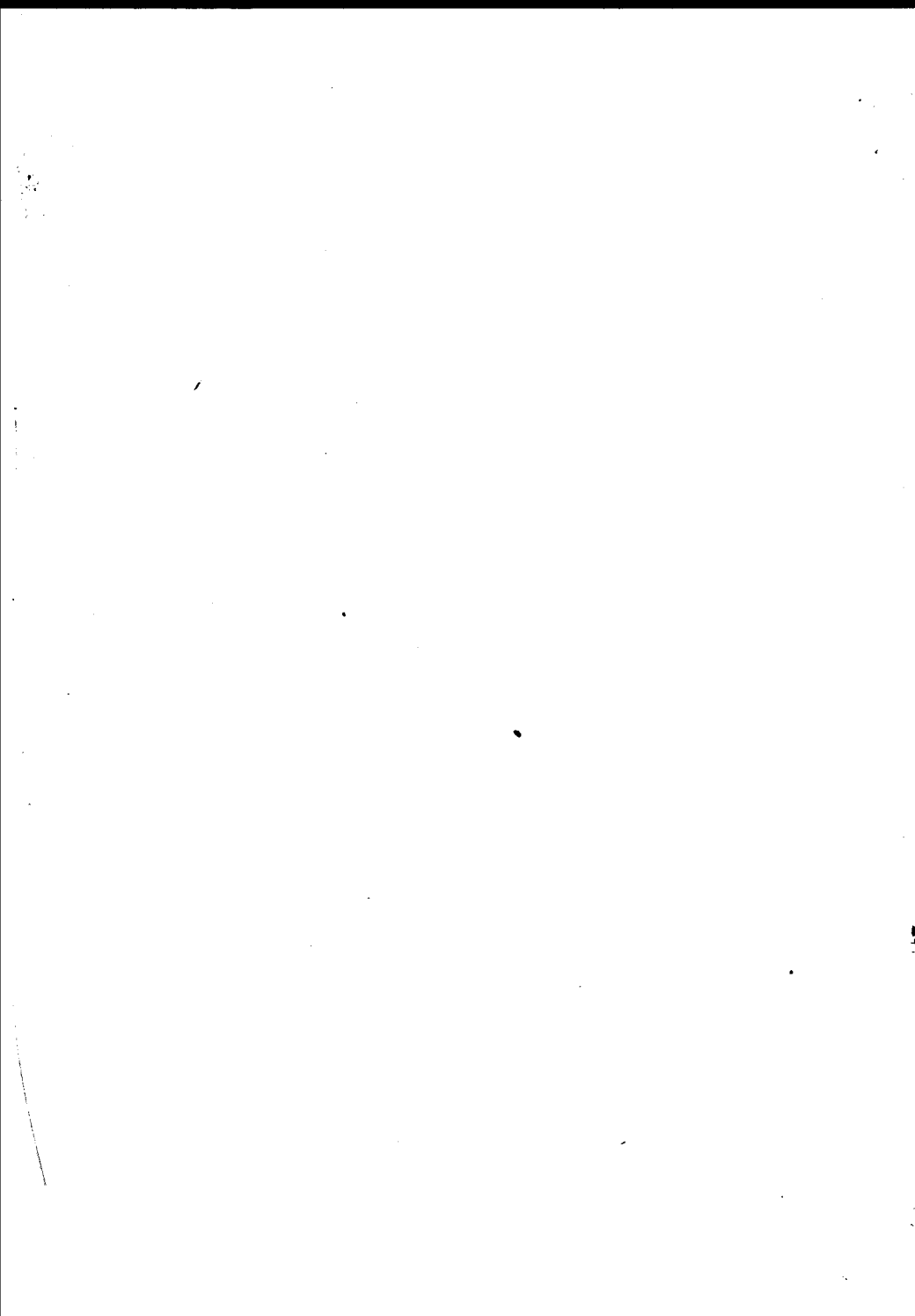
河渠研究所潞河工作组

1958年9月

* * *

目 录

一、梯田在黄土丘陵区水土保持工作中的作用.....	3
二、梯田区的水土流失和梯田蓄水能力问题.....	14
三、水窖的作用和路沟冲刷的防止.....	18
四、水窖的蒸发和渗透问题.....	23
五、梯田和水窖的结合和水窖合理布置问题.....	38
六、鱼鳞坑在水土保持工作中的作用.....	42
七、鱼鳞坑的行距与列距问题.....	46
八、水平沟的作用及计算.....	52
九、综合措施对固体径流的影响.....	54
十、结 语.....	56
参考文献.....	57



一、梯田在黃土丘陵区水土保持工作中的作用

汾河流域的丘陵区的梯田是具有悠久历史的台阶式的梯田，它們大部都是逆坡梯田，也有一部分是条盤式平面梯田。長期以来，羣众已养成了“起高垫低”和“里切外垫”的修梯田的习惯。据羣众反映，在李庄的四十多年中，只发生过兩次梯田局部溢流現象。今年汛期由于特大暴雨，梯田也只发生个别溢流破坏現象。在一般的暴雨情况下，已做到水不下坡，土不流失。梯田是农民長期与水土流失斗争中丰富經驗的結晶。經驗証明，梯田的修筑是黃土丘陵区做好水土保持的一个最基本方法。

梯田的作用是显著的，但对水土保持中梯田的作用和应修怎样的梯田的問題，目前还没有一致的意見。具体做法服务于工作的目的。因此，基本問題是修梯田的目的是什么？

一般說法是：“按照水土保持的原則，应尽量地把地表徑流攔蓄在坡面上，攔蓄在田里，达到水不下坡的目的”。这样，梯田的修筑就仅仅是为了攔蓄徑流，仅仅是为了做好水土保持工作。从这种看法出发，就要求梯田修成水平或鍋式梯田，必要时还得修地埂，以免徑流溢出坡面。

我們認為，水不下坡和防止土壤侵蝕是水土保持工作的效果的表现，而不是水土保持工作的根本目的。水土保持的根本目的是发展生产。至于达到这个目的所需采取的措施問題，則需根据地区的自然条件来决定。黃土丘陵区的自然条件是地势比較高，而且因为水土流失，沟壑切割的結果，地下水位比較低。因受东南季候风的影响，在这些地区汛期暴雨頻繁。济源年平均降雨量为676公厘，而暴雨最多的月份，即可能造成水土流失的月份（6，7，8月）占全年降雨量的70%（西北其他黃土高原地区年降雨总量一般在400~500公厘之間，但汛期降雨量占年降雨量的百分数仍在60%左右）。由于上述自然情况，要求要在这地区发展农业

生产，就必须也只能利用汛期丰沛的雨量。

因此，为了促进农业生产的发展，在水土流失的黄土丘陵地区的水土保持工作就不仅仅是消极地以使水土不流失为满足，而且要积极地利用汛期雨量丰沛的这一优越条件，尽量把能够形成地表径流的水流真正“蓄”起来，使消极的土的流失原因化为积极的发展农业生产的重要物质条件。因此，首先要解决的是改变因袭地把暴雨和所形成的径流只看成是祸害的看法，要把坏事看成好事。观点确定了以后关键就在于创造条件。毛主席说：“矛盾着的对立的双方互相斗争的结果，无不在一定条件下互相转化。在这里，条件是重要的。没有一定的条件，斗争着的双方都不会转化”（参26）^①。条件是要人创造的。对我们的具体情况来说，所谓条件就是改变下垫面。改变了下垫面，借以改变径流的方向和流态，我们就有可能“化”。对黄土丘陵区来说，下垫面改变的主要内容就是修梯田。

但是，修那种形式的梯田才能达到不仅水土不流失，而且还能真正“蓄”径流，使成为发展农业生产的物质条件；按照梯田对径流的作用我们把梯田分为：1) 顺坡(正坡)不带埂梯田；2) 平坡或锅底形梯田；3) 倒坡梯田或顺坡带埂梯田三类。



图 1-1 顺坡梯田作用示意图

先谈顺坡不带埂梯田。不管什么样条件下，坡面径流总是沿着垂直于等高线的方向往下流动(在水土保持中名为流线方向)。修了顺坡梯田以后，虽然改变了等高线的分布，和增大了坡面的等高线的平面间距，从而使径流流速减缓，但基本上没有改变流线方向，也没有改变坡面径流汇集过程。图 1-1 虚线表示原坡面

① “参26”表示见参考文献26，下同。

剖面，其坡度为 1 ，虛綫箭头代表坡面徑流方向，而箭矢長短則代表地表徑流量的大小。由于坡面徑流量是往下逐漸增加的（詳下），因此箭矢往高逐漸伸長。實綫代表梯田剖面，其坡度为 i ，由于 $1 > i$ ，因此梯田局部地改变了徑流方向，但徑流量往下逐漸增加和箭矢往下逐漸伸長的事實沒有改变。

因此，順坡梯田不但不能起攔蓄徑流的作用，而且不能根本消除水土流失的原因。

平坡或鍋底形梯田无疑能够攔蓄坡面徑流，但除了一部分土壤水分能够为植物吸收利用以外，大部分徑流將入滲加入地下水从而从地下滲失，和从地面蒸发損失。攔蓄徑流的措施虽是为了做好水土保持，但还要服务于农业生产。徑流不流失，則土壤和有机肥料也不会流失，对于农业生产只是一方面，并且是消极的一方面。在另一方面在积极意义上說，平坡或鍋底梯田还是沒有起既能攔又能“蓄”的作用。

因此，平坡或鍋形梯田能攔阻徑流消除水土流失，但对坡面徑流只起能攔不能蓄的作用。

倒坡梯田則根本改变了局部等高綫的分布，改变了等高綫遞减方向和徑流流动的方向（要是沒有漫溢），切断了原坡面徑流，从而消灭了徑流在坡面上汇集过程，并且由于坡度的减少也就减少了坡面流速。倒坡梯田作用見图 1-2。图中虛綫仍代表原坡面和徑流方向和量的大小。在倒坡梯田情況下，不但徑流方向改变，而且其量也保持常数（矢長不变）。这是倒坡梯田作用的一方面。

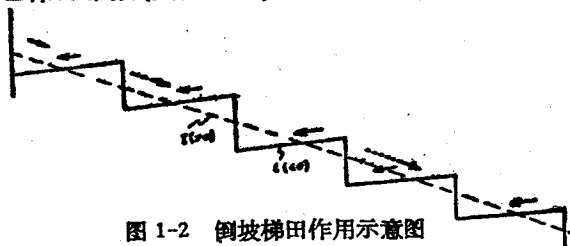


图 1-2 倒坡梯田作用示意图

另一方面，由于梯田具有一定的坡度，就有可能借以引导徑流到一定地方利用其他蓄水措施把徑流蓄起来（見“三”）。

因此，倒坡梯田能攔阻徑流消除水土流失，也能起到引导控制徑流方向的作用。至于蓄水則需利用其他措施。

从水土保持和发展农业生产兩方面来要求，梯田应起到如下的作用：①减小坡面坡度，从而减缓地表徑流流速。②分散坡面徑流，把連續坡面改变为坡度不連續的坡面，从而切断坡面徑流，避免了地表徑流迭加汇集現象。以上兩种作用的总和，就使地表水土流失在很大程度上减弱。③引导梯田面和坡面徑流到一定方向，以便进行蓄水。

順坡帶埂梯田对徑流的作用基本上和倒坡梯田作用相同，差別只是其徑流方向和图 1-1 相同；而表示徑流量的箭矢長短則和图 1-2 相同。在修梯田的實踐中由于地埂比較單薄，在徑流汇流过程中有可能发生滲漏和塌陷，因而影响到以下一連串梯田的作用。所以順坡帶埂梯田只是一种过渡形式梯田。

从上面所述的梯田作用和服务的目的看来，梯田应修成倒坡；在向倒坡梯田过渡过程中应修地埂以攔阻和切断坡面徑流。

为了进一步了解梯田作用的實質，以下試对坡面徑流的水力性質进行分析：

1) 梯田徑流流速的相对减小問題。土壤侵蝕是由于瞬时徑流流速达到和超过坡面的土壤临界冲刷流速值，因此土壤的顆粒被挾运和悬移。徑流流速一方面决定于降雨强度和入滲率，也决定于徑流長度和地面坡度。

水的流失和土的流失經常相伴随，并且兩者有着密切相互关系。修梯田的作用总的來說是水土保持，但細致來分則对液体徑流言，是为攔截和引导創造条件，以达到在坡面蓄水的目的。对固体徑流言，則减缓徑流流速和流量，以至于小于临界流速值，从而避免土壤流失。

坡度改变究使坡面流速相对减少多少？为簡單起見令坡面水流为均匀流量求其关系。令原坡面和梯田面的坡度各为 I 和 i ，相当水深各为 H 和 h ，流速各为 V 和 v 。根据滿宁公式有：

$$V = 0.48 \sqrt{RI} = \frac{1}{n} H^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}};$$

$$v = C \sqrt{ri} = \frac{1}{n} h^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}.$$

坡面和梯田面單寬流量为 q_1 和 q_2 :

$$q_1 = VH = \frac{1}{n} H^{\frac{2}{3}} \cdot H \cdot I^{\frac{1}{2}},$$

$$q_2 = vh = \frac{1}{n} h^{\frac{2}{3}} \cdot h \cdot i^{\frac{1}{2}}.$$

当 $q_1 = q_2$ 时:

$$\left(\frac{H}{h}\right)^{\frac{5}{3}} = \left(\frac{i}{I}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{即} \quad \left(\frac{H}{h}\right) = \left(\frac{i}{I}\right)^{\frac{3}{10}}.$$

由于

$$\frac{H}{h} = \frac{v}{V},$$

故

$$\frac{v}{V} = \left(\frac{i}{I}\right)^{\frac{3}{10}}.$$

因此坡面坡度减小为 i 以后, 其流速减小为坡度比的 $\frac{3}{10}$ 次方; 而

徑流深則增加为坡度比的 $\frac{3}{10}$ 次方。

如果按照实验公式 $V = AI^{\frac{3}{10}}$ 計算(參 14), 則:

$$\frac{v}{V} = \left(\frac{i}{I}\right)^{\frac{3}{10}}.$$

例如坡度为 25° 的山坡改为坡度为 2 % 的梯田以后, 在同样的降雨强度和徑流長度下其流速减少 2~3 倍。

2) 实际上, 坡面梯田面的水流不是均匀流, 上述計算只能視為

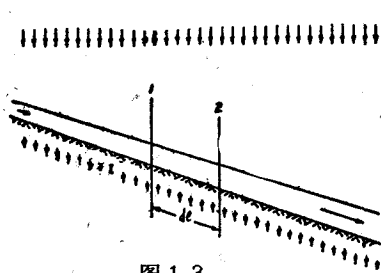


图 1-3

估算数值。真正的坡面徑流水力特征数值必須根据反映这种运动的方程式来推求。令坡面宽度为單位宽度, 在坡面上截取長度为 dl 的一段来看(图 1-3), 令通过断面 1 的單寬徑流量为 q_0 , 通过断面 2 的徑流量为

$q_0 + \frac{\partial q}{\partial l} dl$, 則兩断面間的徑流量变化值为 $\frac{\partial q}{\partial l} dl$ 。

令在稳定情况下降雨强度为 q_r , 入渗强度为 q_i , 則:

$$\frac{\partial q}{\partial l} = (q_r - q_i) \cos \alpha. \quad (1-1)$$

α 为山坡坡度(角度) $\cos \alpha$ 与山坡坡度 I 的关系为:

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1 + I^2}}.$$

通过离分水嶺坡長为 l 的坡面單寬徑流量为:

$$q = \int_0^l \frac{\partial q}{\partial l} dl = (q_r - q_i) l \cos \alpha. \quad (1-1')$$

因此, 在降雨和入渗稳定的情况下, 坡面徑流量是沿坡往下直綫增加的。

在稳定情况下, 坡面徑流的水面綫曾証明是拋物綫形(參11, 28等)。我們現在拟視坡面徑流为稳定变量流运动, 可証明 徑流面仅仅是近似的拋物綫形。此外也进一步分析坡面徑流的其他水力特征。

明渠稳定变量流的运动方程式为(參24):

$$\frac{dh}{dl} = \frac{I - \frac{Q^2}{C^2 R \omega^3} - \frac{(2-m)Q}{g \omega^3} \frac{dQ}{dl}}{1 - \frac{BQ^2}{g \omega^3}}. \quad (1-2)$$

除了 m 代表加入流速和原坡面流速比以外, 其他符号和一般明渠稳定流符号相同。因在坡面上 $R=h$; 取單寬坡面, 即令 $B=1$; 并令 $m=0$ 。考虑到(1-1)和(1-1')式的关系, 則可將(1-2)式化成:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{I - \frac{(q_r - q_i)^2 l^2 \cos^3 \alpha}{C^2 \cdot h \cdot h^3} - \frac{2(q_r - q_i) l \cos \alpha}{g h^3} \cdot (q_r - q_i) \cos \alpha}{1 - \frac{(q_r - q_i)^2 l^2 \cos^3 \alpha}{g h^3}}$$

$$= \frac{I - \frac{(q_r - q_i)^2 \cos^2 \alpha}{C^2} \frac{l^3}{h^3} - \frac{2(q_r - q_i)^2 \cos^2 \alpha}{g} \frac{l}{h^2}}{1 - \frac{(q_r - q_i)^2 \cos^2 \alpha}{g} \frac{l^2}{h^3}},$$

或

$$\frac{dh}{dl} = \frac{I - A_1 \frac{l^3}{h^3} \cos^2 \alpha - 2A_2 \frac{l}{h^2} \cos^2 \alpha}{1 - A_2 \frac{l^2}{h^3} \cos^2 \alpha} \quad (1-3)$$

式中 $A_1 = \frac{(q_r - q_i)^2}{C^2}$; $A_2 = \frac{(q_r - q_i)^2}{g}$ 。

(1-3)式就是当降雨和入渗为稳定情况下的坡面径流运动方程式。在未讨论(1-3)式解法以前我们先分析一般的坡面径流性质。

令坡面水深为常数

$$\frac{dh}{dl} = 0,$$

则

$$I - A_1 \cos^2 \alpha \frac{l^3}{h^3} - 2A_2 \cos^2 \alpha \frac{l}{h^2} = 0.$$

因 $h = \text{const}$, 故可令

$$\frac{A_1}{h^3} = C_1; \quad \frac{2A_2}{h^2} = C_2.$$

C_1 、 C_2 都是常数, 因此上式可写成:

$$I = (C_1 l^3 + C_2 l) \cos^2 \alpha,$$

即

$$\frac{I}{1 + I^2} = C_1 l^3 + C_2 l. \quad (1-4)$$

因此满足 $h = \text{const}$ 的山坡坡度要符合(1-4)式。

坡面流速按下式计算:

$$V = \frac{q}{h} = \frac{(q_r - q_i) l \cos \alpha}{h},$$

由于 $h = \text{const}$, 故流速和流量一样, 在这种情况下都是沿长度

直綫增加的。

在临界狀況下:

$$1 - A_2 \frac{l^2}{h_c^3} \cos^3 \alpha = 0,$$

即

$$h_c = \sqrt[3]{A_2 l^2 \cos^3 \alpha}. \quad (1-5)$$

因此, 区别于一般明渠水流, 坡面徑流的临界水深是沿長增加的, 其增加規律为

$$\frac{dh_c}{dl} = \frac{2 \sqrt[3]{A_2 \cos^3 \alpha}}{3 \sqrt[3]{l}}.$$

將(1-3)式分子分母乘以 h^3/l^3 , 得:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{I \frac{h^3}{l^3} - \frac{A_2 \cos^3 \alpha}{l} - \frac{2A_2 \cos^3 \alpha h}{l^2}}{\frac{h^3}{l^3} - \frac{A_2 \cos^3 \alpha}{l}}. \quad (1-6)$$

要求(1-6)式的精确解答存在着数学上的困难, 只能求近似解。

我們采取方法就是省略 $\frac{h}{l}$ 高次方項, 即令 $I \frac{h^3}{l^3} \approx 0, \frac{h^3}{l^3} \approx 0$ 。則

得:

$$\begin{aligned} \frac{dh}{dl} &= \frac{-\frac{A_1 \cos^3 \alpha}{l} - \frac{2A_2 \cos^3 \alpha h}{l^2}}{-\frac{A_2 \cos^3 \alpha}{l}} = \frac{\frac{A_1}{l} + 2A_2 \frac{h}{l^2}}{\frac{A_2}{l}} \\ &= \frac{A_1 + 2A_2 \frac{h}{l}}{A_2} = \frac{A_1}{A_2} + 2 \frac{h}{l}. \end{aligned}$$

令

$$\frac{h}{l} = u, \quad \frac{dh}{dl} = u + l \frac{du}{dl}.$$

代入上式得:

$$u + \frac{du}{dl} = \frac{A_1}{A_2} + 2u,$$

即

$$\frac{dl}{l} = \frac{du}{\frac{A_1}{A_2} + u},$$

$$\ln l = \ln\left(\frac{A_1}{A_2} + u\right) + C_3 = \ln\left(\frac{g}{C_2} + \frac{h}{l}\right) C_4.$$

式中 $C_4 = \ln C_3$; $\frac{g}{C_2} = \frac{A_1}{A_2}$ 。

故

$$l = \left(\frac{g}{C_2} + \frac{h}{l}\right) C_4,$$

即

$$h = \frac{l^3}{C_4} - \frac{g}{C_2} l = C_1' l^3 - C_2' l. \quad (1-7)$$

式中 $C_1' = \frac{1}{C_4}$; $C_2' = \frac{g}{C_2}$ 。

坡面流速值为

$$V = \frac{q}{h} = \frac{(q_r - q_i) l \cos \alpha}{C_1' l^3 - C_2' l} = \frac{(q_r - q_i) \cos \alpha}{C_1' l - C_2'}.$$

为了了解流速沿程变化情况可将上式对 l 微分，得：

$$\frac{dV}{dl} = \frac{-(q_r - q_i) C_1' \cos \alpha}{(C_1' l - C_2')^2} = - \frac{C_1' V}{(C_1' l - C_2')}.$$

可以看出 $\frac{dV}{dl}$ 经常小于 0。因此在底坡为一定时，径流量沿程直

线增加，但平均流速则不一定如此。

上述演算有一基本假定，即积分时将水深和长度比高次项略去。这个假定和由此得出的结论能不能符合实际情况，还需要通过观测和试验来证实。

修梯田的结果不但因为坡度减小，从而在一方面减少下坡流速；而且还由于切断了坡面径流，减少了径流长度（指对反坡梯田或带埂顺坡梯田而言），因而免除了坡面径流汇集，从而在另一方面减小坡面径流量。这两方面作用的总和和结合，就为坡面的防止土壤片蚀提供了很有利的条件。

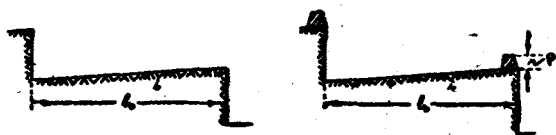


图 1-4

上面分析倒坡梯田的作用有一个基本前提，这就是径流还没有从坡面漫溢。因此，在讨论梯田作用的同时还必须研究保证梯田径流不发生漫溢现象的条件，并在这基础上比较反坡无埂梯田和反坡带埂梯田的优点。

在 t 时间内汇集于长度为 1 宽度为 l_0 的梯田径流总量为：

$$\int_0^t l_0 (q_r - q_i) dt = l_0 \int_0^t (q_r - q_i) dt.$$

这里时间 0 和 t 都相当于坡面上的降雨强度和入渗强度相等时，即相当于 $q_r > q_i$ (当 $t=0$) 和 $q_r < q_i$ (当 $t=t$)。此处假定梯田的坡度甚小，故 $\cos \alpha \approx 1$ 。

令梯田宽度两端的高程差为 h_0 ，即 $h_0 = il_0$ 。则无埂倒坡梯田满蓄的容积为：

$$\frac{h_0 l_0}{2} = \frac{il_0^2}{2}.$$

q_r 和 q_i 都是任意时间函数。为简单起见，如令在 t 时间内的平均降雨强度与入渗率差为 $(q_r - q_i)_m$ ，则梯田上的径流总量为：

$$l_0 (q_r - q_i)_m \cdot t.$$

因此，倒坡无埂梯田不漫溢的条件是

$$l_0 (q_r - q_i)_m t \leq il_0^2/2,$$

$$(q_r - q_i)_m \leq \frac{il_0}{2t},$$

或

$$t \leq \frac{il_0}{2(q_r - q_i)_m}.$$

同样，对带埂倒坡梯田情况：

$$t < \frac{il_0 + 2P}{2(q_r - q_i)_m} \text{ 或 } (q_r - q_i)_m \leq \frac{il_0 + 2P}{2t}$$

在相反的情况下，即

$$t > \frac{il_0}{2(q_r - q_i)_m},$$

梯田就要发生漫溢现象。

可以看出：用里切外垫造成倒坡梯田，因而获得容积用以作为储蓄地面径流的方法并不是合算的。因为土方工作量比较大，但获得容积却比较小。修地埂则相反，土方量比较少，而相对地获得的蓄水容积则比较大。因此合理的梯田断面形式，我们认为应该是倒坡和地埂相结合的形式。一方面，利用适当的倒坡维持坡面径流运动，以作为改变坡面径流流态和引导地表径流往一定方向集中的手段，以达到在一般的降雨情况下拦截和引导径流的目的。另一方面，依靠地埂的培修，以获得储蓄径流的容积，使梯田在特大暴雨情况下不发生漫溢现象和径流汇合集中现象（但有一定倒坡的梯田要不要修地埂还得经过计算，群“二”）。

倒坡和地埂措施的结合之所以需要，还因为里切外垫有一定的限度，否则会引起梯田低凹地方受淹现象。

当梯田发生溢流时，沿坡面往下又发生径流汇集迭加现象，如图 1-1 所示。梯田漫流无疑要大大降低它对保持水土的作用。但在这种情况下，梯田仍起了多级跌水作用，水流能量将集中在地坎边上消除，因而在地坎较低水流下跌的地方在漫溢时就要发现冲刷坑。这现象和没修梯田的坡面冲刷是不同的，在程度上也大为减轻。1958年7月17日暴雨后，济源李庄嶺头社梯田部分受到破坏都是属于这种类型。

基于：1)梯田规格坡度倾斜方向参差不一，径流方向不容易往一个方向集中；2)梯田消能集中在地坎边，而由于梯田坡度和缓（甚至反坡），因此，即使径流沿程增加，也不可能发生片蚀和沟蚀现象。至于地坎边上的深坑局部冲刷，在种地土地平整时就回复原状了。

梯田溢流时的冲刷能力，似可根据一般的建筑物下游冲刷计算方法估计。不同的只是在梯田情况下流量不为常数，因此愈往下游冲刷的可能性愈大，和冲刷坑深度也应愈大。

二、梯田区的水土流失和梯田蓄水能力问题

为了具体了解梯田区的水土流失状况和暴雨径流关系我们选择了一块集雨范围相对明显(詳下)的梯田进行暴雨期间的测流取沙工作。梯田集雨范围为 2,500 平方公尺。此外也在一村旁路沟出口进行含沙量取样观测。由于在中小雨时梯田一般不溢流(詳下)，而路沟则经常产生径流，因此这两种观测代表了梯田区纯粹的面蚀观测和沟蚀观测。路沟来水范围不明显，因此只是定性和比较性的观测。

路沟在发生径流时瞬时最大含沙量只达 30 公斤/公方左右，并且雨峰下降时含沙量即同步急降。这表明即使集流长度不大，路沟的微量冲刷也是不可避免的。这说明绝对意义的水土保持是不可能的。

在今年整个汛期，梯田只发生过一次(1958 年 7 月 17 日)径流，并且，也在这一次发生径流漫溢现象。这说明天江乡梯田拦蓄径流的能力在一般的暴雨情况下是显著的。并且，尽管在这一次非常暴雨期间，梯田面上的土壤冲刷量也是极其轻微的，最大含沙量只达 10 公斤/公方左右。即比同次路沟瞬时最大含沙量要小一二倍。

从含沙量的数值范围来看，梯田在黄土丘陵区的保持水土的作用是不可怀疑的(集流长度很大的大路路沟冲刷问题例外，詳“三”)。

我们拟根据这次径流观测成果来具体分析梯田拦蓄径流的能力。

图 2-1 表示观测点实测降雨强度过程线和雨量累积曲线。图

2-2 为梯田出口三角堰实测流量过程线。将两图对照可以看出每一个雨量峰都有相应的流量峰(不明显)。在历时超过 3 个半小时以后, 流量峰急剧上升。这就说明在这瞬间用以观测的梯田分水范围已经改变, 大量容水汇入本区, 亦即上面梯田已遭到破坏。因此估计在降雨历时共 3 时 30 分以后梯田开始全面溢流。因此梯田能拦蓄暴雨能力就相应于此历时的累积降雨量即 100 公厘。这里 100 公厘应包括入渗损失值。由于这次前期降雨很多, 土壤含水量很大(7 月 14 日土壤深度平均含水量为 15.2% ~ 16.5%)。所以在历时 3 时 30 分期间的入渗损失基本上为稳渗。因此在一般的前期含水量情况下梯田拦蓄暴雨径流的能力还要提高。

以下我们拟求规则断面(图 1-4)的梯田拦蓄能力。根据“一”的关系式有:

$$l_0 \int_0^t (q_r - q_i) dt = \frac{i l_0}{2},$$

可得

$$\int_0^t q_r dt = \frac{i l_0}{2} + \int_0^t q_i dt. \quad (2-1)$$

上式左边代表降雨历时为 t 时的累积总量。右边第二项代表 t 时间内入渗总量。利用(2-1)式可以计算倒坡梯田拦蓄径流能力。

李庄区梯田宽度 l_0 在 5 公尺到 20 公尺之间, 假定倒坡坡度在 1% ~ 5% 之间。令在降雨前土壤已达饱和, 则入渗数值为稳渗。采用平均值(按人工降雨试验结果)0.2 公厘/分, 则上式可写成:

$$P = \int_0^t q_r dt = \frac{i l_0}{2} + 0.2t. \quad (2-1')$$

利用(2-1')式可以画出梯田倒坡坡度、梯田宽度、降雨总量和降雨历时之间的关系, 如图 2-3 所示。

上图使用方法很简单。例如降雨总量 100 公厘, 历时 100 分钟, 梯田宽为 10 公尺时需要的最小反坡坡度可用下法求出。从右边纵坐标和下横坐标根据已知值找出交点 A , 通过 A 的曲线与