

鱼鳞坑的水力性质及设计指标

窦玉青

(西北大学地理系)

在我国960万平方公里的国土上,平原面积仅占12%,而不同类型的山地、丘陵、高原面积占总面积的69%,因此坡地的改造利用关系到农业经济的发展和国土的整治。坡地改造利用的关键是防止水土流失。对不同类型的坡地应采取不同的水土保持措施,而科学地配置任何一种水土保持措施,都要涉及到坡面径流及其水力性质。

在坡面上,不论是修梯田或其它林草整地工程,都能把地表径流截留拦蓄在坡面上,起到减小坡面流速,减少径流长度,避免径流汇集,从而减小坡面径流量,起到蓄水保土、防止坡面冲刷的效果。鱼鳞坑是坡地植树造林的一种整地方法,由于修筑技术简单,用工少,拦泥蓄水和促进幼林生长作用显著,因而得到广泛应用。特别是在当前户包治理小流域、大念草木经的形势下,用鱼鳞坑整地植树造林成了坡面治理的重要措施。但不少地方在挖鱼鳞坑中普遍存在着:一是布置不合理,稀密不均,造成一些坑控制面积过大,易遭冲毁;二是坑的大小没有一定规格,有的坑较小(0.3米左右),坑连坑如剥皮开荒,加剧了水土流失。为此必须正确分析径流在有鱼鳞坑坡面上的特性,提出合理的鱼鳞坑尺寸和布置原则,从而把挖鱼鳞坑植树造林提高到科学水平上来,有一定的现实意义。

一、坡面无鱼鳞坑的径流特性

在坡面上,径流(降雨)除了蒸发、入渗外,其余部分在重力作用下沿坡面成薄层运动,随着降雨的继续、水流沿坡面向下流动的过程,仍得到降雨的补充,因此沿坡流量逐渐增大;

随着流量的增大,水的流动由薄层而成小沟流动。小沟水流汇集到沟槽,因此坡面水流随着流速流量的变化,从层流到紊流,从均匀流到非均匀稳定变量流,也是从面流到槽流。

反映坡面径流水力特征的运动方程是:设坡面宽度为单位宽度,在坡面上取长度为 d_1

段,通过断面1的单宽径流量为 q_0 ,通过断面2的径流量为 $q_0 + \frac{\partial q}{\partial l} d_1$,则两断面间的径流量变

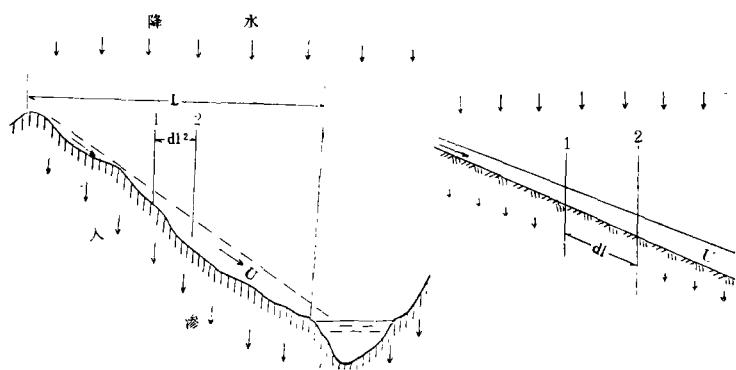


图1

化值为 $\frac{\partial q}{\partial l}dl$ 。

设坡面径流在稳定情况下的降雨强度为 q_r ，入渗强度为 q_i ，则。

$$\frac{\partial q}{\partial l}(q_r - q_i)\cos\alpha$$

α 为坡面坡度， $\cos\alpha$ 与坡面比降 I 的关系为

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

通过离分水岭坡长为 l 的坡面单宽径流量为

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

因此，在降雨和入渗稳定的情况下，坡面径流量是沿坡面往下直线增加的，而坡面径流的水面线经水力学试验证明为抛物线，假设坡面径流为稳定变量流运动，其径流面也可证明为近似抛物线，从而可进一步分析坡面径流的其它水力要素。

二、鱼鳞坑水力性质及设计

坡面修鱼鳞坑后改变了坡面流态，径流对坡面的影响，随降雨强度不同分为两种情况：

(一) 当降雨强度小、历时短，鱼鳞坑不漫溢，因此，鱼鳞坑起到了完全切断和拦截径流的作用，其径流流态如图 2 (a) 和图 3，鱼鳞坑起到了分段分片拦蓄径流的作用。从图 2 (a) 知，拦蓄在任一个鱼鳞坑的径流，等于上下两鱼鳞坑和左右两鱼鳞坑之间面积的平面投影乘以径流深度。面积投影为 $dl\cos\alpha$ ，在行距 d 小于鱼鳞坑宽度 b ，因而保证坡面径流全部汇入相应的鱼鳞坑内。由于每一列的鱼鳞坑所截留的径流量相等，因此表示径流矢量的模往下保持不变（即常数），见图 3。

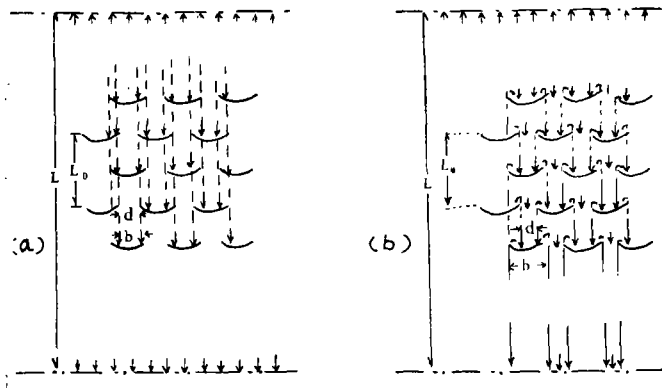


图 2 鱼鳞坑平面布置示意图

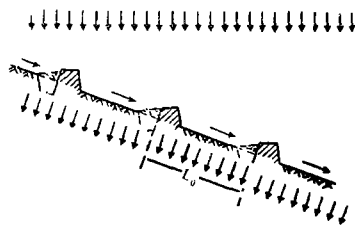


图 3

(二) 当降雨强度大且历时长时，鱼鳞坑要发生漫溢，由于坑的埂中间高两边低，这样就保证了径流在坡面往下流动时不是直线和沿一个方向运动，因而避免了径流的集中，坡面径流在各行各列鱼鳞坑的节节调节下，减弱其冲刷能力。这里要指出，坡面径流是不稳定流，坡面无鱼鳞坑，其径流发展都要出现沟蚀。坡面修了鱼鳞坑使径流得到集中，避免沟蚀的形成，保证了径流较均匀地流向坡下。总的说来，鱼鳞坑有以下几方面的作用：

- (1) 拦截坡面径流, 减少坡面径流长度;
- (2) 拦蓄和调节坡面径流, 以减弱坡面径流的流量和流速;
- (3) 分散坡面径流, 使坡面径流深度控制在一定数值内, 避免了径流集中和坡面冲刷;
- (4) 对固体径流, 鱼鳞坑成为容蓄泥沙的地方, 起到防止冲刷, 保持水土的作用。

但是, 鱼鳞坑在坡面上的作用远不是各个鱼鳞坑作用的总合, 而是通过工程的设计达到正确的排列。而正确的排列, 应当是每个鱼鳞坑拦蓄的径流与每个鱼鳞坑上面和左右三个鱼鳞坑所产生的径流相适应, 也就是每个鱼鳞坑的区间面积与其坑的容量相适应。

要进一步了解鱼鳞坑对坡面径流拦和蓄的作用, 探讨坡面规划以及鱼鳞坑合理布设的行列距, 必须分别不同情况。

坡面径流未从鱼鳞坑漫溢时, 单位时间内每个鱼鳞坑的单宽坡面径流量为

$$q_{\text{单}} = (q_r - q_i) l_0 \cos \alpha$$

假设坡面的总长度为 l , 坡面上有 N 列鱼鳞坑时, 则 $l_0 = \frac{l}{N}$

$$q_{\text{单}} = \frac{1}{N} (q_r - q_i) \cos \alpha$$

$$\text{每个鱼鳞坑的平均集雨宽度为 } b - \frac{b-d}{2} = \frac{b+d}{2}$$

其中: b —鱼鳞坑宽; d —行间距; l_0 —列间距离。

单位时间内每个鱼鳞坑平均汇流总量为

$$Q_{\text{单}} = \frac{l(b+d)}{2N} (q_r - q_i) \cos \alpha$$

坡面的宽度为 B , 坡面上有 M 行鱼鳞坑, 则 $B = M(b+d)$, $b+d = \frac{B}{M}$

单位时间内每个鱼鳞坑平均汇流总量为

$$Q_{\text{单}} = \frac{Bl}{2MN} (q_r - q_i) \cos \alpha = \frac{F}{2n} (q_r - q_i) \cos \alpha \quad (2)$$

F 为坡面面积, n 为鱼鳞坑的数目。

单位面积上的鱼鳞坑数 n_0 , 每个鱼鳞坑所控制的面积为 F_0 , 则

$$Q_{\text{单}} = \frac{1}{2} F_0 (q_r - q_i) \cos \alpha = \frac{1}{2n_0} (q_r - q_i) \cos \alpha$$

在 t 时间内汇集于每个坑的径流量为

$$\Sigma Q = \int_0^t \frac{1}{2n_0} (q_r - q_i) \cos \alpha dt = \frac{1}{2n_0} \int_0^t (q_r - q_i) \cos \alpha dt$$

为实用简单起见, 令 $(q_r - q_i)$ 为常数, 则

$$\Sigma Q = \frac{(q_r - q_i) \cos \alpha \cdot t}{2n_0} \quad (3)$$

$t = 0$ 相当于降雨强度开始超过入渗率值, 即 $q_r > q_i$ 的时间。

鱼鳞坑漫溢时, $t = t_0$ 。

设鱼鳞坑的容积为 v , 则漫溢条件为

$$v \leq \frac{1}{2n_0} \int_0^t (q_r - q_i) \cos \alpha dt$$

$$\int_0^t q_r dt \geq \frac{2vn_0}{\cos \alpha} + \int_0^t q_i dt \quad (4)$$

如果鱼鳞坑的容积 v 为已知,单位面积上鱼鳞坑数 n_0 为1,原坡面坡度已知,即可求出 $\frac{2vn_0}{\cos\alpha}$,即鱼鳞坑拦蓄的径流深度;当降雨量大于或者等于鱼鳞坑所拦蓄的径流深度时,就要发生漫溢。

鱼鳞坑发生漫溢时,鱼鳞坑对坡面径流的作用就不是切断坡面径流和减少径流长度,而是控制坡面径流方向,消除部分水流能量,对坡面径流过程起一定调节作用。

取任两行鱼鳞坑来分析(见图2—b),在离分水岭为 l_0 处第一列鱼鳞坑单位时间所承受水量为

$$Q_1 = \frac{l_0(q_r - q_i)\cos\alpha(b+d)}{2}$$

假定这时第一列鱼鳞坑已盛满,则经过调节后从第一列鱼鳞坑流出水量和上值相同,第二列鱼鳞坑所承受的水量为从第一列鱼鳞坑流出水量及第二列区间径流的总和。

$$\begin{aligned} Q_N &= 2 \times \frac{l_0(b+d)}{2}(q_r - q_i)\cos\alpha \\ &= l_0(b+d)(q_r - q_i)\cos\alpha \end{aligned}$$

如鱼鳞坑有 N 列,则从坡面最后一列任一个鱼鳞坑流出水量为

$$\begin{aligned} Q_N &= \sum \frac{l_0(b+d)}{2}(q_r - q_i)\cos\alpha \\ &= \frac{Nl_0(b+d)}{2}(q_r - q_i)\cos\alpha = \frac{l(b+d)}{2}(q_r - q_i)\cos\alpha \end{aligned}$$

因鱼鳞坑从两边漫溢,因此一边漫溢的流量为 $\frac{l(b+d)}{4}(q_r - q_i)\cos\alpha$

在漫溢时坡面径流量与无鱼鳞坑时坡面径流量相同,而且愈接近坡脚冲刷的可能性愈大,因此,鱼鳞坑最起作用的是在

$$t \leq \frac{2vn_0}{(q_r - q_i)\cos\alpha} \quad (5)$$

时间范围内,公式(5)中, v 是鱼鳞坑满坑时容积。

当 $t \geq \frac{2vn_0}{(q_r - q_i)\cos\alpha}$ 时,鱼鳞坑漫溢,其作用降低。鱼鳞坑最起作用是在中雨和历时较长时。鱼鳞坑漫溢后起不到拦蓄作用,但仍能起到调节、控制和消能作用。

鱼鳞坑列距的计算不仅要根据鱼鳞坑的容积,而且要根据坡面土质,使其在工程设计标准的降雨条件下的径流速度小于临界冲刷流速,以免鱼鳞坑被淤冲,失去作用。其计算方法为,在坡度和土质一定的条件下,冲刷的最大可能位置是在鱼鳞坑上部,此处的单宽流量为

$$q_{\perp} = (q_r - q_i)l_0\cos\alpha$$

根据满宁公式,求得该点水深;根据水深,即可求出该点流速

$$v = \frac{1}{n^{3/5}} [(q_r - q_i)l_0]^{2/5} \left[\frac{i^3}{(1+i^2)^2} \right]^{1/10} \quad (6)$$

任一种土壤临界冲刷流速可根据一般试验结果来决定。因此,鱼鳞坑列距的设计原则,必须满足 $v \leq v_c$ 的条件。为此,鱼鳞坑列距 l_0 为

$$l_0 \leq \frac{n^{3/2} \cdot v_c^{5/2}}{(q_r - q_i)} \cdot \left[\frac{(1 + i^2)^2}{i^3} \right]^{1/4} \quad (7)$$

式(7)中: n —坡面的糙率(可实地测得或参考“水力学、水文测验”有关表查取);

v_c —土壤的临界冲刷速度或土壤允许的不冲流速(米/秒或厘米/秒);

i —坡面的自然比降;

$(q_r - q_i)$ —设计频率下的降雨量或降雨程度(毫米或毫米/分)。

三、鱼鳞坑技术指标计算与分析

黄土高原沟壑区及丘陵沟壑区,多年来大部分在大于 25° 以上及支离破碎的坡面上采用鱼鳞坑进行整地,但由于各地情况不同(坡向、土质、树种),因而采用了不同规格、不同布置形式,即坡度大时用小形,坡度小时用大型。以单坑平面控制面积及不同树种采用横向间隔式及间隔式两种布置,灌木林用横向间隔式,经济林及乔木林用间隔式,见图4:

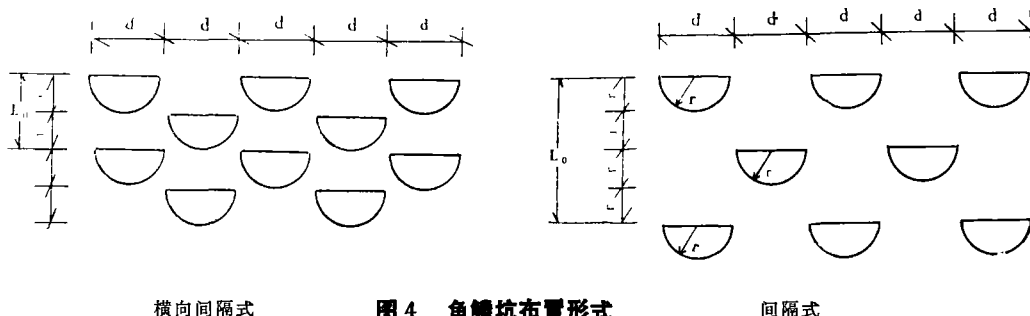


图4 鱼鳞坑布置形式

目前,各地在计算鱼鳞坑各项技术指标时尚没有统一标准,其计算基础建立在单坑平面位置所控制的面积,实际上鱼鳞坑在坡面上所控制的面积,应该是单坑控制的平面投影面积,以长1米、宽0.5米、深0.5米采用横向间隔布置为例,计算其平面控制面积为1.0平方米,而在 $25^\circ-60^\circ$ 不同坡面上所控制的平面投影面积分别为0.5—0.90平方米,单坑控制面积变了,其分布密度、拦蓄量也随之而变。如上例单坑分布密度由每公顷1万变化在不同坡面上每公顷为1.1—2万个,其拦蓄量由每公顷501立方米变化为549—1,000.5立方米。

鱼鳞坑单坑容积,实际上就是鱼鳞坑的开挖土方量或蓄水能力。目前有两种计算方法:一种是球体积,另一种是球面锥体。同一规格的鱼鳞坑,由于计算方法不同所求得土方开挖量、蓄水能力有很大差异,可以用两种方法计算作对比,究竟哪种方法计算更切合实际,应通过鱼鳞坑模型实地量测,逐步积累资料进一步修正计算方法。

实践中各地采用鱼鳞坑整地不作工程设计,当然也就没有工程的统一设计标准。因此,在行距、列距的选用上笼统地根据不同树种确定其范围。如黄土丘陵区 and 黄土高原沟壑区均规定为1.5—1.0米,显然是不符合坡面径流的水力性质。正确规划布置鱼鳞坑,应该从下面几方面考虑:

1、根据当地水文气象条件,确定工程设计标准。如黄土丘陵沟壑区采用5年一遇暴雨频率(径流深18毫米)设计;

2、根据不同坡面的坡向、土壤、气候条件决定适宜于当地的树种,并确定其合理的种植密度(满足 $v \leq v_c$ 条件),以此值作为鱼鳞坑密度的要求值;

3、以上述密度要求值作为基数,选择几种不同布置形式,计算各种布置形式下不同规格

桐柏县长江流域部分的土壤侵蚀调查分析

张 建 民

(河南省桐柏县水土保持工作站)

一、概 况

桐柏县位于河南省的南疆，南阳盆地的东缘，地处豫、鄂交界的桐柏山腹地，是老革命根据地之一。全县横跨江、淮两大流域，以固庙的西境岭和大河乡土门村的新岭为分水岭，分江、淮之水于东西。西部属于长江流域，座落在东经 $113^{\circ}00'$ — $113^{\circ}17'$ 和北纬 $32^{\circ}22'$ — $32^{\circ}36'$ 之间，总面积621平方公里，占全县总面积的32%。该流域现有耕地1.3万公顷，山地3.9万公顷，水面1.1万公顷，自然特点近似“六山二水二分田”。

桐柏县长江流域内辖8个乡（镇），84个行政村，14.27万人，人口密度230人/平方公里，每人平均耕地0.09公顷。1984年每人平均收入160元左右，低于全省每人平均收入的一半。

二、土壤侵蚀概况

(一) 土壤侵蚀现状。解放初期，桐柏县是个山青水秀、百鸟栖息、植被盖度极高的山区，战争年代，曾以其绿色屏障为革命作出过一定的贡献。近30多年以来，因各种不合理的人为因素影响，导致了土壤侵蚀的加剧。其现状是侵蚀速度快，侵蚀量大面广，危害严重，逐步趋于恶化。据调查量算，现有轻度以上水土流失面积444.74平方公里，占全县长江流域面积的72%。参照“长江流域水土流失判别指标”（见表1）和实地勘察情况，将桐柏县长江流域内的水土流失分为Ⅳ级（表2，其分布情况见附图），即：Ⅰ—微度流失；Ⅱ—轻度流失；Ⅲ—中度流失；Ⅳ—

鱼鳞坑控制的平面投影面积、分布密度，看哪种布置形式用哪种规格鱼鳞坑，得出的密度与密度要求值相接近。

4、将相近密度值的不同规格的鱼鳞坑进行工程量比较，选取最经济的一种。

小 结

综上所述，初步可得以下几点认识：

1、坡面在无鱼鳞坑时，径流的水力性质是：径流量沿坡面直线增加，而流速并不是沿程直线增加的；

2、鱼鳞坑改变了坡面径流流态，起着拦蓄、分散、调节径流的作用。因此，在有鱼鳞坑的坡面上径流量大小沿坡面保持不变；

3、鱼鳞坑列距的确定，不仅要根据坑的容积，适宜的树种，而且要根据坡面土质，使其在工程设计标准的降雨强度条件下，径流速度小于临界冲刷流速。