

淤地坝坝坡开发利用及其防护措施*

尹增斌

周玉珍

(黄委会绥德水土保持科学试验站·陕西绥德县·718000) (山西省水土保持局)

摘要 研究了坝坡作为土地资源能否进行开发利用以及由此可能产生对坝体安全稳定的影响程度,坝坡开发利用及其防护措施的模式建立等问题。通过试验示范和调研分析,结果认为:无论从坡度或坡长的影响看,坝坡都属最严重的土壤侵蚀地带;整地对坝坡稳定和根系对坝体渗透变形的影响不大。采取工程整地造林的方式,建立坝坡林果园,能收到良好的防护效益,社会效益显著,且技术上可行,可以在淤地坝上推广。

中图分类号:S157.31

关键词: 淤地坝 坝坡侵蚀 防护措施 开发利用 可行性

Protective Measures and Developing Utilization of Silt Arrester Slop

Yin Zengbin

(Suide Scientific Experimental Station of Soil and Water Conservation of the Yellow River Commission, Suide County, Shaanxi Province, 718000, PRC)

Zhou Yuzhen

(Shanxi Bureau of Soil and Water Conservation)

Abstract Based on the experimental demonstration and investigation, the effects of developing utilization of silt arrester slop on the dam stability, and the protecting measures were studied. The results show that the dam slop is the most serious erosion belt in view of both gradient and slop length; soil preparation has little influence on slop stability, neither do roots on dam permeated deformation. A fine protective benefit could be obtained by engineering soil preparation and plantation, and to establish forest and orchard on dam slop, the social benefit of it is also notable.

Keywords: silt arrester; dam slop erosion; protective measures; developing utilization; feasibility

从解决生产实际问题出发,1992年10月黄河上中游管理局在内蒙古清水河治沟骨干工程科研工作会议上提出“淤地坝坝坡开发利用及其防护措施研究”课题,并由黄河上中游管理局工程处、黄委会绥德水保站、山西省水保局等单位协作开展研究。重点探讨下述几个方面的问题:坝坡作为土地资源能否进行开发利用,以及由此可能产生对坝体安全稳定的影响程度;建立坝坡开发利用及其防护措施的模式。

1 坝坡土壤侵蚀机理

淤地坝作为一项重要的沟道工程措施,重点布局在比较严重的侵蚀类型区。一方面靠坝的作用拦蓄强烈的侵蚀产生下泄的大量泥沙;另一方面坝体坡面也受到侵蚀的影响。

坝坡是经人工修整成属于直线形坡的斜坡,其坡度和坡长为坡形的综合反映。坡度的作用一是改变坡面土壤颗粒的稳定条件;二是改变坡面水流动力条件。随着坡度增大,土壤颗粒本身的阻力(即抗滑力)减少,而水流的动能亦随着增大,从而加强了坡面径流的冲刷能力。根据对已有坝体坡面的调研和观测,坝坡面上部地表侵蚀较轻微,下部地表侵蚀严重。其侵蚀方式自上而下依次为击溅、细沟、浅沟、洞穴或切沟。根据黄委会绥德水保站的观测^[1],各类侵蚀作用过程所出现的频率主要集中在 $10^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 之间,在坡度达到 15° 左右时,侵蚀急剧增加,大约在 26° 左右,冲刷量达到最大值。由于斜坡下面距坝顶(分水岭)距离增大,使坡面上的径流随坡长的增大而累积,增加了径流的侵蚀能力和输移能力,在坡长20~60 m区间是坡面各种侵蚀形态最发育的地位,也是侵蚀最严重的地带。对于治沟骨干坝,其坝坡比一般为1:1.5, 1:2.0, 1:2.5, 1:2.75, 1:3.0,换算成坡度为 $33^{\circ}41'$, $26^{\circ}34'$, $21^{\circ}48'$, $19^{\circ}59'$, $18^{\circ}26'$,坡长大都在20~60 m以上。也就是说,无论从坡度还是坡长的影响看,坝坡坡面的侵蚀都属于最严重的程度。倘若如此,必然会危及坝体的安全运行。

2 防护措施配置与开发利用的方式

采取试验示范和调研分析相结合的课题研究途径,我们在山西省临县的周家沟坝、三交沟坝和陕西省绥德县的韭园沟坝进行了试验示范布设。

布设方式:三交沟坝采用窄条梯田整地栽植苹果树;周家沟坝采用水平沟整地栽植枣树;韭园沟坝采用隔坡窄条梯田整地栽植苹果树。

(1) 窄条梯田整地造林:在外坝坡面上,从坝肩(或马道)自上而下沿等高线将坡面整修成一条条窄条梯田,田面宽2.5 m,其中作 $0.2\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ 高宽的边埂,埂高1.0 m,沿台阶栽树。在坝顶上,沿坝轴线内外坝肩以内1.0 m处栽植2行,马道上栽1行。果树距均为3.0 m。

(2) 水平沟整地造林:在外坝坡上,由坝肩或马道开始自上而下沿等高线开挖成水平沟,每节沟长5.0 m,两沟顶端间距1.0 m,沟口宽度0.8 m,沟底宽度0.3 m,沟深0.4 m,沟土下翻培埂,土埂顶宽0.2 m。沟内斜坡挖成 70° ,埂外斜坡填成 45° 。上下相邻水平沟呈品字形排列布设,树栽在土埂内坡处。枣树株距2.0 m,每节水平沟内栽3株,即靠沟的左右两顶端分别在0.5 m处栽2株,沟中部栽1株。坝顶上和马道上布设规格同上,株距均为2.0 m。

(3) 隔坡窄条梯田整地造林:这是韭园沟坝采用的一种整地方式。本来原坡面种植柠条护坡,1992年由村委会集体和群众入股承包治理坝坡的办法,将原植柠条挖掉进行整地后栽上苹果树。1992年秋在外坝坡栽800株,1993年秋又在里坝坡的溢洪道底高程2.0 m以上和坝顶上栽400株,株距 \times 行距为 $2.5\text{ m} \times 3.3\text{ m}$,其整地方法基本与前述的窄条梯田一样,仅规划的田面宽先修平一半,留一半为坡地,即对原坝坡面改造了一半,一半保留原状。田面宽约1.5 m,埂高1.0 m,树栽在田面中部。另考虑果树灌溉水,故在田面靠里处留有田间引水渠,用潜水泵接胶管抽水逐台供入引水渠进行灌溉。田面等高布设,唯引水渠有一定比降。

对上述3个试验示范坝的坡面措施布设形式,经观测评价,以窄条梯田和水平沟最好。对旧坝坡面改造依韭园沟坝布设的形式虽可以省功,但不如一次性整成窄条梯田或水平沟好。对新筑坝,要求把坡面按设计坡比整平顺,使坡面成形,但不一定过细整理,即可进行下一道施工程序——整地。整地前要按等高布设原则和上下间距要求,统一规划,放线施工,力求布局整齐、均称、美观。树木管理按通常的办法进行,如施肥、浇水、锄草、补植、地埂补修等。

3 措施效益分析

3.1 拦蓄效益

根据黄委会绥德水保站、离石水保所、延安水保所等科研站(所)的小区试验观测资料^[2],工程整地造林的多年平均拦蓄效益:水平沟和窄条梯田分别减少径流量 97% 和 72%,减少泥沙量 99% 和 86.2%。由此表明,通过工程整地和造林相结合的方法,其拦蓄效益良好。在一般降雨情况下基本能起到有效的防护作用。

3.2 经济效益

坝坡土地开发利用,是通过防护措施保护坝坡的前题下又尽可能产生较高的经济效益,有效的途径是建立经济林果园,且土壤丰厚,灌溉方便,管理集中。

周家沟坝:外坝坡栽植枣树 702 株,坝顶栽 108 株,马道上栽 32 株,共计 842 株,按矮化密植型栽培。据枣树的生长特性,3~5 a 就可开花结果,梨枣 1~2 a 就挂果。若挂果期近年内每株按 5 kg 产枣量,枣价按 4 元/kg 计算,年产值 1.6 万元。进入盛果期,每株按 25 kg 产枣,年产枣量 2.1 万 kg,年产值可达 8.2 万元。

三交沟坝坡共栽果树 246 株,韭园沟坝坡共栽果树 1 200 株,5 a 后开始挂果,进入盛果期每株按 50 kg 产果,每 1 kg 按 2.0 元价,年产值分别为 2.5 万元和 12.0 万元。当然坝有大有小,还有投入,但总体说经济效益显著。

3.3 社会效益

由于经济效益的激励因素,上述几个坝坡果(枣)园很快被人采用抬价的办法承包。韭园沟坝以 25 a 期限上缴 5 万元承包款,三交沟坝以 15 a 期限上缴 1 万元承包款,周家沟坝也在拟意进行承包管理,承包者的责任义务是管理养护好坝。这里值得特别指出的是,其承包价是否合理,或大或小,但有一点是明了的,一改过去对工程无人管护、管护不好的状态,完全成了切身利益关系的自觉行动,管理好林果园,也就是管护好坝。这对于做到以坝养坝建立一个良好的运行管理体制是很有进取意义的。从社会经济观点讲,对个人、集体和国家都有利。

4 坝坡开发利用可行性论证

坝坡开发利用和进行整地造林,在运用上是必要的,在效益上是可取的,而在技术上是否可行呢?从下面几个主要问题予以探讨。

首先应当指出,坝坡整地造林是在坝体工程完成的前提下进行的,坝体的设计、施工,如筑坝土料、坝面坡度、断面结构尺寸、排水设施等都应满足规范要求。问题的所在是因整地造林而对坝坡稳定和坝体渗透变形的影响及其程度,或者由此引发的其它问题。

4.1 整地对坝坡稳定的影响

外坝坡进行工程整地旨在改变坡度坡长而改变地表土壤的边界条件,这种由平直斜坡改变成水平阶或水平沟状态,仅是地表土壤的微地形变化。坝坡失稳主要表现为滑坡现象。按照土力学中瑞典圆弧法,滑坡土体剪切面似一个圆弧,滑动土体在重力(W)作用下绕圆心旋转而下滑动,而且只有滑动力矩(M_s)大于抗滑力矩(M_R)情况下才滑动,其稳定安全系数(F_s):

$$F_s = M_R / M_s = \gamma LR / Wd > 1$$

式中: F_s ——稳定安全系数; γ ——土的抗剪强度; L ——滑弧长度; R ——滑弧半

径; d ——土体重心绕圆心转动的力臂。

由于微地形改变但其土体的重量未变,平直斜坡改成均匀的台阶(水平沟或水平阶)亦未引起整个土块体重心位置的改变。故平直斜坡情况下与水平阶台(水平沟、窄条梯田等)状态下所算的稳定安全系数 F_s 基本一样。

另按照太沙基条分法,将滑动土体分成若干(i)垂直土条,求各土条对滑动圆心的抗滑力矩和滑动力矩,各取其总和(Σ_i),求出土坡的稳定安全系数: $F_s = M_R / M_s = \Sigma T_i L_i / \Sigma W_i \sin \alpha_i$

由于平直斜坡改变成台阶或水平沟,在局部是半挖半填,挖的部分土条重量 W_i 减小,填的部分土条重量 W_i 增加,在相邻两土条间形成局部结构变化,但因挖填相间,即台阶是均匀排列的,所以土条总体重量 ΣW_i 没变化,重心变化微小,故所计算的 F_s 亦无多大变化。

由此分析认为,工程整地对坝坡的稳定影响不大。

4.2 根系对坝体渗透变形的影响

4.2.1 根系分布特征及其固土作用 素称深根性的枣树,其根系大部分集中在树冠下比较小的范围内。据调查^[3],树高6 m,冠径5.5 m,50 a生左右的金丝小枣树,其根数距干1.5 m以内的占全树总根数的33%~35%,距干3 m以内的占50%~55%以上,距干6 m以外根系稀少,不到全树总根数的20%。据山西省果树研究所对30 a生郎枣调查^[4],在60 cm宽的土壤剖面上,距干0.5 m和1.0 m处的根数分别为264条和235条,距干5,6,7,8 m处的根数则分别为113条、114条、102条和91条。根系密集的区域在树干0.5~1.0 m的区域内。枣根垂直分布主要集中在0~60 cm深的土层内,在15~50 cm深的土层内最多,占到全树总根数的70%~75%。有极少的水平根可伸展到距干15 m以外,垂直根可深达4 m以上,但遇到紧密的重粘土或沙板层,生长受阻而停止。在土层浅薄或地下水位高情况下,垂直分布也受到限制。枣树寿命一般在50~300 a以上。

据调查^[5],20 a生苹果树的根系,主要分布在10~60 cm的土层内,60 cm以下的心土层只有少量的骨干根。根系的水平根主要集中在树干2.0 m左右的土壤区。经对5~7 a的果树根系调查,发现垂直根最大深达2.9 m,在西北黄土高原地区其根系可达4~6 m。果树寿命一般在50 a以上。由于立地条件不同,土层厚度情况,以及树种差异,因而根系分布的深度和广度有所不同。

根在土壤中的扩展和发育,会改变土壤微结构至相当程度。据文献资料^[6],在根与土壤胶结面0~0.4 mm距离处,小圆土粒与直径小于20 μ m的孔隙减少,同时细长的土粒与定向的粘土增多。被认为土粒的定向作用起因于根的压力,且这类粘土不同于通常存在于粘土聚积层中的粘粒胶膜。

另据南京林业大学张金池等人的研究^[7],林地土壤的抗冲性与林木根系,尤其 ≤ 2 mm细根数量、长度及土壤有机质含量密切相关,单相关系数均大于0.8。有机质是土壤结构的改良剂,故土壤抗冲指数亦随有机质含量的增加而增大。腐烂根系不仅能提高土壤有机质含量,而且细小根系,尤其是根毛穿插在土体中亦可防止土体在水中分散、破碎,增强土壤的抗蚀性。

北京林业大学解明曙同志的“林木根系固坡土力学机制研究”一文中指出^[8]:根系在土体内的生长过程中,根尖向四周的土体产生轴向压力,在根尖后面便呈圆柱状扩大,形成根孔四周的土壤容重增加,如氧气供给充足,根系细胞增大时产生的膨压可对接触土体产生 10^6 Pa的压力。受剪切的根系土,由于土的剪应力传递给根的拉应力,使抗剪强度增大。在均质土体中,根系自身受剪切或拉断时产生抗拉强度可达100~500 kg/cm²,较土体颗粒间相对移动所

产生的强度大数百倍。在根系土含水量饱和后,往往还能保持土体不坍塌,无根土主要是由剪体与下伏不动体之间的摩阻力起作用,根系土则因加入根在土体中的滑动摩阻力和粗根受剪时的弹性张力及根在土体中的机械固持力。可见,根系的固土作用明显。

4.2.2 林地土壤水分平衡状况 气候干湿程度反映地面作物水分盈亏情况。以干燥度即蒸发力与降水量之比值来衡量,把干燥度 1.0, 1.5, 2.0, 4.0 作为湿润、半湿润、半干旱和干燥气候的界线。根据年干燥度分布等值线图可知^[9], 2.0 等值线大致沿长城一带通过,而我国山西高原绝大部分地区、陕北高原北部、甘肃六盘山以西大部分地区均属半干旱地区,再往西北则进入干旱地区,范围包括黄河上中游地区的大部分。这些地区几乎每年有干旱发生。由于蒸发量大于降水量以倍数计算,所以常年水分亏缺。在这样的气候条件下,坝坡植树一般是持缺水状态。即使在处于半湿润区的陕北南部和吕梁山区,仍年亏缺水量 120~140 mm。

另据中科院水保所杨新民、杨文治同志的研究报告^[10]:在多年平均降水量 549.1 mm,总蒸发量 1463.5 mm 的杏子河试验地,人工刺槐林的林冠截留占大气降水的 8%~12%,地表径流占 2%~4%。树木的蒸发蒸腾占降水的 84%~90%,即截流量、径流量和蒸发蒸腾 3 项之和已等于大气降水量。也就是说,从一个较长的周期(多年)来看,大气降水没有多余的水量可补给林下土壤来储存,土壤水分经常是处于亏缺状态。在半干旱的黄土丘陵区营造人工林之后,由于强烈的蒸发蒸腾和根系深层发育的吸水作用,会使土壤向干燥化发展,深层土壤储水补给调节树木需水的作用在逐渐消失,使之只能靠当年降水进行生长。从这个意义来看,人工林是在不断地恶化自身生长的土壤水分条件。

枣树、果树等经济树种一般都是高需水量的植物,为补充土壤缺水状况,则考虑进行灌溉。据 K·A 阿姆森对土壤水分循环的研究^[11],“当灌溉用于补充天然的雨量以促进植物的生长时,在土壤水分供应少的时期,灌溉增加的水分,常能进入根区之内。有效地进行浇灌,保证增加的水分大部分为作物的根部所吸收。因此多余的水分不是流入亚表层的水流中,而是很快地由蒸发蒸腾再循环到大气中。”也就是说,灌溉只能起平衡植物水分的需求,并不能构成地下水位的升高。这对我们研究坝坡造林对坝体的渗透变形的影响很重要。由于树根可调用土壤较深层水,则有利加速坝体的脱水固结,特别对于水坠坝更具有意义。

4.2.3 根系对渗透变形的影响 坝体渗透变形的表现形式分为流土和管涌。影响渗透变形的因素,一是土的渗透系数(k);二是具备足够的水力坡降(或称渗流坡降 i)。根据达西定律太沙基公式, k 值和 i 值愈大则渗流量(q)愈大,即

$$q = kiA, \quad k = 2d_{10}^2 e^2, \quad i = h/L$$

式中: A ——垂直于渗透方向的截面积; d_{10} ——有效粒径; e ——土的孔隙比; h ——渗流水头; L ——渗径长度。

因为我们这里所研究的是淤地坝的坝坡由于整地造林可能引起的渗透变形的影响程度,由此认为,坝体断面结构本身是一定的,则 d_{10} 和 L 也被认为基本上是一定的。所剩的主要是土的孔隙比 e 和渗流水头 h 的问题,是我们探讨的根系对渗透变形影响的两个核心问题。

关于孔隙比,我们前面已论述了许多,由于根系所占据的土壤容积以及能调用较深层水分,故随土层深度增加,土体愈加密实,孔隙比值愈减小,渗流量趋于降低。

关于渗流水头,根据坝体浸润线的位置,上游始于坝内水面,下游至反滤体的内坡脚。上游受水位的升降高度而波动,在高水位情况下其浸润线位置较高,在低水位情况下亦低。作为淤地坝在一般情况下不蓄水,即使有的淤地坝前期运行鉴于综合应用也蓄一部分水,但也是低

水位运行,限制在滞洪库容以下。就是在汛期滞洪情况下也限短小时内排泄空。根据黄委会绥德水保站在1954~1963年间对韭园沟坝浸润线观测分析结果报告^[12]:当坝库内无水时其坝体浸润线随时间的增长明显下降;随淤积厚度(尽管库水位升高了)增加,其浸润线总体上是下降的;在坝前淤积不变时,其浸润线随着库水位升高而升高,但上升幅度均低于库水位升高的幅度;将水力学计算法同实测成果比较,实测的浸润线比计算的浸润线要低的多,其相差高度在2.98~10.41 m之间。由此看,作为淤地坝不同于水库,渗透流量一般是不会大的,加之随着时间推移逐年淤高,等于不断给坝体上游水平铺盖,使坝体愈趋于稳定。

因此,认为淤地坝坝坡整地造林(乔、灌、经济林)根系对坝体渗透变形的影响不大。

5 结 语

(1) 淤地坝坝坡(外坝坡、坝顶、马道等)采用工程整地造林的综合配置方式能有效地起到防护措施作用,且在技术上是可行的。

(2) 开发利用淤地坝坝坡土地资源,建立坝坡林果园,其经济效益社会效益显著。这对于做到以坝养坝,建立一个良好的运行管理体制是很有进取意义的。

(3) 鉴于黄河上中游地区地域分布广阔,地貌类型多样,筑坝土料不同,其坝坡面受水蚀、风蚀各有侧重或交错发生。因此,必须遵循因地制宜、综合配置的原则。如:栽植什么样的经济树种,应适地适树;对于沙质坝则应搞生物护坡的方式,而不宜搞工程整地造林;鉴于水库渗透因素复杂故暂不要推行。

(4) 淤地坝工程管护包括坝体、坝面、水工建筑物等,不可忽视其一。特别注意坝顶、坝肩、岸坡排水问题,不致产生集中径流而破坏坝坡面措施。

(5) 建议率先在沟谷骨干工程淤地坝上推行这一护坡措施。最好列为工程设计的一项内容,作为整坡措施实施,工程竣工时一并验收。对已成淤地坝可以进行坝坡面改造利用,但应有组织有计划地实施和验收,注重质量问题。

本项目参加人除2位作者外还有王英顺、段沛璋、郑宝明、范瑞瑜、宋慧斌、邓吉华、杨俊杰、李海潮、武哲、牛越先、任建斌、延兴富、张金柱等同志。

参 考 文 献

- 1 华绍组等. 黄丘I副区水土流失规律及水土保持减水减沙效益试验研究报告, 1989
- 2 熊运阜等. 梯田林草措施减洪减沙指标分析, 1995
- 3 黄新一, 马元忠编著. 枣树高产栽培. 北京: 金盾出版社, 1994
- 4 山东果树研究所编著. 枣. 北京: 中国林业出版社, 1994
- 5 曲泽洲, 陈四维编著. 果树生态. 上海: 上海科学技术出版社, 1988
- 6 (联邦德国) W·伯姆编著. 根系研究法. 北京: 科学出版社, 1985
- 7 张金池等. 苏北海堤林带树木根系固土功能研究. 水土保持学报, 1994, 8(2)
- 8 解明曙. 林木根系固坡土力学机制研究. 水土保持学报, 1990, 4(3)
- 9 西北大学地理系编著. 黄土高原地理研究. 西安: 陕西人民出版社, 1987
- 10 杨新民, 杨文治. 干旱地区人工林地土壤水分平衡的探讨. 水土保持通报, 1988(3)
- 11 (加拿大) K·A 阿姆森编著. 森林土壤性质和作用. 北京: 科学出版社, 1984
- 12 张金慧. 淤地坝浸润线初步试验分析. 人民黄河, 1992(4)