半干旱黄土丘陵区坡地集流水平沟的设计与应用

王月玲[1]，王思成[2]，蔡进军[1]，马 璠[1]，董立国[1]，李生宝[1]

(1. 宁夏农林科学院 荒漠化治理研究所，宁夏 银川 750002；2. 宁夏农垦局，宁夏 银川 750001)

摘 要：为解决现行集流水平沟设计方法缺乏合理性和系统性的问题，从理论分析入手，研究了这类工程的内涵及断面参数，并对集流水平沟工程的集流蓄水效果进行了研究。结果表明，2002—2008 年的 6 a 中，在整个生长季 3—9 月内，集流水平沟的土壤贮水量均明显高于隔坡的土壤贮水量；在试验雨强和降雨量条件下，25°坡面水平沟在 3 个雨强条件下拦截坡面径流量分别为 4.41，64.23，104.13 mm；35°坡面水平沟在 2 个雨强条件下拦截坡面径流量分别为 5.25 和 72.39 mm，而且单位时间内水平沟拦截坡面径流的潜力也随雨强的增大而增大。研究结果表明高强度降雨对坡地改造后水平沟的水分补给具有重要意义。

关键词：集流水平沟；工程设计；应用；半干旱黄土丘陵区

文献标识码：B **文章编号**：1000-288X(2012)04-0147-04 **中图分类号**：S157.1

Engineering Design and Application of Leveled Ditch for Surface Runoff Harvesting on Slope Land in Semiarid Loess Hilly Areas

WANG Yue-ling[1], WANG Si-cheng[2], CAI Jin-Jun[1], MA Fan[1], DONG Li-guo[1], LI Sheng-bao[1]

(1. *Institute of Desert Administer, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia* 750002, *China*; 2. *Ningxia State Farms Bureau, Yinchuan, Ningxia* 750001, *China*)

Abstract: In order to solve the problem of absent rationality and system in leveled ditch design for runoff harvesting, the objectives, cross-section parameters, and havesting potential were studied for leveled ditch design in both theory and experiments. The results show that in the growing seasons (March to September) of the 6 years from 2002 to 2008, water stored in the soil on the slope with leveled ditches was significantly higher than that on the natural slope. in the test rainfall intensity and rainfall, the intercepted runoff were 4.41, 64.23, and 104.13 mm on a 25° slope with leveled ditches, and were 5.25, 72.39 mm on a 35° slope with leveled ditches, respectively. The intercepting capacity per unit time increased with the increase of rainfall intensity, reflecting the importance of high-intensity rainfall to surface runoff harvesting after slope transformation with leveled ditches.

Keywords: level ditch of runoff harvesting; engineering design; application; semi-arid loess hilly area

半干旱黄土丘陵区是我国水土流失危害最为严重的地区之一，水土流失、干旱等因素造成生态环境的不断恶化，严重地制约着该区的社会经济发展。近年来，国家把西北地区生态环境建设作为西部大开发的突破口，这给半干旱黄土丘陵区治理水土流失，促进经济发展，改善生态环境提供了机遇，其关键和核心是建造人工植被，恢复退化了的生态系统[1]。由于该地区地形起伏大，降雨少且集中，雨水资源收集量有限，造林成活率低，需要借助实施坡面集雨蓄水径流林业工程措施，充分拦截坡面径流，防治水土流失，提高水分的利用率，保证人工植被建设林草的蓄水量，提高造林成活率。因此，造林整地对山区水土保持、植被建设有着十分重要的意义。

多年来处于干旱、半干旱黄土丘陵区的宁南山区人工造林成活率、保存率只有 30%左右，干旱缺水成为提高造林成活率的瓶颈[2]。通过利用该区域以坡地为主的地形特点，发展径流林业，就可以有效解决林木缺水的问题。集流水平沟是半干旱黄土丘陵区

收稿日期：2011-08-17 **修回日期**：2011-10-17

资助项目："十一五"国家科技支撑计划项目"半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复技术研究"(2006BAC01A07)；宁夏回族自治区农业综合开发项目"宁南山区小流域综合治理与生态农业建设技术集成与示范"

作者简介：王月玲(1980—)，女(汉族)，宁夏回族自治区固原市人，学士，助理研究员，主要从事黄土高原水土保持与生态环境建设方面的研究。E-mail：nkwyl-1980@sohu.com。

通信作者：李生宝(1958—)，男(汉族)，宁夏回族自治区石嘴山市人，学士，研究员，主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail：nxnlkxy-lshb.hi@163.com。

提出的一种新型坡地集雨蓄水造林整地工程技术，是坡地水土保持工程的重要形式。水平沟不仅具有防止坡面土壤侵蚀、保护表土的作用，而且具有汇集、保持雨水并增加入渗的功能。特别是在干旱区，水分条件差，植树造林极难成活，水平集流沟可为植被建设和树木生长营造良好的水分条件，具有极好的实用价值。但是，如果设计不当，布置不合理，将有可能导致跨沟、坡面溢流、管涌等问题，埋下水土流失隐患。因此，本研究通过科学分析，给出了集流水平沟的合理设计，摸清水平沟集流造林整地的技术机理，为完善坡地水土保持工程设计，做出有益的探索。

1 研究区概况

研究区位于彭阳县东北 13 km 处的白阳镇中庄村，该村总面积 16.5 km^2，耕地面积 1 076 hm^2，地貌类型属于黄土高原腹部梁峁丘陵地，地形破碎，地面倾斜度大，平均海拔在 1 600～1 700 m 之间。该村年平均气温 7.6 ℃，≥10 ℃的积温 2 200～2 750 ℃，境内年蒸发量较大，干燥度为 3.58，无霜期 140～160 d。降雨是雨水资源量的决定因素，该区多年平均年降水量 442.7 mm，降水季节分布很不均匀，主要集中在 7—9 月，可占全年降水量的 60%，雨量集中月份常以暴雨形式出现，易发局地暴雨洪水，而且降水的年际差异较大。水土流失、土地退化等是困扰该区域可持续发展和农民脱贫致富的主要问题[3]。

2 集流水平沟的工程设计

2.1 集流水平沟工程的内涵

集流造林整地工程是坡地雨水径流集蓄叠加利用，发展坡地径流林业有效的水土保持工程措施，其内涵是指水平沟和自然坡地沿山坡相间布置，即上一级水平沟与下一级水平沟之间保留原山坡一定宽度，作为下一级水平沟的主动集流区，调控坡地径流的集聚和再分配，使其在一定面积内富集、叠加，以补充水平沟内植物需水量的不足；同时，集流坡面可配套种植矮杆经济作物、干果经济林和优质牧草等，既可增加经济效益，也对下一级水平沟具有聚肥改良作用，达到提高坡地综合生产力的目标[4-5]。

2.2 集流水平沟断面尺寸有关参数的确定

2.2.1 *集流水平沟的入沟水量* 入沟水量是水平沟设计的基础和依据。入沟水量应根据水平沟内所种植的树木需水量和当地的降雨条件来确定。要保证植物的正常生长，水平沟汇集雨水的总量应大于或等于由于降雨不足而引起的植物需水亏缺量；因此，入沟水量计算公式为：

$$Q=K\pi D^2(W-\alpha\beta P)/4 \quad (1)$$

式中：Q——入沟水量(10^{-3} m^3)；W——所种植树木的年需水量(mm)；P——当地多年平均降雨量或给定的设计频率降雨量(mm)；α——降雨的有效利用系数；β——树木生长季节内降雨量占年降雨量的百分比，在北方树木的生长季节一般为 5—10 月份或 4—11 月份；D——树木冠层的平均直径(m)，通常取成龄树木的冠层平均直径，对于灌木，成龄冠层直径可取 $D=1\sim2$ m，对于一般的水土保持选用的乔木，成龄冠层直径可取 $D=3\sim6$ m；K——与树龄等有关的系数，小于等于 1，成龄树木取为 1。

2.2.2 *水平沟沟距的确定* 水平沟沟距是坡地水土保持工程中水平沟设计的一项极其重要的参数。沟距太大，水平沟起不到截流护坡作用；沟距太小，水平沟拦蓄不到足够的雨水满足植被需水要求，同时还增加了工程造价。因此，水平沟沟距的选择不仅要考虑水土保持的效果还要考虑满足植被的需水要求和水土保持工程造价问题。在半干旱黄土丘陵区，一般来说水平沟的沟距应由所种植植物的需水量来确定。如果以树木的需水量要求确定的沟距过大，可根据水土保持要求作适当调整和进行合理布设。因此，水平沟的水平沟距 S 可由下列式确定：

$$D_d(S-D)\beta kP=Q \quad (2)$$

$$S=D+Q/(\beta kPD_d) \quad (3)$$

式中：S——水平沟距(m)；D_d——每穴(株)树木或灌木平均占有的沟长(m)，如果水平沟单沟长度为 L，每沟种植 n 穴树木或灌草，那么 $D_d=L/n$；k——降雨径流系数，可查阅当地水文资料或由降雨径流试验获得。

2.2.3 *水平沟断面尺寸与宽深比的确定* 水平沟的宽度与深度由给定设计保证率下的最大一次降雨量来确定，即水平沟的有效容积可以截流并储蓄设计保证率下的最大一次降雨所产生的径流。设给定设计保证率下的最大一次降雨量为 P_m(mm)、降雨强度为 I_m(mm/h)，当地土壤入渗速率为 f(mm/h)，则水平沟的宽度(B)与深度(H)可由下式确定：

$$H=P_m(kSI_m-fB)/(1\,000BI_m) \quad (4)$$

2.2.4 *水平沟的设计深度* 通过以上计算得出水平沟的有效容积量下的 B 和 H 值，在确定水平沟实际施工深度时，应考虑超深、加高和当年水土流失淤积量对水平沟容积的影响，有防洪任务时还要考虑防洪要求等因素综合确定。水平沟的设计深度可由公式(5)给出：

$$H_z=H+H_e+D_e \quad (5)$$

式中：H_z——水平沟总的深度(m)；H_e——超深蓄

水安全超深(m)；D_e——填方部分高度(m)。填方部分当年不计入有效蓄水深度,也不能作为安全超深。

2.3　示范区水平沟工程断面设计参数的确定

利用公式(1)—(5)确定该示范区集流水平沟工程断面设计的主要参数。

示范区多年平均降雨量为 442.7 mm,设计保证率约等于 50%。该区降雨的有效利用率 $a=90\%$;树木生长季节 5—9 月的降雨量占全年降雨量约 77%;D 为树木冠层平均直径,以小乔木的平均冠层直径为设计计算依据,取 $D=3.6$ m;根据相关研究成果,确定当地林木需水量为 450 mm。

首先由公式(1)计算出因降雨不足需补充植被的水量 Q,也即入沟水量,经计算得出水平沟入沟水量为 1 457 dm^3。第 2 步由式(2)—(3)计算水平沟沟距 S。参考该区生产习惯,水平沟单沟长度一般为 10 m(有利于承包人施工),每沟种树(或灌木)3 穴。据查研究区气象资料和水文资料,试验示范区属于典型的半干旱地区,根据降雨试验数值,取当地的径流系数为 0.25 进行设计计算。由公式(3)计算可得水平沟沟距 S 为 12 m。第 3 步由公式(4)确定水平沟断面。在给定设计保证率 50%下的最大一次降雨量(据降雨资料分析)为 155 mm,降雨强度为 60 mm/h;据测试当地土壤入渗速率约为 $f=13.2$ mm/h;研究区土质较硬,立坡较稳,水平沟的宽深比 B/H 取 3/4,由公式(4)解得水平沟的宽度 B 为 0.6 m,水平沟的深度为 0.8 m。根据选用的水平沟的宽深比 B/H 和挖填方量基本相等的原则,由公式(5)确定 H_z 约为 100 cm(本设计取 $H_e=5$ cm,$D_e=15$ cm)。通常在沟内侧建植山桃、山杏、沙棘等灌木树种,在沟外侧埂坡上种植以柠条为主的抗旱树种。

3　水平沟工程的应用效果

水平沟是治理坡面不可缺少的工程措施,它与其他水保工程措施配套,对改变地形、拦蓄降水、减轻地表径流、减少土壤冲刷、增加土壤抗蚀、渗透、蓄水性能、提高林木生长量、具有显著的效果,在技术措施中应用广泛。

3.1　增加土壤贮水量

水平沟工程整地的目的就是尽可能地拦蓄径流,增加土壤贮水能力。根据对项目示范区降雨量和土壤水分的长期定位监测以及对 2002—2008 年 6 a 的降雨量和土壤贮水量的数据分析得出(图 1—2),2002 和 2005 年属于平水年,生育期降雨总量分别为 411.5 和 411.9;2003 年属于丰水年,生育期总降雨量 468 mm;2004,2007 和 2008 年都属于欠水年,生育期总降雨量分别为 307.9,237,339.5 mm。在整个生长季 3—9 月内,经过坡地改造后的集流水平沟的土壤贮水量与隔坡土壤贮水量存在显著差异。可以看出无论是欠水年、平水年还是丰水年,在 0—100 cm 土层,水平沟的土壤贮水量均明显高于隔坡自然坡面的贮水量,而且集流水平沟和隔坡自然坡面土壤贮水量与生育期降水量变化随生育期降雨量不同呈周期性变化,在 3 月份,随土壤解冻,土壤贮水量处于较高水平,进入 4 月份,随林木生长耗水量增加,土壤含水量略有下降,5 月份以后,随着气温的升高,当降雨量的补给量大于植物的蒸发量时,土壤贮水量逐渐上升,反之,土壤贮水量开始下降,充分的反映了气候条件是决定着土壤贮水量变化趋势的主要因素,而造成土壤贮水量差异的原因则体现在对径流的拦蓄上。

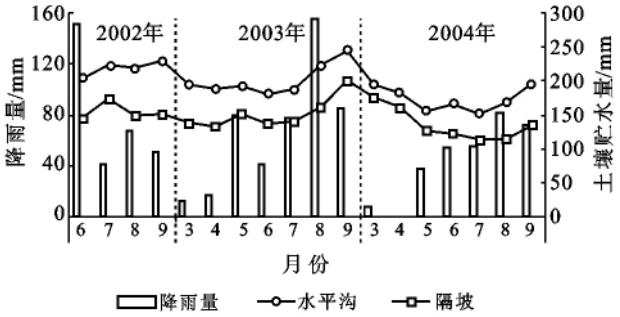


图 1　研究区 2002－2004 年水平沟与隔坡土壤贮水量的季节变化

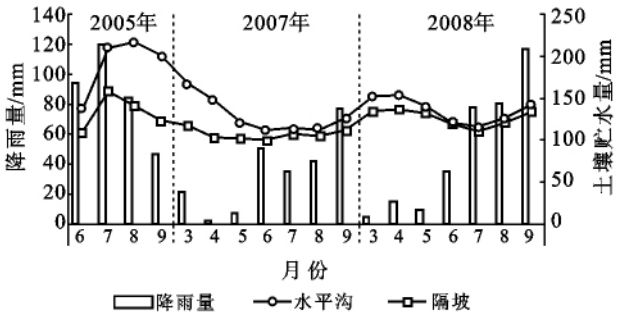


图 2　研究区 2005－2008 年水平沟与隔坡土壤贮水量的季节变化

3.2　控制水土流失

半干旱黄土丘陵区年降水比较集中,且多暴雨。根据示范区多年气象资料均值统计,冬、春季降水分别只占年降水量的 3%和 11%,夏、秋两季的降水量占年降水量的 45%和 41%,造成冬春干旱,夏秋洪涝,而且该区域大于 100 mm 的降水几乎每年都有 1～2 次,由于土壤抗冲力较弱,水土流失严重,大量的有机质、氮素和有机磷随水、土被冲走。水平沟由于改变了坡面的地表形态,拦蓄了径流,有效地控制了

水土流失，提高了水土资源的保育，极大地减少了水土流失量。

按照黄土高原地区流域水量平衡简化模型，结合项目示范区进行的野外定点人工模拟降雨试验，试验布设两个坡度（25°和 35°），3 个降雨强度（12.75，27.50，67.35 mm/h）。由表 1 可以看出，在试验雨强和降雨量下，25°坡面水平沟拦截坡面降雨径流分别为 4.41，64.23，104.13 mm；35°坡面水平沟拦截坡面降雨径流分别为 5.25 和 72.39 mm。而且单位时间内水平沟拦截坡面径流的潜力也随雨强的增大而增大。充分反映出高强度降雨对坡地改造后水平沟的水分补给具有重要意义。

表 1 不同坡度水平沟拦截雨水潜力

降雨参数	25°坡面水平沟			35°坡面水平沟	
降雨强度/(mm·h^{-1})	12.76	27.50	67.34	12.82	28.10
总降雨量/mm	65.97	41.48	56.49	73.16	56.43
总径流量/L	33.23	513.81	832.97	41.91	579.17
水平沟水分增加量/mm	4.41	64.23	104.13	5.25	72.39
总水分（降雨＋径流）/mm	70.38	105.71	160.62	78.41	128.82
1 h 降雨量/mm	12.76	27.50	67.34	12.82	28.10
1 h 径流量/L	6.96	348.96	1 031.28	4.08	234.72
水平沟水分增加/mm	0.87	43.62	128.91	0.51	29.34
总水分（降雨＋径流）/mm	13.63	71.12	196.25	13.33	57.44

4 结 论

（1）根据半干旱黄土丘陵区的典型地形地貌、降雨特性，遵循坡地水量平衡原理和雨水径流叠加利用理论，对坡地集流水平沟的内涵及断面参数进行了定性分析。

（2）通过应用示范检验，给出的以植物需水量和当地降雨量为依据的坡地水土保持工程，水平沟的设计方法以及系列计算公式，比以往经验给出的方法更为科学、合理、可操作性更强，可以应用于水土保持坡地水平沟的工程设计。

（3）水平沟与隔坡自然坡面相比，具有明显的集流蓄水，增加土壤贮水量和控制水土流失的作用。而且单位时间内水平沟拦截坡面径流的潜力也随雨强的增大而增大，充分反映出高强度降雨对坡地改造后水平沟的水分补给具有重要意义。

［参 考 文 献］

[1] 张源润，蔡进军. 半干旱退化山区侵蚀沟及坡面植被多样性研究[J]. 水土保持研究，2004，11(3)：76-78.

[2] 刘作新. 低山丘陵半干旱区农业可持续发展研究[M]. 北京：科学出版社，2000.

[3] 巩杰，陈利顶，傅伯杰，等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报，2004，15(12)：2292-2296.

[4] 高鹏，刘作新，丁福俊. 丘陵半干旱区沟壑分类及治理开发模式研究[J]. 山地学报，2002，20(2)：232-235.

[5] 李凤民，王静，赵松岭. 半干旱黄土高原集水高效农业的发展[J]. 生态学报，1999，19(2)：152-152.