陕南秦巴山区 PP 织物袋梯田筑坎土压力分布研究

高 霞[1], 李光录[1], 王新功[2]

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省千阳县水土保持工作站, 陕西 千阳 721100)

摘 要: 以 PP 织物袋梯田田坎为研究对象,通过人工降雨及弦式土压力盒实测田坎土压力相结合的方法,分析了陕南秦巴山区 PP 织物袋梯田筑坎土的压力分布,进而探究了导致田坎产生滑塌、鼓肚等破坏形式的原因。研究结果表明,对于不同工况修筑的梯田,其田坎土压力分布曲线呈现出不同的形式。暴雨和连阴雨是导致 PP 织物袋梯田垮坎的关键性因素。

关键词: PP 织物袋; 梯田田坎; 人工降雨; 土压力

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2013)06-0037-05 **中图分类号**: S281

Soil Pressure Distribution on Terraced Field Ridge of Polypropylene Bags in Qinba Mountain of Southern Shaanxi Province

GAO Xia[1], LI Guang-lu[1], WANG Xin-gong[2]

(1. *College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*;
2. *Station of Soil and Water Conservation of Qianyang County of Shaanxi Province, Qianyang, Shaanxi* 721100, *China*)

Abstract: The research of soil pressure distribution on the terraced field ridge of polyprophylene bags was undertaken with the test of soil pressure using the soil pressure boxes under artificial rainfall and the cause of slumping and bulging of retaining wall of terraced field with polypropylene bags in Qinba Mountain in Southern Shaanxi Province was explored. The results showed that the distribution curve of soil pressure on the terraced field ridge varied with different building conditions, and the heavy rain and continuous rain are the key factors of the collapse of the terraced field ridge.

Keywords: polypropylene bags; terraced filed ridge; artificial rainfall; soil pressure distribution

陕南秦巴山区修筑的土坎梯田,由于自然因素(土壤黏粒含量大,透水能力差、雨多强度大、地面坡度大等)及人为因素(修筑质量不高,排水系统不够完善、没有植物护梗等)的影响,陕南地区土坎梯田垮坎现象极为严重[1-3]。当地群众采取了一系列预防措施,如挡板法、土中掺沙法、辅助性固坎增稳措施等,但均没有达到较好成效。

PP 织物袋是聚丙烯(polypropylene)与碳墨和抗紫外线(UV)成分复合而成的高分子材料,经工业纺织而制成的布料[4-5]。此材料具有抗紫外线、抗老化、透水保土,便于绿化等特点。在国外,PP 织物袋已广泛应用于公路铁路边坡防护;湖岸、河岸砌护,水库迎水坡防冲;矿山恢复、沙漠治理等多个领域[6-8]。在国内,其主要应用于水利枢纽工程建设,引水渠的防渗,铁路、公路建设以及环保工程建设中,而应用于梯田建设还处在探索阶段[9-11]。

结合土坎梯田极易垮坎的实际情况,陕南秦巴山区特引进了 PP 织物袋作为筑坎新材料。经陕西省商州区黑山镇双庙流域的示范论证,初步成果显示,PP 织物袋筑坎梯田在技术上具有一定的可行性[4]。在此基础上,李光录等[5]还对 PP 织物袋梯田筑坎结构和坎型作了研究,提出 3 种坎型,单坎型、L 坎型、反坡 L 坎型及其适用条件。高霞等[12]对不同坎高、坎坡的 PP 织物袋筑坎的稳定性作了理论研究,研究得出单坎型 PP 织物袋梯田田坎,坎坡 $\theta \geqslant 75°$ 时,坎高控制在 1.6 m 以下;$60° < \theta < 75°$ 时,坎高应控制在 1.8 m 以下;$\theta \leqslant 60°$ 时,可以修筑 2 m 坎高。

PP 织物袋的引进很大程度上解决了陕南地区土

收稿日期:2013-01-25 修回日期:2013-10-05
资助项目:陕西省水保局重点科技示范项目"PP 织物袋梯田筑坎技术的试验与推广"(20101003);水利部科技推广计划项目"PP 织物袋在陕南地区坡耕地治理中的应用与推广"(TG1308)
作者简介:高霞(1986—),女(汉族),甘肃省武威市人,硕士研究生,研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail:gaoxia860224@126.com。
通信作者:李光录(1964—),男(汉族),甘肃省永靖县人,博士,副教授,主要从事土壤侵蚀与土地利用研究。E-mail:guangluli@nwsuaf.edu.cn。

坎梯田易垮坎的问题，但是一场暴雨或几场连阴雨过后，PP 织物袋筑坎也发生了不同形式的破坏，主要以滑塌或鼓肚等形式为主。王棣等[13]通过人工灌水对太行山石灰岩山地经济林隔坡复式石坎梯田进行了稳定性检验。现对 PP 织物袋筑坎梯田田坎采用野外人工降雨及利用弦式土压力盒实测其土压力的方法，探究其土压力的分布及 PP 织物袋梯田筑坎发生滑塌、鼓肚等破坏的原因。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

陕南洋县位于陕西省西南部，地理位置为东经 107°11′—108°33′，北纬 33°02′—33°43′，海拔在 389～3 701 m，年平均气温 14.5 ℃，最高气温 38.7 ℃，最低气温－10.1 ℃，形成东北高陡，南部低缓，中部低平的地势。该地区境内四季分明，光照充足，气候温和湿润，年平均降水 839.7 mm，年平均降雨120 d，月平均降雨 10 d，降雨期最多为 7—10 月份。区内土壤多为弱膨胀土和中等膨胀土，遇水强度衰减快，抗风化能力差。

该区境内植物品种繁多，有铁杉、冷杉、红豆杉、银杏、香樟等乔木树种，同时，有天麻、杜仲、黄姜、绞股蓝等中药材。粮食作物以水稻、小麦、油菜为主，其次有玉米、大豆、蚕豆、高粱、大麦、芝麻、花生和薯类等。近年，洋县依托得天独厚的自然条件，大力发展烤烟产业，鼓励农民种植优质、高产的烟叶，并建立了烤烟产业链为农民的增收提供强有力的保障。

2011 年 10 月，在陕南洋县进行土样采集。在田间采样时，以地块为单位，采用五点法，取样混合成一个混合样品，采样点位置为 107°33.262′E，33°18.287′N，海拔 615 m，测得其土壤的各项物理特性指标详见表 1。

表 1 陕南洋县土壤物理性状

土样编号	含水量/%	容重/(g·cm^{-3})	黏粒含量 <0.002 mm/%	塑性指数 I_p	液限含水量 ω_L/%	塑限含水量 ω_p/%
1	17.25～18.98	1.324	27.5	31.6	52.3	20.3
2	16.84～16.99	1.607	19.3	20.8	41.3	20.8
3	20.62～23.49	1.244	25.6	21.8	42.4	20.6
4	18.55～25.75	1.306	27.0	24.7	46.0	21.0

1.2 研究方法

采用人工降雨检验田坎的稳定性及埋置绝缘性能良好，防水耐用的弦式土压力盒测量田坎土压力值的方法，对引水便利、坎高分别为 1，1.2，1.4，1.6 m 的 4 块梯田，编号分别为Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ的供试梯田进行试验，其坎高、坎坡、面积及地理位置等情况详见表 2。

表 2 供试梯田基本情况

编号	坎高/m	坎坡/(°)	面积/m^2	地理位置		种植作物
				东经	北纬	
Ⅰ	1.0	55	10×6	107°33.218′	33°18.231′	旱 烟
Ⅱ	1.2	60	10×13	107°33.262′	33°18.287′	旱 烟
Ⅲ	1.4	55	10×6	107°33.243′	33°18.281′	旱 烟
Ⅳ	1.6	55	10×13	107°33.259′	33°18.283′	旱 烟

(1) 埋置仪器。在初春修筑梯田的过程中，埋置土压力传感器。沿田坎坎背，隔 30 cm 土壤深度布设一层，每层布设 3 个土压力计，间距 50 cm。在埋置的过程中，一定要保证土压力计竖直且压力盒受力面(光面)朝向墙背，务必将填土夯实，同时记录埋置位置及埋置范围。

(2) 初次读数。经过了 10 个月的自然沉降及农耕踩踏荷载，坎后填土进一步得到夯实。根据埋置土压力盒时的记录，迅速找到土压力计的传输线结头，利用读数仪首次读取土压力初始值。接线过程中，要保证红色接线头接红色接线头、黑色接线头接黑色接线头。

(3) 人工降雨。试验采用人工降雨的方法，首先将梯田分割成长为 10 m，宽为田面宽的田块，外侧和两侧起约 20 cm，宽 30 cm 的土埂，防止水从田面外溢。按照当地雨量、雨强确定人工降雨量(洋县气象站 50 a 以来的最大连续降雨量 109 mm)，在降雨同时，观测记录梯田的变化。

(4) 读取数据。降雨结束后再一次读数，之后每隔 4 h 观测 1 次，持续观测 24 h。

2　结果与分析

2.1　人工降雨检验田坎稳定性

夏季 8 月中旬,对埋置了土压力传感器的 4 块梯田(种植作物烟叶)进行人工降雨,土壤含水量 18%。参照洋县气象站 7 月 28 日 8:00 至 8 月 1 日 8:00 最大连续降雨量 109 mm,也是洋县四郎乡 50 a 以来的最大降雨量折算成人工降雨量,对供试梯田进行降雨,降雨前后均读取土压力盒振弦频率,之后每隔 4 h 观测 1 次,且记录降雨后梯田田坎变化情况,持续观测 24 h。梯田人工降雨稳定性检验结果详见表 3。

由表 3 记录的降雨后梯田状况可以看出,降雨期间及降雨结束 24 h 内,除了不同部位出现有水渗出的现象,供试梯田田坎未出现异常现象,无滑塌迹象。由于 PP 织物袋具有较好的保土透水性,降雨后梯田水分通过袋体缝隙渗出,极大地减少了垮坎可能性,同时也说明了 PP 织物袋田坎较土坎具有明显的稳定性,由特大暴雨造成的滑塌潜在危险性较小,这一结果与理论分析的稳定性结论相一致,进一步说明了在陕南秦巴山区建设 PP 织物袋筑坎梯田的可行性。

表 3　梯田人工降雨稳定性检验结果

梯田编号	坎高/m	降雨量/m^3	降雨后梯田状况
Ⅰ	1.0	6.54	田坎中部有水从 PP 袋缝隙渗出,田坎未见异常
Ⅱ	1.2	14.17	田坎底部部有水渗出,田坎保持原状
Ⅲ	1.4	6.54	田坎上部有水从袋体缝隙渗出,田坎未见异常
Ⅳ	1.6	14.17	田坎不同部位有水从袋体缝隙渗出,田坎保持原状,无滑塌迹象

2.2　土压力测试结果与分析

2.2.1　**田坎土压力测试结果及分布**　土压力测试采用弦式土压力盒,土压力值计算公式为:

$$P=k\cdot f^2$$

式中:k——标定系数(参见土压力盒出厂说明标定表);f——振弦频率(Hz)。

降雨后每隔 4 h 观测 1 次,由于相邻两次观测的值变化不大,所以取降雨前及降雨后第 1,3,5 次读数计算其田坎土压力值。Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ供试梯田田坎降雨前后土压力值见表 4。

表 4　供试梯田田坎降雨前后土压力值

梯田编号	土层深度/cm	降水前压力/kPa	降水后 1 h/kPa	降水后 4 h/kPa	降水后 8 h/kPa	降水后 12 h/kPa	降水后 16 h/kPa
Ⅰ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	40.00	3.65	5.89	5.21	5.02	4.89	4.68
	70.00	4.83	6.93	5.76	5.41	5.53	5.41
	100.00	8.29	14.23	11.34	10.76	10.82	10.76
Ⅱ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	30.00	2.58	4.24	2.16	2.24	2.80	2.41
	60.00	4.56	5.88	5.65	5.54	5.44	5.32
	90.00	5.27	9.43	8.42	8.10	7.87	7.78
	120.00	9.89	15.39	13.63	13.06	12.63	12.54
Ⅲ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	50.00	5.64	5.90	5.86	5.77	5.76	5.73
	80.00	4.96	5.64	5.46	5.33	5.14	5.01
	110.00	3.11	3.80	3.77	3.65	3.46	3.34
	140.00	2.81	3.50	3.46	3.39	3.26	3.20
Ⅳ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	40.00	5.38	9.23	8.32	8.28	8.24	8.67
	70.00	8.37	11.20	9.94	9.62	9.23	10.41
	100.00	8.76	13.08	11.08	10.20	10.07	11.39
	130.00	8.83	17.05	14.83	14.00	13.10	14.97
	160.00	12.09	20.22	18.29	17.60	17.31	18.53

由于陕南地区修梯土壤多为膨胀土，且当膨胀变形受到约束时，膨胀土便对约束土体产生一个反力即膨胀压力[14]。这样，膨胀土填料挡土墙不仅要承受一般土压力，还要承受膨胀土因含水率增大而产生的附加应力—侧向膨胀压力[15-16]。所以，理论上而言，该试验所测得的土压力应是一般土压力和侧向膨胀压力的合力。

由Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ供试梯田土压力值可以得出，Ⅰ，Ⅱ和Ⅳ供试梯田田坎降雨前土压力值沿土层深度成线性分布，Ⅲ供试梯田田坎降雨前土压力值沿土层深度成非线性分布。挡土墙主动土压力分布研究墙后无开挖回填条件下，墙背土压力沿墙高成线性分布；墙后有开挖回填条件，墙背土压力沿墙高成非线性分布[17-20]。依据梯田施工工艺可知，Ⅰ，Ⅱ和Ⅳ供试梯田在建设过程中没有产生较大扰动的开挖回填，只是从下向上修，表土逐台下移，表中Ⅰ供试梯田其田坎土压力值随着田坎土层深度的增加而增大，而Ⅲ供试梯田在土层约 50 cm 深处，土压力值出现了大幅度的增加，总体呈现出先增大后减小的趋势，初步分析是由于Ⅲ供试梯田在建设过程中产生了扰动较大的开挖回填，或原地面处理不彻底，未严格分层填筑分层碾压工艺施工，地基压实度不足等因素造成填土的不均匀性沉降引起[21-22]，也可能是由于填筑的土壤为膨胀性较强的土类。

研究不同坎高供试梯田的土压力值，可以初步探究田坎滑塌、鼓肚等破坏形式产生的原因。数据显示，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ和Ⅳ供试梯田降雨后土压力值均较降雨前增大。Ⅰ，Ⅱ和Ⅳ梯田田坎其土压力值沿土层深度呈线性分布，土压力值随田坎土层深度的增加而增大，在田坎底部土压力值最大，所以在暴雨天气很容易出现田坎底部的滑塌破坏；而Ⅲ供试梯田，随着暴雨强度的增大坎后填土的主动土压力增大，但是其值在某一深度将突增，之后逐渐回落，根据土压力分布可以推断若 PP 织物袋袋体链接口张力不足，很容易在中下部处出现滑塌、鼓肚的现象。

2.2.2 水分对土压力分布的影响 由于陕南地区膨胀土分布较为广泛，不得不考虑水分与膨胀土膨胀变形与膨胀压力之间的关系。有研究表明[14]，在天然含水量情况下，膨胀土吸水后进一步产生的膨胀变形量很小，膨胀变形与膨胀压力均与试前含水量呈显著的线性负相关，而膨胀变形与膨胀压力存在显著的线性正相关，即随着坎后土壤含水量增大，侧向膨胀土压力将减小。在天然含水量情况下，膨胀土吸水后进一步产生的膨胀变形量很小，一旦失水收缩后再与水作用则表现出较强的膨胀性，由此可见，水分对膨胀土引起的膨胀变形产生的膨胀压力主要发生在吸水初期。

表 4 供试梯田田坎土压力数据显示，土压力值在降雨前后的增大幅度最大可达到 90％以上，且在降雨结束 4 h 内增大幅度最大，之后土压力值曲线走势均逐渐接近于降雨前土压力，说明暴雨引起的土压力变化不仅仅是一般土压力值变化，还有膨胀土遇水初期产生的膨胀压力的变化，且暴雨引起田坎破坏主要发生在降雨过程及降雨结束后的 4 h 内。由此可知，在土壤膨胀性较强的地区修筑土坎梯田，很容易因为暴雨引起土压力的突增而导致田坎的破坏。

Ⅱ和Ⅳ供试梯田，于 8 月 3 日人工降雨结束后，翌日凌晨开始下雨，具体情况是Ⅰ供试梯田降雨后间隔 16 h(降雨后第 5 次读数)，Ⅳ供试梯田降雨后间隔 8 h(降雨后第 3 次读数)开始下雨。Ⅱ供试梯田降雨后 3 h、降雨后 5 h 的分布曲线可以看出，降雨对其影响较小，而Ⅳ供试梯田，降雨后 5 h 的土压力高于降雨后 3 h 的土压力。初步分析，是Ⅱ供试梯田降雨结束 16 h 后土壤含水量基本达到饱和，过剩的水分从袋体缝隙渗出，减小了对土压力的影响。Ⅳ供试梯田降雨结束 8 h 后的再一次降雨，其土压力值较前一次观测值略微增大，说明二次降雨进一步增大了土壤水分引起土压力值增大。由此可见，降雨初期，水分对土压力值影响较大，随着降雨时间的推移，土壤含水量逐步增大达到饱和后，降雨对土压力值的影响趋于平衡，所以田坎破坏多发生于暴雨过程中。一次降雨未使得土壤含水量达到饱和，多场连阴雨势必也会对梯田田坎造成破坏，故加强梯田排水对于修筑 PP 织物袋筑坎梯田具有非常重要的意义。

3 结 论

从下向上修梯，表土逐台下移建设的梯田，土压力沿土层深度呈线性分布，其值随田坎土层深度的增加而增大，这种工况的 PP 织物袋梯田在暴雨天气易出现田坎底部的滑塌破坏，而在建设施工过程中发生较大扰动的开挖回填，或因原地面处理不彻底，未严格分层填筑分层碾压工艺施工，地基压实度不足等因素造成填土的不均匀沉降引起梯田田坎土压力沿土层深度呈非线性分布，这种工况的 PP 织物袋梯田在暴雨或连阴雨天气易出现田坎鼓肚、中部滑塌破坏。除此之外，PP 织物袋袋体之间的链接口张力不足也易导致田坎出现鼓肚破坏的情况。同时，研究显示，暴雨、连阴雨引起 PP 织物袋梯田筑坎坎后填土土压力值的增大，同时也是引起膨胀土产生膨胀变形的最直接原因。

[参 考 文 献]

[1] 朱建强. 陕南土坎梯地垮坎的原因分析及防治对策[J]. 水土保持通报,1994,14(6):44-47.

[2] 朱建强,李靖. 陕南几种黏性土的击实特性与其物性物态的关系研究[J]. 湖北农学院学报,2000,2(20):241-243.

[3] 朱建强,李靖. 陕南西部土坎梯地建设研究[J]. 水土保持通报,1998,18(2):19-24.

[4] 李光录,柳诗众,邓民兴,等. PP 织物袋梯田筑坎技术在陕南秦巴山区的应用[J]. 中国水土保持,2011(11):29-30.

[5] 李光录,柳诗众,邓民兴,等. 陕南秦巴山区 PP 织物袋梯田筑坎结构和坎型研究[J]. 中国水土保持,2012(9):44-45.

[6] Honrnsey W P, Scheirs J, Gates W P, et al. The impact of mining solutions/liquors on geosynthetics[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2010, 28(2): 191-198.

[7] Eugeniusz D, Henryk S. Production and use of geotextiles in Poland[J]. Geotextiles and Geomembranes, 1986, 4(1):9-18.

[8] Ennio M P. Soil-geosynthetic interaction: Modelling and analysis[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2009, 27(5): 368-390.

[9] 孙彤彤. 我国聚丙烯土工布的生产应用及发展前景[J]. 非织造布,2011,9(4)29-35.

[10] 高学刚,周奎,张晓辉. 土工编织布加筋土挡土墙在建新拦河闸工程中的应用[J]. 吉林水利,2000(3):5-9.

[11] 吕炜,林杰,赵武君. 海堤工程中的水下土工布施工[J]. 浙江水利科技,2011(1):70-71.

[12] 高霞,李光录,周茂玲. 陕南秦巴山区 PP 织物袋梯田筑坎稳定性分析[J]. 中国水土保持,2012(12):21-23.

[13] 王棣,李永生,刘捷,等. 太行山石灰岩区隔坡复式梯田及稳定性研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1996,4(4):66-70.

[14] 朱建强. 水分对膨胀土膨胀变形与膨胀压力的影响研究[J]. 湖北农学院学报,1992, 19(1):59-61.

[15] 枣世主. 膨胀土与铁路工程[M]. 北京:中国铁道出版社,1984.

[16] 王年香,章为民,顾行文,等. 膨胀土挡墙侧向膨胀压力研究[J]. 水利学报,2008,39(5):580-587.

[17] 陈兴亮,周光余,熊传祥,等. 挡土墙主动土压力分布研究[J]. 探钻工程,2009,36(3):36-40.

[18] 蒋莼秋. 挡土墙土压力非线性分布解[J]. 土木工程学报,1964,10(1)56-65.

[19] 陈页开. 挡土墙上土压力的试验研究与数值分析[D]. 浙江 杭州:浙江大学,2002.

[20] 王渭漳,吴亚中. 重力式挡土墙墙背土压力及其分布的研究[J]. 中南公路工程,1992,3(1)22-29.

[21] 陆建勇,郭洪峰. 某挡土墙局部倒塌原因分析[J]. 陕西建筑,2006(131):15-17.

[22] 郭有福. 高填土路堤沉降原因及预防[J]. 黑龙江科技信息,2010(16):276-277.

(上接第 36 页)

(2) 与裸地比较,水土保持植物措施的径流调控效益达 21.1～94.2%;顺坡与横坡耕作措施的径流调控效益分别达 59.7%和 72.3%;在其它措施相同的条件下,南方普遍采用的梯田、水平竹节沟、鱼鳞坑三种水土保持坡面工程措施,径流调控效益在68.3%以上。

(3) 与单一措施比较,工程措施与植物措施、耕作措施优化组合的综合性水土保持措施,径流调控效益高达 91.6%,应在南方红壤区因地制宜广泛推广。

[参 考 文 献]

[1] 赵其国,谢为民. 江西红壤[M]. 江西 南昌:江西科学技术出版社,1986.

[2] 赵其国,王明珠. 江西省农业持续发展与生态环境的建设[J]. 土壤,1996,28(1):1-7.

[3] 张国华,张展羽,王倪进,等. 南方红壤丘陵区不同生态恢复措施对土壤质量的影响[J]. 水利水电科技进展,2007,27(5):19-22.

[4] 方少文,杨洁. 江西省红壤土壤侵蚀与防治技术研究[M]. 河南 郑州:黄河水利出版社,2010.

[5] 李智广,刘宪春. 第一次全国水利普查水土保持普查方案[J],水土保持通报,2010,30(3):87-91.

[6] 蔡雄飞,王玉宽. 我国南方山区坡耕地水土保持措施研究进展[J],贵州农业科学,2012,40(9):97-100.

[7] Zuo Changqing, Zhang Xianming, Wu Chiachun. Preliminary Report on Technical Research for Soil and Water Conservation, Flood Control and Natural Disaster Reduction on Red-Soil Hilly and Sloping Lands[C]. Proceedings of 12 th International Soil Conservation Organization Conference(Volume Ⅰ). Beijing: Tsinghua University Press, 2002:160-165.

[8] 杨洁. 红壤侵蚀区水土保持植物配置模式[J]. 中国水土保持科学, 2010,8(1):40-45.

[9] 左长清,胡根华,张华明. 红壤坡地水土流失规律研究[J]. 水土保持学报,2003,17(6):89-91.

[10] 许是清. 宁都县风化花岗岩流失区降雨侵蚀力 R 指标的确定[J]. 江西水利科技, 1994,20(1):60-63.