

充填层对覆土层水分变化影响的模拟研究

关天宇, 朱真, 尚韬, 郭薇, 王辉

(中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 水分变动状况是充填复垦土壤质量的重要指标。通过充填柱模拟实验研究了充填复垦中充填层物料孔隙度大小对覆土层含水量变化的影响。结果表明, 充填层孔隙度略小于覆土层时, 覆土层含水量减少最快, 而充填层孔隙度大于覆土层时, 覆土层含水量减少速度与充填层孔隙度成正相关。因此, 在充填复垦实践时, 应根据覆土层孔隙度情况设计充填层的孔隙以保证充填复垦土壤有较强的保水性能。

关键词: 充填复垦; 水分运动; 充填层; 覆土层

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)03-0097-04

中图分类号: S152.7

Simulation Study of Soil Water Dynamics in Overlying Soil with Filling Layers

GUAN Tianyu, ZHU Zhen, SHANG Tao, GUO Wei, WANG Hui

(College of Environment and Spatial Informatics,

China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: Soil water dynamics is one of the important indicators of reclaimed land quality. This paper is concerned about water dynamics in overlying soil with filling layers of different porosities by simulation experiment. Results indicate that water loss is faster when the filling layer porosity is slightly less than that of overlying soil. On the contrary, water loss is positively related to porosity when the filling layer porosity is greater than that of overlying soil. So, in order to keep more water in overlying soil in filling reclamation, filling layer porosity should be designed according to the porosity of overlying soil.

Keywords: filling reclamation; water dynamic; filling layer; overlying soil

充填复垦是两种主要土地复垦方式之一, 它通过废弃物回填埋陷坑再覆土的形式重建耕作土层^[1]。采用充填方式复垦的采煤塌陷区一般深度较大, 多在 1 m 以上, 因此, 复垦后垂直剖面上 1 m 范围内至少明显分成两层, 即充填废弃物层和覆土层。废弃物的种类很多, 尤其是废弃物粒径大小对上层覆土的水分运动及物质迁移、转化等性质影响不同^[2]。土壤水分的运动规律受多种因素的影响, 它能反映土壤的综合性质。

国内对土壤水分竖直一维运动研究也比较多, 尤其是水动力学参数的测定与计算^[3-7]。因此, 研究充填不同粒径废弃物的覆土层水分的垂直运动情况不仅能够反映复垦后土壤的综合物理性质, 部分反映复垦土壤的质量状况, 还能说明不同充填粒径对水分垂直运动的影响规律, 指导充填复垦活动^[8]。

1 仪器与材料

使用德国 IMKO 公司生产的 TDR 土壤含水量测量系统测定剖面含水量。TDR-T3 专用的 TE-CANAT 探管内径为 4.426 cm, 长 1 m, 制作模型时把探管预置在柱状模型中, 避免繁琐的安装。用 TDR 探头沿探管测定其外侧不同深度土层的瞬时含水量(容积含水量)。柱状模型使用 PVC 管制成, PVC 管的内径为 10.7 cm, 管长为 120 cm。制作 4 组, 分别为 I, II, III 和 IV。其中 IV 组充填料为粉煤灰, 其它 3 组为不同机械组成的土壤。每组上所覆土壤的容重和颗粒组成相同。实验用不同粒径配制成的土壤以及粉煤灰作为充填料, 其机械组成、容重、比重、孔隙度设计见表 1。充填土壤颗粒大小分为粗、中、细 3 种, 粒径分别为 0.105~0.9 mm, 0.074~0.105 mm 和小于 0.074 mm。

收稿日期: 2007-10-04

修回日期: 2007-11-02

基金项目: 中国矿业大学大学生科研训练计划项目(060714); 中国矿业大学青年基金项目(2006A034)

作者简介: 关天宇(1984-), 男(汉族), 辽宁省沈阳市人, 在读本科生, 专业方向为土地复垦与生态重建。E-mail: skylinegt@163.com。

通信作者: 王辉(1976-), 男(汉族), 江苏省徐州市人, 博士生, 讲师, 主要从事土地复垦与生态重建研究。E-mail: wanghui@cumt.edu.cn。

表 1 覆土层和充填层物料物理性质设计

项目	粗/ %	中/ %	细/ %	容重/($g \cdot cm^{-3}$)	孔隙度/ %	孔隙度之比	
覆土层	80	10	10	1.05	60.76	1.00	
充填层	I	100	0	0	0.87	67.75	1.12
	II	80	10	10	1.01	62.55	1.03
	III	50	30	20	1.07	59.96	0.99
	IV	70	16	14	0.79	61.07	1.01

注:表中孔隙度之比是指各类充填层孔隙度与覆土层孔隙度之比。

2 数据分析

2.1 竖直方向含水量变化

对每组柱体分别测定覆土层中 23、33 cm 和 43 cm 处的含水量,来说明覆土层土壤上、中、下 3 层的含水量变化情况。从图 1 中可以看出,灌水后的 1

个月(5月24日至6月28日)内,柱体各层含水量总体呈下降趋势,但震荡起伏趋势不同。各柱体垂直方向上含水量变化幅度随时间的变化可以反映含水量的震荡规律,由图 1 可知,中间层土壤含水量基本介于上下两层之间,可由上下两层含水量之差作为垂直方向上含水量变化幅度,变化情况见图 2 所示。

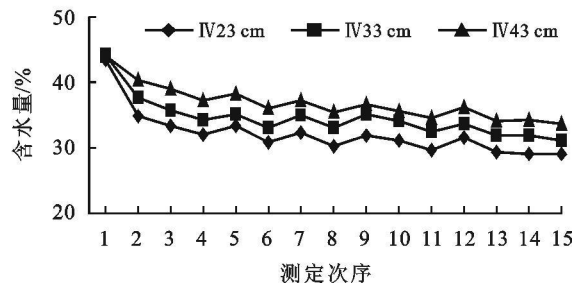
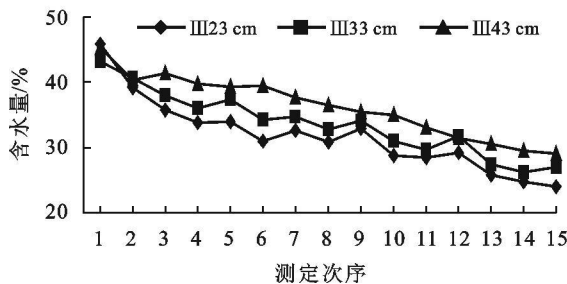
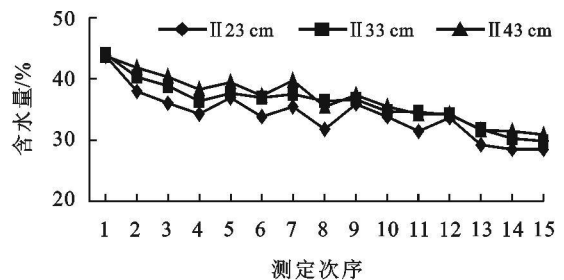
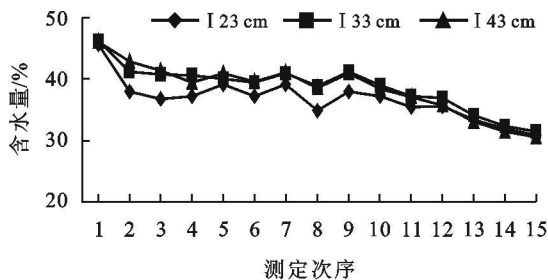


图 1 柱状模型 I、II、III、IV 不同深度土壤含水量随时间变化图

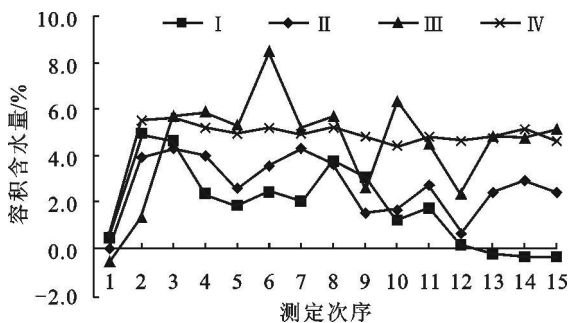


图 2 各柱状模型垂直方向含水量随时间变化

柱 I 中土壤水分垂直趋势变化可以分成 3 个阶段。灌水后的 1~5 d 完成一个上下土层含水量变化振幅,含水量变化最大幅度为 4.9%, 5~16 d 完成

第二个振幅水分变化,含水量最大振幅为 3.7%,此后,上下土层含水量变化逐渐趋于一致。II 中土壤水分垂直变化趋势在测定的 35 d 内也大致可以分为 3 个阶段,1~5 d 为第一个阶段,含水量最大变幅为 4.3%; 5~16 d 为第二个阶段,含水量最大变幅为 4.3%; 但此后上下层含水量并不趋同,而是继续波动,最大变幅为 2.9%,可以预计后期会趋同。III 中土壤水分垂直变化趋势也大致可以分为 3 个阶段,1~9 d 为第一个阶段,含水量最大变幅为 8.5%; 9~16 d 为第二个阶段,含水量最大变幅为 6.3%; 第 3 个阶段与 II 相似,继续波动,最大变幅为 5.1%。IV 比较特殊,灌水 1 d 后,上下层土壤水分含量变幅迅速稳定在 5.0% 左右,持续 25 d 没有改变的迹象。

各点含水量不是直线下降, 是因为水分在复杂多孔介质中的下渗过程具有间歇性, 即存在富集和下渗的交替过程^[9]。

由于孔隙度大小和孔隙连通情况不同, 水分的这种交替过程的时间间隔不同, 表现在一段时间内的含水量高低起伏的次数不同。

对监测的 15 次数据分别用前一次减去后一次值为负数的个数列于表 2。

表 2 各点位每次监测含水量数值前次小于后次的数据个数

充填层类型	I			II			III			IV		
	23 cm	33 cm	43 cm	23 cm	33 cm	43 cm	23 cm	33 cm	43 cm	23 cm	33 cm	43 cm
个数	5	2	3	4	3	3	4	5	2	4	4	5

覆土层含水量的下降速度与充填层对覆土层的孔隙度之比有关, 比较含水量减小速度的顺序与孔隙度之比(见表 1)的关系可以看出, 充填层孔隙度略小于覆土层, 覆土层水分下渗最快(II 情况), 充填层孔隙度略大于覆土层时, 孔隙度越接近, 覆土层水分下渗越慢, 保水性越好。

2.2 相同点位含水量变化

我们从不同的角度来分析不同充填柱的土壤含水量监测结果。把柱 I, II, III, IV 同一深度的土壤含水量汇总起来, 分析不同充填柱同一深度随时间的变化。表层土壤含水量的变化受大气湿度、温度、风度等的影响, 基于试验结果具有可比性考虑, 把 3 根充填柱放置在同样的环境中, 因而表层土壤含水量的变化应该基本一致。各充填柱表层含水量起伏变化并不完全相同(见图 3), 含水量起伏频数也不相同(见表 2)。表层土壤含水量平均值从高到低依次是 I, II, IV 和 III。如果忽略系统误差, 则这种差异主要来源于水分渗漏速度不同, 也就是充填层孔隙性质的差别传递和累积所致。底层含水量变化幅度由于没有多层累积而小于中间层和表层。把灌水后第一次测定的土壤含水量, 和 36 d 后最后一次测定的含水量列于表 3, 并用两者之差表示含水量的减少程度。

可以看出, II 的底层含水量高低起伏最小, 说明水分的下渗过程比较顺畅, 水分积聚状态较少, 上层来水能很快通过该层下渗到充填层中。而 IV 的含水量高低起伏最大, 各层变化趋势相似性较高, 这可以抑制水分的快速下渗, 对土壤保水是有利的。I 和 II 底层含水量的起伏次数相同, 而 II 的中间层起伏次数多, 据此推断, 这 4 个柱体覆土层含水量减少的速度由快到慢的顺序为 III, I, II, IV。

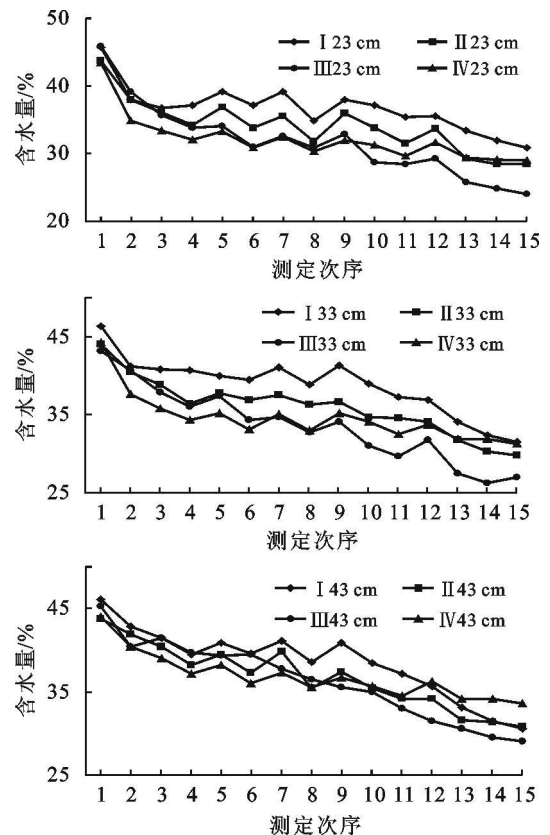


图 3 各柱状模型各点位土壤含水量随时间的变化

表 3 各柱状模型各点位含水量变化情况

m^3/m^3

充填层类型	I			II			III			IV		
	23 cm	33 cm	43 cm	23 cm	33 cm	43 cm	23 cm	33 cm	43 cm	23 cm	33 cm	43 cm
首次测定	45.7	46.3	46.1	43.7	44.0	43.7	45.9	43.1	45.3	43.5	44.2	44.0
末次测定	30.9	31.5	30.5	28.4	29.8	30.8	24.0	27.0	29.1	29.0	31.2	33.6
减少量	14.8	14.8	15.6	15.3	14.2	12.9	21.9	16.1	16.2	14.5	13.0	10.4
平均减少		15.1			14.1			18.1			12.6	

从表 3 数据可知,覆土层土壤不论是上层、中层、下层还是整个覆土层,含水量都是 III 减少最多,IV 减少最少,即充填层孔隙度小于覆土层的减少量较大,而充填层孔隙度大于且接近于覆土层时减少量最小(见表 1, 3),覆土层平均含水量减少的大小顺序为 III I II, IV。也就是说,在这种孔隙度搭配情况下,IV 的下层填充物对上层土壤的水分保持能力较强。

3 结论

通过上述比较分析可知,在一定时间范围内,在充填层与覆土层孔隙度差别不大情况下,充填层孔隙度小于覆土层时,覆土层各层含水量和整层含水量减少的速度较快;在充填层孔隙度大于覆土层时,孔隙度与含水量减少速度成正比,即充填层孔隙度越小,覆土层含水量减少速度越小,保水性越好;反之,充填层孔隙度越大,覆土层含水量减少速度越大,保水性越差。

在进行充填复垦实践时,应该根据覆土层的孔隙特性设计充填层的孔隙度,使充填层孔隙度稍大于覆土层孔隙度,以保证覆土层土壤具有较强的保水性。

[参 考 文 献]

[1] 张国良. 矿区环境与土地复垦[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1997.
 [2] 卞正富, 翟广忠. 矿区土地复垦规划的理论与实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.
 [3] 张耀峰, 张德生, 武新乾. 一维非饱和土壤水分运动的数值模拟[J]. 纺织高校基础科学学报, 2004, 17(2): 123—127.
 [4] 黄冠华, 沈荣开. 层状土壤中一维非饱和土壤水分运动的随机模拟[J]. 中国农业大学学报, 1997, 2(4): 37—43.
 [5] 木拉提·胡塞因, 虎胆·吐马尔拜. 土壤水分运动数学模型的建立及应用[J]. 新疆农业大学学报, 2002, 25(1): 60—62.
 [6] 陈洪松, 邵明安. 推求非饱和土壤水分运动参数的间接方法[J]. 应用基础与工程科学学报, 2002, 10(2): 103—109.
 [7] 吕殿青, 邵明安. 非饱和土壤水力参数的模型及确定方法[J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 163—166.
 [8] 王辉. 充填复垦土壤水分动态研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2006.
 [9] 王辉, 韩宝平, 卞正富. 充填复垦土壤水分垂直运动模拟研究[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(5): 690—695.

勘误: 本刊 2008 年第 2 期第 165 页中“图 2 怀柔径流产沙及污染物流失情况”应为下图。谨此更正, 并向作者和读者致歉。

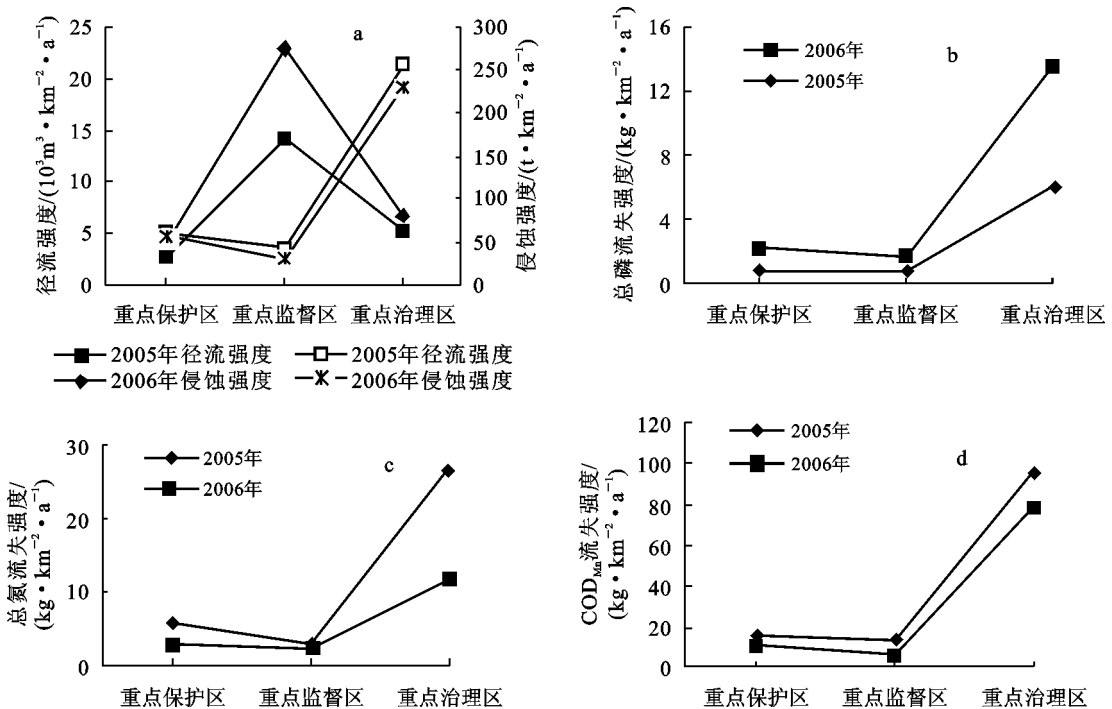


图 4 怀柔区径流产沙及污染物流失情况