重大科研成果转化本科生实验项目教学案例
--露天矿排土场重构水分运移实验

能源学院

马力 副教授

一、基本信息介绍

（一）科研团队或成果基本信息

1. 实验项目依托的重点科研团队名称或重大科研成果名称

本实验项目依托企业委托项目、国家能源集团重大先导项目和国家重点研发计划项目等，围绕新疆干旱区露天煤矿生态修复及保水用水难题，聚焦露天开采生态损害与排土场土层重构过程中水分的涵养与利用，具体依托项目为：

（1）项目名称：红沙泉露天煤矿陡帮开采及压覆煤回采关键技术研究，项目来源：国能新疆红沙泉能源有限责任公司，起止时间：2023.05-2024.11，经费：220.6 万元，项目负责人：马力

（2）课题名称：基于开采工艺优化的露天煤炭生态损伤控制技术研究，国家能源集团重大先导项目（GJNY2030XDXM-19-03.2），起止时间：2020.2-2022.2，经费：80 万元，课题负责人：马力

（课题隶属《干旱生态脆弱区煤炭基地生态修复与保护研究》课题 2，项目总经费：1184.9 万元，项目负责人：毕银丽）

（3）露天生态保护性与排土场海绵结构层序重构技术，国家重点研发计划课题 2（2022YFF1303302）子任务，起止时间：2022.09-2026.08，经费：40 万元，子任务负责人：马力

（课题 2 负责单位为中国矿业大学（北京））

（二）负责人简介

马力，能源学院副教授，硕士生导师，采矿工程博士、力学博士后、矿业工程博士后。西安科技大学露天开采方向奠基人、中国煤炭学会第八届露天开采专业委员会委员、《露天采矿技术》编委会委员、贵州省能源行业专家。主持国家自然科学基金青年基金 1 项、中国博士后科学基金面上项目 2 项、陕西省自然科学基础研究计划青年项目 1 项、陕西省教育厅科研计划项目 1 项、江苏省博士后资助计划项目 1 项、辽宁工程技术大学煤炭资源安全开采与洁净利用工程研究中心开放基金 1 项、企业委托项目 10 余项，承担国家重点研发计划项目子任务 1 项、国家能源集团 2030 重大项目先导项目子课题 1 项。先后参与完成国家高技术研究发展计划（863）项目 1 项、国家科技重大专项项目 1 项，企业委托项目 10 余项。出版学术专著 2 部，发表学术论文 60 余篇，其中发表 SCI/EI 论文 20 余篇，授权国家发明专利 10 项、登记软件著作权 1 项。

1. 实验项目基本信息

（1）实验项目名称：露天矿排土场重构水分运移实验

（2）参与学生基本信息：

	姓名	学号	年级	所在学院	专业
项目组主要参与学生	胡盛炫	22403020535	2022 级	能源学院	采矿工程
	倪魏杰	22403020316	2022 级	能源学院	采矿工程
	张家直	22403020420	2022 级	能源学院	采矿工程
	杨　明	22403020432	2022 级	能源学院	采矿工程
	秦子轩	22403020334	2022 级	能源学院	采矿工程
	吴泽戎	23403020507	2023 级	能源学院	采矿工程

（3）参与教师基本信息：

	姓名	出生年月	职称	工作部门	学术或业务专长
项目组主要参与教师	肖双双	1988.06	副教授	能源学院	采矿工程
	杨　帅	1990.09	副教授	能源学院	采矿工程
	孙伟博	1979.01	讲　师	能源学院	采矿工程
	王　燕	1978.10	讲　师	能源学院	采矿工程

二、科研转化本科生实验项目

(一) 实验相关内容

1. 实验一：重构隔水层实验材料性能研究

实验开始制备时试件控制其干含水率为 5%、密度为$1.528kg/m^3$，将晾晒好的土样密封放置 24h，至土粒与水分充分混合均匀后再制备试件。选择的渗透环刀的尺寸为高为 40mm、直径 61.8m。

（1）实验步骤

①实验开始前在套筒内壁涂一层凡士林，放入土样环刀，刮净多余凡士林置于底座上。

②将进水管口与供水装置联通，并通水排气放平仪器，在不大于 200cm 水头作用下，静置一段时间，待出水管口有水逸出后即可开始测定。

③试验时，将试样妥善安装在渗透仪内，将水头管冲水至需要高度后关管夹开动秒表，同时测记起始水头高度h_1，此后每隔 2min 记录一次测压管高度并记录流出水的水温，10min 后试验结束，开始进行下一个试样的渗透试验。

④依据《土工试验方法标准》取六次试验数据的平均值作为试样在天然状态下的渗透系数。



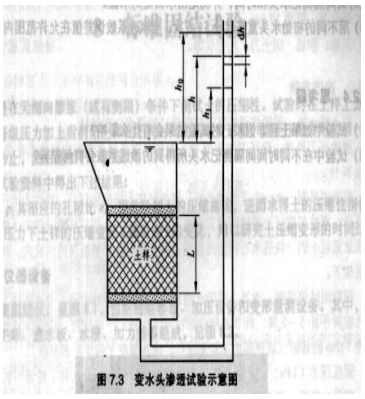


图 1 实验设备及原理图

本实验所得结果如表 1 渗透试验数据示：

表 1 渗透试验数据

试件	经过时间/s	初始水头/cm	终止水头/cm	水温/° C	渗透系数 cm/s	渗透率/m2	平均渗透系数 cm/s
红沙泉当地土壤	1200	90	45	23.9	$1.87x10^{-5}$	$1.87x10^{-10}$	$1.89x10^{-5}$
	1200	90	40.5	23.8	$1.93x10^{-5}$	$1.93x10^{-10}$	
	1200	90	50	23.8	$1.83x10^{-5}$	$1.83x10^{-10}$	
	1200	90	41.7	23.8	$1.92x10^{-5}$	$1.92x10^{-10}$	
	1200	90	41.3	23.9	$1.92x10^{-5}$	$1.92x10^{-10}$	
	1200	90	46.5	23.8	$1.87x10^{-5}$	$1.87x10^{-10}$	
普通黄土	1200	90	75.3	23.8	4.63×10^{-5}	4.63×10^{-10}	5.894×10^{-5}
	1200	90	65.4	23.9	4.76×10^{-5}	4.76×10^{-10}	
	1200	90	55.4	23.8	5.19×10^{-5}	5.19×10^{-10}	
	1200	90	45.5	23.8	5.46×10^{-5}	5.46×10^{-10}	
	1200	90	75	23.8	4.65×10^{-5}	4.65×10^{-10}	
	1200	90	65	23.9	4.78×10^{-5}	4.78×10^{-10}	

重构隔水层在不污染地下水的前提下要实现阻隔表层水下渗及保持结构稳定的基本功能。重构隔水层应达到低渗透性，其渗透率在$10^{-8}\sim10^{-10}m^2$ ，如表 2 渗透性与渗透率关系所示。

表 2 渗透性与渗透率关系

渗透性	渗透率/m^2
高渗透性	$>10^{-6}$
中渗透性	$10^{-6}\sim10^{-8}$
低渗透性	$10^{-8}\sim10^{-10}$
极低渗透性	$10^{-10}\sim10^{-12}$
实际不透水	$<10^{-13}$

由表 2 渗透性与渗透率关系可以得知渗透率越低，材料隔水性能越好。实验结果由表 1 渗透试验数据可知，红沙泉土壤隔水性能优于普通黄土。

（2）实验目标

比较不同材料的渗透性能，选出渗透性能较好的材料，以用于干旱荒漠区露天煤矿外排土场的生态修复。

（3）实验方法

①将装有土样的环刀装入渗透容器，旋紧螺母，密封至不漏水、不漏气。

②将渗透容器的进水口与变水头管连接好，利用供水瓶中的纯水向进水管注水，并渗入渗透容器；

③打开排气阀，排除渗透容器底部的空气，直到溢出的水中无气泡；关排水阀，关进水管夹。

利用 TST-55 和变水头渗透试验测量起始水头高度、终止水头高度、渗径高度、已知时间间隔以及水温，从而计算渗透系数。

2.实验二：重构隔水层实验材料配比研究

（1）实验设计及准备

将实验泥岩筛分为 0.50mm、1mm、2mm 三种粒径，土柱高度设为 5cm、10cm、20cm 三种高度分别组合共计九组实验进行渗透性研究。在各组实验中加入 2400ml 的水，并记录实验时泥岩状态、初始渗透时间、渗透总时间，计算各实验 3min 初始入渗率、6h 初始入渗率、稳定入渗率、平均入渗率。

（2）实验数据记录

1）红色泥岩 粒径 0.50mm

①粒径 0.50mm/柱高 5cm 实验现象及结果

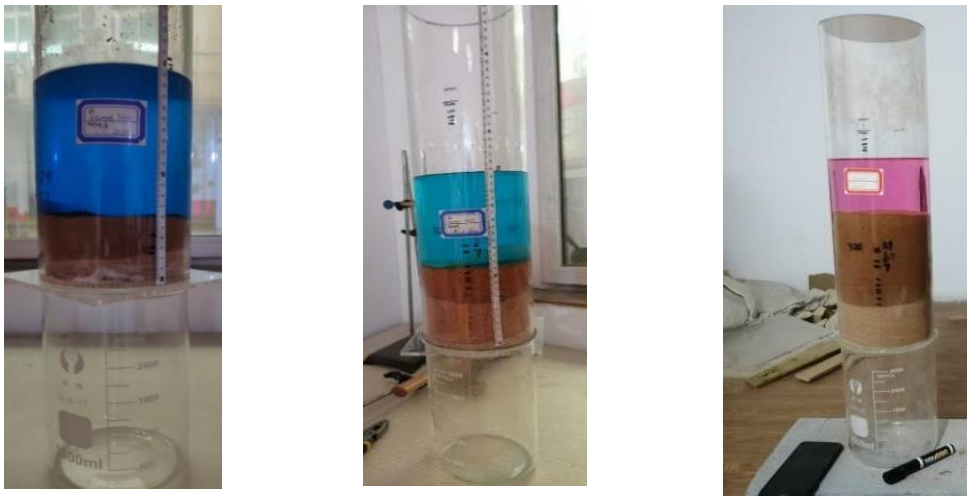
加水 2400ml,重 1.05kg 开始加水时，由于水的冲击力，水流快速下降 1.1cm，之后泥岩迅速崩解，导致空隙减小，水流开始缓慢下降，直至 34 小时后水流到达土柱底部，在 92 小时开始滴水,开始时速度较快，后来逐渐变慢并趋于稳定，到 426 小时水全部滴完，由此粒径 0.50mm/柱高 5cm 的红色泥岩具有很好的防渗效果。

②粒径 0.50mm/柱高 10cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 2.14kg 开始加水时，由于孔隙较小，水流下降缓慢，加入水后，由于泥岩崩解，导致孔隙进一步减小，导致渗透速度减缓。由于厚度增加，于 125 小时开始滴水，前 13 个小时滴水较快，之后逐渐减慢并趋于稳定，全程用时 451 小时。

③粒径 0.50mm/柱高 20cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 4.01kg 开始加水之后水流缓慢下降，在 141 小时到达土柱底部，由于实验周期过长，且静置 112 小时仍未滴水，液面高度也没有变化，用铁棒探知，泥岩已全部泥化，故而终止实验，证明其具有良好的防渗效果。



图二 红色泥岩 粒径 0.50mm 不同柱高渗透性实验

2）红色泥岩 粒径 1mm

①粒径 1mm/柱高 5cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 0.85kg，开始加水时，由于粒径孔隙较大，形成边界流，水流迅速到达土柱底端，之后泥岩开始崩解，12 小时后开始滴水，且滴水速度较快，23 小时时烧杯水深 3.1cm，由于泥岩崩解基本完成，之后开始缓慢滴水，到 357 小时水全部滴完。

②粒径 1mm/柱高 10cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 1.63kg，开始加水时，由于孔隙较大，水流快速下降 5.5cm，之后由于泥岩崩解，导致空隙减小水流开始缓慢下降。

③粒径 1mm/柱高 20cm 实验现象及结果

加水 2400ml，重 3.17kg，倒入水时，水流缓慢下降，60 小时后，水流到达土柱底端，120 小时开始滴水，131 小时时不再滴水，总计滴水 3.2cm，由此可见粒径 1mm/柱高 20cm 的泥岩具有很好的隔水效果。



图三 红色泥岩 粒径 1mm 不同柱高渗透性实验

3）红色泥岩 粒径 2mm

①粒径 2mm/柱高 5cm 实验现象及结果

加水 2400ml，重 0.73kg 开始渗水时，由于边界流导致水流快速到达土柱底部，并流出部分水，由于泥岩逐渐崩解，粒径间隙进一步减小，滴水迅速逐渐减慢，直至 73 小时后，水不再渗出。

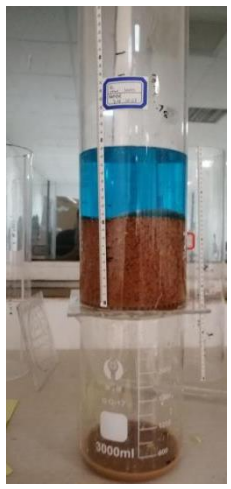
②粒径 2mm/柱高 10cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 1.75kg 开始倒水时，由于粒径孔隙较大导致水流迅速到达土柱底端并形成边界流，烧杯中流入些许水，1 分钟后由于红色泥岩急速崩解，渗水速率大幅减小，之后趋于稳定。由于渗水过程中泥岩进一步崩解，孔隙进一步缩小，水没有完全滴入烧杯，53 小时时不再滴水，烧杯水深 6.5cm 约 675ml，由此可见对于粒径 2mm/柱高 10cm 的土柱可以起到一定的防渗作用，静置 110 小时后仍不再渗水，实验结束。

③粒径 2mm/柱高 20cm 实验现象及结果

加水 2400mL,重 3.11kg，开始加水时，由于泥岩粒径较大，其间隙也较大，导致形成边界流，水流迅速到达土柱底端，第 9 个小时开始滴水，46 小时后不在滴水，静置 108 小时仍未滴水。用铁棒探知土样已全部泥化，实验结束。红色 2mm/20cm 具有较好的隔水效果。





图四 红色泥岩 粒径 2mm 不同柱高渗透性实验

1）灰色泥岩 粒径 0.50mm

①粒径 0.50mm/柱高 5cm 实验现象及结果

加水 1000ml,重 0.80kg，开始加水时，泥岩迅速崩解，并形成部分边界流，导致水流下降 1cm，由于崩解造成土壤泥化，导致土壤间隙进一步减小，之后缓慢渗水，368 小时后泥岩表面水消失，静置 72 小时后烧杯中仍无水下渗，由此 0.5mm 灰色泥岩具有很好地防渗效果。

②粒径 0.50mm/柱高 10cm 实验现象及结果

加水 1000ml,重 1.82kg 开始加水时，由于粒径较小，孔隙较小，水流缓慢下降，随着泥岩崩解程度越来越高，水流和水柱液面下降速度更加趋于缓慢，最终 271 小时水流到达土柱底端，静置 108 小时后仍没有水渗出，终止实验。

③粒径 0.50mm/柱高 20cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 3.77kg 开始加水时，由于粒径较小，孔隙较小，水流缓慢下降，随着泥岩崩解程度越来越高，水流和水柱液面下降速度更加趋于缓慢，在 217 小时液面高度和水流高度不再变化，由于实验周期过长，故而在静止 108 小时仍无变化后终止实验。




图五 灰色泥岩 粒径 0.50mm 不同柱高渗透性实验

2）灰色泥岩 粒径 1mm

①粒径 1mm/柱高 5cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 0.86kg 开始加水时，水流迅速到达土柱底部，泥岩迅速崩解，部分物质变成悬浊液流入烧杯，之后开始滴清水，清水与浊液形成分层，由于泥岩进一步崩解，导致土壤间隙进一步缩小，滴水速度逐渐慢，之至 65 分钟后水全部滴完，烧杯水深 12.7cm，约 1900ml，二次加水后，不再滴水。

②粒径 1mm/柱高 10cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 1.63kg 开始加水时，孔隙粒径大，边界流很大，部分泥岩崩解带出部分物质，1min 后由于泥岩的大部分崩解，岩块间距减小，边界流明显减小，开始缓慢滴水，烧杯中的浊液逐渐沉淀。12 小时后液面高度下降 2.0cm，烧杯水深增加 0.5cm，之后不再滴水，液面不再下降静置一周后仍无变化。

③粒径 1mm/柱高 20cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 3.46kg，开始加水时，由于孔隙粒径较大，形成边界流，导致水流快速下降，之后泥岩开始崩

解，导致土壤间隙减小并逐步泥化，伴随水柱高度和水流缓慢变化，直到 181 小时，水流到达土柱底端，静置 2 周后仍不滴水，用铁棒探知土柱中泥岩已全部泥化。





图六 灰色泥岩 粒径 1mm 不同柱高渗透性实验

3）灰色泥岩 粒径 2mm

①粒径 2mm/柱高 5cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 0.77kg 开始倒水时，由于孔隙较大，水流迅速到达土柱底端，并伴随着大量的边界流，崩解速度快，变成悬液伴随水流流出。该方案经过了三次加水操作，三次加水均为 2400ml，在前两次的加水过程中，边界流过大，且不受控制，第三次加水后，边界流相对于前两次的流速有缓慢减少，但依旧很快。在边界流的影响之下，渗流通道将物质带出之后，将渗流通道压实之后，2mm/5cm 的灰色泥岩防渗效果较差。

②粒径 2mm/柱高 10cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 1.65kg 初次倒水，由于孔隙粒径大，水流迅速到底，在第一次倒水时，1min 水全部流完，经过五次的倒水后，导致泥岩逐渐崩解，孔隙逐渐减小，第五次的下降时长为 9min，水流速度明显减慢。

在实验过程中，观测到泥岩遇水崩解后形成渗水通道，为探索泥岩饱水后孔隙效应对渗流的影响，在第一次加水过程完成之后，上部液面消失，将泥岩轻微捣实，在第二次加入等量水后，水位无明显下降，无明显的渗水，进一步说明泥岩遇水崩解后在饱水压实状态可以起到一定的防渗作用。

③粒径 2mm/柱高 20cm 实验现象及结果

加水 2400ml,重 3.43kg 开始倒水时，由于孔隙较大，水流迅速到达土柱底端，并伴随着大量的边界流，10 分钟后水全部流尽，于是第二次加水 2400ml，由于泥岩大量崩解，导致泥岩泥化，粒径之间被压实，导致不再滴水。





图七 灰色泥岩 粒径 2mm 不同柱高渗透性实验

实验数据处理结果汇总

粒径	红色泥岩	类型	初始入渗率		稳定入渗率 cm/h	平均入渗率 cm/h	灰色泥岩	类型	初始入渗率		稳定入渗率 cm/h	平均入渗率 cm/h
			3min 初始入渗率 cm/min	6h 初始入渗率 cm/h					3min 初始入渗率 cm/min	6h 初始入渗率 cm/h		
0.5mm	5cm	湿润	——	0.42	0.07	0.14	5cm	湿润	——	0.26	0.06	0.07
		液面	——	0.17	0.03	0.02		液面	——	0.69	0.02	0.01
		累计	0	0	0.01	0.01		累计	——	0	0	0
	10cm	湿润	——	0.38	0.08	0.09	10cm	湿润	——	0.47	0.03	0.01
		液面	——	0.13	0.02	0.03		液面	——	0.87	0.01	0.04
		累计	0	0	0.02	0.01		累计	——	0	0	0
	20cm	湿润	——	0.67	0.11	0.14	20cm	湿润	——	0.53	0.02	0.06
		液面	——	0.12	0.05	0.04		液面	——	1.78	0.01	0.03
		累计	0	0	0	0		累计	——	0	0	0
1mm	5cm	湿润	——	——	——	——	5cm	湿润	——	——	——	——
		液面	——	0.28	0.03	0.04		液面	0.1	——	0.15cm/min	0.16cm/min
		累计	0	0	0.02	0.03		累计	0.73	——	0.13cm/min	0.17cm/min
	10cm	湿润	——	——	——	——	10cm	湿润	——	——	——	——
		液面	——	0.46	0.03	0.04		液面	——	0.19	0.13	0.56
		累计	0	0	0.02	0.03		累计	——	0.2	0.1	0.16
	20cm	湿润	——	1.9	0.11	0.33	20cm	湿润	——	1.45	0.08	0.11
		液面	——	0.33	0.05	0.08		液面	——	1.05	0.02	0.03
		累计	0	0	2.12	0.03		累计	——	0	0	0

2mm	5cm	湿润	——	——	——	——	5cm	湿润	——	——	——	——
		液面	——	0.52	0.08	0.14		液面	——	——	——	——
		累计	——	0.8	0.07	0.13		累计	——	——	——	——
	10cm	湿润	——	——	——	——	10cm	湿润	——	——	——	——
		液面	——	0.38	0.13	0.14		液面	——	——	——	——
		累计	——	0.65	0.06	0.12		累计	——	——	——	——
	20cm	湿润	——	——	——	——	20cm	湿润	——	——	——	——
		液面	——	0.2	0.06	0.09		液面	——	——	——	——
		累计	——	0.17	0.13	0.11		累计	——	——	——	——

（3）实验小结：

①对于 1mm 以下同粒径的红色泥岩与灰色泥岩，灰色泥岩的平均入渗率小于红色泥岩，防渗效果大于红色泥岩；

②对于 1mm 粒径 5cm 的灰色泥岩平均入渗率大于红色泥岩，10cm 和 20cm 的平均入渗率均小于红色泥岩，由此对于 1mm 粒径泥岩，厚度越大，防渗效果越好；

③对于 2mm 粒径的泥岩，红色泥岩防渗效果远大于灰色泥岩，且厚度越大，防渗效果越好；

3.实验三：土壤水分运移规律研究

毛细现象在土壤水分运移中的作用至关重要，其研究对于理解土壤水分的分布、植物生长以及水资源管理等方面都有重要意义。毛细现象是指液体在狭窄空间（如土壤颗粒间）中因表面张力作用而上升或下降的现象。这一机制能够帮助研究者理解水分如何在土壤中移动，特别是在土壤水分饱和度较低的情况下。毛细现象受到土壤颗粒大小、形状、排列方式和土壤的孔隙度等因素的影响。通过研究这些影响因素，可以更好地预测不同类型土壤中的水分运动规律。将记录下的毛细水上升高度进行分析，将实验观测数据放在以时间和高度为坐标的直角坐标系中，将高度对时间求导，得到毛细上升速率。

（1）实验内容

一维条件下：将玻璃毛细管插入装有染色水的容器中，随时间观察液体在毛细管中的上升或下降情况，并记录液面的高度。

二维条件下：将两块玻璃片或透明硬塑料片平行放置，一端用橡皮筋固定，另一端用曲别针别住，形成一个楔形开口。将染色水倒入浅盘子中，然后将带有楔形开口的玻璃片竖直放入水中，随时间观察水在两块玻璃片之间的缝隙中上升的情况，并记录缝隙中液面的高度。

（2）实验数据记录

表 3　一维条件下的毛细现象

时间（h）	高度(cm)	速率(cm/h)	时间(h)	高度(cm)	速率(cm/h)
0.1	3	30	45	15.3	0.19
0.35	4	4	48	16.3	0.18
0.7	5	1.5	51	16.6	0.18
1	5.7	0.7	54	17.2	0.18
3	6.2	0.6	57	17.7	0.17
6	7.1	0.26	60	18.5	0.17
9	8.2	0.25	63	18.9	0.16
12	8.8	0.24	66	19.1	0.16
15	9.6	0.23	69	19.5	0.16
18	10.2	0.23	72	19.8	0.15
21	10.9	0.23	75	20.5	0.15
24	11.3	0.22	78	20.9	0.15
27	12.1	0.22	81	21.3	0.15
30	12.6	0.21	84	21.9	0.14
33	13.3	0.21	87	22.4	0.14
36	13.8	0.2	90	22.7	0.14
39	14.4	0.18	93	23	0.14
42	14.8	0.19	96	23.3	0.13

表 4　二维条件下的毛细现象

时间(h)	高度(cm)	速率(cm/h)	时间(h)	高度(cm)	速率(cm/h)
0.1	4	40	45	15.8	0.22
0.35	5	5	48	16.9	0.22
0.7	5.8	1.7	51	17	0.22
1	6.3	1.1	54	12.7	0.21
3	6.6	0.8	57	18.4	0.21
6	7.5	0.7	60	18.9	0.19
9	8.6	0.31	63	19.3	0.2
12	9.2	0.29	66	19.7	0.19
15	9.9	0.29	69	20.1	0.18
18	10.4	0.28	72	20.6	0.17
21	11.3	0.27	75	21.1	0.17
24	11.7	0.27	78	21.7	0.17
27	12.6	0.26	81	21.9	0.16
30	13.1	0.26	84	22.5	0.16
33	13.8	0.24	87	22.8	0.15
36	14.3	0.24	90	23.3	0.15
39	14.6	0.23	93	23.7	0.15
42	15.2	0.23	96	24.1	0.14

（3）实验目的

开展一维与二维毛细实验，研究土壤压实度对毛细作用水分运移影响关系，揭示一维与二维条件下毛细水上升现象及影响规律。

（4）实验小结

通过室内试验，测得了土壤上升高度与时间的关系，并证实了毛细水上升阻力随着上升高度的增加而增加。

（二）实验项目效果简介

1．实验项目所产生的教学成效

（1）增强理论实践结合

通过实验，学生可以将课堂上学到的理论知识应用到实际问题的解决中，加深对水文学、土壤学和生态修复等相关知识的理解和应用能力。

（2）提升实践操作技能

实验需要学生亲自动手，进行土壤采样、数据分析等操作，有助于提升学生的实验技能和解决实际问题的能力。

（3）培养创新思维

在实验过程中，会遇到各种预期之外的问题，需要动用创新思维去寻找解决方案，对于培养学生的创新意识和能力是有益的。

（4）加深对矿山环境问题的认识

通过参与排土场重构水分运移实验，学生可以更直观地了解露天采矿对环境造成的影响，以及生态修复的重要性，从而增强环境保护意识。

（5）促进跨多学科知识学习

此类实验涉及生态、环境工程等多个学科领域，有助于学生建立跨学科的知识体系，为未来从事相关领域的工作打下坚实的基础。

（6）提高科研素养

学生在参与实验的过程中，会接触到科研方法论和数据分析技巧，在学的过程中思考，思考的过程中实验，有助于提高科研素养和学术水平。

2.师生的反馈和评价

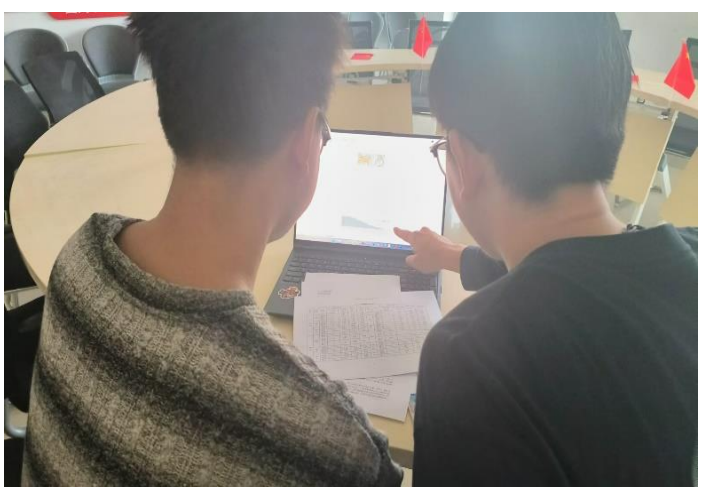
学生可以通过实验观察和分析水分在排土场不同层次土壤中的迁移和分布情况，了解水分运动的基本过程和原理。学会了设计合理的实验方案，选择合适的实验设备和方法，进行现场采样、样品处理、数据测量和记录。通过对实验数据的整理和分析，学生可以学会使用统计和图形工具来分析水分运移规律和影响因素。能够将理论知识应用于实际问题中，如评估露天矿开采活动对水文地质条件的影响，提出相应的环境保护措施。并且学生认识到合理管理矿产资源开发与环境保护的重要性，促进学生对可持续发展理念的认识和实践。

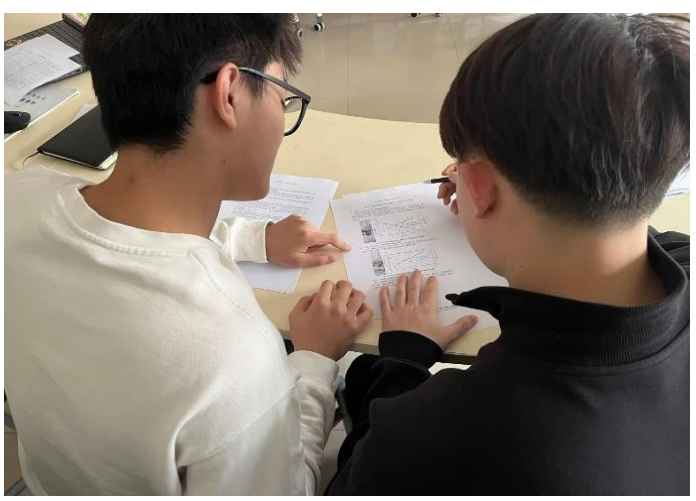
（三）支撑材料

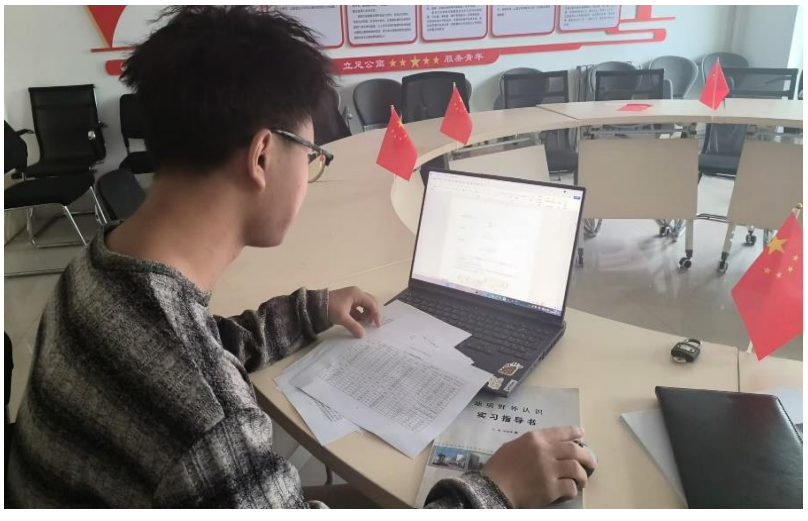
1. 实验过程记录











图八 实验方案设计讨论






图九 实验泥岩材料性能的定期观察及记录






图十 不同种类泥岩渗透性的观察与记录






图十一 不同粒径泥岩的筛选及分类




图十二 模拟重构排土场隔水层结构实验

2. 学生依托本项目发表的论文

www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net 中国煤炭行业知识服务平台

第 2 卷 第 2 期 绿 色 矿 山 Vol.2 No.2
2024 年 6 月 JOURNAL OF GREEN MINE June 2024

干旱区外排土场反向平盘风蚀作用影响规律数值模拟研究

马 力[1],马 宁[1],毕银丽[2],彭苏萍[3],王晓民[1],胡盛炫[1],倪魏杰[1],张奇峰[1],李蒙博[1]

(1.西安科技大学 能源学院,陕西 西安 710054;2.西安科技大学 地质与环境学院,陕西 西安 710054;3.中国矿业大学(北京) 矿山生态修复研究院,北京 100083)

摘 要:干旱区露天矿水资源匮乏,外排土场风力较大、风速过快,导致植物存活率降低,不利于生态修复。为有效解决大风对植物存活率的影响,以红沙泉露天矿为例,利用 Fluent 软件模拟了在 6~10 m/s 风速条件下外排土场不同挡土墙高度的无风区域大小及变化规律,根据无风区大小,确定外排土场挡土墙最佳高度为 2 m,考虑挡土墙高度对排土作业的影响,采用 1 m 挡土墙叠加1 m 防风抑尘网结构。同时,在外排土场设置反向平盘结构,相较于传统水平方向布置平盘,可以有效增大无风区域,减少土壤中水分的蒸发,弱化风沙对植物带来的危害,从而使干旱区外排土场植物的存活率提升。依据大涡模拟,研究了在反向平盘角度为 5°、10°、15°和 20°的条件下不同风速的无风区范围,确定了外排土场平盘倾斜最佳角度和不同风速条件下反向平盘三级结构的无风区域。结果表明:随着角度的增加,相同速度下无风区域先增大后减小,角度对无风区域的影响不明显;在角度相同的情况下,随着速度增加,无风区域逐渐减小。依据模拟结果发现角度为 10°时无风区范围达到最大为 2.8 m,确定 10°为最合适角度,挡土墙加排土场反向设计可以一定程度的增大无风

图十三 本科生依托本实验发表学术论文

3. 参与竞赛获奖情况



图十四 第十二届“桃战杯”陕汽集团陕西省大学生创业计划竞赛省级铜奖



图十五 中国国际大学生创新大赛(2024)校级一等奖