

# 矿区泥浆泵复垦土壤物理特性的 时空演化规律\*

陈龙乾 邓喀中 唐宏

(中国矿业大学国土资源研究所, 徐州 221008)

刘振田 笪建原 李延明 李荣连

(徐州矿务局征地迁建管理处, 徐州 221006)

**摘 要** 以徐州矿区为例, 对不同时期不同层次泥浆泵复垦土壤进行了监测和分析, 揭示了泥浆泵复垦土壤物理特性的时空演化规律。结果表明: 与正常农田相比, 泥浆泵复垦土壤质地表层偏粘性, 底层偏砂性; 土壤容重表层偏高, 底层偏低; 土壤团粒结构含量偏低。随着复垦后时间的推移, 泥浆泵复垦土壤不断熟化, 表现为土壤容重表层不断降低和底层不断增加, 以及土壤团粒结构不断增加的演化特征, 后者则以 0.5~3 mm 团粒结构的形成速度较快。至复垦后第 13 年泥浆泵复垦土壤容重和团粒结构基本接近正常农田的水平。

**关键词** 矿区, 泥浆泵, 复垦土壤, 物理特性, 时空演化

**中图分类号** S158

矿区土地复垦是指对采矿过程中, 因挖损、塌陷、压占等造成破坏的土地, 采取整治措施, 使其恢复到可供利用状态的活动。复垦土壤即复垦土地的土壤, 是指对被破坏的土地进行复垦以及采取生物、物理和化学的土壤培肥技术措施而形成的人工土壤<sup>[1]</sup>。根据我国矿区土地复垦的实际情况, 复垦土壤因破坏土地的类型以及所用复垦材料和复垦工艺的不同主要分为煤矸石复垦土壤、粉煤灰复垦土壤、露天采矿迹地和排土场复垦土壤以及煤矿塌陷地用泥浆泵(水力挖塘机组)的复垦方法所形成的泥浆泵复垦土壤等 4 类。

由于工程复垦时对土壤的搅动、压实、混合的影响以及充填复垦材料的原因, 使得复垦土壤的特性发生较大的变化, 导致复垦土壤的质量下降。土地复垦的最终目标是恢复土地的生产力。因此, 复垦土壤就成为土地复垦最重要的研究对象。国外的复垦工作研究较早, 在复垦土壤重构及其基本特性等方面均已进行了深入的研究<sup>[2]</sup>。在我国, 虽然复垦工作起步较晚, 但在复垦土壤研究方面不断取得进展, 初步建立了煤矸石、露天矿排土场等固体废弃物复垦土壤重构的原理和方法<sup>[3,4]</sup>及其土壤特性的基础理论<sup>[5,6]</sup>。本文以徐州矿区煤矿塌陷地的泥浆泵复垦土壤为研究对象, 对不同时期不同层次泥浆泵复垦土壤的物理特性进行监测和分析, 旨在揭示泥浆泵复垦土壤物理特性的时空演化规律, 为泥浆泵

\* 江苏省社会发展基金(BS98108)资助项目, 煤炭高校优秀青年科学基金(97-015)资助项目

收稿日期: 1999-11-27; 收到修改稿日期: 2000-12-17

复垦土壤选择适合的复垦土壤改良技术<sup>[7]</sup>提供理论依据。据调查,每采 1 万 t 煤平均要塌陷土地 0.3 hm<sup>2</sup>,根据 1949~1998 年煤炭产量累计约 240 亿 t 计算,全国解放以来因采煤破坏塌陷的土地已达 70 多万 hm<sup>2</sup>。而且煤炭破坏塌陷土地的 1/2 在平原地区,绝大部分是优良的耕地。因此,本文研究结果对指导江苏省乃至全国煤矿塌陷地泥浆泵复垦土壤的改良具有重要意义。

## 1 研究地点概况

徐州矿区位于江苏省西北部徐州市管辖的铜山县、贾汪区、九里区以及沛县境内,东邻黄海岸边的连云港市,南与安徽、北与山东、西与河南等省接壤。矿区总面积为 2094 km<sup>2</sup>,地势平坦,是一个具有百年开采历史的老矿区。徐州矿务局自建局以来,由于开采沉陷的影响,已累计采煤塌陷土地 7595.7 hm<sup>2</sup>。<sup>[8]</sup>

在全国,徐州矿区采煤塌陷地的复垦治理起步较早,开始于二十世纪 80 年代初。根据开采沉陷的规律,将塌陷区按潜水位的高低、塌陷地稳定程度、积水状况等进行分类分级,并依次采取相应的科学复垦措施。在潜水位较高、塌陷较深的稳定区,采取挖深垫浅的泥浆泵复垦技术,在开挖鱼塘的同时营造耕地,通常开挖一份面积鱼塘可抬三份面积耕地。至 1998 年底,矿区有规划、有步骤地已累计复垦采煤塌陷地 4800 多 hm<sup>2</sup>,土地复垦率在 50% 以上。

该地区属南温带的鲁淮区,是长江流域与黄河流域气候的过渡带,为黄泛冲积平原,土壤属棕潮土类型,发育层次明显,表层为黄色,下层多为棕黄色。土壤肥力中等,土体呈中性至微碱性。作物布局以麦、豆、玉米为主,排灌条件好的能种水稻。该地区年平均降水量 834.7 mm,雨季 6~8 月降水量占全年的 58.7%。年平均气温 14.18℃,无霜期 225 天。

## 2 材料与方法

### 2.1 土样采集

于 1999 年 4 月按泥浆泵复垦后第 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 年的时间为标准,选取不同时期具代表性的泥浆泵复垦地作为土样采集对象,以矿区未受采矿影响的正常农田为对照,每处理又从地表向下按 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm 三个层次分别进行取样,而且每处理取样点不少于 10 个。土样按同一处理同一层次进行归类。各采样对象具有相同的种植制度和施肥管理水平。

### 2.2 测定方法

根据标志耕地土壤物理特性的因素<sup>[9]</sup>确定泥浆泵复垦土壤物理特性的主要测定项目为土壤机械组成、土壤容重和土壤结构组成,所采用的测定方法<sup>[10]</sup>依次为比重计速测法、环刀法和机械筛分法。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 土壤机械组成的变化

由于土壤机械组成在短期内的变化不大,因此仅对复垦后第1年的泥浆泵复垦土壤进行土壤机械组成的物理性粘粒( $< 0.01\text{ mm}$ )含量测定,并根据卡庆斯基土壤质地分类标准<sup>[1]</sup>确定其土壤质地类型,结果如表1所示。可见,泥浆泵复垦地0~40 cm土层土壤物理性粘粒含量均比对照正常农田增加,特别是表层0~20 cm土壤增加的数量最大,而底层40~60 cm土壤的物理性粘粒含量则比正常农田降低。这是由于泥浆泵复垦程序首先是由高压水枪对原土进行切割、粉碎形成泥浆混合液再通过泥浆泵管道输送到待抬高复垦的土地上,然后泥浆沉积排水达到设计标高的过程。在泥浆沉积的过程中,颗粒较大的砂粒沉淀的速度快,而颗粒较小的粘粒则相反。因此,泥浆泵复垦地表层土壤粘粒含量高,底层土壤粘粒含量低。从表1中土壤质地类型来看,对照正常农田三层土壤均为中壤土,而泥浆泵复垦地从表层向下则依次为重壤土,中壤土,轻壤土。重壤土质地粘重,通气透水性差,易渍水,易板结,耕性不良,不利作物生长。

表1 土壤物理性粘粒含量及其质地

Table 1 Physical clay content and texture of the soil

处 理 Treatment	土 层 Soil depth (cm)	物理性粘粒含量 Physical clay (%)	土壤质地类型 Soil texture
对 照	0~20	41.34	中壤土
	20~40	35.62	中壤土
	40~60	30.81	中壤土
泥 浆	0~20	56.79	重壤土
	20~40	38.16	中壤土
	40~60	25.43	轻壤土

#### 3.2 土壤容重的变化

土壤容重是土壤最重要的物理特性。泥浆泵复垦土壤容重的变化情况如表2所示。可见不同时期泥浆泵复垦地0~20 cm土层土壤容重均比对照正常农田的高,20~60 cm土层则相反。由于泥浆泵复垦时对原土不仅进行切割、粉碎而且上下层土壤混合,同时泥浆沉积排水时亦流失有机养分,从而导致泥浆泵复垦地表层土壤腐殖质含量低,并且表层土壤虽然粘粒含量高,但其土粒以单粒为主,排列致密,其相对正常农田来说总孔隙度偏小。此外,泥浆泵复垦地底层土壤虽然砂粒含量高,但其相对正常农田来说土壤未被过度压实而相对疏松。因此,泥浆泵复垦地与正常农田相比在复垦后一定年限内表现为表层土壤容重偏高、底层土壤容重偏低的特征。

从表2还可以看出,泥浆泵复垦地0~20 cm土层从复垦后第1年至第3年土壤容重在增加,第3年以后则随着时间的延长在不断降低,这是因为该层土壤前3年以沉实为主,此后则因耕翻种植而不断熟化;而20~60 cm土层土壤容重从复垦后则随着时间的延长

而不断降低,这主要是因为该层土壤随着时间的延长不断沉实以及地表耕作对耕作层(0~20 cm)以下土层进行不断压实的原因。但从总体上看,泥浆泵复垦地不同层次土壤容重均随着时间的推移在逐渐接近正常农田。

为了更好地揭示泥浆泵复垦土壤的时空演化规律以及增加结论的可靠性,采用成组数据平均数的两尾 *t* 检验法对有关数据进行检验,其检验结果如表 2 所示。*t* 检验 I 表示的是泥浆泵复垦地不同时期不同层次土壤容重的实测值,均同对照正常农田相应层次土壤容重的实测值进行差异显著性的检验;*t* 检验 II 表示的是泥浆泵复垦地下一处理年度不同层次土壤容重的实测值,同其上一处理年度相应层次土壤容重的实测值进行差异显著性的检验。显著性水平是  $P < 0.05$  为差异显著,  $P < 0.01$  为差异极显著。可见,泥浆泵复垦

表2 土壤容重变化情况

Table 2 Variation of soil bulk density

处 理 Treatment	土 层 Soil depth (cm)	土样数 Number of soil sample	土壤容重 Soil bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	<i>t</i> 检验I		<i>t</i> 检验II	
				T test I		T test II	
				概率值 Probability value	显著性水平 Significance level	概率值 Probability value	显著性水平 Significance level
对 照	0~20	12	1.28±0.04				
	20~40	12	1.49±0.03				
	40~60	12	1.57±0.05				
泥 浆 (1年)	0~20	12	1.33±0.03	7.040×10 <sup>-4</sup>	极显著		
	20~40	12	1.36±0.03	1.057×10 <sup>-9</sup>	极显著		
	40~60	12	1.41±0.03	4.672×10 <sup>-9</sup>	极显著		
泥 浆 (3年)	0~20	12	1.36±0.03	2.748×10 <sup>-6</sup>	极显著	0.008	极显著
	20~40	12	1.40±0.03	7.148×10 <sup>-7</sup>	极显著	0.005	极显著
	40~60	12	1.45±0.04	4.194×10 <sup>-7</sup>	极显著	0.013	显著
泥 浆 (5年)	0~20	10	1.35±0.03	1.860×10 <sup>-5</sup>	极显著	0.381	不显著
	20~40	10	1.42±0.03	1.433×10 <sup>-5</sup>	极显著	0.161	不显著
	40~60	10	1.46±0.03	2.050×10 <sup>-6</sup>	极显著	0.323	不显著
泥 浆 (7年)	0~20	10	1.33±0.02	4.060×10 <sup>-4</sup>	极显著	0.107	不显著
	20~40	10	1.44±0.02	2.220×10 <sup>-4</sup>	极显著	0.093	不显著
	40~60	10	1.48±0.03	1.826×10 <sup>-5</sup>	极显著	0.150	不显著
泥 浆 (9年)	0~20	11	1.32±0.02	3.083×10 <sup>-3</sup>	极显著	0.263	不显著
	20~40	11	1.45±0.02	3.320×10 <sup>-3</sup>	极显著	0.117	不显著
	40~60	11	1.50±0.02	2.210×10 <sup>-4</sup>	极显著	0.070	不显著
泥 浆 (11年)	0~20	10	1.30±0.02	0.042	显著	0.063	不显著
	20~40	10	1.46±0.02	0.012	显著	0.311	不显著
	40~60	10	1.51±0.02	4.862×10 <sup>-4</sup>	极显著	0.468	不显著
泥 浆 (13年)	0~20	10	1.29±0.02	0.270	不显著	0.085	不显著
	20~40	10	1.47±0.02	0.078	不显著	0.160	不显著
	40~60	10	1.52±0.01	1.635×10 <sup>-3</sup>	极显著	0.207	不显著

土壤容重与正常农田相比,在复垦后第 9 年前不同时期不同层次均表现为极显著的差异;在复垦后第 11 年 40~60 cm 土层亦表现为极显著的差异,0~40 cm 土层则表现为差异显著;至复垦后第 13 年 40~60 cm 土层仍表现为极显著的差异,但 0~40 cm 土层则表现为差异不显著。这说明泥浆泵复垦地土壤容重在复垦后第 13 年 0~40 cm 土层已接近正常农田的水平。但泥浆泵复垦地土壤容重除复垦后第 1 年与第 3 年之间表现为 0~40 cm 土层差异极显著和 40~60 cm 土层差异显著的水平外,此后随着时间的推移下一处理年度与上一处理年度的相应层次之间均表现为差异不显著。

### 3.3 土壤结构性的变化

土壤结构性是指土壤中结构体的形状、大小及其排列情况。近似球形、疏松多孔、直径约为 0.25~10 mm 的团粒结构对土壤肥力有重要意义。特别是 > 1 mm 的大团粒结构能合理调节土壤的通气与持水以及养分的释放与保持之间的矛盾,是植物良好生长的结构基础<sup>[12]</sup>。土壤团粒结构的形成与土壤有机质含量、耕作制度、种植模式等因素有关,主要形成于耕作层土壤中,耕作层以下的土壤则很难形成。因此,对泥浆泵复垦地仅研究表层 0~20 cm 土壤的结构性演化状况。表 3 所示的是其水稳性团粒结构组成变化情况。可见,泥浆泵复垦土壤水稳性团粒结构总量在复垦后第 1 年仅为 4.25%,比对照正常农田低得多,而且 3 mm 以上的大团粒几乎没有。由于泥浆泵复垦时用水力对原土进行切割、粉碎破坏了原土壤大量的结构体而变成单个土粒,同时原土变为泥浆溶液后土壤有机、无机胶结物浓度下降,这同自然土壤变为水田后土壤胶结物明显下降而使土壤中的大团聚体都有不同程度的破坏的道理<sup>[13,14]</sup>有相似之处。因此,泥浆泵复垦地初期土壤团粒结构含量低。但随着复垦后时间的推移土壤在不断熟化,其团粒结构含量则逐渐增加。这在红壤中也有类似的研究结果<sup>[15,16]</sup>,说明耕作年限越长越有利于土壤团粒结构的形成。泥浆泵复垦土壤在复垦后第 13 年其 0~20cm 土层土壤水稳性团粒结构总量为 24.73%,其中 0.5~3mm 水稳性团粒结构量为 18.81%,是对照正常农田的 92.34%,已基本接近正常农田的水平。而 0.5~3mm 团粒结构恰恰又是农业生产上最为理想的团粒结构<sup>[11]</sup>。

表3 土壤水稳性团粒结构组成变化情况

Table 3 Variation of structure composition of water-stable granulars of the soil (%)

粒径 Diameter (mm)	对照 Contrast	泥浆(1年) SRHDP <sup>1)</sup> (1 year)	泥浆(3年) SRHDP (3 years)	泥浆(5年) SRHDP (5 years)	泥浆(7年) SRHDP (7 years)	泥浆(9年) SRHDP (9 years)	泥浆(11年) SRHDP (11 years)	泥浆(13年) SRHDP (13 years)
>5	0.84	— <sup>2)</sup>	—	—	—	—	—	0.32
5~3	1.77	—	—	—	0.35	0.48	0.61	1.05
3~2	2.81	0.22	0.39	0.74	0.99	1.11	1.95	2.60
2~1	6.32	1.36	1.41	1.52	2.12	3.16	4.30	5.27
1~0.5	11.24	2.11	3.93	4.63	4.95	6.32	8.16	10.94
0.5~0.25	5.87	0.56	0.86	1.35	1.87	2.66	3.76	4.55
3~0.5	20.37	3.69	5.73	6.89	8.06	10.59	14.41	18.81
总量	28.85	4.25	6.59	8.24	10.28	13.73	18.78	24.73

1) SRHDP—Soil Reclaimed by Hydraulic Dredge Pump. 2) “—”表示含量很低无法测定

## 4 结 论

1. 与正常农田相比,泥浆泵复垦地上层土壤粘粒含量高于下层土壤,从而使土壤质地呈现层状分布状况,表层土壤偏粘性,底层土壤偏砂性。

2. 泥浆泵复垦地 0~20 cm 土层土壤容重在复垦后前几年逐渐沉实增加至最大值,此后土壤不断熟化容重随时间的延长在不断降低,但不同时期其土壤容重均比正常农田高;20~60 cm 土层土壤在复垦后一直随时间的延长而不断沉实和压实,其容重在不断增加,但不同时期其土壤容重均比正常农田低。不过从总体上看,泥浆泵复垦地不同层次土壤容重均随着时间的推移在逐渐接近正常农田,至复垦后第 13 年其 0~40 cm 土层已接近正常农田的水平。

3. 泥浆泵复垦地土壤团粒结构总量在复垦后初期远远低于正常农田,此后随着时间的推移土壤在不断熟化,其团粒结构逐渐形成而不断增加。其中 0.5~3mm 团粒结构的形成速度较快,在复垦后第 13 年基本接近正常农田的水平。

## 参 考 文 献

1. 陈龙乾,邓喀中,徐黎华等. 矿区复垦土壤质量评价方法. 中国矿业大学学报,1999,28(5):449~452
2. Potter K N, Carter F S, Doll E C. Physical properties of constructed and unconstructed soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1988, 52:1435~1438
3. 林大仪,王志亚,王铮等. 在煤矸石复垦工程中绿肥牧草对矸石风化壳生态环境影响初探. 中国土地科学,1994,8(3):45~48
4. 吴增禄,佟则昂,马志本. 安太堡露天煤矿排土场恢复植被和生产力研究. 冶金矿山设计与建设,1995,27(3):51~55
5. 李树志. 矸石农业复垦的土壤特性及剖面结构分析. 煤矿环境保护,1996,10(4):25~27
6. 白中科,吴梅秀. 矿区废弃地复垦中的土壤学与植物营养学问题. 煤矿环境保护,1996,10(5):39~42
7. 陈龙乾,唐宏. 矿区复垦土壤改良的技术措施. 中国矿业大学学报,1999,28(增刊):20~22
8. 笄建原,刘振田,李廷民等. 徐州矿区综合治理采煤塌陷地的有效途径. 中国矿业大学学报,1999,28(增刊):84~85
9. 王荫槐主编. 土壤肥科学. 北京:农业出版社,1992. 13~51
10. 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室编. 土壤物理性质测定法. 北京:科学出版社,1978. 26~95
11. 西南农学院主编. 土壤学. 北京:农业出版社,1980. 33~37,74~75
12. 姚贤良,于德芬. 赣中丘陵地区红壤的不同结构对某些水分物理性质的影响. 土壤学报,1966,14(1):65~72
13. 姚贤良,于德芬. 赣中丘陵地区红壤性水稻土的结构状况及其肥力意义. 土壤学报,1962,10(3):267~289
14. 邓铁金,樊友安,周任发. 红壤性水稻土的形成过程特点及其肥力演变. 土壤学报,1985,22(1):1~11
15. 唐淑英,钟继洪,杨兴邦. 新垦赤红壤结构特性的演化. 土壤学报,1995,32(3):253~265
16. 孙波,张桃林,赵其国. 我国中亚热带缓丘区红粘土红壤肥力的演化 I. 物理学肥力的演化. 土壤学报,1999,36(1):35~47

## LAW OF TEMPORAL AND SPATIAL EVOLUTION OF PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL RECLAIMED BY HYDRAULIC DREDGE PUMP IN MINING AREA

Chen Long-qian Deng Ka-zhong Tang Hong

*(Institute of Territory Resources, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008)*

Liu Zheng-tian Da Jian-yuan Li Yan-ming Li Rong-lian

*(Management Section of Land, Xuzhou Mining Bureau, Xuzhou 221006)*

### Summary

This paper is to study the law of temporal and spatial evolution of the physical properties of soils reclaimed by hydraulic dredge pump in mining area. Taking Xuzhou mining area for example, soils of various times and depths of the reclaimed land by hydraulic dredge pump were studied. Results showed that in comparison with normal farmland soil, the soil texture tended to be clayey in the topsoil and sandy in the subsoil. The soil bulk density tended to be higher in the topsoil and lower in the subsoil. Meanwhile, the content of soil water-stable granular structure tended to be lower. As time went on, the reclaimed soil showed a decreasing trend in soil bulk density in the topsoil and an increasing one in the subsoil whereas the content of water-stable granular structure increased. In the latter the 0.5~3 mm granular structure formed quicker. After 13 years of cultivation on the reclaimed land the soil bulk density and granular structure would have reached basically that of the normal farmland soil.

**Key words** Mining area, Hydraulic dredge pump, Reclaimed soil, Physical properties, Temporal and spatial evolution