

不同施工机械碾压下矿区复垦土壤物理性质的变化

张雯雯¹, 闵祥宇², 孙晓明³, 郑加刚⁴

(1. 烟台市征地办公室, 山东烟台 264003; 2. 山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018; 3. 烟台市不动产登记中心, 山东烟台 264003; 4. 烟台市土地储备中心, 山东烟台 264003)

摘要:以国家自然科学基金为依托建立模拟实验区,探究不同施工机械和碾压次数下的土壤物理指标(压实度、容重、孔隙度、含水量、电导率和温度)的变化。研究表明:随土层深度的增加,压实度、容重和电导率逐渐递增,孔隙度、含水量和温度逐渐递减;随碾压次数的增加,压实度和容重逐渐递增,孔隙度逐渐递减,土壤含水量、电导率和温度先增加后降低,其中使用自卸汽车时,3次碾压指标值最高,使用履带式推土机时,5次碾压指标值最高,而使用履带式推土机的处理效果要好于使用自卸汽车;通过对各处理与对照间的拟合度分析发现,使用履带式推土机碾压5次的土壤中各指标与对照拟合度最高,表明采用“履带式推土机×碾压5次”的组合,复垦土壤中物理性质与正常土壤最为接近。

关键词:施工机械;碾压次数;复垦土壤;物理性质

中图分类号:S153

文献标识码:B

引文格式:张雯雯, 闵祥宇, 孙晓明, 等. 不同施工机械碾压下矿区复垦土壤物理性质的变化[J]. 山东国土资源, 2017, 33(3): 64-72. ZHANG Wenwen, MIN Xiangyu, SUN Xiaoming, etc. Effect of Different Machinery and Compaction on the Physical Property of Reclamation Soil in Coal Area[J], Shandong Land and Resources, 2017, 33(3): 64-72.

0 引言

煤炭是中国目前最主要的能源,约占一次性能源消费量的74%,中国也是世界上最大的煤炭生产国和消费国^[1]。然而在采煤的同时造成了大量的土地破坏,据有关资料表明,我国工矿累计破坏土地约400万hm²,其中采煤塌陷土地的数量最大且每年仍以3.3~4.7万hm²的速度递增^[2-4]。

在煤炭开采和土地复垦的过程中,土壤都会受到一定程度的扰动,当深层开采或使用大型机械压实时,这种扰动更为剧烈^[5]。塌陷地复垦的过程实质上是土壤重构的过程,由于复垦过程中机械碾压、搅动等的影响,使重构土壤理化性质发生改变,引起土壤质量下降^[6]。国内外相关研究也表明:现代复垦技术研究的重点应是土壤因素的重构而不仅仅是

作物因素的建立,为使复垦土壤达到最优的生产力,构造一个最优的土壤物理、化学和生物条件是最基本的^[7]。而对土壤剖面的重构过程是土壤重构的关键,也是最为基础的第一步,人为重构土壤剖面可加速重构土壤不同层次间的分化,并可在较短时间内形成与区域土壤相匹配的耕作土壤的剖面层次^[2]。

复垦过程中对土壤重构以及土壤压实问题的研究,国内外专家学者做出大量工作,并取得许多理论成果。早在1990年,伊利诺伊大学的Dunker就提出压实是复垦土壤不利于植物生长的最主要原因;Assouline认为土壤压实后,会造成土壤大孔隙比例失调,土壤透水通气性差^[8];胡振琪认为,复垦施工过程中使用的不同机械会对土壤造成不同程度的压实问题,将土壤重构与采矿工艺相结合时,能够构造出质量更好的土壤^[1];陈星彤进一步揭示了不同复

收稿日期:2016-11-13;修订日期:2017-01-25;编辑:陶卫卫

基金项目:国家自然科学基金资助项目(批准号:41171425)

作者简介:张雯雯(1983—),女,山东聊城人,工程师,主要从事土地利用、土地复垦等方面的研究;E-mail:zw1018sunny@163.com

垦工艺下的土壤压实度的空间变化^[9]。但对不同压实程度下的土壤环境因子的变化规律的探究尚未深入。该研究在大田环境下建造实验区,探究不同施工机械和碾压次数下的土壤压实度的差异,并进一步揭示重构土壤的容重、孔隙度、水分、电导率和温度的空间变化,并找出使重构土壤质量恢复最好的最优处理条件。

1 材料与方法

1.1 试验区自然条件

本实验区设立在山东农业大学南校区试验田内,该区属暖温带半湿润大陆性季风气候。四季分明,年平均气温 13.2°C,年平均降水量 803.7 mm。

1.2 实验设计

试验以国家自然科学基金为依托建立模拟实验区,2011 年 7 月在试验区内对煤矿区土地复垦的主要类型进行施工模拟。分别以建筑垃圾、粉煤灰、煤矸石为填充材料,在上部覆盖表土,并采用质量为 25 kg,直径为 40 cm 的重锤模拟施工机械对土壤的

碾压作用,2 种施工机械分别为自卸汽车(东风 EQ3060 型,轮胎滚动一圈对地面的压强为 993 kPa)和履带式推土机(NT855-B280 型,轮胎滚动一圈对地面的压强为 33.7 kPa)。重锤从不同高度下落会对地面产生不同的压强,因此根据不同机械对地面的压强计算重锤下落的高度,使其在设计高度自由落体,可较好地模拟机械碾压对土壤造成的压实,模拟碾压次数分别为 1,3,5,7,9 次(图 1)。并以充填土壤灌水自然沉实模拟周边正常土壤作为对照,总计 31 块样地。

试验区每块样地均为 1 m×1 m×1 m 高的立方体,底部充填 40 cm 填充物,上层覆盖 60 cm 粉砂质壤土,采用重锤压实使充填分界面平整。土壤经过三年的自然熟化,于 2014 年 7 月 18 日分 4 层(0~5 cm,5~15 cm,15~30 cm,30~50 cm)采集试验样区表土样用于实验分析,每个处理进行 3 次重复,并在采样前使用 WET 三参数仪测量土壤水分、电导率和温度;澳大利亚 CP40II 型土壤紧实度仪测量土壤压实度。为避免边际效应带来的影响,采样时取样地中间 0.5 m×0.5 m 区域。

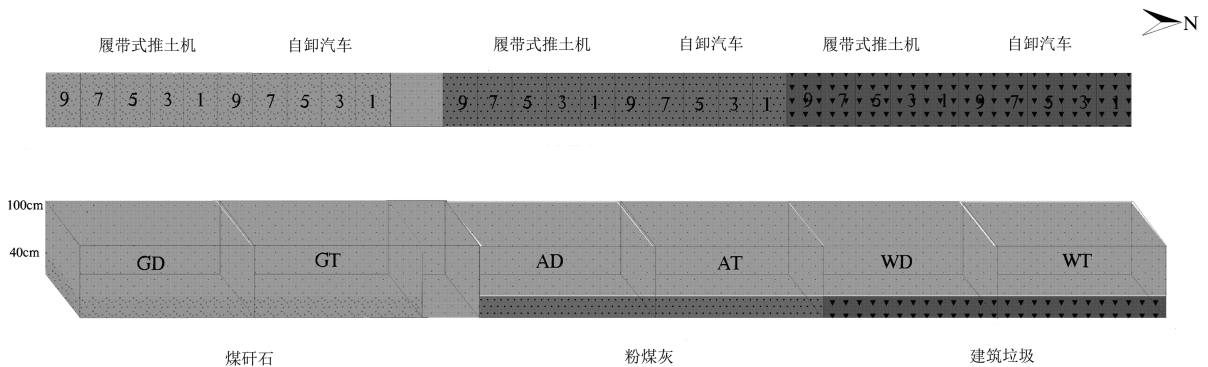


图 1 实验设计图

1.3 样品处理

土壤容重的测量:采用环刀法,利用环刀在土壤剖面上取样,将环刀内所有土样全部烘干,用烘干土的质量除以环刀的体积测定^[10];土壤孔隙度的测量:用比重瓶法测得土样比重,根据公式土壤孔隙度(%)=(1-土壤容重/土壤比重)×100 测得^[10];土壤含水量、电导率、温度的测定:利用 WET 三相仪,将探针插入土壤剖面中,从屏幕中读取。土壤压实度的测定:利用澳大利亚 CP40II 型土壤紧实度仪测量。为了能够更准确地反映复垦土壤物理性质的变化情况,数据采用各测量数的平均值来处理。

2 结果与分析

2.1 土壤压实度的变化规律

土壤压实普遍由施工机械碾压引起,会使土壤颗粒发生空间位置的变化,造成复垦土壤空隙体积减少、排挤土壤颗粒间空气、土壤密度增加等的影响。土壤颗粒的大小、排列、含量会在机械施工的影响下发生变化,但在一定深度的土层中,土壤颗粒的性质又保持相对的稳定性,从而使土壤压实度有统计意义上的规律可寻^[9]。

表 1 表示分别使用自卸汽车和履带式推土机碾

压,不同土层深度的土壤压实度情况。使用履带式推土机碾压,土壤压实度均值为 1 641 kPa,使用自卸汽车碾压,土壤压实度平均值为 1 934 kPa,较前处理高出 15.1%,表明使用自卸汽车碾压对地块土壤结构的影响程度较大,尤其对土壤团粒结构及团聚体的完整性影响明显。

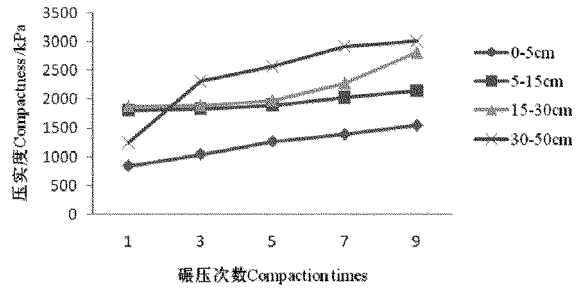
使用机械碾压,土壤压实度随土层深度增加呈现递增趋势。0~5 cm 土层土壤压实度最小,30~50 cm 土层土壤压实度最大。使用自卸汽车,0~5 cm 土层土壤压实度为 1 213 kPa,30~50 cm 土层土壤压实度为 2 412 kPa,较 0~5 cm 土层土壤压实度高出 49.7%;使用履带式推土机,0~5 cm 土层土壤压实度为 1 000 kPa,30~50 cm 土层土壤压实度为 2 368 kPa,较之前者高出 57.8%。表明土层越深,机械碾压对土壤结构的影响越大。

表 1 不同土层深度下土壤压实度

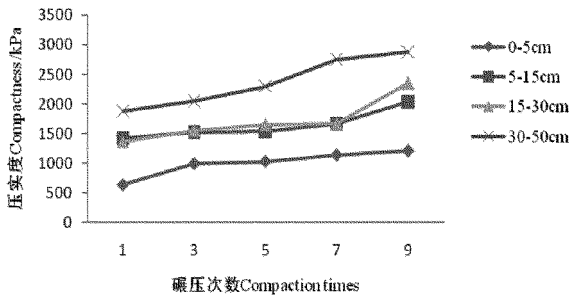
土层深度	压实度/kPa			
	自卸汽车	平均值	履带式推土机	平均值
0~5	1213±112c		1000±102c	
5~15	1944±121b	1934±517	1636±124b	1641±561
15~30	2168±211ab		1562±247b	
30~50	2412±143a		2368±199a	

注:同一栏内不同字母代表差异显著($p < 0.05$)

图 2 表示分别使用自卸汽车和履带式推土机碾压,不同碾压次数下地块中压实度的变化情况。在 4 个不同深度的土层中,土壤压实度均随碾压次数的增加而增大,使用自卸汽车碾压 1 次,土壤压实度最小,随土层深度增加土壤压实度依次为 840 kPa, 1 810 kPa, 1 880 kPa 和 1 250 kPa,碾压 9 次,土壤压实度最大;随土层深度增加依次为 1 543 kPa, 2 150 kPa, 2 815 kPa 和 3 012 kPa,较碾压 1 次时土壤压实度分别高出 45.6%, 15.8%, 33.2% 和 58.5% (图 2(a));使用履带式推土机碾压 1 次,土壤压实度最小,随土层深度增加依次为 640 kPa, 1 420 kPa, 1 366 kPa 和 1 875 kPa,碾压 9 次,土壤压实度最大,随土层深度增加依次为 1 206 kPa, 2 037 kPa, 2 354 kPa 和 2 875 kPa,较之前者分别高出 46.9%, 30.2%, 41.9% 和 34.7% (图 2(b))。表明机械碾压对土壤结构的影响程度随碾压次数的增加而增大,且使用履带式推土机时,碾压对不同深度土层的影响作用更为均衡。



(a) 自卸汽车碾压土壤压实度变化



(b) 履带式推土机碾压土壤压实度变化

图 2 不同碾压次数下土壤压实度变化

2.2 土壤容重的变化规律

土壤容重是土壤中一个基本的物理性质,是土壤肥力指标之一,其对土壤的透气性,入渗能力和持水性以及土壤的抗侵蚀能力都有十分重要的影响,它可以综合反映出土壤内部的质量状况,影响内部影响元素的固定和释放^[11]。土壤容重的数值大小从一定程度上决定了矿物质组成、腐殖质含量、土壤质地、结构和松紧状况等因素^[12],数值越小,表明土壤结构越好,土壤质量高,反之数值越大,表明土壤结构越差,土壤质量低^[13]。

如表 2 所示,使用履带式推土机碾压,地块中土壤容重的平均值为 1.48 g/cm³,使用自卸汽车碾压,土壤容重的平均值为 1.51 g/cm³,高出 2.0%。2 种机械碾压下土壤容重水平相差不大,使用自卸汽车碾压土壤容重水平略高,在一定范围内表明使用自卸汽车碾压对地块的土壤结构破坏更大。

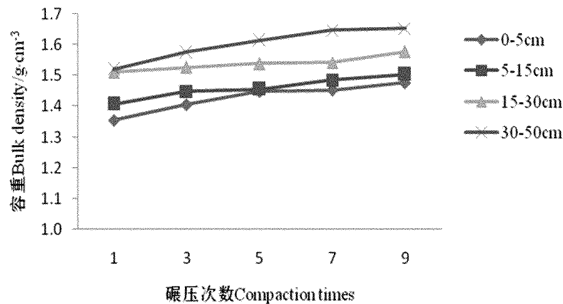
表 2 不同土层深度下土壤容重

土层深度	容重/g·cm ⁻³			
	自卸汽车	平均值	履带式推土机	平均值
0~5	1.43±0.04c		1.41±0.03b	
5~15	1.46±0.01c	1.51±0.09	1.44±0.02b	1.48±0.06
15~30	1.54±0.04b		1.51±0.02a	
30~50	1.62±0.03a		1.55±0.04a	

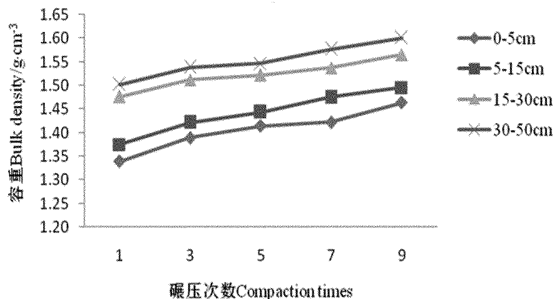
注:同一栏内不同字母代表差异显著($p < 0.05$)

另外,使用自卸汽车和履带式推土机碾压,随土层深度的增加,土壤容重均有增大的趋势,这与土壤压实度的变化趋势相吻合。使用自卸汽车碾压,0~5 cm 土层土壤容重最小,为 1.43 g/cm³;30~50 cm 土层中土壤容重最大,为 1.62 g/cm³,较 0~5 cm 土层土壤容重增加了 13.3%。使用履带式推土机碾压,0~5 cm 土层土壤容重最小,为 1.41 g/cm³;30~50 cm 土层中土壤容重最大,为 1.55 g/cm³,较之前者增加了 9.0%,增加幅度较小。表明随土层深度的增加,土壤结构破坏程度越来越大,使用履带式推土机碾压,该破坏程度的变化较为平缓。

使用机械碾压,随碾压次数的增加,土壤容重逐渐增大(图 3)。使用自卸汽车,1 次碾压土壤容重最小,随土层深度增加土壤容重依次为 1.35 g/cm³, 1.40 g/cm³, 1.51 g/cm³ 和 1.52 g/cm³;9 次碾压土



(a) 自卸汽车碾压土壤容重变化



(b) 履带式推土机碾压土壤容重变化

图 3 不同碾压次数下土壤容重变化

壤容重最大,随土层深度增加依次为 1.48 g/cm³, 1.50 g/cm³, 1.58 g/cm³ 和 1.65 g/cm³,较 1 次碾压土壤容重分别增加了 8.8%, 6.7%, 4.4% 和 7.8%,增幅范围为 4.4%~8.8%(图 3(a))。使用履带式推土机,1 次碾压土壤容重最小,随土层深度增加依次为 1.34 g/cm³, 1.38 g/cm³, 1.48 g/cm³ 和 1.50 g/cm³;9 次碾压,土壤容重最大,随土层深度增加分别为 1.46 g/cm³, 1.50 g/cm³, 1.57 g/cm³ 和 1.60

g/cm³,较之前者分别增加了 8.2%, 8.0%, 5.7% 和 6.3%,增幅范围为 5.7%~8.2%(图 3(b))。表明随碾压次数的增加,土壤结构的破坏程度越来越大,且使用履带式推土机时,碾压对不同深度土层的破坏程度更为均衡。

2.3 土壤孔隙度的变化规律

土壤孔隙度反应了土壤的松紧程度,其大小对土壤的透水性、通气性和根系穿插的难易程度都有直接影响,并对土壤的水、肥、气、热和微生物的活性发挥着不同的调节功能^[14]。一般认为,土壤孔隙度在 50% 左右时,土壤的透水性、通气性和持水能力比较协调^[15]。

通过表 3 可以看出,使用自卸汽车和履带式推土机碾压,地块中土壤孔隙度的平均值分别为 45% 和 47%,使用履带式推土机碾压的地块中土壤孔隙度较使用自卸汽车时略有增加且更接近 50%,增加率为 4.3%,表明使用履带式推土机碾压,土壤孔隙度较为合理,透水、通气和持水能力也更为协调。

表 3 不同土层深度下土壤孔隙度

土层深度	孔隙度/%			
	自卸汽车	平均值	履带式推土机	平均值
0~5	52±3.2a		54±4.9a	
5~15	46±4.1b	45±6.6	48±3.1ab	47±5.7
15~30	45±4.8b		47±2.9b	
30~50	36±3.6c		40±4.2c	

注:同一栏内不同字母代表差异显著($p < 0.05$)

比较不同土层深度下的土壤孔隙度发现,随土层深度的增加,土壤孔隙度逐渐减小,其中 30~50 cm 土层土壤孔隙度最小,自卸汽车碾压时为 36%,履带式推土机碾压时为 40%,此时地块中透水、通气和持水能力较差;0~5 cm 土层中,土壤孔隙度最大,自卸汽车碾压时为 52%,履带式推土机碾压时为 54%,分别增加了 30.8% 和 25.9%,此时土壤孔隙度大小处于较为合理的范围内,土壤透水性、通气性和持水能力较为协调。结果表明随土层深度的增加,土壤结构破坏程度越来越大,土壤透水性、通气性和持水能力逐渐降低。

从图 4 可以看出,使用机械碾压,随碾压次数的增加,土壤孔隙度呈逐渐递减的趋势,使用自卸汽车 1 次碾压,土壤孔隙度最大,随土层深度增加土壤孔隙度依次为 56%, 50%, 48% 和 41%;9 次碾压土孔

隙度达到最小值,随土层深度增加依次为 49%,43%,41%和 30%,其减量分别为 7%,7%,7%和 11%(图 4(a))。使用履带式推土机 1 次碾压,土壤孔隙度最大,随土层深度增加依次为 62%,51%,49%和 43%;9 次碾压土壤孔隙度达到最小值,随土层深度增加依次为 50%,45%,43%和 36%,其减量分别为 11%,6%,6%和 7%(图 4(b))。结果表明机械碾压会对不同土层深度的土壤孔隙度产生影响,但影响方式和程度不同,碾压次数增加会使表层土壤中疏松的大孔隙变的较为协调,却会影响深层土壤的透水性、通气性和持水能力。

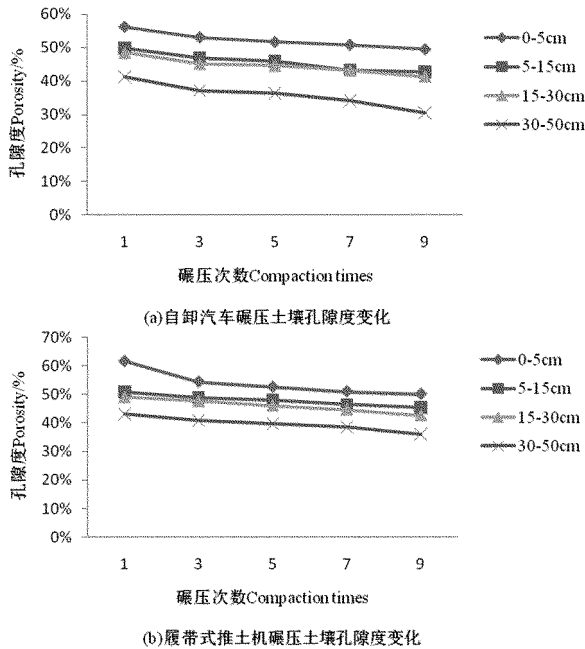


图 4 使用自卸汽车时不同碾压次数下土壤孔隙度变化

2.4 土壤含水量、电导率和温度的变化

土壤水是土壤的主要组成物质之一,对土壤肥力有重要的影响,土壤水的运动变化,不仅影响土壤的气热状况,还深刻影响土壤内部许多物质的转化过程^[16];土壤电导率是测定土壤水溶性盐的指标,是土壤中的一个重要物理属性,其大小受到土壤水分状况,淋溶作用土壤温度等的影响;土壤温度影响着土壤中的生物化学过程、微生物活性等性质,土壤温度高低对土壤水分状况,土壤电导率都有十分明显的影响。

表 4 所表示为分别使用自卸汽车和履带式推土机碾压下地块中含水量、电导率和温度水平。比较均值可以发现:土壤含水量和温度大小为履带式推土机>自卸汽车,使用履带式推土机时土壤含水量和温度分别为 9.4%和 20.1 °C,使用自卸汽车时分别为 8.6%和 19.1 °C,前者的土壤含水量和温度比后者分别高出 9.9%和 5.8%;土壤电导率大小为自卸汽车>履带式推土机,使用自卸汽车时土壤电导率为 195 mS/m,使用履带式推土机时为 180 mS/m,前者的土壤电导率比后者高出 7.7%。结果表明使用履带式推土机碾压的地块中土壤环境相对较好。

另外,分析使用自卸汽车和履带式推土机碾压下土壤含水量,电导率和温度随土层深度的变化情况发现:含水量和温度随土层深度的增加由上至下逐渐递减,电导量随土层深度的增加由上至下逐渐递增。在 0~5 cm 土层中,土壤含水量和温度最高,自卸汽车碾压时分别为 13.8%和 29.9 °C,履带式推

表 4 不同土层深度下土壤含水量,电导率和温度

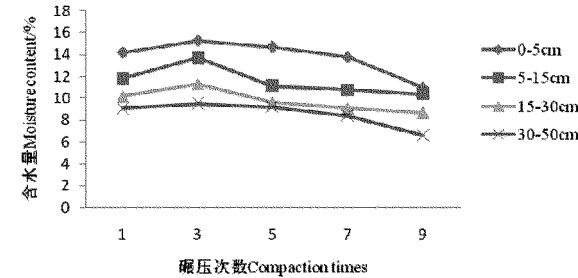
物理指标	碾压机械	土层深度/cm				平均值
		0~5	5~15	15~30	30~50	
含水量/%	自卸汽车	13.8±1.6a	11.6±2.7ab	9.9±1.4bc	8.6±1.1c	10.9±2.3
	履带式推土机	15.4±3.5a	12.3±2.7ab	11.1±2.1b	9.4±1.7c	12.1±2.5
电导率/mS·m ⁻¹	自卸汽车	145±31c	161±43b	207±47ab	267±39a	195±55
	履带式推土机	137±37c	156±22bc	193±24b	235±52a	180±43
温度/°C	自卸汽车	29.9±5.2a	26.9±2.2b	21.6±3.1c	19.1±1.1c	24.4±4.9
	履带式推土机	30.9±2.9a	27.9±3.1ab	24.7±2.8b	20.1±2.0c	25.9±4.6

注:同一行内不同字母代表差异显著($p < 0.05$)

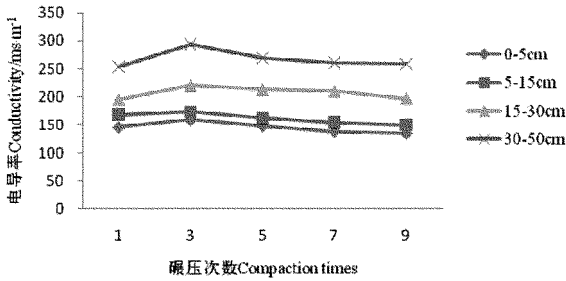
土机碾压时分别为 15.4%和 30.9 °C;土壤电导率最小,自卸汽车碾压时为 145 mS/m,履带式推土机碾

压时为 137 mS/m。在 30~50 cm 土层中,土壤含水量和温度最低,使用自卸汽车碾压时为 8.6%和

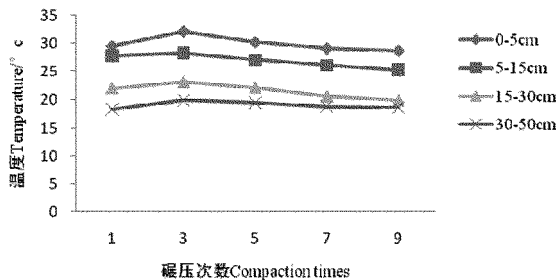
19.1℃,表层土与之相比,分别增加了 37.7%和 36.1%,使用履带式推土机碾压时为 9.4%和 20.1℃,表层土与之相比,分别增加了 39.0%和 35.0%;土壤电导率最大,使用自卸汽车碾压时为 267 mS/m,较之表层土增加了 45.7%,使用履带式推土机碾压时为 235 mS/m,较之表层土增加了 41.7%。而最适合植物生长的土壤水分含量一般在 14%~19%之间,土壤电导率越大,土壤盐分越高,植物生长的土壤环境就越差,这表明随土层深度增加,土壤的整体环境条件逐渐变差。



(a)自卸汽车碾压土壤含水量变化



(b)自卸汽车碾压土壤电导率变化

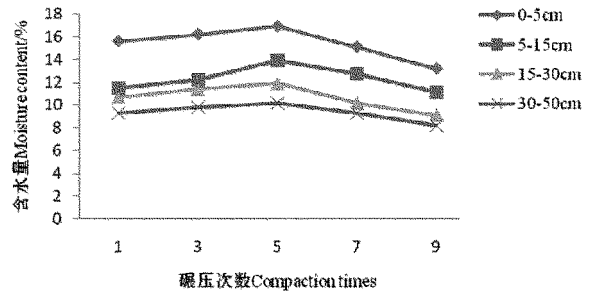


(c)自卸汽车碾压土壤温度变化

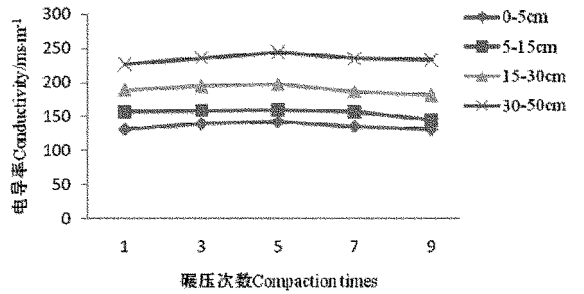
图 5 使用自卸汽车时不同碾压次数下土壤含水量、电导率和温度变化

图 5 和图 6 表示分别使用 2 种机械碾压时土壤含水量、电导率和温度随碾压次数的变化情况。使用自卸汽车 3 次碾压时,土壤含水率、电导率和温度达到峰值,继续碾压,数值开始降低。当达到峰值时,土壤含水量随土层深度增加依次为 15.3%, 13.7%, 11.3%和 9.5%(图 5(a));土壤电导率随土

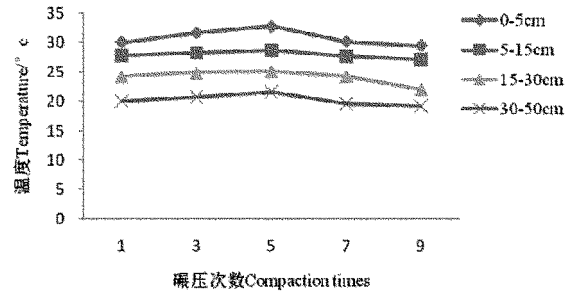
层深度增加依次为 159 mS/m, 173 mS/m, 220 mS/m和 293 mS/m(图 5(b));土壤温度随土层深度增加依次为 32.1℃, 28.3℃, 23.2℃, 19.9℃(图 5(c))。



(a)履带式推土机碾压土壤含水量变化



(b)履带式推土机碾压土壤电导率变化



(c)履带式推土机碾压土壤温度变化

图 6 使用履带式推土机时不同碾压次数下土壤含水量、电导率和温度变化

使用履带式推土机 5 次碾压时,土壤含水量,电导率和温度达到峰值,继续碾压,数值开始降低。当达到峰值时,土壤含水量随土层深度增加依次为 16.9%, 13.9%, 11.9%和 10.2%(图 6(a));土壤电导率随土层深度增加依次为 143 mS/m, 160 mS/m, 198mS/m和 244 mS/m(图 6(b));土壤温度随土层深度增加依次为 32.8℃, 28.7℃, 25.1℃, 21.6℃(图 6(c))。

结果表明使用自卸汽车 3 次碾压,履带式推土机 5 次碾压,土壤持水能力和透气性处于较好水平,但土壤盐含量过高,不利于作物生长。

2.5 各处理与对照间的拟合分析

该实验以充填土壤灌水自然沉实模拟周边正常土壤作为对照,分别测算出各处理以及对照土壤中

的压实度、容重、孔隙度、含水率、电导率和温度大小(表 5),并通过公式计算出处理与对照间的相对差,绘出相对差曲线图。

表 5 不同处理及对照下土壤各物理性质水平

碾压机械	碾压次数	压实度/kPa	容重/g·cm ⁻³	孔隙度/%	含水量/%	电导率/mS·m ⁻¹	温度/°C
自卸汽车	1	1445de	1.45cd	49ab	11.3c	26a	25.6b
	3	1770bc	1.49bc	46b	12.5c	26a	26.4a
	5	1925b	1.51ab	45c	11.1c	27a	27.1a
	7	2153ab	1.53a	43c	10.5cd	25b	25.5b
	9	2380a	1.55a	41c	9.2d	24b	24.5b
履带式推土机	1	1325e	1.42d	51a	11.8c	26a	25.6b
	3	1529d	1.40d	48ab	26.4ab	26a	26.4a
	5	1629c	1.48b	47b	27.1a	27a	27.1a
	7	1806b	1.50ab	45c	25.5b	25b	25.5b
	9	2118ab	1.53a	44c	24.5b	24b	24.5b
对照 CK	自然沉降	1630c	1.48b	47b	26.8a	27a	26.9a

注:同一栏内不同字母代表差异显著($p < 0.05$)

$$\text{相对差} = |(\text{对照} - \text{处理})| / \text{处理} \quad (1)$$

如图 7 所示,D 系列为使用自卸汽车的处理,C 系列为使用履带式推土机的处理,横坐标的 C,B,P,M,E,T 分别代表压实度、容重、孔隙度、含水率、电导率和温度。

出,D5 处理的相对差曲线要低于其他处理的相对差曲线。其中又以 D5 处理的相对差曲线低于 D3 处理的相对差曲线。

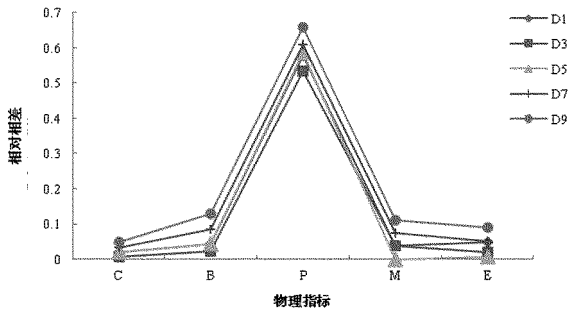
即使用履带式推土机碾压 5 次的土壤中各指标与对照拟合度最高。这表明,采用“履带式推土机×碾压 5 次”的组合,复垦土壤中物理性质与正常土壤最为接近。

3 讨论

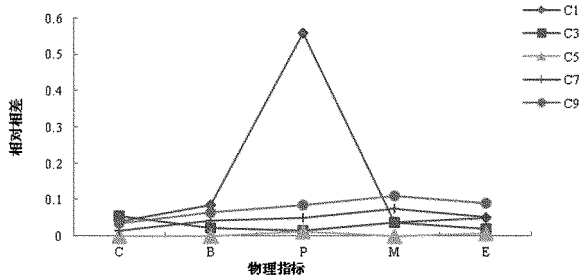
施工机械碾压会对土壤造成压实,从而在空间上对整个土壤的物理性质产生影响。

(1)压实度:使用 2 种机械碾压,土壤压实度大小关系为自卸汽车>履带式推土机,这是因为较之履带式推土机,自卸汽车单位面积对土壤施加的力更多;随土层深度增加,土壤压实度逐渐增大,符合前人的实验结论^[9],笔者认为主要是由于较深土层除了受到机械碾压的作用力之外,还受到浅层土壤的重力作用的影响;随碾压次数增加,土壤压实度逐渐增大,这是由于碾压次数越多,土壤受力就越多。土壤压实度大小表现了土壤结构的受影响程度,使用履带式推土机碾压,土壤结构稳定性更好,且土层越深、碾压次数越大,土壤结构受影响程度越大。

(2)容重和孔隙度:使用 2 种机械碾压,土壤容重大小关系为自卸汽车>履带式推土机;孔隙度大小关系为履带式推土机>自卸汽车。随土层深度增加,土壤容重逐渐增大,孔隙度逐渐减小;随碾压次



(a) 自卸汽车碾压下相对差曲线



(b) 履带式推土机碾压下相对差曲线

图 7 各处理与对照间的相对差曲线

从图 7(a)中可以看出,D3 处理的相对差曲线要低于其他处理的相对差曲线;从图 7(b)中可以看

数增加,土壤容重逐渐增大,孔隙度逐渐减小。上述结论与压实度变化规律相吻合,这是因为机械碾压(较大土壤压实度)会排挤土壤颗粒间的空气,造成土壤密度的增大,从而使土壤容重和孔隙度产生相应的变化。土壤容重和孔隙度可以衡量土壤的通气性、透水性和持水能力,合理的土壤容重和孔隙度对地上植物生长十分必要,通气良好的土壤可为有氧微生物活动、有机质的分解及时供应有效养分,使用自卸汽车碾压、土层越深、碾压次数越大,土壤通气性、透水性和持水能力越差,植物扎根也越困难。

(3)含水量、温度和电导率:使用 2 种机械碾压,土壤含水量和温度大小关系为履带式推土机>自卸汽车;电导率大小关系为自卸汽车>履带式推土机。随土层深度增加,土壤电导率逐渐增大,含水量和温度逐渐减小;随碾压次数的增加,土壤含水量、温度和电导率先增大后降低,在 3 次和 5 次碾压时达到峰值。较高的土壤含水量和温度表明此时机械碾压下土壤团粒结构相对稳定,孔隙比例较为协调,水、气条件较好,增加碾压重量或次数,土壤团粒结构遭到破坏,孔隙比例失调,水、气矛盾突出;电导率衡量了土壤中可溶性盐含量水平,对于实验地块中土壤电导率过高的问题,作者猜想是由于实验地块周边作物实验田施肥较多,使得区域地下水盐分含量过大,进而影响到实验地块中的电导率大小。土壤含水量、温度和电导率是影响作物生长的重要环境因子,会影响到土壤养分的利用率及土壤呼吸强弱^[16-18],使用履带式推土机碾压 5 次,或自卸汽车碾压 3 次时,土壤整体环境质量较好,针对土壤中盐分过高的问题,应考虑实施脱盐措施。

4 结论

经过对实验数据分析与讨论,得出以下实验结论:

(1)使用 2 种不同机械碾压,土壤压实度、容重和电导率的大小关系为自卸汽车>履带式推土机,前者比后者依次高出 15.1%,2.0%和 7.7%;土壤孔隙度、含水率和温度的大小关系为履带式推土机>自卸汽车,前者比后者依次高出 4.3%,9.9%和 5.8%。

(2)使用 2 种不同机械碾压,土壤压实度、容重和电导率随土层深度增加呈现递增趋势,使用自卸汽车,30~50 cm 土层土壤压实度、容重和电导率较

0~5 cm 土层依次高出 49.7%,13.3%和 45.7%;使用履带式推土机,则高出 57.8%,9.0%和 41.7%,土壤孔隙度、含水量和温度随土层深度增加呈现递减趋势。使用自卸汽车,0~5 cm 土层土壤孔隙度、含水量和温度较 30~50 cm 土层依次高出 30.8%,37.7%和 36.1%,使用履带式推土机,则高出 25.9%,39.0%和 35.0%。

(3)复垦土壤中压实度和容重随碾压次数的增加非线性递增,孔隙度随碾压次数的增加非线性递减,含水量、电导率和温度均随碾压次数的增加先增大后减小,其中使用自卸汽车碾压 3 次,含水量、电导率和温度达到峰值;使用履带式推土机碾压 5 次,含水量、电导率和温度达到峰值。

(4)使用履带式推土机碾压 5 次的土壤中各指标与对照拟合度最高,表明采用“履带式推土机×碾压 5 次”的组合,复垦土壤中物理性质与正常土壤最为接近。

参考文献:

- [1] 胡振琪,魏忠义.煤矿区采动与复垦土壤存在的问题与对策[J].能源环境保护,2003,17(3):3-7.
- [2] 郭恒宇.平阴县耕地后备资源现状与开发复垦探析[J].山东国土资源,2012,28(3):59-60.
- [3] 赵云秀,闫保华.东营区龙居镇土地开发复垦和整理的现状及对策建议[J].山东国土资源,2006,22(2):43-44.
- [4] 元月,李伟.莱芜市煤矿区土地复垦的现状与策略研究[J].山东国土资源,2011,27(6):56-58.
- [5] 龚子同,张甘霖.人为土壤形成过程及其在现代土壤学上的意义[J].生态环境,2003,12(2):184-191.
- [6] 陈龙乾,邓喀中.矿区泥浆泵复垦土壤物理特性的时空演化规律[J].土壤学报,2001,38(2):277-313.
- [7] 赵景奎.矿区土地复垦技术与管理[M].北京:农业出版社,1993.
- [8] Assouline S.,Tavares - Filho J., Tessier D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: Experimental results and modeling[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61(2): 390-398.
- [9] 陈星彤,胡振琪,张学礼.煤碳开采沉陷区典型复垦工艺的土壤压实度分析[J].矿业研究与开发,2006,26(2):86-88.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学出版社,1978.
- [11] 陈立新.人工林土壤质量演变与调控[M].北京:科学出版社,2004.
- [12] 左大康.现代地理学辞典[M].北京:商务印书馆,1990.
- [13] 周瑞平.采煤塌陷对风沙土容重影响的试验研究[J].内蒙古林业科技,2010,3(9):11-13.

- [14] 何金军,魏江生,贺晓,等.采煤塌陷对黄土丘陵区土壤物理特性的影响[J].煤炭科学技术,2007,12(12):92-96.
- [15] 熊顺贵.基础土壤学[M].北京:中国农业大学出版社,2001,122-152.
- [16] 金继云,高广领,王泽良,等.温度对土壤钾素容量和强度(Q/D)关系的影响[J].土壤学报,1992,29(2):137-141.
- [17] 贾树龙,唐玉霞,孟春香,等.土壤中铵的固定与温度的关系及调控[J].植物营养与肥科学报,2000,6(2):173-178.
- [18] 邓东周,范志平,王红,等.土壤水分对土壤呼吸的影响[J].林业科学研究,2009,22(5):722-727.

Effect of Different Machinery and Compaction on the Physical Property of Reclamation Soil in Coal Area

ZHANG Wenwen¹, MIN Xiangyu², SUN Xiaoming³, ZHENG Jiagang⁴

(1. Yantai Land Requisition Office, Shandong Yantai 264003, China; 2. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Shandong Taian 271018, China; 3. Yantai Real Estate Registration Center, Shandong Yantai 264003, China; 4. Yantai Land Reserve Center, Shandong Yantai 264003, China)

Abstract: This experiment sets up a simulative experiment area based on the national natural science fund, in order to explore changes of soil physical indexes (compactness, bulk density, porosity, moisture content, conductivity and temperature) under different construction machineries and compaction times. The results show that: the soil compactness, bulk density and conductivity have a trend of increasing with the increase of soil depth, while porosity, moisture content and water have a trend of decreasing with the increase of soil depth. The compactness and bulk density increase, porosity decreases and moisture content, conductivity and temperature increase first and decrease afterward with the increase of compaction times, and the index value are highest at 3 times compaction when using a dump truck, similarly, those are highest at 5 times compaction when using a crawler dozer. Besides, the treatment effect is better when using the crawler dozer. By analyzing the fitting degree between the processing and the control, the fitting degree is highest when using the crawler dozer to compact 5 times, and this shows that adopting the combination of "crawler dozer \times 5 times compaction", the soil physical properties is closest to the normal soil.

Key words: Construction machinery; Compaction times; Reclamation soil; Physical property