宁东煤矿区地裂缝对植被生态环境的影响

乔 冈^{1,2,3,4},徐友宁^{1,2,3,4},陈华清^{1,2,3,4},焦梦奇⁵,陈 述⁵,高云峰⁶ QIAO Gang^{1,2,3,4}, XU Youning^{1,2,3,4}, CHEN Huaqing^{1,2,3,4}, JIAO Mengqi⁵, CHEN Shu⁵, GAO Yunfeng⁶

1.中国地质调查局西安地质调查中心,陕西西安710054;

2.自然资源部矿山地质环境陕西潼关野外科学观测基地,陕西 潼关714300;

3.中国地质调查局干旱半干旱区地下水与生态重点实验室,陕西西安710054;

4.自然资源部黄土地质灾害重点实验室,陕西西安710054;

5.中陕核工业集团二二四大队有限公司,陕西西安710054;

6.长安大学地球科学与资源学院,陕西西安710054

1. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Shaanxi Tongguan Field Scientific Surveys Base of the MNR on Mine Geological Environment, Tongguan 714300, Shaanxi, China;

3. Key Laboratory for Groundwater and Ecology in Arid and Semi-arid Area, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

4. Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area, MNR, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

5. China Shaanxi Nuclear Industry Group 224 Co., Ltd., Xi'an 710054, Shaanxi, China;

6. School of Earth Science and Resources of Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要:地裂缝地质灾害是植被生态地质环境破坏的一种重要的方式,查明地裂缝对植被生态环境影响的方式、程度、范围等对 于宁东煤矿区植被生态环境保护具有重要意义。土壤水分是评价地裂缝是否影响植被生态的重要指标,地裂缝的存在加剧了 植被赖以生存的土壤水分的散失,因此,选取典型植被区、土壤岩性结构区的煤矿采空区开展原位试验,分别动态监测裂缝边 缘、远离裂缝区包气带剖面不同埋深的土壤水分,结合气象要素分析,以达到研究地裂缝对植被生态环境影响的目的。结果表 明:①土壤水分散失空间上水分优先自裂缝裸露面散失,其次才会自地表散失;②土壤水分散失时间呈动态变化,同气温呈正 相关关系,其中,7月最大,呈现2个蒸发面,8月次之,呈现1个蒸发面;③受土壤岩性的影响,随着土壤埋深增加,土壤含水率 呈"S"形变化特征,不同岩性持水性大小顺序是:风积沙>黄土>根植土>粉土;该结论对于宁东煤矿区植被生态地质环境保护 具有重要指导意义。

关键词:地裂缝;植被;生态环境;含水率;宁东

中图分类号:P694;X14 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2018)12-2176-08

Qiao G, Xu Y N, Chen H Q, Jiao M Q, Chen S, Gao Y F. The influence of ground fissure on Vegetation ecological environment in Ningdong coal mine. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(12):2176–2183

Abstract: The geological disaster of ground fissures is a kind of important vegetation ecological geological environmental damage, and hence the detection of the influence of ground fissures on the vegetation ecological environment in such aspects as the way, degree and extent for vegetation ecological environment protection of east Ningxia coal mining area is of great significance. Soil moisture is an important index to evaluate whether cracks affect the vegetation ecology; the existence of the ground fissures exacerbates

作者简介:乔冈(1980-),男,博士,高级工程师,从事矿山地质环境防治研究。E-mail: qgcyboy@163.com

收稿日期:2018-03-15;修订日期:2018-10-31

资助项目:中国地质调查局项目《秦岭及宁东矿产资源集中开采区地质环境调查》(编号:DD20160336)、《青海矿业开发地质环境 效应调查》(编号:1212011220224)及自然资源部行业科研专项《矿集区地球化学环境累积效应及预警研究》(编号: 20111020)

soil water loss of the vegetation; therefore, the selection of typical vegetation area and soil lithology structure area for in situ experiment in the coal mine goaf, the dynamic monitoring of crack edge, and the soil moisture of different buried depths away from the fracture zone vadose section should be done in combination with meteorological elements analysis so as to achieve the purpose of the study of vegetation ecological environment effect of the ground fissures. Some conclusions have been reached: (1) Water loss of soil water is that the water is lost first and the surface is then lost. (2) The time of soil moisture dissipation is dynamic and positively correlated with temperature, with the largest occurring in July, which exhibits two evaporation surfaces, and the second occurring in August, which exhibits one evaporation surface. (3) Affected by soil lithology, soil moisture content shows "S" characteristics with the increase of soil depth, with the order of water-holding property of different lithologic characters being aeolian sand > loess soil > root soil > silt. This conclusion has important guiding significance for the protection of vegetation ecology and geological environment in Ningdong coal mine area.

Key words: geofracture; vegetation; ecological environment; moisture content; Ningdong

矿产开发不仅由于矿渣、矸石、尾矿等的堆积, 造成对土地的占压,同时由于采空区的形成产生大 量的地裂缝。地裂缝的发生对其周围4m范围内的 植被生长有较大的影响^[1-3]。地裂缝区域的土壤水 分常作为衡量其对土壤环境影响的重要指标。地 裂缝的发育,改变了区域土体的结构、微环境及其 水文循环过程,植被生长受到水分胁迫机理研究受 到学者的广泛关注[4-8]。赵红梅等[9-11]对地裂缝一维 纵向剖面上的含水率分布特征进行了研究,表明地 裂缝对土壤水分的影响,杨泽元等、王文科等[12-14]就 风沙滩地区采煤塌陷裂缝对包气带水分运移的影 响模型进行了研究,李海欣等四刻就煤矿开采沉陷地 裂缝对植被覆盖的影响等进行了研究。但是关于 地裂缝对土壤水分的影响范围、程度及发生机制研 究则较少。明确矿采对区域生态环境的影响、实现 地区资源开发同生态环境保护的协调发展、防治土 地沙化受到国家和地方政府的重视[15-21]。

宁东煤炭能源基地总面积约3484km²,地处毛 乌素沙漠腹地,降水稀少,蒸发强烈,地质环境极其 脆弱,土壤水分是制约植被生长及其迹地植被恢复 的重要瓶颈。

本次以宁东煤矿区为研究区域,选择发育于不 同土壤母质上的地裂缝,进行地裂缝在二维剖面上 的土壤含水率时空演变特征及不同土壤母质对地裂 缝的影响研究,为宁东矿采区资源开发与生态环境保 护的协调发展,以及防治土地沙化提供理论依据。

1 研究方法

本文以宁东煤矿区的羊场湾煤矿采空区作为 研究场所,地理坐标为北纬37°59′19"、东经106°35′ 29",海拔1361m,地貌类型为冲洪积平原。植物优 势种群以沙蒿、柠条为主,植被覆盖度30%~50%。

采用筛分法和密度计相结合的方法进行试验 区土壤颗粒分级,以土壤岩性组分进行土壤命名。 土壤剖面自上而下可分为4层:0~0.1m为风积沙,含 根系;0.1~0.2m为风积沙;0.2~0.5m为粉土;0.5~ 1.0m为黄土。

选择地形平整、植被生长较好、均一的采空地 裂缝区域为研究区,以地裂缝为起点,垂直地裂缝 方向的二维剖面土壤水分为研究对象,地裂缝的宽 度为2~3m,沿垂直地裂缝的方向开挖长3.6m、宽 0.9m、深1.0m的浅井,土壤二维含水率监测平面图 见图1。在其一侧的剖面垂直方向由垂向0.0m、 0.1m、0.2m、0.3m、0.5m、0.7m、1.0m土层和沿地裂缝 垂直水平方向的0.0m、0.3m、0.6m、0.9m、1.2m、 1.5m、1.8m、2.1m、2.4m、2.7m、3.0m、3.3m和3.6m处 分别设置土壤含水率数据采集点,土壤二维含水率 监测点剖面分布见图2。数据采集仪器设备为英国 Delta-T公司生产的土壤水分、温度、电导率便携式 测量仪,测量精度约3.0%,分辨率0.1%。采用电导 原理测量土壤介质的体积含水率,每次数据采集完 后对浅井进行回填处理,以减小开挖浅井造成的土



图1 土壤二维含水率监测平面图





图 2 土壤二维含水率监测点剖面分布 Fig. 2 Soil 2D moisture content monitoring section map

壤水分散失,数据采集时间为2017年6~10月,每月 1次。

为了避免大气降水对观测的影响,每次数据采 集时间选择晴朗的天气进行。

收集附近宁夏灵武市气象站资料,包括降水量、蒸发量、气温等气候要素,作为影响因子。数据处理采用GMS软件中的Interpolation模块,作图采用Excel2016、Coreldraw13.0软件。

2 研究结果

2.1 气象特征

宁东煤矿区地处毛乌素沙漠腹地,气温呈现单 峰季节变化特征,年平均气温7.5℃,最高气温





and evaporation curve in the study area

29.3℃,出现于植物生长季7月,最低气温-14.6℃, 出现于冬季1月。1~7月为持续升温期,7~12月为 持续降温期,区内平均气温及降水量、蒸发量随时 间变化曲线见图3。

降水亦呈现单峰季节变化特征,年降水量 284mm,生长季5~9月月降水量占年降水量的83%, 8月的降水量最大,达72.6mm。年平均蒸发量达 1723mm,是降水量的6.1倍。蒸发量的季节动态亦 呈单峰变化趋势,其峰值出现点提前于降水2个月。

2.2 含水率时空特征

为了查明土-气界面地表、地裂缝侧向裸露面 对土壤水分散失的影响程度,本文绘制了不同月份 土壤剖面含水率等值线图,结合气象要素进行分 析,以总结土壤剖面含水率时空变化规律,6~10月 土壤剖面含水率分布等值线图见图4--图8。

受裸露的地裂缝断面水分蒸发的影响,在越靠 近地裂缝前缘的部分,其土壤含水率越小,在裸露 的地裂缝断面上,其含水率接近残余含水率,水平 方向0~1.2m及垂直方向0.4~1.0m的范围属于水分 主要散失区,且主要分布在粉土、黄土区段(图4), 表明6月土壤水分主要通过侧面裂缝的裸露面散 失,且靠近地表范围基本不受影响,表生植被生长 没有来自水分缺失胁迫的影响。6月气温逐步升 高,月平均气温20.9℃,植被进入复苏期,根系耗水



图4 6月土壤剖面含水率分布等值线



能力逐步增强,在蒸发作用下,土壤水分略有损耗, 但有降雨及时补充。

随着7月气温的骤然升高,土壤水分散失的范围也急剧扩大,在6月的基础上,水平方向大于 3.6m及垂直方向大于1.0m的范围属于水分主要 散失区(图5),表明7月受外界气温变化的影响, 土壤水分的散失范围扩展到地表,通过地表、侧面 裂缝的裸露面散失,表生植被生长受到来自水分缺 失胁迫的影响。

风积沙下部的粉土、黄土颗粒较细,渗透性能 较差,严重阻碍了大气降雨由风积沙层进入粉土层 的入渗速率,且风积沙的渗透性能好,大气降水短 时间内滞留在该层,有利于植被根系吸收水分;同 时,细颗粒物质的比表面积增加,蒸发面扩大,其水





Fig. 5 The contour map of soil profile water content distribution in July







分也更容易蒸发散失。

7月气温快速升高,月平均气温22.7℃,植被进 入旺盛生长期,根系耗水能力进一步增强,且在腾 发作用下,土壤亏缺大量水分,尽管7月降水量达 60.1mm,但依旧无法补充土壤水分的亏缺量。

随着8月气温的略微回落,土壤水分散失的范围也逐步收缩,在7月的基础上,水平方向0~3m及垂直方向0.2~1.0m的范围属于水分主要散失区(图

6),表明8月受外界气温回落的影响,土壤水分的散 失范围收缩到地裂缝的裸露面,主要通过侧面裂缝 的裸露面散失,表生植被生长略微受到来自水分缺 失胁迫的影响。

8月气温略有回落,月平均气温20.8℃,植被进 入生长期,根系耗水能力持续增强,但本月降水量 增加,达72.6mm,土壤水分得到及时补充。

随着9月气温的持续回落,加之8月的降水量



Fig. 7 The contour map of soil profile water content distribution in September





增加,土壤水分散失的范围也逐步收缩,在8月的 基础上,水平方向0~1.8m及垂直方向0.2~1.0m的 范围属于水分主要散失区(图7),表明8月受外界 气温持续回落的影响,土壤水分的散失范围继续 收缩到地裂缝的裸露面,主要通过侧面裂缝的裸 露面散失,表生植被生长不会受水分缺失胁迫的 影响。

9月气温降低,月平均气温仅15.2℃,植被进入 衰退期,根系耗水能力随之下降,土壤水分得到有 效补充。

随着10月气温的大幅回落,土壤水分散失的范 围也急剧收缩,在9月的基础上,水平方向0~1.5m 及垂直方向上接近0.4~1.0m的范围属于水分主要 散失区(图8),表明10月受外界气温大幅回落的影 响,土壤水分的散失范围继续收缩到地裂缝的裸露 面,主要通过侧面裂缝的裸露面散失,且水平方向 的范围也在收缩,表生植被生长不会受水分缺失胁 迫的影响。

10月气温再次降低,月平均气温仅8.4℃,植被进入休眠期,根系耗水能力随之消失,土壤水分进 一步得到补充。

2.3 影响因素

研究表明,地裂缝的侧向裸露面、土壤类型及结构、气温、埋深等是土壤水分散失的主要影响要素。

(1)地裂缝侧向裸露面

土壤水分蒸发的主要驱动要素即是外界气象 因子,土壤蒸发的水分是自土-气界面散失,界面的 大小及形态直接影响土壤水分散失的强度,地裂缝 侧向裸露面的存在增加了土-气界面的面积,且自上 而下垂直地表的存在形态,加速了靠近地裂缝裸露面 土壤水分的散失,这对于土壤水分保持极为不利。

(2)土壤类型

粉土属于细颗粒物质,一方面风积沙+粉土上 粗下细的土壤结构,使粉土大部分降水入渗水量拦 截保存在近地表的风积沙中,更有利于表生植被生 长;另一方面细颗粒物质的比表面积增加,蒸发面 扩大,其水分也更容易蒸发散失。







(3)土壤结构

土壤水分散失空间上以下部的细颗粒物质区 域为主,上部0.1~0.2m属于水分储存区,因此,该结 构地裂缝的存在对植被生长所需水分的影响较小。

(4)气温

气温提供土壤水分散失所需的能量,相同条件 下,气温同表土蒸发量呈正相关关系,气温越高,土 壤水分散失量更大,反之亦然。

(5)埋深

鉴于土壤蒸发的水分是自土-气界面散失,因此,在远离地裂缝裸露面的情况下,外界太阳辐射 对土壤水分的蒸发作用随着埋深的增加而逐步减 小,在靠近裸露面的情况下,外界太阳辐射对土壤 水分的蒸发作用来自地表和地裂缝侧向裸露面,埋 深越大、距离裸露面越远,其外界太阳辐射对土壤 水分的蒸发作用越弱,反之亦然。

3 讨 论

土壤含水率的时空变化受外界气象要素、土壤 岩性、埋深等多种要素制约,6~10月剖面土壤含水 率的观测数据,具有如下几个方面的特征。

(1)将同种土壤岩性含水率监测数据按照同一 月份取平均值,绘制出不同土壤岩性含水率随时间 变化曲线(图9),从空间上看,随着土壤埋深的增加,土壤含水率呈现由小(根植土)变大(风积沙)、 再由大变小(粉土)、再由小变大(黄土)的"S"形特 征变化,不同岩性的含水率大小排序是:风积沙>黄 土>根植土>粉土;从时间上看,6~10月期间,7月气 温最高,土壤含水率最小(图3)。

(2)利用6~10月的全部观测数据取平均值进行 处理,分为13个监测截面,绘制不同监测截面埋深 含水率变化曲线(图10),不同监测截面土壤含水率 自上而下呈现出变化一致、且相互平行的变化特 征;随着截面向地裂缝靠近,土壤水分呈现出逐步 减小的变化特征,表明地裂缝侧面裸露面的蒸发作





Fig. 11 Diagram of correlation between soil moisture content and average temperature and precipitation

用对土壤水分散失起主要作用。

(3)将不同月份所有含水率监测数据取平均 值,建立土壤含水率同平均气温、降水量的相关关 系(图11),土壤含水率同降水量呈较差的负相关关 系,相关系数 R²是0.24,表明在宁东煤矿区降水量 对土壤含水率变化的影响较小;土壤含水率与平均 气温呈很好的负相关关系,相关系数 R²是0.97,与 实际情况吻合,表明宁东煤矿区气温对土壤含水率 变化的影响较大。

4 结 论

(1)土壤水分散失空间上水分优先自裂缝裸露 面散失,其次才会自地表散失,且增加的土壤水分 散失面加剧了表土水分散失的程度和范围,与裂缝 发育的宽度、长度以及走向均有关系;

(2)土壤水分散失时间上呈动态变化,同气温 呈正相关关系。其中,7月最大,呈现地表及裂缝侧 向裸露面2个蒸发面,地表土壤水分散失加剧,土壤 水分散失水平影响范围大于3.6m;8月份次之,随着 8月降水量的适当增加,地表的蒸发面逐渐消失,但 是裂缝区裸露的蒸发面依然散失水分,呈现1个蒸 发面,土壤水分散失水平影响范围为3m,对土壤水 分保持造成极不利的影响。

(3)宁东煤矿区气温对土壤含水率变化的影响 较大;受土壤岩性的影响,随着土壤埋深增加,土壤 含水率呈现"S"形变化特征,不同岩性持水性大小 顺序为风积沙>黄土>根植土>粉土。

(4)地裂缝的存在使土壤水分呈现出二维、三 维的迁移特征,相关机理研究需要考虑土壤水分的 侧向流动。

致谢:成文过程中得到中国科学院西北高原生物 研究所曹广民教授的指导,在此表示衷心的感谢。

参考文献

[1]李海欣, 雷少刚, 申艳琴. 煤矿开采沉陷地裂缝对植被覆盖的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(2): 195-199.

[2]张舞燕. 高强度煤炭开采区遥感植被指数响应规律研究——以鄂

尔多斯神东矿区为例[D]. 河南理工大学硕士学位论文, 2014.

- [3]申艳琴. 半干旱区煤炭开采对植被扰动规律的研究——以神东矿 区为例[D]. 中国矿业大学硕士学位论文, 2014.
- [4]胡伟, 邵明安, 王全九. 黄土高原退耕坡地土壤水分空间变异性研究[]]. 水科学进展, 2006, 17(1): 74-81.
- [5]易亮. 黄土高原沟壑区生态经济型防护林土壤水分养分特征与空间配置研究[D]. 西北农林科技大学硕士学位论文, 2009.
- [6]李小英,段争虎.黄土高原土壤水分与植被相互作用研究进展[J]. 土壤通报,2012,43(6):1508-1514.
- [7]乔冈, 王文科. 西北干旱内陆盆地区裸土蒸发强度[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(4): 1327-1332.
- [8]李剑,赵忠,袁志发,等.黄土高原刺槐林地土壤水分垂直分布特 征及其动态模型的建立[J].西北植物学报,2014,34(8):1666-1675.
- [9]赵红梅,张发旺,宋亚新,等.大柳塔采煤塌陷区土壤含水量的空间变异特征分析[J].地球信息科学学报,2010,12(6):753-760.
- [10]张发旺,赵红梅,宋亚新,等.神府东胜矿区采煤塌陷对水环境影 响效应研究[]].地球学报,2007,28(06):521-527.
- [11]王云强, 邵明安, 刘志鹏. 黄土高原区域尺度土壤水分空间变异 性[]. 水科学进展, 2012, 23(3): 310-316.
- [12]Wang W K, Yang Z Y, Kong J L, et al. Ecological impacts induced by groundwater and their thresholds in the arid areas in northwest China[J]. Environmental, Engineering and Management Journal, 2013, 12(7): 1497–1507.
- [13]杨泽元,范立民,许登科,等. 陕北风沙滩地区采煤塌陷裂缝对包 气带水分运移的影响:模型建立[J].煤炭学报,2017,42(1):155-161.
- [14]张延旭,毕银丽,陈书琳,等.半干旱风沙区采煤后裂缝发育对土 壤水分的影响[J].环境科学与技术,2015,38(3):11-14.
- [15]曹军胜,朱清,薛智德.黄土高原地区土地植被承载力与植被生态恢复建设[J].西北林学院学报,2008,23(1):39-43.
- [16]程东会,王文科,侯光才,等.毛乌素沙地植被与地下水关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(1): 184-189.
- [17]范立民, 冀瑞君. 论榆神府矿区煤炭资源的适度开发问题[J]. 中国煤炭, 2015, 41(2): 40-44.
- [18]马雄德,范立民,张晓团,等.基于遥感的矿区土地荒漠化动态及 驱动机制[J].煤炭学报.2016,41(8):2063-2070.
- [19]马雄德,范立民,张晓团,等.榆神府矿区水体湿地演化驱动力分析[J].煤炭学报,2015,40(5):1126-1133.
- [20]马雄德, 范立民, 严戈, 等. 植被对矿区地下水位变化响应研究[J]. 煤炭学报, 2017, 42(1): 44-49.
- [21]武强, 李学渊. 基于计算几何和信息图谱的矿山地质环境遥感动态监测[J]. 煤炭学报, 2015, 40(1): 160-166.