

山阴县盐渍化土壤盐分垂向变化特征

尚长生

(山西省地质环境监测中心,太原 030024)

摘要:山阴县一带是大同盆地土壤盐渍化较严重地区之一,土壤盐渍化制约着当地农牧业及社会经济的快速发展。文章从地层岩性、土壤盐渍化现状、地球化学分析着手,采用大量土壤分析数据,详细对山阴县一带土壤盐分垂向变化特征及控制土壤中盐分迁移的地球化学过程进行分析研究,为相关部门对盐渍化土壤的改良与修复提供科学依据。

关键词:山阴县;土壤;盐渍化;溶滤;交换吸附

中图分类号:S153

文献标识码:A

Salinity Vertical variation of Salinized Soil in Shanyin County

SHANG Changsheng

(Shanxi Geological Environmental Monitoring Center, Taiyuan 030024 China)

Abstract:Shanyin County is one of the serious areas of soil salinization in Datong Basin. Salinization restricts the development of local agriculture animal husbandry and social economy. In terms of stratum lithology, soil salinization and geochemical analysis, the paper analyzes the vertical variation of the soil salinity and the geochemical process of controlling salt migration in Shanyin County by big soil analysis data, which could provide a scientific basis for the improvement and remediation of the salinized soil

Key words:Shanyin County; soil; salinization; leaching; exchange adsorption

山阴县是大同盆地土壤盐渍化较严重地区之一。土壤盐渍化极易导致土地沙漠化,因而土壤盐渍化是比较严峻的生态环境问题。据前人资料及野外调查,山阴县的原生盐渍化土地主要分布在潜水埋藏较浅的地下水汇集区或河、湖周边,次生盐渍化土地也主要分布在离地表水源较近或潜水埋藏较浅的水浇地中^[1-2]。因此,无论是原生盐渍化还是次生盐渍化土地,都分布在盆地内地势较低处或土壤水分含量较高处。针对山阴县土壤盐渍化问题前人已开展了大量的研究工作,而对土壤盐分垂向变化特征则鲜有研究。本文对土壤盐分垂向变化特征及对控制土壤中盐分迁移的地球化学过程进行探讨,为盐渍化土壤的改良与修复提供科学依据。

1 土壤盐渍化现状及土壤剖面样品采集

在山阴县盆地中心地带,表层地层以河流冲积层为主,由灰黄色砂、砂类土、亚粘土和粘土等细粒物质组成,还有现代地表水体的堆积,岩性为灰黑色淤泥质粘土、粉砂等。表层土壤大部分没有盐化或轻度盐化,中强度盐化区及盐土区沿桑干河流域分布;表层土壤中大部为重碳酸盐优势区,其次为硝酸盐和硫酸盐优势区,氯化物优势区所占的比例很小;重碳酸盐优势区分布于区域地下水系统的补给区与径流区,硝酸盐与硫酸盐优势区分布于排泄区。深层土壤中大部分发生了轻度盐化,中度盐化区沿桑干河流域分布;重碳酸盐硫酸盐型、硫酸盐型土壤分布于桑干河流域,即区域地下水系统的排泄区^[3-4]。

* 收稿日期:2019-03-10

作者简介:尚长生(1966-),男,山西翼城人,大学本科,高级工程师,从事专业水工环地质研究工作。

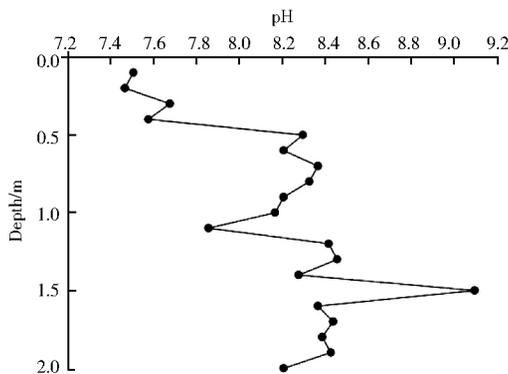
为进一步对盐渍化土壤盐分垂向变化特征进行研究,本次选取山阴县古城镇一带进行研究,土壤剖面位于小疙瘩村,为典型的盐渍化耕地,土壤剖面深度约 2.0 m,从深度 2.0 m 处开始向上依次每隔 10 cm 采集一个土壤样品。土壤剖面采样记录如表 1 所示。

表 1 土壤剖面采样记录
Table 1 Soil profile sampling record

编号	采样深度/m	岩性
gc01	2.0	粉砂,饱和
gc02	1.9	粉砂,饱和,有棕红色铁锰结核
gc03	1.8	粉砂,近饱和
gc04	1.7	粉砂,近饱和
gc05	1.6	粉砂,近饱和
gc06	1.5	中砂,含水率高
gc07	1.4	细沙
gc08	1.3	细沙
gc09	1.2	细沙
gc10	1.1	细沙
gc11	1.0	细沙
gc12	0.9	细沙
gc13	0.8	细沙
gc14	0.7	粉砂
gc15	0.6	粉砂、粘土
gc16	0.5	粉砂、少量粘土
gc17	0.4	粉砂、粘土,白色晶体状不明物质
gc18	0.3	细沙、少量粘土
gc19	0.2	粉细砂
gc20	0.1	粉砂

20 件样品在实验室经相关处理后,进行可溶盐特征分析。另用土壤水取样装置收集土壤水,对土壤水样进行主量成分分析。

2 盐分离子的垂向分布特征



2.1 土壤剖面样品的统计量

土壤剖面样品的描述统计量如表 2、表 3 所示。

表 2 土壤剖面样品(可溶盐)的描述统计量
Table 2 Description of soil profile sampling

项目	极小值/ (mg · L ⁻¹)	极大值/ (mg · L ⁻¹)	均值/ (mg · L ⁻¹)	标准差/ (mg · L ⁻¹)	变异 系数
pH	7.5	9.1	8.2	0.39	0.048
F	0.6	3.6	1.4	0.86	0.614
Cl	16.0	228	111	53.93	0.486
NO ₃	1.6	57.0	11.1	15.42	1.389
SO ₄	36.7	2 400	490	679.13	1.386
HCO ₃	27.1	78.0	50.6	16.39	0.324
K	0.9	6.1	3.5	1.24	0.354
Na	12.1	288	129	66.07	0.512
Ca	5.8	591	114	207.14	1.817
Mg	2.7	160	33	38.15	1.156

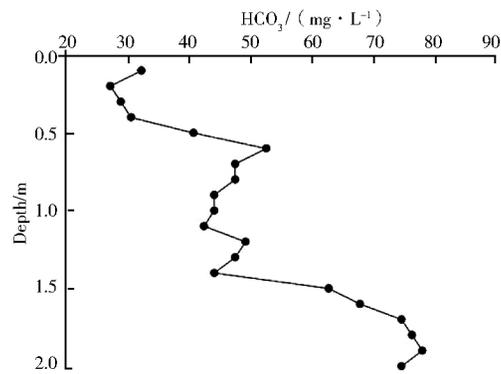
表 3 土壤剖面样品(交换性阳离子)的描述统计量
Table 3 Description of soil profile sampling

项目	极小值/ (mg · kg ⁻¹)	极大值/ (mg · kg ⁻¹)	均值/ (mg · kg ⁻¹)	标准差/ (mg · kg ⁻¹)	变异 系数
eK	0	491	194	177.71	0.916
eNa	10.5	337	133	77.38	0.582
eCa	5 200	18 600	8 300	2 967.89	0.358
eMg	128	1 100	524	256.15	0.489

从表 2 和表 3 可以看出,土壤剖面样品除 NO₃、SO₄、Ca、Mg 以及交换性钾的变异系数相对较大之外,其他成分的变异系数相对较小。表明盆地的中心区域母质变化不大,但是 NO₃、SO₄、Ca、Mg 的活性较大。

2.2 盐分离子的垂向分布特征分析

盐分离子分布以浸提液中的离子浓度(mg/L)来说明,阴离子、pH 在垂直剖面上的变化见图 1,阳离子在剖面上的变化见图 2。



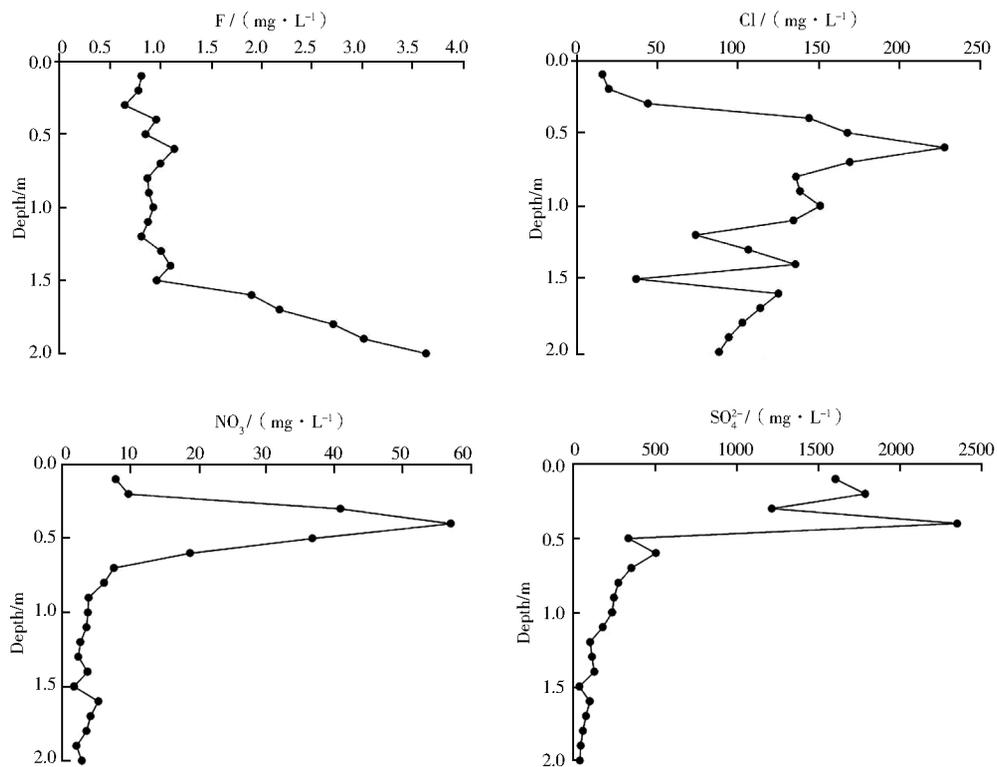


图 1 阴离子、pH 在剖面上的分布特征

Fig. 1 Distribution characteristics of anion and PH on the profile

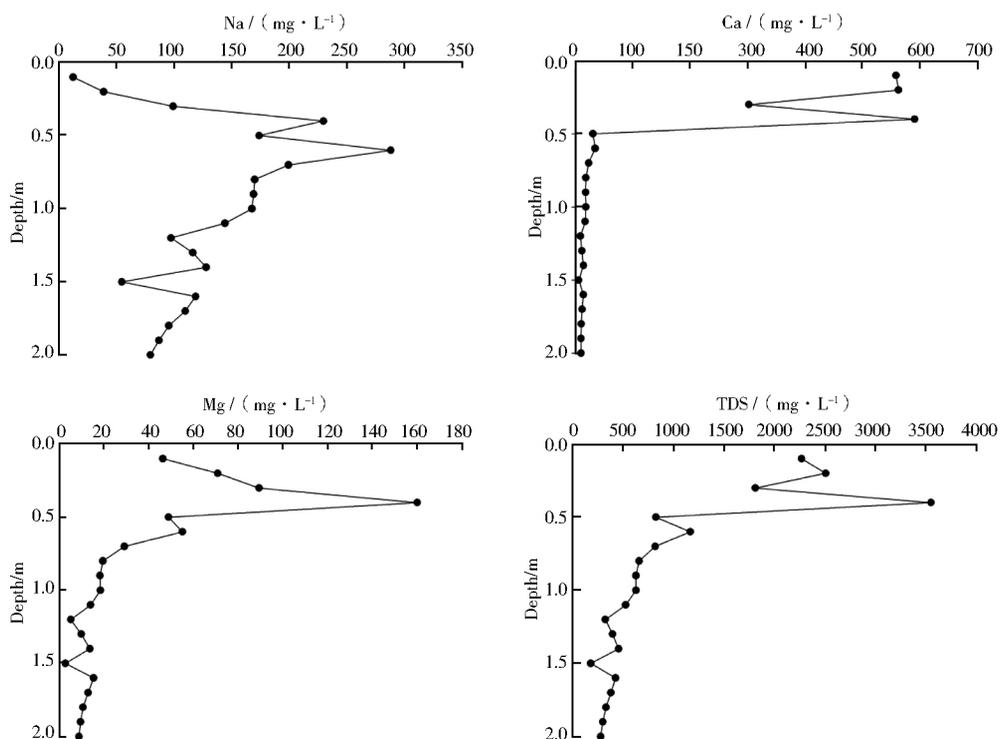


图 2 阳离子在剖面上的分布特征

Fig. 2 Distribution characteristics of cation on the profile

1) 氯离子。氯离子是可溶盐中主要的阴离子,从地下水位到地表,氯离子表现出增加的趋势。其浓度范围为 16.0 mg/L ~ 228 mg/L,平均值为

111 mg/L,土壤水中的浓度为 402 mg/L。最小浓度位于剖面深度 0.1 m 处,最大浓度位于剖面深度 0.6 m 处。其原因可能是水分在上升过程中不断溶

滤岩土,使其离子浓度不断增加,又不断的被岩土颗粒交换吸附,导致剖面上的上层岩土可能比下层岩土吸附更多的盐分。理论上,在土壤表层应该是浓度最大的地带,但图示的实际情况并非如此,最大浓度出现在深度 0.6 m 处。这是因为土壤剖面位于作物种植区,在耕作前进行过洗盐,盐分被迫向下迁移,但是洗盐过程并非长期持续,所以最大浓度会存在于地表面以下一定深度上。表层几十厘米之内的氯离子,一方面经过洗盐过程,另一方面被作物吸收,往往不是最大浓度的所在。但在非作物种植区,如荒地或稀疏草原,由于无洗盐过程,表面层可能是盐分最高的地带。在深度 1.5 m 处的中砂层,氯离子浓度显著降低,这可能是由于中砂的吸附能力微弱,吸附的氯离子少的缘故^[5-6]。

2)硝酸根。剖面上的硝酸根离子浓度低,其变化范围为 1.6 mg/L ~ 57.0 mg/L,平均值为 11.1 mg/L,土壤水中的浓度为 320 mg/L。最小浓度位于深度 1.5 m 处,最大浓度位于深度 0.4 m 处。在深度 0.9 m 以下,硝酸根离子浓度变化并不十分明显,位于深度 1.5 m 处的中砂层仍然是最低浓度所在,但从地下水位到地表,总体表现出增加的趋势。在深度 0.9 m 以上,硝酸根离子表现出与氯离子相同的特点,先是增大到最大值,然后又减小。最大值位于深度 0.4 m 处,其原因可能是由于人类活动是区域硝酸根离子的主要来源,所以硝酸根离子主要聚集在表层,但是洗盐迫使硝酸根离子迁移到表面以下一定深度上。

3)硫酸根。硫酸根离子是可溶盐中主要的阴离子,从地下水位到地表,硫酸根离子表现出增加的趋势。其浓度范围为 36.7 mg/L ~ 2350 mg/L,平均值为 490 mg/L,土壤水中的浓度为 1640 mg/L。最小浓度位于深度 1.5 m 处,最大浓度位于深度 0.4 m 处。硫酸根离子表现出与氯离子相似的变化规律,最大浓度出现于深度 0.4 m 处。溶滤交换吸附是水分、盐分在剖面上运移的最主要的地球化学作用,在溶滤交换吸附作用下,硫酸根离子浓度不断增加,但是由于洗盐过程及植物对硫酸根离子的吸收,其最大浓度位于地面以下一定深度上。

4)重碳酸根。从地下水位到地表,重碳酸根离子表现出明显的减小趋势。其浓度范围为 27.1 mg/L ~ 78.0 mg/L,平均值为 50.6 mg/L,土壤水中浓度为 347 mg/L。最小浓度位于深度 0.2 m 处,最大浓度位于深度 1.9 m 处。由于土壤含水率及岩性的变化,使其吸附的重碳酸根浓度产

生波动,进而使可溶盐中的浓度产生波动。碳酸盐矿物是地下水中碳酸根与重碳酸根的主要来源,碳酸盐矿物是难溶性矿物,在剖面上如此短的途径上是很难通过溶滤作用获得足够的碳酸根与重碳酸根的,所以碳酸根与重碳酸根来源于地下水。在向上迁移过程中,碳酸根与重碳酸根会与土壤中的二氧化碳发生反应而产生一定的变化。随着距离地下水位越远,土壤获得的碳酸根与重碳酸根也就越少,土壤颗粒所能吸附的碳酸根与重碳酸根也就越少,进而表现出重碳酸根在剖面上向上减少的趋势。

5)pH。pH 值主要受碳酸根与重碳酸根控制,进而表现出与重碳酸根相同的变化趋势,从地下水位到地表,pH 值表现出减小的趋势,范围为 7.46 ~ 9.09,最小值位于深度 0.2 m 处,最大值位于深度 1.5 m 处。除 1.5 m 深处的中砂层 pH 值明显增大以外,在 1.2 m 深度下,pH 值大体保持稳定。说明在该区域内,游离氢离子含量大体稳定,但是弱酸或强酸弱碱盐含量变化明显,这一点从重碳酸根含量的显著变化可以得出。1.5 m 深处的中砂层可能由于含水率高,吸附能力弱,吸附的弱碱金属离子(如铝离子)少,而使 pH 值增大。

6)氟离子。从地下水位到地表面,氟离子含量有减小的趋势。其浓度范围为:0.6 mg/L ~ 3.6 mg/L,平均值为 1.4 mg/L,土壤水中的浓度为 1.7 mg/L。最小浓度位于深度 0.3 m 处,最大浓度位于深度 2.0 m 处。在深度 2.0 m ~ 1.5 m 内变化显著,在深度 1.5 m 以上变化相对缓慢,这是因为一方面氟离子与 $\text{pH}(\text{HCO}_3^-)$ 存在正相关关系,另一方面,由于地下水是包气带中氟的主要来源,离地下水位越远能获得的氟自然越少。

7)钠离子。钠离子是剖面上主要的阳离子,其浓度范围为 12.1 mg/L ~ 288 mg/L,平均值为 129 mg/L,土壤水中的浓度为 456 mg/L。最小浓度位于深度 1.9 m 处,最大浓度位于深度 0.6 m 处。作为易溶盐类,钠离子与氯离子、钾离子表现出相同的变化趋势。从地下水位到地表,钠离子表现出增加的趋势。在深度为 1.5 m 处的中砂层,钠离子浓度明显降低,可能是中砂层对其的吸附能力降低所致。在 0.6 m 以上浓度表现出降低的趋势,这可能是由于洗盐过程迫使盐分向下迁移所致。

8)钙离子。钙离子是剖面上的主要阳离子,其浓度范围为 5.8 mg/L ~ 590 mg/L,平均值为 114 mg/L,土壤水中的含量为 91.5 mg/L。最小浓度位于深度 1.5 m 处,最大浓度位于深度 4.4 m 处。

0.5 m 深度以下钙离子浓度变化并不十分明显,从地下水位往上略微表现出增加的趋势,最小浓度位于深度为 1.5 m 处的中砂层。地下水中的钙主要来自钙盐矿物的溶解,一方面剖面上的渗流途径较短,另一方面剖面上这些矿物的含量有限,且这些矿物为难溶性矿物,其溶解反应受到制约,所以通过溶滤交换吸附作用而累积的钙数量有限,因而钙的累积应来自 Na—Ca 的交换。0.5 m 以上钙离子浓度变化十分显著,这是因为一方面该层颗粒较细,吸附能力更强;另一方面该层内富含有机物,有机物吸附钙离子所致,进而使得 Na—Ca 交换进行得更为充分。最大浓度位于深度 0.4 m 处,这是由于洗盐过程迫使盐分向下迁移所致。但在 0.3 m 到表层其浓度有所增加,是因为在近表面层有机物含量更高,吸附了更多的钙。

9) 镁离子。镁离子低于钠离子和钙离子,其浓度范围为 2.7 mg/L~160 mg/L,平均值为 32.9 mg/L,土壤水中的含量为 97.8 mg/L。最小浓度位于深度 1.5 m 处,最大浓度位于深度 0.4 m 处。从地下水位到地表,镁离子表现出比较明显的增加的趋势,最小值位于深度为 1.5 m 处的中砂层。溶滤交换吸附作用是剖面上主要的水文地球化学作用,镁离子浓度增加,但是各种岩性对其吸附的能力不一样,进而使得其在剖面上的浓度表现出波动性。最大浓度位于深度 0.4 m 处,这一方面是浓度累积的结果;另一方面,近地表层富含有机质具有更强的吸附能力。由于洗盐过程迫使盐分向下迁移,使得最大浓度位于地表以下一定深度上。

10) 总溶解固体(TDS)。主要阴阳离子是对总溶解固体(TDS)贡献最大的几种离子,从地下水位到地表,总溶解固体表现出明显的增加的趋势。总溶解固体的范围为 172 mg/L~3 600 mg/L,平均值为 918 mg/L,土壤水中的值为 3 260 mg/L。最小浓度位于深度 1.5 m 处,最大浓度位于深度 0.4 m 处。溶滤交换吸附作用是剖面上的主要水文地球化学作用,溶解组分的离子浓度不断增加。但是各元素的地球化学行为的差异,使总溶解固体在剖面上表现出波动性。近地表面层富含有机质,具有更强的吸附性,使总溶解固体在该层显著增加。洗盐过程迫使盐分向下迁移,使得总溶解固体的最大值位于地表以下一定深度上。

3 可溶盐类型

氯化物、硫酸盐等易溶与相对易溶矿物含量在

剖面上增加,并且由于微生物的作用非常缓慢,所以溶滤作用是剖面(包气带)上一种重要的水文地球化学作用。土壤中富含交换性钙离子,山阴县一带的地下水中的阳离子以 Na 为主,所以 Na—Ca 交换也是剖面上重要的地球化学作用。土壤剖面上主要可溶盐类型如表 4 所示。

表 4 土壤剖面的可溶盐类型
Table 4 Soluble salt types of soil profile

样品编号	类型	样品编号	类型
gc01	Cl·HCO ₃ —Na	gc11	SO ₄ ·Cl—Na
gc02	Cl·HCO ₃ —Na	gc12	SO ₄ ·Cl—Na
gc03	Cl—Na	gc13	SO ₄ ·Cl—Na
gc04	Cl·SO ₄ —Na	gc14	SO ₄ ·Cl—Na
gc05	Cl·SO ₄ —Na	gc15	SO ₄ ·Cl—Na
gc06	Cl·HCO ₃ ·SO ₄ vNa	gc16	SO ₄ ·Cl—Na·Mg
gc07	Cl·SO ₄ —Na	gc17	SO ₄ —Ca·Mg
gc08	Cl·SO ₄ —Na	gc18	SO ₄ —Ca·Mg
gc09	SO ₄ ·Cl—Na	gc19	SO ₄ —Ca
gc10	Cl·SO ₄ —Na	gc20	SO ₄ —Ca
trs-20	SO ₄ —Na·Mg	bc01	SO ₄ —Na

注:trs-20 是土壤水样品,bc01 是表层盐样品。

土壤水的化学类型为:SO₄—Na·Mg,表层盐样品的类型为:SO₄—Na。

土壤剖面上主要阴离子类型变化为:Cl·HCO₃ 型—Cl·SO₄ 型—SO₄·Cl 型—SO₄ 型,其主要阳离子类型变化为:Na 型—Na·Mg 型—Ca·Mg 型—Ca 型。在深度为 0.6 m 以下,阳离子均是 Na 型。

4 结论

基于土壤剖面样品的可溶盐与交换性阳离子数据,并结合地下水化学特征,得出如下结论与认识:

1) 在山阴县一带(盆地的中心)浅层,由于沉积环境相对稳定,其成土母质变化小,表现在土壤剖面上各成分的变异系数相对较小。

2) pH 值能影响盐分的迁移转化,pH 值与氟及钠存在正相关,与钙存在负相关。较高的 pH 值有利于钠的吸附,而不利于钙的吸附。

3) 溶滤交换吸附是包气带中最重要的地球化学作用。在溶滤作用下,氯化物、硫酸盐等易溶、相对易溶矿物不断被溶解,使其浓度在剖面上不断累积,以致形成盐壳。区域地下水中富含 Na⁺,土壤中富含交换性 Ca²⁺,Na⁺—Ca²⁺ 交换的结果使 Ca²⁺ 在剖面上累积。并且,由于近地表层含有丰富的有机质,能吸附更多的 Ca²⁺。由于剖面上不同岩性的吸附能力不同,使盐分在剖面上表现出分层性。

(下转第 49 页)

- [2] 孔计伟. 综采工作面过空巷技术研究与应用[J]. 山东煤炭科技, 2018, 36(9): 63-64, 67, 72.
KONG Jiwei. Research and Application of Goaf Roadway Technology in Fully Mechanized Mining Face[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2018, 36(9): 63-64, 67, 72.
- [3] 赵慧波. 综放煤柱工作面过空巷矿压规律实测分析与研究[J]. 煤, 2017, 26(8): 19-21, 28.
ZHAO Huibo. The Analysis and Research on the Ore Pressure Rule of Overlying Roadway in the Coal Pillar Working Face [J]. Coal, 2017, 26(8): 19-21, 28.
- [4] 王朋飞, 赵景礼, 王志强, 等. 非充分采动采空区与煤岩柱(体)耦合作用机制及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(5): 1185-1200.
WANG Pengfei, ZHAO Jingli, WANG Zhiqiang, et al. Mechanism of Gob-pillar Interaction for Subcritical Panels and Its Application[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(5): 1185-1200.
- [5] 徐云波. 综采工作面通过空巷的技术研究[J]. 陕西煤炭, 2017, 36(4): 27-29.
XU Yunbo. Study on the Technology of Fully-mechanized Mining Face Crossing Abandoned Roadway[J]. Shaanxi Coal, 2017, 36(4): 27-29.
- [6] 温庆华, 周海峰. 大采高综采工作面过空巷关键技术研究[J]. 煤炭工程, 2009, 56(1): 54-56.
WEN Qinghua, ZHOU Haifeng. Research on Key Technologies of Overpass Roadway in Fully Mechanized Mining with Large Mining Height[J]. Coal Engineering, 2009, 56(1): 54-56.
- [7] 王福海. 工作面过空巷矿压显现规律及支架适应性分析[J]. 山西焦煤科技, 2016, 40(4): 46-49.
WANG Fuhai. Analysis of Mine Pressure Behavior Law and Support Adaptability of the Working Face Passing Abandoned Roadway[J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2016, 40(4): 46-49.
- [8] 沈光全. 综采工作面过空巷控制技术实践探究[J]. 煤矿现代化, 2017, 26(1): 7-8, 11.
SHEN Guangquan. Research of Control for Full-mechanized Mining While Through Leave Empty Coalroad[J]. Coal Mine Modernization, 2017, 26(1): 7-8, 11.
- [9] 宋明明. 大采高综采工作面过空巷围岩应力分布研究[J]. 能源技术与管理, 2016, 41(6): 77-79.
SONG Mingming. Study on Stress Distribution of Wall Rock of Overpass Roadway in Fully Mechanized Mining with Large Mining Height[J]. Energy Technology, 2016, 41(6): 77-79.
- [10] 贾建文. 综采工作面过空巷及穿层巷技术的研究[J]. 山西焦煤科技, 2012, 39(5): 12-14.
JIA Jianwen. Abandoned Roadway and Wearing Layer Roadway Technology in Fully Mechanized Coal Mining Face[J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2012, 39(5): 12-14.

(编辑:樊 敏)

(上接第 40 页)

参考文献:

- [1] 王焰新, 谢先军, 刘瑾, 等. 大同盆地表层地质环境监测与盐碱地生物修复示范[R]. 太原: 山西省地质环境监测中心, 2013.
- [2] 尚长生, 刘瑾, 李跃坤, 等. 大同盆地国土资源综合监测与评价[R]. 太原: 山西省地质环境监测中心, 2015.
- [3] 杨勇, 郭华明. 大同盆地地下水环境演化分析[J]. 岩土工程技术, 2003(2): 107-111.
YANG Yong, GUO Huaming. Analysis of Ground Water Environment's Evolution on Datong Basin[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2003(2): 107-111.
- [4] 马增辉, 马钢. 陕西卤泊滩“改排为蓄”条件下深层土壤盐分空间格局研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(35): 117-119.
MA Zenghui, MA Gang. Spatial Distribution Study on Soil Salinity after Changing Drainage to Impoundment in Lubotan of Shaanxi Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(35): 117-119.
- [5] 张天举, 陈永金, 刘加珍. 黄河三角洲湿地不同植物群落土壤盐分分布特征[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(11): 1915-1924.
ZHANG Tianju, CHEN Yongjin, LIU Jiazhen. Characteristics of Spatial Distribution of Soil Salinity under Different Plant Communities on Wetland in Yellow River Delta[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2018, 30(11): 1915-1924.
- [6] 郭力琼. 微咸水滴灌土壤水盐运移规律研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2016.

(编辑:樊 敏)