

内蒙古平庄矿区生产建设过程水土流失预测

项元和 王正文 张庆琼 伊敏 刘瑞雪

(内蒙古水利科学研究院 呼和浩特 010020)

秦富仓

(内蒙林学院 呼和浩特 010020)

摘 要 矿区生产建设活动中,不仅诱发和加剧了原生地貌的水土流失发生发展进程,而且形成区别于原地貌的再塑地貌。通过矿区实地调查、测算、定量分析预测平庄煤矿井矿及露天矿新的水土流失量。

关键词 预测 塌陷侵蚀 堆垫地貌 侵蚀量

Soil and Water Loss Forecast in Production and Construction in Pingzhuang Mining Area of Inner Mongolia

Xiang Yuanhe Wang Zhengwen Zhang Qingqiong Yi Min Liu Ruixue

(Academy of Water Conservancy Sciences of Inner Mongolia Huhehot 010020)

Qing Fucang

(Forestry College of Inner Mongolia Huhehot 010020)

Abstract In the process of the production and construction of mining area, it not only induce and strengthen the soil and water loss process, but also form the remake geomorphology. The soil and water loss amount of Pingzhuang mine area and its new open pits are forecasted by means of practical investigation, calculation and quantitative analysis.

Key words forecast collapse erosion remaken geomorphology erosion amount

1 矿区地理位置

平庄矿务局位于内蒙古自治区赤峰市元宝山区,整个矿区地处冀北辽西山地山前黄土丘陵区,属老哈河水系中游,是我国重要煤矿能源基地。本次水土保持方案设计包括平庄矿务局的7个重点矿区,其中6个为井工矿,一个露天矿。即:风水沟煤矿、元宝山煤矿、红庙煤矿、六家煤矿、古山煤矿、五家煤矿、西露天煤矿。南北长55.5km,东西宽39.6km。总征地面积55.3km²。其各矿区具体位置及开发建设范围见表1。

表1 平庄矿务局各矿区位置及开发建设范围

矿区名称	地理位置		开发建设范围			备 注
	东 经	北 纬	井田长 (km)	井田宽 (km)	面积 (km ²)	
风水沟煤矿	119°21′~119°26′	42°22′~42°25′	2.4	3.7	8.88	
元宝山煤矿	119°23′~119°30′	42°19′~42°21′	10.1	4.9	16.22	
红庙煤矿	119°08′~119°11′	42°15′~42°17′	6.175	3.775	11.27	
六家煤矿	119°15′~119°20′	42°03′~42°06′	4.4	1.62	7.13	
古山煤矿	119°16′48″	42°03′25″	7.0	1.0	7.0	
五家煤矿	119°09′23″	41°58′			9.7	
西露天煤矿	119°15′52″	42°03′48″	3.8	1.0	3.84	矿区总面积 19.2km ²
合 计					64.06	

2 矿区生产建设过程中水土流失预测

矿区的水土流失形式、原因及发生发展规律,首先服从于矿区所在的水土流失类型区大规律,并在各种自然因素作用下,形成自身特殊的规律。然而,矿区水土流失是在强烈人为作用下产生,自然因素的影响是潜在的和区域性的,而人为因素的影响是主导性的。现代工矿区的生产建设活动对可变动的中小形地貌产生剧烈扰动,其破坏水土资源,破坏植被,“再塑”自然因素的作用和影响较大。损害性“再塑”作用,根据矿区生产方式划分为两种:一种是挖损作用,即挖去地质层组中表层、浅层或深层的某一部分作用,二是堆垫作用,即挖取的有用或废弃固体物质,如矸石山、露天排土场。挖损作用形成的再塑地貌是层组逆序和缺损;而堆垫作用则是增加和混乱。

2.1 塌陷侵蚀预测

矿山塌陷是由于矿体采空,覆岩破坏所引起,煤体采空,上部覆岩力学平衡被打破,覆岩力学性质必然随之发生变化,在重力和应力作用下,便产生裂隙和断移,地下水也乘虚而入,通过裂隙向采空区渗漏,加速覆岩破坏,造成覆岩冒落,引起岩层和地表移动,最终表现为地表变形和塌陷。其塌陷机制一是采空区矿柱破坏造成,二是由于顶板冒落所致,如图1~2。

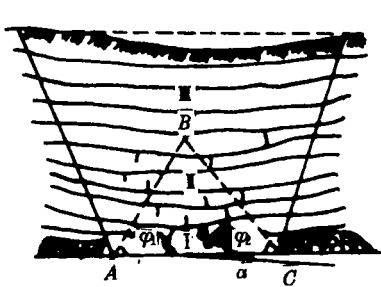


图1 采空区冒落引起的上覆岩层变形与错动的分带

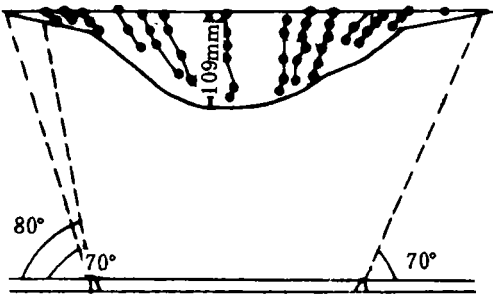


图2 与掘进掌子面平行的剖面上下沉的发展

由平庄矿务局各煤矿实地勘测,塌陷主要表现为两种类型:一种为凹式塌陷,一种为错裂式塌陷,如图3~4。

我国是世界产煤大国,采煤塌陷在采空塌陷中最为普遍和广泛,危害也最大。据统计,各煤矿

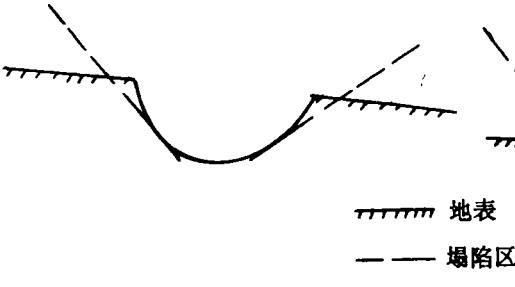


图 3 凹式塌陷

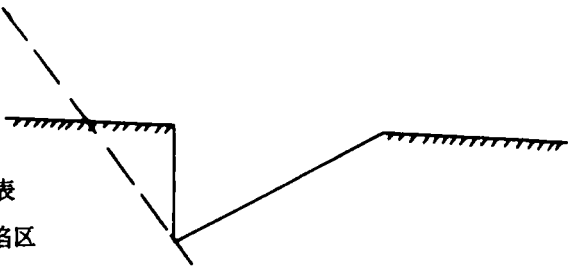


图 4 错裂式塌陷

每采万 t 煤的土地塌陷率为 $0.1 \times 10^4 \sim 0.3 \times 10^4 \text{m}^2$, 平均约为 $0.2 \times 10^4 \text{m}^2$, 据此估算, 如新建六家矿采区范围 10 年内塌陷面积如下:

表 2 新建六家矿采区 10 年内塌陷面积预测

年度	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	合计
原煤产量 (万 t)	8	20	50	70	90	90	90	90	90	90	90	778
塌陷系数 ($\text{m}^2/\text{万 t}$)	0.2×10^4	0.2×10^4	0.2×10^4	0.2×10^4	0.2×10^4	0.2×10^4	0.2×10^4	0.2×10^4	0.2×10^4	0.2×10^4	0.2×10^4	0.2×10^4
塌陷面积 (km^2)	0.016	0.04	0.10	0.14	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	1.556
矿区拟征地 面积(km^2)	0.033	0.033	0.033	0.53	0.80							1.429

塌陷区水蚀模数估算: 地表塌陷形成改变了原地面形态, 临近沟谷、岸坡的塌陷可诱发崩塌、滑坡, 使沟谷进一步下沉和拓宽, 不断加剧其发育。另外, 地表张口裂缝、塌陷坑、台阶状塌陷破坏植被造成地面土层松散, 加剧水土流失, 在此采用 1989 年由科学出版社出版的《内蒙古土壤侵蚀研究》一书中土壤水蚀预报模型进行预测。

土地侵蚀预报模型如下:

$$S = 15\,148.66 G^{0.6898} \cdot P^{-0.601}$$

式中: S —— 小流域多年平均土壤水蚀模数($\text{t}/\text{hm} \cdot \text{a}$); G —— 小流域平均侵蚀沟壑密度(km/km^2); P —— 小流域平均林草植被覆盖度(%)。

根据实地调查, 塌陷区所在流域沟壑密度为 $2.3 \text{km}/\text{km}^2$, 植被覆盖度为 10%~30%, 则

$$S = 15\,148.66 \times 2.3^{0.6898} \times 20^{-0.601} = 4\,446.02 \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$$

2.2 固体废弃物堆垫地貌侵蚀预测

矿区开采过程排弃大量固体废弃物, 如小型排土场、矸石山、碴山等固体松散堆积体形成松散型堆垫地貌, 随着开采不断深入均会发生均匀沉降, 特别是矸石山由于泥岩、页岩、泥质页岩、废煤、矸石风化出现粘性可压缩颗粒后, 矸石山发生裂隙错位, 但很快被上部滑落下来的物质充填覆平, 同时矸石山自燃经常引起局部坍塌, 在水力作用下发生较强烈的沟蚀及泻溜、滑坡, 形成不同程度的水土流失。

人为堆垫矸石山的形成, 增加了原地面坡度, 增加幅度动态变化, 最终形成自然安息坡度, 坡度的增加意味着水流动力和不稳定程度的增加, 其结果加剧了水蚀和重力侵蚀。根据王治国在山西平朔矿矸石山径流小区观测资料表明: 在无植被条件下, 坡度为 3~5°时, 土壤侵蚀模数为

1 818.15t/(km²·a),而当坡度增加到36~40°时,土壤侵蚀模数可达2.7万t/(km²·a)以上,对平庄矿务局其它各矿调查及实测数据与其相符。坡型、坡长与坡度的组合共同影响着水土流失的形式、分布与强度。

2.2.1 矸石山土壤侵蚀模数估测 土壤水蚀模数估算: 土壤水蚀量的估算采用美国通用土壤流失预报方程USLE,同时借鉴1989由科学出版社出版的《内蒙古土壤侵蚀研究》一书中的有关资料,对矸石山边坡土壤侵蚀模数进行估算。

USLE的方程形式如下:

$$A = RKLSCP$$

式中: A ——某地块年平均土壤流失量, t/(km²·a)。

R 因子为降雨侵蚀力, (MJ·mm)/(hm²·h·a), 综合反映降雨动能和径流冲刷能力。 R 值是总降雨能量(E)与30min最大降雨量(I_{30})的乘积, 即 $R = \sum EI_{30}$, 计算时将一年内各次降雨的 R 值相加得出 R_0E 的表达式如下:

$$E = eh$$

式中: E ——一次降雨总能量, MJ/hm²; e ——一次降雨单位雨量能量, MJ/(hm²·mm); h ——该次降雨总量, mm。

e 值的直接测定和计算十分复杂, 通常采用美国科学家建立的下列经验公式计算:

$$e = 0.119 + 0.0873 \lg I_h \quad (I \leq 76 \text{ mm/h})$$

$$e = 0.283 \quad (I \geq 76 \text{ mm/h})$$

式中: I_h ——一次降雨的雨强, mm/h, 以下式计算:

$$I_h = \frac{11}{t} \times 60$$

式中: t ——一次降雨历时, min。

年 R 值关系式为:

$$R_{\text{年}} = \sum EI_{30}$$

USLE中 R 值系年平均 R 值。

K 因子确定: K 为土壤可蚀性因子, K 因子反映, 当影响侵蚀的其他因子相同时, 由于土壤自身特性引起的侵蚀差异。对于某一种土壤, 其 K 值等于标准小区上特定 K 值相应的土壤流失率。标准小区指坡长为22.1m, 坡度为9%, 顺坡犁耕而且连续休耕2年以上的以及无植被覆盖的坡地小区, 在这种小区上, L 、 S 、 C 、 P 值均等于1.0。

$$K = \frac{A}{R}$$

USLE中 K 值反映土壤多年平均的可蚀性, 不同土壤的 K 值变化幅度为0.02~0.75, 相差一个数量级。 K 值与土壤的质地、渗透性、有机质含量等理化性质有关; 一般渗透性强, 有机质含量高, 抗冲能力强的土壤 K 值低, 反之 K 值高。

L 因子的确定: L 被定义为坡长因子, m, 反映地块坡长对土壤侵蚀率的影响, 土壤侵蚀率随坡长增长而增加。 L 是任意坡长小区与标准小区土壤侵蚀率的比值, 关系式为:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^m$$

式中: λ 为任意坡长小区的水平投影长度, 以m作单位, m 为坡长效应指数, 域值在0.2~0.5之间。

S 因子的确定: S 被定义为坡度因子,无量纲,反映地块坡度对土壤侵蚀率的影响。

$$S = 0.065 + 0.045 S_0 + 0.065 S^2。$$

式中: S_0 ——任一小区的坡度(坡度正弦百分比)。

C 因子的确定: C 因子被定义为农作物或其他植物生长地块的土壤流失率与无植被覆盖的裸露地块土壤流失率的比值,无量纲,反映植被对土壤侵蚀的影响,其关系式为:

$$C = \frac{A_v}{A}$$

式中: A_v ——有植被小区的土壤侵蚀率; A ——裸地小区的土壤侵蚀率。

由式中可知, C 值与植被覆盖度成反比。 C 值的范围由裸地的 1.0 到茂密林地的 0.001, 可相差三个量级。

P 因子的确定: P 因子为土壤保持措施因子,无量纲,是有等高横垄耕作等土壤保护措施农地小区与顺坡垄耕作农地小区土壤流失率的比值,关系式为:

$$P = \frac{A_p}{A}$$

式中: A_p ——为土壤保持措施小区的土壤流失率; A ——无措施小区的土壤流失率。 P 值的范围从无措施地块的 1.0 到等高条件草田轮作地的 0.25。

通过分析,根据《内蒙古土壤侵蚀研究》一书的作者的统计和计算,赤峰市 R 值多年平均 $R = 500$ 。

矸石山无植被覆盖, C 取 1; 矸石山无水土保持措施, 故 P 取 1; 因矸石山为松散堆积岩土, 故 K 取 0.02; LS 合并为 $LS = 0.41 \times \lambda^{0.3} \times 0.05676 \theta^{1.6}$ 矸石山平均坡长取 40m, 坡度 36° ($\lambda = 40$, $\theta = 36^\circ$)。由此得出矸石山边坡的土壤水蚀模数:

$$\begin{aligned} A &= R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P = 500 \times 0.025 \times 21.76 \times 1 \times 1 \\ &= 272t/(hm^2 \cdot a) = 27\ 200t/(km^2 \cdot a) \end{aligned}$$

2.2.2 采矿过程中固体废弃物排弃量 井工采煤排弃矸石量取决于开采能力及煤层特性, 排矸量预测按下列经验比例式进行计算:

$$Q = \alpha W$$

式中: Q ——矸石排弃量(万 t/a); W ——设计规模(万 t/a); α ——排矸系数,大中型矿 $\alpha = 0.05$, 地方小煤矿取 $\alpha = 0.035$ 。我们统计排矸量是理论与实际测算相结合而定。

2.3 西露天矿水土流失量估算和预测

根据平庄西露天矿水土流失的特点,按照水蚀、风蚀、重力侵蚀 3 种类型分别估算其侵蚀量。

2.3.1 水蚀量估算 水蚀量估算主要针对排土场边坡及附近区域而确定,水力侵蚀主要包括溅蚀、面蚀、沟蚀 3 大类,以沟蚀量最大,鉴于矿区内无水土流失实测资料,采用排土场边坡体积估算法进行估算。其方法是,在已知排弃时间的排土场边坡上布设若干样方(边长 10m),量取样方内细沟、浅沟的数量及沟宽、沟长,应用下式估算其平均侵蚀量:

$$VE_1 = \frac{1}{200} \sum_{i=1}^n ahl$$

式中: n ——细沟数量; a ——细沟宽(cm); h ——细沟深(cm); l ——细沟长(m); VE_1 ——细沟侵蚀量(m^3/hm^2)。

$$VE_2 = \frac{1}{200} \sum_{i=1}^n (a+b)hl$$

式中: n —— 浅沟数量; a —— 浅沟上口宽 (cm); b —— 浅沟底宽 (cm); h —— 浅沟深 (cm); l —— 浅沟长 (m); VE_2 —— 浅沟侵蚀量 (m^3/hm^2)。

$$VE=VE_1+VE_2, M=\frac{\gamma \cdot VE}{m}$$

式中: VE —— 样方总侵蚀量 (m^3/hm^2); m —— 排土场边坡堆弃年限; γ —— 土体容量 (t/m^3), 此处取 $\gamma = 1.4 t/m^3$; M —— 平均侵蚀模数 ($t/hm^2 \cdot a$)。

根据对已排弃 3 年的排土场边坡进行样方调查, 得出表 1 的结果, 可见, 排土场边坡平均侵蚀模数 $9\ 660 t/(km^2 \cdot a)$, 属极强度侵蚀。其他区域根据地面坡度、植被盖度、土体抗蚀性等因子综合评价。

表 1 排土场边坡水蚀量样方调查表

细 沟				浅 沟				
平均宽 (cm)	平均深 (cm)	平均长 (m)	细沟数	上口宽 (cm)	底宽 (cm)	深 (cm)	沟长 (m)	浅沟数
35.6	7.6	10	6	42.0	20	20.3	10	2
$VE_1 = 81.168\ m^3/hm^2$				$VE_2 = 125.86 m^3/hm^2$				
				$VE = 207.028\ m^3/hm^2$				
				$M_2 = 9660\ t/(km^2 \cdot a)$				

2.3.2 风蚀量估算 土地风蚀沙化受植被、土壤结构、粒级、风力等多种因素影响。矿区排土场内沙漠化土地面积 $7.63 km^2$, 其中弱度沙漠化土地面积 $0.23 km^2$, 年平均侵蚀深度小于 $0.16\ mm$, 风蚀模数小于 $240 t/(km^2 \cdot a)$; 轻度沙漠化面积 $2.83 km^2$, 年平均侵蚀深度 $2\ mm$, 平均风蚀模数 $3\ 000 t/(km^2 \cdot a)$; 中度沙漠化土地面积 $3.79 km^2$, 年平均侵蚀深度 $4.5\ mm$, 平均风蚀模数 $6\ 500 t/(km^2 \cdot a)$; 强度沙漠化土地面积 $0.68 km^2$, 年平均侵蚀深度 $6.0\ mm$, 平均风蚀模数 $9\ 000 t/(km^2 \cdot a)$ 。矿区内每年风蚀总量达 3.93 万 t , 平均风蚀模数 $5\ 219 t/(km^2 \cdot a)$ 。

2.3.3 重力侵蚀估算 重力侵蚀是限制露天矿生产的一个主要限制因素, 露天矿重力侵蚀主要发生在采掘场内。到目前为止, 采掘场内已发生大小滑坡 60 余次, 根据每次滑坡实际量算, 非工作邦共发生滑坡 32 次, 总滑落体积 335.49 万 m^3 , 工作邦发生滑坡 33 次, 总滑落体积 $1\ 930.89$ 万 m^3 , 滑坡总体积 $2\ 266.38$ 万 m^3 , 约 $3\ 852$ 万 t 。

2.3.4 西露天矿区水土流失预测 平庄西露天矿水土流失发展受采煤生产和岩土排弃量的影响, 随着采煤生产的发展, 采掘深度不断加深, 工作邦边坡度也增加, 重力侵蚀必将加重。同时排弃岩土量增加后, 岩土堆层高度增加, 也影响其自身稳定性。

(1) 采掘场边坡稳定性发展预测。按照现行“632 方案”, 平庄西露天矿实行露天与井工联合开采方案。将西露天矿一分为二, 浅部 + 374 标高以上露天开采, 2011 年采终, 深部按井工开采。

由图 1 可见, 按现行方案, 632 平盘以上不去扰动, 632 平盘以下随开采发展, 工作邦边坡将越来越陡, 随着采掘深度不断加深, 工作邦边坡稳定性将越来越差。而非工作邦随着采掘推进, 相对高差也将增大, 下方弱层对其稳定性影响也更加严重。因此, 随着采煤生产发展, 工作邦、非工作邦重力侵蚀(以滑坡为主)将不断加重, 对采煤生产的影响也更甚。

(2) 排土场水土流失趋势预测。采场挖掘的岩土在排土场堆放, 其堆放方式对于排土场水土流失影响至关重要。按现行方案, 露天矿每年采煤 150 万 t , 按同期采剥比 8.48 计, 则每年排弃土 $1\ 272$ 万 m^3 。矸石每年排出 69.5 万 t , 选煤厂煤泥每年排出 $57 t$ 。

算模型计算的平均侵蚀数值为 $15\,778\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 其误差为 $\sim 19.12\%$ 。80年代的实测值为 $13\,219\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 估算值为 $12\,318\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 误差为 -6.8% 。可见误差均在我们所给定的 $\pm 29\%$ 之内, 同时也表现出前文所述的估算值偏低的事实。从总体效益看, 80年代开展治理以来侵蚀模数从 $19\,509\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 下降到 $13\,219\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 10年减沙 $6\,290\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。虽然70年代降雨量比80年代多 10.53% , 降雨侵蚀力也大 12.52% , 但侵蚀量则多 32.24% 。根据降雨侵蚀力 R 与侵蚀量呈线性相关的关系, 那么80年代由于降水减少减沙 12.52% , 由于水土保持综合治理减沙为 20% , 减沙效益十分显著。

综上所述, 单元小流域土壤侵蚀估算模型虽有一定误差, 但用于皇甫川流域侵蚀模数的估算, 反映全流域土壤侵蚀规律; 研究流域允许侵蚀量; 评估水保综合治理减沙效益还是科学可靠的。

致谢: 参加研究工作的还有: 金争平、史培军、侯福昌等同志。

参考文献

- 1 金争平, 赵焕勋等. 皇甫川区小流域土壤侵蚀量预报方程研究. 水土保持学报, 1991, 5(1)

(上接第83页)

西露天矿有三个排土场, 实行现方案后, 山后排土场已不再利用, 采掘岩土主要排放在三家排土场和太平地排土场, 煤炭洗选矸石排放在三家排土场。排土场按平台推进的方式堆放岩土, 最终边界是排土场征地边界(如图5)。

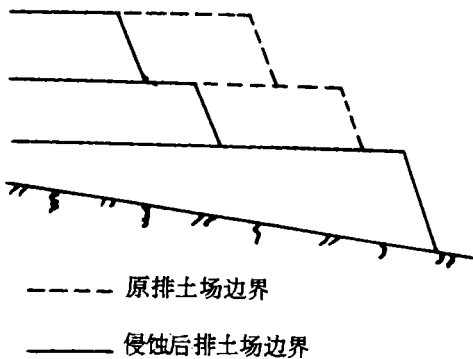


图5 排土场时空变化示意图

由图5可见, 随排土场平台推进, 水土流失形式未发生根本变化, 平台表面仍以风蚀为主, 排土场边坡附近仍以水蚀、重力侵蚀为主, 新排弃岩土存在非均匀沉降侵蚀和管状侵蚀。受征地范围限制, 排土场面积未发生变化。新排弃岩土由于结构疏松, 地面裸露, 风蚀、水蚀都较严重。据调查, 岩土排放第一年, 平台风蚀属强度侵蚀, 侵蚀模数 $9\,000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。第二年以后即可降到中度侵蚀, 侵蚀模数 $6\,500\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。一些地段, 如植被恢复较好, 可降到轻度侵蚀, 排土场边坡平均侵蚀模数 $9\,660\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 随着岩土推进, 边坡长度历年基本相近, 故按边坡现状长度 42.25km 计, 边坡平均每年水蚀量为 1.64 万 t 。