

黄土区大型排土场岩土侵蚀特征研究

——以平朔矿区排土场为例

吕春娟¹, 白中科², 秦俊梅¹, 贺斌¹, 李俊杰¹

(1. 山西农业大学资源环境学院, 太谷 030801; 2. 中国地质大学土地科学技术系, 北京 100083)

摘要:排土场是一种松散的岩土混合物堆积体,存在着严重的岩土侵蚀,它的安全与稳定涉及矿山的生产安全及其经济利益与社会效益。以平朔矿区 1986~2004 年的水土保持实践为基础,对岩土侵蚀特征,进行了系统的研究。结果表明,岩土侵蚀的内涵为:一是侵蚀的对象是岩土非均匀混合物,也就是说,地表组成物的微变化比较复杂;二是侵蚀的方式、程度与原地貌有明显的不同。岩土侵蚀的形成条件与原地貌侵蚀形成的不同之处主要为:地面形态及地层层序;地表物质组成及其理化性状;再塑地貌的时空变化。岩土侵蚀形式与特征在继承原地貌的基础上,出现新的特征,对它的进一步探讨是今后一个新的研究内容,对于整个生态系统平衡有着重要的意义。

关键词:黄土区;排土场;岩土侵蚀

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)04-0233-04

Research on the Characteristics of Rock and Soil Erosion of the Large Stackpile in Loess Area ——Taking Opencast-mine Area of Pingshuo as an Example

LV Chun-juan¹, BAI Zhong-ke², QIN Jun-mei¹, HE Bin¹, LI Jun-jie¹

(1. College of Resources & Environmental Science, Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China;

(2. Land Science Department, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The junkyard is a kind of loose dump of rock and soil, existing serious erosion of rock and soil, whose safety and stability interferes in economic benefit and benefit interest on mine. On the basis of practice of soil and water conservation for 17 years, the erosion characteristics of rock and soil were researched systematically. The results showed, the intention of erosion of rock and soil has two sides: one is that object of erosion is mixture of rock and soil, that is, the micro-change of composition of soil surface is complex; another is that the means and degree of erosion is different from original geomorphy. The difference of form condition of erosion between stackpile and original geomorphy is mainly: landforms and the order of land layer; composition and physical and chemical properties of land surface; the time-space change of reformal geomorphy. The erosion forms and characteristic of rock and soil show new characteristic, based on that of original geomorphy, discussion about erosion of rock and soil will be a new object, with important role to the balance of whole eco-system.

Key words: loess area; dumping site; erosion of rock and soil

露天采矿是直接剥离表土和矿层的上覆岩层,使矿层暴露后开采,并在采区内外分层堆置剥离的岩土与矸石、尾矿等废弃物,从而形成平台-边坡相间的阶梯宝塔状的排土场,它是一种巨型人工松散堆积体。它的形成剧烈扰动地表土壤和地下岩层,改变了原有水文、地质、地貌,极大地影响了水文循环条件,污染了水环境,破坏了当地的水循环系统,形成一种典型的人为加速侵蚀。与原地貌条件下的水土流失在侵蚀程度和方式上存在着明显的区别(王治国, 1998)。鉴于排土场-松散堆积体的物质组成、理化性质及其分散、搬运、沉积规律与黄土区的土壤侵蚀迥然不同,国内王治国等(1994)初次明确称之为“岩土侵蚀”。孙传尧(2001)在此

基础上,着重强调了黄河中游河龙段“岩土侵蚀”的地质背景。虽然近 10 余年国内一些科研机构(黄委会等)、大专院校(山西农业大学等)对岩土侵蚀也做了部分研究,但对矿区岩土侵蚀的形成条件、特征尚未见系统的报道。矿区排土场的侵蚀问题不仅是严重的水土流失,且对矿山的生产安全及当地居民的生存安全已构成巨大威胁。因此,本文对排土场的岩土侵蚀特征系统研究具有重要的现实意义和经济价值。

1 排土场概况

平朔露天煤矿是目前我国最大的露天煤炭生产基地之一,地处黄土高原晋陕蒙接壤的黑三角地带,山西省北部的

* 收稿日期: 2005-08-29

基金项目: 国家自然科学基金(40071077, 40471132); 山西农业大学青年创新基金(2004065)资助

作者简介: 吕春娟(1978-), 女, 山西运城人, 硕士, 主要从事土地复垦与生态重建研究。

朔州市境内。平朔矿区属典型的温带半干旱大陆性季风气候区,年平均降雨量为 428.2~ 449.0 mm,年蒸发量 1 786.6~ 2 598.0 mm; 原地形地貌为丘陵缓坡区,区内黄土广布,植被类型属于草原,呈零星分布,水蚀风蚀严重,冲刷剧烈。

矿坑剥离物用 PH2800 型 25 m³ 电铲配以 170C154 后卸式重型“非公路卡车(off high-way dump trucks)”(装载量 154~ 190 t),运输到排土场指定地点倾斜后,用 D9L 推土机或 16G 平路机推平。排土场中心部位 30~ 100 m 范围排弃一定厚度的岩石,其余部位岩土混排,排土成台阶式排土场。由于大型机械碾压,平台和路面容重达 1.5~ 1.9 t/m³,渗透系数很小,仅为 0.16~ 0.28 mm/min,易产流汇流;而边坡为岩土的自然安息角(36°左右),坡面多覆土,陡而松散。因此,平台地表严重压实与排土场整体的非均匀沉降是排土场水土保持两大制约因子。

2 岩土侵蚀形成条件

2.1 再塑地貌的时空变化

再塑地貌是指通过再塑作用(主要是损害性再塑作用)而形成的区别于原地貌的人为塑造的新地貌。它形成的时间短,在各种自然因素的影响下演变剧烈,要达到稳定需要很长时间,在矿区生产建设活动没有终止之前,这种演变受自然因素和人为因素的双重控制,其中人为因素占支配地位。再塑地貌的变化包括时间上和空间上的变化,新形成的再塑地貌的水土流失,比经过一定时间演变的再塑地貌的水土流失严重的多,这种新老再塑地貌在时空上的交织变化,是矿区水土流失形式复杂多样的主要因素之一。大型露天矿的排土场属于典型的再塑地貌,在采矿的过程中先外排后内排,然后按照挖一坑填一坑或采一条填一条的原则,开采和排弃是一个动态的过程,在排土结束之前,变是长期的,不变是暂时的,因排土场边坡和平台不断形成,又不断被后来的排弃物掩埋,一些边坡和平台存在时间仅 1~ 2 年,有些边坡和平台存在几年至几十年,乃至长期处于自然演变状态而不被人为掩埋和破坏(图 1)。

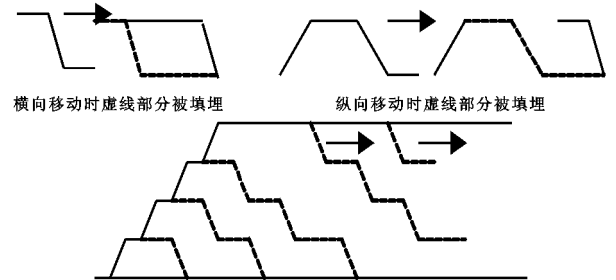


图 1 排土场形成的动态变化模式图

因此,排土场的侵蚀特征既继承了原地貌的地域特征,又孕育了一种新的动态的规律性的变化,对于这种侵蚀的治理,要根据排土时间的顺序,分阶段、分地点因时因地制宜,采取相应的暂时性水土保持措施——过渡性水土保持措施——永久性水土保持措施。而原地貌是一种相对静止的地貌,它的治理措施可以说是一种永久性水土保持措施。而且已由很多成熟的经验可以借鉴。

2.2 地面形态及地层层序

平朔矿原地貌是低山丘陵地貌,其地面形态多样,有平地、缓坡、陡坡、沟壑、河漫滩等。而堆垫形成的排土场呈平台、边坡相间分布的阶梯式地形,相对高度 100~ 150 m,台阶坡面高度 20~ 40 m,台阶坡面角 > 30°。故排土场除少部分排弃运输路面为 5~ 15°的缓坡外,再很少有过渡坡面。同

时,由图 2 可看出,原地貌地层层序为 C2- C3- P1- N2- Q1- Q3,而堆垫形成的外排土场是在原地层层序上增加了一个高 100~ 150 m 的岩土混合排弃层,内排土场是在缺损原地层层序 C3- P1- N2- Q1- Q3 的情况下,在 C2 上添加了一个 300~ 350 m 的岩土混合排弃层。故排土场地层层序缺损或紊乱。

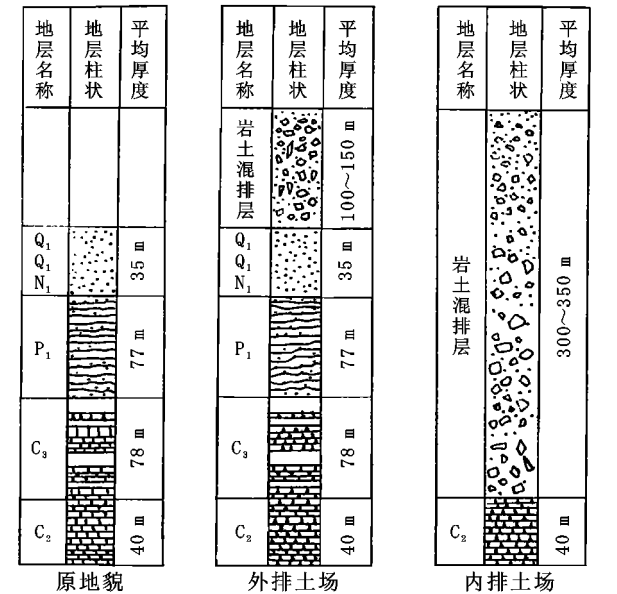


图 2 安太堡矿地层层序示意图

原地貌的地层层序是在很长的地质历史时期中经过风化、搬运、沉积等地质环境才形成的,而排土场在极短的时间内形成的一个高厚度的人工排弃层,组成物质之间缺乏有机胶结物。整体来看,它是一个巨型松散堆积体,自身在很长时间之内,都处于一种动态变化的不稳定状态,在外力的干扰下,很容易发生新的变化,诱发大型的地质灾害。

2.3 排土场物质组成及地表物质的理化性状

采煤产生的松散堆积物物质组成,主要取决于地层结构,一般多以砂岩、页岩、泥岩、煤及上覆的土壤母质层为主,其颗粒组成粗,多石块,黏土含量低(Sleeman, 1990, Harabin, 1990)。平朔安太堡露天煤矿南排土场与西排土场的钻孔筛分资料表明,排弃物为砂岩、页岩、泥岩、黄土状物质、黄土及钙结核、矸石、废煤等,具体见表 1。

表 1 排土场排弃物料粒度组成表

排土场	钻孔	黄土含量/%	岩石含量/%
南排土场	2#	8.8	91.2
	5#	31.21	68.79
	6#	21.58	78.42
	7#	11.29	88.71
	8#	46.09	53.91
	平均	23.6	76.4
西排土场	W - 2	76	24
	W - 9	70	30
	W - 10	85	15
	W - 12	71.5	28.5
	W - 13	88	12
	W - 14	74	24
	平均	77.64	22.36

注:引自《平朔安太堡露天矿外排土场稳定性研究》,1995

对采掘面 50 m 范围内的黄土母质及易风化的矽石分段采样后进行分析化验,结果表明,除钾较丰富外,有机质含量低、氮、磷等植物所需养分贫乏。同时,由于洗煤矽石含硫 1.07%~3.19%,如果集中堆放,暴露地表,将会引起自燃及土壤酸化。另外,由于本矿岩土堆垫采用载重 154~190 t 的重型卡车,此类卡车载重和规格已超过国家公路运输网络标准,所以称为“非公路卡车”。因此,虽然排土场整体岩土结构松散,但其平台地表却严重压实,容重 $1.6\sim 1.9\text{ g/cm}^3$,比原生境的土壤容重大 $0.2\sim 0.5\text{ g/cm}^3$;表土稳渗率为 $0.16\sim 0.28\text{ mm/min}$,比原生境小 $0.12\sim 0.84\text{ mm/min}$;根系穿透阻力为 $30\sim 60\text{ kg/cm}^2$,比原生境大 $23.88\sim 57.87\text{ kg/cm}^2$;径流系数高达 68.8%,是原生境的 2.9~6.1 倍。故土壤物理性状更加恶化。

土壤的物理性状的好坏,直接关系到它的抗蚀性的强弱。由于地表物质组成的微变化比较大,它的物理性状远不如原地貌,缺乏对外界侵蚀力的缓冲能力,在侵蚀力作用下,很容易产生一些新的侵蚀形式。

3 岩土侵蚀的形式及特征

排土场高出原地面几十 m 至 100 余 m,为平台和边坡相间的台阶式构造,整体以岩石和黄土类物质混排为主,平台多覆黄土,表层严重压实,下部松散堆积物颗粒大小不等,自然压缩固结速率不等;受排土机械限制,边坡多为岩石的自然滚落角($30\sim 42^\circ$),故覆盖层疏松。由于排土场组成物质地面坡度及组成物质等发生变化,岩土侵蚀形式与原始地貌的相比有显著变化。除过传统的溅蚀、层状面蚀、鳞片状面蚀、沟蚀、重力侵蚀和风蚀外,还出现了黄土区少见的非均匀沉降、沙砾化面蚀、土砂流泻、坡面泥石流等诱发性侵蚀形式。

3.1 溅蚀

发生在有黄土覆盖的排土场各部位。地表黄土状堆积物上可见清晰的击溅坑。中科院水土保持研究所(郑粉莉,2000)实验表明,不破坏土壤结构土的溅蚀量仅是扰动土的 22.2%~33.3%。因此,松散岩土坡面溅蚀相当严重。

3.2 面蚀

包括层状面蚀和砂砾化面蚀,发生在排土场的各部位。平台严重压实又经人工整畦的地段,经过一个雨季,不少处发生层状面蚀,深可达 $3\sim 5\text{ cm}$ 。土石混排边坡,分散的地表径流带走了大量风化岩屑、黄土等细小颗粒,砂砾化明显。严重压实的道路,若为土质,则易发生层状面蚀;若为土石混排,则易发生砂砾化面蚀。

3.3 沟蚀

(1)细沟侵蚀和浅沟侵蚀。发生在排土场的边坡上,深度、宽度、长度、发生频数和冲刷量随排土工艺及复垦效果不等。

(2)切沟侵蚀。发生在平台边缘微凹处,有一定的集水面积,或没有挡水墙的坡肩至边坡坡脚地段,主要是由于径流的汇集产生。

(3)悬沟。见于陡立的边坡上,宽数 m,深度随陡立边坡高度而变化,达数十 m。

3.4 重力侵蚀

主要发生在边坡上,包括泻溜、土砂流泻、坡面泥石流、崩塌和滑坡。

(1)泻溜。边坡上堆积的页岩、泥岩和矽石,风化速度快,风化形成碎屑物质在重力作用下,沿边坡向下滚动和滑落形成流泻,面积不大,呈零星分布。

(2)土砂流泻和坡面泥石流。土砂流泻,是发生在人工堆积的的固体松散体坡面上,由于深层岩石上覆有巨厚的岩

土层而承受着巨大的静压力,呈固结或超固结状态,一旦被爆破、粉碎、剥离并堆置在地表,大小不同的岩土颗粒在新的条件下,由于固结速度、时间差异导致坡面土砂物质失重,向坡角滚落,称之为土砂流泻。这种形式在高速排放的露天矿排土场初期较为常见。若在连续降雨的条件下,土岩混合物可达超饱和状态而发生坡面泥石流,并在平台上形成较大的堆积锥。如在 1995 年 8 月 31 日至 9 月 15 日,降雨量 217.6 mm,约占当年全年降水量的 50%。此期间,安太堡矿排土场产生了严重的坡面泥石流。此类泥石流较特殊,其产生部位一般在黄土层下,因黄土层下是碾压后的土石混堆的基层,因多日阴雨使土层下的水流随坡度汇集,至一低处流出,产生了泥石流,在不盖土坡面不易产生泥石流。

(3)崩塌和滑坡。在排土场的边坡陡坎频繁发生,崩滑量几十 m^3 至上万 m^3 不等。1991 年 10 月 29 日零时南排东北侧发生大型滑坡,滑体走向长 1 050 m,滑体倾向覆盖最大宽度 665 m,前缘坡底冲出距离 245 m,滑体垂高 135 m($1\,315\sim 1\,450\text{ m}$),滑落体积 1 032 万 m^3 。

3.5 非均匀沉降

固体废弃物堆积体的非均匀沉降,是由于其组成物质颗粒大小混杂,自然压缩固结速率不等,而导致表面变形和破坏的现象。主要发生在平台上,形式多样、程度不一,易对排土场的稳定造成严重的影响。

(1)小陷穴:直径 $3\sim 50\text{ cm}$,深 $5\sim 6\text{ cm}$ 不等,陷穴下壁或底部可见下伏岩土下垫层。有的单独存在,有的由裂缝串联。由水蚀产生,可加剧内部盲洞、盲沟形成。

(2)大陷坑:直径 $1.0\sim 15\text{ cm}$,深 $1.0\sim 5.0\text{ cm}$ 不等,浅层岩土混堆的土粒随渗漏水淋移,造成地表局部沉陷。

(3)小裂缝:分布距平台边缘 50 余 m 范围内,长 $10\sim 30\text{ m}$,宽 $0.5\sim 0.7\text{ cm}$ 不等,走向大致与边坡走向平行,常跨小畦,多由小陷穴串联。一般无错位,最为严重有二处,一处 9 条/33 m,平均间距 3.7 m;一处 11 条/20 m,平均间距 1.8 m。

(4)大裂隙:距平台边缘 10 余 m 范围内,可有 1 条或数条裂隙,长可达百 m 甚至数百 m,走向大致与边坡走向平行,等高带状分布,宽 10 cm 以上,局部错位可达 $20\sim 40\text{ cm}$,大裂隙在充水和爆破作业震动下,可形成滑坡。

(5)盲洞、盲沟:分布在岩土混堆下垫层中,内部集中渗流,细粒物质严重冲移形成,隐患巨大。

3.6 风蚀

主要发生未复垦的松散堆积物上。根据雁北行署考察报告,平鲁县一般风蚀模数为 $2\,000\sim 10\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,与水蚀模数大致相同。排土场松散废弃物的堆积,随大气的变化也会产生风蚀现象。据气象资料观测,本区有风时间占全年总时间的 70%,平均全年大于 4.0 m/s 风(起沉风速)的频率为 21.7%,平均每年出现八级以上大风 25 d,风沙日 29 d。因此,未复垦的排土场的风蚀将会影响到整个矿区的环境。

4 岩土侵蚀的内涵

作者在山西农业大学“矿区土地复垦与生态重建”课题组 17 年研究的基础上,结合相关理论研究,初步认为“岩土侵蚀”的内涵可以从两方面来理解,一是侵蚀的对象是岩土混合物,这种混合物不是均匀混合的,而是工程扰动过程中,由岩石、石砾、母质、土壤等随机组成的混合物,有可能局部范围内以土壤(母质)为主或以矽石为主,也就是说,地表组成物的微变化比较复杂;二是侵蚀的方式、程度与原地貌有明显的不同,这主要是由于工程扰动引起的地表的立地条件的变化与地面介质的内在性质的改变而造成的(表 2)。

5 岩土侵蚀的治理措施

生物措施、耕作措施、工程措施是人们进行水土流失治理的三大措施,其中以生物措施最为有效,植被的地上和地下部分以及在地表形成的枯枝落叶层均对防止水土流失起到了积极的作用,尤其对于排土场这种松散的堆积体,虽然宏观的地基处理、排土工艺等工程措施是基础,在排土场的锥形形成后,必须采取一系列的工程措施,如排土场边缘修建挡水墙,平台内缘坡脚处挖排水渠,平台内采取畦状整地等暂时性工程措施,但由于排土场局部在很长一段时间之内都处于不稳定状态,大型的工程措施难以实施,加上工程措施的投资大,而植物措施对于改善养分十分贫瘠的排土场,经过 17 年的实践检验是一项长期可行的水土保持治理措施,但具体的最佳的植被组合模式,不同的区域有不同的配置模式。

6 结论与讨论

6.1 结 论

- (1) 岩土侵蚀的内涵为:一是侵蚀的对象是岩土非均匀混合物,也就是说,地表组成物的微变化比较复杂;二是侵蚀的方式、程度与原地貌有明显的不同。
- (2) 岩土侵蚀的形成条件与原地貌的不同之处主要为:地面形态及地层层序;地表物质组成及其理化性状;再塑地貌的时空变化。
- (3) 岩土侵蚀的侵蚀形式,除具有原地貌的侵蚀形式外,还出现了排土场特有的侵蚀形式:非均匀沉降、坡面泥石流、土砂流泻等。
- (4) 由于排土场的物理性质的特殊性,因地制宜的水保措施应为以植物措施为主,工程措施为辅。

参考文献:

[1] 王治国,白中科.黄土区大型露天矿排土场岩土侵蚀及其控制技术的研究[J].水土保持学报,1994,8(2):10-17.

[2] 孙传尧.黄河中游河龙段岩土侵蚀的地质背景[J].陕西地质,2001,19(2):82-86.

[3] 李晋川,白中科.露天煤矿土地复垦与生态重建[M].北京:科学出版社,2000.

[4] 郑粉莉,高学田著.黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟[M].陕西人民出版社,2000.

[5] 白中科,王治国,赵景逵,等.安太堡露天煤矿水土流失特征与控制[J].煤炭学报,1997,22(5):542-546.

[6] 白中科,王文英,李晋川,等.黄土区大型露天煤矿剧烈扰动土地生态重建研究[J].应用生态学报,1998,9(6):621-626.

[7] 白中科,胡振华,王治国.露天煤矿排土场人为加速侵蚀及分类研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1):34-40.

[8] 王青杵.煤炭开采区废弃物堆置体坡面侵蚀特征研究[J].中国水土保持,1998,(8):26-29.

[9] 王治国,李文银,蔡继清.开发建设项目水土保持与传统水土保持的比较[J].中国水土保持,1998,(10):16-18.

[10] 段喜明,王治国,宋振勇,等.安太堡露天煤矿南排土场滑坡体稳定性及治理[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,13(1):86-91.

[11] 吕春娟,白中科,赵景逵.矿区土壤侵蚀与水土保持研究进展[J].水土保持学报,2003,17(6):85-88.

[12] 魏忠义,马锐,白中科,等.露天矿大型排土场水蚀特征及其植被控制效果研究[J].水土保持学报,2004,18(1):164-167.

[13] 魏忠义,白中科.露天矿大型排土场水蚀控制的径流分散概念及其分散措施[J].煤炭学报,2003,28(5):486-490.

[14] 韩武波,马锐,白中科,等.黄土区大型露天矿排土场水土流失评价[J].煤炭学报,2004,29(4):400-404.

[15] Harabin, W Krzaklewski, M. Trafas. The reclamation state of dumping grounds after hard coal exploitation in Poland [A]. in Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes[M]. Rainbow(ed), Balkema, Rotterdam, 1990. 125-130.

(上接第 232 页)

参考文献:

[1] 余敦义,等.硫酸盐还原菌生长规律的研究现状与热点[J].中国腐蚀与防护学报,1996,(16):64-68.

[2] 朱绒霞,那静彦.综述硫酸盐还原菌腐蚀的防护措施[J].石油化工腐蚀与防护,1999,(3):50-54.

[3] 刘靖等.硫酸盐还原菌腐蚀研究进展[J].材料保护,2001,34(4):8-13.

[4] 张小里,刘海洪,等.硫酸盐还原菌生长规律的研究[J].西北大学学报(自然科学版),1999,29(5):397-402.

[5] 俞敦义,等.硫酸盐还原菌对油田套管腐蚀的研究[J].石油学报,1996,17(1):154-158.

[6] 东秀珠,蔡妙英,等.常见细菌系统鉴定手册[M].北京:科学出版社,2001.106-120.

表 2 原地貌与排土场侵蚀影响因素

项 目	原 地 貌		排土场	
	斜梁 台地	斜坡面	平台	斜坡
坡度	3.5~ 5.5°	5~ 15°	0~ 3°	30~ 40°
侵 蚀形式	溅蚀、面蚀	溅蚀、面蚀(层状)、沟蚀(细沟、浅沟、切沟、冲沟)、洞穴侵蚀	溅蚀、面蚀、洞穴侵蚀、非均匀沉降	面蚀(层状、砂砾化)、沟蚀(细沟、浅沟、切沟)、溅蚀、泻溜、崩塌、土砂流泻、滑坡、坡面泥石流
	(层状)			
侵 蚀强度	微	轻~ 中	轻~ 中	强~ 强烈
侵 蚀营力	水力、风力、重力、人为活动	影响轻微	水力、风力、重力、人为活动	影响严重
植 被类型	干草原植被、零星分布		以人工乔灌木配置为主	长势良好
地形地貌	缓坡丘陵		平台~ 斜坡相间的阶梯状	
土 壤类型	栗钙土与栗褐土的过渡带		人工再造土	
地 表组成	厚层黄土覆盖		母质、母岩、石砾、煤矸石等	
	河谷地带覆盖较薄		岩土混合、地表组成的微变化较大	
地表理化性状	容重适中、土质偏砂、		平台地表严重压实、	
	通气性好、养分一般		斜坡松散、养分都十分贫瘠	
地 层层序	C2- C3- P1- N2- Q1- Q3		C2- C3- P1- N2- Q1- Q3- 岩土	
			排弃层内排土场、C2- 岩土排弃层	

6.2 讨 论

工矿建设的规模越来越大,废弃岩土 的侵蚀影响范围也越来越广,尤其是矿区已经发生的新的侵蚀背景:一方面是大型排土场堆垫的岩土过程中造成的“非均匀沉降”,一方面是为节约煤炭开采成本,在新建的大型排土场下进行井工开采,造成上覆岩土变形。这种由露天开采造成的“非均匀沉降”和井工开采诱发的“岩土变形”共同造成“沉陷侵蚀”的外营力,在土壤学科、地质学科与水土保持学科中将成为一个新的研究问题。