

淮河矸石堤坡环保植被实验工程^①

束一鸣¹,袁亮¹,杜广森¹,程玉琴¹,潘江²,周琼²,张贵科²

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏南京 210098; 2.淮南矿业集团,安徽淮南 232001)

摘要:介绍淮南矿区淮河煤矸石堤坡三维土工网垫环保植被实验工程的设计要点及施工工艺、绿色植被种类的选择及其管理。在矸石堤坡上铺设三维垫,可防止薄层土与草种流失;采用先锋型与主力型草种混播,有利于成坪固坡;有效的管理措施可使植被多年常绿。实践证明,实验工程的环保效果明显,达到了保护生态环境的目的。

关键词:矸石堤坡;三维土工网垫;环保植被;淮河

中图分类号:TV871.2

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2004)04-0022-04

淮南矿区的淮河堤防为复合型剖面,临水坡为黏性土防渗体,背水坡为煤矸石支撑体。由于裸露的煤矸石堤坡颗粒很不均匀,细小颗粒在风力作用下会产生扬降尘过程,有关煤矸石堆的风洞模拟试验表明,矸石堆起尘风速为4.8 m/s。按风洞实验的扩散模式计算显示,降尘对大气环境影响较大。裸露的矸石经雨水淋洗后部分物质溶解,可随雨水形成地面径流进入水体或渗入土壤,对环境产生影响。采用直接浸泡法测试,共测定10个项目,即pH值、总铬、砷、氟化物、汞、铜、锌、锰、铅、镉等。检测结果显示,煤矸石在淋溶过程中主要存在氟的污染,有必要对矸石堤坡采取适当的环保措施,消除上述不利影响。

1 矸石堤坡环保措施的选择

淮南矿区淮河大堤最大高度接近20 m,位于大堤背水侧的矸石堤体高8 m,坡比仅为1:1.3。经过振动碾碾压后,堤顶面上的黏土质矸石已经泥化,雨后堤面低洼处积水,所以堤顶面对于环境的影响比相对于矸石原状的堤坡面而言小得多。处于矸石原状的堤坡在大风时会产生扬尘,在下雨时,雨水从堤顶经堤坡流下,会淋溶出矸石物质。因此,主要应对堤坡采取适当的环保措施。

1.1 堤坡覆盖及其结构型式的选择

防止裸露的矸石堤坡扬尘和淋溶的有效措施是覆盖。在工程上,可采用碎石护坡、干砌石护坡、浆砌石护坡、混凝土护坡和草皮护坡。其中碎石护坡与干砌石护坡只能防止扬尘,从生态环境保护的角度出

发,草皮护坡是最为合适的。

草皮植被是植于泥土之中的,有以下两种堤坡结构可供选择:

a. 黏土堤坡面结构。在1:1.3的矸石堤坡面上铺设黏土至坡比1:2.0,坡顶黏土厚度不小于15 cm。然后在黏土坡上播种植草。

b. 三维土工网垫薄土堤坡结构。在矸石堤坡上铺15~20 cm厚的黏土层,在黏土层上铺设三维土工网垫,在网垫上洒上薄薄一层种植土,即可播种。

第一种结构型式黏土工程量大,最大厚度达2.5 m以上,需征地取土。此外,尽管坡比已放缓至1:2.0,但对于尚未发芽生根的草种而言,将会由于雨水冲刷而流失,难以形成草皮植被。第二种结构型式不仅黏土用量大大减少,而且由于三维土工网具有空腔,能有效地防止草种、土肥的流失,所以,选择三维土工网垫薄土堤坡结构。

1.2 植草种类的选择

1.2.1 当地自然及工程条件

淮南位于淮中游干流南岸,北纬33.67°,东经117.03°,处于我国亚热带和暖温带、湿润地区和半湿润地区的分界线,当地年均最高气温38℃,年均最低气温-11.6℃;年均降雨量919.2 mm,近期最大暴雨量为218.7 mm/d(发生在1991年6月14日),6~8月为雨季。在最近10多年中,大多偏旱。

尽管草籽的育床是当地黏性土,但作为堤坡主体的煤矸石呈弱碱性,且保水保肥能力低。背水坡无充足灌溉水源,离淮河河床也较远,管理不便,因此

作者简介:束一鸣(1952—),男,江苏无锡人,教授,硕士,从事水工结构与土工合成材料应用研究。

①参加实验工程的还有尹志成、杨学敏、徐颖、杨威等。

应选择较为耐旱并且管理较为粗放的草种,同时还应考虑尽快出苗生根,防止雨水冲刷带走种子。

1.2.2 草种选择

a. 狗牙根草.狗牙根草(*Cynodon dactylon*),又称白慕大草(*Bermudagrass*)、铁丝草(*Couchgrass*)、扒根草(*Quichgrass*)等.引进美国培育的狗牙根草具有成活率高、植株低矮、再生繁殖能力强、管理粗放等特点,是我国栽培应用较广泛的优良草种之一.狗牙根草叶丛密集、叶色嫩绿,性喜温热湿润气候,喜光耐阴,日平均温度 24℃ 以上地区生长最好,有一定的耐寒性,6~9℃ 几乎不生长,冬季叶片转黄.能耐干旱,又能耐长时期涝渍,在轻度盐碱土中亦能生长;极耐践踏,再生覆盖能力强.但狗牙根草种子出苗期长,需 2 周以上,对于斜坡种植,应考虑与其他出苗迅速的先锋型草种一起混播。

b. 多年生黑麦草.多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.),丛生,根系发达,须根主要分布于 15 cm 表土层中,分蘖众多,单株栽培情况下可达 250~300 个或更多.秆直立,叶狭长,深绿色.喜温凉湿润气候,适宜在夏季凉爽、冬季不太寒冷的地区生长.在年降雨量 500~1500 mm 的地区均可生长,能耐湿,不耐旱,略能耐酸和盐碱.喜在阳光处生长,耐荫力稍差.耐践踏能力强,能抗二氧化硫等有害气体,可作为冶炼工业地区的净化草坪。

多年生黑麦草发芽迅速,一般播后 5~7 d 出苗,生长快,分蘖能力强,能迅速成坪,可作为狗牙根草的先锋草种,并可在冬季保持绿色,与狗牙根草优势互补。

因此,选择狗牙根草为基本草种,多年生黑麦草为先锋型草种,一起混播,实现快慢结合,夏冬结合,既利于陡坡迅速成坪,又利于草坪持续生长。

2 矸石堤坡环保植被工程设计

a. 三维土工网的性能^[1].土工网是由合成材料制成的三维结构网垫,上下两层网垫除连接固定点外形成中空的网兜,可容纳种植土和草种.底层为一高模量基层,表层为一起泡层.矸石堤坡边坡为 38°,种植表土不易维持稳定,土工网在边坡表层土中起一定的加筋作用,可防止表层土滑动;在种子生根发芽之前,网兜中的土颗粒、肥料、草种等充填物可被固定在较陡的坡面上,防止被雨水冲刷流失;种子生根发芽以后,根须穿过表土与网垫纠缠在一起,使植草与植被土、网垫、堤坡形成一个完整的绿色植被,见图 1.当植被覆盖率达 80% 以上时,能承受暴雨的冲刷,当植被茂盛后,较陡的边坡也能抵抗流速达 6 m/s 的水流冲刷。



图 1 土工网垫植被示意图

b. 底土和覆土.底土是为植草提供生长和养分的基床.种植土能满足植草正常生长的需要,不需做专门处理.本实验工程底土取自距地表较深的黏土,为种植生土,需施加复合肥料加以改良。

底土厚度为 15 cm,覆盖土厚度为 3 cm.采用极限平衡原理的毕肖普法校核矸石堤坡本身的稳定,考虑连续 3 昼夜强降雨并不计矸石咬合力情况下的堤坡稳定.边坡稳定安全系数为 2.75,堤坡本身是足够稳定的.校核植被坡稳定的安全系数表达式为

$$K = \frac{W_s \cos \theta \tan \varphi_s + c_c A}{W_s \sin \theta} \quad (1)$$

式中: W_s 为黏土天然密度 ρ_s 对应的单位堤段内的重量; θ 为煤矸石堤坡角; φ_s 为黏土的内摩擦角; c_c 为煤矸石与黏土之间的黏结力; A 为单位堤段的坡面面积。

经计算,底土与矸石堤坡之间的抗滑稳定安全系数同样满足要求。

c. 三维土工网垫的铺设与锚固.土工网垫采用 EM3 型,EM3 型土工网垫为黑色,长 30 m,宽 1.5 m,厚 15 mm,单位质量 300 g/m²,抗拉强度 1.8 kN/m。

三维土工网垫铺设在拍实的底土上,网垫基层在下面,顺坡向铺设,用 U 形钉或竹钉固定在坡面上,钉距 75 cm,左右两片网垫的搭接长度不小于 5 cm,并用竹钉固定.网垫搭接以上风向块为上依次进行,见图 2.由于土坡自身稳定,所以土工网除自重外其他的附加力很小,可不作验算.土工网垫的顶端埋置在堤坡顶的沟槽内,用土夯实;网垫的底端埋置在堤坡脚沿堤轴线向的沟内,沟槽深约 30 cm,分

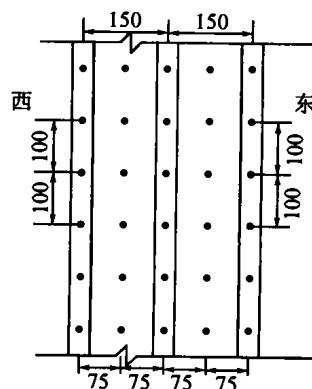


图 2 左右两片网垫搭接(单位:cm)

别见图 3 和图 4。

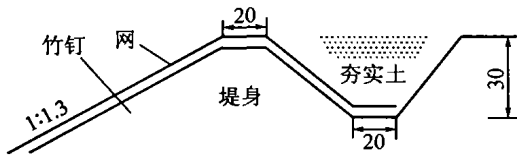


图 3 网垫顶端埋置(单位:cm)

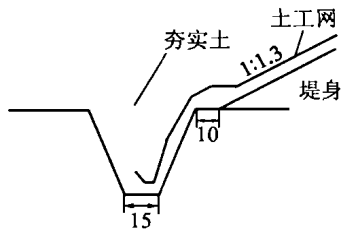


图 4 网垫底端埋置(单位:cm)

d. 草种.如前所述,选择以多年生黑麦草为先锋型、以管理粗放的狗牙根草为主力型的混播植被草种.根据经验与理论分析,坡地的实际播种量为

$$q_{sr} = 1.4 q_{pr} \quad (2)$$

$$q_{pr} = q_{pt}(1 + \xi)/\eta \quad (3)$$

$$q_{pt} = NW/1000 \quad (4)$$

式中: q_{sr} 为坡地实际播种量, kg/m^2 ; q_{pr} 为平地实际播种量, kg/m^2 ; q_{pt} 为平地理论播种量, kg/m^2 ; N 为每平方米计算有苗数, 千株 / m^2 ; W 为种子千粒重, g / 千粒; ξ 为种子、幼苗的损耗率, %; η 为种子用价, $\eta = pb$, 其中 p 为种子纯净度, %, b 为种子发芽率, %.

e. 肥料.①底肥:底肥采用复合肥,复合肥肥效长,营养元素全,对草坪的后期管理有利.底肥施加量为 $150 g/m^2$,可均匀播撒在底土中.本次实验工程,在 20 m 堤段中,采用进口 Frisol 系列肥料直接施入堤坡煤矸石中,试验通过 Frisol 的改良作用,使植被直接生长在煤矸石中,而不再覆盖黏性土.在 Frisol 系列肥料中,FrisolA 为由糖、磷酸、氨基有机物构成的有机糖磷氮化合物液体, $pH = 3.5$,能彻底改善土壤的理化性质;FrisolF 为缓释肥料,由微生物颗粒即土壤真菌与土壤细菌等根际微生物构成,主要成分为泥炭,含少量速效氮、磷、钾,可作为植物的长期营养源;FrisolEf 由抗侵蚀成分和植物纤维构成;FrisolS 为土壤平衡有机物,是经生物降解的碳氢化合物聚合物.所以 Frisol 系列肥料是一种生物肥,具有改良土壤、复苏土壤等功能,为植株提供营养,并具有抗雨水侵蚀的作用.②追肥:待草种发芽平均达到“二叶一芯”时,均匀追尿素或磷酸二氢钾,施肥量小于或等于 $20 g/m^2$.

f. 排水.因堤背水侧距离堤脚不远处即有平行于堤轴线的河沟,所以,堤背水侧的排水条件较好,

不需另设排水系统.

3 矸石堤坡环保植被施工工艺与管理

3.1 施工工艺

施工流程为:矸石堤坡整坡→铺设厚 15 cm 底土并拍实→施入底肥→开挖顶端、底端埋置沟→铺网垫(周边埋置固定,坡面钉子固定)→覆土→播种→盖土→浇水.

施工应避免暴雨频繁的季节,一般春秋季节比较合适.本次工程在 3 月底、4 月初施工,赶在梅雨季节之前成坪.由于车载浇水量与浇水速度均离要求相差很大,导致出苗率低下,在同年 9 月初进行了重新播种.

在铺设底土、施入底肥后进行网垫铺设,垫卷从坡顶松开下滚,人工定位.应使网垫与表土服帖接触,避免网垫悬空、褶皱,网垫之间的搭接宽度应保证在 5 cm 以上,搭接处用竹钉固定,网垫其他部位均用竹钉固定,间距不小于 75 cm.

网垫铺设后,需在播种前后各覆土一次,覆土土壤要求细碎、肥沃、 pH 值适中.播种前覆土 1.5 cm,用木条将土刮入网腔内.播种采用直播方式,种子与砂粒拌和在一起,严格按设计用量撒播,应撒播均匀.播种后再盖土 1.5 cm 厚,使草种不裸露在土外.

播种覆土后需立即浇水,浇水应呈雾状,浇水量应适当,既要湿透种植土,又不形成土表面径流.

3.2 环保植被的管理

a. 灌溉.成熟草坪的灌溉,主要考虑灌水时间、灌水量及土壤性质等.在夏季高温季节,灌水应避免中午或晚上进行,以防止高温引起的病害对植被草产生危害.当土壤湿润深度达到 10 ~ 15 cm 时,植被草就能获得充分的水分供给.

b. 修剪.对新建植被草适时进行修剪,可促进植被草的分蘖及增加植被密度.植被草长到 7 cm 时应进行第一次修剪,“1/3 剪去量”是遵循的基本原则.狗牙根草和多年生黑麦草的修剪(留茬)高度分别为 1.5 ~ 4.0 cm 和 2.5 ~ 5.0 cm.

c. 追肥.植被草生长季节施肥以磷、钾肥为主,过量使用氮肥会使植被草的茎叶生长迅速,增加修剪次数;还会使草的细胞壁变薄,组织软而多汁,养分储存减少,导致草的耐热、抗旱、抗寒、抗病、耐践踏能力降低.所以,在高温、高湿季节应尽量避免使用氮肥,而以钾肥为主.施肥次数应视土壤状况而定,一般每生长季节 3 ~ 5 次,每次施肥量 5 ~ $10 g/m^2$.

植被草营养元素缺乏症状见表 1.

表 1 植被草营养元素缺乏症状

缺乏元素	症 状
N	老叶变黄,幼芽生长缓慢
P	先老叶暗绿,后呈现紫红或微红
K	老叶显黄,尤以叶尖、叶缘枯萎
Ca	幼叶生长受阻或呈棕红色
Mg	出现枯斑、条纹和边缘变鲜红
S	老叶变黄

4 矸石堤坡环保植被的效果

矸石堤坡被环保植被覆盖后,不仅美化了视觉环境,更主要的是改善了周围的生态环境。

a. 无扬尘影响.大风季节时,由植被覆盖的堤坡不再扬起矸石碎屑和粉尘。

b. 基本无淋液影响.由于植被和种植土的覆盖,绝大部分雨水顺着坡比约为 1:1.5 的堤坡直接流到坡下地面,渗到土中的很少一部分雨水,在堤体中已难以形成渗流再渗出植被层.实际上,雨水不再淋洗煤矸石而带出一些物质使局部地面水超标。

考虑极少发生的连续 3 昼夜 72 h 的强降雨,绝大部分雨水顺坡流到地面,堤顶面始终维持 10 cm 的积水.采用非饱和渗透原理计算堤内浸润线(煤矸石的平均渗透系数 $k = 2 \times 10^{-4}$ cm/s),结果见图 5。

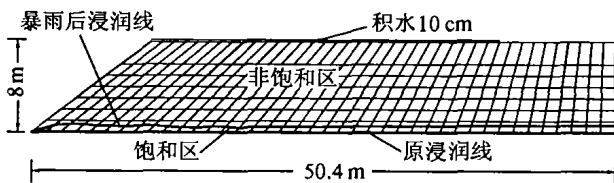


图 5 非饱和渗流计算网格剖分及计算成果

从图 5 中可见,即使连续 3 昼夜堤顶面维持 10 cm 的积水,堤内的浸润线高度仅约 40 cm,所以进入堤内的雨水极少,可能带出的物质也极少.在连续 3 d 雨后,采集堤坡下的水样,经化验,各项指标如表 2 所示,煤矸石淋滤对地表水产生的不利影响很小。

表 2 水质分析报告

项目	分析结果 ^①	分析方法	满足标准 ^②
pH	5.8	玻璃电极法	不满足 I - V 类
总汞	0.00009	原子荧光法	Ⅲ类
总砷	0.00047	原子荧光法	I 类
总铜	0.2416	原子吸收法	Ⅱ类
总锰	0.2307	原子吸收法	Ⅳ类
总铅	0.0059	原子吸收法	I 类
总镉	0.0066	原子吸收法	V 类
总锌	0.6159	原子吸收法	Ⅱ类
总铬	0.004	分光光度法	GB8978-1996
氟化物	0.71	离子选择电极法	I 类

注:①除 pH 外,单位均为 mg/L;②除总铬采用 GB8978-1996《污水综合排放标准》^[2]外,其余均为 GHZB1-1999《地表水环境质量标准》^[3]。

关于矸石堤坡上不覆盖种植土,仅在煤矸石上喷洒 Frisol 系列肥料,直接将草种撒播在煤矸石中的试验,结果不成功.主要原因是堤坡上的煤矸石未经碾压而未泥化,除少量碎屑以外,大部分颗粒较大,斜坡几乎无保水能力,无持续湿润的环境,种子不能发芽.所以,类似这样的堤坡,仍需铺设三维土工网,覆盖薄层种植土,才能形成植被生存环境。

5 结 语

a. 矸石堤坡上覆盖环保植被后,不再有碎屑粉尘扬起,水淋滤矸石对地表水的不利影响也很小,且绿色植被美化了环境,环保效果明显。

b. 因煤矸石保水性能极差,即使喷洒起改性作用的 Frisol 系列肥料,草种仍难以发芽,因此矸石堤坡上必须覆土。

c. 矸石堤坡采用三维土工网加薄层种植土的方案经济合理.矸石堤坡上的薄土很容易被雨水冲刷殆尽,而三维土工网在草籽发芽前后既保护了种子及幼草不被雨水或浇水冲走,又避免了种植土被雨水侵蚀。

d. 先锋型与主力型草种混播,对植被成坪是十分有利的.以多年生黑麦草为先锋型草种与发芽时间较长的主力型草种狗牙根草混播,有利于成坪,而且暖冷季型草种混播还有利于各季常绿。

e. 播种后保持适当的土壤水分对草种发芽成坪起到关键作用.由于浇水量跟不上而导致第一次播种失败.改进浇水设施后,第二次播种就获得了成功。

f. 矸石堤坡环保植被的浇水工作量大,浇灌方式可考虑改进.建议采用滴灌方式进行浇灌,由于从泵站到堤坡已有管道,所以只需增加堤坡滴灌细管即可,既可节省浇水量,又可节省劳动力。

土工三维网垫环保植被工艺可用于多种土木工程领域,使人类的开发与生态环境的保护达到和谐的境地.随着这种工艺的推广,将对人与自然、经济与社会协调发展产生积极的影响。

参考文献:

- [1] Pilarczyk K W. Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering[M]. Rotterdam: A A Balkema, 2000.
- [2] GB8978-1996, 污水综合排放标准[S].
- [3] GHZB1-1999, 地表水环境质量标准[S].

(收稿日期:2003-11-25 编辑:熊水斌)