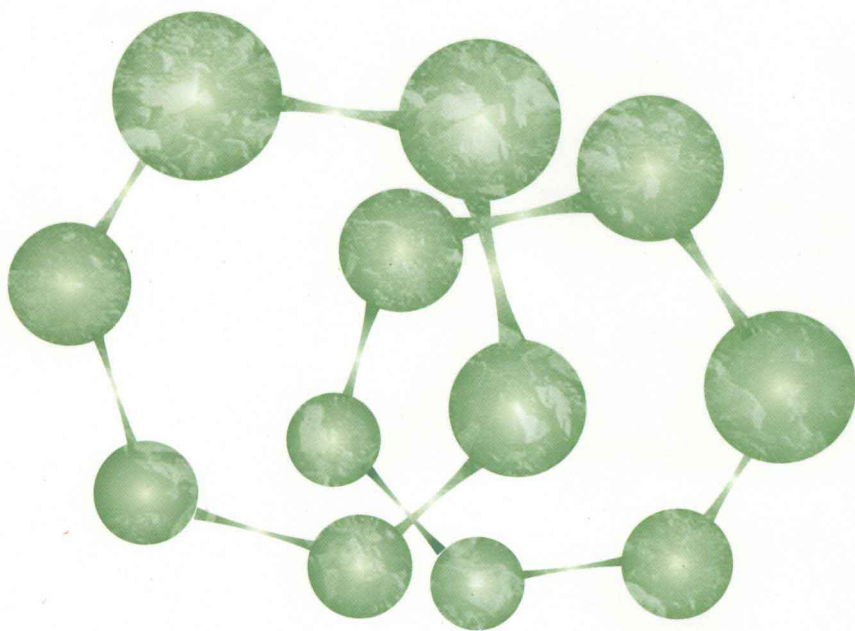




公路新技术丛书

高速公路煤矸石 填筑路基路用性能控制

主 编 申文胜 王朝辉
主 审 王选仓 冯治安



人民交通出版社
China Communications Press



公路新技术丛书

Gaosu Gonglu Meiganshi Tianzhu Luji

高速公路煤矸石填筑路基

Luyong Xingneng Kongzhi

路用性能控制

主 编 申文胜 王朝辉

主 审 王选仓 冯治安

人民交通出版社

内 容 提 要

本书在充分分析国内外煤矸石填筑公路路基的基础上,结合青兰高速邯涉段煤矸石路基工程,对煤矸石填筑路基路用性能进行了系统研究。本书详细阐述了煤矸石原材料特性、煤矸石力学特性、煤矸石填筑路基技术指标与路用性能、煤矸石路基现场控制指标、煤矸石路基应力分析及沉降计算、煤矸石填筑路基施工及质量控制、冲击压实技术在煤矸石填筑路基中的应用、煤矸石路基试验路铺筑、煤矸石填筑路基效益等内容。

本书适合公路工程技术人员、相关专业院校师生及科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路煤矸石填筑路基路用性能控制 / 申文胜, 王朝辉主编. —北京:人民交通出版社,2011.2

ISBN 978-7-114-08854-4

I. ①高… II. ①申…②王… III. ①高速公路—煤矸石—公路路基 IV. ①U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 004537 号

公路新技术丛书

书 名: 高速公路煤矸石填筑路基路用性能控制

著 作 者: 申文胜 王朝辉

责任编辑: 丁润铎 贾秀珍

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969,59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 13.5

字 数: 313 千

版 次: 2011年2月 第1版

印 次: 2011年2月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08854-4

定 价: 35.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《高速公路煤矸石填筑路基路用性能控制》

编写委员会

主 编：申文胜 王朝辉

副主编：沈付湘 艾贺申

主 审：王选仓 冯治安

编 委：	申文胜	王朝辉	沈付湘	艾贺申	黄东波
	孙宏宇	孔保林	李春辉	崔金平	徐 军
	狄升贯	程红光	高志伟	梁嵩巍	赵文忠
	王中要	李铁群	刘 鑫		

统 稿：王朝辉

前 言

煤矸石是各种工业废渣中排放量最大、占地最多、污染环境较为严重的固体废弃物,严重影响人们的生活、生产和身心健康。在煤矸石综合利用的途径中,将煤矸石用作路基填料,能够减少筑路征地费用,改善当地环境,具有显著的经济和社会效益。但是目前路基规范中并没有关于煤矸石相应的指标和标准规范。因此,我们从2007年开始,以青兰高速邯涉段实体工程为依托,以河北邯郸矿区的煤矸石为研究对象,进行了煤矸石填筑路基路用性能系统研究,取得了丰硕的研究成果。

在当前高速公路建设的高潮阶段,及时总结新时期高速公路建设实践经验,借鉴已有技术,形成系统理论并以此指导施工,正是编写《高速公路煤矸石填筑路基路用性能控制》的意义所在。根据研究成果,我们从煤矸石填筑路基路用性能控制出发,详细介绍了煤矸石填筑路基技术指标及施工质量控制。全书共10章。

本书第1章介绍了煤矸石的危害及工程应用情况;第2章、第3章介绍了煤矸石原材料特性及煤矸石力学特性;第4章介绍了煤矸石填筑路基技术指标与路用性能;第5章介绍了煤矸石路基现场控制指标;第6章介绍了煤矸石路基应力分析及沉降计算;第7章、第8章介绍了煤矸石填筑路基施工质量控制及冲击压实技术在煤矸石填筑路基中的应用;第9章介绍了煤矸石路基试验路铺筑;第10章阐述了煤矸石填筑路基技术效益、生态效益、经济效益及社会效益。

全书的写作大纲,书稿的修改、定稿由申文胜、王朝辉负责完成,全书由长安大学王选仓教授和河南省公路学会副理事长、郑州大学特聘教授冯治安教授级高工共同进行了最终的审定。本书可供公路设计、施工、研究人员及相关院校师生参考使用。

为使全书体系完整,重点突出,满足读者的要求,本书部分章节借鉴了已有的研究成果,在此感谢相关作者及研究人员。

在试验路铺筑过程中得到了青兰高速公路邯涉段路桥华南工程有限公司周政经理、兰锦总工等人的大力支持,在此表示感谢。

由于作者水平有限,如有不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2010年7月

目 录

1 绪论	1
1.1 煤矸石概述	1
1.2 煤矸石危害性及防治措施	2
1.3 煤矸石综合利用	10
1.4 煤矸石工程应用现状简述	20
2 煤矸石原材料特性	26
2.1 煤矸石组成成分	26
2.2 煤矸石岩石学特性	30
2.3 煤矸石分类	34
2.4 煤矸石在土分类中的位置	40
2.5 煤矸石物理性质	42
2.6 煤矸石化学特性	46
3 煤矸石力学特性	53
3.1 剪切强度特征	53
3.2 动强度特征	57
3.3 抗压强度特征	58
3.4 渗透性	59
3.5 水稳性	62
3.6 压缩性	64
4 煤矸石填筑路基技术指标与路用性能	66
4.1 填筑路基煤矸石技术性能要求	66
4.2 路用性能室内试验	68
4.3 煤矸石填筑路基基本要求	79
5 煤矸石路基现场控制指标	82
5.1 压碎值变化	82
5.2 级配变化	84
5.3 承载板法测定路基回弹模量	86
5.4 煤矸石路基回弹模量与弯沉相关性	97
5.5 煤矸石路基含水率敏感性	100
6 煤矸石路基应力分析及沉降计算	105
6.1 路基力学分析基础及沉降计算理论	105

6.2	有限元分析方法	109
6.3	有限元计算模型及材料参数	111
6.4	填筑高度对煤矸石路基应力及沉降影响分析	113
6.5	包边土厚度对路基应力及沉降影响分析	120
6.6	压实度对煤矸石路基应力及沉降影响分析	125
7	煤矸石填筑路基施工及质量控制	130
7.1	煤矸石路基施工准备	130
7.2	煤矸石路基施工工艺	134
7.3	煤矸石碾压施工机理	136
7.4	煤矸石路基施工现场质量控制	138
7.5	煤矸石路基验收质量控制	143
7.6	煤矸石路基施工注意事项	145
8	冲击压实技术在煤矸石填筑路基中的应用	148
8.1	冲击压路机概述	148
8.2	冲击压路机作用机理及特性	151
8.3	冲击压实技术在煤矸石路基中的应用及效果	164
9	煤矸石路基试验路铺筑	174
9.1	青兰高速邯涉段简介	174
9.2	青兰高速煤矸石路基施工方案	176
9.3	原材料质量检验	183
9.4	施工质量控制	186
9.5	试验段路基沉降观测	196
9.6	试验路质量验收	196
10	煤矸石填筑路基效益	201
10.1	煤矸石填筑路基的技术效益	201
10.2	煤矸石填筑路基的生态效益	202
10.3	煤矸石填筑路基的经济效益	203
10.4	煤矸石填筑路基的社会效益	204
	参考文献	205

1 绪 论

1.1 煤矸石概述

煤矸石是在成煤生产过程中与煤伴生的一种含炭量低、相对比较坚硬的黑色岩石,在开采和洗选过程中被分离出来,成为废弃物。一般就近堆放于矿区周围,形成巨大的煤矸石山或排土场。实际上是含炭岩石(炭质页岩、炭质砂岩等,还有 20% 左右的煤)和其他岩石(页岩、砂岩、砾岩等)的混合物。随着煤层地质年代、地区、成矿情况、开采方法的不同,煤矸石的组成及其含量亦各不相同。

我国煤矸石主要来自于石炭系、二叠系晚期侏罗至早白垩纪等含煤地层,由炭质页岩、炭质泥岩、砂岩、页岩、黏土等岩石组成的混合物。煤矸石中常含有炭粒和黄铁矿结核,发热量一般为 4.18 ~ 12.56 MJ/kg。煤矸石的矿物成分主要是高岭土、石英、蒙脱石、长石、伊利石、石灰石、硫化铁、氧化铝等。不同地区的煤矸石由不同种类矿物组成,其含量相差也很悬殊。煤矸石的化学成分比较复杂,所包含的元素可多达数十种。一般以碳、硅、铝为主要成分,另外,含有数量不等的 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 SO_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 P_2O_5 等氧化物,以及微量的稀有金属元素,如钽、钒、钴、镓、锗等。其具有含炭量低、灰分高的特点。

我国是一个煤炭生产大国,是一个以煤炭为主要能源的发展中国家。据中国煤炭工业协会的报告显示(表 1.1),我国的煤炭产量逐年递增,2007 年全国原煤总产量为 25.23 亿 t。其中,山西是我国的煤炭大省,据山西省国土资源厅 2007 年 3 月底的统计,山西煤炭资源保有储量为 2 644.9 亿 t,占全国探明保有储量的 26%,煤的储藏量占到全国的 1/3,产量占到全国的 1/4 以上,全国 70% 以上的外运煤都来自于山西。由表 1.2 可知,山西省的煤炭产量也在逐年递增,2007 年原煤产量达到 6.3 亿 t。煤炭在我国一次能源生产和消费结构中所占的比重分别为 76% 和 69%,所占比重高出世界平均水平的 1 倍以上。在煤炭生产过程中,煤矸石排放量约占煤炭量的 10%,随着煤炭产量的增大,煤矸石排放量也由原来的 1 亿 t 左右上升至 2 亿 t 左右。在煤炭洗选过程中,洗矸石约占精煤产量的 30%,每年排放量约 0.7 亿 t。因此,全国每年矸石排放总量约 2.5 亿 t。全国现有矸石山 2 000 余座,累计存量已愈 40 亿 t,占地面积 15 000 多公顷,而且在逐年增加。我国煤矸石年排放量超过 400 万 t 的有东北、内蒙古、山东、河北、山西、陕西、安徽、河南、新疆等省和自治区。另外,四川和其他省、自治区也有排放大量的煤矸石。煤矸石排放量比较多的地方集中在北方。煤矸石的大量堆积给当地的生产和生活带来了巨大的影响,综合利用煤矸石,改善当地环境,是矿区人们的迫切要求。

1997 ~ 2007 年间我国原煤产量表(亿 t)

表 1.1

年份(年)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
原煤产量	8.93	12.2	7.45	7.12	8.29	9.85	14.02	19.56	21.02	23.25	25.23

1997 ~ 2007 年间山西省原煤产量表(亿 t) 表 1.2

年份(年)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
产量	3.3	3.8	2.59	2.5	2.86	3.7	4.18	5.02	5.43	5.8	6.3

1.2 煤矸石危害性及防治措施

煤矸石是工业固体废弃物中排放和堆存量最大的一种,目前国内外采煤和洗选过程中排出的煤矸石大多弃置于山沟、平川一带,大都长期堆放,利用率极低,如图 1.1 所示,大量的煤矸石堆积不仅占据了大量的耕地,而且污染了环境,造成极大的危害。

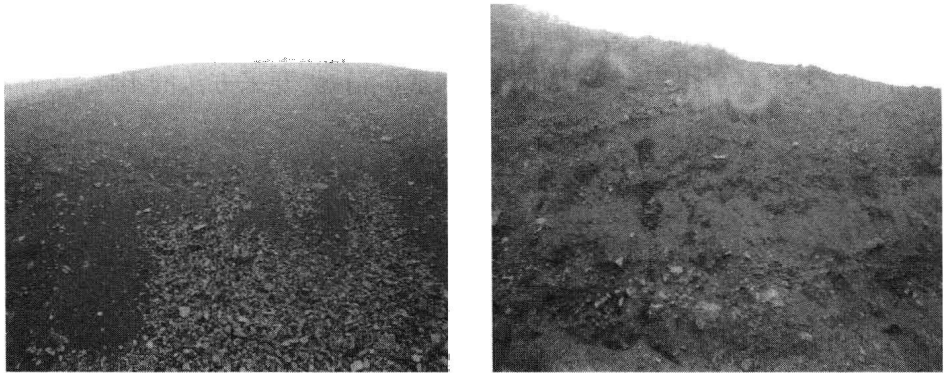


图 1.1 多年形成的煤矸石山

煤矿作为重要的能源输出地为我国国民经济和社会发展作出了巨大贡献,同时,煤炭大量开采引起地表塌陷,造成土地破坏和挤占土地,使矿区大量耕地、地表建筑物和地下水资源遭到破坏,水土流失和土地沙漠化。煤矸石的大量排放和自燃以及煤矸石山酸性淋溶水的超标排放等不仅使矿区生态环境日趋恶化,而且严重污染了煤矿和周边环境的江河水体,直接影响农业、林业等生产,如图 1.2 所示。因此,对矿区煤矸石进行研究、治理和综合利用,不仅具有重大的环境意义,而且能取得较好的社会 and 经济效益。对煤炭工业可持续发展乃至整个国民经济的健康发展具有十分重要的现实意义。

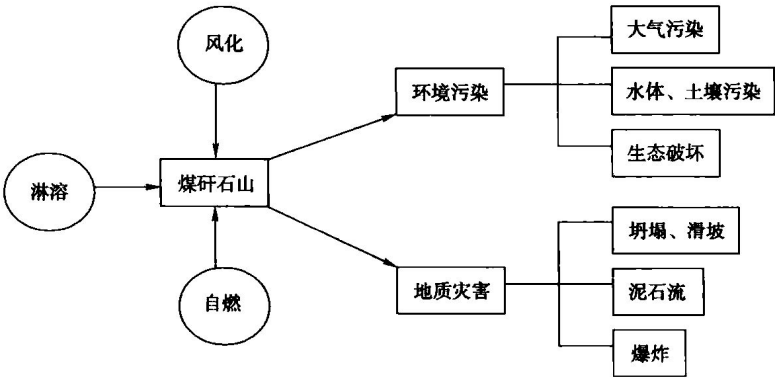


图 1.2 煤矸石堆放产生的物化作用及环境问题示意图

国内外环境调查、环境监测和煤矸石环境性状研究表明,煤矸石堆存的环境危害非常明显,并且随着其积累堆存量的增加,环境危害日趋突出。就目前研究所知,煤矸石堆存的环境危害途径颇为广泛。露天堆存的煤矸石暴露在自然环境中,往往会发生一些物理、化学反应,从而对矿区环境造成危害。因此,可以把煤矸石的危害分为物理危害和化学危害两大类。

1.2.1 物理危害

1) 占压土地

土壤是很难再生的资源,地球上要形成 1cm 厚的土壤,需要 300 ~ 500 年的漫长岁月。中国是一个耕地资源非常紧缺的国家,耕地资源十分宝贵,而许多地区的煤矸石堆放场所紧邻交通线和居民区,不仅侵占大量耕地、林地、居民和工矿用地,同时也造成矿区周围众多的社会问题。据统计,矿业生产过程中煤矸石的产生比例一般为 10% ~ 30%,估计我国每年排放矸石约 1.5 亿 ~ 2.0 亿 t,历年矸石的堆积量达 35 亿 t 以上,占地约 3 000 km²,截止到 2006 年,全国共有煤矸石山 1 700 多座,占地约 22 万多公顷,仅陕西省全年就新增压占土地 9.45 hm²,造成大量土地资源的浪费。随着城镇建设的发展,市区范围不断扩展,煤矸石排放量持续增加,煤矸石堆存占地造成的经济和环境损失还将继续增加,其前景令人担忧。

2) 污染大气

煤矸石露天堆放产生的扬尘有以下规律:扬尘量与风速成正比;在相同的风速下,扬尘量的大小与物质的粒度、质量和破碎状态有关。煤的粒度、质量和块度较小,煤粉多,易被吹扬;反之,吹扬量较少。矸石山的扬尘量与装卸活动也有关:卸矸时扬尘量大,平时扬尘量小。有关资料研究表明,矸石山对环境有扬尘污染,且其影响范围一般不超过 1 km。

矸石在运输、堆放过程中,遇风形成的粉尘颗粒,其风化粉尘中含有对人体有害的金属元素;飘浮在空气中的粉尘颗粒,小的会被人体吸入肺部,导致气管、肺部等方面的疾病,严重时还能导致癌症;大粉尘颗粒进入眼、鼻,易引起感染,同样也危害人体健康。另外,颗粒悬浮于大气中引起了大气的温室效应,容易造成气候异常。

3) 引发地质灾害

煤矸石岩性主要为粉砂岩、含粉砂泥(页)岩、泥(页)岩、含炭泥(页)岩和砂岩及不纯碳酸盐岩等,往往含硫铁矿和煤屑等。多数煤矿采取绞车提升、翻矸机倾倒,煤矸石自然成堆,露天堆放。矸石堆呈尖顶锥形,矸石块径数厘米至数十厘米,堆存体的煤矸石块径自然分选。运矸轨道坡度多为 18° ~ 20°,单体高度 20 ~ 50 m,矸石堆自然安息角 38° ~ 40°。可见,矸石山坡度较大,内部结构疏松,受矸石中炭分自燃、有机质灰化及硫分解挥发等作用的影响,使得矸石山非常易发生崩塌、滑坡。堆于沟谷的松散煤矸石还易成为泥石流的物质源,一旦山谷中形成较强的径流条件,即可能形成泥石流灾害。特别是经过较长时间的风化、氧化或雨水渗透浸泡后,煤矸石所含的残煤和黏土膨胀松软、颗粒细化,荷载能力显著降低,更容易加剧此类事件发生。

例如枣庄煤矿北煤井一矸石堆,1994 年发生坍塌,导致 17 人死亡,7 人受伤;英国 Aberfan 附近的矸石山滑坡曾导致 144 人丧生,并造成重大的财产损失;2004 年 5 月,重庆市万盛区的矸石山发生泥石流,造成 14 间房屋被埋,5 人遇难,16 人失踪。事实上,这种环境危害事件在许多地区的煤矸石堆存地均时有发生,特别是那些将煤矸石简单倾倒于矿井附近的山坡、冲沟、溪沟等地势相对低洼地段的小煤窑所在地,尤其是在雨水多而季节性强的南方地区,表现

更为严重、频繁而又非常直观,只是因为规模小,地域偏僻,而没有引起充分注意和重视而已。

另外,煤矸石山一般灰分为 70% ~ 80%,发热量为 3 350 ~ 6 280J,硫含量较高,煤矸石堆积后由于内部发热,温度升高(可达 800 ~ 1 200℃),形成一个内部高温高压的环境,当矸石山内的瓦斯气体聚集至一定浓度,在高压的情况下,极易产生爆炸,并引起崩塌、滑坡,形成连锁灾害,严重危及附近居民的安全。2005 年 5 月,河南省平顶山平煤集团矸石山自燃崩塌,造成 100m 外的 18 间居民房不同程度受损,房中人员被埋压。在抢险过程中,矸石山又先后 3 次喷发,造成现场几十名抢险人员被烧伤,有 8 人遇难,另有 122 人不同程度被灼伤,其中 6 人伤势较重。

4) 造成水土流失

煤矸石山一般坡度较大,在堆放初期入渗能力较强,随着矸石山表面风化程度的增加,表层土壤发育,入渗能力降低,使得矸石山表面径流加大,特别是近几年矸石山的堆放都经过机械碾压,形成致密的“不渗层”,如果遇暴雨侵袭,就会造成严重的水土流失。

5) 破坏矿区景观

景观的退化包括景观结构退化和功能退化。结构退化指景观中各生态系统之间的各种功能联系断裂或连接度减少的现象。而功能退化是指由于景观异质性的改变而导致稳定性和服务功能的衰退现象。采煤活动包括露天开采和地下开采,都会造成地表景观的改变。露天开采剥离表土、挖损土地、破坏地被,以及堆放煤矸石和粉煤灰;地下开采造成采空区,引起地面塌陷,造成地面建筑、管道、道路、桥梁等设施变形及破坏。土地面貌变得千疮百孔、支离破碎,直接影响景观的环境服务功能。

对景观的强烈干扰会超出当地景观生态系统本身的自我恢复能力,甚至会导致生态系统的退化,其最明显的标志是生态系统生产力降低、生态多样性减少或丧失、土壤养分维持能力和物质循环效率降低,以及外来物种入侵和非乡土固有种优势度的增加等。随着干扰加剧,生态系统自身的生态平衡稳定性会受到破坏。

由于煤矿地及周边环境是一个完整的生态系统,采矿活动势必会影响到区域生态格局与各种生态过程的连续,同时造成污染扩散。

煤矸石由于长期堆积形成较大的矸石山,影响自然景观。这种现象在煤矿普遍分布的、以平原为主的东北地区尤为明显。如抚顺西露天矿治理前有 3 个大型矸石舍场,总占地面积 22.40hm²,隐火区面积 302.98hm²,3 个舍场横贯市区南部,长达 15km。

煤矸石对矿区景观的破坏主要表现在自然景色上。煤矸石多为灰黑色,且山体高大,在大部分矿区,巨大的、黑色且光秃秃的矸石山成了煤矿区的标志物;煤矸石自燃以后变为黑褐色,光秃秃的黑褐色的矸石山,有时还冒着白色的烟雾,严重影响矿区的自然风光。另外,由于矸石山风蚀扬尘,尘埃覆盖在建筑物上,使其失去原来色调。漫天飘扬的矸石扬尘降低了空气的清洁度和光照度,使矿区环境浑浊不清,对景观环境质量影响很大。

除此之外,矸石山溢流水和经雨水淋溶形成的浊流,常常使河流出现颜色杂乱的污染带。矸石堆放时产生的粉尘、自燃时产生的有毒物质对植物的生存也有较大影响,表现在植物生长缓慢、生长量降低,草地植被种类减少、病虫害增多等,对矿区的生态景观造成严重破坏。

1.2.2 化学危害

1) 自燃危害

煤矸石山的自燃对矿区生态环境的污染最为严重。煤矸石中含有残煤、炭质泥岩和废木

材等可燃物,其中碳和硫构成煤矸石山自燃的物质基础,矸石中通常固定炭含量为 10% ~ 30%,野外露天堆放的煤矸石日积月累,堆积在矸石里的黄铁矿(FeS_2)在矸石山上氧化发热,其内部的热量逐渐积蓄,当温度达到可燃物的燃点时,逐级引起混在矸石里的炭自燃,再引起矸石自燃。自燃后,矸石山中部温度可达 800 ~ 1 000℃,并放出大量 CO 、 CO_2 、 SO_2 、 H_2S 和氮氧化物等有害气体。

一氧化碳气体能使人出现头晕、窒息、中毒等症状,甚至会使人视力减退,严重时会使人的血液循环输氧系统闭塞而致死;二氧化硫对人体造成的危害主要是双眼红肿、胸憋、咳嗽、气喘、口腔干燥发黏等;对绿色植物的影响是对叶片细胞产生危害作用,破坏叶片的交换机能,使叶片内的海绵细胞和栅栏细胞发生质壁分离,导致叶绿素枯死收缩,在叶片上出现枯萎斑痕。二氧化硫浓度严重超标时,还会导致一些敏感植物死亡。

矸石山自燃产生的有毒有害气体,不仅会对植物产生很大的危害,对人也会造成严重的危害。一座矸石山自燃可长达十余年至几十年,由其造成的严重污染会使自燃矸石山周围地区呼吸道疾病发病率明显高于其他地区,并成为癌症高发区。目前,我国至少有 1 700 余座矸石山在燃烧,这些矸石山以黄河中上游一带为甚。如宁夏的大部分煤矿矸石山,内蒙的乌达矿矸石山,陕西的铜川矿区矸石山,山西太原西山煤田的东、西矿区矸石山,河南的焦作、平顶山等矿区矸石山等,不仅污染大气,而且影响健康。例如:铜川矿务局 6 个自燃矸石山周围均为癌症高发区,在矸石山附近工作过 5 年的职工,都患有肺气肿,这种例子不胜枚举。我国乌达跃进选煤厂矸石山燃烧区附近检测结果: SO_2 平均浓度为 $10.69\text{mg}/\text{m}^3$,超过国家标准 70 多倍,而 H_2S 平均浓度为 $1.57\text{mg}/\text{m}^3$,超过国家标准 150 多倍。

而由自燃状态向爆炸状态的转变,往往都是在人们无意识情况下发生的,爆炸发生的时间防不胜防,故爆炸的后果和造成的危害是无法估量的。

矸石山爆炸是复杂的物理化学过程。爆炸源位于矸石山的内部,在高压的作用下将上万吨的矸石抛射出来,部分爆炸能量将矸石破碎,形成粉尘。这些粉尘不仅影响周边的空气质量,而且还将覆盖周围的道路、居房、农作物,在雨水的作用下形成酸性物质,破坏矸石山周边的水质,进而影响到人们的身体健康。自燃煤矸石山爆炸释放出大量的热能,瞬时温度可达 $2\ 300 \sim 2\ 500^\circ\text{C}$ 。爆炸抛出的高温矸石可引起周围建筑火灾,烧伤人员,烧毁周边的树木、工厂设备,也是引发连续爆炸的主要热源。自燃矸石山爆炸不仅产生高温,而且爆炸压力也很高,高压可以促使爆源附近的气体以极大的速度向外冲击,其传播速度可达 $2\ 340\text{m}/\text{s}$,对矿井地面建筑和器材设施造成破坏,同时冲击波可扬起大量矸石粉尘并使之参与爆炸,造成局部粉尘的连续小爆炸,造成更大的破坏力,冲击波可以在它的作用区域内产生震荡作用,使物体因震荡而松散,甚至破坏。

2) 有毒重金属污染

土壤作为一个十分复杂的多相体系和动态开放体系,固相中大量的黏土矿物、有机质、金属氧化物等能吸持进入其内部的各种污染物,特别是重金属。大量研究表明,重金属一旦进入土壤后很难在物质循环和能量交换过程中分解,它们往往在土壤中不断进行累积。生长在重金属污染土壤上的植物,必然会吸收和累积一定数量的重金属。进入植物体内的重金属不但会影响植物的产量和品质,而且会通过和大气和土壤的物质交换和能量流动影响大气环境、水环境和土壤环境质量,并可通过食物链最终危害人类的生命和健康。更为严重的是,重金属在

土壤和植物中以及从土壤到植物的污染过程具有隐蔽性、长期性和难降解性的特点,因此土壤重金属污染是一种较为严重的土壤污染。

煤矸石在露天堆放情况下,经受风吹、日晒和雨淋,煤矸石中的有毒重金属元素如铅、镉、汞、砷、铬等通过雨水淋溶渗入土壤和进入下游水域,导致严重的重金属污染。

许多煤矸石的淋溶液所携带的部分重金属元素浓度远超过国家污染物最高允许排放标准。这些煤矸石自身的重金属含量也均高于土壤的相应成分含量,部分重金属含量甚至接近土壤的2倍。根据扩散及渗透原理,这些重金属元素的排放与转移,必然会对周围水体和土地造成严重污染。主要污染途径有:进入地下水体、土壤吸附、农作物吸收、污染植物。同时,通过雨水和地下水淋滤与离子交换以及矿物氧化分解,煤矸石还可产生其他有害物质污染土壤。其中,毒性最大的是Cd、Pd、Hg、As,它们能在食物链中逐渐富集(许多物质在水生生物体内的浓度,比在水中浓度高几十倍、几百倍甚至上千倍),最后进入人体,对人体健康产生长远的不良影响,会引起急、慢性中毒,造成肝、肾、肺、骨等组织的损坏,会侵害人体呼吸、血液循环、神经和心血管系统,甚至能够致癌、致畸、致死。矸石山重金属污染的程度取决于这些元素的含量和淋溶量的大小。

3) 酸性水污染

煤矸石中普遍含有较高的硫分及其他有害元素,硫主要以黄铁矿的形式存在。四川南桐煤矿矸石含硫量高达18.93%,贵州大枝煤矿也达8%~16.08%。煤矸石中的黄铁矿结核经过风化及大气降水的长期淋溶作用,形成硫酸或酸性水渗入地下,导致土壤、地表水体及浅层地下水的污染。黄铁矿氧化所产生的铁质因为酸性环境而以可溶性铁和硫酸盐形式迁移至淋溶液,因而使得受其淋溶液影响的地下水和地表水的可溶盐类总量增大,硬度显著提高,不但不能作为饮用水源,以其作为农业灌溉水源还可导致土壤盐渍化。另外,自燃后的矸石山会产生SO₂等,遇水或淋溶后会形成H₂SO₃,造成土壤酸化,严重影响植物的正常生长。煤矸石淋溶液不仅污染堆积区,还通过各种水力联系(导水砂层、地层裂隙、农灌、河流等)发生污染转移,从而大范围地影响工农业生产,特别是水产养殖业受到的危害更重。

4) 放射性污染

矸石在采出、运输、堆放等过程中,由于逐渐破碎,裸露面积逐渐增大,从而扩大了与空气的接触面积,其中的放射性元素向空气中大量析出,使空气中的放射性元素浓度增大,超过其本底值,造成辐射污染。

矸石中天然放射性核心元素主要为铀-238、钍-232、镭-226、钾-40。钾-40在土壤中含量为29.6~88.8Bq/kg,在岩石中含量为81.4~814Bq/kg;镭-226在土壤中含量为3.7~70.3Bq/kg,在岩石中含量为14.8~48.1Bq/kg;钍-232在土壤中含量为0.74~55.5Bq/kg,在岩石中含量为3.7~48.1Bq/kg;铀-238在土壤中含量为1.11~22.2Bq/kg,在岩石中含量为14.8~48.1Bq/kg。

据山西省西山矿区监测,矸石中的天然放射性核心元素均高于原煤和土壤中的相应数值。但是依据我国《放射防护规定》、《建筑材料放射性核素限量》中的有关规定,结合全国部分地区土壤放射性核元素含量可以认为煤矸石不属于放射性废物,而属于一般工业固体废物。煤矸石即使100%用于建材制品,亦满足有关放射性限制标准和卫生防护限制规定。

煤矸石所含天然放射性污染影响,主要有两种途径:一种途径是经风把小于100μm的微

小颗粒扬起造成二次再悬浮污染大气,此种污染主要造成对人体的吸入引起的内照射;另一种途径是引起 γ 外照射。

1.2.3 煤矸石危害防治措施

1)减少井下矸石产生量

矸石不出井,不但可减少矸石占地,降低运输成本,而且可减小对环境的污染,具有较好的经济效益和社会效益。在巷道设计、施工工艺设计、矸石转运和井下充填等多个环节,要充分考虑矸石的井下处理,从源头上减少矸石的出井量,从而减少在地面堆积的数量,降低地面处理的工作量。

2)合理选址堆放

矸石的堆放地如选择不当,对河流、田地、公路都存在危害隐患。下大雨时煤矸石随雨水流流动,形成矸石流,与泥石流一样具有很大的破坏力。另外,有的矸石堆放超过了安全堆放高度,矸石山不稳定,给矸石下部的庄稼地和建筑物带来潜在的威胁,加剧厂方和农户之间的矛盾,影响当地的安定团结。为防止矸石淋滤液的污染,应合理选址,使其远离水源地和地下水补给区。矸石堆单体过大、过高,更容易产生自燃。因此,在充分利用、拣选硫铁矿和煤粉的基础上,应控制单体体积,推广平顶堆放方式。

3)重金属危害防治

土壤作为人类生存环境的一个重要组成部分,其质量的优劣将直接或间接影响人类的生命和健康。重金属在土壤中不易随水淋溶,不能被微生物降解,具有明显的生物富集作用。土壤污染不像大气污染和水污染那样直观,其具有较长的潜伏期。土壤一旦受到污染,其治理不仅见效慢、费用高,而且受到多种因素的制约。因此,针对重金属污染的特点,一些学者提出了重金属污染治理的工程措施、农业措施和生物措施等。

(1)工程措施

工程措施是指应用物理机械、物理化学原理治理土壤重金属污染的一类方法。

①清洗法

清洗法是用清水或用加入了含有能提高重金属水溶性的某种化学物质把污染物冲至耕层外,再用含有一定配位体的化合物或阴离子与重金属形成较稳定的络合物或生成沉淀,以防止污染地下水。清洗法对重金属的重度污染治理效果较好,适合轻质土壤,但投资大,易造成地下水污染及土壤养分流失,使土壤变性。

②土壤处理法

包括客土、换土、去表土和翻土等。此类方法效果好,不受土壤条件限制,但需投入大量人力、物力,投资大,并存在二次污染。同时,土壤肥力会有所降低,应多施肥料以补充肥力。

(2)农业措施

农业措施是指应用农业技术来治理土壤重金属污染的一类方法,包括以下几种做法。

①增施有机肥,提高土壤环境容量

施用堆肥和植物秸秆等有机肥料,增加土壤有机质含量,可以增加土壤胶体对重金属的吸附能力。有机质又是还原剂,可促进土壤中形成的硫化物沉淀,促进高价铬变成毒性较低的低价铬。

②选种抗污染的农作物品种

即种植吸收污染物少或食用部位污染物累积少的作物。研究表明,菠菜、小麦和大豆等作物吸量多,不宜种植,而玉米和水稻等作物吸量较少,宜在污灌区种植。在中度和轻度重金属污染的土壤上,不宜种植叶菜、块根类蔬菜,而宜种瓜类蔬菜或果树等。这样能有效地降低农产品的重金属浓度。在轻度污染的土壤上,选用早熟品种,以减少污染物在作物体内的累积量。

③改变耕作制度或改变土地利用方式

将中度和重度污染区作为良种繁育基地,如对灌区上游污染严重的地块,将其改作水稻和玉米等的良种基地,收获的稻米不作直接食用的商品粮而作种子。对污染较严重的农田,可改变耕作制度,改种非食用植物,如花卉、苗木、棉花、桑麻等。

(3)生物措施

生物措施就是利用某些特定的动、植物和微生物较快地吸收或降解土壤中的重金属污染物而净化土壤的方法。

矸石山的生物复垦和微生物复垦技术正在广泛应用。生物复垦是利用生物措施,恢复土壤肥力与生物生产能力的活动,它是实现废弃土地农业复垦的关键环节,主要内容为土壤改良和植被品种筛选。微生物复垦是利用微生物活化药剂或微生物与有机物的混合剂对复垦后的贫瘠土地进行熟化和改良,恢复土壤的肥力和活性。采用微生物复垦是在矸石垫层上不覆盖生长土,仅加适量微生物活化剂,只在短期(6个月)内就可以建立起稳固的植物覆盖层,使所造地恢复种植能力,第2年可种植农作物,3~5年即能完全达到高产农田的肥力,且对种植品种没有限制。这种技术具有费用低、效率高、效益好等优点。

(4)施用改良剂

施用改良剂的作用是为了降低重金属的活性。这一措施能有效地降低重金属的水溶性、扩散性和生物有效性,从而降低它们进入植物体、微生物体和水体的能力,减轻它们对生态环境的危害。

4)煤矸石自燃防治

(1)对已自燃的矸石山,要采取措施熄灭火源。熄灭矸石山自燃发火的技术措施有:挖掘火源法、表面覆盖法、泡沫灭火法和注浆法。挖掘火源法是直接挖除自燃的矸石;表面覆盖法是将黄土等惰性物质覆盖在燃烧区上,隔绝空气,以达到灭火目的;泡沫灭火法是用水和发泡剂组成灭火介质,送入矸石山内部火区,形成的灭火泡沫可以保持较长时间和扩展到较大范围,起到隔绝空气和降低温度的作用;注浆法是将灭火材料制成浆液后,再借助机械力将其压入矸石山内部,使浆液渗透充填到矸石山的空隙中,阻止矸石进一步氧化。注浆法是目前国内防治自燃矸石山时的常用方法。

(2)对于自燃较严重的矸石山,利用上述方法时在施工过程中往往存在很大的安全隐患。如利用挖掘火源法时,被揭开的矸石山将有大量空气进入,容易造成内部可燃气体达到爆炸限而引起矸石山爆炸,此法在美国使用时曾发生过多起伤亡事故。故对于自燃严重的矸石山,可采用炸弹或炮弹轰炸,破坏矸石山自燃程度和内部结构,以防止爆炸事故的发生。

(3)对于未自燃或有自燃倾向的矸石山,可以采取覆土植被绿化治理来防治矸石山自燃爆炸。采用种植树林、植物等方式来绿化矸石山是目前不少矿区最常用的做法,而且治理矸石山的效果也比较理想,可有效根治扬尘和矸石山坍塌、自燃爆炸。若为了彻底治理矸石山,对

于矸石山进行充分利用很有必要,如作水泥添加料、制造矸石砖等新兴建材,也可以利用矸石填充采空区,禁止在地面堆放矸石等方法都是目前治理矸石山自燃爆炸的有效方法之一。

5)煤矸石山绿化技术

由于矸石山暴露在自然环境中,经多年风化后表面会形成一层约 10cm 厚的风化层,另外,矸石山内部还有一定的水分,可以满足植物生长的需要。因此,为了降低矸石山的危害,许多矿区都对矸石山进行了绿化。大量的实践证明,绿化矸石山、恢复矸石山的植被生态系统,可以减少矸石山的风蚀扬尘、水土流失,降低矸石山的温度,从而杜绝矸石山的自燃,减少自燃对矿区大气环境的危害等。因此绿化煤矸石山,重建植被生态系统,是煤矿区生态环境改善的有效手段。

(1)覆土绿化技术

覆土绿化是在矸石山表面覆盖一定厚度的土壤、粉煤灰、污泥等,这种方法已在部分矿区进行了成功实验。其优点是植物生长环境,尤其是土壤环境的改善较大,除适宜较多的树种生长且造林成活率较高外,还可以种植一些农作物和牧草。在覆土绿化技术中,覆土的厚度是关键因素。覆土厚度较小(10~20cm),覆盖效应低,对立地改良作用小,而且植物根系绝大多数分布于覆盖层中,没有真正“扎根”于矸石山,由于得不到土壤层以下的水分供应,在无灌溉条件下,植物反而容易受旱;覆土厚度较大(20cm 以上),覆盖的土方量增加,加上运输距离一般较远,从而提高了复垦投资,制约矸石山复垦种植的推广。

薄层覆土(对黄土而言约 3~5cm)是一种经济实用的覆土植被恢复技术,大大降低了复垦地造价,同时对于出苗、保苗比较有利,还可以使幼苗免受高温灼伤,不会降低植物根系的抗逆性,薄层覆土栽植植被的根系能够深入到矸石深层,吸收矸石山深层的水分和养分,有利于植物的成活和发育。

(2)无覆土绿化技术

由于经济和缺土的原因,我国的煤矸石山绿化中一般采用无覆土造林技术。无覆土绿化就是将植物直接栽种于煤矸石山表面的矸石风化物上,对矸石山只采用适宜的整地方法(带状整地或块状整地),然后在植树穴或植树带内加适量“客土”,而不采用表面全部覆土、覆污泥等基质改良技术。无覆土绿化矸石山时,一般不宜平整地面,以尽量保留矸石山表面的风化物。或先挖坑(块状整地),使煤矸石风化一段时间再种植;也可挖沟(带状整地)后将煤矸石风化物集中于沟内进行栽植。

煤矸石山整地的深度因植被不同而异,要满足各种植被生长所需深度的低限值,即草本植物为 15cm,低矮灌木为 30cm,高大灌木为 45cm,低矮乔木为 60cm,高大的乔木为 90cm;煤矸石山的坡度一般较大,整地宽度不宜过大,以免加剧水土流失。因此,矸石山的整地宽度一般在 1.5~2.0m,采用反坡梯田整地方式整地要提前,整地季节按照至少提前一个雨季的原则进行,即如果是春季造林,整地最好在造林前一年的雨季以前进行,如果是秋季造林,整地最好在当年的雨季以前进行,这样有利于植树带的蓄水保墒和增加有机质等养分含量。

无覆土绿化技术省工、经济,复垦投资较少,但对于矸石山的立地改良程度较低,需要选择抗旱性较强的树种并采用适宜的植苗造林方法。另外,由于无覆土绿化煤矸石山表面没有覆土,矸石山黑色的表面具有较强的吸热性能,导致煤矸石山表层温度高达 39~42℃,幼苗在植物的苗期易灼伤而迅速死亡,因此要特别注意浇水。

6) 煤矸石卫生填埋

卫生填埋是世界上最常用的固体废物处理技术。它是在科学选址的基础上,采用必要的场地防护手段和合理的填埋结构,以最大限度地减缓和消除固体废物对环境的污染。对煤矸石进行卫生填埋,能有效地控制淋溶水的扩散,减小对地下水的污染,而且在其顶部防渗层还可以植树种草,进行土地复垦,恢复生态环境。

国内外在探索和应用生态工程技术处理固体废物方面已卓有成效。生态工程处理固体废物的基本原理是首先采用适当的防渗材料和阻断材料,使处理物与周围的环境有一个物理性质的隔离。然后在被围隔起来的固体废物堆上,盖上一层土,并在土层上重新进行以植被为主体的生态系统的建设,同时辅以一定的景观建筑,把废物场地改造成为宜人的公园、游乐场或农田。这种生态工程的技术具有投资少、见效快、处理量大、不造成二次污染等优点。由于恢复后的土地具有更大的利用价值,因此还可获得长远的经济效益,是一种更具有改造环境积极意义的固体废物处理技术。土地的复垦程序,包括了对粉尘的控制、防止表土流失、加强坝基安全、减少重金属污染物的径流量、绿化废物场地加速自然转变过程等,都是对采用生态工程技术的一些具体目标的要求。澳大利亚西部地区的一些矿区,采用深挖法技术进行复垦,要求采空区必须恢复到能够保证建立起一个适于该地区野生动物返回生息和防止水源盐碱化的生态系统的目标。加拿大的许多矿业公司,对于在含有硫化铁和其他硫化物的尾矿进行植被工程时,采用了像已在农业上采用的石灰石、污泥、肥料等各种调整剂的方法,对具有硫化物的尾矿直接进行调整,使植被工程可以在没有铺设表土层的尾矿堆上直接进行播种,并且建立起了持久性的植被生态工程,既简便,效果又好。

1.3 煤矸石综合利用

1.3.1 煤矸石综合利用的意义

煤矸石是指在煤矿建设、煤炭开采及加工过程中排放出的废弃岩石。据统计资料显示,我国煤矸石的积存量在 70 亿 t 以上,占地 70km²。如果按原煤年产量 15% ~ 20% 的产矸率计算,每年新增煤矸石的排量在 1.5 亿多吨。但我国煤矸石的综合利用水平尚不到排矸量的 15%,余下矸石多采用圆锥式或沟谷倾倒式自然松散地堆放在矿井四周,侵占大量土地,对周围环境造成极大污染,严重影响和危害人们的生活与健康。煤矸石的环境治理问题已成当务之急。

目前,国内外主要从两方面解决煤矸石的环境污染问题。

(1) 采取一定的措施控制煤矸石山的物化作用,此方法需投入大量的资金。

(2) 对煤矸石进行综合利用,通过减少煤矸石的地面堆积量达到治理的目的,此方法将产生巨大的经济效益。

因此,进一步发展煤矸石综合利用具有十分重要的意义。

1) 保护耕地,减少占地

保护耕地是关系到我国粮食安全和保证 13 亿人吃饭的一件大事。我国的土地资源非常紧缺,人均耕地占有量只有 1.59 亩,仅为世界人均水平的 43%。随着国民经济的发展,每年因基础设施建设、城市用地增加及自然灾害损毁等原因造成耕地的大量损失。因采煤造成的