

闭坑矿山沉陷区煤矸石回填治理技术研究

宣以琼, 徐军, 王文, 杨本水

(安徽建筑工业学院土木工程学院, 合肥 230022)

5 **摘要:** 本文针对宁国闭坑矿山采煤塌陷区环境现状, 本着因地制宜、变废为宝就地取材的原则, 提出使用遗弃煤矸石回填治理沉陷区的技术方案, 采用实验室实验分析了煤矸石回填工业地基的可行性, 采用强夯法加固煤矸石用作建筑地基工程。优化强夯施工参数, 并采用 ANSYS 软件分析了在矸石回填地基上兴建大型工业厂房的稳定性和可能性。工程实践结果表明强夯加固煤矸石回填沉陷区兴建工业厂房效果显著, 且经济易行、施工便捷, 在采煤沉陷区环境综合治理中具有广泛的推广应用价值。

10 **关键词:** 环境治理; 沉陷区; 煤矸石回填; 地基处理; ANSYS; 兴建厂房

中图分类号: TD167

15 Research on Management Technique of Coal mining subsidence Area which Closed down and Backfilled by Gangue

XUAN Yiqiong, XU Jun, WANG Wen, YANG Benshui

(Civil engineering School, Anhui Institute Of Architecture And Industry, HeFei 230022)

20 **Abstract:** This paper aim at the state of the environmental of GangKou coal mining subsidence area in NingGuo, In line with the principle of adjust measures to local conditions and recycle waste local materials proposed ,take abandoned gangue to backfill subsidence area as technology solution, Using laboratory experiments analyzes the feasibility of gangue backfill foundation, take the dynamic compaction method to reinforce gangue used as construction of foundation projects. Optimization the dynamic compaction construction parameters, and analyzed the stability and possibility of building industrial workshop in the backfill area by ANSYS. Engineering practice result shows that consolidation coal gangue backfilling subsidence area construct industry workshop has significantly effect, it's easy、economic and convenient, so it have extensive application value in mine geology environment construction comprehensive management.

25 **Keywords:** Environmental governance; Subsidence area; Gangue backfill; Ground treatment; ANSYS; Workshop construction

0 引言

港口矿区位于安徽省宁国市港口镇, 设计生产能力 60 万 t/a, 1967 年 11 月破土动工兴建, 2001 年 12 月因资源枯竭破产关闭。30 多年煤炭开采造成的地质环境灾害极为严重。35 主要表现为大面积开采造成了矿区及周边、地面开裂、塌陷, 地下水水位下降, 煤矸石大面积堆积, 严重地破坏了原有自然景观和生态环境, 导致区内国土资源、生态环境严重破坏; 植被、水土流失日益严重, 越来越突出的地质环境问题不仅威胁到人民生命财产安全, 而且严重地制约了当地经济的发展^[1]。

1 港口沉陷区地质环境现状分析

40 地下煤炭开采必然导致覆岩和地面移动。把采矿引起的覆岩和地表产生的连续移动变形

基金项目: 安徽建筑工业学院 2008 年博士基金和国土资源部矿山地质环境综合治理基金 (2007-kj653) 联合资助

作者简介: 宣以琼, (1965-), 女, 教授, 主要研究方向为岩土工程水文地质及防灾减灾。

通信联系人: 徐军, (1987-), 男, 在读研究生, 主要研究方向为岩土工程安全技术及评价。E-mail: anquanxj@163.com

和非连续破坏(开裂、垮落)称为开采沉陷.采矿沉陷给矿区造成的影响主要有以下表现。

1.1 采矿使矿区地表沉陷与积水

煤炭采出后,采空区顶底板和两帮形成了自由空间。根据《矿山压力及其控制》知,由于在煤层中回采煤时,煤层工作面上下顶底板必然要产生应力集中,产生应力重新分布。从而,上覆岩层失去原有平衡而产生移动,移动形式大体上可分为3带:冒落带、裂缝带、弯曲沉降带。随着时间的推移,地表将产生沉陷与积水。港口区内地势起伏不大,较为平坦,土地肥沃,村庄人口密集,潜水位相对较高,因而其煤炭开采造成的地质环境灾害影响严重。依据统计资料,截止到2007年底,港口矿区采煤形成地下采空区面积为5886.45亩(水平投影面积),地表沉陷面积达6943.46亩,使658.49亩的地表出现常年积水,季节性积水面积达到485.46亩,使良田变成了沼泽地,丧失了耕种的价值^[1]。

1.2 采矿活动破坏和占用大量的耕地和建设用地

采煤沉陷引发的地质灾害严重,其采煤沉陷灾害表现为三个方面:①影响周边农业生产和村庄房屋,②破坏矿区生态环境,③产生不良社会影响。

1.2.1 矿区采煤沉陷对矿区农业生产农民生活的影响

采煤沉陷造成耕地锐减,对农业生产产生重大影响。采煤沉陷最直接的破坏是土地,昔日的平坦的农田变成高低不平的沉陷地,肥沃农田变成低产地、沼泽地或芦苇丛生的湖泊,不仅使农业生产受到影响,也使许多农民失去赖以生存的土地,步入贫困。与此同时,矿区的开采使得周边地区村庄的民房受到较严重的损害,主要是采空沉陷造成沉陷区地表裂缝,房屋开裂、道路破坏,影响矿区农民生活。

1.2.2 矿区采煤沉陷对矿区生态环境的影响

采煤沉陷对矿区生态环境造成严重的破坏,表1简述了采煤沉陷对矿区生态环境造成严重破坏的一些情况。由于采空区水位不断上升,地下水水质受到严重污染,村民的饮用水难以保证,部分村民的身体健康受到威胁^[2]。

65

表1 采煤沉陷对矿区生态环境影响特征情况表

Tab. 1 Mining subsidence of mining area environment impact characteristics of ecological

类型	破坏特征	主要危害
景观破坏	坡地	水土流失严重,影响土地生产力和附近水域
	裂缝	水土流失,养分流失,影响农业生产和灌溉
	凹凸不平	影响农业生产,水土流失严重
	积水	丧失植被和农作物生产能力,易引起污水渗入
生态破坏	塌陷土洞	改变地下水流场,使饮用水水质污染,同时周边农田撂荒
	土壤生态的破坏 污染的加剧	土壤中的生物生存条件变化,生物量减少,土壤生产能力降低或丧失 沉陷区土地因污水的涌入而遭受污染,影响作物生长

1.2.3 采煤沉陷造成的社会影响

由于土地沉陷,使矿区农民人均耕地减少,增加了地方政府安置无地农民的压力,而地方政府的财政能力无法及时解决这些无地农民的就业出路,这些无事可做的农民对社会的稳定构成隐患,给矿区附近的政府工农关系和社会的稳定都带来了不良影响。

70

1.3 采矿诱发塌陷土洞、崩塌等地质灾害,造成人员伤亡和经济损失

岩溶发育的地区进行煤炭开采时,为了保证矿井安全生产,矿区每天要从井下排出大量的地下水。由于长期大量抽排灰岩水,引起灰岩水位大幅度下降,水力坡度增大,流速增大,使溶洞

中原有的充填物被水冲走,从而出现潜蚀作用。在上覆盖层密封性较好的情况下,随着水位的不断下降,使原已形成隐伏土的土洞的上覆地层塌陷。局部地区还可形成塌陷群,造成区域性的地面塌陷。塌陷土洞,致使塌陷土洞附近的农田撂荒而无人耕种。突发的塌陷也会给周边的人们造成安全隐患。

1.4 矸石堆放

煤炭生产和加工利用过程中产生大量的煤矸石,属一般工业固体废弃物,矸石大量堆积给矿区生态环境带来种种负面影响,主要表现为占地效应、自燃效应、淋滤污染效应、边坡失稳效应和风化扬尘效应。且存在一定安全隐患,严重影响了矿区的自然环境。

2 煤矸石回填地基处理技术特点可行性分析

相关研究资料表明【3】:采空区地表任意点的移动要经历初始、活跃、衰退、残余四个时期,在一般“三下压煤”开采中规定的以观测地表连续6个月的下沉量 $<30\text{mm}$ 作为地表稳定、下沉结束的基础。港口闭坑矿区经多年的压实,已趋于稳定。沉陷土地复垦治理采用的是充填复垦治理。充填复垦治理主要是利用矸石回填、粉煤灰回填及其它固体废弃物或客土回填。回填后用于建设的土地,充填复垦治理的关键是采取合理的工艺防止不均匀沉降,因此在一次回填全高的情况下,往往需采用强夯等地基处理工艺才能满足建筑要求。有规划地进行回填,可采取分层回填分层压实的处理工艺,分层厚度的确定取决于矸石块度、压实机械类型与重量、含水率等。

2.1 煤矸石工程性质及回填沉陷区环境影响分析

2.1.1 矸石的工程性质

通过室内与现场实验,得出了自然回填未经压实的煤矸石的物理性能指标。含水量为自然回填矸石深600mm处含水量;最大干密度和最优含水量为室内击实实验求得;密度、空隙比为室内常规实验测得,见表2。

表2 煤矸石的物理参数
Tab 2 Physical parameters of Gangue

矸石成分	密度 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	堆积密度 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	含水量 %	空隙比	最大干密度 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	最小干密度 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	最优含水量%
砂岩	2.80	1.76	8.62	0.50	2.15	1.70	6.9
泥岩	2.79	1.74	8.66	0.51	2.15	1.68	6.7

由上表可知,用于采煤沉陷区回填的煤矸石具有以下特性:

①煤矸石主要由砂岩、砂质页岩和页岩组成,其主要化学成份为 SiO_2 ;煤矸石级配良好,不均匀系数为29.3。煤矸石最大干容重为 $2.15\text{g}/\text{cm}^3$,最佳压实含水量为6.8%,由于长期风化影响,与一般性土相比,煤矸石更易被压实。

②煤矸石直接暴露在大气中易产生风化与潮解,当矸石埋于地下冰冻线以下时,基本上不会发生风化;同时,回填的煤矸石被压实和表面覆土,可有效地防止矸石风化和潮解。

③浸水对煤矸石压缩特性有一定的影响,但对压实后的回填地基影响不大,引起的沉降较小,其沉陷基本上是均匀的,不会因矸石浸水而使建筑物产生破坏。

2.1.2 煤矸石回填沉陷区环境影响分析

煤矸石对环境的影响主要取决于煤矸石的物理、化学特性,根据室内试验,矿区矸石含

110 硫量、含炭量均较低，不易发生自燃，从矿井开发生产至今未发生矸石山自燃现象也证明了这一点。因此，煤矸石回填不存在因自燃而污染周围大气的现象。

115 根据矿区煤矸石的淋溶水分析试验，煤矸石淋溶水略呈碱性，其 pH 值 8.08~8.60，平均 8.34，Ca、Pb、Zn、Cr、As、Hg、F 浓度均很低，见表 3。故煤矸石淋溶水对周围水环境及土壤的影响极微；同时，根据农业部环境保护科学研究所对该矿矸石及复垦区土壤有害元素分析，煤矸石有害元素含量与本区土壤相近，且含量较低，属痕量元素，故可判定煤矸石为一般性无毒害固体废弃物。

表 3 煤矸石有害元素测定分析结果
Tab 3 Harmful elements determinate-analysis results of Gangue

测定元素	复垦土样	复垦矸石	老矸石	新矸石
Ca	0.116	0.069	0.101	0.069
Pb	20.40	19.80	21.59	20.99
Zn	93.94	58.96	59.81	52.45
Cr	61.57	48.71	57.28	53.90
As	16.09	1.428	2.340	1.808
Hg	0.029	0.067	0.058	0.077
F	694.8	517.6	428.3	529.7

120 综上所述，遗弃煤矸石为无毒害固体废弃物，其淋溶水对周围水环境及土壤影响极微，且不易自燃，因此，煤矸石可作为采煤沉陷区治理回填材料。

2.2 矸石回填方式及施工技术

125 煤矸石是介于砂砾和黏土的一种材料，颗粒级配良好、空隙率较大，是典型的非饱和土。非饱和土的夯实过程，就是土中的气相（空气）被挤出的过程，使孔隙比发生很大变化，易于夯实。本次回填区位于原港口二矿采煤沉陷区上，在排水、清淤的基础上，为了防止煤矸石的自燃，通过分析比较和优化，本工程实行矸石、黏土分层分区回填^[4]。

2.2.1 矸石地基的回填方式

130 针对煤矸石易于被夯实的特点，本次选取的施工技术是强夯法，是利用起重设备（一般 8~40t）提升到很大高度（一般为 10~40m）；然后使重锤自由下落，以很大的冲击能（2000~8000Kn.m）作用在地基上，使土中出现冲击波和冲击应力，迫使土体空隙压缩，土体局部液化，在夯击点周围产生裂隙，形成良好的排水通道，使孔隙水和气体溢出，土体重新排列，经时效压密达到固结，从而提高地基承载力，降低其压缩性的一种有效地基加固方法。

2.2.2 矸石地基强夯施工工艺流程

135

140

145

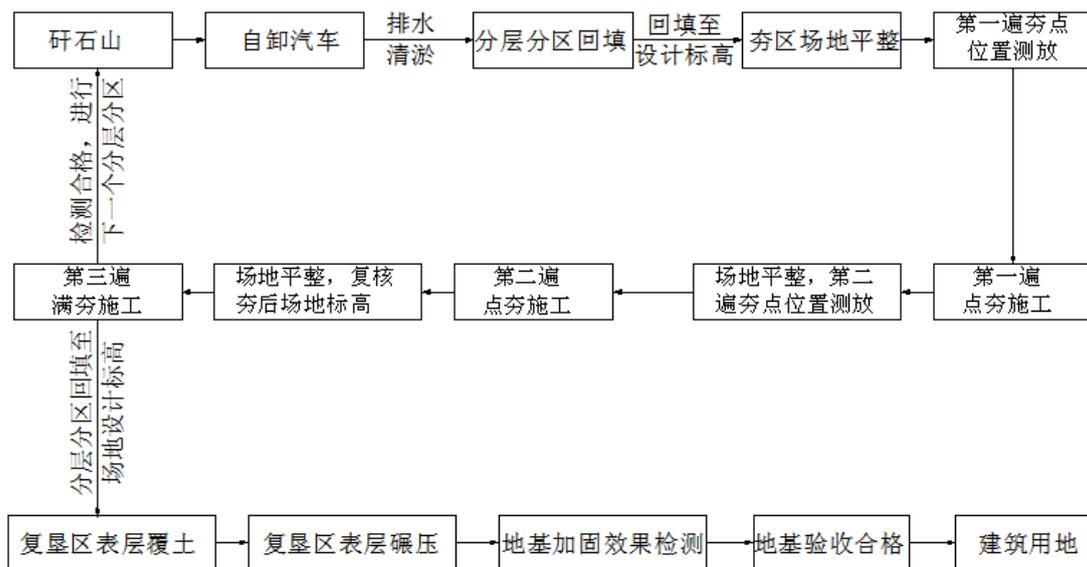


图1 施工工艺流程图

Fig. 1 Process flow diagram of construction

150

2.3 强夯施工工艺及参数优化的确定及设计

①锤重：夯锤重量 M 一般应根据夯击对象，运输条件和起重机吊装能力的大小而定，为此，一般民用建筑的层数，按表 4 所列的锤重进行参考选用。

155

表 4 夯锤与夯击能参考表

Tab 4 Reference list of rammer and ramming strike can

建筑物层数	≤2	3~4	5~6	6~8
锤重 M/KN	50	80	100	120
夯击能 W/KN.m	≤1000	≥1000	≥1200	≥1800

本工程计划在碎石地基上建 5 层居民住宅楼，故选择夯锤重量为 100KN^[5]。

160

②落距：落距 h 与夯击能 W 一般根据工程构筑物对地基土所要求的加固影响深度来确定，使夯击能 W 达到最大夯击效果，一般情况下，砂质土平均能取 1000~1500 KN.m；粘性土取 1500~3000 KN.m；单位面积夯击能为：

$$W = \frac{Mhn}{A} \quad (1)$$

式中 n—击数；A-加固总面积（m²）。

165

本工程选择的夯锤重量 M=100 KN；夯击能≥1200 KN.m，取最小值 W=1200 KN.m；夯击点每点的夯击次数定为 n =5 次，最后两锤的锤击下沉量经现场测定小于 5cm；圆形夯锤的底面半径 R=1.1m,求得底面面积 A=3.80m²。把以上数据带入（1）得出落距 h=9.12m，为了消除各种因素的影响，取 h=12m。

170

③夯击点布置：两夯击点之间的间距，应根据上部建筑物的结构特征和构造，平面尺寸、地基土的性质、夯击遍数、加固深度及途中空隙水压力的影响等因素来综合分析确定。每层夯击点均采用梅花形布置，但同一层第二、三遍夯击时应错开布置。

④夯击间歇：根据场地土质和空隙水压力消散快慢来决定每遍夯击间歇时间。本工程土质为砂类土，孔隙水消散较快，可以连续作业。为了提高夯实效果，间歇时间定为一天。

3 回填地基承载位移稳定性分析

3.1 实验分析

175 ① 根据室内煤矸石压缩试验,煤矸石在 200kPa 荷重范围内,压缩模量为 29.4MPa,表明煤矸石在击实后接近或达到最大干容重的情况下,表现为低压缩性,属低压缩性,是煤矸石沉陷区重建村落环境较理想的地基工程回填材料。

② 根据室内载荷试验,当煤矸石压实后的干容重达到最大干容重的 95%以上时,其煤矸石压实地基承载力将达到 263kPa 以上,能够满足工业建筑地基要求。

180 3.2 软件模拟分析

为更准确分析煤矸石回填用作地基的荷载沉降稳定性,利用大型有限元软件 ANSYS 对回填后的沉陷区地基进行厂房荷载分析。模型按回填地基的形状取梯形截面,尺寸为:地基顶宽 9m,地基底宽 6m,地基厚度为 3m,地基边坡为 1:1.5,不考虑底面和侧面原有地基的沉降变形,施加荷载根据工业及民用建筑地基要求选取,模拟 100kN/m² 均布荷载,及 500kN 集中荷载情况下的地基变形。

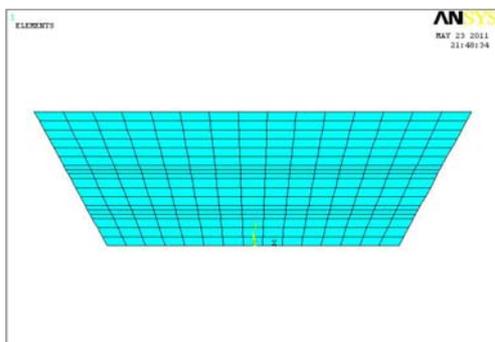


图2 模型网格划分
Fig.2 Mesh division

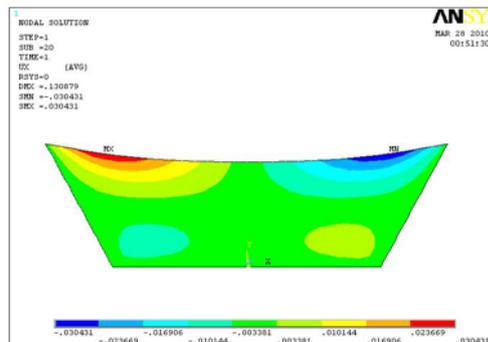


图3 均布荷载作用下 X 方向位移云图
Fig.3 X-displacement image impact by uniform load

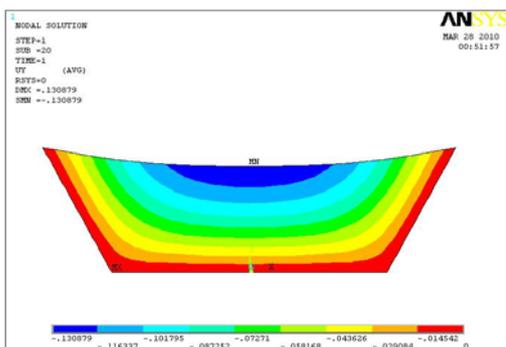


图4 均布荷载作用下 Y 方向位移云图
Fig.4 Y-displacement image impact by uniform load

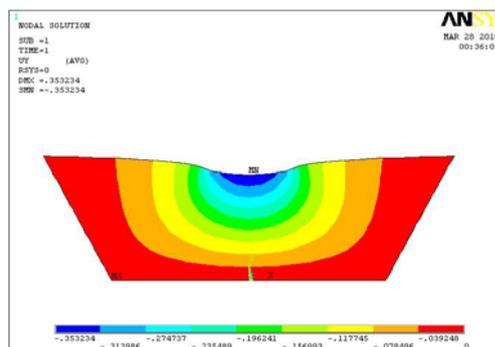


图5 集中荷载作用下 Y 方向位移云图
Fig.5 Y-displacement image impact by point load

195 图 2 显示的是所建立的模型及网格划分图,图 3 是模拟回填地基在 100kN/m² 均布荷载作用下 X 方向位移云图,最大稳定水平位移为 30.431mm,图 4 是模拟回填地基在 100kN/m² 均布荷载作用下 Y 方向位移云图,最大稳定位移为 32.763mm,图 5 是模拟回填地基在 500kN 集中荷载作用下 Y 方向位移云图,最大稳定位移为 61.407mm。根据《建筑地基基础设计规范》第 5.3.4 条表 5.3.4 建筑物的地基变形允许值规定:单层排架结构柱基最大沉降量允许值 [s]=120mm,由上述数据可得:在最大沉降值控制方面,煤矸石回填地基满足要求。

200 综上所述,港口矿区利用煤矸石回填采煤动态沉陷区,用作兴建工业厂房建筑地基技术

上可行,煤矸石回填地基经分层振压处理后,可满足工业建筑用地稳定性的要求。

4 煤矸石回填治理工程应用及成效

项目实施过程均采用机械化半机械化作业,通过对港口遗弃矿山地质环境的综合治理,治理土地面积达 576 亩。在通过实验及计算机模拟荷载作用分析后,可在回填地基上兴建民用及工业建筑。兴建工业厂房建筑设计及实施应注意采取以下方面^[6]:

①厂房建筑物形状力求简单、对称、等高;采用整体条型钢筋混凝土基础,加强上部结构刚度;

②为避免不均匀沉降对建筑物产生变形差异,要求厂房建筑物长轴与原开采方向一致,即沿原开采煤层走向方向一致;

③在工艺允许条件下,尽可能减轻荷载。结构设计时,适当调整柱、基设计、使荷载分布均匀;地基可采用置换式强夯处理,在减少地基下沉不均匀性的同时也提高地基承载力和稳定性;

④在厂房长度上每隔 20~30 m 可设置宽变形缝。加强建筑物整体结构的刚度,如设置钢筋砼圈梁和钢拉杆;设置地表变形缓冲沟。

5 结论

本文针对宁国闭坑矿山采煤塌陷区环境现状,实验室实验分析了煤矸石回填工业地基的可行性,采用强夯法加固煤矸石用作建筑地基工程。优化强夯施工参数,并采用 ANSYS 软件分析了在矸石回填地基上兴建大型工业厂房的稳定性和可能性。工程实践结果表明强夯加固煤矸石回填沉陷区兴建工业厂房效果显著,煤矸石回填治理沉陷区有效地保护了土地资源,缓解闭坑矿区土地资源紧缺的矛盾;治理的采煤沉陷地,可作为民用及工业区用地,提高了资源利用率。大大改善了闭坑矿区生态环境,具有显著的环境、社会和经济效益。

[参考文献] (References)

- [1] 宣以琼.闭坑矿山地质环境综合治理技术研究报告[R].合肥.安徽建筑工业学院、宁国市国土资源局.2008
- [2] 宣以琼.港口矿区地质环境的现状与防治对策[J].能源环境保护.2008
- [3] 国家煤炭工业局制定."三下"采煤规程[M].北京:煤炭工业出版社,2000.
- [4] 高全宁.强夯法在处理矸石地基中的应用[J].粉煤灰.2009
- [5] 徐至钧.强行和强夯置换法加固地基[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [6] 郭惟嘉.采空区上方修建大型建筑物地基稳定性评价[J].岩土力学.2004.