

# 我国采煤沉陷土地损毁及其复垦技术现状与展望

李 树 志

(中国煤炭科工集团唐山研究院有限公司,河北 唐山 063012)

**摘 要:**针对我国东部采煤沉陷区生态问题,介绍了沉陷耕地损毁评价定级和沉陷区复垦耕地生产力评价方法;提出了矸石充填复垦、就地取土复垦的剖面构建方法及区域农业景观再塑技术;介绍了采煤沉陷区次生湿地生境、植被景观、人工景观构建技术与水质修复方法;提出了采空区探测、采动地基稳定性评价、采空区地基加固、抗变形建筑的采煤沉陷区工程建设一体化技术。最后展望了采煤沉陷区生态修复技术的研究发展方向。

**关键词:**采煤沉陷;土地复垦;生态修复;次生湿地;建筑复垦

**中图分类号:**TD88 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2014)01-0093-05

## Present Status and Outlook on Land Damage and Reclamation Technology of Mining Subsidence Area in China

LI Shu-zhi

(Tangshan Research Institute Company Limited, China Coal Technology and Engineering Group, Tangshan 063012, China)

**Abstract:** According to the ecological problems of the mining subsidence area in the east part of China, the paper introduced the farmland damage evaluation and grade of the mining subsidence and the productivity evaluation method of the reclaimed farmland in mining subsidence area. The paper provided the profile construction methods of the coal rejects backfill reclamation and the local soil backfill reclamation and the reconstruction technology of the regional agricultural landscape. The paper introduced the construction technology of the secondary wetland biotope, vegetation landscape and artificial landscape in mining subsidence area and the water quality restoration method. The paper provided the project construction integrated technology with the survey of goaf, the stability evaluation of mining foundation, foundation reinforcement above goaf and anti-deformation building in mining subsidence area. The paper had an outlook on the research development orientation of the ecological restoration technology in mining subsidence area.

**Key words:** mining subsidence; land reclamation; ecological restoration; secondary wetland; building reclamation

## 0 引 言

我国采煤沉陷损毁土地复垦技术的研究始于 20 世纪 80 年代,主要侧重在采煤沉陷损毁土地的农业、林业、养殖、建筑等复垦途径、方法和工程应用研究,进入 21 世纪后才开始从生态修复、农业生态景观构建和区域角度研究沉陷区的土地复垦理论和技术<sup>[1]</sup>。历来国家非常重视此方面的研

究,从“十一五”期间的国家“863”项目《采煤塌陷区生态修复关键技术研究及示范》到“十二五”科技支撑计划《典型矿业城市受损生态系统恢复技术及示范》等课题。笔者介绍了在采煤沉陷土地损毁与复垦评价、沉陷区农业生态景观与次生湿地景观构建、沉陷区工程建设一体化技术等方面取得的多项创新性成果,展望了采煤沉陷区生态修复技术研究发展方向。

**收稿日期:**2013-10-19;**责任编辑:**曾康生 **DOI:**10.13199/j.cnki.est.2014.01.022

**基金项目:**“十二五”国家科技支撑计划重点资助项目(2012BAC13B03)

**作者简介:**李树志(1960—),男,河北定州人,研究员,博士,中国煤炭科工集团首席科学家,享受国务院政府特殊津贴,现任中国煤炭科工集团唐山研究院有限公司矿山测量研究所所长、中国煤炭学会土地复垦与生态修复专业委员会副主任。Tel:0315-7759703, E-mail:lsz9686@163.com

**引用格式:**李树志.我国采煤沉陷土地损毁及其复垦技术现状与展望[J].煤炭科学技术,2014,42(1):93-97.

LI Shu-zhi. Present Status and Outlook on Land Damage and Reclamation Technology of Mining Subsidence Area in China[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 93-97.

1 采煤沉陷土地损毁现状与评价

1.1 采煤沉陷土地损毁现状

针对我国采煤沉陷土地损毁现状,目前暂没有一个准确数量或国家权威部门发布数据。1998年,煤炭科学研究总院唐山研究院曾受原煤炭工业部委托,对全国重点煤矿及地方国有煤矿投产至1997年底的采煤沉陷、土地复垦利用基本情况进行过专项调查。调查结果为:每采万吨煤地表沉陷(以下沉量大于10 mm为标准)0.07~0.33 hm<sup>2</sup>,平均0.20 hm<sup>2</sup>;全国重点煤矿及地方国有煤矿投产至1997年底,采煤沉陷总面积30.38万hm<sup>2</sup>,其中造成减产或绝产的土地14.13万hm<sup>2</sup>,占46.51%;据此测算,至1997年底全国采煤沉陷土地约40万hm<sup>2</sup>(600万亩),损毁土地约20万hm<sup>2</sup>(300万亩)<sup>[2-3]</sup>。

1998—2012年我国煤炭总产量约350亿t,考虑1998年调查结果为煤矿企业提供数据且以前采煤工艺多为分层开采,现在为综放开采,实际采煤沉陷土地面积应比调查结果大,为此选择每采万吨煤地表沉陷土地面积0.33 hm<sup>2</sup>测算,应新增沉陷土地面积116万hm<sup>2</sup>。至2012年底,我国采煤沉陷土地面积约156万hm<sup>2</sup>(2340万亩),损毁土地约78万hm<sup>2</sup>(1170万亩)。此数据与国土资源部的测算结果及一些专家的估算基本一致。

1.2 采煤沉陷耕地损毁评价

采煤沉陷耕地损毁评价能为耕地损毁范围圈定、耕地损毁补偿和土地复垦方式的选择提供重要参考。笔者在历年从事采煤沉陷及土地复垦研究与实践基础上,提出了可反映采煤沉陷耕地损毁机理与特征、评价参数易于获得、工作中易操作的评价定级方法<sup>[4]</sup>,见表1。

表1 采煤沉陷耕地损毁等级

损毁等级	损毁程度/%	裂缝宽度/cm	台阶高度/cm	坡度/%	潜水位埋深/m	水利设施
I	25	<20	<10	<2	1.0~1.5	基本完好
II	50	20~50	10~30	2~5	0.5~1.0	部分损坏
III	75	50~100	30~80	5~10	0~0.5	完全损坏
IV	100	>100	>80	>10	<0	—

注:损毁程度用土壤生产力降低量表征。

1.3 采煤沉陷区复垦耕地生产力评价

采煤沉陷区复垦耕地生产力评价与正常耕地生

产力评价有所不同,评价指标的选取必须既体现复垦特点又符合耕地生产力的评价要求<sup>[5]</sup>。笔者认为复垦耕地的生产力水平是外部环境和土壤本身肥力属性共同作用的综合反映,因而提出了复垦耕地生产力密切相关的有机质、pH值、全氮、速效磷、速效钾等土壤养分指标及农作物生长密切相关的土层厚度、地下水埋深、农田水利、坡度等外部环境指标共同构建的复垦耕地生产力评价指标体系,并建立了评价模型,在兖州采煤沉陷区对该评价模型进行了实地验证<sup>[6]</sup>,评价结果与实测结果相关性显著。

2 采煤沉陷区农业生态景观构建技术

我国早期的采煤沉陷区复垦主要侧重沉陷区农业、林业、养殖业的复垦利用,近几年才注重从生态修复和景观构建土地复垦利用问题<sup>[7-10]</sup>。

2.1 采煤沉陷区农业生态系统演变规律

1)通过对开滦矿区1993—2007年多时相遥感影像数据解译,得到采煤沉陷区土地利用/覆盖变化规律:①14年间沉陷区面积达到541 km<sup>2</sup>,占区域总面积的39%;②耕地数量下降呈现逐渐减缓趋势,从1993年的981 km<sup>2</sup>减少到2007年的728 km<sup>2</sup>;③水域面积增长趋势不断加剧,1993—2000年增加22 km<sup>2</sup>,2000—2007年增加了159 km<sup>2</sup>。

2)通过高潜水位采煤沉陷区生态要素监测,获得了沉陷区生态系统演变特征:①采煤沉陷区土壤有机质和氮、磷含量从上坡到沉陷中心逐渐升高,出现上坡土壤贫瘠化、中坡土壤盐碱化、下坡土壤沼泽化的分区现象,沉陷区土壤退化明显(图1);②采煤沉陷区水域浮游植物总密度小于养殖水域,香农多样性指数大于养殖水域,表明采煤沉陷水域生境优于养殖区域;③采煤沉陷区土地利用类型发生变化、生态系统的建群物种改变,由陆生型生态系统演替为水陆复合型生态系统。

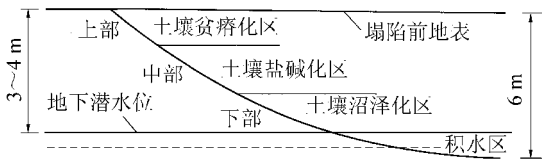


图1 采煤沉陷区土壤分区示意

2.2 采煤沉陷区土壤剖面构建与复垦技术

1)研究了矸石充填土壤剖面构建技术,解决了覆土厚度和耕作层土壤水分流失的技术难题<sup>[11]</sup>。矸石充填复垦土壤剖面构建方法如图2所示,即按

基层物料矸石(顶部矸石适当压实)——生土层(下部压实后形成减渗层)——耕作层分别构筑,其中生土层和耕作层构成了覆土。选取不同减渗层厚(10、20 cm)、不同减渗层密度(1.11、1.42、1.55 g/cm<sup>3</sup>)、不同覆土厚度(30、50、70、100 cm)进行组合试验。得出结论:①覆土厚度小于70 cm时,农作物生长受到影响,特别是覆土30 cm的处理,农作物容易出现萎蔫缺水现象。②结合复垦成本分析(图3),确定矸石充填复垦的经济覆土厚度为70 cm,其中减渗层为20 cm、密度1.42 g/cm<sup>3</sup>能有效改变耕作层土壤水分通过矸石层快速流失的状况,耕作层土壤水分含量提高了83%,农作物生长状况良好。

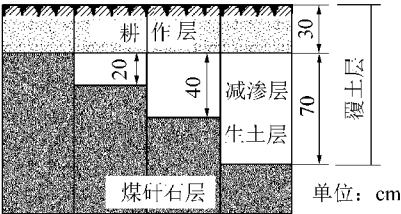


图2 矸石充填复垦剖面构建示意

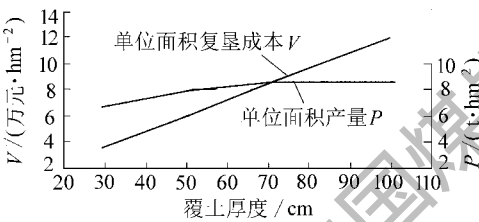


图3 矸石充填复垦成本分析

2)通过调配不同土壤层次、质地,优化了就地取土复垦土壤剖面结构和施工工艺,降低了二次土壤改良成本。就地取土复垦土壤剖面构建:①获取挖方深度内耕作层、过渡层和生土层的厚度、容重、质地等土壤信息;②据获取的土壤剖面信息和黏粒含量小于15%、砂粒含量不超85%的土壤标准,计算确定耕作层土壤调配系数;③按照分层剥离分层回填施工顺序,将取土区和回填区分别划分成不同区块,按确立的耕作层土壤调配参数进行挖填施工。

3)将井下开采与地表复垦有机结合,提出了采煤沉陷区动态预复垦技术,实现了“采煤-复垦”一体化。动态预复垦技术与工艺步骤,根据未采工作面的开采计划,利用概率积分法预计下沉量;根据下沉等值线进行施工田块划分,按预计下沉量<2、2~4、>4 m分3种不同情况施工田块,将划分的施工田块再细分为边长10~20 m的矩形或方形施工参数控制区域,施工参数计算包括回填厚度、覆土厚度、

充填标高,按照施工区块和施工参数分区施工。

2.3 采煤沉陷区农业生态景观再塑技术

1)典型沉陷区农业生态系统受损特征分析。采煤沉陷后地表出现裂缝、沉陷、积水、土壤盐碱化沼泽化等损毁特征,农作物减产或绝收;生境由单一的农田转变为耕地、林地、草地、水域、沼泽地、矸石场等多种生境并存,物种由农作物为主演变为农作物、乔灌木、水生动植物等物种组合。

2)基于区域尺度的农业生态景观再塑技术。通过土地利用类型选择,斑块、廊道、基底景观要素合理组合,多样生境条件构建,确定了农业生态景观再塑原则和目标。对采煤沉陷复垦区水体、植被、地貌等景观要素分析,规划治理区功能划分与景观空间结构设计,提出复垦标准、复垦途径和施工工艺。

3)采煤沉陷区复垦景观格局分析。典型沉陷区复垦后景观斑块数目由133增加到了341,景观类型增减变化明显,总体由5种加到了7种;路、沟、渠、堤坝、林网等廊道的增加,提高了各景观类型间的物质和能量传输,增强了农田生态系统的风险承受能力;复垦前后空间格局分析表明景观多样性和优势度增加、均匀度降低,提高了土地利用效率,改善了土地利用结构,增加了农业生物多样性。

3 采煤沉陷区次生湿地景观构建技术

我国属煤矿城市有150余座,高潜水位地区采煤沉陷导致地表大面积积水,土地、生态水、植被等生态环境要素破坏严重,另外还有采矿和城市废物排放,采煤沉陷区生态环境问题突出,直接影响了矿业城市形象和市民的居住生息,将采煤沉陷积水区开发建设成具有城市服务功能的次生湿地是实现国家提出的生态宜居城市以及矿业城市经济社会可持续发展的重要举措。

3.1 采煤沉陷区次生湿地生境修复技术

1)采煤沉陷积水区水体维系技术。根据唐山市城市发展规划要求和次生湿地生态需水量,对采煤沉陷形成的外形单一、面积较小的积水坑进行治理改造,扩展水面、扩大蓄水量,同时联通了湿地周围的青龙河与陡河水系,形成了较稳定的水源补给,保障了动态平衡。

2)采煤沉陷区次生湿地基底改造技术。针对开滦矿区采煤沉陷次生湿地水域的土壤特性以及采煤沉陷变形特征和稳沉程度,对部分基底进行了分



区改造。稳沉区渗水基底改造方法:疏水、清淤、铺盖黏土、压实。急倾斜煤层开采与动态沉降裂缝区采用土工膜防渗处理(图4)。

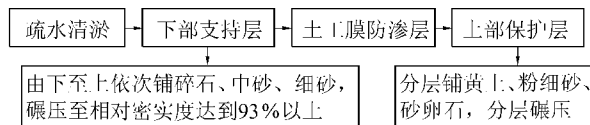


图4 开采沉陷裂缝区土工膜防渗处理工艺

3) 水域边坡水土流失控制技术。为形成采煤沉陷湿地水域良好护岸景观,采取以水生植物、湿生植物和陆生植物为护岸主体、配植景观植物的护岸方法,这种方法与传统的浆砌石、混凝土构件和植物相结合的护岸方法相比,结构简单、成本低,适应不均匀沉降,施工和后续维护方便,不仅优化了水生和湿生植物的生境,同时也为一些鱼类及微生物创造了良好的生存空间。

### 3.2 采煤沉陷区次生湿地水质修复技术

1) 生态浮岛试验。针对开滦矿区湿地局部区域富营养化的水质,采用生态浮岛栽种水培植物的修复方法降解水中的COD、氮、磷的含量,抑制水体中藻类的过度生长。选择的美人蕉、旱伞草、千屈菜、鸢尾、凤眼莲等植物对水体中的氮、磷有较强的吸收作用,能够显著降低水体中总氮、总磷、BOD、COD等指标,达到了净化水质的目的。

2) 人工植物群落修复试验。开滦矿区研究了芦苇、车前草、酸模、石龙芮4种优势湿地植物对湿地水体富营养化景观水中氮、磷的净化能力,湖水经过芦苇净化后水质变好,COD浓度降低了48.6%,溶氧量上升了41.2%,透明度提高了48.2%,TOC降低了48.4%,TN降低了3.5%。

### 3.3 采煤沉陷区次生湿地植被景观构建技术

1) 适生植物的筛选。针对开滦矿区采煤沉陷次生湿地状况,从生态适应性的角度共选出耐干旱、瘠薄植被品种29种,耐水湿植物31种,抗盐碱性植物16种,抗病虫害植物26种,耐阴性植物13种;从植物的观赏性角度,筛选出了常绿乔木4种、花色植物12种、观花观果兼具的植物8种、具有秋色叶的植物12种。

2) 植被景观构建与配置。在兼顾城市景观效应及生态效应的基础上,建立了开滦矿区采煤沉陷区水体植物、园路植物、岛屿植物、地被植物、彩叶树种、建筑周边植物等10种湿地植物配置模式,突显了城市湿地特点,集绿化、美化、人文、休闲为一体,

形成了独特的、经典风景与自然生态相结合的城市湿地园林景观效果。

### 3.4 采煤沉陷区次生湿地人工景观构建技术

1) 扩湖造景。在水系维持的基础上,根据开滦矿区采煤沉陷积水现状,进行了水域景观构建,设计不同的湿地水深,并在浅积水区进行堆山造景,建设湖心岛5座。扩湖后水域面积达到11.5 km<sup>2</sup>,形成了滨湖生态环境,实现了防洪排涝安全、水资源合理调配、水体自净、水景观秀美宜人的目标。

2) 粉煤灰堆、矸石山造景绿化。将开滦矿区采煤沉陷区内的粉煤灰堆、矸石山进行造景整形和覆土绿化,因地制宜地采取覆土、平整、修建排灌设施等措施,选择根系浅、耐贫瘠的植物品种进行景观配置,形成稳定的生物群落。

3) 垃圾山封场造景绿化。原唐山市生活垃圾填埋场位于采煤沉陷区内,占地10.57 hm<sup>2</sup>,封场时已经运行了19年,总填埋量约450万t,堆放高度达60 m。通过垃圾堆体坡面修整,设置高低起伏的假山挡土墙,铺设土工布、膜、网格及厚覆土层封闭,设置扩展区防渗系统、渗沥液收集导排处理系统、填埋气体收集导排处理系统及环境监测系统,封场道路建设,植被景观绿化,景观平台与楼阁建设等,形成了沉陷区湿地景观核心与最佳观景地。

## 4 采煤沉陷区工程建设一体化技术

我国采煤沉陷损毁了大量土地,将采煤沉陷区开发为建筑用地是解决城镇建设用地瓶颈问题的有效途径<sup>[12]</sup>。对采煤沉陷区城镇建设过程的“采空区探测—采动地基稳定性评价—采空区地基加固—抗变形建筑”工程建设一体化技术进行了研究,取得了许多创新性成果<sup>[13-15]</sup>。

### 4.1 采空区探测技术

钻探与钻孔电视研究结果表明,采煤结束后虽然经过长时间的天然压实,由于地下空洞、离层、裂隙和垮落带的欠压密、孔隙中饱水等现象仍长期存在,地表新增荷载、地震活动、邻区开采、强排地下水等,都可能打破原来的应力平衡状态使采空区岩体活化,探明采空区岩体裂隙发育特征十分重要。

### 4.2 采动地基稳定性评价技术

1) 临界荷载影响深度法评价模型。如采空区地表新建建筑物的荷载影响深度足以触及到开采所形成的垮落带、裂缝带,就会破坏这两带已形成的平

衡状态使覆岩重新移动,从而使地表重新产生较大的沉降。采空区地表不再因新增荷载扰动而重新产生较大的沉降时的采空临界深度应满足下列条件:临界深度不小于裂缝带高度与荷载影响深度之和。

2)模糊综合评价模型。采动地基稳定性不仅与开采煤层和覆岩埋藏特性、地质构造、采煤方法等因素相关,而且还与建筑物荷载大小、基础类型等密切相关,采用模糊综合评价方法进行采动地基稳定性评价,构建了包含4个一级指标和9个二级指标的评价指标体系(图5)。

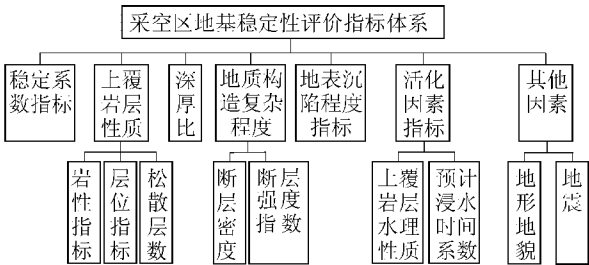


图5 采动地基稳定性评价指标体系

4.3 采空区地基处理技术

当采动地基稳定性不能满足建筑要求时,应进行采空区注浆处理。为降低采空区注浆处理费用,根据 Duvall(1948)提出的有效区域理论,构建了柱式注浆设计理论。注浆结石体的试验表明,注浆结石体的强度大于一般煤层的强度,因此还可以将充填区域看成是条带开采留设的煤柱,将未充填区看成是开采区域,其开采厚度等于未下沉的空间,据此又提出了条带注浆设计理论。结合工程实践提出了采用“地面物探+少量钻探+钻孔电视”的注浆效果综合检测模式。

4.4 采动区地表建筑抗变形技术

在采动区地表新建建筑物时,由于考虑采动变形的影响,其设计和构造主要考虑2种形式:①采取刚性保护措施,如构造柱、墙壁圈梁等,提高建筑物整体或局部结构的强度和刚度,以抵抗地表变形和所产生的附加内力。②采取柔性保护措施,如基础滑移层、结构变形缝等,通过引导变形集中,吸收大部分地表变形能,提高建筑物抗变形能力。

4.5 采煤沉陷区工程建设一体化技术应用

针对采取单项技术或措施解决采煤沉陷区建设利用难题存在的效果差、成本高等不足,提出了应用多项技术的综合技术体系,实现了“采空区探测—采动地基稳定性评价—采空区地基加固—抗变形建

筑”采煤沉陷区工程建设一体化技术集成。

5 采煤沉陷土地复垦与生态修复技术展望

针对大型高效集约化矿区生态问题,重点研究解决高效集约化煤矿区域性采煤沉陷与生态演变规律;西部煤矿高强度开采沉陷区地表土壤水分特性及对植被的影响、干旱半干旱区当地适生优势植被品种的规模化培育技术、干旱半干旱区采煤沉陷前植被预治理技术及其生态效应、矿区生态水资源保护与多目标协调配置技术;东部采煤沉陷区城市建筑群、大型线性工程建设与保护技术、矿区小城镇与资源开采协调建设技术、采煤积水沉陷区次生湿地重构技术;煤矿区场地污染调查识别与综合防治技术、煤矿区环境恶劣场地微生物高效修复技术等。为实现矿区绿色和谐发展、资源协调开发利用、集约化城镇发展的国家战略目标提供技术支撑。

参考文献:

[1] 李树志,周锦华,张怀新.矿区生态破坏防治技术[M].北京:煤炭工业出版社,1998.

[2] 李树志.当前煤矿土地复垦工作中应重点研究的几个问题[J].中国土地科学,1999(2):13-16.

[3] 李凤明.采煤沉陷区综合治理几个技术问题的探讨[J].煤炭科学技术,2003,31(10):59-60.

[4] 李树志,鲁叶江,高均海.开采沉陷耕地损坏机理与评价定级[J].矿山测量,2007(2):32-34.

[5] 李树志,鲁叶江,高均海.平原矿区采煤沉陷地复垦耕地生产力评价[J].矿山测量,2010(1):5-9.

[6] 李树志,高荣久.塌陷地复垦土壤特性变异研究[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2006,25(5):792-794.

[7] 李树志,高均海.采煤塌陷区景观生态再造技术[J].选煤技术,2006(S1):62-66.

[8] 郭友红,李树志,高均海.采煤塌陷区景观演变特征研究[J].矿山测量,2009(2):77-80.

[9] 李幸丽,高均海.基于GIS的采煤沉陷区景观格局动态变化研究[J].矿山测量,2009(4):59-61,65.

[10] 高均海.开采沉陷GPS观测试验及技术方法研究[J].矿山测量,2003(3):31-33.

[11] 鲁叶江,李树志,高均海.就地取土复垦土壤剖面构建技术研究[J].矿山测量,2009(5):91-93.

[12] 滕永海,张俊英.老采空区地基稳定性评价[J].煤炭学报,1997,22(5):504-508.

[13] 白国良,李树志,高均海.老采动区覆岩裂隙发育特征及活化机理研究[J].煤矿开采,2010,15(5):11-13.

[14] 李树志.煤矿塌陷区土地复垦技术与发展趋势[J].煤矿环境保护,1993(4):7-10.

[15] 姜升,刘立忠.动态沉陷区建筑复垦技术实践[J].煤炭学报,2009,34(12):1622-1625.