

Application of Technology of Negative Pressure Membrane Structure for Soil Remediation

Dongliang Xu¹, Qianmin Cui^{2,3}

¹China Urban Construction Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing

²Beijing Shougang International Engineering Technology Co., Ltd., Beijing

³Beijing Metallurgical 3-D Simulation Design Engineering Technology Research Center, Beijing
Email: cqm.rd@163.com

Received: Mar. 30th, 2018; accepted: Apr. 17th, 2018; published: Apr. 24th, 2018

Abstract

In June 2016, the soil remediation project has been built and put into production at Shougang Plant. As a work unit, which is using the technology of negative pressure membrane structure, closed yard can be used for storage, pretreat and load of contaminated soil, it also can be used for temporarily store and transfer of qualified soil. The yard is 135 m long and 60 m wide, and 20 m high, includes grids structures, membrane structure roof, intelligent management, control management, door system, air supply system, exhaust gas purification system, safety monitoring system, monitoring system, lighting system and so on. At present, this yard has been accepted by Beijing environmental authorities. It is the first environmental negative pressure membrane structure yard, which can reach none exhaust gas leak, none ground leak, all weather operation. This technology has a wide range of applications in the contaminated soil remediation in the near future.

Keywords

Negative Pressure, Membrane Structure, Soil Remediation

负压膜封闭技术在土壤修复项目中的应用

徐栋梁¹, 崔乾民^{2,3}

¹中国城市建设研究院有限公司, 北京

²北京首钢国际工程技术有限公司, 北京

³北京市冶金三维仿真设计工程技术研究中心, 北京
Email: cqm.rd@163.com

收稿日期: 2018年3月30日; 录用日期: 2018年4月17日; 发布日期: 2018年4月24日

摘要

首钢土壤修复项目2016年6月建成投产,采用负压膜封闭技术建设的封闭料场(简称“负压气膜大棚”)作为其中一个作业单元,用于污染土的存储、预处理、上料作业及修复后合格土的中转暂存。负压气膜大棚长度为135 m,跨度为60 m,净空高度为20 m,由网壳支撑体系,膜结构屋面,智能管理、控制系统,出入门系统,送风系统,尾气净化处理系统,安全监测系统,监控系统,照明系统等组成。目前,负压气膜大棚已经通过北京市环保部门组织的验收,成为我国第一座实现无废气泄漏、地面抗渗漏、可以全天候作业的环保型负压气膜大棚,负压膜封闭技术将会在我国污染土壤的治理与修复中得到推广应用。

关键词

负压,膜结构,土壤修复

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2016年6月,首钢采用热脱附技术的土壤修复项目建成投产,对北京停产厂区内重污染区域的土壤进行修复,以满足《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》(国发[2011]35号)提出的“被污染场地再次进行开发利用的,应进行环境评估和无害化治理”的要求。生产线年处理污染土18万t,由负压气膜大棚[1],热脱附及废气处理装置,成品堆场,及配套的公辅设施等组成。按照《北京市大气污染防治条例》第五十七条:“产生含挥发性有机物废气的生产和服务活动,应当在密闭空间或者设备中进行……”、第八十三条:“煤炭、水泥、石灰、石膏、砂土等产生扬尘的物料应当密闭贮存……”的要求,建设了国内首座负压气膜大棚,用于污染土的存储、预处理、上料作业及修复后合格土的中转暂存。

负压膜封闭技术即通过气膜大棚实现对污染土进行封闭,保持内部微负压,使污染土产生的粉尘、废气不能外溢,从而实现不污染外部环境的技术。膜结构是高强度轻质的薄膜材料与先进的结构计算方法结合的产物。膜结构相对于常规的彩板结构具有适应大跨度,自重轻,环保,节能,施工周期短,安全可靠,耐腐蚀等特点。

2. 负压气膜大棚的结构组成

负压气膜大棚包括支撑体系,膜结构屋面,出入门系统,送风系统,尾气净化处理系统,安全监测系统,监控、照明系统,智能管理、控制系统等,见图1、图2[1]。

2.1. 支撑体系

气膜大棚屋面采用膜结构[2][3][4],结构长度135 m,跨度60 m,净空高度20 m,考虑到工艺、膜结构外形、刚度、安装方便、外观等要求,支撑体系采用网壳结构。

中部结构采用双层柱面网壳结构,正放四角锥体系;端部结构采用三角锥半球形网壳结构。杆件连接采用螺栓球和焊接球混合连接形式。



Figure 1. External reality map of closed yard

图 1. 气膜大棚外部实景图



Figure 2. Internal reality map of closed yard

图 2. 气膜大棚内部实景图

2.2. 膜结构屋面

膜结构屋面主要由膜材、辅材及与基础连接锚固系统构成。

鉴于膜材使用的场所环境条件比较特殊, 选用了 PVDF 膜材, 该膜材包括聚脂纤维基材、聚氯乙烯涂层、聚偏二氟乙烯面层等部分, 具有高效节能, 绿色环保, 安全可靠, 安装、维护方便, 高自洁性, 使用寿命长, 拆移方便、造型美观等特点。

为了满足网壳结构的安全, 膜不能与杆件紧贴, 只能是节点受力, 因此采用在螺栓球节点上设置支撑组件将膜整体抬高的方法, 膜和杆件完全脱离, 膜由螺栓和弧形钢板固定, 见图 3。在整个长度方向上将膜分为 5 个单元, 相邻膜单元间设置可以左右张拉的机构, 该机构可有效给膜体施加设计所需要的预张应力, 达到以抵抗不同工况的荷载。

2.3. 出入口系统

气膜大棚的出入口系统要保证与膜屋面紧密连接, 达到无泄漏要求。



Figure 3. The picture of membrane connection
图 3. 膜的连接方式

本系统设有两个车辆入口, 一个车辆出口, 一个人员出入门, 两个紧急情况安全门。车辆出入门的开、闭采用红外线感应, 可自动也可手动; 人员出入门采用自动控制的旋转门。

2.4. 送风系统

送风系统采用自垂式百叶窗自然通风, 无能耗、无噪音。正常情况下百叶由于自重而下垂, 隔绝大棚内、外空气交换, 大棚内气体不会向外泄露; 当大棚内气压小于外部气压而达到设定值时, 外部气流会将百叶吹开, 自然地向外补充新鲜空气。

2.5. 尾气净化处理系统

由于大棚是密闭空间, 在污染土的卸、堆、运作业时, 不可避免的会产生大量的粉尘、废气, 因此, 需要进行尾气净化处理。

本系统采用布袋除尘+活性炭净化工艺, 先通过布袋除尘, 将气体中大颗粒物进行初步过滤, 再进入活性炭净化器, 对污染土挥发出来的有毒气体进行吸附、集中处理, 最后达标排放。工艺组成见图 4。

该工艺技术成熟、净化效率高、设备简单、操作方便、经济性高。

2.6. 安全监测系统

为了保护大棚内作业人员的人身安全, 在大棚内设置一套有效的气体监测和控制系统, 一旦监测结果超出报警线, 智能控制中心会自动完成尾气净化装置与排风风机之间的切换, 自动启动活性炭净化装置对废气进行有组织吸附, 合格后进行排放。

同时, 会发出声光报警, 提示作业人员赶快撤出大棚, 保证人员人身安全。

2.7. 监控、照明系统

监控系统由高速变焦摄像头、硬盘录像机、显示器等组成。具有全方位、完整、清晰的监控存储功能, 通过监控系统对负压气膜大棚的集中监控, 可以在第一时间掌握气膜大棚系统运行情况的视频画面, 从而提高对气膜大棚的有效管理。

照明系统一是为了满足夜间作业需要, 二是为监测系统提供可靠的保障。

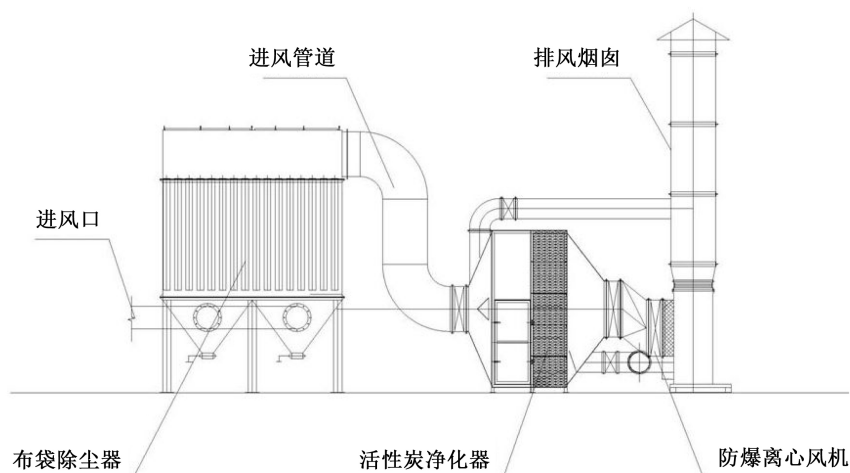


Figure 4. System of exhaust gas treatment
图 4. 尾气净化处理系统

2.8. 智能管理、控制系统

2.8.1. 系统组成及工作原理

智能管理、控制系统是负压气膜大棚的“大脑中枢”，由 PLC 控制系统、变频控制系统、双电源切换系统、高低压保护系统、报警系统等组成，各系统关系见图 5。

中心控制系统主要是为了维持膜内负压的自平衡系统，确保作业人员安全。系统将空气补充、通风、室内气体成份及浓度控制、风速感应、雪荷载控制、应急系统以及备用单元融为一体，操作简单方便，管理员可通过上位机对负压大棚进行全面的管理与控制。

2.8.2. 控制系统

1) 负压控制

大棚内负压设定值范围： -5 pa 到 -50 pa 。当大棚内有害气体浓度在安全范围时，只有 1 台排风风机运行，排风风机与尾气净化系统相连，既保证大棚内新风比例，又能达到环保要求，且风机为一备一用，变频控制，最大化节能状态。当大棚内有害气体浓度超出安全范围，报警装置紧急启动，监测系统会及时把信息传递给控制中心，PLC 系统将自动启动尾气净化处理系统，对大棚内的有害气体进行净化处理。

2) 电源控制

本系统正常运行时为外部供电，当其断电后，发电机接收到启动信号自动启动，当发电机运行平稳后，双电源切换系统会自动切入发电机备用电源系统。当外部电源恢复后，双电源切换系统会自动切入外部电源，与此同时发电机停止运转。

3) 报警控制

当发生长时间超过负压设定值(上限或下限)、风机过热、变频控制设备等故障时，中心控制系统会通过报警系统产生声光报警，在终端显示屏上也会出现相关故障警示。工作人员接到报警后，故障处理完毕，报警自动消除。

2.8.3. 智能管理系统

智能管理系统(即人机界面系统)可以很全面的掌握负压大棚设备的运行状态。根据业主不同的要求采用不同的控制界面方案，体现了智能管理可编辑性与灵活应用性。智能管理系统能够很好的与传感器、PLC、变频器结合，实现对棚内气压的控制，实现室内空气质量检测、温湿度检测、压力检测、压力自

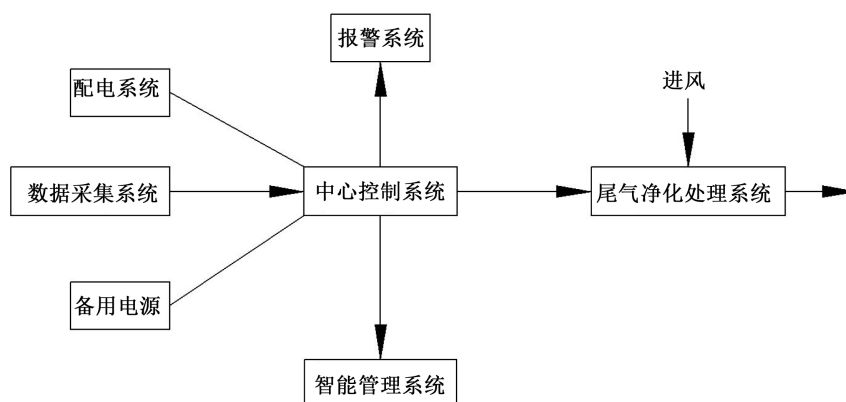


Figure 5. System of correlation diagram

图 5. 系统相互关系图

动调节、实时记录数据、绘制数据变化曲线、工作日志及日志查询、完善的报警功能及灵活的远程监视操作功能。

3. 负压气膜大棚的特点

负压气膜系统的主要安装工艺总流程如下: [1]

地基基础及挡墙施工 → 钢骨架安装 → 膜面安装 → 通道安装 → 控制系统安装 → 尾气净化处理系统安装 → 竣工验收。

主要的技术措施如下:

(一) 在螺栓球上设置支撑组件

双层网壳结构采用螺栓球节点, 选用的杆单元断面较小, 在微负压作用下, 膜面与杆单元紧贴, 膜面会将荷载直接传递到杆单元上, 不符合网壳计算分析中的基本假定, 即只有节点会承受荷载作用。所以, 采用在螺栓球节点上设置支撑组件将膜面整体抬高的方法, 膜和杆件完全脱离。

(二) 自垂百叶进风口

进风风阀系统采用铝合金自垂百叶, 进风口与排风口个数比为 2:1, 均匀布置于尾气处理系统设备两侧。当大棚内气压小于室外气压, 达到一定限值时, 外界气流会将百叶吹开, 自然向大棚内补充气体。自垂百叶进风口的大小根据大棚内外气压差的大小来选用, 以保证大棚内负压维持在一定范围内。

(三) 屋脊中部增设支膜钢管

由于大棚内部为负压气场, 膜面会在两相邻支撑组件间有较大的下凹塌陷, 而下凹塌陷膜面存在积雪和积水的安全隐患, 尤其是在膜屋面屋脊处, 膜面下塌的距离会更大。因此, 在屋脊膜面下方设置通长的方钢管梁, 作为柔性膜面的一个硬性支撑, 支撑必须与膜面紧贴。该方钢管两端与螺栓球通过加劲板连接, 采取这种措施可有效防止该安全隐患带来的破坏作用。

负压气膜大棚最大的特点是采用了负压膜封闭技术, 相对于正压气膜大棚而言, 正压气膜大棚的内部气体压力大于外部大气压, 在膜材屋面发生损坏时, 会导致内部废气泄露, 造成环境的二次污染; 负压气膜大棚内部气压小于外部大气压, 大棚内的废气不会外泄。采用膜结构符合高效节能, 绿色环保的要求。同时还有如下特点:

- 1) 将污染土壤释放的污染气体进行密闭, 达到基本零泄漏;
- 2) 使作业区域释放的污染气体由无组织排放变为有组织排放;
- 3) 通过对有害气体进行有组织强制流动, 使污染土中的气体快速释放, 缩短处理周期;

- 4) 消除了大风、雨雪等恶劣天气对正常作业的影响, 实现全天候作业;
- 5) 减小降雨通过污染土下渗, 产生的渗滤液对地下水的污染;
- 6) 减少污染土处理过程中对周围环境的危害。
- 7) 膜结构采用网壳结构支撑, 相比正压气膜来说, 投资增加。

4. 结论

负压气膜大棚自投入使用以来, 运行状态良好, 已经通过北京市环保部门组织的验收, 成为我国第一座实现无废气泄漏、地面抗渗漏、可以全天候作业的环保型负压气膜大棚。2016年5月31日, 国务院下发了《国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知》(国发[2016]31号), 对污染土壤治理与修复的主体责任、规划利用、监管等提出了明确要求, 土壤治理与修复产业将会得到快速、健康的发展, 负压膜封闭技术将会得到进一步推广应用。

参考文献

- [1] 宋小兵, 陈小五, 李中立. 负压气膜建筑系统[C]//第十六届全国现代结构工程学术研讨会, 聊城, 2016.
- [2] 李中立, 吴健生. 国外膜结构在大跨度结构中的应用与发展趋势[J]. 空间结构, 1996(3): 51-55.
- [3] 张毅刚. 从国外近年来的应用与研究看膜结构的发展[J]. 钢结构, 2013(11): 1-9.
- [4] 陈务军. 膜结构工程设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org