

充气膜结构煤炭堆场火灾自动报警系统设计

宋英麟, 孙鲁

(中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 天津 300222)

摘要: 充气膜结构利用柔性膜材料内外气体之间的压力差形成具有稳定形态和刚度的气膜结构, 由于充气膜结构跨度大, 建设周期短, 经济可回收等优势, 已广泛应用于民用及大型工业堆场等领域。本文依托邢台国泰发电有限公司煤炭储运堆场全封闭工程 BOT 项目经验, 主要介绍煤堆场充气膜结构火灾自动报警系统的设计方案, 并对该系统的应用效果进行了评价。本文方案对于防范初期火灾、降低粉尘及可燃/有毒气体浓度效果良好, 为相似工程提供一定的实例经验。

关键词: 充气膜结构; 火灾自动报警系统; 可燃气体; 粉尘浓度

中图分类号: U169.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 11—0062—03

充气膜结构利用柔性膜材料内外气体之间的压力差形成具有稳定形态和刚度的气膜结构, 由于充气膜结构跨度大, 建设周期短, 经济可回收等优势, 已广泛应用于民用及大型工业堆场等领域^[1]。在中国共产党第十九次全国代表大会的报告中提出了坚持人与自然和谐共生, 树立和践行绿水青山就是金山银山的理念, 坚持节约资源和保护环境的基本国策^[2]。在认真贯彻落实这一环保理念的背景下, 本文依托邢台国泰发电有限公司煤炭储运堆场全封闭工程 BOT 项目, 研究了煤炭堆场充气膜结构火灾检测系统、可燃气体及有毒气体浓度监

测系统、粉尘浓度监测系统、消防水炮联动控制系统及消防广播系统的设计及应用。

1 工程概况

本文依托河北邢台国泰发电有限责任公司 #5, #6 煤炭堆场封闭工程。在堆场煤炭带式输送装置传输过程中, 在带式输送装置的转运点、落料点等区域, 易产生大量粉尘污染周边环境。为解决堆场作业过程中的扬尘问题, 避免生产过程中产生粉尘及可燃气体的污染, 国泰发电有限公司加大投入, 对国泰公司 #5、#6 煤炭储

来描述缓流区域的规模与强度, 具体数据如表 2 所示;

表 2 回流区域特征统计表

(cm/s)	$S(\text{cm}^2)$	$u(\text{cm/s})$
5	8.43	0.57
10	10.50	1.71
15	12.40	1.89
20	12.93	2.68

从表中可以看出, 随来流速度的增大, 回流区域的面积和平均流速均增大, 平均流速为来流速度的 11.3%~17.1%;

4 结论

六角型人工鱼礁具有透水特性。透水特性可以有效地减小鱼礁对原有水动力环境的影响, 在水流通过鱼礁时结构整体无显著的固定边界剥离点, 从而有效地减少了大涡结构的形成。在垂向上, 水流可以顺畅通过结构内部空腔并充分掺混, 有利于上升流的形成与发展。因此六角型人工鱼礁更易于构造适宜鱼类生存的柔和流场。

(1) 六角型人工鱼礁周围的流场结构较为稳定,

随时间变化较小, 随来流速度的增加变化较小, 流场效应稳定且无大涡结构的产生。

(2) 六角型人工鱼礁的上升流区域集中于鱼礁内部空腔处, 最大流速为来流速度的 35.4%~47.5%; 六角型人工鱼礁后侧由小规模回流形成, 平均流速为来流速度的 11.3%~17.1%。

参考文献:

- [1] 张硕, 孙满昌, 陈勇. 不同高度混凝土模型礁背涡流特性的定量研究 [J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(4): 278-282.
- [2] 刘洪生, 马翔, 章守宇, 等. 人工鱼礁流场效应的模型试验 [J]. 水产学报, 2009, 33 (2): 229-236.
- [3] 于定勇, 赵伟, 王逢雨, 等. 不同布设间距下梯形台人工鱼礁体的水动力特性研究. 海洋与湖沼, 2020, 51: 283-292.
- [4] 付东伟, 陈勇, 陈衍顺, 等. 方形人工鱼礁单体流场效应的 PIV 试验研究 [J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(1): 82-85.
- [5] 刘彦. 人工鱼礁水动力特性数值与实验研究 [D]: (博士学位论文). 大连: 大连理工大学, 2014.

运堆场进行改造，建设全封闭充气膜结构煤炭储运环保设施。该环保设施采用单层充气膜加钢缆网结构形式，充气薄膜外尺寸长约162米，宽约92米，高约31米。封闭煤场总面积约为一万五千平方米。

全封闭充气膜结构煤炭储运环保设施，依靠柔性膜材料内外气体的压差支撑整个气膜结构，不需要任何的承重结构，由于材料的柔韧性和结构固有的有效性和弧形的体形，没有受弯、受扭和受压的构件。因此该工程具有结构跨度大，施工周期短，建设成本较低，环保质量高等优点。

该工程#5和#6煤堆场主要设备为DQL1200/800·30型悬臂式斗轮堆取料机。堆场封闭后充气膜结构设置两个汽车出入卷帘门、四个人员进出气密门、四个消防应急密闭门，两个带式输送机密闭装置室。

本工程充气膜结构设施内设有火灾自动报警系统（含可燃气体及有毒气体检测系统、粉尘浓度检测系统等子系统）、电气系统（含照明系统、防雷接地系统等子系统）、气密系统、喷淋系统、消防系统、自动煤场盘煤仪系统等系统。保障充气膜结构封闭煤堆场安全、环保、可靠的运行。



图1 全封闭气膜罩式堆煤环保设施航拍图

2 充气膜结构火灾危险性

充气膜结构的火灾危险性主要考虑充气膜材料自身耐火能力和保障封闭膜结构内人员安全两大方面^[3]。

本工程全封闭气膜罩式堆煤环保设施的充气膜材采用G类膜材，即在以玻璃纤维作为基布纤维的表面涂敷树脂或橡胶等聚合物涂层的建筑纺织品。G类膜材的耐火阻燃性能较好，可归为不燃材料。

全封闭膜结构罩式堆煤环保设施除充气膜材燃烧的风险外，还要考虑膜材在火灾情况下受到破坏以及封闭膜结构内堆存转运煤炭过程中所产生的粉尘、可燃气体积聚造成爆炸对充气膜结构稳定性的影响，保障封闭膜结构内现场作业人员的生命安全。

3 火灾自动报警设计方案

本文设计的火灾自动报警系统由火灾检测系统、可燃气体及有毒气体浓度监测系统、消防广播系统、消防水炮联动控制系统、粉尘浓度监测系统等子系统组成。火灾自动报警系统控制主机设于封闭膜结构外的厂区消防控制中心。

3.1 火灾检测系统

火灾检测系统包括红外火灾探测器，手动报警按钮，声光报警装置等火灾检测报警设施。在全封闭膜结构罩式堆煤环保设施气膜顶部均匀布置16台防爆双波段红外火灾探测器。所用探测器具有火焰探测功能，十分适用于膜结构煤炭储运堆场这种大空间的场所。双波段红外火灾探测器可通过红外技术判断现场温度变化，识别出工作人员不易察觉尚在阴燃阶段的火情。此外，在汽车出入卷帘门、人员进出门、消防应急门及堆场消防通道中设置手动报警按钮，当封闭充气膜结构内工作人员发现火情时，可手动按下报警按钮，报警信号将传至控制室火灾自动报警系统控制单元，同时启动封闭充气膜结构内的声光报警装置，提醒现场工作人员安全撤离。

3.2 可燃气体及有毒气体浓度监测系统

由于本工程封闭膜结构内长期堆存煤体，在堆存及转运过程中易释放瓦斯、甲烷、硫化氢、一氧化氮等可燃气体及有毒气体。为避免可燃气体及有毒气体体积聚，保障现场人员安全，设置可燃气体及有毒气体浓度监测系统。根据有害气体与空气的相对重力，现场空气流动特点，设备及建构筑物的布置等因素^[4]设计可燃气体和有毒气体检测点位，在膜结构的顶部、消防通道及人员出入口以及带式输送机沿线的地面设置可燃气体/有毒气体检测器及声光报警装置。本工程除设置固定式检测装置外，同时为进入封闭膜结构堆场的工作人员配备便携式可燃气体及有毒气体检测装置。固定式可燃气体和有毒气体检测装置的检测报警信号接入控制中心的可燃气体/有毒气体浓度监测系统主机。可燃气体和有毒气体的检测报警采用两级报警方式，当浓度超标时，向火灾自动报警系统发出报警信号，联动防排烟系统启动充气膜顶部排烟带，并启动声光报警装置。

3.3 粉尘浓度监测系统

全封闭气膜结构作为相对密闭的空间，在生产作业过程中产生的煤尘极易扩散充满整个气膜结构，一旦浓度达到粉尘爆炸的上限，煤尘遇到电火花就会发生粉尘爆炸，造成重大安全事故。因此，本工程在气膜拼接缝

处均匀吊装粉尘浓度检测器，实时监测封闭膜结构内的粉尘浓度。当粉尘浓度超过警告上限值时，联动启动膜结构内洒水喷淋喷枪设备，以降低封闭膜结构内粉尘浓度，防止膜结构内发生粉尘爆炸。

3.4 消防水炮联动控制系统

该项目在膜结构内被保护区域内设计了电控消防水炮灭火系统。在被保护区域内共设置 14 套电控消防水炮，实现了封闭气膜结构内堆场的全覆盖，任何着火点都在 2 套消防水炮的保护范围内，前端解码控制箱与现场手动控制箱已集成一体化。此外，每套消防水炮前端均配置有高清摄像机，电控消防水炮灭火系统可通过人或监视系统对消防炮进行现场或远程控制，启动消防水泵进行灭火补救。在火灾自动报警系统收到报警信号后，火灾自动报警控制器可以联动启动消防泵。当现场作业人员发现火情后，如果封闭膜结构内的火情火势不强、可以控制，现场作业人员可通过消防水炮无线遥控器来远程启动电动阀和消防泵，遥控现场消防水炮瞄准着火点实施灭火；如果现场作业人员无法在第一时间获得遥控器，工作人员还可以通过设于现场的手动控制箱来启动电动阀和消防水泵，控制消防水炮对准火灾发生点扑灭火灾。当现场火情情况危险、火势非常强烈、现场作业人员无法靠近手动控制箱时，作业人员可到本工程消防控制中心，通过设在消防控制中心的消防炮集中控制柜配合监控系统的现场监控画面远程控制消防水炮对准火灾发生点扑灭火灾。

3.5 消防广播系统

当封闭膜结构内发生火灾时，火灾自动报警系统及时准确地发出警报，对保障安全生产、保证作业人员安全及时地撤离具有至关重要的作用。本工程在全封闭气膜结构内沿墙壁挂式安装消防应急广播扬声器，消防应急广播的联动控制信号由火灾自动报警系统联动控制器发出。当确认火灾后，同时向膜内所有区域进行广播，对生产作业人员发出警报，警示人员及时撤离现场^[5]。

4 效果评价

本工程目前已投入生产运营，充气膜结构内设置的火灾自动报警系统使人们能够及时发现初期火灾、粉尘浓度超标、可燃气体浓度超标等危险情况。当发生火灾时，火灾自动报警系统可联动消防系统及时采取有效措施，扑灭初期火灾，最大限度地减少因火灾造成的生命和财产损失。

当可燃气体浓度超标时，火灾自动报警系统将联

动防排烟系统，启动充气膜结构顶部排烟带，同时风机进入强排风换气模式，以迅速降低封闭膜结构内的可燃/有毒气体浓度，防止封闭膜结构内发生可燃气体爆炸及现场作业人员中毒。当粉尘浓度超标时，火灾自动报警系统将联动洒水喷淋喷枪设备，以减小封闭膜结构内粉尘量，防止全封闭气膜内发生粉尘爆炸。表 1 为全封闭气膜结构煤堆场在生产运营过程中的各项指标监测数据。

表 1 煤堆场生产运营过程中的监测数据

序号	变量名	变量值
1	北侧膜结构主压差 1	181.95 Pa
2	南侧膜结构主压差 2	178.85 Pa
3	西侧膜结构主压差 3	178.00 Pa
4	东侧膜结构主压差 4	179.63 Pa
5	膜结构内粉尘浓度 1	6.05mg/m ³
6	膜结构内粉尘浓度 2	9.92mg/m ³
7	膜结构内粉尘浓度 3	8.35mg/m ³
8	膜结构内粉尘浓度 4	6.87mg/m ³
9	膜结构内甲烷浓度 1	0.14 LEL
10	膜结构内甲烷浓度 2	0.14 LEL
11	膜结构内甲烷浓度 3	0.12 LEL
12	膜结构内甲烷浓度 4	0.13 LEL
13	膜结构内一氧化碳浓度 1	6.37 ppm
14	膜结构内一氧化碳浓度 2	4.73 ppm
15	膜结构内一氧化碳浓度 3	5.65 ppm
16	膜结构内一氧化碳浓度 4	4.98 ppm
17	膜结构内风速	0.62 米 / 秒
18	膜结构压差设定值	180.00 Pa

5 结语

在践行绿水青山就是金山银山理念的大背景下，社会各行业的环保意识不断增强，充气膜结构依靠其诸多优势广泛应用于大型工业堆场环保设施改造领域。今后在充气膜结构的火灾自动报警系统设计中，应与生产单位加强合作、深入交流，共同推动充气膜结构火灾自动报警系统体系的完善和发展。

参考文献：

- [1] 王珏. 充气膜结构在邢台发电厂煤炭堆场上的应用 [J]. 港工技术, 2018(S1): 59-62.
- [2] 易赛莉, 曾斌. 充气膜结构火灾温度场特性研究 [J]. 消防科学与技术, 2016, 35(011):1507-1510.
- [3] 郭峰. 织物膜材燃烧特性及火灾时充气膜结构整体稳定性分析 [D]. 中国矿业大学, 2016.
- [4] GB/T 50493-2019 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.
- [5] GB 50116-2013 火灾自动报警系统设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.