

浅析泡沫混凝土砌块在退序工程中的应用

陆玉倩

上海市民防监督管理事务中心

摘要：本文结合工程实例，将采用泡沫混凝土砌块回填法的退序工程作为研究对象。主要从泡沫混凝土砌块的材料特点、性能参数、砌筑方法到退序工程回填结束后内部砌块压力监测以及对工程周边环境的影响开展安全可行分析，在确保退序工程结构风险消除的同时减少因填埋带来的新隐患。为类似周边环境复杂的退序工程填埋提供可借鉴的思路。

关键词：泡沫混凝土砌块；回填法；退序工程；结构风险

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.04.034

一、引言

上海市中心城区存在一定数量20世纪70至80年代建造的早期人防工程，受限于当时的时代背景，早期人防工程建设标准和质量不高，面积较小、结构简单。伴随着中国前进的步伐，人防事业也在高质量发展，70至80年代早期人防工程内的防护设备设施已不能满足现行标准的要求，且大部分已丧失战时防护功能。经过长时间的使用，早期人防工程内的安全隐患日益突显^[1]。

人防主管部门将现存防护功能丧失的公用工程列入退出民防序列工程（以下简称“退序工程”）。退序工程的处置方法目前有整治利用法、封堵法、回填法或其他处置方法^[2]。对于结构风险等级评估为高、中或低，适用性评价具有改造利用价值，通过消防和其他风险评估结果为风险可控的宜采用整治利用法；对于结构风险等级评估为高、中或低，适用性评价结果显示不具有改造利用价值或适用性评价具有改造利用价值但消防或其他风险不可控制的宜采用封堵法；对于结构风险等级评估为极高的宜采用回填法处置^[2]。

二、背景

虹口区区域范围内现有200余个退序工程，通过前期风险评估工作，确定其中60余个工程结构风险评估等级为极高，宜采用回填法处置^[2]。60余个退序工程主要位于学校操场、小区花园、小区内部道路等下部，人防结构分别为砖拱顶板和钢筋混凝土顶板，覆土厚度范围为0~1.8m。当其上部的人员荷载、车辆荷载和堆物荷载超过了结构承受的临界值，会有坍塌的可能性。一旦上述退序工程发生结构坍塌，将直接导致在工程上部活动的学生、居民、车辆和堆物发生坠落，造成人员伤亡

及财产损失的严重后果，为避免坍塌风险的发生，安全隐患整治工作势在必行。

三、退序工程回填材料的选择

《退出民防序列工程处置技术标准》（DG/TJ08-2323-2020）中明确的回填方法有两种，分别是泡沫混凝土回填法和沙回填法。但在实际应用过程中，两种方法均存在着局限性。结合虹口区退序工程大多位于老旧小区和学校内，现场道路狭小、周边环境复杂，故探索性的应用泡沫混凝土砌块这一新材料。

（一）泡沫混凝土回填法和泡沫混凝土砌块回填法的比较

采用现浇泡沫混凝土回填法，现场施工工艺流程主要包括：制备发泡泡沫、拌制水泥浆、将预发泡泡沫与水泥浆体混合以及向工程内浇筑^[3]。泡沫混凝土回填法从材料制备到浇筑各环节均有时间和浇筑长度、厚度的限制，且泡沫混凝土回填法易造成回填空腔现象。退序工程现场施工场地较小，施工车辆停放受限，施工过程中产生的大量粉尘和噪音，对周边环境造成较大影响。

泡沫混凝土砌块材料轻质、运输方便，可以工厂预制，尺寸多样，加工灵活，根据退序工程现场实际情况测算后向工厂定制，施工现场不产生污染，环保效益良好^[4]。采用泡沫混凝土砌块回填的退序工程施工过程中产生的噪音小并且施工质量可控。

（二）沙回填法和泡沫混凝土砌块回填法的比较

沙回填法适用于单建式退序工程的处置，不能用于上部有建筑物的附建式退序工程的处置。另外，沙回填法会增加地基的附加应力，有导致填埋后工程沉降的风险。

泡沫混凝土砌块内部含有大量封闭气孔，密度小，自重轻，能显著降低建筑静荷载^[4]。泡沫混凝土砌块回填法能应用于单建式和附建式退序工程的处置。

（三）选用泡沫混凝土砌块回填法

上海地区的地质环境条件主要是饱和和软土，要考虑填埋材料对地基附加应力的影响，应优先选用轻质回填材料以降低对地基的附加应力。经过现场踏勘，虹口区60余个退序工程现场可用于开展施工的场地有限，工程处于居民小区和学校内对施工噪音和粉尘控制要求高，鉴于诸多因素的限制，最终选用泡沫混凝土砌块回填法处置。

四、泡沫混凝土砌块性能参数

由于泡沫混凝土砌体的抗压强度低于单个砌块的抗压强度，根据《退出民防序列工程处置技术标准》（DG/TJ08-2323-2020），同时结合对虹口区退序工程结构上部荷载的现场调研实际，泡沫混凝土砌块的抗压强度至少选择1.0MPa。根据泡沫混凝土干密度与强度的大致对应关系，选择泡沫混凝土砌块的干密度等级不低于B04级。《退出民防序列工程处置技术标准》（DG/TJ08-2323-2020）中未对泡沫混凝土体积吸水率作明确规定。

（一）回填现场泡沫混凝土砌块的抗压强度、干密度和体积吸水率

泡沫混凝土砌块回填法用于退序工程的处置是一种新方式，为确保该回填法的安全可行，对其性能参数开展检测和试验。

抽取虹口区20个退序工程回填处置现场的填埋砌块试样，送至有资质的第三方检测机构进行检测。检测结果显示20个工程现场抽检的泡沫混凝土砌块的抗压强度介于1.04~1.62MPa，干密度介于350~550kg/m³，体积吸水率介于14.9%~31.5%，数据详见表4.1。泡沫混凝土砌块的抗压强度、干密度均满足《退出民防序列工程处置技术标准》（DG/TJ08-2323-2020）的要求。

表4.1 抽检工程泡沫混凝土砌块的抗压强度、干密度和体积吸水率性能参数

工程序号	干密度kg/m ³	抗压强度MPa	体积吸水率
1	362	1.20	22.40%
2	360	1.29	22.00%
3	374	1.24	23.60%
4	368	1.26	23.20%
5	356	1.32	31.50%
6	402	1.04	17.60%
7	402	1.04	17.60%
8	393	1.32	26.80%
9	446	1.44	21.70%
10	446	1.44	21.70%
11	550	1.62	18.30%
12	396	1.34	25.90%
13	350	1.27	20.40%
14	360	1.28	22.20%
15	350	1.20	21.50%
16	406	1.04	18.70%
17	398	1.08	18.20%
18	465	1.26	14.90%
19	447	1.10	15.80%
20	394	1.10	9.40%
平均值	401.25	1.24	20.67%

（二）泡沫混凝土砌体结构承载力试验

退序工程回填处置后，仍然存在因工程结构风险极高而带来的渗漏水问题，泡沫混凝土砌体要承受浸水考验。而且工程顶板一旦失效，工程上部所有荷载将直接作用于泡沫混凝土砌体上。为此有必要对泡沫混凝土砌体进行浸水条件下结构承载力试验，用数据进一步验证泡沫混凝土砌体在泡水环境下，其承载力是否会降低。

试验开始前选定承载力特征值，假定退序工程处于最不利工况，即工程顶板失效后，工程顶板、上部覆土、人群荷载、堆物荷载和车辆荷载全部由泡沫混凝土砌体承受，最终将承载力特征值定为250kPa。选取抗压强度为1MPa的泡沫混凝土砌块、砂浆强度等级为M2.5，将砌块砌筑成2100mm×2100mm×1800mm尺寸的砌体开展试验。试验数据详见表4.2。

表4.2 泡沫混凝土砌体结构承载力试验

试验组	工况	点号	最大加载(kPa)	加载250kPa对应沉降(mm)	压板沉降量为7.07所对应的荷载(kPa)	承载力特征值(kPa)
第一组	无水环境	1#	500	1.87	>500	250
		2#	500	1.15	439	250
		3#	500	2.37	>500	250
第二组	有水环境 (浸泡270天)	4#	500	3.09	399	250
		5#	500	7.01	252	250
		6#	500	2.18	424	250

试验最大加载量为500kPa，试验过程中，均未出现泡沫混凝土砌体破坏现象，每级荷载均能达到稳定状态，各试验组砌体结构设计承载力特征值均满足250kPa的要求。第二组（泡水270天）比第一组沉降量大，可能为第二组地基土由于长期泡水原因，受压过程存在较大变形。

泡沫混凝土砌体实际应用于退序工程内，工程底板为钢筋混凝土结构，相比试验环境的露天地基土更坚实稳定。应用泡沫混凝土砌块回填法在消除工程顶板坍塌风险的同时能稳定支撑上部荷载。

五、泡沫混凝土砌块砌筑

退序工程填埋施工前要进行工程现场的实地踏勘，如发现工程内存在积水和存放废弃物的情况，要进行处置，同时要检查回填空间的连通性。如果工程结构存在开裂、渗水、坍塌的情况，要及时落实好临时性处置措施，并确保处置措施有效后再进入下一步的施工环节。

结合虹口区60余个填埋退序工程的建筑面积、结构最大跨度、上部结构、周边环境（距离地铁线路、高架桥等重要市政设施的距离），对其进行重要性等级分类，分为I级（非常重要）、II级（较重要）、III级

表5.1 退序工程重要性等级评定表

重要性等级		III级（一般）	II级（较重要）	I级（非常重要）
$\alpha + \beta + \gamma + \delta$		4~5	6~8	9~12
影响因素重要性系数取值				
影响因素重要性系数		1	2	3
α	建筑面积（s）	$s \leq 500\text{m}^2$	$500\text{m}^2 < s \leq 1000\text{m}^2$	$s > 1000\text{m}^2$
β	结构最大跨度（L）	$L \leq 2\text{m}$	$2\text{m} < L \leq 6\text{m}$	$L > 6\text{m}$
γ	上部结构	公园绿地、小区绿地等	教学楼、住宅、办公等	学校操场道路、小区道路、市政道路
δ	周边环境（工程距离地铁线路、高架桥等重要市政设施的距离a）	$a > 30\text{m}$	$10\text{m} < a \leq 30\text{m}$	$a \leq 10\text{m}$

注：周边环境中，若退序工程设施距离重要市政设施30m以内时，上部结构重要性系数 γ 取3。

（一般）。

泡沫混凝土砌块回填的砌筑方式有整体马牙槎砌筑、双墙马牙槎砌筑或单墙马牙槎砌筑三种方式。对I级（非常重要）、II级（较重要）退序工程，泡沫混凝土砌块回填时采用整体马牙槎或双墙及以上马牙槎砌筑；对于III级（一般）退序工程采用单墙马牙槎砌筑。对于退序工程底板标高不同时，应从低处开始砌筑，并由高处向低处搭接。泡沫混凝土砌块砌体墙与工程结构面交界处采用M2.5强度等级的砂浆捣实，避免通缝的出现。

在砌筑施工过程中，不仅要进行泡沫混凝土砌块的性能参数复核，还要对现场砌筑质量进行检测，同时要对周边环境进行监测，确保施工过程不影响周边环境。

六、泡沫混凝土砌块回填后持续性压力监测

在泡沫混凝土砌块回填前已开展相关指标的检测和结构承载力试验，但为了掌握泡沫混凝土砌块实际回填后在工程内的抗压强度变化，抽取了10个重要性等级较高的退序工程，在回填过程中选择重点部位安装砌块沉降监测传感器装置。沉降监测传感器装置在砌块砌筑过程中同步安装，后续留存在工程内不做回收。10个工程根据面积大小选择1~2个断面，每个断面设置3~4个传感器。

退序工程回填结束后，从沉降监测传感器接收到的数据显示，其中4个工程监测初期，压力数据有所增加，目前已趋于平稳；其他6个工程数据基本平稳。通过回填后持续性压力监测进一步证实泡沫混凝土砌块回填法在退序工程中的应用是安全可行的。

七、回填退序工程周边环境监测数据

在退序工程回填处置后，也应确保周边环境的整体安全可控。针对性的抽取20个重要性等级较

高的回填工程，监测其周边环境在处置前后的变化，监测结果显示，各工程点位沉降测点累计沉降值介于-2.52mm~2.04mm之间，裂缝宽度变化量介于-0.1mm~0.1mm，倾斜率变化量-0.4‰~0.4‰之间。整体变化较小且变化无明显规律，主要以测量误差等为主。此外，周边环境巡查结果显示也未见异常。

虹口区的退序工程填埋处置后未出现监测数据异常的情况。如有不利情况的发生即监测数据有异常波动，我们可采取钻芯检测的手段来判断退序工程内部填埋的泡沫混凝土砌块的变化。在退序工程的地面上选取合适的位置进行钻芯取样，将样品送检，结合检测结果及时有效的采取补救措施。

八、结束语

本文结合虹口区的工程实例进一步证实了泡沫混凝土砌块回填法应用于退序工程是安全可行的。使用该方法处置后的工程不仅消除了结构风险隐患，保证了工程上部居民和学生脚下的安全；也为其他需要回填处置的早期人防工程提供了一种新思路和新方法。

参考文献

[1] 孙海朋, 刘乐. 早期人防工程结构安全隐患治理技术研究[J]. 城市住宅, 2017, 24(05): 125-128.
 [2] DG/TJ08-2323-2020. 退出民防序列工程处置技术标准[S].
 [3] 马永政, 温小栋, 冯蕾等. 早期人防隧洞工程泡沫混凝土现浇回填施工应用研究[J]. 土工基础, 2021, 35(05): 553-556.
 [4] 李举林, 何香, 尧荣辉. 混凝土砌块建筑的技术优势及设计构造特点[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(17): 3-4.