

城市受限空间富水地层下早期人防工程回填方法

史启新 刘 桥 余西洋 刘圣明
中建五局土木工程有限公司 湖南 长沙 410004

摘 要：城市早期人防工程由于年代久远、建设标准低、缺少维护，其建筑限界已不满足当前规范要求，并出现不同程度的开裂、渗水、坍塌等病害，大部分已丧失战争防护功能，对于已无法利用，荒废失修的人防工程，采取回填处理消除安全隐患。本文以郑州“7401工程”人防隧道回填为例，阐述城市有限作业空间富水地层下，老旧人防隧道采用膜袋吹砂回填技术，可达到降低安全风险，缩短工期，降低造价，回填密实效果。

关键词：城市；人防隧道；富水；膜袋吹砂；回填

引言

二十世纪六七十年代，在“深挖洞、广积粮、不称霸”的号召下，很多城市，尤其是城市核心区建设了大量的人防工程。

早期人防工程修建年代久远、结构性能下降，由于当年工程勘察、结构设计、施工质量及防水技术的限制，防水设计考虑不周、防水施工质量差等方面的原因，防水质量达不到要求，已不能达到结构自防水的要求，人防隧道渗漏严重，给正在运营和即将建设的地下建筑结构带来一定的安全隐患，且严重影响周边建筑物安全。对于已无法利用，荒废失修的人防工程，采取回填处理消除安全隐患。

考虑城市富水地层下施工的可实施性、地下空间后期二次开发利用的便利性以及工程投资方面的因素，人防隧道的回填方案、回填工艺及回填材料的选择尤为重要。

1 基本情况

“7401工程”是1974年河南省委、省政府批准结合地铁而建的重点人防工程。项目于1974年修建，1984年停工，工程位于郑州市中原区、二七区结合部，建设路下方，项目建成段全长3270米，埋设地下22-30米，现存5个竖井。由于工程建设年代久远，结构性能下降，多处渗漏严重，特别是自2021年7·20郑州特大暴雨以来，地下水位上升，工程全线被水包裹，隧道洞内积满水，长期泡水，结构稳定性差，大部分已丧失战争防护功能，不仅在很大程度上影响了其人防工程的适用性和安全性，也严重影响临近地铁、桥梁及周边建筑物的安全。为消除老旧人防洞内长期积水的安全隐患，采取废弃回填处理。

2 富水地层下回填材料、方法选择

目前，城市富水地层下人防隧道回填材料主要有：泡沫混凝土、水下混凝土、水泥砂浆、砂、固态硫化土等。

从回填材料、回填方法，技术优缺点进行分析对比，选用最优方案。

回填材料	泡沫混凝土	水下混凝土	固态流化土	砂石	中粗砂	水泥砂浆
回填方法	洞内抽干积水，止水堵漏，泡沫混凝土分层填充	地面钻孔，直接灌注水下混凝土	洞内抽干积水，添加外加剂拌合土，管道输送回填	地面钻孔，直接向隧道内钻孔填砂石	通过竖井，远距离，膜袋吹砂回填	管道注浆或地面钻孔注浆回填
技术优点	工艺成熟，流动性好、可远距离输送、造价较低	速度快、无需抽水	流动性好，造价较低	造价低，无需抽水	吹砂回填，可带水作业，远距离输送，成本低、速度快	流动性好，远距离输送，速度快
技术缺点	抽干洞内积水安全风险大、止水堵漏成本高、工期长	成本高，地面钻孔对交通影响大，混凝土强度高，不利于二次地下开发利用	抽干洞内积水安全风险大，水质污染严重	城市地面钻孔，影响交通通行，协调难度大，后续道路恢复麻烦	砂中含泥量高，损耗较大	水体污染大，成本高，地面若钻孔交通影响大
方案比选	安全风险大，止水成本高，不建议选用	成本太高，不建议选用	水质污染，不建议选用	道路破坏，影响交通，不建议选用	速度快、成本低、安全风险降低推荐选用	成本高、污染大，不建议选用

人防隧道回填常采用泡沫混凝土回填，在富水地层下，人防隧道常积水，隧道内大量抽水会打破洞体内外水压受力平衡，易发生坍塌等安全隐患。部分隧洞渗漏水特别严重，洞内积水始终无法抽干。渗漏水稀释泡沫混凝土，破坏气泡，容易沉降，并且洞内积水处无法回填密实，影响回填质量。泡沫混凝土回填，须分层分仓回填，泡沫砼待强时间久，效率低、工期长。泡沫砼现场搅拌易造成扬尘污染，洞内外水质污染。^[1]

通过综合比选，城市富水地层下采用膜袋吹砂远距离回填，可带水作业无需抽干洞内积水，该施工方法安全性高、成本低、速度快、质量可靠、绿色环保，具有良好的经济效益和社会效益。

3 富水隧道膜袋吹砂回填工艺

3.1 膜袋吹砂回填工艺流程

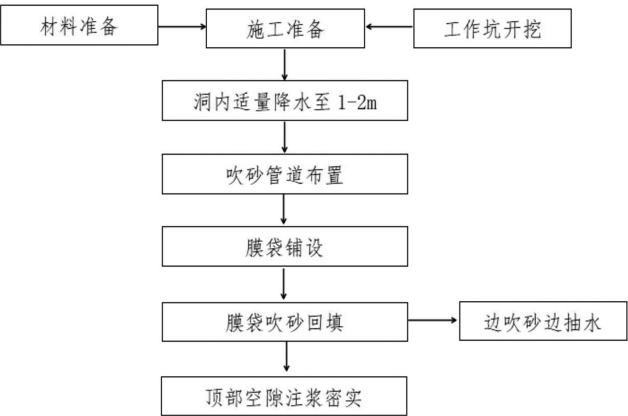


图1

3.2 施工准备

在人防隧道竖井周边场地设置存料区，吹砂材料宜选用轻质砂，其含泥量不大于5%，不能使用淤泥质疏浚土。组织人员、材料、机械等资源进场，做好吹砂施工准备。

3.3 适量降水

富水地层下，人防隧洞年久失修、渗漏严重，洞内积满水。先适量降水，通过竖井，利用大功率潜水泵抽排水，排水至周边市政官网或临近河道，洞内降水至1-2m，保证作业空间。



图2 人防隧道适量降水

3.4 布置管道

吹砂管线竖井通道采用PE硬管，避免爆管且便于固定。地面和隧道内部吹砂管道采用高压耐磨水带，隧洞内部管道利用浮筒固定漂浮在水面上方，浮筒每隔5米安装一个，管道端头接入膜袋里面。

管线布设尽量避免穿越障碍物，同时尽量避免管线形成过急弯曲。同时确保管线接头密封牢固，防止泄漏造成沿线堵塞。



图3 布置吹砂管道

3.5 铺设膜袋

膜袋采用聚丙烯编织布制作，具有透水性，膜袋长度一般30-50m，膜袋宽度根据隧道断面尺寸确定。每个膜袋预留4个吹砂口，分别布置于膜袋两端（每端两个），吹砂口直径为20cm，长度为40cm。

铺设时注意保持吹砂口朝上，同一层膜袋之间布设应紧凑，上下层膜袋之间在扣环处必须采用拉筋连接牢固；同时上下层膜袋错缝按5m控制，杜绝出现通缝情况。

3.6 膜袋吹砂

在吹砂起点处挖设20m³的工作坑，工作坑顶面铺设钢筋网过滤杂物，通过挖机将河砂运送至工作坑边缘，采用高压水枪在冲刷工作坑边缘的砂，使砂水搅拌均匀流入工作坑内，砂水比例1：4，采用大功率高压泥浆泵将砂水混合料从工作坑内沿管道吹入膜袋（输送距离可达1km），直至膜袋充满即可。多余的水从透水膜袋过滤出来，一部分抽排至市政官网，一部分通过高压水枪冲砂循环利用。

3.7 拱顶注浆

膜袋吹砂在完成最后一层前，在膜袋顶面至隧道顶部弧形位置处，提前在隧道拱顶预留注浆管。吹砂完成后，砂层经过固结、沉降，采用砂袋或者木模端头封模，通过预留注浆管注浆回填密实，注浆材料采用42.5级普通硅酸盐水泥，水灰比1：1。



图4 泥浆泵抽沙



图5 洞内吹砂填筑



图6 顶部空隙注浆

3.8 竖井拆除

隧道洞体回填完成后，最后回填竖井通道，采用砂

石分层回填夯实，地面以上竖井凿除恢复地面。

4 实施效果

4.1 质量、安全、工期效益

提升回填质量，由于膜袋的约束作用，砂饱水自密实特点，砂层整体稳定性好，最后顶部空隙注浆，回填更加密实。

安全风险小，膜袋吹砂回填可带水作业，无需洞内全部抽水，降低洞体内外水头差，且人员主要在地面上作业，更加安全可靠。

膜袋吹砂远距离输送，大大降低协调阻力，避免泡沫砼待强及止水堵漏，不受天气影响，提高工效，缩短工期两个月。

4.2 经济、环境效益

城市荒废人防隧道回填处理，消除了安全隐患，减少了废弃人防后期持续维修费用。优选膜袋吹砂回填工艺，相较于传统的泡沫混凝土、混凝土、注浆回填等成本大大降低，直接节约费用超30%。且吹砂回填距离可达1000m，占用场地小，施工速度快，间接经济效益明显，整体创效达35%。

吹砂回填只需要水和砂即可，采用河砂无需加工，不会对水体、大气、土壤等环境产生污染破坏，绿色环保。^[2]

5 结论

在二十世纪六七十年代，我国大中城市普遍修建了“防空洞”。随着经济社会的进步与新的人防工程的修建，部分早期人防工事已废弃。随着全球变暖、地下水位上涨，早期人防工事长期泡水稳定性变差，安全隐患日益突出。

采用“膜袋吹砂”回填施工技术，可以达到缩短工期、质量安全可靠、降本增效、绿色环保的效果，该技术为类似富水地层下废弃地下空间回填提供施工经验，并在同类工程中推广应用，具有良好的应用前景。

参考文献

[1]李锋.城市早期人防工事整治工程的回填工艺及回填材料研究[J].资源信息与工程,2022.

[2]李因翔,陈洪庆.狭小空间作业面路基回填方法总结(中国市政工程),2019(3).