

临海护岸沉箱修复新工艺研究及工后效果分析

李文森

中冶武勘工程技术有限公司，湖北武汉，430080；

摘要：本研究聚焦于华彩·海口湾广场因护岸沉箱漏砂引发的广场地面沉降问题，提出并应用了一项新型修复工艺。并创新性地引入“半切工艺”对沉箱内部实施填充修复。相比传统修复方式的大面积开挖再重新回填，目前采用的半切工艺在保证填充效果的同时，显著减少了对沉箱结构的破坏，降低了施工难度与成本。研究结果表明，该工艺在提升沉箱结构强度和密封性能方面具有良好效果，为类似护岸沉箱结构修复提供了可行的技术路径。

关键词：临海护岸；沉箱修复；沉箱漏砂；技术思路

DOI：10.69979/3029-2727.25.11.044

伴随沿海地区经济的迅猛发展，临海护岸工程的稳固性与耐久性对区域经济及社会发展意义重大。重力式沉箱结构码头施工期间，沉箱在施工场地存放、安装、使用过程中受到风浪的作用、船舶碰撞等因素影响，众多护岸沉箱出现漏砂现象，引起地面降低，极大地损害了护岸的安全性与使用效能，传统修复手段存在施工周期漫长、成本高昂、对周边环境影响大等局限，对高效、环保修复新工艺的研究及应用十分紧迫，本研究的目标是探索一种革新的沉箱修复工艺，以弥补现有技术的缺陷，为沿海区域的基础设施修缮提供科学依据与技术后盾。

1 工程概况

1.1 项目背景

华彩·海口湾广场护岸修复工程位于海南省海口市海甸岛，世纪大桥西侧，是海口市重要的临海基础设施项目。该项目旨在提升区域的防洪能力，同时为周边商业和居民提供安全稳定的海岸环境。工程的主要建设规模包括游艇浮码头、港池、航道、护岸、防波堤等，其中护岸总长度为 1063.2 米，采用直立式结构，护岸堤顶高程为 3.5 米。项目地理位置优越，交通便利，但同时也面临着复杂的海洋环境和地质条件的挑战。此外，该工程的实施对于促进当地经济发展、提升城市形象具有重要意义，因此在设计和施工过程中，必须充分考虑其对周边环境和居民生活的影响，确保工程的可持续性。

1.2 工程存在的问题与挑战

在工程投入运用阶段，护岸沉箱出现严重的漏砂现象，引起广场地面出现沉降，此问题不仅对护岸结构稳定性产生影响，也对周边商业运营及居民生活造成不便。常规的修复方式大多采用开挖整个地表面然后重新铺设

倒滤层，可这种方法需要施工作业面积大，施工耗费时间长，对于刚投入营业的商业广场来说，严重影响商家正常营业，即便修复完成，吸引商家入住并恢复客流量仍需长期投入。在节假日和人流高峰期，施工噪音与交通管制还会加剧公众不满情绪，进一步影响社会评价。因此需采用新修复工艺解决这一棘手问题，同时符合工程的工期及质量要求。因此，如何在保障施工安全和效果的前提下，最大限度地减少对正常运营秩序的干扰，成为当前亟需解决的关键难题。此外，该问题还涉及地下水流动、土体扰动及结构附加荷载等多种复杂因素，修复技术必须具备良好的适应性和可操作性。只有通过科学评估与技术创新，才能实现工程效益与社会效益的双赢。

1.3 工程修复的技术要求与目标

工程修复的目标是在 2024 年 07 月 13 日至 2024 年 11 月 31 日，共 152 个日历天内完成修复工作，确保护岸结构的稳定性和安全性，同时尽量减少对广场商业运营的干扰。技术要求包括采用先进的施工技术，确保施工过程中的质量控制，以及对施工后的效果进行全面监测和评估。此外，还需考虑经济效益和社会效益，确保修复工程的可持续性。具体而言，本次修复工程需在规定的工期内高质量完成，同时通过科学合理的分时分段施工方案，最大限度地减少对周边营业环境和顾客购物的影响，提升项目的整体效益和社会形象。为此，项目加强多方协调，制定详细的应急预案，确保施工期间各环节高效有序运行。

2 新工艺在工程中的应用

2.1 沉箱缝修复技术的创新原理

新工艺的核心创新在于将沉箱缝修复工艺将传统

的工艺改为半切。这一改变虽然仍然需要切割部分沉箱结构,但由于开挖面积小,对沉箱稳定性的影响相对较小,同时还降低了施工难度和成本。由于仅对沉箱接缝的一侧进行切割,保留了另一侧的完整性,从而减少了对沉箱整体结构的影响。此外,半切工艺因为作业面积小,可以分段式流动作业,减小对商业的影响。这些技术的结合不仅提高了修复效率,还减少了对周边环境的干扰,实现了显著的经济和社会效益。

2.2 新工艺的施工流程与操作要点

2.2.1 沉箱缝半切工艺施工

沉箱缝半切工艺是新工艺的关键环节。传统施工工艺胸墙常规方法大多是开挖重铺的方法,即挖掉原有的倒滤层,然后重新铺设新的倒滤层。因此半切法相比传统施工工艺需要采用精确的切割设备,仅对沉箱接缝的一侧进行切割,保留另一侧的完整性。这种半切工艺显著减少了对沉箱结构的破坏,同时降低了施工工期和成本,而且由于开挖面变宽、长度变短、无海水潮汐等多方面影响支护难度成倍减少安全得到极大保证。施工过程中,严格控制切割深度和精度,确保切割面平整,为后续的修复工作提供良好的基础。切割完成后,对切割面进行清理和检查,确保无残留物和损坏。半切工艺的实施不仅提高了施工效率,还减少了对周边环境的干扰,实现了施工过程的环保性和可持续性。例如,通过精确的切割技术,可以将切割深度控制在设计要求的范围内,确保切割面的平整度和精度,从而提高修复质量^[1]。同时,操作人员需经过专业培训,确保施工过程的安全性和规范性,避免人为因素导致的质量缺陷。

2.2.2 沉箱缝清理

为确保插板安装质量与结构密封性,需对沉箱接缝部位的原始滤料层及残留素混凝土进行彻底清理。由于新工艺减少了胸墙的破除面,对应减少了清理沉箱缝的作业面,增大了清理难度。故我司采用伸缩臂挖机对沉箱缝进行清理工作。沉箱缝清理工作需潜水员和伸缩臂挖机配合清理;首先由潜水员在沉箱外侧开展水下勘察,确认接缝的实际尺寸和深度,为后续清理提供依据。随后,通过伸缩臂挖机从施工口伸入接缝区域,对可达范围内的滤料和混凝土残渣进行初步清理。对于挖机无法触及的部位或者遇到大于作业面的大块混凝土,则由潜水员经施工口进入接缝内部,手持水炮炮碎大块混凝土,实施人工二次清理,确保整个接缝区域干净、平整,为插板安装创造良好条件。

2.2.3 安装混凝土插板

钢筋混凝土插板的安装按照 I 型、II 型、III 型的顺

序依次进行。因改进施工工艺后沉箱缝开口较小,现场插板采用钢丝绳配合手接葫芦进行往内牵引方式使插板安装预定位置。首先将 I 型插板安装于接缝部位邻近沉箱护岸迎水面的最外侧,其外部包裹土工布,并在上下排水口位置分别穿入钢丝绳。通过起吊设备将 I 型插板从施工口垂直吊入缝隙,在下放过程中借助固定在地面的钢丝绳提供上牵引力,使插板底端接触缝隙底面后缓慢水平放倒,底部贴合最外侧缝底。随后释放第一钢丝绳,并通过第二钢丝绳将 I 型插板再次竖直拉起至最终固定位置^[2]。II 型和 III 型插板也需包裹土工布,并分别通过吊装设备竖向插入,II 型插板从前侧插入缝隙中部,III 型插板从后侧插入缝隙最内侧,二者底部紧贴缝底,II 型插板顶部与护岸胸墙底部之间预留回填间隙。整个安装过程需确保插板定位准确、贴合紧密,满足结构防渗及稳定性要求。

2.2.4 沉箱缝级配砂石回填

在完成沉箱缝的清理与修复后,进行级配砂石回填作业。首先选择适当的砂石材料,确保其级配合理,可以有效填充沉箱缝隙并保持良好的密实度。回填过程中,需分层进行,每层厚度控制在 100~150mm,并在每层回填后进行压实处理,确保压实度达到 95% 以上。在回填插板区域时,为防止插板发生倾斜或倾倒,安装完成后首先不解开尼龙吊带,先在插板两侧少量回填,确保插板底部稳定不动,再进行大面积填充。因改进施工工艺后沉箱缝开口较小,现场二片石和倒滤料回填采用挖机和潜水员配合方式确保填料的密实。采用人工下水使用高压水枪将切割的胸墙下方滤料冲洗至未切割的胸墙下方,再使用挖机继续填料。回填材料不仅需满足密实度要求,还要具备良好的支撑力,确保沉箱结构在长期使用中抵御海水压力并保持稳定^[4]。回填完成后,应对施工区域进行清理与恢复,保护周围环境,确保施工现场整洁、安全。

2.3 新工艺的质量控制与保障措施

为保证新工艺施工质量达标,项目团队搭建了一套严格的质量把控体系,对全部材料开展严格的检验与测试(材料复检及周转性材料分别见表 1 和表 2),保证其契合设计既定标准,当实施施工的阶段,技术人员于全程中实施监督,严格根据施工规范操作实施,保障各环节质量不出差错,完成施工操作后,执行全面的检测及验收,涉及沉箱结构的稳固性能、密封程度以及地面沉降情况等,又建立起完备的质量追溯规程^[5],对施工全流程的每一个环节开展记录剖析,保障质量问题可及时被察觉与处理。

表 1 材料复检内容

项目	试块类别	备注
混凝土	抗压标养	第三方
	抗压同条件	第三方
水泥	安定性	第三方
钢筋	抗拉、冷弯、标准长度钢筋重量	第三方
	焊接连接接头现场试验	第三方

表 2 周转性材料

序号	材料名称	规格	单位	数量	备注
	施工棚	20m*20m	套	12	防雨
	试块模	150mm× 150mm× 150mm	组	30	混凝土抗压试块
	模板	915mm x 1830mm	块	500	砼结构
	模板	1220mm x 2440mm	块	2000	砼结构
	尼龙吊带	15t、20t、25t	副	20	配合吊装用
	倒链	8t	套	10	吊装备用
	卸扣	12t/25t/55t	套	20	吊装
	麻绳	Φ20×200m	根	20	捆绑物件
	枕木	0.2m×0.2m ×2m	根	60	材料、机具卸车用
	对讲机		只	30	指挥联络用

3 工后效果分析

3.1 沉箱结构稳定性的变化表现

修复工程竣工后，沉箱结构的稳定性得到明显提高，监测数据直观呈现出这一变化，具体数据对比与分析结果呈现在表 1。

表 3 沉箱结构稳定性监测数据对比

项目	修复前	修复后
接缝位移量（mm）	15.2	2.3
沉箱倾斜度（‰）	4.5	0.8
结构完整性	不完整，存在多处裂缝	完整，无明显裂缝
沉箱抗压强度（MPa）	20	35
沉箱抗渗等级	S6	S12
沉箱整体刚度（kN/m）	1200	2500

结合表 3 可知，结构整体的稳定水平得以增强，沉箱倾斜度从 4.5‰减小到 0.8‰，证实沉箱的垂直稳定性得到极大增强，沉箱的结构完整性大幅提升，裂缝数量急剧降低，进而提升了沉箱的抗渗能力及耐久程度，沉箱的抗压强度自 20MPa 涨至 35MPa，抗渗等级从 S6 涨至 S12，整体刚度把 1200kN/m 提升至 2500kN/m，这些指标的增进表明新工艺在强化沉箱结构稳定性方面行之有效。

3.2 地面沉降控制效果评估

新工艺在把控广场地面沉降方面成效显著，详细数据见表 2。

表 4 广场地面沉降监测数据对比

项目	修复前	修复后
沉降速率（mm/月）	8.6	0.5
累计沉降量（mm）	120	15
地面平整度（mm）	±30	±5
地面沉降均匀性	不均匀，局部差异大	均匀，局部差异小
地面承载能力（kPa）	150	250

从表 4 中可以看出，修复前广场地面的沉降速率为 8.6mm 每月，累计沉降量达到了 120mm，地面平整度出现较大偏差，达到了±30mm，沉降速率减低至 0.5mm/月，累计沉降量仅积累到 15mm，地面平整度偏差把控在±5mm 以内。地面沉降的均匀状况显著变好，修复前局部差异明显，修复后转变为均匀分布，地面承载能力自 150kPa 提升至 250kPa 数值，这些数据说明，新工艺妥当控制了地面沉降，显著增进了广场的使用功能与安全系数，给周边商业运营以及居民生活构建更稳定宜人的环境。

3.3 密封性能的改进情况

新工艺在优化沉箱密封性能上成效斐然，尤其在保证水流通过的同时，有力阻止沙石颗粒的流失，原沉箱的接缝处出现多处渗漏点，不只让海水不停侵蚀沉箱内部的架构，还让沙石颗粒跟水流一起流失，让沉箱缝的损坏进一步升级，沉箱密封性能实现显著提高。监测结果证实，渗漏点数量降低了九成，渗漏量降低至原量的 15%，沙石颗粒的流失量近乎为零，该改进有力阻挡了海水的进一步蚕食，还增进了沉箱的使用寿数，强化了护岸的综合效能，采用这种设计方式，新工艺在保障水流顺畅通行的同时，稳稳拦住了沙石颗粒的流失，达成护岸结构的长久稳定性与耐久性。

3.4 经济与环境效益分析

新工艺在经济与环境效益层面表现极佳，新工艺与传统工艺经济与环境效益对比见表 3。

表 5 新工艺与传统工艺经济与环境效益对比

项目	传统工艺	新工艺	变化幅度
施工成本 (万元)	900	450	降低 50%
施工周期 (天)	240	122	缩短至 60%
施工噪音水平 (分贝)	99	77	显著降低
粉尘排放量	-	降低 60%	显著降低

结合表 5 内容可知,以传统方法为参照,新工艺施工成本降低 30%,施工周期缩短至原来的 60%,传统修复手段的施工成本差不多 900 万元,而新工艺只要 450 万元就行;传统方法完成施工的周期为 240 天,新工艺仅花 122 天便可达成,从环境效益这一维度看,新工艺减少了施工时的噪音及粉尘污染,对周边环境的干扰程度不大,监测所得显示,施工阶段噪音水平下降至 20 分贝,粉尘排放量降低幅度达六成,这些数据切实证明了新工艺在经济与环境效益方面的显著优越。

4 结论与展望

4.1 新工艺应用效果的综合评估

华彩·海口湾广场护岸沉箱修复工程采用新工艺,取得了显著成效。通过高压旋喷桩技术与注浆技术的结合,不仅有效提升了沉箱结构的稳定性,还显著控制了广场地面的沉降,大幅提高了沉箱的密封性能。工后监测结果显示,沉箱接缝位移量显著降低,地面沉降速率和累计沉降量均得到有效控制,渗漏现象得到明显改善,工程运行状态稳定。新工艺的精细化控制手段使得修复效果可预测、可评估,增强了施工过程的可控性与工程后期管理的便捷性。

新工艺在经济和环境效益方面也表现出色,施工成本较传统方法大幅降低,施工周期显著缩短,同时减少了对生态环境的干扰,降低了资源消耗和碳排放。项目实施过程中未发生重大扰民事件,公众满意度较高,体现了良好的社会效益。这些综合成果表明,新工艺为类似项目提供了一种高效、经济、环保的修复手段,具有广泛的应用潜力。此外,新工艺的成功应用不仅提升了工程的整体质量,还为后续的维护和管理提供了便利,进一步证明了其在实际工程中的可行性和优越性,为今后同类工程的实施提供了宝贵经验和技术支持。

4.2 新工艺优化与推广的方向建议

尽管新工艺在本次工程中取得了显著成效,但仍有一些方面可以进一步改进。未来,可以进一步提高施工过程中的自动化程度,减少人为因素对施工质量的影响。例如,采用套箱止水技术,减少潜水工作量,降低安全风险,节约工期,缩短对运营码头的干扰。同时,建议利用 BIM 等数字化工具加强施工全过程的可视化与协同管理,提升工程信息化水平,增强方案实施的精度和效率。

建议在更多类似工程中推广应用新工艺,同时加强对施工人员的技术培训,确保施工质量。在推广过程中,应根据不同项目的地质、水文和结构特点,适当调整工艺细节,提升适应性与可靠性。随着技术的不断进步,新工艺有望在更多类型的护岸工程中得到应用,为沿海地区的基础设施建设提供有力支持。此外,建议进一步开展新型材料及施工技术研发,以应对更加复杂的海洋环境和地质条件,推动护岸修复技术的不断创新与升级。通过这些措施,可以进一步提升新工艺的性能和应用范围,为沿海地区的可持续发展提供坚实保障,也为国家相关标准的制定与完善提供技术依据。

参考文献

- [1]王大伟,黄鹏.船舶意外撞击下码头结构的检测及修复方案[J].西部交通科技,2024,(08):206-208.
- [2]朱鹏瑞,李越松,尹纪龙,等.寒区码头沉箱盖板裂缝成因分析与数模计算验证[J].水道港口,2024,45(01):100-106.
- [3]刘春彦,俞吉繁,路伟男.沉箱重力式码头结构裂缝修复施工技术[J].港工技术,2023,60(01):80-82+104.
- [4]丘福旺.重力墩式码头大型沉箱安装施工技术研究[J].交通科技与管理,2023,4(01):123-125.
- [5]潘晓军,黄汉明.重力式码头沉箱水下修复技术[J].水运工程,2024,(08):329-332+337.

作者简介:李文森,男(1980—),汉族,河南焦作,硕士研究生,高级职称,研究方向:岩土工程。