

非敞开空间大型设备安装施工技术研究

关雪涛¹, 何伟², 张倩², 杨强²

¹中国石油管道局工程有限公司国际公司, 河北 廊坊

²中国石油天然气管道第二工程有限公司, 江苏 徐州

收稿日期: 2025年10月13日; 录用日期: 2025年12月8日; 发布日期: 2025年12月18日

摘要

随着工业建设的快速发展, 在工厂、地下工程、隧道等环境中进行大型设备安装的需求日益增多。非敞开空间条件下的设备安装因受限环境影响, 传统吊装方法往往面临空间不足、路径受阻、风险高等问题。传统吊装方法结合地坦克搬运技术作为一种高效灵活的解决方案, 在非敞开空间设备安装中展现了独特优势。本文通过理论分析与绿氢项目案例, 系统探讨了非敞开空间大型设备安装的施工难点、技术方法、创新点与发展趋势, 可为类似工程提供参考。

关键词

非敞开空间, 大型设备安装, 地坦克搬运技术

Study on Construction Technology for Large-Scale Equipment Installation in Enclosed Spaces

Xuetao Guan¹, Wei He², Qian Zhang², Qiang Yang²

¹China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., International Company, Langfang Hebei

²China Petroleum Pipeline No.2 Engineering Company, Xuzhou Jiangsu

Received: October 13, 2025; accepted: December 8, 2025; published: December 18, 2025

Abstract

The rapid development of industrial construction has led to a growing demand for installing large-scale equipment in environments such as factories, underground projects, and tunnels. Traditional hoisting methods face challenges in enclosed spaces, where environmental constraints such as limited space, obstructed paths, and high risks pose significant problems. Unique

advantages for equipment installation in enclosed spaces are achieved by integrating traditional hoisting methods with machinery skate moving technique, resulting in an efficient and flexible solution. Drawing on theoretical analysis and a case study from a green hydrogen project, this study analyzes the difficulties, technical approaches, innovations, and future directions of large-scale enclosed-space equipment installation, thereby providing a reference for analogous engineering endeavors.

Keywords

Enclosed Spaces, Large-Scale Equipment Installation, Machinery Skate Moving Technique

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

在工业建设中,大型设备往往需要在有限空间内安装,如厂房封顶后的室内、地下工程和隧道环境。此类非敞开空间对设备安装提出了更高要求,传统吊装方法因受空间限制而难以展开,更增加了施工难度和安全风险。地坦克搬运技术凭借低高度、大承载、灵活可控的特点,成为解决非敞开空间施工难题的重要手段。

2. 工程案例背景

本文以某绿氢项目为研究背景。项目主要设备包括4台电解槽(单台重量约52吨)、1台纯化装置(重量27.5吨)和1台气液分离器(重量37吨,三层结构)。制氢车间尺寸:26.85 m×20.05 m,由于项目工期原因和设备到货时间滞后,制氢车间(设备安装车间)已率先完成屋面施工,形成封闭空间,设备无法使用吊车直接进行就位。需结合地坦克搬运技术使设备就位,施工难度很大。

3. 施工难点分析

3.1. 设备自身因素

设备体积大、单体重量大是主要问题之一。如绿氢项目中的气液分离装置需要现场进行多层结构组装,增加了安装的复杂性和难度。在非敞开空间内,对如此大型且重量大的设备进行精准安装,对施工技术和工具提出了很高要求。

3.2. 空间限制

制氢车间空间紧凑,自由活动空间小。制氢车间门口道路未施工完成,与泵房、控制室之间距离较小,吊车选型和就位难度大。同时,车间内地坪未施工完成,给地坦克的移动及设备就位带来了极大阻碍。

3.3. 工期要求

业主要求加快设备安装进程,为后期工艺安装工作创造条件。在非敞开空间且面临诸多困难的情况下,如何在规定时间内保质保量完成设备安装,是施工单位需要解决的关键问题。

4. 施工技术与实施过程

4.1. 施工准备

1. 场地准备：设备进场线路勘察，清理厂区障碍物并优化设备进场路线。提前进行设备基础验收，基础放线，以便设备顺利就位。对制氢车间内地坪进行处理，通过计算确定，设备吊装采用 220 吨汽车吊进行。为满足吊装及设备运输通道承载要求，采用 $1.5\text{ m} \times 6\text{ m} \times 14\text{ mm}$ 的钢板[1]。在制氢厂房北门外及厂房设备基础之间区域，先进行卵石与细砂回填找平，再将钢板满铺铺设，相邻钢板分段找平并焊接成整体，设备基础用水泥打磨盘进行打磨平整顺滑，以便设备微调时移动自如，保证地坦克通行无阻，为地坦克搬运设备创造有利条件[2]。详见图 1。

2. 设备准备：为保证大型设备吊装顺利进行，准备 16 台 32 吨地坦克，用于分散吊车及设备重量，确保吊装设备能在地坦克上安全通行、无障碍操作。提前联系设备厂家对设备底座增加支撑构件及千斤顶顶升构件，以便于地坦克搬运和千斤顶顶升设备。提前联系吊车、叉车等机械设备，检查其性能并办理相关许可。

此外，制作 1 根长度为 8.3 米、规格为 $\phi 323 \times 12\text{ mm}$ 的平衡梁，该平衡梁既可满足纯化装置(尺寸为 $7450 \times 3650 \times 4500\text{ mm}$)吊装要求，又能满足气液分离设备(尺寸为 $12,000 \times 3900 \times 7500\text{ mm}$)的吊装要求，既减少了平衡梁数量，又有效节约了成本，并确保整个吊装作业安全顺利完成[3]。

3. 现场准备：做好进入厂区道路的警示标识、路引、现场隔离等工作，便于设备运输车辆就位。提前对厂区地基承载力进行测试，并进行吊装模拟，制定可行的吊装方案。



Figure 1. Site preparation
图 1. 场地准备

4.2. 设备吊装与搬运

1. 电解槽吊装：为避免电解槽在厂房内转向困难，采用横推进场方式。220 T 吊车吊起电解槽，横摆在厂房门口，确定电解槽两边距离大门相同距离后，缓缓降落在 4 个地坦克上。5 吨叉车提前在厂房内站

位, 10 吨叉车推着电解槽缓缓进场, 到达现场定位的基础基准线后再纵向推进就位。先推最里侧的一台, 再依次完成后续 3 台电解槽的安装就位。

2. 纯化装置吊装: 同样采用此方法就位, 使用 8 台地坦克进行搬运。为避免纯化装置在厂房内转向困难, 在制氢厂房门口采用纵推方式进入厂房, 然后横推就位。

3. 气液分离装置吊装: 同样采用此方法就位, 先吊装气液分离器下部结构, 调整好位置后落在 8 个地坦克上, 再用进行上部与下部组装, 组装完成后, 使用叉车将设备纵向推入厂房进行就位, 此环节需注意拆除一些超高、超宽附件。气液分离装置就位后, 使用千斤顶顶升设备, 撤出地坦克, 将设备就位至设备基础上。详见图 2。

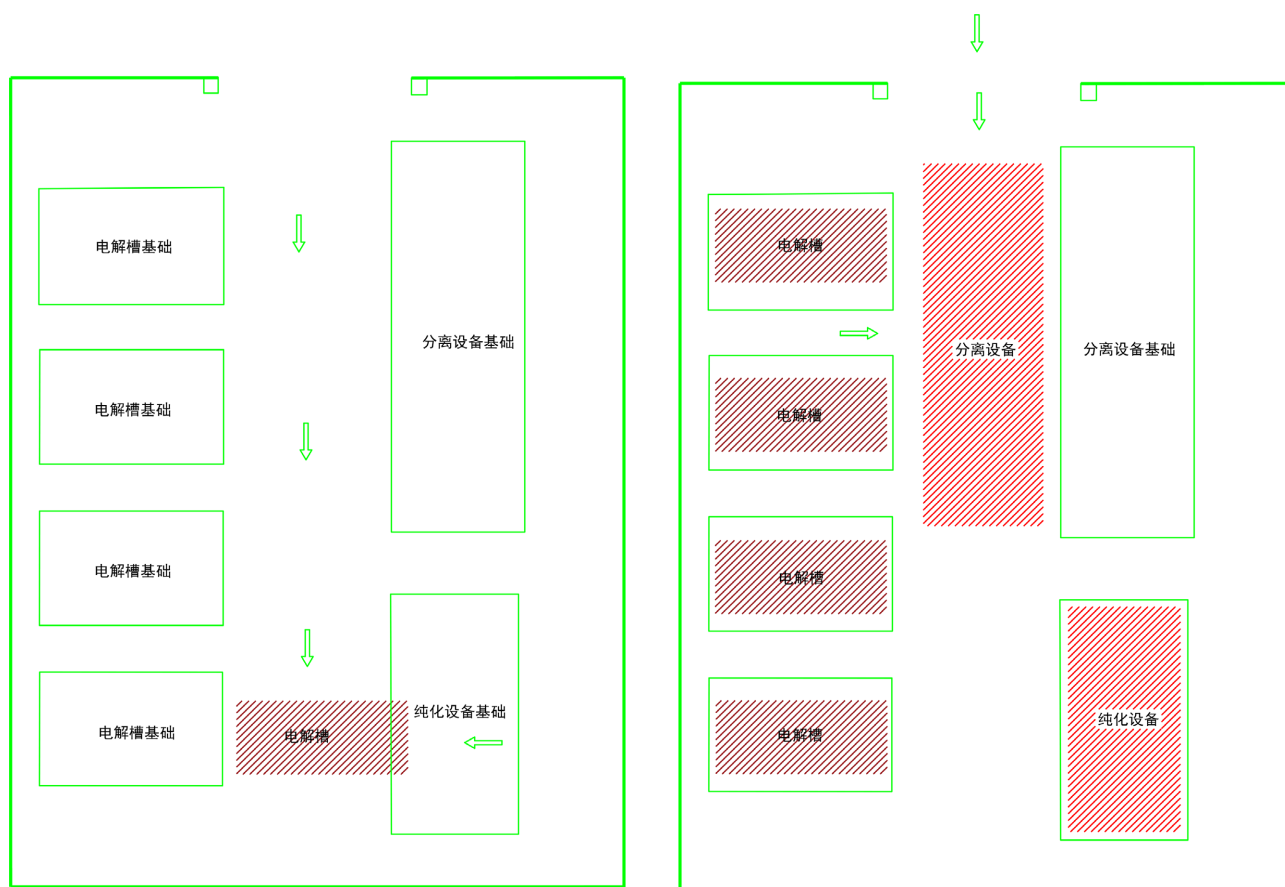


Figure 2. Equipment installation diagram

图 2. 设备安装示意图

4.3. 设备找正与就位

在设备安装过程中, 采用液压千斤顶配合地坦克对设备位置进行精确找正。考虑到设备在地坦克上就位时需进行微量调整, 提前准备 $\Phi 73 \times 5$ mm 无缝钢管若干, 长度分别为 125 mm、250 mm、500 mm、1000 mm、1500 mm 各两根; 同时加工 $\Phi 800$ mm 圆钢单接头 2 个、双接头 10 个, 用于无缝管节的串接与长度调节。

单接头平面焊接 20 mm 短管节, 用于支撑液压千斤顶的移动杆。根据设备与支撑点之间的距离, 灵活组合不同长度的管节, 实现单点或双点精准微调, 确保设备在地坦克上顺利、准确就位。

设备找正完成后,撤除地坦克,分别使用4台30吨液压千斤顶和4台10吨机械千斤顶对电解槽、气液分离器及纯化装置进行顶升。根据厂家提供的安装数据,通过加减垫片调整设备的水平度与垂直度,直至达到设计要求范围内,确保设备安装精度满足规范标准[4]。

5. 地坦克搬运技术优势分析

5.1. 空间适应性强

地坦克搬运技术最小工作高度仅150 mm,与传统的龙门吊搬运相比所占空间更小,此技术在狭窄空间和复杂地形中表现突出。在绿氢项目中,制氢车间空间紧凑,实际作业空间仅为20 m×6 m×9 m,且不允许安装固定式龙门吊,地坦克能够在这种受限环境下灵活移动,完成设备的搬运和就位工作。

5.2. 负载能力强

多台地坦克协同工作,可以轻松承载上百吨的重量。360°旋转圆盘设计,方向能够灵活调整。配合顶升设备使用,使得设备搬运与安装工作更加轻松省力。在绿氢项目中,通过合理使用地坦克,成功搬运了重量较大的电解槽、纯化装置和气液分离装置。

5.3. 经济性好

地坦克搬运技术提高了工作效率,降低了工作难度,使得设备损伤风险降低。相比传统方法,减少了因设备损坏和工期延长带来的成本增加。在绿氢项目中,通过优化吊装方案和采用地坦克搬运,相比较传统的龙门吊方案,不仅用时更短,不受空间的局限,地坦克搬运方式(详见表1)对比传统安装方式(详见表2)节约成本4万多元。

Table 1. Cost analysis of machinery skate moving methods
表 1. 地坦克搬运方式成本分析表

序号		地坦克搬运方式成本分析表			
1	人员	单价	工日	合计	备注
1.1	吊装工程师	1200	2	2400	
1.2	起重工	700	4	2800	
1.3	钳工	900	4	3600	
1.4	力工	200	12	2400	
2	设备	单价	台班	合计	
2.1	地坦克 32 t	2000	16	32000	采购
2.2	叉车 5 T	2100	2	4200	租赁
2.3	叉车 10 T	2800	2	5600	租赁
3	材料	单价	数量	合计	
3.1	钢板 1.5 m×6 m×14 mm	6000	16	96000	
总计				149,000	

Table 2. Cost analysis of traditional installation methods
表 2. 传统安装方式成本分析表

序号		传统安装方式成本分析表			
1	人员	单价	工日	合计	备注
1.1	吊装工程师	1200	6	7200	
1.2	起重工	700	12	8400	
1.3	钳工	900	12	10,800	
1.4	力工	200	36	7200	
2	设备	单价	台班	合计	
2.1	液压龙门吊	12,000	6	72,000	租赁
2.2	叉车 5 T	2100	6	12,600	租赁
2.3	叉车 10 T	2800	6	16,800	租赁
3	材料	单价	数量	合计	
3.1	钢板 1.5 m × 6 m × 14 mm	6000	10	60,000	
总计				195,000	

6. 地坦克搬运技术发展趋势

6.1. 智能化

集成传感器实现自动避障，开发路径规划算法(如改进 TEB 算法)，实现远程监控与故障诊断实时监控地坦克设备状态可进一步提高设备的安全性和稳定性。提高地坦克在非敞开空间作业的安全性和效率，减少人工操作的风险和误差[5]。

6.2. 自动升降设计

现代地坦克配备自动升降功能，通过自动升降调整设备水平度提高转运设备的稳定性和安全性。在设备就位后也可减少施工人工顶升低效率，缩短转运时间[6]。

6.3. 定制化服务

可根据需求定制载荷、尺寸、轮子类型，开发非标准型号如宽板、带转盘、带支腿、带导辊等特殊设计。满足不同工程项目的个性化需求，进一步拓展地坦克搬运技术的应用范围。

7. 结论

非敞开空间下绿氢项目大型设备安装面临诸多难点，但通过采用吊车结合地坦克搬运施工技术，有效解决了这些问题。地坦克搬运技术具有空间适应性强、负载能力强、经济性高等优势，在非敞开空间设备安装中发挥了重要作用。随着智能控制技术和特种材料的进步，地坦克搬运技术将朝着智能化、多功能化、协同作业和定制化方向发展，为工业设备安装提供更加安全、高效的解决方案，非敞开空间设备安装中具有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 中石化第十建设有限公司. SH/T 3515-2017 石油化工大型设备吊装工程施工技术规程[S]. 北京: 中国石化出版

社, 2017.

- [2] 中石化第五建设有限公司. GB/T50484-2019 石油化工建设工程施工安全技术标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.
- [3] 中石化第四建设有限公司. SH/T3536-2011 石油化工工程起重施工规范[S]. 北京: 中国石化出版社, 2011.
- [4] 中国机械工业联合会. GB50231-2009 机械设备安装工程施工及验收通用规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- [5] 中国轻工业联合会. GB/T 40229-2021 家用移动机器人性能评估方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [6] 全国机械安全标准化技术委员会. GB/T 16855. 1-2018 机械安全 控制系统有关安全部件 第1部分: 设计通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.