

ICS 03. 220. 40

R 25

团 体 标 准

T/APD 0000—2021

海上风电设备运输规范 (征求意见稿)

2021-00-00发布

2021-00-00实施

中国水利电力物资流通协会

发布

目录

前 言.....	III
1. 范围.....	1
2. 规范引用文件.....	2
3. 术语定义.....	2
4. 运输规划和设计方法.....	6
4.1 运输规划.....	6
4.2 设计方法.....	8
5. 设备集港.....	8
5.1 叶片倒运.....	9
5.2 机舱倒运.....	10
5.3 塔筒倒运.....	11
5.4 轮毂倒运.....	11
5.5 预组装的部件倒运.....	11
5.6 单桩倒运.....	12
5.7 导管架倒运.....	12
5.8 吸力筒导管架倒运.....	13
5.9 升压站倒运.....	14
6. 装船.....	14
6.1 SPMT 液压小车滚装.....	14
6.2 吊装装船.....	15
6.3 滑移装船.....	16
7. 海上运输.....	17

7.1 海运方式选择.....	18
7.2 海运方式与相应船舶类型选择原则.....	18
7.3 海运风险评估.....	21
7.4 绑扎加固.....	21
7.5 海运过程管理.....	22
8. 浮托安装.....	23
8.1 浮托法介绍.....	23
8.2 浮托法安装船要求.....	23
8.3 浮托法安装装船.....	23
8.4 浮托法安装过程中几个关键环节关注点.....	23
附录.....	25
A 风险识别.....	25
A.1 附录提供了一种识别潜在危险源以及评估其风险级别的方法.....	25
A.2 危险源辨识.....	25
A.3 事故产生的危险程度.....	28
A.4 失效概率.....	30
A.5 风险矩阵.....	30
参考文献.....	32

前 言

本规范参照 GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

本规范由中国水利电力物资流通协会提出并归口。

本规范主要起草单位：XXX、XXX、XXX

本规范主要起草人：XXX、XXX、XXX

本规范为行业自律，中国水利电力物资流通协会会员约定采用，各部门、各机构、各地方在制定政策、规范等工作中可参考本标准。

本规范是根据发布本文件时可用的知识、技术和/或信息编写，社会上自愿采用本标准的风险由使用者承担。中国水利电力物资流通协会及规范起草人不承担任何因使用本规范而导致的损失或损害的责任。

本规范在实施过程中，如效果良好，且符合行业标准、国家标准制定要求，本团体将申请本规范转化为行业标准或国家标准。

本规范的知识产权归属于中国水利电力物资流通协会，未经中国水利电力物资流通协会同意，不得印刷、销售。任何组织、个人使用本规范开展认证、检测等活动应经中国水利电力物资流通协会批准授权。

按照规范中的要求实施，旨在使海上风电设备运输过程达到可接受的安全水平。规范中的要求是基于经验和安全性研究，如果该规范不适合于某一特定新技术、新工艺，则可在技术方案评审、风险管理和得到其他指导性支持和补充时，使得特定设计处于可接受的安全水平。

本规范只推荐在国内使用。

2. 规范引用文件

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本规范的条款。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件，其随后所有修改单（不包括勘误内容）或修订版均不适用于本规范。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 50571-2010 海上风力发电工程施工规范

DL/T 1071-2014 电力大件运输规范

JT/T 214-95 海上拖航技术要求

GD 02-2012 海上拖航技术指南（2011）- CCS

GD 19-2014 货物系固手册编制指南 2015

T/APD 0002-2021 大件物流行业道路运输专业岗位指引

T/APD 0003-2021 大件物流行业常用术语规范

ISO 29400 Ships and marine technology-Offshore wind energy-Port and marine operations船舶与海洋技术-海上风能-港口和海事作业

DNVGL-ST-0001 Marine Operations Standard 海洋工程作业指南

DNVGL-ST-0054 Transport and installation of wind power plants风电设备运输与安装

3. 术语定义

3.1

海上风电设备 offshore wind power plant assets and components

本规范中所指的海上风电设备术语是指海上风电机组的叶片、机舱、轮毂及其支撑结构、变电站、换流站、无功补偿站模块以及居住平台（包括上部甲板和支撑结构气象桅杆、电力电缆控制站以及制氢模块、制氮模块等）。

3.2

道路大件运输 Road transportation of heavy assets and components

按照相关运输方式对超限货物的管理和许可规定，利用运输车辆及设备，在公路、城市道路或其他道路中进行运输的大件运输方式。

3.3

倒运 Transfer between yards

不同场地间的转换运输。

3.4

暂存 intermediate storage

本规范中，暂存特指海上风电设备，在生产完毕后到运输到机位前，中间各环节的临时存放。

3.5

滚装 Roll-on (load-out)

是一种水路运输装卸形式。货物组成一系列的单元件，这种单元件可以用水平移动的方式装上船或从船上卸下。每单元件均靠自身的车主移动或靠临时的移动装置移动，该装置在航程的两端使用时可随或不随单元货物装在船上。

3.6

施工方案 Operation procedure

施工方案是根据一个施工项目制定的实施方案。其中包括组织机构方案（各职能机构的构成、各自职责、相互关系等）、人员组成方案（项目负责人、各机构负责人、各专业负责人等）、技术方案（进度安排、关键技术预案、重大施工步骤预案等）、安全方案（安全总体要求、施工危险因素分析、安全措施、重大施工步骤安全预案等）、材料供应方案（材料供应流程、接保检流程、临时（急发）材料采购流程等），此外，根据项目大小还有现场保卫方案、后勤保障方案等等。施工方案是根据项目确定的，有些项目简单、工期短就不需要制订复杂的方案。说明工作如何进行，需要哪些输入，期望哪些输出和结果即可。

3.7

排障 route clearance

排除影响运输车辆通行的障碍。包括路旁树木、灯杆、建筑物、山体；空中的各种线障、监控杆、路灯杆、指示牌、限高杆、树枝、立交桥、渡槽等；道路拓宽、弯道取直、缓坡、限宽设置、收费站等。

3.8

配车图 Stowage plan on SPMT

根据设备尺寸、重量和支点位置，配置适用的车辆，并采用CAD、SOLIDWORKS等软件画出来，表达在图纸上。

3.9

配船图 Stowage plan on vessel

根据设备的尺寸、重量、重心位置和支点位置等，结合船舶稳性和船舶的总纵、局部强度等因素，将设备放置在船舶最佳位置，并将设备在船舶上的状态通过相关软件画出来，表达在图纸上。

3.10

基础 foundation

本规范中的基础特指海上风电机组基础，是海上风力发电基础支撑结构的组成部分，能将作用于结构上的载荷传递至海床。

3.11

部件 components

在本规范中的部件是指叶片、轮毂、机舱、风力发电机组支撑结构(塔筒、单桩、导管架、浮式基础等)、变电站上层设备及支撑结构部分等。

3.12

海上装置 offshore foundation

为安装在特定海上位置而设计和建造的任何浮式或非浮式结构的统称。

3.13

固定的海上装置 fixed offshore foundation

非浮式建筑，建立在某一特定离岸位置的海床上，将作用在其上的荷载转移到土壤或基岩中。

3.14

海上变电站 offshore transmission station

用于将海上风电场各风电机组发出的电能汇集、升压并送出的海上设施，包括基础上部组块，一般分为整体式和模块式。升压站、换流站以及相关海上平台的统称。

3.15

风电场 wind farm plant

一批风力发电机组或风力发电机组群组成的电站，通常称风电场。能源生产设施，包括其生产电力并将其转移到电网的所有主要资产，通常也称为风电场。

3.16

机舱 nacelle

指在水平轴风力发电机组塔架顶部法兰上方的，包容电机、传动系统和其他装置的整个箱体。

3.17

子工序 sub-operations

形成运输或安装特定阶段的操作。

3.18

下部结构 sub-structure

海上风力发电机组支撑结构的一部分，由海床向上延伸，连接基础与塔架的支撑结构。

3. 19

施工方案 development plan

在风电场的开发和施工阶段，在设计和规划运输和安装顺序时，应考虑所有的设计和
组织活动，目的是管理风险，确保资产和部件的结构完整性。

3. 20

上部结构 Topside

置于支撑结构上的结构和设备，提供海上变电站的部分或全部功能。

3. 21

塔筒 Tower

海上风力发电机组支撑结构的一部分，连接下部结构和机舱组件。通常从高于地面或静
止水位(用于海上风力涡轮机)的某个地方延伸到风力涡轮机机舱下方。

3. 22

SPMT Self propelled modular trailer

自行式液压模块车。

3. 23

SPT Self Propelled Trailer

欧洲对应的用Hydraulic modular trailer 液压模块车(HMT)，国内使用SPT是引进SPMT
后的事情，用来区别SPMT，指非电子控制转向的液压轴线车(特指可以进行长途运输的非电
子转向的液压轴线车)。

3. 24

FEED Front-End Engineering and Design

前端工程设计。

3. 25

滚卸 Roll-off (Load out)

滚卸是一种水路运输装卸形式，指车辆装载大件从船舶上直接行驶到码头的过程。

3. 26

跳板 Ramp

这里特指在滚装、滚卸过程中，连接码头与甲板驳之间厚钢板或专用连接钢结构，使得

大件运输车辆可以通过码头与甲板驳之间的间隙。

3.27

滑移装船 Skidded load out

滑移装船是采用绞车、拉力千斤顶或顶推千斤顶将模块沿着轨道拉上船。该方法主要适用于重量超大模块装船，特点是适应范围广，但是需要配备一些施工工具，装船速度慢，时间较长，技术难度较大。

3.28

长货运输方式 long cargo transportation method

这里的长货运输方式特指运输较长设备时，配车使用前后两组车辆，并且最少后车组使用转盘的配车方式。

4. 运输规划和设计方法

海上风电项目设计总包方，要充分重视邀请专业大件运输企业参与FEED阶段设计，严格论证海上风电设备运输的可行性、安全性和经济性，并在后续各阶段用专业的知识和丰富的操作经验不断审视和完善运输方案，以规避每个阶段的风险。

4.1 运输规划

4.1.1 策略和风险管理

本规范的原则、要求和指导适用于从初设到详细设计的开发阶段（辅助设计单位进行海上风电设备运输的可行性研究）和在设备生产过程中，甚至在运输过程中都可能根据需要对设计进行必要的更新。

专业运输企业参与FEED阶段，对风电设备的运输和安装工艺进行策划和设计，并对各环节可行性进行风险评估，为工程建设提供依据，对后续的操作性，经济性起到至关重要的影响，降低各方面的风险，确保海上风电项目的风电设备在安全、经济的情况下进行运输和安装。

海上风电项目的运输和安装规划应将风险管理过程与目标管理相结合，以确保在运输和安装过程中风电设备和部件的安全可控。

表4-1所示

海上风力发电项目	开发阶段			建设阶段		
	立项阶段	概念设计	基础设计	详细设计	生产制造	运输安装
海上风电设备运输和安装计划	•海上风电设备的运输、安装和退役的运输可行性研究	•确定风场条件，并为运输和安装规划和设计	•在运输和安装规划中考虑特定场地的设计结	•基于海上风电设备和部件在制造阶段的修	•运输和安装方案的更新是由于船舶租赁和海	

	<ul style="list-style-type: none"> 海上风电设备运输、安装和退役方案的确定 	<p>提供依据</p> <ul style="list-style-type: none"> 初步(高级别)风险评估为详细设计、安全目标的定义提供输入 	<p>果</p> <ul style="list-style-type: none"> 设计构思海运捆绑加固、安装工具和设备 基于详细(低级别)风险评估的初步运输和安装方案的迭代开发 	<p>改, 更新运输和安装方案</p>	<p>上紧固的调整等</p> <ul style="list-style-type: none"> 在船舶租赁、海上紧固适应等方面对风电设备(部件)的结构完整性进行最终验证 根据经验教训, 修订运输安装方案, 完善设计和程序
--	---	--	---	---------------------	--

对海上风电项目的设备、部件的运输和安装进行前期的技术方案策划和评估, 可以减少和消除潜在的风险, 并在后续的阶段进行不断的调整和优化, 以期实现项目的安全目标。如果没有达到安全目标, 就需要进行设计变更。更新后的设计应进行复核和评估, 以避免引入新的危害。在每个阶段都要进行系统评审, 以识别和评估危害造成的危害和后果。

安全目标可通过对人员健康和安全风险、财务损失以及由于时间安排的干扰、对环境的损害或损失等关键数字加以量化。

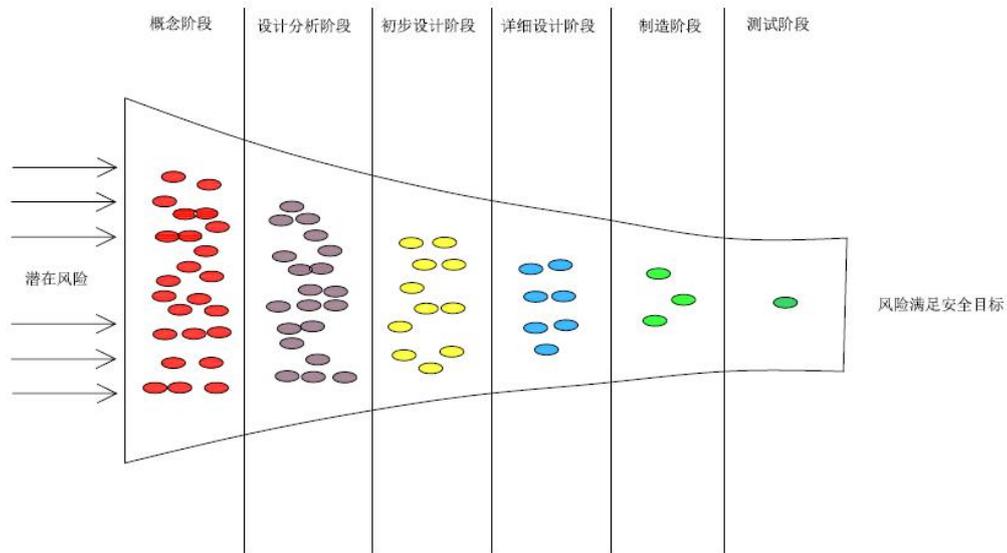


图4-1安全目标实现情况

对项目进行风险管理, 以减少危害的影响, 降低整体风险。这一目标可以通过识别潜在风险; 潜在风险评估; 尽可能避免危险的预防措施; 控制以减少不可避免的潜在后果危害; 一旦发生减轻事故后果的措施; 提供了一种识别潜在危害和评估潜在风险的方法等措施来实现。

4.1.2 应急计划

海上风电项目各个实施阶段，需要制定各环节的应急计划。应急计划是一种后备计划，当因任何原因造成的风险不可避免时，应考虑如何处理。提供风险管理过程中适当的应急处理计划和措施。

在应急计划中，应考虑以下环节：

各种施工许可不能按时获得批准；超过允许的天气条件；运输和安装设备故障；锚索、系泊故障和其他结构故障；沟通失败；船舶失控；碰撞、撞击、搁浅、触礁；火灾、爆炸、污染、泄漏；人员事故、疾病、受伤；有人落水等。

4.2 设计方法

海上风电设备运输整体策划，应充分考虑风电设备和部件在每个环节的安全。由于海上风电项目建设受环境等因素影响巨大，会出现更多更复杂的吊装、临时储存、海上甲板驳上待命等环节，海上风电设备运输工装在设计时就要充分考虑到多次使用不同起重设备进行吊装、在陆地和甲板驳上等不同条件下进行存储和运输，应考虑船舶与起重船在不良海况下的配合作业等，确保风电设备在各环节的最苛刻状态下风电设备的安全可靠性。

5. 设备集港

海上风电项目的机组绝大多数竖立在海洋中、潮间带、滩涂或者海岛上，风电设备的运输最后环节一般都是通过海运完成。海上风电设备海运前，需要将这些设备进行集港。集港方式是根据设备制造厂家所处地理位置和海运发运港情况来确定。主要有海运集港、内河水运集港、道路运输集港和倒运集港（制造厂家紧靠发运港或发运港就是厂家自备码头）。

对于通过道路运输进行集港的设备运输，我们可以参照DL/T 1071-2014《电力大件运输规范》执行。

海运集港、内河集港与后面章节详述的海运基本相同，其要求参照海运章节。

本章节只对短途倒运做些规范。

设备短途倒运：

海上风电设备的短途倒运有如下几种情况：制造车间到堆场、制造车间到码头堆场、制造厂堆场到码头堆场、码头堆场到码头前沿或者码头前沿到码头堆场等，运输路线主要是厂内道路、制造厂到码头专用道路和码头内部道路，运输距离比较短，一般在10公里以内。

海上风电设备短途倒运的方式和路线选择，需要考虑运输距离、沿途障碍限高、道路曲率半径、排障难度、排障量、排障成本、配车稳定性、护送方案等，以确定运输配车、运输批次、护送时段等；如果制造厂到码头沿途不是专用道路，需要经行公共道路时，还需要获得有关部门的许可。运输过程需要遵守交通运输部令2016年第62号《超限运输车辆行驶公路管理规定》等相关要求。

短途倒运也需要详细的技术方案作为运输实施的指导性文件。技术方案包括但不限于，计划运输的设备参数（设备规格、重量、设备清单）、路线选择、选定路线的路堪报告、各海上风电设备部件配车图、基于配车图的受力计算和稳性计算、捆扎方案、排障方案、施工人员组织架构、批次运输计划、护送方案、应急预案、项目各实施阶段检查表等。要逐项陈

述和校核针对运输要求所采取的各项对应措施的有效性。

海上风电项目设计方或者制造方应明确该项目设备运输和存储的要求,包括并不限于设备在运输工具上的支撑位置、捆扎点的位置和最大受力、加速度、倾斜角度、运输时速、运输过程中的极限风速、极限温度、视野能见度以及对雨雪雷电的要求、苫盖等等。

运输过程的所有检查和工作步骤的执行情况应记录在案。应对于每一个检查和工作步骤在专门设计的表格文件中进行填写。

5.1 叶片倒运

倒运叶片一般使用SPT自行式平板车和SPMT运输。主要原因是装卸方便、运输效率高,车辆转向灵活,适合场地内腾挪,有利于使用平板车升降功能自装自卸。

海上风电机组功率大,叶片的长度也非常大。目前最长叶片长度达到107米,两支点之间距离到达72米。运输配车非常长,支点在车辆两端。为了节约车辆资源,车辆中间可以拼接框架梁、连接平台或者吊轴线,以解决中拱现象,降低车辆因受力点在两端车辆产生的较大负弯矩。

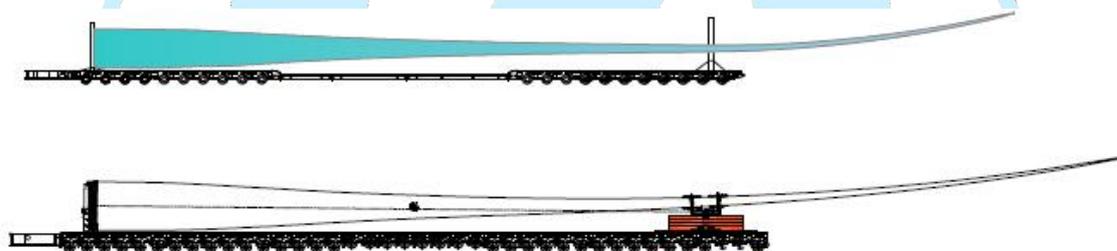


图 5-1 叶片短途倒运配车

如果道路状况、工期等允许,叶片倒运也可以采取长货运输方式和伸缩式液压平板车运输方式。



图5-2 叶片长货运输方式倒运配车



图5-3 长货运输方式

长货运输方式运输叶片，其特征是后车组上有转盘，车组转弯时对弯道半径要求降低，使得车组通过性强。劣势是该运输方式，在运输过程中叶片承受较大的拉应力、压应力、弯矩和扭转力矩，对叶片强度有较高的要求。运输过程对车组的随动转弯同步性有较高要求，同时该车型需要叶片根部连接处有举升适配器。该运输方式有一定的疲劳效应，配车方式需要得到设计方或制造厂家的确认。由于后车组无动力，装车时需要辅助牵引车辅助。用作短途倒运车辆，效率很低，操作不方便。



图5-4 伸缩式液压平板车运输方式

伸缩式液压平板车运输叶片优点是叶片在车上几乎只是承受其自重，没有长货运输方式中的拉应力、压应力、额外的弯矩和扭矩，在保护叶片本身而言，较长货运输方式更加安全。缺点是转弯半径相对较大，倒运过程中的潜在排障量大。由于直接将叶片放置在车板上，装卸车效率高，运输速度快。

5.2 机舱倒运

机舱是海上风电项目设备中相对精密的设备，单件重量相对较大，为了暂存、海运和自装自卸，大多设计了专用工装。使用SPMT或自行式SPT倒短运输非常方便。

在倒运时，使用SPMT和SPT作为运输工具，可以根据机舱重量和托架受力支点位置等配置相应的轴线数，有效降低轴载荷，降低运输过程中的冲击。

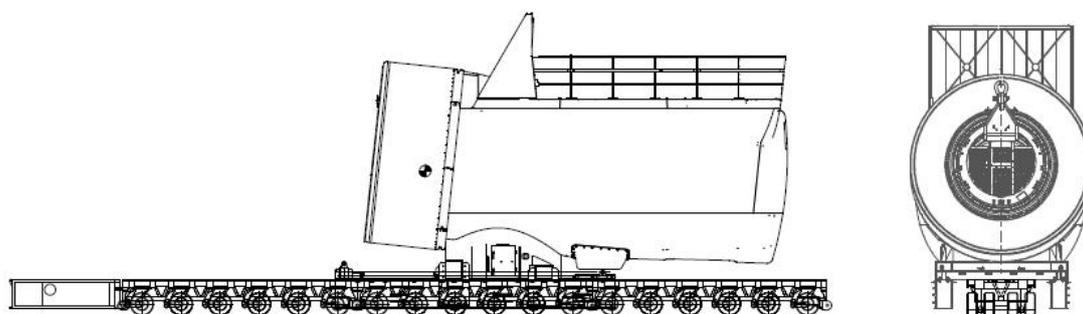


图5-5 使用SPMT倒运机舱

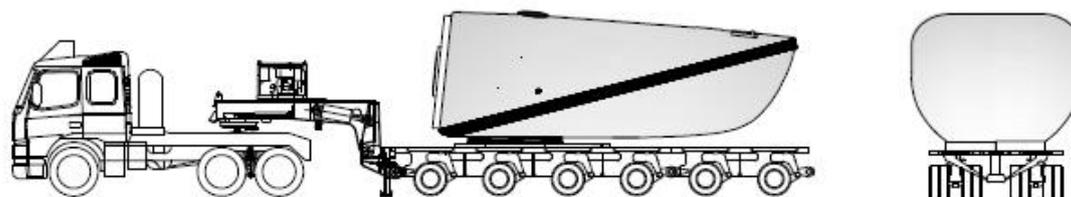


图5-6 使用SPT液压半挂车倒运机舱

5.3 塔筒倒运

考虑暂存等原因,塔筒在制造厂内倒运或从暂存地倒运到码头,鞍座一般设计的比较宽,暂存时是将塔筒支在支墩上。短倒运输推荐使用SPMT和自行式SPT。塔筒倒运配车是根据塔筒的重量、长度和直径来确定车辆轴线数。配车后的横向稳定性、通过性和轴载荷合规性是主要考虑方面。



图5-7 塔筒道路运输

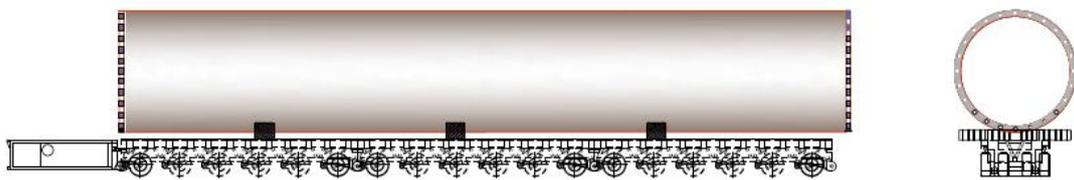


图5-8 塔筒场内短倒

5.4 轮毂倒运

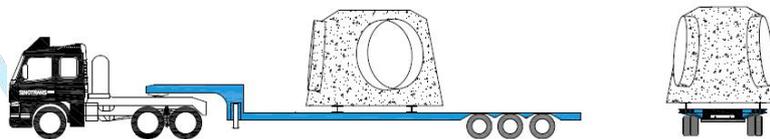


图5-9 塔筒道路运输

轮毂运输难度不大,一般使用低平板挂车运输即可。也可以使用SPMT和SPT作为倒运的机械。

5.5 预组装的部件倒运

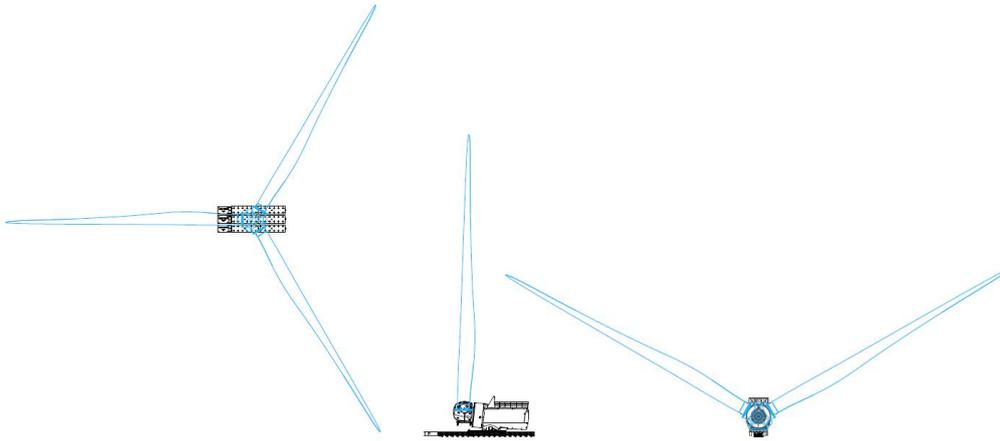


图5-10 预组装部件场内短倒

海上风电的预组装的部件一般在风电总装母港或者发运港堆场进行，组装完毕后可能需要倒运。这种场地内的倒运作业一般使用SPMT和自行车式SPT。

5.6 单桩倒运

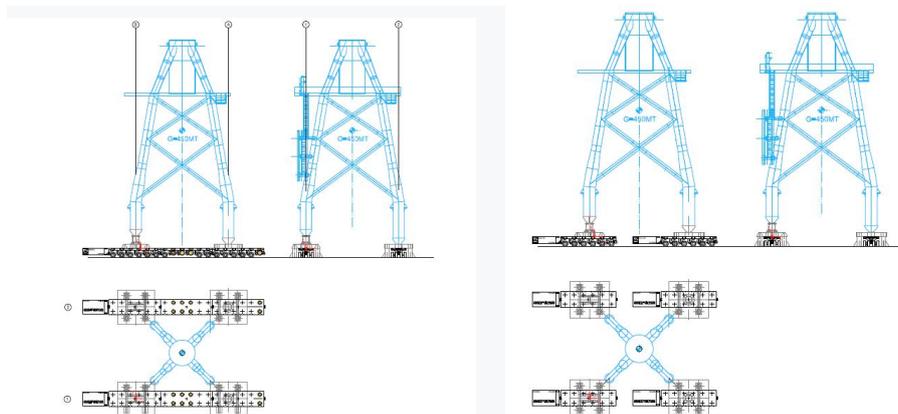


图5-11 单桩场内短倒

单桩基础是相对浅海使用比较多的海上风电基础，长度从几十米到上百米，重量几百吨到2000吨不等。制造场地一般在码头附近。单桩倒运一般使用SPMT，可以用一组整板，也可以采用两组车辆软拼运输。

由于单桩强度比较大，倒短和滚装时配车轴线数量与码头前沿承载能力有关，对单桩自身受力情况考虑较少。使用两纵列SPMT运输时，务必确保车组静态运输横向稳定角大于或等于 7° 。

5.7 导管架倒运



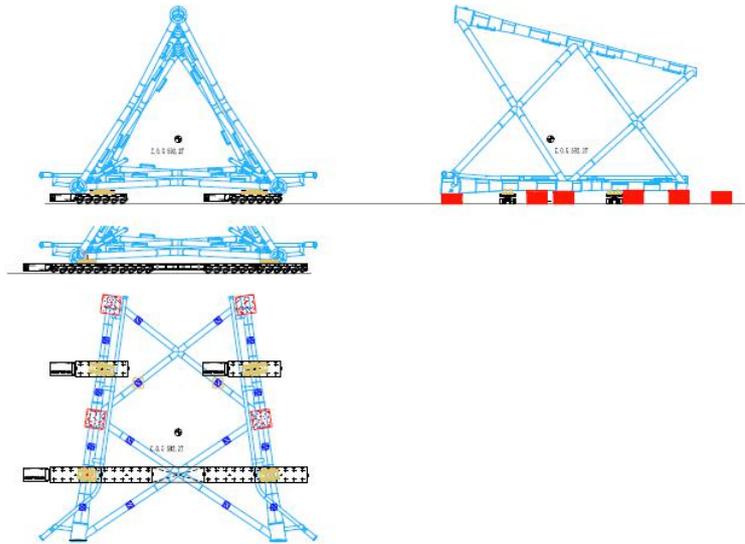


图5-12 导管架场内短倒

导管架的运输方式比较多样化，因为其制造工艺、发运条件、安装工艺等不同，有卧式运输和立式运输形式，因重量不同、支垫方式不同、上船方式不同，其运输配车形式也不同。导管架倒运过程中容易出现工装与导管架之间和SPMT与工装之间发生相对位移。需要通过改善导管架支撑工装的结构合理性和强度，以及使用同步性较好的SPMT车辆实施运输来解决。

5.8 吸力筒导管架倒运

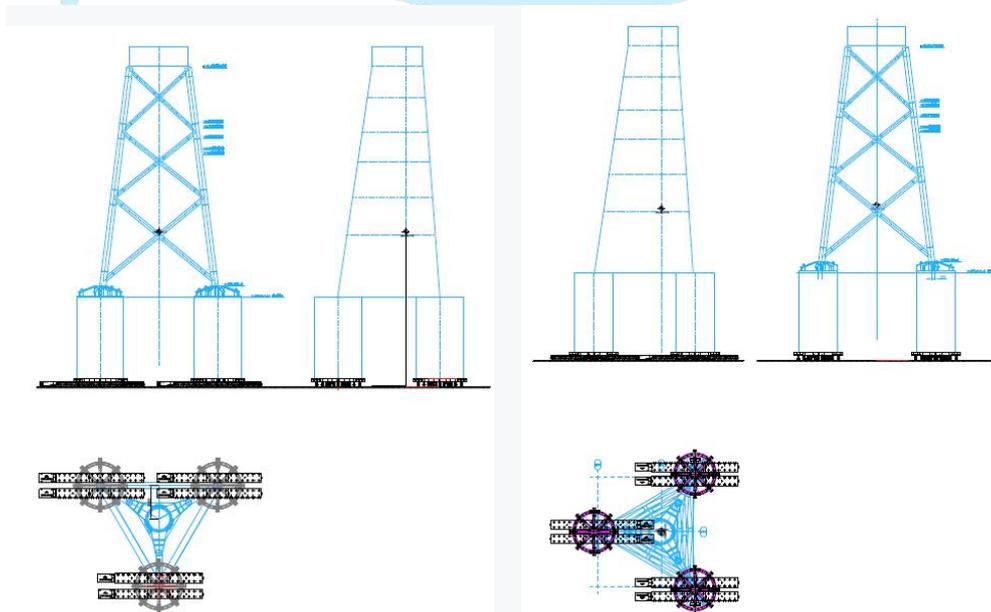


图5-13 两种吸力筒导管架倒运配车

吸力筒导管架重量较大，结构强度大，配车分组一般与吸力筒数目相匹配。即三吸力筒导管架，配车三组车辆，四吸力筒导管架配车四组车辆。配车轴线数根据场地、码头前沿承载能力以及吸力筒导管架尺寸和使用的SPMT的额定承载来确定。

5.9 升压站倒运

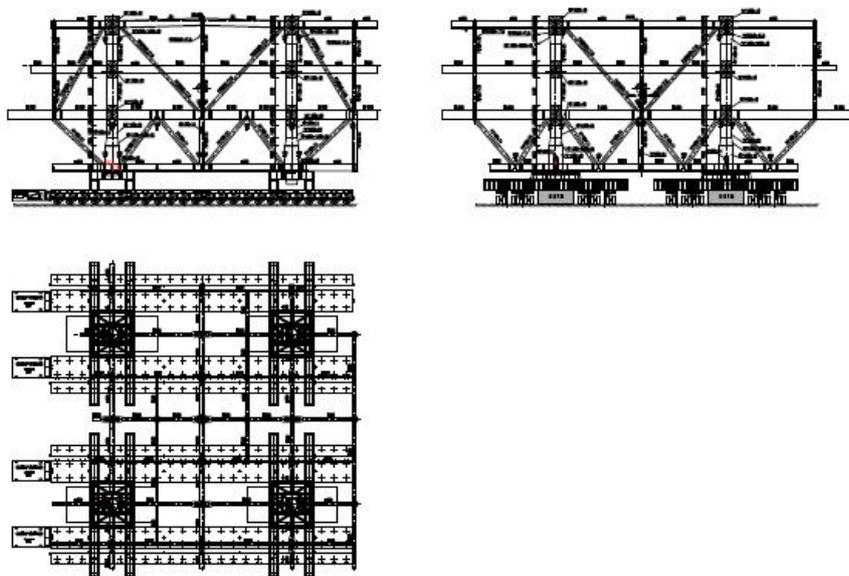


图5-14 升压站场内短倒

海上风电升压站模块使用SPMT运输和滚装时，轴线载荷相对较大，配车需要特别注意制造时放在平台下的支撑物结构和尺寸，避免车组中部负弯矩过大损坏SPMT，必要时添加分载结构。

6. 装船

海上风电设备和部件装船方式主要有三种：滚装、吊装和滑移装船。滚装方式装船，可以降低对吊装机械的依赖，节约成本。滚装方式装船比滑移方式装船效率高。

6.1 SPMT 液压小车滚装

鉴于滚装装船的成本和效率优势，海上风电项目设计总承包在FEED阶段就要邀请专业大件运输企业参与，确定设备运输配套的各种工装（托架、横担、支墩、马凳、分载梁等），以及根据使用条件确定这些工装的规格尺寸、强度和摆放位置等。

滚装过程对使用的运输工具SPMT的可靠性有较高的要求，以防止恶性事故的发生。在SPMT车辆选择时的一般条件如下：

使用同一品牌的SPMT进行配车和滚装作业；SPMT有较好的同步性；SPMT控制系统要兼容，滚装作业时由一人操控；SPMT配置的轮胎需要耐磨防穿刺填充胎或者实心胎（防止充气胎在滚装过程中被穿刺）；滚装时，SPMT要使用线控，规避无线控制时的外界电磁干扰；配车最大轴线载荷不能超过SPMT额定轴线承载能力的80%；配车后，SPMT车架受到的最大弯矩不大于许用弯矩的80%；配车后，车辆的静态运输横向稳定角不小于 7° 。

满足上述条件后，还要有如下状况下的应急预案：

液压系统故障；软管破裂/泄漏；轮胎爆胎和轮胎压力（只对充气胎适用）；SPMT连接耳板开裂；转向系统故障；驱动系统故障；甲板驳压载泵故障；系泊缆故障；部分备用SPMT。

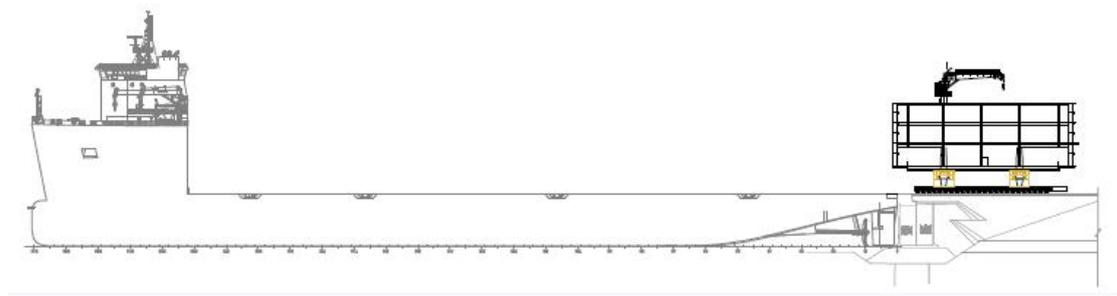


图6-1 使用SPMT滚装升压站

使用SPMT运输和滚装大型设备或部件时，SPMT车组采用三点支撑（或四点支撑）液压系统。

a. 在滚装作业前要关注的问题如下：

码头前沿水深、水位；本地的环境情况（特别海潮、涌、浪、流、潮汐、风引起的水位变化的可能性）；码头有足够的承载能力；码头有没有影响车组运输的障碍物；合适的跳板；跳板的铺设和固定方式；跳板与驳船和码头的对齐公差；跳板的坡度和高度对车组的影响；由于涌浪造成的船舶垂荡引起的跳板的斜坡变化和运动；SPMT的操纵能力和液压顶升能力；来自风的作用力；启动和停止时由于加速度而产生的惯性力；差动牵引，转向不准确，液压悬挂操作中的不协调；随时有足够的制动能力；海床承载能力（船舶托底滚装情况下海底的情况下）。

b. 滚装开始前，应进行以下测试和检查：

甲板驳或半潜船压舱水调载系统的功能测试，包括备用调载系统；SPMT的相关技术状况检查；PPU中的燃料；PPU中的液压油存量。

c. 滚装过程中，应适当监测以下情况：

作业现场的环境条件变化情况（潮位、风、浪、流、经过的船只等）；滚装作业的持续时间；SPMT的高度（各关键位置的高度、液压缸伸缩余量）；甲板驳（半潜船）甲板与码头前沿的高度差；甲板驳的调载系统工作状况和各压载舱的压载水位；跳板的状态（与码头的高度差、左右是否移位、变形情况）；设备或模块的变形量（设备本身变形量和配套工装的变形量）。

6.2 吊装装船

吊装装船是一种由陆上起重机或浮吊对货物进行装船的起重作业。采取陆上起重机吊装装船，前提要先论证码头前沿承载是否满足陆上吊机对地耐力的要求，校核吊机的起重力矩是否满足装船需要，考虑是否需要码头前沿进行加固或分载处理；采取浮吊吊装装船，需要一整套浮吊装船的技术方案，并校核和论证可行。

a. 在海上风电项目的规划设计阶段以及吊装开始之前，应考虑以下方面：

码头前沿水深；作业现场的环境条件变化情况（潮汐、风、浪、流、经过的船只等）；码头前沿有足够的承载能力；海床承载能力（船舶托底装载情况下海底的情况下）；限制操作值（提升速度、倾斜、相对运动、环境条件）；设备底部和船甲板之间的垂直间隙，考虑到任何可能的倾斜、调整平衡和运动；各设备（部件）之间的水平间距；装船前后，甲板驳与海

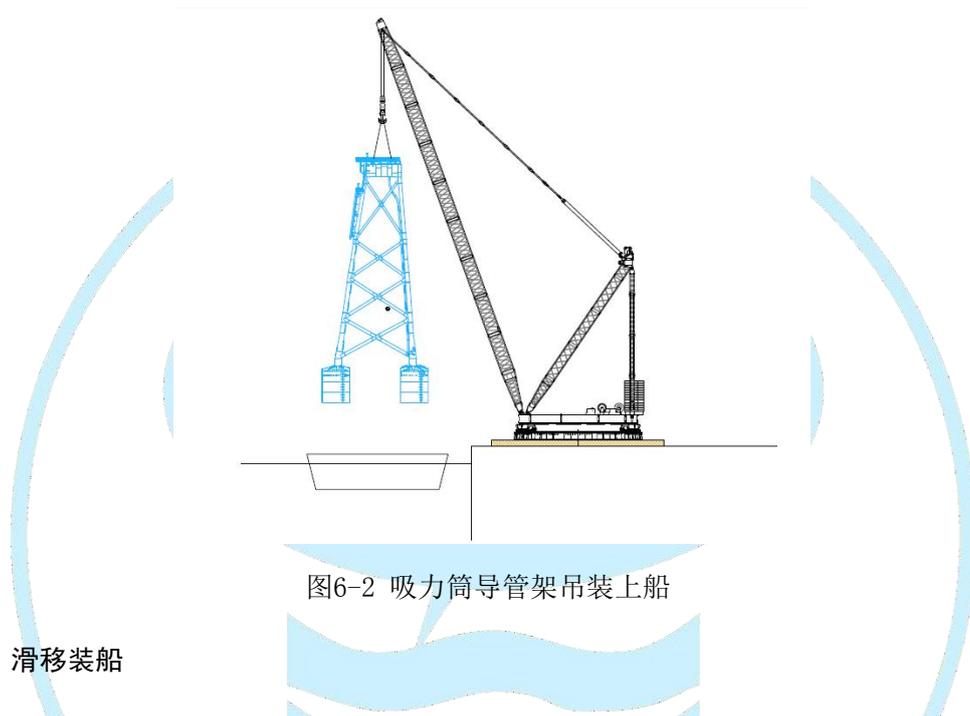
床之间的富余水深；验证设备上吊点、吊装结构与设计的一致性。

b. 起吊作业前应进行以下测试和检查：

检查钢丝绳或吊带状况；眼板及其与组件结构连接部位的无损检测 (NDT)。

c. 在吊装过程中应适当监测下列事项：

环境条件；吊装的持续时间；碰撞保护装置、导向装置及支撑点的应用；设备变形量；驳船或船只对码头、海床间隙的运动；被起吊设备的倾斜，特别是在多钩提升或静不定条件下；被起吊设备的相对运动；提升速度；定位和定向；施工方案中规定的其他公差。



6.3 滑移装船

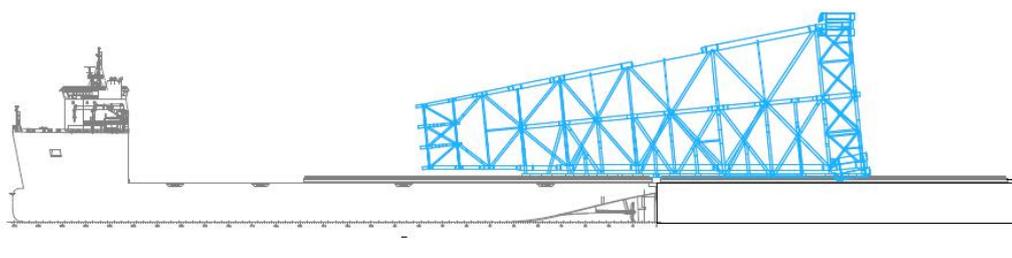


图6-3 导管架滑移装船

滑移装船有两种方式，一是横向装船，一是纵向装船，如下：

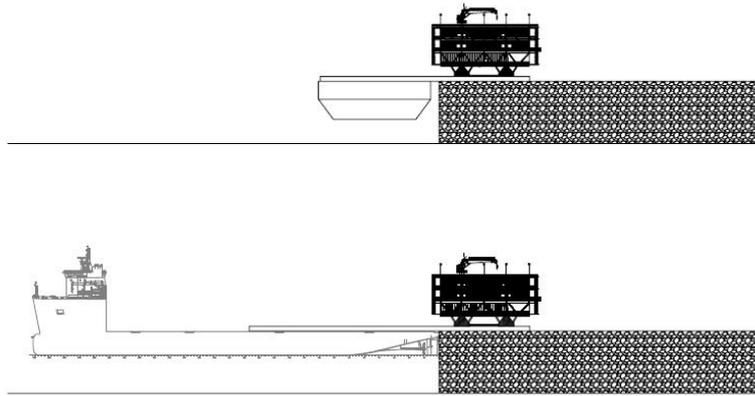


图6-4 升压站模块横向和纵向滑移装船

可采取拖拽式或推进式通过滑轨上的滑靴将设备滑移到甲板驳或半潜船上,装船前要考虑的码头和滑道条件,包括如下几个方面:

a. 设置潮位监测站;码头前沿泥底深度的确认,如有障碍或者深度不足需要提前清除,确保船底有足够间距;检查系泊系统是否满足要求,包括缆车、系缆桩、绞车、护舷气囊等;确认滑道的承载能力满足上部模块的压力要求;滑道表面清理干净,敷设润滑材料。

b. 装载模块的船舶要求如下:

需要经过船级社的认证,具备合法资质;检核船舶的总纵强度和局部强度满足该次装船要求;船上滑道铺设完成,并合乎方案设计要求;模块下的海运支撑格架就位,并检查合格;船上系缆桩的能力校核;压载系统能力测试及装船压载方案分析报告审核通过;装船操作的每一步的稳性分析校核通过。

c. 装船对需要的主要辅助设备有如下要求:

动力牵引系统。滑移装船操作牵引系统主要有三种情况,绞车牵引、液压千斤顶牵引以及钢绞线千斤顶牵引。牵引系统要有备份,确保某个系统的部件损坏能及时更换;跳板(连接桥)。船与码头滑道之间连接结构的强度校核要求考虑到系泊载荷、船舶运动诱导的载荷以及动力牵引所产的载荷;滑靴的强度校核;目视检查钢丝滑靴、导轨、横向导轨、钢丝、锚点;推拉装置的检查(遥控器的功能、液压缸的升降、运输运动等);系统在任何时间有足够的制动能力;整体回拖装置的功能性。

d. 在装船过程中,要对如下参数进行实时监测,并根据检测数据及时调整各方操作:

潮位;牵引系统的推力或拉力;滑道的水平度和直线度;跳板(连接桥)的倾斜度;限制操作值和允许公差;上部平台的水平和垂直变形;上部平台的水平位置;船舶的吃水及姿态;船舶的横倾及纵倾;压载舱的水位;液压牵引时的压力及千斤顶行程;驳船或船只对码头、海床间隙和滑移装船方式中规定的其他公差的运动;对滑移装船部件的分析应考虑弹性、对齐基准和船上及岸上滑道建成尺寸;整体回拖系统的有效性;任何单个模块支点相对于对角的支点偏差为25mm;任何单个模块支点相对于其他支点的偏差为15mm。

7. 海上运输

在风电场开发的阶段,应根据风险评估制定以下内容:

论证适当的海上运输方式，是采取甲板驳或半潜船等传统海运方式，还是选取湿拖(湿法拖曳浮动部件，如浮式基础等)。选择适当的船只类型、分析恰当的海运时间(考虑典型的天气条件，例如台风和冬季风暴等)，并选择最佳海运路线(需要经过海事部门牵头，组织专家论证可行性)。

7.1 海运方式选择

海上运输方式和路线的选择需要考虑多种因素，其中包括但不限于：

发运港码头固有属性(码头标高、码头前沿承载能力、潮汐数据、航道特点、风与涌浪之间的关系等)、海运设备的规格尺寸、重量、重心位置和重心高度；设备发运时的存放状态、环境条件(风，浪，流、涌、雨、雪、雷暴、雾、能见度等)；运输载荷和对天气变化的敏感性；距离和天气窗口限制(福建和广东海域内的风电项目尤其重要)；狭窄的水道，障碍物(如桥梁，吃水限制，船闸，其他高空障碍)；项目计划表；是否有避风港；运输过程中的例行检查，以及紧急情况下的逃生；政策因素影响，比如海底军事电缆铺设，海上军事演习等、最终安装工艺等……

将上述所涉及的因素相关资料准备齐全后，可以确定海上风电设备是采取湿拖还是传统海运。采取湿拖需要论证设备是浮出，还是先装半潜驳拖出设备到较深的开放水域浮起后再用拖轮拖拽。采取传统海运，需要根据装船工艺、卸船工艺、海运稳性要求等确定使用船型，是半潜驳、甲板驳、自升式平台还是吊运一体化的起重船。

7.2 海运方式与相应船舶类型选择原则

海上风电设备海运有湿拖和传统海运两种方式。

7.2.1 湿拖

湿式拖曳，将一个浮式部件通过其自身的浮力(和可能的临时浮力)支撑，并由拖船推/拉，以湿法运输到海上现场。

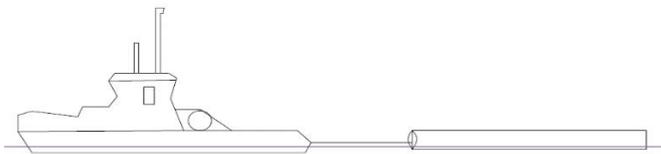


图7-1 单桩湿拖

在项目FEED阶段，如果设计院考虑项目的某些设备和部件要采取湿拖，在设计构件时，应对结构强度进行验证。应考虑所有相关荷载，其中(如有)：

水下部件的外部水压或充满水的舱室内水压所产生的静水荷载；波冲击载荷、正常波和水流诱发载荷；空气的和水动力诱发的漩涡和涡激振动的风险(特别是垂直运输时)；拖曳部件和螺旋桨之间的相互作用；由于海床和拖曳部件之间的相互作用，增加了吃水；狭窄通道中的通道效应；自浮部件的浮力应在精确的几何模型的基础上进行估算，浮力应根据所有相

关吃水进行估算，浮力中心的位置应据此估计应考虑浮力可能变化的影响；辅助浮力箱、永久浮力箱、类似的浮力结构和附着在拖曳部件上的附件应该设计成能够承受载荷；橡胶隔膜（塞子）应该有足够的强度来承受内部和外部的压力或空气压力，包括组装后由于温度变化而产生的负载；在拖曳过程中，橡胶膜片也应该能够承受相关的水动力阻力和惯性力；橡胶隔膜在组装后应该防止磨损、受热和结霜等。

7.2.1.1 浮出

对于在干船坞中制造的设备，可以通过自身的浮力或附加的临时浮力箱将其浮起，并从制造现场拖出。

在项目策划运输和安装的计划阶段以及浮出开始之前，应考虑以下方面：

当地环境条件和码头进水布置的影响；干船坞有足够的承载能力；提供引导和护舷装置等。

在开始浮出之前，应进行以下测试和检查：

检查引导和防护装置；检查临时浮力箱，组件连接点；临时浮力（可折叠胶袋）功能试验；检查干船坞区域、管道出入口、过滤箱、塞子，以避免杂物堵塞等；检查系泊、定位和拖曳系统、缆绳、快速释放钩、绞车等。

在执行浮出期间，应适当监测下列事项：

环境条件；浮出时间；自浮设备的吃水和底部间隙；设备的位置和方向；设备浮出时与通道的横向间距。



图7-2 干船坞注水浮起被湿拖设备



图7-3 浮式风电机组湿拖过程中

7.2.1.2 半潜船拖出

有些浮式风电浮体不在干船坞进行制造，而是在海工基地或者船厂制造场地上建造，其发运方式就不能采取干船坞注水浮出后湿拖，而是采取从建造场地内装SPMT倒运和滚装或者滑移装半潜船，半潜船海运到较深开放水域，下潜，浮式风电浮体浮起，使用拖轮将浮式风电机组拖到指定位置就位，或者半潜船将浮式风电浮体直接运输到风电场指定水域，下潜后将浮式风电机组直接就位（需要拖轮辅助）。



图7-4 半潜船运输浮式风电机组深海浮起转湿拖过程中

7.2.2 传统海运

传统海运是指将设备、部件装载到甲板驳船、半潜船、潜水重吊船或自升船实施海运。

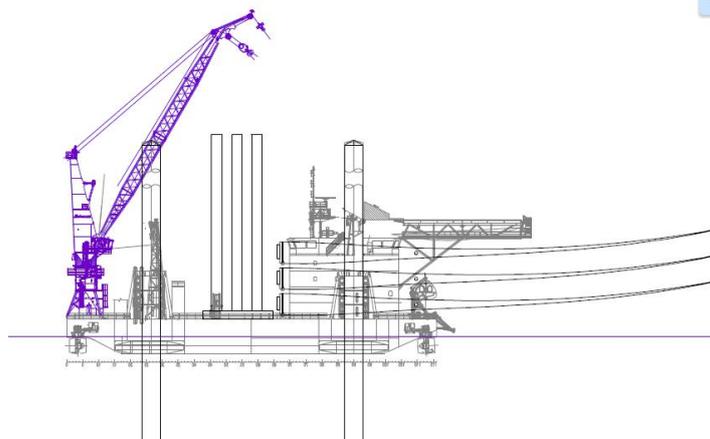


图7-5 风力机部件使用自升船进行海运

7.2.2.1 与传统安装法相配合的海运船要求

这里所说的传统安装法安装海上风电设备，主要是使用浮吊和海上风电专用安装船等，而不是采取浮托法安装或者湿拖后就位。

海上风电项目的设备因为基础类型不同，每批次装载设备的数量要求不同，选择的装船方式不同，对船型的要求也不同，但是都有配合安装船卸货的要求。这些船普遍要求船只有四锚定位的配置，在风、浪、流不同状况下，以实现相对稳定的定位。运输船的定位能力直接影响安装船的卸货起吊效率和安全。运输船与安装船的匹配度对项目整体运输和安装成本影响巨大。

远海深海风电项目，考虑安全和安装效率情况下，具备DP（动力定位）功能的船只只是运输海上风电设备的首选。

7.2.2.2 主机相关设备运输船舶

主机设备主要是机舱、轮毂和叶片。这些设备的重量相对较轻，装船大多数选择吊装，船舶选择要求没有那么苛刻。但需要满足如下几点：

甲板驳具有四锚定位装置；定位锚类型、重量以及锚链长度与作业水域海况以及船型匹配；甲板有效长度不小于叶片长度（防止伸出甲板外的部分被碰撞）；甲板承载能力不小于10吨/平方米；甲板有效型宽满足该批次发运设备装船配载要求（设备间要保留足够的安全距离）；自航甲板驳驾驶室最好前置；无动力甲板驳要配备足够牵引功率的主拖轮和辅助拖轮；若采取滚装方式装船，还需要考虑船舶型深、船舶干舷、调载能力等与发运码头的潮汐匹配情况。

7.2.2.3 风机基础相关设备和平台运输船舶

风机基础相关设备主要有单桩、导管架（吸力筒导管架）、重力式基础、浮式基础等；平台主要有升压站、换流站、无功补偿站和制氢装置模块等。

装船方式主要是滚装、滑移和吊装方式。

由于这些设备普遍重量较大、设备重心高度较高、宽度较大，无论采取何种装船工艺，在选择船舶时，都需要考虑如下几点：

船舶配载后，其稳性要符合相关规范要求；根据海运配载和装船工艺，船舶总纵、局部强度满足各环节设备在甲板上的要求；船舶型深、干舷调节能力满足装船码头的潮汐水位变化；船舶的压水舱和调载能力要与装载设备重量和作业时潮汐水位变化相匹配；根据滚装方案，甲板驳具备匹配的配合装船时尾靠或侧靠作业的系缆装置。

其他要求参7.2.2.1

7.3 海运风险评估

评估方法详见附件

7.4 绑扎加固

海上风电设备和部件海上运输是一项高难度、高技术含量的海运工程。通常使用的运输

船舶为自航或非自航的甲板驳船、半潜船。由于设备和部件尺寸超大、质量超重的特点，海上运输时有发生滑动和倾翻的风险。为了保证设备的海运安全，必须进行绑扎加固设计。

所谓绑扎是指：使用绑扎装置(如钢丝绳、双螺旋紧丝、链条、倒链、卡环、步步紧等)对货物进行拴紧；所谓的加固是指：通过焊接挡板的形式对货物进行固定。挡板和船舶甲板之间通过角焊缝焊接，挡板垂直于货物外表面。挡板能提供的加固力取决于焊缝的强度。对于重心较高，尺寸较大的设备、平台模块等还经常使用斜支撑来加固。斜支撑一般由厚壁钢管与厚钢板焊接而成，规格根据模块的质量、重心高度、支撑点位置等来确定，斜支撑一端焊接在甲板上，一端焊接在模块强架结构处。使用斜支撑进行加固，能有效解决超高、超重、超大模块（设备）海运中的稳性问题。

绑扎加固设计是先分析货物在各种海况下所受外力（包括惯性力、风压力、飞溅力等），然后根据受力平衡、力矩平衡条件，确定绑扎加固措施，确保货物在各种海况下不出现滑动和翻转。

7.5 海运过程管理

海上风电项目设备海运，需要根据实际情况编制各种文件，项目实施前要经过专家论证。这些海运文件包括但不限于以下内容：

海运设备的图纸、规格说明书；需要装船设备和部件的倒运方案；暂存地到码头的运输路线排障方案；滚装方案或吊装方案；船籍证书；船舶的系泊计算报告；调载报告；船舶稳性计算报告；船舶总纵强度分析报告；船舶局部强度计算报告；海运捆绑加固方案及计算书；拖航阻力计算；拖航拖带布置图；海运加速度计算报告等；海上运输的预定路线和时间；海运环境影响限度；技术人员必备资质；对运输船舶的要求(包括拖轮动力、船舶布置、导航设备、甲板承载、调载能力、抛锚能力、人员配备等)。

船舶开航前，将根据航行所经海域的海况、天气气候因素，制定航次计划，做好相应的应急预案和每个航段的航行措施；补充好燃油、淡水，同时做好左右边舱和艏尖舱的压载，使船舶保持最佳的航行状态；液体舱室尽量装满或沿纵向舱室装载，减少自由液面的影响。

船舶在海上航行期间，将根据气象预报、当时的海况、所处的经纬度、海上的风力等情况选择正确的航向、航速，以免因剧烈颠簸、晃动、软硬绑扎松动或货物及甲板结冰而造成大件设备移动；确保通讯畅通，同时每天按时向相关单位汇报船舶的航行状态及货物的保管情况；密切注意船舶的技术状态，确保船舶的技术状况良好。

航行途中全船以船长为船舶运输安全总指挥，大副为责任安全员，全体船员树立高度的安全运输思想观念，认真贯彻“安全第一，预防为主”的指导方针，确保海运安全顺利实施；船长亲自主持并认真开好的航次会议，根据货物航次运输任务，航行区域、预计抵达时间和气象、航道、水位及其它可能遇到的不安全因素，拟订和布置具体的安全措施；船队必须配备足够的消防设备，堵漏器材及应急的必需物资，必要时进行消防、舵机失灵应急演练；同时，拖轮对主机、辅机、电机、舵机、锚机、应急系统和通信导航设备等进行全面检查，确保其处于良好的适航状态；对船舶动态实施24小时监控，船舶严格执行船位报告制度，按时收听航海通告，及时修改海图等航海图书资料，认真填写航海日志；船方应每日报告船舶航行状态和货物的信息，预计到达时间；大副及相关人员按时检查货物加固遮盖状况，并做好相应的检查。发现有异常情况应及时汇报，并采取相应的补救措施。

在运输过程中，例如在一段时间的恶劣天气之后，可能需要对部件和海上紧固情况进行

例行检查。记录的海上运输所有检查和工作步骤的执行情况。

严格执行《避碰规则》，严格遵守船舶报告制度，认真瞭望，按航道设标规范要求，谨慎操作。当受视距、风力等航行条件约束时，需加强收听航行警告和接受气象云图，掌握气象、风力风向等变化信息（当遇到6级及以上大风或能见度不足500米时应立即停止航行并找安全地点停靠）。认真执行雾航规则，遇雾锚泊时，船舶应保持正常航行值班，主机处于备车状态，便于应急，并按规定鸣放雾号。

船舶到达制定海域抛锚前，对锚设备、系泊设备检查，确保处于良好适用状态。

8. 浮托安装

8.1 浮托法介绍

浮托法是在海洋平台上部模块整体建造的基础上，利用驳船（半潜船）实现整体海上运输，在安装过程中依靠潮位、驳船调载与升降机构等方式实施上部模块的升降，同时辅以专用连接部件，完成上部模块与下部导管架平台对接的安装技术。由于该技术具备“四整一零”（整体设计、整体建造、整体运输、整体安装和零调试）的技术优势，在今后的大型升压站、换流站、无功补偿站等上部模块的安装上有较强的使用前景。

典型的浮托法安装过程包括上部模块的整体建造、整体装船、海上整体运输、施工待命、安装船进导管架槽口、对接前船位调整、上部模块与导管架对接、对接后船位调整、安装船推出等步骤，涉及海上工程作业的所有基本状态。

浮托法安装海上平台，务必从项目的规划阶段就要做设计准备，确定安装工艺。

8.2 浮托法安装船要求

浮托法安装工艺从装船、海运到安装均使用同一条驳船完成，驳船需要同时满足海运和安装要求。

大型海上平台模块海运，需要驳船具有足够的稳性，此时要求较低的重心位置和较大吃水面积。船体越宽、型深越大，初稳性和稳性范围就越好，但是初稳性增加会导致横摇周期减小，在风浪中上部模块的重心加速度就会相应增大，这样也会增大绑扎加固的困难；另外安装船的宽度会直接影响导管架槽口宽度要求，较大的船宽对于导管架设计是不利的。在满足船舶航行过程中稳性的前提下，船体宽度应该尽可能小。

具备动力定位DP（dynamic position, DP，使用安装在水面下的推进器所产生的推力来抵消风、浪、流引起的力和力矩）装置的船进行浮托法安装可以简化系泊系统，受水深变化影响小，允许操作人员快速改变船舶的位置和方向，操作灵活，可以更好的精确定位，是深海水域作业的更好选择。

8.3 浮托法安装装船

浮托法的上部模块装船方法主要有两种，一种是滚装装船（6.1 SPMT液压小车滚装）；一种是滑移装船（见6.3滑移装船）。

8.4 浮托法安装过程中几个关键环节关注点

8.4.1 进船前准备

海运到位后，浮托法安装上部模块，必须慎重考虑洋流、波浪和涌浪(高度、周期、方向)，并需要关注如下几个环节。

待命系泊系统设计取决于作业区布局和海况，进船操作前需要完成的准备工作：

绑扎结构的切割和清除；系泊及定位检测系统的启动；负荷转移系统的启动；安装船压载调整。

8.4.2 进船过程中

进船前准备工作完成后，在安装窗口期进行进船操作，安装船从待命状态进入导管架安装槽。进船过程必须注意以下几点：

进船端必须与导管架槽口对齐；护舷与导管架之间的碰撞力必须小于导管架与护舷本身的承受极限；进船过程上部模块的安装腿与导管架之间不得有碰撞发生；安装船的纵、横向运动以及偏航角必须控制在一定范围内。

8.4.3 进船后就位过程

进船完成后，上部模块的安装腿必须与导管架腿对齐。对齐允许误差取决于插尖与承接喇叭口的设计尺寸。对齐后，通过安装船加载压载水（或用落潮配合）逐渐减少安装腿与导管架腿之间的间距，直至插尖进入承接喇叭口。这个阶段需要特别注意以下几点：

有效限制安装船的横向和纵向运动；导管架侧向冲击载荷不得超过导管架和护舷的极限载荷；导管架腿上垂向冲击载荷不得超过导管架和对接结构的设计极限载荷。

8.4.4 上部模块就位后船舶撤离前

当安装腿和导管架的间距较少到零，上部模块的重量将会从100%由安装船支撑转移到100%由导管架支撑。上部模块的重量转移可以通过安装船压载调整和主动式液压支撑系统实现。当载荷转移完成后，上部模块与支撑结构之间的冲击载荷可能仍然存在，需要继续调载以增大上部模块与支撑结构之间的距离，方可进行出船操作。这个阶段需要特别注意以下几点：

有效限制安装船的横向、纵向运动以确保上部模块与支撑结构之间较小的相对运动；导管架侧向冲击载荷不得超过导管架和护舷的设计极限载荷；支撑结构上的垂向冲击载荷不得超过支撑结构与上部模块支撑点的设计极限载荷。

8.4.5 安装船退出导管架槽口

当支撑结构与上部模块之间的间距增加到设计允许值以后，安装船可以从导管架槽口推出。这个过程需要注意以下几点：

导管架腿上的侧向冲击载荷不得超过导管架和护舷的设计极限载荷；支撑结构与上部模块之间不允许有垂向冲击载荷；控制好安装船横向运动和方位角；安装船底部与导管架安装槽底部横管必须有足够的安全距离；安装船必须有足够的干舷。

附录

A. 风险识别

A.1 附录提供了一种识别潜在危险源以及评估其风险级别的方法

危险源是一种潜在的伤害来源。伤害包含人身伤害，环境影响，设备伤害或者上述伤害的综合体。当危险事件或者故障中的危险源发生时就会造成事故。

风险是指在特殊时间段或特殊环境下发生危险事件（危险源详见[A.2]）的可能性。风险等级可由下方两部分组合而成：

- 事故产生的危险程度（见A.3）
- 事故发生的可能性（见A.4）

A.2 危险源辨识

危险源是一种可能产生破坏、伤害或其他损失的偏离（设计和操作偏离）情况。危险源可能会影响到风力发电设备的运输，从而造成：

人员受伤或死亡；运输成本增加（由于延误、进一步复杂化或额外步骤）；c) 设备和部件的损失；对声誉和公共关系的影响；以及综合性影响

表A-1 提供了运输过程中危险源辨识（实际偏离、不安全行为、不希望发生的时间等），包括其危害程度、发生的原因以及可能产生的后果。可能产生的后果主要包括人员健康和安
全、环境保护以及经济损失。

表A-1 风险识别

编号	危险源(偏差、不规范、不希望发生的事件)	可能原因	可能后果
1 产品设计/配套工装设计			
1.1	设备或部件的损坏： 结构损伤； 组件浮力的损失； 走锚，系泊； 火灾、爆炸	尺寸和设计不合理； 缺乏保护； 运输前不适当的检查和测试； 错误的天气预报。	人员健康和 安全后果(受伤、死亡)； 经济后果(资产、部件、设备的损失)； 运输成本的增加； 环境后果(浪费、污染)。
1.2	船舶事故，例如：船舶或驳船失控、碰撞、撞击、搁浅； SPMT液压系统故障；	错误的天气预报； 冷却润滑状态、生锈、腐蚀、磨损导致设备效率、能力和	人员健康和 安全后果(伤害、死亡)； 经济后果(损害、倒

	装船机械故障； 通信故障	可靠性下降； 机械设备保养和维修不当；	塌、声誉)； 环境后果(浪费、污染)。
1.3	延迟； 计划冲突	安装船和设备的延迟预约； 安装设备的复杂准入； 与设备/部件相关的设计问题。	经济后果(成本、声誉)。
2 方法与过程			
2.1	运输程序执行过程中的故障或损坏	设备和部件设计缺陷； 运输方法选择不合理，缺乏可行性或安全性不足； 采用新的或未经验证的技术； 陆上运输路线、码头、泊位、安装船、驳船、海上紧固、预装或中间存储区选择不合理。	人员健康和安全(伤害、死亡)； 经济后果(损害、倒塌、声誉)； 环境后果(浪费、污染)。
2.2	碰撞、撞击、搁浅、触礁	运输路线选择不合理(长度和持续时间，缺乏安全港等)； 运输方法选择不合理； 采用新技术或未经验证的技术。	人员健康和安全(伤害、死亡)； 经济后果(损害、倒塌、声誉)； 环境后果(浪费、污染)。
2.3	延迟； 计划冲突	运输方法选择不合理； 码头、泊位、安装船、驳船、海上紧固、预装或中间储存区选择不合理； 缺乏冗余，没有应急计划。	经济后果(成本、声誉)； 环境后果(浪费、污染)。
3 材料和物资			
3.1	运输序执行中的不合理或偏差，例如： 起重机或SPMT液压系统故障； 结构不合理的锚索，系泊等	设备、部件设计材料选择不合理； 海上紧固、运输设计材料选择不合理。	人员健康和安全(受伤、死亡)； 经济后果(损害、崩溃、声誉)； 环境后果(浪费、污

			染)。
3.2	延迟; 计划冲突	在预装区或中间储存区地点没有必要条件的供应等。	经济后果(成本、声誉)。
4 进行必要的测量和测试			
4.1	运输程序执行中的不合理或偏差	测量或试验方法的选择不合理; 测量和测试的准确性不适当; 测量和测试的可靠性低; 结果的可读性差。	经济后果(成本、声誉)。
4.2	延迟; 计划冲突。	测量和测试设备的失效或损坏。	经济后果(成本、声誉)。
5 环境			
5.1	中间储存区、倒运装卸车现场的污染、废物	装备漏油(液压油泄露、燃油泄漏等)	环境后果(浪费、污染); 经济后果(成本、声誉); 人员健康和安​​全(伤害)。
5.2	噪音干扰程度过高	噪声保护失效	人员健康和安​​全(伤害); 经济后果(成本、声誉)。
5.3	意外的天气状况恶化而导致延误、行程冲突	不可靠的天气预报	人员健康和安​​全(受伤、死亡); 经济后果(成本、声誉)。
6 人事和组织问题			
6.1	物理性职业危害; 人员的事故; 疾病; 有人落水;	运输范围内的几何限制; 设备不适当的(海上)紧固和安​​全; 不利的天气和海洋状况; 工具和个人安​​全设备不适	人员健康和安​​全(受伤、死亡); 经济后果(成本和声誉)

	未经授权的干预； 恐怖主义	当或设备不足；	
6.2	抛物，摆动负荷	不适当的吊装； 人为错误； 恶劣的天气； 吊装整体或部分故障； 机械故障。	人员健康和安全(受伤、死亡)； 经济后果(损害、崩溃、声誉)； 环境后果(浪费、污染)。
6.3	船舶碰撞、撞击、搁浅、触礁。	员工资历不足； 人为失误； 设备故障。	人员健康和安全(受伤、死亡)； 经济后果(损害、崩溃、声誉)； 环境后果(浪费、污染)。
6.4	流行病	食物中毒； 生物危害； 晕船	人员健康和安全(伤害)。
6.5	延迟； 计划冲突	工作人员资格不足； 管理和协调不善； 陆上运输延误； 驳船、安装船、运输和安装设备无法使用； 财务问题，例如：运输分包商破产； 没有许可证书	经济后果(成本和声誉)。

A.3 事故产生的危险程度

A.3.1 人员健康和安全评估

人员健康及安全评估需要考虑以下重要因素：

死亡；受伤；疾病；船员落水

安全后果应考虑到人员的潜在死亡和伤害，通常用潜在生命损失来表示。

表A-2显示了一个安全风险等级表，风险等级从最低到最高一共四个等级。

表A-2 安全后果量化表

事故等级	人员伤亡描述
特别重大事故	30人以上死亡，或者100人以上重伤
重大事故	10人以上30人以下死亡，或者50人以上100人以下重伤
较大事故	3人以上10人以下死亡，或者10人以上50人以下重伤
一般事故	3人以下死亡，或者10人以下重伤

A. 3. 2 环境后果

环境后果分析需要对下列因素进行估计：

液体排放造成的污染；气体排放；剧毒化学品的泄露；过度的噪音

环境后果应限于对环境的局部和全球破坏；不包括安全和经济方面。

表A-3给出了环境后果量化表。

表A-3 环境后果量化表

分类	污染环境的液体排放	描述
HH	>15000	巨大影响
H	10000--15000	重要影响
M	1000--10000	局部影响
L	100--1000	轻微影响
LL	<100	可以忽略不计

A. 3. 3经济后果

经济后果应包括与潜在事件有关的所有财务事项，包括：

维修费用；由于延误和计划冲突造成的成本；清理成本；生产损失的价值；罚款；声誉损失。

经济后果用损失人民币数额进行量化。

表A-4 经济后果量化表

事故等级	人员伤亡描述
特别重大事故	1亿元以上直接经济损失的事故
重大事故	5000万元以上1亿元以下直接经济损失的事故
较大事故	1000万元以上5000万元以下直接经济损失的事故
一般事故	1000万元以下直接经济损失的事故

业务中断的经济后果可以根据生产停机时间和范围乘以生产价值来估计。

A.4 失效概率

失效概率 (POF probability of failure) 是一个事件在单位时间内发生的概率 (例如年概率)。

表A-5 失效概率分级

分类	POF /年	描述
HH	$> 10^{-2}$	可以预见的
H	10^{-3} to 10^{-2}	高失效概率
M	10^{-4} to 10^{-3}	中等失效概率
L	10^{-5} to 10^{-4}	低失效概率
LL	$< 10^{-5}$	可以忽略不计的

A.5 风险矩阵

风险可以很方便地用风险矩阵表示。应该为每个结果类别建立一个单独的矩阵。在设计过程开始时, 应统一和规范化通用风险矩阵, 并用于与审查运输有关的所有风险评估。

为了直观可以使用如图A-1所示的 5×5 矩阵。

矩阵竖轴是发生概率, 横轴是表示事件发生后的危害等级。

风险通常分为三或四类(如图所示), 在安全、环境和经济方面应是相同的:

H: 高风险是不可接受的, 应采取措施降低风险水平。

M: 中等风险可以进一步划分为可容忍(上)和广泛可接受(下)区域, 以集中精力进行风险控制。

a) 一旦采取了所有合理可行的措施来降低风险, 风险是可以容忍的。需要进一步采取减少措施, 除非成本与收益严重不成比例。

b) 如果大多数人不担心风险, 风险是可以被广泛接受的。在具有成本效益或需要确保风险不增加的情况下, 应采取进一步措施。

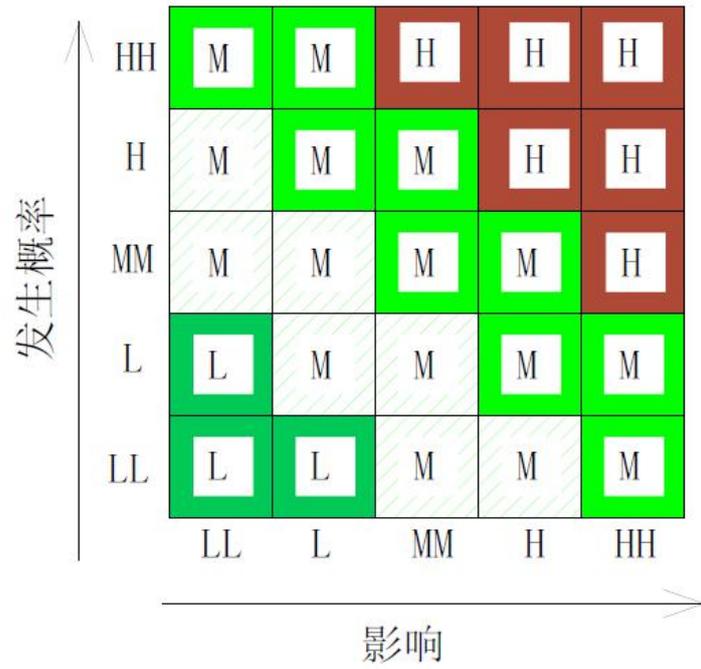
L: 风险低, 可以忽略不计, 不需要采取措施。

有三种类型的矩阵可以分为:

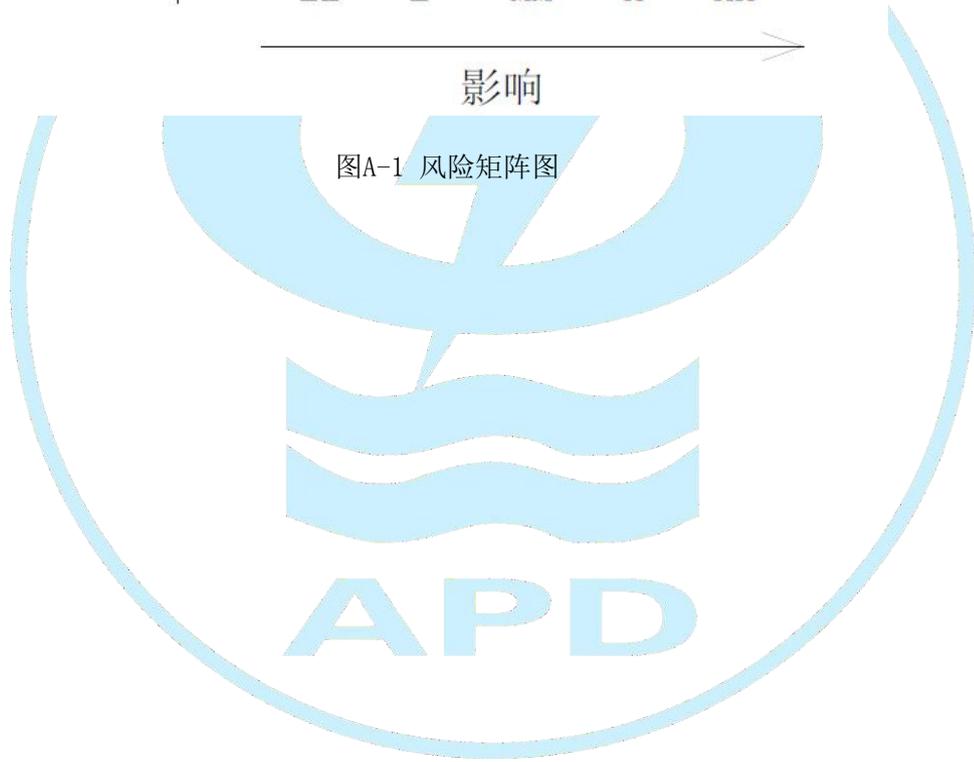
H=不可接受的。

M=需要采取措施的可容忍的。

L=广泛接受的, 不需要采取措施。



图A-1 风险矩阵图



参考文献

- [1] 中华人民共和国安全生产法. 中华人民共和国主席令第八十八号
- [2] 超限运输车辆行驶公路管理规定. 中华人民共和国交通运输部令2016年第62号（自2016年9月21日起施行）
- [3] 大件运输安全技术 ISBN 978-7-5047-6726-4
- [4] 工程物流实务 ISBN 978-7-114-17120-8
- [5] 海上货物运输 ISBN 7-5632-1502-6
- [6] 大型海上平台浮托法技术研究与实践 ISBN-978-7-03-051465-3

