指导性文件
GD030-2026

中　国　船　级　社

齿轮齿条式升降锁紧系统指南

2026

2026 年 10 月 1 日生效

北　京

目　录

第 1 章　通　则 1

第 1 节　一般规定 1

第 2 节　定义与缩写 1

第 3 节　接受标准 2

第 2 章　技术要求 4

第 1 节　一般规定 4

第 2 节　驱动机构 5

第 3 节　密闭传动齿轮装置 7

第 4 节　爬升齿轮与齿条锁紧系统 10

第 5 节　控制系统 10

第 6 节　锁紧装置 12

第 3 章　产品检验 14

第 1 节　一般规定 14

第 2 节　产品图纸审查 14

第 3 节　零部件检验 15

第 4 节　原型试验 19

第 5 节　出厂试验 21

第 6 节　安装与调试 22

附录 1　齿轮齿条式升降锁紧系统 FMEA 一般做法 24

第 1 节　一般规定 24

第 2 节　故障模式 24

第 3 节　案　例 25

第 1 章 通 则

第 1 节 一般规定

1.1.1 一般要求

1.1.1.1 本指南旨在为自升式海上移动平台齿轮齿条式升降锁紧系统的设计、制造、安装、检验与试验等方面提供指导。

1.1.1.2 本指南规定了齿轮齿条式升降锁紧系统涉及的原型试验、出厂试验以及安装和调试的相关检验要求。

1.1.2 适用范围

1.1.2.1 本指南适用于海上自升式平台的齿轮齿条式升降锁紧系统。

1.1.2.2 用于除了自升式平台之外的船舶或海上设施的齿轮齿条式升降锁紧系统可参照本指南执行。

第 2 节 定义与缩写

1.2.1 定义

1.2.1.1 除另有规定外，本指南采用的名词术语定义如下：

（1）升降系统：系指用于提升和下降自升式平台的平台体，传递平台体与桩腿之间载荷的机械系统（主要包括动力源、控制系统和机械升降装置）。该系统亦用于在平台体漂浮状态下升降桩腿。

（2）锁紧系统：系指用于保持自升式平台在升起状态和/或在平台漂浮状态时锁紧并固定平台体与桩腿的机械系统。主要包括独立的动力源、控制单元、传动装置及机械锁紧设备，在自升式平台或桩腿升起后，使用传动机构将锁紧设备的锁紧齿条与桩腿齿条啮合固定，在平台和桩腿之间建立刚性连接，将作用在爬升齿轮上的平台重量及环境、作业载荷部分或全部转移到锁紧装置。

（3）齿轮齿条式升降装置：系指由电力或液压马达通过升降变速箱驱动的爬升齿轮，作用于平台桩腿上的齿条，以实现在桩腿站立状态，升降平台体或平台体在漂浮状态升降桩腿，以及升降到位后保持桩腿与平台体相对位置固定、维持站立承载状态为目的的一种装置，一般包括多个升降单元。

（4）升降单元：系指升降装置的组成部分，通常由爬升齿轮、爬升齿轮轴、减速箱、驱动电机/马达、制动器组成。

（5）驱动机构：系指齿轮齿条式升降系统驱动机构，一般为电动机或液压马达。

（6）额定升降载荷：升降平台体时，升降装置通过升降齿轮传递到桩腿齿条齿面的额定垂直有效载荷；

（7）预压载载荷：系指齿轮齿条式升降锁紧系统在预压载作业时可能达到的最大动态升降载荷。

（8）最大静态支撑载荷：系指齿轮齿条式升降锁紧系统静态可能达到的最大载荷。通常取预压载固定支撑下可能的最大载荷或平台极限风暴固定支撑状态下可能的最大载荷，二者取大者。

（9）空载运行试验：系指升降单元在空载条件下完成的运转试验，以验证其运转功能。

（10）耐久性试验：系指在设计额定升降载荷条件下，使升降单元长时间连续运行的试验，以验证其耐久性。

（11）额定载荷试验：系指在设计额定升降载荷条件下，使升降单元连续运行的试验，以验证其连续工作能力。

（12）重载试验：系指在预压载载荷条件下，使升降单元连续运行的试验，以验证其在预压载工况下的工作能力。

（13）超载试验：系指试验载荷不小于 1.5 倍的设计额定提升载荷或 1.1 倍的最大静态支撑载荷，取其大者。在该载荷下缓慢运行使升降爬升齿轮正反转各一周的试验。

（14）刹车试验：系指用于验证升降单元刹车能力的试验，包括动态刹车试验和静态刹车试验。

1.2.2 缩写

1.2.2.1 本指南中出现的英文字母的含义如下所示：

缩写	含义
FMEA	失效模式和影响分析
HRC	洛氏硬度
FAT	出厂试验
RPD	齿条相位差

第 3 节 接受标准

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 除满足本指南要求外，CCS 接受按照国际标准、国家标准和行业标准的适用部分对齿轮齿条式升降锁紧系统进行设计、制造、安装、检验和试验。当接受标准与本指南要求存在不一致时，应以本指南要求为准。

1.3.1.2 本节所列接受标准以外的其他适用的标准也可使用，条件是应证明具有与本指南要求相当或更高的安全水准，并事先经 CCS 同意。主管机关如有相关要求，应以主管机关要求为准。

1.3.1.3 任何与设计标准之间的不一致，以及对设计标准要求的免除及更改均应在设计文件中明文说明，并经业主和 CCS 同意。

1.3.2 接受标准

1.3.2.1 本指南接受的国际标准、中国国家标准、行业标准和国外标准如下，如无特别说明，以最新版本为准：

（1）ISO 19905-1 Oil and gas industries including lower carbon energy — Site-specific assessment of mobile offshore units — Part 1: Jack-ups: elevated at a site；

（2）ISO/TR 19905-2 Petroleum and natural gas industries — Site-specific assessment of mobile offshore units — Part 2: Jack-ups commentary and detailed sample calculation；

（3）ISO 6336 Calculation of load capacity of spur and helical gears；

（4）ANSI/AGMA 2001-D04 Fundamental Rating Factors and Calculation Method for Involute Spur and Helical Gear Teeth；

（5）ISO 16173 Ships and marine technology-Jacking system appliances on self-elevating unit - Rack pinion leg fixation system；

（6）GB/T 3077 合金结构钢；
（7）GB/T 37400.15 重型机械通用技术条件 第 15 部分：锻钢件无损探伤；
（8）GB/T 37558 大型锻钢件的锻后热处理；
（9）GB/T 37464 大型锻钢件的淬火与回火；
（10）GB/T 37559 大型锻钢件的正火与退火；
（11）GB/T 37456 海洋平台电动驱动齿轮齿条升降装置；
（12）GB/T 17107 锻件用结构钢棒。

第 2 章 技术要求

第 1 节 一般规定

2.1.1 一般要求

2.1.1.1 齿轮齿条式升降锁紧系统除满足本指南要求外，还应满足 CCS《材料与焊接规范》和《海上移动平台入级规范》的适用要求。

2.1.1.2 齿轮齿条式升降锁紧系统设计和制造应进行失效模式和影响分析（FMEA）以确保具有一定的冗余度，使其任一构件/部件的单一失效不至于损害平台的安全。

2.1.1.3 当系统的部件识别为非冗余，冗余又不可能时，应对这些部件的可靠性和机械保护进行进一步评估，其评估结果应提交 CCS 审查。

2.1.1.4 升降锁紧系统应在空载、额定升降载荷、预压载等载荷下能正常运行，各密封处无泄漏。

2.1.1.5 齿轮齿条式升降系统的设计和制造应具有当失去动力（例如电、液压或气压）时，能安全保持桩腿相对于平台高度的能力。

2.1.1.6 在作业、自存或拖航等所有模式下，齿轮齿条式升降系统均应具有足够的提升和支撑主体或桩腿装置的能力。

2.1.1.7 齿轮齿条式升降锁紧系统主要部件材料的选择应考虑作业载荷、用途和设计温度等。

2.1.1.8 升降、锁紧装置的工作处所应有良好的照明和便于维修各种设备的安全通道。

2.1.1.9 升降装置的额定载荷应适当考虑桩腿齿条与导向板的摩擦和齿型误差等因素影响。

2.1.1.10 升降装置、锁紧装置主要部件的材料应根据作业载荷环境、用途和设计温度进行选择。传动齿轮应选用优质碳素钢或合金钢锻成，如使用其他材料时，应经 CCS 同意。

（1）升降装置和锁紧装置的齿轮钢锻件及其他重要锻钢件应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 5 章“锻钢件”的要求；

（2）升降爬升齿轮和锁紧装置的锁紧齿条的夏比 V 缺口冲击试验要求应与平台的桩腿齿条板的要求相一致；对于采用淬火加回火的合金钢锻件，在设计温度减 20℃下的夏比 V 缺口冲击试验平均冲击功：纵向不小于 41 J，切向不小于 24 J；

（3）升降装置、锁紧装置的齿轮及重要合金钢锻件在其设计温度下的夏比 V 缺口冲击试验值应符合 CCS《海上移动平台入级规范》第 4 篇第 6 章表 6.1.4.9 的要求。

2.1.1.11 齿轮齿条式升降锁紧系统的强度分析至少应考虑平台在下列工况下的可能最大载荷：

（1）平台的正常升降；

（2）平台的固定支撑保持；

（3）平台预压载下平台的升降；

（4）平台预压载下平台的固定支撑保持；

（5）桩腿的正常升降；

（6）桩腿的固定保持；

（7）平台极限风暴固定支撑保持（站立状态和漂浮状态）；

（8）锁紧装置和升降装置转移过程中的载荷（若有）。

第 2 节 驱动机构

2.2.1 一般要求

2.2.1.1 齿轮齿条式升降系统主要采用电动驱动和液压驱动。

2.2.1.2 齿轮齿条式升降系统驱动机构的选型应考虑平台在本章 2.1.1.11 列举的工况下的可能最大载荷，并应考虑齿轮齿条之间摩擦、桩腿与导轨之间摩擦的影响、载荷在各齿轮齿条间的不均匀分配以及载荷传递失中的影响。

2.2.1.3 齿轮齿条式升降系统驱动机构应设有保证其不超过安全转速的装置。

2.2.1.4 齿轮齿条式升降系统驱动机构的材料和防护涂层应具备良好的耐腐蚀性。外壳宜采用耐腐蚀合金钢或者进行特殊的防腐处理，如热浸锌、涂覆防腐涂料等保护措施。

2.2.1.5 齿轮齿条式升降系统驱动机构应具有足够的强度和刚度以承受波浪、潮流产生的冲击和振动。

2.2.2 电动机

2.2.2.1 采用电动机驱动，则任一桩腿电动升降系统的功率和结构应能保证在任一台电机损坏后仍能维持升降系统的继续运行。

2.2.2.2 驱动电动机应设有防止过载、过热、断相等保护装置。

2.2.2.3 驱动电动机若布置在危险区，则应满足相应等级的防爆要求。

2.2.2.4 驱动电动机的外壳防护等级应满足作业区域要求。

2.2.2.5 电动机的转速应与升降速度匹配。

2.2.2.6 驱动电动机在其规定的负载和转速范围内工作时，不应出现有害的火花。

2.2.2.7 定子绕组应设有温度检测器，能在温度一旦超过允许值时，触发安装在通常有人值班的处所内的视觉和听觉报警器，发出报警信号。若采用埋置式温度检测器，则应设电路过电压保护。

2.2.2.8 空气冷却电机在环境空气温度为 45℃下额定运行时的温升限值应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章 3.2.3 的要求。当电动机的运行环境空气温度高于 45℃时，则其温升限值应较 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章 3.2.3 表 3.2.3.1 规定值减去实际环境空气温度与 45℃之差值。如电机的运行环境空气温度低于 45℃，则其温升限值可较 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章 3.2.3 表 3.2.3.1 规定值增加实际环境空气温度与 45℃之差值，但此增加值不应大于 15K。安装有水冷式热交换器的电动机，热交换器进口冷却水温度可视作电动机的运行环境空气温度。

2.2.2.9 电动机应设有防止轴电流有害影响的措施。

2.2.2.10 采用非封闭轴承的电动机应考虑设有轴承加油杯或加油孔，并设置相应的排油道，以保证轴承良好的润滑。

2.2.3 液压驱动装置

2.2.3.1 重要用途液压传动装置中的动力油泵，应设有备用泵，且能迅速转换使用。

2.2.3.2 液压管系不应用于该管系外的任何机件的润滑。

2.2.3.3 液压管及配件的强度，应能承受管系内可能产生的最高波动压力。

2.2.3.4 管系中应设有防止压力脉冲的措施，液体的流态应保持层流。

2.2.3.5 液压管系中应设有溢流阀，溢流一般应回至油箱。

2.2.3.6 液压管系和液压油缸等设备应有放气装置，管系布置应避免空气的储积。

2.2.3.7 管系中如设有蓄能器，则应在进油端装设溢流阀。气液式蓄能器的气端应装有安全阀。

2.2.3.8 在失火情况下，需要继续使用的管路和设备应采用耐火型的。

2.2.3.9 在恶劣情况下，液压回流管线应有最大的设计回流量，应特别注意避免在滤器或透气管处发生的堵塞以及由于机械损坏或阀误操作所发生的堵塞。

2.2.3.10 液压传动遥控的重要阀件，应能遥控操作或设置就地手动操纵的装置，并在操纵处所装有指示开或关的装置。

2.2.3.11 液压管系中应设有滤器。

2.2.3.12 液压传动管系中的所有部件，应采用不受液压油浸蚀、与液压油不起化学作用的材料。

2.2.3.13 液压油应有良好的化学稳定性和粘温性能。

2.2.3.14 液压动力传输系统中起主要作用的部件一般应采用钢质材料制造。材料试验应满足 CCS《材料与焊接规范》或 CCS 接受的公认标准要求。

2.2.3.15 液压流体的性能应能满足作业环境温度的要求并对系统部件不产生化学腐蚀，其闪点应不低于 60℃。

2.2.3.16 油管管壁的最小厚度应满足 CCS《海上移动平台入级规范》第 4 篇第 2 章第 2 节的有关规定。

2.2.3.17 在投入使用之前，油管内壁应进行酸洗及清洗，并达到清洁、光滑和无异物。

2.2.3.18 油管弯曲部分不应有锯齿形、扭曲、压坏和波纹等缺陷。其椭圆度应不大于管径 10%，弯曲半径一般应大于 3 倍管径。液压管路应平行或垂直敷设，尽量减少转弯和交叉。

2.2.3.19 油管如出现下列情况，则不得使用：

（1）腐蚀或伤痕深度达到或超过管壁厚度的 10%时；

（2）管子的凹陷深度达到或超过直径的 20%时。

2.2.3.20 液压管路应用管架固定牢靠，并应具有允许管子伸缩的补偿措施。应采用衬垫固定管子，以防止管架与油管直接接触。

2.2.3.21 控制系统的较细油管若布置在易受碰损处所，则应具有可靠、便于拆卸的防护罩。

2.2.3.22 液压管路中使用橡胶软管时，应符合下列要求：

（1）橡胶软管抗破断压力不小于 4 倍最大工作压力；

（2）橡胶软管应避免急转弯，其弯曲半径一般应不小于 10 倍软管外径。应防止在接头端部弯曲，软管接头至弯曲起点的距离应不小于 6 倍软管外径；

（3）橡胶软管不应有扭曲，并避免与其他管子相接触，以防磨损；

（4）应尽可能远离热源。

2.2.3.23 液压系统中的液压缸和管路应装设过压保护装置。

2.2.3.24 液压系统的部件应便于检查、维修和更换。

2.2.3.25 液压缸的缸筒和活塞杆不应使用铸造材料制造。缸内所有与工作介质（如液压油）接触的部件应由能够避免与工作介质发生腐蚀和化学反应的材料制成。

2.2.3.26 液压泵站应使油温保持在 0°C 至 60°C 之间，当低于 0℃时应有低温报警显示及加热功能，当高于 60°C 时应有高温报警显示和冷却功能。

2.2.3.27 应采取措施避免液压油直接排海，满足防污染要求。

2.2.4 制动装置

2.2.4.1 齿轮齿条式升降系统的刹车装置应为故障安全型，当升降机构动力源供给失效或中断时应处于制动锁紧状态。制动装置能力应不小于 120%最大要求制动扭矩。爬升齿轮转速超过其最大额定转速的 1.1 倍时，其制动装置应保证自动处于制动锁紧状态以防止升降

装置失速导致平台体坠落。

2.2.4.2 每个升降单元上应装设刹车装置和人工释放装置。

2.2.4.3 制动装置的关键部件（如液压制动的活塞、电磁制动的线圈）应具有尽可能长的使用寿命，以减少维修和更换的频率。

2.2.4.4 电机制动器应配备加热器，用于防止当制动器不工作时内部产生凝露。

2.2.4.5 电机制动器如未配备位置监测及磨损状态检测装置，应定期检查电机制动器磨损状态。

2.2.4.6 制动过程应平稳，以防止突然制动对平台结构造成过大冲击。

2.2.4.7 对于未设置机械锁紧装置的自升式平台，制动装置应具有平台长时间站立状态下，如在海上作业期间保持平台位置稳定，防止平台因受到海浪、海流等外力作用而发生位移的能力。

第 3 节 密闭传动齿轮装置

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 密闭传动齿轮装置的选型应考虑升降系统承载能力与驱动机构的功率。

2.3.1.2 密闭传动齿轮装置应保证适当的润滑。

2.3.1.3 密闭传动齿轮装置应保证良好的密封，以防止海水、盐雾、灰尘等进入其内部。

2.3.1.4 密闭传动齿轮装置应考虑材料热处理、制造工艺带来的残余应力以及载荷下箱体、轴的变形对啮合的影响。

2.3.2 传动齿轮

2.3.2.1 传动齿轮应按照 CCS 接受的标准设计。

2.3.2.2 齿轮应有足够的承载能力以满足表 2.3.2.3（1）和表 2.3.2.3（2）的要求。

2.3.2.3 除非另经同意，在齿轮设计中应采用下列数据：

应用系数 K_A：

电动机驱动 1.0

载荷分配系数 K_r：

有齿轮载荷监控器 1.0

无齿轮载荷监控器 1.2

齿根弯曲应力最小安全系数 **表 2.3.2.3（1）**

齿根弯曲应力	最小安全系数 S_{Fmin}
动态：	
平台及桩腿的正常升降	1.5
平台预压载提升（见注①）	1.5
静态：	
平台正常支撑负荷（无锁紧装置啮合状态）（见注②）	1.5
平台预压载支撑负荷	1.5
其他工况：	1.5
符号： $S_{Fmin} = \frac{\sigma_{FP}}{\sigma_F}$	

σ_{FP}=齿根许用弯曲应力 σ_F=齿根计算弯曲应力
注：①基于 50 小时的运转； ②考虑锁紧装置啮合状态，作用到升降齿轮上的负荷将降低。

齿面接触应力最小安全系数 **表 2.3.2.3（2）**

齿面接触应力	最小安全系数 S_{Hmin}
动态	1
静态	1
符号： $S_{Hmin}=\frac{\sigma_{HP}}{\sigma_H}$ σ_{HP}=齿面许用接触应力 σ_H=齿面计算接触应力	

2.3.3 齿轮轴

2.3.3.1 额定轴应力应按下式计算：

$$\sigma_b=\frac{32000M}{\pi d_0^3}$$

$$\tau=\frac{16000T}{\pi d_0^3}$$

其中：

τ——轴扭转应力计算值，N/mm^2；

T——轴扭矩，N·mm；

d_0——轴外径，mm；

σ_b——轴弯曲应力计算值，N/mm^2；

M——轴弯矩，N·mm。

2.3.3.2 弯曲和扭转最大应力应不超过图 2.3.3.2 所列值。计算最大应力时应考虑系统超载情况。图 2.3.3.2 的许用应力应包括计算键槽处的应力集中或其他应力集中的地方，如应力集中系数（比图 2.3.3.2 所列值）超过 3.0，则应给予特别考虑。

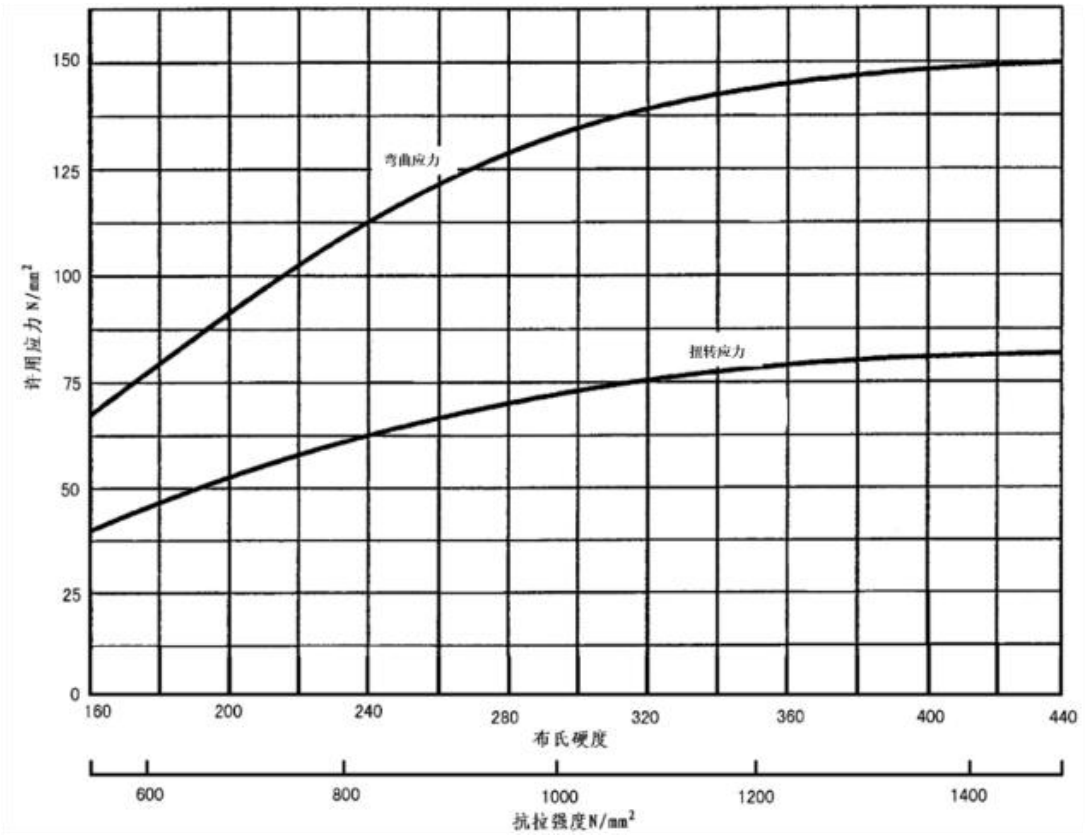


图 2.3.3.2 轴系许用应力

2.3.3.3 当设计用于循环次数为较小时，许用应力可按照表 2.3.3.3 的系数增加。

轴应力系数 **表** 2.3.3.3

循环次数	系数
小于 10^3	2.4
10^3 到 10^4	1.8
10^4 到 10^5	1.4
10^5 到 10^6	1.1
10^6 以上	1.0

2.3.3.4 图 2.3.3.2 所示范围之外的轴系，应给予特别考虑。

2.3.4 轴承

2.3.4.1 套筒或润滑轴承应能充分承载所有运行条件下的径向及轴向负荷。

2.3.4.2 液力径向轴承应使用巴氏合金或其他适合的材料，且应安装和固定在轴承座中以防止轴向和旋转运动。

2.3.4.3 应根据轴承制造厂推荐的设计负荷和实用性来确定滚动轴承的选择，并满足公认的标准要求。

2.3.5 箱体

2.3.5.1 密闭传动齿轮装置箱体应有足够的强度和刚度，以支撑内部零件并保证在载荷作用下变形最小，防止因变形导致齿轮齿向啮合失配。

2.3.5.2 箱体应严格控制轴承座孔的尺寸公差、圆度和同轴度等，确保轴承的准确安装

和齿轮的正常啮合。

2.3.5.3 密闭传动齿轮装置箱体应设置有观察窗和适当的透气装置。

2.3.5.4 螺栓强度计算载荷需按照风暴载荷的 1.1 倍进行核算。以螺栓为主要连接固定的结构结合面滑动安全系数一般不低于 1.2，最低不低于 1.1。

2.3.6 **齿面**

2.3.6.1 表面硬化的齿轮，其硬化层应均匀分布并延伸至整个齿面和圆角部分。

2.3.6.2 对渗氮齿轮的硬化层深度一般应不小于 0.30mm。

2.3.6.3 非渗氮处理的表面硬化齿轮，完工后齿轮硬化层深度一般应不小于 0.15 mm。

2.3.6.4 表面渗碳硬化齿轮，其表面硬度一般应不低于 HRC52。

第 4 节 爬升齿轮与齿条锁紧系统

2.4.1 **一般要求**

2.4.1.1 爬升齿轮和齿条的设计应给予特别考虑，且应满足下列要求：

（1）齿轮齿面硬度一般等于或略大于齿条齿面的硬度，建议其表面硬度比齿条硬度高 10%；

（2）在静态或动态负荷条件下，齿根弯曲安全系数应不小于 1.5；

（3）齿轮齿根极限强度（破坏负荷）应不小于齿条的极限强度的 1.1 倍。

2.4.2 **强度校核**

2.4.2.1 桩腿齿条、升降爬升齿轮、锁紧齿条及主要固定部件的强度校核应满足 CCS《海上移动平台入级规范》第 2 篇第 3 章第 4 节的规定。

第 5 节 控制系统

2.5.1 **一般要求**

2.5.1.1 集中升降控制站和每一桩腿位置之间应设有可靠的通信系统。

2.5.1.2 升降、锁紧机械的操作控制站应设有所有必需的监控、报警和控制装置，包括平台体倾斜指示、压力、运转情况指示，超负荷报警和适用动力源（如适用）的可使用性指示。

2.5.1.3 升降装置应在桩边和集中升降控制站内分别设置操纵设备，并应在集中升降控制站内设置能转换操纵处所的转换装置。锁紧装置应在桩边设置操纵设备。集中操纵室与各桩侧操纵台之间应设有双向通信。

2.5.1.4 在集中升降控制站和桩边升降控制站内，均应设有能够停止平台体升降系统工作的应急切断开关，此开关应带防止误触碰装置、有红色标志并附有铭牌。

2.5.1.5 控制系统应能确保平台在额定升降过程中各个桩腿同步升降，升降停止后应有平衡各齿轮载荷的能力。

2.5.1.6 如设置机械锁紧装置，控制系统应能对锁紧装置的状态进行实时监测，防止误动作。

2.5.1.7 平台设置的平台体倾斜指示仪，在升降平台体过程中，应能连续显示出平台体的倾斜度，并当倾斜度超过最大允许值时，应能发出声、光报警信号。

2.5.1.8 采用遥控操纵升降系统时，在集中升降控制站内必须设有能清楚地观察出各桩

腿或平台体升降情况的显示设备。

2.5.1.9 升降系统应能从集中升降控制站进行操作，在集中升降控制站应设有如下报警和显示功能：

（1）听觉和视觉报警：

① 升降系统过载；

② 水平度不足（平台升起状态下）；

③ 齿条相位差（如适用）；

④ 液压系统低油位、低油温、高油温和滤清器堵塞的报警（如适用）。

（2）显示：

① 电源；

② 平台相对于两垂直水平轴的倾角；

③ 桩腿下降或提升所消耗的功率或其它显示；

④ 制动释放状态。

2.5.2 电控系统

2.5.2.1 除符合本指南相应章节的要求外，每条桩腿应采用两台及以上电动机驱动，并符合下列要求：

（1）每台电动机应由最后分路供电；

（2）该最后分路应设有短路保护，并确保在不大于由其供电的电动机额定电流总和的 10 倍电流时，该短路保护电器可靠动作。

2.5.2.2 电控系统应能实时监控升降装置的电压、电流、载荷、运行和制动的状态，并能对升降精确控制。

2.5.3 液控系统

2.5.3.1 应正确选择和使用电控、气控和/或液控的液压元件，以免因控制或能源供给引起液控系统失效。

2.5.3.2 当系统关闭时，如果内部液压油液的回流会引起危险，应有防止系统液压油液流回油箱的措施。

2.5.3.3 应选择合适的压力控制阀和流量控制阀，以保证实际压力、温度或负载的变化不会引起危险或失效。

2.5.3.4 设计或安装控制机构时，应对下列情况采取适当保护：

（1）失灵或可预见的损坏；

（2）高温；

（3）腐蚀性环境；

（4）电磁干扰。

2.5.4 安全及保护

2.5.4.1 齿轮齿条式升降系统应具有上下限位保护装置。

2.5.4.2 齿轮齿条式升降系统应具有超速保护装置。

2.5.4.3 齿轮齿条式升降系统应具有过载、过流、断相及欠压保护装置。

2.5.4.4 齿轮齿条式升降系统应具有齿条相位差保护装置（如适用）。

第 6 节 锁紧装置

2.6.1 一般要求

2.6.1.1 锁紧装置根据驱动型式可分为液压驱动和电机驱动。

2.6.1.2 锁紧装置一般由锁紧齿形块、楔块、螺杆（螺旋千斤顶）、蜗轮蜗杆传动装置或齿轮箱、复位油缸、液压马达/电动机等组成。

2.6.1.3 锁紧装置应具有在卡死情况下的解锁措施，解锁方式一般有：高压油缸解锁、升降协助解锁、双蜗杆式解锁、手动液压泵和手动卸荷阀以及沙盘应急解锁等。

2.6.1.4 锁紧装置的电气设备外壳防护等级应满足作业区域要求。

2.6.1.5 锁紧装置在下列条件下，应能正常工作：

（1）环境温度：应满足平台作业要求；

（2）平台任何方向倾斜 15°或摇摆 15°；

（3）平台作业所产生的振动和冲击。

2.6.1.6 锁紧装置的焊接件焊缝应焊透，无气孔、夹渣、裂纹、咬边等影响强度的缺陷。

2.6.1.7 锁紧装置应具有紧急情况下的快速锁紧能力。

2.6.1.8 对关键部件的应力集中区域，如螺栓连接部位、楔块的转角处等，应进行优化设计或采用特殊的工艺处理，以提高疲劳强度。

2.6.1.9 控制系统宜对解锁的条件进行检查，在满足解锁条件后，向锁紧装置的控制单元发送解锁信号。

2.6.1.10 锁紧装置的设计应使其电气接口、液压接口和润滑接口与设备良好连接。

2.6.1.11 楔块及锁紧齿形块应保证良好润滑，如使用螺杆锁紧，应考虑配备润滑脂加注措施，以方便定期加注和更换润滑脂。

2.6.1.12 锁紧装置应设有自锁或其他固紧安全设备，在锁紧状态下，当失去动力时仍可保持桩腿与平台的锁紧状态。如使用机械自锁，则应校验其自锁能力。

2.6.1.13 锁紧齿形块应采用与桩腿齿条相匹配的齿形，一般由合金结构钢锻造加工而成。

2.6.1.14 锁紧装置如使用锁紧齿形块，则应满足以下要求：

（1）在垂向设计载荷作用下，锁紧齿形块齿形节距变化应不大于表 2.6.1.14 的要求；

锁紧块节距形变量参照表 **表 2.6.1.14**

模数 M	M≤38	38＜M≤56	56＜M≤78	78＜M≤100
形变量（mm）	±0.11	±0.125	±0.145	±0.16

（2）齿形块齿数建议不少于 3 个；

（3）齿形块厚度不应超过桩腿齿条厚度的两倍。

2.6.1.15 锁紧装置如为液压驱动，液压泵的流量和压力要满足锁紧装置的工作要求，同时要确保液压油的供应稳定。此外液压系统还应满足本章第 2 节的相关要求。

2.6.2 强度校核

2.6.2.1 应验证螺杆传动的强度，强度计算公式可按下式计算：

（1）螺杆强度计算：

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\frac{4F}{\pi d^2}\right)^2 + 3\left(\frac{T}{0.2d^2}\right)^2} \leq [\sigma]$$

（2）螺纹剪切强度：

$$\tau = \frac{F}{\pi dbn} \leq [\tau]$$

（3）螺纹弯曲强度：

$$\sigma_b = \frac{3Fh}{\pi db^2 n} \leq [\sigma_b]$$

（4）耐磨性校核：

$$p = \frac{F}{\pi d_2 hH} \leq [p]$$

式中：

F——工作载荷，N；

T——扭矩，N·mm；

σ_d——螺杆危险端面的当量应力，MPa；

τ——螺纹剪切强度，MPa；

σ_b——螺纹弯曲强度，MPa；

d——螺纹大径，mm；

b——螺纹根部宽度，mm；

n——旋合扣数，$n = \frac{H}{P}$；

h——螺纹工作高度，mm；

H——螺母高度，mm；

P——螺距，mm；

d_2——螺纹中径，mm；

$[p]$——螺旋副材料的许用比压，MPa；

$[\sigma]$——螺杆材料许用拉应力，MPa；

$[\tau]$——螺纹材料许用剪切应力，MPa；

$[\sigma_b]$——螺纹材料许用弯曲应力，MPa。

2.6.2.2 锁紧齿形块及主要固定部件的强度校核应参照 CCS《海上移动平台入级规范》第 2 篇第 3 章第 4 节的规定。

2.6.2.3 如传动装置为齿轮箱，则强度校核应满足本章第 3 节的相关要求。

2.6.2.4 如传动装置为蜗轮蜗杆传动，则应按照公认的标准对蜗轮蜗杆强度进行校核。

第 3 章 产品检验

第 1 节 一般规定

3.1.1 一般要求

3.1.1.1 齿轮齿条式升降锁紧系统产品检验除应满足本章要求外，还应满足 CCS《海上移动平台入级规范》第 1 篇第 3 章和第 4 篇第 6 章、《钢质海船入级规范》第 3 篇第 10 章的相关适用要求。

第 2 节 产品图纸审查

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 开工前，申请单位应将图纸资料一式 3 份纸质或电子文件（PDF 版）提交 CCS 进行审查。必要时，CCS 可要求扩大送审图纸资料的范围。

3.2.1.2 提交图纸资料的名称可与本节3.2.2不同，但图纸资料内容应符合本指南及CCS相关规范的适用要求。

3.2.1.3 图纸资料应以中文或英文提交，应能清楚地表达产品的设计、组成、材料、尺寸，及其功能、性能参数。若有必要，还应包括使用方面的限制或规定。

3.2.1.4 液压和气动装置（如适用）图纸应注明管路、阀等在内的控制元件和附件的材料、尺寸、类型、设计压力、设计温度、安全阀设定压力相关参数，还应提供必要的规范计算。

3.2.1.5 当设计、材料、规格尺寸、性能及其他方面作任何重要改动时，应将修改的图纸资料重新提送 CCS 审查。凡经 CCS 认可的产品，如审图规范和标准未进行修改，原批准的图纸资料可不必重复送审。

3.2.2 图纸资料

3.2.2.1 应将下列图纸和资料提交 CCS 审查：

（1）升降和控制系统布置图及说明书；

（2）齿轮齿条式升降系统总图；

（3）齿轮齿条式升降系统主要零部件图及材料规格书；

（4）齿轮齿条式升降系统计算书（含齿轮、齿条接触应力等计算分析）；

（5）疲劳强度计算书（如必要时）；

（6）电气系统图；

（7）控制系统（电、气、液控及计算机控制）图；

（8）桩腿电控箱电气原理图；

（9）泵站电气原理图（如适用）；

（10）液压管路布置图（如适用）；

（11）液压系统原理图（如适用）；

（12）升降液压系统设计计算书（如适用）；

（13）升降液压系统管路计算书（如适用）；

（14）齿轮传动装置结构图；

（15）锁紧和控制系统布置图及说明书；

（16）锁紧装置主要零部件图及材料规格书；

（17）锁紧装置计算书（包括锁紧齿条等主要部件强度计算）；

（18）齿轮齿条式升降系统失效模式和影响分析报告（FMEA），提交的内容应包括但不限于下列信息：

① 与升降和锁紧操作相关的系统描述及显示它们相互作用的功能框图。系统主要包括升降系统、锁紧系统、配电系统、液压系统、控制系统（包括可编程系统）、监控和报警系统等及其属件；

② 与 FMEA 目的相关的所有有意义的失效模式；

③ 与每一失效模式相关的所有可预见的原因；

④ 探测已发生失效的方法；

⑤ 失效对其余系统起升平台能力的影响；

⑥ 对可能共同失效模式的分析。

（19）CCS 认为必要的图纸和资料。

第 3 节 零部件检验

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 齿轮齿条式升降锁紧系统的主要部件包括驱动机构、密闭传动齿轮装置、爬升齿轮与齿条、控制系统、锁紧装置等。

3.3.1.2 主要材料及其零部件的检验应满足 CCS 相关产品检验要求，具体的检验项目根据制造场地情况开展。

3.3.1.3 主要材料及其零部件产品证书应满足 CCS《海上移动平台入级规范》第 1 篇第 3 章的相关要求。

3.3.2 产品制造检验

3.3.2.1 验船师在进行具体产品检验前，应确认产品制造厂是否具备相应生产、检测及质量管理体系条件。

3.3.2.2 验船师应依据已批准的图纸、设计文件、技术要求和技术规格书对产品进行检验。

3.3.2.3 产品制造检验包括但不仅限于下列项目的检验：

（1）确认检验、试验计划及试验大纲；

（2）确认焊工能力或对焊工能力进行评定；

（3）确认无损检测能力，确认检测设备、试验设备的完好性和有效性；

（4）审查确认下列工艺文件：

① 锻造工艺；

② 热处理工艺；

③ 表面硬化处理（高频淬火、渗碳、渗氮）工艺；

④ 铸件表面缺陷修补工艺（适用时）；

⑤ 机加工工艺；

⑥ 焊接工艺规程。

（5）检查产品厂原材料的证书或文件，确认船级社钢印、炉号、证书号；

（6）见证原材料的取样及理化性能复查试验并确认试验报告。

3.3.3 传动齿轮装置制造检验

3.3.3.1 齿轮轴和齿轮

（1）依据已审批图纸及相关技术文件，对热处理后、粗加工完工工件开展超声波探伤检测；工件表面粗糙度需优于 Ra6.3，探伤等级严格遵照退审图纸规定。同步审核热处理报告的硬度值、热处理工艺曲线等资料，核查其完整性与合规性，并确认无损检测报告执行标准、验收等级保持一致。

（2）对精加工后的齿轮轴、齿轮，对外圆、内孔、齿面等关键部位进行外观目视检验，判定外观质量是否合格；同时抽检外圆、内孔、公法线等关键尺寸，校验齿形加工精度，确认各项指标满足设计技术要求。

（3）精加工齿轮轴、齿轮的外圆、内孔、端面、齿部等表面，需采用着色探伤或磁粉探伤检测，排查表面裂纹、夹杂等各类缺陷。

（4）经表面淬火硬化及化学热处理的齿轮轴、齿轮，除检测表面硬度外，还需检测淬硬层分布状态、有效淬硬层深度，以及不同层深的硬度值与硬度梯度分布情况，确保热处理性能达标。

3.3.3.2 齿轮箱体

（1）对于采用焊接结构的齿轮箱体，焊前应对母材坡口形状及表面情况进行检验，坡口边缘不允许有氧化物、熔渣和影响焊接质量的油污等存在，坡口尺寸及组对要求应符合批准的焊接工艺规程；

（2）箱体结构施焊完工后，应对所有焊缝进行外观检查。焊缝表面应成型均匀、平顺地向母材过渡，无过大的余高，不应有裂纹、未熔合、未焊透等缺陷存在。表面气孔和咬边等应在允许范围以内；

（3）对重要零部件进行外观和尺寸检查及无损探伤，结果符合经批准的图纸要求。焊接过程应按经 CCS 批准的焊接工艺进行；

（4）检查箱体焊后机加工的尺寸，确认满足设计要求；

（5）检查确认箱体焊后的渗漏试验和无损检测。

3.3.4 齿条制造检验

3.3.4.1 检查齿条板原材料，核查原材料产品证书或质量证书。

3.3.4.2 对齿条板原材料进行外观检查，按规范或标准的规定进行取样，参与原材料的理化性能试验，确认理化性能试验报告。

3.3.4.3 对加工后的齿条尺寸（厚度、齿距、平面度、长度、直线度、齿形）以及齿面粗糙度进行检查，确认加工尺寸满足设计要求。

3.3.4.4 检查确认齿条超声波探伤和表面探伤报告。

3.3.5 液压驱动装置制造检验

3.3.5.1 液压马达

（1）核查液压马达主要零部件材质证书，见证重要零部件（如马达轴）的机械性能试验；

（2）检查马达零部件表面，确认表面无毛刺及其他杂物，铸件无裂纹、气孔、疏松等缺陷，其通道、容腔应无任何的夹渣或残留物；

（3）见证或确认受压零部件在装配前均应进行 1.5 倍设计压力、试验时间不少于 5min 的压力试验；

（4）见证或确认对马达施加额定压力的压力并保持 5min，马达密封部位应无泄漏现象；

（5）见证或确认马达的性能试验（如耐压性试验、排量试验、超速性能试验、超载性能试验、满载试验等），以及试验后的密封性能检查；

（6）液压马达的其他要求应符合 CCS《产品检验指南》相关要求。

3.3.5.2 液压动力装置

（1）包括但不限于下列文件应经 CCS 验船师审核：

① 主要零部件的质量证明文件以及外购件的质量证明文件；

② 主要零部件的工厂检验和试验报告；

③ 产品合格证。

（2）检查确认零部件组装前的液压试验（试验压力应不小于设计压力的 1.5 倍）；

（3)液压管系应进行密性试验，试验压力按 1.25 倍设计压力，但不超过设计压力＋7MPa 的要求进行；

（4）检查安全阀、溢流阀、背压阀、减压阀等阀件的技术状况，确认满足设计要求；

（5）检查确认调速阀、比例阀、伺服阀等阀件的调整；

（6）检查确认液压动力装置自带的监测、显示及报警传感器件及设定值；

（7）见证应急控制功能试验；

（8）完成制造厂产品设计标准规定的出厂检验和试验项目（FAT）。

3.3.6 驱动电机

3.3.6.1 外观检查，确认电动机外表面无毛刺及其他杂物，铸件无裂纹、气孔、疏松等缺陷。

3.3.6.2 测量绝缘电阻、绕组电阻。

3.3.6.3 见证性能试验（空载、额定载荷、超载、过流、超速、耐压等）。

3.3.6.4 见证刹车装置试验。

3.3.6.5 按照批准的试验大纲，完成制造厂产品设计标准规定的出厂检验和试验项目（FAT）。

3.3.6.6 完成试验项目后，拆检电动机轴承及刹车装置，确认滑动轴承及刹车装置的技术状况。

3.3.7 控制柜（台）

3.3.7.1 核查主要元器件或零部件的资料及测试报告。

3.3.7.2 检查外观及内部接线。

3.3.7.3 绝缘电阻测量。

3.3.7.4 耐电压试验。

3.3.7.5 参与功能试验（可以采用模拟试验的方法进行）。

3.3.7.6 按照批准的试验大纲，完成制造厂产品设计标准规定的出厂检验和试验项目（FAT）。

3.3.8 锁紧装置

3.3.8.1 机械零部件

（1）锁紧齿形块、楔块、螺杆、蜗轮、蜗杆等机械零部件的制造检验要求见本节 3.2.2 产品制造检验；

（2）产品重要零部件的铸造、锻造应在 CCS 认可的工厂进行，验船师按 CCS《材料与焊接规范》的相关要求进行检验或核查其产品证书。其力学性能试验和无损探伤符合批准图纸的要求；

（3）对重要零部件进行了外观和尺寸检查及无损探伤，结果符合经批准的图纸要求。焊接过程应按经 CCS 批准的焊接工艺进行；

（4）检查各零部件的装配质量、动作情况和互相动作的正确性；

（5）根据设计要求，对相关控制阀进行效应试验，确保安装正确，动作准确，达到预期效果。

3.3.8.2 齿轮箱

齿轮箱的制造检验要求见本节 3.3.3 传动齿轮装置制造检验要求。

3.3.8.3 液压驱动装置

（1）液压驱动装置的制造检验要求见 3.3.5 液压驱动装置制造检验；

（2）液压动力装置的检验和发证应满足 CCS《海上移动平台入级规范》的相关要求。液压站的液压油箱应进行渗漏试验，保证其密封性；

（3）应分别对液压站的低压和高压部分进行液压试验，对溢流阀等进行效用试验，以保证液压站所有管路、接头无渗漏，阀件动作准确，无卡滞，油泵没有不正常噪音，电机温度正常；

（4）应进行油温过高报警、油位过低报警、高压报警、应急停止等试验。

3.3.8.4 电动驱动

（1）电动机的制造检验要求见 3.3.6 驱动电机；

（2）电气控制柜应进行型式试验。对主控箱、分电箱、遥控盒分别进行试验（或核查其产品证书），并进行效用试验、安保试验和联锁试验等，以确认其符合船用环境条件。其监控、报警、控制装置应满足 CCS《海上移动平台入级规范》相关要求。

3.3.8.5 首制的锁紧装置应进行原型试验以验证设计强度及可靠性，包括如下步骤：

（1）进行锁定操作，通过试验机底部的模拟负载油缸逐渐加载到模拟桩腿上；

（2）缓慢增加锁紧装置上的压力至垂向设计载荷的 35%，并保持至少 5min；

（3）缓慢增加锁紧装置上的压力至垂向设计载荷的 70%，并保持至少 5min；

（4）缓慢增加锁紧装置上的压力至垂向设计载荷的 110%，并保持至少 5min；

（5）缓慢增加锁紧装置上的压力至垂向设计载荷的 150%，并保持至少 5min，随后缓慢将压力降低到 0；

（6）测试结束后，拆开主要部件进行尺寸和表面/内部质量检查。

3.3.8.6 锁紧装置的出厂试验应按照如下步骤进行：

（1）进行锁定操作，通过试验机底部的模拟负载油缸逐渐加载到模拟桩腿上；

（2）缓慢增加锁紧装置上的压力至垂向设计载荷的 35%，并保持至少 5min；

（3）缓慢增加锁紧装置上的压力至垂向设计载荷的 70%，并保持至少 5min；

（4）缓慢增加锁紧装置上的压力至垂向设计载荷的 110%，并保持至少 5min，随后缓慢将压力降低到 0；

（5）测试结束后，拆开主要部件进行尺寸和表面/内部质量检查。

3.3.8.7 锁紧装置与升降装置之间应进行联锁模拟试验，主要包括装置的锁紧/解锁动作试验、装置的最大动态锁紧能力试验、装置的最大静态承载能力试验等。

（1）装置的锁紧/解锁动作试验：将锁紧装置连接到专用试验设备上，在设计工况下进行加锁和解锁动作试验。锁紧装置在加锁与解锁过程中应灵活可靠，动力系统、控制系统、传动系统等应无异常；

（2）装置的最大动态锁紧能力试验：在试验台上模拟设备的最大锁紧能力进行测试，保持 5min 后，锁紧装置应能顺利解锁，零部件应无变形和损坏。锁紧装置的液压缸，可以将原来由升降装置承受的平台重量，转移到锁紧装置上，过程中不会因为承载装置的转换导致平台的震动冲击。锁紧装置很容易由锁紧状态解锁，未出现解锁困难现象；

（3）装置的最大静态承载能力试验：将锁紧装置连接到专用试验台上，对锁紧块均匀加压至 35%的最大静态承载力，保持 5min；再均匀加压至 70%最大静态承载力，保持 5min；最后均匀加压至 120%，保持 5min 后，缓慢匀速减压至压力为 0。试验后用通用量具测量每个齿形节距，锁紧块齿形节距变化应不超过设计规定值。

第 4 节 原型试验

3.4.1 一般要求

3.4.1.1 首制的升降系统需进行原型试验以验证设计强度及可靠性。工厂试验台作为认可试验场所，应能完成原型试验规定的试验项目。图 3.4.1.1 为一示例图，齿轮升降装置工厂试验台示意图（供参考）。

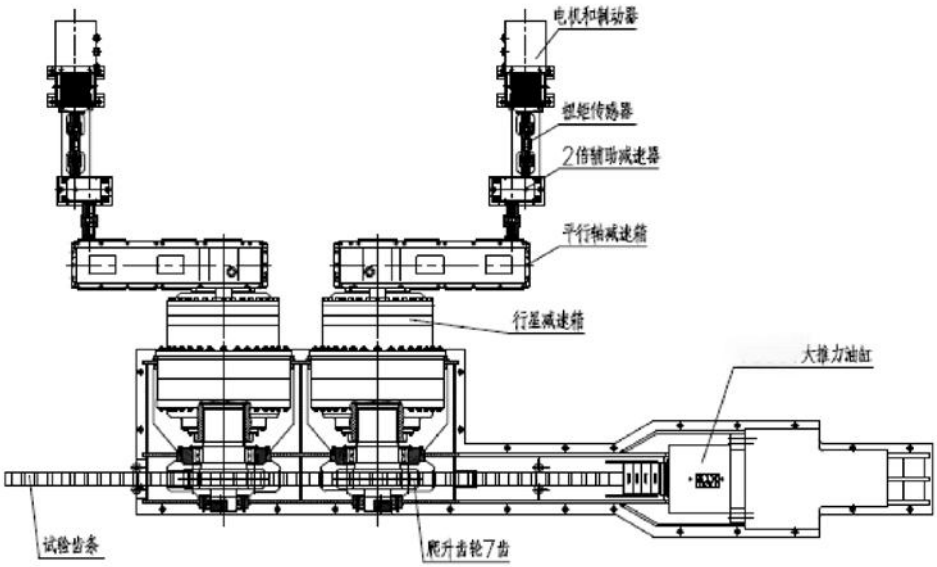


图 3.4.1.1 齿轮升降装置工厂试验台示意图

3.4.1.2 制造厂应向 CCS 提交原型试验大纲，由 CCS 审批。

3.4.2 空载试验

3.4.2.1 空载试验过程中需要检查升降单元安装情况和动作情况，检查啮合情况，检验过程中记录电机电流和齿轮箱噪音。升降单元要运转平稳，无异常振动、冲击、噪声及发热。每次至少爬升齿轮运转一周，正反转反复运行 3~4 次。

3.4.3 额定载荷试验

3.4.3.1 升降单元进行额定载荷试验60min。过程中记录电机电流、减速箱噪音、轴承温度、负荷等参数。升降单元要运转平稳，无异常振动、冲击、噪声及发热。

3.4.4 耐久性试验

3.4.4.1 为检验升降系统的耐久性，应进行耐久性试验。

3.4.4.2 试验过程中齿条应做匀速慢速运动，使用额定载荷测试，连续运行 50 小时（1 小时的额定载荷试验可计入耐久性试验时间）。疲劳测试时需采用与设计同一型式的零部件，包含刹车和电机。过程中记录电机电流、减速箱噪音、轴承温度、负荷、速度等参数。升降单元应运转平稳，无异常振动、冲击、噪声及发热。

3.4.4.3 不同模数升降齿轮在额定载荷下运行 50 小时后，其齿面磨损量应满足表 3.4.4.3 的要求：

齿面磨损量要求表 表 3.4.4.3

项目	参数范围		
模数	M≤50	50＜M≤80	M＞80
平均磨损量（mm）	≤1	≤2	≤3

3.4.5 重载试验

3.4.5.1 重载试验应加载预压载载荷运转 60min。过程中记录电机电流、减速箱噪音、轴承温度、负荷等参数。升降单元应运转平稳，无异常振动、冲击、噪声及发热。

3.4.6 超载试验

3.4.6.1 试验载荷应不小于 1.5 倍的额定载荷或 1.1 倍的最大静态支撑载荷，取其大者。

3.4.6.2 在该载荷下缓慢运行使升降爬升齿轮正反转各一周。升降单元应运转平稳，无异常振动、冲击、噪声及发热。

3.4.7 刹车试验

3.4.7.1 刹车装置应进行动态刹车试验和静态刹车试验，并应对制动装置的手动释放及复位功能进行试验验证。

（1）1.2 倍刹车试验（电机装配到升降单元之前进行）：目的是确认刹车与电机装配后，其刹车性能满足 CCS《海上移动平台入级规范》的要求。

① 负载为 1.2 倍“预压载载荷”的动态刹车试验；

② 负载为 1.2 倍最大要求制动扭矩的静态刹车试验。

（2）1.1 倍刹车试验：目的是试验制动器的可靠性以及升降单元在刹车负载工况下各部件的可靠性。

① 负载为 1.1 倍“预压载载荷”的动态刹车试验。刹车装置应有效制动，反应时间应小于 2s。试验至少执行 5 次；

② 负载为超载试验载荷的静态刹车试验，保持 5min，爬升齿轮每个齿应逐齿测试。刹车装置应可靠，无打滑和异响。

3.4.8 人工释放装置试验

3.4.8.1 人工释放装置试验是确保在动力失效或紧急情况下，升降系统仍能安全、可控地通过手动释放制动。

3.4.8.2 人工释放装置应功能可靠，每个传动轴系上均应配备人工释放装置，且在动力源中断时，可通过人工操作实现制动解除。试验需验证在无电、无液压等极端工况下，操作人员能否通过手动方式（如扳手、杠杆、附连操作机构等）有效解除制动状态。

3.4.8.3 人工释放装置的操作应安全便捷，人工释放过程应设计合理，避免因操作力过大或路径复杂导致延误。试验可模拟真实应急场景，确认操作人员在规定时间内完成释放动作，并确保过程中不会引发二次风险（如突然下滑、失控等）。

3.4.8.4 若系统配有机械锁紧装置，人工释放试验应与锁紧机构联动试验，确保两者动作协调，避免出现“先释放后锁紧”或“锁紧失效”等危险状态。

3.4.8.5 人工释放装置操作释放后，应验证系统具备自动复位或可靠锁定机制，不会因动力恢复或外力作用而意外启动，以防止在未授权状态下意外重启或滑移。

3.4.9 拆检

3.4.9.1 试验结束后应对升降单元进行解体，检验应包括：

（1）爬升齿轮、爬升齿轮轴、减速箱：齿轮箱整体外观检查，有无泄漏、裂纹及焊接情况。检查齿轮轴磨损情况，轴颈有无拉痕；检查各组大、小齿轮的啮合情况，齿根部有无

裂纹；检查齿面磨损情况，测量间隙并记录；检查润滑油系统情况；

（2）带刹车盘的电机：检查电机外壳防护及接线、接地；检查刹车盘状态；

（3）马达控制中心：外观检查和绝缘测量；

（4）逆功电阻：外观检查和绝缘测量；

（5）中控台：外观检查、绝缘测量和功能试验。

3.4.9.2 升降单元在进行空载、可靠性、重载、超载试验时，每 10min~30min 应对噪声及温升进行测量并观察轴封处的密封情况，试验结果应满足设计文件的要求。

第 5 节 出厂试验

3.5.1 一般要求

3.5.1.1 未经型式认可的升降单元，原型试验后，出厂试验应包括：

（1）空载试验；

（2）额定载荷试验，试验时间不计入单元的设计寿命；

（3）重载试验；

（4）刹车试验。

3.5.1.2 业经型式认可的升降单元，其出厂试验应包括：

（1）空载试验；

（2）额定载荷试验，试验时间不计入单元的设计寿命。每平台升降单元试验比例是基于制造厂检验/试验合格并已达到可交付状态，验船师根据制造厂生产制造能力、产品生产历史及使用记录来确定，但每平台升降单元的抽检比例应不少于单元总数的 15%。检验项目见表 3.5.1.2。

出厂试验检验项目 表 3.5.1.2

检验项目	空载试验	额定载荷试验	重载试验	刹车试验
业经型式认可	●	●	○	○
未经型式认可	●	●	●	●
说明：●——适用；○——不适用。				

3.5.2 空载试验

3.5.2.1 空载试验过程中需要检查升降单元安装情况和动作情况，检查爬升齿轮和齿条啮合情况，检验过程中记录电机电流和齿轮箱噪音。升降单元要运转平稳，无异常振动、冲击、噪声及发热。每次至少爬升齿轮运转一周，正反转反复运行 3~4 次。

3.5.3 额定载荷试验

3.5.3.1 每套升降单元应进行额定载荷试验 60min。试验时升降单元要运转平稳，无异常振动、冲击、噪声及发热。

3.5.4 重载试验

3.5.4.1 每套升降单元加载至预压载载荷运转 15min。试验时升降单元要运转平稳，无异常振动、冲击、噪声及发热。

3.5.5 刹车试验

3.5.5.1 动态刹车试验：1.1 倍预压载载荷动态刹车试验，至少 3 次，刹车装置应有效

制动，反应时间小于 2s。

3.5.5.2 静态刹车试验：超载试验载荷静态刹车试验，保持 5min，爬升齿轮每个齿应逐齿测试。刹车装置应可靠，无打滑和异响。

第 6 节 安装与调试

3.6.1 升降装置安装

3.6.1.1 升降装置的安装包括电气安装和机械安装，应满足厂家说明书的安装要求。主要检查如下项目：

（1）检查升降单元箱体垫块安装情况，包括接触面积检查和间隙测量；

（2）检查升降单元定位螺栓预紧后的间隙和安装扭力情况；

（3）检查升降单元爬升齿轮与桩腿齿条的啮合侧隙，测量上部侧隙和下部侧隙，确认总侧隙是否满足安装要求；

（4）检查导向间隙，测量上导向板、中导向板及下导向板分别与桩腿齿条的间隙；

（5）检查桩腿舷管齿条相位差测量装置安装情况。

3.6.2 系统联调

3.6.2.1 升降装置一般在平台建造厂进行联调，以检验装置整体操作性能。

（1）安全保护及控制试验

主要对升降装置的控制线路、安全保护触点进行确认调试，确保在发生意外时保护装置能够及时动作。满足 CCS《海上移动平台入级规范》第 4 篇第 6 章的要求，主要检验内容包括但不限于下列项目：

① 应急停止；
② 倾斜保护，包括报警及停车；
③ 升降装置与锁紧装置的互锁功能，即锁紧装置没有完全脱开前限制平台升降动作；
④ 上下限位，机械限位和（或）操作系统内的数码电子限位；
⑤ RPD 超限报警，桁架式桩腿会出现桩腿舷管齿条相位差的平台上，应安装相位差声光报警装置（圆柱形桩腿无需设置）；
⑥ 超负荷报警及电机过载/欠流保护，系统检测每个升降电机的运行电流，在运行电流达到高限/高高限时，系统会声光报警/自动停机，防止电机缺相运行或过载损坏。低电流运行，超出系统设定低值时，系统会自动停止；
⑦ 刹车故障，某些设有刹车限位开关的升降装置通过检测刹车盘位置实现此功能；
⑧ FMEA 现场验证部分（包括单一构件失效）；
⑨ 升降控制台及桩边操作台进行桩腿升降试验，包括单桩腿升降及所有桩腿联动；
⑩ 其它保护功能。

（2）最大预压载试验

主要是是检验在最大预压载状态下升降装置的保持能力。按照最大预压载载荷量的配载计划书，平台进行压脚印。预压载试验进行前，应由船厂/船东确认以判断该区域的地层承载能力是否在允许范围。

首先确定平台状态。压载过程中 LCG（纵向重心位置）及 TCG（横向重心位置）应始终保持在允许的范围，以保证小齿轮没有出现过载的不利情况。

（3）最大动载荷升降试验

主要是检验在一定的载荷状态下升降装置的整体提升能力以及升降装置整体动作执行情况。本步骤的载荷为平台自重减去桩腿重量再加上最大可变载荷。通过压载计算书进行调载，平台向上抬升及下降至少一个小齿轮的行程；过程中应持续监测每个升降装置的功率及

电流，保证升降装置电机未出现过热，并观测任何不正常的振动及噪声，若有异常应立即停止升船，将平台下降到安全高度位置。

（4）全程升降试验

① 应在全部设计行程范围内升降平台主体/桩腿，确保桩腿、齿条、齿轮及导向板的配合合格；

② 平台升到桩腿最顶端（升船：从安全气隙高度抬升到桩腿顶部），然后下降平台至合适的气息高度（降船：从桩腿顶部下降至设计气隙）；过程中应持续监测每个升降装置的负荷及电流，保证升降装置电机未出现过热，并观测任何不正常的振动和噪声，若有异常应立即停止升降平台、进行必要的检查，确认安全后再继续进行试验。

（5）拔桩试验

主要是检验升降装置在拔桩工况的动作执行情况。下降平台至船体浮态，观察载荷直至重力和浮力相抵消。进行冲桩（如适用）、继续下降平台直到桩腿松动，随即启动升降装置将桩腿拔出泥面直至完全收回。在拔桩过程中如有异常应立即停止拔桩。

附录 1　齿轮齿条式升降锁紧系统 FMEA 一般做法

第 1 节　一般规定

1.1.1　一般要求

1.1.1.1　针对齿轮齿条式升降锁紧系统开展 FMEA 分析的目的，是通过对系统的失效模式、失效机理、失效后果、严重程度、频度数进行分析，并根据失效影响的程度及频度来制定相应的处理措施，来消除故障或降低故障带来的影响，从而提高系统可靠性，以满足 CCS 规范相应要求。

1.1.1.2　齿轮齿条式升降锁紧系统的 FMEA 分析方法，宜满足 CCS《故障模式和影响分析应用指南》的要求。

1.1.2　分析范围

1.1.2.1　针对齿轮齿条式升降锁紧系统开展 FMEA，分析范围应包括但不限于以下机械传动系统或设备：

① 爬升齿轮；
② 齿条；
③ 减速箱；
④ 制动器；
⑤ 限位器；
⑥ 其他机械传动系统或设备。

1.1.2.2　针对齿轮齿条式升降锁紧系统开展 FMEA，分析范围应包括但不限于以下电气控制系统或设备：

① 控制台；
② 桩腿控制单元；
③ 控制箱；
④ 电源柜；
⑤ 其他用于控制、通讯的设备。

1.1.2.3　针对齿轮齿条式升降锁紧系统开展 FMEA，分析范围应包括但不限于以下液压系统或设备：

① 液压泵；
② 电磁换向阀；
③ 其他液压系统或设备。

第 2 节　故障模式

1.2.1　一般要求

1.2.1.1　齿轮齿条式升降锁紧系统所需要考虑的宏观故障模式，应包括但不限于：

（1）承载功能失效；
（2）传动功能失效；
（3）控制功能失效；
（4）连锁功能失效。

1.2.1.2　齿轮齿条式升降锁紧系统所需要考虑的具体失效模式，应包括但不限于：

（1）电源/供电系统失效；

（2）CPU 模块失效；

（3）信息/数据输入输出模块失效；

（4）关键控制机构/执行机构失效；

（5）指示/显示设备失效；

（6）机械结构/零部件失效；

（7）传感器失效；

（8）通讯设备失效；

（9）其他可能导致系统失效的故障。

第 3 节　案　例

1.3.1　一般要求

1.3.1.1　本案例主要针对升降系统，FMEA 分析报告主要参照 CCS《故障模式和影响分析应用指南》编制。

1.3.1.2　报告中宜包含以下内容：

（1）执行概要；

（2）介绍：

① FMEA 介绍；

② 评估范围；

③ FMEA 程序或方法论；

④ 申请方及详情；

⑤ 分析中的假设；

⑥ 相关文件。

（3）分析方法：

① 系统功能框图；

② FMEA 工作表；

③ 如开展危害性分析，危害度（风险指数）以及界定危害性的方法；

④ FMEA 改进工作报告。

（4）分析系统的详细说明，例如：

① 中央控制台；

② 桩腿控制单元；

③ 机旁控制箱；

④ 变频电源柜；

⑤ 舾装；

⑥ 机械；

⑦ 液压泵站。

（5）分析建议，详细列出所有重大故障模式的信息及其 FMEA 建议；

（6）结论；

（7）附件，例如：

① 工作表；

② 试验测试表；

③ 问答清单；

④ FMEA 报告表；

⑤ 设备供应商清单。

1.3.1.3　1.3.1.2（7）①所述工作表，内容宜包括但不限于以下内容：

（1）设备/零件；

（2）功能；

（3）故障模式；

（4）故障原因；

（5）故障影响（局部与全局）；

（6）危害性分析（包括故障的严酷度、故障发生概率/频率、故障风险等级）；

（7）故障探测方法；

（8）建议采取的行动；

（9）其他。

1.3.1.4　FMEA 分析报告中应明确故障严重度与故障概率的划分依据，宜通过风险矩阵的方式，明确故障严重度、故障概率与故障风险间的关系，并明确各级风险的接受水平。

1.3.1.5　FMEA 分析结果的记录除应满足本节的要求外，还宜注明开展 FMEA 的时间与分析人员。

1.3.2　分析示例

1.3.2.1　本条 1.3.2.2 至 1.3.2.8 给出的仅是示例，实际 FMEA 分析应结合齿轮齿条式升降系统的具体情况开展。

1.3.2.2　齿轮齿条式升降系统的中央控制台，FMEA 分析如表 1.3.2.2 所示。

1.3.2.3　齿轮齿条式升降系统的桩腿控制单元，FMEA 分析如表 1.3.2.3 所示。

1.3.2.4　齿轮齿条式升降系统的机旁控制箱，FMEA 分析如表 1.3.2.4 所示。

1.3.2.5　齿轮齿条式升降系统的变频电源柜，FMEA 分析如表 1.3.2.5 所示。

1.3.2.6　齿轮齿条式升降系统的其他设备，FMEA 分析如表 1.3.2.6 所示。

1.3.2.7　齿轮齿条式升降系统的机械部分，FMEA 分析如表 1.3.2.7 所示。

1.3.2.8　齿轮齿条式升降系统的液压泵站，FMEA 分析如表 1.3.2.8 所示。

中央控制台 FMEA 分析示例　　**表** 1.3.2.2

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	失效原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
中央控制台	1	断路器	为集中控制台配电和提供短路保护	断路器无输出，不能合闸	元件损坏或对地短路	断路器无输出，操作台没有电源	中央控制台无法操作，只能机旁操作	观察中央控制台的电源指示灯	*	*	更换备件（转为机旁操作）
	2	直流电源	输出 DC24 直流电源	直流电源无直流电输出	元件损坏或对地短路	控制台几乎所有电器元件无法工作	中央控制台无法操作，只能机旁操作	观察中央控制台的电源指示灯	*	*	更换备件（转为机旁操作）
	3	CPU 模块	逻辑运算和输出控制指令	无法输出指令	元件故障或外部模块故障	单个 CPU 不能正常工作	单个 CPU 不能正常工作，系统可以正常工作	观察 CPU 上的状态指示灯	*	*	更换备件（转为机旁操作）
	4	I/O 模块	提供系统的控制指令和采集信号	I/O 模块失效	元件损坏或线路故障	操作台的指令无法传递给 CPU	操作台无法操作，只能机旁操作	观察 I/O 模块上的状态指示灯	*	*	更换备件（转为机旁操作）
	5	继电器	控制系统的急停	继电器不能正常动作	线圈损坏或接线松脱	急停继电器无法正常吸合	紧急停机报警，升降系统无法正常工作，需要通过线路短接紧急使用	观察触摸屏上的故障报警提示	*	*	更换备件
	6	选择	提供各种	指令无法	元件损坏或	无指令输入	相应损坏开关的	观察触摸屏上的显	*	*	更换备件

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	失效原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
		开关	控制指令	正确输出	接线松		功能不能正常实现	示，或目测相应功能是否实现			
	7	指示灯	提供各桩腿的状态指示功能	无指示	元件损坏或接线松	无状态指示	局部状态指示不能观察	通过试灯按钮测试指示灯状态	*	*	不影响控制功能，系统可正常工作
	8	交换机	提供网络通讯交互功能	通讯异常或中断	元件损坏或线路故障	柜体之间的信号传输存在问题	操作台无法操作，只能机旁操作	观察交换机上的指示灯	*	*	更换备件（转为机旁操作）
	9	电子水平仪	实时监控平台的倾斜角度	系统不能准确监测平台的倾斜角度	元件损坏	系统检测平台水平姿态	电子水平仪不能正常显示，升降系统可能会报警停止动作，可以忽略船倾保护，继续升降动作	通过显示屏观测	*	*	为平台配置一个气泡水平仪，当电子水平仪损坏时，可忽略船倾故障并人为观察气泡水平仪，从而让平台继续动作
	10	气泡水平仪	实时监控平台的倾斜角度	气泡水平仪气泡变大	元件损坏	气泡水平仪无法监测到平台水平姿态	无影响	目测	*	*	更换备件
	11	触摸屏	监控系统状态、参	无显示或显示不正	元件损坏	故障屏无法监控平台状	单个屏不能正常监测平台状态，另	目测和程序在线监控	*	*	更换备件

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	失效原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
			数设置	常或不能触摸		态	外一个屏可以正常监测				

桩腿控制单元 FMEA 分析示例　　**表** 1.3.2.3

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
桩腿控制单元	1	断路器	为桩腿控制单元配电和提供短路保护	断路器跳闸	元件损坏或对地短路	桩腿控制单元没有电	单桩不能正常工作	在线观测	*	*	更换备件
	2	直流电源	输出 DC24 直流电源，为控制系统供电	无直流电输出	元件损坏或对地短路	桩腿控制单元 PLC 和继电器无法工作	单桩不能正常工作	在线观测	*	*	更换备件
	3	交换机	提供网络通讯交互	通讯异常或中断	元件损坏	无法和操作台进行数据	单桩不能正常工作	通过上位机进行在线监控检查	*	*	更换备件

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
			功能			交互					
	4	继电器	触发各种动作	继电器不能正常工作	元件损坏	无控制输出	单个制动器无法开闸，需要人为打开	通过上位机进行在线监控检查	*	*	更换备件
	5	I/O 模块	提供系统的控制指令和采集信号	PLC 不投入工作	元件损坏	信号无法采集和指令无法输出	单桩不能正常工作	通过 PLC 上的状态指示灯和 PLC 在线监控检查	*	*	更换备件
	6	冗余 CPU 模块	逻辑运算和输出控制指令	无法输出指令	元件故障或外部模块故障	单个 CPU 不能正常工作	单个 CPU 不能正常工作，系统可以正常工作	观察 CPU 上的状态指示灯	*	*	更换备件（转为中央操作台操作）

机旁控制箱 FMEA 分析示例　　**表** 1.3.2.4

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
机旁	1	指示灯	指示电机状态	无指示	元件损坏	无指示	无现场指示	观察状态指示	*	*	可人为在固桩架附近观测或者转为遥

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
控制箱											控控制
	2	按钮	输出控制指令	按钮无输出	元件损坏或线路故障	机旁无指令输出	机旁不能正常操作	观察状态指示或动作	*	*	更换备件
	3	触摸屏	监测单桩状态	触摸屏无显示	元件损坏或线路故障	机旁无状态监测	机旁操作无状态显示，可以通过中央操作台监测	观察触摸屏的数据变化	*	*	更换备件
	4	选择开关	输出各种控制指令	选择开关失效	元件损坏或接线松脱	机旁无选择指令输出	机旁部分操作功能丢失	在机旁观察	*	*	可转为在集中控制台遥控控制

变频电源柜 FMEA 分析示例　　**表** 1.3.2.5

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
变频电源柜	1	逆变单元	与整流单元配合使用驱动电机	逆变单元不能正常工作	元件损坏或接线松脱	无交流电输出	只能旁通故障逆变单元继续升降动作	通过上位机进行在线监控检查	*	*	单桩有 36 套逆变单元，一套故障时，另 35 套可以正常工作
	2	整	与逆变单	整流单元	元件损坏或接	无直流电输	旁通故障整流单	通过上位机进行在线	*	*	有 2 套整流单元，

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
		流单元	元配合使用驱动电机	不能正常工作	线松脱	出	元，进行降容使用	监控检查			一套故障后，仍然可以降容使用
	3	制动单元	消耗平台下放时的电能	制动单元不能正常工作	元件损坏或接线松脱	平台无法下降，只能上升	只能通过降容使用	通过上位机进行在线监控检查	*	*	远程合闸变频柜之间的直流母联开关，可以降容使用
	4	主控板	变频器的信号采集和处理	主控板不能正常工作	元件损坏或接线松脱	单个变频器无法工作	旁通故障升降单元继续使用	变频器输出故障报警信号	*	*	更换备件
	5	快速熔断器	对变频器起短路保护	快速熔断器烧坏	线路短路	熔断器支路断开	单个升降单元不能正常工作	用测量仪表测量	*	*	更换备件
	6	通讯板	变频器与 PLC 之间数据交互	变频器与 PLC 无法建立通讯	通讯板硬件故障或线路故障	无法控制单台变频器动作	需要旁通故障通讯板对应的升 降单元，继续平台的升降动	通过观察通讯板上的指示灯	*	*	更换备件
	7	编码	采集电机的实时转	速度反馈异常	编码器故障或线路故障	编码器无信号输出	单个电机无法正常工作，需要故障	通过触摸屏进行监控检查	*	*	更换备件

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
		器信号采集板	速				旁通故障电机，继续升降系统的动作				

其他设备 FMEA 分析示例　　**表** 1.3.2.6

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
其他设备	1	绝对值编码器	监控桩腿位移	单条弦的位移异常	元件损坏或接线松脱	无法检测到单弦的位移	单条弦的位移不能正确反应	通过触摸屏进行监控检查	*	*	更换备件（单个绝对值编码器故障后，可以用其它弦的值覆盖故障弦的，待平台安全后再更换备件）
	2	扭	监测单个	扭矩传感	传感器故障	单个升降单	故障升降单元载	通过触摸屏进行监控	*	*	更换备件（单个扭

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
		矩传感器	齿轮的载荷	器无法准确测量升降单元的载荷值	或线路松脱	元载荷无法正常监测	荷无法静态监测	检查			矩传感器故障，动态时可以用 变频器扭矩换算单个小齿轮的受力）
	3	数据总线	完成系统数据通讯功能	通讯中断	元件损坏或接线松脱	集中控制台和桩腿控制站之间的单条数据链	不影响升降系统的正常工作	通过模块上的状态指示灯和 PLC 在线监控检查	*	*	集中控制台的 CPU 和桩腿控制单元 CPU 通过管网型交换机连接，任意支路损坏并不影响系统正常通讯，任一变频器通讯故障可以通过旁通此变频器继续桩腿升降
	4	超速开关	桩腿超速保护	超速保护失效	元件故障或线路故障	超速开关无法起到超速保护	无影响，绝对值编码器超速	无	*	*	更换备件（绝对值编码器可以实现相关功能）

机械部分 FMEA 分析示例　　**表** 1.3.2.7

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
机械部分	1	齿条机构	传递扭矩	齿条断齿	载荷不均衡	无	影响正常工况的升降能力与风暴工况的制动能力	变频器电流监控、制动器开闭状态监控	*	*	1、驱动单元整体拆除，使用剩下的 9 组继续工作 2、及时维修和更换
	2	爬升齿轮	驱动齿条	齿轮断齿	载荷不均衡	无	影响正常工况的升降能力与风暴工况的制动能力	变频器电流监控、制动器开闭状态监控	*	*	1、驱动单元整体拆除，使用剩下的 9 组继续工作 2、及时维修和更换
	3	减速机	传递扭矩	不能工作	负载不均衡	无	影响正常工况的升降能力与风暴工况的制动能力	变频器电流监控、制动器开闭状态监控	*	*	1、驱动单元整体拆除，使用剩下的 9 组继续工作 2、及时维修和更换
	4	制动器	提供制动扭矩	制动器无法开启	制动器密封损坏	制动器无法开启	制动器抱闸，升降停止	现场排查	*	*	停电机，平台停止动作，处于维持状态，关闭管路球阀对故障电磁阀进行排查维修

液压泵站 FMEA 分析示例　　**表** 1.3.2.8

组件	序号	元器件	功能	潜在失效模式	可能失效的原因	故障影响		故障检测方法	严酷度等级	频率等级	补偿措施
						局部影响	全局影响				
液压泵站	1	泵	为系统提供压力油	无流量输出	吸油过滤器堵塞、泵内部故障	泵站停止工作	制动器抱闸，升降停止	现场排查	*	*	1、停电机，平台停止动作，处于维持状态，关闭管路球阀对故障泵进行排查维修 2、或通过手摇泵为系统提供压力油
	2	电磁换向阀	控制制动器的开启	从中位无法切换到工作位	阀芯卡死或电磁线圈损坏	电磁阀无法换向	制动器抱闸，升降停止	现场排查	*	*	停电机，平台停止动作，处于维持状态，关闭管路球阀对故障电磁阀进行排查维修