

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD 24-2019



中国船级社

在役导管架平台结构检验指南

2020

2020年1月1日生效

北京

目 录

第 1 章 通 则.....	1
第 1 节 目 的.....	1
第 2 节 适用范围和依据.....	1
第 3 节 定义和缩写.....	1
第 4 节 检验和证书.....	1
第 5 节 申请及责任.....	2
第 2 章 在役导管架平台结构检验方法.....	3
第 1 节 水面上结构检测方法.....	3
第 2 节 水下结构检测方法.....	3
第 3 节 其它结构检测方法.....	6
第 3 章 实施结构检验.....	7
第 1 节 一般要求.....	7
第 2 节 结构检验程序、范围和要求.....	7
第 3 节 结构检验前准备.....	10
第 4 节 现场结构检验实施.....	11
第 5 节 检测结论审批、损伤识别及报告.....	11
第 6 节 缺陷处理.....	12
第 4 章 平台结构评估.....	13
第 1 节 一般规定.....	13
第 2 节 图纸和资料.....	13
第 3 节 评估流程.....	14
第 4 节 设计水平分析.....	15
第 5 节 极限强度分析.....	16
第 6 节 疲劳强度评估.....	18
第 7 节 采取缓解措施.....	19
附录 1 平台缺陷处理.....	20
1.1 概述.....	20
1.2 平台结构加强、改造及修理方案审批和检验.....	20
1.3 防腐缺陷处理.....	32
1.4 海生物清理.....	32
1.5 冲刷处理.....	32
1.6 平台维修后检查和维护.....	32

第1章 通 则

第1节 目 的

1.1.1 本指南是中国船级社(以下称本社)为在役导管架平台结构检验提供技术服务的指导性文件。

1.1.2 本指南的目的是指导本社验船师对在役导管架平台实施结构检验、评估,同时列出常见缺陷处理方法供使用者参考。

1.1.3 本社作为主管机关认可的发证检验机构,检验时还应满足主管机关的相关要求。

1.1.4 在役导管架平台全生命周期结构完整性管理也可参照本指南相关规定。

第2节 适用范围和依据

1.2.1 适用范围

本指南适用于由本社检验发证的在中华人民共和国海域内的在役导管架平台的结构检验。本指南为结构检验指导性文件,同时适用于结构有密切关系的其他检验,如防腐、海生物、海床状况检验等。

对于其他类型固定海上设施的结构检验可参照本指南的有关规定,并充分考虑其特殊性。

1.2.2 法规、指南及标准

(1) 国内法规、指南

- 中华人民共和国国家经济贸易委员会《海上固定平台安全规则》(2000)
- 中国船级社《海上平台状态评定指南》(2005)

(2) 国外标准

- API RP 2A—WSD Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design, 2007
- ISO 19902 Petroleum and natural gas industries —Fixed steel offshore structures, 2007

第3节 定义和缩写

1.3.1 **符合证书**,指本社作为安全生产监督总局认可的发证检验机构,按照《海上固定平台安全规则》,应平台业主的申请,或与平台业主签署检验合同,对在中华人民共和国境内固定导管架平台进行检验后签发的证书。

1.3.2 **交流场检测(ACFM, Alternating Current Field Measurement)**,利用导电材料中的缺陷会改变材料表面电磁场分布的原理,通过测量电磁场分布的变化,并和标准的理想缺陷所形成的电磁场进行比较,从而确定缺陷的性质、位置和大小。

1.3.3 **构件充水探测(FMD, Flooded Member Detection)**,利用超声波探测平台结构构件是否进水,确定构件是否存在穿透性缺陷。

1.3.4 **加强、改造和修理措施(SMR, Strengthening, Modification and Repairing)**,指对在役平台结构进行的加强、改造和修理措施。

1.3.5 **水下磁粉探伤(UWMT, Under Water Magnetic Detection)**,在水下利用钢结构缺陷处的漏磁场与磁粉的相互作用,观察磁痕,确定缺陷位置及形状的检测手段。

第4节 检验和证书

1.4.1 一般要求

1.4.1.1 在役导管架平台的结构检验应符合《海上固定平台安全规则》的要求。

1.4.1.2 对于按照不同标准设计建造的平台还应满足下列要求:

(1) 根据本社《浅海固定平台建造与检验规范》设计和建造的平台, 结构检验应符合《浅海固定平台建造与检验规范》的相关规定。

(2) 根据 API 规范设计和建造的平台, 结构检验应符合 API RP 2A 的相关规定。

1.4.1.3 除上述要求外, 平台的结构检验还应满足本指南的要求。

1.4.1.4 在设计寿命期内的平台, 本社将按照《海上固定平台安全规则》检验满意后, 由本社签发《海上设施符合证书》。

1.4.1.5 对于超期服役的平台, 经本社检验合格, 并通过结构评估后, 签发《海上设施符合证书》, 本社将根据检验及评估结果, 确定平台后续检验周期和检验范围。

1.4.2 检验种类

1.4.2.1 初次检验

平台业主初次申请本社根据《海上固定平台安全规则》进行符合证书发证的检验。

1.4.2.2 年度检验

平台的年度检验应在首次签发检验符合证书或最近一次检验符合证书签证日期后, 每周年日前后三个月内进行。

1.4.2.3 定期检验

平台符合证书到期应进行定期检验, 定期检验的间隔期应不超过五年, 可在现有证书到期前后三个月内进行定期检验。如果定期检验在证书到期日后完成, 在这种情况下, 下次检验的日期仍应从该证书到期之日算起。定期检验可代替年度检验。

1.4.2.4 临时检验

平台在下述情况下, 应进行结构临时检验:

- (1) 改建更动主要结构或进行重要结构修理;
- (2) 发生事故或自然灾害, 对平台结构造成损害和影响安全, 须进行恢复修理;
- (3) 平台作业者, 在年度检验或定期检验的间隔中认为必要时所进行的检验。

第 5 节 申请及责任

1.5.1 申请本社提供检验服务者, 申请人应向本社提交书面申请, 签署检验合同, 并提供相关图纸和技术文件。

1.5.2 申请人或其承包商应在实施检测、修理措施前, 将检测计划、修理计划报告送本社审批。

1.5.3 申请人应至少于检测、修理 3 周前通知本社, 并根据批准的检测、修理方案准备必需的条件。

1.5.4 检测、修理应在本社验船师监督下进行。

1.5.5 申请人应为本社验船师提供安全、健康的工作条件, 以及实施现场检验和监督的便利, 并有义务要求其承包方配合本社的工作。

1.5.6 可由本社和业主接受的设计公司或评估公司进行平台加强、改造和修理设计及结构评估, 相关报告应送本社审批。

1.5.7 对于超期服役的平台, 本社将基于检验和独立计算、评估的结论进行发证。

1.5.8 申请人需按合同支付有关费用。

第2章 在役导管架平台结构检验方法

第1节 水面上结构检测方法

2.1.1 外观检查

2.1.1.1 外观检查是最直接有效的结构检测方式，平台结构可见的缺陷大部分是通过外观检查发现的。

2.1.1.2 外观检查分为总体外观检查和近观检查。整体外观检查是通过平台结构大体外观检查，了解结构是否存在变形、损坏、腐蚀等。近观检查是指检查时人手可触摸到检查位置的检验方式，通常对可疑区域、高应力区域应实施近观检查，通过近观检查，可以详细了解到结构开裂、腐蚀、损坏变形程度。近观检查有时候需要利用脚手架、梯子、小艇和吊篮等才能实现。

2.1.1.3 平台上部结构修理同样需要进行外观检查，包括装配、焊缝外观、油漆等。通过外观检查，了解装配精度、焊缝外观质量能否满足焊接工艺和施工标准，以及油漆喷涂外观质量能否满足工艺要求。

2.1.2 磁粉探伤

2.1.2.1 磁粉探伤适用于检验构件或焊缝的表面和近表面缺陷（对非磁性材料不适用）。通常在进行外观检查时，如发现有可疑之处，可考虑采用磁粉探伤，以检测肉眼检查不到的缺陷（特别是裂纹）。磁粉探伤经常使用于高应力区、长期处于交变载荷区域、过量腐蚀等可疑区域。从事磁粉探伤人员应至少持有本社签发的Ⅱ级磁粉探伤资格证书。

2.1.3 超声波测厚

2.1.3.1 超声波测厚主要是用于检查构件的厚度。通常在检验中如发现平台油漆普遍脱落或有明显腐蚀情况，应要求进行测厚检查，以确认构件的腐蚀情况。平台在进行结构评估时，如需要获得构件厚度，也应进行测厚检查。

2.1.3.2 测厚人员必须取得本社签发的测厚资格证书，测厚公司应取得本社的认可证书。测厚仪应按照认可的国家/国际标准校验，并有适当的标贴；仪器精度要求应符合如下标准且满足仪器说明书的规定：

(1) 板材厚度 $< 10\text{ mm}$ 精度 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。

(2) 板材厚度 $\geq 10\text{ mm}$ 精度 $\pm 0.2\text{ mm}$ 。

2.1.3.3 对于点腐蚀的测厚检验，点腐蚀可以在涂层气泡下发现，故鼓泡的涂层应在检查之前铲除。测量点腐蚀或缝凹槽腐蚀的剩余厚度，用一般超声波传感器（一般 10 mm 直径）是不够的，应用一种袖珍传感器（ $3\sim 5\text{ mm}$ 直径）。或者测厚公司应使用点腐蚀量规作为等效测量工具测量点腐蚀或凹槽腐蚀的深度，并计算剩余厚度。

2.1.3.4 测厚前应先查明结构设计的腐蚀余量、设计厚度和建造厚度。如果腐蚀量没有超过设计腐蚀厚度，则只需采取有效防腐措施即可。

2.1.3.4 测厚过程应在本社验船师监督下进行，发现异常情况应向本社验船师报告。

2.1.3.5 测厚完成之后，测厚公司将测厚报告提交给验船师审核。测厚报告中的图示应与平台图纸相一致，对于开裂、锈穿等位置要加以标注。对于所测量的点要编制代码，使图示与测厚报告中的代码相对应，便于识别。

第2节 水下结构检测要求

2.2.1 水下检测应事先向本社提出申请，告知检测的时间和地点，并取得本社同意。

2.2.2 聘用的水下检测公司和检测操作人员，应持有本社认可证书和资格证书，如水下检测公司的资格证书和担任水下检测的潜水员资格证书等。

2.2.3 检测作业在实施前检测公司必须提交检测计划供本社审核，并在本社验船师的现场监控下按检测作业计划进行检测，检测计划应至少包括以下内容：

(1) 检测设备和人员等。

(2) 检测的范围和位置。

2.2.4 检测应在本社验船师的监督下进行，水下检测操作人员与验船师之间应有双向通讯设备。

2.2.5 检测的地理区域和平台应具有良好的条件，如在足够水深的遮蔽海域，水流和水中能见度方面满足检测要求，以及平台水线以下部分的清洁等。在一般情况下，水流速不大于 0.5 米/秒，水中能见度大于 2 米（或潜水员确认能够进行水下作业）。

2.2.6 检测操作人员提供的摄像资料应该是清晰的。水下检测使用的录像视频，图像应清晰，其组合分辨率应不低于 280 线，或验船师认为满意。

2.2.7 水下检测时，若发现任何损坏或需要及时处理的缺陷，验船师可要求进行更全面的检测或必要的处理。

2.2.8 水下检测完成后，水下检测公司应尽快将潜水员的书面检测报告及水下检测的录像及照片等资料提交本社。

第 3 节 水下结构检测方法

2.3.1 水下外观检查

2.3.1.1 水下外观检查是通过潜水员或 ROV 的外观检查、水下摄像和水下照相，以及验船师通过双向通信设备及闭路电视对检测进行监控，对平台水下部分进行的外观检查。

2.3.1.2 水下外观检查的种类：

(1) 一般性外观检查：潜水员对构件的明显损伤进行检测。

(2) 详尽外观检查：先对平台待测部位进行预清理，然后由潜水员来检查构件隐藏的损伤。

2.3.2 海生物厚度测量

2.3.2.1 海生物厚度测量通常在平台定期检验时进行。海生物厚度超过平台设计硬质海生物的允许量或平台经安全评估确定海生物需清除时应进行清除。

2.3.2.2 海生物测量前，应提交测量方案供本社审核。方案中应明确测量方法（如各构件每隔 3 米测量一剖面，每一剖面测量 4 点或 2 点海生物厚度）及测量时画好草图。

2.3.2.3 潜水员应采用直尺和卷尺，对平台水下杆件海生物附着厚度进行测量，辅助以图表对各个部位的海生物厚度进行详细记录，并提交报告。

2.3.3 牺牲阳极检测

2.3.3.1 牺牲阳极检测通常在平台定期检验时进行，用于确认平台阳极的损耗情况。

2.3.3.2 测量时要求测阳极的 3 个周长（取平均值）及牺牲阳极总长度。如果耗蚀超过 2/3（与原先尺寸比较），应进行更换。

2.3.3.3 除了对耗损阳极进行测量外，还必须注意不起作用的牺牲阳极，如果发现不起作用的阳极，应进行更换。另外，如果发现牺牲阳极被海生物覆盖，应清除表面海生物。

2.3.4 结构电位测量和阳极电位测量

2.3.4.1 在海水中，经保护的钢结构电位必须低于 -0.8V，理想的钢结构电位处于 -0.9V 和 -1.0V 之间（相对 Ag/AgCl）。如果电位到 -1.1V 或更低，检测时应确认是否形成释氢裂纹。

2.3.4.2 对平台水下结构进行随机抽查，对外观检查到阳极耗蚀严重位置、或阳极不起作用位置应重点检查。通常电位测量选取 10% 的阳极和每一水平层的钢结构。被选择的阳极平均分布在导管架的不同侧面和不同水平层上。

2.3.4.2 电位测量时应注意以下事项：

(1) 测量仪器常用 BCM 型电位仪。每次电位测量前后，都应使用饱和的甘汞电极对测量电极进行校验。测量前用要检测平台附近海域的海水将仪器及试块浸泡 2-3 小时，对仪器校正，确保数值准确。使用前应校正。每个班（8 小时）校正一次。

(2) 对钢结构进行测量时，测量位置应尽量远离牺牲阳极。

(3) 金属触点与被检测结构表面的电接触：对于 Ag/AgCl 电极来说，不良的电接触会导致电位读数误差在 -0.9~-0.6mv 之间。因此在测量前，须将待测点处钢材表面和阳极块上的腐蚀物清理干净，使测量电极的金属探头与被测结构表面（钢表面或阳极材料）保持良好

的接触。

(4) 明确电位测量的位置及测量方法, 根据牺牲阳极的布置图, 分析保护最弱的地方进行电位测量, 如: 在每两块阳极之间、或构件尺寸变化的地方、节点处。

(5) 如果被保护结构电位太高, 则表明保护不够, 应考虑更换/增加阳极。如果发现被保护结构电位过低, 则应考虑减少阳极数量。

(6) 执行水下电位检测的潜水员应有相应的资格证书, 经过合适的培训。检测仪器也应标定合格。

2.3.5 水下结构测厚

2.3.5.1 如检测及结构评估有要求时, 应对水下结构进行测厚, 以确定构件的厚度。

2.3.5.2 执行测厚工作的潜水员必须取得本社签发的测厚资格证书。

2.3.5.3 水下结构测厚要求方法和水面上测厚相同。

2.3.6 水下磁粉探伤

2.3.6.1 在进行水下外观检查中, 如对构件或节点有怀疑, 或平台定期检查有要求时, 应对平台构件或节点进行水下磁粉探伤 (UWMT), 以检查构件或节点的表面或近表面缺陷。水下磁粉探伤主要采用荧光磁粉探伤。

2.3.6.2 水下磁粉探伤应注意以下事项:

(1) 检测区域须按检测作业计划进行划定和标记。

(2) 检测区域内影响磁痕显示的海生物、油漆涂层及其它表面沉积物须进行清理。最好用高压水枪或钢丝刷清理至裸金属, 一般打磨仅用于有极坚硬沉积物或海生物的情况。

(4) 荧光磁粉施加到检查区域, 需用紫外光源 (黑光) 来判读。

(3) 现场用已知的裂纹试件或灵敏度试块对系统的灵敏度进行校验。磁化电流和探测触头的间距也应校验。

(5) 当手提式触头磁化法对导管架的 K 形或 X 形管节点焊缝检测效果不佳时, 可采用电缆缠绕法进行磁化检测。

(6) 对水下局部小范围的检测, 也可使用永久磁铁法。

(7) 磁悬液如是水溶性荧光磁悬液, 使用前须在经滤波的紫外光下校验。悬浮磁粉的浓度要适当, 一般约为 0.5%。

2.3.7 交流场检测 (ACFM)

2.3.7.1 交流场检测 (ACFM) 是一种交流电场检测技术, 主要用于水上结构或水下结构裂纹检测, 具有对工件表面的处理要求低、对水下探头的操作人员的专业技能要求少等优点。

2.3.7.2 交流场检测应注意以下事项:

(1) 从事交流场检测操作的人员必须持有 II 级及以上证书, I 级人员应能够根据书面说明和在 II 级人员监督下进行检测操作。报告应有 II 级证书人员编写。

(2) 进行交流场检测检测所需要的附件设备: 电磁标记箭头、画棒、卷尺或标尺、用于备份和记录的光盘, 水下检测发现的缺陷如不立即处理, 应做好标记。

(3) 检测区域需要清除海生物, 一般用高压水枪清理, 同时清理疏松的杂物, 以保证探头能平稳移动。清理工作完成后, 需要用涂料棒标记定位信息, 沿焊道长度方向, 确定初始点, 以适当的间隔 (如 20mm) 作出标记。当检测焊缝为环形焊缝时, 可以做好钟点位标记以作为定位标记。

(4) 检测前, 先进行外观检查, 确保检测位置适宜检测。潜水员水下操作探头前, 告知水面检测员探头方向 (A 方向或 C 方向), 在水面检测员的指令下开始检测, 同步移动探头 (最大速度 50mm/s), 当探头跨越钟点位 (间隔标志) 时应告知水面的检测员。

(5) 带输入电流和输出电压的多条线缆在单个探头脐索里同时运行, 需要注意防止脐索尾随至靠近探头头部的结构物, 因为这样可能会改变磁场感应强度。

(6) 探头应沿与焊缝平行的方向移动以探测平行焊缝方向的疲劳裂纹。标准探头 (包括紧凑型探头但不包括铅笔式探头) 扫描的宽度是 20mm 宽, 标准的扫描方法是探头顶端在焊趾上, 热影响区和焊缝各 10mm 的扫描范围, 扫描应总是沿着两侧焊脚进行。如果焊缝的宽度超过 20mm, 应进行多次在焊道上扫描以覆盖整个焊缝宽度。

(7) 当发现裂纹时, 应以较慢的速度进行更仔细的扫描, 在焊缝的两侧指示长度的两

头各多扫描 30mm，确定裂纹梢并标明。表面裂纹的长度应报给水面的检测员。

2.3.7.3 检测完成后，应向本社提交检测报告。检测报告中应至少说明以下内容：

- (1) 检测员姓名，探头操作员姓名，构件号码/名称；
- (2) 在焊缝上的位置（如主弦杆，支撑杆，焊缝），探头型号和系列号，探头方向，时钟位置或标尺指示的位置；
- (3) 缺陷显示的详细记录/异常情况，在焊缝的位置，缺陷开始位置，缺陷结束位置，缺陷长度（mm），缺陷深度（mm），示意图/被检部件的图纸。

2.3.8 构件充水探测

2.3.8.1 构件充水探测（FMD）探头可由潜水员或 ROV 操作。

2.3.8.2 构件充水探测应注意以下事项：

- (1) 构件充水探测主要的检测对象为已封口内空构件。被检测体必须是圆形的管道，内外壁光滑规则。
- (2) 检测前须确保探头内部完全浸水，没有任何空气在探头内部。
- (3) 待测管件直径须大于 200mm，厚度范围为 10mm 到 50mm。
- (4) 检测前应确认设备运行良好。

2.3.9 冲刷检测

2.3.9.1 冲刷检测应查明导管架周围的冲刷情况，测量海床冲刷、桩腿倾斜和沉降等情况，包括因冲刷或淤积造成平台位置水深的变化等，从而对平台的安全稳定性受冲刷程度的影响做出定量的评价。

2.2.9.2 冲刷检测应对平台各桩腿冲刷/堆积情况进行检查，并记录冲刷的范围、深度和堆积高度。

第 4 节 其它结构检测方法

2.4.1 平台振动较剧烈的结构，如可能影响结构强度，建议进行振动检测。

2.4.2 如采用更为新颖的检测手段、检测技术，本社将予以特殊考虑。

第3章 实施结构检验

第1节 一般要求

3.1.1 结构检验主要包括平台水上、水下结构物，附属构件，防腐系统，导管架周围海底情况的检查。

3.1.2 检验应满足本指南规定的检查范围中的最低检验要求，当检验发现有显著腐蚀和/或结构性缺陷时，则检验范围应予扩大。

3.1.3 本章内容为常规情况下结构检验，特殊情况下，比如对建造或安装出现过先天缺陷的平台，或生产期间出现过严重损坏的平台，或超过设计寿命的平台，结构检验范围应和评估单位商讨，按照评估实际要求，以确定进一步检验的范围和方式。

3.1.4 在役平台结构检验分为初次检验、年度检验和定期检验。对常规结构检验而言，进行年度检验时，由本社验船师完成对水上结构目测检验即可。进行初次检验和定期检验，由于需要对水下结构进行检测，通常需要检测公司配合完成。

3.1.5 检验计划应根据基于平台当前状态的结构评估结果、历次结构检验结果以及结构修复、加强和改造（若适用时）等情况制定。基于风险的检验计划制定方法可参照本社指南《固定式导管架平台基于风险的检验指南》（2019）。

3.1.6 导管架腐蚀余量应该遵照设计选取的腐蚀余量。但如检测时平台不能提供腐蚀余量的设计值，则建议按API推荐0.3mm/年考虑，全浸区不考虑腐蚀余量。按本社《浅海固定平台建造和检验规范》设计的平台，腐蚀余量对于使用年限为n年的平台，其全浸区结构的腐蚀裕量按照 $n/15$ (mm)，飞溅区结构的腐蚀裕量按照 $n/3$ (mm)考虑。

第2节 结构检验程序、范围和要求

3.2.1 按照本社《浅海固定平台建造和检验规范》设计、建造平台检验要求

3.2.1.1 初次检验程序和要求

(1) 在役平台如拟获得本社符合证书，可向本社总部或当地的检验单位提交初次检验申请。初次检验应在现场勘验和图纸审查后实施。

(2) 申请人应向本社海工审图中心提交平台结构设计图纸及在役生产期间结构改造的图纸供审查、评估。根据在役平台的技术状况和使用年限，经本社同意，可酌情减少送审图纸资料的范围。此外，申请人还应提交该平台在建造和修理中的有关技术资料、工厂记录以及检验和试验记录。需要送审结构图纸目录包括：

- ① 总布置图；
- ② 设计规格书；
- ③ 导管架结构图，包括导管架各平面和立面构件图、桩和隔水套管结构图以及防碰件、登船件、电缆护管、泵护管、立管、防沉板等附属件结构图；
- ④ 上部组块结构图，包括上部组块各平面和立面构件图、过渡段结构图、关键节点详图；
- ⑤ 生活楼、模块钻机、修井机、直升飞机甲板、甲板房、火炬臂、栈桥、吊机底座等结构图。

(3) 检验单位应对平台进行现场勘验，并提交勘验报告。对已取得国家主管机关发证检验资质、且本社认可的船级社（第三方）发证检验的在役平台的初次检验，如平台服役年限不超过2年，可以不进行现场勘验；如平台服役年限超过2年，则应进行现场勘验以确认其技术状况。

(4) 根据平台现场勘验结果及图纸审查结果，本社决定是否同意接受检验申请。对不以受理检验的申请，本社将通知业主。

3.2.1.2 初次检验范围

初次检验范围通常应按照本章3.2.1.4条定期检验的范围进行。

3.2.1.3 年度检验范围

(1) 总体检查平台水面以上的全部结构

确认平台结构是否存在损坏、变形、裂纹、腐蚀、焊缝完整性等缺陷及确认自上次检验以来结构是否发生过未经认可的修改。

(2) 飞溅区域结构的外观检查

确认无船舶以及漂浮物的碰撞及腐蚀引起的损坏。

(3) 注意检查重大改造部位及历次检验时所发现的损坏修理部位的结构状况(适用时)。确定处于良好状态,无损坏、裂纹、变形、腐蚀及油漆脱落等缺陷。

(4) 检查可能影响平台结构完整性的改变和荷载变化的情况。

(5) 重点检查导管架以及平台组块的重要受力节点、应力集中部位

检查结构主梁、立柱、斜撑及水平撑等主要结构及其节点焊缝,确认结构及焊缝的完整性,无裂纹、油漆脱落、变形等缺陷,必要时可进行测厚或 NDT 检查。

(6) 逃生通道检查

逃生通道包括开敞甲板、通道、梯道、栏杆、靠船件、梯步和升降口等安全设施,应确认上述安全措施完整性及是否处于良好状态。

(7) 检查平台群的连接步桥的结构及其保护栏杆的完整性及状况。

(8) 隔水套管外观检查

检查隔水套管自飞溅区及以上状况,是否存在明显腐蚀、损坏及楔块松动等缺陷。

(9) 立管及卡子外观检查

检查飞溅区及以上立管及卡子的完整性,是否存在涂层脱落及明显腐蚀、卡子松动等缺陷。

(10) 电缆护管及 J 型管

检查观察结构是否完整、J 型管端部固定是否牢固、是否有裂纹、局部变形、腐蚀等现象。

(11) 涂层检查

检查上部组块及飞溅区导管架结构的涂层状况,确认是否存在涂层脱落、磨损及涂层保护系统失效的情况。

(12) 全浸区阴极保护系统的有效性。

确认水下阴极保护系统的性能(如下放传感器)。

(13) 对发现水上结构有损坏,并且外观检查不能完全确定损坏的范围时,应进行无损探伤。

(14) 如检验过程中验船师对水下结构物损坏有怀疑时,可要求对水下结构进行水下检验,以确认损坏情况。

3.2.1.4 定期检验范围

(1) 水上结构的检验范围

- ① 本章第 3.2.1.3 所规定的年度检验所有项目;
- ② 近观检验要求包括:特殊构件和主要构件及其节点,如管节点、甲板构架与立柱及腿柱的连接、主梁、主要支撑、层间立柱等;重要设备与平台主要结构连接的部位,如吊机座与平台连接部位;飞溅区的构件(包括靠船构件)。
- ③ 重要节点焊缝的无损检测,重点检查以下节点:
 - a) 立柱与水平拉筋、斜拉筋的 T、K、Y 节点;
 - b) 直升机甲板斜撑与平台主体连接节点;
 - c) 甲板主梁与平台立柱的连接节点;
 - d) 甲板主桁与平台立柱的连接节点;
 - e) 甲板主梁与主桁的连接节点。

可根据平台的使用年限及总体状况,确定抽查的百分比。建议的比例如下:对于 5 年及其以下的平台抽查比例 20%,对于 10 年及其以下的平台抽查比例

40%，对于15年及其以下的平台抽查比例60%，对于超过15年平台抽查比例100%。

- ④ 结构测厚：对于油漆脱落且有明显腐蚀的结构，根据现场目测结果确定是否需要测厚。

(2) 水下结构的检验范围

- ① 水下总体目测检查范围包括：导管架结构总体状况，检查是否存在弯曲、位移、凹陷及擦伤等缺陷；平台附件、附件包括隔水套管、立管、电缆护管等附件的管卡状况与平台主体的连接状况；牺牲阳极的状况。
- ② 近观检查导管架结构的腐蚀状况，结构的腐蚀检查要求清除海生物，可以结合构件的测厚及焊缝的无损检测，做扩大范围的清除达到局部检验的要求。
- ③ 结构测厚：对油漆脱落的飞溅区进行结构测厚，以了解飞溅区腐蚀情况，如电位测量发现水下结构保护不足，应对保护区域结构进行测厚，以了解结构是否有腐蚀。
- ④ 管节点焊缝的无损检测：根据平台的使用年限及总体状况，确定抽查的百分比，对于10年及其以下的平台抽查比例10%，对于10年以上平台20%，抽检节点应包含对疲劳敏感的管节点。
- ⑤ 检查牺牲阳极（如锌块）外观状况：所有牺牲阳极均需检查，检查牺牲阳极是否丢失、与构件的连接是否牢固；清除阳极上的海生物和白色斑点腐蚀；检查有没有失效的阳极以及过量耗蚀的阳极。
- ⑥ 电位测量：对平台水下结构进行电位测量，了解阴极保护是否足够，或是否出现过保护。
- ⑦ 海底检查：检查海底冲刷和堆积情况、结构沉降情况、海管悬空情况并对导管架的海床周围（如10米、50米）进行调查，是否有残骸、杂物等。
- ⑧ 海生物厚度测量：检测海生物厚度是否超过设计要求，海生物厚度超过平台设计硬质海生物的允许量，或平台经安全评估确定海生物厚度时，应进行清除。

3.2.2 按照 API 规范设计、建造平台结构检验要求

3.2.2.1 初次检验程序和要求见本章 3.2.1.1。

3.2.2.2 初次检验范围见本章 3.2.2.4。

3.2.2.3 年度检验范围见本章 3.2.1.3。

3.2.2.4 定期检验范围

(1) 水上结构的检验范围

- ① 本章第 3.2.2.3 所规定的年度检验所有项目；
- ② 对水上导管架及组块的高应力节点、疲劳点进行无损探伤。重点关注立柱与水平拉筋、斜拉筋的 T、K、Y 节点，探伤范围可根据平台使用年限及技术状况结合目测检查结果确定。
- ③ 如构件腐蚀严重或验船师认为有必要，可对结构（特别是高应力构件）进行测厚检查。

(2) 水下结构的检验范围

基于 API 规范设计和建造的平台结构检验范围应根据暴露等级（见 API RP 2A-WSD 1.7 节）和平台年龄，按照的检测级别（见 API RP 2A-WSD 14.3 节）要求确定，见表 3.2-1。

表 3.2-1 推荐检验周期及检验级别

暴露等级	5 年	10 年	15 年及以上
L1	II 级检测级别	III 级检测级别	III 级检测级别
L2	II 级检测级别	II 级检测级别	III 级检测级别

L3	II级检测级别	II级检测级别	II级检测级别
----	---------	---------	---------

在II级检测期间发现的显著结构损坏应成为进行III级检测的依据。如果需要和可能,应尽早执行III级检测。

在III级检测期间,发现的结构显著损坏应是IV级检测的根据。因为在这种情况下,只进行外观检查不能确定损坏的范围。如果需要和可能,应该尽早进行IV级检测。

3.2.3 延长使用年限平台的结构检验特殊要求

3.2.3.1 平台年龄到达设计寿命后,如果业主期望继续使用,应进行一次全面检验和评估,以确定平台的实际状态。延长使用年限平台应在检验的基础上进行详细的评估,评估具体要求参见第4章。平台后续的检验策略应根据评估结果进行调整。

3.2.3.2 延长使用年限检验可结合定期检验开展。

3.2.3.3 检验范围

延长使用年限平台结构检验范围应不低于基于平台年龄和暴露等级所要求的定期检验范围,此外,在进行现场检验前,还必须满足评估所需要数据采集要求。

3.2.3.4 资料及报告审查

检验完成后,业主应提交至少以下资料供审查:

- (1) 上一次延期检验的检验报告;
- (2) 结构再分析报告(包括结构整体强度再分析报告以及管节点疲劳再分析报告);
- (3) 平台的保养手册、日志和记录;
- (4) 改装、修理、设备更换记录以及为改装修理所做的设计和检验记录;
- (5) 历年的检验记录包括无损探伤和测厚、测量记录;
- (6) 必要的原有设计图纸、计算报告和资料;
- (7) 制造和安装检验报告和记录;
- (8) 平台原设计基础数据及目前的环境条件;
- (9) 结构评估要求的其他资料。

3.2.3.5 后续的检验策略

本社将基于结构评估结果对平台延期服役的后续检验策略(包括检验种类、周期及检验范围)提出建议,同时确定是否需采取,如进行局部结构加强、缩短定期检验周期、减少作业荷载后设备荷载及限制使用条件等措施。本社将基于检验和评估的结果签发《海上设施符合证书》。

第3节 结构检验前准备

3.3.1 实施结构检验前,业主应做好检验前准备工作。

3.3.1.1 对于结构定期检验,应由业主根据本社结构定期检验范围要求制定具体详细的检验项目内容文件,并交本社进行审查批准。

3.3.2 如果结构检验需要检测公司配合,则平台在检验前,检测公司根据本社检验内容要求,制定检测方案,并提交本社验船师审批,方案批准后方可实施检验。

修改说明:修改,根据专家意见修改。

3.3.3 检测方案应至少包括如下内容:

- (1) 检查地点和环境条件;
- (2) 检验项目和程序;
- (3) 检验方法和设备;
- (4) 担任水下检验的潜水员名单和潜水公司名称。

3.3.4 从事结构检测的公司及人员应具备下列资质,检验所采用的设备应齐全有效。

3.3.4.1 从事水上结构检测的公司应取得本社颁发的《海上设施检测机构认可证书》,从事水下结构检测的公司应持有本社颁发的《水下工程服务机构认可证书》。

3.3.4.2 从事水面检测的无损检测人员、测厚人员应取得本社颁发的资格证书。

3.3.4.3 从事水下目测人员、无损检测人员及测厚人员应具有水下操作证书及本社颁发的相应资格证书或等同的证书。

第4节 现场结构检验实施

3.4.1 平台业主应提供一个安全、健康的工作环境，并提供有利平台检验的辅助条件，比如：照明、检验通道等，以便本社验船师和检测公司完成结构检验。

3.4.2 本社当地检验机构对整个检测过程进行监控，检测公司或平台业主应在检测开始最少5个工作日前通知本社当地检验机构。

3.4.3 本社验船师根据目测检查结果，可能对批准的检测方案内容进行必要的变更。在这种情况下，应通知平台业主及检测公司。

3.4.4 检测公司应每天工作前和平台业主及验船师举行工前会议，向业主及现场验船师报告当天检测计划。

3.4.5 检测公司检测应在现场验船师的监督下进行，检测过程发现异常情况，或检测计划有变更，应立即报告现场验船师。

3.4.6 检测过程如发现结构异常，检测公司应遵照现场验船师要求，对可疑区域进行详细检查，或借助进一步的手段进行检测，并根据需要进行拍照和录像，以便初步识别结构损伤的原因、性质和范围，且有可能对类似结构进行同等详细检查。

3.4.7 当天检测结束，检测公司应向现场验船师书面报告检测结果。

第5节 检测结论审批、损伤识别及报告

3.5.1 完成结构检验，检测公司的完工报告应送交本社审批，本社验船师根据目测结果以及检测公司检测结果出具检验报告。

3.5.2 检验中如发现的缺陷，了解结构受损原因、性质、范围是十分必要的。结构损伤识别原因包括：

(1) 疲劳载荷：疲劳载荷是引起疲劳裂纹的原因，疲劳裂纹起因通常为环境载荷和构件自身，通常出现在交变应力区或高应力区，或者先天不足的焊缝。疲劳裂纹的扩展会引起结构断裂，也会从一个构件扩张到另外一个构件，比如次要构件的裂纹会扩张到主要构件。

(2) 坠落物：坠落物通常为外物，包括钻杆、桩管、吊车货物等，坠落物通常引起结构凹陷、弯曲、破洞，甚至结构断裂或撕裂。如果坠落物是钢绳，那么钢绳在波浪作用下反复摩擦构件，严重情况下会锯断构件。

(3) 靠泊船碰撞：供应船碰撞通常造成水下结构凹陷和弯曲，由于锚链缠绕造成结构损坏也有发生过。结构弯曲变形程度取决于结构的长度、直径和壁厚比率。此外，碰撞也会引起结构的刮伤。

(4) 腐蚀：引起腐蚀原因通常是设计缺陷、阴极保护不够而造成结构减薄。

(5) 海上安装损坏：多数海上安装损坏在打桩时发生。桩管跌落损坏裙桩结构被视为坠落物损坏，然而，也有报告显示打桩过程过渡震荡导致结构产生裂纹。

(6) 建造缺陷：包括因工作差错使用低强度材料，不合适尺寸材料。但最常见的缺陷基本为焊接缺陷，诸如未焊透、咬边等，或对需要灌水结构忘记开排气孔。后者可能导致结构内破裂，前者可能导致疲劳裂纹。

(7) 爆炸：有渔民在平台附近采用炸药炸鱼，结果炸伤平台结构。

(8) 海冰：寒冷海洋环境，飘浮海冰冲击结构造成构件断裂。

(9) 钻井影响：钻井作业不当可能造成下部结构损坏。

(10) 设计缺陷：设计缺陷可能引起结构屈曲、节点失效、变型、撕裂及疲劳裂纹。这些损坏严重影响平台结构完整性。

3.5.3 在检验中如发现上述影响平台结构完整性和平台性能的缺陷，应详细做好记录供进一步评估，该记录应至少包括：缺陷类型及位置、发现类型的方法、照片及相关图纸资料。

3.5.4 检验中发现以下情形，现场验船师须报告业主和总部，以便磋商是否需要进一步结构评估。

- (1) 建造或安装出现的问题且无法原样修复的；
- (2) 生产过程因意外损坏且无法原样修复的；
- (3) 环境载荷过载引起的破坏且无法原样修复的；

- (4) 怀疑设计不确定性或设计差错引起的缺陷；
- (5) 平台结构存在普遍腐蚀；
- (6) 平台所处海床存在严重冲刷；
- (7) 平台发生沉降或倾斜；
- (8) 现场无法探明原因的缺陷。

第 6 节 缺陷处理

3.6.1 对检验中发现的缺陷，应进行必要的处理（可参照本指南附录 1 的要求进行），以保持符合证书的有效性。

第4章 平台结构评估

第1节 一般规定

4.1.1 在完成平台的结构检验后,如平台出现下列情况,则需要对平台的现状进行评估,确定平台的结构安全水平。

(1) 初始设计和评估基础的改变:

- ① 人员或设备增加,导致平台的暴露等级升高;
- ② 设备更改导致作用在平台上的永久载荷、可变载荷或环境载荷的大小和分布改变超过10%;
- ③ 构件或基础的抗力减小超过10%;
- ④ 载荷增加和结构抗力减小的联合作用超过10%;
- ⑤ 环境条件更加恶劣和/或标准更加严格;
- ⑥ 设计基础的改变,如桩基础大量冲刷或下沉,结构重大改建如增加外扩平台、飞机甲板等;
- ⑦ 甲板高程不足,如原标准或新标准定义的波浪可以冲击到甲板,且设计时没有考虑到此情况的影响;

(2) 检验发现主要构件的损坏或退化:微小的结构损伤可只做局部分析评估,但多重损伤的叠加效果应进行全面的分析。

(3) 平台年龄超过设计寿命,或者:

- ① 疲劳寿命低于要求的延长使用寿命;
- ② 在延长使用寿命期间,腐蚀引起的损坏已经发生或很有可能发生。

4.1.2 结构评估是确定平台当前状态的重要手段,也是检验发证和维修决策的重要依据。在役平台应根据其当前状况进行评估,应将前期结构检验结果充分反映至结构模型中,考虑任何损坏、修理、侵蚀以及其他影响结构完整性的因素。

4.1.3 评估方法一般采用确定性方法:设计水平分析和极限强度分析。设计水平分析是一种简单保守的分析方法。极限强度分析更为复杂,更接近平台的真实状态,但留有安全余量较低。如果平台不能通过设计水平分析时,可进行极限强度分析。

4.1.4 如果采用简化分析方法,如简化流程的分析方法、分析先前结构评估结果、与其他类似平台比较等方法,本社将予以特殊考虑。评估者应确保上述简化方法应比设计水平法更为保守。

4.1.5 如平台评估采用除设计水平分析和极限强度分析之外的其他评估方法,如可靠度分析的方法,本社将予以特殊考虑。

第2节 图纸和资料

4.2.1 平台评估前应收集相关的图纸和资料,为结构模型建立和荷载确定提供基础数据。如发生图纸和资料的缺失,则需要实地测量,获得准确、可靠的数据,这些数据对于评估结果的可靠性极为重要。数据提供者应保证资料的准确性。

4.2.2 图纸和资料

4.2.2.1 总体信息

- (1) 最初和当前的业主
- (2) 最初和当前的平台用途和功能
- (3) 位置、水深和方位
- (4) 平台型式及其他特定信息、操作等级
- (5) 其他的具体场地资料、人员配备等

4.2.2.2 原始设计

- (1) 设计承包人、设计日期

- (2) 设计图纸、材料说明
- (3) 设计标准
- (4) 环境标准——风、海浪、海流、冰等
- (5) 甲板的允许高程
- (6) 操作标准——甲板的荷载、设备布置
- (7) 土壤资料
- (8) 桩和隔水套管的尺度和设计贯入深度
- (9) 附属构件——清单和布置

4.2.2.3 建造

- (1) 建造、安装承包人和安装日期
- (2) 竣工图纸
- (3) 制造、焊接和建造规格书
- (4) 材料跟踪记录
- (5) 桩和隔水套管的打入记录等
- (6) 桩灌浆记录（如适用）

4.2.2.4 平台历史记录

- (1) 环境荷载记录——台风、风暴等图纸和资料
- (2) 操作荷载记录——碰撞和偶然荷载
- (3) 以往环境事件中的表现
- (4) 检验和维修记录
- (5) 修理情况记录——图纸、日期等
- (6) 改造情况记录——设备增加更改情况记录，图纸、日期等
- (7) 历史结构评估报告
- (8) 安装资料——安装装船记录，安装过程造成的结构损伤等

4.2.2.5 目前条件情况

- (1) 所有结构的实际尺寸、位置、高程
- (2) 所有甲板的荷载和设备布置
- (3) 产量和储备物清单
- (4) 近期水下调查情况，包括海生物附着情况、海底冲刷等
- (5) 平台腐蚀调查和探伤测厚报告
- (6) 平台海域最新的环境数据
- (7) 防腐系统调查和水下电位测量报告
- (8) 损伤构件详细报告
- (9) 修理后构件检验报告

第3节 评估流程

4.3.1 评估时应考虑人命安全和失效后果、检验结果等因素等的影响。平台评估流程见图 4.3-1，评估过程主要有 5 个部分。

- (1) 平台选择
- (2) 平台分级
- (3) 评估必要性
- (4) 分析检查
- (5) 缓解措施的考虑

4.3.2 执行评估过程的前 4 部分对平台进行筛选以确定是否需要进行详细分析。假如平台结构没有通过筛选，相继有两种可用的分析校核：

- (1) 设计水平分析
- (2) 极限强度分析

4.3.3 极限强度分析比较复杂并且保留余地少，目的是得到平台的极限承载能力。一般比较有效的是开始先进行设计水平分析，而仅在需要时才进行极限强度分析。如果要求进行

极限强度分析，一般从线性整体分析开始，必要时再进行整体非线性分析。评估流程图见图 4.3-1。

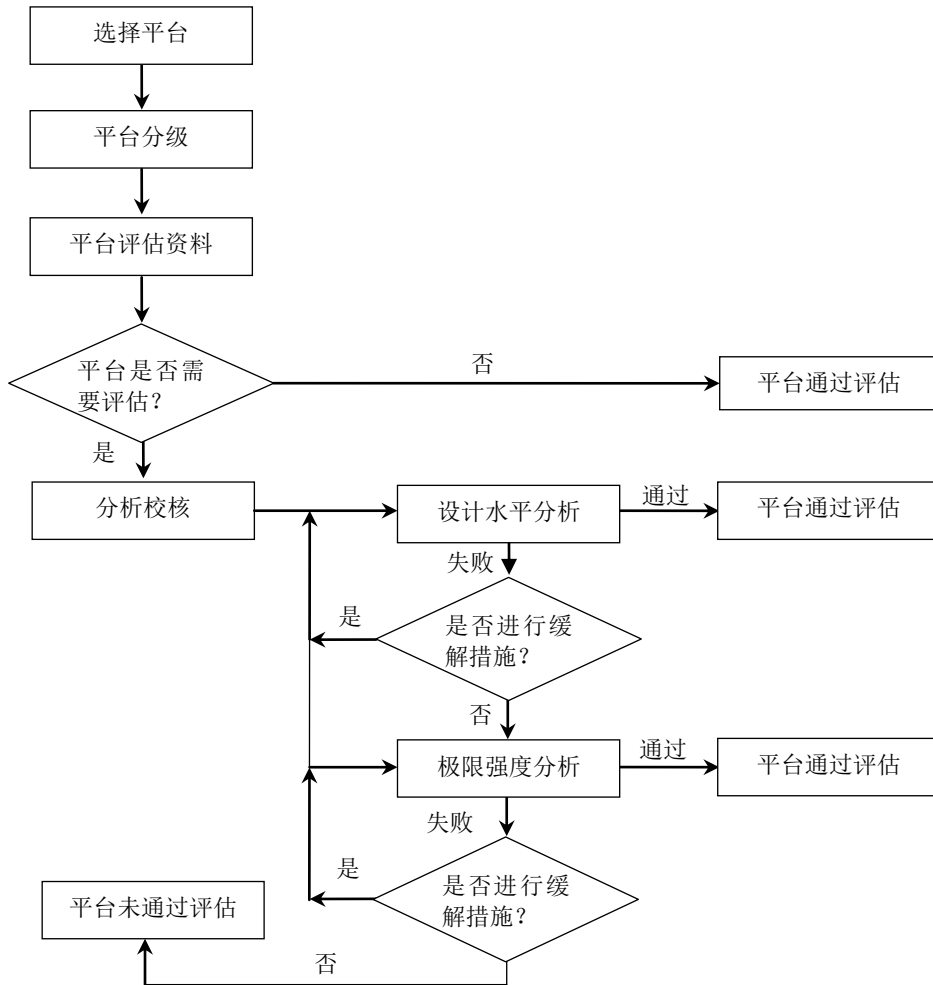


图 4.3-1 现役平台评估流程图

第 4 节 设计水平分析

4.4.1 概述

4.4.1.1 设计水平分析是一种简单和比较保守的校核方法，类似于新的平台设计程序。

4.4.1.2 允许跳过设计水平分析，直接进行极限强度分析。

4.4.1.3 如无特殊说明，结构构件评估应根据 API RP 2A-WSD 第 3 章要求进行。

4.4.1.4 设计水平分析一般包括平台整体静力、动力（适用时）、地震以及疲劳分析评价；针对实际情况也可能需要进行局部结构分析，如吊机或其他设备底座的强度分析等。

4.4.1.5 本节未规定者，符合 API RP 2A-WSD 的相关规定。

4.4.2 载荷重分析

4.4.2.1 平台的结构评估应考虑与特定海域和操作条件相关的各种环境条件，主要包括：风、波浪、潮汐、海流、冰、地震等。应对观测数据和模型试验所得数据进行统计分析，以得到正常和极端环境条件的准确描述。其中：

(1) 正常环境条件指在平台的设计寿命内经常发生的条件，一般取 1 年重现期的参数；

(2) 极端环境条件指在平台的设计寿命内很少重复发生的条件，在役平台结构评估时载荷重现期与设计时一致。

4.4.2.2 如有资料证明平台所处位置的环境条件更加恶劣，对平台结构评估时，应根据

最新海况统计资料对环境条件进行重新评定，包括操作条件和极端风暴条件下的环境参数等。

4.4.2.3 环境参数应取自平台所处海域的实际环境条件，如果在特定的区域缺乏充分的数据，则可通过其他相邻地区的相应数据进行合理的保守估算。

4.4.2.4 各种环境数据要用根据统计数据或长期观察的特征值来描述。应使用公认的统计方法来描述环境条件的随机性。

4.4.3 结构模拟

4.4.3.1 固定平台的模型应反映质量、阻尼和刚度等主要的分析参数。

4.4.3.2 平台质量应包括平台钢结构、所有附属构件、隔水套管、甲板荷载，水下圆管构件中包含水的质量、结构上预计生长的海生物质量和水下构件的附加质量。

4.4.3.3 分析模型应包括平台的弹性刚度，并应反应结构和基础的相互作用。

4.4.3.5 对于未损伤构件、节点和桩的结构模拟和校核应符合 API RP 2A-WSD 相关规定。

4.4.3.6 建模时应考虑到飞溅区的腐蚀余量，以及检测报告所显示的构件实际腐蚀量。对处于冰冲击区域内的杆件，还要考虑冰的磨蚀，无资料时可取 0.1mm/年。

4.4.3.7 对于扶梯、靠船件、与平台相连的立管等结构，可以处理为非结构单元，即考虑自重和作用其上的环境荷载对平台主体的影响，而忽略其对平台总体刚度的贡献。

4.4.3.8 对隔水管的模拟，应根据其与平台主体结构连接方式来判断其对平台整体刚度的影响。若刚度贡献较大，应按结构单元来模拟，否则可以处理成非结构单元。

4.4.3.9 海生物的厚度、密度等应按照最新的检测结果输入到模型文件中。

4.4.3.10 模拟时采用的构件有效长度系数低于规范规定值，则应有资料证明其可靠性，并提交相关文件。

4.4.3.11 可采用简单保守的方法来模拟损伤构件，移除杆件的刚度，通过减小弹性模量值，替换为承受同样浮力、波浪载荷和同样重量的非结构单元。

4.4.3.12 如考虑损伤构件对平台强度的贡献，则应建立准确的模型，反映其真实的力学性能。可采用实验、理论计算、有限元分析等工程分析的方法来确定受损构件的剩余强度和刚度，并提交相关计算报告和实验数据。

4.4.3.13 对于均匀腐蚀构件可采用减少壁厚、内径不变的方法来模拟。

4.4.3.14 对于凹陷、局部腐蚀和裂纹构件可通过降低极限强度和刚度折减的方法来模拟。

4.4.3.15 对于变形失直构件可采用等效刚度方法模拟。

4.4.3.16 对于修理和加强的构件的模拟，应能准确反映加强或修理后的力学性能。

4.4.3.17 结构分析时应考虑基础冲刷和桩基弱化的影响。

第 5 节 极限强度分析

4.5.1 概述

4.5.1.1 极限强度分析是对平台极限承载能力的估计，一般通过线性/非线性大变形的结构分析手段，确定平台在坍塌之前所能承受的最大载荷。如果平台不能通过设计水平分析，为保证平台安全性，则需要进行极限强度分析。典型的极限强度分析载荷—变形情况如图 4.5-1 所示。

4.5.1.2 如果平台甲板高程不足，设计波浪可能淹没平台底甲板，则应使用极限强度分析方法，且注意甲板的模拟。

4.5.1.3 结构模拟应符合 4.4.3 的规定，未受损构件、节点和桩的极限强度可采用 API RP 2A-WSD 第 3 章、第 4 章、第 6 章和第 7 章的公式确定，但安全系数取 1.0。

4.5.1.4 应采用实验、理论计算或有限元等合理的工程分析方法评价受损构件或修理、加强构件的极限强度。

4.5.1.5 模拟时采用的构件有效长度系数低于 API 的规定值，则应有资料证明其可靠性，并提交相关文件。

4.5.1.6 可采用线性和非线性整体分析方法确定结构的极限强度。

4.5.1.7 应校核各种载荷（如波浪、地震、冰载荷），或最危险情况的控制载荷作用下平台极限强度。

4.5.1.8 极限强度分析的具体要求可参照 API RP 2A-WSD 的标准进行。

4.5.1.9 极限强度分析时，应考虑到地基失效情况。

4.5.1.10 如平台的储备强度比（RSR）的值能表示平台达到一定的可靠度水平，则认为该平台通过极限强度分析，参照本社指南《固定式导管架结构可靠性分析指南》（2015），评估方应同时提交证明该平台可靠度水平的报告。

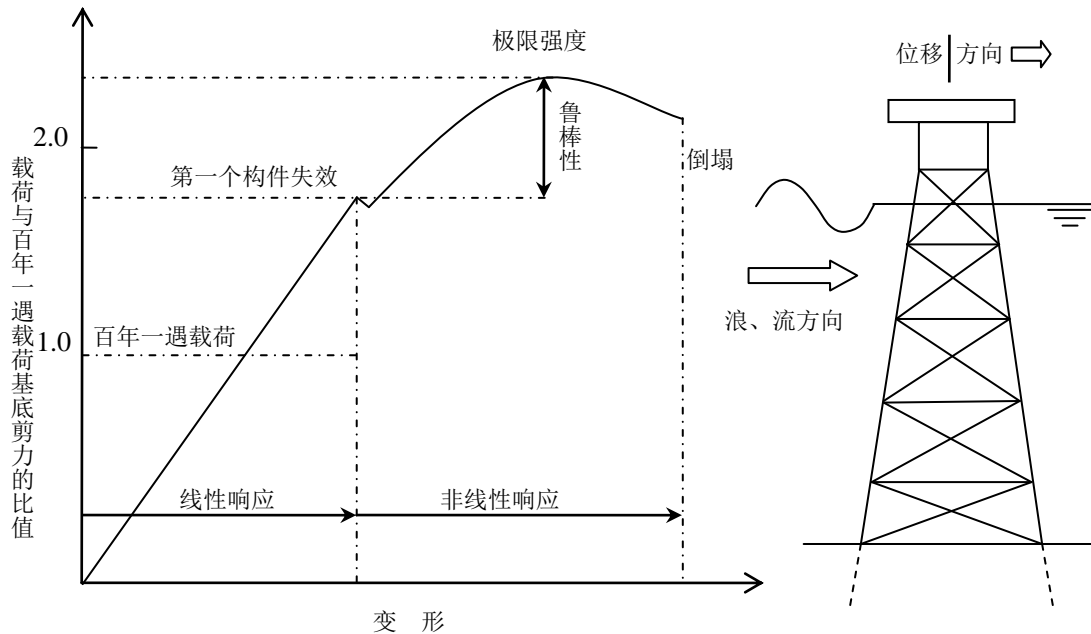


图 4.5-1 典型极限强度分析载荷—变形示意图

4.5.2 线性整体分析

4.5.2.1 可采用线性整体分析评估结构的极限承载力，如果在加载过程中没有出现构件或节点失效则结构通过评估。

4.5.2.2 当遇到极少数构件和/或节点孤立区域过载，如能证明过载可以通过荷载重新分配得以解除，或通过更精确详细的计算表明事实上构件、节点并没有超载，则认为局部过载可以被接受。否则，应进行整体非线性分析和/或采取缓解措施，直至平台通过评估。

4.5.3 非线性整体分析

4.5.3.1 非线性整体分析的目的在于证明平台有足够的强度和稳定性抵抗最大载荷，允许出现局部超负荷和局部损坏，但不发生倒塌。

4.5.3.2 可采用推倒或时域分析方法来校核平台的极限强度。

4.5.3.3 结构模拟时，应考虑到构件、节点和基础模型的弹塑性变形、极限强度和后屈服特性。

4.5.3.4 应采用实验、理论计算或有限元等合理的工程分析方法确定损伤构件的极限强度和后极限强度和变形特性，并准确的反应在模型中。

4.5.3.5 对于修理或加强过的构件，应能准确的模拟修理加强后的受力状况。

4.5.3.6 进行海上平台非线性推倒分析或动力时间历程分析时，桩基础模型应能适当准确的模拟桩基础的响应。可采用简化基础模型进行分析，但简化模型应真实地反应作用在桩顶的剪力和弯矩，并考虑到桩—土的非线性特性。如平台基础比较薄弱，简化模型应能反应基础失效机理的发展。

第6节 疲劳强度评估

4.6.1 概述

4.6.1.1 当进行了 API RP 2A-WSD 要求的 III 级和/或 IV 级检验，并对任何已知损坏都作了评估和修理，则不要求对今后疲劳寿命进行附加分析证明。作为替代方法，也可用符合 API RP 2A-WSD 第 5 章规定的分析程序校核疲劳强度。

4.6.1.2 海上平台的结构状态评定应考虑交变荷载作用下的疲劳效应。固定平台的疲劳强度分析方法通常包括简化分析方法和详细分析方法，推荐采用谱分析方法。

4.6.1.3 疲劳强度评估是设计水平分析的一部分，但即使跳过设计水平分析直接进行极限强度分析，仍需校核平台的疲劳强度。

4.6.1.4 当平台满足下述条件时，可以采用简化疲劳分析方法：

- (1) 水深小于 122m；
- (2) 用韧性钢材建造；
- (3) 超静定结构框架；
- (4) 自振周期小于 3s。

4.6.1.5 采用谱分析方法时，疲劳寿命估算主要采用线性累积损伤方法，假定构件在各个应力幅作用下引起的疲劳损伤是独立的，并且可以按线性累积损伤准则计算疲劳损伤度。基于线性累积损伤理论的详细疲劳分析有如下两种方法：

(1) 确定性分析方法，主要步骤如下：

- ① 建立波浪的长期统计特性，绘制波高累积频次曲线
- ② 确定作用于管节点最大荷载的波峰位置
- ③ 选择波浪理论
- ④ 计算结点名义应力
- ⑤ 计算应力幅
- ⑥ 确定应力循环次数
- ⑦ 由 S-N 曲线确定使构件破坏的循环次数
- ⑧ 估算疲劳损伤和疲劳寿命

(2) 谱分析方法，主要步骤如下：

- ① 绘制波浪散布图
- ② 选取波浪谱
- ③ 计算荷载谱
- ④ 结构动力响应分析
- ⑤ 计算应力传递函数
- ⑥ 计算应力方差
- ⑦ 估算每一海况应力循环数
- ⑧ 计算应力集中系数
- ⑨ 由 S-N 曲线确定使构件破坏的循环次数
- ⑩ 估算疲劳损伤和疲劳寿命

4.6.2 在役导管架平台疲劳强度评估特殊考虑

4.6.2.1 对于未产生裂纹但计算疲劳寿命低的节点，应作为后续重点检验目标。对于产生裂纹且无法修理的构件或结点，应采用断裂力学方法评估其可接受裂纹长度。可接受的疲劳裂纹长度与结点类型、承受载荷形式以及结构冗余度等因素有关。同时，应对已有裂纹进行长期监测，并遵循以下原则：

- (1) 检测方法应有足够的灵敏度，能充分的监测裂纹扩展；
- (2) 检验时间间隔应不超过裂纹发展至临界裂纹尺寸的时刻。

4.6.2.2 应考虑维修对应力集中系数的影响。

4.6.2.3 结构模拟应符合 4.4.3 的规定。疲劳分析中可取 1/2 的飞溅区腐蚀余量。

第 7 节 采取缓解措施

4.7.1 如平台因存在缺陷不能通过结构初始评估，则本社建议业主采取合适缓解措施，如降低油气存储量，减少平台人数、减少平台载荷和/或进行整体、局部加强或维修等，以使得平台通过评估。常规的缓解手段如图 4.7-1 所示。

4.7.2 平台业主应根据生产需要和实际可行性，选取适当缓解措施，直至平台通过结构评估。如果业主采纳减少载荷、改变操作程序、改变暴露等级等缓解措施，需书面通知本社，本社确认其变更满足要求后，在符合证书进行相应修改及备注。

4.7.3 如果业主采纳结构加强、改造和修理的缓解措施，应将设计图纸资料送本社审批，在本社验船师现场监督下完成结构加强、变更和修理。

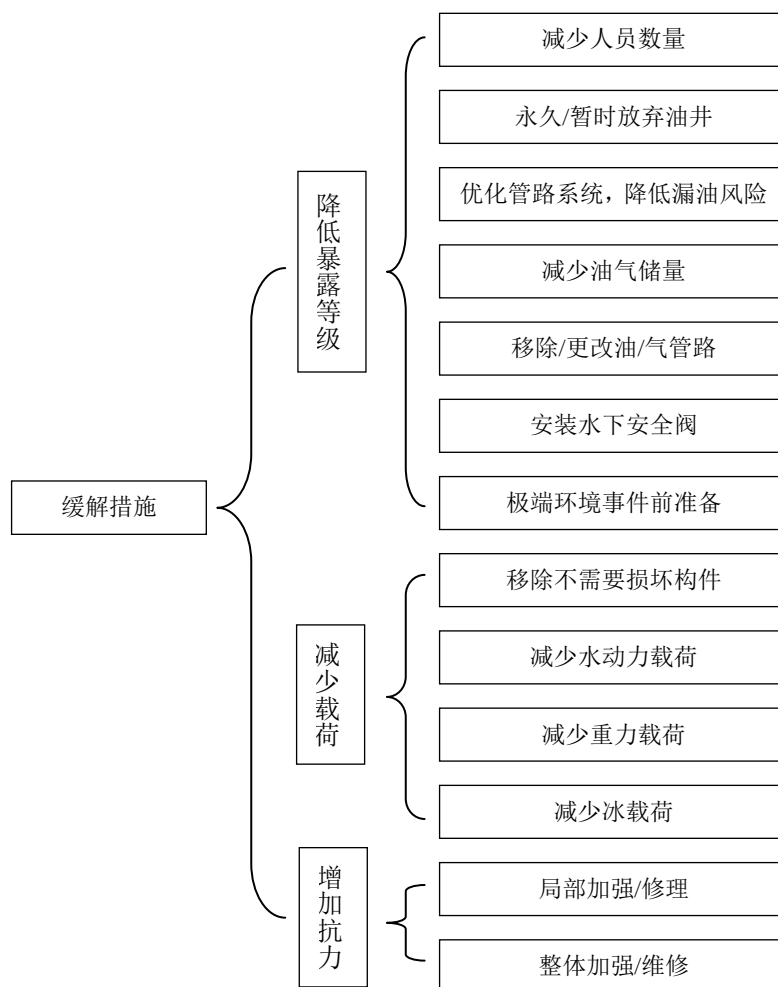


图 4.7-1 缓解措施示意图

附录1 平台缺陷处理

1.1 概述

1.1.1 平台发现缺陷后,应在现场进行初步损伤识别,如果判断损失属于意外事故引起,且现场能够原样修复的,应进行原样修复。

1.1.2 如果损伤为设计、安装、环境、正常操作等因素引起的,在实施加强、改造及修理(SMR)措施之前,应对平台进行充分的评估,以确认平台是否需要结构加强、改造及修理,以及如何进行结构加强、改造及修理。如果评估结果不能满足设计标准,则应采取下列四方面措施,包括:

(1) 指定结构构件定期检查,比如:对特定缺陷定期观察其发展情况。

(2) 降低载荷,比如:减少上部结构多余的设备或结构,或清除海生物以减少结构水阻力。

(3) 结构加强、改造和修理。

(4) 改变操作程序,比如:加减人员、改变靠船方向等。

对于上述(3)的结构加强、改造和修理,分为四个层次:

(1) 缺陷修复(比如:打磨裂纹或拆除弯曲损坏构件)

(2) 局部结构加强、改造和修理(定义为不改变结构受力分布的结构局部修理,比如对损坏结构或节点加卡箍)

(3) 总体结构加强、改造和修理(Global SMR,定义因改变局部结构造成受力分布局部改变的加强、改造及修理)

(4) 整体结构加强、改造和修理(Total SMR,指附加结构导致整个结构受力分布改变的加强、改造及修理)

1.1.3 修理加强后,应重新对平台进行结构评估,以核实整个结构受力是否满足标准要求。

1.2 平台结构加强、改造及修理方案审批和检验

在进行加强、改造及修理前,应对结构进行技术评估,如果没有通过准确的评估,加强、改造及修理可能过于昂贵、不必要或甚至带来不良严重后果。所以必须事先进行结构分析,分析受损构件的残存强度,以及是否满足法规要求。

平台结构加强、改造及修理流程见图 1.2-1

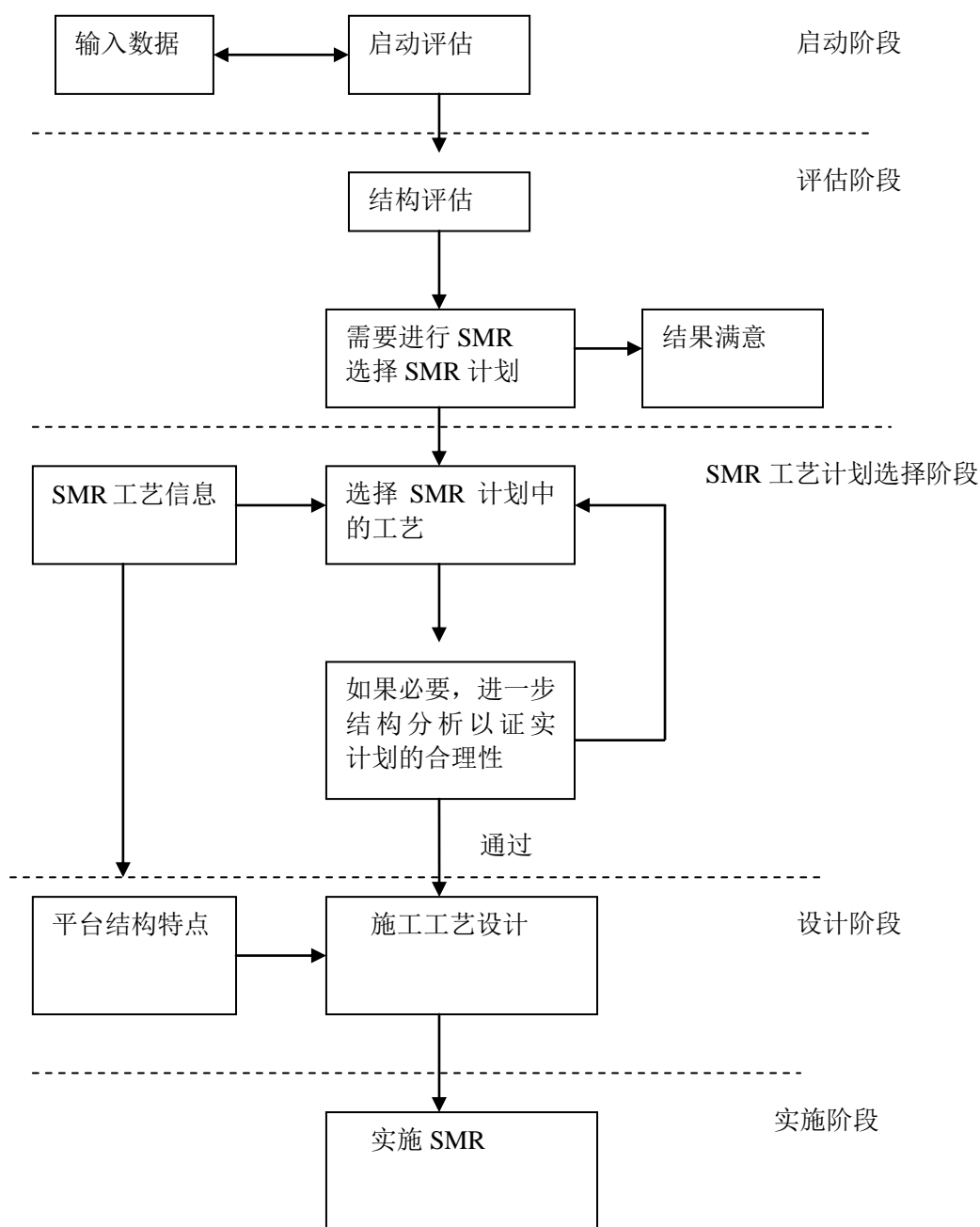


图 1.2-1 平台结构加强、改造及修理总体程序

选择何种加强、改造及修理工艺，平台业主和设计公司必须对工艺、操作和可靠性进行全面考虑。这些相关因素包括：技术能力、可靠性、费用、水深限制、平台支持能力、平台存在状况、知识水平、工期、容错力、后续检测要求、潜在问题、结构剩余寿命、环境及法规要求、操作者期望。加强、改造及修理通常是多个工艺结合，对于总体加强、改造及修理而言，卡箍或焊接是首选工艺，在焊接不可行之处，通常是通过卡箍来增加构件强度，所以卡箍是最重要的加强、改造及修理手段。

各种加强、改造及修理工艺的优缺点列表如下：

表 1.2-1 各种平台结构加强、改造及修理工艺的优缺点

工艺	优点	缺点
干式焊	适用各种缺陷	需要明火作业。 需要安装水下密闭舱，花时间且昂贵。 在水线附近的密闭舱需要抵抗波浪载荷。
湿式焊	是业经证实，比较快速的工艺	在世界范围内不被认可，效果不如干式焊。
趾端打磨	疲劳寿命成倍增加。	只适合增加疲劳寿命。
改善打磨	是业经证实，比较快速消除疲劳裂纹的工艺。	对静载强度需进行评估。
捶击	提高疲劳寿命非常有效。	只适合增加疲劳寿命。
张紧型机械卡箍	是业经证实，立竿见影效果的工艺，可用来增加结构构件。	对公差要求高，不适合管节点，焊缝余高等必须打磨。
非张紧型灌浆卡箍	是业经证实，适用性强，可用来增加结构构件。	卡箍相对长，除非可焊接。
张紧型灌浆卡箍	是业经证实，适用性强，卡箍相对短，可用来增加结构构件。	张紧螺栓前，灌浆需要充分养护。
橡胶衬垫卡箍	是业经证实，有相当的适用性，可用来增加结构构件。	摩擦系数比预想低。 由于橡胶具有伸缩性，使得交变载荷增大。
灌浆填充构件	是业经证实，比较快速的工艺。	增加结构重量，尤其对地质差的环境带来不利。 很难做到整个构件完全灌满浆。
灌浆填充节点	是业经证实，比较快速的工艺。对改善静载荷和疲劳载荷都有利。	增加结构重量，尤其对地质差的环境带来不利。 对有内部加强环结构以及变径构件，很难做到整个构件完全灌满浆。
螺栓连接	对上部组块的加强、改造修理有效。	水下结构加强、改造修理基本无效。
拆除结构	是业经证实，比较快速的工艺。	
合成材料	重量轻，不需要热工作业。	水下结构修理后寿命未经证实。

任何形式平台结构加强、改造及修理方案在确定设计后，涉及到的设计和计算都必须送本社审批，施工工艺必须送给现场验船师审批，施工过程及其功能试验都必须在现场验船师监督下进行。

1.2.1 构件移除

构件移除是一项常见工艺，它也是修理结构的临时措施之一，构件移除要保证构件切割后剩余结构不会受到损坏，或者构件下放到海底过程不会撞坏平台结构。

假如结构本身有冗余，可对那些多余的构件进行移除。在某些时候，水下结构修理需要移去某些结构或非结构部件以便进入修理位置。在修理完成后，将构件复原。修理中应尽可能的减少永久性移除，改用卡箍连接。

某些老龄平台，可移去一些水下结构，包括多余的电缆护管，隔水套管和立管、隔水套管框架、清管球导管、登船台，灌浆管、眼板、防碰垫等，以减少水动力载荷及改善牺牲阳极的保护。

应充分考虑移除构件对平台结构完整性、疲劳寿命的影响，应考虑如下因素：

- (1) 构件移除后，会引起应力重新分布，应重新计算平台的结构强度。
- (2) 构件移除后，应重新计算平台的结构疲劳寿命。
- (3) 移除构件前的预应力以及移除结构后回弹也要评估。保证移除构件操作安全。
- (4) 当构件移除后，除了考虑平台结构外，也要考虑其它方面影响。比如，切割隔水套管导管口后，应重新分析隔水管的稳定性问题。

计划和实施构件移除是一个多工种配合工程，比如水下切割除了电弧粗切割外，还要为

焊接进行坡口准备的机械切割。构件切割前应使用吊车拉住以防止切割后自由跌落损坏其它平台结构。水下切割是一个危险操作，必须事先对各个环节进行仔细考虑，尤其采用爆破方法。当管状构件切割时应注意潜在的爆破，可在构件上钻释放孔放空气。构件切割时应注意旋转切具对人员伤害，切割完成时要注意出现结构回弹，对立管、隔水套管等的切割要注意压力变化对人员的伤害。

切割后的构件多少会残留突出节，这些突出节的端口应进行处理，包括：

- (1) 对切口进行打磨光滑。
- (2) 使用多种切割方法使切口光滑，避免切口粗糙造成疲劳影响。
- (3) 对切口进行机械加工形成焊接坡口形状，最后套上保护套。

1.2.2 裂纹打磨

裂纹通常出现在交变应力区或高应力区，或者先天缺陷的焊缝，裂纹的端部容易出现应力集中，进一步促使裂纹的扩展，当裂纹扩展到一定的长度和深度，结构会因没有足够强度出现突然断裂，特别是有外加载荷（比如，台风、机械冲击等）时，造成设备损坏或造成人员伤亡。

平台结构检验发现裂纹后，应对裂纹进行打磨，直至磁粉探伤发现裂纹完全消失。

1.2.2.1 对免修补的裂纹打磨。

下列情况下只需对裂纹进行打磨而不必要进一步修理或加强：

- 1) 裂纹深度不超过平台腐蚀余量及设计时圆整所增加厚度之和；
- 2) 裂纹深度虽然超过平台腐蚀余量及设计时圆整所增加厚度之和，但不导致杆件净厚度（即杆件建造厚度减去腐蚀余量和圆整厚度之后的壁厚）减少超过 10% 或 3mm，取小者。
- 3) 经计算后认为打磨后残存厚度仍然满足受力要求。

在上述情况下，进行裂纹去除打磨的工艺要求是：打磨裂纹打磨方向应沿裂纹长度的垂直方向，即裂纹受张力作用方向。打磨区域应由裂纹底部圆滑过渡到打磨区边缘。裂纹单侧打磨的宽度应不小于 4 倍的裂纹深度值，总的打磨区域宽度不小于 8 倍裂纹深度值。裂纹长度方向两端也应按此过渡要求打磨。每次打磨结束后，应采用磁粉或 ACFM 重新进行检测。当距离裂纹根部剩余 1mm 左右时，应采用精细打磨头，每次打磨厚度应控制在 0.2mm 以内，打磨完毕后应采用磁粉或 ACFM 进行再次检测，直至裂纹消失。

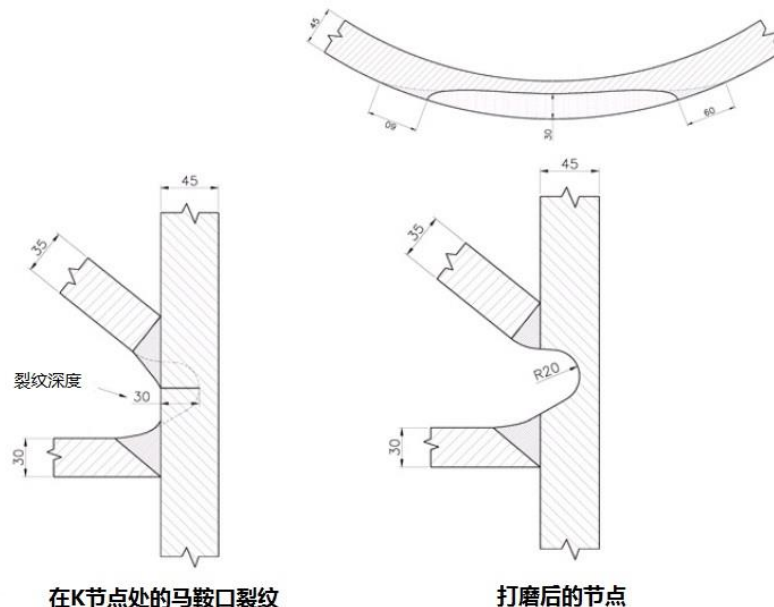


图 1.2.2-1 改善轮廓性质的裂纹打磨图例

1.2.2.2 改善轮廓性质的裂纹打磨：裂纹无论深度如何，都必须进行改善轮廓性质打磨，以防止应力集中造成裂纹扩展。但这种改善轮廓性质深度通常限定不超过结构厚度的 60%。如果打磨裂纹深度超过结构板厚的 60%，除非能对构件进行焊补，以维持该位置结构完整性，否则应按照穿透性开裂考虑加强。改善轮廓性质的裂纹打磨例子见图 1.2.2-1：

1.2.2.3 如果打磨裂纹后结构剩余强度不能满足要求，应采取焊补进行修理。在焊补不现实情况下，则应考虑更换结构或其他替代处理方式（比如，卡箍、灌浆等）。

1.2.3 焊接

焊接分为干式焊和湿式焊接两种。

1.2.3.1 干式焊

干式焊通常认为是结构加强、改造及修理最佳方法，在条件许可情况下优先考虑。对于水上结构，都要采用干式焊接方法进行加强、改造及修理。水下结构可以采用水下密闭舱室进行干式焊。各种焊接方法都可以使用，但通常情况下钨极氩弧焊、手工电弧焊及药芯气体保护焊应用最广泛。

水下干式焊时，为了保证能够有和陆上相同的焊接环境，通常采用下面三个方式：

(1) 围堰 (Cofferdam)

在水面附近的水下结构，可采用围堰，该结构四周和底部保持水密，上部开敞，或者通过人员进出管隧和大气相通。这样构成相当水面焊接环境，以便利干式施焊。

(2) 水下压力室 (Pressure-resistant chamber)

对于水深比较大的结构修理，可建造水下密封室，之后排去密封室内的海水，使得内部形成相当大气环境的焊接室，这时修理人员可通过潜水钟进入焊接室进行施工。

(3) 压力干式焊 (Dry Hyperbaric Welding)

压力干式焊是修理结构和海底管道最常使用的方法。在水深大的环境下，通过采用密闭焊接舱，使得舱内气压和水压平衡，且利于人员呼吸，焊接舱结构要根据焊接要求、修理结构几何形状、水深、工作环境、设备等进行设计。通常有下列四种：

- ① 轻量级钢质舱：此种类型的舱室根据导管架形状组合连接形成。通常人员进出孔位于底板。
- ② 气胀式柔性舱：由于舱内外压力差很小，可以通过提高舱内压力气胀橡皮膜成型。
- ③ 迷你焊接舱：即如其名，此类型焊接舱小到只有足够空间容纳潜水员手臂或包括头部进行施焊作业。
- ④ 便携式焊接舱：此类型焊接舱只保证焊池周围处于干式状态。

由于干式焊和平台建造一样在大气环境下完成，检验和试验和平台建造要求一致。首先，根据平台建造资料了解平台采用哪个焊接规范建造，然后根据修理位置情况进行焊接工艺评定和焊工资质考试。对于水下结构，施工方应根据水深情况设计合适水下压力舱。焊接完成后，应按照焊接规范和建造规格书要求进行目测检查和必要的无损检测。

(1) 工艺编写要求：

- ① 所有焊接应该有焊接工艺供审批。焊接标准采用平台建造时采用的标准。
- ② 从事焊接的焊工必须持有按照焊接工艺考核合格的资质。
- ③ 装配工艺应满足平台建造时采用的标准。
- ④ 无损检测方法和范围应和建造时一致。
- ⑤ 应按照结构建造要求进行防腐处理。

(2) 现场质量检查要求：

- ① 了解查核施工一般要求，水下焊接舱的布置。
- ② 查核材料证书，包括结构材料及焊材。
- ③ 现场检查装配，或对于裂纹处理，应检查确认裂纹已经打磨消除。
- ④ 按照焊接工艺监督焊接过程，尤其是预热和焊后热处理应按照工艺进行。
- ⑤ 进行焊缝外观检查。
- ⑥ 审查探伤报告。
- ⑦ 检查防腐处理。

1.2.3.2 湿式焊

湿式焊（或称水下焊接）是指电弧直接接触海水的水下焊接方式。它的优点是不需要复

杂压力舱室，能节省时间和金钱。缺点是焊缝力学性能差、需要较高的焊工技能。

湿式焊的主要焊接方法是手工电弧焊，焊接时使用防水焊枪和焊条，很容易在水下形成电弧，然而焊工的视线容易被焊接烟雾所遮住。

目前国内比较成熟的水下焊接方法是水下局部干式 LD-CO₂ 焊接方法。局部干法焊接是用气体将正在焊接的局部区域的水人为地排开，形成一个较小的气相区，使电弧在其中稳定燃烧的焊接方法。由于它降低了水的有害影响，使焊接接头质量较湿法焊接有明显改善，它综合了湿法和干法二者的优点，是一种较先进的水下焊接方法。

使用湿式焊，由于熔池很快被海水冷却，以及被加热的水汽容易陷入熔融金属，导致热影响区和焊缝金属性能下降，表现在强度和韧性降低。

湿式焊最大问题是焊接质量不如干式焊，一些原因归结于焊接时熔渣混入海水导致能见度差。但最大问题还在熔融金属本身原因。

- ① 熔融金属夹入水汽容易引起氢析裂纹。
- ② 焊缝和热影响区由于海水冷却快容易变硬脆，甚至产生裂纹。
- ③ 湿式焊的疲劳强度低于干式焊，所以不宜在有疲劳载荷的位置焊接。

湿式焊接接头的力学性能只能部分达到或接近干式焊的水平，所以湿式焊接只能对次要结构等进行临时处理。对于工艺而言，不能要求必须达到干式焊的要求，但必须达到评估或设计的要求。

水下焊接施工工艺要求和质量检查要求是：

(1) 工艺编写要求：

- ① 所有焊接应该有焊接工艺供审批。注意工艺试验焊接环境要和修理结构一致，尤其水深。焊接工艺中接头无损检测结果和力学性能应能达到设计要求。
- ② 从事水下焊接的公司必须持有本社认可的《水下工程服务机构资格认可证书》。从事水下检测的公司还需持有本社认可的《海上设施检测机构认可证书》。
- ③ 从事焊接的焊工必须持有按照焊接工艺考核合格的资质，并有潜水员证书。
- ④ 无损检测方法和范围应按照设计进行。

(2) 现场质量检查要求：

- ① 了解查核水下施工范围一般要求。
- ② 查核从事水下施工的公司资质，潜水员资质，水下焊工资质，水下检测人员资质。
- ③ 检查潜水设备，水下摄像和双向通信设备，水下焊接、检测设备。
- ④ 查核材料证书，包括结构材料及焊材。
- ⑤ 现场监督检验。
- ⑥ 审核焊缝外观检查报告和探伤报告。

1.2.4 卡箍

卡箍是针对受损构件的外形做成的外包结构，可以是两瓣或多瓣的，并用螺栓把各瓣连接起来，形成一个管夹，把受损构件夹紧，依靠管夹与受损构件之间的摩擦力或剪力键来传力。卡箍大致分为以下几种：

- ① 张力机械卡箍
- ② 无张力灌浆卡箍/衬套
- ③ 张力灌浆卡箍
- ④ 张力橡胶垫卡箍

这些卡箍通常由两个及以上的部件组成，通过螺栓连接夹住构件，根据螺栓是否需要张紧，分为张力卡箍和无张力卡箍两种。虽然从结构应力传递上看，这两者没有很大区别，但如果从公差选取角度看，灌浆卡箍和橡胶垫卡箍可以有较宽的公差范围。近二十年来，卡箍在平台加强、改造和修理中得以广泛应用，成功案例包括：

- ① 对强度不足的构件进行加强、改造和修理
- ② 对强度不足的节点进行加强、改造和修理

③ 增加在役平台构件的连接

④ 更换构件的连接

从结构上分类,图 2.4-1 是两个卡箍简图, a 图是连续面板的卡箍, b 图是不连续面板卡箍, 因为结构重量较小而常应用于大管径结构。通常卡箍纵向分为两半, 但对于诸如节点的复杂连接, 可能分为更多片。所有卡箍都是由两个马鞍形半瓦, 直接或通过橡胶或水泥浆夹住平台构件, 其余部件(面板、加强筋、侧板等)都是起支持螺栓连接载荷, 以利于螺栓张力夹紧构件。

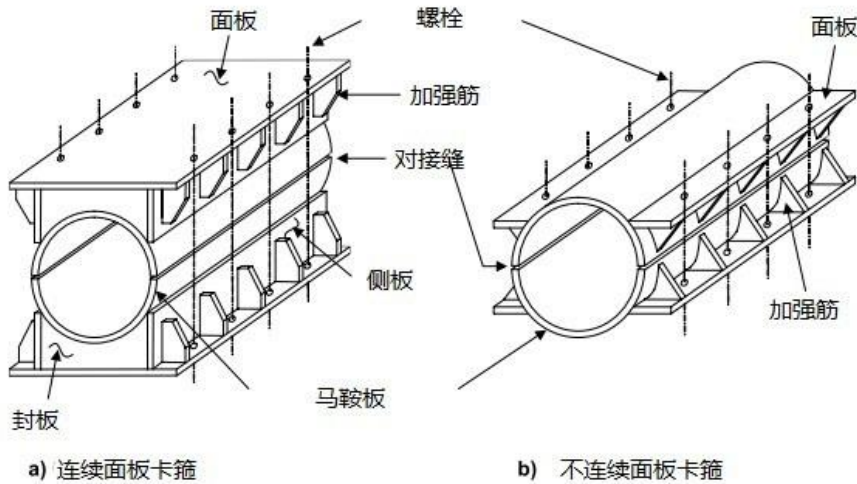


图 1.2.4-1 两种不同结构的卡箍

1.2.4.1 张力机械卡箍

张力机械卡箍有两个及以上部件组成, 它通过螺栓张紧直接夹住需加强构件, 接触面通过螺栓张紧产生摩擦力保证牢牢夹住构件, 螺母下面放置垫片, 保证张力作用在加强筋上, 避免过大张力使构件或马鞍板变形。

张力机械卡箍可用于连接新构件, 也可以对无损的构件进行加强。但鉴于此类型卡箍对公差有较高要求, 不适合用来安装在管节点上。

张力机械卡箍不足之处是: 由于张力机械卡箍是利用卡箍马鞍板和被加强构件之间的接触面来传递应力, 所以需要很好的精确程度才能使两者紧密贴在一起。基于这个原因, 它不适合管节点, 即使是拼接管段, 如果两管段直线度不良或口径不一, 甚至焊缝余高不打磨都会影响卡箍效果。卡箍要有足够加强以免施加螺栓张紧力时造成损坏。

1.2.4.2 无张力灌浆卡箍/衬筒

无张力卡箍/衬筒道理和张力卡箍基本相同, 唯一不同的是它不需要夹紧构件, 而是螺栓安装到位后, 中间留有空腔, 利用水泥浆进行灌注填充。水泥凝固后, 卡箍就和构件连接在一起。通常为了保证效果, 会加长卡箍。如果在卡箍两端进行封焊会使效果更加显著, 然而如果进行水下焊接, 则会增加工作量, 为了避免水下焊接, 设计上基本对两端采用橡胶密封, 这种情况下, 在陆上预制时应进行试压, 以检查密封效果(参见图 1.2.4-2)。

相对张力机械卡箍来讲, 无张力卡箍由于不需要太精确的公差因而适用性强。它广泛用于以下方面:

- (1) 加强或修理各种管结构、无论是静载还是疲劳载荷结构。
- (2) 增加新构件于现有结构。
- (3) 有的使用灌浆衬筒应用于:
- (4) 增加新构件, 用于连接两个新构件或作为新构架连接现有结构上。
- (5) 像绑带一样对局部或总体进行加强。
- (6) 对凹陷、腐蚀等损坏的构件进行加强修理。
- (7) 也可以制作成新节点构件加在现有构件上。

无张力灌浆卡箍/衬筒的不足之处: 要根据载荷和可用空间设计卡箍, 如果不进行两端

封焊（或橡胶密封），则需要足够长的卡箍才能达到传递轴向拉力。在扭矩力作用下卡箍可能转动。如果使用水下焊接等方法进行封焊，则费用高昂，且这些焊缝难以抵抗扭矩而出现脱焊。在水泥浆养护时间段，由于水泥未达到足够强度，卡箍不能移位，此种情况下，需要额外的临时卡箍固定。



图 1.2.4-2 灌浆卡箍陆上试压

1.2.4.3 张力灌浆卡箍

张力灌浆卡箍作为张力机械卡箍和无张力灌浆卡箍的混合产物，具备了张力机械卡箍高效以及灌浆卡箍公差要求低的特点。它是在无张力灌浆卡箍基础上施加螺栓张紧力。由于具备两者优点而得到广泛使用。

张力灌浆卡箍不足之处：卡箍要有足够加强以免施加螺栓张紧力时造成损坏。在水泥浆养护时间段，由于水泥未达到足够强度，卡箍不能移位，且要等到水泥养护后才能施加张紧力，此种情况下，需要额外的临时卡箍固定。

1.2.4.4 张力橡胶垫卡箍

张力橡胶垫卡箍类似张力机械卡箍，唯一不同是在马鞍板里头加上橡胶衬垫。卡箍和构件的摩擦力由衬垫和钢材的摩擦系数及张力确定。由于外加橡胶衬垫，卡箍的公差要求相对张力机械卡箍低一些。由于橡胶伸缩性，这种卡箍不大适用于主要构件，多数情况下用于次要构件。

张力橡胶衬垫卡箍不足之处：由于橡胶弹性，容易导致卡箍滑动，需对衬垫特性进行充分考虑。卡箍要有足够加强以免施加螺栓张紧力时造成损坏。

1.2.4.5 卡箍设计审查要求

建议设计上不要在受损的构件上安装卡箍，尤其是疲劳裂纹构件，因为这些裂纹会扩散而导致构件失效，也建议不要在焊缝上安装卡箍，因为这些焊缝日后可能有检测要求。鉴此情况，从设计理念上最好设计卡箍具备能承受构件整体应力的强度，而不要只承担部分强度。

如果平台业主和设计者采用卡箍进行结构加强、改造及修理，设计方案和计算应送本社审查。

卡箍尺寸的计算上必须满足下列三个要求：

- (1) 要有足够摩擦力防止卡箍滑动，对张力卡箍而言，抗滑动能力来自螺栓张力。
- (2) 螺栓要有足够张紧力防止卡箍因载荷作用解体。
- (3) 螺栓紧固力不能损坏卡箍结构。

对于无张力卡箍，螺栓作用是把两个马鞍板结构连接在一起，而不是施加紧固力，所以上述 3 点不适用。无张力卡箍事实上只有满足上述 1 点就可以了。

卡箍工艺设计上必须注意以下要求：

- (1) 卡箍型式设计上应便于安装、紧固和灌浆。
- (2) 卡箍长度不得小于被加强构件的半径。
- (3) 卡箍的螺栓必须左右对称。
- (4) 紧固螺栓不得小于 4 个。
- (5) 螺栓的间距不能太窄以免影响现场紧固。
- (6) 应采用两头都用螺母紧固的螺栓，螺母紧固后两头螺栓应预留足够长度。
- (7) 螺栓的直径应能满足紧固张力的强度要求。

1.2.4.6 卡箍陆上制作要求

任何型式的卡箍，在陆上制造时应申请本社进行制造检验。现场检验包括施工工艺审批和制造检验。

制造工艺审批要点：

- (1) 卡箍材料应符合设计材质和尺寸。
- (2) 焊接应该有焊接工艺供审批。焊接标准采用平台建造时采用的标准。
- (3) 从事焊接的焊工必须持有按照焊接工艺考核合格的资质。
- (4) 装配工艺应满足平台建造时采用的标准。
- (5) 无损检测方法和范围应和建造时一致。
- (6) 泥浆材料选取和配比应符合设计要求。

陆上制造质量检验要求：

- (1) 了解查核施工一般要求。
- (2) 查核材料证书，包括结构材料及焊材。
- (3) 现场检查装配，应注意尺寸公差要求。
- (4) 按照焊接工艺监督焊接过程，尤其是预热和焊后热处理应按照工艺进行。
- (5) 焊缝外观检查。
- (6) 审查探伤报告。
- (7) 对灌浆卡箍应进行水压试验，以确认安装时不出现浆液泄露。
- (8) 对灌浆卡箍，应根据水泥浆设计配比进行抗压强度试验，以证实满足设计要求。

1.2.4.7 海上现场安装质量检验要求：

进行海上安装前，方案应报本社审批，安装应在本社验船师监督下完成。卡箍海上安装要求包括：

- (1) 从事水下安装的公司必须持有本社认可的《水下工程服务机构资格认可证书》。
- (2) 安装卡箍过程潜水员和平台必须有双向通讯和现场摄像。
- (3) 螺栓安装和紧固先后应按照工艺要求顺序，通常先安装所有螺栓，然后对称对螺栓进行紧固。
- (4) 张力卡箍的螺栓安装必须使用力矩扳手紧固，力矩应达到设计要求。
- (5) 对于灌浆卡箍，完成卡箍安装后应进行试压，保证不会由于安装质量问题出现水泥浆泄露。
- (6) 灌浆时连接管线快速接头至张力灌浆卡箍，打开全部的球阀，通知平台泵送水泥浆，潜水员观察出口，无论哪一出口见有水泥浆流出，5秒后关闭该球阀。
- (7) 潜水员在最后一个阀门出现水泥浆后，通知平台停止泵送，得到已停泵通知后，关闭管线上及底部进口的阀门，关闭最后一个阀门，脱开快速接头，作业完毕。
- (8) 为保证水泥浆混合的质量，建议2-3个张力灌浆卡箍一次性灌浆。
- (9) 完成灌浆后，要根据水泥浆配备情况进行合理养护。
- (10) 对水泥浆样品进行28天无侧限抗压强度试验，样品从4组里各取一个，通过试验确认其值不小于17.25MPa，也不小于规定设计强度要求。

1.2.5 灌浆

灌浆是重要的结构加强、改造及修理方式。按照灌浆构件位置，分为构件灌浆和管节点灌浆。

1.2.5.1 构件灌浆

构件灌浆能防止构件屈曲、或阻止损坏构件的凹陷进一步扩展，并增加构件强度。在完全灌浆的管节中，灌浆体承受压力载荷从而使得总体抗屈曲强度得到增强。但如果对于一个不完全灌满浆液的管节，浆体几乎没有对压力载荷起任何作用。

完全灌浆管对增强构件（尤其受损构件）强度起了很大作用。但也要看到构件灌浆使得结构重量增加，这对结构抗环境载荷（比如地震）起负面作用，必须额外考虑。

有时候，构件灌浆用于卡箍修理的附属工作，此时，灌浆作用主要用来防止张力卡箍对结构的可能损坏。这种情况下，不完全灌满也能接受。

由于灌浆必须灌满才能增强构件，然而，很可能在管节点附近出现的灌浆死角（死角形成如图1.2.5-1）会使灌浆作用大打折扣，这是因为灌浆管必须依靠整个灌浆体来传递载荷。

此外，灌浆死角还经常出现在有内部加强环或大小头接头处。

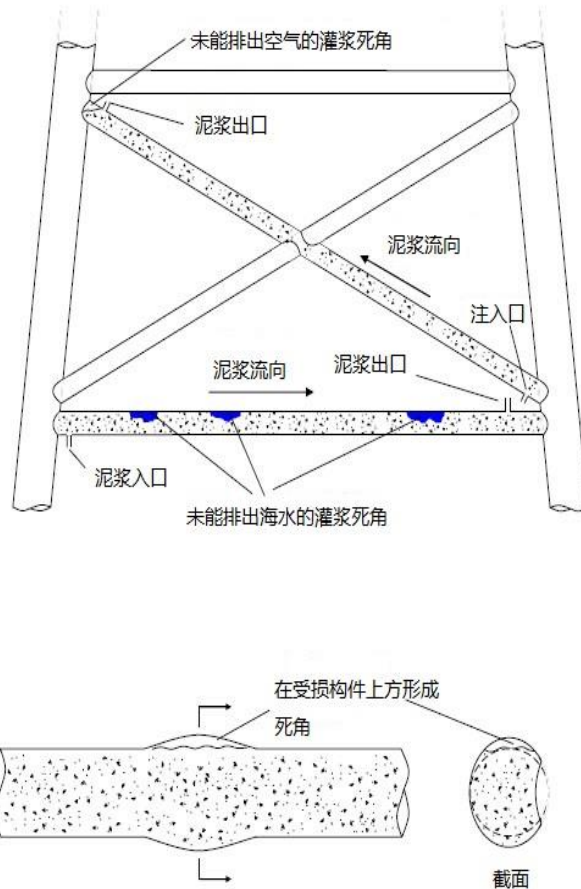


图 1.2.5-1 灌浆死角形成

灌浆虽然能增加承受外来载荷能力，然而，一些载荷，比如增加的浆体重量载荷，还必须依靠钢结构本身承担。增加的浆液重量应在地震活跃区域另外考虑。对于在大管径（比如：24 英寸及以上）上的灌浆，因浆液凝固过程产生的热量可能会恶化浆体的质量，应引起注意。

施工工艺要求和现场质量检查要求如下：

(1) 施工工艺要求

- ① 确认灌浆的杆件名称和位置。
- ② 水泥浆的进口和出口符合设计要求。水泥浆进口应在杆件下方，出口应在杆件上方。
- ③ 确认采取有效措施避免出现灌浆死角。
- ④ 审核水泥浆的配制，强度是否满足设计要求，施工前应对水泥进行取样试验。如果使用混凝土进行灌浆，配比时应充分考虑其抗剪强度，粘结强度和进行水下灌浆时的和易性。混凝土混合料可以采用骨料和砂，或只用砂。水灰比应低于 0.45。如果采用骨料，则它们应该是小而圆的，砂的含量应该是 45% 或更大些，水泥含量不应小于 $445\text{kg}/\text{m}^3$ 。用坍落试验测得的易性指数应为 180mm~230mm。为了使得混凝土有良好的灌注性，可采用适量的减水剂和增塑剂。
- ⑤ 维修公司应准备的应急方案，尤其如何有效防止灌浆过程出现中断。

(2) 现场质量检查要求：

- ① 从事水下焊接的公司必须持有本社认可的《水下工程服务机构资格认可证书》。从事水下检测的公司还需持有本社认可的《海上设施检测机构认可证书》。

- ② 施工前检查灌浆设备，对灌浆泵进行试验，检查灌浆设备备件。
- ③ 现场水泥配制的水和水泥粉混合比例应按设计进行，测量比重满足设计要求。浆液容积应满足需进行灌浆杆件以及灌浆管内部体积得 1.5 倍配制。
- ④ 对浆液进行取样，至少取 4 组样品，每组样品有 3 个试样，制成试压样品。
- ⑤ 通过摄像头检查灌浆进出孔位置。
- ⑥ 监督现场灌浆，确保水泥浆完全灌满杆件。并要有合适的设备进行检测（比如：超声波，探头等）。如发现有死角应采取措施消除。
- ⑦ 确认对结构进行有效养护。
- ⑧ 对水泥浆样品进行 28 天无侧限抗压强度试验，样品从 4 组里各取一个，通过试验确认其值不小于 17.25MPa，也不小于规定设计强度要求。

1.2.5.2 管节点灌浆

管节点灌浆是指在管节点上对主杆进行灌浆加强的形式。主杆可能是全部灌浆，或是内部插上加强管，然后在两管空腔进行灌浆（见图 1.2.5-2）。这两种灌浆方式都能使得结构更好承担静载荷和疲劳载荷。原因有：

- (1) 灌浆能加强主杆刚度，分担主杆弯曲应力，防止主杆变形。
- (2) 由于主杆应力得到有效的分担，所以疲劳寿命增强。
- (3) 由于主杆刚度增加，能有效分配其他杆件传递的应力。
- (4) 灌浆能避免主杆变形，因而增强承载能力。

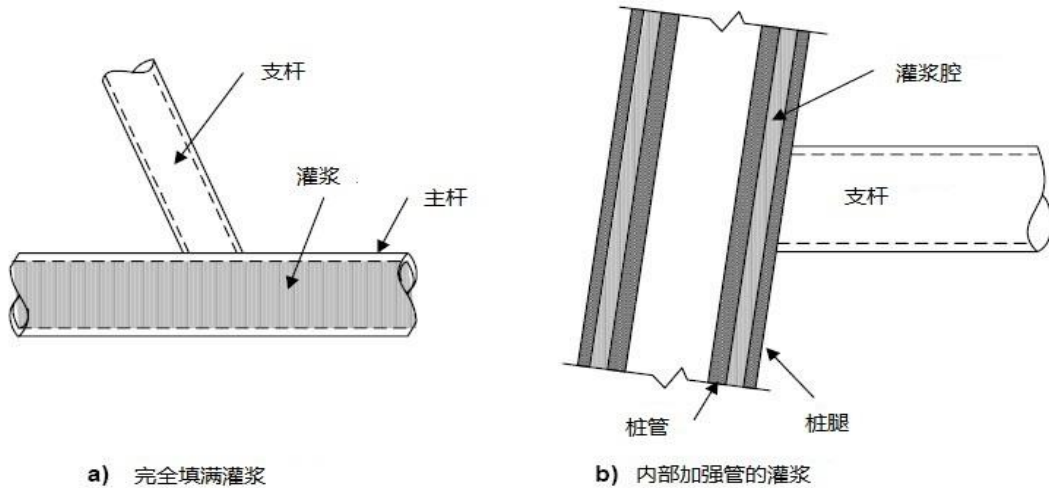


图 1.2.5-2 管节点灌浆

总之，灌浆是一个简单且有效的结构加强、改造及修理成熟工艺，有广泛的应用前景。但应该注意到其局限性，主要有：

- (1) 节点灌浆只限于加强支杆传递的载荷。
- (2) 由于泥浆的灌入增强抵抗某些载荷同时也因重量增加而带来一些载荷。
- (3) 在大管径（比如：24 英寸及以上）上的灌浆，因浆液凝固过程产生的热量可能会恶化浆体的质量，应引起注意。
- (4) 增加的浆液重量应在地震活跃区域另外考虑。
- (5) 灌浆经常在有内部加强环或大小头接头处出现死角，影响效果，应充分考虑适合的程序及选用合适的出口。

管节点施工工艺要求和现场质量检查要求和构件灌浆一致，但如果使用内插加强管灌浆，应注意设定位块，使内插管和受加强管同心，并设计上应该提供 38mm 的最小环形空间宽度。并设计合理灌浆方法防止浆液泄漏。

1.2.6 螺栓连接

螺栓连接是指通过螺栓方式对结构构件进行紧固的工艺。通常螺栓连接仅局限对上部组块加强、改造和修理，不适合对飞溅区和水下结构。螺栓连接的优点是：高速、简易、成熟、灵便。螺栓固定对临时性修复来讲更合适。使用螺栓连接进行加强、改造和修理由应考虑以下因素：作用、螺栓和结构的刚度、螺栓位置和数量、板材表面情况（平整度、摩擦系数等）、丝扣设计和润滑、预张紧力、材料属性。

接头的设计根据海上设施疲劳应力许可条件进行考虑。包括：疲劳因素、螺栓效果、螺栓随时间变化松动情况、腐蚀及脆化。螺栓本身因素包括材质、预张紧力、丝扣。接头设计应报本社审批。

1.2.7 合成材料

合成材料是利用玻璃纤维、尼龙纤维、碳纤维和环氧树脂、聚酯树脂、乙烯树脂通过粘合形成。它的弹性模量位于 70GPa 至 800GPa 之间。抗拉强度位于 1000MPa 至 7000MPa 之间。使用合成材料对平台结构进行加强、改造及修理具有以下优点：重量轻、强度高、容易获得材料、耐用性好、修理工作强度低、不需要热工作业。由于这些优点，玻璃纤维通常在海洋工程用于：基于耐腐蚀、重量轻等特性，作为一些诸如栏杆、钢格板、楼梯的替代材料；和钢丝笼一起粘合，修复腐蚀的隔加强、改造和修理水套管；粘合钢材表面，对现有结构（比如：梁、面板、甲板、管线、容器、护管、舱室）进行加强。

(1) 合成材料施工工艺要求：

对合成材料来讲，由于其力学性能变化幅度大，材料具有各向异性的特点，且由于制作方法不同而具有不同的力学性能，鉴此，工艺设计时应有这方面的专家参与，或能得到咨询公司和供应商的帮助。设计上应意识到复合材料会应冲击、分层、碾压、撕裂、粘合材料失效等原因而导致失效。尤其要避免剥离载荷。

在材料选用上，应有明确的设计寿命。选材上应根据结构几何尺寸、载荷类型、环境影响、意外损坏后果来选择纤维和树脂以便达到设计目的。比如对现有结构进行加强或维修，如果对弯曲变形有限定要求，则要选择高弹性模量的材料；如果对承载有限定要求，则要选择高强度材料。下列参数都必须在设计中加以考虑：

(2) 环境影响，比如，环境温度及其最高最低温度变化周期、最大相对湿度、紫外线及化学物质暴露。

- ① 长期或短期的疲劳载荷和静态载荷。
- ② 耐火。
- ③ 几何尺寸。
- ④ 制作流程和费用。
- ⑤ 和其他材料界面。

比如高温和耐火环境多采用酚醛树脂，耐化学腐蚀环境多采用环氧树脂。为了防止碳纤维和钢铁结构发生腐蚀反应，应先铺一层玻璃纤维。

(3) 现场质量检查要求：

- ① 用于粘合合成材料的钢材表面必须除去铁锈及其他杂物、保持表面干燥。
- ② 玻璃纤维之间不能存在分层，气泡，应按照现场铺层工艺进行施工。
- ③ 合成材料容易受到撞击而损坏，要加以保护。
- ④ 钢结构有预应力时，因为这些预应力会作用于合成材料，应加以考虑，以免造成合成材料强度不足。
- ⑤ 完成施工后，合成材料需要有一个固化的过程，要进行充分养护。

1.3 防腐缺陷处理

平台结构防腐方式通常是水面结构（包括飞溅区）采用油漆保护，水下结构采用牺牲阳极保护。如果结果得不到有效防腐保护，应尽快处理。

1.3.1 重新安装牺牲阳极

牺牲阳极块的通常采用焊接和螺栓连接进行重新安装。如果采用水下湿式焊接，应注意焊口必须在结构的复板或旧阳极块的铁芯上，焊接强度必须得到保证。如果采用钢带螺栓连接，应注意在完成安装后要测量阳极块和结构之间电阻，避免电阻过大影响牺牲阳极对结构保护。最可靠的工艺是采用钢带螺栓固定和焊接相结合的方法，既保证阳极能有效固定，又能够保证阳极块和结构的导通。

重新安装阳极块后，应对阳极保护处结构进行电位测量，确保阳极保护正常。

1.3.2 补漆

局部油漆损坏可采用铁锤和砂纸等进行手工除锈后进行油漆，对于大面积油漆失效，应采取喷砂除锈后进行喷漆。

1.3.2.1 喷砂应选取在晴天，白天进行，空气相对湿度小于 85%，金属表面温度大于露点 3 度。砂子应干燥，不含酸、溶剂、铁锈等杂物。喷砂结果应为近白级(Sa 2.5)。

1.3.2.2 喷漆应选取在晴天，天黑前四小时内进行，空气相对湿度小于 85%，气温大于 10 °C，钢材表面温度高于露点 3 °C 以上。油漆喷涂应均匀。涂层外观应该没有开裂，气孔，夹渣和飞溅。各层油漆厚度和黏附力能满足油漆商推荐的要求，完成喷漆后应进行致密性试验。

1.4 海生物清理

1.4.1 通常采用高压水枪或人工使用铁铲对海生物进行清理，潜水员应对清理后状况进行记录，必要时辅以图例说明。方法与检测时相同。

1.4.2 海生物清理完成后，建议对导管架结构重新安装防海生物装置，以缓解海生物重新生长速度。

1.5 冲刷处理

1.5.1 通过对平台所在位置及周围进行抛砂石，是处理平台冲刷的有效办法。抛砂石应在良好海况下进行，抛砂石的过程注意避免损坏平台结构，完工后应利用潜水员或 ROV 对海底状况进行检查，以了解效果。

1.6 平台维修后检查和维修

1.6.1 在完成结构加强、改造及修理后，平台业主、设计者、检测公司必须制订定期检测计划，根据平台所在海域环境，缺陷性质、大小、位置、以及采取的缓解措施方式等，有计划对缺陷及其修理进行定期检查。定期检测计划应送本社审核。

平台维修后定期检查是至关重要的，原因是：

(1) 有些难以修理缺陷虽然能通过评估，但随着时间变化，这些缺陷有进一步扩展倾向，或由于缺陷引起结构应力重新分布，导致其他位置应力过高而出现新的缺陷。

(2) 即使通过各种缓解措施，比如卡箍、灌浆等，使得缺陷暂时得到修理或加强，但由于这些措施是权宜的，效果如何尚需时间证实，且随着时间变化，这些措施自身有失效可能。

(3) 即使采用干式焊对结构进行原样修复，但由于出现缺陷区域通常也是应力集中位置，反复焊接造成焊接接头机械性能恶化，降低其承载能力。

一旦定期检查发现缺陷进一步恶化，或者缓解措施失效等情况，平台业主应立即报告本社进行检验。