

“海工联盟会标”水下控制系统 产品认证实施专用规则

Special certification implement rules for subsea production control
systems of CODIA monogram

2026-09-30 发布

2026-10-15 实施

中国船级社质量认证有限公司

目 次

Contents

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. 目的 | 1. Objective |
| 2. 范围 | 2. Scope |
| 3. 引用文件 | 3. Normative references |
| 4. 术语、定义和缩略语 | 4. Terms, definitions and abbreviations |
| 5. 认证依据/模式/单元 | 5. Basis for certificate/Certificate mode
/Certificate unit |
| 6. 认证基本环节 | 6. Basic procedure for certificate |
| 7. 认证实施 | 7. Certification implement |
| 8. 主要原材料和关键零部件清单及质量
要求 | 8. Main material and key component
checklist and quality requirements |
| 9. 认证证书 | 9. Certificate |
| 10. 认证标志的使用 | 10. Usage of certificate marks |
| 11. 认证时限 | 11. Certificate duration |
| 12. 认证收费 | 12. Certificate fees |

前 言

本规则根据公司文件GI2001《技术文件管理须知》要求，并基于国家标准GB/T 21412.6-2018《石油天然气工业 水下生产系统的设计和操作 第6部分：水下生产控制系统》、国际标准DIN EN ISO 13628-6: 2008-01《Petroleum and natural gas industries - Design and operation of subsea production systems - Part 6: Subsea production control systems》的要求编制。

本规则起草单位：合格评定技术研究院

本规则主要起草人：张燕红

1. 目的

本规则规定了中国深远海海洋工程装备技术产业联盟（下文简称“联盟”）“海工联盟会标”的海洋油气水下控制系统产品认证的认证模式及流程、认证的实施、认证证书等要求，旨在确保联盟“海工联盟会标”的海洋油气水下控制系统产品认证工作规范有效地实施。

2. 范围

本规则适用于联盟“海工联盟会标”的海洋油气水下控制系统产品或其他同等产品的认证。

本实施规则应与中国船级社质量认证有限公司（以下简称“本机构”）《PCR-00000产品认证实施通用规则》（下文简称“通用规则”）一起使用。

3. 引用文件

(1) DIN EN ISO 13628-6: 2008-01 石油和天然气工业.水下生产系统的设计和操作 第6部分:水下生产控制系统(Petroleum and natural gas industries-Design and operation of subseaproductionsystems-Part6: Subsea production control systems)

(2) ISO 4406:2021 液压传动 油液 固体颗粒污染等级代号法

(3) GB/T 21412.6-2018 石油天然气工业 水下生产系统的设计和操作 第6部：水下生产控制系统

(4) GB/T 17626.5-2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

(5) GBJ 151B-2013 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量

4. 术语、定义和缩略语

4.1. 术语和定义

认证依据与通用规则的术语和定义适用于本专用规则。

4.1.1. 水下生产控制系统 Subsea Production Control System

在生产作业过程中用于水下生产系统操作的控制系统。

4.1.2. 水下处理控制系统 Subsea Processing Control System

在生产过程中操作水下处理系统的控制系统。

4.1.3. 水下电子模块 Subsea Electronics Module

包含电子元件，以支持控制和监测功能的水下设备。

4.1.4. 水下液压执行器 Subsea Hydraulic Actuator

当液压流体控制电源激发时产生线性或旋转运动的水下装置。

4.1.5. 水下电动执行器 Subsea Electric Actuator

当受到电力或光学信号和电源的激励时会产生线性或旋转运动的水下装置。

4.1.6. 压力（控制系统） Pressure (Control System)

4.1.6.1. 设计压力(DP)

系统或元件可以连续使用的最大压力。

4.1.6.2. 最大工作压力(MOP)

系统工作极限，系统在正常工况下可运行的最高标称压力;泵控制仪表或压力调节器设置的上限。

4.1.6.3. 操作压力(OP)

系统运行特性;系统在正常工况下实际运行时的标称压力。也称工作压力。

4.1.6.4. 复位压力

系统减压事件发生后，系统减压装置完全关闭的压力。

4.1.6.5. 设定压力

系统泄压装置开启时的压力。

4.1.6.6. 外部静水压力测试

在高于设计水深环境压力的规定系数下施加于组件的外部试验压力，并保持一段足以验证压力完整性的时间。也称高压试验压力。

4.1.6.7. 静水压力试验

在高于 DP 的规定系数下，施加于加压流体组件或系统的内部试验压力，并保持足够的时间以验证压力的完整性。也称耐压试验或强度压力试验

4.1.7. 设计寿命 Design Life

系统交货验收后规定的运行时间。

4.1.8. 冗余 Redundant

存在不止一种执行必需的功能或表示信息的方法。

4.1.9. 双冗余 Dual Redundant

两个相同的单元(或系统)实现相同功能的对偶冗余。

4.1.10. 电气控制 Electric Control

将电力输送到海底系统并用于打开或关闭海底阀门的控制方法。

4.1.11. 电液控制 Electrohydraulic Control

将液压动力传输至海底系统，并根据电信号来打开或关闭海底阀门的控制方法

4.1.12. 响应时间 Response Time

信号时间与工作时间之和。

4.1.13. 工作时间 Shift Time

在控制信号到达水下位置（信号传输时间结束）并完成控制功能所消耗的时间。

4.1.14. 信号传输时间 Signal Time

远程控制指令发出到水下控制功能开始操作（工作时间的起点）所消耗的时间。

4.2. 缩略语

4.2.1. EFAT 扩展出厂验收试验（extend factory acceptance testing）

4.2.2. ESS 环境应力筛选（environmental stress screening）

4.2.3. FAT 出厂验收试验（factory acceptance test）

4.2.4. FMECA 故障模式影响与危害度分析（failure mode, effects and criticality analysis）

4.2.5. HAZID 危险源辨识（hazard identification）

4.2.6. HAZOP 危险与可操作性分析（hazard and operability study）

4.2.7. HIL 硬件在环测试（hardware-in-the-loop testing）

4.2.8. HPU 液压动力单元（hydraulic power unit）

4.2.9. MCS 主控站（master control station）

4.2.10. PSL3G 产品规范等级（production specification level）3G

4.2.11. QT 质量鉴定试验（quality test）

4.2.12. ROV 水下机器人（remotely operated vehicle）

4.2.13. SCM 水下控制模块（subsea control module）

4.2.14. SEM 水下电子模块（subsea electronic module）

4.2.15. SIL 安全完整等级（Safety Integrity Level）

4.2.16. SIT 系统完整性试验（system integration test）

5. 认证依据/模式/单元

5.1. 认证依据

GB/T 21412.6-2018 石油天然气工业 水下生产系统的设计和操作 第 6 部分：水下生产控制系统

DIN EN ISO 13628-6: 2008-01 石油和天然气工业 水下生产系统的设计和操作 第 6 部分：水下生产控制系统

5.2. 认证模式

单件单批：设计评估+试验+工厂审查+制造检验

产品认证模式与认证证书及标志对照表

认证模式	证书及标志
------	-------

单件/单批产品认证	单件/单批产品认证证书， 该件/批产品授予“产品认证”标志 
-----------	--

注：认证不能免除项目业主方按海工规范开展的第三方检验。

5.3. 认证单元划分

认证单元的划分原则根据水下系统的控制类型、控制和安全保护策略、系统(硬件)组成、主要部件功能和输入、输出的不同进行划分。

同一申请认证单位，不同地域生产场地生产的产品为不同的申请单元。

6. 认证基本环节

6.1. 单件单批认证工作流程

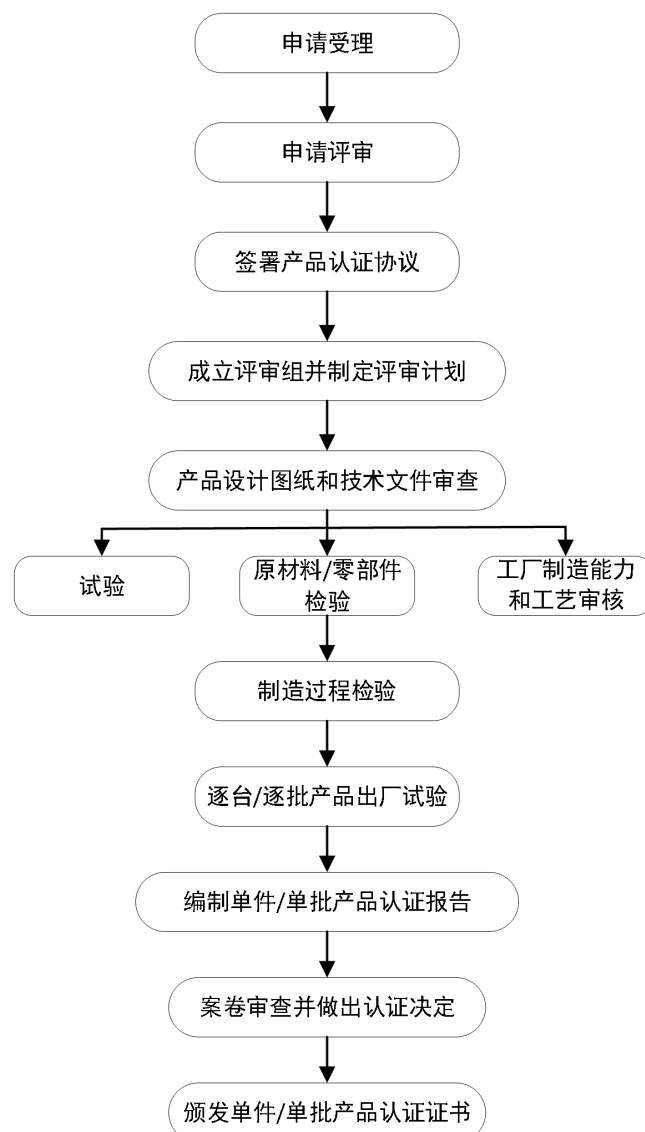


图3 单件单批认证流程图

7. 认证实施

7.1. 认证申请

申请方应提供产品认证相关的资料。根据认证工作的需要，认证评审人员可要求申请者提供其他证据资料。包括但不限于如下内容：

- 1) 产品认证申请书
- 2) 技术资料清单

本条款规定的资料内容仅为技术部分，基本信息应提供的内容见通用规则内相关内容要求。根据认证工作的需要，认证评审人员可要求申请者提供其他证据资料。包括但不限于如下内容：

序号	项目
1 产品基本信息及技术资料	
1.1	设计基础（包括规范、标准，以及水下生产系统及其控制系统的要求）。提供与水下控制系统设计相关的国内外标准、规范及法规的清单，并证明设计符合这些要求。
1.2	水下控制系统的总体设计方案（包括类型、总布局及功能）：详细阐述水下控制系统的设计思路、原则、方法以及主要特点，包括设计背景、设计目标、设计依据、设计方案等内容，为审查人员提供全面的设计概述。
1.3	控制原则及控制系统总体说明（包括环境条件、控制系统结构、控制柜与元器件的设计、电磁兼容性、控制功能、安全保护功能、参数监测、通讯接口设计等）。
1.4	产品设计图纸： 总体布置图、各部件详细结构图、工艺流程图等； 主要部件图纸、零部件和材料清单等；列出水下控制系统所使用的所有材料，包括钢材、阀门、密封件等，并附上相应的材料规格书和质量证明文件。确保所选材料符合设计要求和相关标准。
1.5	设计计算书（包括但不限于结构强度、防腐计算书、电力液压等）；仿真验证报告
1.6	虚实融合测试验证报告
1.7	运行模式（包括启动、正常运行、故障、停机时的动作描述）
1.8	故障检测及处理说明书
1.9	控制系统软件版本及参数设置（包括参数说明及设置值）
1.10	保护功能激活后的手动复位程序
1.11	软件逻辑说明
1.12	传感器说明（包括型号、技术参数、设置值等）（适用时）
1.13	应急关断系统说明（包括应急关断系统结构、工作模式、技术参数等）（适用时）
1.14	应急关断系统相关部件的选型计算（适用时）
1.15	锁定装置功能说明（适用时）
1.16	控制系统相关的其他关键系统说明（如结冰监测系统、加热系统等）（适用时）
1.17	电气及液压原理图
1.18	控制系统软件开发、验证、发布的详细说明

序号	项目
1.19	保护功能的性能等级或安全完整性等级计算（适用时）
1.20	控制和安全保护系统试验大纲
1.21	用户手册（可包括贮存、运输、安装、操作、维护、安全等内容）
1.22	关键元器件的产品质量合格证明
1.23	风险评估/分析报告：包括失效模式、影响与危害度分析（FMECA）、危险源辨识（HAZID）、危害与可操作性分析（HAZOP）、SIL（安全完整性的等级）（适用时）等。
1.24	涂装
1.25	原型和/或型式试验报告（如有）
1.26	主要工艺图纸及文件
1.27	逻辑控制图；
1.28	试验程序及验收标准；说明水下控制系统的制造工艺流程、质量控制要求以及检验和测试方法。这有助于确保制造过程中的质量可控，并满足设计要求。
1.29	外观标志及说明；
1.30	操作手册；
1.31	操作界面及相关文件
2 过程控制文件	
2.1	ITP 计划（水下控制系统生产安装过程检验规程、检验点、检验方法和要求等）；
2.2	采购主要部件验收标准
2.3	主要原材料和关键零部件供应商清单
2.4	制造、装配工艺规程（包括表面喷砂处理、焊接组装、热处理、防腐、主控柜装配、水下控制模块（SCM）组装、水下电子模块（SEM）组装、液压系统组装等）
2.5	实验室资质（如有时）
2.6	检验/试验设备清单（包括设备型号、校准情况等）
2.7	主要生产设备清单
2.8	产品标识情况及可追溯性规定
2.9	产品质量和不合格品控制程序
2.10	产品包装、贮存、使用规定
2.11	安装方案（包括安装程序、人员安全和环境保护计划措施、人员资格和技能要求、安装过程中检测点、测量及检验要求、试验程序及检验清单、质量记录和质量记录保存程序）
2.12	操作维修手册（包括维护计划、检验间隔、日常维护项目、与运行程序或维护措施有关的安全要求、环境保护措施、所需的专门工具和设备、人员资格和技能要求、操作指南、质量记录和质量记录保存程序）
2.13	回收程序、退役要求和限制
3 质量管理体系文件	
3.1	质量管理体系认证证书（如 ISO 9001）
3.2	质量管理手册、程序文件及作业指导书。
3.3	质量控制记录和检验报告，包括产品制造过程中的关键质量控制点记录。
4 安全和环境体系文件	

序号	项目
4.1	产品安全认证证书或相关安全测试报告。
4.2	环保认证证书或相关环保测试报告。
4.3	产品在海洋环境下运行的特殊安全和环境要求证明文件。
4.4	其他证明文件
4.5	如果产品涉及专利或知识产权，提供相关证明文件。
4.6	如果产品已在其他国家或地区以及其他认证机构获得认证，提供相关认证证书或测试报告。

注 1：在资料的提供过程中，可协商提供形式，并得到双方书面认可。

注 2：试验/检验大纲、检验试验计划（ITP）、主要设计图纸等应通过本机构的批准。

7.2. 申请评审

认证评审人员对申请方提交的《产品认证申请书》和相关资料进行申请评审。

7.3. 签署产品认证协议

按通用规则的相关规定执行。

7.4. 成立检查组并制定计划

项目管理人员指派人员成立检查组，检查组长负责制定计划。

7.5. 设计评估

7.5.1. 设计评估准则

对产品设计所选用的标准、规范、方法、原理、假设等的充分性和适宜性进行评估。

海洋油气水下控制系统设计评估内容通常涉及多个方面，以确保其在实际海洋环境中的安全性、可靠性和高效性。对设计文件的符合性进行审查，并给出审查意见，确保设计文件的安全性、合规性。

7.5.2. 设计完整性核查

对申请方提交的设计文件的完整性进行核查，包括图纸、计算书和其它技术资料，确保其充分性、完整性。

7.5.3. 设计评估关键要素

7.5.3.1. 一般要求

7.5.3.1.1. 技术符合性评估：对水下控制系统的设计方案进行全面的审查，评估其是否符合国内外相关的行业标准和规范，以及产品技术规格书要求，确保设计的安全性、可靠性及合规性。

7.5.3.1.2. 技术可行性评估：评估设计中所采用的技术是否成熟、可靠，同时应审查设计中是否存在潜在风险。

7.5.3.1.3. 结构稳定性评估：对水下控制系统的结构设计进行详细的分析和评估，包括其

承载能力、抗震性、抗风浪性等方面。以确保装置在恶劣的海洋环境下能够保持稳定运行。

7.5.3.1.4. 操作便捷性评估：审查设计的操作流程是否合理、简便，是否方便操作人员及 ROV 进行日常操作和维护。

7.5.3.1.5. 安全控制系统评估：对设计中的安全控制系统进行重点审查，包括应急关断系统中所有相关设备及控制策略。评估这些系统是否能够在紧急情况下迅速响应，并有效防止事故的发生。

7.5.3.1.6. 环境适应性评估：考虑到海洋环境的特殊性，对水下控制系统设计的环境适应性进行评估。这包括装置在高盐度、高湿度、强风浪、内波流等恶劣环境下的耐腐蚀性和稳定性。

7.5.3.1.7. 系统设计要求评估

a. 总体要求

水下系统的控制应与水上系统的控制进行一体化设计。

水下控制系统应是失效安全型的，水下控制系统内部的液压管路及关键电子设备应采取冗余设计。系统部件失效时（例如，先导控制、多路信号或电液信号失效），应确保可靠关断。

应规定整个系统的响应时间（例如完成所要求动作的时间），如相关，可定义两级响应时间以反映正常操作和应急操作。

水下控制系统应接受关断系统的输入信号，高级别的应急关断应保证所有水下屏障阀的关闭。

开式控制系统使用的排海的控制液应是对环境无害的。

可能遭到井流污染的液压回路应与其他系统隔离。

水下控制系统的设计与操作应考虑其外部环境，包括腐蚀、环境压力和温度、海生物和污损、渔业活动或海洋作业、海流、海床组成以及维护方面。

应考虑系统设备和组件接口处（如水下控制模块到接收盘、从脐带缆到安装在采油树上的终端接头）的压力等级的变化和由临时堵头和各种保护帽引起的增压。

系统最大工作压力应不超过组成系统的组件的设计压力。组件设计压力应考虑外部负荷（如弯曲和张力），环境静水压力载荷和疲劳。

应提供系统压力释放装置，通常为系统压力释放阀，确保冲击压力不超过系统组件设计压力的 10%。

设定系统压力控制装置时，在最大工作压力（按系统压力控制装置设定）和系统压

力释放装置复位压力间至少保留设计压力的 5% 作为裕量。

系统耐压压力应至少为设计压力的 1.5 倍。

水下设备电磁兼容性要求可参照 IEC61000 相关章节。电气和电子设备不应干扰其他任何设备的功能和安全相关操作。所有设备应在一定等级上免于所有可预测电磁现象干扰，等级水平由系统功能或安全相关要求确定。

应尽可能减少串联电气接头的数量，如有可能，冗余路径宜采取不同的路径。为了降低电接头上的电应力，其电压等级宜和实际保持一致。

如一路电线为两个或两个以上的水下电子模块供电，则宜具备隔离一台失效的水下电子模块的能力。

水下控制系统及元器件应使用寿命的要求。

b. 功能设计要求

水下生产控制系统应具有灵活性并允许优化。

系统设计时应考虑与电力负荷（供电与通讯）相关的柔性、液压系统的鲁棒性、液压系统防海水性、材料耐海水性、水下作业、与井数相关的增加范围、与脐带缆数量相关的增加范围、控制/仪表功能增加范围、水下分离/水下增压系统接口、水下化学药剂注入、井下仪表系统接口和井下化学药剂注入。

系统宜在较大电力负荷变化范围内正常工作，以具备新井接入的灵活性，以有助于避免由多井连接至同一电缆而导致的电气分配系统失效。

在各种操作模式下，液压系统应坚固耐用并在水下控制模块内维持可接受的压力值。

阀门执行器的动作不应引起因水下控制模块内的供应压力降低导致的报警或阀门误动作。压力不宜低于任何方向控制阀最大锁定压力的 150%。

在各种操作条件下，包括单个设备的安装和回收，液压系统的设计应使海水进入量最少。如无法保证阻止海水进入或确实存在海水进入的风险，水下控制模块过流元件宜考虑冲洗污染流体的相关程序。

当未来需求水下分离或水下增压系统时，系统应允许其接入而无需过多的海上作业或对现有系统的改造。

应考虑流动安全保障问题，应能灵活满足化学药剂操作过程中的需要。可通过水下分配系统备用管线、增加水下化学药剂系统预案和重新配置管线等实现这种灵活性。

生产控制系统与井下仪表系统的接口应具有灵活性。

SCM 配置水深补偿装置保证内部压力与外部压力平衡。

SCM 内部应预充绝缘介质不能促使接触到的各零部件的橡胶密封材料老化或起任何

化学反应。

SCM 宜设计成可单独回收的结构形式。

c. 安全设计要求

(1) 海水进入与补偿

应尽可能减小在安装与使用中海水进入的可能性。可采用放空残余空气，安装后立即冲洗和液压系统压力补偿等方法。

补偿器应按最大要求液体体积确定大小，如在系统运行时进行充液（环形回路），应增加 25% 的余量。如补偿器与系统隔离，最小余量应为 100%（非环形回路）。

过压保护：系统中卸压阀（安全阀）的设定压力不能超过设计压力（额定工作压力）。主要卸压设备的设定压力不能超过设计压力。

(2) 电气系统

电液控制系统中水面控制设备及其相关的接口和水下设备宜由 UPS 供电,以确保主电源停电时最少能连续工作 30min。

UPS 系统宜包括绝缘部件和调节单元以确保干净稳定的电力供应。采用电力载波时，UPS 的 THD 应优于 3%，且三次谐波的比重应小于 60%。

水下湿式电接头的带电切断，宜考虑由于分离速度慢导致的电弧伤害。在常规操作、维护或如果可能在失效模式操作或恢复期间，电气分配系统设计宜不需要带电切断。

配电分析宜确定以下几个方面：

- ① 电源负荷最大和最小时 SEM 的电压；
- ② SCM 数量为最大值和最小值时 SEM 的电压；
- ③ 脐带缆长度为最长和最短时 SEM 的电压；
- ④ 冗余和非冗余配电时 SEM 的电压；
- ⑤ 应用干式和湿式脐带缆绝缘时，电缆参数对应的 SEM 的电压；
- ⑥ 电缆参数如电感,电容,电阻和电导极限值时的 SEM 电压；
- ⑦ SEM 组件的应力水平应保持在正常操作和降低要求的操作模式可接受的范围
内；
- ⑧ 最大和最小的水下电力要求；
- ⑨ 最大电流负荷；
- ⑩ 控制系统所有操作条件下的功率因数。

(3) 振动和压力脉动

液压系统的设计宜考虑作用在管线、阀和接头上的水锤效应、高压脉动和振动，应

包括外部振动源（例如油嘴）。如果确定有高周载荷，宜从设计和制造上来降低相关的风险，例如采用对焊的液压连接。

d. 性能设计要求

(1) 响应时间

控制系统响应时间主要由其执行上部设施指令迅速关断水下生产所需时间而设定。此时关闭阀门，可减少输往上部设施的可燃物质，减少水下系统污染物泄漏引起的环境污染。当关阀用于保护下游管线过压时，响应时间应比下游管线由于连续流动而超压的时间短。

(2) 使用主控模式时水下安全阀（USV）关闭时间要求

接到命令关闭指令后，水下控制系统应使用主控模式在不超过 10min 的响应时间内关闭所设计的 USV。对于多井系统，安装在所有生产井上的 USV 应在给定的 10min 内关闭。

(3) 使用事故关闭模式时 USV 关闭时间要求

当水下控制系统发生故障、需要使用事故关闭模式进行关阀作业时，不需受 10min 关闭时间的限制。事故关闭模式应按相关要求执行关阀操作。

(4) 工作时间限制

单个 USV 总响应时间中的工作时间应不大于 3min。如 USV 所对应的水下井已被其他已经关闭或同时响应命令关闭的阀或流动控制装置关闭时，可取消工作时间限制。

(5) 阀的开启

如开启 USV 之前，阀两侧压力不可能平衡，USV 水下阀门的 shift 动作时间应不超过 3min。当流程中有另一个阀门或流量控制装置能关闭或不需要延长的压差就能打开 USV 时，可不考虑这个要求。

(6) ROV 介面

ROV 是水下控制系统最为常用的辅助、维修、维护工具，所以水下控制系统的设计应考虑在工作和检查过程中，ROV 的访问便捷性。

水下控制系统与设备，应根据需要设有 ROV 清晰可读的标识，控制系统模块设计应避免妨碍导向缆和 ROV 脐带缆。

所有重复使用接口，应当提供轻量级 ROV 可回收保护帽。保护帽短时保护所有密封表面。

ROV 抓杆应当便于完成预定的操作，并对 ROV 提供稳定工作条件。

ROV 插入型连接器外侧部分可能无法保证与阴极保护系统的连接，应采用耐腐蚀材料制造。

e. 水上设备设计要求

(1) 主控站 (MCS)

MCS 用来控制和监视水下生产系统,其复杂程度可以从手动液压控制盘到自动化计算机系统。采用自动化计算机系统时, 它可能配置为三种方式:

- ① 完全与集散控制系统 (DCS) 集成;
- ② 作为独立终端, 为水下系统控制的主要界面;
- ③ 作为独立终端, 连接 DCS 和水下设备。DCS 为控制水下系统的主要操作员界面。

MCS 为次要界面, 当 DCS 或 DCS 链接失效时, 可执行水下控制。

MCS 应具备以下功能:

- ① 在现场环境中安全工作;
- ② 与依托设施的安全系统相对应;
- ③ 提供有效的操作接口;
- ④ 超限显示和报警;
- ⑤ 显示操作状态;
- ⑥ 提供关断能力。

MCS 或 DCS 应为生产控制系统提供与所选配置相适应的操作员接口和自动的功能。

采用双冗余配置时, 从控制器或热备控制器的切换应为无扰切换, 不应丢失数据和控制。安装后 MCS 宜允许硬件和软件扩展。应在设备规格书阶段定义 MCS 可扩展性。安装后应能进行 MCS 软件调整和升级。

(2) 供电电源 (EPU)

对于电液控制系统, EPU 可独立安装也可与调制解调单元或 MCS 组合安装。

EPU 通常由 UPS 供电, 后通过脐带缆向水下生产系统提供电力。EPU 宜包括安全设备, 以确保出现电气故障时人员和设备免受危害。

如果脐带缆中有冗余导线, EPU 对脐带缆中每对导线的输出电压宜可单独调节。每对导线宜与系统其余部分相互隔离。所做设计应允许单对导线的连接和解脱。

单个电源系统的设计宜易于维护和维修。

MCS 或 DCS 宜监视 EPU 的以下参数:

- ① 输入电压;
- ② 输入电流;
- ③ 脐带缆电压/电流;
- ④ 过压和过流警报;

⑤ 电线绝缘。

(3) 调制解调单元

通常调制解调单元包括调制解调器、滤波器和隔离变压器。

调制解调器装置既可与 MCS 相连,专门为生产控制系统服务,也可通过通信接口 (DCS 的一部分) 与依托设施的 DCS 直接连接。任一种方式,其通信协议都应保证数据安全传输。

如提供冗余通信通道,冗余设备不应共用同一硬件设备如调制解调器或电源模块。冗余通道间的通信切换应易于实现。该功能宜根据通信链接状态自动实现。

水面与水面的通信连接应采用工业标准串行连接。

MCS 或 DCS 宜监视调制解调单元的以下参数:

- ① 输入电压;
- ② 输入电流;
- ③ 脐带缆电压/电流;
- ④ 电缆绝缘 (可选)。

(4) 不间断电源 (UPS)

UPS 应向 EPU、调制解调单元和 MCS 供应电力。

生产控制系统操作所需的关键部件 (不包括 HPU 电泵) 由 UPS 供电。每台 UPS 应有 100% 的总负载能力,所设计的 UPS 宜可适应未来生产控制系统的扩容。

UPS 应能在失去主电后保持系统至少运转 30min。

MCS 宜监视 UPS 的以下参数:

- ① 输入电压;
- ② 输入电流;
- ③ UPS 输出频率;
- ④ UPS 旁通模式;
- ⑤ UPS 在线模式;
- ⑥ UPS 失效。

(5) 液压动力单元 (HPU)

HPU 应为水下设施提供经过滤的、可调节的液压流体。

HPU 宜包括达到并保持特定清洁度的要求,例如,当流体被污染时,应具有排放、循环和过滤能力。HPU 的输出流体应满足 ISO4406 定义的制造商规格书所要求的清洁度。

应提供适当的液体采样点,能在 HPU 液压系统的工作部分安全采样。

HPU 不宜有自动过滤器旁通,使未过滤液体绕过堵塞的过滤器。

泵和过滤器等关键部件宜有冗余。

系统中同一压力等级宜使用相同类型(型式)的液压管件。

所做设计宜允许 HPU 内可维护的部件是隔离的,以便在不影响常规操作情况下进行维修和更换。

HPU 内的电气设备防护等级应与现场环境相适用。

HPU 布局宜允许所有部件易于维护和维修

f. 水下设备设计要求

(1) 水下液压分配系统

水下液压分配系统从脐带缆终端向每口井分配液压动力。

当液压接口无意脱开时,宜避免采油树上关键的阀门执行机构或其他故障关闭型安全系统上的卸压故障。

液压系统应采用自密封液压接头以减少水下连接和分离时的海水进入。

液压分配系统的设计宜考虑具有允许 ROV 操作的接口盘或潜水员操作的隔离设备,以防隔离系统泄漏。水下液压分配模块可回收、重新改造和更换,用于隔离失效管线和需要时启用备件。

当设计为潜水员操作分配系统带压分离时,宜考虑两套液压隔离。

液压系统的设计宜考虑单点失效,这可通过物理路径的分离和冗余供给的液压隔离来实现。

(2) 水下电气系统

水下电气分配系统从脐带缆终端向每口井分配电力和信号。

断开连接后仍带电的所有电气接头应有接触性保护以防止暴露。

应尽可能减少串联电气接头的数量,如有可能,冗余路径宜采取不同的路径。为了降低电接头上的电应力,其电压等级宜和实际保持一致。

管汇上的电力分配缆和从脐带缆终端到 SCM 的跨接电缆宜可由 ROV 或潜水员修理或者重新装配。

如果一条电线为两个以上的水下电子模块供电,则应具备隔离一台失效的水下电子模块的能力。

如可能,电接头应具有定向键槽防止误连接和后续损害。针脚分配宜保证误连接不会导致后续伤害。安装、使用和维护时无连接的所有电接头应配有适合直接暴露在海水中的保护帽。

电接头应经鉴定可在指定水深应用。

ROV 插入型连接器外侧部分可能无法保证与阴极保护系统的连接,应采用耐腐蚀材料制造。

电力分配电缆和跨接电缆的连接宜由 ROV 或潜水员使用简单的工具完成,并尽量减少钻井船/工作船的使用时间。

海水和导体间最少宜有两道屏障。设计的屏障宜适用于在海水中操作。

如选择充油系统,宜设计并安装电缆总成,以使进入绝缘液内的海水依靠重力从终端流出。电缆宜安装在绝缘的压力补偿充液管线内。液体应该是绝缘型的。

所有用于水下电气系统的材料都应海水和绝缘流体(如应用)相兼容。应进行新材料相容性测试。

为了安全和接头的长期完整性,应尽可能避免接合和断开带电接头,特别是供电接头。

(3) 水下控制模块(SCM)

水下控制模块的设计、材料选型,应考虑其功能及环境条件、制造和安装的便捷性。

水下控制模块应根据水下生产系统的规模、水深、水下控制系统等被控设备的情况,进而确定水下控制模块的总体结构、控制方式及通讯方式。

电气和电子设备应具有电磁兼容性,满足水下电磁环境,不应干扰其他任何设备的功能和安全相关操作。

水下电液组件的电气元件应安装在充满绝缘液体的水下控制模块壳体内。壳体内应配置压力补偿装置,保证内部压力与外部压力平衡。内部连接电缆和接头应能够适用于湿式环境。

系统中液压单元的泄漏应不影响整个电气系统的完整性。

所有的液压接口应由解脱时可密封的接头构成。

(4) 水下电子模块(SEM)

SEM 应具有基于 MCS 命令执行顺序监测操作或顺序控制的能力。

SEM 硬件应基于使用一个或更多的微处理器和电力单元。

SEM 应保证足够的备用内存,以保障数据处理、外部和内部传感器的通讯能力。

应设计两道独立的和可测试的隔离屏障,以防止海水侵入 SEM。

SEM 应监测井下温度和压力信息(DHPT)。

SEM 组件的应力水平应保持在正常操作和降低要求的操作模式可接受的范围内。

应对 SEM 进行性能试验以鉴定温度循环和振动相关的设计,或提供可靠的证据。

所有 SEM 宜通过温度循环、振动和老化试验。应在最终关闭后进行泄漏试验,或提

供可靠的证据。

SEM 应保证足够的备用内存，以保障数据处理、外部和内部传感器的通讯能力。所设计的 SEM 宜有最少 25% 的备用内存容量，20% 的备用能力。

SEM 的设计宜考虑标准化，使可互换性能够替代特定应用的优化。

尽量考虑 SEM 与传感器、直接控制阀体的最少接口类型和格式的实际数量，采用国际标准。

SEM 软件宜内置自诊断功能以简化调制解调器、水下计算机和传感器的测试和调试。

SEM 应可编程或可调试，允许在水上合适位置重新编程。

宜考虑数据时间戳。

(5) 水下仪表

所有的水下仪表在满足系统功能的前提下，应尽可能的简单，以便减少与 SCM 的电气、液压的连接数量。

对于直接暴露在生产液中的传感器，和其通道（如设有），应考虑潜在的砂、水合物和蜡引起的接口堵塞。

用来监测井下情况的任何传感器，其接头和本体的额定压力应适应最大操作压力工况；

直接与井液接触的仪表通道，应提供不少于两道的独立隔离屏障，以防止井液进入仪表舱或海水中。

液压压力变送器无论是安装在 DCV 阀体上还是压力输出管汇上，都必须有相配合的密封安装接口，以保证安装后不发生泄漏。

重要、且不易更换的仪表、传感器应设置冗余，并对主和备用切换功能进行评估和试验。

7.5.4. 仿真验证报告审查

7.5.4.1. 一般规定

水下控制系统在设计阶段应开展系统性的仿真验证工作，作为设计方案可行性、合理性依据之一。仿真验证结果应形成正式的报告，纳入设计审查资料清单，与其他设计文件一同提交认证机构审查。

应基于实际海洋油气作业环境、系统工作工况及设计参数开展，采用经行业认可、具备有效性验证的软件及方法，模型的假设条件、边界条件、参数选取应与实际工程应用一致，并在报告中明确说明，确保结果真实性、准确性和可追溯性。

7.5.4.2. 仿真验证范围

- (1) 系统级的液压系统、电力系统、通讯系统的仿真验证；
- (2) 部件级及板级等的仿真。

7.5.4.3. 仿真验证要求

(1) 模型建立要求

仿真模型应准确反映水下控制系统的实际结构、工作原理及系统间耦合关系，关键部件的模型参数应基于产品手册、试验数据或行业标准确定，不得采用无依据的经验参数。

(2) 工况模拟要求

应覆盖额定工况、极端工况、应急工况、适用的故障工况等，确保系统在各类工况下的性能和安全均符合设计要求。

(3) 指标验证要求

验证结果应满足本规则及产品设计规格书的要求，对于未达到设计指标的项目，应分析原因并对设计方案进行优化，直至验证结果合格。

(4) 优化设计要求

仿真验证应作为设计优化的重要手段，对于验证过程中发现的设计缺陷、性能瓶颈、安全隐患，应及时修改和优化，并重新开展验证，直至满足要求。

设计优化过程应形成记录，明确优化的原因、措施、前后仿真结果对比，纳入仿真报告和设计修改文件。

7.5.4.4. 报告要求

仿真验证完成后应编制正式的报告，报告应内容完整、数据详实、结论明确，至少包括以下内容：

- (1) 任务概述：包括验证目的、范围、依据（本规则、设计规格书、行业标准等）；
- (2) 模型说明：包括软件名称及版本、模型建立思路、系统组成及耦合关系、参数选取依据、模型验证过程及结果；
- (3) 工况设置：包括各类工况的边界条件、假设条件、触发条件及模拟内容；
- (4) 过程及结果：包括各类工况下的计算分析过程、关键数据、曲线图表，以及与设计指标的定量对比分析；
- (5) 问题分析及设计优化：包括发现的设计问题、原因分析、优化措施及优化后的验证结果；
- (6) 结论：明确说明验证是否通过，设计是否满足本规则及设计要求，未通过项目应提出明确整改要求；

(7) 附件：包括模型文件、计算底稿、试验验证数据、设计修改文件等。

7.5.4.5. 报告审查要求

- (1) 验证的范围、方法、软件是否符合本规则及行业标准要求；
- (2) 模型的建立是否准确、参数选取是否有依据、模型验证是否有效；
- (3) 工况设置是否全面，是否覆盖关键设计工况和场景；
- (4) 结果是否满足设计指标要求，未达标项是否已完成优化并验证合格；
- (5) 报告的内容是否完整、数据是否详实、结论是否明确。

认证机构可根据审查需要，要求申请方对特定环节进行补充验证；对于验证存在重大缺陷、结果不可靠或未完成规定验证的设计，认证机构应判定设计审查不合格，要求申请方整改后重新提交。

7.5.4.6. 验证结果的复用与更新

若水下控制系统设计发生局部修改，需根据修改范围判断是否重新开展验证：涉及核心结构、关键参数、材料选型的修改，应重新开展相应环节的验证，并将相关修改资料提交认证机构，认证机构对修改的设计方案进行评审，主要针对更新的影响，更改部分是否满足要求进行评审，评审通过后重新颁发相应的证书或证明（证书或证明中应明确表示设计方案的版本号及更改日期）。

当水下控制系统的应用环境、作业工况发生变化时，应及时更新模型和工况设置，重新开展验证。完成更改后，应向认证机构提出认证申请，认证机构应对新认证单元完成的认证工作。

7.5.5. 设计评估除对设计文件进行评审校核外，必要时可通过原型试验或型式试验以验证设计文件的准确性和可信性。

7.5.6. 设计符合性评估

7.5.6.1. 当所有的评估内容均符合规范、标准和/或适用要求时，方可认为设计评估结果合格。

7.5.6.2. 审查中若需要申请方补充资料或做进一步说明，或因发现设计或技术文件的规定偏离规范、标准和/或适用要求而不同意批准，将通知申请方进行补充或由认证机构退换全部提交资料。

7.5.6.3. 如本机构同意批准或有条件的批准，则在图纸和文件上加盖本机构的批准印章或备查印章等标志，并连同本机构的书面审查意见或批准通知退给申请方。本机构保留一套备查。

7.6. 试验

7.6.1. 初次认证/再认证试验抽样原则

抽样应在本机构产品认证检查员在场见证的前提下封样。

7.6.2. 试验项目和方法

7.6.2.1. 初次认证/再认证试验项目

海洋油气水下控制系统的初次认证/再认证的试验验证应完成以下项目

- (1) 出厂验收试验 (FAT)
- (2) 扩展出厂验收试验 (EFAT)
- (3) 系统完整性试验 (SIT)
- (4) 虚实融合测试

7.6.2.2. 年度监督的试验项目

出厂验收试验 (FAT)。

7.6.2.3. 试验要求及方法

7.6.2.3.1. 出厂验收试验 (FAT)

(1) 水下电子模块 SEM 系统 FAT

序号	试验项目	技术要求及试验方法
1	功能连续性试验	功能连续性测试的接收准则如下： ——模拟量信号采集测试：精度$\leq \pm 0.5\%$； ——数字通信功能测试：精度$\leq \pm 0.5\%$； ——外部设备供电功能测试：供电功能正常； ——DCV控制功能测试：控制功能正常； ——SEM冗余功能测试：具备全功能冗余能力。 功能连续性测试的步骤如下： a) 按照项目实际需求，对SEM进行测试设备布置和连接，给SEM供电，实现系统通信； b) 通过信号收发模拟装置，模拟4-20mA模拟量信号给SEM，通过电子测试单元的监控界面记录SEM采集的数值，并与发送的模拟量数值进行对比，完成模拟量信号采集功能测试； c) 通过信号收发模拟装置，模拟Modbus RTU或CANOpen信号，通过电子测试单元的监控界面记录SEM采集的数值，并与发送的数值进行对比，完成数字通信功能测试； d) 通过电子测试单元的监控界面，控制SEM给各个传感器供电通道供电，在信号收发模拟装置界面上观察传感器供电指示灯是否正常显示，完成SEM外部设备供电功能测试； e) 通过电子测试单元的监控界面，控制SEM发送各个DCV的控制命令，在信号收发模拟装置界面上观察DCV是否开关正常，完成

		SEM的DCV控制功能测试； f) 断开电子测试单元给SEMA的供电，观察并记录SEMB是否功能正常，恢复SEMA的供电，断开SEMB的供电，观察并记录SEMB是否功能正常，完成SEM冗余功能测试。
2	环境应力筛选（ESS） -高温老化试验	应符合GB/T 21412.6的相关规定。ESS高温老化测试的步骤如下： a) 将SEM从壳体内取出，并放置到温度测试箱内； b) 连接电子测试单元和信号收发模拟装置； c) 给SEM供电，测试SEM各项功能，证明测试前SEM的功能完整性； d) 关闭温度测试箱，给SEM断电，并至少保持1h； e) 设置温度测试箱温度为70℃，开始高温温度测试； f) 待温度测试箱温度达到70℃并稳定后，给SEM供电，测试SEM各项功能； g) 高温持续24h左右时，测试SEM各项功能； h) 高温持续47h左右时，测试SEM各项功能，给SEM断电； i) 高温持续48h时，给SEM供电，测试SEM各项功能。 高温温度测试的接收准则：在测试开始时，SEM断电/通电功能正常；在测试过程中，SEM功能正常；在测试结束时，SEM断电/通电功能正常。
3	ESS-温度循环试验	应符合GB/T 21412.6的相关规定。ESS温度循环测试的步骤如下： a) 将SEM从壳体内取出，并放置到温度测试箱内； b) 连接电子测试单元和信号收发模拟装置； c) 给SEM供电，测试SEM各项功能，证明测试前SEM的功能完整性； d) 关闭温度测试箱，给SEM断电，并至少保持1h； e) 设置温度测试箱低温温度为-18℃，持续时间30min，高温温度70℃，持续时间30min，温度增减速率5℃/min，循环次数设置为10次，开始温度循环测试； f) 待温度测试箱温度达到-18℃并稳定后，给SEM供电，测试SEM各项功能； g) 在温度循环测试过程中，测试SEM各项功能； h) 在温度循环测试的最后一个循环，测试SEM各项功能，给SEM断电； i) 在温度循环测试结束时，给SEM供电，测试SEM各项功能。 ESS温度循环测试的接收准则：在测试开始时，SEM断电/通电功能正常；在测试过程中，SEM功能正常；在测试结束时，SEM

		断电/通电功能正常。
4	ESS-振动试验	应符合GB/T 21412.6的相关规定。ESS随机振动测试的步骤如下： a) 将SEM使用相似的紧固结构安装在冲击振动测试台上； b) 连接SEM到电子测试单元和信号收发模拟装置； c) 给SEM供电，测试SEM各项功能，证明测试前SEM的功能完整性； d) 设置复合激励水平应为6g rms，让SEM在共振最大的振动方向随机振动10min，振动频率范围为20Hz~2000Hz；在20Hz~80Hz时，以3dB倍频程增加；在80Hz~350Hz时，以0.04g²/Hz增加；在350Hz~2000Hz以3dB倍频程减少； e) 振动过程中进行SEM的功能连续性测试，验证SEM在振动过程中能否正常工作； f) 测试结束后，对SEM开筒检查。 ESS随机振动测试的接收准则：SEM不得出现任何显著损坏或变形；SEM内部元器件及线路无任何松动；SEM振动过程中功能正常。
5	外部静水压力（高压舱试验）	外部水压测试的步骤如下： a) 确保SEM内氮气填充完成，连接电子测试单元和信号收发模拟装置，给SEM供电，测试SEM各项功能，证明测试前SEM的功能完整性； b) 将SEM放置到高压舱内，将高压舱填满水并关舱； c) 设置高压舱的测试压力为设计水深压力的1.1倍，升压速率为18bar/min，降压速率为24bar/min，处于最低压力梯度的时间不少于增压/降压时间的25%； d) 高压舱按照测试参数对SEM进行高压舱测试，测试时间不少于10min； e) 测试完成后，将SEM从高压舱取出，恢复SEM与电子测试单元和信号收发模拟装置的连接； f) 给SEM供电，测试SEM各项功能，验证SEM高压舱后的功能完整性。 外部水压测试的接收准则：SEM功能正常；SEM无任何变形或损伤；
6	虚实融合测试-SEM振动测试	虚拟振动测试的步骤如下： a) 将被测设备模型、测试工装模型和传感器模型装配在冲击振动测试台模型上； b) 对被测设备的三个垂直的轴向进行虚拟扫频测试，确定被测设备共振最大的振动方向；

		c) 记录被测设备的共振最大方向、机械放大倍数，输出共振时应力应变和加速度云图； d) 在被测设备共振最大的振动方向进行随机振动； e) 测试结束后查看加速度响应PSD、应力应变和加速度云图、应力集中位置和变形趋势，定位高应力风险点和结构薄弱环节。 扫频测试的接收准则：在 5Hz ~ 150Hz 的频率范围内，不得出现机械放大系数大于 10 的谐振现象；被测设备应力应变和加速度云图中无结构屈服； 振动测试的接收准则：被测设备应力应变和加速度云图中无结构屈服。
--	--	--

(2) 水下控制模块 SCM 的 FAT

序号	试验项目	技术要求及试验方法
1	内部静水压力测试	内部水压测试的步骤如下： a) 测试前拆卸压力敏感元件，并使用堵头进行封堵； b) 按照SCM的液压设计等级，通过液压动力单元给SCM供给液压动力； c) 待压力稳定后，提升液压供给压力到液压设计等级的1.5倍，且不超过测试压力的5%； d) 保持不少于10min，验证液压零部件和管线完好，且没有外部泄漏； e) 最终测试压力不得低于测试压力，压力沉降率不超过3%/h； f) 给SCM泄压，恢复压力敏感元件的安装； g) 通过液压动力单元给SCM供给液压动力，待压力稳定后，提升压力至液压设计等级的1.1倍； h) 保持不少于10min，验证液压零部件和管线完好，且没有外部泄漏； i) 最终测试压力不得低于测试压力，压力沉降率不超过3%/h。 j) 内部水压测试的接收准则如下：无任何可见外部泄漏；压力沉降率不超过 3%/h。
2	液压内部泄漏试验	内部泄漏量测试应符合 GB/T 21412.6 的相关规定。 内部泄漏量测试的步骤如下： a) 按照SCM的液压设计等级，通过液压动力单元给SCM供给液压动力，并保持压力； b) 在SCM所有DCV均关闭状态下，使用试管在SCM相应的回油接口上取样； c) 取样保持10min，验证SCM液压系统关阀状态下内部泄漏量是否满足 0.2ml/min/DCV； d) 将SCM所有DCV均开启，使用试管在SCM相应的回油接口上取样； e) 取样保持不少于10min，验证SCM液压系统开阀状态下内部泄漏量是否满足0.2ml/min/DCV。 f) 内部泄漏量测试的接收准则如下：开阀状态：不大于 0.2ml/min/DCV；

		关阀状态：不大于 0.2ml/min/DCV。
3	功能和连续性试验	功能连续性测试应符合GB/T 21412.6的相关规定。功能连续性测试的步骤如下： a) 按照项目实际需求，对SCM进行测试设备布置和连接，给SCM供电，实现系统通信； b) 通过信号收发模拟装置，模拟4-20mA模拟量信号给SCM，通过电子测试单元的监控界面记录SCM采集的数值，并与发送的模拟量数值进行对比，完成模拟量信号采集功能测试； c) 通过信号收发模拟装置，模拟Modbus RTU或CANOpen信号，通过电子测试单元的监控界面记录SCM采集的数值，并与发送的数值进行对比，完成数字通信功能测试； d) 通过电子测试单元的监控界面，控制SCM给各个传感器供电通道供电，通过万用表测量每个通道的实际输出电压并记录，完成SCM外部设备供电功能测试； e) 通过液压动力单元给SCM供给设计压力，在电子测试单元的监控界面，控制SCM发送各个DCV的控制命令，在SCM测试台观察对应的液压功能回路是否有压力输出，完成SCM的水下阀门控制功能测试； f) 断开电子测试单元给SEMA的供电，观察并记录SEMA是否功能正常，恢复SEMA的供电，断开SEMA的供电，观察并记录SEMA是否功能正常，完成SCM内SEMA的冗余功能测试。 功能连续性测试的接收准则如下： ——模拟量信号采集测试：精度$\leq \pm 0.5\%$； ——数字通信功能测试：精度$\leq \pm 0.5\%$； ——外部设备供电功能测试：精度$\leq \pm 1\%$； ——水下阀门控制功能测试：压力输出正常； ——SEMA冗余功能测试：具备全功能冗余能力。
4	循环试验	循环测试的步骤如下： a) 按照项目实际需求，对SCM进行测试设备布置和连接，给SCM供电，实现系统通信； b) 通过液压动力单元给SCM供给设计压力，在电子测试单元的监控界面，控制SCM发送各个DCV的控制命令，在SCM测试台观察对应的液压功能回路是否有压力输出，完成SCM的水下阀门控制功能测试； c) 按照上述步骤，反复对SCM所有DCV进行不少于20次的开关循环测试，验证SCM的液压控制功能和系统密封性。 循环测试的接收准则如下： 水下阀门控制功能测试：压力输出正常；液压系统密封性：无可见外部泄漏。
5	外部静水压力试	外部水压测试的步骤如下：

	验	a) 确保SCM内绝缘油填充完成，将SCM放置到高压舱内，按照要求完成SCM与各类测试设备的连接和穿舱，并测试系统绝缘性满足要求； b) 给SCM供电，测试SCM各项功能，证明测试前SCM的功能完整性； c) 将高压舱填满水并关舱，测试SCM各项功能，证明SCM在水环境下的功能完整性； d) 设置高压舱的测试压力为设计水深压力的1.1倍，升压速率为18bar/min，降压速率为24bar/min，处于最低压力梯度的时间不少于增压/降压时间的25%； e) 高压舱按照测试参数对SCM进行高压舱测试，测试时间不少于10min； f) 在测试保压过程中，测试SCM各项功能，证明SCM在高压环境下的功能完整性； g) 恢复高压舱内压力到常压环境，测试SCM各项功能，证明SCM在测试后的功能完整性； h) 开启高压舱舱盖，将SCM从高压舱取出，观察SCM是否有变形或损伤出现； i) 拆除测试设备的连接，完成测试。 外部水压测试的接收准则如下： SCM功能正常；SCM无任何变形或损伤；
6	虚实融合测试——硬件在环测试	硬件在环测试的步骤如下： a) 测试准备： ● 对数字样机进行组件级、子系统级和系统级校验与迭代，并确认测试设备处于校准有效期内； ● 依据 MCS、SCM 等实物设备的设计及功能测试要求等，编制测试用例； ● 完成被测实体设备与数字样机之间的电气接口、通信接口对接与调试，搭建完整的闭环测试环境； b) 在数字样机加载并运行测试用例和配置测试参数，实时仿真获取测试工况的预期结果，为硬件在环测试的结果比对提供基准依据； c) 数字样机通过通信及电气接口等，向MCS、SCM待测实体设备完成正常工况参数状态注入及故障工况模拟注入，驱动实体设备运行。具体包括下述测试内容： ● 基本控制功能测试：通过 MCS 和 SCM 的数字样机，进行阀门、油嘴等执行结构的控制功能测试； ● 安全逻辑测试：测试 MCS 对水下生产系统的 ESD 紧急关断功能、各类报警触发与处理逻辑，测试水下生产系统的安全逻辑的正确性； ● 系统冗余功能测试：电源冗余、通信冗余、控制器冗余控制的切换逻辑测试； ● 通信协议一致性测试：MCS 与 SCM 之间基于电力载波、光纤等不同

		传输介质和总线的通信正确性测试； ● 故障诊断测试：人为模拟传感器故障、通信中断、执行器失效等异常，验证控制器的故障诊断与容错能力。 d) 同步采集、记录实体设备的实时运行数据、控制反馈状态及各项输出结果，形成完整实测数据样； e) 实体设备迭代与再验证：将实体设备的运行结果与数字样机预期结果进行比对分析。基于分析结果的不合格项优化整改MCS、SCM等实体设备的软硬件程序及参数配置，完成迭代优化后重复开展闭环测试，直至实体设备各项功能、性能指标完全满足设计规范及作业要求。 硬件在环测试的接收准则如下： 测试结果完全满足被测设备的控制逻辑和功能规范，表示此项功能测试合格；被测设备所有的功能测试项都合格，表示此设备可以被接收。
--	--	--

进行完整的 FAT 时最少应注意以下内容：

- a) 电液方向控制阀的性能和泄漏率
- b) 监控系统的精确度
- c) 通信系统灵敏度和抗噪性能
- d) 电源需求和灵敏度
- e) 所有管线、管道工程和液压组件的压力试验
- f) 蓄能器预充压力
- g) 卸压阀压力设定
- h) 流体和系统清洁度
- i) 控制模块压力试验
- j) 设备匹配认证
- k) 电缆绝缘阻抗和电导系数
- l) 容器泄露试验
- m) 牺牲阳极电导系数
- n) 互换性试验：如有互换工具或部件，应进行相应的互换试验。互换试验的基本要求：

求：

- 互换顺利；
- 能够实现功能和性能要求；
- 承压器件的互换试验，互换后应进行静水压力试验；
- 宜进行但不限于互换试验的项目：
- 密封圈及其工具互换；

- 液压、电飞头互换;
- 驱动工具互换;
- 安装工具互换。

o) 液压接头相关试验:

液压飞头测试可参照所用规范标准进行测试。

① 操作性能试验

- 进行外观检验,看是否有明显擦伤或破损,并核对相关证书与产品是否一致;
- 进行插拔试验,验证插拔是否顺利。

② 强度性能试验,宜按照下列步骤进行:

• 对液压接头组件及其管线,施加 1.5 倍额定工作压力,保压时间不小于 3 min,应无泄漏;

- 升压至 1.5 倍的额定工作压力,保压时间不小于 15 min,应无泄漏;
- 泄压至零,冲洗管线。

③ 密性性能试验,宜按照下列步骤进行:

- 施加额定工作压力,保压时间不小于 3 min,无泄漏,完全泄压;
- 泄压至 0
- 施加额定工作压力,保压时间不小于 15 min,无泄漏,完全泄压;

④ 保压验收标准:

不接受任何可视的液体渗漏、泄露。最大压降不超过试验压力的 5%或 3.45MPa,取其小者。

p) 电接头试装试验

电飞头测试可参照所用规范标准进行测试。

- ① 进行外观检验,看是否有明显擦伤或破损,并核对相关证书与产品是否一致;
- ② 进行插拔试验,验证插拔是否顺利;
- ③ 依据技术规格书的要求,进行导电等基本性能测试。

q) 称重

水下控制系统装配完成后应进行称重,包括空气中重量和浸水重量,并记录。以应验证其重心是否与设计图纸一致。

7.6.2.3.2. 扩展出厂验收试验 (EFAT)

a. 一般要求

工厂扩展验收试验的适用内容要求。同时还需参照 GB/T 21412.1-2010/ISO

13628-1 :2005 附录 C C.4 子系统试验的内容要求。主要需要完成以下内容：

- (1) 完成 SCM 通讯与阀门控制操作联合测试；
- (2) 完成 SCM 内部与外部传感器联合测试；
- (3) 完成 SCM 连锁及因果关断联合测试。

系统完整性试验主要测试水下控制系统与其他功能模块之间的配合试验，如相配套的下放/安装工具、后期安装时的工具的接口试验，本身的安装/就位模拟试验等，与其他相关系统（如 ROV）的界面合理性、联合功能测试、性能测试等。

所有 ROV 工具应在水下控制系统的 ROV 界面上进行上测试，ROV 及其机械臂与安装工具邻近结构、管路无碰撞，并能实现其预定功能。

针对水下控制系统的控制信号传递进行测试，检验水下控制系统控制的功能。

b. 水下控制系统及设备测试特殊要求

对于水下控制系统设备，如水下分配单元（SDH）、脐带缆终端（UTH）等的分配管汇部分的性能测试，依据水下管汇的性能和功能进行测试。

小管径（Tubing 管）的连续性及冲洗测试

- (1) 测试所有的仪表控制管线的通达性、通畅性，验证管线回路的通畅性；
- (2) 试验完毕后，用指定的水基液压油进行冲洗，达到要求的清洁度等级。

c. 电力、液压、信号分配单元测试

- (1) 测试分配箱与其基座的界面适当，可能无障碍的安装与回收；
- (2) 测试分配单元的功能实现；
- (3) 测试分配单元的信号返回功能。

d. 液压、电飞线与相应分配单元的连接测试

- (1) 测试相应飞线与分配单元的连接、断开和放置于临时插槽上功能；
- (2) 测试相应飞与分配单元连接、断开和放置于临时插槽上时，是否出现碰撞和障碍，甚至缠绕。

e. 水下控制系统的 EFAT 应特别注意下列测试：

- (1) MCS 与 PCS 系统的模拟通讯测试；
- (2) MCS 与 ESD 系统的模拟关断测试；
- (3) MCS 与 SCM 之间的脐带缆模拟器的通讯测试。

7.6.2.3.3. 系统完整性试验（SIT）

a. 一般要求

系统完整性试验主要测试水下控制系统与其他功能模块之间的配合试验，如相配套

的下放/安装工具、后期安装时的工具的接口试验，本身的安装/就位模拟试验等，与其他相关系统（如 ROV）的介面合理性、联合功能测试、性能测试等。

所有 ROV 工具应在水下控制系统的 ROV 介面上进行上测试，ROV 及其机械臂与安装工具邻近结构、管路无碰撞，并能实现其预定功能。

针对水下控制系统的控制信号传递进行测试，检验水下控制系统控制的功能。

b. ROV 停靠及可接近性试验

试验目的：该测试可用与水下机器人一样尺寸的模型进行模拟试验，目的是为了检查水下机器人能在水下顺利固定在设备上；所有水下机器人固定梁的都应进行该试验

吊重测试：依据技术规格书的要求，进行吊点（如吊耳）的尺寸检验，海上 ROV 释放功能要求测试。

c. ROV 操作阀的测试

该试验的目的是确认 ROV 扭力扳手能顺利操作；

试验时可用扭力扳手模型插入阀的工具口，然后确认能顺利插入和拔出。

ROV 开关保护结构：如果有开口保护，则应测试 ROV 打开和关闭、锁紧保护结构。

d. ROV 开关保护结构

如果有开口保护，则应测试 ROV 打开和关闭、锁紧保护结构。

7.6.2.3.4. 虚实融合测试

(1) 虚实融合测试对象

针对水下控制系统的控制设备、SEM 及电路板 PCBA 等关键部件进行虚实融合测试。

(2) 一般要求

虚实融合仿真测试结果应形成正式报告，测试过程的原始数据、仿真曲线、故障记录等应完整留存，保存期限不少于产品设计寿命。相关虚实融合测试项详见第 7.6.3.1 章节。

(3) 测试报告要求

虚实融合仿真测试报告应内容完整、数据详实、结论明确，至少包括以下内容：

- 测试概述：包括测试目的、范围、依据（本规则、产品设计规格书、测试方案等）、测试时间、测试人员、设备信息；
- 测试准备情况：包括实体设备调试结果、数字模型标定验证结果；
- 测试方案执行：包括各测试项目的工况设置、故障注入方案、测试步骤及执行情况；
- 测试数据与分析：虚实数据及对比、性能指标分析；

- 不合格项整改：包括测试中发现的不合格项、原因分析、整改措施、复测结果；
- 测试结论：明确说明虚实融合测试是否通过；
- 附件：包括测试方案、配置参数、原始数据记录表、数据对比等。

7.6.3. 试验场所的要求

产品的试验应在具有 CMA 资质试验机构进行。

7.6.4. 编制试验报告

7.6.4.1. 通用要求

检查组向本机构提交试验工作报告，给出结论。

试验项目应符合本规则中 7.6.2 的要求，当所有试验项目全部符合产品的认证依据标准要求时，则判定合格。

如试验失败，允许申请方在规定期限内完成整改（自试验不合格通知之日起计算）。按照认证依据要求，重新对整改后的样品进行试验。未能按期完成整改，视为申请方放弃申请。

7.6.5. 试验设备要求

7.6.5.1. 一般规定

用于检查、试验或考核材料或其他装置的仪器设备，应按照制造商规定的周期溯源到国家或国际认可的基准，并予以识别、控制、校准和调整，以保持符合本测试认证规范要求的准确度。

7.6.5.2. 压力测量仪表的类型和准确度

压力测量仪表至少应准确到满量程的 $\pm 0.5\%$ 。

7.6.5.3. 压力试验记录

所有的静水压试验宜采用图形记录仪。该记录应标明记录装置、日期和签名。

气压试验记录应书面规定试验参数和验收准则。

如果图形记录仪没有按照本章节要求的压力测量仪表进行校准，则应并使用已校准的压力测量仪表，且压力测量仪表每次保压期开始和结束的读数应写在记录图表上。

7.7. 工厂审查

7.7.1 文件审查

制造厂生产和检验用的主要文件，如产品标准和工艺规程（包括检验、试验规定）或产品图纸和技术文件、产品验收技术条件或验收准则应满足规范、标准和/或适用要求。

7.7.2 工厂质保能力审查

7.7.2.1 一般规定

按中国深远海海洋工程装备技术产业联盟《“海工联盟会标”认证实施通用规则》的规定执行。

制造商应具备质量控制体系，包含由具备能力的人员参与并具备明确的责任，以涵盖质量控制的各个方面。

材料在制造和施工的各个阶段都应可识别。

制造和施工应符合经批准的图纸和规范。规范的编制应参考与相关结构相关的公认规范、标准或规则。

结构设计分析中规定的尺寸公差应在制造和施工过程中遵守。

所有缺陷和不足都应在结构部件和设备被涂漆、涂层或使其不可接近之前予以纠正。

7.7.2.2 主要质量控制点

(1) 材料检验：

对采购的原材料（如钢材、铝合金等）进行质量检验，检查质量证明文件，确保材料符合设计要求和相关标准。

进行必要的复验，以确保材料性能的稳定性和可靠性。

(2) 零部件检验：

对关键零部件（如液压系统组件、控制系统元件、腔体等）进行性能测试和功能验证。

确保零部件的质量和性能满足设计要求，具有足够的耐用性和可靠性。对 SCM、SEM、HPU 等核心实体设备进行进厂验收测试；其他元器件的合格证、出厂试验报告的审核。

(3) 焊接质量控制：

对焊接质量进行严格检查，包括焊缝外观、尺寸和内部质量的检查。采用无损检测技术对焊缝进行抽检或全检，确保焊接质量符合规范要求。

(4) 装配及安装质量控制：

在装配过程中，对零部件的安装位置、紧固情况、运动灵活性等进行检查。玻璃-金属或陶瓷-金属密封件的绝缘电阻与耐压密封性是单点失效风险源，需逐件进行测试。确保各部件之间的配合间隙、相对位置等符合设计要求，实现精确的装配和定位。

液压与电气同步控制：液压动力单元(HPU)的供油压力与 SCM 内的先导阀响应时间需精确匹配。制造过程中需通过 HIL（硬件在环）测试，模拟水下阀门动作的延迟与反馈。

冗余切换测试：水下控制系统通常要求高可用性（>99%），制造阶段需强制触发主备切换（如主通信链路中断、主控制器故障），验证系统能否在 500ms 内无感切换。

(5) 控制软件质量控制:

测试用例的评审、测试中发现问题的整改及整改后的重新测试,软件版本的控制及释放。

7.7.3 产品一致性检查

工厂审查时,应在生产现场对申请认证的同一型号产品进行一致性检查,以确认制造厂生产同一型号产品的工艺、设备、主要原材料和关键零部件、过程控制及性能指标等与型式试验抽取的样品保持一致。若认证涉及多系列产品,则每系列产品应至少抽取一个型号做一致性检查。重点核实以下内容:

- a. 认证产品的标志和/或包装箱上所标明的产品名称、规格型号与初次试验报告(对应本规则 7.6.3.1 初次认证试验项目的报告)上所标明的一致;
- b. 认证产品的结构及参数应与初次试验报告上所标明的一致;
- c. 主要原材料和关键零部件(详见本规则第 8 条款的要求)满足产品要求一致性能力的验证。主要原材料和关键零部件变更或其供应商变更,应在实施前向本机构申报并获得批准后方可执行。

7.7.4 编制工厂审查报告

检查组向本机构提交工厂审查报告,给出结论。

如果整个审查过程中未发现不符合项,则审查结论为合格。

如果发现不符合项,不危及到认证产品符合认证依据的标准时,工厂应在规定的时间内采取纠正措施,报检查组确认其措施有效后,则审查结论为合格。

如果发现不符合项,危及到认证产品符合认证依据的标准,或工厂生产和质量保证能力不具备生产满足认证要求的产品时,则可终止审查,申请方 3 个月后方可重新申请认证。

7.8. 制造检验

7.8.1. 一般要求

当认证模式中包含“制造检验”时,工厂审核应按批准的质量体系和图纸资料进行。单个部件和设备应满足各自产品的相关要求并应通过出厂验收试验和系统完整性试验的验证。

应在制造现场全面执行验收程序以保证部件按相关要求制造并满足系统的性能要求。

7.8.2. 审查前准备

对于首次制造水下控制系统的制造厂,现场检查员应对制造厂的生产能力,包括生

产场所、设施及制造厂的质量保证体系、施工人员的总体资质、分包方等各方面进行评估确认。

开工前，现场检查员应对制造厂开工制造及其检验的有关准备情况进行检查和确认，如：建造准备工作计划、施工/焊接工艺、测试用例及测试大纲、软件编写及检测人员的资质、焊工/无损检测人员资质、产品持证要求清单、焊接规格表、无损检测图、检验/试验项目表、有效检测设备清单、有关制造用材料、制造公差标准、分包方情况（适用时）以及开工前必需的图纸文件等技术资料等。

现场检查员应审阅已批准的图纸资料、试验大纲（程序）和审图意见并审批现场的施工图纸、施工工艺以确认施工的图纸、施工工艺符合已批准的图纸资料和相关规范要求并按已批准的图纸资料、试验大纲（程序）、工艺进行检验。

7.8.3. 审查要求

现场检查员在进行具体产品审核时，应了解整个海洋油气水下控制系统/设备的工作原理，弄清所检产品在系统中所起的作用，掌握设备规格书的具体要求。

现场检查员应依据已批准的图纸和设备规格书对产品进行检验。

制造检验包括制造期间的检验及出厂前的检验和试验。

制造检验包括但不限于下列项目的检验：

- (1) 确认检验、试验计划；
- (2) 确认焊工资质或对焊工资质进行评定；
- (3) 检查焊接工艺规程和相应的焊接工艺评定记录；
- (4) 检查材料的证书或文件；
- (5) 见证焊缝的无损检验和审查无损检验记录，关注工艺管线与结构件的不同要求；
- (6) 检查焊后热处理记录，特别是具有酸性介质的压力管线应满足相关标准的要求；
- (7) 检查设备、各组件和部件的安装、尺寸等关键参数与批准的图纸及相关标准一致；
- (8) 检查设备防腐作业达到预定要求，关注工艺管线与结构件的不同要求；
- (9) 检查设备上的控制、监控和仪表与批准的图纸相一致；
- (10) 依照批准的试验大纲（程序），进行试验检验；
- (11) 按照检验、试验计划，确认检验项目按计划完成；
- (12) 检查各方预先达成一致的其它项目。

7.8.4. 对关键人员审核要求

(1) 测试及编程人员

测试人员能制定并执行水下控制系统软硬件的测试策略，包括单元测试、集成测试、工厂验收测试、系统完整性试验及现场测试，确保系统功能、性能、可靠性及安全性符合设计要求。精通软件测试生命周期、测试用例设计方法、缺陷管理流程。熟悉至少一种自动化测试框架或工具。熟练使用信号发生器、示波器、万用表、数据记录仪等工业测试仪器。

编程人员应熟悉水下生产控制系统（包括主控站 MCS、水下控制模块 SCM、传感器、执行机构等）的软件设计、编码、集成与调试。精通至少一种适用于工业实时控制系统的编程语言，深入掌握至少一种水下控制常用通信协议。了解或熟悉水下专用协议（如基于 IEC 61850 的 SEABUS），熟悉闭环控制、PID 调节、状态机、安全联锁逻辑设计。了解或熟悉海洋工程相关标准，如 ISO 13628 系列、ISO 13628-6、DNV GL 相关规范。

出色的逻辑分析能力和严谨的工程思维。强烈的质量意识和安全意识，理解软件缺陷在深海高危环境中的严重后果。

(2) 焊接检验人员

目视检验焊接作业和完工焊缝的人员，应取得下列资格和证书：

- AWS 认证的焊接检验员；或
- AWS 认证的高级焊接检验员；或
- AWS 认证的助理焊接检验员；或
- 按制造商形成文件的培训计划认证的焊接检验员。

(3) 其它人员

所有进行其它直接影响材料和产品质量的质量控制活动人员，应按照制造商形成文件的要求进行资格鉴定。

7.9. 复核与认证决定

本机构复核和认证决定人员对认证的各个环节进行评价，以确定是否批准认证并颁发相应认证模式的认证证书。批准认证的条件如下：

- (1) 检查组提交的资料完整且评审报告的结论为推荐颁发证书；
- (2) 检查发现的不符合已整改验证合格；
- (3) 认证决定人员评定检查组资料为合格；
- (4) 该类产品在生产、使用过程中未发生重大安全、质量、环保风险责任；
- (5) 认证证书及认证标志的使用满足本机构的要求（适用于再认证）；

(6) 申请方已交纳了有关认证费用。

8. 主要原材料和关键零部件清单及质量要求

8.1. 取证检验要求

水下控制系统的主要原材料及关键部件按 A、B、C 三类进行取证检验。其原则是 A、B 类部件应具有本机构证书或本机构可接受的证书，C 类只需工厂证书。

水下控制系统重要部件质量检验要求

序号	设备名称	检验类别		
		A	B	C
1	水上液压动力单元		x	
2	水下控制舱(SCM,SEM)		x	
3	水下分配单元(电、液)	x		
4	电、液、信号飞线及接头		x	
5	蓄能器/装置		x	
6	液压动力泵/循环泵		x	
7	控制、监测仪表		x	
8	控制柜、控制显示屏		x	
9	控制用电脑或综合计算机			x
10	其他控制相关设备			x

8.1.1. A 类设备取证要求

- ① 设计文件应经过本社审查批准；
- ② 开工前，有关建造文件应经本机构审查批准；
- ③ 责任方和本机构派代表参加开工会；
- ④ 制造过程中，应根据质量保证计划报检；
- ⑤ 性能、功能试验、压力试验和负荷试验应报检；
- ⑥ 本机构应审核设备制造记录。

8.1.2. B 类设备取证要求

- ① 与安全有关的设计资料应经过本机构审查批准；
- ② 性能、功能试验、压力试验和负荷试验应报检；
- ③ 本机构应审核设备制造记录。

对于 A、B 类设备，本机构应审核制造厂的质量管理体系及其质量保证/质量控制(QA/QC)系统，开工前应审核制造厂的质量计划，并确定质量控制点和检验活动类别。

8.1.3. C 类设备工厂证书要求

与安全有关的，本机构接受制造厂提供产品证书的设备。工厂应根据公认的标准、规范，按公认的制造方法进行制造，如果采用非公认的标准、规范，则相关文件、计算和分析报告应由本机构进行设计审查。

8.1.4. 认证前已取得其他机构颁发的证书的关键部件，应将其他机构的认证报告及其他资料提交本机构，本机构对提交的资料进行评估后，提出的评审要求，补充完成相应的设计评审和试验。

8.2. 原材料及主要部件质量要求

序号	名称	质量要求
1	可编程控制器 (PLC)	合格证、产品质量证明、入厂测试报告
2	工控机	合格证、产品质量证明
3	交换机	合格证、产品质量证明、入厂测试报告
4	电压互感器	合格证、产品质量证明
5	电流互感器	合格证、产品质量证明
6	24V开关电源	合格证、产品质量证明、入厂测试报告
7	变压器 (隔离、升压)	合格证、产品质量证明、型式试验报告
8	绝缘检测仪	合格证、产品质量证明、入厂测试报告
9	数字电能表	合格证、产品质量证明

注：如果上述主要原材料和关键零部件存在多个制造商，均应按上述要求逐一列出。

9. 认证证书

产品认证证书要素至少包含：委托人名称、地址；产品名称、型号、规格，需要时对产品功能、特征的描述；制造商名称、地址；产品生产厂名称、地址；认证依据的标准、技术要求；认证模式；证书编号；发证机构、发证日期和有效期；其他需要说明的内容。

9.1. 认证证书的有效性

单件/单批产品认证证书仅对单件/特定批次的产品有效。

9.2. 认证证书的保持、变更、换新、暂停、撤销及认证范围的扩大和缩小

按本机构通用规则条款 9.2 的相关规定执行。

10. 认证标志的使用

产品认证标志的使用应符合本机构通用规则条款 10 的相关要求，认证标志样式见本规则条款 5.2。

11. 认证时限

11.1. 设计评估

一般情况下，每个单元 40~80 人天。对于其他特殊情况，双方协商解决。

11.2. 试验

一般情况下，各试验人天数如下：

- (1) 出厂验收试验 (FAT)，每个单元 3~10 天
- (2) 扩展出厂验收试验 (EFAT)，每个单元 5~15 天
- (3) 系统完整性试验 (SIT)，每个单元 10~15 天
- (4) 虚实融合测试，每个单元 3~5 天

11.3. 工厂审查

工厂审查包含办公室文审、现场审查等。

根据认证单元进行工厂审查，一般每个认证单元初次工厂审查为 6~8 人天。

如单次工厂审查涉及多个认证单元，可按以下方式核算：

- 1) 2 个认证单元：工厂审查人天数=1 个认证单元人天数 $\times 2 \times 0.8$ ；
- 2) 3 个认证单元：工厂审查人天数=1 个认证单元人天数 $\times 3 \times 0.6$ ；
- 3) 4 个及以上认证单元 (N：认证单元数)：工厂审查人天数=1 个认证单元人天数 $\times N \times 0.5$ 。

对于其他特殊情况，双方协商解决。

11.4. 制造检验

一般情况下，每个单元 5~8 人天。

12. 认证收费

认证费用按本机构产品认证计费规定收取。