

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY

P

SY/ T 4091—95

滩海石油工程防腐蚀技术规范

Technical specification of anticorrosion for petroleum
engineering in beach-shallow sea

1995-12-18 发布

1996-06-01 实施

中国石油天然气总公司 发布

中华人民共和国石油天然气行业标准

滩海石油工程防腐蚀技术规范

Technical specification of anticorrosion for petroleum
engineering in beach-shallow sea

SY/T 4091—95

主编单位：辽河石油勘探局勘察设计研究院
批准部门：中国石油天然气总公司

石油工业出版社

1995 北京

中国石油天然气总公司文件

(95) 中油技监字第 731 号

关于批准发布《钢质管道及储罐腐蚀与 防护调查方法标准》等二十六项石油天然气 行业标准的通知

各有关单位:

《钢质管道及储罐腐蚀与防护调查方法标准》等二十六项石油天然气行业标准(草案),业经审查通过,现批准为石油天然气行业标准,予以发布。各项标准的编号、名称如下:

- | | | |
|---|----------------|-----------------------------------|
| 1 | SY/T 0087—95 | 钢质管道及储罐腐蚀与防护调查方法标准 |
| 2 | SY/T 0545—1995 | 原油析蜡热特性参数的测定 差示扫描量热法 |
| 3 | SY/T 4013—95 | 埋地钢质管道聚乙烯防腐层技术标准(代替 SYJ 4013—87) |
| 4 | SY/T 4041—95 | 油田专用湿蒸汽发生器安装及验收规范(代替 SYJ 4041—89) |
| 5 | SY/T 4084—95 | 滩海环境条件与荷载技术规范 |
| 6 | SY/T 4085—95 | 滩海油田油气集输技术规范 |

7	SY/T 4086—95	滩海结构物上管网设计与施工技术 规范
8	SY/T 4087—95	滩海石油工程通风空调技术规范
9	SY/T 4088—95	滩海石油工程给水排水技术规范
10	SY/T 4089—95	滩海石油工程电气技术规范
11	SY/T 4090—95	滩海石油工程发电设施技术规范
12	SY/T 4091—95	滩海石油工程防腐蚀技术规范
13	SY/T 4092—95	滩海石油工程保温技术规范
14	SY/T 4093—95	滩海石油设施上起重机选用与安 装技术规范
15	SY/T 4094—95	浅海钢质固定平台结构与建造 技术规范
16	SY/T 4095—95	浅海钢质移动平台结构与建造 技术规范
17	SY/T 4096—95	滩海油田井口保护装置技术规范
18	SY/T 4097—95	滩海斜坡式砂石人工岛结构与 施工技术规范
19	SY/T 4098—95	滩海环壁式钢模—混凝土人工岛 结构与施工技术规范
20	SY/T 4099—95	滩海海堤设计与施工技术规范
21	SY/T 4100—95	滩海工程测量技术规范
22	SY/T 4101—95	滩海岩土工程勘察技术规范
23	SY/T 4102—95	阀门的检查与安装规范
24	SY/T 4103—1995	钢质管道焊接及验收
25	SY 4104—95	石油建设工程质量检验评定标准 管道穿跨越工程
26	SY/T 0088—95	钢制储罐罐底外壁阴极保护技术 标准

以上标准自 1996 年 6 月 1 日起施行。

中国石油天然气总公司
1995 年 12 月 18 日

目 次

1 总则	(1)
2 一般规定	(3)
3 表面处理	(5)
3.1 一般要求	(5)
3.2 表面处理	(6)
3.3 表面处理后的保护	(7)
4 覆盖层保护	(8)
4.1 一般要求	(8)
4.2 涂层保护	(8)
4.3 喷涂金属层保护	(16)
4.4 镀层保护	(18)
4.5 包覆层保护	(18)
5 阴极保护	(20)
5.1 一般要求	(20)
5.2 牺牲阳极保护	(22)
5.3 外加电流保护	(25)
附录 A 涂膜耐蚀评级标准	(32)
附录 B 常用辅助阳极的材料性能和阳极体几何形状	(33)
附录 C 本规范用词说明	(34)
附加说明	(35)
附件 滩海石油工程防腐蚀技术规范 条文说明	(36)

I 总 则

1.0.1 为使滩海石油工程钢质结构、管道、油气生产设施的防腐设计和施工规范化，做到安全可靠，技术先进，经济实用，保护环境，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于滩海石油工程钢质结构、管道及油气生产设施外表面的防腐设计、施工及验收。

1.0.3 滩海石油工程钢质结构、管道、油气生产设施内表面的防腐设计和施工可参照《钢质管道内腐蚀控制标准》和《钢质容器防腐和保温工程施工及验收规范》执行；滩海石油工程钢筋混凝土结构的防腐设计和施工可参照《海港钢筋混凝土结构防腐规范》执行。

1.0.4 引用标准：

GB 1740—79 漆膜耐湿热测定法

GB 1764—79 漆膜厚度测定法

GB/T 1766—95 色漆和清漆 涂层老化的评级方法

GB 1767—79 漆膜耐候性测定法

GB/T 1771—91 色漆和清漆 耐中性盐雾性能的测定

GB 1865—80 漆膜老化（人工加速）测定法

GB/T 4948—85 铝—锌—铜系合金牺牲阳极

GB/T 4949—85 铝—锌—铜系合金牺牲阳极化学分析方法

GB/T 4950—85 锌—铝—镉合金牺牲阳极

GB/T 4951—85 锌—铝—镉合金牺牲阳极化学分析方法

GB/T 7387—87 船用参比电极技术条件

GB/T 7788—87 船舶及海洋工程阳极屏涂料通用技术条件

GB/T 8923—88 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级
 GB 9793—88 热喷涂锌及锌合金涂层
 GB 9794—88 热喷涂锌及锌合金涂层试验方法
 GB 9795—88 热喷涂铝及铝合金涂层
 GB 9796—88 热喷涂铝及铝合金涂层试验方法
 GB 11373—89 热喷涂金属件表面预处理通则
 GB 11375—89 热喷涂操作安全
 SYJ 7—84 钢质管道及储罐防腐蚀工程设计规范
 SYJ 19—86 镁合金牺牲阳极应用技术标准
 SYJ 20—86 锌合金牺牲阳极应用技术标准
 SYJ 36—89 埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范
 SYJ 43—89 油气田地面管线和设备涂色规定
 SY 0063—92 管道防腐层检漏试验方法
 SY/T 0078—93 钢质管道内腐蚀控制标准
 SY/T 0079—93 埋地钢质管道煤焦油瓷漆外覆盖层技术标准
 SYJ 4007—86 涂装前钢材表面处理规范
 SYJ 4047—90 埋地钢质管道环氧煤沥青防腐层施工及验收规范
 SY/T 4059—93 钢质容器防腐和保温工程施工及验收规范
 SY/T 4806—92 海上固定平台直升机场规划、设计和建造的推荐作法
 JTJ 228—87 海港钢筋混凝土结构防腐蚀规范
1.0.5 滩海石油工程防腐蚀设计、施工及验收除应执行本规范外，尚应符合国家现行有关标准（规范）的规定。

2 一般规定

2.0.1 防腐蚀设计

2.0.1.1 滩海石油工程防腐蚀设计必须由具有防腐蚀设计资质的设计单位完成，并应符合国家有关法规、标准（规范）的规定。

2.0.1.2 对大气区、飞溅区、全浸区及滩涂区的钢质结构、管道、油气生产设施的外表面应分别进行防腐蚀设计。采用的防腐蚀措施应能满足使用要求，并与保温等其他措施相配合。

2.0.1.3 大气区的防腐蚀应采用涂层保护或喷涂金属层保护，结构形状复杂时，可采用镀层保护。

2.0.1.4 飞溅区的防腐蚀应采用涂层保护、喷涂金属层保护或镀层保护，必要时可采用包覆有机复合层、树脂砂浆、混凝土或合金等防腐蚀措施加强保护。

2.0.1.5 全浸区的防腐蚀应采用阴极保护与涂层联合保护或单独采用阴极保护。当单独采用阴极保护时，应考虑施工期的防腐蚀措施。

2.0.1.6 滩涂区的防腐蚀应采用阴极保护与涂层联合保护。

2.0.2 防腐蚀施工

2.0.2.1 滩海石油工程各种钢质结构、管道、油气生产设施的防腐蚀施工应由具有防腐蚀施工资质的施工单位完成。

2.0.2.2 防腐蚀工程所用设备、材料必须经过实际应用或有关试验论证，并具备出厂质量合格证书或质量检验报告，必要时应进行质量复验。

2.0.2.3 防腐蚀施工质量检查应由熟悉有关标准（规范）的检验员进行。

2.0.2.4 防腐蚀施工应有安全防范措施。

2.0.3 防腐蚀工程验收

2.0.3.1 防腐蚀工程未经交工验收，不得交付生产使用。

2.0.3.2 防腐蚀工程交工资料应准确、齐全。

2.0.3.3 施工质量不符合设计和本规范的要求时，应进行返修，达到要求后方可验收。返修记录一并放入交工验收文件中。

2.0.4 防腐蚀对结构设计的要求

2.0.4.1 应减少大气区需涂覆的钢表面面积，结构设计应易于防腐蚀施工。

2.0.4.2 应减少在飞溅区钢的表面积，在飞溅区不宜采用“T”型、“K”型或“Y”型交叉连接方式，并应避免焊接接头。

2.0.4.3 全浸区的结构设计应有利于防腐蚀措施的实施。

2.0.4.4 金属构件组合时宜采用连续焊接。

3 表面处理

3.1 一般要求

- 3.1.1 各种钢质结构、管道、油气生产设施实施覆盖层保护前必须进行表面处理，当表面处理达到要求指标时方可进行覆盖层施工。
- 3.1.2 钢材表面喷射或抛射除锈（Sa）、手工和动力工具除锈（St）、火焰除锈（Fl）的除锈质量要求应符合《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》的规定。化学除锈（Be）的除锈质量要求为：钢材表面应无可见的油脂和油垢，酸洗未尽的氧化皮、铁锈和油漆涂层的个别残留点允许用手工或机械方法除去，但最终该表面应显露金属原貌，无再度锈蚀。
- 3.1.3 喷（抛）射除锈质量等级所达到的表面粗糙度应满足设计要求。
- 3.1.4 重要工程的主要钢结构、油气生产设施等的表面处理不宜采用转化型、稳定型和渗透型的化学处理剂。
- 3.1.5 关键的、检修较困难的及受腐蚀较强的钢结构、管道、油气生产设施，其表面处理等级可按实际情况提高一级。不同涂料表面处理的最低等级要求应符合表 3.1.5 的规定。

不同涂料表面处理的最低等级 表 3.1.5

涂料品种		表面处理最低等级	
		喷射或抛射除锈	手工和动力工具除锈
非 油 性 漆	无机富锌漆	Sa2 ^{1/2}	不允许
	醇酸树脂漆、环氧沥青漆	Sa2	St3
	醇酸树脂漆		St2
	其他漆类		不允许
	油性漆	Sa2	St2

3.1.6 喷涂金属层的表面处理最低等级应为 Sa2_{1/2}，表面粗糙度应不小于 60μm。

3.1.7 表面处理过程应设有安全防护措施，并应注意环境保护。

3.2 表 面 处 理

3.2.1 表面清洗

3.2.1.1 钢材表面除锈前，应根据污染物的性质、污染程度和除锈对象的形状及大小，采用相应的表面清洗方法。

3.2.1.2 表面清洗前钢材表面暴露的焊渣、毛刺和焊接飞溅物等应清除干净。

3.2.1.3 表面清洗应除掉钢材表面上所有可见的油、油脂、灰土、润滑剂和其他可溶污物。

3.2.1.4 表面清洗的方法及要求应符合《涂装前钢材表面处理规范》的规定。各种清洗方法的适用范围见表 3.2.1。

各种清洗方法的适用范围		
清洗方法	适用范围	注意事项
溶剂（如工业汽油、溶剂汽油、过氯乙烯、三氯乙烯等）清洗	除油、油脂、可溶污物和可溶涂层	若需保留旧涂层，应使用对该涂层无损的溶剂，溶剂和抹布应经常更换
碱液洗涤剂清洗	除掉可皂化的涂层、油、油脂和污物	清洗后要充分冲洗，并做钝化处理
乳剂清洗	除油、油脂和其他污物	清洗后应将残留物从钢表面冲洗干净
蒸汽除油，必要时可加溶剂如三氯乙烯、二氯甲烷等	除油、油脂和其他污物，当压力和温度足够时也可除去涂层	清洗时旧涂层可被侵蚀或破坏，清洗后应将残留物从表面上冲洗干净

注：清洗时应特别注意彻底清理缝隙及铆钉部位。

3.2.2 表面除锈

3.2.2.1 工具除锈、喷（抛）射除锈，酸洗应符合《涂装前钢材表面处理规范》的规定。

3.2.2.2 表面除锈宜采用干式喷（抛）射除锈。干式喷射装置所用压缩空气应干燥、清洁，不得含有水分和油污。压缩空气清洁度检查方法为：把白布或白漆板置于压缩气气流中一分钟，其表面用肉眼观察应无油、水等污染。

当钢材表面温度低于露点以上 3℃ 或相对湿度大于 85% 时，不得进行喷射除锈。

3.2.2.3 化学处理的各道工序应连续进行，不得中途停顿。经钝化处理后的金属表面应立即干燥。

3.3 表面处理后的保护

3.3.1 处理后的钢材表面应及时（不宜超过 6h）涂刷一层底漆。

3.3.2 钢材表面温度应比露点温度高 3℃ 以上，否则必须采取措施。

3.3.3 处理后的钢材表面再度受污染时，应重新处理。

4 覆盖层保护

4.1 一般要求

- 4.1.1 覆盖层可采用涂层、包覆层、喷涂金属层和镀层。
- 4.1.2 覆盖层类型、相应的钢材表面处理等级和施工方法应根据钢质结构、管道、油气生产设施的设计使用年限、环境介质、施工条件、工期和经济等因素综合分析确定。
- 4.1.3 覆盖层材料应具有良好的附着力、耐蚀性、抗冲击性和抗温度变化的能力。材料性能应通过检验，并具有法定检验机构提供的检验报告。供货方应提供产品说明书、出厂合格证等技术资料。

4.2 涂层保护

4.2.1 涂料的选择

4.2.1.1 选择涂料时应根据环境条件、涂料性能、使用年限、施工和维护的可能以及技术经济评价等因素确定，应采用长效防腐蚀涂料，涂料的底漆、中间层漆和面漆应相互配套。

4.2.1.2 大气区应采用耐候性好的涂料。涂层经过一年以上的耐候性试验（按《漆膜耐候性测定法》测定）综合评定等级（按《色漆和清漆 涂层老化的评级方法》评定）应为Ⅰ级以上。

4.2.1.3 飞溅区用涂料，当涂层设计使用年限要求在10a以上时，应采用重防蚀涂层系统，一般应采用无溶剂厚浆型涂料和高固体份涂料，也可采用涂料与玻璃布的复合层。选用的涂料应符合下列要求：

- (1) 耐盐雾 4000h（按《色漆和清漆 耐中性盐雾性能的测定》测定）；
- (2) 耐老化 2000h（按《漆膜老化（人工加速）测定法》

测定)；

(3) 耐湿热 4000h(按《漆膜耐湿热测定法》测定)。

经盐雾、老化、湿热试验后，涂层耐蚀等级应达到本规范附录 A“涂膜耐蚀评级标准”的 1 级或 2 级。

涂层同时应具有良好的抗冲击、抗磨损能力，并能适应干湿交替变化。

4.2.1.4 全浸区、滩涂区采用的涂料应能与阴极保护配套，具有较好的抗阴极剥离能力和耐碱性能。涂层耐阴极保护性能应达到下列要求：

在涂装试样相对于 Cu/CuSO_4 参比电极的电位不负于 -1.10V 时，涂层应不起泡、不脱落。

4.2.1.5 全浸区可采用防污漆。

4.2.1.6 当有特殊保护要求时，涂料应能适应相应的使用条件。

4.2.2 涂层保护设计

4.2.2.1 大气区的涂层系统可按表 4.2.2-1 选用。

4.2.2.2 飞溅区的涂层系统可按表 4.2.2-2 选用。

4.2.2.3 全浸区的涂层系统可按表 4.2.2-3 选用。

4.2.2.4 海底管道和立管的涂层可按表 4.2.2-4 选用。滩涂区的管道涂层可参照表 4.2.2-4 中全浸区的涂层选用，也可参照《埋地钢质管道煤焦油瓷漆外覆盖层技术标准》和《钢质管道及储罐防腐蚀工程设计规范》选用。

4.2.2.5 使用温度在 90°C 以上的设备和管道应采用耐高温涂层，也可采用其他覆盖层，如喷镀、瓷釉或陶瓷涂层。

4.2.2.6 钢质结构的表面涂层颜色可参照表 4.2.2-5 选用；平台上的管道、设备及油气生产设施的表面涂层颜色可按《油气田地面管线和设备涂色规定》执行。

大气区涂层系统

表 4.2.2-1

设计使用 年限 (a)	配 套 涂 料 名 称			涂层厚度 (μm)	
				(1)	(2)
10~20	底 层		富锌漆 (无机或有机富锌漆)	40	75
	面 层	I II III IV	氯化橡胶漆 聚氨酯漆 丙烯酸树脂漆 乙烯树脂漆	280	250
	底 层		富锌漆(无机或有机富锌漆)	40	
5~10	面 层	I II III	氯化橡胶漆 聚氨酯漆 乙烯树脂漆	100	
	同品 种底 面层 配套	第一类 I II III	橡胶树脂漆(氯化橡胶漆或 氯磺化聚乙烯漆) 乙烯树脂漆 丙烯酸树脂漆	180~220	
		第二类 I II III IV	油性漆 醇酸树脂漆 醇酸树脂漆 环氧树脂漆	190~230	
		第三类	聚氨酯漆	220~240	
		第四类	环氧树脂漆	240~260	
	同品 种底 面层 配套	I II III IV	油性漆 醇酸树脂漆 醇酸树脂漆 环氧树脂漆	170~190	
<5	其他			200	

注:表列 I、II……配套涂料及涂层厚度 (1)、(2) 可任选其中一种。

飞艇区涂层系统

表 4.2.2-2

设计使用年限 (a)	配套涂料名称			涂层厚度 (μm)	
				(1)	(2)
10~20	第一类	底 层	富锌漆(无机或有机富锌漆)	40	75
		中间层	I 环氧树脂漆	310	270
			II 聚氨酯漆		
		面 层	I 氯化橡胶漆	130	130
			II 乙烯树脂漆		
			III 丙烯酸树脂漆		
	第二类	底 层	I 环氧树脂漆	375	
			II 聚氨酯漆		
			III 氯化橡胶漆		
		面 层	I 乙烯树脂漆	65	
			II 丙烯酸树脂漆		
			III 丙烯酸树脂漆		
	第三类	同品种底面层配套	I 环氧煤焦油沥青漆	450	
		II 聚氨酯煤焦油沥青漆			
5~10	第一类	底 层	富锌漆(无机或有机富锌漆)	40	75
		中间层	I 环氧树脂漆	180	135
			II 聚氨酯漆		
			III 氯化橡胶漆		
		面 层	I 氯化橡胶漆	65	65
			II 乙烯树脂漆		
			III 丙烯酸树脂漆		
	第二类	底 层	I 环氧树脂漆	230	
			II 聚氨酯漆		
			III 氯化橡胶漆		
		面 层	I 氯化橡胶漆	115	
			II 乙烯树脂漆		
			III 环氧树脂漆		
	第三类	同品种底面层配套	I 氯化橡胶漆	300	
			II 乙烯树脂漆		
			III 环氧煤焦油沥青漆		
		IV 聚氨酯煤焦油沥青漆		350	

续表 4.2.2-2

设计使用年限 (a)	配 套 涂 料 名 称				涂层厚度 (μm)	
					(1)	(2)
< 5	第一类	底 层	I	环氧树脂漆	165	
			II	聚氨酯漆		
		面 层	I	氯化橡胶漆	70	
			II	氯磺化聚乙烯树脂漆		
			III	乙烯树脂漆		
	第二类	同品种底面 层配套	I	环氧树脂漆	240	
		II	聚氨酯漆			

注:表列 I、II……配套涂料及涂层厚度 (1)、(2) 可任选其中一种。

全浸区涂层系统

表 4.2.2-3

设计使用年限 (a)	配 套 涂 料 名 称				涂层厚度 (μm)	
					(1)	(2)
10~20	第一类	底 层		富锌漆(无机或有机富锌漆)	40	75
		中间层	I	环氧树脂漆	310	270
			II	聚氨酯漆		
		面 层	I	氯化橡胶漆	120	130
			II	乙烯树脂漆 环氧树脂漆		
	第二类	同品种底 面层配套	I	环氧煤焦油沥青漆	450	
			II	聚氨酯煤焦油沥青漆		
		底 层		富锌漆(无机或有机富锌漆)	40	75
5~10	第一类	中间层	I	环氧树脂漆	175	185
			II	聚氨酯漆 氯化橡胶漆		
		面 层	I	氯化橡胶漆	60	65
			II	乙烯树脂漆 环氧树脂漆		
		第二类	同品种底 面层配套	I	氯化橡胶漆	300
				II	乙烯树脂漆	300
	III			环氧煤焦油沥青漆	350	
	IV			聚氨酯煤焦油沥青漆	350	

续表 4.2.2-3

设计使用年限 (a)	配套涂料名称			涂层厚度 (μm)	
				(1)	(2)
<5	同品种底 面漆配套	I	氯化橡胶漆	220	
		II	乙烯树脂漆	220	
		III	聚氨酯煤焦油沥青漆	230	
		IV	环氧煤焦油沥青漆	250	

注:表列 I、II……配套涂料及涂层厚度 (1)、(2) 可任选其中一种。

海底管道和立管的涂层系统 表 4.2.2-4

环境区域	涂层类型	涂层厚度(mm)
飞溅区	氯化橡胶	10~25
	镀锌合金包覆层	3~5
大气区	用在重锌层上的氯化橡胶、 环氧树脂和乙烯树 脂涂层系统见表 4.2.2-1	0.3~0.5
全浸区	煤焦沥青瓷漆*	4~5
	沥青瓷漆*	5~6
	沥青玛蹄脂*	15~20
	环氧树脂	0.3~0.5
	环氧煤焦沥青	0.5

注:打*号的涂料通常与混凝土加重层配合使用,以防止机械磨损。

海上平台结构表面涂层颜色 表 4.2.2-5

结构名称	颜色
结构件、杆、板、桁架	橙、灰或黑等
通风结构、甲板、地板	
桥 梁	银白

续表 4.2.2-5

结构名称	颜色
人行道和楼梯支架	黄
栏杆	镀锌,灰
围栏	镀锌,灰
组块内壁	灰白
组块天花板外面	浅绿
灭火和安全设备	红
有危险的障碍物	黄黑交替条纹
悬臂吊车构架、单轨梁、滑车	深灰或深绿,中间环为黄色
通信塔	顶部与底部为橙黄色中间为橙黄色与白色交替条纹,条纹为塔高的 1/7
直升飞机甲板	应符合《海上固定平台直升机场规划、设计和建造的推荐作法》的要求

4.2.3 涂装

4.2.3.1 涂装前应进行表面处理,表面处理等级及质量要求应符合本规范第3章的规定。

4.2.3.2 涂装方法应根据涂料的物理性能、施工条件、涂装要求和被涂表面的情况进行选择,可采用刷涂、滚涂和喷涂,也可按涂料厂家要求进行。

4.2.3.3 应严格控制涂装条件,在下列情况下不得进行涂装作业:

- (1) 处理过的钢材表面已重新锈蚀或沾污;
- (2) 钢材表面温度低于周围空气的露点以上 3℃ 或者空气的相对湿度高于 85%;
- (3) 钢材表面潮湿或者可能潮湿;
- (4) 涂装环氧类涂料时,涂装环境温度低于涂料技术说明书

规定的温度；

(5) 涂装作业应具备的条件不能完全保证。

4.2.4 质量检查

4.2.4.1 涂装前应对表面处理的质量进行检查，合格后方可涂装。

4.2.4.2 涂装前涂装设备、环境条件、涂料品种等应符合涂装技术条件。

4.2.4.3 涂装时，涂层道数和涂层厚度应符合设计要求，并及时测定湿膜厚度（可采用齿形、圆盘形或板状湿膜厚度计测定）。

4.2.4.4 涂装时如发现漏涂、流挂、皱纹、针孔、裂纹等缺陷应及时进行处理。每层涂装前应对上一道涂层进行检查，涂装间隔时间应符合设计要求。

4.2.4.5 当涂层结构中有加强材料时，加强材料与漆膜的结合性能应满足设计要求。

4.2.4.6 涂装后应进行涂层性能检查，内容包括：

(1) 外观目视检查：涂层应厚度均匀，表面应无漏涂、针孔、气泡、剥落和污染发生。

(2) 厚度检查：按《漆膜厚度测定法》的规定用磁性无损测厚仪检查干膜厚度，干膜厚度大于或等于设计厚度值者应占检测点总数的90%以上，其余检测点的干膜厚度也不应低于90%的设计厚度值，检测点数应满足设计要求。

(3) 漏点检查：按《管道防腐层检漏试验方法》的规定进行检查，以无漏点为合格，检测点数应符合设计要求。

(4) 附着力检查：对涂层的附着力有怀疑时应按《埋地钢质管道环氧煤沥青防腐层施工及验收规范》附录一中的检验方法进行检查。

(5) 涂层结构检查：可参照《埋地钢质管道煤焦油瓷漆外覆层技术标准》与附着力检查同时进行。涂层结构应满足设计要求。

4.2.4.7 涂装后的涂层质量达不到有关标准或设计要求时，应根据情况进行修补。因检查而损伤的涂层应及时进行补伤。

4.2.5 交工验收

4.2.5.1 交工验收应在规定的涂膜养护期后进行。

4.2.5.2 验收时应提交下列资料：

- (1) 原材料出厂合格证、代用材料技术文件和其他质量检验文件；
- (2) 原设计文件及设计变更文件；
- (3) 表面处理及涂装工程记录；
- (4) 修补和返工记录。

4.3 喷涂金属层保护

4.3.1 材料的选择

4.3.1.1 喷涂金属层一般和封闭涂层同时使用。

4.3.1.2 喷涂金属所用的材料一般为锌、铝及其合金。材料的性能指标应符合《热喷涂锌及锌合金涂层》和《热喷涂铝及铝合金涂层》的要求。

4.3.1.3 喷涂金属层类型的选择应考虑喷涂层的耐蚀性能、环境条件、施工条件、技术经济评价等因素。喷涂层的耐蚀性能、抗冲击性能等应经过有关试验论证。

4.3.2 喷涂金属层保护设计

4.3.2.1 大气区的喷涂金属层可按表 4.3.2-1 选用。

4.3.2.2 飞溅区、全浸区的喷涂金属层可按表 4.3.2-2 选用。

4.3.2.3 喷涂金属层的封闭处理及高温扩散处理应满足《热喷涂锌及锌合金涂层》和《热喷涂铝及铝合金涂层》的要求。

4.3.3 喷涂

4.3.3.1 喷涂前应进行表面处理。表面处理等级及质量要求应符合本规范第 3 章和《热喷涂金属件表面预处理通则》的规定。

4.3.3.2 喷涂方法可采用气喷涂法或电喷涂法。喷涂操作应符合《热喷涂锌及锌合金涂层》、《热喷涂铝及铝合金涂层》和《热

喷涂操作安全》的规定。

大气区喷涂金属层 表 4.3.2-1

设计使用年限 $T(a)$	喷涂金属层厚度 (μm)	封闭涂层厚度 (μm)
$T > 20$	锌 250	30~60
	铝 200	
$10 < T < 20$	锌 150	30~60
	铝 100	

注:表中喷锌、喷铝可任选一种。

飞溅区、全浸区喷涂金属层 表 4.3.2-2

设计使用年限 $T(a)$	喷涂金属层厚度 (μm)	封闭涂层厚度 (μm)
$T > 20$	锌 300	60~100
	铝 250	
$10 < T < 20$	锌 150	60~100
	铝 150	

注:表中喷锌、喷铝可任选一种。

4.3.3.3 喷涂金属后必要时应尽快进行封闭涂层的涂装作业。

4.3.4 质量检查

4.3.4.1 喷涂前应对表面处理的质量进行检查,合格后方可进行喷涂。

4.3.4.2 喷涂前应检查喷涂设备、环境条件,金属材料是否符合喷涂技术条件。

4.3.4.3 喷涂后应进行喷涂层性能检查,内容包括:

(1) 外观目视检查:按《热喷涂锌及锌合金涂层试验方法》进行检查。喷涂层表面应均匀,无起皮、鼓泡、大熔滴、裂纹、掉块及其他影响使用性能的缺陷。

(2) 厚度检查:喷涂层的厚度按《热喷涂锌及锌合金涂层试

验方法》的规定进行检查，测定的厚度值应不小于设计厚度的75%。需检查扩散层厚度时，按《热喷涂铝及铝合金涂层试验方法》进行检查，检查结果应符合该标准的要求。

(3) 孔隙率检查：用浸有10g/L铁氰化钾和20g/L氯化钠溶液的试纸进行。将试纸覆盖在被测面上约5min~10min，试纸出现的蓝色斑点小于3点/cm²时为合格。检测面积应不小于总面积的5%。

(4) 结合性能：检查方法及性能要求应符合《热喷涂铝及铝合金涂层》的规定。

4.3.4.4 封闭涂层质量检查可参照本规范第4.2.4.6款进行。

4.3.4.5 喷涂层的质量达不到设计要求时，应进行补喷或重喷。封闭涂层质量达不到设计要求时，应进行重新处理。因检查损伤的部位应及时进行补伤。

4.3.5 喷涂金属层的交工验收

喷涂金属层的交工验收可参照本规范第4.2.5条进行。

4.4 镀层保护

4.4.1 镀层可为阴极性镀层或阳极性镀层。镀层可和覆盖层同时使用。结构或设备表面的镀覆可采用电镀、热浸镀、化学镀等方法。

4.4.2 镀前表面处理、镀覆中和镀后处理应符合国家有关标准（规范）的规定。

4.4.3 镀层质量应按国家有关标准（规范）检查。检查内容应包括外观检查、厚度、结合性能、孔隙率等。

4.5 包覆层保护

4.5.1 包覆层可采用钢质防锈蚀板、镍—铜合金或铜—镍合金、硫化氯丁橡胶、厚膜有机涂层、树脂砂浆、混凝土等。

4.5.2 包覆的表面处理、包覆层的质量要求及维护措施应符合国家有关标准（规范）的规定。

4.5.3 包覆层质量应按国家有关标准（规范）检查，检查内容应包括外观检查、厚度、机械强度等。

5 阴极保护

5.1 一般要求

5.1.1 阴极保护可采用牺牲阳极法、外加电流法，或两种方法联合使用。

5.1.1.1 使用外加电流法，应避免过保护和对邻近设施的不良影响，保护系统应有足够的机械强度。

5.1.1.2 海底管道上平台和进站前应设置绝缘法兰。

5.1.1.3 滩涂区管道的阴极保护设计可参照《埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范》、《镁合金牺牲阳极应用技术标准》和《锌合金牺牲阳极应用技术标准》执行。

5.1.2 评价阴极保护效果时，应遵守下列准则：

5.1.2.1 保护电位准则：

(1) 在通常条件下，结构件、管道等的保护电位应符合表 5.1.2 的规定。

(2) 施加保护电流时，阴极电位出现的最小偏移值应不小于 300mV。

钢材的保护电位

表 5.1.2

钢 材		参 比 电 极		
		Cu / CuSO ₄	Ag / AgCl	Zn
		保 护 电 位 (V)		
含氧环境中的钢	最小值	-0.85	-0.80	+0.25
	最大值	-1.10	-1.05	+0.00
缺氧环境中的钢	最小值	-0.95	-0.90	+0.15
	最大值	-1.10	-1.05	+0.00
高强度的钢 $\sigma_s > 700\text{MPa}$	最小值	-0.85	-0.80	+0.25
	最大值	-1.00	-0.95	+0.10

5.1.2.2 外观检查准则:

各种外观检查方法(如潜水员观察或触摸、物理测量、拍照或电视扫描等)所获结果均应表明腐蚀程度没有超出使用寿命所允许的限度。

5.1.2.3 试片准则:

各种试片上获得的腐蚀类型和腐蚀速率结果应限制在允许的范围內。

5.1.3 保护电流密度由环境条件、保护对象的表面状况决定。保护电流密度的选择应采用相似条件的经验值或根据试验测量的结果确定。

有涂层钢的保护电流密度 i_c 也可按式 5.1.3 计算:

$$i_c = i_b \cdot C_b \quad (5.1.3)$$

式中 i_c ——有涂层钢的保护电流密度, mA/m^2 ;

i_b ——裸钢保护电流密度, mA/m^2 ;

C_b ——涂层损坏系数, 见表 5.1.3。

涂层的损坏系数 $C_b/\%$ (预计寿命 25a) 表 5.1.3

涂层类型	初始值	中间值	最终值
厚膜管道涂层	1	10	20
乙烯基系统	2	20	50
环氧煤焦油沥青	2	20	50
环氧树脂(厚膜)	2	20	50

5.1.4 设计阴极保护系统时应收集下列环境条件资料:

(1) 滩涂区土壤的温度、冻土深度、含水量、电阻率、pH 值等;

(2) 全浸区海水和海底土壤的温度、含氧量、电阻率、pH 值等;

(3) 海水冰冻情况;

(4) 海水流速, 海水中泥、砂和悬浮物;

(5) 细菌活动和植物生长情况;

(6) 环境污染情况;

(7) 被保护对象邻近其他设施、结构物的情况;

(8) 干扰电流的情况;

(9) 电绝缘和电连接情况。

5.2 牺牲阳极保护

5.2.1 阳极材料

5.2.1.1 阳极材料可为锌基、铝基和镁基合金。镁基合金仅用于需要较高的驱动电压, 并且阳极易于更换的地方。

5.2.1.2 选择的阳极材料应经过相似环境的电化学性能试验, 并具有出厂合格证和检验资料(检验证书、产品说明书、阳极电化学性能试验结果、阳极破坏性试验结果等)。

5.2.1.3 应根据环境条件、使用条件、保护要求等选择阳极材料。当阳极工作温度不超过 50℃ 时, 可采用锌阳极和铝阳极; 阳极工作温度超过 50℃ 时, 应使用铝阳极。

5.2.1.4 牺牲阳极的化学成分、电化学性能及其测试方法应满足《铝—锌—镉系合金牺牲阳极》、《铝—锌—镉系合金牺牲阳极化学分析方法》、《锌—铝—镉合金牺牲阳极》和《锌—铝—镉合金牺牲阳极化学分析方法》的要求。

5.2.1.5 牺牲阳极外观质量、质量偏差、尺寸公差应满足设计要求。

5.2.2 设计计算

5.2.2.1 保护电流:

总的保护电流 I 应不小于按式 5.2.2-1 计算所得的值:

$$I = \sum S_p i_p + nc \quad (5.2.2-1)$$

式中 S_p ——各保护区结构的面积, m^2 ;

i_p ——保护电流密度, A/m^2 ;

n ——油井口数;

c ——为保护泥面以下油井套管每口油井的附加保护电流量, A (一般取每口井 $1.5A \sim 5.0A$).

保护面积应包括全浸区、滩涂区钢质结构、管道等的面积、隔水套管的面积和与被保护结构有电连接的其他钢质结构的水中和泥中面积。不同保护电流密度的保护面积应分别计算。

保护电流密度的选择应符合本规范第 5.1.3 条的规定。

5.2.2.2 阳极输出电流:

阳极输出电流 $I_a(A)$ 应按式 5.2.2-2 计算:

$$I_a = \frac{\Delta V}{R_a} \quad (5.2.2-2)$$

式中 ΔV ——驱动电压, V ;

R_a ——电路电阻 (通常取阳极与介质间的电阻), Ω 。

阳极与介质间的电阻 R_a 由周围环境介质的电阻率和阳极的几何形状确定, 可按式 5.2.2-3、5.2.2-4 和 5.2.2-5 计算:

细长阳极:

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi l} (\ln \frac{4l}{r} - 1) \quad (5.2.2-3)$$

式中 ρ ——介质电阻率, $\Omega \cdot cm$;

l ——阳极长度, cm ;

r ——阳极等效半径, cm ; $r = \sqrt{\frac{a}{\pi}}$;

a ——阳极截面积, cm^2 。

阳极与钢结构表面的距离大于 $30cm$ 。

板状阳极:

$$R_s = \frac{\rho}{2 \times s} \quad (5.2.2-4)$$

式中 s ——阳极尺寸的平均长度, cm, $s = \frac{b+c}{2}$ ($b \geq 2c$);

b ——阳极长度, cm;

c ——阳极宽度, cm.

其他形状阳极:

$$R_s = \frac{0.315 \times \rho}{\sqrt{A}} \quad (5.2.2-5)$$

式中 A ——阳极被暴露的表面积, cm^2 .

5.2.2.3 阳极用量:

阳极用量可按式 5.2.2-6 计算:

$$W = \frac{T \cdot E_s \cdot I_m}{\mu} \quad (5.2.2-6)$$

式中 W ——阳极的净重量, kg;

T ——阳极的有效寿命, a;

E_s ——阳极的消耗率, $\text{kg}/(\text{A} \cdot \text{a})$;

I_m ——在寿命期间每块阳极平均输出电流, A;

μ ——利用系数, 由当剩余的阳极材料不能发出需要的电流时阳极材料消耗的数量来确定。

可采用下列利用系数值:

细长阳极: 0.90~0.95;

手镯式阳极: 0.75~0.80;

其他形状阳极: 0.75~0.85.

5.2.3 阳极的分布方式

阳极的分布方式应有利于电流的分布, 根据结构形状及其所需的保护电流大小, 在横向和纵向上均衡布置。

5.2.4 阳极安装

5.2.4.1 阳极安装前应检查阳极材料、施工用设备、材料是否满足设计要求。

5.2.4.2 阳极必须牢固地安装在被保护体上，并应与被保护体进行短路连接，其连接方式应尽量采用焊接。

5.2.4.3 当采用水下电焊安装牺牲阳极时，应由取得合格证书的水下电焊工进行焊接。

5.2.4.4 阳极安装后应按下列要求检查：

(1) 外观质量：阳极的安装方式和位置应符合设计文件要求。阳极表面严禁涂漆和沾污。

(2) 电连接性：阳极与被保护体应有可靠的电连接。

(3) 机械强度：阳极、阳极芯及阳极支架应具有足够的强度。

(4) 焊接质量：所有焊缝均应满足结构焊接要求，并应无毛刺、锐边，与基材连接应光滑，无虚焊。

5.2.5 牺牲阳极保护系统

牺牲阳极保护系统应进行验收，验收资料应包括阳极安装竣工图、阳极出厂合格证、阳极材料检查结果报告、原设计文件及设计变更文件、阳极安装记录、保护效果测试报告等。

5.2.6 保护效果检测

牺牲阳极保护系统的保护效果检测应在系统投入运行后一年内按本规范第 5.1.2 条的要求进行，所测结果应满足设计要求。

5.3 外加电流保护

5.3.1 电源设备

5.3.1.1 所选设备应具有出厂合格证和检验资料（检验证书、产品说明书、设备性能检测报告、设备线路图、设备零部件清单等）。

5.3.1.2 所选电源设备应具备下列性能：

(1) 可靠性高；

- (2) 维护保养简便;
- (3) 使用寿命长;
- (4) 对环境适应性强;
- (5) 输出电流、电压可调;
- (6) 具有过载、防雷、故障保护装置。

5.3.2 辅助阳极材料

5.3.2.1 辅助阳极材料应选用消耗率低, 表面工作电流密度适用范围大、极化性能好、对环境介质的适应性广、来源丰富、制作方便的材料, 并应经济合理。

5.3.2.2 选择的辅助阳极材料应经过相似环境的电化学性能试验, 并具有出厂合格证和检验资料(检验证书、产品说明书、阳极性能检测报告等)。

5.3.2.3 辅助阳极可选择铅-银合金阳极、高硅铸铁阳极、带有各种基体的铂阳极、石墨阳极等。辅助阳极的电化学性能应能满足使用要求。常用辅助阳极材料的性能应符合本规范附录 B 的要求。

5.3.3 绝缘屏蔽材料

5.3.3.1 选择绝缘屏蔽材料应考虑阳极输出电流、海水电阻率、构件的几何形状、其他阳极的相对位置及环境因素的破坏作用等, 并考虑屏蔽材料的使用寿命和老化问题。绝缘屏蔽材料的性能指标应达到《船舶及海洋工程阳极屏涂料通用技术条件》的要求。

5.3.3.2 选择的屏蔽材料应经过相似环境的性能试验, 并具有出厂合格证和检验资料(检验证书、产品说明书、性能试验报告等)。

5.3.3.3 屏蔽材料可选择环氧树脂、玻璃纤维增强的聚酯树脂、聚乙烯塑料等。

5.3.4 保护系统设计

5.3.4.1 设计计算:

- (1) 保护电流 I 应按式 5.3.4-1 计算:

$$I = k \sum S_p \cdot i_p + nc \quad (5.3.4-1)$$

式中 k ——屏蔽系数，主要决定于金属结构处在介质中部分的结构外形和阳极分布情况。一般取 1.10~1.25。

(2) 直流电源电压 V 应按式 5.3.4-2、5.3.4-3 计算：

$$V = IR_t \quad (5.3.4-2)$$

$$R_t = R_L + R_c + R_w + R_{pm} \quad (5.3.4-3)$$

式中 V ——保护系统所需直流电源的电压，V；

I ——保护系统的保护电流，A；

R_t ——阴极保护系统的总电阻， Ω ；

R_L ——保护系统导线电阻， Ω ；

R_c ——阳极的接地 / 接水电阻（计算公式参照式 5.2.2-3、5.2.2-4 和 5.2.2-5）， Ω ；

R_w ——介质电阻， Ω ；

R_{pm} ——保护结构的阴极电阻， Ω 。

(3) 直流电源功率 P 应按式 5.3.4-4 计算：

$$P = \frac{IV}{\eta} \quad (5.3.4-4)$$

式中 P ——电源功率，W；

η ——电流效率，一般取 0.8。

(4) 辅助阳极需要量 W 应按式 5.3.4-5 计算：

$$W = K \cdot E \cdot T \cdot I_m \quad (5.3.4-5)$$

式中 K ——储备系数，可取 1.1~1.3。

(5) 圆片状阳极的圆形屏蔽层（板）半径 r' 应按式 5.3.4-6 计算：

$$r' = r + \frac{\rho I_a}{2\pi(E_0 - E)} \quad (5.3.4-6)$$

式中 r' ——屏蔽层(板)的半径, cm;

r ——阳极的半径, cm;

I_a ——阳极的输出电流, A;

E_o ——平均保护电位, V;

E ——涂层能耐的最负电位, V。

(6) 长条状阳极的矩形屏蔽层(板)长度 l' 和宽度 b' 应按式 5.3.4-7 和式 5.3.4-8 计算:

$$l' = \frac{4l}{\arctan\left[\frac{(E_o - E)\pi l}{\rho I_a} + 1\right]} + l \quad (5.3.4-7)$$

$$b' = \frac{4l}{\arctan\left[\frac{(E_o - E)\pi l}{\rho I_a} + 1\right]} + 2r \quad (5.3.4-8)$$

式中 l' ——屏蔽层(板)的长度, cm;

b' ——屏蔽层(板)的宽度, cm;

l ——阳极的长度, cm;

r ——阳极等效半径, cm, $r = \frac{C}{2\pi}$;

C ——阳极截面周长, cm。

5.3.4.2 辅助阳极设计:

(1) 辅助阳极材质的选择应根据使用条件、阳极材料性能和技术经济评价等因素, 参照本规范附录 B 选用。

(2) 辅助阳极的几何形状应根据阳极的设计使用年限、材料性能、环境介质、被保护体结构型式等进行设计。常用辅助阳极的几何形状可参照本规范附录 B 选用。

(3) 辅助阳极与电缆的接头应保证水密绝缘性能良好, 接头在水中的绝缘电阻应不小于 $100\text{M}\Omega$, 其耐用年限应与阳极设计使用年限一致。

(4) 辅助阳极的布置应满足被保护体各处的保护电位均符合

本规范表 5.1.2 的要求，并应尽量分布均匀。当采用近阳极布置时，应设置屏蔽层或屏蔽筒；当采用远阳极布置时，阳极与被保护体的距离应不大于 100m。

5.3.4.3 汇流点的设置应有利于保护电流的分布，使被保护体各处的保护电位均符合本规范表 5.1.2 的要求。

5.3.4.4 参比电极的设置应尽量靠近被保护体，并应有利于电位测量。参比电极应具有极化小、稳定性好、不易损坏、使用年限长等特性，并应适应其所处的环境介质，其类型及主要技术性能可参照《船用参比电极技术条件》和表 5.3.4 选用。参比电极电缆不得紧靠动力电缆，其屏蔽线（层）必须一端接地。

常用参比电极主要技术性能和适用的环境介质 表 5.3.4

名 称	电极结构	电位 (V) (相对于标准 氢电极)	适用的 环境介质
饱和甘汞电极	Hg / Hg ₂ Cl ₂ 饱和 KCl	+0.242	淡水、海水
饱和硫酸铜电极	Cu / 饱和 CuSO ₄	+0.316	海水、淡水、土壤
海水氯化银电极	Ag / AgCl 海水	+0.250	海水
锌合金电极	Zn 合金	-0.784	海水、淡水、土壤

5.3.4.5 阴极电缆和阳极电缆可采用多股铜芯电缆，电缆护套应具有良好的绝缘、耐老化性能，水下部分还应具有耐海水腐蚀性能。控制用参比电极电缆应选用耐海水腐蚀和耐老化的屏蔽电缆，电源电缆的护套应具有耐腐蚀和耐老化性能，电缆接头应具有足够的强度和良好的绝缘、耐腐蚀性能。

5.3.4.6 保护系统应有安全防范措施。

5.3.5 保护系统安装

5.3.5.1 安装前应检查所有设备、材料，并应符合设计要求。

5.3.5.2 保护系统电连接方式可采用直接焊接、焊接钢筋连接

或电缆连接。连接点面积应大于连接用钢筋或电缆芯的横截面积，连接电阻应不大于 0.01Ω ，连接点应加密封保护。

5.3.5.3 辅助阳极及其屏蔽板（筒）的安装应符合设计要求。辅助阳极与被保护体间不得产生金属短路。辅助阳极的水中电缆长度应留有足够的裕量。

5.3.5.4 参比电极应检验合格后按设计图纸施工。水中参比电极电缆长度应留有一定的裕量。参比电极接地点不得与阴极汇流点共用或紧靠。

5.3.5.5 直流电源应置于通风良好、除尘方便之处。当直流电源分散安装在室外时，应设通风、防滴式的金属外壳，直流电源金属外壳应接地，其接地电阻应小于 4Ω 。直流电源的正、负极与相应的阳、阴极电缆连接时，严禁接反。

5.3.5.6 电缆应敷设在钢管、聚氯乙烯管、有盖的电缆沟（架）中，电缆不应遭受日光曝晒和腐蚀性较强的物质侵蚀。电缆分段连接时，其连接点应有良好的密封措施，不得暴露在外。必要时应置于接线箱（盒）中，其接线头不得与金属接线箱（盒）外壳接触。敷设电缆时应尽量不损坏电缆护套，部分损坏处应进行修补，严重损坏时应更换电缆。

5.3.5.7 保护系统施工检查应包括下列内容：

（1）电连接的检查：电连接不能有漏接处；焊接应符合设计要求；电缆连接应牢固，不能松动；各连接点应密封良好。

（2）阴、阳极线路的检查：线路安装应正确，连接点不能暴露在外；阴、阳极线路严禁接反；接线处应牢固，不能松动。

（3）辅助阳极安装检查：安装应牢固，位置应符合设计要求；辅助阳极与被保护体之间严禁金属短路。

（4）参比电极安装检查：安装应牢固，位置应符合设计要求；电极的测定数据应符合设计要求。

（5）电缆敷设的检查：电缆敷设应符合设计要求；电缆护套应无破损，绝缘性能应良好；参比电缆不能紧靠电源电缆；参比电缆屏蔽线应一端接地；电源电缆应专用。

(6) 直流电源的检查: 仪器外壳应接地良好; 阴极汇流点不能与参比电极接地点共用; 电源电缆与仪器连接的顺序应正确。

(7) 安全措施的检查: 安全措施应符合设计要求; 存在易爆、易燃气体时应装有防爆装置。

5.3.6 外加电流保护系统验收

外加电流保护系统应进行验收, 验收资料应包括保护系统竣工图、设备、材料出厂合格证和检测报告、保护效果测试报告、原设计文件及设计变更文件、施工记录等。

5.3.7 保护效果检测

外加电流保护系统的保护效果检测应在系统投入运行后一个月內按本规范第 5.1.2 条的要求进行。所测结果应满足设计要求。

附录 A 涂膜耐蚀评级标准

涂膜耐蚀评级标准 表 A

等级	腐 蚀 状 况
1 级 (良好)	轻微失光 5%~20%; 轻微变色; 涂膜表面无显著变化,不起泡; 无生锈和涂膜脱落
2 级 (合格)	明显失光 21%~50%; 明显变色; 涂膜表面起微泡,面积小于 50%,局部小泡面积在 40%以下,中泡面积在 1%以下; 锈点直径在 0.5mm 以下; 无涂膜脱落
3 级 (不合格)	严重失光; 严重变色; 涂膜表面明显起泡,整板微泡,小泡面积在 5%以上,中泡面积在 2%以上,出现大泡; 锈点面积达 2%以上; 出现涂膜脱落现象

注: ①气泡面积计算: 1%面积中有一个小泡即为1%。气泡等级: 微泡为4倍放大镜可见者; 小泡为直径 0.5mm 以下者, 中泡为直径 0.6~1.0mm 者; 大泡为直径 1.1mm 以上者。
②在板的四周边缘及板孔周围5mm的范围内以及外来因素所引起的破坏现象不计。
③外观检查采用 4 倍放大镜进行。

附录 B 常用辅助阳极的材料性能和阳极体几何形状

常用辅助阳极的材料性能和阳极体的几何形状									
阳极类别	阳极材料	密度 (g/cm ³)	适用工作 电流密度 (A/m ²)	消耗率 [kg/(A·a)]	最高 利用率 (%)	阳极体 几何形状	最大使用 电压 (V)	使用环境	备 注
易溶性	碳钢、铸铁	7.8	10~100	8~10	50	—	不加限制	海水、淡水、土壤	可兼用阴极和受阴极
	石墨	约1.8	10~100	0.2~0.9	66	棒状、块状	不加限制	海水、淡水、土壤	所 耐
	高硅铸铁	7.0	50~300	0.2~0.5	50	圆筒形、棒状	不加限制	海水、淡水、土壤	所 耐
	磁性氧化铁	—	40~400	0.1	40	—	不加限制	海水、淡水、土壤	所 耐
难溶性	铂合金	11.3	50~250	0.03~0.2	67	圆筒形、棒状	不加限制	海水	不得用于水深超过30m处
	铂合金、金、银、铜	11.3	50~1000	0.002~0.006	67	圆筒形	不加限制	海水	不得用于水深超过30m处
难溶性	镀锌铁	5	250~750	$6 \times 10^{-4} \sim 10 \times 10^{-4}$	85	圆筒形	8.75	海水	宜慎重采用，造价
	镀锌铝	16.8	500~2000	6×10^{-4}	85	圆筒形、网状、棒状	200	海水、淡水、土壤	宜慎重采用，造价
	铝阳极	8.8	500~2000	6×10^{-4}	85	圆筒形	50	海水	宜慎重采用，造价

附录 C 本规范用词说明

C.0.1 执行本规范条文时，要求严格程度的用词说明如下：

C.0.1.1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

C.0.1.2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

C.0.1.3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

附 加 说 明

本规范主编单位、参加单位和主要起草人名单

主 编 单 位：辽河石油勘探局勘察设计院

参 加 单 位：中国石油天然气总公司工程技术研究院

主要起草人：孟凡玲 侯光瑜 王立春

附件

滩海石油工程防腐蚀技术规范

条文说明

制 定 说 明

根据中国石油天然气总公司(94)中油技监字第 79 号文的要求,由辽河石油勘探局勘察设计研究院负责编制的 SY/T 4091—95《滩海石油工程防腐蚀技术规范》经中国石油天然气总公司 1995 年 12 月 18 日以(95)中油技监字第 731 号文件批准发布。

在编制过程中,编制人员遵照国家有关方针政策,进行了比较广泛的调查研究,认真总结了滩海石油工程防腐蚀方面的实践经验,并广泛地征求了有关单位的意见,反复讨论、修正,最后由中国石油天然气总公司基建工程局会同有关部门审查定稿。

本标准共分为 5 章,主要内容包括总则、一般规定、表面处理、覆盖层保护、阴极保护。

为便于广大基建、设计、施工、科研、高等院校等有关部门和单位人员在使用本标准时,能正确理解和执行条文规定,本标准编写人员根据国家有关编制标准、规范条文说明的统一要求,按正文的章、节、条顺序编制了本条文说明,供各有关人员参考。

鉴于本标准系初次编制,希望各单位在执行过程中,结合工程实践,认真总结经验,注意积累资料,如发现需要修正或补充处,请将意见和有关资料,同时寄交辽宁盘锦辽河石油勘探局勘察设计研究院(邮政编码 124010)和天津塘沽津塘公路 40 号石油工程技术研究院标准室(邮政编码 300451),以便今后修订时参考。

辽河石油勘探局勘察设计研究院

1995 年 6 月

目 次

1 总则	(39)
2 一般规定	(40)
3 表面处理	(42)
3.1 一般要求	(42)
3.2 表面处理	(43)
3.3 表面处理后的保护	(43)
4 覆盖层保护	(45)
4.1 一般要求	(45)
4.2 涂层保护	(45)
4.3 喷涂金属层保护	(47)
4.4 镀层保护	(47)
4.5 包复层保护	(47)
5 阴极保护	(48)
5.1 一般要求	(48)
5.2 牺牲阳极保护	(49)
5.3 外加电流保护	(50)
附录 A 涂膜耐蚀评级标准	(52)
附录 B 常用辅助阳极的材料性能和阳极体几何形状	(53)

1 总 则

1.0.1 由于滩海环境既不同于陆地环境，也不同于深海海洋环境，因此滩海环境中钢质结构、管道、油气生产设施的防腐蚀设计和施工既不能完全套用深海海洋环境中的标准（规范），也不能照搬陆地环境的标准（规范）。为适应滩海石油工程建设的需要，使滩海石油工程的防腐蚀设计和施工规范化，做到安全可靠、技术先进、经济实用、保护环境，特制定本规范。

1.0.2 本条为本规范的适用范围。

1.0.3 由于滩海石油工程钢质结构、管道、油气生产设施的内防腐设计和施工类似于陆地环境中的内防腐设计和施工，故本规范中不再重复。关于钢筋混凝土结构的防腐蚀设计和施工，港口工程技术规范《海港钢筋混凝土结构防腐蚀规范》中对混凝土材料质量、施工质量作了明确规定，可以借鉴；但编制钢筋混凝土结构采用防腐涂层和阴极保护方法保护的标准目前条件尚不成熟，有待进一步研究。

1.0.5 滩海石油工程建设的防腐蚀工程与主体工程紧密相连，涉及面广，因而规定防腐蚀设计和施工除应执行本规范外，尚应符合国家现行有关标准（规范）的规定。

2 一般规定

2.0.1 本条规定是对防腐设计的一般要求。

2.0.1.1 为保证滩海石油工程防腐设计的质量，本款对设计单位的资质提出了明确要求。

2.0.1.2 滩海石油工程腐蚀环境复杂，因此应根据不同的环境条件、使用条件分别进行钢质结构、管道、油气生产设施的防腐设计。在设计防腐措施时，应考虑保温等其他措施。

2.0.1.3 大气区是指飞溅区以上暴露于阳光、风、盐雾及雨水中的结构部分。在大气区的结构表面腐蚀较轻，一般采用涂层保护或喷涂金属层保护即可抑制腐蚀的发生。镀层费用高，且施工工艺复杂，因而只有在结构形状复杂，不宜采用涂层保护或喷涂金属层保护时，才采用镀层保护。

2.0.1.4 飞溅区是指由于潮汐、风和波浪的影响，结构干湿交替的部分。飞溅区的范围为自设计高潮位以上波高（为50a一遇的平均波高）的2/3，至设计低潮位以下波高的1/3。因飞溅区结构表面所受冲击力较大，且冬季有流冰，因而防腐措施除采用涂层保护、喷涂金属保护或镀层保护外，必要时还应采用包覆层加强保护。

2.0.1.5 全浸区是指结构在飞溅区以下海水和海泥中的部分。全浸区的金属设施处于电解质中，易发生电化学腐蚀，采用阴极保护即可有效地抑制其腐蚀。由于裸露金属表面所需的保护电流密度大，消耗的材料和电能多，因此通常情况下都采用阴极保护与涂层联合保护。当涂层应用有困难时，也可单独采用阴极保护。

2.0.1.6 滩涂区是指在潮汐影响下，干湿交变的海边土壤区（包括沼泽）。滩涂区的金属设施的腐蚀为电化学腐蚀，最常用的

防腐措施是阴极保护与涂层联合保护。

2.0.2 本条为对防腐施工的要求。防腐工程的施工质量直接影响到防腐工程的防腐效果，因而对施工队伍、施工用设备、材料、施工检查均提出了确保施工质量的要求。

2.0.3 本条为对防腐工程验收的要求。防腐工程验收的质量直接影响防腐系统的运行、维护，工程验收必不可少，并应资料齐全以方便防腐系统的正常运行、维修、管理。

2.0.4 本条为防腐工程对结构设计的一般要求。目的是为了简化滩海石油工程的防腐措施。本条内容为中国海洋石油总公司企业标准 Q/HS 7017—93《海上固定式石油生产钢质平台的腐蚀控制》（本标准等同采用美国全国腐蚀工程师协会的标准，即 NACE RP-01-76《Recommended Practice Corrosion Control of Steel, Fixed offshore Platforms Associated With Petroleum Production》）第3章“腐蚀控制的结构设计”的概括，滩海防腐工程对结构设计的详细要求参见本标准的有关条款。

3 表面处理

3.1 一般要求

3.1.1 表面处理的质量直接关系到覆盖层的质量和被保护对象的使用寿命，因此要求实施覆盖层保护前必须进行表面处理，当表面处理达到要求指标时方可进行覆盖层施工。

3.1.2 本条为钢质表面除锈质量等级的要求，由于滩海防腐蚀工程中化学除锈的结构件较多，因而增加了化学除锈的质量等级要求。化学除锈质量要求引自化学工业部工程建设标准 HGJ 34《化工设备、管道外防腐设计规定》第2章“设备、管道和钢结构外防腐的表面处理”。

3.1.3 表面粗糙度影响涂层的附着力等性能，设计中应对喷（抛）射除锈质量等级所达到的表面粗糙度作出明确规定。表面粗糙度的数值应根据不同的质量要求、涂层类型、涂装工艺来确定，一般可取 $30\mu\text{m}\sim 80\mu\text{m}$ 。

3.1.4 化学处理剂处理后的钢材表面可能留有化学处理剂残液，并同时影响钢材表面的结构状态，因而本条规定重要工程的主要钢结构、油气生产设施等的表面处理不宜采用转化型、稳定型和渗透型的化学处理剂。本条内容引自交通部标准 JTJ 230—89《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》第4章第3节“表面处理及涂装”。

3.1.5 钢结构、管道、油气生产设施的表面处理等级除与所用涂料、底漆有关外，还与它本身的重要程度及腐蚀环境有关。本条为不同涂料表面处理的最低等级要求。表 3.1.5 引自《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》第4章第3节。

3.1.6 喷涂金属层对表面处理有更严格的要求，不但要求表面清洁度达到设计指标，而且要求表面粗糙度也达到设计指标。本

条内容引自《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》第5章第4节“喷涂金属施工”。

3.2 表面处理

3.2.1 本条为表面清洗的一般要求。表面清洗是表面处理过程中的一重要环节，表面清洗的好坏影响表面处理的质量。本条要求主要参照了《涂装前钢材表面处理规范》第3章“清洗”的有关条款和中国化工装备总公司等组织编写的《实用防腐蚀技术》第3章“防腐蚀基体表面的预处理”的有关内容。表3.2.1引自《涂装前钢材表面处理规范》第3章。

3.2.2 本条内容是在《涂装前钢材表面处理规范》第4章“工具除锈”、第5章“喷（抛）射除锈”、第6章“酸洗”有关内容的基础上，增加了对干式喷射装置所用压缩空气、表面处理时钢材表面温度及化学处理工序的要求。

3.2.2.2 本款要求参照了《海上固定式石油生产钢质平台的腐蚀控制》第12章“表面处理”的有关条款、《辽海单，三井试验平台详细设计》“涂装技术说明书”和《实用防腐蚀技术》第3章的有关内容。

3.2.2.3 本款为对化学处理工序的要求。化学处理不同于一般的表面处理，各道处理工序不得中途停顿，否则将影响下道工序及整个处理的质量。钝化处理后的金属表面如有水分存在，则容易出锈，因而经钝化处理后的金属表面应立即干燥。

3.3 表面处理后的保护

3.3.1 本条为对处理后的钢材表面涂刷底漆的要求。为保证表面处理的质量，避免重新处理，处理后的钢材表面应及时涂刷一层底漆。涂刷的时间要求主要和相对湿度、环境温度、钢材表面温度有关，《化工设备、管道外防腐设计规定》标准中规定“表面处理应及时涂刷一层底漆，一般不超过6小时”。

3.3.2 本条为对钢材表面温度的要求。只有当钢材表面温度比

周围环境露点温度高 3℃ 以上时，才能保证钢材表面不结水珠，
以方便表面处理操作。

4 覆盖层保护

4.1 一般要求

4.1.1 覆盖层的种类很多，本章是对涂层、包覆层、喷涂金属层和镀层保护的技术要求。

4.1.2 本条为选择覆盖层的一般原则。不同的钢质结构、管道、油气生产设施在不同的环境条件下应采用不同的覆盖层保护。选择覆盖层类型、相应的表面处理等级和施工方法时既要考虑技术因素，也要考虑经济因素。

4.1.3 本条为覆盖层材料性能的一般要求

4.2 涂层保护

4.2.1 本条为涂料类型选择的一般要求。滩海环境中的涂层系统一般包括底漆、中间涂层和表面涂层。涂料品种繁多，但并不是每种涂料均能适应滩海石油工程的腐蚀环境。各种环境条件影响着涂层材料的选择，因而用于大气区、飞溅区、全浸区及滩涂区的涂层材料也不尽相同。

4.2.1.1 本款为涂料选择的一般要求。

4.2.1.2 本款为对大气区用涂料的性能要求。大气区的涂料必须耐候性好。《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》中规定“大气区采用的防腐蚀涂料应具有良好的耐候性”，本规范中增加了“涂层经过一年以上的耐候性试验综合评定级应为“中”以上”的要求，明确了涂料的耐候性指标。

4.2.1.3 本款为对飞溅区用涂料的性能要求。由于飞溅区环境条件较恶劣，因而对涂料的性能要求也较高，所选涂料的涂层经过规定时间的耐盐雾、耐老化、耐湿热试验后，涂层耐蚀等级应达到“良好”或“合格”级。

4.2.1.4 本款为对全浸区、滩涂区用涂料的性能要求，选择全浸区、滩涂区的涂料时，主要应考虑涂料与阴极保护的配套性，所选的涂料应具有较好的抗阴极剥离能力和耐碱性能，涂层耐阴极保护性能指标引自中国船级社《海上固定平台入级与建造规范》（1992）第7章第2节“涂层和镀层保护”，涂装试样的阴极剥离试验时间由具体工程定。

4.2.1.5 防污漆的采用应根据海生物的污染情况而定。

4.2.2 本条推荐不同区域可采用的涂层系统，并提出涂层保护设计的有关要求。美国全国腐蚀工程师协会标准、挪威船级社标准都有自己推荐的各区域的涂层系统，鉴于目前我国滩涂石油的开发，尚无涂料保护工程应用的实例，而海港工程的防腐蚀则经历了较长时间的考验，因而本规范推荐的涂层系统表4.2.2-1、表4.2.2-2、表4.2.2-3均引自《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》第4章第2节“涂料的选择”。

4.2.2.4 海底管道和立管的涂层系统引自挪威船级社标准《涂层保护评价》。滩涂区的管道所处的环境条件介于陆地和海洋中间，选择保护涂层时可参考全浸区管道的涂层保护系统，也可参照陆地环境的标准选用。

4.2.2.5 本款为对耐高温涂层的选择要求，耐高温涂料可选择氯磺化聚乙烯改性耐高温涂料、有机硅耐热涂料等。

4.2.2.6 本款为对表面涂层颜色的要求。目前国内还没有海洋环境中管道、设备等表面涂层颜色要求的标准，本规范对滩涂环境中钢质结构的表面涂层颜色的要求系引自海洋石油总公司渤海工程设计公司的《海上油田钢质平台涂装保护设计规程》。对于平台上的管道、设备及油气生产设施的表面涂层颜色，则可参照陆地标准《油气田地面管线和设备涂色规定》执行。

4.2.3 本条为对涂装的一般要求。

4.2.3.1 本款为对涂装前表面处理的要求。表面处理的好坏直接影响涂层保护的效果，因而必须把好涂装前表面处理这一质量关。

4.2.3.2 本款为对涂装方法的一般要求，具体的涂装方法应根据涂料的性质、使用条件、环境条件、被涂件的几何形状决定。

4.2.3.3 本款为对涂装条件的要求，本款内容参考了《海上油田钢质平台涂装保护设计规程》的有关要求。

4.2.4 本条为对涂装质量检查的要求。

涂装质量检查是保证涂层质量的一重要环节。质量检查包括涂装前的表面处理质量、涂装用设备、材料的检查，涂装作业中质量的检查和涂装后涂层质量的检查。本条内容主要参考了《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》第4章第4节“质量检查”的有关条款。

4.2.5 本条为对涂层保护竣工验收的一般要求。

4.3 喷涂金属层保护

本节内容为喷涂金属层材料选择、保护层设计、喷涂施工等的技术规定。主要参考的标准有：《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》第5章“喷涂金属系统保护”、《热喷涂锌及锌合金涂层》、《热喷涂锌及锌合金涂层试验方法》、《热喷涂铝及铝合金涂层》及《热喷涂铝及铝合金涂层试验方法》。

4.4 镀层保护

镀层保护虽不如涂层保护、喷涂金属层保护应用的广泛，但对于复杂钢构件如护棚、扶栏、梯子、仪表盒、设备底座等采用镀层保护也是一种有效的方法。

4.5 包覆层保护

本节内容为包覆层材料选择、包覆前表面处理及包覆层质量的技术规定。包覆层一般用于飞溅区结构件的加强保护，具体的包覆层结构应由结构件的环境条件、使用条件等决定。

5 阴极保护

5.1 一般要求

5.1.1 本条为阴极保护系统的选择要求。

阴极保护的两种保护方式(牺牲阳极法和外加电流法)各有利弊,具体工程中该用何种保护方法应由工程规模、结构条件、环境条件、使用条件等决定。滩涂区管道的阴极保护设计可参照陆地的标准执行。

5.1.2 本条为评价阴极保护效果的准则,最常用的是保护电位准则,特殊需要时用外观检查准则和试片准则。本条内容引自《海上固定式石油生产钢质平台的腐蚀控制》第4章“阴极保护准则”,表5.1.2引自石油天然气行业标准SY/T 4804—92《海底管道系统规范》第6章第3节“阴极保护”,并将原标准表中的“阳极极限”、“阴极极限”根据目前通用防腐蚀习惯用语分别改为“最小值”、“最大值”以方便使用。

5.1.3 本条为保护电流密度的选择要求。本条内容主要参考了《海底管道系统规范》附录D“腐蚀控制导则”和挪威船级社标准RP B401《CATHODIC PROTECTION DESIGN》。裸钢保护电流密度可参照表1选用。

常用的初期保护电流密度值 表1

环境介质	钢结构表面状况	保护电流密度(mA/m ²)
静止海水	裸钢	80~100
流动海水	裸钢	100~150
静止海水	有涂层	10~20
流动海水	有涂层(完好)	15~30

续表 1

环境介质	钢结构表面状况	保护电流密度(mA/m ²)
流动海水	有涂层(破损)	30~50
流动淡海水	裸钢	70~100
泥下	裸钢	10~25
海水埋石	裸钢	40~60
污染海水	裸钢	150~200

5.2 牺牲阳极保护

5.2.1 本条为牺牲阳极材料的选择要求。

5.2.1.1 本款为阳极材料类型的选择要求。目前海上阴极保护的牺牲阳极材料大多为锌合金和铝合金。由于有重量轻、电容量大等优点,铝合金阳极已越来越受欢迎。

5.2.1.2 本款为阳极材料性能的要求。阳极材料的性能直接影响阴极保护的效果,并且由于牺牲阳极保护无外界电源,阳极材料的性能必须达到要求指标时方可使用。

5.2.1.3 本款为不同工作温度下阳极材料的选择要求。由于晶间腐蚀的威胁,锌阳极不能用于工作温度超过 50℃ 的环境中。

5.2.1.4 牺牲阳极的化学成分、电化学性能直接影响牺牲阳极在海水、海泥中的溶解性能和保护效果,本款为牺牲阳极材料的化学成分、电化学性能及其测试方法的要求。

5.2.1.5 牺牲阳极表观质量、质量偏差、尺寸公差等要求可参见挪威船级社标准《CATHODIC PROTECTION DESIGN》。

5.2.2 本条为牺牲阳极保护的计算公式。本条内容主要参考标准为《海上固定平台入级与建造规范》和《海底管道系统规范》。

5.2.4 本条为阳极的安装要求。本条内容主要参考了《海港工程钢结构防腐技术规定》第6章第7节“牺牲阳极保护系统的施工”的有关条款。

5.2.6 本条为阴极保护效果检测要求。检测时间要求引自能源部《海上固定平台安全规则》第4章第3节“阴极保护”。

5.3 外加电流保护

5.3.1 本条为电源设备的选择要求。

滩海环境中阴极保护对电源设备的要求，与陆地环境无明显差别，但电源设备对环境的适应性和可操作性均应高于陆地环境。

5.3.2 本条为辅助阳极材料的选择要求。本条内容的参考标准为《海港工程钢结构防腐技术规定》和《海上固定式石油生产钢质平台的腐蚀控制》。

5.3.3 本条为绝缘屏蔽材料的选择要求。本条内容参考了《海上固定式石油生产钢质平台的腐蚀控制》第8章“绝缘屏蔽层”的有关条款。

5.3.4 本条为保护系统设计要求。

5.3.4.1 参考的标准、资料有：《海上固定平台入级与建造规范》、《海港工程钢结构防腐技术规定》和马良编著的《海底油气管道工程》。

5.3.4.2 本款为辅助阳极的设计要求。主要参考了《海港工程钢结构防腐技术规定》第6章第2节“外加电流阴极保护系统的设计”。

5.3.4.4 本款为参比电极的设置及性能要求。引自《海港工程钢结构防腐技术规定》第6章第1节一般要求。

5.3.4.5 本款为对阴极电缆、阳极电缆的要求。引自《海港工程钢结构防腐技术规定》第6章第2节“外加电流阴极保护系统的设计”。

5.3.5 本条为保护系统安装要求。参考了《海港工程钢结构防

腐蚀技术规定》第6章第3节“外加电流阴极保护系统的施工及质量检查”和附录五“外加电流阴极保护系统的施工检查要求”的有关内容。

5.3.7 本条为阴极保护效果检测要求。检测时间要求引自《海上固定平台安全规则》第4章第3节“阴极保护”。

附录 A 涂膜耐蚀评级标准

本附录为涂膜经盐雾、老化、湿热试验后，涂膜耐蚀性的评级标准。目前国家标准中只有漆膜耐候性评级方法，没有此类综合性评定指标，本附录引自《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》附录二“涂层和喷涂金属层检测方法”。

附录 B 常用辅助阳极的材料 性能和阳极体几何形状

本附录引自《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》附录三“常用辅助阳极的材料性能和阳极体几何形状”。