

FPSO 牺牲阳极计算参数分析

许礼进

(中远船务(启东)海洋工程有限公司 海工研发中心, 江苏 南通 226006)

摘要:文章通过对典型舱室牺牲阳极的计算分析进行总结归纳,从而优化选择计算参数和合适的标准,以降低建造成本,并使 FPSO 处于最佳防腐状态。

关键词:FPSO;涂层破损率;电流密度;建造成本

中图分类号:U672.7

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2017)01-0039-03

0 引言

普通船舶一般只有专用压载水舱需要设计布置牺牲阳极,而浮式生产储油卸货装置(Floating Production Storage and Offloading,以下简称“FPSO”)除压载舱需要布置牺牲阳极外,通常还有原油舱、污油舱、不合格品油舱等需要布置,不同舱室的牺牲阳极选型计算不可混为一谈。同时 FPSO 服役期通常在 20 年左右,且无维修坞期,所以其牺牲阳极的用量相较于一般船舶要大很多。本文通过分析常用牺牲阳极用量计算公式,重点探讨了 FPSO 典型舱室的牺牲阳极计算参数,即涂层破损率与电流密度的选取,并提出了建议和优化选择方案,以供参考。

1 常用牺牲阳极用量计算公式

国内一般船舶牺牲阳极用量计算如式(1)所示。^[1]

$$n_1 \times m \times Q \times \frac{1}{K} \geq I_{cm} \times T \times 8\ 760 \quad (1)$$

式中 n_1 为阳极数量, m 为单块阳极重量, Q 为牺牲阳极实际电容量, $1/K$ 为牺牲阳极利用系数, I_{cm} 为平均保护电流, T 为保护年限。

主流船级社牺牲阳极用量计算如式(2)所示。

$$M_a = \frac{8\ 760 \times t_f \times I_{cm}}{u \times \varepsilon} \times B_f \quad (2)$$

式中 M_a 为阳极总量, t_f 为设计年限, I_{cm} 为整个设计年限维持阴极保护所需的平均电流需求, u 为牺牲阳极利用系数, ε 为牺牲阳极电化学容量, B_f 为压载率(如适用)。其中 $I_{cm} = A_c \times i_{cm} \times f_{cm}$, 式中 A_c 为受保护面积, i_{cm} 为平均电流密度, f_{cm} 为油漆平均破损系数。

通常情况下,牺牲阳极设计使用年限在规格书已经规定,牺牲阳极利用系数及阳极电容量由所选用的基质(锌基、铝基)决定,结合以上计算,可见涂层破损率 f_c 和电流密度 I_c 的取值大小对最终的计算结果起到决定性作用。

2 涂层破损率 f_c 选取

涂层破损率 f_c 选取通常受三个因素的影响:涂料漆膜种类、浸没深度及设计使用年限。关于涂层破损率 f_c 本文利用参考文献中相关数据做进一步分析说明。具体以实例说明涂层破损率 f_c 计算。首先假设:涂料漆膜种类、浸没深度 0-30m、设计年限 25 年。

收稿日期:2016-12-23

作者简介:许礼进(1985—),男,江苏如东人,中远船务(启东)海洋工程有限公司海工研发中心助理工程师。

根据表 1 可直接选出 $f_{cm} = 0.17, f'_{cm} = 0.32$ 。

根据表 2 可知 $f_{cm} = a + b \times \frac{t_f}{2} = 0.17, f'_{cf} = a + b \times t_f = 0.32$ 。

如果将浸没深度改为 >30m, 其他条件(涂料漆膜种类、设计年限)不变, 表 1 中未作区分, 无法选择。

根据表 2 可知 $f_{cm} = a + b \times \frac{t_f}{2} = 0.12, f'_{cf} = a + b \times t_f = 0.22$ 。

表 1 DNV-RP-B101 涂层破损率

设计年限	涂料漆膜种类		
	初始值	平均值	最终值
10	0.02	0.08	0.14
15	0.02	0.11	0.20
20	0.02	0.14	0.26
25	0.02	0.17	0.32
30	0.02	0.20	0.38
40	0.02	0.26	0.50

表 2 DNV-RP-B401 涂层破损率

浸没深度	涂料漆膜种类		
	种类 (a=0.10)	种类 (a=0.05)	种类 (a=0.02)
0-30	b=0.10	b=0.025	b=0.012
>30	b=0.05	b=0.015	b=0.008

由此可见, 表 1 中的数值是利用表 2 中的公式计算推导得出, 同时需要注意的是表 1 只是给出了基于涂料漆膜种类和浸没深度 0-30m 情况下的参数, 存在一定的局限性。实际设计过程中, 需要提前确认涂料漆膜种类及浸没深度, 从而选择合适的公式进行计算, 而不是直接从表格中选值。

3 电流密度 I_c 选取

电流密度 I_c 选值主要受 FPSO 工作海域、舱室类型、舱室浸没深度及涂层破损率影响。由于 FPSO 的特性, 其工作海域是确定的, 舱室大小在设计初期也已确定, 本文根据不同舱室进行分析。

3.1 普通压载舱电流密度 I_c 选取

这里所陈述的普通压载舱系指通常意义的压载舱(不与原油存储舱毗邻), 根据表 3 针对压载舱及内部有海水的舱室(涂料漆膜种类)及表 4 平均电流密度(针对裸露在海水中的钢材表面)做如下分析:

表 3 DNV-RP-B101 电流密度

设计年限	$i_{cm} \times f_{cm} (A/m^2)$	$i_{cf} \times f'_{cf} (A/m^2)$
10	0.008	0.017
15	0.011	0.024
20	0.014	0.031
25	0.017	0.038
30	0.020	0.046
40	0.026	0.060

表 4 DNV-RP-B401 电流密度

浸没深度(m)	热带(>20℃)	亚热带(12-20℃)	温带(7-11℃)	寒带(<20℃)
0-30	0.070	0.080	0.100	0.0120
>30-100	0.060	0.070	0.080	0.100
>100-300	0.070	0.080	0.090	0.110
>300	0.090	0.100	0.110	0.110

表 3 已经明确推荐的保护电流密度是针对有涂层的船体钢板,并指定涂料漆膜种类,但并未明确适用的 FPSO 工作海域及适用舱室浸没深度,虽然表 3 中的数值可直接选用,但还是要注意前提条件,表 4 中仅是给出裸钢的推荐保护电流值,结合 DNV-RP-B401 中的公式 $i_{cm} \times f_{cm}$ 可以计算出对于有涂层钢板的保护电流值,同时表 4 中明确区分了 FPSO 工作海域及适用舱室浸没深度,这给设计者在设计选型中提供了明确的选择方向。同样以 涂料漆膜种类、浸没深度 0-30m 热带水域、设计年限 25 年为例。根据表 3 可直接选出 $i_{cm} \times f_{cm} = 0.17 \text{ A/m}^2$ 。根据表 4 及 DNV-RP-B401 中公式可计算出 $i_{cm} \times f_{cm} = 0.07 \times 0.17 = 0.0119 \text{ A/m}^2$ 。同样保证以上其他条件不变的情况下,浸没深度改为 30-100m。表 3 中未作区分,无法选择。根据表 4 及 DNV-RP-B401 中公式可计算出 $i_{cm} \times f_{cm} = 0.06 \times 0.12 = 0.0072 \text{ A/m}^2$ 。

通过简单的计算比较, DNV-RP-B101 和 DNV-RP-B401 差异明显,涂层破损率和浸没深度对保护电流密度影响明显,间接体现保护电流密度也受涂料漆膜种类影响。对于吨位大且服役期限久的 FPSO 来说,不同的计算方法对最终牺牲阳极用量将存在很大的区别,在实际的设计过程中建议根据既定的相关限制条件选择合适的计算参考,这里倾向推荐使用 DNV-RP-B401 进行计算。

3.2 与货油舱毗邻的压载舱电流密度 I_c 选取

由于国际防污染公约的要求,货油舱的外侧都会涉及压载水舱,而 FPSO 的货油舱存放的原油温度都比较高(通常高于 50°C) ,对于这种情况,在 DNV-RP-B101 中做了详细的说明,这里就不做描述。另外,针对此类压载舱的电流密度 I_c 选取,国标及其他船级社并未做出详细规定,建议优先采用 DNV-RP-B101 选值。

3.3 原油货油舱电流密度 I_c 选取

由于 FPSO 的货油舱存放的原油温度都比较高,其实在 FPSO 上还有类似温度较高的液舱,比如油污舱、不合格品油舱等,本文仅选货油舱做相关阐述。对于货油舱电流密度 I_c 选值计算,在 DNV-RP-B101 中未体现具体的相关计算方法,而在 DNV-RP-B401 中规定的更为具体,明确提出当钢铁或是环境温度超过 25°C ,且每超过 1°C 电流密度就要增加 0.001 A/m^2 。通常情况下储存在原油舱的原油温度都超过了 50°C ,而这个温度值对锌阳极却影响很大。锌阳极在介质溶液温度大于 50°C 时会发生电势逆转现象,这时极电势会高于船体钢板,使钢板成为阳极而不断被腐蚀,这也就是为何货油舱不宜使用锌阳极而采用铝阳极的原因;其次,介质溶液温度大于 20°C 时,铝阳极的电容量会随温度的升高而降低,至此可以理解规范为何要如此定义。实际设计中,遇到此类设计建议采用 DNV-RP-B401 进行设计计算,条理更为清晰。

4 结束语

不同类型的舱室其计算选型方法应区别对待。选择的电流密度过大,将大大增加牺牲阳极的数量和重量,增加建造成本,同时过大的保护电流会对涂料漆膜起到破坏作用,使其起泡脱落,影响涂膜的使用寿命;反之,保护电流密度选择过小,则起不到保护钢铁结构的作用,使其腐蚀从而达不到设计寿命。选择合适的标准和计算参数,不仅可以降低建造成本,同时也能使 FPSO 处于最理想的防腐状态。

参考文献:

- [1]中国船舶工业集团公司,中国船舶重工集团公司,中国造船工程学会.船舶设计实用手册:舾装分册[M].北京:国防工业出版社,2013.

Analysis of Parameters of FPSO Sacrificial Anode Calculation

XU Li-jin

(Oceanic Engineering Research & Development Centre, COSCO (Qidong) Offshore Co., Ltd.,
Nantong 226006, China)

Abstract: This article summarizes the sacrificial anode calculation of a typical cabin and optimizes the choice of calculation parameters and suitable standards, which is expected to reduce the construction cost and ensure the best anticorrosive state of FPSO.

Key words: FPSO; Coating breakdown rate; Current density; Construction cost