

# 船舶电气实践

国防工业出版社

# 船舶电气实践

《船舶电气实践》翻译组 译

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书是根据《MARINE ELECTRICAL PRACTICE (FOURTH EDITION)》一书摘译而成的。内容包括电机的绝缘和额定温升、交直流发电机、交直流配电板、自动电压调整器、配电、电缆的敷设、电动机控制机构、舵机、甲板机械、防摇鳍、照明、自动控制以及油船的附加要求等。

本书可供从事船舶电气装置设计、使用和维修人员参阅。

## 船 舶 电 气 实 践

《船舶电气实践》翻译组 译

\*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

上海商务印刷厂排版 国防工业出版社印刷厂印装

\*

850×1168 1/32 印张 6 3/4 178 千字

1978 年 12 月第一版 1978 年 12 月第一次印刷 印数: 00,001—10,500 册

统一书号: 15034·1724 定价: 0.87 元

## 译者的话

本书是根据《MARINE ELECTRICAL PRACTICE (FOURTH EDITION)》一书摘译而成的。

英国是造船工业比较发达且历史较长的国家，但有关船舶电气装置的专著却很少。《MARINE ELECTRICAL PRACTICE (FOURTH EDITION)》一书比较全面地叙述了英国船舶电气装置方面的实践，从中可以了解英国船电的概况。由于原书有些章（如第五章旋转放大机和第十四章半导体二极管）和有些部分内容一般，参考价值不大，我们遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，对原书采取摘译的方式，选其有一定参考价值的内容，舍去内容一般无多大参考价值的章和部分，以期用较少的篇幅，提供较好的参考价值。

由于我们的水平所限，摘译中错误在所难免，内容取舍恐亦有不妥之处，请读者批评指正。

# 目 录

|      |                          |     |
|------|--------------------------|-----|
| 第一章  | 引论 .....                 | 1   |
| 第二章  | 电机的绝缘等级和额定温升 .....       | 4   |
| 第三章  | 直流发电机 .....              | 12  |
| 第四章  | 直流开关设备 .....             | 21  |
| 第五章  | 交流发电机 .....              | 30  |
| 第六章  | 自动电压调整器 .....            | 58  |
| 第七章  | 交流开关设备 .....             | 67  |
| 第八章  | 配电 .....                 | 79  |
| 第九章  | 电缆 .....                 | 86  |
| 第十章  | 电缆的敷设 .....              | 99  |
| 第十一章 | 电动机 .....                | 106 |
| 第十二章 | 控制装置 .....               | 115 |
| 第十三章 | 蓄电池和充电设备 .....           | 128 |
| 第十四章 | 舵机装置 .....               | 137 |
| 第十五章 | Denny-Brown 型船舶稳定器 ..... | 150 |
| 第十六章 | 照明 .....                 | 160 |
| 第十七章 | 电动甲板机械 .....             | 171 |
| 第十八章 | 油船 .....                 | 195 |
| 第十九章 | 自动化、控制与仪表 .....          | 201 |
| 第二十章 | 绝缘测试 .....               | 210 |

# 第一章 引 论

一般认为，主要用于陆上的电气设备的安装方法不宜作为船上安装电气设备的一般性准则。船上电气设备要受到海上气候条件、振动、船舶的连续运动、温度和使用条件的影响。通常，陆上设备不是长期地日夜工作在一恒定负载下的，在工业上，有加尖峰负载和无负载时期，这些因素对电气设备的寿命有很大的影响。陆上电气设备会不断地更新产品，但在船上，却希望电气设备的寿命和船舶相当，长达三十年或四十年之久，有的还更长些。在电气设备使用期限内，最大的可靠性是很重要的，尤其对于推进和安全设备的使用来说，就显得更加突出了。

## 要求和规范

每艘海船都要向某一船级社登记，所以要求符合有关船级社的规范。国际电工委员会已出了第 92 号出版物：“船舶电气安装细则”，以统一各船级社的规范不同点而建立国际通用的标准。

在选择和安装船用电气设备方面有两点是需要突出考虑的：第一突出可靠性，对导航（操舵、航行灯、无线电设备等）和推进必须的设备应不会中断供电和损坏，第二没有火灾危险。这两个条件都要求设备是用一级材料制成的，更主要的是要求有很好的操作技能和维护。

所有材料应尽可能为不可燃的，但目前绝缘材料不能全部制造得满足这要求，接近的办法是使它们成为滞燃的，即当火焰除去后它们将不再继续燃烧。

现在普遍采用的标准设计对倾斜的要求为当船舶向每边横倾  $15^\circ$  和横摇至  $22 \frac{1}{2}^\circ$  时，机器和设备应能满意地连续工作。当纵

倾  $10^\circ$  或对超过 500 英尺长的船舶纵倾  $5^\circ$  时也能满意地工作。但是应急装置如应急发电机和蓄电池应在船舶横倾  $22\frac{1}{2}^\circ$  和纵倾  $10^\circ$  时仍能连续工作。有关这些倾斜的要求应考虑的主要因素之一为润滑,另一因素为具有不对称或不平衡磁系统的接触器、开关和继电器的动作,在倾斜时动作要求的磁拉力将增加。任何油浸式的设备如变压器或开关等亦要受影响。

### 温度要求

电气设备的性能实际上总是受温度的影响。温度不但影响性能,而且决定了电气设备的有效寿命。例如,依靠电压线圈的电磁力动作的设备,它的线圈电阻随温度而增加,因此减少了安匝。为使接触器或继电器过热,可能会不动作。对发电机而言,它的输出电压随其温升而下降。重要的因素是总的温度,部分决定于周围空气温度,部分决定于绕组中电流的热效应。在相同的负载和工作情况下电流的热效应将是相同的,总的温度变化常称作“温升”。因此不管这设备在北极圈工作或在赤道工作,在所有其他条件相同的情况下,温升实际上是相同的。所以当环境温度最大时——通常在赤道地区,设备的总温度亦为最大(这总温度决定了设备的绝缘寿命和性能)。一般设计时,对机舱外的机械取  $40^\circ\text{C}$  ( $104^\circ\text{F}$ ) 为基数,对机舱内的环境温度取  $45^\circ\text{C}$  ( $113^\circ\text{F}$ ), 或有时取  $50^\circ\text{C}$  ( $122^\circ\text{F}$ )。当使用水冷的热交换器以冷却通风时,海水的最高温度假定为  $30^\circ\text{C}$  ( $85^\circ\text{F}$ )。

电机应安装得使其转轴或为垂直或为艏艉向。如果不可避免地须作横向安装时,必须注意减少轴的轴向间隙和设有合适的推力轴承,以避免船舶横摇时的冲击。对油润衬套轴承的环圈的润滑亦需特别注意。

### 交流装置

直至 1940 年左右,几乎所有装置都是直流的,但现在使用交

流,特别在油船和客船上,有增长的趋势。标准直流电源为 110 伏和 220 伏,虽在某些情况下它们对生命亦是危险的,但一般讲其触电危险没有相应的交流电源大。现在很多的船舶装有 380 伏和 440 伏交流电源,这些电压是容易触电致命的。不考虑其它,交流效应就能引起“攫住”,意即触电者不能离开。对触电,时间是引起致命的因素之一。

已见到过在 60 伏交流电上触电而死亡的例子,最近英国电气工程师学会的船用电气设备规范要求对超过 55 伏的电源电压特别注意。



## 第二章 电机的绝缘等级和额定温升

绝缘材料是依其性能和适合的工作温度分级的。

O、A、B 和 C 级已普遍应用多年了。O 级现在也称为 Y 级。近来由于新材料的出现，又增加了 E、F 和 H 级。

Y 级绝缘包括诸如棉花、丝绸和没有浸渍过的纸等材料或这些材料的组合。其他材料或组合材料如根据经验或经试验证明能在 Y 级温度下工作时也可包括在这等级内。

A 级绝缘包括经适当浸渍过或有涂层、或浸设在油等介质液体中的棉花、丝绸和纸等材料。其他材料或组合材料如根据经验或经试验证明能在 A 级温度下工作时，也可包括在这等级内。

E 级绝缘包括根据经验或经试验证明能在 E 级温度下工作的材料或组合材料(具有一定热稳定、允许在比 A 级材料高  $15^{\circ}\text{C}$  温度下工作的材料)。

B 级绝缘包括诸如云母、玻璃纤维、石棉等经过适当的粘结、浸渍或涂层的材料或材料的组合。其他材料或组合材料，不一定是无机的，如根据经验或经试验证明能在 B 级温度下工作时亦可包括在这等级内。

F 级绝缘包括云母、玻璃纤维、石棉等经过适当的粘结、浸渍或涂层的材料或组合材料，以及其他材料或组合材料，不一定是无机的，根据经验或经试验证明能在 F 级温度下工作(具有一定的热稳定、允许在比 B 级材料高  $25^{\circ}\text{C}$  温度下工作的材料)。

H 级绝缘包括硅橡胶等材料和云母、玻璃纤维、石棉等材料的组合，经过硅树脂等适当的粘结、浸渍或涂层。其他材料或材料的组合如根据经验或经试验证明能在 H 级温度下工作时亦可包括在这等级内。

C 级绝缘包括带有或不带有无机粘结物的云母、瓷器、玻璃、

石英和石棉等材料或材料的组合。其他的材料或组合材料如根据经验或经试验证明能在 H 级极限温度以上工作时亦可包括在这等级内。这一级内的材料或组合材料其温度极限与其物理的、化学的以及电的性质有关。

绝缘材料当用适当物质如绝缘漆等透入纤维、薄膜中间足以粘结绝缘结构的组件并提供表面薄膜足以阻挡潮气、灰尘和其他玷污物时就认为是“适当浸渍过的”。

绝缘材料当用适当的物质如绝缘漆等涂层能阻挡潮气、灰尘和其他玷污物足以提供良好的工作性能时就被认为是“适当涂层的”。

到现在为止，大部分船用电气设备是用 A 级绝缘材料的，较少的用 B 级，但可预料 E 级在将来会更多地使用。O 级（现为 Y 级）是没有浸渍过的，是吸水的，所以不适于船用条件。

### 过热点温度

当考虑适当的工作温度时，在最热点的温度是重要的，这一般称为“过热点”温度。例如，在磁场线圈中，过热点是在接近绕组中心的地方，从过热点至表面存在着温度梯度，所以在整个线圈内的温度是不均匀的。

对 A 级和 B 级，过热点温度分别为  $105^{\circ}\text{C}$  和  $130^{\circ}\text{C}$ ，且已被普遍采用多年。

这些数字约相当于绝缘在平均工业条件下二十年的工作寿命，但必须记得工业上通常有加尖峰负载时期，间隔有空载或轻载时期。这些间歇时期对电机寿命有很大影响。在船用条件下某些电机可能在恒定负载下运转几天，经验证明，在这些情况下绝缘寿命可缩短至约 15 年。一般认为，对 A 级和 B 级材料在允许的过热点温度极限上每增加 10%，绝缘寿命约缩短一半。

### 温升

已经确定了某一绝缘等级的适当的过热点温度后，允许的温

升就可以从表面温度减去要求电机工作的最大周围空气温度求得。当电机进行温度试验时,要记住绕组表面温度受风的影响,当电机旋转时记录的温度,在确定温升时不能取作最大值,这点是重要的。电机停转后,温度可能继续升高,温度计必须在电机停转后再观察几秒钟,直至温度升至极大。温度计的水银球应用毡、棉花或其他不导热材料包起来,约 $\frac{1}{8}$ 英寸厚,各面至少有 $\frac{3}{4}$ 英寸高,以防止水银球因辐射和对流而损失热量。

### 周围空气温度

某种类型的船舶,如沿海船舶、港湾船舶、火车轮渡等主要用于温和气候,将永不会在赤道工作。这样船舶的周围空气温度可以温和情况为基础,仅机舱内温度将高于外面温度。但对远洋船舶,考虑其温升必须以赤道情况为基础。

很多类型的船舶上不同部位所记录的温度已列成表格并进行研究。例如已经看到机舱的某些地方常较同一机舱的其他地方温和,所以,例如对配电板采用比发电机和电动机较低的温度是合乎逻辑的。

### 电机额定温升的根据

到现在为止已有两种方法标定电动机和发电机的额定值,就是(a)允许过载的持续额定值(缩写为C. R. P. O.)和(b)持续最大额定值(C. M. R.)。英国标准(B. S. 2949)“船用旋转电机”出版后,C. R. P. O. 额定值不再是标准的了。只有C. M. R. 额定值认为是标准的,温升已依此修正。这与最近的陆用实践相一致,因为现在认为以前包括在额定值中必须有能经受的过载,即使在使用时要求这样,也是很少的。

对特殊应用,在使用中预料到有过载,使用者应注意制造厂的说明,或选取较高额定值的标准电动机。电动机驱动油泵可能出现这种情况,即当泵冷油时负载可能短时增大。

## 电阻法测量温升

如要用电阻法来测量温升，必须得到可靠的冷电阻值和相应温度时的电阻值。电机必须在大气温度内停放一段时间，以使它温度均匀。起始电阻值和测量电阻时的温度应同时记录下来。

热态温度用下列公式决定：

$$t_2 = \frac{R_2}{R_1}(t_1 + 234.5) - 234.5$$

$R_1$ ——冷态绕组的电阻；

$R_2$ ——热态绕组的电阻；

$t_1$ ——冷态绕组的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_2$ ——热态绕组的温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

因为温度每增加  $1^{\circ}\text{C}$ ，铜的电阻的增加约为  $0.4\%$ ，据此可进行温升的快速估算。如电阻增加  $20\%$ ，则温升约为  $50^{\circ}\text{C}$ 。

当要使用埋置式温度检测器时，应在电机制造时就装入。它们可以是热电偶或电阻温度计的形式。这方法一般用于大型交流发电机，记录其定子绕组的温度，绕组内至少有六个检测器，沿定子适当分布，装在可能出现最高温度的位置。它们通常放在槽内上下线圈边之间和径向风管的中间地点。

## 周围空气温度的测量

冷却空气温度必须在电机周围、电机上方、离电机  $3\sim 6$  英尺处的几个不同点上测量。温度计应测出流向电机的空气的温度，必须防止热辐射和杂散排风。确定温升时所采用的周围空气温度值是试验最后半小时中，开始与结束时读得的温度值的平均数。如在一坑道中，电动机一部分能挡住风流。在这种情况下，这受限制的区域空气温度就认为是周围环境温度。如空气允许通过一定的开口或几个开口进入电机，冷却空气的温度应在空气流中接近电机的入口处进行测量。

表 2-1 船级社对额定容量为 5000 千伏安以下电动机  
发电机的定子、电枢和并激绕组的要求(1969 年)

| 船 级 社    | 环境温度<br>°C | 温 缘 等 升①②°C 级 |            |            |             |
|----------|------------|---------------|------------|------------|-------------|
|          |            | A             | E          | B          | F           |
| 英国劳氏船级社② | 45         | 40<br>(50)    | 55<br>(65) | 60<br>(70) |             |
| 法国船级社③   | 45         | 45<br>(55)    | 55<br>(65) | 65<br>(75) | 75<br>(90)  |
| 美国船舶局④   | 50         | 40<br>(50)    | 50<br>(60) | 60<br>(70) | 80<br>(90)  |
| 西德劳氏船级社  | 45         | (55)          | (70)       | (75)       | (95)        |
| 挪威船级社    | 50         | 40<br>(50)    | 55<br>(65) | 60<br>(70) |             |
| 意大利船级社   | 50         | 50            | 60         | 70         |             |
| 日本海事协会②  | 50         | 40            |            | 60         |             |
| 苏联船舶登记局  | 40         | 50<br>(60)    | 65<br>(75) | 70         | 85<br>(100) |

① 绕组温升用温度计测量。括号内数值为用电阻法测得的温升。

② 对使用条件不受限制的船上电机而言;对使用条件有限的电机,允许温升增大 5°C。

③ 对使用条件不受限制的船上电机和用作主要辅机的电机而言;对不是主要辅机的和使用条件有限的电机,允许温升增大 5°C。

④ 不是全封闭型的。

表 2-2 英国标准(B. S. 2949)关于以 50°C 冷却  
空气温度为基准的持续最大额定容量或短时额定  
容量的交流电机的允许温升极限

| 电 机 的 部 件   | 非 全 封 闭 电 机 |            |            | 全 封 闭 电 机  |            |            |
|---|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|   | A 级<br>绝 缘  | F 级<br>绝 缘 | B 级<br>绝 缘 | A 级<br>绝 缘 | F 级<br>绝 缘 | B 级<br>绝 缘 |
| 1. 额定电压在1000伏<br>以下的定子绕组;接至滑<br>环或整流子的转子绕组<br>(第 3 项以外) | °C<br>40①   | °C<br>50①  | °C<br>60①  | °C<br>45①  | °C<br>55①  | °C<br>65①  |

(续表)

| 电 机 的 部 件                               | 非 全 封 闭 电 机 |            |            | 全 封 闭 电 机  |            |            |
|---|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|   | A 级<br>绝 缘  | E 级<br>绝 缘 | B 级<br>绝 缘 | A 级<br>绝 缘 | E 级<br>绝 缘 | B 级<br>绝 缘 |
| 2. 额定电压在1000伏<br>以上的定子绕组:               |             |            |            |            |            |            |
| a) 输出功率在5000马<br>力或千伏安以下, 铁芯长<br>度小于1米  | (50)        | (60)       | (70)       | (50)       | (60)       | (70)       |
| b) 输出功率在5000马<br>力或千伏安以下, 铁芯长<br>度为1米以上 |             |            |            |            |            |            |
| c) 输出功率为5000马<br>力或千伏安以上的各种<br>铁芯长度     | ⑤           | 60②        | 70②        | ⑤          | 60②        | 70②        |
| 3. 静止或旋转的凸极<br>磁场绕组:                    |             |            |            |            |            |            |
| a) 有裸露表面的单层<br>绕组                       | 55(55)      | 70(70)     | 80(80)     | 55(55)     | 70(70)     | 80(80)     |
| b) 所有其他凸极磁场<br>绕组                       | 40(50)      | 50(60)     | 60(70)     | 45(50)     | 55(65)     | 65(75)     |
| 4. 汽轮发电机的非凸<br>极磁场绕组                    | (55)        | (70)       | (80)       | (55)       | (70)       | (80)       |
| 5. 绝缘的永久短接绕<br>组                        | 55          | 70         | 80         | 55         | 70         | 80         |
| 6. 滑环②                                  | 50          | 60         | 60         | 50         | 60         | 60         |
| 7. 整流子③                                 | 45          | 55         | 55         | 45         | 55         | 55         |
| 8. 铁芯和与绝缘绕组<br>接触的其它部分                  | 45          | 55         | 65         | 45         | 55         | 65         |

(续表)

| 电 机 的 部 件             | 非 全 封 闭 电 机                    |            |            | 全 封 闭 电 机  |            |            |
|-----------------------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                       | A 级<br>绝 缘                     | E 级<br>绝 缘 | B 级<br>绝 缘 | A 级<br>绝 缘 | E 级<br>绝 缘 | B 级<br>绝 缘 |
| 9. 未绝缘的永久短接的绕组        | 温升无论如何不应达到使邻近部件上任何绝缘材料有损坏危险的数值 |            |            |            |            |            |
| 10. 铁芯和 不与绝缘绕组接触的其它部分 |                                |            |            |            |            |            |
| 11. 动磁用直流电机           | 参见表 2-3                        |            |            |            |            |            |

① 当温度计不能接触电机的绕组时可用电阻法, 在这情况下温升极限应符合 2a 项。

② 埋置式温度检测器。

在括号内表示的温升是用电阻法测量的。除有②以外的温升是用温度计测量的。

③ 当绕组和整流子或它们连接的滑环用不同级的绝缘材料绝缘时, 整流子或滑环可适用较低级绝缘的温升值。

④ 2a 项可用埋置式温度检测器(e. t. d.)法代替电阻法, 温升极限相同。

⑤ 这一类定子绕组不推荐使用 A 级绝缘。

表 2-3 英国标准 (B. S. 2494) 关于以 50°C 冷却空气温度为基准的持续最大额定容量或短时额定容量的直流电机的允许温升极限

| 电 机 的 部 件               | 非 全 封 闭 电 机 |            |            | 全 封 闭 电 机  |            |            |
|-------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                         | A 级<br>绝 缘  | E 级<br>绝 缘 | B 级<br>绝 缘 | A 级<br>绝 缘 | E 级<br>绝 缘 | B 级<br>绝 缘 |
| 1. 电枢绕组                 | °C<br>40    | °C<br>50   | °C<br>60   | °C<br>45   | °C<br>55   | °C<br>65   |
| 2. 磁场绕组:                |             |            |            |            |            |            |
| a) 有裸露表面的单层绕组           | 55          | 70         | 80         | 55         | 70         | 80         |
| b) 一层以上的串激和换向极绕组和所有补偿绕组 | 50          | 65         | 75         | 50         | 65         | 75         |
| c) 并激绕组和 2a、2b 项以外的所有绕组 | 40(50)      | 50(60)     | 60(70)     | 45(50)     | 55(60)     | 65(70)     |

(续表)

| 电 机 的 部 件          | 非 全 封 闭 电 机                    |            |            | 全 封 闭 电 机  |            |            |
|--------------------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                    | A 级<br>绝 缘                     | E 级<br>绝 缘 | B 级<br>绝 缘 | A 级<br>绝 缘 | E 级<br>绝 缘 | B 级<br>绝 缘 |
| 3. 整流子①            | 45                             | 55         | 55         | 45         | 55         | 55         |
| 4. 滑环①             | 50                             | 60         | 60         | 50         | 60         | 60         |
| 5. 铁芯和与绝缘绕组接触的其他部分 | 45                             | 55         | 65         | 45         | 55         | 65         |
| 6. 铁芯和与绝缘绕组接触的其他部分 | 温升无论如何不应达到使邻近部件上任何绝缘材料有损坏危险的数值 |            |            |            |            |            |

① 当绕组和整流子或它们连接的滑环用不同级的绝缘材料绝缘时，整流子或滑环可适用较低级绝缘的温升值。



## 第三章 直流发电机

船舶直流发电机一般有三种：a) 复激式；b) 稳定并激式；c) 三线式。复激发电机的采用最普遍，而 b) 与 c) 几乎只限于美国建造的船上才有。并激发电机只是偶然遇到，而且常在 30 至 40 千瓦的小型装置中采用，并同蓄电池连接。这主要是因为并激发电机的电压能在很大的范围内变化，所以可达到为蓄电池充电的目的。并激发电机也可同自动电压调整器连接使用，以维持恒定电压。

### 复激发电机

复激发电机具有一串激和一并激磁场绕组，见图 3-1。其端电压是并激和串激磁场绕组建立电压的合成。

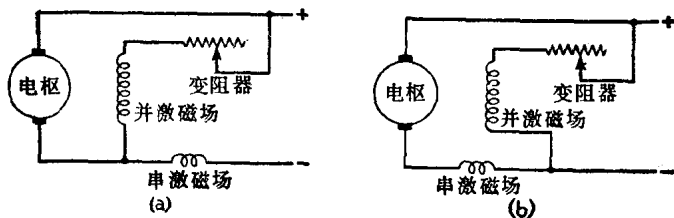


图 3-1 复激发电机

(a) 短并激接法；(b) 长并激接法

在实际上，一般都把串激磁场绕组接在负极上。

图 3-2 表示典型的电压特性，曲线 a) 表示相应于串激磁场绕组建立的电压；曲线 b) 表示相应于并激磁场绕组建立的电压。

根据串激磁场的强度不同，可以得到不同的复激作用，如欠复激、平复激或过复激(图 3-3)，按劳氏船级社的要求，一般采用平复激。