

电气运行工人技术问答

同步发电机

修 订 版

水利电力出版社

电气运行工人技术问答

同步发电机

—— 修 订 版 ——

杨 传 箭

水利电力出版社

电气运行工人技术问答

同步发电机

修订版

杨传箭

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 8印张 171千字

1976年12月初版

1986年10月第二版 1986年10月北京第三次印刷

印数150101—163730册 定价1.40元

书号 15143·5999

内 容 提 要

本书以问答的形式，介绍了同步发电机的运行知识。书中对电气运行工人在操作、巡视、维护、处理事故等工作中所遇到的有关同步发电机运行的实际问题，着重从物理概念上作了解答。全书分基本知识、发电机运行问题、氢冷和水冷电机运行中的特殊问题及励磁系统四部分。

本书可供电力系统及其它部门中具有一定电气运行实践经验的电气运行工人自学时使用，也可供其他从事电气工作的人员参考。

前 言

为了满足广大电气运行工人不断提高技术水平的需要，特编写了“电气运行工人技术问答”一套书。书中就电气运行工人在监盘、操作、巡视、维护、处理事故等实际工作中所遇到的问题，以及学习规程时可能碰到的疑难，着重从物理概念上作了解答。解答力求深入浅出，在保持科学性的同时，注意了通俗性。读者可借此为“桥梁”，在必要时进而查阅更深的读物。

“电气运行工人技术问答”分若干分册出版，它们既可独立，又有联系。《同步发电机》是第一分册。本分册除阐述同步发电机运行中的共性问题外，还对氢冷和水冷电机的特殊问题，以及发电机的励磁系统，作了介绍。

本分册第一版出版前，曾邀请唐山发电厂、抚顺发电厂、石家庄热电厂、青山热电厂、户县热电厂、闸北发电厂、云岗发电厂、石景山发电总厂等单位的技术人员和有丰富实践经验的工人参加审稿。这次修订，除对全书作了修改外，又增加了几个题目。修订稿承闸北发电厂罗光华工程师审阅。在此，对上述单位和同志，深表谢意。

由于本人水平所限，书中错误在所难免，敬请读者批评指正。

杨传箭

一九八五年二月

目 录

前 言

基本知识	1
1. 同步发电机是怎么发出三相交流电的?	1
2. 同步电机的“同步”是什么意思?	4
3. 定子的旋转磁场是怎么产生的? 它有什么特点?	4
4. 为什么要求发电机发出来的交流电是正弦波?	8
5. 发电机一般为什么都接成星形接线?	10
6. 发电机铭牌上标示的型号、容量、电压、电流、温升等 都是什么意思?	11
7. 分析交流电路问题时为什么要用向量? 向量的加、减怎 么进行?	14
8. 什么叫有功? 什么叫无功?	18
9. 有功功率、无功功率、视在功率是如何计算的?	25
10. 什么叫力率? 力率的进相和迟相是怎么回事?	26
发电机运行问题	27
11. 发电机运行时为什么会发热?	27
12. 发电机的允许温度受其内部哪部分材料的限制?	30
13. 汽轮发电机定子线棒的绝缘方式怎样? 用的是什么绝缘 材料? 允许温度是多少?	31
14. 发电机定子绕组的测温元件埋在哪里? 测的是哪里的温 度? 测温原理如何?	36
15. 为什么定子铁芯采用硅钢片来叠成, 而转子却可以采用 整块钢来锻成? 定子铁芯的允许温度是多少?	37
16. 汽轮发电机的定子铁芯为什么会有局部高热的情况? 运	

行时应如何监督?	39
17. 发电机定子铁芯的测温元件埋在哪里? 测的是哪里的温度?	44
18. 发电机运行时定子的哪个部位温度最高? 埋入式测温计测的是不是最高温度?	45
19. 汽轮发电机的转子哪些地方会发热? 是什么原因造成的?	47
20. 汽轮发电机转子绕组的绝缘方式怎样? 用的是什么绝缘材料? 允许温度是多少?	50
21. 汽轮发电机固定端盖的螺钉, 有的用手触摸觉得很烫是什么原因?	52
22. 发电机有几种冷却方式? 各有哪些优缺点?	53
23. 发电机里的冷却风是怎么循环的?	56
24. 为什么调有功应调进汽量(或进水量), 而调无功应调励磁呢?	61
25. 为什么频率变调有功, 电压变调无功?	64
26. 调节有功的物理过程怎样? 调节有功负荷时要注意什么问题?	66
27. 调节励磁电流时无功是怎么送出去的? 调节无功负荷时要注意什么?	70
28. 为什么调无功时有功不会变, 而调有功时无功会自动变化?	73
29. 发电机并列有几种方法? 各有什么优缺点?	75
30. 准同期并列有哪几个条件? 不符合这些条件将产生什么样的后果?	75
31. 什么叫非同期并列? 非同期并列有什么危害? 怎样防止?	81
32. 采用自同期法并列时, 合闸瞬间为什么会有冲击电流? 这个电流对电机有否危害? 电机是怎样被拉入同步的?	82

33.发电机并列后,增长有功、无功负荷时受什么因素的限制?为什么规程规定汽轮发电机并入电力系统后,开始时定子只能带额定电流的50%?	86
34.为什么有的汽轮发电机在启动时要对转子进行预热?	89
35.发电机带上负荷后端电压为什么会降低?	89
36.什么叫同步发电机的自励磁?消除自励磁应采取什么措施?	92
37.带非正弦负载对发电机有什么影响?	95
38.端电压高了或低了对发电机本身有什么影响?	96
39.频率高了或低了对发电机本身有什么影响?	100
40.功率因数的变化,对发电机的容许负载有什么影响?	101
41.入口风温变化对发电机有什么影响?	105
42.出、入口风温差变化说明什么问题?	106
43.发电机的空气冷却器在什么情况下会“结露”?“结露”有什么危害?如何防止?	107
44.什么叫“调相运行”?发电机调相运行时和发电状态有什么不同?	108
45.调相机(补偿机)的几种起动方法的物理过程怎样?	111
46.发电机进相运行时,运行人员要注意什么?	113
47.发电机允许变为电动机运行吗?	120
48.发电机甩负荷有什么后果?	121
49.事故情况下发电机为什么可以过负荷?过负荷时运行人员应当注意什么问题?	122
50.三相电流不对称对发电机有什么影响?	123
51.发电机失磁后运行状态怎样?有何不良影响?怎样从表计的指示来判断失磁?失磁后运行人员应当怎么办?	129
52.发电机的振荡和失步(脱调)是怎么回事?怎样从表计的指示情况来辨别哪台电机失步?振荡和失步时运行人员怎么办?	135
53.定子绕组单相接地对发电机有危险吗?怎样监视单相接	

地?	142
54. 转子发生一点接地可以继续运行吗?	145
55. 什么叫突然短路? 短路电流为什么那么大? 发电机发生 哪种类型短路时短路电流最大?	148
56. 短路对发电机和系统有什么危害? 如何防止发生短路事 故?	151
57. 什么原因可能引起发电机着火? 电机着火时应当怎么处 理?	153
58. 汽轮发电机的振动有什么危害? 引起振动的原因有哪 些?	154
59. 巡回检查发电机时, 总要从窥视孔看看电机的端部, 试 问重点应该检查什么?	155
60. 电机里发生电晕是怎么回事? 电晕对电机有什么危害? 怎样防晕?	159
61. 发电机的励侧轴承为什么要对地绝缘? 运行时能检验轴 承的绝缘情况吗?	163
62. 汽轮发电机组被磁化是怎么回事? 有没有什么危害?	167
63. 汽轮发电机大轴上的接地炭刷是干什么用的?	174
64. 为什么有的发电机中性点不接地, 而有的发电机中性点 却经消弧电抗器接地?	175
65. 打雷对发电机有危险吗? 发电机有哪些防雷措施?	177
66. 发电机大修时, 为什么测定子绕组绝缘的吸收比时当 $\frac{R_{60}}{R_{15}} > 1.3$ 就认为绝缘是干燥的? 为什么需要摇测绝缘 电阻?	182
67. 发电机大修时对定子绕组做交流耐压、直流耐压和感应 耐压试验都起什么作用?	187
68. 发电机大修时测量发电机定子和转子绕组的直流电阻是 为了什么? 而测量转子绕组的交流阻抗又是为了什么?	190
69. 发电机的无载特性试验和短路特性试验有什么用途? 试	

验时应注意什么问题?	192
氢冷和水冷电机运行中的特殊问题	196
70. 氢冷电机在运行中有哪些需要特殊注意的地方?	196
71. 氢冷电机有可能爆炸吗? 怎样防止?	198
72. 氢冷电机为什么可用二氧化碳作为置换的中间介质? 而 为什么又不能在充二氧化碳的情况下长期运行?	199
73. 氢冷电机提高氢压后为什么可以提高出力? 提高氢压运 行后要注意什么问题?	199
74. 氢内冷电机的风路有什么特点?	200
75. 双水内冷电机定子绕组的水路是如何构成的?	203
76. 双水内冷电机的转子水路是如何构成的?	207
77. 为什么水冷电机的端部构件发热特别厉害?	211
78. 水冷电机端部的电屏蔽是怎么回事?	212
79. 水冷电机端部的磁屏蔽是怎么回事?	213
80. 为什么水冷电机定子线棒的振动比较厉害?	214
81. 什么叫“电腐蚀”?	215
82. 双水内冷电机在运行中有哪些需要特殊注意的地方?	219
励磁系统	221
83. 发电机对励磁系统有什么要求?	221
84. 励磁方式有几种?	221
85. 为什么有的直流励磁机带副励磁机?	225
86. 为什么测正极和负极的对地电压就能监视励磁系统的绝 缘?	226
87. 强行励磁起什么作用? 强励动作后应注意什么问题?	227
88. 发电机的自动灭磁装置有什么作用? 自动灭磁电阻阻值 有多大? 为什么有的电机没有灭磁电阻?	230
89. 用整流器励磁的同步电机, 什么时候、何种故障会产生 转子过电压?	233
90. 发电机大修后启动时励磁机升不起电压是什么原因?	234

91.励磁机的正、负极性反了对发电机的运行有没有影响? 什么情况下励磁机的极性可能变反?	235
92.励磁机的炭刷冒火可能是什么原因?	236
93.为什么励磁机整流子表面脏污时不允许用含钢砂纸或粗 玻璃砂纸进行研磨?	238
94.运行中励磁机整流子发黑是什么原因? 怎么处理?	240
95.由工作励磁机倒至备用励磁机时应注意什么问题?	240

基 本 知 识

1. 同步发电机是怎么发出三相交流电的？

大家知道，电流能产生磁场，磁场变化或导体切割磁场的磁力线，就会使磁场中的导体感应出电势，即通常所说的“电生磁，磁生电”，这是一个客观规律，发电机发电就是利用这个规律。

那么同步发电机怎么会发出三相交流电呢？我们利用图1-1来说明这个问题，图中画出的是同步发电机的示意图，以A—X代表定子的A相绕组（绕组也称线圈），B—Y代表定子的B相绕组，C—Z代表定子的C相绕组。三相绕组沿定子铁芯的内圆各相隔 120° 电角度安放^①。假定A、B、C是绕组的头，X、Y、Z是绕组的尾，R—L代表转子绕组，为了看起来较为清楚，这里画出的是一个凸极式转子，但所讲的原

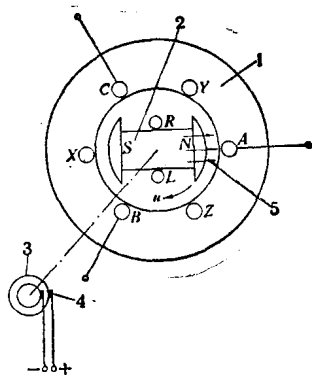


图 1-1 同步发电机示意图

1—定子铁芯；2—转子；3—滑环；4—炭刷；5—磁力线

① 所谓电角度就是机械角度乘以极对数，例如2对磁极的电机，每相邻的异性极中心线之间的机械角度为 90° ，当乘以极对数2以后，即为 180° 电角度，此时对应半个周期。以后，凡不特别指明的角度，均为电角度。

理也完全适用于隐极式转子的发电机。

发电机的转子由原动机（汽轮机或水轮机等）带动旋转，当直流电经炭刷、滑环通入转子绕组后，转子就会产生磁场（电生磁）。由于转子是在不停地旋转着的，所以这个磁场就成为一个旋转磁场，它和静止的定子绕组间形成相对运动，相当于定子绕组在不断地切割磁力线，于是在定子绕组中就会感应出电势来（磁生电）。

定子感应电势的方向，可由右手定则来确定。对于线圈中的任一根导线来说，在转子的旋转过程中，有时N极对着它，有时S极对着它，不同极性在绕组中感应出的电势方向是不相同的。方向来回变，这就是交流电。

电势的数值由下式决定，即

$$E = 4.44 f w k \phi$$

式中 E —— 相电势的有效值；

f —— 频率（周波）；

w —— 每相匝数；

k —— 绕组系数；

ϕ —— 每极磁通。

上式说明，电势的大小与转子的转速以及磁力线的疏密程度即磁通密度的大小有关，在转子的转速保持不变的情况下：定子绕组对着磁力线较稀疏的地方，导体中的电势就较小，对着磁力线较密的地方，导体中的电势就较大，由于在设计和制造发电机时有意安排尽量使磁通密度 B 的大小沿磁极极面的周向分布接近正弦波形，如图1-2所示，所以，每根导体中感应出来的电势的大小，也随着时间按正弦规律变化。

转子不停地旋转，磁场的磁力线被A相、B相、C相定子绕组切割，于是就在三相绕组中感应出三相交流电来。

转子磁场的轴线处磁力线最密，哪相定子绕组的导体正对磁场的轴线时，该导体中的感应电势就达最大值。三相绕组在空间互隔 120° ，同一个时间内转子磁场的轴线不可能同时对三个相，总是一个相一个相地轮换着，因此，三个相的电势也不能同时达到最大值，而是按照转子的旋转方向，即如图1-1中的箭头 n 所示的方向，先是A相达到最大值，然后是B相达到最大值，再后来就是C相达到最大值，如此循环下去。这种各相电势不能同时达到最大值而在时间上有个先后差别的情况，就是三相交流电的“相位差”。这里，A、B、C三相电势的相位差各为 120° 。把这三相电势随时时间变化的规律用图形表示出来，就如图1-3的波形所示。它们达到最大值的顺序，是A—B—C，我们称为“相序”。

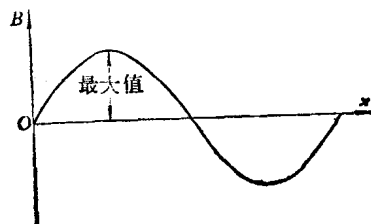


图 1-2 正弦波形

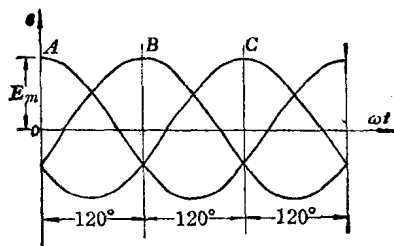


图 1-3 三相电势波形

2. 同步电机的“同步”是什么意思？

同步电机的定子和转子之间的空隙叫做气隙，电机运行时，在气隙里有定子和转子两个磁场，当定子磁场和转子以相同的方向、相同的速度旋转时，就叫“同步”。

这两个磁场，一个是转子绕组流过直流电流产生的转子磁场，一个是定子三相绕组流过对称的三相交流电流时合成产生的定子磁场，它们都是旋转的，所以都叫旋转磁场。定子旋转磁场的转速和发出来的交流电的频率保持严格不变的关系，可以用下面的式子来表示，

$$n = \frac{60f}{p}$$

式中 n —— 转速；

f —— 频率；

p —— 磁极对数；

60 —— 系频率（赫兹，Hz）与转速（转/分，r/min）
的单位所引起的差值。

例如，我们国家采用的交流电的频率是50Hz（工频），那么对于只有一对磁极的汽轮发电机来说，转速应该是

$$\frac{60 \times 50}{1} = 3000 \text{ r/min}.$$

水轮发电机由于转速低，要发出50Hz

的交流电，其磁极的极对数就得多一些。

在同步发电机中，这两个旋转磁场，转子的在前，定子的在后。在同步电动机中，这两个旋转磁场，定子的在前，转子的在后。

3. 定子的旋转磁场是怎么产生的？它有什么特点？

在定子里互差120°安放的三相绕组，流过对称的三相交流电流时，就会产生旋转磁场。

为了搞清楚这个问题，应当先搞清楚三相交流电流在三相绕组里是怎样流通的。

图3-1所示的是三相交流电流随时间变化的波形，它们的相序是A—B—C。图3-2所示的是在 t_1 瞬间发电机电流的分布，这是一个最简单的由发电机和负载所联接成的回路。三相电流在回路中的流动情况是时刻都在变化着的。对于任一相来说，有时电流向外（从发电机流向负载），有时向里（从负载流向发电机），但有一点是肯定的，即任一相的电流都是以另外两相的电路为回路的。要了解某一瞬间电流流通的情况，只要在图3-1的横坐标上取某一个瞬时 t_1 ，通过 t_1 画一根垂直于横坐标的直线，这直线和三根电流曲线的三个交点，就表示出该瞬时三个相电流的大小和正负来。就以 t_1 这个瞬时来说， i_A 是正的，用 $i_A > 0$ 来表示， i_B 是负的，用 $i_B < 0$ 来表示， i_C 是正的，用 $i_C > 0$ 来表示。从图3-2上来看，我们若假定发电机的电流离开其中性点O时为负，指向中性点O时为正，那么在 t_1 瞬间发电机的电流方向便如该图所标的箭头所示，即B相为负向外流，A相和C相为正都向里流。

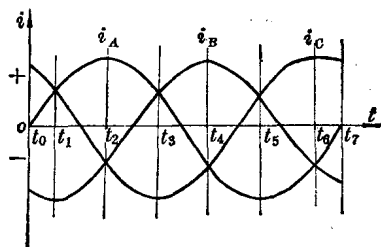


图 3-1 三相交流电流随时间变化的波形

这样不断变化着的三个电流，在流经三相绕组时其产生的磁场又是怎样的呢？我们可以取不同瞬间的电流，从空间

来看它们合成磁场的分布情况。因为磁场总有个最强的地方，这就是假想磁极轴线所在处。我们若用箭头（空间向量）来表示磁场，且让其与磁极轴线重合，箭头所指的方向为磁场方向。然后看看这个箭头转不转，以及怎样转。

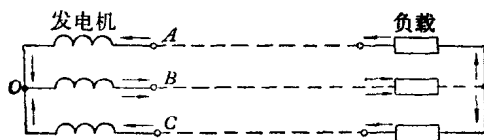


图 3-2 t_1 瞬间发电机的电流分布

在图3-3中，我们以 A 、 B 、 C 来代表三个相绕组的头， X 、 Y 、 Z 来代表其相应的尾。并假定，电流从头进去、从尾出来为正，反之则为负。符号“ $\otimes$ ”表示电流方向是进去的（背离读者），符号“ $\odot$ ”表示电流方向是出来的（向着读者）。

首先取 $t=t_0$ 瞬间，从图3-1中可知，此时 $i_A=0$ ， $i_B<0$ ， $i_C>0$ 。这时，在图3-3(a)中， A 相电流为0， B 相电流是负的，其方向应该从 Y 进去、从 B 出来， C 相电流是正的，电流方向应该从 C 进去、从 Z 出来，每个电流产生的磁场方向可用右手螺旋定则来判定。而三相电流合成的磁场方向也可以用右手螺旋定则来判定，这时只要打破绕组的界限，三个绕组一把“抓”就行。如图3-3(a)中，上面导线（ Y 、 C ）的电流都是进去的，下面导线 Z 、 B 的电流都是出来的，用右手顺着电流进去、出来的方向一把“抓”，就可以定出如图所示的合成磁场的方向，即 N 极在左， S 极在右。同理，取 $t=t_1$ 瞬间，从图3-1中可知， $i_A>0$ ， $i_B<0$ ， $i_C>0$ ，这时，在图3-3(b)中， A 相电流自 A 端进从 X 端出，