

直接冷却 汽轮发电机的运行

〔苏〕Л.С. 林多尔夫 Л.Г. 马米柯年茨等著

电力工业出版社

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ
С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ**

Л. С. ЛИНДОРФ Л. Г. МАМИКОНЯНЦ

«ЭНЕРГИЯ» • МОСКВА 1972

直接冷却汽轮发电机的运行

[苏]Л.С. 林多尔夫 Л.Г. 马米柯年茨等著

王绍禹 李德基等译

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

**850×1168毫米 32开本 10 $\frac{1}{4}$ 印张 270千字
1980年3月第一版 1980年3月北京第一次印刷**

印数 0001—6350 册 每册 1.30 元

书号 15036·4019

内 容 提 要

本书叙述对绕组直接冷却的现代大型汽轮发电机及其励磁系统的主要要求和各种运行方式，综述汽轮发电机的运行经验和在提高其运行可靠性方面的科研成果。

本书可供在发电厂和电力系统从事现代大型汽轮发电机运行以及从事电力设备设计的有关工程技术人员阅读，还可供有关专业的大学生参考。

译 者 的 话

从五十年代以后，发电机绕组的冷却方式由间接冷却发展到直接冷却，即定子和转子绕组导线用冷却介质直接冷却，使发电机的冷却效率大为提高，单机容量成倍地增长。近二十年来这种冷却方式日益完善，单机容量愈来愈大，已经达到 1000 兆瓦以上。

五十年代后期，我国已研制成功第一台双水内冷汽轮发电机，之后，又有许多直接冷却的大容量汽轮发电机陆续投入运行。为了实现四个现代化的宏伟目标，我国将有愈来愈多的直接冷却大容量汽轮发电机投入电网。对直接冷却的大容量汽轮发电机的运行和制造问题，国内已在不断地进行研究和总结经验，并进行专门的试验。同时，了解国外的有关科研成果，借鉴其运行和制造经验，将有助于提高我国大容量汽轮发电机的运行水平和制造质量。为此，我们把这本书翻译出来供参考。

本书是由 Л.С.林多尔夫和 Л.Г.马米柯年茨等集体编写的。各章节的写法，深入程度，文字表达方面，都各有差异。

参加本书译校工作的有东北电业管理局技术改进局王绍禹同志及电力工业部电力科学研究院李德基、方思立、郑美特及周青山同志。第一章 1-1 和 1-2 节由郑美特译、王绍禹校；第一章 1-3 到 1-7 节，第二章和第五章 5-4 节由李德基译，第一章 1-3 节到 1-7 节和第五章 5-4 节由郑美特校；第二章由王绍禹校；第三到第四章，第五章 5-1 到 5-3 节和第六章由王绍禹译，李德基校；第七章由方思立、周青山译校。全书译文由王绍禹同志做了校订。由于我们水平所限，错误之处欢迎读者指正。

译 者

一九七九年六月

序 言 (摘译)

电能,是目前在工业和生活上应用最广泛的一种能源。电能用户的不断增加,要求有愈来愈多的新机投入运行。苏联电力系统的容量,大约每7~9年就增长一倍。这就不可避免的促使发电机单机容量的增大。机组单机容量增大,使建设安装工作量减少,单位容量的运行维护人员数目减少,发电机制造和发电厂安装的材料消耗降低。

在苏联,大约有80%的电能是由火力发电厂生产的。在运行中广泛的采用容量为150, 200和300兆瓦的汽轮发电机。第一台500和800兆瓦汽轮发电机已经投入运行。

由于采用较好的材料,完善的冷却系统和准确的计算方法,使小容量汽轮发电机的完善过程也在同时进行。

单机容量的提高,计算方法的完善及其它措施,使材料的利用率提高,容许过负荷的裕度和安全系数降低,电机的结构复杂,于是与绕组间接冷却的电机相比,对运行的要求也提高了。

分析对汽轮发电机运行的新要求,找出各种因素对发电机单个部件运行的影响,弄准在特殊运行方式(短时过负荷,不对称运行及其它)时采取的条件,可以不必花大量的额外投资,就能提高对用户供电的可靠性。

本书是由工作在汽轮发电机的科研、调试和运行部门的作者们集体编写的。书中叙述绕组直接冷却汽轮发电机的运行问题和它的励磁系统,及对励磁系统的主要要求。对现代利用率高的汽轮发电机的励磁系统,及辅助装置(密封,气油系统等)的特性和运行予以特别的注意。

本书分析了汽轮发电机的个别运行方式,它对结构件运行的影响,各个部件的主要故障,检出的方法及其消除。

参加本书编写的有：第一章——Л.Г. 马米柯年茨；第二章——Н.К. 梅申克娃和 Е.В. 列波夫；§ 3-1, 3-3, 3-4, 3-6, 6-4, 6-8——Р.А. 马利诺夫；§ 3-2, 6-6——О.С. 克罗德诺娃；§ 3-5——Л.С. 林多尔夫, Л.Г. 马米柯年茨, Р.А. 马利诺夫；§ 4-1—4-5, 5-3, 6-1, 6-2——Л.С. 林多尔夫；§ 4-6, 4-7, 5-2——А.И. 齐斯基克夫；§ 5-1, 5-4——Л.Г. 马米柯年茨和 А.И. 齐斯基克夫；§ 6-3——Л.С. 林多尔夫, Л.Г. 马米柯年茨和 Р.А. 马利诺夫；§ 6-5——Л.С. 林多尔夫和 Е.В. 列波夫；§ 6-7——列波夫；§ 7-1, 7-5——Ю.А. 斯曼；§ 7-2—7-4——Ю.А. 欧利罗夫。

目 录

译者的话

序言 (摘译)

第一章 对大型汽轮发电机的要求	1
1-1 现代电力系统中汽轮发电机运行的一般特性	1
1-2 根据电力系统稳定运行条件对汽轮发电机的要求	3
1-3 根据正常稳态运行方式的运行条件对汽轮发电机的要求	27
1-4 当稳态长时间运行方式偏离正常运行方式时汽轮发电机的运行	31
1-5 在对称和不对称方式时汽轮发电机定子和转子电流的短时过负荷	34
1-6 对汽轮发电机绝缘的要求	35
1-7 对汽轮发电机机械性能的要求	36
第二章 绕组直接冷却汽轮发电机的结构特点	38
2-1 汽轮发电机的冷却和选择冷却介质的一般知识	38
2-2 定子绕组的主要结构特点	45
2-3 转子绕组的主要结构特点及其固定	49
2-4 定子铁芯的主要结构特点	57
第三章 绕组直接冷却汽轮发电机的辅助装置及设备	60
3-1 汽轮发电机的电气监视测量装置、保护装置和温度监视	60
3-2 轴密封系统	66
3-3 汽轮发电机的供气系统	85
3-4 绕组的水冷却系统	92
3-5 汽轮发电机的灭磁	104
3-6 滑环与电刷	115
第四章 汽轮发电机的起动和带负荷	123
4-1 起动和带负荷的特点	123
4-2 在正常运行条件下汽轮发电机的容许负荷	130

4-3	氢气纯度、温度和压力对汽轮发电机容许负荷的影响	133
4-4	凝结水量和温度对汽轮发电机容许负荷的影响	136
4-5	电压和频率的偏差对汽轮发电机容许负荷的影响	138
4-6	功率因数与额定值的偏差对汽轮发电机容许负荷的影响	140
4-7	汽轮发电机的容许负荷表	151
第五章	汽轮发电机的非正常运行方式	161
5-1	定子和转子电流的短时过负荷	161
5-2	汽轮发电机的不对称运行方式	172
5-3	非正弦负荷	186
5-4	汽轮发电机在异步方式时的运行	189
第六章	汽轮发电机的主要故障及其预防和消除	209
6-1	定子绕组绝缘的故障	209
6-2	转子绕组绝缘的故障	217
6-3	轴电流引起的故障	221
6-4	有效铁芯的故障	231
6-5	汽轮发电机振动的增大	236
6-6	槽部和端部定子绕组线棒固定的变松	243
6-7	汽轮发电机转子护环组件的故障	249
6-8	汽轮发电机密封的破坏	252
第七章	励磁系统	256
7-1	励磁系统的现状和要求	256
7-2	电机励磁系统	268
7-3	离子励磁系统	275
7-4	高频励磁系统	293
7-5	无刷励磁系统	305
参考文献		313

第一章 对大型汽轮发电机的要求

1-1 现代电力系统中汽轮发电机运行的一般特性

现在和将来，汽轮发电机都是现代复杂的联合电力系统的主要元件。汽轮发电机的特性、参数和可靠性虽然在决定程度上，但也在很大程度上影响电力系统运行的可靠性，以及与电力系统连接用户的供电可靠性。

因此，对汽轮发电机的要求，不仅决定于电机制造的经济条件，而且还决定于电网的运行条件。要从计算的成本最低和生产技术的可能性出发，考虑汽轮发电机的制造和在电力系统中运行的条件，在进行技术经济比较的基础上，解决这一总的任务。

同时，根据电力系统设备其中包括汽轮发电机的标准化要求，不是必须解决个别的、具体的条件所提出的任务，而是从汽轮发电机典型运行条件 and 生产条件为前提解决这一问题。

有许多单位在进行上述问题的研究。但是，还不能认为问题已经解决，甚至在方法上也没有解决。因此，作者在编写本书中对汽轮发电机提出的下列要求，是多年来国内、外在汽轮发电机的标准化、制造和运行方面经验的总结，也是电机工业和电力工业的专家们对部分技术经济问题的研究协商结果。显然，目前还没有正式的论据说明，这些集体经验的成果已经接近理想的数值。

因此，根据本书的任务，本章只论述电力系统中汽轮发电机^①的实际运行条件，及与其有关的要求。至于制造特点的叙述，只限于实现上述要求所涉及到的问题。

① 以下，如果没有专门说明的话，皆指两极的汽轮发电机而言。

首先，论述在现代电力系统中，汽轮发电机运行条件的一般特性及其特点。

电力发展到现阶段的特点是：

(1) 在广阔的土地上建立非常大的联合电力系统，它包括装有大型机组的容量愈来愈大的发电厂，从电厂向负荷中心传输大量电能的长距离输电线路，与此同时，各个电力系统相互之间常常（根据稳定条件）也有所谓弱的联系。

(2) 电网总电容（其中包括长距离输电线的电容^①和用户安装的大量的电容器）增加，随着同步电动机的大量采用和负荷曲线增加不均衡，要求同步发电机和调相机必须限制所发出的无功功率，甚至有时要吸收无功功率。

(3) 存在产生高次谐波电流和电压的不对称的大功率装置，例如，单相牵引负荷、单相或不对称的冶金炉、大的换流装置、直流输电线路和若干其它电力负荷等。

(4) 要求提高对用户的供电质量水平(ГОСТ^② 13109-67)，这在某种程度上可以解释为，与电力系统连接的用户，常常是很大容量和重要的用户，它们对频率和电压与额定值出现的偏差非常敏感，甚至是很短时间的停电它们都是承受不了的。

(5) 广泛应用各种型式的自动装置，如正常运行方式时的电压、频率、有功和无功功率的调节等，和反事故的自动装置：各种型式的继电保护、自动重合闸(АПВ)、备用电源投入(АВР)、按频率自动减负荷(АЧР)、发电厂和工厂厂用电电动机的自起动等。如果不广泛地采用这些自动装置，那么现代复杂电力系统运行方式的控制和可靠性的保证，是不可能的。

在制造电力系统的全部设备（其中包括汽轮发电机），以及这些设备在运行时，应该考虑现代电力系统每天不仅在稳态方式下，而且也在暂态方式下运行的上述特点。

① “电容”二字是译者加的。

② 苏联国家标准，下同——译者。

1-2 根据电力系统稳定运行条件 对汽轮发电机的要求

如 1-1 (见第一段和第六段的一部分)所指出的, 现代电力系统及其连接的特点证明, 广义的理解电力系统的稳定运行, 即不单是指同步发电机本身的并列稳定运行, 而且还包括电力负荷, 首先是电动机的稳定运行, 是非常现实的任务。

根据文献 2, 按照干扰性质和分析所发生现象的方法不同, 把电力系统稳定分为下述形式: 静稳定——整个电力系统或它的个别元件(输电线、负荷点)受到小的干扰或所分析方式的参数(角度、电压等)与相应的平衡状态的数值有偏差时的稳定; 动稳定——整个电力系统或它的个别元件受到较大的突然干扰(短路, 切除部分电网、电源和负荷, 自动重合闸等)时的稳定。

首先, 动稳定可分为: 同步动稳定, 即由于干扰, 同步电机转子只作衰减的“同步”摇摆(亦即它们之间的相对角度没有改变到 360 度及以上), 而电力系统不同点的电压(其中包括负荷点)恢复到正常或接近正常数值; 综合动稳定, 即同步电机受到干扰后经短时间的异步运行又恢复同步。这时主要负荷的电压, 恢复到使电动机能够自起动的容许数值, 接着达到它能长时间运行的数值。

有关保证整个电力系统和单个汽轮发电机的稳定问题, 在许多教科书和专题著作中已有详细论述[文献 1, 3, 4 及其它]。在这里只提及决定汽轮发电机有关要求的某些主要情况就足够了, 简单的例子是, 忽略发电机定子回路全部元件的有功电阻和饱和(图 1-1), 发电机经过外部电抗 X_{BH}

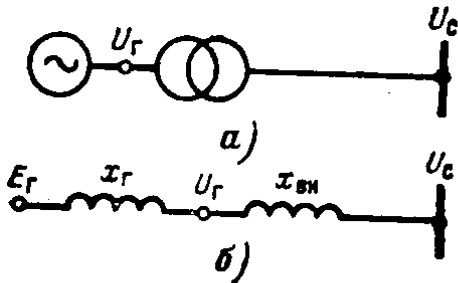


图 1-1 发电机与功率为无穷大的电网连接的原理接线图 (a) 和它的等值电路图 (b)

与功率为无穷大的电网连接运行。为了简单起见，首先分析不带自动励磁调节器(APB)的电机，然后再简要地介绍这种调节的作用。

一、静稳定

汽轮发电机的转子是对称的，因此可以认为转子的纵轴和横轴同步电抗相等，即 $x_d = x_q$ ，在实际上是足够准确的。于是，所研究的输电线的稳态运行方式可用图 1-2 中所示的矢量图表示。在这种方式下，发电机的电势 ($E_r = E_q$) ① 为同步电抗后的数值。

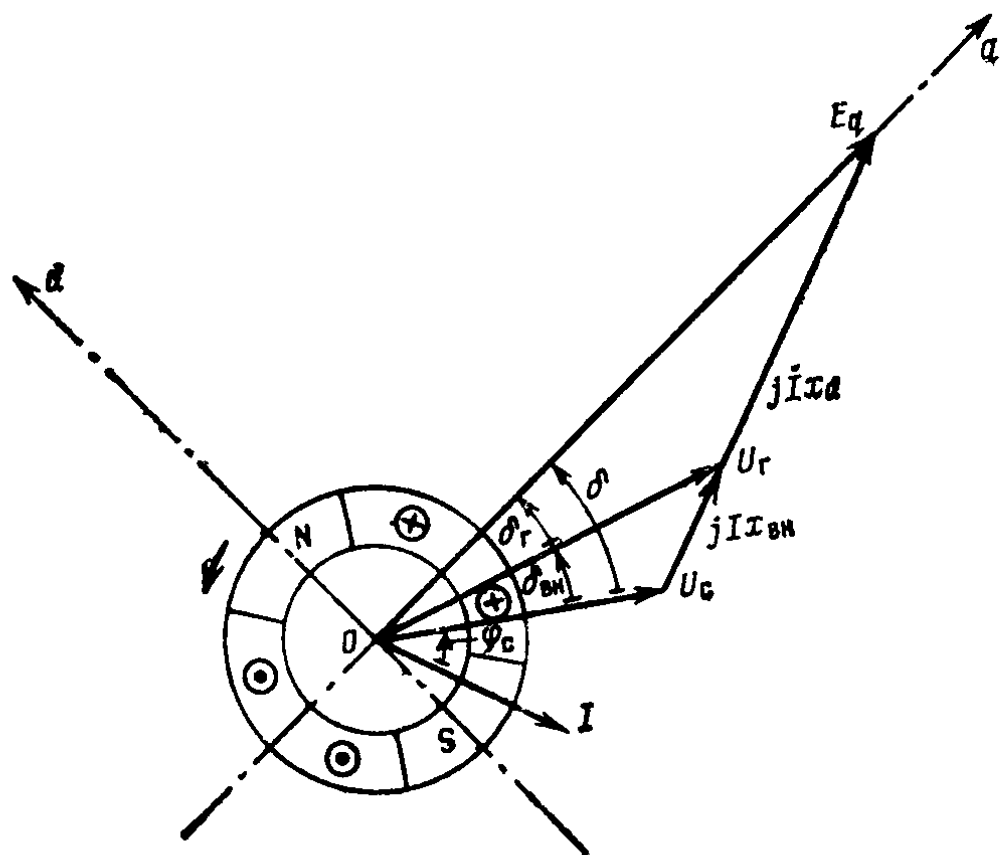


图 1-2 图1-1表示的输电线稳态运行方式的矢量图

众所周知，在这种方式时电机的有功功率，决定于公式

$$P = \frac{U_c E_q}{x_d + x_{BH}} \sin \delta \tag{1-1}$$

公式中所有的参数不论用标么值表示或是用物理量表示，该

① 这里和以后，根据目前采用的由励磁磁通所建立的发电机电势的座标系统以脚注 q 表示，因为电势滞后于它的磁通 90° ，而方向与 q 轴同向。

式都成立。但用物理量表示时， U_c 和 E_q 应理解为相间（线的）数值。公式（1-1）表示电机的电磁转矩与它的有功功率成正比。用标么值表示时，有功功率与其相应的电磁转矩的数值相等。如果电势 E_q 不变，有功功率（转矩）与线路传输角 δ 的关系呈正弦变化，其幅值等于

$$P_{\text{макс}} = \frac{U_c E_q}{x_d + x_{\text{BH}}} \quad (1-2)$$

仅在 $M_r \leq M_{\text{н.макс}}$ 或 $P_r \leq P_{\text{макс}}$ 的条件下，原动机（这里是指汽轮机或燃气轮机）的转矩和发电机的电磁转矩方能平衡，遵照这一条件，汽轮机的每一转矩（功率）值在发电机转矩（功率）的功角特性上，都对应有两个平衡点（图 1-3）。

在所有的运行方式下，电机的转子运动（容许忽略摩擦损耗）可以下述方程式表示

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_r - M_{\text{н}} = \Delta M \quad (1-3)$$

式中 J —— 旋转质量的惯性矩；
 ω —— 转子的旋转角速度；
 ΔM —— 作用在转子上的过剩转矩。

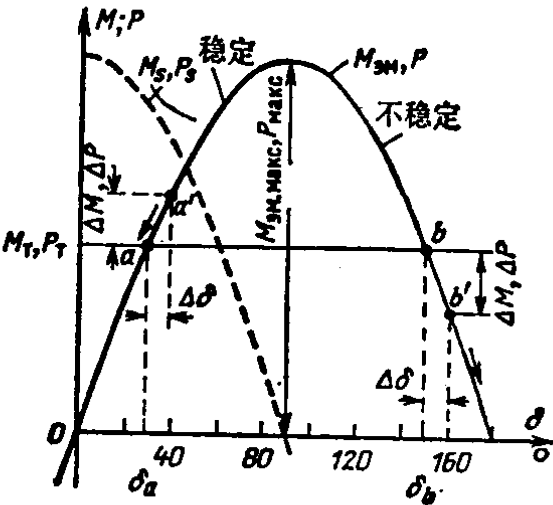


图 1-3 励磁不变时，带汽轮发电机的输电线路的功角特性

所研究的系统呈静态稳定时，如果 δ 偏离平衡状态（ $M_r = M_{\text{н}}$ ）所对应的数值差为任意小的数值，则产生这种符号的过剩转矩，在该过剩转矩作用下，造成的转子加速与角度偏移时的符号相反，因而促使系统恢复到初始的稳定状态。

因此，可以把稳定的条件写成下列不等式：

$$\frac{d\Delta M}{d\delta} < 0 \quad \text{或} \quad \frac{d\Delta P}{d\delta} < 0 \quad (1-4)$$

不难看出，在图1-3中 a 点符合这个条件，而 b 点不符合，即 b 点的运行是不稳定的。

由式(1-4)可知,在一般情况下稳定条件和相应的稳定边界,不仅决定于电磁转矩特性,而且还决定于汽轮机转矩。但是,根据迄今采用的原动机自动调节系统的情况,实际汽轮机的转矩与角度无关,通常从所研究的系统静稳定条件,可以引出只决定于发电机的不等式:

$$\left. \begin{aligned} M_s &= \frac{dM_{sm}}{d\delta} = M_{sm \max} \cos\delta > 0 \\ \text{或} \quad P_s &= \frac{dP}{d\delta} = P_{\max} \cos\delta > 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中 M_s 和 P_s ——同步转矩和功率。这时稳定极限等于 90° 。

在没有APB时,发电机的静过载能力是表征它自身静稳定极限的综合参数。当发电机与功率为无穷大的电网($X_{BH}=0$)直接连接运行,励磁电流和定子绕组的端电压为额定值,静过载能力等于电磁功率(转矩)最大值与额定有功功率的比值。ГОСТ 533-68规定静过载能力以下式表示

$$S = \frac{i_{fH}}{i_{fK} \cos\varphi_H} \quad (1-6)$$

式中 i_{fH} ——额定励磁电流;
 i_{fK} ——当三相稳定短路定子电流为额定值时的励磁电流;
 $\cos\varphi_H$ ——额定功率因数。

这一参数称为综合参数,它反映了同步电抗和额定功率因数对发电机稳定的影响。由此不难得出,用标么制(在空载特性曲线上取定子额定电压时所对应的励磁电流为基本值)表示不饱和电机额定励磁电流的公式为

$$\left. \begin{aligned} i_{fH} &= \sqrt{(u + x_d \sin\varphi_H)^2 + (x_d \cos\varphi_H)^2} \\ i_{fK} &= x_d \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

实际电机的电流 i_{fH} ,可应用不饱和电机在额定方式运行时众所周知的向量图[文献5]确定。这时,电流 i_{fK} 等于短路比(OK3)的倒数:

$$i_{fK} = \frac{1}{OK3} = \frac{1}{K_c} \quad (1-8)$$

增大 x_d (减小 OK3) 导致电机静过载能力的减小,因为这时

i_{fH} 增长的程度小于 i_{fK} 。增大额定功率因数，由于 i_{fH} 减小和 (1-6) 式的分母增大，也会降低电机的静过载能力。因此，无论从单个汽轮发电机和整个电力系统的静稳定的观点来看，要求电机有尽可能小的同步电抗或较大的短路比和较小的额定功率因数是合适的。这对于单个电机和整个电力系统的动态稳定来说，也都是合适的。

但是，由于强力冷却和采用新的较完善的材料，而使材料的利用率提高，这样，在发电机尺寸增加不太大的情况下就提高了单机容量，本书所叙述的绕组采用气体或液体直接冷却的汽轮发电机，就是这方面的典型。这就导致，一方面要增大 x_d (减小 $OK3$) 的数值，另一方面制造较低功率因数的汽轮发电机是有困难的。例如，苏联的容量为 100 兆瓦绕组为间接冷却的汽轮发电机 $x_d = 1.4 \sim 1.8$ 标么值，容量为 500 兆瓦绕组直接冷却的汽轮发电机， $x_d \approx 2.5$ 标么值。上述情况已反映在现行的 ГОСТ 533-68 中，根据这个标准：

(1) 容量为 300 兆瓦及以下汽轮发电机的静过载能力应不低于 1.7，容量为 500 和 800 兆瓦的汽轮发电机不低于 1.6，后一数值还可根据首批样机的试验结果进一步订正；

(2) 容量为 100 兆瓦及以下汽轮发电机的功率因数为 0.8；160 到 500 兆瓦 (包括 500 兆瓦) 的功率因数为 0.85；800 兆瓦的功率因数，根据制造厂家与订户协商确定，它的数值范围为 0.85 ~ 0.90。

国际电工委员会 (МЭК) 推荐的数值 [文献 7] 是，容量大于 500 兆瓦的汽轮发电机，功率因数等于 0.9， $OK3 \geq 0.35$ 。

在简要的叙述了不调整的汽轮发电机与功率为无穷大电网连接的稳态运行之后，讲几句关于发电机发无功功率的问题。发电机与电压为 U_c 的大容量电网连接 (图 1-1)，在连接点上的功率可以用下式表示

$$Q = -\frac{U_c^2}{x_d + x_{BH}} + \frac{E_q U_c}{x_d + x_{BH}} \cos \delta \quad (1-9)$$

如果励磁不变，当 $\delta = 0$ ，亦即没有有功负荷时，向电网发出的无功功率数值最大。随着有功负荷的增加 Q 值减小，当 $\delta = \arccos \frac{U_c}{E_q}$ 时 Q 等于零；当角度（有功功率）进一步增加时，无功功率的符号改变，即表示由电网吸收无功功率。按照稳定的条件当极限角度 $\delta = 90^\circ$ 时，需要由电网吸收无功功率给电机本身和外部电抗“励磁”。

对于大多数实际问题来说，无功功率与角度 δ 的关系没有多大意义，而无功功率与有功功率的关系确有很大意义。由 (1-9) 和 (1-1) 式不难得出这种关系，它可写成下式：

$$Q = -\frac{U_c^2}{x_d + x_{BH}} \sqrt{\left(\frac{E_q U_c}{x_d + x_{BH}}\right)^2 - P^2} \quad (1-10)$$

假定 E_q 和 P 给定不变，当着

$$U_{c.\text{кр}} = \sqrt{\frac{E_q^2}{4} + \frac{P^2(x_d + x_{BH})^2}{E_q^2}} \quad (1-11)$$

由条件 $\frac{\partial Q}{\partial U_c} = 0$ ，得无功功率的最大值。

对应这一电压的无功功率由下式决定

$$Q_{\text{max}} = \frac{E_q^2}{4(x_d + x_{BH})} - \frac{P^2(x_d + x_{BH})}{E_q^2} \quad (1-12)$$

用 (1-10) 式可以分析电力系统负荷结点按电压考虑的实际的静稳定的问题。这里举集中的电力系统（即没有彼此间相距很远的发电厂）为例，该系统很容易化成发电机——负荷的等值系统（图1-4）。为了简化起见，认为有功负荷与电压 U_c 无关，即

$$P_r(U_c) = P_n(U_c) = \text{const (常数)}$$

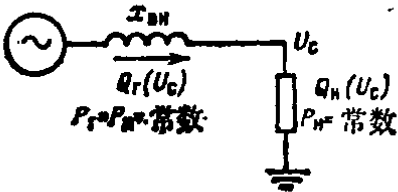


图 1-4 发电机——负荷系统的原理等值线路图

负荷的无功功率 $Q_n(U_c)$ 和发电机无功功率 $Q_r(U_c)$ 的关系如图1-5所示。在任何方式时都必须满足等式 $Q_n = Q_r$ ，由图1-5所示的情况中可见点 a 和 b 满足该条件。但是只有 a 点的运行方式是稳定的，该点电压 U_c 偶而出现微小的升高，便引起无功功率欠缺 $Q_r < Q_n$ ，于是

a 点在未恢复到平衡以前电压降低,电压降低引起无功功率过剩 $Q_r > Q_n$,电压又升高到初始数值 $U_{c\alpha}$ 。 b 点情况恰好相反,该点运行方式是不稳定的。

所分析的运行方式的稳定条件是,在平衡点处满足不等式

$$\frac{\partial(Q_r - Q_n)}{\partial U_c} = \frac{\partial \Delta Q}{\partial U_c} < 0 \tag{1-13}$$

显然,该点的运行方式为极限稳定方式。发电机的无功功率和负荷的特性曲线只能在一点(例如图1-5的 c 或 d)相切,由 a 点过渡到极限点 c 或 d ,和相应的特性 $Q_r'(U_c)$ 和 $Q_n'(U_c)$ 可能由于各种原因引起: c 点可能是由于外部电抗的增加或发电机电势的降低, d 点可能是由于接入附加的负荷及改变负荷的运行方式等。

c 和 d 点所对应的运行方式,实际上是不稳定的。如果由于某种原因(系统结线、发电机的运行条件或负荷的改变等),特性曲线 $Q_r(U_c)$ 和 $Q_n(U_c)$ 改变,使得它们只能在一点相切或 $Q_r(U_c) < Q_n(U_c)$,那末将引起电压急剧的降低,或简称“电压崩溃”。

如果其它条件相同,发电机电势越高,它的自身和外部电抗越小,则发生这种不稳定现象的概率越小。因此,从这一观点来看,不希望增大发电机同步电抗的数值。

应当指出,在一般情况下,可能使稳定破坏的临界电压数值,决定于引起 $Q_r(U_c)$ 和 $Q_n(U_c)$ 特性曲线改变的原因,即决定于向极限运行方式过渡的方法(见图1-5)。因此正如文献8所指出,近似地可以认为差值 $\Delta Q = Q_r - Q_n$ 的最大值所对应的电压,就是临界电压。

与此不同,上面分析的按照角度(常常 $\delta_{kp} = 90^\circ$)确定电机(转子是对称的,忽略定子回路的有功电阻)的极限稳定方式,与过渡到这一方式是由于 E_q 和 U_c 的降低或是由于汽轮机(功率)转矩的增大无关。这可以解释为,在该情况下汽轮机转矩不决定于角度(至少是没有专门的调节器),

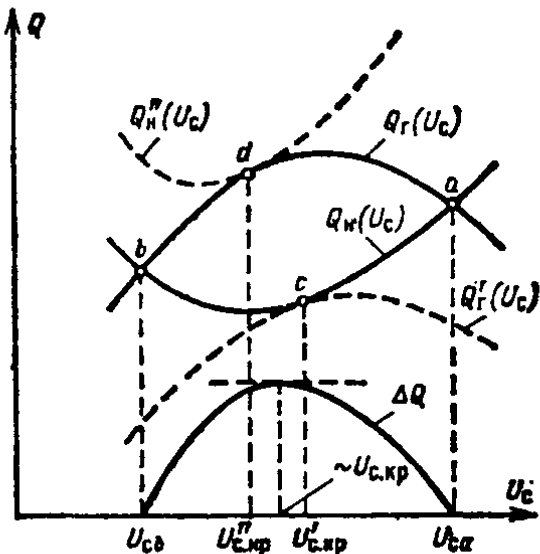


图 1-5 发电机的无功功率 Q_r 和负荷的无功功率 Q_n 及它们之间的差 $\Delta Q = Q_r - Q_n$ 与电网电压 U_c 的关系