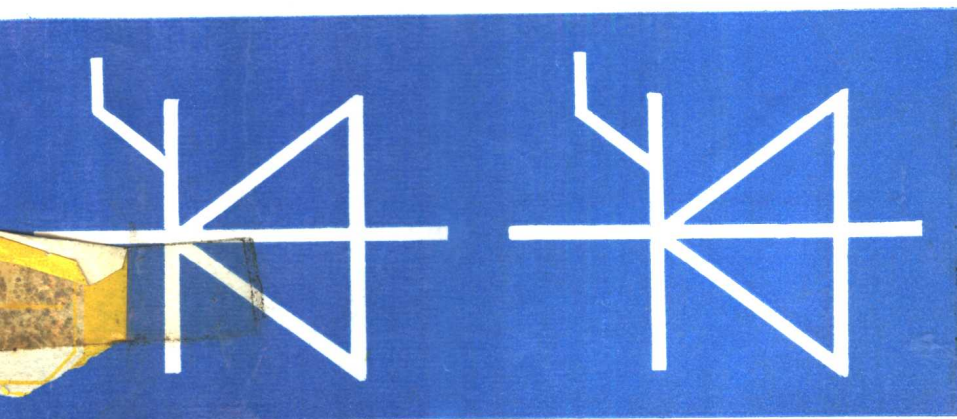


晶闸管串级调速技术 问答

张海山 田于田 编



石油工业出版社

晶闸管串级调速技术问答

张海山 田于田 编
李 鏞 审阅

石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书是一本关于晶闸管串级调速技术的初级读物,采用一问一答的形式,由浅入深地介绍了有关基础理论知识和晶闸管的保护与故障分析,并着重介绍了晶闸管串级调速系统的专业理论及实际调试、运行、维护方面的技术知识。

本书的读者对象是晶闸管串级调速系统的现场操作维护工人和技术人员。

晶闸管串级调速技术问答

张海山 田于田 编
李 镭 审阅

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京海淀吴海印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32 开本 $6\frac{3}{8}$ 印张 3 插页 135 千字 印 1—1,000

1993年1月北京第1版 1993年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0819-X/TE·765

定价: 5.20元

前 言

为了实现到本世纪末我国国民生产总值翻两番的战略目标,能源是实现这一目标的重要条件。根据我国能源的具体情况,我国制定的能源政策是开发与节约并重,而节约电能是节约能源的重要内容。

我国风机、泵类机械设备每年耗电约占总发电量的31%,其中变负荷运行的占70%,电能耗费很大。目前很多单位已对这些设备采用了变速调节进行节电,较为普及的是晶闸管串级调速技术,该技术被广泛运用于城市自来水、矿山、冶金、输油管道及轻纺等工业系统。运行实践证明节电效果十分显著并取得平均节电20%~35%的经济效果。这不仅增加了社会效益,也便于自动控制,改善了劳动强度。为了推广应用晶闸管串级调速新技术,普及并提高现场人员的技术理论水平和实际操作技能,特编写了这本书。

本书的读者对象是现场操作维护工人及技术人员。因串调技术专业性较强,涉及的知识面较广,因此在编写过程中力求由浅入深、理论与实际相结合,以问答方式编写。全书共分六章,前三章介绍了绕线型异步电动机、晶闸管、触发电路、整流、逆变的基础理论知识;第四章介绍了晶闸管的保护与故障分析;第五、六章重点介绍了晶闸管串级调速系统的专业理论及实际调试、运行、维护方面的技术知识。本书根据多年来运用串调技术的实践,并结合长输管道输油泵的特点,着重介绍了绕线电动机电刷的选择、运行、维护及

EAD02/14 10

串调故障转全速频敏变阻器的选择技术知识等。

本书原稿曾请管道勘察设计院高级工程师李 镛 同志 审阅，田雨、孙树山同志对本书的编写提出了宝贵意见，在此表示感谢！

由于编写者水平有限、经验不足，错漏不当之处在所难免，敬请读者提出批评指正。

编者

1992年5月

目 录

第一章 绕线型异步电动机	(1)
1. 绕线型异步电动机构造怎样? 各部分均起什么作用?	(1)
2. 绕线型异步电动机和鼠笼型异步电动机在构造上有 哪些相同、相异之处?	(2)
3. 绕线型异步电动机具有哪些特点?	(3)
4. 绕线型异步电动机转动原理如何?	(3)
5. 怎样画绕线型异步电动机的等效电路图? 转子电流、 转矩怎样计算?	(4)
6. 为什么绕线型异步电动机能产生较大的起动转矩?	(8)
7. 为什么绕线型电动机转子串接电阻起动能减小起动 电流? 这种起动方式有何缺点?	(8)
8. 绕线型电动机转子串频敏变阻器起动原理如何? 频 敏变阻器结构、型号及特点如何?	(9)
9. 使用频敏变阻器时如何接线? 怎样调整?	(12)
10. 串调系统故障无自动转全速要求时, 怎样选择频敏 变阻器?	(14)
11. 串调系统故障有自动转全速要求时, 怎样选择频敏 变阻器?	(19)
12. 为什么绕线型电动机串频敏变阻器的起动时间不易 过长?	(21)
13. 为什么绕线型电动机转子必须对地绝缘? 绝缘电阻 最低要求是多少?	(22)

14. 绕线型电动机试车前应做哪些检查? (22)
15. 绕线型电动机电刷和滑环上冒火花的原因是什么?
怎样处理? (23)
16. 怎样合理选择绕线型电动机电刷? (23)
17. 安装电刷时应注意哪些问题? (24)
18. 安装电刷时具体要求有哪些? (25)
19. 什么叫氧化膜? 氧化膜在电刷运行中起着什么作用?
厚好还是薄好? (26)
20. 氧化膜的形成和哪些因素有关? (26)
21. 怎样减少电刷的磨损率? (27)
22. 怎样检查电刷上的弹簧压力? (28)
23. 更换新电刷时原则上应注意哪些问题? (28)
24. 滑环表面烧灼和氧化膜过厚时应如何处理? (29)
25. 在什么情况下滑环可以进行车削处理? (29)
26. 电刷运行中的维护应注意哪些问题? 为什么? (29)
27. 不同型式的交流电动机选用什么样的电刷合适? (32)

第二章 晶闸管与触发电路 (35)

1. 晶闸管的结构如何? (35)
2. 晶闸管的工作原理如何? (36)
3. 晶闸管的主要参数有哪些? (38)
4. 晶闸管的型号意义如何? 怎样鉴别晶闸管的三个
极? (39)
5. 晶闸管使用应注意哪些问题? (42)
6. 为什么晶闸管变流器(整流器与逆变器)要采用触
发器? (42)
7. 晶闸管串级调速对触发器的基本要求有哪些? (43)
8. 触发器由哪几部分组成? (44)
9. 触发电路有哪些类型? (44)

10. 晶闸管串级调速装置逆变器的触发电路工作原理如何?	(45)
11. 为什么触发脉冲与主电路必须同步?	(49)
12. 如何选择同步信号电压?	(49)
13. 触发装置被干扰的原因有哪些?	(51)
14. 怎样加强触发装置的抗干扰性?	(54)
第三章 整流与逆变	(55)
1. 什么叫整流? 什么叫不控整流? 什么叫可控整流?	(55)
2. 单相半波可控整流电路是怎样工作的?	(55)
3. 单相桥式全控整流电路是怎样工作的?	(57)
4. 三相半波可控整流电路是怎样工作的?	(58)
5. 三相全控桥式整流器的工作原理如何?	(60)
6. 什么是逆变? 什么是有源逆变和无源逆变?	(63)
7. 有源逆变的基本概念和逆变产生条件如何?	(65)
8. 逆变角 β 的意义及 α 与 β 的关系如何?	(68)
9. 三相半波(零式)逆变电路的工作原理如何?	(68)
10. 三相桥式有源逆变电路的工作原理如何?	(70)
11. 三相桥式逆变电路对触发电路有何要求?	(72)
12. 什么叫逆变颠覆? 逆变颠覆产生的原因有哪些? 怎样防止逆变颠覆?	(72)
13. 最小逆变角 β_{min} 是怎样确定的?	(76)
第四章 晶闸管保护与故障分析	(78)
1. 为什么晶闸管并联要采取均流措施?	(78)
2. 为什么晶闸管串联要采取均压措施?	(78)
3. 晶闸管并联时怎样采取均流措施?	(78)
4. 晶闸管串联时怎样采取均压措施?	(80)
5. 晶闸管和整流管发生过电流的原因有哪些?	(81)

6. 晶闸管和整流管过流保护措施有哪些? 怎样选择?
..... (81)
7. 如何选择快速熔断器? (83)
8. 晶闸管串级调速系统中变流器(晶闸管和整流管)
过电压产生的原因有哪些? 如何保护? (85)
9. 怎样限制晶闸管的电流上升率? (95)
10. 怎样限制晶闸管的电压上升率? (96)
11. 怎样避免并联晶闸管的不同步触发? (96)
12. 有的晶闸管加触发脉冲导通后, 脉冲消失则又关断
是何原因? (97)
13. 为什么有的晶闸管加上触发脉冲不导通? (98)
14. 当主回路加上电源电压后, 有的晶闸管不加触发脉
冲就导通, 是何原因? (98)
15. 晶闸管轻载时工作正常, 加大负载时失控, 是何原
因? (98)
16. 运行中引起晶闸管损坏的原因有哪些? (98)

第五章 晶闸管串级调速系统..... (100)

1. 异步电动机常见的调速方法有哪些? (100)
2. 异步电动机串级调速的基本原理如何? 串级调速是
怎样分类的? (101)
3. 什么叫低同步串调和超同步串调? (104)
4. 整流机械式串级调速是怎么回事? (104)
5. 整流电气式串级调速是怎么回事? (105)
6. 何谓晶闸管串级调速系统? 它由哪几部分组成? (106)
7. 晶闸管串级调速的基本工作原理如何? (107)
8. 晶闸管串级调速时机械特性如何? (110)
9. 晶闸管串级调速系统的技术经济指标包括哪些内
容? (111)

10.	为什么称晶闸管串级调速为高效调速?	(113)
11.	为什么泵和风机采用晶闸管串级调速能节电?	(117)
12.	晶闸管串级调速系统功率因数低是何原因?	(119)
13.	如何提高晶闸管串级调速系统中的功率因数?	(122)
14.	晶闸管串级调速系统中为什么会产生高次谐波? 有何危害? 如何抑制?	(122)
15.	如何选择晶闸管串级调速系统的绕线型异步电动机?	(125)
16.	如何选择晶闸管串级调速系统的逆变变压器?	(127)
17.	如何选择晶闸管串级调速系统的电抗器?	(130)
18.	怎样选择有源逆变器的晶闸管?	(131)
19.	怎样选择整流器的整流管?	(132)
20.	怎样选择晶闸管串级调速装置?	(134)
21.	晶闸管串级调速系统的纵续控制和差相控制是怎么回事?	(135)
22.	什么叫开环调节? 什么叫闭环调节?	(137)
23.	什么叫运算放大器? 其基本原理如何?	(138)
24.	常用集成运算放大器有哪几种类型? 其外部接线方式如何?	(141)
25.	集成运算放大器有哪几种输入方式? 输入输出之间关系如何?	(142)
26.	什么叫比例调节器? 什么叫积分调节器? 什么叫比例积分调节器?	(143)
第六章	晶闸管串级调速系统的调试、运行和维护	(147)
1.	晶闸管串级调速系统的调试分几个步骤?	(147)
2.	怎样对串调装置进行一般性检查?	(147)
3.	有源逆变器的检查应进行哪些项目?	(148)
4.	怎样确定主回路的相序?	(148)

5. 对触发脉冲如何进行调试? (149)
6. 怎样进行整流及均流试验? (150)
7. 电气控制系统的调试应怎样进行? (150)
8. 系统开环调试时, 还需做哪些准备工作? (151)
9. 对于调速范围小、电机不是从零开始调速的串调系统, 如何进行开环调试? (152)
10. 对于调速范围大、电机转速是从零开始调速的串调系统, 如何进行开环调试? (152)
11. 串调系统闭环调试都包括哪些内容? (153)
12. 怎样对调节器进行调试? (153)
13. 怎样对电流环进行调试? (155)
14. 怎样对速度环进行调试? (156)
15. 在调试或试运中加入串调就发生逆变颠覆的原因是什么? 怎样排除? (156)
16. 晶闸管串级调速系统投入时应注意哪些问题? (157)
17. 晶闸管串级调速系统送电运行与断电停机的主要操作顺序有哪些? (158)
18. 调速电机在运行中, 定子电流突然降低是何原因? (159)
19. 调速电机在运行中定子电流有时出现频繁摆动是何原因? (159)
20. 调速电机在起动过程中为什么要滞后一段时间加入串调? (159)
21. 逆变波形不齐怎么办? (160)
22. 出现过流故障怎么办? (160)
23. 调速范围过小和无法调速怎么办? (161)
24. 速度或电流环振荡怎么办? (162)
25. 更换晶闸管元件应注意哪些事项? (162)
26. 空气开关应如何维护? (163)

27. 快速开关应如何维护?	(164)
28. 电抗器应如何维护?	(165)
29. 串调系统运行中巡视检查和定期维护主要内容有哪 些?	(165)
30. 使用示波器时应注意哪些问题?	(167)
31. 示波器主要由哪几部分组成? 各部分功能如何? ...	(168)
32. 示波器各旋钮的作用如何? 操作时应注意什么? ...	(168)
33. 怎样使用SBT-5型示波器?	(173)
34. 怎样用万用表判断晶闸管的触发能力?	(179)
35. 怎样用万用表估测运算放大器的放大能力?	(179)
36. 串级调速系统维护应配备哪些测试仪器、仪表? ...	(180)
参考文献	(181)
附录 晶闸管串级调速装置产品系列	(182)

第一章 绕线型异步电动机

1. 绕线型异步电动机构造怎样？各部分均起什么作用？

答：绕线型异步电动机主要由静止的定子和转动的转子两大部分组成，见图1-1所示。

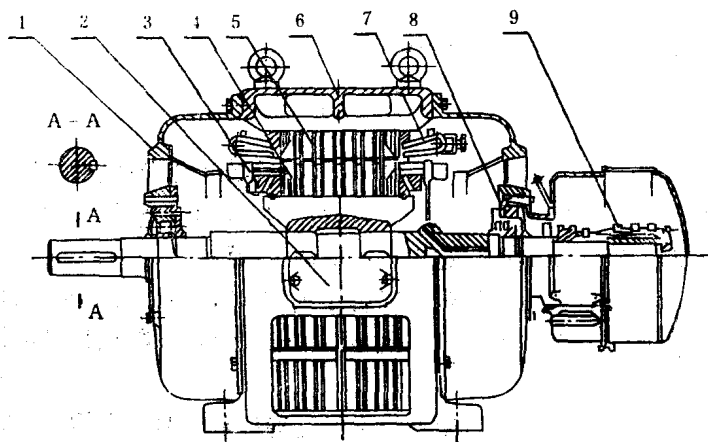


图1-1 JR系列三相绕线型异步电动机的结构

1—端盖；2—出线盒；3—转子绕组；4—转子铁芯；5—定子铁芯；
6—机座；7—定子绕组；8—轴承；9—集电环

(1) 定子部分：由机座、定子铁芯和定子绕组组成。定子绕组通电后，在定子铁芯内产生旋转磁场。此磁场转速为 n_0 ，可用公式表示为：

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} \quad (\text{r/min}) \quad (1-1)$$

式中 f_1 ——电源频率；

p ——电机极对数。

铁芯是起导磁作用的。机座就是电动机的外壳，起着支撑作用。

(2) 转子部分：由固定在转轴上的转子铁芯、转子绕组及滑环组成。旋转磁场与转子中的电流作用，产生一个转矩。当转子以转速 n 旋转时，旋转磁场与转子的转速差为 $(n_0 - n)$ ，转速差的相对值可表示为转差率，即

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0} 100\% \quad (1-2)$$

由于转差率的存在，转子与旋转磁场之间有相对运动，所以转子带动生产机械工作。滑环的作用是将转子三相绕组引出，通过电刷外接起动设备或调速设备。

另外，绕线型异步电动机还包括端盖、轴承、风扇和接线盒等。端盖支撑转子，机座、轴承、风叶、接线盒等组成一体，以供安装使用。

2. 绕线型异步电动机和鼠笼型异步电动机在构造上有哪些相同、相异之处？

答：(1) 定子相同，包括机座、铁芯、定子线圈；
(2) 转子不同，绕线型的转子绕组和其本身的定子绕组相似，也是由绝缘导线组成的，然后连接成空间对称的三相绕组。三相绕组可以连接成星形，绕组的三根线由转子一端引出接到三个滑环上，再通过一套电刷装置引出来。见图1-2所示。鼠笼型转子绕组的结构与定子绕组很不相同。在转子的

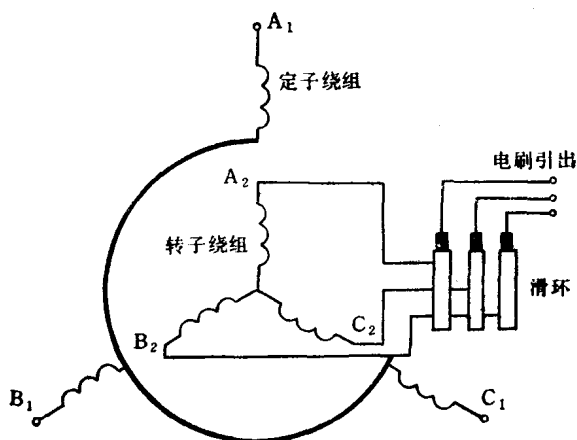


图1-2 定转子绕组接线方式

铁芯上也有槽，各槽内部有一根导条，在铁芯两端槽口处各有一个端环分别把所有导条短接起来。形状完全象装鼠的笼子，因此称鼠笼型异步电动机。

3. 绕线型异步电动机具有哪些特点？

答：绕线型异步电动机具有起动性能好、起动转矩高、起动电流小等优点。由于起动时，转子回路中串入附加电阻或频敏变阻器，不仅能改善起动性能，而且还可以实现调速。起动电流仅为额定电流的1.5~2.5倍，相比之下，鼠笼型电动机起动电流为额定电流的4~7倍，而且起动转矩小。绕线型异步电动机被广泛地应用于晶闸管串级调速系统。如泵、风机、轧钢机、提升机等都是使用绕线型电机来实现调速的。

4. 绕线型异步电动机转动原理如何？

答：绕线型异步电动机定子铁芯内彼此相隔120°分布着

三相对称绕组, A—x、B—y、C—z, 见图1-3所示。

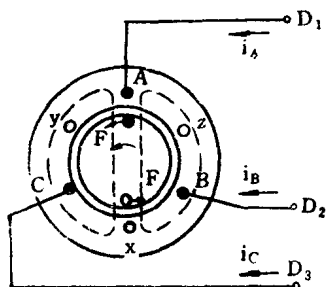


图1-3 三相绕组旋转磁场

在三相绕组中, 若通以对称的三相电源(假定转子绕组接入起动设备)时, 在定、转子绕组空气隙中, 就可以产生一个旋转磁场。该磁场不断切割转子绕组, 根据电磁感应定律, 转子绕组便产生感应电动势, 即

$$E_{2s} = 4.44k_2 I W_2 f_2 \phi_m \quad (\text{V}) \quad (1-3)$$

式中 W_2 ——转子绕组匝数;
 f_2 ——转子频率;
 ϕ_m ——空气隙最大磁通;
 k_2 ——绕组系数。

于是, 转子绕组有感应电流通过。根据载流导体在磁场中受力的作用原理, 转子绕组将受到一个与旋转磁场方向相同的电磁力。在这个电磁力的作用下, 转子便随着旋转磁场的旋转方向转动起来。旋转的角速度为:

$$\Omega = \frac{2\pi f_2}{p} \quad (\text{rad/s}) \quad (1-4)$$

式中 p ——极对数。

5. 怎样画绕线型异步电动机的等效电路图? 转子电流、转矩怎样计算?

答: 根据异步电动机原理可知, 当定子通以三相对称的正弦交流电后, 在定、转子的气隙内便产生旋转磁场, 并以

同步转速 n_0 切割转子绕组。当转子不转动时，定子与转子之间的关系和变压器原副边之间的关系一样，这时定、转子频率一致均为 f_1 。设转子不动时，定子电阻为 r_1 、电抗为 X_1 、电势为 E_1 ，转子电阻、电抗、电势分别为 r_2 、 X_2 、 E_2 。当转子以转速 n 转动时，其转差为 $n_0 - n$ ，其转差率为 $S = \frac{n_0 - n}{n_0}$ ；设转子转动时的转子电势、电抗、频率为 E_{2s} 、 X_{2s} 、 f_2 ，则其与转子不动时有如下关系，即

$$E_{2s} = S \cdot E_2 \quad (1-5)$$

$$X_{2s} = S \cdot X_2 \quad (1-6)$$

$$f_2 = S \cdot f_1 \quad (1-7)$$

则电机旋转时异步电动机的电路如图1-4所示。

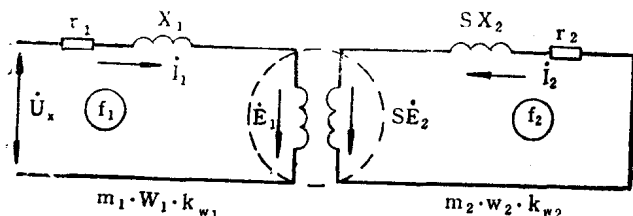


图1-4 旋转时异步电动机电路

在图1-4中，由于定、转子的相数(m)、有效匝数(W)、绕组系数(k_w)及电势频率(f)均不相同，故定、转子电路还不能联接起来。如果在不改变定子绕组中的电势、电流及功率因数等物理量和异步电机电磁性能的前提下，将转子绕组的频率、绕组进行“归算”，即将转子侧参数归算到定子侧，归算值用“/”表示，然后将归算过的转子绕组与定子绕组直接联接起来，即可画出异步电动机的 T