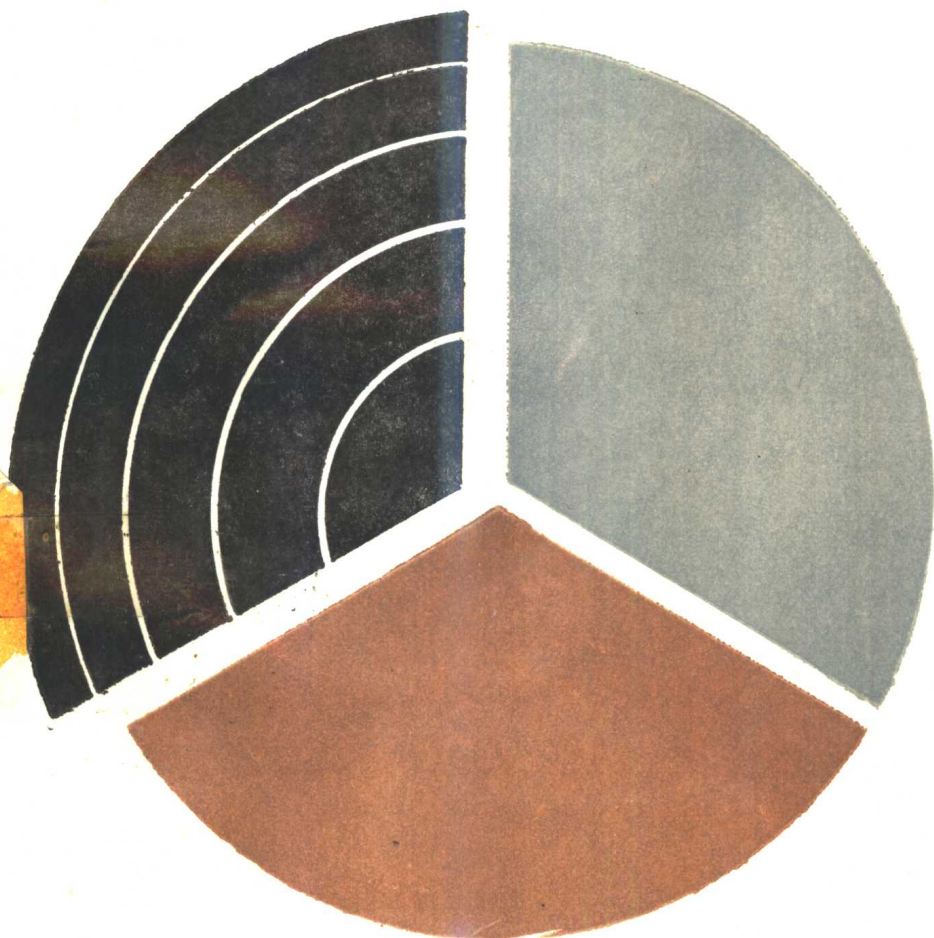


交流电动机 绕组修理改装 技术问答

赵家礼 编著



机械工业出版社

交流电动机绕组修理改装 技术问答

机械工业出版社

(京)新登字054号

内 容 简 介

本书较详尽地、系统地解答了广大电动机修理工作者在修理和改装交流电动机绕组时常碰到的技术问题。全书共分四章：绕组修理改装基础知识问答、绕组重绕技术问答、绕组改装技术问答、质量检查及标准技术问答。

全书内容翔实，深入浅出，文字通俗易懂，问题针对性和实用性强，适合于电动机维修工人和从事电动机设计、生产的工程技术人员查阅，大专院校有关专业师生参考。

交流电动机绕组修理改装技术问答

赵家礼 编著

责任编辑：范兴国 版式设计：李松山

封面设计：姚毅 责任校对：丁丽丽

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

河北涿中印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168¹/₃₂·印张15.5·字数 422 千字

1994年1月北京第1版·1994年1月北京第1次印刷

印数 00 001—6130·定价 19.50 元

ISBN 7-111-03923-8/TM·493(G)

前 言

近几年来，陆续收到了祖国各地许多热心读者的来信，提出许多在电动机绕组修理和改装过程中所碰到的实际技术问题，虽然当时已一一作复，但毕竟受到时间和篇幅的限制，未能全面系统地进行解答，而且考虑到还有许多读者也会遇到类似的技术问题。为了满足广大读者的需要和广泛地交流修理经验，笔者精选了一些具有代表性的技术问题，并系统地作了解答，以供广大读者在电动机修理实践中参考。

全书共分四章，即绕组修理改装基础知识问答、绕组重绕技术问答、绕组改装技术问答、质量检查及标准技术问答。

本书所解答的问题均来源于生产第一线的工人和工程技术人员，所以具有实用性和针对性。当读者在修理电动机实践中碰到技术难题时，如果翻阅一下本书的内容，会得到一定的启发和解答。

本书在解答问题的内容方面，是作者多年从事电机设计、生产和维修实践中所积累的经验。参加本书编写工作的还有赵捷、何青、赵健同志。书中疏漏和不妥之处在所难免，望广大读者提出宝贵的意见。

作 者

1993年6月

目 录

第一章 绕组修理改装基础知识问答

- 【1-1】 什么叫线圈的工艺短节距? 如何正确选择线圈的节距? 1
- 【1-2】 三相绕组引出线的位置如何确定? 下面画出三幅不同的引线方式图都正确吗? 6
- 【1-3】 三相交流电动机绕组有哪些型式? 适用范围如何? 9
- 【1-4】 单层绕组都有哪些特点? 单层同心式线圈跨距如何计算? 9
- 【1-5】 双层绕组有哪些特点和种类? 11
- 【1-6】 什么叫散布绕组、 Δ -Y 混合绕组和单双层混合绕组? 都有哪些特点? 13
- 【1-7】 怎样分析和改进绕组型式? 常碰到的错误改法有哪些? 18
- 【1-8】 三相绕组接线规律是什么? 怎样连接成 Δ 、Y 绕组? 21
- 【1-9】 什么叫绕组的庶极接法、显极接法? 什么叫长连接、短连接? 24
- 【1-10】 如何画出单层交叉链式、等元件单层链式绕组展开图? 26
- 【1-11】 三相绕组的接线简图如何画法? 27
- 【1-12】 三相对称分数槽绕组如何进行排列? 31
- 【1-13】 三相非对称分数槽绕组如何进行排列? 36
- 【1-14】 如何选择绕组的并联支路数? 并联支路数与电动机振动有关系吗? 39
- 【1-15】 分数槽绕组在选择并联支路数时会受到哪些限制? 42
- 【1-16】 重绕线圈时, 电磁线代用的意义和原则是什么? 48
- 【1-17】 常用电磁线代用计算方法有哪些? 代用时要考虑哪些问题? 50
- 【1-18】 怎样用查表法直接查出代用导线的规格? 56
- 【1-19】 常用非磁性槽楔有哪些种类? 为什么推广引拔槽楔? 65
- 【1-20】 MDB 复合槽楔有哪些优点? 其尺寸如何选择? 67
- 【1-21】 采用磁性槽楔或磁性槽泥改造电动机有哪些好处? 如何计算节电效果? 68
- 【1-22】 三相绕组的绕组系数如何计算? 73
- 【1-23】 线圈匝数与空载电流、气隙长度、铁心长度, 以及线圈跨

距之间都有什么关系?	80
〔1-24〕 怎样把单层整节距绕组改成单层链式绕组?	88
〔1-25〕 怎样把单层交叉同心式绕组改为单层交叉链式绕组?	90
〔1-26〕 怎样把单层绕组改为双层绕组?	92
〔1-27〕 怎样把双层绕组改为单双层混合绕组?	94
〔1-28〕 怎样把双层绕组改为 Δ -Y混合接线的正弦绕组?	98
〔1-29〕 想把B级高压电动机重绕成F级, 仍利用原有工装设备, 问 如何选择绝缘材料?	105
〔1-30〕 电动机重绕时槽有效面积如何计算? 槽满率如何选择和计 算?	106
〔1-31〕 无纬带如何进行绑扎和计算?	109
〔1-32〕 如何选择高压电动机防晕措施?	112
〔1-33〕 高压电动机线圈匝间绝缘承受试验电压值如何确定?	113
〔1-34〕 高压电动机主绝缘单边厚度如何确定?	115
〔1-35〕 电动机修理时, 如何选择浸渍绝缘漆?	116
〔1-36〕 F级电动机选用少溶剂1040 绝缘漆有哪些好处?	120
〔1-37〕 1032 绝缘漆的粘度与温度如何进行换算?	121

第二章 绕组重绕技术问答

〔2-1〕 为什么拆旧线圈时不许用火烧和火碱水煮电动机?	125
〔2-2〕 小型交流电动机怎样快速拆除定子旧线圈?	126
〔2-3〕 浸渍环氧树脂的电动机旧绕组如何拆除?	126
〔2-4〕 切除旧线圈端部的装置如何制做?	127
〔2-5〕 拆除旧绕组时要考虑哪些技术问题?	127
〔2-6〕 怎样在拆线机上拆除旧线圈?	130
〔2-7〕 怎样做好拆绕组的原始记录?	131
〔2-8〕 清理铁槽内残余绝缘时有哪些工艺要求?	134
〔2-9〕 修理电动机时保证绕线模和整形模尺寸的正确性有什么意 义?	135
〔2-10〕 单层交叉式线圈绕线模尺寸如何计算?	136
〔2-11〕 单层链式线圈绕线模尺寸如何计算?	139
〔2-12〕 单层同心式线圈绕线模尺寸如何计算?	141
〔2-13〕 单双层混合绕组绕线模尺寸如何计算?	146

[2-14]	成型线圈绕线模尺寸如何计算?	150
[2-15]	整形模尺寸如何计算?	153
[2-16]	自制高压电动机线圈热压模时要考虑哪些技术问题?	153
[2-17]	重绕电动机绕组时怎样合理选用电磁线?	153
[2-18]	修理低压交流电动机时, 如何选用绝缘材料?	165
[2-19]	电动机修理时如何选择绕组的绑扎材料?	16 ⁷
[2-20]	中小型交流电动机(380V, B级)定子绕组绝缘规范内容 有哪些?	169
[2-21]	中小型交流电动机(500V, B级)定子分片嵌绕组的绝缘 规范内容有哪些?	172
[2-22]	中小型绕线转子异步电动机转子绕组的绝缘规范内容 有哪些?	174
[2-23]	高压电动机(3kV, B级)定子绕组的绝缘规范内容有哪些? ..	177
[2-24]	高压电动机(6kV, B级)定子绕组的绝缘规范内容有哪些? ..	178
[2-25]	高压电动机(10kV, B级)定子绕组的绝缘规范内容有哪 些?	181
[2-26]	绕线转子导条绝缘规范内容有哪些?	184
[2-27]	绕线转子端部绝缘和支架绝缘规范内容有哪些?	18 ⁴
[2-28]	凸极同步电动机(500V, B级)磁极绝缘规范内容有 哪些?	190
[2-29]	定子绕组匝数是如何确定的?	192
[2-30]	空壳铁心配三相定子绕组时如何简易计算?	196
[2-31]	半开口槽分片线圈如何重包绝缘复用?	203
[2-32]	插入式转子线圈如何修复?	20 ³
[2-33]	绕线转子线圈如何正确嵌线和组装质量检查?	212
[2-34]	高强度漆包线如何快速脱掉漆膜?	216
[2-35]	低压软绕组线圈如何进行嵌线?	217
[2-36]	低压硬绕组线圈如何进行嵌线?	221
[2-37]	转子铜排如何进行嵌线?	222
[2-38]	重绕高压筒式线圈的工艺流程都有哪些?	22 ⁴
[2-39]	线圈张形和整形时都有哪些技术要求?	225
[2-40]	绕制定子线圈时有哪些工艺要求?	226
[2-41]	高压电动机线圈包扎云母带绝缘的工艺要点是什么?	227

〔2-42〕	热压高压电动机线圈时, 如何确定热压工艺?	231
〔2-43〕	什么叫半模压模压线圈? 有什么好处? 具体施工工艺如何进行?	232
〔2-44〕	高压定子模压线圈如何进行嵌线?	234
〔2-45〕	电动机绕组连接线和引出线的工艺要求有哪些?	235
〔2-46〕	同步电动机磁极线圈绝缘如何修复?	240
〔2-47〕	同步电动机磁极线圈怎样进行装配?	245
〔2-48〕	电动机绕组浸渍处理的目的是什么?	247
〔2-49〕	中小型交流电动机定子绕组绝缘浸渍干燥的工艺内容有哪些?	248
〔2-50〕	在定子膛内如何热压修复高压线圈绝缘?	250

第三章 绕组改装技术问答

〔3-1〕	老系列电动机改造成高效率电动机都有哪些好处?	253
〔3-2〕	提高电动机效率都有哪些措施?	254
〔3-3〕	电动机挖潜改造到什么程度算是达到高效率电动机了?	258
〔3-4〕	重绕空载电流大的电动机时, 怎样计算合适的线圈匝数?	260
〔3-5〕	重绕线圈时, 怎样提高绕组有效匝数来降低空载电流?	262
〔3-6〕	请介绍现场处理空载电流大的实例。	265
〔3-7〕	怎样合理地提高槽满率来增加线圈匝数降低空载电流?	268
〔3-8〕	怎样合理选择槽绝缘厚度来增加槽内线圈匝数?	269
〔3-9〕	怎样通过空载调压试探法来确定绕组合理的重绕匝数?	271
〔3-10〕	电动机绕组匝数增加或减少对电动机性能有什么影响?	273
〔3-11〕	电动机铁心长度与正常值不符时如何通过重绕线圈来解决?	274
〔3-12〕	电动机气隙磨损过大时, 如何通过重绕计算来解决?	275
〔3-13〕	如果某电动机的空载电流 I_0 、气隙长度 δ 和铁心长度 l_{Fe}	

	均不符合产品样本要求、电动机因空载电流过大而发热， 问如何通过重绕计算解决？	276
〔3-14〕	堵转转矩低的电动机，如何确定重绕线圈匝数？	277
〔3-15〕	过载能力低的电动机，如何确定重绕线圈匝数？	278
〔3-16〕	电动机堵转电流过大，怎样通过重绕来解决？	279
〔3-17〕	怎样改变电动机电压适应电源电压要求？	281
〔3-18〕	电动机改极数时，要考虑哪些技术问题？	289
〔3-19〕	电动机改极数时，如何进行简易计算？	293
〔3-20〕	绕组重绕时将半开口槽硬线圈改为圆导线的软线圈可以 吗？	297
〔3-21〕	修理电动机时，怎样才能提高电动机绕组耐电压水平？ ..	298
〔3-22〕	提高起重、冶金电动机绝缘时如何考虑降低成本问题？ ..	301
〔3-23〕	怎样修复国外插入式转子线圈绝缘？	302
〔3-24〕	引进国外二手电动机如何进行简易改频计算？	304
〔3-25〕	修理国外电动机时，怎样选用国产绝缘材料代用？	304
〔3-26〕	60Hz电动机使用在50Hz电源上的改造措施有哪些？	308
〔3-27〕	国产50Hz电动机使用到国外60Hz电源时，电动机性能会有 哪些变化？	311
〔3-28〕	修理国外高压电动机绕组时，要采取哪些改进措施？	317
〔3-29〕	电动机修理时欲使电动机增容都有哪些措施？	319
〔3-30〕	为了应急采取用线圈办法应考虑哪些技术问题？如何进行 计算？	322
〔3-31〕	用圆铜线修复扁铝线绕组时，如何进行操作和计算？	325
〔3-32〕	怎样提高电动机绕组绝缘耐温性能？	326
〔3-33〕	改接绕组解决负载率低时，如何进行计算？	328
〔3-34〕	怎样提高高压电动机绕组的起始电晕电压？	329
〔3-35〕	把普通三相绕组改制成三相 Δ -Y 混合绕组时怎样进行计 算？	331
〔3-36〕	国外耐氟电动机能用国产绝缘材料修复吗？	333

第四章 质量检查及标准技术问答

〔4-1〕	电动机修理后效率降低是什么原因造成的？如何提高电动机 效率？	336
-------	---	-----

〔4-2〕	电动机修理后使功率因数降低是什么原因造成的? 如何解 决?	339
〔4-3〕	电动机经修理后使噪声和振动增大的原因有哪些? 如何鉴别 和解决?	341
〔4-4〕	修理电动机时造成电动机损耗增大的原因都有哪些? 如何防 止?	344
〔4-5〕	电动机修理后造成堵转转矩降低的原因有哪些? 如何提高堵 转转矩?	347
〔4-6〕	电动机修理后温升偏高是什么原因造成的? 如何降低温 升?	347
〔4-7〕	电动机修理后造成空载电流或空载损耗增大或不平衡的原因 有哪些? 如何解决?	349
〔4-8〕	修理过的电动机造成堵转电流过大或过小及不平衡的原因是 什么? 如何通过这些参数变化来判断电动机故障?	351
〔4-9〕	经过修理的电动机造成堵转损耗过小或过大的原因有哪些? 如何通过这些参数变化来判断电动机故障?	352
〔4-10〕	为什么绕组故障多发生在转子上? 提高转子绕组修理质量 有哪些措施?	353
〔4-11〕	修理的电动机经检查确认修理质量良好, 但空载电流不平 衡是什么原因造成的?	354
〔4-12〕	为什么要求定期清理绝缘漆? 如何保证浸漆质量?	355
〔4-13〕	修理后的电动机造成绕组短路故障如何检查和处理?	356
〔4-14〕	修理后的电动机造成绕组断路故障如何检查和处理?	359
〔4-15〕	修理后的电动机造成绕组接地故障如何检查和处理?	360
〔4-16〕	修理后的电动机造成绕组接反的故障时如何检查 and 处 理?	362
〔4-17〕	交流电动机绕组嵌线时, 绕组绝缘遭受损伤的原因有哪 些? 如何处理?	363
〔4-18〕	高压定子线圈嵌线时发生对地击穿的原因都有哪些?	365
〔4-19〕	低压电动机绕组重绕时质量检查内容和标准都有哪 些?	366
〔4-20〕	高压电动机的圈式线圈重绕质量检查内容和标准都有哪 些?	367

〔4-21〕	高低压定子绕组的嵌线质量检查内容都有哪些?	368
〔4-22〕	高低压定子线圈接线检查内容有哪些?	370
〔4-23〕	绕线转子和笼型转子绕组检查内容有哪些?	370
〔4-24〕	电动机修理重新更换铁心时, 如何考虑硅钢片涂漆问题?	372
〔4-25〕	修理电动机时铁心质量如何进行检查和试验?	373
〔4-26〕	电动机修理后试验项目和标准都有哪些项?	378
附 录	附表中符号含义	385
附表 1	Y系列 (IP44) 小型三相异步电动机技术数据 (380V, 50Hz)	386
附表 2	Y系列 (IP23) 小型三相异步电动机技术数据 (380V, 50Hz)	396
附表 3	Y80~160 (IP44) 三相异步电动机木模尺寸表	402
附表 4	Y180~315 (IP44) 三相异步电动机木模尺寸表	403
附表 5	J系列三相异步电动机定子线圈木模尺寸表	406
附表 6	JO 系列三相异步电动机定子线圈木模尺寸表	410
附表 7	J2系列三相异步电动机定子线圈木模尺寸表	414
附表 8	JO2 系列三相异步电动机定子线圈木模尺寸表	418
附表 9	J2、JO2系列三相异步电动机技术数据汇总表	426
附表10	J2、JO2、JS、JSQ、JR、JRQ系列三相异步电动机槽形尺寸表	436
附表11	JS 系列三相异步电动机技术数据汇总表	44 ⁰
附表12	JSQ 系列三相异步电动机技术数据汇总表	452
附表13	JR 系列三相异步电动机技术数据汇总表	456
附表14	JRQ 系列三相异步电动机技术数据汇总表	462
附表15	上海地区生产的JS系列中型三相异步电动机技术数据汇总表	468
附表16	上海地区生产的JR系列中型三相异步电动机技术数据汇总表	480

第一章 绕组修理改装基础

知识问答

〔1-1〕 什么叫线圈的工艺短节距？如何正确选择线圈的节距？

答：通常一只线圈有两个线圈边，这两个线圈边分别跨在相隔一定槽数的两个铁心槽内，其所跨的铁心槽数称为线圈的节距，也叫跨距，用 y 表示。比如某线圈的一个边嵌在槽1内，另一边嵌在槽9内，则此线圈的节距 y 为8个槽，或用 $y=1-9$ 槽表示更确切。

电动机的极距 τ 的单位如用槽数表示时，则极距 τ 表示电动机的总槽数 Z 被电动机的极数 $2p$ 除所得的商，也就是电动机每个极所占有的槽数，即 $\tau = \frac{Z}{2p}$ 槽。

当 $y = \tau$ 时，叫整节距，或叫全节距，带有这种节距的线圈叫整节距线圈。单层绕组的线圈绝大部分是整节距线圈。

当 $y < \tau$ 时，叫短节距，带有这种节距的线圈叫短节距线圈。双层绕组多采用短节距线圈，通常选择 $y = \frac{5}{6}\tau$ 。两极电动机线圈节距较大，嵌线工艺难度大，线圈端部也长，有时选用 $y = \frac{2}{3}\tau$ ，但无论如何不能使 $y \leq \frac{1}{2}\tau$ ，因为如果这样选用，不但浪费许多贵重的铜线，也会使磁场发生很大畸变，基波转矩被削弱，而不希望有的高次谐波转矩增加，电动机不能正常运行。

当 $y > \tau$ 时，叫长节距，带有这种节距的线圈叫长节距线圈。在多速电动机上由于考虑各种不同极数的需要，要碰到长节距线圈，一般正常单速电动机不用，因为浪费铜，使铜耗增加，电动机效率降低。

一般是采用 $y < \tau$ 的短节距线圈，因为短节距线圈有以下优点。

(1) 短节距线圈的端部长度比整节距线圈短、省铜、铜耗降低，另外减少了轴长、电动机体积和重量。

(2) 减少线圈端部漏磁通，从而可提高电动机的效率、功率因数以及输出功率。

(3) 一般双层绕组多选用短距线圈，这样可以改善磁场分布，减少高次谐波，改善电动机性能。因此，较大容量的电动机都是采用双层绕组。但有的小型电动机考虑到工艺方便，便于嵌线等原因，采用了单层整节距绕组，但在修理时，不太考虑工艺工时的困难，往往把单层整节距绕组改为双层短节距绕组，适当增加些匝数，保持绕组的有效匝数不变，绕组端部长度缩短，也能改善电动机的电磁性能。

按照上面节距的定义， $y < \tau$ 叫短节距。在平时修理电动机时，发现许多单层绕组 $y < \tau$ ，这是不是短节距绕组？比如36槽 $2p=4$ 极三相异步电动机^①的绕组，线圈节距是两个1—9槽（即 $y_1=8$ 槽），一个1—8槽（即 $y_2=7$ 槽），而电动机极距

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{4} = 9 \text{ 槽，应该是 1—10 槽才是整节距。其实这种}$$

情况也是整节距。因为这种绕组起不到双层绕组短节距改善磁场的分布和削弱高次谐波的作用，也就是说在电磁性能改善方面跟单层整节距绕组效果相同，仅在工艺上达到缩短线圈端部长度和省铜的目的，所以把这种形式上是短节距的单层绕组称为工艺短节距绕组。

$$\text{由上例知，每极每相槽数 } q = \frac{Z}{2pm} = \frac{36}{4 \times 3} = 3 \text{ 槽，现在}$$

$$\text{按整节距 } y = \tau = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{4} = 9 \text{ 槽，绕制线圈并嵌入槽内。}$$

① 本书异步电动机，只适用于感应电动机，下同。

其绕组展开图如图1-1所示。现在再按工艺短节距 $y_1 = 8$ (两个) 和 $y_2 = 7$ (一个) 嵌槽, 如图1-2(a)、(b)所示。

这三幅绕组展开图都是用相同的线规和线圈匝数绕制的, 唯一不同的是线圈跨距不同, 工艺短节距的线圈跨距短, 线圈端部伸出铁心短, 省铜, 但他们的电磁效果是一样的, 为什么?

因为线圈端部只起连接作用, 线圈直线部分 (嵌入铁心槽内的部分) 才是切割主磁通产生电磁转化的作用, 所以, 判别这三幅图的电磁性能是否相同, 可抛开线圈端部的连接方式, 只看线圈直线部分情况, 如每槽匝数、线径相同, 电流流动方向相同, 绕组排列规律一致, 才说明电磁效果是一样的。如果用手挡住端部连接方式不管, 只看线圈的直线部分, 就会分辨不出这三幅图有什么差别。由此可看出, 对于单层绕组还是选择工艺短距为好。当然工艺短节距线圈的木模比整节距的要复杂些, 但总的衡量, 其优点是主要的, 所以今后碰到老系列电动机带有整节距的单层绕组时, 建议选用工艺短节距的单层绕组。

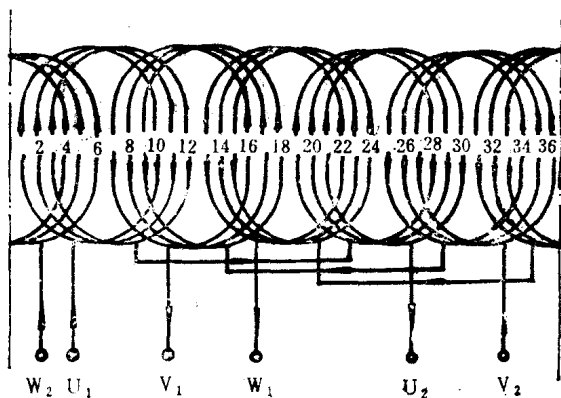
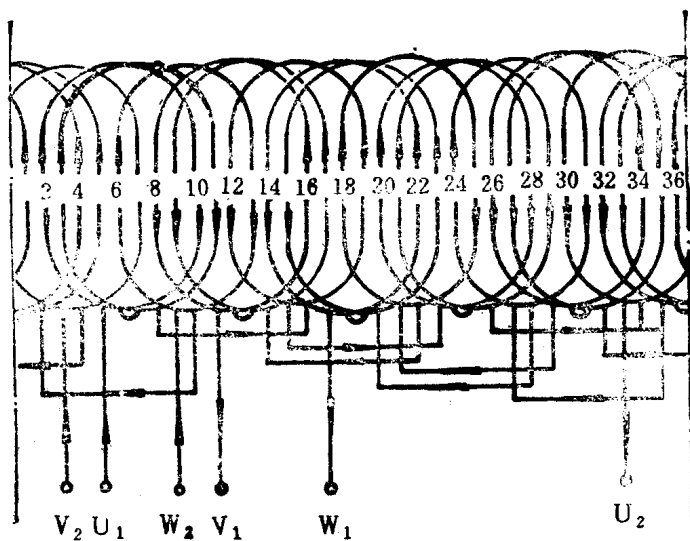


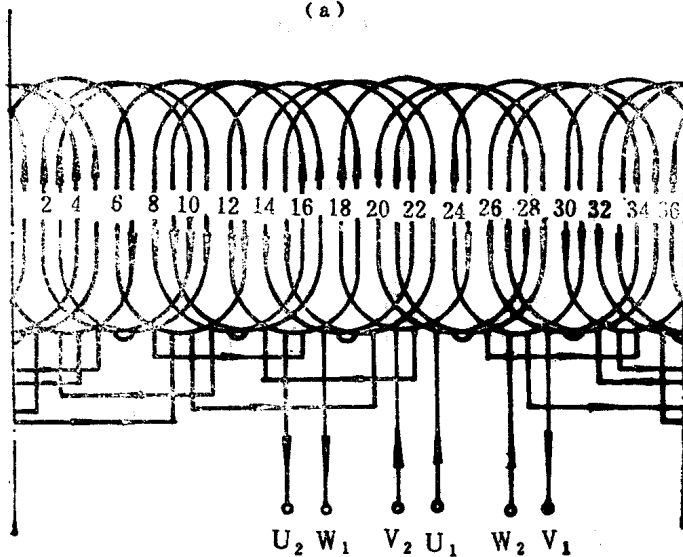
图1-1 单层整节距绕组展开图

$$m = 3 \quad 2p = 4 \quad \tau = 9 \quad Z = 36 \quad y = 9 \quad q = 3 \quad a = 1$$

至于多速电动机的线圈节距的选择, 要同时兼顾各种极数对线圈节距的要求, 比如6极、72槽的单绕组三相异步电动机, 欲改为4、6、8极的单绕组多速电动机时, 各极的极距分别为:



(a)



(b)

图1-2 单层交叉链式工艺短节距绕组展开图

$m = 3$ $2p = 4$ $Z = 36$ $\tau = 9$ $y_1 = 8$ $y_2 = 7$ $a = 1$ $q = 3$

$$\tau_4 = \frac{Z}{2p} = \frac{72}{4} = 18$$

$$\tau_6 = \frac{Z}{2p} = \frac{72}{6} = 12$$

$$\tau_8 = \frac{Z}{2p} = \frac{72}{8} = 9$$

如果是单极双层绕组电动机，当然要选择下面的节距为好：

$$y_4 = 0.83\tau_4 = 0.83 \times 18 = 15$$

$$y_6 = 0.83\tau_6 = 0.83 \times 12 = 10$$

$$y_8 = 0.83\tau_8 = 0.83 \times 9 = 7.5$$

但对于同一个绕组只能具有同一个线圈跨距，当然不能同时满足各种不同极数的不同线圈节距的要求。上例为了兼顾各种不同极数的要求，可选择 $y_6 = 11$ ；对于 τ_4 而言，少 4 个槽，但大于 $\frac{\tau_4}{2} = \frac{15}{2} = 7.5$ ，可以用；对于 τ_6 而言，多 3 个半槽，也可以用。

为了消除某一高次谐波，可选择该谐波的绕组短距系数为零，

即
$$K_{p\nu} = \sin \nu \beta \frac{\pi}{2} = 0$$

式中 ν —— 高次谐波的某一次谐波

β —— 节距比 $\left(\beta = \frac{y}{\tau} \right)$

设令 7 次谐波为零，求线圈节距 y 是多少？

解：已知 $\nu = 7$ ，则使：

$$K_{p\nu} = \sin(90^\circ \times 7\beta) = 0 \text{ 或 } n\pi$$

n 为 0、1、2、3…… n ，均为自然整数。

算出 $y_7 = 0.86\tau$

设令 5 次谐波为零，求线圈节距 y 是多少？

解：已知 $\nu = 5$ ，则使：

$$K_{pv} = \sin(90^\circ \times 5\beta) = 0$$

$$90^\circ \times 5\beta = 0 \text{ 或 } n \cdot 90^\circ$$

n 为 1、2、3…… n ，自然整数

$$\text{算出 } y_5 = 0.80\tau$$

双层绕组的线圈节距选为 $\frac{5}{6}\tau = 0.83\tau$ ，就是考虑同时消除

或削弱 5 次和 7 次谐波，因 $\frac{5}{6}\tau \approx 0.83\tau$ ，是 5 次和 7 次谐波线

圈节距系数的平均值，即 $\frac{0.86+0.80}{2} \approx 0.83$ 。

电动机中的高次谐波主要有 3、5、7、9、11、13 等奇次谐波，对于 Δ 连接、 Y 连接的绕组，3 次谐波对线路无影响，只在线圈内部流动，而 11 次、13 次及以上高次谐波幅值又较小，所以对电动机危害较大的是 5 次和 7 次谐波。双层绕组选择 0.83τ 线圈节距可以大大削弱 5 次和 7 次谐波，使磁动势波形更接近于正弦波，而整节距绕组就无此优越性了。

〔1-2〕 三相绕组引出线的位置如何确定？下面画出三幅不同的引线方式图都正确吗？

答：为了使三相绕组的电动势、电流对称，所以，电动机三相绕组的引出线位置应相互差 120° 电角度。为了确定正确的引出线位置，应先计算出相邻两槽之间的电角度，叫槽距角，用 α 表示。

$$\alpha = \frac{360^\circ p}{Z} \quad (360^\circ p \text{ 是电动机内圆一周的电角度})$$

式中 p ——极对数

Z ——电动机槽数

设 $Z=48$ ， $2p$ 为 8 极三相异步电动机，求其槽距角？

$$\text{解：} \quad \alpha = \frac{360^\circ p}{Z} = \frac{360^\circ \times 4}{48} = 30^\circ$$

相邻相之间的槽数为 $\frac{120^\circ}{\alpha} = \frac{120^\circ}{30^\circ} = 4$ 槽，说明如果第一相