

中华人民共和国

电力百科全书



吉林科学技术出版社

中华人民共和国 电力百科全书

第五卷

吉林科学技术出版社

目 录

电力设计与规划篇

第一章 电厂设计与总体规划·····	(1)
第二章 火电设计与规划·····	(12)
第一节 设计基本要求·····	(12)
第二节 设计主要过程·····	(14)
第三节 总体规划与总布置设计·····	(16)
第四节 厂址选择与参考设计·····	(55)
第三章 水电设计与规划·····	(68)
第一节 水电开发方式·····	(68)
第二节 水电厂主要水工建筑物·····	(73)
第三节 引水式地面厂房布置设计·····	(83)
第四节 其他类型厂房布置设计·····	(107)
第四章 自然能供电系统设计·····	(128)
第一节 系统组成与基本结构·····	(128)
第二节 设计方法与步骤·····	(130)
第五章 核电厂堆型与厂址选择·····	(137)
第一节 核电厂堆型选择·····	(137)
第二节 核电厂厂址选择·····	(149)
第三节 核电厂环境因素·····	(152)
第六章 电网设计概述·····	(160)
第一节 电网设计一般内容与基本原则·····	(160)
第二节 电力负荷预测方法·····	(164)
第三节 电力网的电压等级选择·····	(171)
第四节 网络结构设计一般方法·····	(174)
第五节 电力网的电能损耗与运行费·····	(179)
第七章 城市电网规划·····	(189)
第一节 技术原则·····	(190)
第二节 发展规划·····	(199)
第三节 无功规划·····	(246)

第四节 自动化规划·····	(258)
第八章 农村电网规划·····	(272)
第一节 农村电网规划原则·····	(272)
第二节 农村电网负荷计算与预测·····	(272)
第三节 农村配电台区的合理布局·····	(278)
第四节 农村中压网的合理布局·····	(283)
第五节 农村电网规划·····	(286)
第九章 农村电网改造·····	(289)
第一节 农网建设技术原则·····	(289)
第二节 农网改造技术原则·····	(299)
第三节 常规变电所改造·····	(302)
第四节 低压配电网的改造与建设·····	(321)
第五节 农网线路的改造与建设·····	(328)
第六节 农网配电方式·····	(348)

电力系统篇

第一章 电力系统的组成·····	(357)
第一节 电源的组成·····	(357)
第二节 电力系统并网运行·····	(362)
第三节 电力用户·····	(364)
第四节 电压等级·····	(366)
第二章 电力系统的等值电路·····	(369)
第一节 线路参数·····	(369)
第二节 线路的等值电路·····	(374)
第三节 变压器的等值电路·····	(376)
第四节 同步发电机与负荷的等值电路·····	(383)
第三章 电力系统的频率及电压调节·····	(385)
第一节 有功功率与频率调整·····	(385)
第二节 无功功率与电压调节·····	(402)
第四章 电力系统的运行·····	(423)
第一节 系统运行的稳定性·····	(423)
第二节 系统运行的经济性·····	(463)
第三节 系统运行的可靠性和安全性·····	(474)
第五章 输变电与用户用电·····	(499)

第一节 输变电·····	(499)
第二节 用户用电·····	(517)
第六章 电力系统事故处理·····	(522)
第一节 电力系统事故处理·····	(522)
第二节 发电厂系统事故处理·····	(529)
第三节 系统接地事故处理·····	(530)

电力工程建设篇

第一章 电力工程造价分析·····	(539)
第一节 火电厂工程造价分析·····	(539)
第二节 送变电工程造价分析·····	(547)
第三节 综合造价与投入产出造价·····	(559)
第二章 电力工程限额设计·····	(561)
第一节 限额设计一般流程·····	(561)
第二节 限额设计控制指标·····	(565)
第三章 电力工程项目管理·····	(571)
第一节 项目法人责任制·····	(571)
第二节 招标投标制·····	(596)
附录 1 世界银行贷款项目总承包合同（交钥匙工程）《协议书格式》 ·····	(618)
附录 2 主要法律法规·····	(622)
第四章 配电网工程·····	(695)
第一节 配电网类别·····	(695)
第二节 配电网结构·····	(697)
第三节 配电网供电方式·····	(700)
第四节 10kV 架空线路·····	(702)
第五节 10kV 电缆线路·····	(707)
第六节 配电网工程施工技术及施工标准·····	(709)
第七节 配电网工程建设预算编制·····	(714)
附录 城乡电网建设与改造工程概（预）算编制若干问题的规定·····	(746)
第五章 电力工程合同管理·····	(752)
第一节 建设工程合同管理·····	(752)
第二节 建设工程总承包合同与勘察设计合同管理·····	(753)
第三节 建设工程施工合同管理·····	(757)

电网运行与维护篇

第一章 火电厂的运行	(773)
第一节 火电生产流程	(773)
第二节 燃运系统	(777)
第三节 锅炉系统	(781)
第四节 汽轮机系统	(786)
第五节 热力部分运行	(793)
第二章 水电厂的运行	(797)
第一节 水轮机系统	(798)
第二节 主要辅助系统	(803)
第三节 水轮机的工作参数及运行特性	(807)
第四节 水电厂的运行特点	(811)
第三章 新能源发电	(816)
第一节 太阳能电池	(816)
第二节 风力发电	(826)
第三节 其他自然能发电装置	(832)
第四节 储能设备	(836)
第四章 发电厂电气系统	(845)
第一节 主控制室	(845)
第二节 电气主接线	(847)
第三节 主要电气设备	(849)
第四节 配电装置	(858)
第五节 控制与信号系统	(861)
第六节 继电保护装置	(867)
第七节 防雷与接地装置	(869)
第八节 厂用电系统	(872)
第九节 自动装置	(876)
第十节 计算机应用	(880)
第五章 发电设备检修系统	(884)
第一节 发电设备状态检修概述	(884)
第二节 可靠性管理与评价	(887)
第三节 监测诊断技术与管理	(898)
第四节 AGC、AVC 功能	(925)

第六章 输变电系统	(927)
第一节 输电系统	(927)
第二节 变电系统	(1013)
第七章 电网安全稳定运行	(1062)
第一节 电网安全稳定运行的物质基础	(1062)
第二节 电网安全稳定技术	(1067)
第三节 电网调度管理	(1100)
第八章 电力节能降耗	(1110)
第一节 电力网线损	(1110)
第二节 电能损耗计算	(1113)
第三节 电能线损管理	(1130)
第四节 电能降损技术	(1139)

装表接电与用电检查篇

第一章 新(增)装用电	(1173)
第一节 业扩报装主要内容	(1173)
第二节 居民用电报装	(1175)
第三节 低压用电用户业扩报装	(1179)
第四节 高压用电用户业扩报装	(1183)
第五节 双(多)电源用户供电	(1192)
第六节 住宅电力配套	(1194)
第二章 用户接电方式	(1197)
第一节 高压电源进户方式	(1197)
第二节 低压电源进户方式	(1199)
第三节 进户装置	(1202)
第三章 计量装置的选择与安装要求	(1206)
第一节 计量方式	(1206)
第二节 电能表的选择和安装	(1207)
第三节 互感器的选择和安装	(1210)
第四节 二次回路及安装	(1211)
第五节 计量屏(箱)及安装	(1212)
第六节 计量装置的竣工验收	(1214)
第四章 安全用电	(1225)
第一节 保护接地和保护接零	(1225)

第二节 接地装置	(1227)
第三节 特殊设备保护接地与保护接零	(1228)
第四节 电气工作安全措施和用具	(1229)
第五节 电气防火及防爆	(1234)
第五章 用电检查	(1239)
第一节 电能表检定装置的构成与使用	(1239)
第二节 电压互感器的误差特性与检定	(1257)
第三节 测量误差及其控制	(1272)
第四节 电能表的误差调整与检定	(1291)
第五节 电能计量装置的误差调整与检定	(1337)
第六节 用电监督与检查	(1370)
第六章 触漏电防范	(1375)
第一节 触电方式与电击因素	(1375)
第二节 漏电保护器的选购与安装	(1383)
第三节 漏电保护器的检测	(1394)
第四节 减少设备运行中的漏电	(1401)
第五节 触漏电防范技术措施	(1411)
第七章 违约用电与窃电	(1419)
第一节 违约用电与窃电	(1419)
第二节 窃电证据的收集与窃电量的认定	(1423)
第三节 反窃电措施	(1430)
第四节 窃电行为的法律认定与处理	(1445)

电力经营管理篇

第一章 生产经营管理	(1467)
第一节 技术管理	(1467)
第二节 电网调度管理	(1471)
第三节 电压和无功电力管理	(1478)
第四节 线损管理	(1483)
第五节 设备管理	(1501)
第二章 电力安全管理	(1515)
第一节 电力安全生产	(1515)
第二节 电力安全监察	(1552)
第三节 电力可靠性管理	(1569)

第四节 生产事故管理	(1587)
第三章 电力营销管理	(1649)
第一节 业务管理	(1649)
第二节 电价与电费管理	(1673)
第三节 开拓电力市场	(1907)
第四节 电力财务管理	(1919)
第五节 供用电合同管理	(1947)
第四章 电力技术经济指标管理	(2031)
第一节 概述	(2031)
第二节 电力技术经济小指标	(2053)
第三节 经济指标管理	(2123)
第五章 电力现代企业制度商业化运营	(2131)
第一节 电力市场	(2131)
第二节 电力现代企业制度	(2152)
第三节 电力企业的商业化运营	(2160)
第四节 其他国家和地区电力市场商业化运营经验	(2189)
第六章 电厂环境保护管理	(2206)
第一节 发电厂的烟气净化	(2206)
第二节 火电厂的除灰	(2221)
第三节 发电厂变电所的高压电场和磁场效应	(2234)
第四节 无线电干扰及电视干扰	(2241)
第五节 发电厂变电所故障接地时阻性耦合	(2244)

电气设备及相关知识篇

一、电路基础知识	(2249)
二、电力线路和配电装置	(2290)
三、开关和保护器	(2258)
四、电气绝缘与电器保护	(2405)
五、电气仪表	(2466)
六、电容器	(2500)
七、互感器	(2541)
八、二次回路	(2606)
九、电动机	(2687)
十、变压器	(2766)

十一、变电站	(2856)
十二、电力牵引	(2893)
十三、电力拖动	(2937)
十四、电气照明	(3020)
十五、电加热	(3083)
十六、电化学	(3142)
十七、常用电工材料	(3201)
十八、家用电器及其他	(3226)

九、电动机

9-1 基础知识

9-1-1 电动机类型

1. 按电源种类分类

(1) 直流电动机

直流电动机又可以分为自激式和他激式电动机。

直流电动机可以实现均匀、平滑的无级调速，调速范围较大，适用于大型、精密的机床设备，以及电气机车、电车和起重设备等。缺点是需要交流设备，系统复杂，价格昂贵，维护起来较麻烦。

(2) 交流电动机

交流电动机又可以分为同步电动机和异步电动机。

同步电动机直流激励的旋转磁场的同步转速和转子转速相等，其特点是转速平稳，常用来驱动需要恒定转速的大型机械。缺点是电动机本身不能调速。

异步电动机又称感应电动机，是由气隙旋转磁场与转子绕组感应电流相互作用产生电磁转矩，从而实现机电能量转换的一种交流电动机，其转速总在同步速度以下，因而称异步电动机。同步转速 n_1 与电动机转速 n 之差，称为转速差，转速差与同步转速的比值为转差率，通常用 s 表示，即

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \times 100\%$$

异步电动机使用很广，其特点是结构简单、工作可靠、维护方便、价格便宜，缺点是调速困难。

2. 按构造形式分类

(1) 开启式：可以从外面看见内部。

(2) 防护式：能够防止水滴、铁屑或其他杂物在与垂直方向成 45° 以内掉入电动机内部。

(3) 封闭式：能够防止飞扬的杂物掉入电动机内。

(4) 防爆式：完全封闭，能够承受一定的内部压力。

3. 按安装方式分类

平卧式、直立式和支持式。

9-1-2 电动机型号

电动机的型号可以表示电动机的类型、机座型式、转子型式、铁芯长度和磁极对数等指标。

1. 常用直流电动机的型号

直流电动机的型号由两个部分构成，第一部分是带下标的大写的汉语拼音字母，表示电动机的类型和产品的系列；第二部分是数字，用来表示电动机的其他指标。例如： Z_2-72 ，其中 Z 表示直流电机，下标 2 表示是第二次设计，数值越大则表明产品型号越新；72 是规格代号，7 表示机座号（机座号是电机底脚到转轴中心高度的代号），2 表示铁芯长度（1 号是短铁芯，2 号是长铁芯）。

小型直流电动机最常用的是 Z_2 和 Z_3 系列。 Z_3 系列的优点是调速范围大，质量轻。

2. 常用交流异步电动机的型号

交流异步电动机的型号也是由两个部分构成，第一部分是带下标的大写的汉语拼音字母，表示电动机的类型和产品的系列；第二部分是数字，用来表示电动机的其他指标。

由于交流异步电动机的型号较多，因此表示方法比直流电动机要复杂得多。例如： $Y200L2-6$ ，其中 Y 表示异步电动机，200 表示中心高 200mm， L 表示长机座（ S 、 M 、 L 分别表示短、中、长机座），2 表示铁芯，6 表示 6 极。

异步电动机的其他型号表示方法为： JR 表示绕线式异步发电机； JS 表示鼠笼式异步发电机； JB 表示防爆式异步发电机； JK 表示高速异步发电机。

9-1-3 电动机技术参数

1. 额定容量

制造厂所规定的在额定使用条件下电动机输出功率的保证值，以 kW 表示。

2. 负荷系数

电动机的实际负荷容量与电动机的额定容量之比，称为电动机的负荷系数。

3. 电动机的效率

电动机输出功率 P_2 与输入功率 P_1 之比的百分数，称为电动机的效率。

9-1-4 电动机能量损耗

（一）损耗种类

当电动机将输入的电能转换为输出轴上的机械能时，总要伴随一些能量的损

耗。根据 GB755—87《电机基本技术要求》中规定,将电动机能量损耗划分为恒定损耗、负载损耗及杂散损耗。

1. 恒定损耗

恒定损耗是指电动机运行时的固有损耗,它与电动机材料、制造工艺、结构设计、转速等参数有关,而与负载大小无关。恒定损耗包括铁心损耗(含空载杂散损耗)及机械损耗。

(1) 铁心损耗 P_{Fe} (含空载杂散损耗)

铁心损耗亦称铁耗,指主磁场在电动机铁心中交变所引起的涡流损耗和磁滞损耗。异步电动机在正常运行时,转差率很小,转子铁心中磁通变化的频率很小,一般仅为每秒 1~3 周,所以铁耗主要为定子铁心损耗。

铁耗大小取决于组成电动机铁心材料、频率及磁通密度,近似公式 $P_{Fe} \approx k f^{1.3} B^2$ 。磁通密度 B 与输入电压 U 成正比,对某一台电动机而言,其铁耗近似于与电压的平方成正比。

空载杂散损耗 P_{σ} 是指空载电流通过定子绕组的漏磁通在定子机座、端盖等金属中产生的损耗,由于空载电流近似不变,因此这些损耗也是恒定的。

铁耗一般占异步电动机总损耗的 20%~25%。

(2) 机械损耗 P_{fw}

通常包括轴承摩擦损耗及通风系统损耗,对绕线式转子还存在电刷摩擦损耗。

轴承摩擦损耗主要与轴承型号、装配水平、润滑脂有关。通风系统的风摩擦损耗主要取决于冷却风扇所用材料、风机效率、风道设计合理性。机械损耗高低还与电动机转速有关,轴承摩擦损耗正比于转速的平方,通风损耗正比于转速的三次方。

机械损耗一般占总损耗的 10%~50%,电动机容量越大,由于通风损耗变大,在总损耗中所占比重也增大。

2. 负载损耗

负载损耗主要是指电动机运行时,定子、转子绕组通过电流而引起的损耗,亦称铜耗。它包括定子铜耗 P_{Cu1} 和转子铜耗 P_{Cu2} ,其大小取决于负载电流及绕组电阻值。

铜耗约占总损耗的 20%~70%。

3. 杂散损耗 (附加损耗)

杂散损耗 P_s 主要由定子漏磁通和定子、转子的各种高次谐波在导线、铁心及其他金属部件内所引起的损耗。

这些损耗约占总损耗的 10%~15%。

Y (IP44)、JO2 系列电动机各种损耗所占比例见表 9-1-1。

表 9-1-1 Y (IP44)、JO2 系列 2 极、4 极电动机损耗分布

系 列	Y (IP44)			JO2		
功率范围 (kW)	0.55 ~ 5.5	7.5 ~ 22	30 ~ 90	0.6 ~ 5.5	7.5 ~ 22	30 ~ 100
$\frac{P_{Cu1} + P_{Cu2}}{\Sigma P}$ (%)	60 ~ 70	30 ~ 50	20 ~ 30	60 ~ 70	30 ~ 50	20 ~ 30
$\frac{P_{Fe}}{\Sigma P}$ (%)	20	20	20	20	20	20
$\frac{P_{rw}}{\Sigma P}$ (%)	10 ~ 20	20 ~ 35	40 ~ 50	5 ~ 10	15 ~ 25	30 ~ 50
$\frac{P_s}{\Sigma P}$ (%)	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20

(二) 减少损耗的措施

减少电动机损耗应该着眼于主要损耗分量的下降, 从 Y (IP44) 系列损耗比例来看, 小功率电机铜耗占主要比例, 应从适当增加有效材料使用, 增大导线截面来降低绕组电阻达到降低损耗, 提高效率。较大功率电动机, 主要损耗在机械损耗及杂散损耗上, 应该通过各种措施减少通风系统损失和杂散损耗。

1. 降低铜耗

由于绕组铜耗是由于电流通过绕组而产生的热损耗, 降低 $I^2 R$ 损耗的最好途径是减少电阻, 但它受到电动机的几何尺寸和成本约束。

定子可用增大导线截面和增加导线股数的办法或使用导电率高的铜材来降低绕组电阻。

笼型异步电动机转子可以用增大导条截面积的办法降低电阻值, 放大槽形可以制成截面较大的铝导条。对于绕线型异步电动机转子可以采用铜导线, 增大转子铜导线截面。

其次减小定、转子间气隙, 并降低磁通密度 (采用更多、更好导磁铁心) 降低所需要的磁场强度从而降低了空载电流, 使定子绕组中损耗减少, 提高电动机功率因数。

2. 降低铁耗

(1) 采用导磁性能良好的冷轧硅钢片可降低磁滞损耗。对于一定磁通密度和钢片厚度, 磁滞损耗取决于材料的好坏。但是优质硅钢片价格昂贵, 因此对损耗的改善必须与成本增加作技术经济比较。

(2) 用较薄硅钢片可降低涡流损耗。硅钢片加工, 冲剪应力对铁耗影响较大,

对冲片进行热处理可降低 10% ~ 20% 的损耗。

(3) 降低磁通密度则可减少磁滞损耗和涡流损耗。减少气隙能降低绕组中电流, 由于制造安装原因, 收效不大。增大铁心才能有效地降低磁通密度, 往往采用增长铁心长度方法来达到降低磁通密度。

一般高效率电动机比同功率电动机用铁量大致增加 35%。

3. 降低机械损耗

机械损耗是由于电动机摩擦和通风而造成的, 摩擦主要是轴承摩擦, 采用优质、低摩擦轴承可稍有改善。风摩擦是指冷却空气和电动机旋转部分的摩擦, 采用高效风机及通风结构合理设计可以减少风磨损耗 20% ~ 30%。

4. 减少杂散损耗

注意转子槽形设计(斜槽), 采用串接的正弦绕组和散布绕组以降低高次谐波, 增加定转子齿槽、采用磁性磁楔等都能有效减少杂散损耗。

综上所述, 从设计、材料、制造工艺等观点出发, 降低损耗提高效率主要措施如表 9-1-2 所示。

表 9-1-2

降低损耗的主要措施

损耗 措施	定子绕组 损耗	转子绕组 损耗	铁 耗	杂散损耗	机械损耗
设计	增加导体截面积; 缩短绕组端部长度	增加导体截面积和转子端环尺寸	增加铁心长度	选择合适的绕组型式和节距; 选择合适的槽配合和转子槽斜度; 选择最佳气隙长度	改进风扇设计, 提高风扇效率
材料	采用耐高温、较薄绝缘材料, 增大槽内铜线的填充系数	提高转子导条及端环导电率	采用低损耗电工钢片; 采用较薄电工钢片		采用优质、低摩擦轴承; 采用摩擦系数小性能好润滑脂
工艺	缩短绕组端部长度; 提高绕组槽满率			转子槽特殊绝缘处理; 改进转子表面切削加工方法	安装良好, 同心度高

(三) 电网质量对电动机损耗影响

由于电网质量原因, 如: 电压波动、频率下降或上升以及网内高次谐波源的注入, 都会造成三相异步电动机损耗增加。1. 电压波动对各种损耗的影响

电压波动将对各种损耗产生影响，其关系如下：

(1) 对铁心损耗影响

$$P'_{Fe} \approx P_{Fe} \left(\frac{U'}{U_e} \right)^2 \quad (9-1-1)$$

(2) 对机械损耗影响

$$P'_{fW} \approx P_{fW} \left(\frac{1-s}{1-s_e} \right)^2 \quad (9-1-2)$$

(3) 对转子铜耗影响

$$P'_{Cu2} \approx P_{Cu2} \left(\frac{U_e}{U'} \right)^2 \left(\frac{1-s_e}{1-s} \right)^2 \quad (9-1-3)$$

(4) 对杂散损耗影响

$$P'_s \approx P_s \left(\frac{U_e}{U'} \right)^2 \left(\frac{1-s_e}{1-s} \right)^2 \quad (9-1-4)$$

式中 U_e ——电网额定电压，V；

U' ——电网电压波动值，V；

s ——三相异步电动机转差率；

s_e ——三相异步电动机额定转差率；

P'_{Fe} 、 P_{Fe} 、 P'_{fW} 、 P_{fW} 、 P'_{Cu2} 、 P_{Cu2} 、 P'_s 、 P_s 、 P'_{Fe} 、 P_{Fe} 、 P'_{fW} 、 P_{fW} 、 P'_{Cu2} 、 P_{Cu2} 、 P'_s 、 P_s ——分别对应 U' 和 U_e 时的各种损耗。

由上述公式知，运行电压降低时，电动机的铁耗按电压平方减少，在负载率一定时，运行电压下降，电动机转矩下降，转差率变大，转子的铜耗将增加，因此一台电动机在恒负载运行时，电压下降将使总损耗增加。只有在负载率较低的情况下，当电压下降时电动机的总损耗才能下降，效率才能提高。

2. 三相电压不对称对损耗影响

一般电网负载都存在不同程度的不对称，而使电网电压呈不对称运行，习惯上用三相电压不平衡度来标明不对称的程度

$$\text{不平衡度} = \left(\frac{\text{最大电压} - \text{最小电压}}{\text{三相平均电压}} \right) \times 100\%$$

利用对称分量法，不对称电源电压可分解成正序分量、负序分量。电路中，很小的负序电压分量将会引起相当大的负序电流，如负序电压分量为 5% 时，其负序电流将达 20% ~ 35% 额定电流，因而将在绕组中产生较大损耗及过热现象。

负序电压将产生负序磁场，负序磁场产生的转矩为负值，是一个制动转矩。由于负序分量所产生的机械功率为负值，它将吸取一部分机械功率，变为转子负载电流引起的铜损耗。

负序分量在转子上引起额外的铁损、铜损和杂散损耗，同时也会在定子上增加损耗。如有 3.5% 不平衡电压加在电动机上，那么将使电动机总损耗增加 20%，效

率下降 3%~4%。

总之三相异步电动机在不对称电压下运行时其性能恶化,过载能力下降,效率下降,并有局部过热危险,因此 GB12497—90《三相异步电动机经济运行》规定电压不平衡度应小于 1.5%。

3. 电网频率对损耗影响

(1) 对总铁耗影响。当电压恒定时,铁耗中的涡流损耗与频率无关,而磁滞损耗则随频率变化,总的铁耗可以认为是

$$P'_{Fe} = P_{Fe} \sqrt{\frac{f_e}{f'}} \quad (9-1-5)$$

(2) 对机械损耗影响

$$P'_{fw} \approx P_{fw} \left(\frac{f'}{f_e} \right)^2 \quad (9-1-6)$$

(3) 对转子铜耗影响

$$P'_{Cu2} \approx P_{Cu2} \left(\frac{f'}{f_e} \right)^2 \left(\frac{1-s_e}{1-s} \right)^2 \quad (9-1-7)$$

(4) 对杂散损耗影响

$$P'_s \approx P_s \left(\frac{f'}{f_e} \right)^2 \left(\frac{1-s_e}{1-s} \right)^2 \quad (9-1-8)$$

式中 f_e ——电网额定频率, Hz;

f' ——电网频率变动值, Hz;

P'_{Fe} 、 P_{Fe} 、 P'_{fw} 、 P_{fw} 、 P'_{Cu2} 、 P_{Cu2} 、 P'_s 、 P_s ——分别对应 f' 和 f_e 时的各种损耗。

从上面关系式中可知,频率下降铁损增加,机械损耗稍有下降,而对铜损耗的影响要看频率变化程度。

总的说来,频率下降时总损耗增加,效率下降;频率上升时总损耗下降,效率略有上升。

4. 高次谐波电流对损耗影响

高次谐波电流进入三相异步电动机后,将产生频率较高的旋转磁场,使杂散损耗剧增,使齿、槽楔局部过热,甚至烧坏电动机。

9-1-5 电动机特性曲线及分析

(一) 效率曲线

电动机的效率是指电动机的有功输出功率与有功输入功率之比,通常用百分数表示,即,

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad (9-1-9)$$