

BIANYAQL JINGJI
yunxing

变压器 经济运行



天津科学技术出版社

责任编辑：宋淑萍

变压器经济运行

胡景生 著

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷四厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 9.25 字数 194,000

一九八四年十月第一版

一九八四年十月第一次印刷

印数：1—20,000

书号：15212·147 定价：2.10元

内 容 提 要

本书介绍了二十余种不同条件下的变压器经济运行方式。对各种经济运行方式进行了系统的理论分析，并对专用计算公式做了数学上的推导。此外还介绍了调整负载躲峰节电的计算方法。

本书内容由浅入深，既有定性分析，又有定量计算。书中的例题是具有代表性的实例。因此对发、供、用电部门开展变压器经济运行具有一定参考价值。

本书可供工矿企业、电力生产、农村用电和变压器制造等部门电气工程技术人員以及高等、中等院校有关专业师生参考。

序 言

能源是发展国民经济的关键性问题。节约能源不仅具有重大的现实意义，也有深远的历史意义。

加强能源管理，充分合理地使用现有耗能设备，千方百计地提高耗能设备运行中的效率，这是一项不用投资（或投资很少，又能很快收回）就能节约能源的重要途径。

变压器经济运行就是充分利用现有设备条件，通过严密分析和详尽计算，择优选取运行方式并按变压器经济运行条件来调整负载，使得在供电量相同的条件下，最大限度地降低变压器的有功损失和无功消耗。总之，变压器经济运行就是在合理地使用变压器上挖掘节电的潜力。由于变压器是发、供、用电部门及整个国计民生中最广泛使用的一种电气设备，因此推广变压器经济运行是挖能节电和实现供、用电科学管理的重要一环。

尽管“变压器经济运行”这一技术术语已出现多年，但就作者所知，迄今为止尚没有出过一本关于变压器经济运行的书籍。这就促使作者尝试编写了《变压器经济运行》一书。本书是在作者近几年来发表的六十余篇专题文章的基础上整理而成的。

本书讨论、分析了二十余种不同条件下的变压器经济运行方式，对各种运行方式既做了定性的分析，又进行了定量计算。书中的四十余个例题，大都是各地生产中具有代表性的实例。

本书在编写过程中，得到了参加变压器经济运行学习班的工程技术人员的支持，初稿经天津大学宋文楠、刘维仲同志审阅，并提出了修改意见，在此一并致以深切的谢意。

由于作者水平有限，书中一定存在不少缺点和错误，欢迎批评指正。

作者

目 录

符号表	1
绪论	17
第一章 概述	24
§1-1 变压器的技术参数	24
§1-2 变压器存在着经济运行的因素	28
§1-3 变压器无功功率的经济运行	34
§1-4 变压器综合功率的经济运行	37
§1-5 变压器技术特性优劣的分析和计算	40
第二章 变配电所变压器的经济运行	52
§2-1 容量相同、短路电压相接近的变压器并列的经济运行方式	52
§2-2 容量不同、短路电压相接近的变压器并列经济运行方式	72
§2-3 容量相同、短路电压相差较大的变压器并列的经济运行方式	81
§2-4 容量不同、短路电压相差较大的并列变压器的经济运行方式	90
§2-5 变压器运行方式的经济负载系数	95
§2-6 变压器 Δ -Y接线的经济运行方式分析	104
第三章 配电变压器的经济运行	109
§3-1 增设小容量变压器的经济运行方式	109
§3-2 共用变压器的经济运行方式	116
§3-3 变压器“大马拉小车”的技术分析	134
§3-4 不等容量变压器的经济运行	143

§3-5 变压器经济容量的确定	146
§3-6 变电所自用变压器的经济运行	149
第四章 调负和变压器经济运行	151
§4-1 调整负载曲线和变压器经济运行	151
§4-2 躲峰和变压器经济运行	160
§4-3 变压器间负载的经济分配	166
§4-4 变压器运行方式的经济运行区	180
§4-5 变压器经济运行方式和经济运行区	188
第五章 科学管理和变压器经济运行	198
§5-1 电力设计和变压器经济运行	198
§5-2 变压器制造和经济运行	203
§5-3 变压器更新和经济运行	212
§5-4 技术管理和变压器经济运行	216
§5-5 电价和变压器经济运行	222
第六章 变压器功率损失计算的分析	227
§6-1 变压器技术特性的标准曲线	227
§6-2 变压器功率损失及损失率计算用的诺模图	234
§6-3 变压器电能损失动态计算的分析	245
§6-4 经济当量的分析	270
结束语	277
附表一 热轧硅钢片变压器技术参数	279
附表二 冷轧与热轧硅钢片变压器技术参数	282
附表三 “节能型”变压器技术参数	286

符 号 表

A_R —日用电量

A_T — T 时间段内的用电量

B_m —铁心磁通密度

$\cos\varphi_0$ —变压器空载时的功率因数

$\cos\varphi_1$ —变压器电源侧功率因数

$\cos\varphi_2$ —变压器负载侧功率因数

$\cos\varphi_{t2}$ —在共用变压器运行方式中被切除变压器的负载功率因数

$\cos\varphi_D$ —在 T 时间段内的小时最大功率时的功率因数

$\cos\varphi_e$ —变压器额定负载时、其自身的功率因数

$\cos\varphi_{q2}$ —共用变压器运行方式中、共用的那台变压器分列运行时的负载功率因数

$\cos\varphi_T$ — T 时间段内的功率因数 (总)

$\cos\varphi_X$ —小时功率因数 (总)

C_m — N 台变压器并列运行时第 m 台负载的分配系数

C_{N_i} — N 台变压器并列运行时、当 $i = 1, 2, \dots, n$ 时负载分配系数

$C_C^{B,C}$ —变压器 B 、 C 并列运行方式中变压器 C 的负载分配系数

$C_n\%$ —变压器折旧率

$C_{(N+1)n+1}$ — $N + 1$ 台变压器并列运行时、第 $n + 1$ 变压器负载分配系数

C_s —全年变压器的容量电费

E —变压器的电势

F_c —铁心截面

f —电源频率

G_d —全年节约的有功电量电费

G_J —旧变压器的残存价值

G_{JD} —旧变压器的大修费

G_ϵ —功率因数电费

I_0 —空载电流

$I_0\%$ —空载电流的百分比

I_2 —负载电流

I_{2e} —变压器负载侧额定电流

I_{bl} —在共用变压器运行方式中、被切除那台变压器的负载通过联络线的电流

I_{iD} —一小时内的瞬时最大电流

J_{1A} —两台变压器并列运行时，变压器 A 的负载分配系数

$J_{(N-1)A}$ — $N-1$ 台变压器并列运行时，变压器 A 的负载分配系数

$J_{(N-1)n-1}$ — $N-1$ 台变压器并列运行时、第 $n-1$ 台变压器的负载分配系数

J_d —每度电价格

J_0 —每千乏时的无功电价

J_s —变压器每千伏安的容量电价

J_r —第 r 台变压器经济分配系数（按有功）

J_{r0} —第 r 台变压器经济分配系数（按无功）

J_{rs} —第 r 台变压器经济分配系数（按综合）

K_G —无功电价等效当量
 K_θ —变压器功率损失系数
 K_L —变压器损失率系数
 K_{IP} —更换“大马拉小车”变压器的有功节电效益系数
 K_{IQ} —更换“大马拉小车”变压器的无功节电效益系数
 K_{IZ} —更换“大马拉小车”变压器的综合节电效益系数
 K_{LP} —变压器“大马拉小车”有功临界损失率系数
 K_{LQ} —变压器“大马拉小车”无功临界消耗率系数
 K_{LZ} —变压器“大马拉小车”综合临界损失率系数
 K_{LJ} —经济运行区与不良运行区之间的有功临界损失系数
 K_{LL} —不良运行区与最劣运行区之间的有功临界损失率系数
 K_{LJQ} —经济运行区与不良运行区之间的无功临界消耗率系数
 K_{LLQ} —不良运行区与最劣运行区之间的无功临界消耗率系数
 K_{LJZ} —经济运行区与不良运行区之间的综合临界损失率系数
 K_{LLZ} —不良运行区与最劣运行区之间的综合临界损失率系数
 K_P —有功经济当量
 K_{PP} —运行区间有功平均损失率系数
 K_{PQ} —运行区间无功平均损失率系数
 K_O —无功经济当量
 K_R —日均方根等效系数
 K_S —小时负载波动损失系数
 K_T —负载波动损失系数
 K_X —小时均方根等效系数
 $K_{x'}$ —变压器抗阻比系数
 K_θ —变压器的负载相对系数

$N(\text{甲})$ —甲组 N 台变压器的并列运行方式

$N(\text{乙})$ —乙组 N 台变压器的并列运行方式

P_0 —空载损失

P_{IO} —单相变压器的空载损失

P_{IO} —两台变压器并列运行时的组合空载损失

P_{BIK} —当共用变压器 A 时，如变压器 B 的二次额定电流 $I_{B2\epsilon}$ 通过
联络线所产生的功率损失

P_{b0} —共用变压器运行方式中被切除变压器的空载损失

P_{DO} —大容量变压器的空载损失

P_{g0} —共用的那台变压器的空载损失

$P_{(n+1)O}$ —第 $n+1$ 台变压器的空载损失

$P_{(n+1)ZO}$ —第 $n+1$ 台变压器的空载综合功率损失

P_{NO} — N 台变压器并列运行方式时的组合空载损失

P_{XO} —小容量变压器的空载损失

P_{YO} —原变压器的空载损失

P_{ZO} —变压器空载综合功率损失

P_1 —变压器的电源侧功率

P_2 —变压器的负载功率

P_{2x} —小时负载功率

P_D —小时最大负载功率

P_K —短路损失

P_{IK} —单相变压器的短路损失

P_{IK} —两台变压器并列运行的组合短路损失

P_{bK} —共用变压器运行方式中被切除变压器的短路损失

P_{DK} —大容量变压器的短路损失

P_{gK} —共用的那台变压器的短路损失

$P_{K\theta}$ —当变压器运行温度为 $\theta^\circ\text{C}$ 时的短路损失

$P_{(n+1)K}$ —第 $n+1$ 台变压器的短路损失

$P_{(n+1)ZK}$ —第 $n+1$ 台变压器额定负载时的综合功率损失

P_{NK} — N 台变压器并列运行的组合短路损失

P_{xK} —小容量变压器的短路损失

P_{yK} —原变压器的短路损失

P_{zK} —变压器额定负载时的综合功率损失

P_p —小时平均功率

P_n —第 n 台变压器负载功率

$P_{\text{甲}f}$ —变压器甲按经济分配的负载功率

$P_{\text{甲}s}$ —变压器甲按容量分配的负载功率

P_σ —变压器分列运行时总的负载功率

Q_0 —变压器空载激磁功率

Q_{10} —两台变压器并列运行的组合空载激磁功率

Q_{b0} —共用变压器运行方式中被切除变压器的空载激磁功率

Q_{D0} —大容量变压器空载激磁功率

Q_{g0} —共用那台变压器的空载激磁功率

Q_{N0} — N 台变压器并列运行时，组合空载激磁功率

$Q_{(n+1)0}$ —第 $n+1$ 台变压器的空载激磁功率

Q_{x0} —小容量变压器的空载激磁功率

Q_K —变压器额定负载时的漏磁功率

Q_{1K} —两台变压器并列运行时的组合的额定负载漏磁功率

Q_{bK} —共用变压器运行方式中，被切除的变压器的额定负载漏磁功率

Q_{DK} —大容量变压器的额定负载漏磁功率

Q_{gK} —共用变压器运行方式中，共用的那台变压器额定负载漏磁功率

Q_{NK} — N 台变压器并列运行方式的组合额定负载漏磁功率

$Q_{(n+1)K}$ —第 $n+1$ 台变压器的额定负载漏磁功率

Q_{xK} —小容量变压器的额定负载漏磁功率

R_l —线路电阻

R_u —变压器的联接系统的电阻

r_K —变压器的短路电阻

r_m —变压器的激磁电阻

S —视在负载功率

S_0 —变压器空载试验时的视在功率

S_{A0} —共用变压器 A 和分列运行方式之间的临界容量

S_{B0} —共用变压器 B 和分列运行方式之间的临界容量

S_{AS} —共用变压器运行方式中对变压器 A 极限容量的视在负载功率

S_{BS} —共用变压器运行方式中对变压器 B 极限容量的视在负载功率

S_{AL} —共用变压器运行方式中，共用变压器 A 与共用变压器 B 之间的变压器 A 的临界视在负载功率

S_{BL} —共用变压器运行方式中，共用变压器 A 与共用变压器 B 之间的变压器 B 的临界视在负载功率

S_b —共用变压器运行方式中，初切除那台变压器的视在负载功率

S_D —在 T 时间段内的最大视在负载功率

S_e —变压器的额定容量

S_{be} —共用变压器运行方式中，被切除变压器的额定容量

S_{De} —大容量变压器的额定容量

S_{ge} —共用变压器的运行方式中，共用那台变压器的额定容量

S_{me} —第 m 台变压器的额定容量

S_{se} —小容量变压器的额定容量

S_g —共用变压器的运行方式中，共用那台变压器的视在负载功率

S_K —变压器的短路试验时的视在功率

S_{1LP} —两组二台变压器的并列运行方式之间的临界容量（按有功

损失)

S_{ILR} —两组二台变压器的并列运行方式之间的临界容量 (按无功消耗)

S_{ILZ} —两组二台变压器的并列运行方式之间的临界容量 (按综合功率)

S_{LP} —单台变压器之间技术参数优劣判定的临界容量 (按有功损失)

S_{LQ} —单台变压器之间技术参数优劣判定的临界容量 (按无功消耗)

S_{LZ} —单台变压器之间技术参数优劣判定的临界容量 (按综合功率)

S_{NLP} —两种 N 台变压器并列运行方式之间的临界容量 (按有功损失)

S_{NLO} —两种 N 台变压器并列运行方式之间的临界容量 (按无功消耗)

S_{NLZ} —两种 N 台变压器并列运行方式之间的临界容量 (按综合功率)

$S_{LP}^{1 \sim 1}$ —单台与两台并列运行方式之间的临界容量 (按有功损失)

$S_{LP}^{N \sim N+1}$ — N 台与 $N + 1$ 台并列运行方式之间的临界容量 (按有功损失)

$S_{LP}^{X \sim D}$ —大容量与小容量变压器间的临界容量 (按有功损失)

$S_{LP(串 \sim 并)}$ —变压器的绕组串联与并联两种接线方式之间的临界容量 (按有功损失)

$S_{LP}^{V \sim \Delta}$ —单相变压器组 V 接线法和 Δ 接线法之间的临界容量 (按有功损失)

S_p — T 时间段内的平均视在负载功率

T —变压器运行的时间段

T_o —负荷率曲线的初始时间

T_B —投资的回收年限

T_D — $\left\{ \begin{array}{l} \text{①全日大容量变压器运行小时数} \\ \text{②在 } T \text{ 时间段内最大负载功率出现的小时数} \end{array} \right.$

$T_D\%$ —在 T 时间段内最大负载功率出现的百分数

T_f —全年躲峰小时数

T_n —全年小容量变压器运行的小时数

T_R —全年小容量变压器运行的日数

T_x —全日小容量变压器运行的小时数

T_y —变压器运行年限

U —变压器电源侧电压

U_{1e} —变压器电源侧额定电压

U_{2e} —变压器负载侧额定电压

U_{iD} —一小时内的最大瞬时电压

U_K —短路电压

$U_K\%$ —短路电压的百分比

$U_{DK}\%$ —并列变压器运行方式中的最大短路电压

$U_{mK}\%$ —并列变压器运行方式中第 m 台短路电压

$U_{PK}\%$ —并列变压器运行方式中短路电压算术平均值

$U_{xK}\%$ —并列变压器运行方式中的最小短路电压

W_f —旧变压器的剩值

X_K —变压器额定负载时的漏磁感抗

X_L —线路的感抗

X_m —变压器激磁回路的感抗

Z_1 —变压器原绕组的阻抗

Z_c —电容器的总投资
 Z_{Ca} —每千乏电容的价格
 Z_J —旧变压器的价格
 Z_m —变压器的激磁阻抗
 Z_n —新变压器的价格
 Z_{S1} —变压器原绕组的漏阻抗
 Z_x —小容量变压器的价格

β —负载系数

β_1 —两台变压器的并列运行方式的负载系数
 β_{A0} —共用变压器A与分列运行方式之间的临界负载系数
 β_{B0} —共用变压器B与分列运行方式之间的临界负载系数
 β_{AS} —共用变压器运行方式中对变压器A极限容量的负载系数
 β_{BS} —共用变压器运行方式中对变压器B极限容量的负载系数
 β_b —共用变压器运行方式中, 被切除变压器的负载系数
 β_D —大容量变压器的负载系数
 β'_D —两容量变压器的最大容许负载系数
 β_d —低谷负载系数
 $\beta_{d'}$ —低谷负载填谷 ($\Delta\beta$) 后的负载系数
 β_V —单相变压器组V接线方式的负载系数
 β_g — { ①高峰负载系数
 ②共用那台变压器的负载系数
 $\beta_{g'}$ —高峰负载躲峰后的负载系数
 β_N —N台变压器的并列运行方式的负载系数
 β_x —小容量变压器的负载系数
 β_Y —原变压器的负载系数
 β_Δ —单相变压器组 Δ 接线方式的负载系数
 β_{x1} —小时均方根负载系数
 β_{YP} —小时平均负载系数

β_{RJ} —日均方根负载系数

β_{RP} —日平均负载系数

β_{TJ} — T 时间段内均方根负载系数

β_{TP} — T 时间段内平均负载系数

β_{JP} —有功经济负载系数

β_{JQ} —无功经济负载系数

β_{JZ} —综合经济负载系数

β_{NJP} — N 台变压器并列运行方式的有功经济负载系数

β_{Njq} — N 台变压器并列运行方式的无功经济负载系数

β_{NJZ} — N 台变压器并列运行方式的综合经济负载系数

β_{JPX} —考虑小时负载波动有功经济负载系数

β_{JPT} —考虑 T 时间段内负载波动有功经济负载系数

β_{JPXJ} —既考虑小时负载波动、又考虑 T 时间段内负载波动的有功经济负载系数

β_{LP} — { ①单台变压器间技术特性优劣判定的有功临界负载系数
②变压器“大马拉小车”的有功临界负载系数

β_{LQ} — { ①单台变压器间技术特性优劣判定的无功临界负载系数
②变压器“大马拉小车”的无功临界负载系数

β_{LZ} — { ①单台变压器间技术特性优劣判定的综合临界负载系数
②变压器“大马拉小车”的综合临界负载系数

β_{ILD} —两种二台变压器并列运行方式间的有功临界负载系数

β_{ILQ} —两种二台变压器并列运行方式间的无功临界负载系数

β_{ILZ} —两种二台变压器并列运行方式间的综合临界负载系数

β_{NLP} —两种 N 台变压器并列运行方式间的有功临界负载系数

β_{NLQ} —两种 N 台变压器并列运行方式间的无功临界负载系数

β_{NLZ} —两种 N 台变压器并列运行方式间的综合临界负载系数

β_{AI} —共用变压器的运行方式中，共用变压器 A 与共用变压器 B 之间的变压器 A 临界负载系数

β_{BI} —共用变压器运行方式中，共用变压器 A 与共用变压器 B 之

间的变压器 B 临界负载系数

β_{LJ} —经济运行区与不良运行区之间有功临界负载系数

β_{LL} —不良运行区与最劣运行区之间有功临界负载系数

β_{LJQ} —经济运行区与不良运行区之间无功临界负载系数

β_{LLQ} —不良运行区与最劣运行区之间无功临界负载系数

β_{LJZ} —经济运行区与不良运行区之间综合临界负载系数

β_{LLZ} —不良运行区与最劣运行区之间综合临界负载系数

$\beta_{LP}(\Delta \sim Y)$ —两容量变压器的 Δ 与 Y 两种接线方式之间的有功临界负载系数

$\beta_{LQ}(\Delta \sim Y)$ —两容量变压器的 Δ 与 Y 两种接线方式之间的无功临界负载系数

$\beta_{LZ}(\Delta \sim Y)$ —两容量变压器的 Δ 与 Y 两种接线方式之间的综合临界负载系数

$\beta_{LP}(\text{并} \sim \text{串})$ —两容量变压器的绕组串联与并联两种接线方式之间的有功临界负载系数

$\beta_{LQ}(\text{并} \sim \text{串})$ —两容量变压器的绕组串联与并联两种接线方式之间的无功临界负载系数

$\beta_{LZ}(\text{并} \sim \text{串})$ —两容量变压器的绕组串联与并联两种接线方式之间的综合临界负载系数

$\beta_{LP}^{I \sim I}$ —一台与两台变压器并列运行方式之间，有功临界负载系数

$\beta_{LP}^{Y \sim \Delta}$ —单变压器组 Y 接线与 Δ 接线运行方式之间的有功临界负载系数

β_{LPX} —考虑小时负载波动两种运行方式之间的有功临界负载系数

β_{LPT} —考虑 T 时间段内负载波动两种运行方式之间的有功临界负载系数

β_{LPXT} —既考虑小时负载波动，又考虑 T 时间段内负载波动两种运行方式之间的有功临界负载系数

γ_0 —负荷率曲线的初始负荷率