

工业企业供电

徐开源 編著

上海科学技术出版社

工业企业供电

徐开源 編著

(第二版)

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书首先扼要闡明工业企业供电的特征及其发展趋势;继对工业企业供电的主要問題,如負荷計算、电力网、变电所和保护装置等作有系統地詳細叙述;并对功率因数的改善、供电系統自动化和調度及照明装置均另辟专章討論。故不但可作高等工业学校的教科书,并可为从事工业企业供电設計人員的参考。

工业企业供电(第二版)

徐 开 源 編 著

上海科学技术出版社出版(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业许可證出 093 号

上海市印刷四厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印張 19 16/32 排版字數 482,000

(原科技版印 3,800 冊 1957 年 8 月第 1 版)

1958 年 10 月第 1 版印 9 次共印 18,850 冊

1963 年 9 月第 2 版 1964 年 7 月第 3 次印刷

印數 6,501—16,500 (其中簡裝本 2,500 冊)

統一書号 15119·535 定价(科五)2.15 元

第二版序

本书初版于1957年8月出版。如今历时較久，而国内外对于工业企业供电問題有更进一步的提高和发展，因予重行編写，以适应教学上的需要。

第二版的内容和組織較諸初版作了重大修改，并新增“电器和載流部分的选择”和“工厂照明”两章。第八章的素材由西安交通大学吳国瑜同志供給。

改写过程中，承第一机械工业部第二設計院章长东和薛念祖两位工程师提出宝贵的建議和意見，經上海交通大学吳际舜同志校閱全稿，林海明教授、楊冠城和吳国瑜同志也校閱部分章节，作者謹致以衷心的感谢。

作者謹識

1963年8月于上海

目 录

第二版序

第一章 緒論	1
1-1 工业企业供电的发展概况	1
1-2 用电设备的分类	4
1-3 常用用电设备的主要特征	6
1-4 工企供电設計的組成和步驟	11
第二章 負荷計算	15
2-1 概述	15
2-2 工业企业的負荷曲綫	17
2-3 按需要系数确定計算負荷	29
2-4 用二項式确定計算負荷	35
2-5 調整負荷曲綫法	40
2-6 利用概率理論求計算負荷	41
2-7 不对称負荷的計算	54
2-8 尖峰負荷的計算	56
2-9 工业企业总負荷的确定	57
2-10 企业供电系統中的功率損耗	60
2-11 电能損耗的計算	61
2-12 企业年电能需要量的計算	63
2-13 負荷图	65
第三章 工业企业电力网	67
3-1 工业企业电力网的概念	67
3-2 供电电流种类的选择	72
3-3 直流电网电压的选择	73
3-4 低压交流电网电压的选择	74
3-5 高压交流电网的电压选择	75
3-6 高压电力网的結綫图	77

3-7	低压电力网的結綫图	90
3-8	照明供电綫路的結綫图	93
3-9	电力网中电压損耗的計算	100
3-10	变压器中的电压損耗	124
3-11	电压調整的目的和方法	126
3-12	高低压架空綫路的結構和敷設	131
3-13	高低压电纜綫路的結構和敷設	138
3-14	車間低压綫路的結構和敷設	142
3-15	配电箱和配电盘	154
3-16	电力网的运行和維護	157
第四章	工业企业变电所	166
4-1	变电所的作用和分类	166
4-2	变电所位置和数量的选择	167
4-3	变电所及变压器容量(台数)的选择	169
4-4	变电所的一次結綫	177
4-5	監察和測量仪表	188
4-6	变电所的控制屏	194
4-7	配、变电所的結構	196
4-8	变流所	210
4-9	变电所的接地裝置	214
4-10	变电所的运行	225
第五章	短路电流的計算	232
5-1	短路种类、发生原因和后果	232
5-2	計算短路电流的目的和假定条件	234
5-3	短路回路中各元件阻抗的計算	235
5-4	短路回路总阻抗的确定	239
5-5	短路电流的变动过程	244
5-6	短路电流的計算	251
5-7	短路电流的实用計算法(运算曲綫法)	257
5-8	短路电流計算时对外部电力系統的考虑	269
5-9	两相短路电流的近似計算法	270
5-10	低压电网短路电流的計算	271
5-11	短路电流的效应	279

第六章 电器和载流部分的选择	285
6-1 选择电器和载流部分的一般条件	285
6-2 高压断路器的选择	288
6-3 隔离开关及负荷开关的选择	294
6-4 仪用互感器的选择	298
6-5 熔断器的选择	314
6-6 电抗器的选择	320
6-7 低压电器的选择	324
6-8 按发热情况选择母线、电缆和导线	325
6-9 按经济电流密度选择母线、电缆和导线	330
6-10 按短路情况下校验母线和电缆	335
6-11 按电压损耗求导线或电缆截面	346
6-12 选择导线截面各种方法的应用	349
第七章 工业企业供电系统中的保护装置	352
7-1 供电系统保护的目 的	352
7-2 继电保护的任 务及对其要求	352
7-3 继电器的分类	355
7-4 继电保护装置的操作电源	356
7-5 供电电网的保护装置	358
7-6 变压器保护	371
7-7 电动机和静电电容器的保护	382
7-8 大气过电压的防护	390
第八章 工业企业供电的自动化措施和调度	405
8-1 概 论	405
8-2 自动重合闸	407
8-3 备用电源和设备的自动投入	414
8-4 自动减负荷	427
8-5 电动机的自启动	429
8-6 静电电容器容量的自动调节	432
8-7 供电系统的集中调度	436
第九章 电能节约	445
9-1 节约电能与国民经 济的关系	445
9-2 工业企业中节约电能的主要途径	446

9-3	提高功率因数的意义	452
9-4	工业企业的功率因数	454
9-5	无功功率补偿及其经济当量	456
9-6	提高自然功率因数的方法	459
9-7	提高功率因数的补偿方法	473
9-8	补偿装置型类和容量的选择	474
9-9	静电电容器的补偿方式	476
9-10	电容器在高低压电网中的分配	478
9-11	低压电容器在放射式电网中的分配	481
9-12	低压电容器在树干式电网中的分配	488
9-13	分配电容器容量的图解法	490
9-14	电容器的安装、维护和运行	494
第十章	工厂照明	497
10-1	概述	497
10-2	照明器	497
10-3	人工照明规程和照度标准	504
10-4	照明装置的设计	509
10-5	照明装置光照计算的一般原则	520
10-6	照明装置的直接计算	521
10-7	照明装置的校验计算	525
10-8	室外照明	542
10-9	某些工业企业照明装置的特征	555
10-10	照明装置的运行和维护	556
附 录		559
参考文献		614

第一章

緒論

了解工业企业供电的发展过程和今后趋势，并明确其主要条件，常用用电设备的主要特征及设计的組成和步骤。

1-1 工业企业供电的发展概况

十九世紀末叶，工业发展是以蒸汽机和水力机为动力基础。此种动力机械常借既重且貴的皮帶或绳索将运动傳給机械工具。随着生产方式的改变和建立大規模的工业企业，能量需要日益增多，旧式能量供应方式显已不能滿足新工业的要求。于是探求在技术上和經濟上更完善的动力机械，并为适应大工业和生活上的需要，必須有更为完善的照明方式。

試观已往科学和技术的发展，显見电动机可能成为更完善的动力，电照可能成为更完善的照明。进而言之，现代的工业和生活中如无电能，則社会的經濟和文化将很难获得发展。可見建立发电厂和广泛采用电力拖动装置以作各种机械的原动力，及供应采光的需要，以創立大量生产工业产品的基础，促进社会生产力的发展和提高人民物质和文化福利的水平，自属无可置疑。但与此同时，也提出工业企业供电的任务。

按工业企业供电的发展情况来看，最初一般工业用的发电厂系建立于工厂內。继以电力远距离輸送理論的創立和三相配电系統技术的推广，因此发电厂的建立，不再受限于工业企业的所在地。发电厂与工业企业供电的連系，可利用高电压的輸电綫。因而电能非但可自发电厂被送至遙远的用电区域，且发电厂可建立于燃料产地或有水能利用的地区，从而获得价廉的电能。

在一些工业企业建立时，有因电力网极不发达，或厂址远距电力网，或需要蒸汽和热水以适应技术生产和采暖，或有工业副产品（如瓦斯等）可資利用及为保证供电的可靠性而需备用电源，仍有自建发电厂的情况。但我国不久的将来，电力网将满布全国各地，工业企业的供电即可自 35、110 和 220 千伏电力网中取得电能。同时，由于电力网容量的增长，电价降低，电能质量和供电的可靠性亦得到保证。如为技术生产与采暖而需蒸汽或热水，也可建立地区热电厂。再则建立临时性发电厂以保证工业企业建设时期中对其施工装置的用电设备供电；或在兴建工业企业同时，建立小型或中型水力发电厂均称有利，而在技术经济指标上亦属合理。由于临时性发电厂可以拆卸而移动以适应需要，及水力发电厂发出的电能成本低廉，对我国目前情况来看，是方便而适宜的。

目前新建的工业企业，其技术生产过程趋向自动化。以自动装置保证机器的操纵，可大量减少工作人员，和对于不能直接由人控制进行的过程，探求并制定遥远操纵的方法，以免除执行生产任务时可能发生的不准确和危险性，并可减轻劳动强度或代替人工作以保护工作人员的健康，及提高劳动生产率和降低产品的成本。在供电系统中采用自动化措施，例如线路的自动重合闸、备用电源的自动投入、重要电动机的自起动等。

工业企业的供电电压一般为 6~10 千伏，也有采用具有良好技术经济指标的 35 千伏、甚至 110 千伏高压线路深入负荷中心的供电方式。低压方面绝大部分采用 380、220 伏，美国有部分采用 460 伏，欧洲大陆有部分采用 550 伏，苏联也正在研究采用 660 伏电压级。

变电所既在理论上研究、并在实践中已广泛采用分散布置，使之接近负荷中心，从而获得节省大量有色金属和减少电能的损耗。

变电所的結綫系統趋向于简单,而仍不失供电可靠的要求。少有采用双母綫和大型配电所的方案,最多是采用分段单母綫和分散变电所。厂內的配电系統在苏联采用放射式似占很大的比重,但目前顧到电器制造质量的提高和資金的节约,树干式也正被广泛采用。在美国,树干式系統占据优势,且大多数是简单的树干式。

低压方面各国大部分用电綫和插接式母綫。苏联在一般金属加工車間中采用“变压器-干綫”組。运行經驗証明,無論从节约和适应車間內用电设备的变动性等方面,具有良好的技术經濟指标。低压聯絡綫可保証供电或减少电能損耗,在各国都得到广泛采用。

此外,操作电源的采用交流、变电所結構和配电装置方面趋向于成套装置等,使結綫簡化和节省投資。

至于計算負荷的确定方法,例如在理論上树立用电设备数量与負荷的关系;研究出間歇运行工作制用电设备的負荷确定法;提出确定金属切削机床傳动装置負荷的实用公式;电焊机供电用变压器和綫路的計算方法等等,近年来有应用概率理論求計算負荷。

从以上所述,略可窺見工业企业供电的发展过程和趋势,可为我国工程技術人員对于工业企业供电問題上取作参考或效法。但工业企业供电終究还是一門比較年輕的科学,其理論尚待进一步的探討,并須累积运行的統計資料,以求进一步的发展。

在工业企业中,电能虽是生产过程中的主要动力,但其价值在产品成本中所占的比重除电化工业外,实属有限。例如在机械制造业中,仅占产品成本的2~3%而已。再从企业的总投資額来看,有一些厂在电气设备上的投資,仅占总投資的5%。所以电能本身在一般企业中的重要性,倒不在于在产品成本中或投資額中所占的比重,而在于当供电中断时破坏企业正常生产的問題上,因

某些工业企业供电的可靠性是绝对的要求,即使极短时间的断电,将造成生产上的巨大损失、发生人身事故或损坏机械而难以恢复等后果,使国民经济遭受极大的物质损害。就良好的照明对工厂生产而言,能使劳动生产率增加,减少废品,改进产品质量,减少事故和改善工人身心的健康。再则由于供电系统的采用自动措施,以保证供电的连续性和生产过程的自动化,以增加产量和提高质量,对于企业本身的资金周转和将来的发展起着决定性的作用;而况对于整个国家财富的累积与经济建设的发展,亦有其一定的作用。所以工业企业供电固然直接关系到企业的生产过程,为企业组成部分的一个重要因素,而对于国民经济中所占的地位,有着无可置辩的重要性。按我国电气事业的统计,全国电厂所生产的电能,约有70%供给工业企业应用,可见工业企业供电在大规模生产中所起重要作用的一班。

1-2 用电设备的分类

在工业企业中,电能广泛应用于各种机械、电解、电热和电焊以及其他特殊用途,如试验设备、生产过程自动化和控制等。但为正确选择供电系统的线路、结构及各元件(如变压器等)的参数,可将用电设备按下述分类:

1. 按电流、电压、频率来分 电流种类可分为直流和交流,而工业企业内绝大部分的用电设备均用交流。厂内仅电气化运输机械、大型吊车设备和电解设备是采用直流,而此种设备仍借变流设备将交流电转变为直流电,所以从供电观点来看均属交流设备。

按不同电压,用电设备除部分安全要求较高者外,一般可分为低压和高压两类。低压设备的电压一般为380伏;高压设备超过1000伏以上的又可分为:使用在中性点不接地系统中的(电压为3、6、10、35千伏);中性点经消弧线圈接地(电压为35及110千伏)和中性点直接接地系统中的(电压110、220千伏)。

依频率可分为低频(50 赫以下)、工频(50 赫)、中频(50~10000 赫)和高频(10000 赫以上)三种。工业企业中绝大部分用电设备都应用工业频率。运输设备中有采用 $16\frac{2}{3}$ 赫的低频,纺织厂人造丝生产中有采用 133 赫的电动机,汽车工厂和其他流水作业装配车间有应用 175~180 赫频率的电气工具。铸造冲压用在金属直接受热的设备,其频率有达 1000 至 10000 赫。其他有采用高达 200 兆赫的用电设备,如感应电炉、淬火和加热设备及干燥非金属材料的设备等。无论何种频率的交流电系借变频器或者高频发生器等将工业频率的电流转变为高频电流,所以此种变频设备从工企供电的观点来看,仍属于工频设备。

2. 按工作制来分 有连续运行、短暂运行和间歇运行三种。

连续运行工作制的电动机或电器,其负荷有属恒定的,如通风机、水泵、压缩机的电动机;亦有属于变动的,如工作母机等。在长期运行的周期内,当周围介质温度不变时,该工作制用电设备的任何部分温度不致超过其最高容许温度。

短暂运行工作制的用电设备,在运行周期内(一般不超过 120 分钟),其任何部分不致超过其所容许的温度,而有停止工作的时间足使其冷却到周围介质的温度。例如金属切削机床上辅助机械的电动机。

间歇运行工作制的用电设备,其工作时间较短,且工作时间与停止或空转时间交相更替。例如吊车用的电动机。该类设备是以其暂用系数(HB)来表示,

$$HB\% = \frac{t}{t+t_0} \times 100\%$$

式中 t ——工作时间;

t_0 ——停用时间;

$t+t_0$ ——整个周期,不应超过 10 分钟。

3. 按供电不能中断的要求来分 有以下三类:

〔第 I 类負荷〕 如遇停电时,将产生大量廢品,設備损坏而需长期修复,或发生人身事故。

〔第 II 类負荷〕 如停止供电时,将大量减少产量,工人窩工,机械停止运行,工业交通運輸停頓等。

〔第 III 类負荷〕 不属于第 I、II 类的負荷均屬之。例如非成批生产的或非流水生产的小型車間,一般貯存原材料的倉庫等。

第 I 类負荷,根据运行情况又可分为两类:

I-a 类,供电絕對不容許中斷。例如冶金工厂馬丁炉車間內給水設備和煤气輸送設備、鑄錠吊車和加料吊車等。在軋鋼車間內、煤气发生炉和冷却水用的輸送設備等。在机械工厂中絕對不能停电的負荷是不常見的,只有那些加工周期特別长、产品特別珍貴,短暫停电即直接造成国民經济重大損失的用电設備,才是絕對不能停电的第 I 类負荷,故应采用备用电源自动投入裝置。

I-6 类,在供电时容許有一分钟或数分钟的中斷,使值班人員得用手合閘备用电源的开关。例如馬丁炉車間在鑄錠前的鑄錠吊車就容許 1~2 分钟的断电,用手切换电源,尙不致使生产过程中斷。

1-3 常用用电設備的主要特征

企业中常用的一般电力設備有轉动压縮机、通风机和水泵的电动机,其电压自 380 伏至 10 千伏,容量从 1 千瓦以下到几千千瓦,頻率一般均为 50 赫。該类設備依其用途和生产的特性,在大多数情况下是不容許停电,因停电可能招致生命危險或严重的設備破坏。例如在机械制造厂中采用风动夹具时,設遇压縮空气突然停止,可能引起工作人員受伤。如在冶金工厂中停止供水可能造成重要設備破坏。有些化学車間通风停止后可能招致人員中毒。因此都屬於第 I 类負荷。

此类設備为連續运行工作制。負荷均匀,且三相对称,仅在起

动时引起负荷波动。功率因数也很稳定，其值一般为 $0.8 \sim 0.85$ 。为改善功率因数，以采用同步电动机为适宜。设备配置也属稳定。

起重运输机械如吊车、电动滑车、运输设备、起重机、卷扬机等电动机也属于一般工业设备，除输送带和运输设备外，是间歇运行工作制。其电源可采用直流或交流。直流系统虽在逐渐淘汰中，而黑色冶金工业中马丁炉车间的吊车设备，至今仍采用直流供电。热处理车间淬火用的吊车仍须采用直流，因此种吊车须有较高的速度，并能迅速改变转向和准时停车。车间和建筑现场内安装吊车用的电动机采用交流供电，已能满足要求。无需调速的电动滑车、卷扬机、运输设备和输送带及起重机均采用交流供电。

起重运输机械就供电不能中断的程度是依其用途而异。再则大部分该类机械的电气设备在运用中均须移动，系借接触导体而供电。该接触导体的位置为固定，所以从配置的角度来看，是属于稳定的。

照明设备为单相而恒定的负荷，其容量从 10 瓦到 1000 瓦等。白炽灯的功率因数为 1，荧光灯在 $0.55 \sim 0.6$ 之间，电压采用 $12 \sim 220$ 伏。在接用时负荷由零增至最大，切断时则相反。使用时间受白昼长短、季节、地理位置及工作班数等因素的影响。事故照明属于第 I 类用电设备，必须将其接至独立的电源。

电解设备用于冶炼有色金属的冶金工业、制造氯及氢等的电化工业和电镀工业中，其直流电系借变流设备而获得。

冶炼有色金属如铝、铅、铜等的电解槽系成组串联，直流电压根据工艺条件而定，变流设备的电压为 $6 \sim 35$ 千伏，功率因数为 $0.8 \sim 0.9$ ，负荷均匀。电解过程中须维持整流电流的稳定，就有调整交流电压的必要。电解有色金属为一消耗大量电能的工业，设备容量通常达数万千瓦。

在氯-苛性碱工业中，氯的电解是在电压为 $3.2 \sim 5$ 伏以下和电流为 $1000 \sim 20000$ 安的电解槽内进行，成组电解槽的电压为

220~270 伏。制取氫氣的水電解時，槽組電壓由 200 至 3000 伏，電流在 1000 至 15000 安之間。

機器製造工業中零件電鍍槽的電壓在 3.5 至 9 伏或 9 伏以上，視技術生產過程而定。電流為 100~5000 安，既須調整電流，且有時還須改變電解槽的極性。因各槽的工作方法不同，不能將其串聯，所以配電電壓一般為 6 或 12 伏。

冶金工業和電化工業中的電解設備系屬連續運行工作制。金屬電鍍車間的工作制是極不均勻，依零件數量、電槽容量和技術生產過程而定。就供電不能中斷的程度而論，大部分的電解設備屬於 I-6 類，即供電中斷 1~2 分鐘，並不引起嚴重的後果。但在某些情況下，將出現有害氣體或其他不良現象。因此，一般不容許停電，以免生產量大受損失，及因在停電時電槽的反電勢將在再度電解時必須消耗大量的電能。電解設備除機械製造工業中的小型金屬電鍍外，均屬穩定配置。

電爐可分電弧爐、電阻爐和感應電爐。電弧煉鋼爐是大容量的用電設備，單位容量可達 10000 至 25000 千瓦。在精煉期間，負荷對稱。在熔煉期間每相負荷波動很大，電流可達其額定值的 3.0~3.5 倍，以致引起很大的電壓波動。功率因數為 0.8~0.85。該類設備一般與變壓器成組接於母線上，供電頻率為 50 赫，供電電壓為 6~35 千伏。供電時容許短時間（不超過 20~30 分鐘）停電，否則將引起設備破壞，故屬於第 I 類負荷，但容許短時停電。

熔煉鐵合金、碳化鈣等的電爐可停電達 2~3 小時，僅造成加熱時的電能損耗。該類負荷系屬對稱而均勻，僅在加料時有些波動。由特殊變壓器供電，供電電壓為 6~35 千伏，可進行電壓調整。低壓側電壓為 150~250 伏。功率因數為 0.9~0.92，容量為 2000~40000 千伏安。

熔煉有色金屬的間接作用電弧爐，其負荷波動較煉鋼爐為小，僅為其額定電流的两倍。大部分為單相設備，功率因數為 0.9，屬

于第 I-6 类负荷。

电炉设备在冶金工业中是稳定配置；而在机械制造业中，因某些车间的技术生产过程经常变动，电炉及其全部辅助设备亦须同时移动，不得不重新安装。

电阻炉用于加热金属或对金属进行热处理（淬火或退火）等，有三相和单相设备，其容量自数十瓦至 2000 千瓦。在一般情况下，停电仅使产量减少，列入第 II 类负荷。但在某些情况下，根据特殊的生产条件，也可视为属于 I-6 类。

感应电炉分中频（500~8000 赫）和高频（ $10^5 \sim 10^8$ 赫）两种，由变频器或高频发生器供给。变频器由同步或感应电动机转动，其电压为 0.4~6 千伏，频率为 50 赫，系三相对称负荷，功率因数为 0.7~0.8。高频发生器系由 50 赫、0.4 千伏交流供给，功率因数接近于 1。

感应电炉属于三相对称负荷。在熔炼时由于炉料的磁和电性能的改变，将引起负荷的波动，其值可达 15~30%。如停电超过 10~12 分钟，可能引起电炉本身的损坏，因此，应作为第 I 类负荷来考虑。对于表面淬火及渗透加热的感应电炉系间断运行工作制，可视为第 II 类负荷。

就设备配置的稳定性而言，大型电炉、大容量的高频设备等属于稳定配置，而用于锻造和冲压及铆钉或铁轮的加热设备可能沿车间移动，所以配置并不稳定。

现代化金属切削机床用的电动机，其容量的变化范围极广，从几分之一千瓦至数百千瓦不等，依机床型式和生产特性而异。当要求高转速、调速和改变转向时，一般采用直流电动机。有些调速的磨床、铣床和钻床也应用高频电动机。为提高机床生产率的组合机床上，常设多台电动机，以司传送、调整位置、接合及其他等，以致降低设备的利用率。此点正足以说明金属切削机床用电动机的功率因数低和需要系数低的原因（参阅第二章）。所需的供电电