

主编：顾永辉

煤炭工业出版社

# 工矿企业 660V 供电

# 工矿企业 660 V 供电

主 编 顾永辉

编写人员 顾永辉 (第一、六、七、八章)

贾宝军、黄强 (第二章)

刘立三、周玉珩 (第三、四、五章)

周焕熊 (第九章)

煤炭工业出版社

## 内 容 提 要

本书分析了工矿企业采用 660V 供电的必要性及其技术经济效益,重点介绍了 660V 电气设备的性能、结构特点及选择方法等。主要内容包括:工矿企业 660V 供电的发展过程及其效益,660V 电气元件,成套开关设备及电控设备,660V 电动机、变压器及其改接线方法,660V 供电系统的漏电保护,选煤厂 660V 供电系统等。

本书可供工矿企业从事电气工作的人员使用,亦可作为供电设计部门的工程技术人员及院校师生的自学参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工矿企业 660V 供电/顾永辉等编著. —北京:煤炭工业出版社, 1996

ISBN 7-5020-1415-2

I. 工… II. 顾… III. 工业用电-供电, 660V N. TM 727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 03148 号

## 工 矿 企 业 660 V 供 电

主 编 顾 永 辉

责任编辑:姜庆乐

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街 21 号)

北京宏伟胶印厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本 787×1092mm<sup>1/16</sup> 印张 48<sup>1/4</sup> 插页 1

字数 1154 千字 印数 1—725

1997 年 6 月第 1 版 1997 年 6 月第 1 次印刷

书号 4184 定价 72.00 元



## 前 言

随着工矿企业机械化程度的提高，用电负荷和供电范围迅速增大，低压供电系统仍用 380V 供电已不能满足发展要求。为了增加低压电网的输送能力，煤炭工业系统自 1981 年开始对煤矿选煤厂和地面生产系统进行了 660V 升压供电试验和设备的研制工作。经过长时间对 660V 电气元件及电气设备的试验和验证工作，我国第一座 660V 供电的阳泉矿务局四矿选煤厂于 1986 年 11 月投入运行，1988 年 6 月通过了由原能源部、机电部主持的技术鉴定。1990 年原能源部发出在煤炭工业中新建地面生产系统及选煤厂应采用 660V 供电的通知。现在已有峰峰矿务局九龙口矿、淮南矿务局潘集三矿、大同矿务局晋华宫矿等多座大型选煤厂的 660V 供电系统投入运行。

编写本书的主要目的是系统总结我国工矿企业 660V 供电的经验，以进一步推广此项有显著经济效益的技术。本书主要内容包括：660V 供电的发展过程及其效益；各种 660V 电气元件、电气设备的技术参数及选用方法。660V 供电系统及其保护措施等。本书可作为工矿企业设计及生产部门采用 660V 供电的主要参考书。

从国内外发展情况来看，工矿企业供电以 10kV 代替 6kV、660V 代替 380V 电压，是今后发展的方向。本书的姊妹篇《工矿企业 10kV 供电》一书中，详细叙述了工矿企业 10kV 供电技术。

本书在编写过程中得到了煤炭部科教司及有关制造厂的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中难免有不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

1996 年 6 月

# 目 录

<b>第一章 工矿企业 660V 供电的发展过程及其效益</b> .....	1
<b>第一节 概论</b> .....	1
一、提高电网输送能力的途径.....	1
二、如何正确选择电压等级.....	1
三、660V 供电的发展简况.....	2
四、660V 电气设备.....	2
五、660V 供电系统及其保护措施.....	3
<b>第二节 660V 供电的经济技术效益</b> .....	3
一、电网输送能力与电压的关系.....	3
二、节约电网投资及损耗计算.....	4
三、综述.....	9
<b>第三节 国外 660V 供电的发展概况</b> .....	9
<b>第二章 660V 电气元件</b> .....	12
<b>第一节 断路器</b> .....	12
一、ME 系列万能式断路器.....	12
二、DW15—200、400、630 及 DW15C—200、400、630 万能式断路器.....	17
三、DWX15、DWX15C 系列万能式限流断路器.....	21
四、3WE 系列万能式断路器.....	25
五、DW40 系列智能型万能断路器.....	30
六、AH 系列万能式断路器.....	50
七、DZX10 系列塑壳限流断路器.....	51
八、SKD 系列塑壳式断路器.....	54
九、TO、TG 系列塑壳式断路器.....	55
十、3VE 系列塑壳式断路器.....	62
十一、M611 型电动机保护断路器.....	63
<b>第二节 隔离开关</b> .....	68
一、QSA、QA、QP、QAS、QPS 系列隔离开关.....	68
二、HH15 系列隔离开关熔断器组及 HA、HP 系列隔离开关.....	71
三、HH16 系列开关熔断器组.....	83
四、HX1 系列旋转式开关.....	86
五、HR5 系列熔断器式开关.....	88
六、HR6 系列熔断器式开关.....	90
七、HD40—1600 新型隔离器.....	91
<b>第三节 熔断器</b> .....	94
一、NT (RT16) 型低压高分断能力熔断器.....	94
二、RL7 螺旋式熔断器.....	98
<b>第四节 交流接触器</b> .....	99
一、CJ20 系列交流接触器.....	99
二、3TB40~58 系列交流接触器.....	103

三、B 系列交流接触器 .....	107
四、LC1—D 系列交流接触器 .....	112
五、LC2—D 系列机械联锁接触器 .....	118
六、CJX1 系列交流接触器 .....	123
七、CJX2 系列交流接触器 .....	125
八、CJX4 系列交流接触器 .....	129
九、CJ10—40/06 型交流接触器 .....	131
十、CKJ5 系列交流真空接触器 .....	132
第五节 继电器 .....	134
一、3UA5、3UA6 系列热过载继电器 .....	134
二、JR9—300 系列热继电器 .....	144
三、JR20 系列热过载继电器 .....	146
四、T 系列热过载继电器 .....	151
五、LR1—D 系列热过载继电器 .....	159
六、3TH 系列辅助接触器 .....	163
七、JZC4 系列接触器式继电器 .....	166
八、JSK4 系列空气延时接触器式继电器 .....	168
九、LA1—D 系列辅助触头组 .....	171
第六节 3LB (HZW1) 系列万能转换开关 .....	175
第七节 电流互感器 .....	176
一、LMK—0.66 系列电流互感器 .....	176
二、LMZ3—0.66/1~3 系列电流互感器 .....	178
三、LMZ3—0.66/3E 型电流互感器 .....	184
第八节 LLJ 系列漏电继电器 .....	185
第九节 电力电容器 .....	189
一、BCMJ0.69 型自愈式并联电容器 .....	189
二、CLMB 系列干式自愈并联电容器 .....	189
<b>第三章 主要电气元件的选择</b> .....	193
第一节 低压电器的几个共性问题 .....	193
一、正常工作条件 .....	193
二、安装类别 .....	194
三、外壳防护等级 .....	194
四、电气间隙和爬电距离 .....	194
第二节 开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器 .....	199
一、概述 .....	199
二、主要性能指标 .....	201
三、开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器的选择 .....	204
第三节 熔断器 .....	206
一、分类 .....	206
二、熔断器的主要性能指标 .....	207
三、660V 开关设备中熔断器的选型 .....	213
四、动力电路中熔断器的选择 .....	217
第四节 断路器 .....	222
一、用途及分类 .....	222
二、断路器的标准 .....	223

三、断路器的主要性能指标 .....	223
四、过电流脱扣器 .....	227
五、可供选择的断路器 .....	230
六、几个应注意的问题 .....	237
七、断路器的选择 .....	242
第五节 电动机电路中的电器 .....	254
一、交流接触器 .....	254
二、热过载继电器 .....	285
三、接触器、起动器（热过载继电器）与短路保护电器（SCPD）的协调配合 .....	304
四、鼠笼转子电动机电路的电器选择及与 SCPD 的协调配合 .....	308
五、绕线转子电动机定子电路电器的选择及与 SCPD 的协调配合 .....	313
六、非电动机负载接触器的选择 .....	313
七、几种特殊情况接触器的选用 .....	317
第六节 控制电路电器和开关元件的基本技术要求及与 SCPD 的协调配合 .....	319
一、控制电路电器和开关元件的应用范围 .....	319
二、控制电路电器和开关元件的使用类别 .....	319
三、控制电路电器和开关元件的主要性能指标 .....	320
四、控制电路电器和开关元件与 SCPD 的协调配合 .....	322
第七节 互感器和控制变压器 .....	323
一、电流互感器的选择 .....	323
二、电压互感器的选择 .....	329
三、控制变压器的选择 .....	334
附录 .....	334
一、三相短路（包括感应电动机的堵转）电流的一些规律 .....	334
二、系统中实际上可能达到的短路电流 .....	347
三、鼠笼转子电动机全压起动过程的实测 .....	347
四、选择小断路器的几个问题 .....	351
<b>第四章 660V 成套开关设备 .....</b>	<b>361</b>
第一节 概述 .....	361
一、660V 成套开关设备的标准 .....	361
二、660V 配电柜的正常工作条件 .....	361
第二节 GPD1、GPD2、XPD1 系列 660V 成套开关设备 .....	362
一、GPD1 系列配电柜 .....	362
二、GPD2 系列配电柜 .....	364
三、XPD1 系列配电箱 .....	384
第三节 PFD、GFD、XFD 系列 660V 成套开关设备 .....	401
一、PFD660 系列节能低压配电屏 .....	401
二、GFD660 系列节能低压配电柜 .....	420
三、XFD660 系列节能低压配电箱 .....	438
第四节 GGA1、XGA1 系列 660V 成套开关设备 .....	446
一、GGA1 系列矿用地面 660V 节能开关柜 .....	446
二、XGA1 系列矿用地面 660V 节能动力配电箱 .....	497
第五节 GZL—2、XZL—2 系列 660V 成套开关设备 .....	523
一、GZL—2 系列固定组合封闭式低压配电柜 .....	523
二、XZL—2 系列固定组合封闭式低压配电箱 .....	558

第六节 GGX1、XGX1 系列 660V 成套开关设备	583
一、GGX1 系列 660V 开关柜	583
二、XGX1 系列 660V 动力箱	618
第七节 GHD2 系列 660V 成套开关设备	639
一、用途	639
二、型号含义	640
三、主要技术参数	640
四、柜体结构特点	640
五、外形及安装尺寸	640
第八节 成套开关设备的试验	640
一、型式试验	640
二、出厂试验	640
三、温升试验	641
四、绝缘电阻测量与介电强度试验	643
五、短路强度试验	644
六、电气间隙和爬电距离的测量	644
七、需要说明的几个问题	645
<b>第五章 660V 成套电控设备</b>	646
第一节 TKD—S 系列 660V 矿井提升机电控设备	646
一、用途及特点	646
二、控制系统原理框图	646
三、电控设备型谱	646
四、设备的成套性	648
五、选型	648
第二节 ZKX□ 系列钢丝绳芯带式输送机电控设备	649
一、ZKX□ 系列型谱	650
二、选型	651
<b>第六章 电动机与变压器</b>	654
第一节 各种系列的 660V 电动机	654
一、Y 系列电动机	654
二、YR 系列电动机	663
三、YCT 系列电磁调速电动机	667
四、YB 系列隔爆型电动机	668
五、YBF 系列风机用隔爆型电动机	672
六、YF 系列风机用电动机	674
七、YCF 系列(轴流风机)、YCL 系列(冷却塔)低噪声电动机	676
八、YSF、YT 系列节能电动机	678
第二节 变压器	680
一、S7—M、S9—M 型油浸配电变压器	680
二、SCR 系列雷神干式变压器	685
三、DG、BKC、SG、SG7 变压器及降压起动用自耦变压器	689
第三节 变压器改接线方法	693
一、两台变压器 Z 形(曲折形)接法	693
二、单台变压器 Z 形接法	701
三、各种改接线方法性能分析	704



<b>第七章 电动机改接线方法</b> .....	705
第一节 星一角混合改接线方法 .....	705
一、接线方法 .....	706
二、技术性能分析 .....	706
第二节 曲折 (Z) 形接法 .....	715
一、曲折形接法的接线方法 .....	715
二、曲折形接法技术性能分析 .....	717
第三节 380V 一路、三路、六路星形的改制方法 .....	724
一、380V 一路星形的改制方法 .....	724
二、380V 三路、六路星形的改制方法 .....	725
第四节 各种改接方法的试验结果 .....	726
一、鼠笼型电动机 .....	726
二、绕线型电动机 .....	726
第五节 选择改接线方法应注意的事项 .....	727
第六节 各种改制方法的接线图 .....	731
<b>第八章 660V 系统的漏电保护</b> .....	739
第一节 中性点绝缘及经电阻接地系统的计算方法 .....	739
第二节 零序电压 $\dot{U}_0$ 值计算 .....	741
一、金属性单相接地短路 .....	741
二、电网正常运行状态 .....	742
三、中性点直接接地系统 .....	742
四、中性点绝缘系统 .....	742
五、中性点经电阻接地系统 .....	744
第三节 作图法求 $\dot{U}_0$ 变化规律 .....	744
一、中性点绝缘系统 .....	744
二、中性点经电阻接地系统 .....	745
第四节 660V 电网故障电流分析及整定原则 .....	746
一、单一回路多阶段供电系统 .....	746
二、多回路多阶段供电系统 .....	747
<b>第九章 选煤厂 660V 供电系统</b> .....	751
第一节 供电系统基本要求和特点 .....	751
一、基本要求 .....	751
二、配电系统的特点 .....	751
第二节 选煤厂低压配电系统 .....	752
附录 660V 成套开关设备及电气元件主要生产厂名录 .....	756
参考文献 .....	759

# 第一章 工矿企业 660V 供电的发展过程及其效益

## 第一节 概 论

### 一、提高电网输送能力的途径

现在工矿企业的低压供电系统采用 380V 供电，随着机械化和集中化生产发展，380V 供电从经济、技术上衡量已很不合理，且已影响生产。提高电动机运行电压水平，增加电网输送能力的方法有以下几种：

(1) 高压深入负荷中心，把变电站设在大负荷附近。这种方法可以解决局部的大电动机的供电问题。但是由于供电电压的限制，要依靠多设变电站的方式来改善电动机的起动性能，不能提高整个电网的输送能力。

(2) 采用降压起动（包括软起动）。380V 系统中容量大一些的电动机，为了减小起动电流，提高电动机起动时的电压，采用降低起动电流的方法起动是很普遍的。采用 660V 升压供电后，可以改用直接起动，减少环节后不但节省投资，同时也提高了供电可靠性。

(3) 改进电动机结构，降低电动机起动电流，提高电动机起动力矩。电动机的这两个参数是相互制约的，不可能同时对此两性能有很大改善。

(4) 采用电动机就地补偿，降低起动电流，以及采用变压器自动调压等措施。

经过对上述几种方法的详细研究和分析后发现，这些方法均能够局部改善电动机运行状况，若要大幅度增加设备功率的工矿企业，唯有提高供电电压，才能有效地增加电网输送能力，满足企业的供电要求。当然升压供电涉及面很广，不仅要确定升压等级，还要研制出所确定的电压等级的整套电气设备及制订升压后的供电安全措施等。

### 二、如何正确选择电压等级

升压有很多好处，但为什么要选择 660V？升到 1000V 或更高一些电压不是更好吗？正确选择电压等级，应研究下述几方面因素。

(1) 所选下级电压，必须满足发展需要。提高供电电压就是为了满足工矿企业不断增加设备容量和供电范围的需要，如所选择的电压仍不能满足发展需要，则所选择的电压也是不可取的。因此，必须研究所选取的供电电压与企业中装备的总容量、单机容量以及供电距离的关系。采用 660V 供电可以把原 380V 的最大变压器容量由 1600kVA 提高到 2500~4000kVA，最大电动机功率由 300kW 提高到 500kW，电网输送能力为 380V 的 3 倍。660V 电压可以满足地面工矿企业相当长时间的发展需要。选择 1000V 或 1140V 电压现在还无此必要。

(2) 选择下一级电压时，必须研究原有电气设备能否充分利用问题。我国整整用了三年多时间进行了全面验证试验，证明现有 380V 电气元件大多数可以用于 660V。这两种电压的电气元件属同一等级，可以相互通用。在此基础上还在原 380V 元件上进行了 1140V 试验，试验结论是失败的，这两种电压不属于同一等级。如把工矿企业的地面电压由 380V 提高到 1000V 或 1140V，则必须重新研制新元件，在短时间内不可能完成，这也是不采用更

高电压的主要原因之一。

(3) 所选择的电压等级, 应与现在使用的电压有一变换关系, 有一些改扩建企业, 在进行 660V 改压过程中, 有一段比较长的时间, 需要两种电压同时存在, 因此在选择电压时, 应考虑与现行电压有一变换关系。660V 与 380V 有一星一角变换关系, 可以便于倒换。

从我国十余年升压供电的实践及世界各国发展 660V 供电的情况看, 我国采用 660V 电压是正确的。

### 三、660V 供电的发展简况

我国 1981 年开始对矿井地面生产系统和选煤厂进行了 660V 升压供电的试验和研究工作, 经过三年多时间对各种系列电气元件等电气设备在 660V 条件下的试验和验证工作, 于 1986 年 11 月建成我国第一座 660V 供电的阳泉四矿选煤厂并投入运行, 1988 年 6 月通过由能源、机电两部主持的技术鉴定。1990 年原能源部发出在煤炭工业中新建地面生产系统及选煤厂应采用 660V 供电的通知, 进一步推动了 660V 供电的发展。据统计, 继阳泉四矿选煤厂之后, 相继有九龙口矿、淮南潘集三矿、大同晋华宫矿等多座选煤厂采用了 660V 供电并投入运行, 合计年生产能力达 890 万 t。正在建设和设计的选煤厂有 30 余座, 年总生产能力达 6400 多万吨。660V 升压供电不仅限于煤矿, 也适用于其他工矿企业。如德国、芬兰等先进的工业国家, 70 年代末已开始铜—镍冶炼厂、石油加工、水泥、化肥、供水站、发电厂及造纸厂等企业中使用 660V 供电。

从世界工业发展史中也可看到, 随着工业技术发展, 供电电压也随着升高。1850 年, 最初使用的电压为 110V, 1870 年后升高到 220V, 至 1880 年提高到现在广泛使用的 380V, 220V 电压只作为三相四线制系统中单相电压存在。此种系统被世界各国普遍采用, 至今已有百余年时间。1910 年西方国家在煤矿特定部门采用了 500V 电压。1954 年原苏联在煤矿井下试验 660V 供电。70 年代初, 我国煤矿井下基本实现全行业 660V 升压改造。

表 1—1—1 220V 至 1000 (1140) V 的交流电力系统及电气设备的标称电压或额定电压值 (V)

三相四线系统或三相三线交流系统标称电压值及电气设备的额定电压值
220/380
380/660
1000 (1140)

注: 1. 1140V 仅限于煤矿井下使用。

2. 表中有斜线“/”的数值, 斜线之上为相电压, 斜线之下为线电压; 无斜线者为三线系统线电压。

早在 60 年代, 660V 电压就被作为一种标准电压列入国际电压标准中。1967 年国际电工标准 IEC38/67 推荐的额定电压中就有 660V。以后 IEC38 中均推荐 660V 电压作为标称电压。1959 年发布的国标 GB156/59 中, 只规定 220V、380V 两种电压为额定电压。1980 年发布的 GB156/80 中已把 660V 列入国家标准额定电压。我国现行国家额定电压标准 GB 156/93 中, 660V 电压仍作为国家标准额定电压, 见表 1—1—1。

### 四、660V 电气设备

(1) 电动机: 鼠笼型异步电动机的容量范围为 0.55~500kW, 此外还有 YCT、YBF、YF、YCF、YSF、YCL、YS 等特殊电动机; 绕线型电动机最大容量为 500kW, 有 YR、YZR、YZ 系列。还有变极多速电动机、电动葫芦用电动机、桥式吊车电动机等特殊用途电动机。

(2) 变压器: 电压比为 10/0.69kV, 油浸式变压器的容量主要由 660V 配电电气元件的开断容量决定, 现在与之匹配的变压器容量可达 2000kVA。随着配电电气元件发展, 可以达到 3500kVA 或更大。干式变压器容量 (0.69/0.23) 有 15、30、60kVA 等。

- (3) 配电设备：用于变压器容量为 2000kVA 及以下的各种开关柜、配电箱。  
 (4) 绞车电控：用于电动机容量为 355kW 及以下的成套电控设备。  
 (5) 空气压缩机电控：排气量为 20m<sup>3</sup>/min 及以下的成套电控设备。  
 (6) 煤矿地面生产系统及选煤厂的专用洗选设备的电动机及电控设备。  
 (7) 电焊机、电线电缆等其他电气设备。

(8) 660V 电气元件：经大量试验结果表明，原 380V 的配电电器，如馈电开关等电气元件，一般均能通过按等效短路容量的极限分断能力，有一些电磁起动器还可适当提高控制功率。此试验结论与德国、芬兰等国开始发展 660V 供电时的结论相同，他们也是先在原 380V 元件上发展起来的。随着 660V 供电的推广应用，现在新的 660V 元件发展很快，新一代 660V 元件已能基本满足地面 660V 供电的需要。

### 五、660V 供电系统及其保护措施

660V 供电系统与现在广泛使用的 380V 系统有以下区别：

(1) 380V 系统为中性点直接接地的三相四线制系统 (TN—S)，一般为动力照明混合供电。660V 系统为提高运行安全，采用中性点经电阻接地系统。

(2) 380V 系统一般不装设选择性漏电保护。为提高 660V 电网的供电安全性，在 660V 系统中开发了三级电流型的选择性漏电保护，660V 系统必须装设这种装置，否则不能投入运行。使用中性点经电阻接地系统主要是提高选择性漏电保护的灵敏度。

(3) 660V 系统动力与照明分开供电。

660V 系统采用上述保护措施后，由于人身触电得到有选择性保护，比现在广泛使用的无漏电保护的 380V 系统提高了安全性。

## 第二节 660V 供电的经济技术效益

### 一、电网输送能力与电压的关系

电网的输送能力是与其电压平方成正比的。在图 1—2—1 中当通过电缆中的电流为  $i$  时，其值为

$$i = \frac{\dot{P}}{\sqrt{3} \dot{U} \cos\varphi} \quad (1-2-1)$$

式中  $\dot{P}$ ——通过电缆的输出功率，kW；

$\dot{U}$ ——额定供电电压，kV；

$\cos\varphi$ ——功率因数。

电流通过电缆时的电压降

$$\Delta\dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \sqrt{3} i Z$$

式中  $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ ——送、受电端电压；

$Z$ ——电缆阻抗。

电压降的百分值

$$\Delta\dot{U}\% = \frac{\Delta\dot{U}}{\dot{U}} \times 100$$

$$= \frac{\sqrt{3} \frac{\dot{P}}{\sqrt{3} \dot{U} \cos\varphi} Z}{\dot{U}} \times 100$$

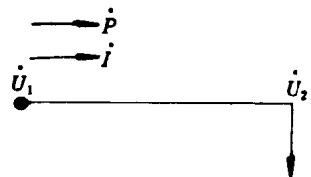


图 1—2—1 电网输送能力计算

$$= \frac{\dot{P} \cdot Z}{\dot{U}^2 \cos\varphi} \times 100$$

$$\text{电网输送能力} \quad P \cdot Z = \frac{\Delta \dot{U} \% \dot{U}^2 \cos\varphi}{100} \quad (1-2-2)$$

为了便于分析对比,可以认为输电质量  $\Delta \dot{U} \%$  和  $\cos\varphi$  不变,则式 (1-2-2) 中输送能力  $P \cdot Z$  与电压  $\dot{U}$  平方成正比,即

$$P \cdot Z \propto U^2$$

如电网供电电压为 380V 时,则电网的输送能力为

$$(P \cdot Z)_{380} = \frac{\Delta \dot{U} \% \cdot \dot{U}_{380}^2 \cos\varphi}{100}$$

如电网供电电压为 660V 时,电网的输电能力为

$$\begin{aligned} (P \cdot Z)_{660} &= \frac{\Delta \dot{U} \% \dot{U}_{660}^2 \cos\varphi}{100} \\ &= \frac{\Delta \dot{U} \% (\sqrt{3} \dot{U}_{380})^2 \cos\varphi}{100} \end{aligned}$$

从以上两式比较可得

$$(P \cdot Z)_{660} = 3(P \cdot Z)_{380} \quad (1-2-3)$$

从式 (1-2-3) 可以看到,电网电压由 380V 提高到 660V 后,电压提高至  $\sqrt{3}$  倍,其输送能力为 380V 电压的 3 倍。即如输送功率  $P$  不变,导线截面不变,则 660V 电压供电时的输送距离为 380V 电压的 3 倍。同样,如输电线路阻抗  $Z$  不变,即电缆长度和截面不变,其输送功率亦为 380V 电压的 3 倍。

## 二、节约电网投资及损耗计算

工矿企业电网一般由配电点 b (指配电点至电动机的电缆网)、配电干线 a (指车间变电所至配电点的电缆网) 和车间变电所 c 组成。车间变电所的一次侧电压为 6kV 或 10kV,在此仅计算 660V 供电部分,所以仅包括 a 和 b 两部分电网,如图 1-2-2 所示。

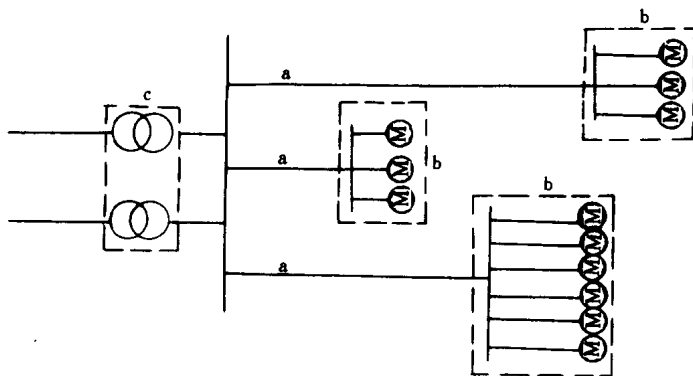


图 1-2-2 典型配电系统

(1) 配电点 b 电网减少损耗计算: 用单位功率计算法计算两种电压 (380V 与 660V) 供电时的电耗进行对比。设长 1m、截面为  $1\text{mm}^2$  的电缆,当通过 1kW 功率时,分别用 380V

及 660V 电压供电, 在电缆中产生有功损耗之差为

$$\Delta P = (i_{380}^2 - i_{660}^2) r K_n^2 \times 3 \quad (1-2-4)$$

$$i_{660} = \frac{1}{\sqrt{3} U_{660} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{1}{\sqrt{3} \times 0.66 \times 0.85 \times 0.9} = 1.15 \text{ A/kW}$$

同理

$$i_{380} = 2.0 \text{ A/kW}$$

$\gamma = \rho / A$ ,  $\rho$  为电阻率 [ $\rho = 0.33 \Omega \text{mm}^2 / \text{m}$  (铝)], 当  $A = 1 \text{mm}^2$ ,  $l = 1 \text{m}$  时,  $\gamma = 0.33 \Omega$ 。

代入式 (1-2-4) 得  $\Delta P = 0.27 K_n^2$

当实际通过电缆的功率为一组电动机的平均功率  $P_{av}$ , 电缆截面不是  $1 \text{mm}^2$ , 而是  $A$  ( $\text{mm}^2$ ) 时, 则可把式 (1-2-4) 式改写成

$$\Delta P_b = 0.27 \frac{P_{av}}{A} K_n^2 \quad (1-2-5)$$

配电点 b 电网减少的电耗, 应是每一根电缆节约电耗的总和, 可按式 (1-2-6) 计算

$$\Sigma \Delta P_b = 0.27 \frac{\Sigma P_{avi}}{A} P_{avi} \cdot l_i \cdot n_i \cdot K_n^2 \cdot 10^{-3} \text{ (kW)} \quad (1-2-6)$$

式中  $P_{avi}$ ——平均负荷 ( $i$  根馈线), kW;

$n_i$ —— $i$  台电动机;

$K_n^2$ ——同时率  $\times$  负荷率 (取两系数相等);

$l_i$ ——平均供电距离 ( $i$  根馈线), m。

(2) 配电干线 a 的节电计算: 在计算配电干线 a 电网时, 同配电点 b 电网一样, 设 660V 供电时的电缆截面与用 380V 供电相同, 但当供电电压由 380V 提高到 660V 时, 如输送功率不变, 则供电回路数最大可以减少到 380V 供电时的  $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 。但考虑到 660V 供电时, 每一

回路长度有所增加, 因此, 减少供电线路数的数值  $a'$  可在  $1 < a' < \sqrt{3}$  范围内选取。

采用 660V 供电后, 由于每一馈线截面不变, 则可认为每一回路中流过的电流仍与 380V 供电时相等。由于配电干线 a 的回路数减少而节约的电力损耗可按式 (1-2-7) 计算

$$\begin{aligned} \Delta P_{a380} &\approx N \left( \frac{S}{N \cdot \sqrt{3} \cdot 0.38} \right)^2 \cdot 3 \cdot \gamma \cdot l_{av} \times 10^3 \\ &= \frac{1}{0.38^2} \gamma \cdot l_{av} \frac{S^2}{N} \times 10^3 \\ &\approx 7 \times \frac{S^2}{N} \cdot \gamma \cdot l_{av} \times 10^3 \end{aligned} \quad (1-2-7)$$

$$\text{同理} \quad \Delta P_{a660} \approx 7 \gamma l_{av} \frac{S^2}{N} \left( 1 - \frac{a'}{\sqrt{3}} \right) \times 10^3 \text{ (kW)} \quad (1-2-8)$$

式中  $\gamma$ ——电缆单位长度电阻,  $\Omega/\text{km}$ ;

$S$ ——通过干线的总视在功率, MVA;

$l_{av}$ ——平均供电距离, km。

在式 (1-2-8) 中, 如取  $a' = 1$ , 则得  $\Delta P_{a660}$  最大值, 也就是说, 配电干线 a 在 660V 供电时, 其馈出回路数为 380V 时的  $\frac{1}{\sqrt{3}}$ , 事实上是达不到的, 因为减少供电干线回路数,

往往要增加供电干线长度; 如取  $a' = \sqrt{3}$ , 则  $\Delta P_{a660} = 0$ , 也就是说, 660V 供电后, 电缆中流过的电流与 380V 供电时相等, 而回路数并未减少, 这种情况也是不存在的。可按表 1—

表 1-2-1 导线的  $P_{av}/A$  值

导线截面 $A(\text{mm}^2)$	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	
允许电流 (空气中)	铝线 $I_p(\text{A})$	16	22	29	40	53	72	87	108	135	165	191	225	257	306
	比值 $\gamma$ ( $\text{A}/\text{mm}$ )	6.4	5.5	4.8	4.0	3.3	2.9	2.5	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
可供 380V 电动机的 功率(kW)		7.3	10	13.2	18.2	24.1	32.7	39.5	49.1	61.4	75	86.8	102.3	116.8	139.1
比值 $\frac{P_{av}}{A}$ ( $\text{kW}/\text{mm}^2$ )		2.9	2.5	2.2	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	0.88	0.79	0.72	0.68	0.63	0.58
VLV 电 缆 100m 长的价格	价格*(元)	491	503	591	806	1048	1535	1842	2341	2618	3513	4147	4800	5585	7000
	单位功率 价格* (元/kW)	67.3	50.3	44.8	44.3	43.5	46.9	46.6	47.6	42.6	46.8	47.8	46.9	47.8	50.3

\* 1990 年价格。

2-1 选取导线的  $P_{av}/A$  值。

(3) 配电干线 a 电网的节约投资计算：可按式 (1-2-9) 计算

$$\Delta K \approx N \left[ \Delta K_i l_{av} \left( 1 - \frac{a'}{\sqrt{3}} \right) + \Delta K_s \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \right] \quad (1-2-9)$$

式中  $\Delta K_i$  —— 电缆单价, 元/km; $\Delta K_s$  —— 每回馈出线的价格。

(4) 扩大供电范围, 增加变压器容量, 可减少投资和损耗: 现在 380V 变压器的最大容量为 1600kVA, 使用 660V 供电后, 可提高到 4000kVA。从表 1-2-2 中可以看出, 加大变压器容量供电可减少变压器单位输出功率损耗及投资。380V 供电时, 由于供电范围限制, 一般选用 1000kVA 较多, 而用 660V 供电时, 可选用 2500kVA 变压器甚至更大容量。

表 1-2-2 变压器参数对比

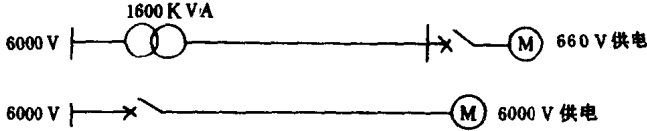
变压器 容量 (kVA)	空载损耗		负载损耗		总损耗 = 空载损耗 + 负载损耗 (W/kVA)	价 格		备注
	(W)	(W/kVA)	(W)	(W/kVA)		(元)	单位容量价 格(元/kVA)	
400	920	2.3	5800	14.5	16.8	37000	92.5	1990 年价格
630	1300	2.06	8100	12.86	14.92	52300	83	
1000	1800	1.8	11600	11.6	13.4	76000	76	
1250	2200	1.76	13800	11.04	12.8	87000	69.6	
1600	2650	1.66	16500	10.3	11.96	111000	69.3	
2500	3650	1.46	23000	9.2	10.66	141000	56.4	
4000	5300	1.33	32000	8	9.33	201000	50.25	

1000kVA 与 2500kVA 相比的差额:

有功损耗  $13.4 - 10.66 = 2.74 \text{W/kVA}$ 无功损耗  $62 - 58 = 4 \text{kvar/kVA}$ 价格  $76 - 56.4 = 19.6 \text{元/kVA}$

(5) 可提高最大低压电动机容量：现在 380V 最大电动机功率为 300kW 左右，如用 660V 供电电动机功率可提高 600~700kW，因此工矿企业中有一批中等功率的 6000V 电动机可改由 660V 供电。660V 电动机的功率因数、效率、价格均比 6000V 的指标优越，且低压电动机的可靠性比高压电动机高得多，现列表 1-2-3 进行对比。

表 1-2-3 6000V 电动机改为 660V 供电后的经济效益



比较项目	660V 供电	6000V 供电
1. 变压器		
有功损耗(W/kVA)	11.96	—
无功损耗(var/kVA)	60	—
投资	69.3	—
2. 电动机		
660V 电动机效率 $\eta=0.939$		6000V 电动机效率 $\eta=0.91$
有功损耗(W/kW)	$\Delta P_M = P_M(1-0.939) = 61$	$\Delta P_M = P_M(1-0.91) = 90$
无功损耗(var/kW)	$\cos\varphi = 0.93$	$\cos\varphi = 0.9$
	$Q_{660} = P_M(\tan\varphi_{660}) = 395$	$Q_{6000} = P_M(\tan\varphi_{6000}) = 450$
用电力电容器补偿无功时电容器有功损耗 $\Delta P_Q$ (W/kvar)	$\Delta P_{Q660} = 395 \times 0.003 = 1.19$	$\Delta P_{Q6000} = 450 \times 0.003 = 1.25$
电容器投资 $\Delta K_Q$	$\Delta K_{Q660} = 0.395 \times 50 = 19.75$	$\Delta K_{Q6000} = 0.450 \times 50 = 22.5$
电动机价格(元/kW)	50	124
3. 损耗总计		
有功(W/kW)	$61 + 11.96 = 72.96$	90
无功(var/kVA)	455	450
4. 投资总计(元/kW)	$69.3 + 19.75 + 50 = 139.05$	$124 + 22.5 = 146.5$

(6) 降低补偿电容器价格：相同电容量的电容器在 660V 电压下使用时要比 380V 输出无功功率提高 2 倍 ( $Q_c = U^2 \omega C$ )，而价格只差 50% (与国外同类型电容器相比)，故可降低投资约 50% 左右。

举例计算：某工厂电动机的工作容量为 16000kW，其中高压电动机容量为 3400kW 可改由 660V 供电。380V 供电时选 10 台 1000kVA 变压器供电，改由 660V 供电时选用 5 台 2500kVA 变压器供电，计算 660V 供电时的节约电能和投资。

(1) b 配电点的节电计算：接在 b 电网上电动机工作容量为 12600kW，各种功率的电动机配置如下，可据此计算节约的电能。

$n_i$	$P_{i,v}$ (kW)	$l_i$ (m)	$K_n^2$	$\frac{P_{i,v}}{A}$	$\Delta P_b$
110	3	60	0.65	2.9	10.1
83	14	53	0.6	2.2	21.9
129	35	48	0.6	1.25	43.9
27	60	37	0.6	0.88	8.5
36	138	32	0.6	0.58	15

电动机总台数为 385 台。降低功率消耗  $\Sigma \Delta P = 99.4 \text{ kW}$ 。

(2) a 配电干线的节电及节约投资计算：a 配电干线平均电缆截面为  $3 \times 150 \text{ mm}^2$ ，铝线



$\gamma=0.21\Omega/\text{km}$ , 允许电流为 235A, 平均供电距离为  $l_{av}=0.14\text{km}$ , 如用 380V 电压供电需要 110 条电缆。

节电计算

$$\begin{aligned}\Delta P_a &= 7\gamma l_{av} \frac{S^2}{N} \left(1 - \frac{a'}{\sqrt{3}}\right) 10^3 \\ &= 7 \times 0.21 \times 0.14 \times \frac{12.6^2}{110} \left(1 - \frac{1.25}{\sqrt{3}}\right) \times 10^3 \\ &= 82.4\text{kW}\end{aligned}$$

节约投资计算

$$\begin{aligned}\Delta K &\approx N \left[ \Delta K_i \cdot l_{av} \left(1 - \frac{a'}{\sqrt{3}}\right) + \Delta K_s \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) \right] \\ &= 110 \left[ 55700 \times 0.14 \left(1 - \frac{1.25}{\sqrt{3}}\right) + 3400 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) \right] \\ &= 395800 \text{ 元}\end{aligned}$$

式中  $\Delta K_i$  —— 电缆单价, 55700 元/km;

$\Delta K_s$  —— 每回配电盘馈出线的价格, 3400 元/回。

(3) 提高变压器容量后的节电和节约投资计算

节电计算: 每台 2500kVA 变压器与 1000kVA 相比, 单位容量可节约  $13.4 - 10.66 = 2.74\text{W/kVA}$ , 合计:  $\Delta P_T = 2.74 \times 5 \times 2500 \times 10^{-3} = 34.25\text{kW}$ 。

节约投资计算: 变压器差价  $\Delta K_{T1} = 76 - 56.4 = 19.6$  元/kVA, 合计:  $19.6 \times 5 \times 2500 = 24.5$  万元。每回高压馈出线投资为 22000 元, 则可减少投资  $5 \times 22000 = 110000$  元。

上两项共计节约  $\Delta K_T = 24.5 + 11 = 35.5$  万元。

(4) 3400kW 的高压电动机改由 660V 供电时, 节约电能和投资计算

节电计算

$$\begin{aligned}\Delta P_{660} &= (72.96 + 0.38 \times l_{av}) \times 3400 \times 10^{-3} = 248.2\text{kW} \\ \Delta P_{6000} &= (90 + 0.067 l_{av}) \times 3400 \times 10^{-3} = 306\text{kW} \\ \Delta P_d &= \Delta P_{6000} - \Delta P_{660} = 306 - 248.2 = 57.8\text{kW}\end{aligned}$$

式中 0.38 及 0.067 系数分别为在 660V 和 6000V 供电时, 1km 铝芯电缆 (660V 为  $240\text{mm}^2$  电缆, 6000V 为  $16\text{mm}^2$ ) 通过 1kW 功率时, 在导线中的损耗。

节约投资 从表 1—2—3 中所列的对比结果中可以看出, 采用 660V 供电无论在投资和损耗方面均优于 6000V。在表 1—2—3 中未计及供电电缆长度的影响及高低压配电装置的价格差。660V 供电时使用最大电缆截面为  $3 \times 240\text{mm}^2$ , 允许电流为 306A, 最大输出功率为 300kW。配电装置价格比较:  $\Delta K'_{660} = 3400$  元/300 = 11.3 元/kW;  $\Delta K'_{6000} = 22000/300 = 73.3$  元/kW (3400 元与 22000 元分别为 660V 和 6000V 每一回配电装置的价格)。

$$\Delta K_{660} = 139 + 11.3 + 100 \times 0.067 = 157 \text{ 元/kW}$$

$$\Delta K_{6000} = 146.5 + 73.3 + 100 \times 0.0173 = 221.5 \text{ 元/kW}$$

$$\Delta K_d = 3400 \times (221.5 - 157) = 21.93 \text{ 万元}$$

式中 0.067 及 0.0173 系数分别为 660V 和 6000V 供电时, 1m 铝芯电缆 (660V 为  $240\text{mm}^2$ , 6000V 为  $16\text{mm}^2$ ) 通过 1kW 功率的投资。取两者的供电距离均为 100m。

(5) 降低电耗和投资总计