

柳春生 赵廷钊 刘志刚 编著

JING XIA GAO YA GONG DIAN

井下高压供电

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书共分四章,内容包括负荷计算及有关节能措施、井下高压供电系统、井下高压供电设备、井下高压供电系统的过流保护及漏电保护等。本书专业性强,可供供电系统,特别是特殊环境下的工矿企业的设计、运行、安装、维护人员阅读。

本书也可供有关专业的大专院校师生参考。

序

《井下高压供电》一书是近两年继焦作工学院焦留成教授主编、柳春生副教授参编的《供配电设计手册》和柳春生老师主编的《实用供配电技术问答》两书之后,又一本关于“供配电”学科的书籍。《井下高压供电》一书专业性比较强,可谓是一本又编又著的作品。

作者多年从事“供配电”课程教学工作,为写这本书,作者与从事现场工作具有丰富实践经验的赵廷钊、刘志刚两位同志一起深入煤炭矿井,搜集了现场许多数据,积累了许多实际资料,掌握了供配电系统的很多新技术,结合“供配电”设计方面的知识,专题叙述了矿井下高压供电的知识。此书可供井下的高压供电的设计、施工、运行、维护的技术人员和现场人员阅读,也可供有关专业的大专院校师生阅读。《井下高压供电》所叙述的内容同样适用于特殊情况,例如隧道、地铁、化工等恶劣环境下的供电设计、施工、运行和维护使用。所以《井下高压供电》这本专业性很强的书籍仍然有应用的广泛性。相信有关工程技术人员和大专院校师生,可以从这本书中得到启发,还相信这本书能成为广大供配电系统的设计、工程技术人员和现场工人的良师益友。

近年来,虽然“供配电”专业书籍出版的数量不多,但是“供配电”技术的发展却非常迅速,高层建筑的供配电技术尤为突出,新的工矿企业的供配电系统也不断更新。高低压电器、电力变压器、电缆、以及各种供配电装置的新产品不断问世,新技术、新工艺、新材料、新系统层出不穷,随着“供配电”学科和技术飞速发展,产生了许多新的供配电设计思路和方法及新的运行手段,新的问题也不断出现。从事“供配电”理论研究、教学工作者

和设计、施工、运行、维护的工作人员必须经常交流。“供配电”学科和技术肯定会得到新的飞跃,为祖国的经济建设做出更大的贡献。

芮静康

2000.3

前 言

随着国民经济建设的蓬勃发展,供电领域中涌现出了许多新技术、新工艺、新设备和新产品。井下高压供电是突出的专业。虽然供配电的书籍日益增多,但专门叙述井下高压供电的书籍尚很少见到,而井下供电是一种专业性强、技术复杂的类型,在特殊环境下的高压供电和常规供配电相比是有其特殊性的。从事井下供电的工程技术人员和技术工人非常需要专门介绍的书籍。

为了满足特殊环境供电的读者的需要,特编写此书,对负荷计算,高压供电系统,特别是有关井下供电的设备、装置和系统作出全面的叙述,以帮助井下高压供电系统的工程技术人员、技术工人和有关大专院校的师生更好地从事供电的设计、安装、运行和维护。本书附有计算示例,可供设计人员设计和有关大专院校师生作课程设计和毕业设计时参考。本书也叙述了供电的共性问题,所以对供配电的广大工作人员仍然有参考价值,本书有其应用的广泛性。

本书共分四章,第二章由赵廷钊同志编写、第四章由刘志刚同志编写,其余由柳春生副教授编写。芮静康高级工程师担任主审,对全书提出了宝贵意见,在此表示感谢。

在编写过程中,得到有关企业、设计研究单位和大专院校的大力支持,供电部门提供了许多宝贵资料,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,经验不足,错漏和不当之处在所难免,请广大读者和专业人员批评指正。

编著者
2000.3

目 录

第一章 负荷计算及有关节能措施

第一节 概 述	(1)
一、负荷计算的目的	(1)
二、负荷计算的方法	(1)
三、《规程》和《规范》中的有关规定	(2)
第二节 设备容量的确定	(4)
一、三相电动机	(4)
二、电焊机及电焊变压器	(5)
三、电炉变压器	(5)
四、其它设备	(5)
第三节 单相负荷的换算	(6)
一、单相设备接于相电压时的等效三相设备容量	(6)
二、单相设备接于同一线电压时的等效三相设备容量	(6)
三、单相设备接于不同线电压时的等效三相设备容量	(6)
四、单相设备分别接于不同线电压和相电压时总的 等效三相设备容量	(7)
第四节 用需用系数法确定计算负荷	(8)
一、单台用电设备的计算负荷	(8)
二、用电设备组的计算负荷	(8)
三、多组用电设备组的总计算负荷	(9)
四、负荷计算中的特殊问题	(9)
第五节 主变压器选择	(12)
第六节 尖峰电流计算	(13)

一、单台设备	(13)
二、多台用电设备	(14)
三、自启动的电动机组	(14)
四、示例	(14)
第七节 无功功率补偿	(15)
一、概述	(15)
二、功率因数计算	(16)
三、提高功率因数的方法	(17)
四、静电电容器补偿	(18)
五、同步电动机的补偿能力计算	(21)
六、无功补偿的效益分析	(23)
第八节 供电系统中功率损耗计算	(26)
一、三相线路中有功及无功功率损耗	(26)
二、电力变压器的有功及无功功率损耗	(31)
三、电抗器的有功及无功功率损耗	(31)
四、高压电动机的有功及无功功率损耗	(34)
第九节 供电系统中年电能损耗量计算	(35)
一、供电线路年有功电能损耗	(35)
二、变压器年有功电能损耗	(35)
三、电抗器年有功电能损耗	(36)
第十节 全矿年电能消耗量及吨煤电耗计算	(36)
一、全矿年电能消耗量	(36)
二、吨煤电耗计算	(36)
第十一节 多台变压器经济运行	(37)
一、经济运行与无功功率经济当量	(37)
二、降低变压器功率损耗的措施	(38)
三、单台变压器运行的经济负荷及经济负荷率计算	(38)
四、多台变压器的经济运行	(41)
第十二节 全矿负荷计算示例	(42)

第二章 井下高压供电系统

第一节 井下供电的特点及要求	(51)
一、井下电气设备的特殊工作条件及要求	(51)
二、《规程》和《规范》中有关井下供电部分的规定	(52)
第二节 井下高压供电系统	(58)
一、概述	(58)
二、井下高压电缆的接线方式	(60)
三、井下中央变电所	(69)
四、采区变电所	(77)
第三节 井下高压网络的负荷计算及设备选择计算	(89)
一、井下电力负荷计算	(89)
二、井下高压电缆的选型与计算	(93)
三、井下高压配电装置的选择	(98)
四、井下动力变压器选择	(98)
五、井下负荷计算及设备选择举例	(99)

第三章 井下高压供电设备

第一节 矿用高压开关柜	(106)
一、GKW—1 型矿用高压开关柜	(106)
二、GFW—1 型矿用高压开关柜	(108)
三、GKFC—1 型手车式矿用高压开关柜	(111)
四、矿用一般型高压真空开关柜	(113)
五、KYGG—10 型矿用一般型高压真空开关柜	(114)
第二节 矿用隔爆型高压配电箱	(115)
一、高压隔爆型真空配电装置	(115)
二、BGP3—10 型矿用隔爆型高压真空配电装置	(117)
第三节 矿用动力变压器	(118)
一、KS ₇ 系列矿用变压器	(118)

二、KBSG 系列矿用隔爆型干式变压器	(120)
三、KBSG—T 系列矿用隔爆型干式变压器	(121)
第四节 井下移动变电站	(124)
一、KBSGZY—T 型矿用隔爆型移动变电站	(124)
二、KBSGZY 型矿用隔爆型移动变电站	(127)
三、KBSGZY—500/10 矿用隔爆型移动变电站	(128)
第五节 矿用高压电缆	(130)
一、概述	(130)
二、油浸纸绝缘电力电缆	(131)
三、聚氯乙烯绝缘电力电缆	(142)
四、交联聚乙烯绝缘电力电缆	(146)
五、矿用橡套软电缆	(151)
第六节 矿用高压电缆连接器	(158)
一、矿用隔爆型高压电缆连接器	(158)
二、矿用增安型高压电缆接线盒	(158)
三、BHG ₁ —200/10 矿用隔爆型电缆接线盒	(160)

第四章 井下高压供电系统的 过流保护及漏电保护

第一节 概述	(162)
第二节 井下高压供电系统的过流保护	(163)
一、变压器保护	(163)
二、高压电动机保护	(165)
三、高压电缆线路保护	(166)
第三节 井下高压供电系统的漏电保护	(168)
一、概述	(168)
二、高压选择性漏电保护装置	(171)
三、高压双屏蔽电缆的监视保护装置	(176)
四、几种高压漏电保护装置的产品简介	(178)
参考文献	(184)

第一章 负荷计算及有 关节能措施

第一节 概 述

一、负荷计算的目的

负荷计算主要是确定“计算负荷”。“计算负荷”是按发热条件选择电气设备的一个假想的持续负荷,“计算负荷”产生的热效应和实际变动负荷产生的最大热效应相等。所以根据“计算负荷”选择导体及电器时,在实际运行中导体及电器的最高温升不会超过容许值。

计算负荷是确定供电系统、选择变压器容量、电气设备、导线截面和仪表量程的依据,也是确定继电保护的重要数据。计算负荷确定得是否正确合理,直接影响到电器和导线的选择是否经济合理。如计算负荷确定过大,将使电器和导线截面选择过大,造成投资和有色金属的浪费;如计算负荷确定过小,又将使电器和导线运行时增加电能损耗,并产生过热,引起绝缘过早老化,甚至烧毁,以致发生事故,同样给国家造成损失。为此,正确进行负荷计算是供电设计的前提,也是实现供电系统安全、经济运行的必要手段。

二、负荷计算的方法

目前负荷计算常用需用系数法(也称需要系数法),二项式法和利用系数法。前两种方法在国内各设计单位的使用最为普遍,此外,还有一些尚未推广的方法如单位产品耗电法、单位面积功率法、变值系数法、ABC法等。

需用系数法比较简便,因而广泛使用。但当用电设备台数少而功率相差悬殊时,需要系数法的计算结果往往偏小,故不适用于低压配电线路的计算,而适用于计算变、配电所的负荷。

二项式法也比较简便,它考虑了数台大功率设备工作时对负荷影响的附加功率。但计算结果往往偏大,一般用于低压配电支干线和配电箱的负荷计算。

利用系数法的理论根据是概率论和数理统计,因而计算结果比较接近实际,适用于各种范围的负荷计算,但计算过程繁琐,在工程设计中的采用仍不普遍。

根据矿井用电负荷的特点,供电设计目前一般采用需要系数法。

无功功率补偿和实现变压器的经济运行是节电的重要措施,对此,本章作简要介绍。

三、《规程》和《规范》中的有关规定

《煤矿地面高压供电设计技术规定》中的有关规定如下:

1.0.1 本规定适用于年产 30 万吨以上新建矿井的地面 6~110kV 供电设计。

1.0.6 本规定如与国家标准、规范、规程有矛盾时,应按国家标准、规范、规程执行。

2.1.1 矿井负荷计算应根据负荷的使用条件及特点综合分析,尽量接近实际负荷,使选用的电气设备和电线、电缆线路得到合理利用。

2.1.2 电力负荷应根据其重要性和中断供电对人身安全、矿井生产的影响程度、或在经济上造成的损失大小进行分级。

2.2.1 矿井用电负荷一般采用需用系数法计算。

2.2.2 电力变压器的有功、无功电力损耗应列入计算负荷。

2.2.3 电力负荷计算,应计入各级变电所母线上最大负荷的重合系数。

2.2.4 下列用电设备不应列入计算负荷:

- (一)备用设备;
- (二)专供消防使用的消防水泵;
- (三)地面生产系统专供检修用的电焊机和起吊设备;
- (四)专供大型固定设备安装检修用的起吊设备;
- (五)通风机房电动风门绞车;
- (六)井筒或皮带运输机的检修绞车;
- (七)取暖锅炉房和地面雨水泵站两项中,负荷较小的一项;
- (八)电修车间检修试验设备。

3.3.1 矿井用电负荷的功率因数,包括变压器损失在内,变电所一次侧母线应达到 0.9 以上。

3.3.2 无功功率补偿装置,一般选用成套静电电容器柜,其静电电容器宜优先选用低损耗硅油或烷基苯电容器。

3.3.3 设计中应合理选择电动机、变压器的容量,减少无功需用量,以提高矿井用电负荷的自然功率因数。

3.3.4 为了达到供配电系统及电容器的合理运行,有可靠产品时,可采用能自动调节功率因数的电容补偿装置。

3.3.5 静电电容器补偿容量按下式计算:

$$Q_c = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

式中 Q_c ——静电电容器的补偿容量(kvar);

P ——全矿井的最大有功功率计算负荷(kW);

$\operatorname{tg} \varphi_1$ 、 $\operatorname{tg} \varphi_2$ ——补偿前、后功率因数角相应的正切值。

3.3.6 采用移相电容器作补偿装置时,电容器应尽可能装设在消耗无功功率大的地方,并应便于维护管理。高压电容器一般集中分组在地面变电所内;低压电容器宜分散设置。

3.3.7 当变电所 6~10kV 母线有高次谐波源时,应校验高次谐波谐振引起的过负荷对电容器的影响,并采取适当的抑制措施。

4.3.1 矿井地面变电所主变压器一般选用两台,为了适应分

期建设的需要,或经技术经济比较确认有利时,也可选用多台变压器。

4.3.2 装有两台及以上主变压器的变电所,当一台停止运行时,其余主变压器容量应能保证矿井一、二级负荷用电。

《煤炭工业矿井设计规范》中有关规定如下:

第 16.1.7 条 确定无功功率补偿值时,应符合国家现行标准《全国供用电规则》的规定。

高、低压补偿电容器的装设应经技术比较后确定。地面变、配电所内的高压电容器宜分组设置。

第 16.1.8 条 矿井变电所的主变压器不应少于 2 台,当 1 台停止运行时,其余变压器的容量应保证一级和二级负荷用电。

第 1.0.2 条 本规范适用于设计生产能力 0.45mt/a 及以上的新建、改建及扩建煤炭矿井设计。

第二节 设备容量的确定

用电设备的额定功率是指产品铭牌上的标称功率。由于各用电设备工作制的不同,额定功率不能直接相加,必须换算至统一规定的工作制下的额定功率,然后才能相加。经过换算至统一工作制下的额定功率称为设备容量 P_e 。其换算标准如下:

一、三相电动机

(1)长期工作制(连续运转时间在 2h 以上者)的三相电动机的 P_e 等于其铭牌上的额定功率 P_N 。

(2)短时工作制(连续运转时间在 10min 至 2h 范围内)的三相电动机的 P_e 等于其铭牌上的额定功率 P_N 。如此类电动机正常使用(事故或检修时用),支线上的负荷按额定功率 P_N 确定;干线上的负荷可不考虑。当其容量较大,使用时占总负荷的比例也大,影响配电设备选择时,应适当考虑,并保证其供电的可靠性,如

消防水泵电动机。

(3)反复短时工作制(运转时为反复周期地工作,每周期内的通电时间不超过 10min 者)的三相电动机如吊车电动机的 P_e 按其暂载率(又称负荷持续率)为 25% 时的额定功率确定,当电动机铭牌上的额定功率不是 25% 时的暂载率时,应按下式换算:

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon}} \quad (1-2-1)$$

式中 P_e ——换算至 $\epsilon = 25\%$ 时电动机的设备容量, kW;

P_N ——换算前电动机铭牌的额定功率, kW;

ϵ_N ——与铭牌的额定功率相对应的暂载率(计算中用小数);

ϵ ——换算的暂载率,即 25%。

二、电焊机及电焊变压器

电焊机及电焊变压器的设备容量 P_e 是指换算至 $\epsilon = 100\%$ 时的额定功率:

$$P_e = S_N \cos \varphi_N \sqrt{\epsilon_N} \text{ (kW)} \quad (1-2-2)$$

式中 S_N ——电焊机铭牌上的额定视在功率, kVA;

$\cos \varphi_N$ ——对应 S_N 时的额定功率因数。

三、电炉变压器

电炉变压器的设备容量 P_e 是指额定功率因数时的额定功率:

$$P_e = S_N \cos \varphi_N \quad (1-2-3)$$

式中 S_N ——电炉变压器的额定视在功率, kVA;

$\cos \varphi_N$ ——额定功率因数。

四、其它设备

(1)白炽灯和碘钨灯对称接入三相电路时的设备容量 P_e 等

于全部灯泡上标出的额定功率(kW)。

(2)整流器的设备容量 P_e 指其额定直流功率。

(3)荧光灯因有镇流器损失,对称接入三相电路的荧光灯,其设备容量 P_e 为全部灯管额定功率的 1.2 倍(kW)。

(4)采用镇流器的高压水银荧光灯和金属卤化物灯等也要计及镇流器损失,对称接入三相电路时,其设备容量 P_e 为全部灯泡额定功率的 1.1 倍(kW)。

第三节 单相负荷的换算

矿井地面常用的单相负荷主要有电焊变压器,煤样化验用加热设备及照明设备,对这些负荷应按相分配,尽可能作到三相平衡,使线路不对称程度减小。在计算过程中,当单相用电设备总容量不超过同回路的三相对称用电设备总设备容量的 15% 时,其设备总容量可直接按三相平衡负荷考虑;当超过 15%,且三相具有明显不对称时,应选择其中最大一相的设备容量乘三倍,作为其等效三相设备容量,再同三相用电设备一起进行三相负荷计算。

一、单相设备接于相电压时的等效三相设备容量

$$P_e = 3P_{e \cdot m\varphi} \quad (1-3-1)$$

式中 P_e ——等效三相设备容量;

$P_{e \cdot m\varphi}$ ——最大负荷相所接的单相设备容量。

二、单相设备接于同一线电压时的等效三相设备容量

$$P_e = \sqrt{3}P_{e \cdot 1} \quad (1-3-2)$$

式中 $P_{e \cdot 1}$ ——接于同一线电压的单相设备容量。

三、单相设备接于不同线电压时的等效三相设备容量

1. 首先将接于不同线电压的单相设备容量换算为接于相电

压的单相设备容量,其换算公式如下:

$$\begin{aligned} \text{A 相} \quad P_A &= p_{AB} - {}_A P_{AB} + p_{CA} - {}_A P_{CA} \\ Q_A &= q_{AB} - {}_A P_{AB} + q_{CA} - {}_A P_{CA} \end{aligned} \quad (1-3-3)$$

$$\begin{aligned} \text{B 相} \quad P_B &= p_{BC} - {}_B P_{BC} + p_{AB} - {}_B P_{AB} \\ Q_B &= q_{BC} - {}_B P_{BC} + q_{AB} - {}_B P_{AB} \end{aligned} \quad (1-3-4)$$

$$\begin{aligned} \text{C 相} \quad P_C &= p_{CA} - {}_C P_{CA} + p_{BC} - {}_C P_{BC} \\ Q_C &= q_{CA} - {}_C P_{CA} + q_{BC} - {}_C P_{BC} \end{aligned} \quad (1-3-5)$$

式中 P_{AB} 、 P_{BC} 、 P_{CA} ——接于 AB、BC、CA 相间的有功功率, kW;

P_A 、 P_B 、 P_C ——换算为 A、B、C 相上的有功功率, kW;

Q_A 、 Q_B 、 Q_C ——换算为 A、B、C 相上的无功功率, kvar;

p_{AB-A} 、 q_{AB-A} ……——接于 AB……等相间的负荷换算为 A
……等相负荷的有功及无功换算系数,如表 1-3-1 所列。

表 1-3-1 相间负荷换算为相负荷的功率换算系数

功率换算系数	负荷功率因数								
	0.35	0.4	0.5	0.6	0.65	0.7	0.8	0.9	1
p_{AB-A} 、 p_{BC-B} 、 p_{CA-C}	1.27	1.17	1.0	0.89	0.84	0.8	0.72	0.64	0.5
p_{AB-B} 、 p_{BC-C} 、 p_{CA-A}	-0.27	-0.17	0	0.11	0.16	0.2	0.28	0.36	0.5
q_{AB-A} 、 q_{BC-B} 、 q_{CA-C}	1.05	0.86	0.85	0.38	0.3	0.22	0.09	-0.05	-0.29
q_{AB-B} 、 q_{BC-C} 、 q_{CA-A}	1.63	1.44	1.16	0.96	0.88	0.3	0.67	0.53	0.29

2. 然后按式(1-3-1)计算

对接入不同线电压的单相负荷,也可按下式进行估算。

$$P_c = \sqrt{3} P_{e.m1} \quad (1-3-6)$$

式中 $P_{e.m1}$ ——最大负荷线间所接的单相设备容量。

四、单相设备分别接于不同线电压和相电压时总的等效三相设备容量

首先应将接于不同线电压的单相设备容量按式(1-3-3)~(1-3-5)换算为接于相电压的设备容量,然后分相计算各相的设备

容量,找出最大负荷相的单相设备容量,而总的等效三相设备容量按式(1-3-1)计算。

第四节 用需用系数法确定计算负荷

我们通常把根据半小时的平均负荷所绘制的负荷曲线上的最大负荷称为计算负荷, P_{ca} 表示,所以,计算负荷也可称为平均最大负荷(用 P_{max} 表示)或半小时最大负荷(用 P_{30} 表示)。为了使计算一致起见,就用 P_{ca} 表示有功计算负荷,其余计算负荷用 Q_{ca} 、 S_{ca} 、 I_{ca} 表示。

一、单台用电设备的计算负荷

1. 有功计算负荷

$$P_{ca} = K_{d1} P_e \quad (1-4-1)$$

式中 K_{d1} ——单台用电设备的需用系数;

$$K_{d1} = \frac{K_1}{\eta \eta_{wl}} \quad (1-4-2)$$

K_1 ——负荷系数;

$$K_1 = \frac{P}{P_e} \quad (1-4-3)$$

P ——用电设备的实际负荷;

P_e ——设备容量,即用电设备的额定负荷;

η ——用电设备实际负荷时的效率;

η_{wl} ——线路的效率,一般取 0.9~0.95。

2. 无功计算负荷

$$Q_{ca} = P_{ca} \tan \varphi \quad (1-4-4)$$

式中 φ ——用电设备功率因数角。

二、用电设备组的计算负荷

1. 有功计算负荷