

35~750千伏 变电所主接线 及电力设备

〔苏〕Г.С.利索夫斯基 М.Э.海菲茨 著

电力工业出版社

35~750 千伏 变电所主接线 及电力设备

〔苏〕Г.С.利索夫斯基 М.Э.海菲茨 著
王栋令 张金城 吕全本 译

电 力 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书根据苏联及其它国家的设计经验总结,提出了35~750千伏变电所电气主接线的分类和要求。书中介绍了变电所主接线运行可靠性的计算方法及主要设备的选择方法。

第一版问世于1970年,第二版增加了新的方案、规则 and 标准。

本书适用于从事电力系统变电所设计、安装和运行工作的工程技术人员,对于电力专业高等院校的学生也有所裨益。

ГЛАВНЫЕ СХЕМЫ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПОДСТАНЦИЙ 35~750 КВ

Г.С.Лисовский М.Э.Хейфиц

Издание Второе, Переработанное и Дополненное
МОСКВА «ЭНЕРГИЯ» 1977

35~750千伏变电所主接线及电力设备

增订第二版

[苏]Г.С.利索夫斯基 М.Э.海菲茨 著

王栋令 张金城 吕全本 译

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 15.75印张 351千字

1980年8月第一版 1980年8月北京第一次印刷

印数 00001—9750册 定价 1.65元

书号 15036·4067

译 者 的 话

本书作者基于苏联及其它国家在十分发达的电网中，建设现代化35~750千伏变电所的经验总结和发展趋势，详尽地阐述了各类变电所电气主接线和电力设备的选择问题。

书中首先对35~330千伏乃至500千伏电网变电所，应用简易电器（如接地、负荷、快分开关）组成的简易接线变电所作了详细论述比较，分析论证了它在现代电网中的应用范围和技术经济价值，并为加快电力建设速度和提高其技术经济合理性，提出了进一步工厂化生产完全自动化的成套变电所问题。此外，通过可靠性计算和技术经济比较，论证了在330~750千伏系统枢纽变电所，采用多重连接接线方式的必要性和优越性，并列举了国内外许多工程实例，对采用环形和“一个半”接线的具体条件做了分析和推荐；对由于近代电网容量的迅速增长而引起的短路电流增大问题，书中做了详细论述，并提出了各种比较先进和颇有应用价值的限流措施，对变压器容量、台数、型式以及备用变压器的选择，特别是对在大型枢纽变电所中采用多台自耦变压器，在经济上的合理性问题作了充分论证；介绍了如何充分利用变压器过负荷能力的问题和具有实用价值的变压器经济运行的解析及图解计算方法，以及按负荷曲线自动控制变压器经济运行台数的措施。

书中还特别介绍了六氟化硫封闭电器的优越性和广阔的发展前景，以及各国的生产、使用情况；通过对设计运行经

验的总结和对今后发展的预料，对变电所应用的主要电力设备提出了型式和极限参数的要求，为制造部门提供了方向。

本书所介绍的苏联及其它国家的工程实例，以及大量的图表、曲线和数据对我国建设现代化电网变电所具有一定的参考价值，而其所述及的问题，在我国进行现代化电网建设中有些也将会遇到，因此译成中文，以便于广大电力工作者参阅借鉴。

本书译文由王栋令做了全面校订。本书第1～4章由王栋令译，第5～7章由吕全本译，第8～11章由张金城译。

一九七九年十月

序 言（节译）

为了实现国家的完全电气化，必须建设各级电压的电力网，尤其是要建设35~750千伏变电所。

所述的变电所包括有深进线（长分支线）变电所、装有大容量变压器的配电和枢纽变电所、传输大功率潮流的高、中压变电所。

在苏联全部投入运行的变电所中，35~220千伏变电所的数量约占95%，其容量约占70%，其中35千伏者占60%，110千伏者占36%，220千伏者占4%。

由于电力事业的迅猛发展，对现代电网工程设计和建设提出的许多新的问题和课题，都是应该考虑的。譬如，由于发电厂的安装容量和单位设备容量的增长，以及由此而引起的短路电流的增长，将保证供电的可靠性和维持输电的稳定性问题提到了首要地位。而这些问题与正确地采用电网的电气接线、电网变电所和发电厂电气主接线的技术方案有密切关系。

电网变电所是整个电力系统中不可分割的一部分。因此，主要电力设备的接线、配置和参数的各个技术方案，都应结合电力系统的远景接线通盘解决。

写作本书主要是为了阐明在设计电网变电所时，应当解决的主要问题，阐明与这些变电所在系统中工作条件有关的一些问题。

无论是对简易接线的变电所，或是对超高压大型枢纽变

电所，只有全面地解决变电所的问题，才能保证现代电网运行的可靠性和稳定性。

为此，作者在本书中，根据苏联和国外在这方面多年的经验总结，结合当代技术水平和这些变电所在电力系统中的工作条件，介绍了35~750千伏电网变电所电气主接线设计和主要设备、装置选择方面的资料。

为了完成变电所的施工量，完成各种构筑物、部件和设备标准化方面的大量工作，还必须在电网变电所的分类和可能的统一化方面，以及最大程度地工厂化建设方面付出极大的努力。

在本书第一版问世后的这几年里，高压电力设备的制造和变电所的设计，在实际中均发生了许多变化：发电机、单相和三相自耦变压器及普通变压器的单台容量不断地增长，需要断路器开断的容量不断在增加，这就要求改进断路器，从而造成断路器的结构复杂和造价提高；其它国家的变电所在接线方面，电压直到765千伏以下都广泛地应用着各种改进型的负荷开关；765千伏以下的六氟化硫成套配电装置的技术在发展；在设计变电所的接线时更加广泛地运用了概率论和可靠性的理论。

在设计电网和变电所时，一定要考虑到电力系统中迅速增大的三相和单相短路电流。

书中尽力列举了一些材料，以使本书有益于电力专业的高年级大学生参考和写毕业论文之用。

作 者

目 录

译者的话

序言(节译)

第一章	现代电网的特点	1
1-1	电网的传输容量及电压	1
1-2	自耦变压器的应用与短路容量的增长	7
1-3	配电网络接线的设计原则	21
1-4	主接线是电力系统发展总体设计的组成部分	24
1-5	电网变电所的分类	27
1-6	现代变电所的设计、建设和运行中的一些特点	31
第二章	苏联及其它国家电网变电所电气主接线的 设计经验	37
2-1	苏联的简易接线变电所	37
2-2	其它国家的简易接线变电所	40
2-3	苏联变电所高压侧有断路器的电气主接线	48
2-4	其它国家的变电所高压侧有断路器的电气主接线	49
2-5	负荷开关在国外变电所接线中的应用	69
第三章	变电所类型和电气主接线的决定因素	75
3-1	变电所的用途和地理位置	75
3-2	变电所的造价指标	76
3-3	出线回数及其传输能力	86
3-4	屋外配电装置造价指标与线路传输能力的相互关系	102
第四章	变压器额定容量和数量的选择	107
4-1	基本原则	107
4-2	变压器额定容量的选择	109
4-3	各类变电所的变压器台数	125
4-4	变电所中变压器型式的选择	147
4-5	变压器的经济运行方式	154
第五章	变电所电气主接线的要求及其标准和原则的确定	161
5-1	一般要求	161
5-2	变电所主接线可靠性计算的基本原理	163
5-3	对电气主接线提出的其它要求	187
5-4	高压侧接线的设计标准和原则	191
第六章	高压侧无断路器的简易接线变电所	202

6-1	成套变电所的应用	202
6-2	按额定电流选择设备及成套变电所的额定容量	211
6-3	事故运行条件下成套变电所的极限容量	216
6-4	大型单台和两台变压器变电所的简易接线	240
第七章	配电网络的自动分段	247
7-1	自动分段的技术经济合理性	247
7-2	自动分段接线的可靠性计算	254
7-3	配电网络自动分段开关设备的型式及其技术参数	264
7-4	采用各种型式开关设备的自动分段方案的技术-经济比较	281
7-5	“线路自动装置”和自动化成套变电所的接线	284
第八章	带少量线路和断路器的穿越变电所电气主接线	302
8-1	桥形接线	302
8-2	环形接线	308
8-3	双桥形接线	315
8-4	开关站接线	321
第九章	大型枢纽变电所的电气主接线	326
9-1	高压侧主接线特性和可靠性评价	326
9-2	中、低压侧接线	357
9-3	并联电容器组的接线	374
9-4	大型枢纽变电所应用负荷开关的主接线	385
9-5	不同电压等级的电网接线实例	397
第十章	断路器的工作条件及其类型和参数的选择	403
10-1	限制短路电流的措施	403
10-2	单相短路电流和自耦变压器的中性点接地方式	411
10-3	公里效应和恢复电压的上升速度	418
10-4	断路器的操作方式、极限断流容量和其它参数的选择	429
10-5	现代断路器的结构型式及其应用范围	439
第十一章	变压器和自耦变压器的最大单台容量及 新研制的配电装置	457
11-1	变压器和自耦变压器的最大单台容量	457
11-2	带串并联调节的变压器	471
11-3	110~750千伏六氟化硫成套配电装置	474
附录		483
参考文献		489

第一章 现代电网的特点

1-1 电网的传输容量及电压

现代电力系统发展的特点是，发电厂的装机容量和单机容量大幅度地增长，联合电力系统进一步扩大，而且电网的额定电压也在不断地上升。

当前，新建火电厂的单机容量绝大多数为30万千瓦，许多火电厂采用50及80万千瓦的单元机组；而且正在制造单机容量为120万千瓦的机组。

在水电厂投入运行的有单机容量为50万千瓦的机组，并且正在设计64万千瓦的水轮发电机。正在建设中的一些大型火电厂及水电厂，装机容量达480~600万千瓦。正在建设装机容量为数千万千瓦的联合电力系统。各系统内部和系统之间的功率潮流，对于500千伏线路每回路达150万千瓦，750千伏线路每回路为250~300万千瓦。与此相应的年传输电量对于500千伏线路为40~70亿度，750千伏为100~140亿度。随着电力系统的联合，有必要采用1150千伏及更高的电压。

在苏联，早在1956年500千伏的输电线路即已投入运行，目前有许多750千伏的输电线路已投入运行，并且正在设计交流1150千伏的工业试验线路。已经建成了 ± 400 千伏和正在设计 ± 750 千伏的直流输电工程，对于 ± 1100 千伏的直流输电也正在研究。

在国外，特别是美国，500及765千伏的电网已经形成，建设高于1000千伏电网的研制工作也正在进行。美国输电线

路的增长动态可借下列数据加以说明：在1970~1980年间将建成500千伏线路22400公里，765千伏线路5000公里（至1973年底已建成765千伏线路的总长度为1760公里）；计划在1980~1990年间建设500千伏线路21000公里，765千伏线路8500公里，并相应地增建各级电压的变电所[文献1]。在加拿大电压为735千伏的电网已经投入运行。在欧洲各国目前电网的最大额定电压仍保持为380~400千伏。

随着电力生产、单机容量、发电厂装机容量和电力系统容量的增长，以及电力系统联合的扩大，输电线的功率潮流在加大，电网的额定电压也在提高。

电力传输所需要的电压是与 $\sqrt{P_M}$ 值成比例地增加的（ P_M 为线路最大输送功率）。此外，在给定电压下 P_M 与线路的自然传输功率值 P_H 恒等，即 $P_M = P_H$ 。

一般写作

$$P_H = U_H^2 / Z_B \text{ ①}$$

式中 Z_B 为线路的波阻抗，对单根导线的线路其值为400欧，故

$$P_H = 2.5 U_H^2$$

式中 U_H ——线路的额定电压。

线路自然功率值是与电网额定电压的平方值成比例地增加的。但是，由于线路的波阻抗随着电压的升高而减少，因而实际上的自然功率增长值比按电压增加的平方值算出的还要大些。分裂导线能使自然功率提高很多。如果以单根导线的自然功率 P_H 为100%，则两分裂导线为125%，三分裂导线为140%，四分裂导线为150%。对各种不同电压的线路和不同结构形式的导线，目前实际采用的自然功率传输值介绍

① 原书误为 $P_H = U_H^2 Z_B$ ——译者

于表1-1 (其中对1000千伏的线路是估算的)。

按国际电工委员会 (MЭК) [文献 2] 所推荐的自然功率的平均值列于表1-2中。

表 1-1 各级电压线路的自然功率数值

线 路 参 数	额 定 电 压 (千伏)									
	110	150	220	330	500	750	1150			
	每 相 导 线 的 结 构 形 式									
	单根	单根	单根	两分裂	单根	两分裂	三分裂	四分裂	四分裂	四分裂
波 阻 抗 (欧)	400	400	400	—	400	320	275	250	250	250
自然功率(兆瓦)	30	60	120	150	275	340	900	990	2300	4800

表 1-2 国际电工委员会推荐的自然功率标准值

$U_H^{①}$ (千伏)	$U_{\text{max} \cdot \text{pas}}$ (千伏)	P_H (兆瓦)	$U_H^{①}$ (千伏)	$U_{\text{max} \cdot \text{pas}}$ (千伏)	P_H (兆瓦)
132/138	145	80	330/345	363	400
150/161	170	100	380/400	420	550
220/230	245	175	500	525	900
275/287	300	300	700/750	765	2000

① 适用于各国的电压等级。

线路传输能力与其自然功率的大小成正比,一般对长线路为 $(1.1 \sim 1.2) P_H$, 对短线路为 $4 \sim 5 P_H$, 其极限传输能力则主要决定于导线的温升条件。例如,美国提出的线路传输能力或计算功率分别为: 230千伏——250兆瓦; 340千伏——600兆瓦; 500千伏——1200兆瓦; 765千伏——2500

兆瓦。长度小于100公里的架空线路的传输能力决定于热稳定条件，再长的线路则取决于并列运行的稳定性，按热稳定条件所定下来的传输能力为：500千伏架空线路——3500兆瓦，765千伏架空线路——4700兆瓦。

根据国际大电网会议（СИГРЭ）报导的单回路的传输能力的数据为：765千伏架空线路——由2500到3000兆瓦；1100千伏——由4000到6500兆瓦；1300千伏——由7000到10000兆瓦；1500千伏——由9000到14000兆瓦。显然，由于现代电力系统传输电量和容量之大，对保证各级电压电网，其中包括变电所、电气接线、设备元件以及各种配电装置的高度运行可靠性方面都提出了特殊的要求。

苏联及各国对电网的额定及最大工作电压规定的现行标准值，介绍在表1-3中。

欧洲各国和美国，过去的电压级差十分靠近，多数为1.15倍的间距；苏联则扩大了些，看来有1.5倍的间距。在过去一段时期内，额定电压等级的密集，曾使电力的输配能够更加经济合理，但是就当前的条件而论，由于推广采用了简易接线的变电所，它们的高压侧不装设断路器而直接连接于电网的线路上，致使变电所的投资降低了，因而就没有必要那么密集的电压等级，而且这么多级的电压对设备制造也带来了困难。

目前，美国以及欧洲一些国家对额定电压等级的间距也在扩展。按照苏联国家标准——ГОСТ-1516-60规定的各级额定电压的标准，在上述考虑的前提下还是比较先进的，因此，也就能够使电网的建设更加合理。

国际电工委员会结合了许多国家的实际情况，推荐电网的相间额定及最大电压值如表1-4中所示〔文献3〕。

表 1-3

各国现行的电网电压等级标准

国 家	苏 联		欧 洲 各 国		美 国	
电 压	额定值	最大值	额定值	最大值	额定值	最大值
电 压 等 级 (千伏)	—	—	3.0	3.3	4.2	4.76
	6	6.9	6.0	7.2	7.2	7.92
	10	11.5	10	12	13.2	14.5
	—	—	15	17.5	23.0	25.8
	20	23	20	24	34.5	38
	35	40.5	45	52	69	72.5
	110	126	60	72.5	115	121
	—	—	110	123	138	145
	150	172	132	145	161	169
	—	—	150	170	230	242
	220	252	220	245	287	300
	330	363	275	300	345	362
	500	525	380	400	500	550
	750	787	400	420	700~735	765

表 1-4

国际电工委员会推荐的相间标准电压规范

电力设备的最高 电 压 (千伏)	电网的额定电压① (千伏)	电力设备的最高 电 压 (千伏)	电网的额定电压① (千伏)
7.2	6.6, 6.0	145	132, 138
12.0	11, 10	170	150, 161
17.5	15	245	220, 230
24	22, 20	300	275, 287
36	33, 30	362	330, 345
38	34.6	420	380, 400
52	47, 45	525	500
72.5	66, 69	765	从700到750
123	110, 115		

① 适用于各国电压等级。

扩大了的标准电压等级，是从降低投资及尽量结合配电网电压的统一来制订的。例如，在英国结合配电网的情况拟统一用110千伏，因为此级电压与用33，66，132及150千伏电压级相比较，在技术经济方面具有很大的优越性。划一电压等级就能减少中间变压的层次，而且，从经济电流密度方面来衡量，采用110千伏也是最有利的，因为在35~150千伏电压等级内，对架空线路的造价起控制作用的主要是导线的耗量，而不是电压水平的高低。按经济电流密度选择导线取0.75安/毫米²，约为按发热条件选择时电流密度的1/4。由于在110千伏的线路中间可以引出分支供电，所以整个架空线路的电损大为降低，即使在线路首段提高了电流密度来选择导线，此优点也仍存在。由于110千伏架空线路的绝缘水平比33或66千伏者高，所以它的运行可靠性也比较高[文献4]。

在建设变电所时，必须考虑到高压侧的设备要有足够大的额定电流值。要考虑到线路传输容量今后的增长，对不太长的线路要有传送几倍于自然功率数值的可能性，如此则断路器以及其它电力设备的额定电流值在正常运行时就有可能达到3200及4000安，在事故运行方式下将要更大。

表 1-5 设备额定电流2~4千安时的传输容量值

传输的参数	电 压 (千伏)									
	220		330		500		750			
I_n (安)	2000	3200	2000	3200	2000	3200	2000	3200	4000	
P_n (兆瓦)	650	1080	1020	1640	1560	2480	2350	3700	4800	
P_n/P_n	6.2	9.0	3.0	4.85	1.74	2.75	1.02	1.62	2.1	

表1-5所列的线路传输容量是对应于电力设备的额定电流值为2~4千安的,其中断路器的极限额定电流值3.2千安已能保证足够大的传输容量值。

500千伏架空线路按热稳定条件所确定的传输能力为每回路3500兆瓦,其相应的工作电流为4000安,同样地对于765千伏架空线路为4700兆瓦而工作电流 $I_{\text{pa6}}=3600$ 安。

1-2 自耦变压器的应用与短路容量的增长

在现代电网中三绕组变压器的应用范围极其有限,当主电网为110~150千伏以及一部分为220千伏,而中压网络为20~35千伏时,由于它们的中性点具有不同接地方式的缘故,才采用三绕组变压器。当中压侧为110千伏及以上电压时,电网内的系统变电所多采用自耦变压器,因为它比用三绕组变压器更加经济。应用自耦变压器可以使高中压电网间构成直接的电气联系,在保证单或双向传递功率的同时,还可以向低压侧供电,或者在其第三绕组上连接调相机向中压侧送出无功功率等。在发电厂中自耦变压器也用作升压变压器,同时作为高压及中压母线间的联络变压器。

在电力系统的降压变电所中应用自耦变压器时,通常最典型的运行方式是从高压电网的主干线向中压的整个电网供电。

众所周知,自耦变压器与普通变压器的主要区别在于:普通变压器的一、二次绕组中只有磁的耦合(图1-1, α),而在自耦变压器中由于在高、中压绕组间尚存在着电气联系,所以电流分布也不一样(图1-1, β 及 γ)。自耦变压器的每相具有三个绕组,其中绕组 OA ,即高压绕组(BH)是由公共绕组 OC ,即中压绕组(CH),及串联绕组 AC 所组成。这两个

