

交流远距离输电

И. С. 勃魯克 П. И. 祖勃科夫 А. А. 克留科夫

М. С. 利勃金特 Н. М. 馬尔柯維奇

С. А. 索瓦洛夫

科学出版社

72.182
376

交流远距离输电

И. С. 勃魯克 等著

韓 朔 等譯

21429/07

科学出版社

1964

И. С. БРУК и др.
ДАЛЬНИЕ ПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
Издательство АН СССР 1958

内 容 简 介

本书为苏联科学院动力研究所近几年来结合世界上第一条 400 千伏输电线路的建立, 在交流远距离输电理论和技术方面所进行研究工作的一个全面总结, 全书由从事各专题研究工作的科学家们集体写成。每专题是一个完整的论文, 全书又是一个有系统的整体, 为交流远距离输电领域内一个十分重要的文献。对于我国从事这方面的科学工作者、工程技术人员和高等学校高年级学生们都会给予很大的启发和帮助。

交 流 远 距 离 输 电

И. С. 勃鲁克 等著
韩 朔 等译

科学出版社出版 (北京朝阳门大街 117 号)
北京市书刊出版业营业许可出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

1961 年 9 月第 一 版 书号: 2385 字数: 259,000
1961 年 9 月第一次印刷 开本: 787 × 1092 1/18
(京) 0031—5,500 印张: 12 5/9 插页: 3

定价: 1.60 元

序 言

发展电能的远距离大功率的输送,需要大大地加强这方面的科学研究工作。

从1948年起,苏联科学院以克尔日兹诺夫斯基命名的动力研究所电力系统研究室研究了增加交流远距离输电的输送能力和距离的各种方法。这些研究的大部分是配合国家设计机构“火电设计院”为了制订古比雪夫水电厂到莫斯科的400千伏输电线的方案而进行的。

系统室特别提出了在这条线路上采用串联电容补偿的建议,并研究了有关问题,例如可能出现在串联电容补偿或并联电抗补偿中的共振现象和其他一些问题。这些系统里的过渡过程的计算方法和估计快速调节励磁,对具有补偿的远距离输电方式的稳定性的影响等也需要进行补充研究。同时还研究了各种输电方式的实用性和经济上的合理性的问题(具有不同补偿度的和每相不同分裂导线数的单元式和互联式输电方式)。

在经历了数年的工作后,系统室积累了大批资料,其中也包括新的成果。系统室的成员认为最好把它们汇集成书予以出版。当然,我们并不想把有关交流远距离输电的全部问题都加以同样全面的阐述,这未必是可能的,特别是如果考虑到近年来在苏联和国外这一技术部门的迅速发展的话。

在本书中主要包括了系统室工作人员在1948—1953年间所研究的问题。

目前正在研究采用更高电压的可能性,以便使输电距离远远超过1000公里,同时也在研究联接大电力系统的远距离输电的作用以及建立苏联统一动力系统等有关问题。在苏联科学院也还进行着改善这些问题的研究方法的工作,准备以后出版有关这些问题的材料。

由好几位作者共同编写一本篇幅不大的书是一件非常困难的事,如果要求文字叙述统一的话,需要不止一次地通盘地修改原稿。另外由于出版社过于繁忙,使这本书的出版日期大大地推迟了,本书原准备是在1954年出版的。

引言和第一、二章是由И. С. 勃鲁克写的,第三章——И. М. 马尔柯维奇、П. И. 祖勃科夫、С. А. 索瓦洛夫和М. С. 利勃金特,第四章——И. М. 马尔柯维奇、П. И. 祖勃科夫和С. А. 索瓦洛夫,第五、六章——М. С. 利勃金特,第七章——П. И. 祖勃科夫,并有И. М. 马尔柯维奇和С. А. 索瓦洛夫参加,第八、九章——И. М. 马尔柯

維奇和 C. A. 索瓦洛夫, 并有 A. A. 克留科夫参加。所有各章的計算是在 П. И. 祖勃科夫和 A. A. 克留科夫指导下进行的。在計算和准备手稿中 Т. В. 伏尔科夫付出了很大力量。

И. С. 勃魯克

目 录

序 言	i
引 言	1
第一章 交流远距离输电的各种困难	8
第二章 增加输电功率和距离的措施	22
§ 1 并联补偿和串联补偿	22
§ 2 可调节的并联补偿	27
§ 3 自动励磁调节	39
参考文献	43
第三章 无补偿和补偿远距离输电线路正常运行的特点	44
§ 1 无补偿线路的正常运行状态	44
§ 2 并联补偿	50
§ 3 并联补偿对远距离输电运行的影响	57
§ 4 串联电容补偿	61
§ 5 串联电容补偿的接线	63
§ 6 串联补偿对远距离输电线路运行的影响	66
§ 7 并联和串联补偿对远距离输电稳定的影响	76
§ 8 电量对一端投入线路电压分布的影响	78
§ 9 变压器对一端投入长线电压的影响	83
参考文献	87
第四章 串联电容补偿线路电容器的短路电流和过电压	89
§ 1 短路时电流和电压故障分量的计算方法	89
§ 2 计算线路和原始参数	96
§ 3 简单线路对称短路时利用算子法的过渡过程计算	99
§ 4 利用频率法计算对称和不对称短路时的过渡过程	110
§ 5 简化法对电容器过电压的计算	115
参考文献	123
第五章 在补偿输电线路中的次谐波振荡	124
§ 1 一般情况	124
§ 2 输电线路断裂后的低频振荡	126
§ 3 在没有损失的回路中的三次谐波	129

§ 4 有效电阻的影响	133
参考文献	136
第六章 变压器所产生的高次谐波	138
§ 1 变压器——高次谐波的来源	139
§ 2 变压器电压的奇次谐波	144
§ 3 高次谐波的参数激发	151
§ 4 输电线的运行状态和结线的影响	155
参考文献	159
第七章 提高输电线静态稳定方法的自动调节励磁	160
§ 1 励磁调节系统的基本方程和方块图	160
§ 2 不计励磁调节器作用的输电线静态稳定	164
§ 3 具有按发电机转子位移角偏差自动励磁调节的输电线静态稳定	170
§ 4 按发电机定子电流偏差进行励磁调节的输电线静态稳定	181
§ 5 按定子电压偏差调节励磁的输电线静态稳定	185
§ 6 一般结论	189
参考文献	192
第八章 远距离输电的传输能力	196
§ 1 按稳定条件的传输功率极限	196
§ 2 稳定性准则	196
§ 3 组合及单元输电方式	198
§ 4 远距离输电传输能力的研究结果	200
§ 5 在非全相和检修的运行情况下远距离输电传输能力	210
参考文献	214
第九章 交流输电经济指标的近似估算	217
§ 1 经济远距离输电不同方案的比较	217
§ 2 不同型式输电的经济合适范围	218
参考文献	224

引 言

增加输电的功率和输电的距离不仅是电工科学的中心问题之一，而且在更广泛的范围内，它还是发展国民经济的一个极为重要的问题。因此，它具有非常重要的全国性的意义。

在1950—1955年间我国电能的生产增长了80%，而电厂的总容量增长了约为一倍。苏联1956—1960年的发展国民经济的第五个五年计划规定了还要大大地增加发电量和电厂总容量平均为两倍半。电网的幅员也要相应地扩大，世界最大的古比雪夫水电厂已投入运行。前一个五年计划中开工的斯大林格勒水电厂和其他电厂也将建设完毕。此外，还要扩充伏尔加河上的下卡马、車波克薩尔、薩拉托夫等水电厂，扩充德聶伯河上的克列門楚格、捷尔任斯基等水电厂。西伯利亚的許多水电厂的规模特别巨大，例如安加拉河上的伊尔庫茨克和布拉茨基水电厂，叶尼塞河上的克拉斯諾雅尔斯克水电厂，鄂毕河上的新西伯利亚和卡門斯基水电厂。

将要建成苏联欧洲部分的联合电力系统（它包括中部、南部和烏拉尔系統，并包括伏尔加河上的大电厂），和外高加索的联合系統，并将着手进行建立中部西伯利亚联合系統（从諾伏西比尔斯克到伊尔庫茨克）的工作。巨型火电厂正在不断投入，正在电厂建设方面建立儲备，以便保证在今后年代中动能经济的必要发展，保证必需的功率和能量备用。

关于国家电气化的发展程度可以根据冶金、采矿、煤炭和輕工业的巨大发展来判断。长距离的铁路要电气化。农村电气化也到达飞跃增长的阶段。

电气化的发展不仅意味着电能生产数量上的增长，也意味着电网长度的增加和利用新的辽远的能源。

随着电气化的发展产生了电能工业、运输业、农业和日常生活中的新应用，这是由劳动生产率的增长和人民生活条件的改善所决定的。同时，电能利用的技术基础日益完善又創造了新的可能性，促使新的电能用户的出现，并引起电气化的进一步发展。

例如，直接利用工頻交流于铁路电气化，对促使铁路沿綫地区农业电气化創造了有利条件。还可以举出許多在冶金工艺中的例子，在冶金工艺中应用电能，开辟了在新的工业区发展冶金工业的非常广闊的可能性。

如果在苏联地图上画出某些正在建设的电厂和输电线，并画出将要建设的电厂和输电线，再把中部、南部、乌拉尔、西伯利亚的东部和西部等地的大工业区边界画出，那末就可以对电能的基本流向和统一高压电网（EBC）的轮廓有一个相当清晰的概念。

在苏联欧洲部分境内我们可以分出下列的大工业区：中部地区（莫斯科、雅罗斯拉夫、伊瓦诺夫和高尔基系统）；西北区（列宁格勒区域和沿波罗的海海岸的共和国）；南部地区（顿巴斯、北高加索和外高加索、德聶伯河上的电厂），德聶伯河右岸的工业区，伏尔加河的中下游地区，以及乌拉尔工业区。

在伏尔加、德聶伯、卡马等河流上的以及在外高加索的日益广泛发展的水能建筑对电力系统的联合具有巨大意义。水电厂是联合系统的支持点，并且是很好的系统间的备用。

伏尔加河流域各水电厂的优越的地理位置和水能储备，使利用它的径流问题成为发展苏联欧洲动能经济的基础。

伏尔加河上的整套水电厂年发电量可估计为 500 亿度，这相当于每年消耗 2500 万吨燃料。利用这些能量（它的价格要比火电厂能量价格低好几倍）将大大地提高供电的经济性。伏尔加河流域的全部利用，联系到在伏尔加河和它的支流奥卡河和卡马河上建立水力枢纽。

利用卡马河水力资源的第一阶段首先对乌拉尔有巨大意义，这个地区对能量的需要发展很快，而本身的资源的保证却较为薄弱。上卡马水电厂的投入运行以及伏尔加河上水电厂的建设，不仅显著地改善了乌拉尔的动能平衡，而且对苏联欧洲部分的东部新兴工业区也有同样意义。巨型的下卡马水电厂的建设，对乌拉尔到中部地区的铁道电气化会产生巨大影响。

苏联欧洲部分西北地区和列宁格勒区域的动能平衡中水能部分，现在已占很大比重。波罗的海沿岸各共和国内水电厂的建设，特别是纳尔伐和聶孟水电厂，将会给西北地区、波罗的海沿岸各共和国和白俄罗斯的联合系统带来有利的条件。进一步对这个问题加以研究，可能会发现与苏联国境以外，例如与波兰相联系，也是有经济上的优越性的。

卡霍夫、德聶伯捷尔任斯基和克列门楚格水电厂的建成将改善德聶伯河沿岸地区的动能平衡。德聶伯河径流全部利用在中水年时平均可发电 100 亿度。

库尔河上的明格查乌尔水电厂的建设完成后，由于它的地理位置，将对格鲁吉亚、阿尔美尼亚和阿塞拜疆各系统的联合起特别重要的作用。

在最近几年内，当电能生产达到 2500 亿度时，苏联亚洲部分某些最丰富的水力

資源就要列入全国的动能平衡中。苏共十九次和二十次党代会決議所規定的并且已經开始了的在安卡拉和叶尼塞河上建設水电厂,形成了发展新工业区的开端,这个新工业区有着惊人丰富的动力和矿产資源。

这一工业区中最出色的是安卡拉綜合工业区,它的发展不仅牵涉到利用安卡拉的特別經濟和丰富的資源,而且也关系着开采苏联最便宜的煤,它是最珍贵的化工原料。安卡拉各水电厂可能的輸出估計达 750 亿度。

此外,把廉价电能輸送到远离这些水电厂的工业发达而电能不足的区域,例如,从叶尼塞或鄂毕水电厂送到烏拉尔区也是頗有前途的。

全面利用額尔齐斯河的資源对苏联最重要的各种金属开采区域——阿尔泰的供能有着极其重要的意义,同样,对哈薩克斯坦东部原料生产基地的大用电工业的发展也有重要意义。烏斯其卡明諾高尔水电厂已經投入运行,布赫塔明斯克水电厂也进行了扩建。額尔齐斯河在年发电量为 150 亿度时其装机容量为数百万瓩。

关于利用鄂毕河的径流有着各种不同的意見。方案之一是建造別洛高烈夫水电厂,使部分鄂毕河水流入中亚細亞。实现这个方案要等到較远的将来,在鄂毕河下游建立大型水电厂也同样是有前途的。

对苏联欧洲和亚洲部分水力資源如此粗略的概述也足以提供利用这些資源所需工作的規模。

掌握水能資源和解决远距离輸电的問題有着紧密的联系,这是由于:

1) 必須把电能从水电厂輸送到工业发达但供电不足的地区,例如苏联欧洲部分西北地区、中部和烏拉尔的工业区;

2) 苏联大部分河流(伏尔加、卡馬、西伯利亚的各河流)具有年不均匀径流的特点,只有在把各大型水电厂和系統联系起来后,才能合理利用它們的电能。

在許多情况下还需要把大量电能从火电厂輸出去。

現在还很难断定,利用原子能对輸电綫路的发展影响如何。可以設想,由于原子能燃料运输方便,电厂可以建立在用戶中心附近,这对遙远的或新建而沒有自己动力資源的地区特別重要。

同时,毫无疑问,在較长時間內,至少在最近几十年內,远距离輸电将是解决和利用原料和能源,特別是丰富的水力資源有关的国民經济問題的重要因素。

古比雪夫和斯大林格勒二水电厂占有特別地位,它們和莫斯科經大容量的輸电綫路相联系。这些电路与輸电綫投入运行将奠定苏联欧洲部分統一动力系統的基础。这个动能联合的骨干是从莫斯科区域到伏尔加河各水电厂并延伸向东、从古比雪夫到烏拉尔系統和从斯大林格勒到頓巴斯的 400 千伏的輸电网。这个联系将来还

要加上和西北、和南方——外高加索系統的联結。

在苏联欧洲部分統一系統中以中央系統、南部（頓巴斯和德聶伯区）系統和烏拉爾系統为最大。

在苏联地图上（見第5頁）繪出了某些正在建設中的輸电綫，部分已运行的220千伏輸电綫和将要建設的大容量輸电綫路。这个地图应看作是可能的生产发展和能量需求的一个原始草图。

从西伯利亚各河流开始的輸电綫的特点是具有最大的功率和距离。关于利用鄂毕河的水力資源并使其与額尔齐斯河相汇流的問題現在还没有詳尽的資料。烏拉爾的进一步发展工业的巨大可能性和它本身动力資源相对地貧乏的关系确定了唯一的解决办法，即把相当大的一部分能量送到烏拉爾去。从鄂毕河下游到斯維尔德洛夫斯克将近1300公里。如果估計輸送功率为四百万瓩，則很明显，需要600千伏电压的三迴路輸电綫。为了要在烏拉爾接受这些电能，至少需要400千伏的巨大电网把它的各系統联結起来。因此，在烏拉爾，在欧、亚二洲系統的交接处，应该建立一个巨大的“母綫”，它将由北延伸向南。

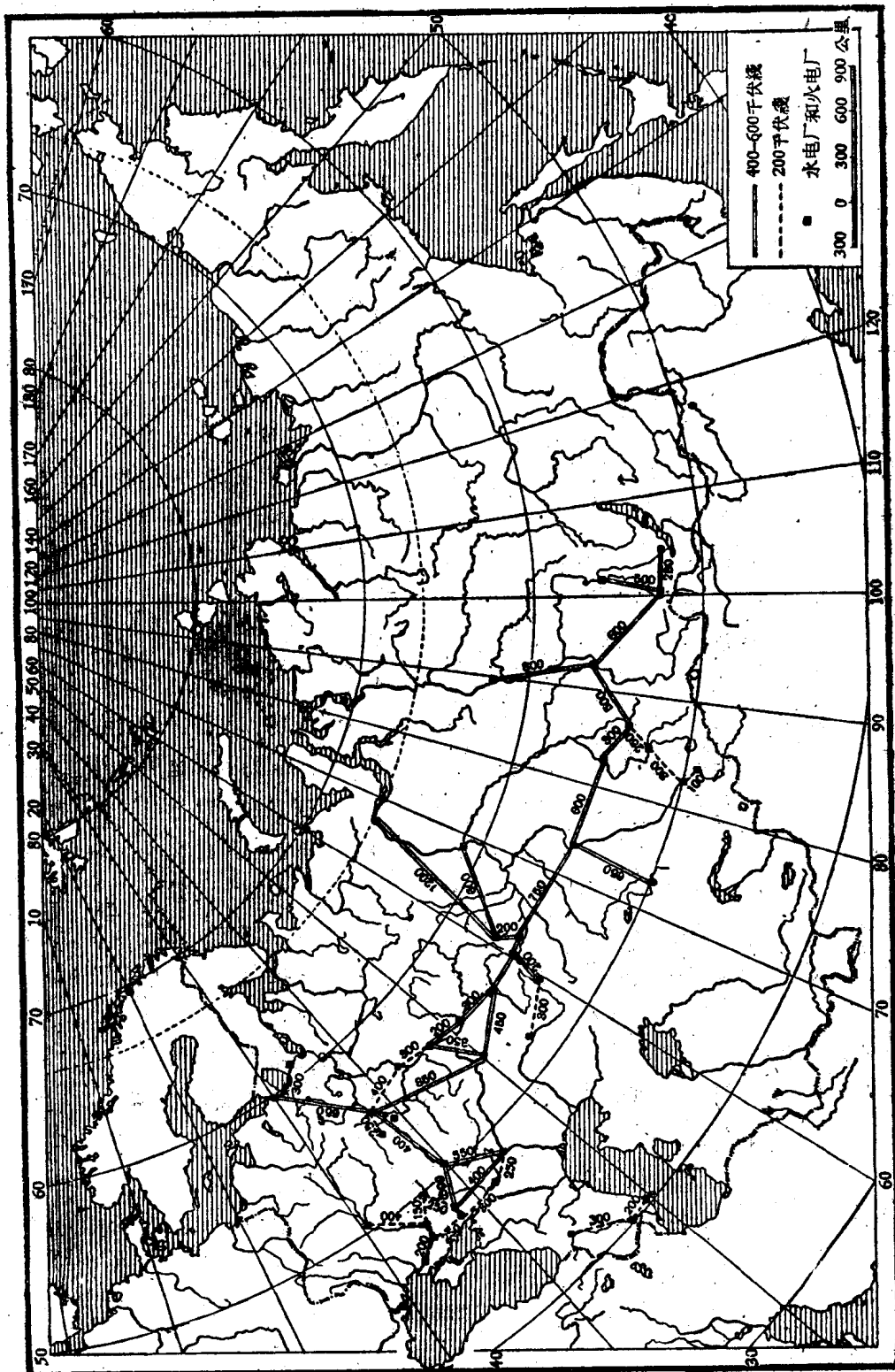
叶尼塞和安卡拉河的水电厂还没有“現成的”用戶。这些电厂的建立联系到在利用富饒的原料資源的基础上創立新的工业区。将要建立安卡拉各水电厂到車列姆霍夫煤矿区的联系。这一距离估計为500—600公里，这时利用400千伏的电压来輸送150万瓩的功率估計已經是足够的了。

在发展和叶尼塞河水电厂相接壤的地区时，很明显，在当地需要大量电能将是它的特点。輸送大量功率（約为1000万瓩左右）即使在比較保守的距离（800—1000公里）下也需要600千伏的电压。

为了把能量向西传送——按运煤路綫的方向，那末存在这样的可能性，即和庫茲涅茨基流域相联，而在未来，和烏拉爾和卡拉崗达联接。在这种情况下，由于具有中間的巨大系統，必須掌握的距离可能包括在400千伏級的范围之内，如果只是为了增大傳輸功率并不需要600千伏，可能会更經濟些。

从伏尔加和卡馬河各水电厂到烏拉爾的輸电綫的作用，在建成了鄂毕河的水电厂后，将会改变，因为鄂毕河的水电厂可以保証烏拉爾的需求。由伏尔加和卡馬河各水电厂的輸电綫按其特点应当是机动的。伏尔加河各水电厂的电能将供应本地負載，并大量供給苏联欧洲部分的中央地区。这时可能要加強从古比雪夫和斯大林格勒电厂到中部的輸电綫，特别是在建立了薩拉托夫水电厂之后。

将要增加从頓河地区向北——到里配茨加地区輸送的电能，而且在中央和南部系統将来发展时，把它們直接联系起来也将是合理的。在这些系統中，当功率将近为



1000 万千瓦时, 利用自耦变压器把 400 千伏的网络和 220 千伏的网络联结起来是必需的。

西北系统和中央系统互为备用的情况证明用机动的联络线把它们联结起来是合理的。

这个联合动力系统的巨大规模可以这样来判断, 即只是为了把苏联欧洲部分的高压网络联成一个整体, 仅仅 400 千伏的输电干线的长度就要在 6000 公里以上, 仅此一端就可证明, 降低输电线的价格、提高它的可靠性和经济性有着多末重要的意义。很自然, 会产生这样的问题: 整个网络是否只需要三相交流还是需要直流输电线? 哪些情况对选择这二种传输系统起着决定性作用?

几年以前, 在国内和国外, 由于在离子换流器方面取得了某些成就, 似乎在克服直流高压远距离大功率输电实际应用中所遇到的困难方面的工作已完成了。但是, 直到现在为止, 所解决的还不是最近几年中就要建设的直流输电线的实际应用中的全部问题。这方面的成就是肯定的而且是巨大的。电压 200 千伏、功率数十兆瓦的试验性装置正在运行中, 但这些数字和最近几年内所需的数字是不能相比的。目前直流输电系统是高电压而电流比较小的系统。

200 千伏的电压用来传输 30 兆瓦的功率是太高了, 在这样的电压下, 传送的功率至少还能增加 3—4 倍。

在研究古比雪夫-莫斯科输电方案时, 曾探讨了为此目的而利用高压直流输电的可能性, 虽然当时实现这种规模(功率一百万瓦, 距离一千公里)的输电的技术基础是完全不够的。直流远距离直通式的输电在理论上可能由于输电线路本身的价格较低而需要较少的投资, 然而与此相对的是二端的装置直流的价格要比交流贵。我们大多数输电线路的特点是需要中间抽取能量。例如, 古比雪夫-莫斯科的输电线路现在就准备用来接入中间系统, 而这在开始设计时是没有考虑到的。在直流输电线上建立这样的分支线(即使技术问题已经解决)将会大大降低可以预期的经济上的优越性。

最大的古比雪夫-莫斯科和斯大林格勒-莫斯科的输电是交流的, 而在苏联的欧洲部分没有其他大功率输电线路¹⁾要提出需用直流的问题。提出了这样的意见, 关于在系统间的联络线利用直流的合理性, 以便联合系统的非同期运行。但是这样利用直流在经济上未必合理。

这样, 留下的问题是研究苏联亚洲部分中的联络线型式。这里, 首先要指出叶尼塞-乌拉尔或鄂毕-乌拉尔的输电线路作为可能利用直流的对象。在其余短得多的联络

1) 五年计划规定了要建立斯大林格勒-顿巴斯的直流输电。

綫上利用直流是沒有前途的。

交流远距离輸电的技术可以傳輸任何大的功率到实际上是何远的距离去。解決技术問題的方向應該是最大限度地降低輸送电能的价格。在交流方面，并不需单独指望于某一个可能給出显著經濟效果的单独的措施。而是指望于一系列措施的綜合系統，每一个措施的經濟效果并不很大。但綜合經濟效果可能很显著。这完全是合理的，因为我們对待的是一个正在成熟的綜合系統，一个这样的系統。为了改进它，人們已經研究了半个多世紀。

在交流远距离輸电技术中，虽然已經进行了許多研究和有了許多运行經驗，但还是有进一步改善的实际可能性。例如这可以从比較古比雪夫-莫斯科輸电的战前(1936年)的方案和現在實現的方案看得出来。目前的主要任务是研究那些可以降低輸送电能成本的措施。

对輸送电能成本有影响的因素可以归結为两种基本类型。第一类对設備价值有影响而运行方式对它的影响較少。第二类是那些主要由运行方式决定的因素。这种分类当然是人为的，但这有助于一目了然地找到降低輸电成本的途径。

研究第一类因素时，我們只限于那些和新技术有关的或改进已有的方面，也包括更好地利用設備和材料，降低过多的貯备等方面。和这些密切相关的是更深刻地研究在远距离輸电中所发生的各种复杂現象的本質，特別是輸电状况受到破坏时的过渡过程。实际上，大部分的附加費用是为了要克服各种运行状态受到破坏或事故所引起的困难，而这些破坏或事故現象的概率是极其低的。由于新的生产方式所导致的成本的降低在实际上可能是个有巨大意义的因素，而我們所以还没有研究它是由于它的共同性，它不是某一个部門所可以包括的。在研究进一步发展交流輸电技术之前，我們先简单地分析一下交流远距离輸电的主要困难，以及由此而引起的各种限制。

(沈国鏐譯)

第一章 交流远距离输电的各种困难

随着线路长度的增加,必须转向更高的电压和增加每一回路所传输的功率,以保持受端每一千瓦时电能的价格。这时线路的电容性电纳就变得更加明显,而在较短的低压输电线路中它的影响是可以忽略不计的。

除了电容的影响外,线路的感抗的影响也随着线路增长而增加。在输电线路上的电磁过程的波的性质也开始出现了。输电的主要困难实际上就是由这些情况所决定的,克服这些困难会带来附加的费用。

为了查明输电的运行方式和它的距离和负载有什么样的关系,只要研究没有损失的理想线路就可以了。实际上线路的电阻对线路运行方式没有显著影响。漏电电导,主要是由电量所引起的,更没有影响。所以在这种情况下不计有功损耗仍可以相当准确地决定主要数值。由此而得的计算过程的显著简化和结果的一目了然完全可以抵偿精确度的稍形降低。

关于具有均匀分布参数的、电感为 L_0 (亨/公里)和电容为 C_0 (法/公里)的输电线路电压和电流传播的概念,可以由研究输电线路某一点在 t 秒时的电压 $u(t, l)$ 和电流 $i(t, l)$ 的方程式而得到。这一点离某一测量点,例如线路的受端的距离为 l 公里(见图 1):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial l} &= L_0 \frac{\partial i}{\partial t}, \\ \frac{\partial i}{\partial l} &= C_0 \frac{\partial u}{\partial t}. \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

由方程式(1.1)可得电压和电流的波动方程:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial l^2} &= \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial^2 i}{\partial l^2} &= \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 i}{\partial t^2}. \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

此处

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} \text{ (公里/秒)} \quad (1.3)$$

即电磁波传播速度。

方程式(1.2)对幅值为 $t \pm \frac{l}{v}$ 的任何函数都能满足,它们的解一般形式是二个成

分的总和:

$$\left. \begin{aligned} u(t, l) &= \bar{u}\left(t + \frac{l}{v}\right) + \tilde{u}\left(t - \frac{l}{v}\right), \\ i(t, l) &= \bar{i}\left(t + \frac{l}{v}\right) + \tilde{i}\left(t - \frac{l}{v}\right). \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

表达式(1.4)的第一部分是正向波,它沿着输电綫由始端趋向受端(即順着 l 的方向),而第二部分则为反向(反射)波,它的方向相反。电压和电流的正向和反向波由下列关系相联系:

$$\frac{\bar{u}}{\bar{i}} = -\frac{\tilde{u}}{\tilde{i}} = W, \quad (1.5)$$

此处 $W = \sqrt{L_0/C_0}$ (欧)是个常量,和距离及時間无关,叫做綫路的波阻抗。

波的空間形状(它可能是任意形式的)在沿着沒有損耗的均匀的綫路传播时,并不变化。由于波的传播速度是不变的,在綫路任何一点所观察到的時間关系可以用沿着綫路的空間关系来表示。

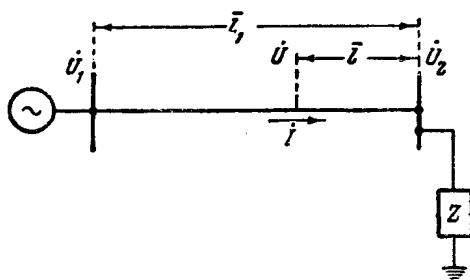


图 1

如果在綫路送端(图 1)接上正弦电压电源,那末在綫路上就有电压和电流的正弦波传播。根据接在另一端(受端)的負載的不同,可建立起不同的情况,而这种情况总是可以看作正向和反向的正

弦波相迭加的结果。綫路上任何一点的电压瞬时值可以表示成为矢量 $\dot{U}$ 和 $\dot{i}$ 的投影,这些矢量則相应地是正向 $(\bar{U}, \bar{i})$ 和反向 $(\tilde{U}, \tilde{i})$ 波的电压矢(复量振幅)和电流矢的和。

为了簡化以后的計算,我們引用无量綱的量

$$\bar{l} = 2\pi \frac{l}{\lambda}, \quad (1.7)$$

此处

$$\lambda = vT = 2\pi \frac{v}{\omega} \quad (1.8)$$

是电压和电流正弦波的波长。

此时式(1.2)在稳定的正弦情况下具有下列形式:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U} &= \bar{\dot{U}} + \tilde{\dot{U}} = \vec{U}_2 e^{j\bar{l}} + \vec{U}_2 e^{-j\bar{l}}, \\ \dot{i} &= \bar{\dot{i}} + \tilde{\dot{i}} = \frac{1}{W} (\vec{U}_2 e^{j\bar{l}} - \vec{U}_2 e^{-j\bar{l}}), \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

此处 $\vec{U}_2$ 和 $\vec{U}_1$ 是线路终端(在点 $l = 0$) 的电压正向波和反向波的矢量, 而 $\vec{U}(l)$ 和 $\vec{I}(l)$ 是线路上离受端距离为 l 点的电压(电流)的类似的矢量。

复量振幅之比

$$\frac{\vec{U}_2}{\vec{U}_1} = \rho = \rho e^{j\nu} \quad (1.10)$$

叫做由线路受端的电压波的反射系数。

根据(1.9) 和 (1.10) 线路上任何一点的电压和电流也可以用电压 $\vec{U}_2$ 和反射系数 ρ 来表示:

$$\left. \begin{aligned} \vec{U} &= \vec{U}_2 \frac{e^{j\bar{l}} + \rho e^{-j\bar{l}}}{1 + \rho}, \\ \vec{I} &= \frac{\vec{U}_2}{W} \frac{e^{j\bar{l}} - \rho e^{-j\bar{l}}}{1 + \rho}. \end{aligned} \right\} \quad (1.9')$$

在分析远距离输电线的情况时, 不仅要研究线路两端的条件(直接与送电和受电系统的运行情况有关), 而且要研究沿着线路的电压和电流的分布。对长度超过 500 公里的线路而言, 中间各点的电压和电流可以和两端的数值相差很远。在分析计算时, 通常采用的长线路的 T 形或 Π 型等值回路, 在这种情况下不能给出线路上实际发生的情况的概念, 虽然两端的情况是完全符合的。为了要弄清楚在线路上实际产生的情况, 必须把等值电路分成大量的“环节”。这个方法可在交流计算台(图 2)上

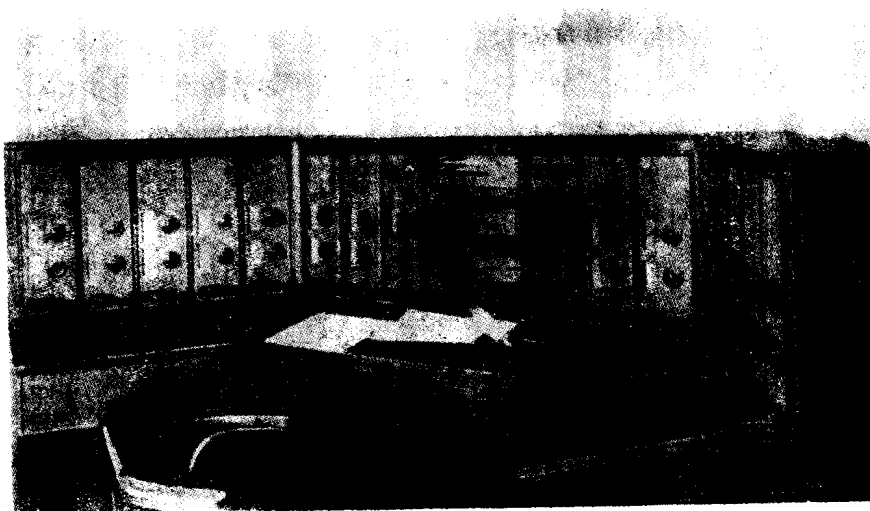


图 2 交流计算台

实现。采用这样的方法可以无需按照公式来进行繁复的分析计算, 那些公式是表示线路任一点的电压和电流和端点条件的关系的。