

7M72
4071

152617

输配电工程学

[日]藤高周平

黄开植 等译

云南大学出版社

滇新登字 07 号

内 容 提 要

本书介绍了输配电电气工程学的有关内容。包括输电方式、线路参数、输电电压和绝缘、输电特性、稳定性同输电容量、故障计算、线路保护、中性点接地方式、电晕和感应干扰及其防止、雷害的防止、接地电阻及架空输电线路的构成。

由于地面和空间的日益紧张、用户对供电在数量上和质量上要求愈来愈高,传统的输电方式已不能满足需要。本书还花了近一半的篇幅叙述了地下输电(电缆)线路及配电回路方面的知识。

本书 1~3 章、8 章、11~18 章及练习题答案由黄开植翻译,4~7 章、9~10 章由杨光富翻译。

[日]藤高周平

送 配 电 工 学

才 公 社

输 配 电 工 程 学

黄 开 植 等 译

责任编辑 张世鸾

封面设计 李 木

云南大学出版社出版发行

重 庆 印 制 一 厂 印 刷

开本:787×1092 1/32 印张:10 字数:232 千

1995 年 5 月第 1 版 1995 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—2000

ISBN 7-81025-194-5/TM·0 定价:9.85 元

前 言

这本书是以大学工科电气专业的学生为对象，按每周授课2课时而编写的教科书。

在日本，已出版的输电、配电工程学的教科书，到现在为止，已多至100种以上，且被称之为名著者也为数甚多。由此可以看出，输配电工程学由于所包含的有关电气工程学中的内容甚为广泛而被受到相当重视。最近以工程技术的进步、经济规模的扩大为背景，输配电各学科的技术取得了惊人的进步，因此，本书改变了这类教科书的传统的编写方针，而由各专业领域的大学中的专门研究者，各自执笔自己最拿手的专业范围内的内容，对重点、难点采用了深入浅出、容易理解的叙述方法。这个规划，得力于才一ム社的三井社长和在东京大学已故藤高周平教授的推进而得以实现。共著者北起仙台，西至姬路，包括了为数众多的大学教授，这也是本书的重要特色之一。

本书在各章的开头给出了内容提要。以考虑首先让读者对本章有一概括的了解。在正文中，一般把重点放在基本原理的叙述上，为了能自己测试一下对正文的理解程度，在各章末尾配置了必要的、最低限度的练习题。参考文献*和用小字排印的解答，这是为了指明正文内容的引用根据，同时也便于读者以本书为基础而进行更深入的研究。

* 参考文献多为日文版，考虑大多数读者查阅困难，故本书省略了参考文献——译者。

本书对电力电缆和配电工程学部分使用了相当大的篇幅，这是因为新技术的开发和超高压电缆的出现，提示我们考虑未来大的电力系统的地下化的动向。对于过去一直只是稍稍涉及一下的配电工程学，最近由于现代化的浪潮，促使我们对其认真处理。

关于接地电阻问题，本书亦辟专章介绍，这是考虑到大地的电气特性、接地等问题是与输电、配电工程学各个部门具有联系的重要课题之一。

这样通过学习以后，想来读者对输配电工程学能有不少的了解。

主编藤高周平教授没有看到本书上梓付印，便于去年秋天病逝。同仁们莫不痛心疾首，大家不能忘记在东大医院的病床，先生拿着书稿审读的遗容。最后，借此祈祷先生的冥福。

著者

本书分担执笔者如下：

- | | | |
|------|--------------|-------------|
| 第1章 | 绪论 | 麻生忠雄(原东北大学) |
| 第2章 | 输电方式 | 河野照哉(东京大学) |
| 第3章 | 输电电压和绝缘 | 麻生忠雄(原东北大学) |
| 第4章 | 线路参数 | 关根泰次(东京大学) |
| 第5章 | 稳态输电特性 | 关根泰次(东京大学) |
| 第6章 | 稳定性同输电容量 | 关根泰次(东京大学) |
| 第7章 | 故障计算同中性点接地方式 | 关根泰次(东京大学) |
| 第8章 | 雷害的防止 | 河野照哉(东京大学) |
| 第9章 | 电晕损耗同电晕噪声 | 河野照哉(东京大学) |
| 第10章 | 通讯线路的感应干扰 | 麻生忠雄(原东北大学) |
| 第11章 | 接地电阻 | 麻生忠雄(原东北大学) |

第12章	输电系统的保护方式	麻生忠雄(原东北大学)
第13章	架空输电线路的构成	田中郁雄(关西大学)
第14章	地下线路	田中郁雄(关西大学)
第15章	配电系统	海津明彬(中部工业大学)
第16章	配电回路的计算	海津明彬(中部工业大学)
第17章	配电线的管理保护	海津明彬(中部工业大学)
第18章	屋内配线及用电场所的 电力设施	海津明彬(中部工业大学)

目 录

第1章 绪 论

第2章 输 电 方 式

2.1 交流同直流	(7)
2.2 输电接线方式	(9)
练习题	(12)

第3章 输电电压和绝缘

3.1 输电电压	(14)
3.2 输电线路的绝缘	(19)
3.3 输电系统的绝缘配合	(24)
练习题	(26)

第4章 线 路 参 数

4.1 电感	(27)
4.2 电容	(33)
4.3 电阻和电导	(37)
练习题	(37)

第5章 稳态输电特性

5.1 输电线路的稳态电压、电流的分布	(38)
5.2 圆图	(45)
练习题	(53)

第6章 稳定性同输电容量

6.1 静态稳定性	(54)
6.2 暂态稳定性	(55)
6.3 摇摆方程式	(57)
6.4 等面积法	(59)
6.5 分段计算法	(60)
6.6 提高稳定性的方法	(63)
6.7 输电容量	(64)
练习题	(65)

第7章 故障计算同中性点接地方式

7.1 同步机的阻抗和基本方程式	(66)
7.2 空载同步机的故障	(68)
7.3 输电系统的故障	(70)
7.4 并列二回输电线的故障	(75)
7.5 克拉克坐标法	(79)
7.6 接地阻抗、接地电流和电位升高	(84)
7.7 中性点接地的目的和方式	(86)
7.8 消弧线圈接地方式	(88)
练习题	(89)

第8章 雷害的防止

8.1 雷电波	(90)
8.2 架空地线	(94)
8.3 逆闪络现象	(95)
8.4 雷电波的传输	(98)

8.5	发电厂变电所的防雷	(100)
8.6	避雷器	(101)
	练习题	(104)

第9章 电晕损耗和电晕噪声

9.1	电晕放电	(106)
9.2	电晕损耗	(107)
9.3	电晕噪声	(109)
9.4	减轻电晕危害的方法	(110)
	练习题	(113)

第10章 通讯线路的感应干扰

10.1	通讯线的感应干扰	(114)
10.2	电磁感应电压	(116)
10.3	防止感应干扰的方法	(121)
	练习题	(122)

第11章 接 地 电 阻

11.1	接地电阻	(123)
11.2	跨步电压	(130)
	练习题	(131)

第12章 输电系统的保护方式

12.1	保护继电器	(132)
12.2	电流互感器 电压互感器	(136)
12.3	继电保护的方式	(140)
	练习题	(146)

第13章 架空输电线路的构成

13.1	导线的振动、跳跃和舞动·····	(149)
13.2	导线的弧垂·····	(151)
13.3	设计架空线路时对风压的考虑·····	(161)
	练习题·····	(162)

第14章 地下线路

14.1	地下输电线路的发展·····	(163)
14.2	电缆的种类和构造·····	(164)
14.3	超高压电缆·····	(165)
14.4	电缆线路的电气参数·····	(170)
14.5	缆芯导体损耗、介质损耗、护套损耗及减少损耗的对策·····	(173)
14.6	电缆的载流量·····	(180)
14.7	电容电流同输电容量极限·····	(190)
14.8	电缆系统的构成·····	(193)
	练习题·····	(200)

第15章 配电系统

15.1	配电系统的构成·····	(201)
15.2	配电系统的设施·····	(204)
15.3	配电方式和电压标准·····	(207)
15.4	负荷·····	(212)
	练习题·····	(219)

第16章 配电回路的计算

16.1	回路计算的前提 集中负荷回路·····	(221)
------	---------------------	---------

16.2	分布负荷的树支状配电线路的计算.....	(224)
16.3	环状和网状配电网.....	(229)
16.4	单相三线制回路.....	(232)
16.5	组合式回路.....	(235)
16.6	三相四线制回路.....	(236)
16.7	导线截面的选择.....	(239)
16.8	配电变压器的经济措施.....	(242)
	练习题.....	(243)

第17章 配电线的管理 保护

17.1	功率因数的改善.....	(248)
17.2	电压调整 闪烁.....	(253)
17.3	故障时的电压电流.....	(258)
17.4	配电线的事故和保护装置.....	(261)
17.5	配电线的控制和维修.....	(268)
17.6	触电、火灾的保护.....	(272)
	练习题.....	(277)

第18章 屋内配线及用电场所的电力设施

18.1	屋内配线回路.....	(280)
18.2	屋内配线用器材.....	(283)
18.3	屋内配线的设计.....	(286)
	练习题.....	(289)

	练习题解答.....	(291)
--	------------	---------

第1章 绪 论

对于我们的社会生活，数十年来，电力已成为不可或缺的重要因素，大至运输部门、生产机械或者重要的原料生产的电力的利用；小至家庭内的照明，小动力、热源或电子设备的电源，在我们的身边，找不到这样的设备：它在任何地方都不用电。

电具有能够方便且高效率地转换成其它形式的能量形态特性，再加上易于控制，因此一进入本世纪，电的应用便向人们生活的各个部门渗透。近年来，电的需用量的增大实在是令人瞠目结舌。为了生产数量巨大的电能，各种能源因被利用而得到大规模开发。

在日本，电力事业的初始阶段仅限于对小水力资源的利用，至大正中期，则已着手在山区开发更为合算的大水力资源。从昭和开始直到战前战后，水力资源的开发得到飞跃的进展，从而迎来了随大水力发电而来的远距离输电的时代。近年来为了适应电力用量的急剧增加，对建设费用比较便宜、建设周期短的大型火力发电厂的建设也加速进行，使在电力需用中心地区具有大型电源这一想法成为可能。但是，涉及到全国规模范围内的系统联网，特别是高峰负荷时，为了满足其快速反应的要求，远距离大功率输电愈来愈增加其重要的程度了。

自古以来，能量的输送手段，除了陆路和海路运输之外，还有气体或液体等流体的管道输送。输电线路同这些输送方式比较起来，具有明显的优势，特别是在能量的长距离输送的情

况下。电力输送具有显而易见的优越性，但是不要忘了它仍处于同上述能量输送手段竞争的地位。

采用“电”的形态输送能量的所谓电能输送有许多的长处。第一，能构成比较单纯的输电线路，能量输送密度显著地高于其它运送方式。其能量密度之高，除了原子炉和涡轮喷气发动机的内部热能密度外，没有任何能量密度可与之比较。第二，输送速度快，输送量容易控制。快速的传输能量，瞬时进行切换或关断，其速度性能，是任何样式的能量输送手段都不可及的。

电力输送，也有同一般的能量输送手段相同的任务。必须设法确保在输送途中不变质，不损耗，并且必须稳定地、连续地输送。当长距离架空线路穿山越岭架设的时候，特别容易遭到自然灾害，因此为了能贯彻不间断地供电这一原则，必须考虑到输电线路要有能耐受严酷的自然气候的电气和机械的强度。

输送的电力必须是优质的。在交流供电准备建设阶段前，就应搞清现在的电力供给方式。以便在供电时，保证用户端的电压值、并把频率的变动限制在容许的范围内和确实地保证供给经常所需要的电量。特别是在一个供电范围内全面的停电事故，从电力供给应负的责任来讲，应做到尽力地回避。

电力输送的方式，同世界各国一样采用交流方式。这样可以采用效率接近100%、能够自由地升降电压的理想的工程机械装置——变压器，而且，由于多相交流的采用，使导线的用量减少，在用户端交流输电也带来很多方便，例如，可以使用经久耐用且价格便宜的感应电动机。同时，可以利用电流值通过零值的周期性，能够比较容易地切断事故电流或负荷电流。现在的电力系统一般均采用三相交流。对于三相交流，其三相

交流理论、电力遮断理论及其故障计算的对称坐标法等电力系统、电力设备的独特的解析法和理论也已经很成熟。

交流输电方式有很多的长处，然而也有几个特有的弱点。与输电线路联网的所有发电厂，都在同步速度下运转，一旦发电机相互间的同期遭到破坏，则开关动作，造成事故切断，这之后要再同期投入并列运行，则需要相当多的时间和一定的技术。另外，由于是交流，输电线路存在的电感，将使输电线路能够输送的功率受到限制。即使在这个功率范围内，遇到大的功率变化，要维持稳定的输电也很困难。但对于直流输电方式来讲，输电线的电感不会带来对输电容量造成限制之类的事情。最近，由于交直流变换装置有了一个大致的目标，所以大功率输送，特别是电力电缆长距离输电采用直流方式得到了重新认识。横穿英吉利海峡的海底电缆就以直流输电而闻名于世。在日本，天竈川佐久间的发电厂就企图把关东(50Hz)和关西(60Hz)两大电力网联网而以直流输电作频率转换。在最近的将来，将考虑以此作为巨大电力系统的一部分，而缓冲功率摇摆。

在作交流送电的有关建设之前，按现在的方式摆在我们面前的还有很多问题。由于线路电感对输电容量的限制已如前述。即使在输电容量限制范围内，如果不根据受电端负荷的性质、大小采取位相调整的措施，就不能维持正常的终端电压。同时，在事故或者在功率摇摆时必须从各方面采取对策以高度保持系统的稳定性。这些内容都将在正文内详细叙述。输配电工程学的重点的大部分都是在围绕着不妨碍增加输电容量来谈论问题的。

对应于电力需要的飞速增长，力图使输电电压超高压化是现今世界的总动向。日本从昭和27年开始采用275kV输电，近

来存在着实施500kV级输电的实施时机，作为下一步的输电电压，对750kV，1000kV级正在继续进行论证。甚至开始有要求对1.5MV级输电进行论证的呼声。比我们预料远为迅速的电力需要，有要求输电工程学以更快的速度发展。

广泛范围地到处架设的电力系统容易遭受各种自然灾害的状况，把确保高压绝缘这一电气问题提到了桌面上来。雷是输电线的大敌，如果在采取适当的避雷对策上稍有疏忽，就不能防止在落雷点的绝缘子闪络，同输电线连结的发电厂、变电所的重要设备将遭受重大伤害，特别是，在现今的条件下低电压输电线路将遭受更大的威胁。

电力系统由于其内部的原因，要产生各种各样的过电压，在这当中应受到重视的是开关冲击。随着电力系统的超高压化，绝缘得到特别强化，所以对雷有充分的耐受能力。但是基于内部原因的过电压随着输电电压的上升而升高。在超高压系统中开关冲击电压等过电压已将雷取而代之，成为对绝缘的最大威胁。开关冲击等过电压因为发生在正常系统操作时，比雷有更高的频率，这是希望对其采取可靠对策的原因。

日本四周均被海洋包围，由于台风和季风带来了海盐，这使电力线路和发电厂、变电所高压部分容易造成绝缘不良。而且还留下更大范围且长时期造成灾害的隐患，给系统绝缘的影响非常大，是目前急需要着手解决的问题之一。

为了把这些自然灾害彻底地从根本排除，其方法是输电的地下化。最近电力电缆的绝缘性能显著提高，而且超高压电缆也已经出现。但是，眼下由于电缆线路的价格远远超过架空线路，所以除大城市以外，只限于使用在盐尘等严重污染的特别处所，而且，现在同时也在对管路中气体输电的方式进行论证。但是输电的地下化，是作为将来输电方式一个大的趋向来

考虑的。

电力系统在扩大，电话等通讯系统也在扩大，因而相互间越来越靠近。电力系统事故时，将引起通讯线的感应干扰，使人担心发生通讯设备受损、造成触电等事故。日本从电力事业开始兴旺发达开始，就把这个问题作为社会问题而给予足够重视。特别是对于电力系统的中性点接地方式，过去一直以抑制电磁感应干扰为目的，把接地电流限制在某一限度内的高阻抗接地或消弧线圈接地等方式被广泛采用，但是，近年来，由于实现输电的超高压化，从合理地降低绝缘这一观点出发，采用了中性点直接接地的方式，又再次提出了通讯线感应干扰的问题。

在电力系统内，如果万一发生了事故，要迅速地检测出事故、切断事故区间。从对电力系统的整体贯彻电力供给不中断的原则出发，必须装设电力系统的神经系统，这便是继电保护。在大的电力系统中，事故时的电流、电磁冲击相当大，而且，事故切断如果稍慢，系统将蒙受非常大的损害。现在在超高压系统内，事故电流的高速切断-重合闸的方式已成为运行常识。大电流切断-重合闸却给断路器课以繁重的负担，要使这些设备正确地动作，就必须很好地认识继电保护的重要职责。

配电，是对广泛分散的电力用户分配电力的电力事业的最前线 and 电力生产的最终阶段。过去，一直对输电系统投入了高度的技术和大量的资金，形成了输电系统相当高的可靠性，但处于最前线的配电系统，由于其构成复杂多样，却存在不太重视的情况。然而最近由于配电的现代化，改进服务质量的呼声增高，从城市开始一直到各地方，都在着手对配电系统进行整改和系统质量改善。

练 习 题

1. 列举作为能量输送手段的电能输送的优点。
2. 叙述交流送电方式存在的问题。
3. 威胁电力系统绝缘的主要原因是什么？

第2章 输电方式

输电事业初期，直流输电也曾相当流行，大有同交流输电争优劣之势。由于变压器的使用，变压器简单、效率高、能方便地升降电压，使交流方式逐渐处于优势地位。现在一般广泛地使用50Hz或60Hz的交流输电。

在交流方式中，对于大功率输送，在最大电压相同的情况下，广泛采用所用导线量少，而且较经济的三相三线制。

另一方面，直流输电也随着高压大容量的交直流变换装置的进步而发展。近来，在远距离输电、海底电缆、50Hz同60Hz的联网等方面被采用。

2.1 交流同直流

〔1〕 **直流输电** 现在，一般都使用三相三线制的交流方式输电，但是，日本最初的电气事业却始于210V直流三相式。电力事业的最初期作为小规模配电方式广泛采用直流方式，其后，在日本变成高压交流配电，但即使进入高压输电时代，欧洲仍不乏采用高压直流输电的实例。

1912年，法国的Montier到Lyon间建成了长180km、电压为70kV的直流输电线路并经过了20年以上的运行。这种被称为卡里方式的连接方法是将10多台定流直激直流发电机串联联结以产生直流高压。这种方式产生高压存在着困难，所以之后没有多大进展。用变压器能够自由地升降电压，所以交流方式几乎垄断了输电部门。然而只从输电线路来讲的话，直流输电比交流输电有很多的优点。交流输电线路由于电感的原