



国家电网
STATE GRID

国家电网公司
生产技能人员职业能力培训通用教材

特高压电网

国家电网公司人力资源部 组编

GUOJIADIANWANGGONGSI
SHENGCHANJINENG RENYUAN
ZHIYENENGLI PEIXUN
TONGYONG JIAOCAI



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



国家电网
STATE GRID

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

特高压电网

常州大学图书馆
国家电网公司人力资源部 组编
曾庆禹 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《国家电网公司生产技能人员职业能力培训教材》是按照国家电网公司生产技能人员标准化培训课程体系的要求,依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》(简称《培训规范》),结合生产实际编写而成。

本套教材作为《培训规范》的配套教材,共 72 册。本册为通用教材的《特高压电网》,全书共七章、25 个模块,主要包括输电网从高压到特高压的发展,中国国家电网特高压骨干网架,特高压输电系统特性,高压及特高压直流输电,特高压电网过电压与绝缘配合,特高压电网电磁环境,特高压变电站、换流站和输电线路设备。

本书是供电企业生产技能人员的培训教学用书,也可以作为电力职业院校教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

特高压电网/国家电网公司人力资源部组编. —北京:中国电力出版社, 2010.4

国家电网公司生产技能人员职业能力培训通用教材

ISBN 978-7-5123-0275-4

I. ①特… II. ①国… III. ①高压电力系统—技术培训—教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 057190 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 5 月第一版 2010 年 11 月北京第五次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 10.25 印张 188 千字

印数 21001—23000 册 定价 16.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《国家电网公司生产技能人员职业能力培训通用教材》

编 委 会

主 任 刘振亚

副 主 任 郑宝森 陈月明 舒印彪 曹志安 栾 军

李汝革 潘晓军

成 员 许世辉 王凤雷 张启平 王相勤 孙吉昌

王益民 张智刚 王颖杰

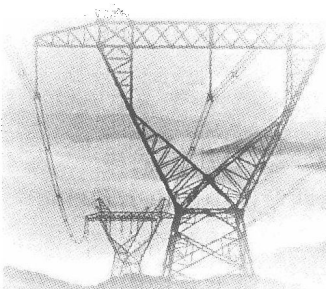
编写组组长 许世辉

副 组 长 方国元 张辉明 于永清

成 员 曾庆禹 杨海涛 张翠霞 鞠宇平 倪 春

江振宇 李群雄 曹爱民 田建平 王 丽

雍志娟



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

前 言

为大力实施“人才强企”战略，加快培养高素质技能人才队伍，国家电网公司按照“集团化运作、集约化发展、精益化管理、标准化建设”的工作要求，充分发挥集团化优势，组织公司系统一大批优秀管理、技术、技能和培训教学专家，历时两年多，按照统一标准，开发了覆盖电网企业输电、变电、配电、营销、调度等34个职业种类的生产技能人员系列培训教材，形成了国内首套面向供电企业一线生产人员的模块化培训教材体系。

本套培训教材以《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》(Q/GDW 232—2008)为依据，在编写原则上，突出以岗位能力为核心；在内容定位上，遵循“知识够用、为技能服务”的原则，突出针对性和实用性，并涵盖了电力行业最新的政策、标准、规程、规定及新设备、新技术、新知识、新工艺；在写作方式上，做到深入浅出，避免烦琐的理论推导和论证；在编写模式上，采用模块化结构，便于灵活施教。

本套培训教材包括通用教材和专用教材两类，共72个分册、5018个模块，每个培训模块均配有详细的模块描述，对该模块的培训目标、内容、方式及考核要求进行了说明。其中：通用教材涵盖了供电企业多个职业种类共同使用的基础知识、基本技能及职业素养等内容，包括《电工基础》、《电力生产安全及防护》等38个分册、1705个模块，主要作为供电企业员工全面系统学习基础理论和基本技能的自学教材；专用教材涵盖了相应职业种类所有的专业知识和专业技能，按职业种类单独成册，包括《变电检修》、《继电保护》等34个分册、3313个模块，根据培训规范职业能力要求，I、II、III三个级别的模块分别作为供电企业生产一线辅助作业人员、熟练作业人员和高级作业人员的岗位技能培训教材。

本套培训教材的出版是贯彻落实国家人才队伍建设总体战略，充分发挥企业培养高技能人才主体作用的重要举措，是加快推进国家电网公司发展方式和电网发展方式转变的具体实践，也是有效开展电网企业教育培训和人才培养工作的重要基础，必将对改进生产技能人员培训模式，推进培训工作由理论灌输向能力培养转型，提高培训的针对性和有效性，全面提升员工队伍素质，保证电网安全稳定运行、支

撑和促进国家电网公司可持续发展起到积极的推动作用。

本册为通用教材部分的《特高压电网》，由中国电力科学研究院具体组织编写。

全书第一、二、三章由中国电力科学研究院杨海涛编写；第四章由中国电力科学研究院杨万开编写；第五章由中国电力科学研究院王晓彤、张翠霞、廖蔚明、葛栋、李金忠编写；第六章由中国电力科学研究院吴桂芳、韩辉编写；第七章由中国电力科学研究院李同生编写。全书由中国电力科学研究院曾庆禹担任主编。中国电力科学研究院张文涛担任主审，中国电力科学研究院李同生、宿志一参审。

由于编写时间仓促，难免存在疏漏之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见，使之不断完善。



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

目 录

前言

第一章 输电网从高压到特高压的发展	1
模块 1 电网的发展 (TYBZ03701001)	1
模块 2 特高压电压等级的选择 (TYBZ03701002)	5
模块 3 特高压电网发展的影响因素 (TYBZ03701003)	7
模块 4 特高压输电研究 (TYBZ03701004)	10
模块 5 特高压电网发展目标 (TYBZ03701005)	18
模块 6 特高压输电的经济性 (TYBZ03701006)	20
第二章 中国国家电网特高压骨干网架	25
模块 1 互联大电网发展趋势 (TYBZ03702001)	25
模块 2 中国国家特高压电网 (TYBZ03702002)	29
第三章 特高压输电系统特性	34
模块 1 特高压输电线路参数特性 (TYBZ03703001)	34
模块 2 特高压输电线路输电特性 (TYBZ03703002)	37
模块 3 特高压电网的输电能力 (TYBZ03703003)	44
模块 4 特高压电网的安全稳定性 (TYBZ03703004)	49
第四章 高压及特高压直流输电	55
模块 1 高压直流输电 (TYBZ03704001)	55
模块 2 特高压直流输电 (TYBZ03704002)	66
第五章 特高压电网过电压与绝缘配合	74
模块 1 特高压电网内过电压及其限制措施 (TYBZ03705001)	74

模块 2	潜供电流及其限制措施 (TYBZ03705002)	84
模块 3	特高压输电系统的绝缘性能 (TYBZ03705003)	88
模块 4	特高压输电系统绝缘配合 (TYBZ03705004)	103
模块 5	特高压输电系统防雷保护 (TYBZ03705005)	108
模块 6	特高压直流输电系统过电压与绝缘配合 (TYBZ03705006)	111
第六章	特高压电网电磁环境	125
模块 1	架空输电线路的电晕及其对环境的影响 (TYBZ03706001)	125
模块 2	工频电场和磁场 (TYBZ03706002)	134
第七章	特高压变电站、换流站和输电线路设备	141
模块 1	特高压交流变电站与电气设备 (TYBZ03707001)	141
模块 2	特高压直流换流站与电气设备 (TYBZ03707002)	147
模块 3	特高压输电线路的导线、金具和杆塔 (TYBZ03707003)	151



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

第一章 输电网从高压到特高压的发展

模块 1 电网的发展 (TYBZ03701001)

【模块描述】本模块介绍电网的基本功能和发展的基本过程。通过图形讲解和要点归纳,了解电网的组成和我国电网的现状,掌握世界电网的发展趋势。

【正文】

一、电网的基本功能

电网是将各种类型的发电厂(站)的电力输送到电力用户的电力传输网络,它由升压变电站、降压变电站及其相连的输电线路及其相关的保护控制及通信系统组成。电网一般分为输电网和配电网。所有输变电设备连接起来构成输电网,所有配变电设备连接起来构成配电网。输电网和配电网统称为电网。发电厂、输电网、配电网和用电设备连接起来组成成为一个集成的整体,称为电力系统。图 TYBZ03701001-1 为电力系统示意图。

输电设备主要有输电线、杆塔、绝缘子串、架空地线等。变电站内有变压器、电抗器(用于 330kV 以上的输电线路)、断路器、隔离开关、避雷器、电压互感器、电流互感器、母线等一次设备和确保安全、可靠输电的继电保护、监测和控制装置等二次设备。输电网一次设备和相关的二次设备的协调配合,是实现电力系统安全、稳定运行,避免连锁事故发生,防止大面积停电的重要保证。

电网的基本功能是传输电能,通过电网将发电机组发出的电力输送到电力用户,或实现地区间、区域间的电能传输。

对电网传输电能的基本要求是在安全、可靠、高效率、低损耗输电的基础上保证电网电压、频率、波形等相关的电能质量指标合格。

由于电能不能大规模储存,因此电力系统必须时刻保持电力供需平衡,否则将危及电力系统的稳定和安全。

大型、特大型发电机的利用和大容量、特大容量发电厂的建设,将产生更大规模经济效益。它们通过输电网可实现区域互联,在更大范围内进行电力的经济调度。由于各区域电力资源的不平衡,输电的联网功能,特别是采用比区域骨干电网更高

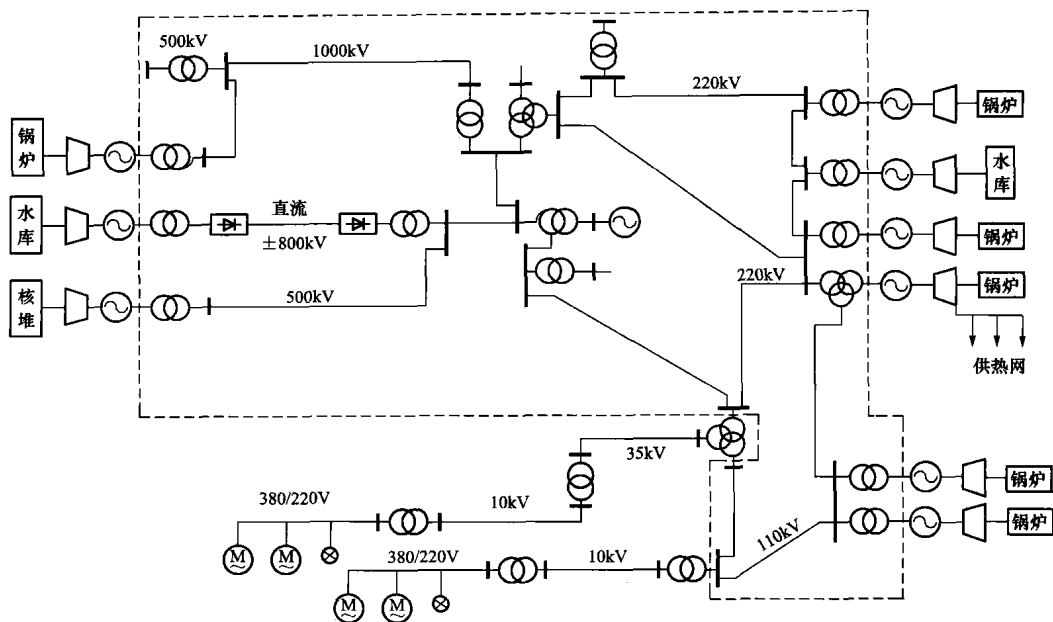


图 TYBZ03701001-1 电力系统示意图 (虚框内为输电网)

一级电压的输电联网已变得特别重要。它提供更充裕的互联，促进有效竞争的电力市场稳健发展。

区域电网互联可以产生显著的经济效益。它主要表现在以下几个方面:

(1) 更经济合理开发一次能源，实现水、火电资源优势互补。在更大区域内合理利用能源资源。

(2) 降低互联的电网总的峰电负荷, 减少总的装机容量。

(3) 检修和紧急事故备用互助支援, 减少备用发电容量。

(4) 提高电网运行可靠性, 提高供电质量。

(5) 电网规模扩大后提供了安装高效率、低成本大容量机组和建设更大容量电厂的条件, 这将产生更大规模经济效益。

二、输电电网的发展历史

从 1882 年在上海创办中国第一家公用电业公司——上海电气公司算起，我国电力工业至今走过了 118 年的历程。电力的广泛应用，电力需求的不断增加推动电力技术日益向高电压、大机组、大电网发展，向电力规模经济发展。电力工业按生产和消费过程可分为发电、输电、配电和用电四个环节。输电通常指的是将发电厂或发电基地（包括若干电厂）发出的电力输送到消费电能的地区（又称负荷中心），或者将一个电网的电力输送到另一个电网，实现电网互联，构成互联电网。

随着电网技术的不断进步,输电容量和输电距离的不断增加,电网电压等级不

断提高。电网电压从最初的 13.8kV, 逐步发展到高压 35、66、110、134kV 和 220kV。1908 年美国建成了 110kV 输电线路, 1923 年建成第一条 230kV 线路投入运行。

进入 20 世纪 50 年代后, 输电线路电压等级迅速向超高压 330、345、400、500、735、750、765kV 发展。瑞典于 1952 年建成世界上第一条 380kV 超高压线路。美国于 1954 年建成第一条 345kV 线路, 1969 年又建成 765kV 线路。苏联 1956 年建成 400kV 线路, 1967 年建成 750kV 线路。最早建设 750kV 线路的是加拿大, 于 1965 年建成 735kV 线路。1964 年, 苏联将 400kV 输电线路改造升压为 500kV 线路, 接着美国于 1964 年建成投运 500kV 线路。在发达的欧、美国家, 500kV 线路发展比较慢, 在超高压输电方面, 主要发展 345kV、380kV 和 750kV 级的输电线路。

20 世纪 60 年代末, 美国、苏联、意大利、日本、加拿大、巴西等国开始进行 1100kV 和 1500kV 特高压输电技术和特高压输电工程可行性的研究。1985 年, 苏联第一条电压为 1150kV 特高压输电线路建成投运, 一直运行到 1989 年。1988 年, 日本开始建设 1000kV 特高压输电线路, 于 1999 年建成两条共长约 430km 线路, 降压到 500kV 运行。

1949 年前, 中国电力工业发展缓慢, 输电线路建设同样迟缓, 输电电压按具体工程决定, 因而, 电压等级繁多。1908 年建成 22kV 石龙坝水电站至昆明线路, 1921 年建成 33kV 石景山电厂至北京城的线路。1933 年建成抚顺电厂的 44kV 出线。1934 年建成 66kV 延边至老头沟线路。1935 年建成抚顺电厂至鞍山的 154kV 线路。1943 年建成 110kV 镜泊湖水电厂至延边线路。

中国 1949 年后才按电网发展统一输电电压, 逐渐形成经济合理的输电电压系列。1952 年以自己的技术建设了 110kV 输电线路, 逐渐形成京津唐 110kV 输电网。1954 年, 建成丰满至李石寨 220kV 输电线, 以后继续建设辽宁电厂至李石寨, 阜新电厂至青堆子等 220kV 线路, 迅速形成东北电网 220kV 骨干网架。1972 年建成 330kV 刘家峡—关中输电线路, 全长 534km, 以后逐渐形成西北电网 330kV 骨干网架。1981 年建成 500kV 姚孟—武昌输电线路, 全长 595km。适应葛洲坝水电厂送出工程的需要, 1983 年又建成葛武和葛双两回 500kV 线路, 开始形成华中电网 500kV 骨干网架。中国在逐渐形成 330kV 和 500kV 区域输电骨干网架的同时, 于 20 世纪 80 年代初开始了 330kV 和 500kV 以上更高输电电压等级的论证。20 世纪 90 年代, 针对输电工程需要继续进行了特高压输电和 750kV 输电可行性研究, 建立特高压试验基地, 开展特高压技术试验研究。

进入 21 世纪后, 中国开始规划发展和设计建设 1000kV 特高压交流输电系统和 ±800kV 特高压直流输电系统。2008 年 9 月 26 日, 建成投运第一条 750kV 输电示范工程(官亭—兰州东)。2006 年 7 月, 开工建设 1000kV 晋东南—南阳—荆门试验示范工程, 在经过系统调试考核后, 于 2009 年 1 月 6 日正式投入运行。



三、电网的发展趋势

在电网发展一百多年的历史中,电网一直朝着逐步提高电压等级和逐步扩大互联电网规模的方向发展。在输变电设备技术经济的可行性和适用性的合理范围内,这种发展在部分地区仍在持续,而在有些国家,则试图谋求新的发展方向。

20 世纪末,世界上大部分地区出现电能供求分布不均衡的情形,在有限资源和环保严格要求的制约下,经济的可持续发展对包括电网在内的电力工业的发展有着深刻的影响,由于大量用电负荷集中在远离一次能源基地的大城市和沿海经济发达地区,而煤炭运输紧张、运输燃料油价格的上升、港口吞吐量的不足及环境承受能力的制约,使得一些国家的能源传输需要大力发展大容量、远距离输电系统。

由于输电网稳定输电能力与输电电压的平方成正比,而单位输电功率的损耗与电压成反比,因此为了使输电系统具有高效使用输电走廊、稳定、安全、可靠和低损耗的经济技术特性,更大容量、更远距离的电力传输需要采用更高电压等级的输电系统。另外,为了解决电力密集地区电网短路电流过大的问题,也需要通过发展更高电压等级的电网,使得较低电压等级电网具备分区运行的条件,以减小电网的短路电流。由于电网建设成本的制约和断路器制造技术的限制,电力系统短路电流应控制在一定的水平。由于上述原因,从 20 世纪 60 年代末国外开始研究发展特高压输变电设备,并分别在 20 世纪 80 年代和 90 年代后期建成 1000kV 级特高压输电线路。

进入 21 世纪后,为了解决远距离输电问题,中国和印度相继规划建设由特高压交、直流输电线路组成的全国电网,在几个五年计划水平上提出了远景特高压输电的全国电网结构,并研究了特高压电网中的主要运行问题及其解决途径。建设特高压交、直流输电系统正成为一些国家大电网的发展趋势。

北美电网过去缺乏统一规划,没有形成合理的网架结构。在北美电网发生多次大停电事故后,美国政府开始筹划建立一个覆盖整个北美洲的新的庞大的电网,计划历时 10~50 年。对于未来的新电网,有些学者提出超级输能网络(Super Grid)的概念:将高温超导材料与能源物质兼冷却剂的液态氢结合使用,实现同时输送液态氢和电能。

欧洲电网通过互联,无论在地域上还是在容量规模上都在不断发展,西欧和中欧电网已形成交流同步互联电网。由于西、中欧电网是在各国发电能源和电力负荷基本自我平衡的基础上发展起来的,其互联电网电压等级仍维持 400kV。

【思考与练习】

1. 区域电网互联可以产生哪些经济效益?

2. 为什么在电网发展一百多年的历史中, 电网一直朝着逐步提高电压等级和逐步扩大互联电网规模的方向发展?

模块 2 特高压电压等级的选择 (TYBZ03701002)

【模块描述】本模块介绍选择特高压电压等级的基本原则和确定方法。通过要点归纳和列表说明, 掌握确定我国特高压交流电网电压等级为 1000kV 的原因。

【正文】

一、选择特高压电压等级的基本原则

电网新的更高电压等级的选择是一个长期电力发展规划问题。输电网新的更高电压等级系指在现有电网之上覆盖一个新的更高电压输电网的电压标称值。新的更高电压等级应满足投入之后 20~30 年大功率输电的需求。因此, 超高压—特高压电压等级的选择应从一个国家未来电网发展及管理体制进行规划和决策, 不能仅根据 1~2 项具体工程的需要做出决策。

超高压—特高压电压等级的决策应从现有超高压电网出发, 面向未来的输电需求进行综合分析。分析时, 应遵循以下基本原则:

- (1) 与所覆盖的地理区域范围、电力系统的规模相匹配的原则。
- (2) 与现有超高压电压等级的经济合理配合的原则。
- (3) 与电网的平均输电容量(能力)和输电距离相适应的原则。
- (4) 新的电压等级输变电设备从开发到可以用于工程的时间相协调的原则。
- (5) 特高压输电技术的可用性与输电需求相统一的原则。
- (6) 与新的发电技术相互促进的原则。

根据未来输电需求预测, 需要更高电压仅作为 1~2 项远距离输电工程的电压, 包括特高压交流和特高压直流, 则可考虑按经济成本进行不同方案比较, 以最经济方案和技术的可用性决定输电工程的电压等级。

二、确定电压等级的方法

通常按未来 20~30 年输电网不同的平均输送容量和不同的平均输电距离的要求, 以 1~2 个电压等级进行输电能力分析, 作出不同方案的每千瓦电力的输电成本曲线, 以各成本曲线的经济平衡点或平衡区决定更高电压标称值。各国在 345kV 和 500kV 以上的更高电压等级选择都经过广泛调查和分析比较, 并进行大量的计算才得出结论。一般认为: 对于 330 (345) kV 电网, 选用 750 (765) kV, 平均输送距离 300km 及以上; 对于 500kV 电网, 选用 1000 (1100) kV, 平均输送距离 500km 及以上。

经过大量的分析, 普遍认为超高压电网更高级电压标称值应高出现有电网最



高电压 1 倍及以上。这样,输电容量可提高 4 倍以上,不仅可与现有电网电压配合,而且为今后新的更高电压的发展留有合理的配合空间,能做到简化网络结构,减少重复容量,容易进行潮流控制,减少线路损耗,有利于电网安全运行。

研究表明:500kV 电网按 1.5~1.6 倍选用 750kV (或 765kV) 为更高电压等级是不可取的,因为对短距离输电而言,750kV 输电不如 500kV 合理,而对远距离输电,750kV 不如 1000kV 好。

根据超高压—特高压两个电压等级之比大于 2 倍的经济合理配合和新的更高电压等级的技术成熟时间,以及电力需求的发展要求,500kV 以上的特高压合理电压等级为 1000 (1100) kV,它的线路长距离稳定输电能力将是 500kV 线路的 4 倍以上。

特高压引入的时间指的是从现有超高压输电网开始形成到第一条特高压输电线路投入运行所需经历的时间。特高压输电引入的时间由输电需求和技术可行性决定。根据超高压输电不同电压等级的发展经验,1000kV 特高压输电的引入时间可用公式 $(1+X)^T \geq 4$ 估算,式中, X 为 T 年内平均尖峰负荷的增长率。由于特高压输电电网发展受多种因素影响,特高压引入的时间估算更倾向利用外推法推算。利用外推法估计特高压需求时间的基本思路是:现在超高压输电网是过去高压输电网的发展,是过去电力系统规划和决策的结果,其发展遵循一定的规律;分析输电从高压到超高压发展的主要因素及合理的经验,根据输电线输送的自然功率与电网尖峰负荷、最大电厂容量和最大单机容量的数量关系,估计特高压输电的引入时间。利用外推法需要预测电网尖峰负荷的增长,最大电厂容量和最大机组容量的投入时间。以预测的系统各参数的数量联系与以前输电从高压到超高压发展的实际进行比较和分析判断,确定特高压输电引入时间。

纳格尔 (T. J. Nagel) 等人,在美国电力公司 765kV 输电线 1969 年投入不久曾用此方法对 1500kV 特高压输电的需求作了预测,认为美国电力公司 1990 年前后需要 1500kV 特高压,并以此为依据开展了特高压技术试验研究。后来,美国电力公司因负荷增长缓慢,特大容量电厂和特大型机组未出现,特高压输电工程未按预期那样安排。表 TYBZ03701002-1 是他们用外推法估计特高压输电需求的系统参数。

表 TYBZ03701002-1

外推法所用系统参数及其比值

年份	输电电压 (kV)	输电线路 输电能力 (MW)	系统尖峰 负荷 (MW)	最大电厂 容量 (MW)	单机最大 容量 (MW)	系 统 比 值		
						(3) / (2)	(4) / (2)	(5) / (2)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			
1952	138 345	64 390	2899	614	154	45.3 7.43	9.59 1.57	2.41 0.39

续表

年份	输电电压 (kV)	输电线路 输电能力 (MW)	系统尖峰 负荷 (MW)	最大电厂 容量 (MW)	单机最大 容量 (MW)	系 统 比 值		
						(3) / (2)	(4) / (2)	(5) / (2)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			
1969	345	390	9844	1435	800	25.2	3.68	2.05
	765	2260				4.36	0.63	0.35
1973	765	2260	12 520	2900	1300	5.54	1.28	0.58
1982	765	2260	20 000	5200	1300	8.85	2.30	0.58
1990	765	2260	31 000	8000	2000	13.7	3.54	0.88
	150	9500				3.26	0.84	0.21

各国在特高压输电可行性研究时,对特高压引入时间进行了大量分析,从提高输电能力需求提出了特高压输电引入的时间。特高压输电引入的时间由输电需求和技术可行性决定。在输电需求方面,它主要由电网持续的每年尖峰负荷功率增长率进行估算。在电力系统规划时,通常需进行电网负荷电量预测。电量的年增长率与尖峰负荷增长率是不一致的,通常要比年电量增长率高。因此,在估算特高压引入时间时,需将负荷电量转换为尖峰负荷功率。如特高压电压值选 1000kV,它的长距离稳定输电能力与 500kV 输电相比可提高 4 倍以上。特高压输电的引入时间,就是尖峰负荷功率增长到 4 倍及以上的时间。考虑到特高压输电技术需经过实际线路的试运行完善,因此时间上要略微提前,当尖峰负荷增长接近 4 倍时,可考虑引入特高压。

如果用电负荷年均增长 7%~8%及以上,相当于尖峰负荷年均增长 8%以上,特高压输电引入的时间大约 15 年。如果用电负荷年均增长 5%~6%,特高压输电引入时间约为 20 年。

【思考与练习】

为什么说 500kV 以上的特高压合理电压等级为 1000kV 级?

模块 3 特高压电网发展的影响因素 (TYBZ03701003)

【模块描述】本模块介绍影响特高压电网发展的因素。通过要点归纳,掌握影响我国特高压电网发展的主要因素和发展特高压电网的必要性。

【正文】

一、负荷增长因素

特高压输电引入的时间由输电需求和技术可行性决定。在输电需求方面,它主要由电网持续的每年尖峰负荷功率增长率进行估算。在电力系统规划时,通常需进



行电网负荷电量预测。尖峰负荷增长率与年电量增长率是不一致的,通常要比年电量增长率高。因此,在估算特高电压引入时间时,需将负荷电量转换为尖峰负荷功率。如特高压电压值选 1000kV,它的长距离稳定输电能力与 500kV 输电相比可提高 4 倍以上。特高压输电的引入时间,就是尖峰负荷功率增长到 4 倍及以上的时间。考虑到特高压输电技术需经过实际线路的试运行完善,因此时间上要略微提前,当尖峰负荷增长接近 4 倍时,可考虑引入特高压。

二、发电机和发电厂规模经济性因素

不断增长的用电需求促进发电技术,包括火力、水力和核电发电技术向低单位千瓦造价、高效率的大型、特大型发电机组发展。美国第一台 300、500、1000、1150MW 和 1300MW 汽轮发电机组分别于 1955、1960、1965、1970 年和 1973 年投入运行。苏联第一台 300、500、800MW 和 1200MW 汽轮发电机组分别于 1963、1967、1971 年和 1980 年投入运行。随着技术不断进步,大型和特大型发电机组已从超高压机组发展到亚临界、超临界和超超临界机组,进一步降低了发电煤耗。

发电厂容量规模随大型和特大型机组的应用迅速增加,从而进一步降低电厂建设和运行成本。苏联对基于 800MW 机组的发电厂规模经济性进行过计算,得出如表 TYBZ03701003-1 所示的规模经济效益。大容量发电厂供电范围扩大和需要燃料的增加以及环保的要求,电厂厂址将会远离负荷中心在煤矿坑口、港口、道口建厂,并形成发电基地或电源中心,以低的电煤价格降低发电成本。根据环保的要求,在能源基地建发电厂,各厂应相距 50~100km,同时形成总容量 6000~10 000MW 的发电中心为宜。在 20 世纪 70~80 年代初,美国和苏联经历了电力需求增加较快的发展过程,曾规划和建设容量达 5000~10 000MW 的发电中心。核电站按规模经济建设 2000~6000MW 的发电中心。水力发电技术的发展促进远离负荷中心大型水电站及梯级电站建设,从而形成水力发电中心。从超高压—特高压各电压等级的输电能力可看出,大型和特大型机组及相应的大容量规模发电厂的建设更增加了对特高压输电的需求。

表 TYBZ03701003-1

燃煤发电厂规模经济性比较

发电厂容量 (MW)	3×800	4×800	6×800	8×800
每千瓦投资成本	1.0	0.95	0.88	0.85
每千瓦时运行成本	1.0	0.99	0.98	0.98

三、网损和短路电流水平因素

在电压等级不变的情况下,远距离输电意味着线路电能损耗的增加。当输送的功率给定时,提高输电电压等级,将降低输电线通过的电流,从而减少线路的有功

和无功功率损耗以及电能损耗。提高远距离输电能力，同时又降低输电线路的电能损耗是特高压输电的主要目标。

不同容量的发电厂按其电力流向应分层、分区接入不同电压等级的电网，以降低电网的短路电流水平。由于电网建设成本的制约和断路器制造技术的限制，电力系统短路电流应控制在一定的水平。由于特高压的引入，特大容量发电厂可直接接入特高压电网，此外，原有的超高压电网可分区运行。这样，可避免因发电厂直接接入超高压电网而造成的较高的短路电流水平，这是发展特高压电网的一个重要因素。

四、燃料、运输成本和发电能源的可用性因素

未来的燃料和运行成本以及各种燃料的可用性对电源的总体结构和各种发电电源在地域上的布局有重要影响。对于同一种燃料来说，运送燃料到负荷中心地区发电和在燃料产地发电，以远距离输电向负荷中心供电的经济比较是决定发电厂厂址的重要因素。只有燃料运输成本上升，运力受制约而使燃料的保证率变差，运送燃料不如输电的情况下，才能促进在燃料产地建设大容量规模发电厂，以特高压向负荷中心地区供电，否则将会出现在负荷中心地区建设大容量发电厂，因输电距离的缩短不用特高压而以较低的电压输送电能。

发电能源地理分布的不均衡性，使得各地电源和用电负荷不平衡。用电负荷中心地区，经济发展快，用电需求增长快，往往比较缺乏发电能源；而具有丰富发电能源，如矿物燃料、水电资源的地区用电增长相对慢或人均用电水平较低。这种电源和用电负荷的不平衡既由资源地理分布所决定，也是由社会经济发展的历史所形成的。加拿大、美国、俄罗斯、巴西和中国等国都存在这种不平衡情况。这种不平衡情况增加了远距离大容量输电和电网互联的需求。

远距离输电意味线路电能耗损的增加。当输送的功率确定时，提高输电电压，将减少输电线通过的电流，从而降低电能损耗。远距离输送大功率，降低输电电能损耗是推动特高压输电技术发展的重要动力。

五、生态环境因素

输电线路和变电站的生态环境影响主要表现在土地的利用、通信干扰、可能出现的可听噪声、电磁场对生态的相互作用。在地区电力负荷密度小、输电线路和变电站数量少的年代，生态环境没有成为人们关注的问题。当输电线和变电站随用电增加而增多时，不充分重视减少输电线和变电站对生态环境的影响，环境问题就可能成为输电电网发展的突出问题。特高压输电由于其输送功率大，可大大减少土地占用。但特高压输电的电磁场对生态环境的影响以及电晕产生的干扰问题已受到社会关注。这是发展特高压输电需深入研究和解决的问题。解决问题的目标是既满足未来预期的电力增长需求又使其对生态环境影响最小。