



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

“三华” 同步电网知识手册

国家电网公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

“三华” 同步电网知识手册

国家电网公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

“三华”同步电网知识手册 / 国家电网公司编. —北京:
中国电力出版社, 2011.6

ISBN 978-7-5123-1772-7

I. ①三… II. ①国… III. ①超高压电网—手册

IV. ①TM727-62

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第104853号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

*

2011年6月第一版 2012年4月北京第三次印刷

880毫米×1230毫米 32开本 2印张 34千字

定价6.50元

版权专有 翻印必究

自2004年底以来，国家电网公司上下艰苦奋斗，相继成功建设了特高压交、直流示范工程，有力地服务经济社会发展，在世界电网科技领域实现了“中国创造”和“中国引领”。2011年，第十一届全国人民代表大会第四次会议审议通过的《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》（以下简称《纲要》），明确提出推动能源生产和利用方式变革，并将建设特高压输电工程、智能电网全面纳入国家发展战略。根据《纲要》，公司规划建设“三华”（华北、华中、华东）、西北、东北三大同步电网，将使国家电网的资源配置能力、经济运行效率、安全水平、科技水平和智能化水平得到全面提升。

为普及“三华”同步电网知识，坚定建设特高压和坚强智能电网的信心和决心，加快推进电网发展方式转变，公司组织有关单位和专家编写了《“三华”同步电网知识手册》，供干部员工学习交流。

编者

二〇一二年四月

前言

第一篇 特高压电网基本知识 01

1. 电能生产、输送和消费的主要特点是什么? 02
2. 什么是电网? 什么是电力系统? 02
3. 输电电压的电压等级如何划分?
 特高压是怎样定义的? 02
4. 什么是电网的输电能力? 03
5. 什么是自然功率? 我国常用的不同输电电压等级
 电力线路的自然功率是多少? 03
6. 为什么远距离输电必须要提高电压等级? 04
7. 电网电压等级是怎样确定的? 05
8. 国内外电网电压等级的发展情况如何? 05
9. 国外开展特高压输电的情况如何? 07
10. 我国特高压技术的发展历程是怎样的? 08
11. 特高压交流输电和直流输电的功能定位是什么? .. 09
12. 为什么特高压输电能够节约输电走廊? 10

13. 交、直流输电技术的经济适用范围是如何划分的? ..10
14. 依靠直流输电能否解决我国未来远距离、大容量输电问题? 11
15. 特高压输电线路的电磁环境是否符合国家标准? ..12
16. 采用特高压输电对改善生态环境有什么好处? ..13
17. 什么是特高压同步电网? 14
18. 同步电网有哪些优越性? 14
19. 国外发展大型同步电网有哪些实践经验? 15
20. 我国发展特高压电网的必要性有哪些? 15

第二篇 我国特高压输电技术的创新成果 17

21. 晋东南—南阳—荆门1000千伏特高压交流试验示范工程的运行情况如何? 18
22. 晋东南—南阳—荆门1000千伏特高压交流试验示范工程创造了哪些世界第一? 18
23. 晋东南—南阳—荆门1000千伏特高压交流试验示范工程扩建情况如何? 20
24. 向家坝—上海±800千伏特高压直流输电示范工程的运行情况如何? 21
25. 发展特高压输电对提升我国的科技实力有哪些重要作用? 22
26. 我国特高压关键技术研究在哪些方面实现了突破? 22
27. 我国哪些特高压关键设备实现了自主研发? ... 23
28. 为什么说特高压创新实践使我国电工装备制造业实现了跨越式发展? 24

29. 特高压工程实践如何提升我国电工制造业的国际竞争力?	25
30. 国家电网公司建成了哪些特高压试验基地和研究中心?	26
31. 我国在特高压技术标准体系建设中取得了哪些成就?	27
32. 特高压技术在哪些方面实现了持续创新?	28
33. 国际上对我国特高压输电技术是如何评价的? ...	30

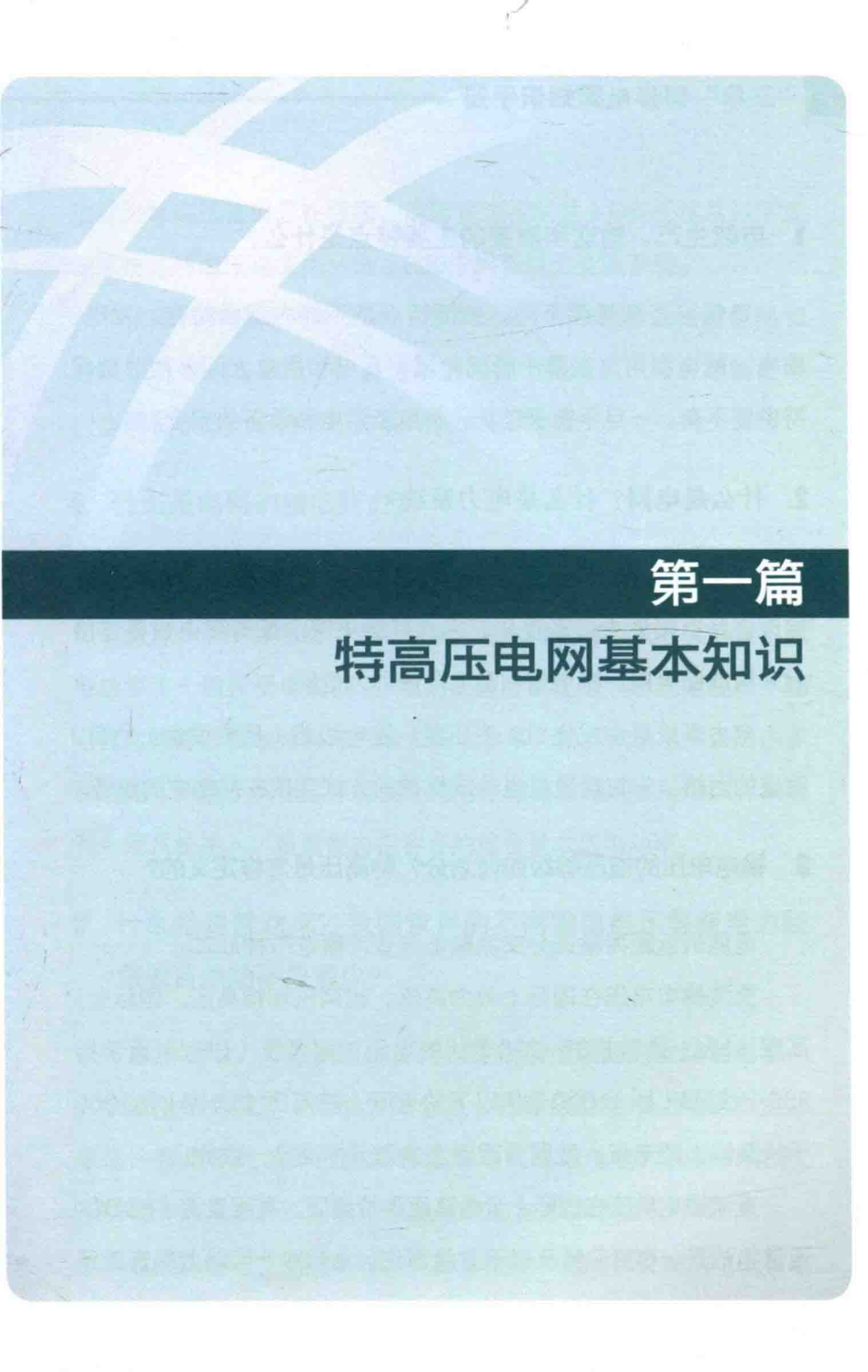
第三篇 建设“三华”同步电网的必要性 31

34. 我国目前同步电网的基本格局是什么?	32
35. 我国未来10年电力需求有多大规模, 负荷发展的重心在哪里?	33
36. 我国能源及电力流动的特点是什么?	33
37. 构建特高压同步电网的战略构想是如何提出的? ..	34
38. 什么是“三华”同步电网? 到2020年预计规模有多大?	35
39. 如何看待输煤和输电的关系?	35
40. 为什么说建设“三华”同步电网可以从根本上解决我国煤电运矛盾?	38
41. 依靠现有的500千伏输电技术能否满足未来电力发展需要?	39
42. 与现有500千伏输电技术相比, 特高压输电的能力如何?	40
43. 2015年, “三华”同步电网包括哪些交流输电项目?	40

44. 国家电网公司“十二五”期间规划建设哪些特高压直流工程?	41
45. “三华”同步电网的联网效益如何?	42
46. 为什么大规模发展风电需要建设“三华”同步电网?	42
47. 建设“三华”同步电网的社会效益和经济效益如何?	43

第四篇 “三华”同步电网的安全性

48. 电力系统的安全性是指什么? 安全分析包括哪些内容?	46
49. 电力系统的稳定性是指什么? 可分为哪几种? ..	46
50. 《电力系统安全稳定导则》规定的各级稳定标准是什么?	47
51. 怎样评估特高压电网的安全性? 目前的仿真计算规模有多大?	48
52. 为什么说“三华”同步电网的安全性是可以保证的?	49
53. 为什么“三华”同步电网是我国未来电网发展的必然选择?	50
54. “三华”同步电网是否符合分层分区的电网构建原则?	52
55. 是不是同步电网规模愈大愈不安全?	53
56. 直流联网是否可以隔离交流系统区域电网间的故障传播?	55
57. 发展特高压能否提高电网应对自然灾害的能力?	56



第一篇

特高压电网基本知识

1. 电能生产、输送和消费的主要特点是什么？

电能与其他能源不同，主要特点是不能大规模储存，发电、输电、配电和用电在同一瞬间完成；发电和用电之间必须时刻保持供需平衡，一旦平衡被破坏，将危及用电和设备的安全。

2. 什么是电网？什么是电力系统？

电能的输送由升压变压器、降压变压器及其相连的输电线路完成。所有输变电设备连接起来构成输电网。所有配电设备连接起来构成配电网。输电网和配电网统称为电网。

电力系统是由发电机、变压器、输电线路、用电设备（负荷）组成的网络，它包括通过电的或机械的方式连接在网络中的设备。

3. 输电电压的电压等级如何划分？特高压是怎样定义的？

电能的远距离输送分交流输电与直流输电两种形式。

交流输电电压在国际上分为高压、超高压和特高压。国际上，高压（HV）通常指35~220千伏的电压；超高压（EHV）通常指330千伏及以上、1000千伏以下的电压；特高压（UHV）指1000千伏及以上的电压。我国与国际上的划分标准是一致的。

直流输电电压在国际上分为高压和特高压。高压直流（HVDC）通常指的是 ± 600 千伏及以下直流系统， ± 600 千伏以上的直流系

统称为特高压直流。在我国，高压直流指的是 ± 660 千伏及以下直流系统，特高压直流指的是 ± 800 千伏及以上直流系统。

我国特高压电网建成后，将形成以1000千伏交流输电网和 ± 1100 千伏、 ± 800 千伏直流系统为骨干网架的、与各级输配电网协调发展的、结构清晰的现代化大电网。

4. 什么是电网的输电能力？

电网的输电能力是指在电力系统中从一个局部系统（或发电厂）到另一个局部系统（或变电站）之间的输电系统容许的最大送电功率（一般按受电端计）。如果该输电系统是一回送电线路，输电能力即等于该线路容许的最大送电功率；如果该输电系统是由多回线路（包括不同电压等级或不同导线截面的线路）所组成，或者有中间系统接入，输电能力指容许的综合最大送电功率。

5. 什么是自然功率？我国常用的不同输电电压等级电力线路的自然功率是多少？

自然功率，又称波阻抗负荷，是指输电线路的受端每相接入一个波阻抗负荷 Z_c （近似为纯电阻）时输送的功率。输送自然功率是一种用于比较不同电压等级输电线路输电能力和分析电压、无功调节的方法。不同输电电压等级的自然功率如表1所示。

当线路输送自然功率时，有如下特性：送端和受端的电压和电

流间相位相同，功率因数没有变化，沿线路电压和电流幅值不变。
线路电抗的无功损耗基本等于线路电纳（线路电容）所产生的无功。

当线路输送功率大于自然功率时，线路电抗的无功损耗大于线路电纳（线路电容）所产生的无功，一般导致线路受端电压幅值低于送端电压幅值。

当线路输送功率小于自然功率时，线路电抗的无功损耗小于线路电纳（线路电容）所产生的无功，一般导致线路受端电压幅值高于送端电压幅值。

表1 不同输电电压等级的自然功率

输电电压（千伏）	110	220	330	500	750	1000
自然功率（兆瓦）	34	166	354	960	2237	4369

6. 为什么远距离输电必须要提高电压等级？

远距离输电线路的输电能力近似与电网电压的平方成正比，与线路的阻抗成反比；而线路损耗与线路电阻乘以线路电流平方成正比；线路电阻则随线路距离增加而增加，即输电线路越长，电阻越大。在输送容量一定时，电压提高，电流降低，线路损耗随之降低。如同塔双回特高压线路送电1000万千瓦、输电距离1000千米时，线损率仅为3.5%；如果采用4组同塔双回紧凑型500千伏输电线路，线损率将达到8.3%。特高压输电线路比500

千伏输电线路损率降低约58%。因此，实现大容量、远距离、低损耗输电必须要提高电压等级。

7. 电网电压等级是怎样确定的？

电网最高运行电压一般都会经历从低到高的发展过程。理论上，输电线路的输电能力与输电电压的平方成正比，输电电压提高1倍，输送功率的能力将提高至4倍。电网的发展历史表明，各国在选择更高一级电压时，通常使相邻两个输电电压之比大于或等于2，多数是大于2，这样可使输电网的输送能力提升4倍以上。实践证明，以这样的电压级差构成的电网，可以简化网络结构，减少重复容量，便于潮流控制，降低线路损耗，适于电网的发展和服务区域范围的扩大。

我国已形成合理的交流输电电压等级序列：110千伏—220千伏—500千伏—1000千伏（西北地区为110千伏—330千伏—750千伏）。

8. 国内外电网电压等级的发展情况如何？

为了提高输电的经济性能，满足大容量和远距离输电的需求，电网的电压等级不断提高。自1891年世界第一条13.8千伏输电线路建成使用以来，逐步发展到高压20、35、66、110、134、220、230千伏；20世纪50年代后迅速向超高压330、345、380、

400、500、735、750、765千伏发展；20世纪60年代末，开始进行1000千伏（1100、1150千伏）和1500千伏电压等级特高压输电工程的可行性和特高压输电技术的研发。

1908年，美国建成了110千伏输电线路，1923年又建成了第一条230千伏输电线路；1952年，瑞典建成第一条380千伏超高压线路；1954年，美国建成第一条345千伏输电线路；1965年，加拿大建成第一条735千伏输电线路；1969年，美国建成765千伏输电线路；1985年，苏联建成第一条1150千伏特高压输电线路。

我国电网主要是在新中国成立后发展起来的。1952年自主建设了110千伏输电线路，逐渐形成京津唐110千伏输电网。1954年，建成丰满—李石寨220千伏输电线路，逐渐形成东北220千伏骨干网架。1972年，建成330千伏刘家峡—关中输电线路，全长534千米，逐渐形成西北330千伏骨干网架。1981年，建成500千伏姚孟—武昌输电线路，全长595千米，逐步形成华中500千伏骨干网架。1989年，建成 ± 500 千伏葛洲坝—上海高压直流输电线路，实现了华中—华东两大区的直流联网。2005年，在西北电网建成第一条750千伏输电线路。2008年，建成晋东南—南阳—荆门1000千伏特高压交流试验示范工程。2010年，建成 ± 800 千伏云南—广东（500万千瓦级）、向家坝—上海（700万千瓦级） ± 800 千伏特高压直流输电示范工程，成为目前世界上交直流运行电压等级最高的国家。

9. 国外开展特高压输电的情况如何?

特高压交流输电技术的研究始于20世纪60年代末。美国、苏联、意大利、加拿大、德国、日本、瑞典等国家均根据本国的经济增长和电力需求制定了发展特高压的计划。美国、苏联、日本、意大利还建设了特高压试验站和试验线段，专门研究特高压输变电技术及相关输变电设备。

苏联从20世纪70年代末开始建设1150千伏输电工程。1985年建成埃基巴斯图兹—科克切塔夫—库斯坦奈特高压1150千伏线路，全长900千米，累计运行时间约5年。在1991年，由于苏联解体和经济衰退，电力需求明显不足，导致特高压线路降压至500千伏运行。

日本是世界上第二个建成特高压工程的国家。1973年开始研究特高压输电；1993年建成柏崎刈羽—西群马—东山梨1000千伏线路，全长190千米；1999年建成西群马—福岛核电站1000千伏线路，全长240千米。目前已建成全长426千米的东京外环特高压输电线路。线路建成后，由于电力需求增长减缓，核电建设计划推迟，截至日前仍按500千伏降压运行。

2008年8月，国际电工委员会（IEC）将高压直流技术委员会秘书处设在国家电网公司。2008年10月，在日内瓦召开的国际电工委员会（IEC）/国际大电网委员会（CIGRE）特高压联合工作组第三

次会议上，将我国的特高压交流标准电压确定为国际标准电压。

10. 我国特高压技术的发展历程是怎样的？

我国早在20年前就开始了特高压研究。1986~1990年特高压输电前期研究被列为国家攻关项目；1990~1995年国务院重大技术装备领导小组办公室开展了远距离输电方式和电压等级论证；1990~1999年国家科学技术委员会就特高压输电前期论证和采用交流百万伏特高压输电的可行性等专题进行了研究。2004年前，我国共完成特高压研究项目37项。

发展特高压是国务院作出的重大战略决策。2005年以来，在国家的统一组织下，建立了以政府为主导、企业为主体、产学研联合、社会各方面共同参与的特高压工作体系。国家电网公司依靠自主创新，联合各方力量，全面开展了特高压研究论证、科技攻关、规划设计、设备研制和建设运行等工作。先后有包括30多位院士在内的3000多名科研和工程技术人员，以及国内外11家机构和组织参与了特高压论证，召开了240多次重要专题论证会；国内主要电力科研、设计单位和9所大学参与了特高压研究设计；500多家建设单位、10多万人参加了特高压工程建设；200多家设备厂商参与了设备研制和供货。经过几年来的全力攻坚，实现了特高压技术的重大突破，全面掌握了特高压核心技术和全套设备制造能力，在世界电网科技领域实现了“中国创造”和“中国引领”。

晋东南—南阳—荆门1000千伏特高压交流试验示范工程于2009年1月6日投产，已安全运行超过39个月，设备国产化率超过90%。向家坝—上海±800千伏特高压直流输电示范工程于2010年7月8日投产，已安全运行超过21个月，设备国产化率达到67%。特高压交流、直流示范工程的成功建设和运行，全面验证了特高压的技术可行性、系统安全性、设备可靠性、工程经济性和环境友好性。依托工程实践，我国已全面自主掌握了特高压输电核心技术、具备了大规模工业应用的条件。

2011年，第十一届全国人民代表大会第四次会议审议通过的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》明确提出：“发展特高压等大容量、高效率、远距离先进输电技术”，“形成若干条采用先进特高压技术的跨区域输电通道”。发展特高压成为国家战略，上升为国家意志。

11. 特高压交流输电和直流输电的功能定位是什么？

交流输电和直流输电的功能和特点各不相同。交流具有输电和构建网架的双重功能，类似“高速公路网”，中间可以落点，电力的接入、传输和消纳十分灵活，是电网安全运行的基础；交流电压等级越高，电网结构越强，输送能力越大。直流只具有输电功能，不能形成网络，类似“直达航班”，中间不能落点，适用于大容量、远距离输电；多馈入、大容量直流输电必须有稳定