



浅谈特高压输变电

马 平

电能是表示电流做多少功的物理量。电能的一个重要特性是不能简单储存，所以就要求从发电厂发出的电能，通过输电线路立刻送到各个用电地区。根据输送电能距离的远近，采用不同的电压。从我国现在的电力情况来看，送电距离在 15~20 千米时通常采用 10 千伏输电；送电距离在 50 千米左右采用 35 千伏输电；送电距离在 100 千米左右时采用 110 千伏输电；送电距离在 200~300 千米时采用 220 千伏的电压输电；输送距离 300 千米以上需要采用更高的电压。输电电压在 110 千伏、220 千伏的线路，称为高压输电线路，输电电压在 330~750 千伏的线路，称为超高压输电线路，而输电电压在 1000 千伏左右的线路，则称为特高压输电线路。特高压输电是目前电力生产的先进技术，对我国国民经济的发展起着重要的作用。

一、特高压输电的基本原理

远距离输电过程中的最大问题就是功率损耗，因此要想实现远距离输电，关键是要解决功率损耗问题。

首先，由焦耳定律可知，输电线上的功率损耗与电流的平方成正比，若能减小输电线中的电流强度，即可降低功率损耗。

其次，输电要用导线，导线必然有电阻。如果导线很短，电阻很小可忽略，当远距离输电时，导线很长，电阻就变得很大。因此，输电线的发热问题就必须考虑。如何减小导线发热呢？根据焦耳定律，影响导线发热的因素有输电时间 t 、输电线电阻 R 和输电电流 I 。显然，输电时间和输电线电阻是不可能减小的。所以必须通过减小输电电流来减少导线的发热。

综上所述，要减小电能的损失，必须减小输电电流，但是，输电就是要输送电能，输送的功率必须足够大，才有实际意义。发电厂发电机组的发电能力是恒定的，故其发出的电功率也是一定的。根据公式 $P=UI$ ，要使输电电流 I 减小，而输送功率 P 不变，就必须提高输电电压 U 。所以在远距离输电

时，可以利用大型电力变压器升高电压以减小电流，如果线路中电流降低到原来的 $1/2$ ，那么线路中损失的功率就减少为原损耗的 $1/4$ 。因此提高电压可以很有效地降低线路中的功率损失。由于输电过程中的电能损耗与输送距离有关，所以输电距离越远，输电电压就越高。

二、特高压输电的重要经济意义

我国地域辽阔，特高压输电的建设在国家的经济发展中有着重要的作用。

1. 特高压输电可以提高输送容量。例如：单回线路 1000kV 特高压输电线路的自然功率接近 500 万千瓦，约为 500kV 超高压输电线路的五倍； ± 800 （ ± 800 ：指的是对于 0 电压来说可能是正 800 伏也可能是负 800 伏电压）直流特高压输电能力可达到 640 万千瓦，是 ± 500 超高压直流的 2.1 倍，是 ± 640 超高压直流的 1.7 倍。

2. 特高压输电可以缩短电气距离，提高稳定极限。例如：1000kV 特高压输电线路的电气距离相当于同长度 500kV 超高压线路的四分之一到五分之一；也就是在输送相同功率的情况下，1000kV 特高压输电线路的最远距离约是 500kV 超高压线路的四倍。采用 ± 800 直流特高压使超远距离输电成为可能，经济输电距离可以达到 2500km 以上。

3. 特高压输电可以极大地减低线路损耗。例如：1000kV 特高压交流输电线路的电阻损耗是 500kV 交流线路电阻损耗的四分之一； ± 800 特高压直流输电线路的电阻损耗是 ± 500 超高压直流输电线路电阻损耗的 39%，是 ± 640 超高压直流的输电线路电阻损耗的 60%。

4. 特高压输电可以减低基建工程投资。例如：1000kV 特高压交流输电线路单位输送容量综合造价约为 500kV 输电线路的四分之三。 ± 800 特高压直流输电线路单位输送容量综合造价约是 ± 500 超高压直流输电线路的四分之三。

5. 特高压输电可以提高单位走廊输电能力（输电线路走廊描述的是沿着架空电力线路自然形成的

符合技术规格的通道空间，也即：架空电力线路保护区。单位走廊输电能力即：电力线路通道单位空间的输电量），节省走廊面积。例如：交流特高压输电线路中同塔双回（同塔双回是同一输电铁塔上有两条线路可以传输电力。正常运行时是一条线路正常运行另一条线备用线路，是不运行的。当正常运行线路发生意外的故障时，就会停止工作，不会再传输电力了。用电的用户就会被迫停电。这种情况一发生，另一条线备用线路马上开始运行传输电力，不会影响用户正常的用电，同下述的单回路对应）和猫头塔单回线路（按杆塔结构形式划分：上字型塔、干字型塔、鼓型塔、酒杯塔、门型塔、猫头塔、拉线塔、拉门塔、悬索塔等。猫头塔是杆塔的一种结构，其中相导线高于边导线，因此导线间的水平距离减小，断线时受力性好，同时耗材也少）的走廊宽度分别为 75 米和 81 米，单位走廊输电能力为 13.3 万千瓦/米和 6.2 万千瓦/米，约为同类型 500kV 线路的 3 倍。

6. 特高压输电可以改善电网结构，降低短路电流。短路电流是电力系统在运行中，相与相之间或相与地或中性线之间发生非正常连接时流过的电流。其值可远远大于额定电流，取决于短路点距电源的电气距离。例如，在发电机端发生短路时，流过发电机的短路电流最大瞬时值可达额定电流的 10~15 倍。大容量电力系统中，短路电流可达数万千瓦。这会对电力系统的正常运行造成严重影响和后果。通过特高压实现长距离送电，可以减少在负荷中心地区装设机组的需求，从而降低短路电流幅值。例如：长距离输送 1000 万千瓦电力，相当于减少本地装机 17 台 60 万千瓦机组。每台 60 万千瓦机组对其附近区域 500kV 系统的短路电流约增加 1.8kA，如果这些机组均设在负荷中心地区，对当地电网的短路电流水平有较大影响。

通过特高压，实现分层分局布局，可以优化包括超高压系统在内的系统结构，从根本上解决短路电流的超标问题。

7. 特高压输电可以加强联网能力。通过交流特高压同步联网，可以大幅度缩短电网间的电气距离，提高稳定水平，发挥大同步电网的各项综合效益。通过直流特高压异步联网，满足长距离、大容量输电的要求，沿线不需要提供电源支持。

通过特高压联网，增强网络功率交换能力，可

以在更大范围内优化能源资源配置方式。

三、世界上特高压输电的应用

美国、俄罗斯、日本和意大利都建成了交流特高压试验线路，进行了大量的交流特高压输电技术研究和试验，最终俄罗斯和日本建设了交流特高压线路，走在了世界各国的最前沿。

1. 俄罗斯：从 1981 年开始开工建设 1150kV 交流特高压线路，分别是埃基巴斯图兹-科克契塔夫 494 千米，科克契塔夫-库斯坦奈 396 千米。1985 年 8 月，世界上第一条 1150 kV 线路埃基巴斯图兹-科克契塔夫在额定工作电压下带负荷运行，后延伸至库斯坦奈。在此期间，埃基巴斯图兹-科克契塔夫线路段及两端变电设备在额定工作电压下运行时间达到 23787 小时，科克契塔夫-库斯坦奈线路段及库斯坦奈变电站设备在额定工作电压下运行时间达到 11379 小时。从 1981 年到 1989 年，前苏联还陆续建成特高压线路 1500 千米，总体规模达到 2400 千米。

2. 日本：1988 年秋开工建设 1000 kV 特高压线路。1992 年 4 月 28 日建成从西群马开关站到东山梨变电站的西群马干线 138 千米线路，1993 年 10 月建成从柏崎刈羽核电站到西群马开关站的南新泻干线中 49 千米的特高压线路部分，两段特高压线路全长 187 千米。1999 年完成东西走廊从南磐城开关站到东群马开关站的南磐城干线 194 千米和从东群马开关站到西群马开关站的东群马干线 44 千米的建设，两段特高压线路全长 238 千米，目前日本共建成特高压线路 426 千米。

四、我国特高压输电走在了世界前列

2006 年 8 月，国家发展改革委员会正式核准了晋东南经南阳至荆门特高压交流试验示范工程。据国家电网公司报道，该特高压线路，全长 654 千米，申报造价 58.57 亿元，动态投资 200 亿元。起于山西省长治变电站，经河南省南阳开关站，止于湖北省荆门变电站，联接华北、华中电网。2006 年 8 月 19 日~26 日，特高压试验工程分别在山西长治、河南南阳和湖北荆门三地奠基。2008 年 12 月全面竣工，12 月 30 日完成系统调试投入试运行，2009 年 1 月 6 日 22 时完成 168 小时试运行并投入商业运行。标志着我国的特高压输变电有了突破性进展，已经走在了世界前列。

在特高压研发和应用的过程中，我国做了 2020 年前后的总体规划，规划中指出国家电网交流特高

压系统要形成以华北、华中、华东为核心，连结我们各大区域电网。同时将各煤电基地、水电基地和主要负荷中心建立起坚强的电网结构。蒙西、陕北、晋东南、内蒙古锡盟地区、宁夏煤电基地都将以交流特高压分散接入南北方向多条特高压输电线路。四川水电的部分容量通过东西方向的交流特高压输送到华中和华东地区。届时，预计特高压及跨区电网的输电量将达到 2.1 亿千瓦，其中直流输电将达

到 5600 万千瓦，另外 1.5 亿千瓦将由交流输电线路完成。从投资上看，到 2020 年我国对特高压电网投入将达到 4 千多亿元。

综上，特高压电网大发展的序曲已经奏响，特高压建设的春天已经到来。经过努力，特高压输电将在国家的经济建设中发挥更大的作用，更加惠国利民。

（北京兴竹同智信息技术有限公司 100085）



封面照片说明

2012 年 8 月 6 日，“好奇号”火星探测器顺利进入飞往成功降落在火星的轨道表面。该探测器是 2011 年 11 月 26 日发射的，被认为其重要性与哈勃太空望远镜相当。

“好奇”号重量超过 900 千克，动力由一块核电池提供。该系统主要包括：一个装填钚 238 氧化物的热源和一组固体热电偶，可以将钚 238 产生的热能转化为电力。系统设计使用寿命为 14 年，足以为“好奇”号上同时运转的诸多仪器提供充足能量。“好奇”号可以利用机械臂末端的钻头钻入岩石内部取样，并将在火星上首次使用 X 射线衍射技术分析样本。“好奇”号的设计行程将超过 19 千米，设计寿命为一个火星年，也就是大约 687 个地球日，或者 669 个火星日。

从没有哪一个火星探测器像“好奇号”火星探测器这样吸引大众的关注，目前她已成为炙手可热的“网络红人”，拥有全球超过二十多万的粉丝且人数不断上升。该项目飞行主管托斯滕·左恩在接受采访时无不动情的说：“‘好奇’号已燃起全世界探索火星的兴趣，她富有人性，对于我们来说，她就像自己的孩子。”

“好奇”号火星探测器将利用携带的多种仪器对火星进行一系列的科学探索，相信这颗红色星球神秘的面纱正被渐渐撩开。

“好奇”号上的科学设备：

1. 桅杆相机

负责拍摄火星地貌的高解析度彩色照片和视频，供科学家进行分析。

2. 火星手持透镜成像仪

其功能相当于一个超级放大镜，使地球上的科学家更细致地观察火星上的岩石和土壤。

3. 火星降落成像仪

负责拍摄“好奇”号降落火星地面过程的影像。

4. 火星样本分析仪

这是“好奇”号的“心脏”，由质谱仪、气相色谱仪和激光分光计构成。

5. 化学与矿物学分析仪

该仪器可用于确定火星上的矿物类型和数量，并进一步了解这颗红色星球过去的环境。

6. 化学与摄像机仪器

可以向 9 米外的火星岩石发射激光，使其蒸发，而后分析蒸发的岩石成分。

7. 阿尔法粒子 X 射线分光计

负责测量火星岩石和泥土中不同化学元素的数量。届时，“好奇”号将让它与样本接触，通过发射 X 射线和氦核进行分析。

8. 中子反照率动态探测器

将帮助火星车寻找火星地下的冰和含水矿物质。

9. 辐射评估探测器

负责测量和确定火星上所有类型的高能辐射，包括快速移动的质子和伽玛射线，帮助准备未来的火星探索任务。

10. 火星车环境监测站

负责测量大气压、湿度、风速和风向、空气温度、地面温度以及紫外辐射，帮助科学家详细了解火星环境。

李之/供稿