

下一代 PON 技术发展及现状

石永辉¹, 卢 锐²

(1. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 北京 102206; 2. 中国电力科学研究院, 北京 100912)

摘要:随着高宽带业务的出现,用户对于接入带宽的需求逐渐增加,推动了传统 PON 技术向下一代 PON 技术的发展。下一代 PON 技术主要包括 10 G EPON、10 G GPON 和 WDM-PON。文章对于下一代 PON 技术的发展、主要性能、特点等作了简要的介绍,而对 10 G EPON 和 10 G GPON 的标准、技术特点及发展现状进行了详细的阐述,并将传统的 PON 技术和下一代 PON 技术进行了对比。下一代 PON 技术继承了传统 PON 技术的优点并在此基础上做了技术扩展,更能适应光接入技术发展的步伐,满足人们对于带宽不断增长的需求,在光接入网络中将具有更加广阔的前景。

关键词:10 G EPON; 10 G GPON; WDM-PON; 应用现状

中图分类号: TN915.0

文献标志码: B

文章编号: 1005-7641(2011)03-0039-06

0 引言

光接入技术主要为 PON(Passive Optical Network, 无源光网络), 由于诸多优点受到人们的青睐, 技术也趋于成熟。但随着技术的发展和业务量的增加, 人们对于视频点播、网络游戏、交互式 IPTV 的要求越来越高, 传统的 PON 技术已不能满足人们的需求, 具体表现在以下两个方面^[1]。

1) 带宽能力。当前 EPON(Ethernet Passive Optical Network, 以太网无源光网络) 和 GPON(Gigabit Passive Optical Network, 千兆无源光网络) 分别可以提供大约 1 G 和 2.4 G 的下行带宽, 随着业务量的增大, 人们对网络依赖程度的增高, 对于高带宽的要求也越来越高, 现有的带宽根本无法满足人们的需求。

2) 分光比。目前 PON 的分光比只有 32~64, 当接入用户数量密集时, 会增大分光比, 分光比增大 1 倍, 光分路器的插入损耗就会增加 3.5 dB, 因此, 支持高分光比的 PON 也需要更大的光功率预算范围(目前 EPON 和 GPON 分别支持 24 dB 和 28 dB)。

由上面的分析可以看出, 传统的 EPON 和 GPON 技术在系统性能上都存在提升的需求。

光接入技术应朝着更高带宽、更大分光比、更合理的性价比、更远距离等方面发展。在这些需求的驱动下, 出现了下一代 PON 技术。

文章从标准、技术特点、应用现状等方面对下一代 PON 技术开展了研究, 分析了下一代 PON 的主要技术, 讨论了下一代 PON 与传统 PON 的相同与不同之处, 指出下一代 PON 的应用前景。

1 下一代 PON 技术综述

传统的 PON 技术主要包括 1 G EPON 和 GPON。1 G EPON 的上下行带宽均为 1 G, 标准为 IEEE 802.3ah, 标准定义的分光比最大为 1:32, 采用 8B/10B 编码。10 G GPON 上行带宽为 1.25 G, 下行带宽为 2.5 G, 标准为 G.984.X, 标准定义的分光比最大为 1:128, 编码方式采用 NRB。

下一代 PON 技术在传统 PON 技术的基础上做了技术扩展, 以满足人们对于带宽、分光比、传输距离等方面的需求。

下一代 PON 技术主要包括 10 G EPON、10 G GPON 和 WDM-PON 技术。下面将对这 3 个方面进行介绍。

1.1 10 G EPON

10 G EPON 在系统组成上与 1 G EPON 相同。但需采用支持 10 G 速率的光线路终端(OLT,

Optical Line Termination)、光网络单元(ONU, Optical Network Unit)和光分配网络(ODN, Optical Distribution Network)。10 G EPON在系统结构上仍然延续1 G EPON的典型拓扑结构,如图1所示。

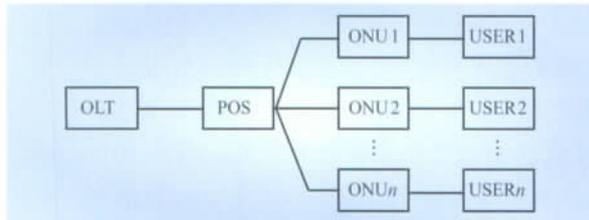


图1 EPON典型拓扑结构
Fig.1 EPON typical topologies

10 G EPON相对于1 G EPON,主要的不同是带宽的提高。1 G EPON的上下行带宽均为1 G,而IEEE提出了10 G EPON标准,并将其分为2种模式,第1种为对称模式,上下行均为10 G;第2种为非对称模式,上行为1 G,下行为10 G。

10 G EPON在设定和规划时秉承兼容1 G EPON的原则,所以10 G EPON并没有对1 G EPON做太大的改变,只是对EPON的MPCP(Multiple Point Control Protocol,多点控制协议)协议(IEEE 802.3)进行扩展,增加了10 Gbit/s能力的通告与协商机制。由于兼容,所以只要把1 G EPON OLT升级为10 G EPON OLT,1 G EPON ONU更换为10 G EPON ONU,1 G EPON ONU仍然可以在10 G EPON OLT下继续使用,从而实现1 G EPON到10 G EPON的平滑升级^[2]。10 G EPON和1 G EPON的ONU可以共用一个ODN,可以发现10 G/10 G、10 G/1 G和1 G/1 G共存,这样方便1 G EPON用户升级,并且可以最大限度地保护运营商。

10 G EPON标准规定了更高的链路光功率预算,除定义了与EPON相同的20 dB和24 dB外,还根据实际组网的需要,定义了29 dB的光信道插入损耗。10 G EPON标准针对非对称和对称传输速率各定义了3类功率预算:①非对称(10 G/1 G):PRX10;PRX20;PRX30。②对称(10 G/10 G):PR10;PR20;PR30。

在波长规划方面,10 G EPON没有使用1 G EPON系统所使用的1 490 nm的下行波长,同时

避开模拟视频波长(1 550 nm)和OTDR测试波长(1 600~1 650 nm),IEEE 802.3av标准选择1 577 nm作为10 Gbit/s下行信号的波长(波长范围1 574~1 580 nm)。因此,在下行方向,10 Gbit/s信号与1 Gbit/s信号为WDM方式。而上行方向,1 Gbit/s信号的波长是1 310 nm(1 260~1 360 nm),IEEE 802.3av标准规定10 Gbit/s信号的上行波长是1 270 nm(1 260~1 280 nm),二者有重叠,因此,只能采用双速率TDMA方式,10 G EPON的波长规则如图2所示。

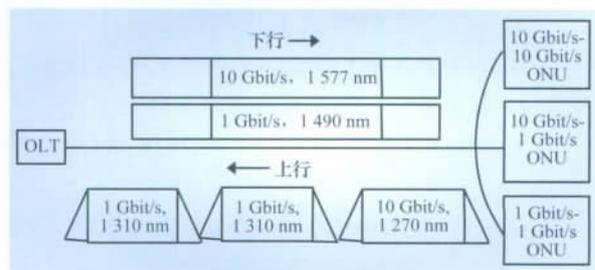


图2 10 G EPON的波长规则
Fig.2 10 G EPON wavelength rules

10 G EPON OLT可以同时发现10 G/10 G ONU,10 G/1 G ONU和1 G/1 G ONU三种ONU共存。

10 G EPON采用64B/66B编码,效率为97%,优于1 G EPON的8B/10B(效率为80%)。10 G EPON的FEC功能采用RS(255,223)编码,可增加光功率预算5~6 dB,与1 G EPON的RS(255,239)编码相比,FEC能力更强^[3]。

1.2 10 G GPON

10 G GPON在系统结构上仍然延续GPON的典型拓扑结构,它由支持10 G速率的光线路终端、光网络单元和光分配网络组成。结构图与图1相似。

GPON的下一代PON,统称为NG-PON,NG-PON分为NG-PON1(2009-2012年间完成)和NG-PON2(2012-2015年间完成)。10 G GPON属于NG-PON1阶段,标准号为G.987系列,又称为XG-PON。其中,非对称系统(上行2.5 Gbit/s,下行10 Gbit/s)称为XG-PON1(2009-2012年间完成),对称系统(上行10 Gbit/s,下行10 Gbit/s)称为XG-PON2。目前,ITU-T只在XG-PON1上取得实质性进展,NGPON中的XG-PON2尚无明确的时

间表,而对于 NG-PON2,方向不定,标准尚无,预计在 2015 年完成标准化。所以,在介绍 10 G GPON 时主要介绍 XG-PON1。

10 G GPON 十分平滑地实现了与 GPON 甚至 EPON 的共存:10 G GPON 沿袭了与 GPON 完全相同的网络拓扑,10 G GPON 的 ODN 系统完全可以利用现有 G/EPON 已投放的光纤、分路器和接插件等,而仅替换 ONT/ONU,同时在 OLT 侧增加支持 10 G 的接口板,平滑演进如图 3 所示。

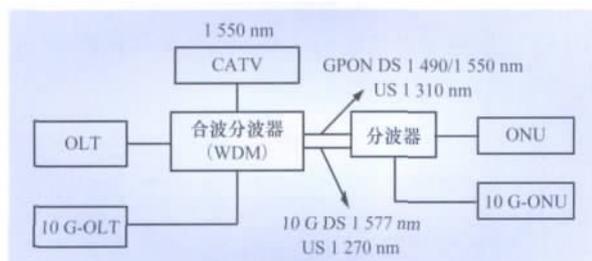


图 3 GPON 向 10 G GPON 的平滑演进

Fig.3 Smooth evolution from GPON to 10 G GPON

10 G GPON 提供了良好的互通性。在 GPON 时代,在 G.984.4 的基础上开发了 OMC 实现指南,用于提升 GPON 互通。而在 10 G GPON 时代,G.988 作为唯一通用的 OMCI 标准,集 G.984.4 和 G.impl984.4 的精华于一身,从而使得 10 G GPON 具备了承自 GPON 的成熟互通性。

XG-PON1 系统规定了下行方向采用 1577 nm 的波长(1575~1580 nm),因此,以 WDM 方式实现与 GPON 下行信号的共存。XG-PON1 的上行中心波长为 1270 nm(1260~1280 nm),与 GPON 系统(其上行波长范围为 1290~1330 nm)不存在重叠,因此采用 WDM 的方式实现共存^[4]。

NG-PON 频谱规划如图 4 所示。

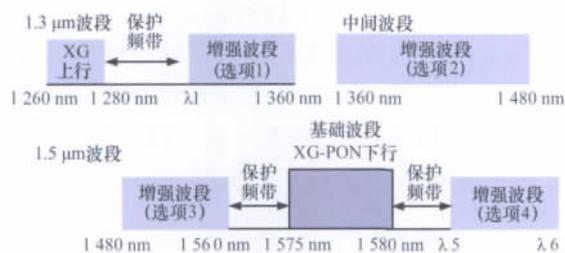


图 4 NG-PON 频谱规划

Fig.4 NG-PON spectrum plan

XG-PON1 的工作波段称为“基础波段”,其他

系统信号的带宽视为“增强波段”。

对实际系统而言,增强波段包括 GPON 信号和 CATV 信号。其中,CATV(Community Antenna Television, 共用天线电视)的信号波长与 ITU-T G.983.3 中的定义保持一致。XG-PON1 的工作波段与增强波段之间通过保护频带隔离。为解决干扰信号的过滤问题,XG-PON1 系统在终端上使用波长阻塞滤波器(WBF,Wavelength Blocking Filter),以获得较好的信号间隔高度。

1.3 WDM-PON

从目前来看,PON 技术沿着两个方向发展:第一个是单波长大带宽趋势,如 10 G GPON;另一个是网络向多波长发展,即 WDM-PON 技术,即前面提到的 XG-PON2。WDM-PON 是一种采用波分复用技术、点对点的无源光网络。即在同一根光纤中,双向采用的波长数目大于 3 个以上,利用波分复用技术实现上行接入,能够以较低的成本提供较大的工作带宽,是光纤接入未来重要的发展方向。

典型的 WDM-PON 如图 5 所示。

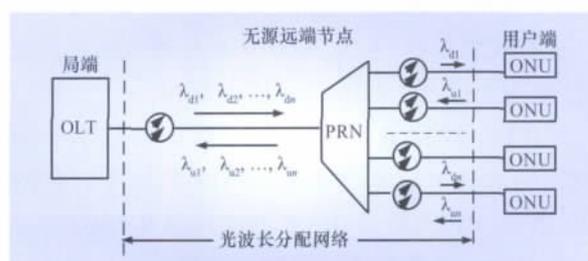


图 5 典型的 WDM-PON

Fig.5 Typical WDM-PON diagram

系统由三部分组成:OLT、光波长分配网络(OWDN,Optical Wavelength Distribution Network)和 ONU。OLT 是局端设备,包括光波分复用器/解复用器(OM/OD),一般具有控制、交换、管理等功能。局端的 OM/OD 在物理上与 OLT 设备可以是分立的。OWDN 是指在位于 OLT 与 ONU 之间,实现从 OLT 到 ONU 或者从 ONU 到 OLT 的按波长分配的光网络。物理链路上包括馈线光纤和无源远端节点(PRN,Passive Remote Node)。PRN 主要包括热不敏感的阵列波导光栅(AAWG,Athermal Arrayed Waveguide Grating),AAWG 是波长敏感无源光器件,完成光波长复用、解复用功能。ONU

放置在用户终端,是用户侧的光终端设备。下行方向,多个不同的波长 $\lambda_{d1} \dots \lambda_{dn}$ 在局端 OM/OD 合波后传送到 OWDN,按照不同波长分配到各个 ONU 中。上行方向,不同用户 ONU 发射不同的光波长 $\lambda_{u1} \dots \lambda_{um}$ 到 OWDN 中,在 OWDN 的 PRN 处合波,然后传送到 OLT。完成光信号的上下行传送。其中,下行波长 λ_{dn} 和上行波长 λ_{un} 可工作在相同波段,也可工作在不同波段。

2 下一代 PON 标准进展

目前全球都在积极参与制定下一代 PON 标准,由于 WDM-PON 技术尚未成熟,标准未制定,所以至今为止下一代 PON 标准主要由以下两个标准体系,一是由制定 EPON 标准的 IEEE 推出的 10 G EPON;二是由制定 GPON 标准的 ITU-T/FSAN 推出的 NG-PON。下面分别对这 2 个标准体系及其技术进行介绍。

2.1 10 G EPON 标准

10 G EPON 的标准 IEEE 802.3av 规范从 2006 年开始起草制定,期间历经约 20 次会议研讨,完成所有关键技术研究及意见修订,其标准制订进程较为顺利,并于 2009 年 9 月颁布其正式规范,成为业内公认的下一代 PON 标准。

IEEE 802.3av 标准专注于物理层技术的研究,绝大部分继承了 1 G EPON 的标准,仅对 EPON 的 MPCP 协议(IEEE 802.3)以及 PMD 层进行扩展。在业务互通、管理与控制方面,与 1 G EPON 兼容,该标准具有很好的继承性。802.3av 标准的核心有两点:一是扩大 802.3ah 标准的上下行带宽,达到 10 G 速率;二是 10 G EPON 标准有很好的兼容性,10 G EPON 的 ONU 可以与 1 G EPON 的 ONU 共存在一个 ODN 下,最大限度地保护运营商的投资。

2.2 10 G GPON 标准

从 2004 年起,ITU-T SG15 Q2 开始同步研究和分析从 GPON 向下一代 PON 演进的可能性。2007 年 9 月,Q2 正式发布用于规范 GPON 和下一代 PON 系统共存的增强波长计划。2007 年 11 月,Q2 确定了 NGPON 的标准化路标^[5]。

在 2009 年 9 月底召开的 ITU-T SG15 全会上,Q2 工作组正式发布了 NG-PON 标准的第一

阶段文本,即下一代 PON 系统的总体需求(G.987.1)和物理层规范(G.987.2),并同时制定了于 2010 年年中发布传输汇聚层(G.987.3)和管理控制接口(G.988)相关标准的计划。

10 G GPON 以 ITU-T G.987 协议组为基础,定义了包括总体特征、物理媒质相关子层、传输汇聚子层和管理控制接口等一系列标准。根据 ITU-T 研究计划,NG-PON 将经历两个标准阶段:第一个阶段是与 GPON 共存、重利用 GPON ODN 的 XG-PON;第二个阶段则是完全新建 ODN 的 NGA2。根据 Q2 制定的工作计划,NG-PON 标准化遵循路标如图 6 所示。

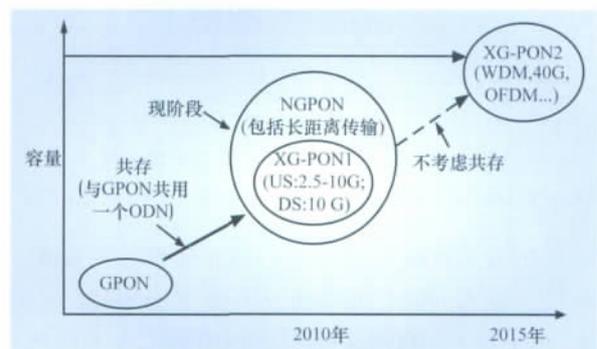


图 6 NG-PON 标准路标
Fig.6 NG-PON standard routing

3 与传统 PON 技术对比分析

1) 1 G EPON 和 10 G EPON 的比较。由前面 10 G EPON 的介绍可知,10 G EPON 只是对 1 G EPON 的 MPCP 协议进行了一些扩展,采用了 10 G 以太网物理层替换了原来 1 G EPON 的千兆以太网物理层,采用了新的物理层,性能上有了突破,可以实现大带宽、大的光功率预算范围。1 G EPON 和 10 G EPON 的比较见表 1 所列。

2) GPON 和 10 G GPON 的比较。与 GPON 相比,10 G GPON 的最大优势是带宽的增加、覆盖范围的扩大,随着用户对上行带宽要求的逐渐增加,10 G GPON 的作用将会越来越显著。GPON 和 10 G GPON 的比较见表 2 所列。

4 应用现状

由于 10 G EPON 具有许多 1 G EPON 所没有的优点,所以,国内外运营商对 10 G EPON 高度关注,不仅积极参与 10 G EPON 标准的制订,而

表 1 1 G EPON 和 10 G EPON 的比较
Tab.1 Comparison of 1 G EPON and
10 G EPON

项目	1 G EPON	10 G EPON
标准	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av
带宽	上下行:1 G/1 G	对称:上下行:10 G/10 G 非对称:上下行:1 G/10 G
波长	上行: 1 260~1 360 nm	上行:1 260~1 280 nm(对称); 1 260~1 360 nm(非对称)
	下行: 1 480~1 500 nm	下行:1 575~1 580 nm
编码方式	8B/10B(80%)	64B/66B(97%)
FEC	不强制要求, RS(255,239)	强制要求,采用 RS(255,223)
光功率预算	20,24 dB	20,24,29 dB
光模块规格	PR10、PR20	对称:PR10、PR20、PR30
		非对称:PRX10、PRX20、PRX30
传输距离		20 km
分光比		1:16/32
共存方式		上行:TDM
		下行:WDM

表 2 GPON 和 10 G GPON 的比较

Tab.2 Comparison of GPON and 10 G GPON

项目	GPON	10 G GPON	
		XG-PON1	XG-PON2
标准	G.984.1-G.984.6	已发展到 G.988	尚无时间表
带宽	2.5 G/1.25 G	10 G/2.5 G	10 G/10 G
波长	上行: 单纤1 290~1 330 nm; 双纤1 260~1 360 nm	上行: 1 260~1 280 nm	未确定
	下行:1 575~1 580 nm	下行: 1 480~1 500 nm	
光功率预算	Class B:10~25 dB; Class B+:13~28 dB; Class C:15~30 dB; Class C+:17~32 dB	N1 等级:29 dB; N2 等级:31 dB; E 等级:33/35 dB	未预算
传输距离	20 km(逻辑:60 km)	>20 km (逻辑>60 km)	未预算
分光比	32/64	64	64
编码方式		NRZ	未标准化
共存方式		上下行均采用 WDM 方式	不考虑与现有 GPON 的共存

且积极地开发 10 G EPON 产品,并开通试验局进行相关性能的演示,目前 10 G EPON 的技术进展非常迅速,产业链也已基本成熟,具备了现场试验的条件。预计到 2011 年的年中,10 G EPON 的光模块、芯片和设备将更加成熟,具备规模商用的条件。

在产业链方面,XG-PON1 也受到了 GPON 阵营的运营商、设备厂商、芯片厂商的广泛支持。但由于标准尚未完全定稿,目前尚未有成熟的光模块和芯片解决方案。华为、阿朗、爱立信等设备厂商均已研发出或者即将研发出 XG-PON1 样机(基于厂商私有规范和自研 FPGA)。PMC、Broadlight 等 GPON 芯片供应商均有自己的 XG-PON1 芯片研发路标,2011 年将有基于 FPGA 的 TC 层芯片解决方案出现^[6]。

WDM-PON 虽然传输距离更远,功率更大,但在近期内还难以大规模的应用,主要原因包括:缺乏国际标准、设备商投入较少、各种器件如芯片、光模块和宽带光源技术还不成熟,所以,目前大多数对于 WDM-PON 的研究还都是处于实验室的理论研究。

5 结语

在人们对于视频、网络游戏等业务需求越来越大的压力下,EPON 和 PON 由于带宽窄、传输距离短、光功率预算范围小等缺点已不能满足人们的需求,由此推动了下一代 PON 技术的发展。下一代 PON 的标准制定已经逐步趋于完善,技术也在逐步成熟。国内外运营商都在积极开发研制下一代 PON 的相关产品,可见下一代 PON 在光接入网络中具有非常光明的前景,并将起着举足轻重的作用。

参考文献

- [1] 程强. 下一代 PON 接入技术的演进[J]. 移动通信, 2009(15): 9-11.
- [2] 敖立, 陈洁. 下一代光接入技术展望[J]. 现代传输, 2010(1): 14-17.
- [3] 李秉钧. 下一代 PON 标准与技术的进展[J]. 光通信, 2009(6): 68-69.
- [4] 彭磊. 10 G EPON 关键技术及产业发展现状[J]. 中国新通信, 2010(11): 88-91.

- [5] 张沛, 陈利兵, 丁焰. 10 G PON 技术发展应用[J]. 中兴通讯技术, 2010(5): 48-51.
- [6] 沈成彬, 王成巍, 蒋铭. 下一代 PON 技术的进展与应用[J]. 电信科学, 2010(8): 1-7. (ZL)

石永辉(1986—),女,河北邢台人,硕士研究生,从事电力系统通信与光通信研究。

卢 锟(1984—),男,陕西西安人,硕士研究生,从事光通信研究。

(收稿日期:2010-10-27;修回日期:2010-11-23)

The Development and the Current Situation of Next Generation PON Technology

SHI Yong-hui¹, LU Kun²

(1.School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. China's power science research institute, Beijing 100912, China)

Abstract: With the emergence of higher broadband services, user's requirements on broadband access are increasing, which promotes the development from traditional PON technology to the next generation PON technology. The next generation PON technology mainly includes 10 G EPON, 10 G GPON and WDM-PON. This article introduces the development, main functions and characteristics of next generation PON technology, discusses the standards, technical features and development status, and makes comparison on the traditional PON technology and next-generation PON technology. The next generation PON technology inherited the advantages of traditional PON technical and makes some technical breakthrough on this basis. It can adapt to the pace of optical access technology development, and meet people's growing demand for bandwidth. It has broader prospects in optical access network.

Key words: 10 G EPON, 10 G GPON, WDM-PON, application status

“十一五”期间我国新一代电网调度技术获突破

2009年和2010年,特高压交、直流工程相继投运,电网调度随之步入新的发展时期。由于初步掌握了大规模互联电网运行控制技术,积累了1000 MW级巨型电源运行经验,国家电网公司(以下简称公司)大电网安全稳定运行水平持续提高,主要技术指标均较“十五”末进一步提升。

2010年,公司电网220 kV以上保护正确动作率99.90%,频率和中枢点电压合格率在99.999%以上。在技术层面,基于精确实测模型、适应上万节点规模的电网仿真分析技术,可控高抗、可控串补等设备,以及电网在线安全分析、动态预警等技术得到应用,显著提升了电网调度控制技术水平。在管理层面,公司开展电网调度联合应急演练、建成18个省级备用调度等一系列举措,使公司调度应急机制不断完善。公司还颁布了国家电网调度工作规则、调度管理规程等,为电网的安全可靠运行提供制度保障。

优化配置资源是电网调度的核心功能。国家电网公司始终密切跟踪国家宏观经济走向,以特高压交、直流电网跨区送电为中心开展调度计划、运行调控各项工作,有力促进了跨区跨省电力电量交换。2010年初,华中地区出现严重电力短缺,公司充分发挥电网在全国范围内优化配置资源的作用,仅1月份前20天,通过特高压交流从山西向湖北输电约4亿 kW·h,相当于输煤20万吨。数据显示,公司电网跨区输电量从2005年的774亿 kW·h上升到2010年的2422亿 kW·h,5年内跨区输电量累计达到9059亿 kW·h。

“十一五”以来,国家电网公司自主研发的能量管理系统、广域相量测量系统、水调自动化系统和雷电监测定位系统等,在各级调度广泛应用,二次安全防护体系初步建成,风电功率预测系统建设起步,调度数据网迅速发展,通信网在电网运行和应急状态下的保障能力进一步增强。截至2010年底,公司电网220 kV以上变电站通信光纤覆盖率达100%,调度数据网络覆盖所有地级以上调度机构和80%以上的220 kV厂站。2010年4月以后,智能电网调度技术支持系统在国调和“三华”网调相继投入试运行,标志着新一代电网调度技术取得重大进展。

(国家电网报)