

高比例分布式电源与多元化负荷条件下配电网接入标准适应性研究

白桦¹, 吴奎华², 孙充勃³, 孔王莺¹, 邱益林¹

(1. 浙江华云电力设计咨询有限公司, 浙江 杭州310000; 2. 国网山东省电力公司经济技术研究院, 山东 济南 250000; 3. 国网北京经济技术研究院, 北京 102209)

摘要: 随着我国配电网建设的快速发展, 配电网规划设计标准逐渐丰富。为顺应能源改革需求, 以实现风电、光伏和燃料电池等分布式电源高比例并网以及电动汽车、储能装置、微电网和电能替代技术对应的多元化负荷接入为目标, 通过比较国内外配电网发展现状, 横向对比接入规划、设计以及评估环节的国内外标准, 基于当前国内政策导向, 结合国外分布式电源接入现状, 研判新型发用电设施的发展趋势, 分析得出现行标准应对的适应性, 并提出适应于常规用电负荷与新型发用电设施的标准化工作建议。

关键词: 配电网; 分布式; 电源; 负荷; 接入; 适应性

Research on adaptability of distribution network access standard under high proportion distributed power supply and diversified load conditions

BAI Hua¹, WU Kuihua², SUN Chongbo³, KONG Wangying¹, QIU Yilin¹

(1. Zhejiang Huayun Electric Power Design Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310000, China; 2. State Grid Shandong Electric Power Company Economic and Technological Research Institute, Jinan 250000, China; 3. State Grid Beijing Institute of Economics and Technology, Beijing 102209, China)

Abstract: With the rapid development of China's distribution network construction, the planning and design standards for distribution networks are gradually enriched. In order to meet the needs of energy reform, the aim is to achieve diversified load access corresponding to high-scale distributed power supply, such as wind power, photovoltaics, and fuel cells, and electric vehicles, energy storage devices, micro-grid, and electric energy replacement technologies. By comparing the status of distribution network development, horizontally compared the domestic and international standards of access planning, design assessment links, based on current domestic policy guidance, combined with the current status of foreign distributed power access, the development of new power generation facilities is studied the current adaptability of the standard response is analyzed, and recommendations for standardization work adapted to conventional power loads and new power generation facilities are proposed.

Key words: distribution network; distributed; power supply; load; access; adaptability

0 引言

近年来, 我国开始制定相关电力标准并取得长足的进步, 截止2017年12月我国已发布电力标

准达2 500多项, 充分说明我国为电力标准制定方面所做的努力。随着国家对配电网的逐步重视, 在健全标准的同时, 标准使用中的问题也愈发突出。由于缺乏科学规范的标准体系, 配电网标准层级繁多, 国家、行业、地方和企业标准并存,

国家电网公司总部科技项目“现代配电网规划设计标准体系及标准化模式研究”(2019001)

标准交叉、重叠甚至矛盾的现象普遍存在，标准的技术要求也不尽相同，增大了标准执行的难度，部分标准时效性差，无法满足新形势下配电网发展的新要求。

分布式能源等新型发电设施与电动汽车等新型用电设施的快速发展，同样给传统配电网带来了不小的冲击，对于这些新型发用电设施的建设，若规划不周或无序接入，将严重影响配电网运行的安全性、可靠性和供电质量。而新型发用电设施标准体系建设的滞后，使得相关标准缺乏全局角度的标准体系约束，也严重制约了配电网的进一步发展。

本文通过全面把握高比例分布式电源与多元化负荷接入所带来的影响，通过同步协调常规用电负荷的接入，推进新型发用电设施标准化接网，在原有标准基础上，补充相关标准来完善标准体系架构，充分发挥标准对配电网建设的指导作用。

1 发用电设施接入标准现状与对比

1.1 国外发用电设施接入标准

1.1.1 接入标准体系结构

英国配电网接入技术导则包含了除用户和分布式电源接入相关数据以外的，与用户和分布式电源接入系统各个环节相关的所有要求，主要分为负荷特性的说明、连接安排、所有权边界和接入的技术要求四部分，如图1所示。

IEC下属约120个标准技术管理委员会(TC)，其中TC8委员会负责电能供给方面的标准制定，其下属SC8A委员会专门负责新能源接入系统方面的标准制定，目前正在制定《新能源接入电网术语、符号、定义》、《风光接入电网评估导则》；TC82委员会负责光伏电站类的标准制定，该标准委员会制定的IEC 62446.1给出了并网光伏相关测试的标准；TC57委员会负责电力系统管理和数据交换的相关标准制定，其制定的IEC 61968、IEC 61970描述了配电管理系统(Distribution Management System, DMS)和能量管理系统(Energy Management System, EMS)的

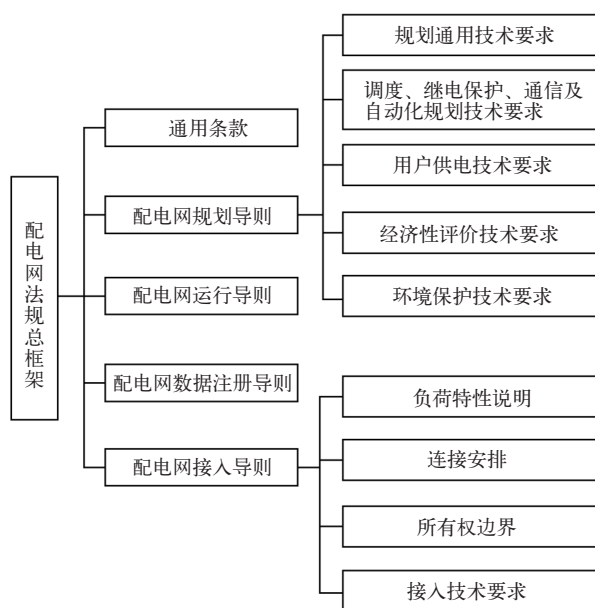


图1 英国配电网规划设计标准体系
Fig.1 UK distribution network planning and design standards system

数据模型和应用接口。如图2所示。

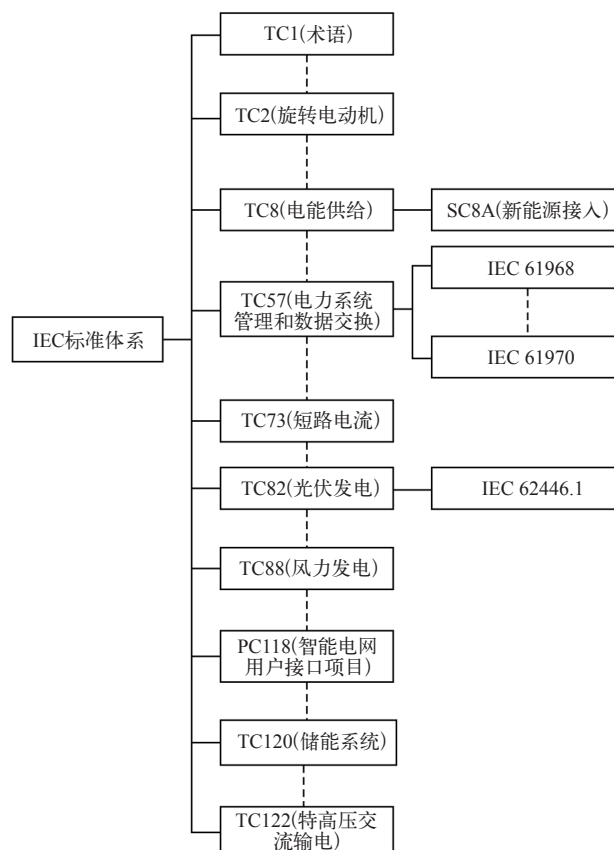


图2 IEC标准体系
Fig.2 IEC standard system

电气和电子工程师协会(IEEE)是一个国际性的电子技术与信息科学工程师的协会,被国际标准化组织授权可以制定标准,并设有专门的标准工作委员会。IEEE主导的《分布式电源与电力系统互连标准》(IEEE 1547)系列标准获得业界广泛认可。由于IEEE 1547系列标准制定时间较早,涉及内容广泛,对于制定配电网电源接入标准体系具有重要价值,如图3所示。

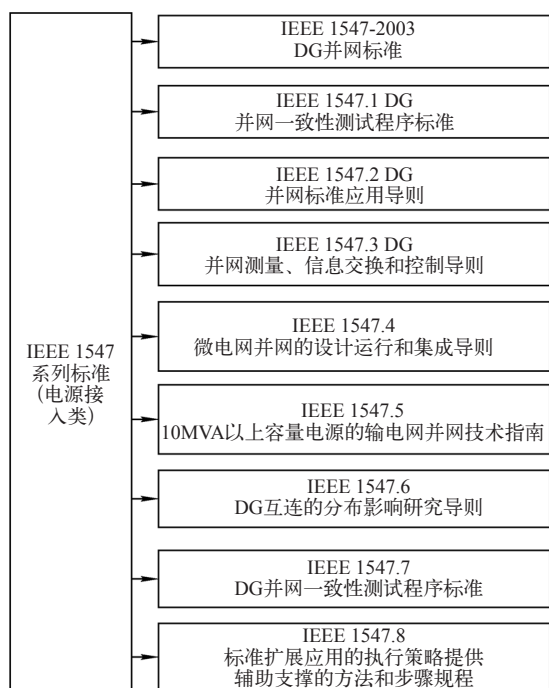


图3 IEEE 1547系列标准体系

Fig.3 IEEE 1547 series standard system

可以看出,IEEE 1547标准体系^[1]以电源接入电网为目标,涵盖并网技术标准、设计运行指南、并网技术指南和影响分析评价等几大方面,形成了分布式电源接入电网的通用标准体系。同时由IEEE主导的IEEE 2030系列标准对电动汽车、储能等与配电网交互的特殊用户进行了规定,对于制定配电网用户接入标准体系具有重要价值。IEEE 2030系列标准体系如图4所示。

1.1.2 用户接入标准现状

通过对IEC、IEEE等多个国际学会以及美国、英国等国家的相关标准进行收集整理后,可归纳出国外用户接入部分的标准体系框架,如图5所示。

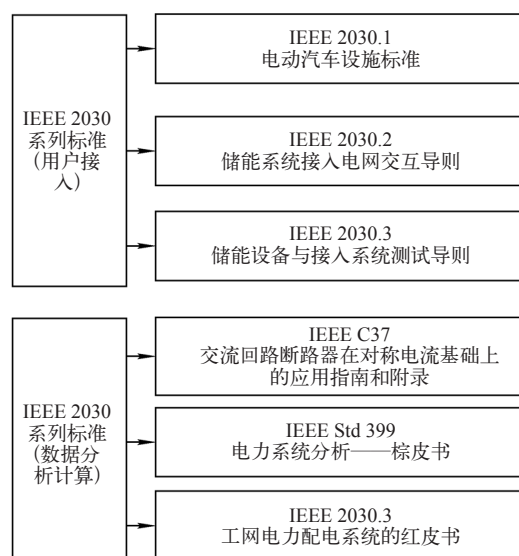


图4 IEEE 2030系列标准体系

Fig.4 IEEE 2030 series standard system

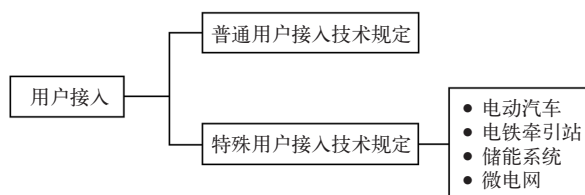


图5 配电网用户接入标准框架

Fig.5 Distribution network user access standard framework

普通用户接入技术规定对配电网普通用户接入的技术要求进行规范,包括接地要求、短路故障要求、通信要求和遥测要求等。如日本工业标准调查会发布的JISC 4601—1993《6.6 kV用户装置用接地继电器》对6.6 kV用户装置接地要求进行规范。

特殊用户接入技术规定对储能系统、电动汽车等特殊用户接入配电网的技术要求进行规范。如IEEE发布的IEEE Std 2030.2—2015《储能系统接入电力系统的交互规范》对储能系统接入配电网的技术要求进行规范。

1.1.3 电源接入标准现状

随着分布式电源、小型电厂接入配电网渗透率的不断增加,IEEE、IEC等国际组织及各国根据实际情况建立了相应配电网电源接入标准体系。从电源分类角度上看,目前可以成分布式电源、中小型发电厂、逆变器型电源和光伏电站等

几大类。如表1所示。

表1 国外电源接入标准现状统计表

Tab.1 Statistics on current status of foreign power access standards

分类	标准名称	出处
分布式电源	IEEE 1547—2003分布式电源与电力系统互连标准	IEEE
	IEEE 1547a—2014分布式电源与电力系统互连标准	IEEE
	IEC/IEEE/PAS 63547—2011分布式电源与电力系统互连标准	IEC
中小型发电厂	DIN EN50438: 2008发电厂中低压并网指南	德国
	EN50438: 2007微型发电设备接入低压配电网技术要求	欧盟
	EN50438: 2013并网连接公共低压配电网网络微型发电厂的要求	欧盟
	EN50438公共低压配电网连接微小发电机的草案	欧盟
	G59/1、G75/1嵌入式发电厂接入公共配电网标准	英国
逆变器型电源	G83-1-1逆变器并网标准	英国
	C22. 2N0. 257基于逆变器的微电源配网互联标准	加拿大
	C22. 2N0. 9基于逆变器分布式电网接入标准	加拿大
光伏电站	IEEE 929—2000光伏系统有用接口的推荐规程	IEEE
	IEC 1727—1995光伏系统实用接口特性标准	IEC
	IEC 61727—2004光伏(PV)系统. 电网接口的特性	IEC
	EN 50521—2012光伏系统安全性要求和试验	欧盟
	DIN EN 61727—1996光电器件(PV)系统. 网络连接特性	欧盟

1.2 国内发用电设施接入标准

1.2.1 接入标准体系结构

当前,我国电力行业面临着用户用电需求和供电服务要求逐年提高的双重压力。在这种情形下,国内成立了电力行业风力发电、光伏等众多标准化委员会。在这之后,国内各个标准化委员会和国家电网公司等纷纷出台了包括光伏电站、风电场等一系列新型能源接入电网的相关标准。

2006年发布的GB/T 19939—2005《光伏系统并网技术要求》,是第一个光伏系统并网的国家标准,规定了光伏系统的并网方式、电能质量、安全与保护和安装要求,适用于通过静态变换器

(逆变器)以低压方式与电网连接的光伏系统。2010年8月,国家电网公司颁布了企业标准Q/GDW 480—2010《分布式电源接入电网技术规定》,这是我国首个分布式电源接入电网的技术标准。这项标准根据我国电网结构特点和安全运行要求,结合分布式电源的特性以及分布式电源对电网的影响,在电能质量、安全和保护、电能计量、通信和运行响应特性等方面作出了规定。2013年先后发布GB/Z 19964—2012《光伏发电站接入电力系统技术规定》、GB/T 29319—2012《光伏发电系统接入配电网技术规定》和GB/T 50866—2013《光伏发电站接入电力系统设计规范》3个国家标准,规范光伏发电系统的设计规范和明确接入电网相关规定。

总的来看,与用户接入相关的标准规范还相对较少,只涵盖了重要用户和电动汽车等特殊用户的接入技术规定,对用户并网检测、综合评价等领域的标准制定还相对不足。从电源接入方面来看,随着国家标准、行业标准和企业标准的出台,可再生能源的标准体系已经初步形成,涵盖基础通用、勘察设计、施工验收及质量评定、运行维修和并网检测等多个领域。

1.2.2 用户接入标准现状^[2]

在普通用户接入方面,目前我国用户接入配电网标准体系基本上是以专业性通用的国家标准、行业标准为基本参照标准。我国于2012年和2014年分别发布了国家标准GB/Z 29328—2012《重要电力用户供电电源及自备应急电源配置技术规范》和行业标准DL/T 1344—2014《干扰性用户接入电力系统技术规范》,但是从接入影响与配电网资源协调方面并未进行技术约束与规范。

在特殊用户接入方面,近年来电气化铁路、电动汽车、储能系统^[4]和微电网^[5]等特殊用户快速发展,国家、行业和企业也对此类用户的技术规范进行了编制。目前,为满足电气化铁路用电需要,原铁道部虽然在铁路供配电系统内建立起完善的标准体系,但并未从公共电网角度建立起电气化铁路牵引站接入配电网的标准框架。虽然《电气化铁路牵引站接入电网导则》(试行)规

定了电气化铁路牵引站接入系统设计、电能质量评估及测试等技术工作的规则，但技术经济评价和适应性评价等相关标准还相对缺失。

同样，电动汽车充换电设施接入配电网的标准体系建设也存在上述相同问题。国内与电动汽车充换电设施相关的国家标准、行业标准和企业标准共90余项，已初步建立起具有我国独立知识产权的电动汽车充换电设施标准体系。但在“接入规划”部分的导则编制方面还相对薄弱，截止目前，只发布了企业标准Q/GDW 11178—2013《电动汽车充换电设施接电网技术规范》对充电设施接入配电网的技术原则和有关要求进行了明确，而对充换电设施接入配电网的技术经济评价、电能质量评估等领域的标准编制还处于空白状态。

在储能系统和微电网接入配电网的标准体系建设中，已发布行业标准NB/T 33015—2014《电化学储能系统接入配电网技术规定》和企业标准Q/GDW 1564—2014《储能系统接入配电网技术规定》，对电化学或电磁形式存储电能的储能系统接入配电网应遵循的原则和技术要求作了规定；提出了《微电网接入系统技术规定》（报批稿），规定了接入配电网的新建、改建和扩建微电网项目的技术要求。目前，在储能、微电网接入配电网的技术经济评价、适应性分析等专业方向还未编制相关标准。

1.2.3 电源接入标准现状

国内配电网电源接入相关的标准涉及分布式电源接入配电网技术、光伏发电并网技术和风电接入系统设计内容深度规定等，共有技术标准19项（其中国家标准7项，行业标准2项，企业标准10项），如表2所示。

2 现有接入标准体系适应性分析

2.1 标准体系适应性分析

目前，我国配电网还面临着在可再生能源渗透率逐年升高带来的消纳、可靠性等一系列问题。从用户接入来看，我国缺乏对用户接入配电网的有效管控，对用户的接入影响与配电网资源

表2 国内配电网电源接入标准

Tab.2 Domestic distribution network power access standards

类型	标准名称
国家标准	GB/Z 19964—2012光伏电站接入电力系统技术规定
国家标准	GB/T 29319—2012光伏发电系统接入配电网技术规定
国家标准	GB/T 19939—2005光伏系统并网技术要求
国家标准	GB/T 19963—2011风电场接入电力系统的技术规定
国家标准	GB/T 50865—2013光伏发电接入配电网设计规范
国家标准	GB/T 50866—2013光伏电站接入电力系统设计规范
国家标准	GB/T 31999—2015光伏发电系统接入配电网特性评价技术规范
行业标准	NB/T 32015—2013分布式电源接入配电网技术规定
行业标准	SL 522—2010小水电站接入电力系统技术规定
企业标准	Q/GDW 480—2010分布式电源接入电网技术规定
企业标准	Q/GDW 11120—2014接入分布式电源的配电网继电保护和安全自动装置技术规范
企业标准	Q/GDW 1867—2012小型户用光伏发电系统并网技术规定
企业标准	Q/GDW 1866—2012分散式风电接入电网技术规定
企业标准	Q/GDW 392—2009风电场接入电网技术规定
企业标准	Q/GDW 617—2011光伏电站接入电网技术规定
企业标准	Q/GDW 11148—2013 分布式电源接入系统设计内容深度规定
企业标准	Q/GDW 1868—2012 风电场接入系统设计内容深度规定
企业标准	Q/GDW 11147—2013分布式电源接入配电网设计规范
企业标准	Q/GDW 11149—2013分布式电源接入配电网经济评估导则

协调方面并未进行技术约束与规范。同时，近些年来我国电动汽车、电气化铁路和储能等特殊用户快速发展，一方面特殊用户大规模接入已对电网的安全稳定运行产生较为明显的影响；另一方面，特殊用户对电网电能质量、可靠性提出了更为苛刻的要求。根据用户接入配电网面临的新形势和新问题，我国亟需制定相关标准，从配电网整体发展与协调出发，制定用户接入电网的技术规范和评价导则。

目前，在用户接入部分，国内用户接入配电网

网标准体系的普遍问题表现在以下几个方面。

1) 仍然以专业性通用标准为主,并未提出专门针对用户接入配电网的技术规定或评价导则,用户接入的相关标准缺乏对配电网整体发展与协调的考虑。

2) 部分专业性通用标准对用户接入的技术规定存在重复和不一致现象,即国家标准进行了相关规定的同时,行业标准与企业标准也进行相关规定,有些标准与规范间还存在一定的差异,无法准确参考判断。

3) 特殊用户(如电气化铁路牵引站、电动汽车充换电设施等)接入配电网的标准体系建设又存在自己特殊的问题。如电气化铁路牵引站的相关标准多是由原铁道部或现铁路总公司所编制,主要针对铁路供电系统,国家标准或行业标准尚未从公共电网角度对牵引站提出完整的技术规定或评价标准体系。

从电源接入来看,国内外标准尚缺乏对电源接入配电网标准体系宏观方面的统筹规划,电源接入配电网的标准体系均属于以电源为核心的系列标准中的一部分。如光伏发电方面的标准涵盖光伏电站设计、并网标准、运行规范和测试规程等诸多方面,由中国电力企业联合会相关电源标准管理委员会制定。由于这些以电源为核心的标准在制定时,电源在配电网的渗透率较低,面对当前配电网中电源高渗透率接入的现状,传统的标准体系已经无法适应。

在电源接入部分,目前国内标准体系在以下几个方面存在问题。

1) 在开展规划设计过程中,随着光伏、风电等分布式电源的快速发展,小型电源接入配电网的情况越来越普遍。但是光伏电站、风力发电站等各种类型的小型电源接入电网缺乏相关标准规程规范,规定深度不够细化。

2) 从设计标准内容上看,相关标准的制定往往根据需求展开,并没有做到提前谋划和总体布局。因此,如生物质能电厂、垃圾电厂和热电联产^[5]等新型电源应在规划设计导则、技术规定、设计内容深度规定、设计规范和技术经济评价标准

等方面制定常用标准。

3) 从电源接入标准体系上看,各个行业标准委员会在制定并网标准时均从各自行业特点出发,制定相关的接入技术标准。目前,国内现有不同标准间存在内容重合与矛盾,缺乏电源(通用)接入电网的相关标准制定,同时缺乏在标准中明确常规电源和分布式电源之间的区别。

2.2 接入标准适应性分析

2.2.1 用户接入标准适应性分析

通过对目前国内现行用户接入类标准进行统计,共梳理分析技术标准18项,其中国家标准3项,行业标准3项,企业标准12项。通过分析共有4项标准存在适应性不足的情况,如Q/GDW 11178—2014《电动汽车充换电设施接入电网技术规范》没有关于自动化和通信专业方面的描述,建议添加相关自动化部分的要求和电动汽车充换电设施至调度控制端通信方式选用原则;Q/GDW 11376—2015《储能系统接入配电网设计规范》第7.5.2条指出:“通过10 kV及以上电压等级并网的储能系统至调度端应具备一路可靠的调度通信通道。”^[6]根据光伏发电或风电场通信要求和国网能源局国能安全[2014]161号文件的要求,储能系统至调度端应具备两路通信通道,宜采用光缆通道等。

2.2.2 电源接入标准适应性分析

通过对目前国内现行电源接入类标准进行统计,共梳理分析技术标准25项,其中国家标准9项,行业标准4项,企业标准12项。通过分析,共有13项标准存在适应性不足的情况,如NB/T 32015—2013《分布式电源接入配电网技术规定》中没有关于防雷和接地的描述。根据GB 14050和GB/T 50065关于分布式电源防雷与接地的相关要求,建议参照GB/T 33593—2017《分布式电源并网技术要求》补充防雷与接地的描述;Q/GDW 11149—2013《分布式电源接入配电网经济评估导则》中6.2.5.2式(15)“流动资产=应收账款+存货+现金”和式(16)“流动负债=应付账款”,根据国家发展改革委与建设部发布的《建设项目

经济评价方法与参数（第三版）》规定，应分别修改为：流动资产=应收账款+存货+现金+预付账款；流动负债=应付账款+预收账款。

3 配电网标准体系优化研究

3.1 优化目标

结合我国配电网发用电设施接入管理的实际情况，在充分梳理、分析国内外相关的国家标准、行业标准、企业标准、工作标准、规范及文件的基础上，优化完善我国现有的配电网标准体系，特别是面对智能配电网发展和新能源入网的新形势，提出目前亟待废止、更新、补充以及新增的一系列标准，形成配电网标准体系优化框架。

3.2 优化思路

电力体制改革、经济发展“新常态”等新形势给配电网规划设计提出了更高要求。本文通过分析国内配电网规划设计相关标准与国外标准的异同，在国内原有的规范、标准及管理原则下，优化完善现有配电网规划设计标准体系；另一方面，为满足配电网发展规划设计差异化、精益化的需求，补充完善评估评价、新型用户接入和数据模型等方面的相关标准，最终形成更加系统完整的配电网规划设计标准体系。

3.3 接入标准体系优化

根据各类发用电设施接入电网的相关标准内容，发用电设施接入相关标准分为用户接入和电源接入两大类。

用户接入相关标准分为技术规定、设计内容深度规定和综合评价三个方面。

1) 技术规定类标准规定普通用户和特殊用户接入配电网的技术要求。

2) 接入设计内容深度规定普通用户和特殊用户接入配电网的接入设计深度要求。

3) 综合评价类标准对普通用户和特殊用户接入配电网进行技术经济评价或适应性评价。此外，在发用电设施接入配电网术语部分添加用户分类及产权分界标准，用于创建电力用户分类体系，针对不同类型用户明确其产权分界管理。

电源接入相关标准分为规划设计导则、设计内容深度规定、技术规定、设计规范和综合评价五个方面。

1) 规划设计导则需补充包括通用电源、光伏和风电在内的各类电源类型的标准。

2) 设计内容深度规定类标准中需补充光伏电站、水电站及热电联产电源类型的标准。

3) 技术规定类标准中需补充热电联产电源类型的标准。

4) 设计规范类标准中需补充风电场、水电站及热电联产电源类型的标准。

5) 综合评价类导则中需补充光伏发电、风电场、水电站及热电联产电源类型的标准。同时可根据实际其他电源类型对各类标准进行补充制定。此外，配电网电源接入标准体系中需指定通用性电源接入标准，并明确常规电站与分布式电源之间的界限，两者在规划设计、接入要求和评估准则方面的异同。

4 结束语

为满足未来配电网规划设计需求，本文通过国内外标准体系现状的梳理，对现有国内外标准进行对比和适应性分析，总结现有标准的缺点和不足。针对当前国内配电网规划设计等面临的形势，特别是面对智能配电网发展和新能源入网的新形势，取长补短，优化完善现有配电网规划设计标准体系。提出一系列规划、设计、评价、新型用户接入和数据模型等方面的相关标准制修定建议。

为促进我国配电网技术标准管理水平与国际发展保持一致，保证配电网标准的统一和规范，加强配电网标准体系的规划和建设，推动配电网相关技术标准的编制和国际化，实现资源的开放、标准化和共享，提高配电网标准管理的科学性和有效性贡献绵薄之力。

参考文献

- [1] 杨大为，黄晓阁，刘怡，等．基于国内外互联国际标准研究的储能站接入电力系统标准初探[J]．

- 可再生能源, 2012, 6(5): 8-12.
- YANG Dawei, HUANG Xiaoge, LIU Yi, et al. Preliminary investigation on energy storage stations with power systems standards based on study of interconnection standards at home and abroad[J]. Renewable Energy, 2012, 6(5): 8-12.
- [2] 陆志刚, 黄秀琼, 杨建华, 等. 微电网和分布式电源系列标准IEEE 1547述评[J]. 南方电网技术, 2011, 29(6): 42-47.
- LU Zhigang, HUANG Xiuqiong, YANG Jianhua, et al. Review of IEEE 1547 for microgrid and distributed power supply standards[J]. China Southern Power Grid Technology, 2011, 29(6): 42-47.
- [3] 苏玲, 张建华, 王利, 等. 微电网相关问题及技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(19): 235-239.
- SU Ling, ZHANG Jianhua, WANG Li, et al. Research on microgrid related problems and technology[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(19): 235-239.
- [4] 齐为, 马娜. 我国热电联产能效标准对比研究[J]. 中国标准化, 2013(12): 58-64.
- QI Wei, MA Na. Comparative study on capacity efficiency standards of China's cogeneration[J]. China Standardization, 2013(12): 58-64.
- [5] 储能系统接入配电网设计规范: Q/GDW 11376—2015[S].

作者简介



白桦

白桦(1980—), 男, 北京, 高级工程师, 主要研究方向为配电网规划设计。

(收稿日期: 2018-05-10) **EA**



典藏技术 革新应用

专业专注

时刻关注并推动中国电气技术的发展



《电气应用》是一本拥有光荣发展历程的全国优秀科技期刊。

自1982年创刊至今, 已走过三十多年艰苦创业、改革发展的光辉历程。其所荣获的“全国优秀期刊、中国期刊方阵‘双奖期刊’和国家期刊奖‘百种重点期刊’、中文核心期刊”等诸多荣誉见证了编辑们的专业与勤奋, 也博得了广大读者和业内专家的支持与厚爱, 在众多电工类专业技术期刊中颇具影响力。

国内统一刊号: CN11-5249/TM 国际标准刊号: ISSN1672-9560 国内邮发代号: 82-341 国外发行代号: M1409

电气应用