

海上风电场交直流一体化方案分析与设计

谭任深, 杨源, 程劲松, 徐龙博

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]旨在配置一个具体的海上风电场交直流一体化方案。[方法]首先分析了交直流一体化电源方案中电源备用小时数的选择、通信电源可靠性的问题、逆变电源可靠性的问题以及DC/DC电源脱扣的问题。然后结合具体工程情况,依据规范对海上风电场交直流一体化电源进行配置和计算。[结果]得到了海上升压站和陆上集控中心的交直流一体化的设计方案。[结论]通过分析阐述可知,海上风电场交直流一体化设计方案简化了电源设备的结构,减少了屏柜数量,节省了安装空间和投资成本,具备一定的工程应用价值。

关键词: 海上风电场; 交直流一体化; 直流电源; 交流不间断电源(UPS); 通信电源

中图分类号: TK89; TM63

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0052-06

The AC-DC Power Supply Integrated Design System of Offshore Wind Farm

TAN Renshen, YANG Yuan, CHENG Jinsong, XU Longbo

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction]The paper aims to design the AC/DC integration scheme of offshore wind farm. [Method]Firstly, this paper analyzed the problems of standby time selection, reliability of communication power supply, reliability of inverter power supply and DC/DC power trip problem. Then according to the code requirement, the paper calculated and deployed the AC/DC integration scheme on the basis of a specific offshore wind farm project. [Result]Finally, this paper elaborates the design of AC/DC integration scheme of offshore wind farm booster station and land control center. [Conclusion]In conclusion, we can see that the offshore wind farm AC-DC integrated power supply design program can simplify the structure of the power supply equipment, save the installation space and investment cost, improve the reliability, availability and maintainability of the station power, and has a certain degree of engineering application value.

Key words: offshore wind farm; AC-DC integrated power supply; DC power supply; AC uninterruptible power supply (UPS); communication power

海上风电场站用电源包含有:站用交流电源系统、直流系统、交流不间断电源系统(UPS)、通信电源系统等。目前国内海上风电工程中,站用电源各系统独立设计,单独组屏,占用空间较多,站用电系统也缺乏统一的监控,不利于运行检修,也不能较好地适应海上风电工程中节约用地和一体化监控的要求。

至今已有文献对一体化电源方案进行了研究探

讨,国网也有相应的规范要求^[1-4],目前国内变电站和部分风电场已经开始应用交直流一体化电源方案^[5-10],对海上风电有重要的借鉴意义,但国内还没有海上风电工程采用交直流一体化方案,也缺乏交直流一体化方案在海上风电的应用研究。本文根据相关规范要求,将站用各电源进行一体化设计、一体化监控,实现站用电源设备的系统联动。该方案减少了屏柜和蓄电池的数量,增加了智能终端设备对站用电进行一体化监控。对于空间紧张的海上升压站而言,交直流一体化电源系统可节省安装空间和投资成本,具备较好的工程应用价值。

因此,本文对海上风电场交直流一体化设计方

收稿日期: 2018-05-28 修回日期: 2018-09-11

基金项目: 中国能建广东院科技项目“海上风电场电气系统关键技术及电气设计”(EV02861W)

案进行了探讨分析。

1 海上风电场交直流一体化方案分析

1.1 电源备用小时数的选择

根据《电力工程直流电源系统设计技术规程》(DL/T 5044—2014)规范要求, 孤立发电厂和无人值守的变电站的控制、保护、监控系统、UPS 等负荷事故放电时间为 2 h, 由于海上风电场升压站属于无人值守, 陆上集控中心为少人值班, 考虑到海上风电场发生故障后, 维修人员到达时间较长等因素, 交直流一体化电源系统的电气负荷宜按 2 h 事故放电时间计算, 考虑到海上风电场升压站的通信设备涉及事故应急通信, 由于海上升压站可达性较差, 需要更长的通信时间, 通信负荷宜按 4 h 事故放电时间计算。

1.2 通信电源可靠性的问题

对于海上风电场交直流一体化设计方案, 为提高 DC/DC 模块故障系统的可靠性, 有以下改进措施:

1) DC/DC 模块采用 $N+1$ 配置。当单个模块故障时, 不影响系统的正常工作。

2) 增加一套 AC/DC 模块输出, DC/DC 模块按系统设计容量配置, 同时配置 1 套相同容量的 AC/DC 模块输出在同一段 DC 48 V 直流母线上。平时通信负载由 DC/DC 模块提供, 当直流故障或者 DC/DC 模块故障, 可自动零毫秒切换至 AC/DC 模块。

1.3 逆变电源可靠性的问题

由于 UPS 没有配置蓄电池, 当交流失电时, 都由直流系统供电。当 DC/AC 模块故障时, 切换到旁路输入。对于海上风电场交直流一体化设计方案, 为保证系统可靠性, UPS 一般考虑采用主机双重化冗余配置。

1.4 DC/DC 电源脱扣的问题

当通信负荷出现大电流过载冲击或馈线回路发生短路故障时, DC/DC 变换器的输出限流保护动作有可能造成母线电压跌落, 使通信设备失电。对于海上风电场交直流一体化设计方案, 可以采用以下措施来避免:

1) 模块总输出电流不宜小于馈线回路中最大直流断路器额定电流的 4 倍, 保证馈线开关的过流保护能够动作^[2]。

2) 馈线断路器宜选用 B 型脱扣曲线的直流断路器, 降低断路器脱扣动作值。B 型微断的瞬时脱扣范围为 $4 I_n \sim 7 I_n$, 适用于保护短路电流较小的负载^[2], I_n 为断路器的额定电流。

2 海上升压站交直流一体化方案设计

以某海上风电场工程为例, 65 × 4 MW 机组以 35 kV 等级电压接入 220 kV 海上升压站, 布置两台 220/35 kV 容量为 140 MVA 的主变压器, 采用 2 回 220 kV 三芯 3 × 400 mm² XLPE 绝缘海底电缆送至陆上集控中心。

2.1 海上升压站的 UPS 电源计算

海上 220 kV 升压站配置 1 面 UPS 电源及事故照明柜, 采用主机双重化冗余配置方式, 为站内重要的交流用电设备供电, 如监控系统、火警系统、逆变电源、电能采集系统、视频监控系统、导航系统等。升压站 UPS 负荷清单如表 1 所示, 功率因素和容量换算系数分别参考规范 DL/T 5491—2014 《电力工程交流不间断电源系统设计技术规程》附录 B 和附录 C 内容。

表 1 海上升压站的 UPS 负荷清单

Tab. 1 The list of UPS loads at offshore wind farm booster station

负荷名称	负荷容量 S_i/kVA	功率因数 $\cos\phi_i$	换算系数 K	单个计算负荷有功功率 P_i/kW	单个计算负荷无功功率 Q_i/kvar
监控系统	3.0	0.95	0.7	2.0	0.7
电能采集系统	1.0	0.80	0.8	0.6	0.5
电能质量监测	0.5	0.80	0.8	0.3	0.2
视频监控系统	0.8	0.80	0.8	0.5	0.4
火灾报警系统	0.4	0.80	0.8	0.3	0.2
海事监控系统	0.5	0.95	0.7	0.3	0.1
导航系统	1.5	0.95	0.7	1.0	0.3
事故照明系统	2.5	0.90	1.0	2.3	1.1
其他	2.0	0.90	0.8	1.4	0.7
负荷统计/kVA	—	—	—	8.0	3.8

根据规范《电力工程交流不间断电源系统设计技术规程》(DL/T 5491—2014)附录 C 计算方法, 得到计算负荷的有功功率 $P_c = 8 \text{ kW}$, 计算负荷的无功功率 $Q_c = 3.8 \text{ kvar}$ 。

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} = 8.9 \text{ kVA}$$

$$S = K_k \frac{S_c}{K_f K_d} = 12.5 \text{ kVA}$$

$$I_{\text{ups}} = \frac{K_{\text{ups}} P_c}{U} = 21.82 \text{ A}$$

式中： S 为 UPS 计算容量； S_c 为计算负荷； K_k 为可靠系数，取 1.25； K_f 为功率校正系数，取 0.89； K_d 为降容系数，取 1^[3]； I_{UPS} 为 UPS 直流输入端计算电流； U 为直流系统的电压，DC 220 V； K_{ups} 为风电场 UPS 的负荷系数，取 0.6^[2,4]。

得到 UPS 计算容量为 12.5 kVA。考虑一定裕量，选取 UPS 容量为 20 kVA，备电时间为 2 h。

UPS 系统与 220 V 直流电源系统的蓄电池系统相连，不配置 UPS 专用的蓄电池。UPS 电源及事故照明屏柜布置在升压站二次设备室。

2.2 海上升压站的通信电源计算

海上升压站的通信直流系统由站内直流系统供电，通信设备的直流负荷统计如表 2 所示：

则直流交接电源 (DC/DC) 负荷为 3.65 kW。根据 DC/DC 变换装置的负荷系数为 0.8^[2]，求得 DC/DC 变换装置的电流为 13.28 A。

配置 2 套 DC/DC 装置，DC/DC 模块采用 $N + 1$ 配置，同时，为确保通信电源的可靠性，增加一套 AC/DC 模块输出，在 220 V 直流系统故障时，仍然能保证通信直流的正常工作。

2.3 海上升压站的直流电源计算

直流系统电压为 220 V。设两组固定型阀控式密封免维护胶体蓄电池，给升压站中控制、保护、综合自动化、防盗报警等设备供电，事故放电时间

为 2 h。通信用 DC/DC 变换装置的事故放电时间为 4 h。

表 2 海上升压站的通信负荷清单
Tab. 2 The list of communication loads at offshore wind farm booster station

序号	设备名称	数量	小计	
			单机功耗/W	总功耗/W
1	语音交换机系统	—	—	—
1.1	调度/行政交换机	1	300	300
1.2	调度录音系统	1	300	300
2	光传输网络系统	—	—	—
2.1	传输设备 STM-16	1	600	600
2.2	传输设备 STM-4	1	500	500
2.3	PCM	1	50	50
3	数据网设备	—	—	—
3.1	调度数据网设备	2	300	600
3.2	调度管理信息网设备	1	300	300
4	预留	—	—	—
4.1	将来的发展	1	1 000	1 000
总功耗/W		—	—	3 650

海上升压站直流系统设计为两段单母线接线，每组蓄电池及其充电装置分别接入不同母线段，二段直流母线之间设联络电器。直流系统采用辐射型供电方式，减少相互影响，提高供电可靠性。升压站直流负荷清单如表 3 所示。

根据 DL/T 5044—2014 规范要求，按阶梯算法计算蓄电池容量。其中放电终止电压取 1.87 V，

表 3 海上升压站的直流 DC 220 V 负荷清单

Tab. 3 The list of DC 220 V loads at offshore wind farm booster station

负荷名称	装置容量/kW	负荷系数	计算电流/A	经常负荷电流/A I_{jc}	初期	事故放电时间及放电容量/Ah						
						持续/min						随机
						1 min	1~30	30~60	60~90	90~120	120~240	5 s
					I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_R	
应急照明	0.55	1.00	2.50	—	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	—	—	
正常照明	2.50	1.00	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	—	—	
保护测控设备	3.00	0.80	10.91	10.91	10.91	10.91	10.91	10.91	10.91	—	—	
监控系统站控层设备	1.00	0.80	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	—	—	
断路器跳闸	—	—	30.00	—	30.00	—	—	—	—	—	—	
断路器自投	—	—	2.50	—	2.50	—	—	—	—	—	—	
恢复断路器合闸	1.00	1.00	4.55	—	—	—	—	—	—	—	4.55	
UPS	—	—	21.82	—	21.82	21.82	21.82	21.82	21.82	—	—	
DC/DC	—	—	13.28	—	13.28	13.28	13.28	13.28	13.28	13.28	—	
电流合计/A	—	—	—	25.91	96.00	63.50	63.50	63.50	63.50	13.28	4.55	

可靠系数 K_k 取 1.4, 放电电压的容量换算系数查直流规程 61 页^[2]。计算得到蓄电池容量为 593.38 Ah, 考虑一定的裕量, 故蓄电池容量选为 600 Ah。

按照两电两充的方式选择 20 A 的高频开关电源模块, 充电模块按 $(N+1)$ 配置。计算得出选 20 A 的高频开关电源模块 6 个。

蓄电池布置在海上升压站蓄电池室内, 直流充电柜和馈线屏柜布置在海上升压站二次设备室。

2.4 海上升压站的交直流电源一体化方案

由上可得, 海上升压站的交直流电源一体化方案, 如图 1 所示。

根据此方案, 有郊地节省了海上升压站空间。可节省 2 台 UPS 旁路柜、2 台 UPS 馈线柜、2 台通信电源馈线柜等屏柜。同时, 节省 2 组 UPS 蓄电池、2 组通讯电源蓄电池。

3 陆上集控中心交直流一体化方案设计

陆上集控中心由于用地空间相对充裕, 且电网有规范要求陆上集控中心通信蓄电池需独立配置, 因此陆上集控中心的交直流一体化电源系统只将直流系统、UPS 系统合并。通讯直流部分设置独立的通信直流蓄电池室和通信机房。

3.1 陆上集控中心的 UPS 电源计算

陆上集控中心配置 1 套 UPS 电源系统, 为站内重要的交流用电设备供电, 如计算机监控系统、导航系统、电能采集系统、逆变电源等。UPS 采用主机双重化冗余配置方式, UPS 系统与 220 V 直流电源系统的蓄电池系统相连, 不设专用的蓄电池。UPS 电源及事故照明柜布置在陆上集控中心二次设备室。陆上集控中心 UPS 负荷清单如表 4 所示。

表 4 陆上集控中心的 UPS 负荷清单

Tab. 4 The list of UPS loads at offshore wind farm land control center

负荷名称	负荷容量 S_i/kVA	功率因数 $\cos \phi_i$	换算系数 K	单个计算负荷有功功率 P_i/kW	单个计算负荷无功功率 Q_i/kVar
监控系统	3.0	0.95	0.7	2.0	0.7
电能采集系统	1.0	0.80	0.8	0.6	0.5
电能质量监测	0.5	0.80	0.8	0.3	0.2
视频监控系统	0.8	0.80	0.8	0.5	0.4
火灾报警系统	0.8	0.80	0.8	0.5	0.4
海事监控系统	0.5	0.95	0.7	0.3	0.1
风机监控系统	1.5	0.95	0.7	1.0	0.3
事故照明系统	2.5	0.90	1.0	2.3	1.1
其他	2.0	0.90	0.8	1.4	0.7
负荷统计/kVA	—	—	—	8.3	4.0

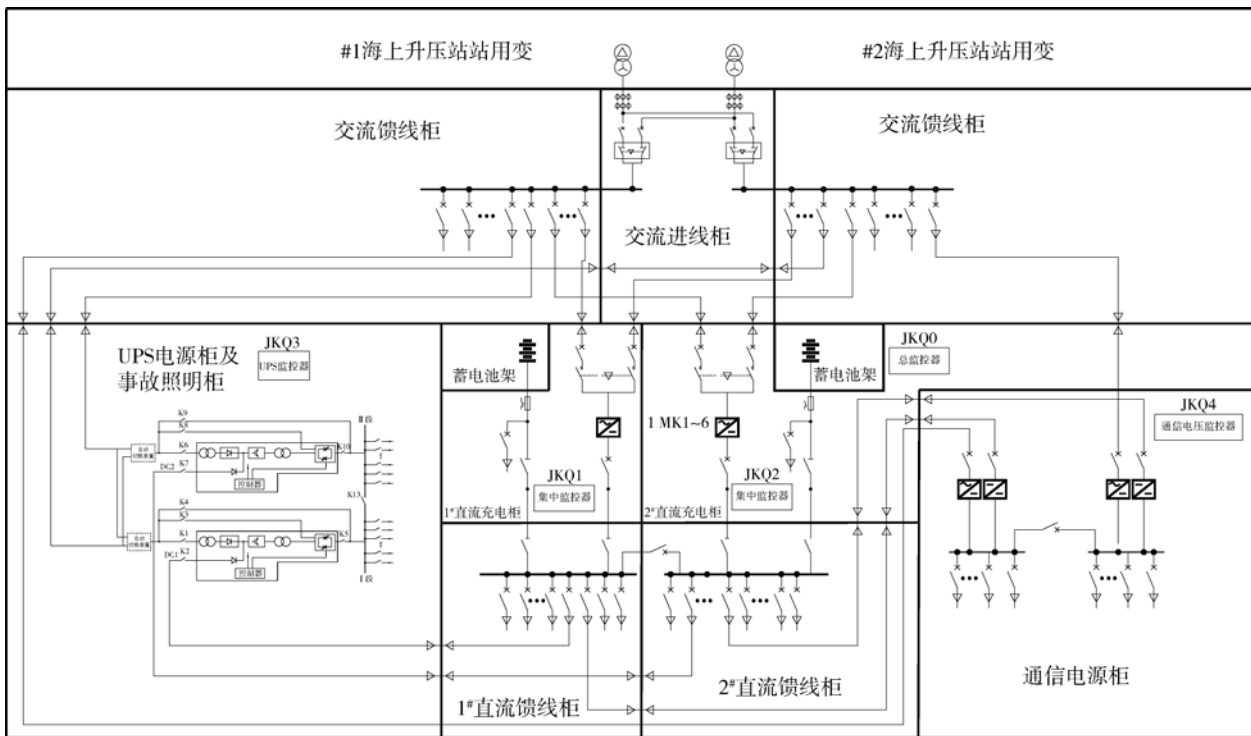


图 1 海上升压站的交直流电源一体化设计方案

Fig. 1 The AC and DC power supply integrated design system of offshore wind farm booster station

同理，求得 UPS 计算容量 S 为 12.9 kVA。考虑一定裕量，选取 UPS 容量为 20 kVA，备电时间为 2 小时。陆上集控中心的 UPS 直流输入端计算电流 I_{UPS} 为 22.63 A。

3.2 陆上集控中心的直流电源计算

同理，陆上集控中心的直流负荷清单如表 5 所示。根据 DL/T 5044—2014 规范要求，按阶梯计算法计算蓄电池容量。计算得到蓄电池容量为 397.42

Ah，考虑一定的裕量，故蓄电池容量选为 400 Ah。计算得出选 20 A 的高频开关电源模块 4 个。

蓄电池布置在陆上集控中心蓄电池室，直流充电柜和馈线屏柜布置在陆上集控中心二次设备室。

3.3 陆上集控中心的交直流电源一体化方案

由上可得，陆上集控中心的交直流电源一体化方案，如图 2 所示。

根据此方案，可节省 2 台 UPS 旁路柜、2 台

表 5 陆上集控中心的直流 DC 220V 负荷清单

Tab. 5 The list of DC 220 V loads at offshore wind farm land control center

负荷名称	装置容量 /kW	负荷系数	计算电流 /A	经常负荷电流 / $A_{I_{jc}}$	事故放电时间及放电容量/Ah						
					初期	持续/min					随机
					1 min	1~30	30~60	60~90	90~120	120~240	5 s
				I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_R	
直流长明灯	1.50	1.00	6.82	—	6.82	6.82	6.82	6.82	6.82	—	—
保护测控设备	3.00	0.80	10.91	10.91	10.91	10.91	10.91	10.91	10.91	—	—
监控系统站控层设备	1.00	0.80	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	—	—
断路器跳闸	—	—	15.00	—	15.00	—	—	—	—	—	—
断路器自投	—	—	2.50	—	2.50	—	—	—	—	—	—
恢复断路器合闸	1.00	1.00	4.55	—	—	—	—	—	—	—	4.55
UPS	—	—	22.63	—	22.63	22.63	22.63	22.63	22.63	—	—
电流合计/A	—	—	—	14.55	61.50	44.00	44.00	44.00	44.00	0.00	4.55

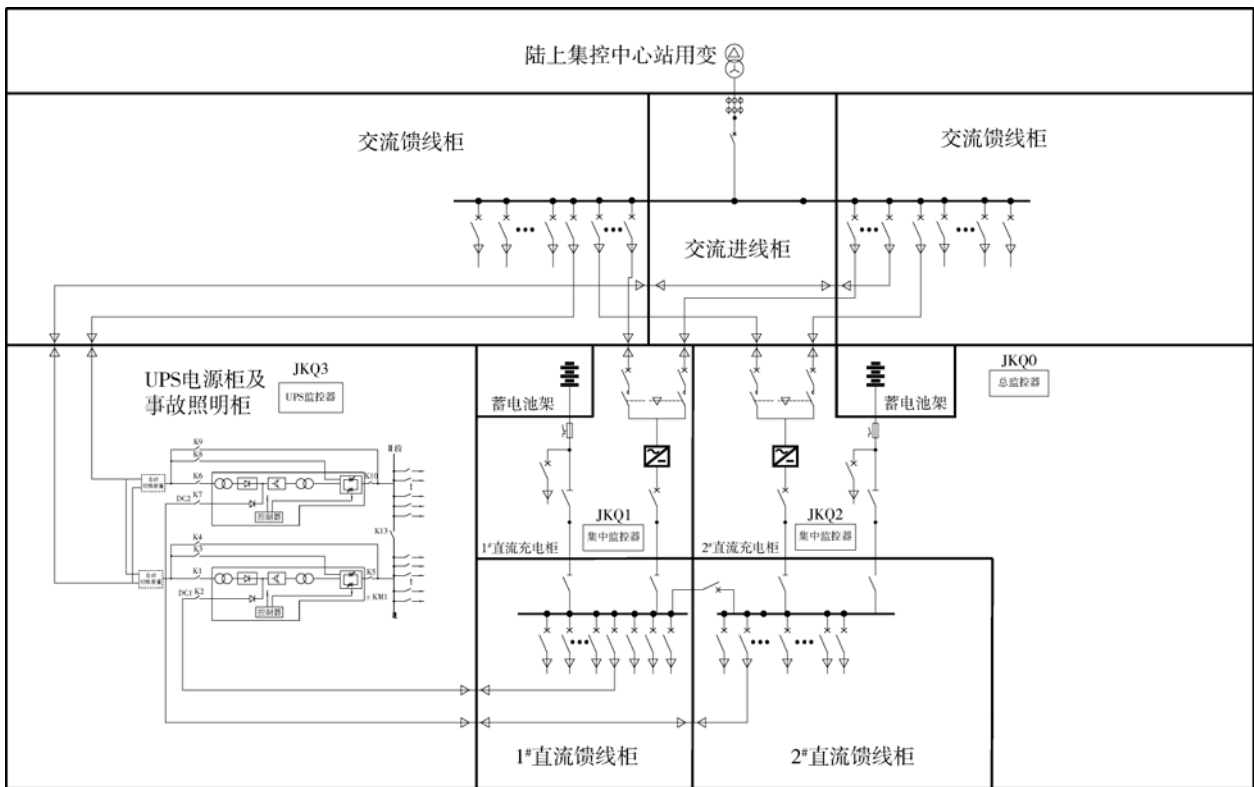


图 2 陆上集控中心的交直流电源一体化设计方案

Fig. 2 The AC and DC power supply integrated design system of offshore wind farm land control center

UPS 馈线柜等屏柜。同时,节省2组UPS蓄电池。

4 结论

海上风电场交直流一体化设计方案,简化了电源设备的结构,同时有效地节省了海上升压站的投资成本。在实际工程应用中,具体优势如下:

1) 交直流一体化电源方案能够有效地减少屏柜数量,节省了安装空间和投资成本。

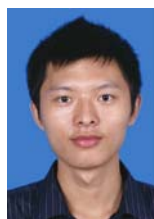
2) 交直流一体化电源方案能够实现交直流电源的一体化监控,相比之前多个的电源系统的分散监控,电源系统一体化监控有自动化程度更高,方便后期的运维工作。

3) 交直流一体化电源方案的将多个电源系统设备由一个供货商供货,建设和运维期间方便对供货商进行统一管理。

参考文献:

- [1] 国家电网有限公司. 站用交直流一体化电源系统技术规范: Q/GDW 576—2010 [S]. 北京: 国家电网有限公司, 2010. State Grid Corporation of China. The technical specification for AC and DC integrated power supply system used in substation: Q/GDW 576—2010 [S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2010.
- [2] 国家能源局. 电力工程直流电源系统设计技术规程: DL/T 5044—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2015. National Energy Administration. Technical code for design of DC auxiliary power supply system of power engineering: DL/T 5044—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [3] 国家能源局. 电力工程交流不间断电源系统设计技术规程: DL/T 5491—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2015. National Energy Administration. Technical code for the design of AC uninterruptible power system of power engineering: DL/T 5491—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 电力用直流和交流一体化不间断电源设备: DL/T 1074—2007 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2007. National Development and Reform Commission. Integrated uninterruptible power supply equipment of DC and AC for power system: DL/T 1074—2007 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.
- [5] 刘成印, 高峰, 马金平, 等. 一体化的变电站电源系统 [J]. 电力自动化设备, 2010, 30(9): 111-113. LIU C Y, GAO F, MA J P, et al. Integrated power system in substation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(9): 111-113.
- [6] 周勇, 卫成杰, 陈忻磊, 等. 交直流一体化电源系统在特高压练塘站的应用 [J]. 华东电力, 2014, 42(9): 1766-1773. ZHOU Y, WEI C J, CHEN X L, et al. AC and DC integrated power supply system used in Liantang substation [J]. East China Electric Power, 2014, 42(9): 1766-1773.
- [7] 赵轶珏, 樊冬梅. 交直流电源一体化存在问题探讨 [J]. 广西电力, 2013, 36(6): 76-78. ZHAO Y J, FAN D M. AC and DC integrated power supply system research [J]. Guangxi Electric Power, 2013, 36(6): 76-78.
- [8] 李淮海, 张玉林, 孙向东, 等. 智能交直流一体化站用电源系统的研究与应用 [J]. 华东电力, 2011, 39(6): 919-922. LI H H, ZHANG Y L, SUN X D, et al. Research and application on the AC and DC integrated power supply system [J]. East China Electric Power, 2011, 39(6): 919-922.
- [9] 陈亮亮, 杨镇灏, 刘孝鑫, 等. 风电场升压变电站交直流一体化电源的研究与设计 [J]. 西北水电, 2016(2): 63-66. CHEN L L, YANG Z H, LIU X X, et al. Research and design on the AC and DC integrated power supply system of wind farm [J]. Northwest Hydropower, 2016(2): 63-66.
- [10] 曹程杰. 智能变电站交直流一体化电源计算与选择 [J]. 电工技术, 2013(11): 16-18+28. CAO C J. Calculation on the AC and DC integrated power supply system of smart substation [J]. Electric Engineering, 2013(11): 16-18+28.

作者简介:



TAN R S

谭任深(通信作者)

1988-, 男, 湖南湘潭人, 工程师, 电气工程及其自动化硕士, 主要从事海上风电电气设计研究工作 (e-mail) tanrenshen@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)