

风电机组的照明配电系统设计

杨震宇, 史晓鸣, 吴文深

(浙江运达风电股份有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要:为了解决风电机组安全运行和设备维修的照明问题,在对风电机组的照明灯具、照度和应急电源进行计算与分析的基础上,建立了照明配电系统和风电机组之间的关系,提出了采用正常照明、局部照明和应急照明三级照明设置方法,并进行了计算和研究。风电场现场的应用结果表明,该系统稳定、可靠,能满足现场需要。

关键词:风力发电机组;照明配电;照度;正常照明;应急照明

中图分类号:TM614

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)12-1495-07

Design of lighting distribution system on wind turbine

YANG Zhen-yu, SHI Xiao-ming, WU Wen-shen

(Zhejiang Windey Co. Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: In order to solve the lighting problems of the safety and maintenance on wind power, by analyzing the lighting appliance, illumination and emergency power of the wind turbine, the relationship between the lighting distribution system and the wind turbine was established. Using three-step lighting methods of normal lighting, partial lighting and emergency, new design was presented. The results show that the lighting distribution system is stable and meets the on-site operation.

Key words: wind turbine; lighting distribution system; illumination; normal lighting; emergency lighting

0 引言

风能是目前最具备规模开发条件的可再生清洁能源,随着现代科学技术的迅猛发展,风电机组的单机容量越来越大,为了能吸收更多的能量,机组的安装高度不断增加,叶轮直径加大^[1]。而机组内的照明配电系统,对整机安全运行和设备检修有着不可或缺的作用。风电机组的照明系统主要是分为机舱照明和塔筒照明两部分。

照明配电系统的设计跟风力发电机组安装地点的自然条件和周围环境有关,存在不确定性,需要具体问题具体分析,本研究针对风电机组的照明配电系统进行分析与设计。

1 机组结构简述

水平轴风力发电机组示意图如图1所示。

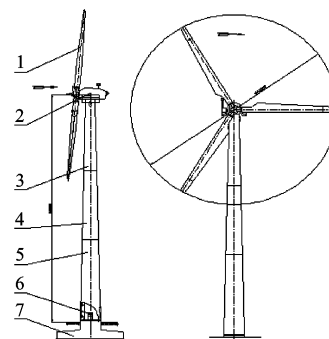


图1 风力发电机组示意图

1—风轮;2—机舱;3—塔架上段;4—塔架中段;5—塔架下段;6—电器控制柜;7—基础

1.1 机舱

机舱包括机舱座和机舱罩两部份^[2]。机舱内有足够的空间用于维护,并配有相应的照明系统,即使在恶劣的天气条件下也可以不打开机舱罩进行维护,具

有可靠的防雨、防霜、防雪、防沙尘等性能。

1.2 塔筒

风力发电机组的塔架为圆锥形钢结构焊接构件,是风力发电机组的主要承重构件。塔筒通常分为上段、中段、下段和基础段等四部分,各部分采用高强度螺栓连接,塔筒的空间较小,无窗口而呈封闭状态。根据安装高度的不同,塔筒内部的照明设备布置也有所不同。

以 WD750 型风力发电机组为例,不同轮毂高度的塔架各段的外形尺寸数据如表 1 所示。

表 1 WD750 风电机塔筒参数(mm)

部件	50 m 塔架	65 m 塔架
塔架上段	Φ2 160 长 17 080	Φ2 325 长 21 780
塔架中段	Φ2 724 长 16 800	Φ3 155 长 22 000
塔架下段	Φ3 250 长 14 900	Φ3 900 长 20 000

2 照明配电系统设计目的

照明配电系统的设计目的:①优化照明设计,节约电能;②选择合理的照度标准;③合理采用电光源、电气附件等;④优化照明控制。

风力发电机组的照明通常分为正常照明、局部照明和应急照明:

(1) 正常照明。保证风力发电机组稳定安全运行,方便维护人员日常工作要求,一般由市电供电。

(2) 局部照明。为临时性电源供电,以满足机组运行过程中监控和检修设备之需要。可在机舱和塔筒内部主要设备的安装处,设置若干备用电源插座。

(3) 应急照明。一般为安全照明和疏散指示标志照明,安全照明为正常照明的一部分。当正常照明因故失电时,无论应急照明的控制开关处于何种状态(开、闭),都应自动点亮。

本研究结合风电机组的结构特点和安装地区的自然环境,进行了照明配电系统的优化设计,实现绿色照明。在塔筒和塔架透光性较差的情况下,通过电气照明实现光过渡,使得由于机组内、外亮度对比变化引起的“黑洞”效应降至最低,设置了应急照明,采用 UPS 或 EPS 电源供电,在紧急情况下维持约 30 min 的供电能力,以便维护人员进行特殊环境下的照明要求和安全撤离,并保障机组的安全运行。照明控制方式根据运行需要,可集中控制、分组控制或单独控制。

3 照度计算

3.1 机组最小照度值

目前,尚未有风力发电机组的统一照明标准,可以根据《民用建筑电气设计规范》JGJ16-2008 关于“电梯井道的照度不小于 50 lx”的要求,或根据业主对照度的要求,选择最小照度值^[3]。正常照明时,塔筒的最低照度为 50 lx,机舱的最低照度为 100 lx;局部照明时,按照度 300 lx 以上来选择和配置灯具;安全照明时,光照度维持在 10 lx 以上。

3.2 几点假定

由于风电机组结构的特殊性,为简化计算起见,本研究作如下的假定:

3.2.1 塔架

本研究以 WD750 风电机组 65 m 高的塔架为例进行照度的计算。

假定在塔筒的内壁表面涂浅灰色油漆,并设置检修用铁扶梯,如图 2(a)所示。

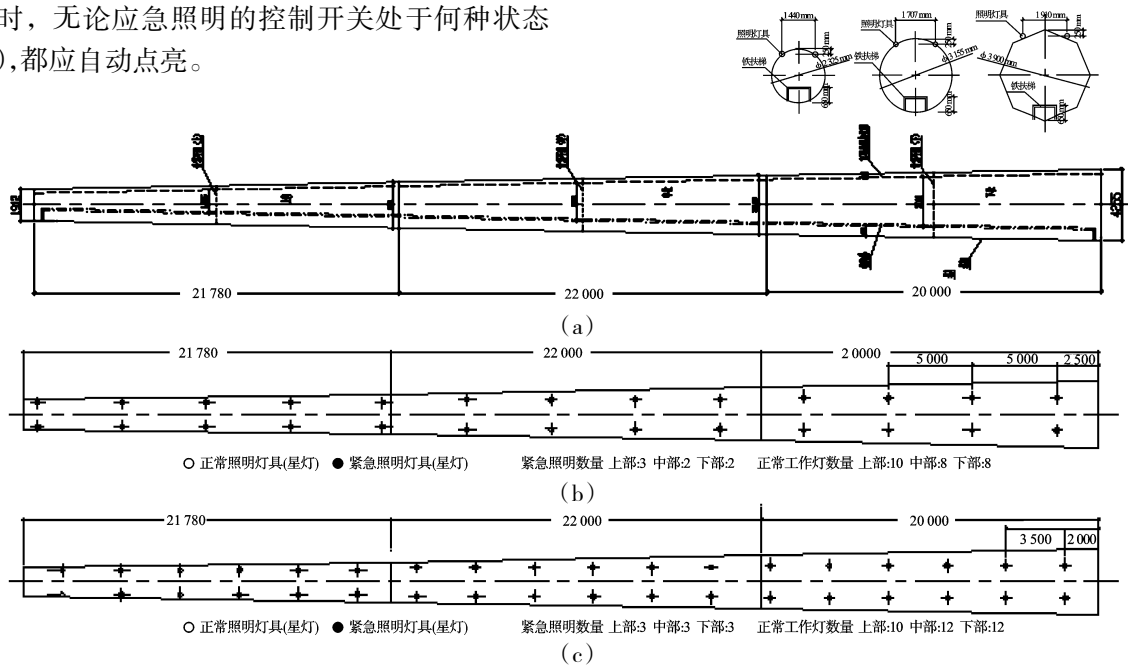


图 2 塔筒照明灯具布置图

由于塔筒的空间较小,无窗口呈封闭状态,相当于一 条竖立的狭长的走廊。以铁扶梯为假想光照工作面,在其对面的塔壁上安装照明灯具,每一安装高度设置照明灯具。两种不同间距的照明灯具的均匀布置方案如图 2(b)、图 2(c)所示,采用不同的光源,对上、中、下各段分别进行照度计算。

由于塔筒截面为圆形,本研究用等效正方形断面来进行照度计算。各段塔筒的尺寸示意图如图 3 所示。设塔筒的平均直径为 d ,等效正方形边长为 a ,则:

$$\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = a^2 \tag{1}$$

$$a = \sqrt{\frac{\pi}{4}} \cdot d = 0.886 \cdot d \tag{2}$$

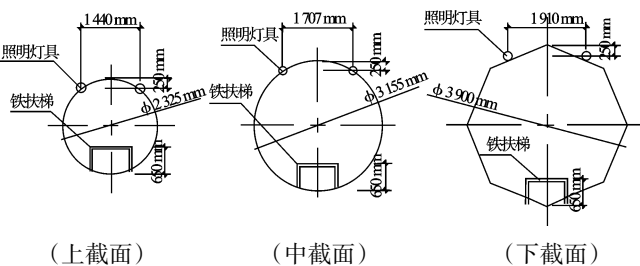


图 3 灯具断面布置示意图

具体计算数据如表 2 所示。

表 2 塔筒截面尺寸

塔别	塔筒的平均直径 d/mm	等效正方形截面边长 a/mm
上	2 325	2 060
中	3 155	2 796
下	3 900	3 456

3.2.2 机舱

WD750 风电机组的机舱外形尺寸为 $6\,600 \times 2\,930 \times 2\,730\text{ mm}$,两种不同的照明灯具布置方案如图 4 所示。机舱的照明灯具可依机舱的具体结构进行布置,以高出机组底部安装平面的 0.65 mm 处为光照工作面。

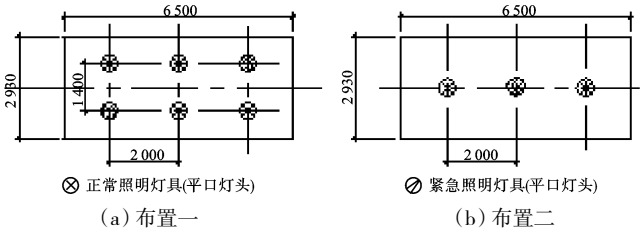


图 4 机舱照明灯具布置图

表 3 每一安装高度设置两盏灯具的照度(上、下层的灯具间距为 5 m)

段 别	灯具布置间距/m		数量/只	不同光源下的光照度计算值 / lx				
	高	宽		PZ220-100	PZ220-60	YPZ220/35	YPZ220/65	YPZ220/85
塔筒(上)	5	1.44	10	56.14	32.15	110.24	205.68	268.97
塔筒(中)	5	1.7	8	32.65	18.90	64.11	119.60	156.40
塔筒(下)	5	1.9	8	29.05	16.64	57.21	106.74	139.58

3.3 计算步骤

3.3.1 计算公式

利用系数法适用于灯具均匀布置的一般照明及利用周围墙、天花板作为反射面的场所。每一个灯具内灯泡的光通量:

$$F = \frac{EKZS}{N\eta} (\text{lm}) \tag{3}$$

最小照度值:

$$E = \frac{FN\eta}{KZS} (\text{lx}) \tag{4}$$

式中: K —减光补偿系数; S —房间面积, m^2 ; N —灯具数量; η —光通利用系数; Z —最小照度系数(平均照度与最小照度之比)。

式(3)是当要求最小照度为 E 时,每一个灯具所应发出的光通量(lm);如果只需保证平均照度时,则不必乘以最小照度系数 Z ,一般是按照最小照度计算的。

3.3.2 计算步骤

- (1) 将所选灯具布置好,确定合适的计算高度。
- (2) 根据灯具的计算高度 h 及房间尺寸 a, b 确定室形指数 $i(i=a \cdot b/[h \cdot (a+b)]), a \cdot b=S$ 。
- (3) 根据所选灯具的型号和墙壁、天花板与地面的反射系数以及室形指数 i ,查得相应的光通系数 η 。
- (4) 确定系数 Z 值和 K 值。
- (5) 根据规定的最小照度,按式(1)计算每只灯具所必须的光通量。
- (6) 根据计算的光通量选择灯泡的功率。
- (7) 按式(2) 验算实际的最小照度。

3.4 计算数据处理

3.4.1 正常照明时的照度计算

本研究选择照明灯具为普通白炽灯(PZ220-100、PZ220-60) 和电子节能灯(YPZ220/35、YPZ220/65、YPZ220/85),在上、下层灯具的不同间距或不同的灯具数量的情况下,分别进行照度计算,选择较好的布置方案。

塔筒内,照明灯具为垂直安装:

- (1) 图 2(b)方案,上、下层的灯具间距为 5 m ,每一安装高度分别安装 2 盏和 1 盏灯具,计算数据如表 3、表 4 所示。
- (2) 图 2(c)方案,上、下层的灯具间距为 3.5 m ,每

一安装高度分别安装 2 盏和 1 盏灯具,计算数据如表 5、表 6 所示。

机舱内照明灯具水平安装。计算数据如表 7 所示。

3.4.2 局部照明时的照度计算

在机舱和塔筒内部,局部照明作为正常照明的补充,局部照明的照度保证在 300 lx 以上,可利用临时

移动照明灯具来实现。

3.4.3 应急(安全)照明时的照度计算

应急照明灯具的布置情况如图 2(b)、图 2(c)、图 4 所示,其光照度为:

(1) 塔筒,不同间距时的计算数据如表 8、表 9 所示。

(2) 机舱,不同间距时的计算数据如表 10 所示。

表 4 每一安装高度设置一盏灯具的照度(上、下层的灯具间距为 5 m)

段 别	灯具布置间距/m		数量/只	不同光源下的光照度计算值 / lx				
	高	宽		PZ220-100	PZ220-60	YPZ220/35	YPZ220/65	YPZ220/85
塔筒(上)	5	0	5	28.07	16.08	55.12	102.84	134.48
塔筒(中)	5	0	4	16.32	9.35	32.05	59.80	78.20
塔筒(下)	5	0	4	14.53	8.37	28.61	53.37	69.79

表 5 每一安装高度设置两盏灯具的照度(上、下层的灯具间距为 3.5 m)

段 别	灯具布置间距/m		数量/只	不同光源下的光照度计算值 / lx				
	高	宽		PZ220-100	PZ220-60	YPZ220/35	YPZ220/65	YPZ220/85
塔筒(上)	3.5	1.44	12	67.37	38.58	132.29	246.82	322.76
塔筒(中)	3.5	1.7	12	48.97	28.05	96.16	179.41	234.61
塔筒(下)	3.5	1.9	12	43.70	25.03	85.82	160.11	209.37

表 6 每一安装高度设置一盏灯具的照度(上、下层的灯具间距为 3.5 m)

段 别	灯具布置间距/m		数量/只	不同光源下的光照度计算值 / lx				
	高	宽		PZ220-100	PZ220-60	YPZ220/35	YPZ220/65	YPZ220/85
塔筒(上)	3.5	0	6	33.68	19.29	66.16	123.41	161.38
塔筒(中)	3.5	0	6	24.48	14.02	48.08	89.7	117.30
塔筒(下)	3.5	0	6	21.85	12.51	42.91	80.05	104.69

表 7 图 4 的照度计算数据

段 别	灯具布置间距/m		数量/只	不同光源下的光照度计算值 / lx				
	长	宽		PZ220-100	PZ220-60	YPZ220/35	YPZ220/65	YPZ220/85
机舱(图 4 a)	2	0	3	40.8	23.37	80.12	149.49	195.48
机舱(图 4 b)	2	1.4	6	81.61	46.74	160.24	298.97	390.66

表 8 图 2(b)的计算数据

段 别	灯具布置间距/m		数量/只	不同光源下的光照度计算值 / lx				
	高	宽		PZ220-100	PZ220-60	YPZ220/35	YPZ220/65	YPZ220/85
塔筒(上)	10	1.44	3	16.84	9.65	33.07	61.70	80.69
塔筒(中)	10	1.7	2	11.23	4.67	22.05	29.90	39.10
塔筒(下)	10	1.9	2	7.26	4.16	14.26	26.61	34.80

表 9 图 2(c)的计算数据

段 别	灯具布置间距/m		数量/只	不同光源下的光照度计算值 / lx				
	高	宽		PZ220-100	PZ220-60	YPZ220/35	YPZ220/65	YPZ220/85
塔筒(上)	7	1.44	3	16.84	9.65	33.07	61.7	80.69
塔筒(中)	7	1.7	3	16.84	7.01	33.07	44.85	58.65
塔筒(下)	7	1.9	3	10.89	6.24	21.39	39.91	52.19

表 10 图 4 的计算数据

名 称	灯具布置间距/m		数量/只	不同光源下的光照度计算值 / lx				
	长	宽		PZ220-100	PZ220-60	YPZ220/35	YPZ220/65	YPZ220/85
机舱(图 4(a))	2	1.4	2	27.52	15.58	53.41	99.66	130.02
机舱(图 4(b))	0	0	1	13.60	7.79	26.71	49.38	65.16

表 11 各种光源性能一览表

光源种类	光效/ $\text{Lm}\cdot\text{w}^{-1}$	显色指数/ R_a	色温/K	平均寿命/h
白炽灯泡	7.3~18.6	95~99	2 400~2 950	1 000
石英卤素灯	25	100	3 000	2 000~3 000
SL 节能灯(泡)	50	85	2 700/5 000	8 000
高压汞灯	50	45	3 300~4 300	6 000
普通日光灯	70	70~80	全系列	5 000~8 000
PL 节能灯(管)	85	80	2 700/4 000/5 000	8 000
金属卤化物灯	75~95	65~92	3 000/4 500/5 800	6 000~10 000
三基色日光灯	96	60~98	全系列	10 000
高压钠灯	120	23/60/85	1 950/2 200/2 500	24 000

4 照明灯具的选择与布置

4.1 概述

照明设计应对光源的各种性能(例如技术性和经济性)进行综合对比。光源的种类大概分为:白炽灯、荧光灯、金属卤化物灯及 LED 灯^[4]。各光源的技术指标如表 11 所示。为节约电能,应积极推广使用高光效、长寿命光源^[5]。就风力发电机组而言,塔筒和机舱照明基本要求:

- (1) 保证足够的照度和必要的照明质量,包括良好的颜色显现,合理地限制眩光等。确保使用安全,包括防止照明系统运行引起火灾和电击事故,以及发生意外事故时保证人员安全疏散所必需的照明。
- (2) 尽可能选用寿命长、安全可靠、维护简单方便且有防潮、防溅、防污性能的照明灯具;光源品种尽可能少,以减少维护工作量;照明灯具要合理布置,有效发挥灯具作用。
- (3) 实现绿色照明,节约电能。
- (4) 考虑灯具的投资成本。

4.2 塔筒

塔筒的空间较小呈封闭状态,通风条件极差。塔筒内部潮湿,在运行过程中,电气元件的电磁线圈等散发的热量和空气中大量水汽,常在各种电气元件表面凝露,严重时使电气元件绝缘损坏和电气短路。因此,照明灯具应具有防潮、防溅、防污的性能,并且透烟雾性能好,以及寿命长、易启动、高效节能等特点。

照明灯具的安装位置视电气和机械设备的布置情况灵活安排。光线不宜被机械和电气设备或电缆等物件遮挡。同时应保证各段塔筒有足够的亮度,避免产生眩光或有不舒适的感觉。由于发电机组至控制屏之间,连接着许多电力电缆、控制电缆和通信电缆,它们或悬挂敷设,或沿塔架内壁敷设,施工时应尽量避免灯具与电力电缆安装在同一侧。不同安装高度的灯具,其安装位置应予适当的调整,或对临近敷设的电

缆采取固紧措施。

为了便于机组的运行检修,本研究在塔筒底部的配电控制间设置局部照明,选用手提式、移动式照明灯具,电气连接线选用橡皮电力电缆,易于移动和避免损伤。照明电源由备用单相电源插座引出。为了便于机组检修时的临时用电,设置若干三相电源插座箱。

关于上、下层灯具的间距问题,应按最低照度的要求来确定。

4.3 机舱

机舱通风条件比塔筒好,但常有表面凝露的现象,灯具应具有防潮、防溅、防污的性能,同样要易于维护和更换,如选用矿用安全灯、防水防潮灯或平面灯等,照明光源选用白炽灯或裸钨灯等。需要临时观察设备的局部照明,其实施方法与塔筒相同。

4.4 其他

- (1) 在塔筒的门框上方,设置自充电式应急疏散指示标志灯,提供安全出口标记;
- (2) 宜在机舱顶部设置航空障碍灯。

5 供电系统

5.1 概述

(1) 由于机组输出电压为 $3\ \Phi\sim 690\ \text{V}$,而照明配电系统输入电压为 $3\ \Phi\sim 400\ \text{V}$,需要通过自偶变压器或电力变压器进行电压变换。

(2) 风力发电机组的照明配电系统为 TN-S 制或 TN-C-S 制,电气中性线(N)与保护零线(PE)分开敷设,以利人身安全^[6]。

(3) 照明配电系统为放射式配电系统,塔筒和机舱内的照明灯具分别实行就地集中控制。为了满足应急照明的要求,供电系统内设置 EPS 电源或 UPS 电源,由专用电源供电;照明配电回路应满足正常照明和应急照明的自动切换;工作照明回路和应急照明回路可共同安装在同一配电箱内。

(4) 各照明配电支路在电气布线时增设 PE 线,选

用漏电式保护自动开关。

(5) 设置备用电源,内含三相和单相电源,以利于检修和维护。

5.2 用电负荷计算

机组照明设备的配置情况,如表 12 所示。

5.2.1 计算公式

低压用电设备的电气负荷计算采用需要系数法,按用电设备的性质进行分类。同类单组用电设备的计算公式为^[7]:

$$P_{js} = Kx \cdot Pe \quad (\text{kW}) \quad (5)$$

$$Q_{js} = P_{js} \cdot t \cdot \varphi \quad (\text{kvar}) \quad (6)$$

$$S_{js} = \sqrt{P_{js}^2 + Q_{js}^2} \quad (\text{kVA}) \quad (7)$$

$$I_{js} = \frac{S_{js}}{\sqrt{3} U_{e,x}} \times 10^3 \quad (8)$$

或:

$$I_{js} = \frac{P_{js}}{\sqrt{3} U_{e,x} \cdot \text{Cos}\varphi} \quad (9)$$

三相电源,且 $U_{e,x}=380 \text{ V}$ 时:

$$I_{js} = \frac{S_{js}}{\sqrt{3} \cdot 380} \times 10^3 \quad (\text{A}) \quad (10)$$

单相电源,且 $U_{e,\phi}=220 \text{ V}$ 时:

$$I_{js} = \frac{S_{js}}{220} \times 10^3 \quad (\text{A}) \quad (11)$$

式中: P_{js} 、 Q_{js} 、 S_{js} 、 I_{js} —该用电设备组的有功、无功、视在计算负荷和计算电流; Pe —该用电设备组的设备容量总和,但不包括备用设备容量; $U_{e,x}$ —额定线电压; $U_{e,\phi}$ —额定相电压; $\text{tg}\varphi$ —与运行功率因数相对应的正切值; K_x —该用电设备组的需用系数。

5.2.2 计算数据处理

照明灯具(以图 2 和图 4 为例)选用 PZ220-100 型白炽灯为例,进行用电设备的负荷计算。

(1) 正常照明容量估算,如表 13 所示。

(2) 应急照明容量估算,如表 14 所示。

5.3 配电系统设计

由表 13~14 知,虽然用电容量不大,但考虑到日常的电气维修,本研究采用三相四线电源(3Φ380/220 V)供电。整台风力发电机组在配电间设置总照明配电箱,在机舱设置分照明配电箱。照明灯具以集中控制为主,应急照明作为正常照明的一部分并与此同时使用,考虑由同一单相电源供电。

6 应急照明的电源及其控制

6.1 应急照明切换时间

应急照明由 EPS 电源供电。EPS 的电气原理方框图如图 5 所示。系统主要包括整流器、充电器、蓄电池组、逆变器、互投装置等部分。其中,逆变器是核心。整

表 12 机组照明设备的配置情况

	白炽灯(100 W/只)			航标灯 (碘钨灯,10 000 W/只)	电源插座 (200 W/只)	三相电源插座箱 (5 kW/台)	总安装容量/ kW
	主照明		局部照明				
	塔筒	机舱					
正常照明	36	6	4	1	4	1	11.8
应急照明	9	2		1	4		2.9

表 13 机组正常照明低压用电设备电气负荷计算表

序号	用电设备名称	设备台数	设备容量/kW		Kx	$\text{Cos}\Phi$	计算负荷			
			单台	合计			P_{js}/kW	Q_{js}/kVAR	S_{js}/kVA	I_{js}/A
1	白炽灯,100 W	42	0.1	4.2	0.85	1.00	3.57	0.00	3.57	
2	白炽灯(应急),200 W	4	0.2	0.8	0.85	1.00	0.68	0.00	0.68	
3	航标灯,1 000 W	1	1	1	0.85	0.55	0.85	1.29	1.55	
4	插座,200 W	4	0.2	0.8	0.55	0.70	0.44	0.45	0.63	
5	三相电源插座箱	1	5	5	0.55	0.7	1.00	1.02	1.43	
小计			11.8	0.55	0.92	6.54	2.76	7.10	10.76	

表 14 机组应急照明低压用电设备电气负荷计算表

序号	用电设备名称	设备台数	设备容量/kW		Kx	$\text{Cos}\Phi$	计算负荷			
			单台	合计			P_{js}/kW	Q_{js}/kVAR	S_{js}/kVA	I_{js}/A
1	白炽灯,100 W	11	0.1	1.1	0.85	1.00	0.94	0.00	0.94	
2	白炽灯(应急),200 W	0	0.2	0	0.85	1.00	0.00	0.00	0.00	
3	航标灯,1000 W	1	1	1	0.85	0.55	0.85	1.29	1.55	
4	插座,200 W	4	0.2	0.8	0.55	0.70	0.44	0.45	0.63	
小计			2.9	0.77	0.79	2.23	1.74	2.82		

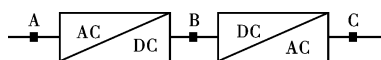


图 5 EPS 的电气原理方框图

流器的作用是将交流电变成直流电,充电器对蓄电池及逆变器模块供电。逆变器的作用则是将直流电变成交流电,给负载稳定持续地供电,互投装置保证负载在市电及逆变器输出间的顺利切换^[8]。在市电供电正常时,EPS 是通过它的交流旁路向负载供电。在市电故障时,EPS 必须瞬间切换至蓄电池组侧供电,要求转换时间 ≤ 250 ms。即在市电供电中断或市电电压超限($\pm 15\%$ 或 $\pm 20\%$ 额定输入电压)时,由 EPS 中的逆变器来供电。

6.2 EPS 的装机容量

应急照明对 EPS 的应急供电时间按工艺要求来决定,但要保证应急照明的照度值不低于正常照度值的 5%。

EPS 的带负载能力,不仅需要考虑逆变器在不同功率因数时的额定输出特性,还需要根据所使用的不同型号的应急照明灯具来选配 EPS 的输出功率和机型。同时,EPS 的输出功率需考虑留有 50%~100%的余量。若带有感性负荷,输出功率应留有更大的余量。

(1) 当应急照明采用白炽灯时,EPS 的满载输出功率为:

$$S = \frac{P}{0.8} \quad (\text{kVA}) \quad (12)$$

式中: S —EPS 满载输出的视在功率,kVA; P —应急照明灯具的总安装容量,kW;功率因数取 0.8(因 EPS 逆变器的输出功率按 $\cos\phi=0.8$ 时的视在功率标注的)。

(2) 当应急照明采用荧光灯时,实际选用 EPS 的满载输出功率为:

$$S = \frac{(1.3 \sim 1.5)P}{0.8} \quad (\text{kVA}) \quad (13)$$

其中:系数取(1.3~1.5),其原因是荧光灯启动时,存在较大的浪涌电流,故容量应增大。

6.3 EPS 电池配置方案

原则上,EPS 可以带具有各种不同功率因数的负载。EPS 为应急照明系统供电,要求持续工作时间不宜 ≤ 30 min。

应急电源采用单体逆变技术,集充电器、蓄电池、逆变器及控制器于一体。系统内部设计了电池检测、分路检测回路。

(1) 基本公式:

$$I_{\max} = \frac{S \cdot \cos\phi}{E_{\min} \cdot \eta} \quad (14)$$

$$Ah = I \cdot h \quad (15)$$

式中: S —EPS 容量,VA; $\cos\phi$ —功率因数; $E_{\min}$ —电池放

电终止电压,V; η —逆变器效率; $I_{\max}$ —最大放电电流。

(2) EPS 技术参数:

电池供电标称为 192 VAC 时,正常电压 220 VAC,放电终止电压 165 VAC;

逆变器效率 0.92;每只为 12 V 的电池,放电终止电压按 10.3 V 计算。

(3) 计算举例:

由表 12 知,应急电源的计算容量 $P=2.9$ kW,EPS 的计算容量为:

$$S = \frac{(1.3 \sim 1.5)P}{0.8} = 1.5 \times 2.9 = 4.35 \quad (\text{kVA})$$

选取 $S = 4$ kVA,则:

$$I_{\max} = \frac{4.0 \times 0.8 \times 10^3}{165 \times 0.92} = 21.71 \quad (\text{A})$$

应急时间为 30 min,蓄电池的安时为 10.86 Ah (21.71×0.5)。本研究选择一组 16 节 12 V/17 Ah (NP17-12 型)蓄电池。

6.4 逆变器及整流器容量计算

如图 5 所示,则:

C 点逆变器输出功率为: $4 \times 0.8 = 3.2$ kW;

B 点直流侧(DC)功率为: $3.2 / 0.92 = 3.48$ kW;

直流侧(DC)电压:额定 192 V,最低值 165 V;

EPS 由电池供电之低电压点为 $3.2 \times 103 / 192 = 16.67$ A(额定值), $3.2 \times 103 / 165 = 19.39$ A(最大值)。

6.5 控制

在进行应急照明供电设计时,本研究可采取“应急照明作为正常照明的一部分并与此同时使用”的这一形式,并设有单独的控制开关及配电线路,没有必要将全部应急照明灯都选用带蓄电池的照明灯具。

7 现场应用情况

该照明配电系统已应用于 WD750 型风电机组,从现场实际使用情况来看,该照明配电系统合理地分配了光源降低了“黑洞”效应,又兼顾各类照明的要求。在现场出外电网因故障突然断电时,风电机组的应急照明系统能迅速投入,保证临时的紧急照明需要,为风电机组的正常维护和临时应急照明提供了保障。

8 结束语

本研究就照明配电系统、照明灯具的选择、照度的选择与确定、应急电源的计算与选择等问题进行了分析与研究,并在风电场现场实际使用。现场使用情况良好,既方便实用又增加了风电机组的安全性。目前已批量推广使用。

(下转第 1515 页)

表 5 各方案的年费用对比表(电价按 0.2 元/(kW·h))

项目	单位	方案一	方案二	方案三	方案四
土建安装及控制费用	万元	38	55	38	55
设备总费用 Z_0	万元	189	235	329	406
全年总耗电量	kW·h	7 305 567	6 962 408	5 035 739	5 035 626
全年运行费 U_0	万元	146.1	139.2	100.7	100.7
年费用 NF	万元	179.8	181.1	159.4	173.2
经济排序		3	4	1	2

注:本表全年运行费 U_0 为电价与全年耗电量乘积,其他运行费用较少,未考虑。

2 结束语

按“年费用最小法”原则是设备选型的典范依据,各方案年费用排序分别为方案三(2×100%容量凝结水泵加变频器),方案四(3×50%容量凝结水泵加变频器),方案一(2×100%容量凝结水泵),方案二(3×50%容量凝结水泵),其中因为方案四耗电量高,操作复杂,安全可靠性能较差本研究不作推荐,而方案三年费用最小为 159.4 万元/年,则应为 4 个方案中最理想的方案。采用此方案 4 年就可以回收成本。而其他配置方案投资都较本方案高。

方案三采用变频器为一拖二,变频器容量与单台凝泵电机容量相对应,不但系统简单,而且无论在任何工况都可以保证机组运行的安全性。

在经济性比较中,凝结水泵加变频器的配置方案的初投资没有考虑设备的寿命问题,一般火力发电厂的设备选型要求寿命 30 年,但一般的变频器的使用寿命保证值只有 15 年。这样在发电厂的寿命期内存在更换一次变频器的可能性。但是由于成本回收的比较快,所以凝结水泵加变频器优越性还是比较突出的。

综上所述,本研究推荐火力发电厂 300 MW 级供热机组凝结水泵采用“2×100%容量凝结水泵(变频器一拖二)”的方案。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国国家经济贸易委员会.《火力发电厂设计技术规程》(DL5000—2000)[M]. 北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 王 泓,陈奕夫. 300 MW 机组凝结水泵优化配置方案[J]. 吉林电力,2008(4):12-14.
- [3] BURROWS A. New generation of condensate pumps for Russian power [J]. **Engineering World Pumps**,2004,45(7):32-33.
- [4] CAREY G. Condensate pumps...boiler feed pumps...whats the difference[J]. **Oilheating**,2009,68(6):10-15.
- [5] YU Xin-ying. Evaluation of energy consumption and analysis of energy saving[J]. **Energy**,2007(2):6-8.
- [6] 中国电力工程顾问集团公司. 火电工程限额设计参考造价指标(2010 年水平)[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [7] 唐茂平,王 斌. 1 000 MW 超超临界机组凝结水泵优化选型研究[J]. 热机技术,2009(1):5-14.
- [8] 郭立君,何 川. 泵与风机[M]. 北京:中国电力出版社,1994.
- [9] 闫 斌. 火电供热机组凝结水泵系统优化配置探讨[J]. 科技情报开发与经济,2007,17(35):292-294.
- [10] 王玉彬. 基于高压变频器的火电厂凝结水泵一拖二变频调速改造[J]. 工矿自动化,2006,3(6):88-90.

[编辑:张 翔]

(上接第 1501 页)

参考文献(References):

- [1] 叶杭冶. 风力发电机组的控制技术[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 叶杭冶. 风力发电系统的设计、运行与维护[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [3] 国家标准化工作委员会. GB50034—2004 建筑照明设计标准[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [4] 王 晶. 电气照明的节能设计探讨[J]. 低温建筑技术,2009,31(9):34-35.

- [5] 田长虹. 关于对大中型商业建筑照明的浅析[J],电工技术,2004(7):43-44.
- [6] 姚兴佳,宋 俊. 风力发电机组原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [7] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [8] 牛彩霞. EPS 应急电源及应用选配 [J]. 科技信息,2009(27):76-77.

[编辑:张 翔]