

电力基础设施薄弱地区的基站自供电技术研究

Self-Powered Technology of Base Station in Weak Areas of Power Infrastructure

王亚会/WANG Yahui¹
周振宇/ZHOU Zhenyu¹
贾云健/JIA Yunjian²

(1. 华北电力大学, 北京 102206;
2. 重庆大学, 重庆 400044)
(1. North China Electric Power University,
Beijing 102206, China;
2. Chongqing University, Chongqing
400044, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 05-0002-004

摘要: 提出基于可再生能源与柴油发电机互补的混合供电系统。通过深入分析多种混合供电系统的性能, 给出了适用于坦桑尼亚边远地区基站供电的解决方案, 缓解了边远地区电力基础薄弱、基站供电稳定性差等问题。同时, 混合供电系统的建设降低了移动网络运营商的发电成本以及温室气体的排放量。

关键词: 可再生能源; 混合供电系统; 移动网络运营商; 温室气体排放量

Abstract: A hybrid power supply system by combining renewable energy sources with diesel generators and batteries is proposed. By deeply analyzing the performance of various hybrid power systems, a solution for powering base stations in remote areas of Tanzania is presented. Thus, it alleviates the problems of weak infrastructures and poor stability of power systems in remote areas. Simultaneously, the construction of hybrid power supply system reduces the cost of mobile network operators and greenhouse gas emissions.

Keywords: renewable energy; hybrid power supply system; mobile network operators; greenhouse gas emissions

近年来, 随着无线通信技术的迅猛发展以及移动用户数量的不断增加, 移动通信在农业、教育和矿业等诸多社会经济部门发挥着重要的作用^[1-2]。然而, 亚太、非洲等地区的发展中国家以及边远地区, 由于电力基础设施薄弱、稳定性差, 基站供电的相关问题限制了移动通信的进一步发展。

以非洲的坦桑尼亚为例, 到2014年, 坦桑尼亚的电气化率仅为36%, 其中仅有11%的农村地区接入到配电网。由于电力供应不足, 坦桑尼亚农村地区的移动基站主要采用柴油发电机供电, 不仅能源效率低、运行成本高, 而且温室气体排放量大, 对环境产生了恶劣的影响。此外, 一些并网基站也会受到甩负荷和频繁断电的影响, 电力供应极不稳定, 通信

服务质量难以得到保障。如果能为移动基站配备新能源发电系统, 不仅可以解决通信系统的供电问题, 还可以有效降低温室气体排放以及供电成本^[3]。

新能源种类繁多, 主要包括太阳能、风能、水能、生物质能、潮汐能、地热能和氢能等可再生能源^[4], 其供电系统主要为太阳能和风力发电系统。太阳能发电系统利用光伏效应将太阳能光电板收集的太阳辐射能转化为电能^[5], 具有能源利用率高、设备简单、易扩展、维护成本低等优点。但是, 太阳能发电易受到天气影响, 不能连续为用户负荷供电, 因此作为独立供电系统时面临巨大的挑战。风力发电系统通过风机旋转叶片将风的动能间接转化为电能, 其建

设周期短、环境要求低、储能丰富^[6]。但是, 风电场只能建立在风能资源丰富的地区, 且风力发电机在雷暴中容易受损, 还需要不断完善风力供电系统。因此, 在基站供电规划和设计中, 应综合考虑新能源与柴油发电机互补的混合供电系统^[7]。

近年来, 印度、南非、尼日利亚、土耳其和澳大利亚等国家对混合供电系统展开了广泛研究。研究内容大多涉及独立发电机与太阳能和风能等可再生能源结合的混合供电系统^[8-9]。研究表明: 可再生能源发电, 尤其是太阳能发电、风力发电、柴油发电机结合, 可以显著降低柴油燃料消耗、系统运行和维护成本以及温室气体的排放量^[10]。

尽管坦桑尼亚可再生资源丰富

收稿日期: 2018-07-20

网络出版日期: 2018-10-12

基金项目: 中央高校基本科研业务专项资金项目(2017MS001)、教育部-中国移动科研基金项目(MCM20150102)

且潜力巨大,但是面向通信基站的混合供电系统尚未广泛部署。因此,文中我们针对坦桑尼亚边远地区新能源基站建设所面临的挑战开展分析,研究新能源基站的架构及评估原理,并通过 HOMER 软件对多种混合供电系统方案进行仿真验证和结果分析,以提供经济可行和环境友好的解决方案。

1 边远地区通信基站供电现状分析及挑战

本文采用调查问卷的方法,分析坦桑尼亚边远地区通信基站供电现状以及新能源基站建设所面临的挑战。问卷对象为坦桑尼亚多个移动网络运营商(包括 Tigo Tanzania、Airtel Tanzania、Vodacom Tanzania 和 TTCL Public Company Limited)的电信工程师,合计 21 人。

针对坦桑尼亚通信基站供电来源的调查结果如图 1 所示,主要结论如下:首先,通信基础设施的主要电力来源仍然是电网和柴油发电机(95%),仅有 19% 的受访者指出一些运营商利用太阳能发电为基础设施供电;其次,对于边远地区的基站,由于电网稳定性差,主要采用柴油发电机作为电力来源(62%),而太阳能发电所占的比例很少(19%);最后,无论是基础设施还是边远地区基站供电,风力发电的应用均非常少。由此可见:可再生能源不是坦桑尼亚通信网络基础设施的主要电力来源,其原因如表 1 所示。结果显示:高昂的安装成本(95%)、不可预测的天气情况(95%)、技术人员(57%)的缺乏和可

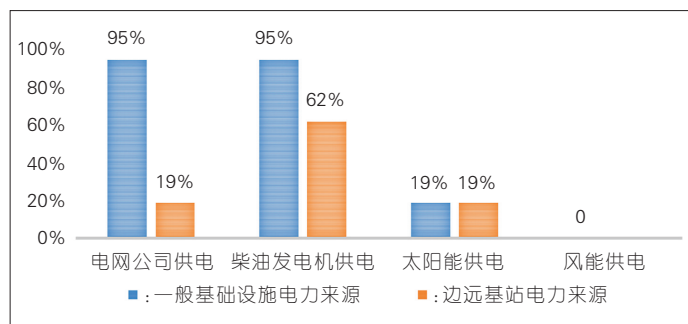


图 1 坦桑尼亚网络基础设施和边远基站的电力来源

表 1 电气工程师对坦桑尼亚移动网络运营商使用可再生能源供电的挑战的分析

面临的挑战	百分比/%
高昂的安装成本	95
高昂的运行成本	38
不可预测的天气情况	95
基站被盗情况	38
缺乏技术人员	57
可再生能源设备不足	76
移动网络运营商不愿意投资可再生能源供电	19

再生能源设备不足(76%)等因素是目前新能源基站建设所面临的主要挑战。综上所述,移动网络运营商未广泛利用可再生能源为其基础设施供电。

2 新能源基站架构及评估原理

对于基站供电困难的边远地区而言,新能源与柴油发电机互补的混合供电系统是一种经济可行的解决方案。通信基站的混合供电系统一般由太阳能发电、风力发电、柴油发电机和蓄电池组成。文中,我们主要考虑以下 4 种供电方式:

(1) 柴油发电机独立供电系统,用符号 S_0 表示;

(2) 风力发电与柴油发电机互补供电系统,用符号 S_1 表示;

(3) 太阳能发电与柴油发电机互补供电系统,用符号 S_2 表示;

(4) 风力发电、太阳能发电与柴油发电机互补的供电系统,用符号 S_3 表示。

图 2 介绍了风力发电、太阳能发电与柴油发电机互补供电系统结构示意图(S_3),包括基站、发电机、控制

器和储能装置 4 部分。在该系统中,将太阳能和风能作为主要能源,柴油发电机作为备用能源。当发电量超过负荷需求时,过剩电能被存储在电池组中;当发电量不能满足基站负荷需求时,柴油发电机和电池组将为基站供电。

为了定量地分析混合供电系统的环境友好性、经济可行性和发电稳定性,我们考虑了净现值(NPC)、能源成本(COE)、可再生能源发电量比例(RGR)、温室气体排放量等评价指标,并对不同系统配置的性能指标进行比较分析。

(1) NPC

系统的 NPC 指一个生命周期内所有成本减去该期间收益的值。成本包括投资成本、重置成本、运行和维护成本、燃料成本。如果产生温室气体,成本中还包括气体排放处罚。净现值如式(1):

$$NPC(\$) = \frac{[(1+i)^N - 1]C_T}{i(i+1)^N}, \quad (1)$$

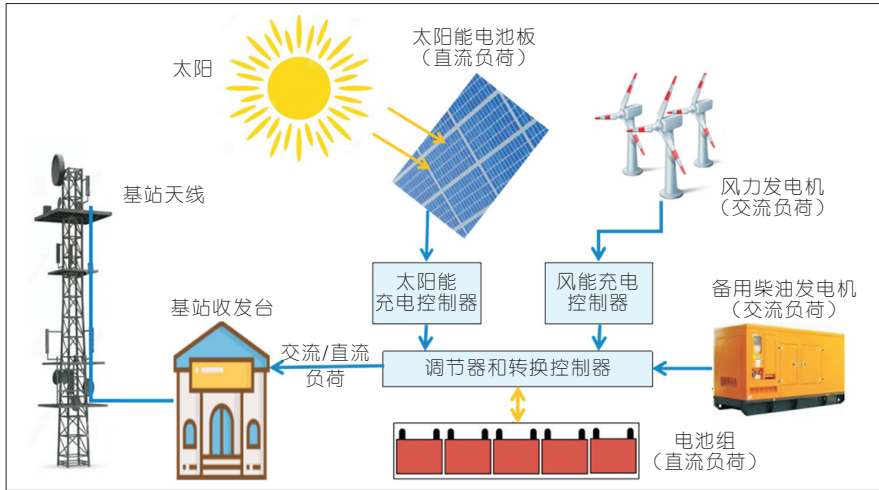
其中 N 代表年数, i 是实际年利率, C_T 是年度总成本。

(2) COE

COE 指每千瓦时电力的平均成本,通过将年度发电成本除以总用电量来计算,即:

$$COE(\$) = \frac{C_T}{E_c}, \quad (2)$$

其中, E_c 是总用电量。在混合供电系统中,我们则会优选 NPC 和 COE 低的系统。



▲图2 风力发电、太阳能发电与柴油发电机互补供电系统结构(S₃)示意图

(3) RGR

RGR 由可再生能源的年度总发电量除以所有能源的年度总发电量来计算,即:

$$RGR = \frac{E_r}{E_T}, \quad (3)$$

其中 E_r 是可再生能源的年度总发电量, E_T 是所有能源的年度总发电量。可再生能源比例越高,系统输出性能越好。

(4) 二氧化碳排放量

温室气体是化石燃料燃烧的产物。碳排放量(CEQ),如二氧化碳(CO₂)排放量计算如式(4):

$$CEQ = FFC \times EFCO_2, \quad (4)$$

其中 FFC 为消耗的化石燃料, $EFCO_2$ 为二氧化碳排放因子。

3 系统性能评估

本研究的可再生能源数据取自坦桑尼亚中部辛吉达地区,这个研究区域为西经 4.8118°—5.4684°,北纬 34.6976°—34.357°。通过 HOMER 软件对不同的供电系统建模,并对离网和并网供电系统的不同设计进行评估。在本研究中,HOMER 软件的主要输入包括柴油发电机、太阳能光伏电池、风力发电机、基站负荷需求、逆变器等系统组件的成本,以及用于模

型优化的其他相关数据。同时,HOMER 软件将 NPC、COE、温室气体排放量和 RGR 作为输出,对一年的数据进行仿真。

3.1 参数设置

在模型建立中,考虑的负荷为 54

千瓦时/天,峰值负荷为 668 kW·h,发电机的额定功率为 7.5 kW。将风能和太阳能作为主要能源,并从 SWAT 数据库的全球天气数据^[11]获得研究区域的风速和太阳辐射数据。本研究还从不同供应商网站获得基站供电系统各种组件的成本数据,如表 2 所示。

3.2 结果分析

在环境方面,移动网络运营商需要降低温室气体排放量,以减少其对环境的污染和对全球变暖的影响。各系统具体的温室气体排放量如表 3 所示。

仿真结果表明:S₃系统每年产生约 27.227 t 二氧化碳,S₃系统每年仅排放约 3.122 t 二氧化碳。在混合供电系统中,通过将太阳能发电产生的过剩电能储存在电池组中,降低柴油发电机的运行时间,减少化石燃料的燃烧,降低温室气体排放量。因此,

▼表 2 基站供电系统各组件的成本数据

组件	描述	数值
柴油发电机	最小负荷比/%	40
	投资成本/(美元/千瓦)	1 400
	重置成本/(美元/千瓦)	1 250
	运行和维护成本/(美元/小时)	0.5
	寿命周期/h	15 000
太阳能光伏电池	燃料价格/(美元/升)	1.1
	投资成本/(美元/千瓦)	2 000
	重置成本/(美元/千瓦)	1 250
	运行和维护成本/(美元/小时)	5
逆变器	寿命周期/h	20
	投资成本/(美元/千瓦)	300
	重置成本/(美元/千瓦)	300
	运行和维护成本/(美元/年)	5
风力发电机	寿命周期/Y	15
	投资成本/(美元/千瓦)	6 100
	重置成本/(美元/千瓦)	3 500
	运行和维护成本/(美元/年)	50
电池	寿命周期/Y	20
	投资成本/(美元/千瓦)	220
	重置成本/(美元/千瓦)	220
	运行和维护成本/(美元/年)	10
	寿命周期/Y	不定

▼表3 不同供电系统温室气体排放量

系统类型	二氧化碳排放量/(kg/Y)	一氧化碳排放量/(kg/Y)	未燃烧碳氢化合物排放量/(kg/Y)	颗粒物排放量/(kg/Y)	二氧化硫排放量/(kg/Y)	氮氧化物排放量/(kg/Y)
S ₀	27 227	172	7	1	67	161
S ₁	19 158	121	5	1	47	113
S ₂	3 123	20	1	0	8	18
S ₃	3 122	20	1	0	8	18

混合供电系统更有利于环境的可持续发展。

在经济方面, S₃系统更具成本效益。表4给出了不同供电系统的经济分析。结果显示: S₃系统为净现值和能源成本提供了更经济的解决方案。与 S₀系统相比, S₃系统的NPC降低了130 246美元, 能源成本降低了0.512美元/千瓦时。虽然混合供电系统的初始投资成本高, 但是随着技术的进步, 太阳能和风力发电成本逐渐降低, 这将会促进新能源发电的广泛部署。

在供电方面, 混合供电系统具有更大的发电潜力。混合供电系统发电量如表5所示。与 S₀系统和 S₁系统相比, S₂系统和 S₃系统的可再生能源发电量最大, 可再生能源比例约为83%。其中主要为太阳能发电, 其发电量超过系统总发电量的80%。与太阳能发电相比, 风能的贡献并不显著, 例如 S₃系统中风力发电量仅占总发电量的0.6%, 而柴油发电机的发电量约为14%。

以上结果表明: 该站址在利用太阳能发电为边远网络基础设施供电方面具有更大的潜力, 并且发电量大, 能够满足负荷需求。

图3进一步显示了 S₃系统在10月份的发电量与负荷需求。结果表明: S₃系统不仅能够满足用户负荷需求, 并且所产生的过剩电能还可以存储在储能装置中, 从而可以在峰值期间使用。

同时结果显示: 太阳能发电几乎可以满足白天所有负荷需求, 而柴油发电机和风力发电机则在太阳能发电量不足时使用, 例如在夜间没有光

照的时候。

4 结束语

本研究调查了移动网络运营商

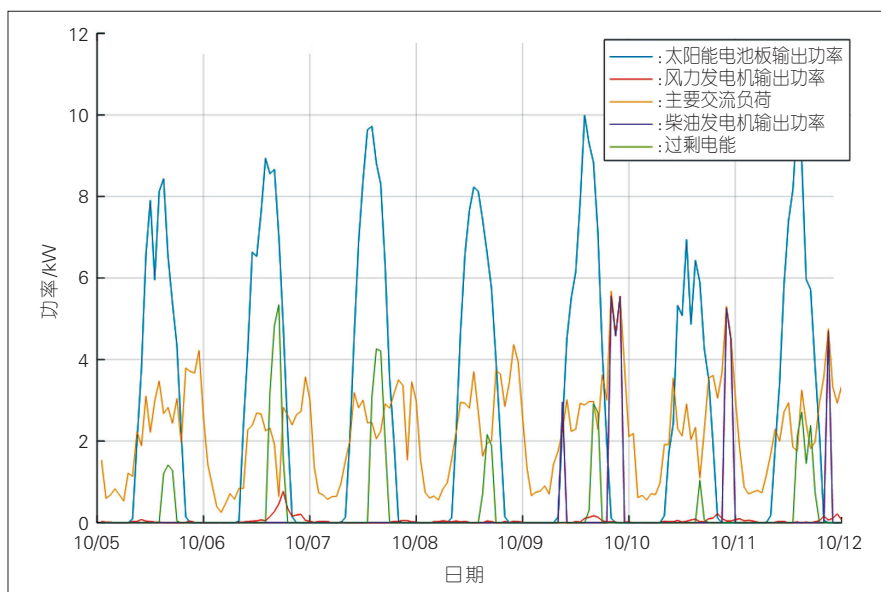
►下转第11页

▼表4 不同供电系统成本

系统类型	投资成本/美元	重置成本/美元	运行和维护成本/美元	燃料成本/美元	净现值/美元	能源成本/美元
S ₀	9 339	59 053	25 140	147 910	240 663	0.945
S ₁	20 636	50 401	16 746	104 074	189 904	0.745
S ₂	46 776	37 345	15 910	16 963	110 417	0.433
S ₃	52 649	38 342	16 506	16 963	117 240	0.460

▼表5 不同系统每部分组件发电量

系统类型	发电机发电量/(千瓦时/年)	太阳能发电量/(千瓦时/年)	风能发电量/(千瓦时/年)	燃料发电量/(千瓦时/年)	发电时间/h	过剩电能/(千瓦时/年)
S ₀	277 97	0	0	10 401	10 401	10 401
S ₁	21 912	0	147	7 319	7 319	7 319
S ₂	3 380	21 139	0	1 193	1 193	1 193
S ₃	3 375	20 937	147	1 193	1 193	1 193

▲图3 S₃系统发电量与负荷需求