

由铅酸蓄电池、锂离子电池并用的电力稳定化系统

邓隐北，孙培淦，王光红 编译

江西赣州诚正电机有限公司

摘要：为向世界遗产地Galapagos诸岛输送电力，富士电气公司开发了由铅酸蓄电池与锂离子电池併用的电力稳定化系统，已于2016年3月交付使用。由于将风力发电机与特性各异的两种蓄电池的功率组合，可使从数十秒到几小时的周期电力波功平稳化，并将稳定的组合功率输送至电力系统。由此，将大幅度提高现有风力发电机的最大输出功率与设备的利用率，这是对化石燃料的零使用量迈出的第一步，也为此作出了大的贡献。

关键词：铅酸蓄电池，锂离子电池，风力发电机，可再生能源，电力稳定化系统

1 前言

为对厄瓜多尔（Ecuadoran）共和国的世界遗产—Galapagos 诸岛供电，过去是以柴油（Diesel）发电等小规模火力发电为中心，因此排出的气体对环境的污染严重，近年来又作为旅游观光景地，游客及人口的增加，故配备，引入环境负荷小的供电系统，正成为迫在眉睫的重要课题。厄瓜多尔政府2007年4月就已出台政策：到2020年以前的Galapagos 诸岛要达到化石燃料使用量为零的目标。为实现该目标，正积极进行着研究与开发。

作为日本政府环境纲领无偿资助的“利用太阳光的清洁能源引入计划”的一环，由光伏发电系统与电力稳定化系统组成的工程项目，由于是包括设计、安装、运行、管理的整套承包（full turnkey）工程而备受关注，已于2016年3月交付使用。

本文，对以此项目为中心的电力系统予以介绍。

2 工程项目概要

图1为工厂设备的全景，工程中的整个系统如图2所示，表1列出系统与主要设备的规格。

在可再生能源中，无论光伏发电或风力发电，因气象条件的变化，其发电功率都会有大的波动。因此，一旦将这些能源引入小规模的电力系统内，电力系统的电力品质（电压和频率）将受到影响。厄瓜多尔政府在本项目之前已引入了由三台750KW的风力发电机组成的风力发电站。

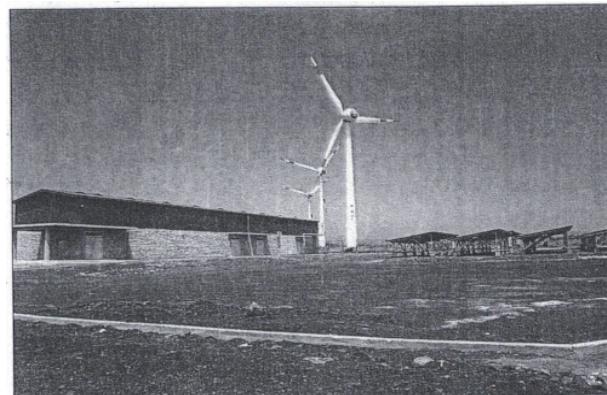


图1 工厂设备的全景

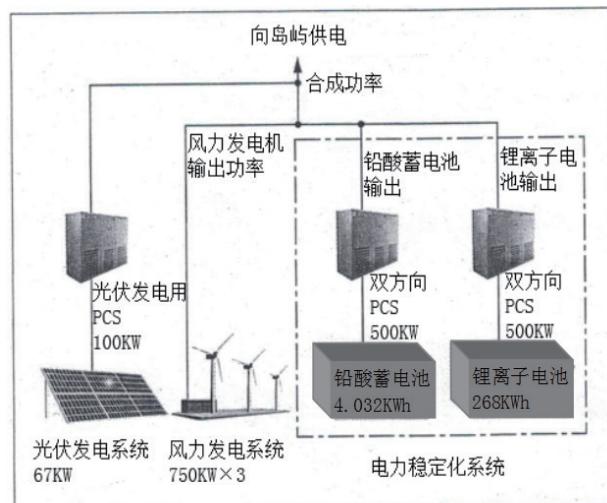


图2 工程中的系统整体图案

表1：项目中系统与主要设备的规格

系统与主要设备		规 格
光伏发电系统		功率: 67KW 型式: PVI650-3/500 变换方式: 3电平正弦波PWM
电力稳定化 系统	双向PCS	直流输入 运行电压范围: 345~600V 最大输入电流: 1507A 交流输出 额定容量: 500KVA 额定电压: 210V 最大输出电流: 1527A
		最大转换效率: 97.3%
		铅酸蓄电池 容量: 4032KWh
		锂离子电池 容量: 268KWh
	风力发电系统 (已设)	功率: 750KW×3

但是随着功率变动的电力品质将出现问题，故虽有充分的风力驱动，也不能持续运转于额定功率的状态下，设备的利用率非常低。

这次由于电力稳定化系统的引入，在抑制风力发电机的功率变动和提高设备利用率的同时，对增加可再生能源的供电量也取得了成功。本系统利用双向功率调节器(PCS)，不仅控制着蓄电池的高速充放电，而且由于铅酸蓄电池与锂离子电池的有机组合，发挥了各个蓄电池的特点，可充分确保高品质电力的供给。

3 电力稳定化系统

3.1 概要

电力稳定化系统是由风力发电机，铅酸蓄电池及锂离子电池的输出功率组合一起，使从十秒到几小时周期的变

动平稳化，将稳定的合成功率输送至电力系统的一种装置。铅酸蓄电池，因平均容量的价格便宜，适合于必需大容量的最大偏移(peak shift)控制；另方面，锂离子电池，能量密度高，因能高频度且急速的充放电，故适合于抑制短时间的功率变动。

本系统的主要功能列于表2，图3所示为结构图。

表2：电力稳定化系统的主要功能

功 能	铅酸蓄电池	锂离子电池
风力发电机功率变动抑制功能	使 用 (最大偏移时限制输出功率)	使 用
最大偏移功能	使 用 (后备时停止使用)	—
抑制功率变动的后备功能	使 用	—

风力发电机功率变动的抑制功能，旨在利用电池的功率消除从数十秒延续到几小时周期的变动。由此计算出功率变动抑制的指令值，再分配到铅酸蓄电池和锂离子电池上。

峰值(最大)偏移功能，在用电量小，发电能力有余裕的夜间等时间段，利用多余的电力给电池充电；在用电高峰时则让电池放电，因而达到负荷正常化的目的。设定从监视操作PC的峰值偏移功率目标值及其开始、终结时刻，计算出为功率正常化的指令值。

功率变动抑制的备用功能，是在锂离子电池因维护及故障等而停止的场合下，由铅酸电池来阻止峰值偏移，作为功率变动抑制的后备。由此，可用于功率变动抑制的铅酸电池要增加功率，旨在继续风力发电的运转。

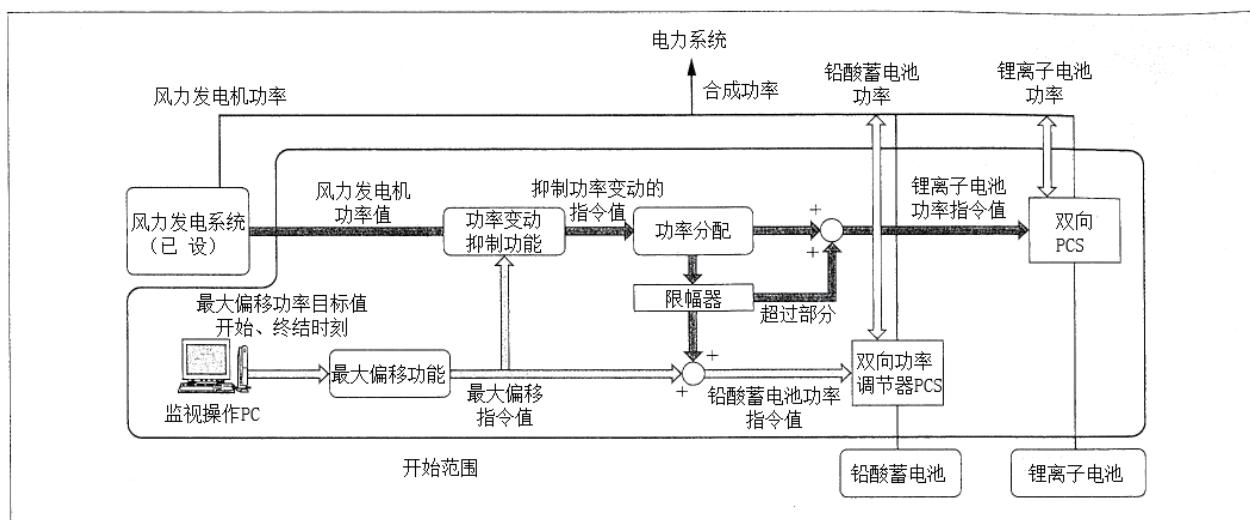


图3 电力稳定化系统的结构

各个电池相应于各自的指令值输出功率，以实现高质量的供电。

3.2 风力发电机输出功率变动的抑制功能

(1) 设计

风力发电时，为使对联网系统的影响限制在最低限度，例如，在任意时间范围内使输出功率的最大值与最小值之差处于一定值以下等，实施对频率变动的对策。

本系统风力发电机的功率变动抑制功能中，相应于风力发电机的功率变动，采用了具有图3所示的功率变动抑制功能，并对除去其变动成分的滤波器的时间常数，具有进行连续控制的可变时间常数控制。这一控制，由于功率变动大的场合下时间常数大，功率变动小的场合下时间常数小，故对合成功率的变动能维持在一定的变化率以下。在设计之前，利用富士电机集团公司具有富士绿色电力的西月风力发电站测定的风速数据，实施了本系统的功率变动抑制的模拟实验。由这一结果可知，95% 时间段内的变化率均能保持在 45KW / 分钟以下。该值相当于风力发电机额定功率 ($750\text{KW} \times 3$) 的 2%，作为功率变动抑制的变化率是非常小的。在本项目工程的现场，因比西月发电站的风速变动小，故可望达到更好的效果。

功率变动抑制指令值的功率分配，为将功率变化率保持在一定值以下，应在保持各电池目标充电量的前提下，将功率分配到铅酸蓄电池和锂离子电池。

与铅酸电池比较，因锂离子电池的容量小，一旦集中分配于锂离子电池，将担心充电必须的空闲充电量或放电必须的充电量不足，这将使锂离子电池的功率受到限制，难于保持对功率变动的抑制。在铅酸蓄电池中，对比用于功率变动抑制的充电量，用于峰值偏移的充电量比率大。因此，峰值偏移时在充电场合下，按事前低的设定目标值调整充电量；在放电场合下，按事前高的设定目标值来调整充电量。对于锂离子电池来说，在风力发电机功率小的时候，为功率急增预先准备的目标充电量按低的值设定；当风力发电机功率大的时候，为功率骤减而预先准备的目标充电量则按高值设定。

将功率变动抑制指令值向铅酸蓄电池分配以后，为了不妨碍峰值偏移，设置了两个限幅器 (limiter)。第一个，因铅酸蓄电池另一功能的不取消峰值偏移指令值，对向铅酸蓄电池的分配，从 $\pm 500\text{KW}$ 的峰值偏移中限制到

$\pm 200\text{KW}$ ；第二个，为确保峰值偏移必要的充电量，按目标充电量的现在充电量，在一定值以上的偏离场合下，限制着向铅酸蓄电池的分配。此外，超过限制值部分，向锂离子电池输出。

有关风力发电机功率变动抑制功能，通过模拟与现场试验进行了操作确认。

(2) 模拟

按照模拟试验，模拟给出的风力发电机功率为阶梯式，对风力发电机功率变动抑制功能进行了操作确认。图4(a)所示为模拟结果。

在 10 点 6 分时刻模拟的风力发电机功率，从 1.5MW 到 1.0MW 呈阶梯状减少了 0.5MW 。铅酸蓄电池与锂离子电池的输出功率合计为 1.0MW ，因相对 0.5MW 的变动容量是大的，借助可变时间常数的控制，合成功率的变化率按 45KW/min ，就可消除阶梯状的变动。

另外，10 点 18 分时刻模拟的风力发电机功率，呈阶梯状从 1MW 增加到 2.2MW ，增加了 1.2MW 。这一

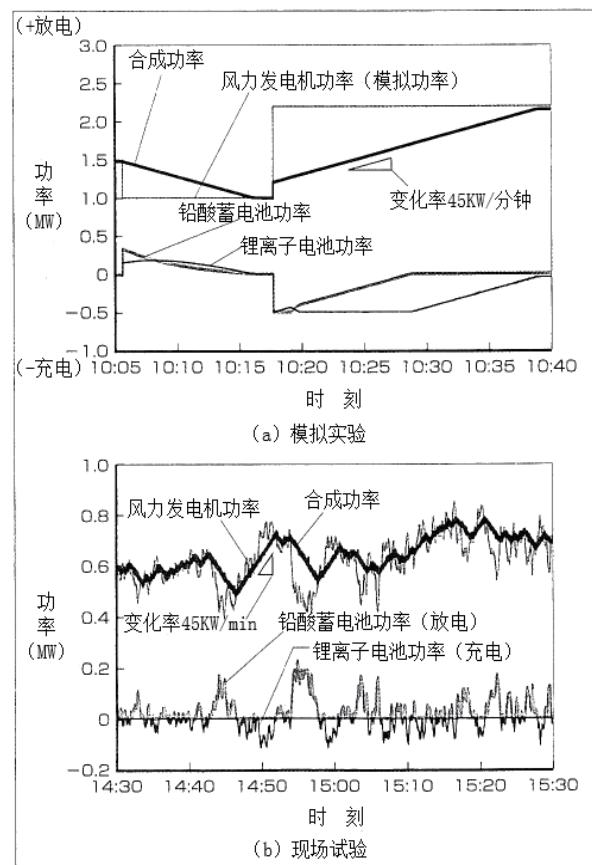


图 4 风力发电机功率变动抑制功能

变动，比铅酸蓄电池与锂离子电池合计的输出功率大。因此，要使两种电池的功率输出最大，可将这一变动抑制在0.2MW，这对系统的影响已抑制到最低限度。

而且，从10点6分时刻到10点15分时刻，在这一时间段内，为接近目标充电量所必需的、两种电池的充电量程度应相同，故两电池进行放电也应相同的程度。从风力发电机功率上升的10点18分时刻到10点40分时刻，在这一时间段内，因要预先准备其后风机功率的骤降，对目标充电量按高值设定的锂离子电池，应优先充电。

(3) 现场试验

图4(b)所示为现场试验的结果。与模拟试验一样，用铅酸蓄电池功率与锂离子电池功率，能够抑制风力发电机功率的变动，这点已得到确认。合成功率保持着一定的变化率。另外，由本试验之前进行的均等充电试验，使得铅酸蓄电池接近满充电状态。为确保充电的余裕，铅酸蓄电池的放电应优先进行，由铅酸电池放电。充电，由锂离子电池进行。

3.3 峰值偏移功能

(1) 设计

在电力需求小，发电能力有余裕的夜间等时间段给电池充电，电力需求最大时让电池放电，由此使得负荷正常化。这样一来，则可抑制Galapagos诸岛已有发电机（柴油发电机）的功率急变。减少起动、停止的次数。并能规避发电效率劣化时的低功率运转。

而且，结合其它方面需求的峰值，使铅酸蓄电池放电。由此，可减少柴油发电机的工作台数，也可抑制燃料的消费及其伴随产生的CO₂排出。另外，需求的变化因正常日和休息日而不同，能设定各自的峰值偏移时刻。

有关峰值偏移功能，借助工厂试验和现场试验进行了操作确认。

(2) 工厂试验

图5(a)所示为工厂试验的结果。设定在13点40分的峰值偏移放电开始时刻并开始放电，设定在14点10分的峰值偏移终了时刻，并在这一时刻放电终止。为使对系统的影响小，峰值偏移的开始时与终了时，均以45KW/分钟的变化率输出功率。因此，在监视操作PC中设定的峰值偏移功率目标值，及其开始、终了时刻，按照这些进行的峰值偏移已得到确认。

(3) 现场试验

图5(b)所示为现场试验的结果。铅酸蓄电池同时进行的峰值偏移与功率变动抑制已得到了确认。为对其他方面从18点时刻到22点时刻所需的峰值进行偏移，在500KW时进行了放电。另外，从深夜2点到早上8点因需要量小，则在300KW下因峰值偏移而进行了充电。因铅酸蓄电池同时进行了峰值偏移和功率变动的抑制，故铅酸蓄电池的功率，在峰值偏移功率目标值下不能保持恒定而是变动着的。

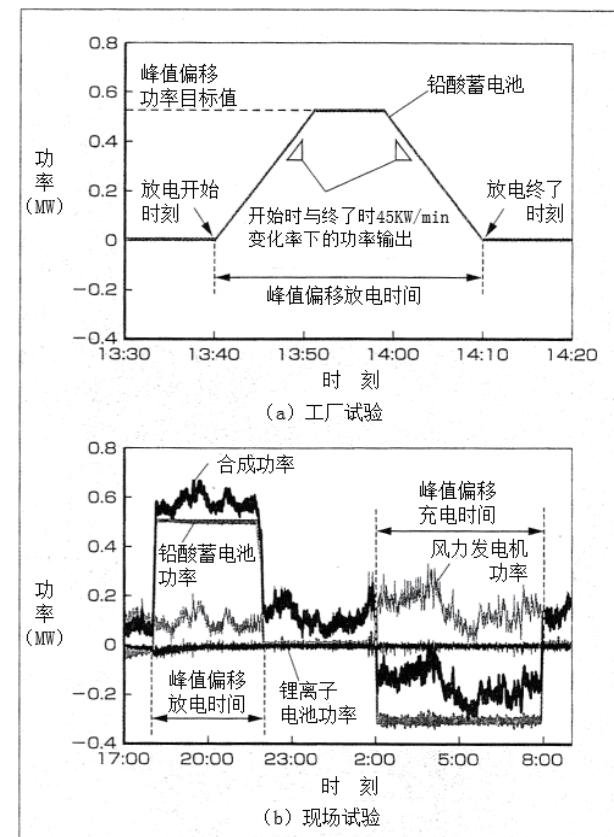


图5 峰值偏移功能的操作确认

3.4 功率变动抑制的后备(back up)功能

(1) 设计

锂离子电池因维护或故障等而停止的场合下，铅酸蓄电池将停止峰值偏移，作为功率变动抑制的后备。由此，能用于功率变动抑制的铅酸蓄电池功率增加，可持续风力发电机的运转。

锂离子电池停止的场合下，仅铅酸电池抑制功率变动，而难于同时进行峰值偏移，不能保持功率变动抑制的功能，

且风力发电机功率的变动对联网电力系统的电力品质会产生坏的影响，故一旦抑制风力发电机的功率，最坏，必须停止。但是，这关系到风力发电机会失去发电的机会。锂离子电池停止的场合下，由铅酸蓄电池停止峰值偏移，仅进行功率变动抑制。借助这一后备功能，可持续风力发电机的运转。

关于功率变动抑制的后备功能，利用模拟试验和现场试验，进行了操作确认。

(2) 模拟

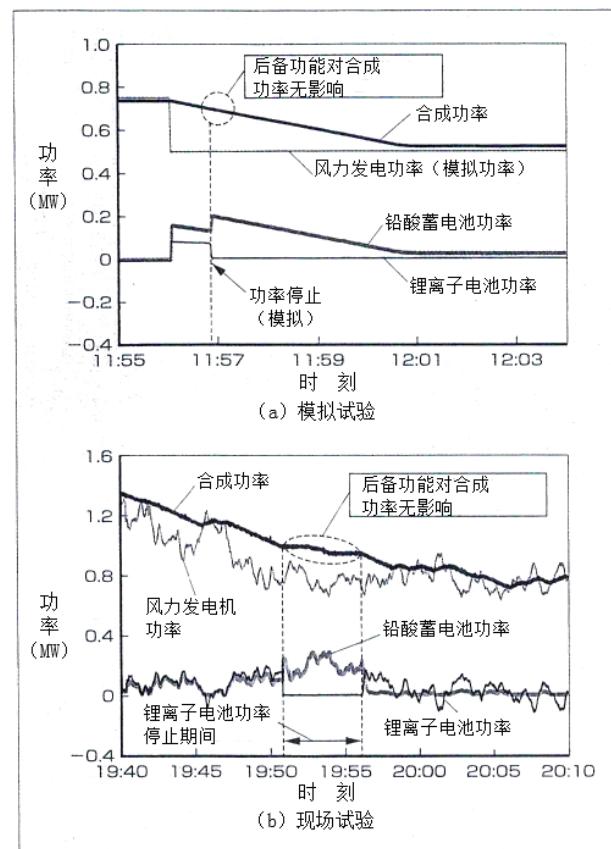


图 6 抑制功率变动的后备功能操作确认

图 6 (a) 所示为模拟试验的结果。功率变动抑制中，一旦停止锂离子电池，锂离子电池的功率则为零，铅酸蓄电池作为后备，不对合成功率产生影响，继续功率变动的抑制，这点已经确认。

(3) 现场试验

图 6 (b) 所示为现场试验结果。作为试验条件，从 19 点 51 分时刻到 19 点 56 分时刻，锂离子电池已停止了运转。在锂离子电池的功率降低的同时，铅酸蓄电池的功率增加，将锂离子电池的功率部分作为铅酸蓄电池的后备，不对合成功率产生影响，继续着功率变动的抑制，这点已得到确认。而且，与锂离子电池复归的同时，由锂离子电池开始抑制功率变动，对合成功率无影响，继续着抑制功率变动这点也已确认。

4 结束语

本文阐述了借助铅酸蓄电池与锂离子电池的合并使用建立的有关电力稳定化系统。由于这一系统的引入，大幅度提升了原来风力发电的最大功率和设备的利用率，旨在化石燃料使用量为零的这一目标迈出了第一步，并作出了很大贡献。

基于由本系统开发出的技术，对不仅短周期而且长周期的解决功率变动抑制的电力稳定化系统也进行了开发。非常有利于可再生能源的进一步引入和扩大。

原文出处：曾根学，長田悠人，ガラバゴス諸島向け鉛蓄電池・リチウムイオン電池併用による電力安定化システム，《富士电机技报》2017 vol.90 no.1 P42-46