



中德能源与能效合作  
Energiepartnerschaft  
DEUTSCHLAND - CHINA



国家能源局  
National Energy Administration

Supported by:



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Energy

on the basis of a decision  
by the German Bundestag

# 德国储能发展现状及 对中国的借鉴意义

中德能源与能效合作伙伴



## 出版说明

《德国储能发展现状及对中国的借鉴意义》研究报告在中德能源与能效合作伙伴项目框架下发布。中德能源与能效合作伙伴项目立足于政府层面，致力于促进中德两国政府在推动能源转型领域的政策对话，同时也促进两国企业的交流。中德能源与能效合作伙伴在两国主管部委领导下开展活动，中方负责整体协调的部门是国家发改委和国家能源局，德方是德国联邦经济与能源部。受德国联邦经济和能源部委托，德国国际合作机构（GIZ）负责该项目德方的具体实施。

### 出版方：

中德能源与能效合作伙伴  
北京市朝阳区亮马河南路14号  
塔园外交办公楼2-5  
邮编：100600  
c/o  
德国国际合作机构  
Torsten Fritsche  
Köthener Str. 2  
柏林10963，德国



### 研究负责人：

尹玉霞、Maximilian Ryssel  
德国国际合作机构

### 研究协调方：

Wolfgang Eichhammer  
弗劳恩霍夫系统与创新研究所（Fraunhofer ISI）



### 作者：

Wolfgang Eichhammer、郑琳、Marian Klobasa  
弗劳恩霍夫系统与创新研究所（Fraunhofer ISI）

### 致谢：

特别感谢电力规划设计总院程晨璐和王雅婷对本研究的支持！

### 引用格式：

Fraunhofer ISI. (2020) : 《德国储能发展现状及对中国的借鉴意义》 卡尔斯鲁厄

### 图片来源：

德国联邦经济和能源部（封面）

### 排版：

翁芳萍  
德国国际合作机构

© 北京，2020年8月

本报告全文受版权保护。截至本研究报告发布前，德国国际合作机构和相关作者对出版物中所涉及的数据和信息进行了仔细研究与核对，但不对其中所涉及内容及评论的正确性和完整性做任何形式的保证。本出版物中涉及到的外部网站发行方将对其网站相关内容负责，德国国际合作机构不对其内容承担任何责任。

---

# 目录

---

前言	4
缩略语表	5
1 执行摘要	7
2 简介：德国储能发展	9
2.1 电力部门的灵活性需求不断增长	10
2.2 提升电力市场灵活性的方案	12
2.3 研究方法	14
3 德国和全球储能系统/技术的现状	15
3.1 储能系统的典型应用领域和技术特点	15
3.2 储能系统的现状与发展趋势	17
4 储能系统应用案例	26
4.1 储能案例的选择	26
4.2 15个案例的应用、技术和经济特征	27
4.3 德国储电利用的商业模式和市场模式	30
5 储能在德国能源转型中发挥的作用以及德国的储能支持政策	36
6 德国的储电规范	39
7 从中国的电力市场框架和政策背景看德国电力储能	41
8 图录	42
9 表录	43
10 参考资料	44
附件：德国储能系统的15个案例	46

# 前言

尊敬的读者朋友们，

2020年新冠疫情在全球的爆发和流行让我们看到人类社会在环境灾难面前的脆弱性。在医护、科研人员全力应对，紧急开发疫苗的同时，为了支持经济发展和保障人民生活，各国政府也都相继出台了经济复苏和刺激计划。经济复苏计划的核心内容大多都涉及抓住机遇，实现“绿色复苏”和应对即将到来的全球变暖危机。

例如，德国已通过了规模达1300亿欧元的一揽子经济复苏计划，其中500亿欧元的预算将用于德国的现代化建设，包括对可再生能源、公共交通、氢能和电动汽车的投资。同样，欧盟理事会批准了7500亿欧元的一揽子复苏计划，该计划将与《巴黎协定》和欧盟的气候目标保持一致。中国为确保“十四五”的高质量发展也制定了重要的目标和措施。

能源转型对于减少碳排放至关重要。2020年上半年，德国可再生能源占该国净发电量的比例已超过55%。因此，为解决和平衡可再生能源占比不断提高情况下带来的电力波动性、间歇性这一问题，我们亟需创新的解决方案和商业模式。近年来，德国储能市场十分活跃，尤其是在支持电力市场辅助服务和家庭应用方面更是如此。

该研究报告聚焦于储能这一重要主题。报告描述了储能在德国所发挥的作用以及支持其发展的政策框架，并提供了不同储能应用的具体案例。报告在德国联邦经济和能源部（BMWi）和国家能源局（NEA）的指导下，由中德能源与能效合作伙伴项目发布。我衷心感谢所有参与报告研究的专家和合作伙伴（弗劳恩霍夫系统与创新研究所、电力规划设计总院以及中关村储能产业技术联盟）为该研究项目做出的贡献。希望本报告能引起我国储能行业的政治决策者、专家、企业等同行们的兴趣和关注，并对我国储能行业的未来发展有所借鉴和启示。



Markus Delfs

德国国际合作机构（GIZ）  
可持续转型—投资与基础设施、能源、交通、废弃物管理  
项目组主任



## 缩略语表

缩略词	释义
BESS	电池储能系统
CAES	压缩空气储能
CHP	热电联产
C&I	商用与工业
CSP	集中式太阳能
DIN	德国标准化协会
EEG	可再生能源法
EnWG	德国能源经济法案
ES	储能
EV	电动汽车
FCR	调频备用
GHG	温室气体
GW	吉瓦
KWKG	热电联产法案
LAES	液态空气储能
PHS	抽水蓄能
PtCH4	电转合成气
PtH2	电制氢
PtX	电转X（电力转换为X=热能，交通工具，氢，合成燃料和化学品等）
PV	光伏
RES	可再生能源资源
SMES	超导储能
StromNEV	电力网费条例
Tce	煤当量（1tce=29.39千兆焦耳）

缩略词	释义
UPS	不间断电源
VRE	间歇性可再生能源
VPP	虚拟电厂
V2G	车辆（电动汽车）到电网

# 1 执行摘要

过去几年，在可再生能源和储能技术成本降低的双重推动下，储能行业发展相当迅速，尤其是得益于迅猛发展的电动汽车电池技术。

储能是促进能源系统实现气候中性转型的重要驱动因素，同时储能还可以与其他能够提升高比例可再生能源电力系统灵活性的技术相结合，例如电网扩容、需求响应和能源效率技术。

抽水蓄能系统和热储能系统与集中式太阳能电站相结合，已显示出通过大容量储能提供灵活性的能力。通过提供网络服务和优化输配电网，电池储能系统以及尚未得到广泛应用的储能技术如压缩空气储能越来越多地显

示出在提升灵活性方面所作出的贡献。电池储能不仅在大规模应用中意义重大，在电表后端需求侧这一小规模应用领域的作用同样不容忽视，其市场也在不断扩大。储能系统在德国越来越普及，一方面是由于德国电价较高；另一方面，光伏与储电相结合降低了自发自用的发电成本，因此独立用户对储能相关的解决方案很感兴趣。但是，这一发展趋势必须是有利于电网优化的，否则就必然要求电网的大规模扩容。

在本报告第四章中，我们将选择15个储能系统的应用案例（其中大部分是德国案例）进行详细分析。表1展示了入选案例分属的类别：

表1：15个储能系统应用案例概览

电化学储能	电池储能	四例大型电池储能		
		小型/分布式储能	私人/家用（固定式家用储能）	电网耦合式（捆绑式和独立式）两例
			商用/企业	非电网耦合式
			工业	数据中心（服务部门） 内部物流公司
电动出行储能	电动汽车向电网放电（商用和公用）两例			
化学储能	电转X	电制氢（电制氢与电动汽车相结合）		
		电转合成气（电转甲烷与电动汽车相结合）		
机械储能	抽水蓄能			
	压缩空气储能			

本报告详细地探讨了三个商业案例：大规模储能对电网频率调整的贡献、利用储能系统优化光伏电力自发自用、储能参与电力现货市场。

储能能在能源系统转型方面发挥着重要作用。然而，大规

模储能容量并不一定是成功实现能源转型的先决条件。在德国，良好的输电线路和与邻国的良好互联保证了足够的容量用以平衡大部分间歇性可再生能源。虽然与未来情景下的发电和输电相比，储能的能源总量很小，但是储能可以缓解电网扩容的压力，使转型过程更加平稳

和高效。在电网扩容面临公众接受度问题的地区，情况尤其如此。在比德国小，且与邻国之间的互联线路不够理想的国家，例如，岛国或处于外围的国家如葡萄牙，储能的价值会进一步凸显。对于领土面积大的国家来说，情况也是如此。在这些国家中，由于可再生电力必须远距离输送，因此输电网络的成本更高。

当前，针对灵活性利用的监管框架非常复杂多样。相关规定并非始终一致，而且分散在各种法律法规当中。因此，监管框架和电网使用费用机制的改进必不可少，从而鼓励灵活性利用，以便电网受益。

但是储能系统的价格仍然高于其他灵活性方案。因此，降低成本是提高储能系统经济效益的最重要前提。除了研发以外，标准化对于提高储能系统经济效益也非常重要。标准化是批量生产的先决条件，并有助于加快技术知识传播和创新。除了经济效益外，安全性在电池等储能系统中也发挥着重要作用。标准化可以为产品安全性提高做出重要贡献。标准化还涉及其他方面（例如安装、验收、并网、处置），这些方面也与储能技术的发展有关。从国际上来看，标准化可以避免在贸易中出现技术壁垒，从而降低市场准入门槛。

© shutterstock/ petrmalinak





## 2 简介：德国储能发展

在中国，可再生能源的快速发展增加了传统电厂和整个电力系统对灵活性的需求。弃风弃光仍一直是中国面临的一个挑战，虽然近年弃风弃光问题有所改善，但是中国电力部门仍需更多的灵活性。2016年中国全年弃风率高达17%<sup>[1][2]</sup>，甘肃等省份全年弃风率甚至高达40%。在采取了一系列措施后，到2019年，年弃风率和弃光率分别降至4%和2%。当前，提高电力灵活性的措施主要是针对火电厂。但在消费侧和输电侧，在引入平衡电力市场试点和计划引入针对需求响应措施的经济激励措施方面，灵活性潜力也变得越来越重要。尤其重要的是，设计针对灵活性的经济激励机制，即通过电力市场和交

易所、平衡电力市场或通过网络运营商的干预（例如再调度、网络阻塞/并网管理），来改善灵活性的相应机制。

储能系统在中国也发挥着重要作用。截至2018年底，中国的抽水蓄能电站已达约30吉瓦，电化学储能（电池储能）达到1吉瓦。中国政府计划推进电池储能设施扩大规模，以进一步推动可再生能源并网。然而，除了初始投资高或资本成本高以及技术难度大（生命周期、安全要求）以外，价格、市场以及针对储能利用的支持机制方面在未来发展中仍然面临挑战。



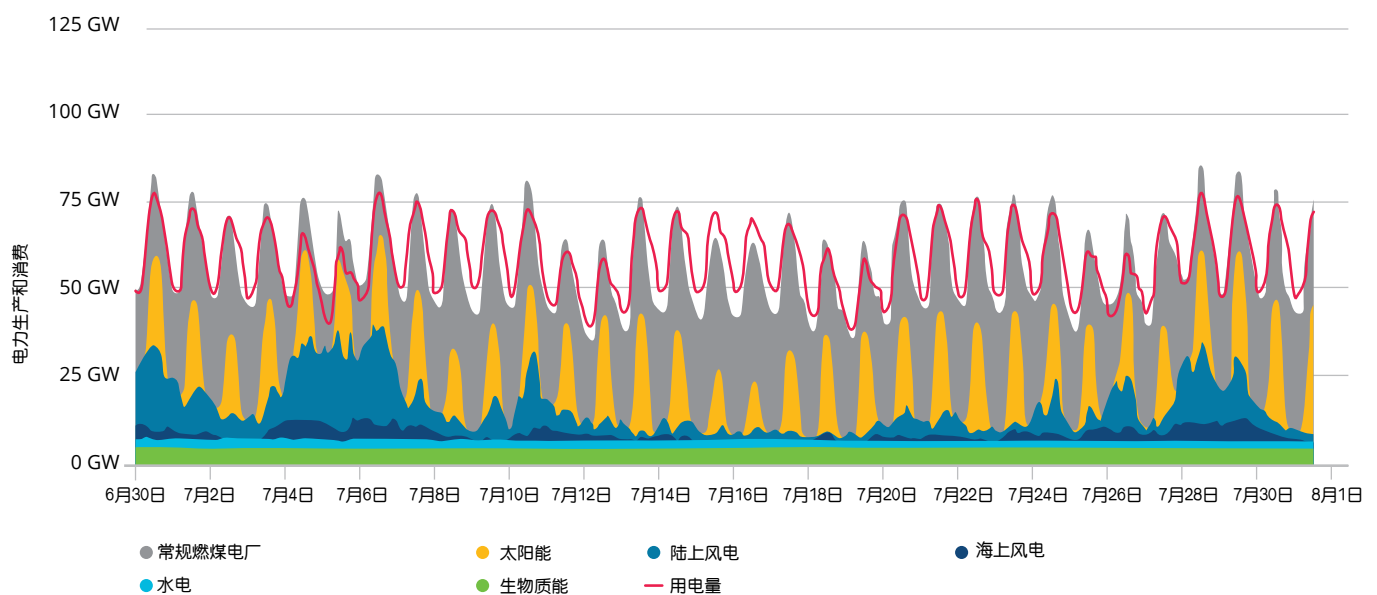
## 2.1 电力部门的灵活性需求不断增长

可再生能源在能源系统中的占比提高使每小时发电模式发生变化。如果发电依靠风能和太阳辐射，则会导致发电过程中的波动性增加，而波动必须加以平衡。灵活性的定义如下：“电力系统旨在确保发电和用电在时间和空间上时刻保持平衡。电力系统的灵活性代表了电力系统能够在多大程度上根据需求调整发电和用电，从而以具有成本效益的方式保持系统稳定。灵活性是指电力系统在面临供需急剧波动的情况下，保持持续供电的能力。” [3]

通常情况下，可再生能源的比例不断提高，每小时发电量变化会增加。但是，波动幅度和对灵活性的需求取决于可再生能源类型以及不同可再生能源技术的组合。光伏电站非常适合太阳能辐射充足的地区，并且光伏并网具有日波动和季节性波动特征。风电并网量与风速呈高度相关关系，在各种可再生能源类型当中，风电每小时并网曲线是最不规律的。因此，风电场和光伏电站的并网量很难预测，所以电力系统中发电计划在很大程度上

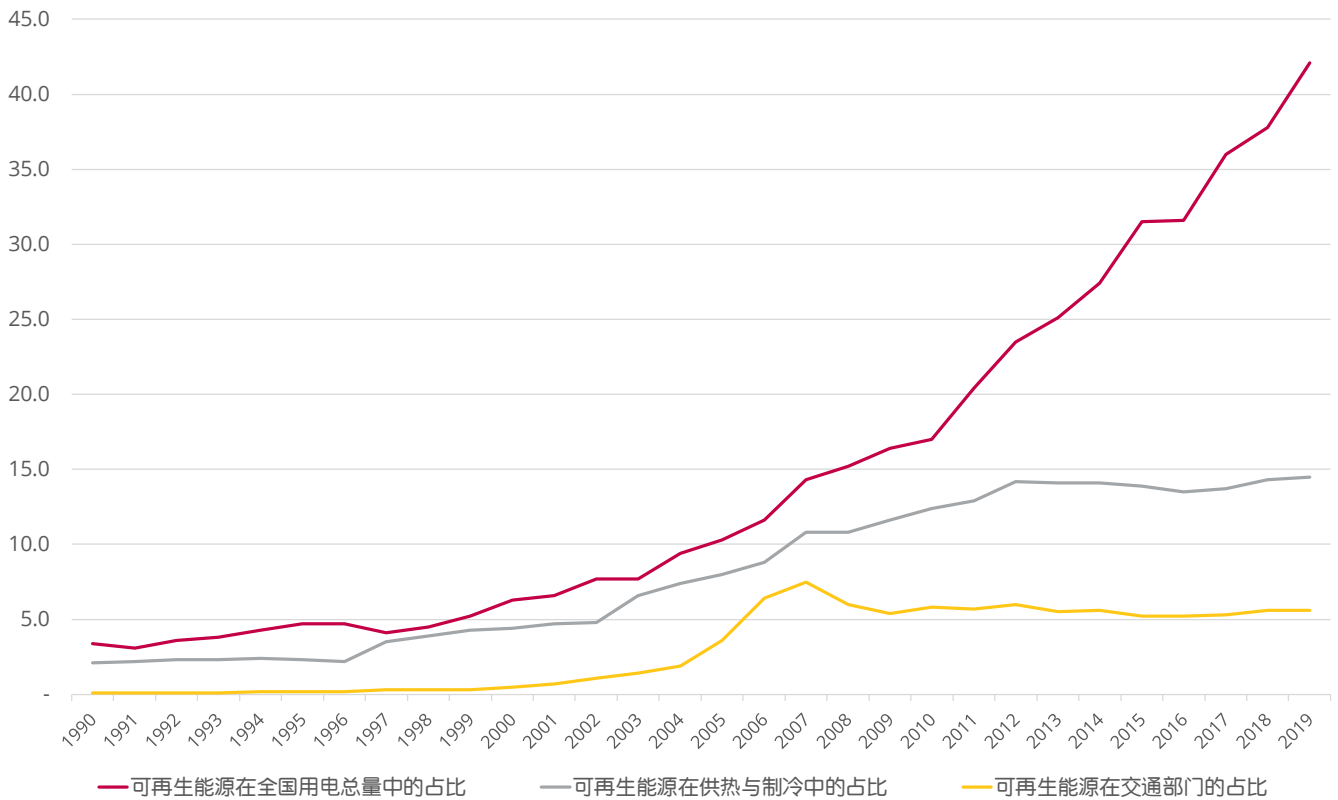
取决于并网量预测，而并网量预测应尽可能做到精确无误。但是，即使预测水平有所提高，仍然需要灵活性技术，以便快速增加或减少发电量或用电需求。然而，也有一些非波动性可再生能源。在世界范围内，水电是一种非常普遍的可再生能源，发电出力几乎恒定。不过，在一些夏季气候干燥的国家，水电的季节性波动比风电大（葡萄牙风电相当稳定，但水电在夏季波动很大）。生物质能可控性很好，如今在欧洲和北美得到广泛使用，地热和太阳能热电厂与储能相结合也可以保证电力供应恒定，不同技术的组合使用会决定最终的发电模式，并决定在平衡波动时采用何种技术或概念。图1显示了2020年7月德国每小时的发电量，从中可以清楚地看到陆上风电和光伏的波动性。在德国的能源结构中，可再生能源占比达到43%（图2）；到2030年，预计这一比例将超过65%，到2050年，电力系统基本全部使用可再生能源。

图1：2020年7月德国的电力生产和消费结构（单位：吉瓦）



资料来源：[4]

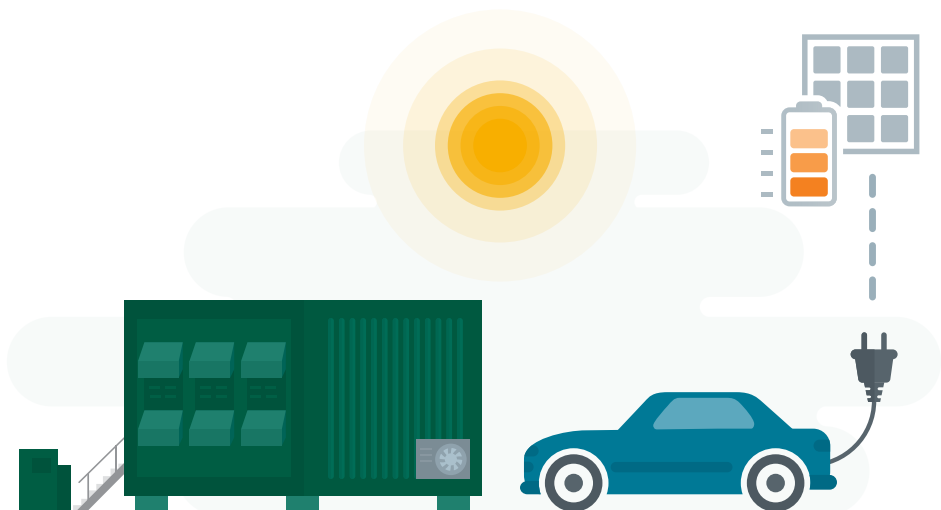
图2：1990年到2019年德国可再生能源占比（%）



资料来源：[5]

除了供电方面的波动外，每小时用电需求也有所变化。因此，不仅电力供应需要预测，电力需求也必须预测，供需必须得到平衡。未来随着电动汽车或热泵等新技术

逐步取代化石燃料技术，预计电力需求将增加。同时，能效的提升也将显著减少电力需求。因此，一个地区的年电力需求和每小时需求模式也会发生变化。



## 2.2 提升电力市场灵活性的方案

提升能源系统的灵活性有多种方案。表2列出了这些方案，并简要说明了方案目标。显然能够满足灵活性需求的方案不止一种。大多数情况下，不同能源系统会有不同需求，因此，平衡供需需要综合运用多种方案。储能是众多方案中的重要一类，其中包括部门耦合方案。一些应用情景需要快速响应，因此需要响应时间短的技术。然而在其他情况下，则需要保证灵活性提供的

持续时间，因此这些灵活性方案必须具有运行时间长、效率高的特点。在图3中，灵活性方案按典型运行时间排列。此外，调度方向已给定。正向调度指需求超过供应，因此必须减少需求或增加供应，以维持系统平衡。反向调度指供大于求，因此必须减少发电量或增加可控负荷的需求。

表2：灵活性方案概览（技术灵活性“有利因素”）

灵活性方案（技术灵活性“有利因素”）	方案目标
可再生能源发电管理	使可再生能源并网适应实际需求或电网容量。例如减少可再生能源并网，即如果电力供应超过需求或电网容量，则限制可再生能源并网
可再生能源技术组合	尽可能综合利用互补的可再生能源技术（受限于潜在可用的可再生能源）
可控电厂（化石能源、生物质能、太阳能热电厂和地热电厂）	在可再生能源上网比例低、可再生能源并网剧烈波动（大幅上升或下降）时供电
延长电网线路和互联线路	通过改善各国间或国内各区域间互联电网线路，改善平衡效果，实现可再生能源的空间整合
储能系统	如果可再生能源并网多，则储能系统充电；如果可再生能源并网少，则放电
能源效率和需求侧管理	整体上减少电力需求：这会减少对灵活性的需求，从而自动增加灵活调度的比例。 改变电动汽车、热泵等灵活电力消费终端的用电需求
部门耦合	电转热：利用电力制热 电转气/燃料/化学品：电制氢或甲醇等碳基能源

资料来源：作者编写

图3：灵活性方案的调度类型和典型运行时间



此外，还有一些非技术因素可以改善灵活性，例如提高预测能力或改进非歧视性市场设计（表3）。例如，市场设计在建立合适的框架条件中发挥着重要的作用，在这些框架条件下可以广泛采用灵活性方案。监管框架应 为非歧视性能源市场准入提供便利，并确保投资安全。

因此，可再生能源的推广必须与支持使用灵活性方案的市场设计一起进行。市场设计方案不仅可以影响对灵活技术的投资，而且可以促进国际贸易，从而改善整个系统的灵活性（参见[3]）。

表3：灵活性支持手段概览（非技术灵活性“有利因素”）

灵活性支持（非技术灵活性“有利因素”）	方案目标
改进可再生能源发电的监测和预测方法	（至少在短期内）为预期发电增加确定性
非歧视性市场设计	将具有成本效益的方案的选择和组合留给市场，因为灵活性方案显示的发展潜力是目前难以评估的
协调一致的能源政策	确保提供的各种灵活性相互支持，从而改善供应安全性和系统稳定性
接受度	让公民参与实施过程，并认真考虑他们的想法

资料来源：作者编写

由于大市场区域具有不同的地质和大气条件，因此，在大市场区域内，可再生能源并网波动可以得到更好的平衡，邻国（或相邻省份）的密切合作在提供灵活性方面发挥着重要作用。邻国之间的能源政策协调一致，可以给双方带来好处，因为这样可以确保彼此提供的灵活性相互支持，从而提高供电安全性和系统稳定性。但是，在政策层面开展合作的同时，必须确保实际电网容量和

互联线路步伐一致。然而，初步经验表明，延长电网线路、发展电厂和可再生能源很少或完全不被当地公众接受，德国的某些地区就是如此。因此，企业和政界人士都有义务在早期阶段使公民参与到有关能源转型的交流讨论中。在这一过程中不仅要向居民和广大公众提供信息，还应使公民参与实施过程，并认真考虑他们的意见。

## 2.3 研究方法

在此背景下，本报告旨在通过一系列案例研究，阐述德国储能市场的发展趋势，并介绍德国储能系统的市场机制、政策和商业模式。其中重点突出当前德国储电系统标准化过程中遇到的问题，并讨论德国与中国在标准化领域合作的潜力。



# 3 德国和全球储能系统/技术的现状

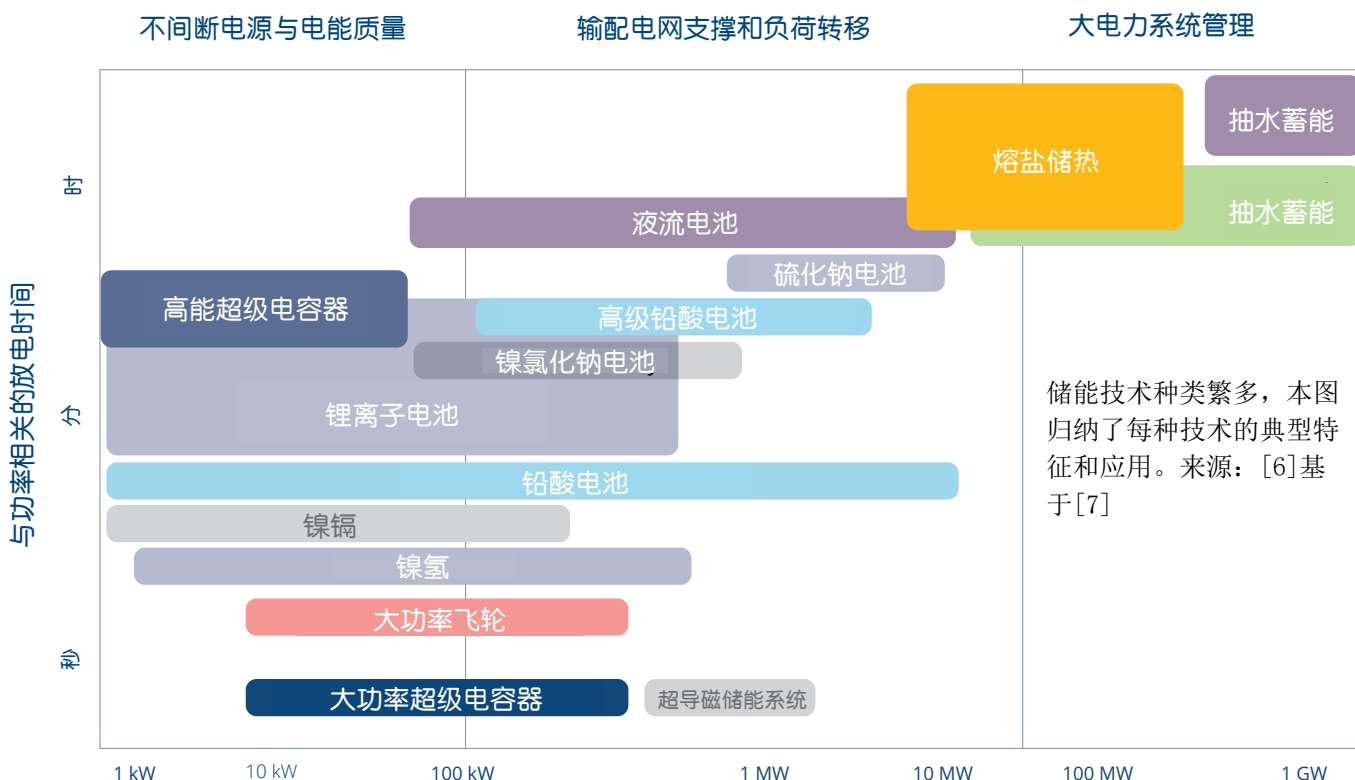
在简要介绍了储能系统（重点是储电）的典型应用领域和技术特点之后，本章将概述全球和欧洲储能系统的现状和发展趋势。最后一节将聚焦德国的具体情况。

## 3.1 储能系统的典型应用领域和技术特点

本节仅简要概述储能系统。更多详细信息，请参见参考文献[6]至[14]。储能系统的区别如下（参见图4）：

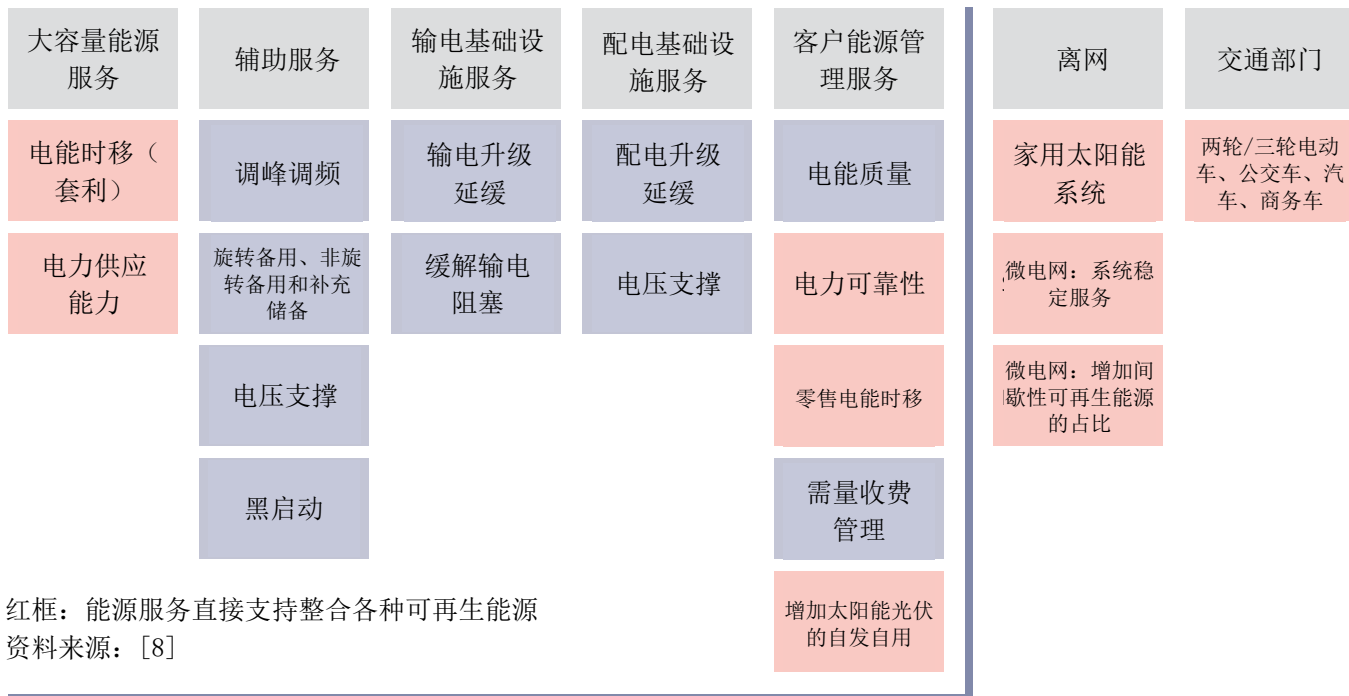
- 放电时间：
  - 短时间（几秒/分/小时）
  - 长时间（几天或几周）
- 应用范围：
  - 电能质量和不间断电源
  - 输配电网支持和负荷转移
  - 大容量电力系统管理
- 储能技术：特别是：
  - 抽水蓄能系统
  - 电化学储能系统（尤其是电池储能系统）
  - 抽水蓄能系统以外的机械储能系统（尤其是压缩空气储能、飞轮等）
  - 化学储能（特别是电制氢，电转合成燃料/化学物，一般是电转X）

图4：储电技术的特征描述



关于典型储电应用领域更详细的分类，请参见图5[8]。附件A.1中也使用此分类，对所选案例研究进行区分。

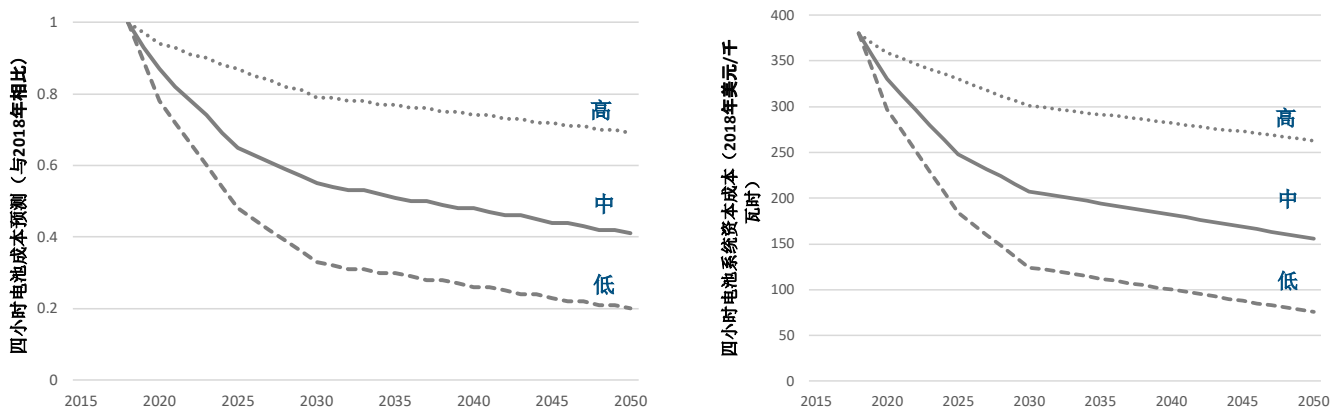
图5：储电的典型应用领域



参考文献[8]也展示了有关储电系统成本的详细介绍。这些储能系统发展迅速，最突出的是基于锂离子电池的电池储能系统（图6）。到2030年，电池

储能成本与2018年相比平均可以减少一半，甚至可减少至原来的三分之一（[12]）。

图6：截至2050年的四小时锂离子电池成本预测，左图为与2018年相比的相对值，右图是2018年绝对值（单位：美元/千瓦时）



资料来源：[12]



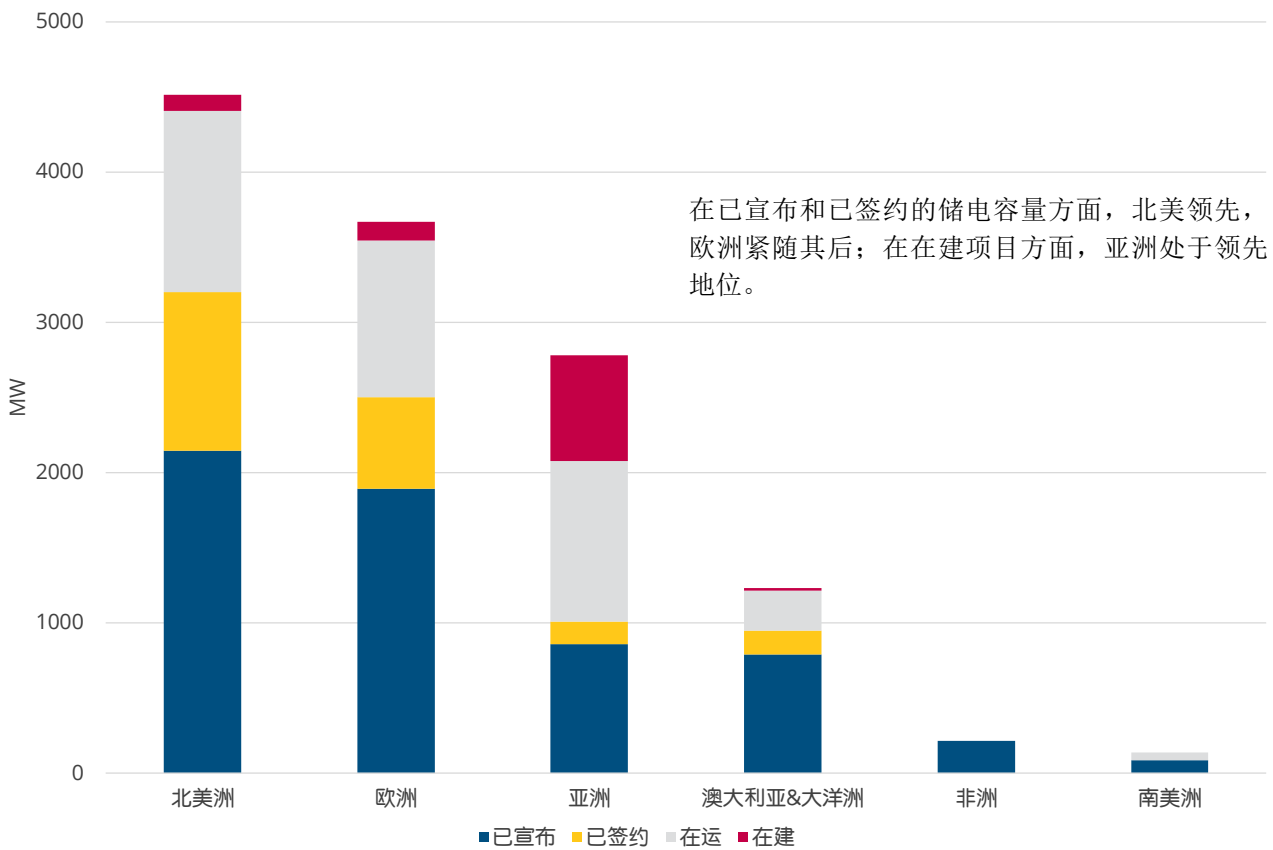
### 3.2 储能系统的现状与发展趋势

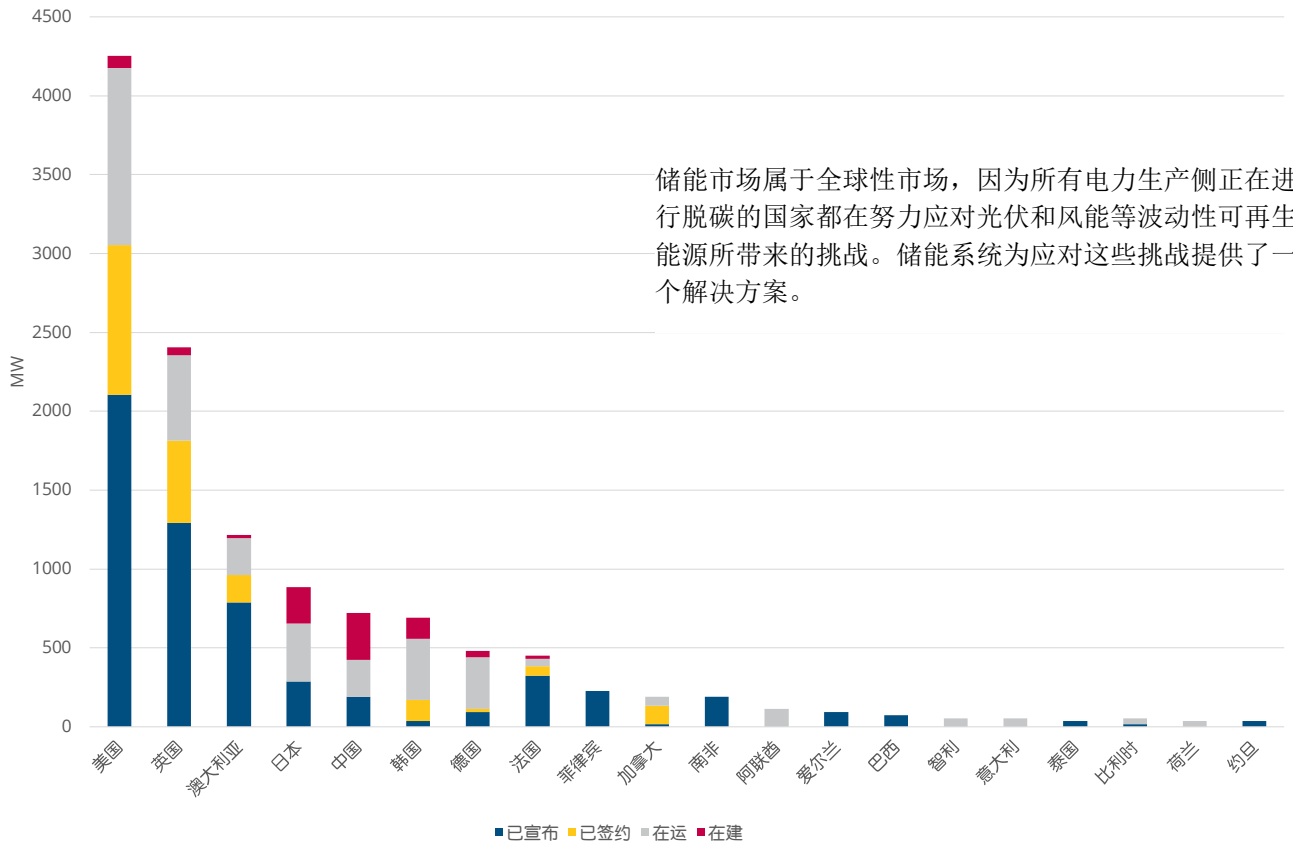
#### 全球情况

图7展示了截至2019年2月各地区和国家的兆瓦级储电项目概况（包括在运项目和计划建设项目）。其中，美国

领先，其次是欧盟各国（尤其是英国、德国）、澳大利亚、日本、中国和韩国）。

图7：各区域（上图）和每个国家（下图）的兆瓦级储电项目，截至2019年2月（单位：兆瓦）





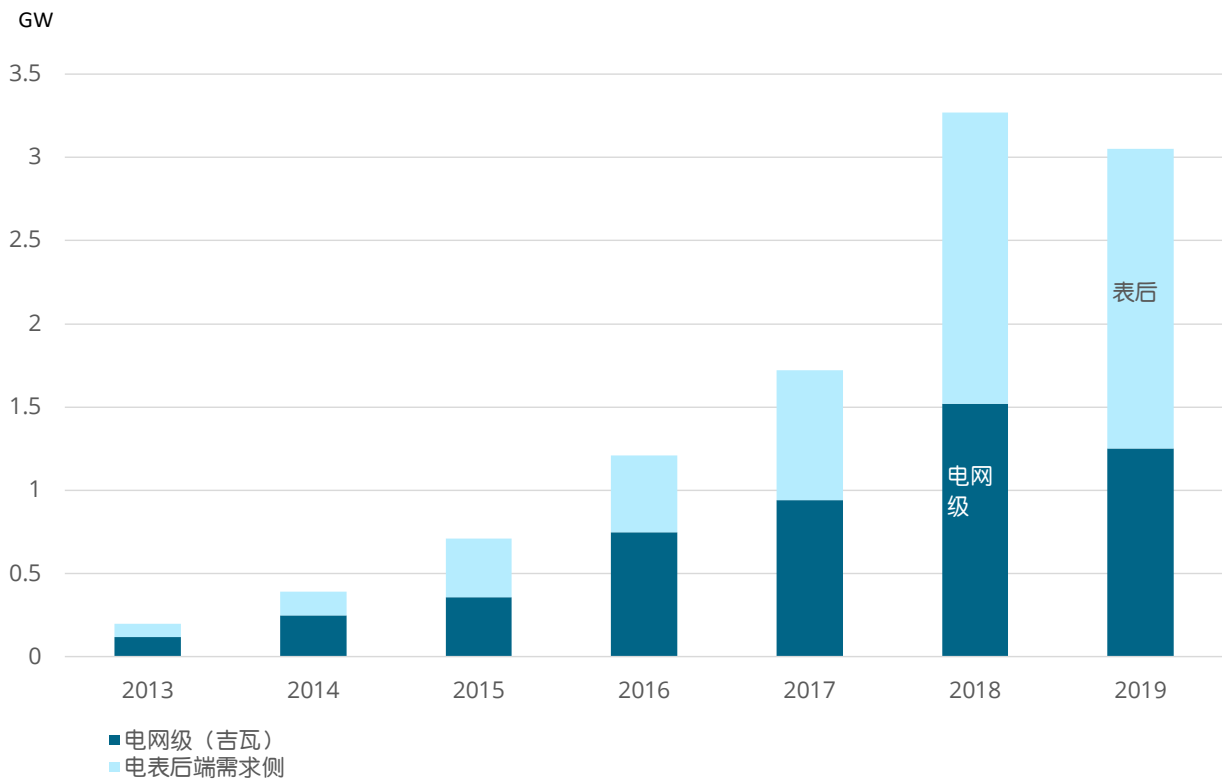
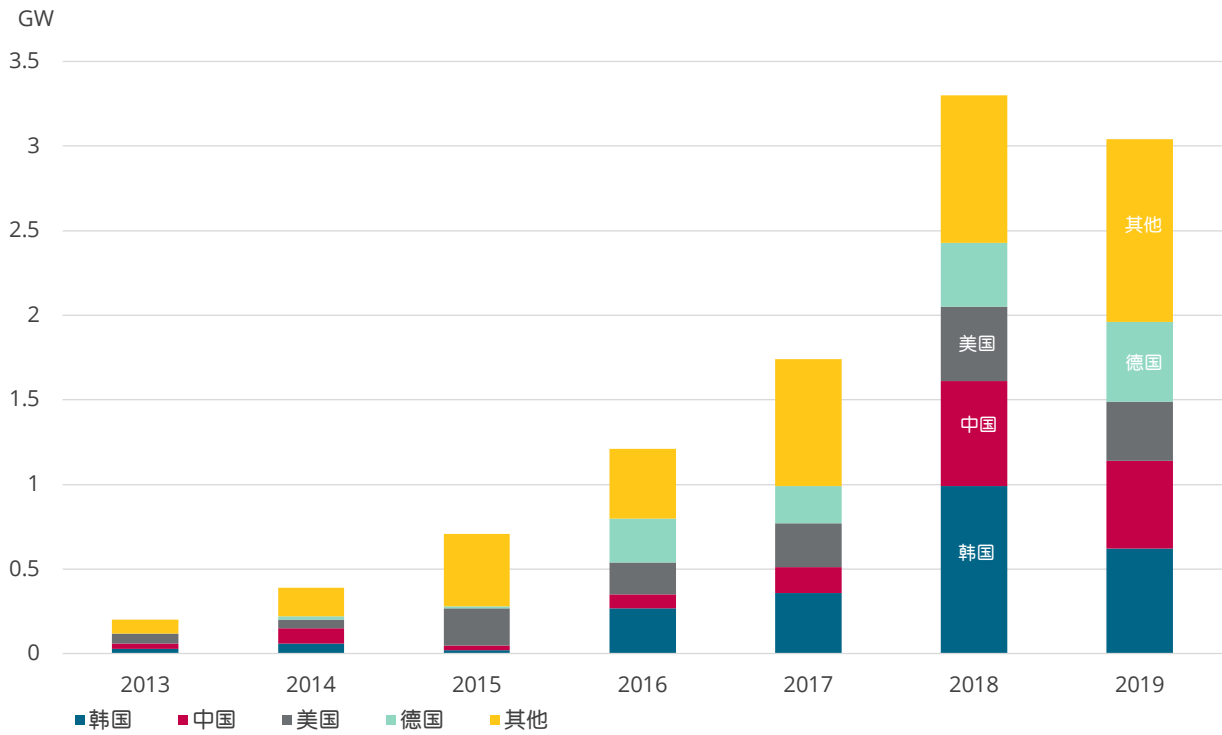
资料来源：[6]

根据国际能源署储能追踪报告[11]，2019年以来，储能系统（不包括抽水蓄能系统）的实际建设量自2019年以来首次下降（图表8）。值得注意的是，韩国市场受到技术问题的影响，储能系统建设与安全法规（电池起

火）相冲突。根据国际能源署报告[11]，2020年的新冠疫情危机很可能加剧这些影响，因为电池生产包括从电池、组件到包装和安装在内的供应链特别复杂。



图8：按国家/地区划分的2013-2019年度储能部署（不含抽水蓄能）（上图），电表后端需求侧储能与电网级储能对比（下图）



资料来源：[11]

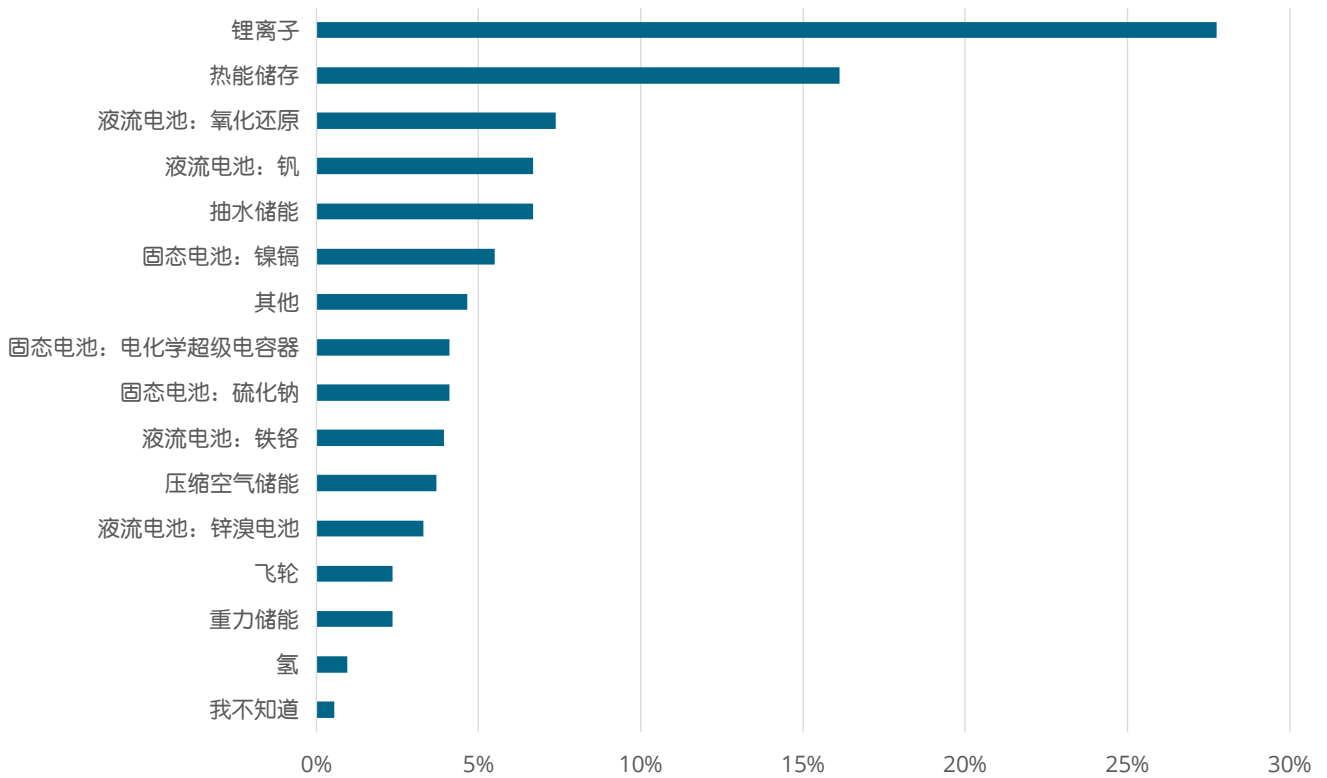
图9显示了锂离子电池在储能中的主要作用，其次是热储能，特别是集中式太阳能电站+熔融盐储能有所增加。

处理风电和太阳能发电造成的电力过剩是利益相关方安

装储能设施的主要原因（图10），但是电网调频和其他系统服务也是建设储能设施的原因。

美国能源部全球储能数据库(DOE Global Energy Storage Database) [9] 给出了全球各项目的详细的数据。

图9：目前主要应用的储电系统/技术类型

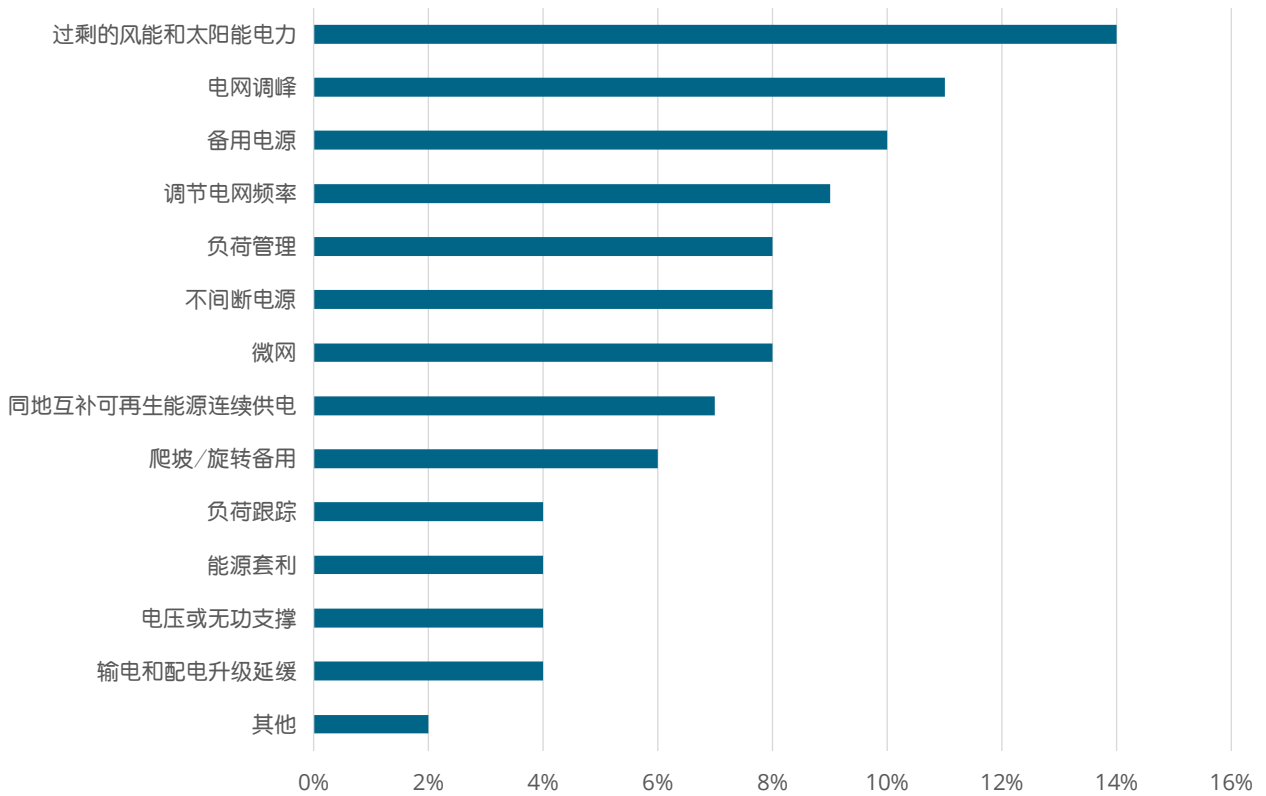


\*调查由ATAInsights完成。问题：您已利用了哪些大型储能技术，或者将利用和/或投资哪些技术？（732份答卷）  
资料来源：[6]



© shutterstock/ symbiot

图10：储电系统/技术的当前主要应用情景\*



\*调查由ATAInsights完成。问题：您已部署或将要部署的储能系统的主要目的是什么？（1113份答卷）  
资料来源：[6]

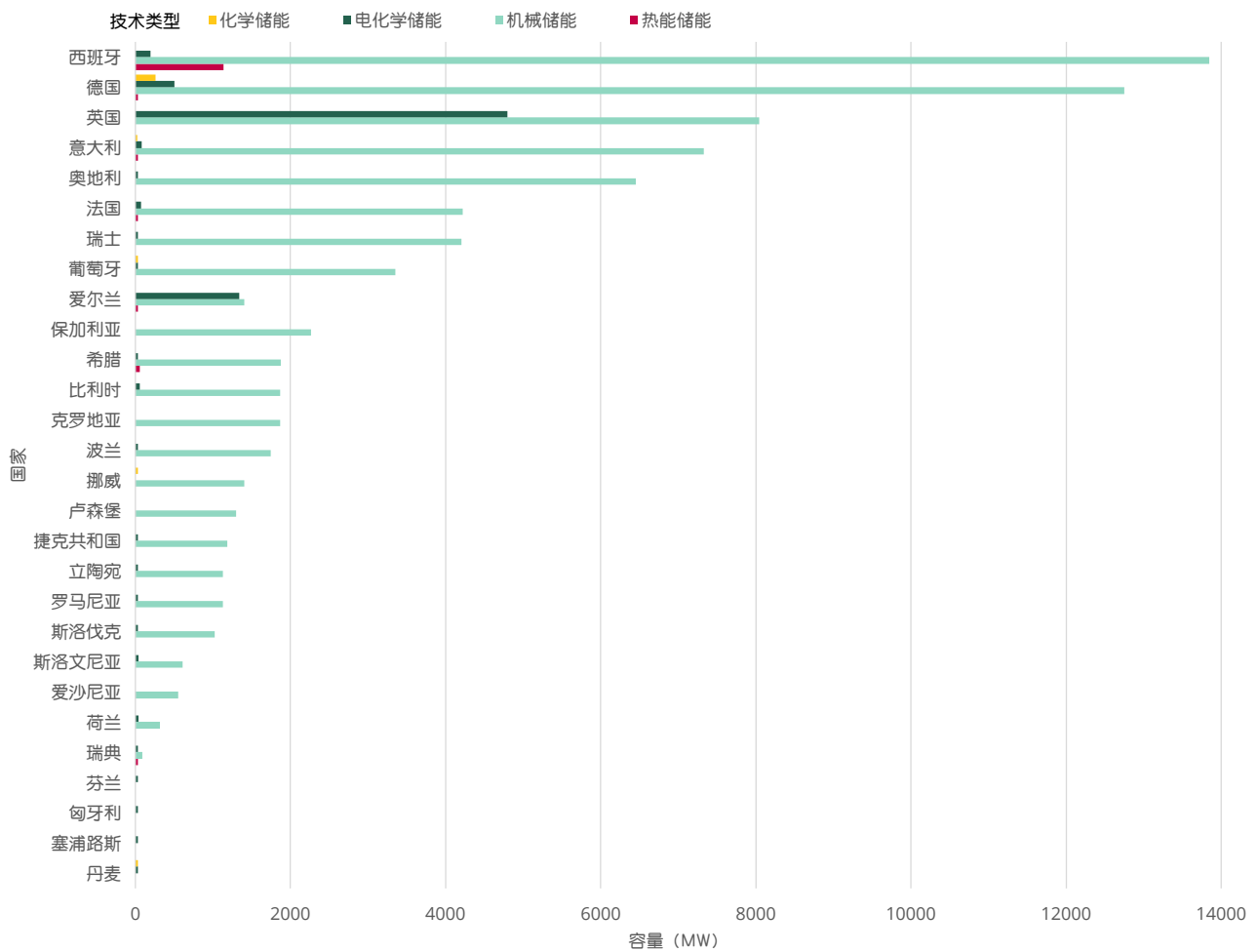


## 欧洲情况

图13对近期欧洲范围内的储能系统进行了概述，并建立了欧洲储能设施详细信息数据库。其中显示，欧盟的大部分储能（占现有功率的90%以上）属于抽水蓄能（图11中的浅蓝色部分），具有容量大和功率大的特点。机械储能达8万兆瓦，其中近5万兆瓦处于在运状态，其余处于规划或建设阶段。此外，还包括约1500兆瓦的非常规储能方案，例如压缩空气储能。电化学储能规模累

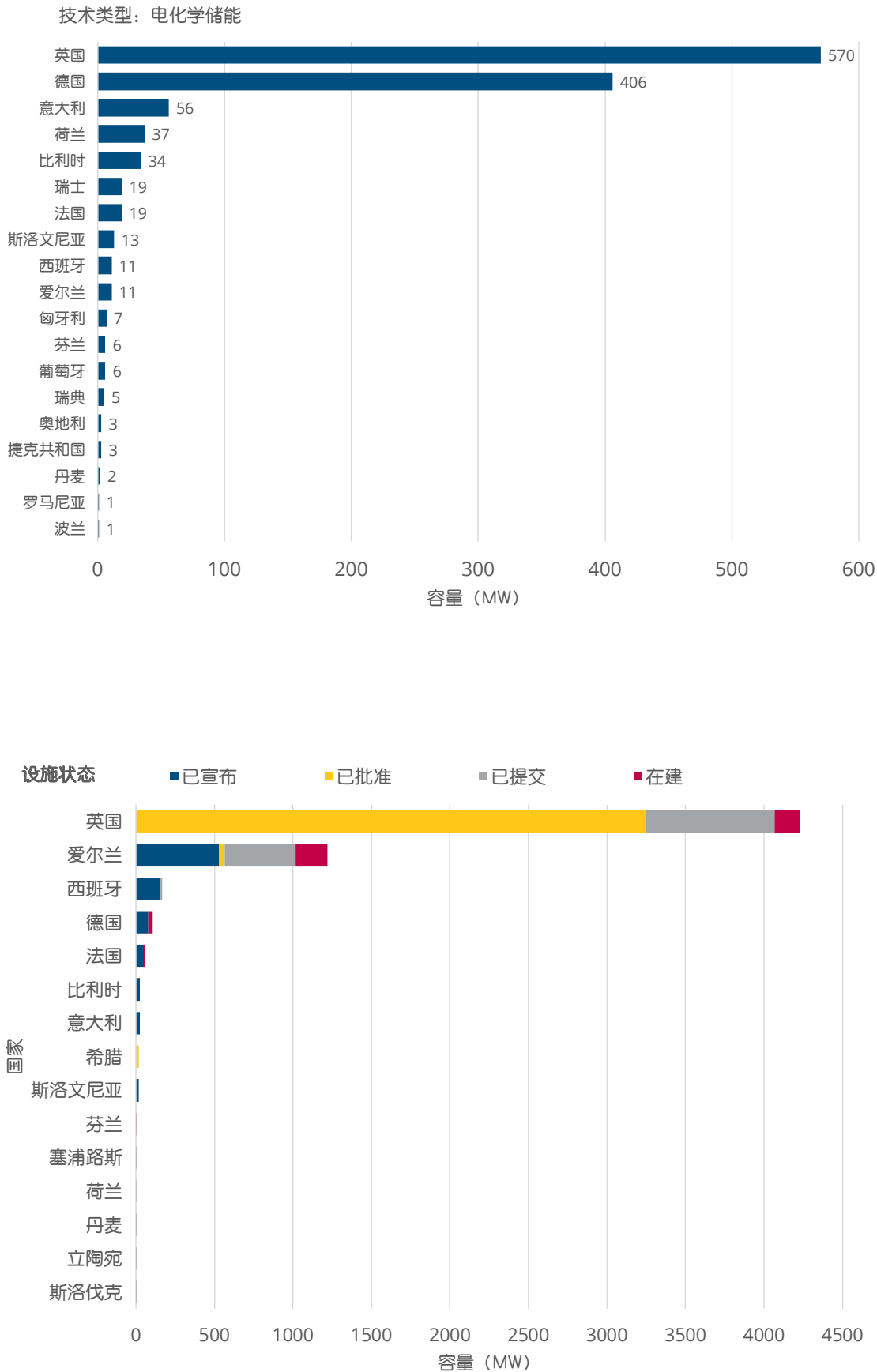
计达8000兆瓦，其中约1200兆瓦处于在运状态，处于规划/建设阶段的电化学储能为6000兆瓦（图12）。已取消700兆瓦，未在图中列出。在在运电化学储能系统方面，英国和德国处于领先地位；在规划储能容量方面，爱尔兰和西班牙颇为突出。该分析及图14还表明，表后储能在进一步增长（图8和图13）。

图11：欧盟：按技术和国家划分的储能容量（在运项目+规划项目）



资料来源：[13]

图12：欧盟按国家/地区划分的电化学储电容量（上图：在运；下图：计划）

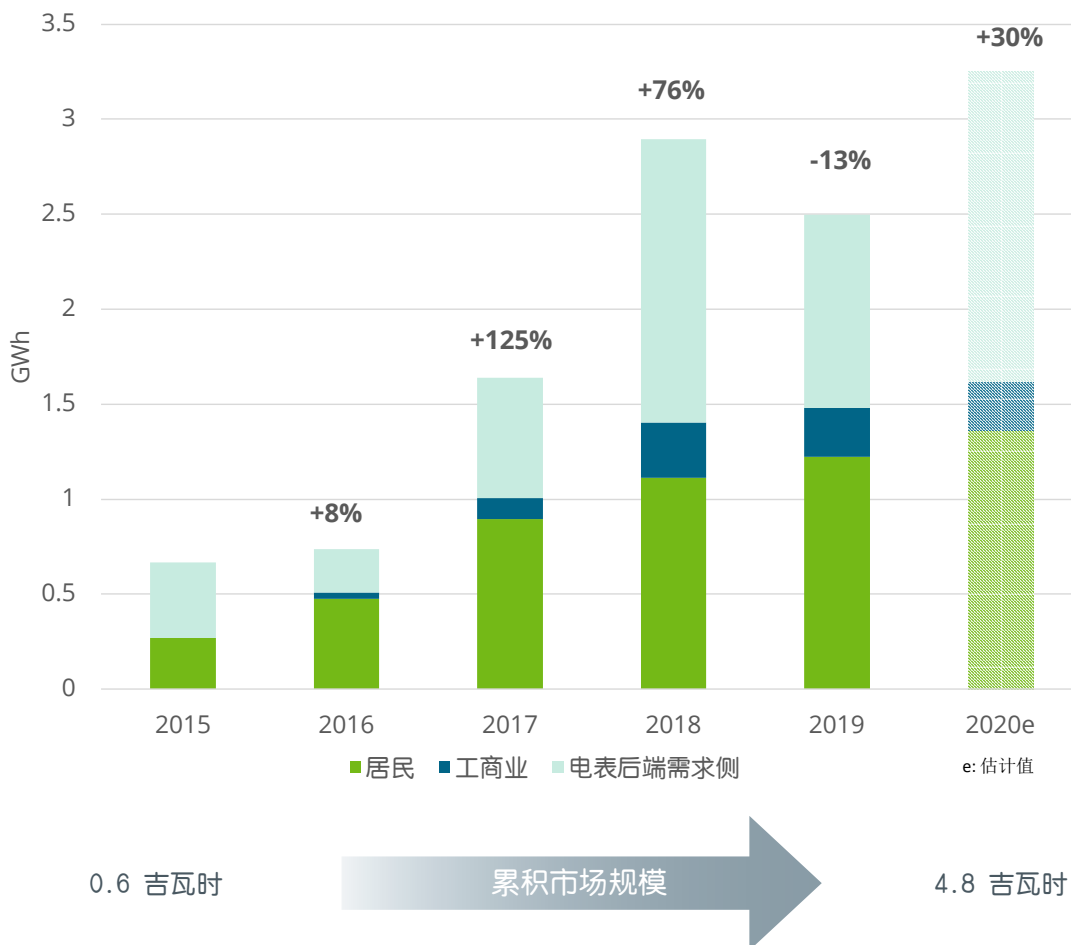


资料来源：[13]

2020年3月发布的《欧洲储能市场监测报告（4.0版）》（EMMES4.0）[14]指出，就欧洲整体而言（类似于全球总体情况），2019年储能市场发展有所放缓，但预计会有进一步发展（需要妥善地应对最近爆发的新冠疫情危机）。根据《欧洲储能市场监测报告（4.0版）》，大规模储能的主要回报形式是向电网运营商提供调频服务和其他辅助服务，而不是大量储电和放电。由于此前发

展最快的国家（例如英国和德国等）的调频备用市场趋于饱和，电池系统直接接入电网，表前部分发展放缓。这些市场当中的价格已从2015年的16欧元/兆瓦时降至2019年的6欧元/兆瓦时，这说明市场出现放缓。本报告给出了英国电池商业应用的新案例，从调频到批发，从平衡机制到日间交易和日内交易。

图13：欧盟：表前和表后（居民、商业和工业）年度欧洲储能市场（吉瓦时）



## 德国

在德国，电网级电池和家用电池正在迅速发展，后者的甚至发展更快（图14）。请注意：2019年和2020年的数字是预测值，并不反映最新的发展情况。大型电池发展的主要驱动力是因为它们有益于一次备用市场（见4.3节例子）。由于一次备用市场价格下跌（使得这些市场暂时对于投资者的吸引力下降），“表前”应用目前有所放缓。

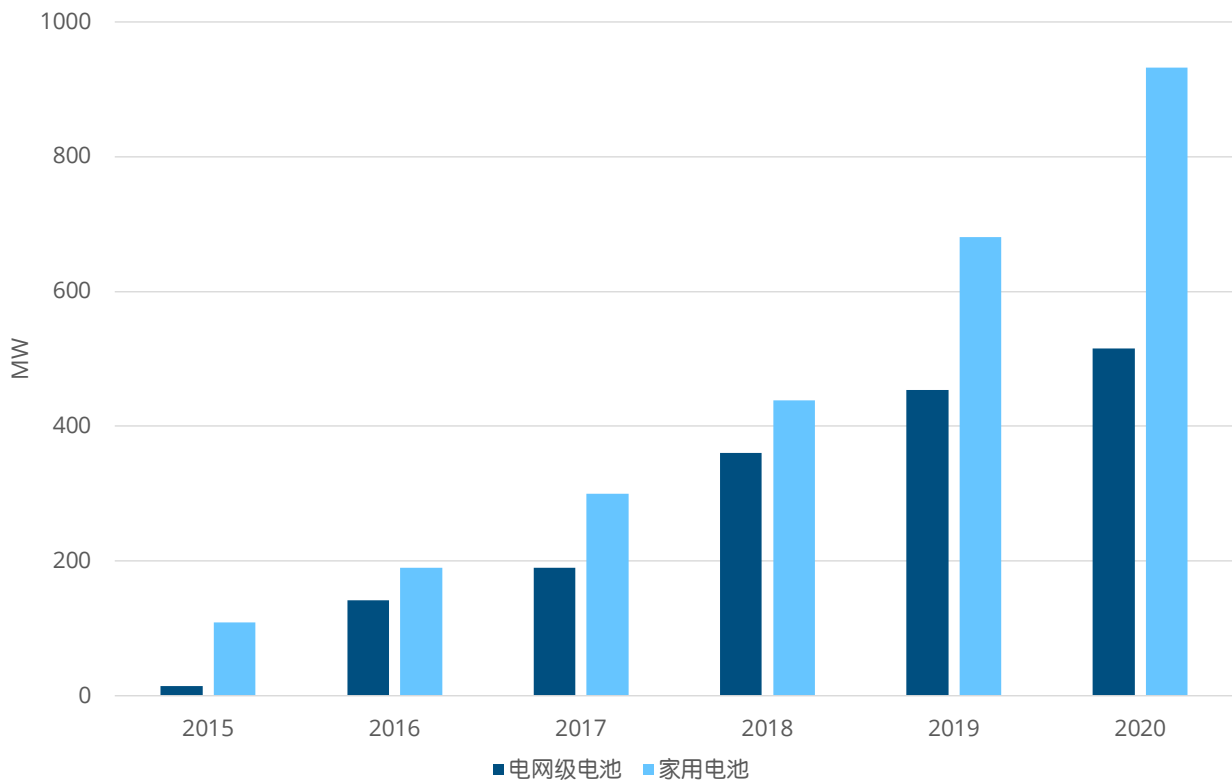
表后项目，特别是工商业部门的表后项目正在迅速发展。这一趋势在德国和英国两大大型储能市场表现最为明显，这两个市场都存在调频市场饱和的现象。不仅仅中小型企业出现这一趋势，更为重要的是，容量为1兆瓦时到几兆瓦时的大型工业储能设施也呈现这一趋势。与电网储能设施相比，表后项目的运营商在选择商业模



式时具有更大的灵活性。这里的重点是提供削峰服务，从而为用户节省接入电网的成本和网络费用。对于那些需要额外应急电力服务且对电力质量要求高的公司来说，其意义更加明显，因为在此基础上可以增加其他应用，从而提高盈利能力。必要时，还可以提供其他网络服务，例如与整合商一起，将规模较小的储能设施捆绑在一起，提供网络服务。

总之，电网级电池和家用电池都在快速发展。与家用电池相比，电网级电池的发展放缓的两个主要原因是，一方面，如上所述，一次备用市场的价格下跌，这降低了商业案例的吸引力；另一方面，自发自用和购电之间价格差很大，导致自发自用替代购电的成本很高，且反送入电网的电力的价格仅为从电网购电价格的十分之一（请参阅第4.3节，家用电池的商业案例）。

图14：德国的电网级电池和家用电池：快速发展的市场



电网级电池项目数量	59
2019年家用电池存量	180,000
2019年新增家用电池数量	65,000
2019年家用电池累计总容量	1,400,000千瓦时
2019年家用电池平均容量	7-8千瓦时
配备家用电池的光伏系统所占比例	55%

资料来源：根据RWTHSpeichermonitoring2017、BundesverbandSolarwirtschaft2018、TeamConsultundBVES2018自行编写。

# 4 储能系统应用案例

## 4.1 储能案例的选择

在本节中，我们将详细分析15个储能系统的应用案例，其中主要是德国案例。案例的选择与分布如图4。这些案例大致涉及三大类，主要覆盖目前市场上十分活跃的技术：

- 机械储能（重点关注占主导地位的抽水蓄能）。

- 电化学储能（大规模和小规模储能方案，以及电动汽车向电网提供服务的方案）。

- 化学储能，专注于基于氢气（电制氢）和合成气体的即将到来的创新性储能方案。

表4：15个储能系统应用案例概览

电化学储能	电池储能	四例大型电池储能		
		小型/分布式储能	私人/家用（固定式家用储能）	电网耦合式（捆绑式和独立式）两例
			商用/企业	非电网耦合式
			工业	数据中心（服务部门） 内部物流公司
电动出行储能	电动汽车向电网放电（商用和公用）两例			
化学储能	电转X	电制氢（电制氢与电动汽车相结合）		
		电转合成气（电转甲烷与电动汽车相结合）		
机械储能	抽水蓄能			
	压缩空气储能			

## 4.2 15个案例的应用、技术和经济特征

下表给出了15个储能案例的基本情况。本节描述的入选储能技术突出其技术和经济性特征及其应用，图10[8]给出了这些技术所属的类别。有关这些案例的详细信息，请参见文末附件。

表5: 入选储能技术的详细特征和应用案例

技术	案例	应用案例/服务	特征	主要收入 (+) 或 资金节约 (-)
大型电池	案例1 储能 博登肖姆	<ul style="list-style-type: none"> <li>辅助服务-调频调峰、电压支撑、黑启动</li> <li>离网-微网: 系统稳定性服务, 微网: 促进波动性可再生能源占比提高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>支持100%由可再生能源供电的孤网 (沼气站+八个 热电联产电厂+260个光伏电站)</li> <li>最大出力10兆瓦: 容量15兆瓦时</li> <li>48000块电池为4000户家庭储电两小时</li> <li>投资1000万欧元</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 年营业额100万欧元</li> <li>+ 年净收益20万欧元</li> <li>+ 按需发电</li> </ul>
	案例2 电池储能 亚尔德伦德	<ul style="list-style-type: none"> <li>大容量能源服务 - 电能时移 (套利)</li> <li>客户能源管理服务 - 零售电能时移</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通过一次控制电力减少石勒苏益格-荷尔斯泰因的弃风</li> <li>容量: 48兆瓦和50兆瓦时</li> <li>足以满足5300户家庭每日用电</li> <li>投资3000万欧元</li> <li>约1万块锂电池组组成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 按需发电</li> </ul>
	案例3 什未林 电池园	<ul style="list-style-type: none"> <li>辅助服务 - 调峰调频、黑启动</li> <li>客户能源管理服务 - 零售电能时移</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>储存该地区的过剩风能</li> <li>25600块锂锰氧化物电池, 容量: 5兆瓦/5兆瓦时 (2014)</li> <li>规模扩大至53188块电池, 容量: 10兆瓦/15兆瓦时 (2016年)</li> <li>总投资: 1000万欧元 (2014-2016年)</li> <li>联邦政府资助 - 研发与示范、私募股权/第三方股权投资</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 一次调峰调频市场</li> </ul>
	案例4 霍恩斯代尔储能系统 (澳大利)	<ul style="list-style-type: none"> <li>辅助服务 - 调峰调频、电压支撑、黑启动</li> <li>客户能源管理服务 - 需量收费管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>稳定系统, 减少峰值负荷成本</li> <li>容量: 185兆瓦时</li> <li>资本成本约6430万美元</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 电网成本节省约2750万美元</li> <li>+ 与政府签约的网络服务为政府提供容量: 70兆瓦/11.7兆瓦时</li> <li>+ 30兆瓦/90兆瓦时用于负荷管理, 即低价时储电, 高价时售电</li> </ul>

技术	案例	应用案例/服务	特征	主要收入 (+) 或 资金节约 (-)
家用小型/ 分布式电 池 (通过 光伏和家 用储能系 统优化自 发自用)	<b>案例5</b> 脱网	<ul style="list-style-type: none"> <li>离网 - 家用太阳能系统</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>优化自发自用并且尽量减少附加费、网络费用和电力税</li> <li>电池储能系统+小型光伏电站 (峰值 &lt;10千瓦)</li> <li>不收电网费因为不使用公共电网</li> <li>现场自发自用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>部分或全部免除《可再生能源法》规定的附加费</li> <li>无电网费用</li> <li>无电力税</li> </ul>
	<b>案例6</b> 接入电网 (捆绑)	<ul style="list-style-type: none"> <li>客户能源管理服务 - 增加太阳能光伏自发自用</li> <li>离网 - 家用太阳能系统, 微网: 提高波动性可再生能源的占比</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通过捆绑接入电网, 优化自发自用</li> <li>小型分布式储能系统互相连接, 作为虚拟电厂或参与调峰调频市场</li> <li>捆绑储能系统运营商, 为捆绑客户提供一定量的免费电力或收取统一电费, 并允许客户定期支付用电套餐费用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>捆绑消费的套餐费用低于单独用电电费</li> </ul>
	<b>案例7</b> 接入电网 (个人)	<ul style="list-style-type: none"> <li>客户能源管理服务-增加太阳能光伏的自发自用</li> <li>离网 - 家用太阳能系统</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>储存电网中的过剩电力</li> <li>有需求时, 将储存的光伏电力反送回电网</li> </ul>	目前无经济优势
小型/分布 式电 池 (不间断 电源)	<b>案例8</b> 斯特拉托数据 中心利用电 池管理系统 实现不间断 供电	<ul style="list-style-type: none"> <li>客户能源管理服务 - 电力可靠性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>确保即使在断电期间也有稳定的不间断电力供应</li> <li>20个不间断电源系统</li> <li>确保断电期间的电力供应</li> <li>在柴油发电机整合系统的支持下, 维持四周的能源供应</li> </ul>	
工业用 的小型/ 分布 式电 池	<b>案例9</b> 卡尔腾基伦 利用电 池储能 减少峰 值负 荷	<ul style="list-style-type: none"> <li>客户能源管理服务-需量收费管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>减少因峰值负荷高而增加的能源成本和网络费用</li> <li>减少内部物流公司的峰值负荷</li> <li>240千瓦 (4台60千瓦逆变器) 264千瓦时 (8部33千瓦时电池组)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>降低电费</li> <li>每年减少网费 21600欧元</li> </ul>
抽水蓄能	<b>案例10</b> 抽水蓄能系统 葛底斯塞尔	<ul style="list-style-type: none"> <li>大容量能源服务-电能时移 (套利) 电力供应能力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>确保网络稳定和平衡可再生能源波动</li> <li>装机容量: 1060兆瓦</li> </ul>	+ 按需发电

技术	案例	应用案例/服务	特征	主要收入 (+) 或 资金节约 (-)
电转X和 电动出行	<b>案例11</b> 水电制氢 维伦	<ul style="list-style-type: none"> <li>大容量能源服务 - 电能时移 (套利)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通过增加高可用性水电的系统满负荷运行时间, 降低绿氢生产成本, 并通过电制氢实现部门耦合</li> <li>装机容量: 1兆瓦</li> <li>每天最多制氢500千克</li> <li>电解槽的余热用于区域供热</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 免收网费和《可再生能源法》规定的附加费</li> <li>+ 出售储存的氢供燃料电池汽车使用</li> </ul>
	<b>案例12</b> 奥迪E-Gas设施 (电制甲烷)	<ul style="list-style-type: none"> <li>大容量能源服务 - 电能时移 (套利)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通过电制甲烷, 储存过剩电力, 从而实现电力和天然气行业的部门耦合</li> <li>装机容量: 6.3 兆瓦</li> <li>年甲烷产量: 1000吨</li> <li>电网和气网实现供应部门双向耦合</li> <li>将二氧化碳与氢气结合转化为甲烷, 减少二氧化碳排放</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 将合成气送入管网</li> <li>+ 出售合成气, 供压缩天然气汽车使用</li> <li>+ 按需供电</li> </ul>
压缩空气 储能	<b>案例13</b> 用光伏和压缩空气储能实现 自发自用	<ul style="list-style-type: none"> <li>离网 - 家用太阳能系统</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用压缩空气储能系统优化自发自用</li> <li>充电容量: 15 千瓦</li> <li>储存容量: 7.5 千瓦时</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 减少电费</li> </ul>
电动出行	<b>案例14</b> 电动汽车向电网放电和约翰·克鲁伊夫竞技场的电池储	<ul style="list-style-type: none"> <li>大容量能源服务 - 电能时移 (套利)</li> <li>客户能源管理服务 - 需量收费管理, 增加太阳能光伏的自发自用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>平衡可再生能源的波动并且实现电力和交通部门耦合</li> <li>15座双向充电站+3兆瓦电池+1兆瓦光伏</li> <li>部门耦合</li> <li>平衡可再生能源波动</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 减少电费</li> <li>+ 电动汽车向电网放电</li> <li>+ 电动出行工具充电</li> </ul>
	<b>案例15</b> 电动汽车向电网放电, 芬兰电动汽车双向公共充电站	<ul style="list-style-type: none"> <li>大容量能源服务 - 电能时移 (套利)</li> <li>客户能源管理服务 - 增加太阳能光伏的自发自用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>将电动汽车与能源系统整合, 实现电力和汽车部门耦合</li> <li>10千瓦电动汽车双向公共充电站+太阳能+储电</li> <li>部门耦合</li> <li>平衡供需</li> <li>受欧盟“地平线2020”计划资助</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 通过促进电网平衡获取经济收益</li> </ul>

### 4.3 德国储电利用的商业模式和市场模式

当前储能（特别是电池储能）的应用领域包括提供多种服务，但是重点集中在向电网提供辅助服务以及增加太阳能光伏的自发自用（特别是与电动交通领域的部门耦合）。本节将介绍这两个领域的储能商业案例。

这些领域当中存在大量活跃的参与者，包括电池储能系统供应商。此外，公用事业公司、汽车制造商和能源密集型产业在德国市场上都很活跃，他们利用大型电池储能系统或回收电池或电动汽车备用电池作为控制能源市场的一次备用。

比如，Sonnen公司通过了利用小型电池提供一次备用容量的资格预审[15]。该公司的虚拟电厂包含数千个独立的储能系统，这些系统遍布全国，每个系统都可以用来为单个家庭提供用能管理。Sonnen公司的虚拟电厂在欧洲拥有约3万个电池系统，每个系统容量在5到15千瓦时之间。整个电网的容量高达300兆瓦时，能为12万家庭供电大约一小时。此外，当电网出现波动时，这些电池能够独立地连接成一个大型虚拟电池。每个电池都有不同的充电状态，大量电池整合在一起，整合后的容量从1兆瓦起不等，提供给能源市场。如果电网频率偏离50hz，储能系统能够按需在几秒钟内自动向电网供电或

从电网充电。目前，作为一次平衡电源的主要是大量排放二氧化碳的电厂；这些联网的家庭储能系统正在加快德国从电网中剥离这些电厂的步伐。小型储能系统的业主可获得一项特别指定的电价：作为提供储存容量的回报，他们可获得一定数量的免费电力。因此，对于电池业主来说，使用可再生能源更具经济效益。这些方案也已在邻近的欧洲国家付诸实施。

市场参与者已经开发或参与了分布式电池储能系统的更多应用情景，包括分布式电池储能提供再调度服务、利用电池储能系统优化批发电力市场上的购电。除了这些应用外，目前还有其他已公布的许多其他商业模式，这得益于数字化和人工智能的进步。这些案例包括客户对客户交易，即生产者 and 消费者直接进行电力交易或者借助储能设施进行电力交易。基于平台的方案也经常讨论，即储能设施可以作为一种灵活性资源供应，以促进区域阻塞管理或区域市场营销。

#### 提供一次备用的商业案例

过去几年中，德国已有50多个用于调频的大型电池项目落地实施（图15）。

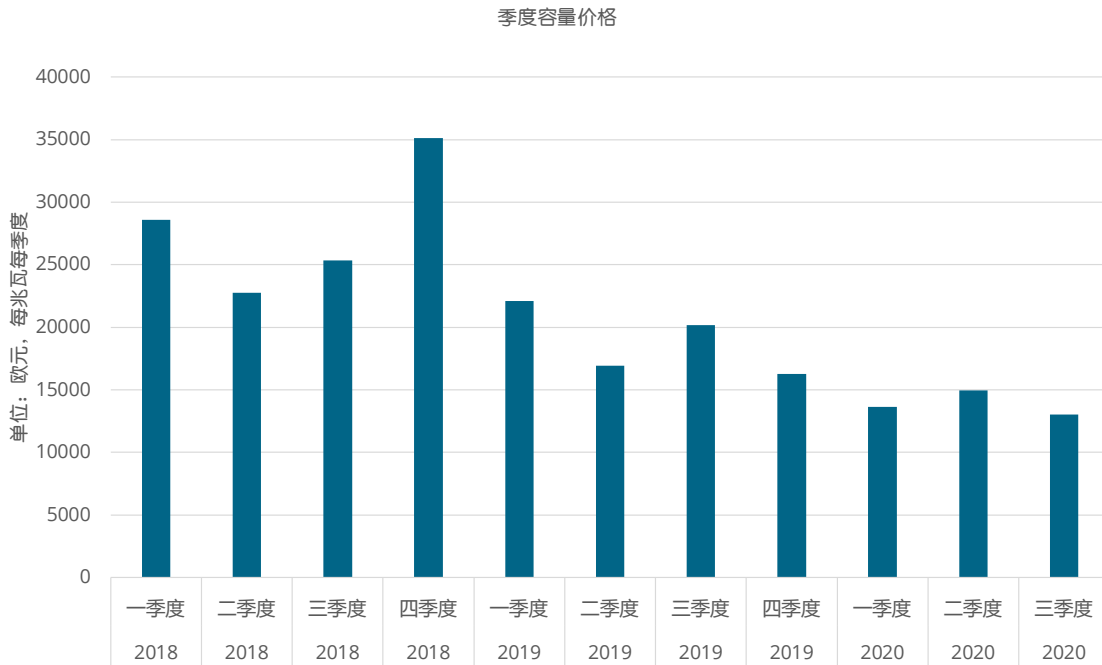
图15：在德国配备大型电池储能设施进行调频的项目



在一次备用市场中使用储电的主要动力是：一次备用的容量价格高。2018年德国季度支付的一次备用容量价格达每季度35000欧元/兆瓦（每年14000欧元/兆瓦），但

在2020年降至每季度不到15000欧元/兆瓦（每年60000欧元/兆瓦）（图15）。

图16：2018年至2020年德国提供一次备用的季度容量价格



资料来源：[16]

15兆瓦/20兆瓦时大型电池的成本估算在400至600欧元/千瓦时之间，整个系统的总投资为800万至1200万欧元（大约每兆瓦约60万欧元，请参阅表6）。按照当前的投资水平，年度总成本（包括保养成本和资本成本）将

达到55000欧元，如果可以降低电池成本，到2035年，成本将有所下降。根据2019年调频备用的收益（每年每兆瓦约66000欧元），投资这种电池系统是有利可图的。

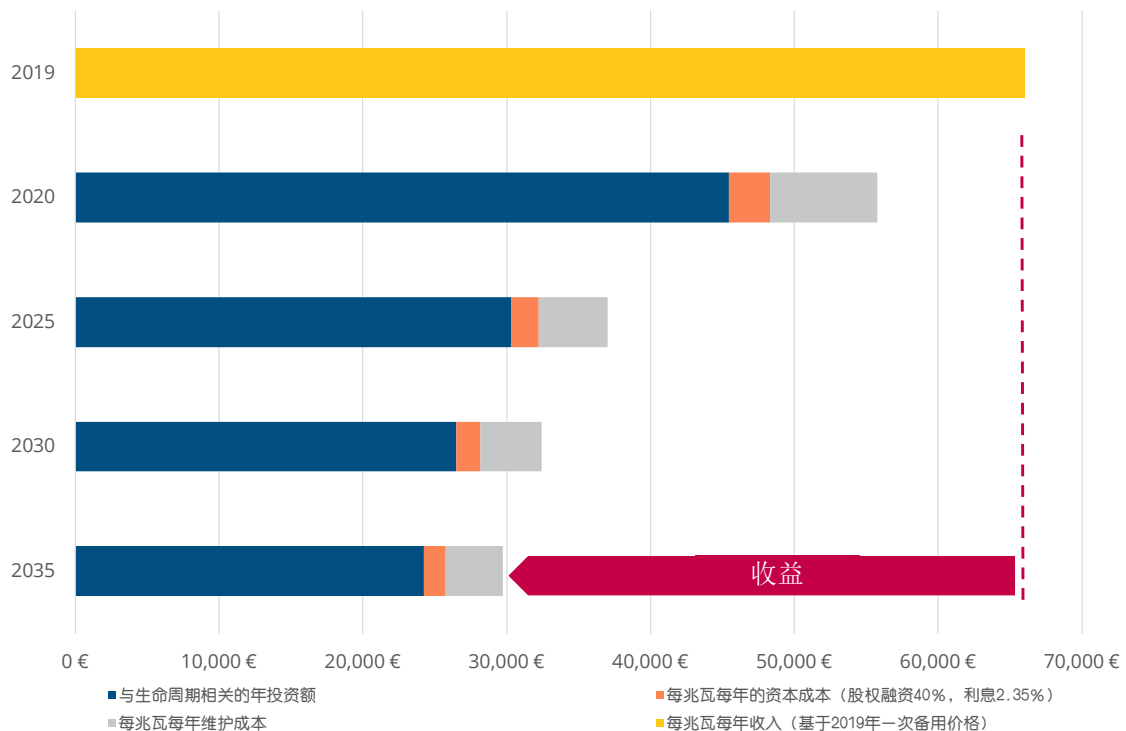
表6：通过电网级电池系统提供1兆瓦一次备用的成本和收益

	2020年	2025年	2030年	2035年
每兆瓦电池投资	500000欧元	320000欧元	280000欧元	260000欧元
工程费用	100000欧元	80000欧元	70000欧元	60000欧元
每年的周期[1兆瓦]	303	303	303	303
每年的周期[2兆瓦时]	151.5	151.5	151.5	151.5
生命周期	13	13	13	13
与生命周期相关的年投资额	45450 欧元	30300 欧元	26512 欧元	24240 欧元
每兆瓦每年的资本成本（股权40%，利息2.35%）	2863 欧元	1908 欧元	1670 欧元	1527 欧元
每兆瓦每年的维护费用	7500 欧元	4800 欧元	4200 欧元	3900 欧元
每兆瓦每年的总成本	55813 欧元	37009 欧元	32383 欧元	29667 欧元
每兆瓦每年收入（基于2019年一次备用价格）	66000欧元	66000欧元	66000欧元	66000欧元

资料来源：作者自行计算

图X1： 电网级电池系统提供1兆瓦一次备用的成本与收益

资料来源：作者自行计算



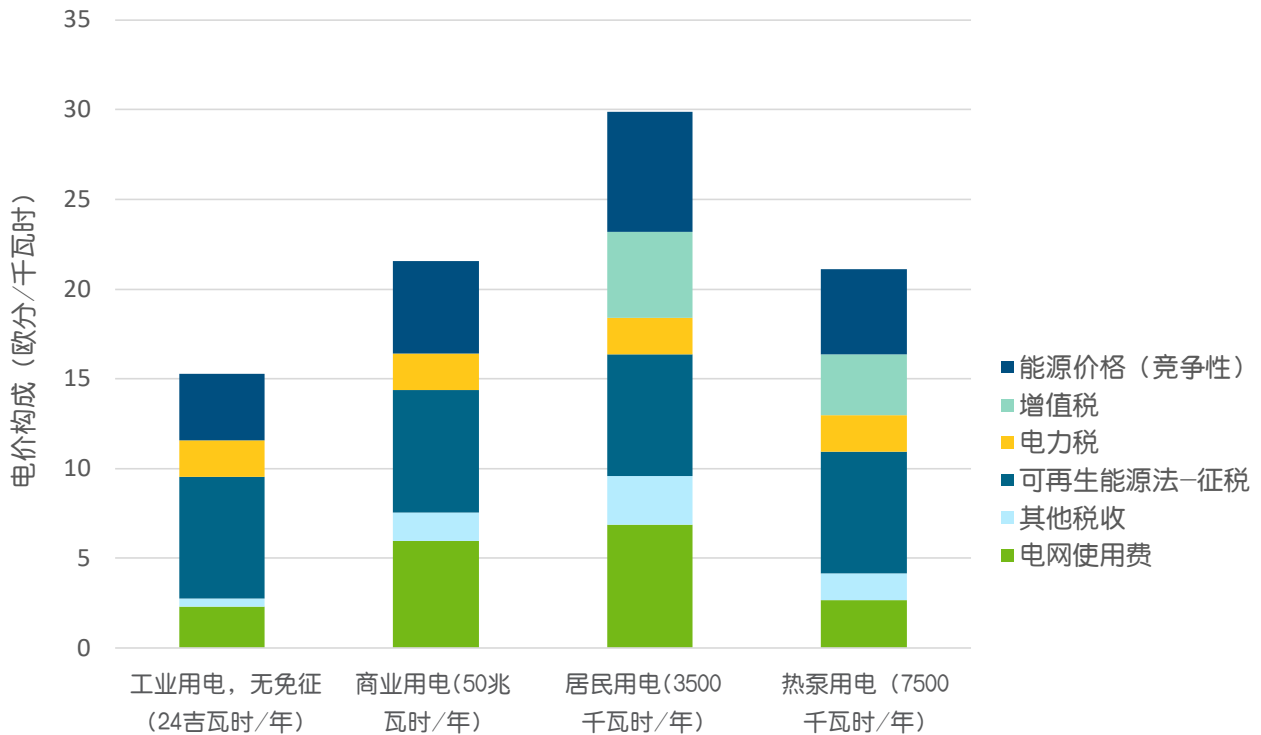


### 自发自用光伏商业案例

通过部署电池系统优化光伏自发自用的一大动因是，相比于从电网购电而言，用户用电成本可以降低。2019年

居民终端用户一般购电价格为30欧分/千瓦时，其中也包括高比例的税费（见图17）。

图17：2019年德国不同用户的电价构成



资料来源：[17]

部署家用电池系统可以提高屋顶光伏设备的自发自用水平，从而减少从电网当中的购电量。近年来，随着德国固定上网电价大幅下降，自发自用的吸引力越来越大。

特别是拥有电动汽车（EV）的家庭，可以通过部署电池系统来增加自发自用的比例（请参阅表7）。

表7：2021年家用光伏和电池系统的价格和其他技术参数预期

2021年预期	价格/成本	技术参数	
居民用电价格	32.7欧分/千瓦时	电力需求	7280千瓦时（包括3280千瓦时用于电动汽车）
馈入电网	3欧分/千瓦时	光伏容量	5千瓦
电池资本支出	641欧元/千瓦时	自发自用比例	无储能：38% 储能2.5千瓦时：51% 储能5千瓦时：58% 储能12.5千瓦时：67%
光伏系统资本支出	1207欧元/千瓦时		

资料来源：作者自行计算

在电池系统成本大幅下降至不到700欧元/千瓦时的背景下，到2021年，与未部署电池的系统相比，部署电池系统的总用电成本较低。一个电力需求4000千瓦时的普通家庭，加上一辆电动汽车3280千瓦时的额外用电需求，每年需要支付2375欧元的电费（见表8）。对于这样的家庭来说，安装5千瓦的光伏系统是有利可图的，因为

与从电网购电相比，自发自用的用电成本更低，每年的电费将减少到2030欧元。自用剩余的3100千瓦时的电力以3美分/千瓦时的低价送入电网。使用电池储能增加自发自用的比例，每年可将居民家庭电费减少到2012欧元。

表8：拥有电动汽车的居民用户的电费

电池容量 千瓦时	光伏容量 千瓦	从电网购电 千瓦时	送入电网 千瓦时	储存成本（欧分/ 千瓦时）	总电费
0	0	7280	0	—	2375
0	5	5380	3100	—	2030
2.5	5	4720	2430	22.4	2012
5	5	4380	2090	28.6	2089
12.5	5	3940	1650	47.7	2495

资料来源：作者自行计算

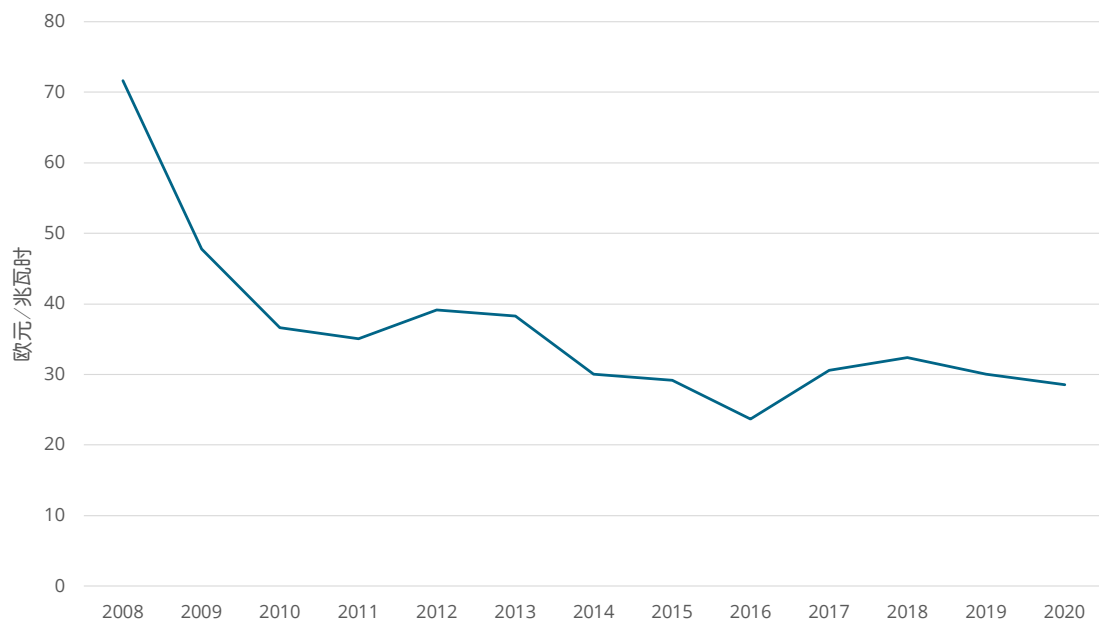
## 现货市场参与的商业案例

长期以来，蓄水电站长期以来一直是德国电力系统的一部分，它们利用批发市场上的价差获利。同样的商业模式对于电池系统也适用，但这种商业模式过去未曾实际

应用，因为电池储能的投资要比其他方案高得多，且现货市场的价差也有所降低（图18）。

图X2：德国每日现货市场价格每小时最低和最高价格之间平均价差的发展

资料来源：[欧洲电力交易所现货市场]



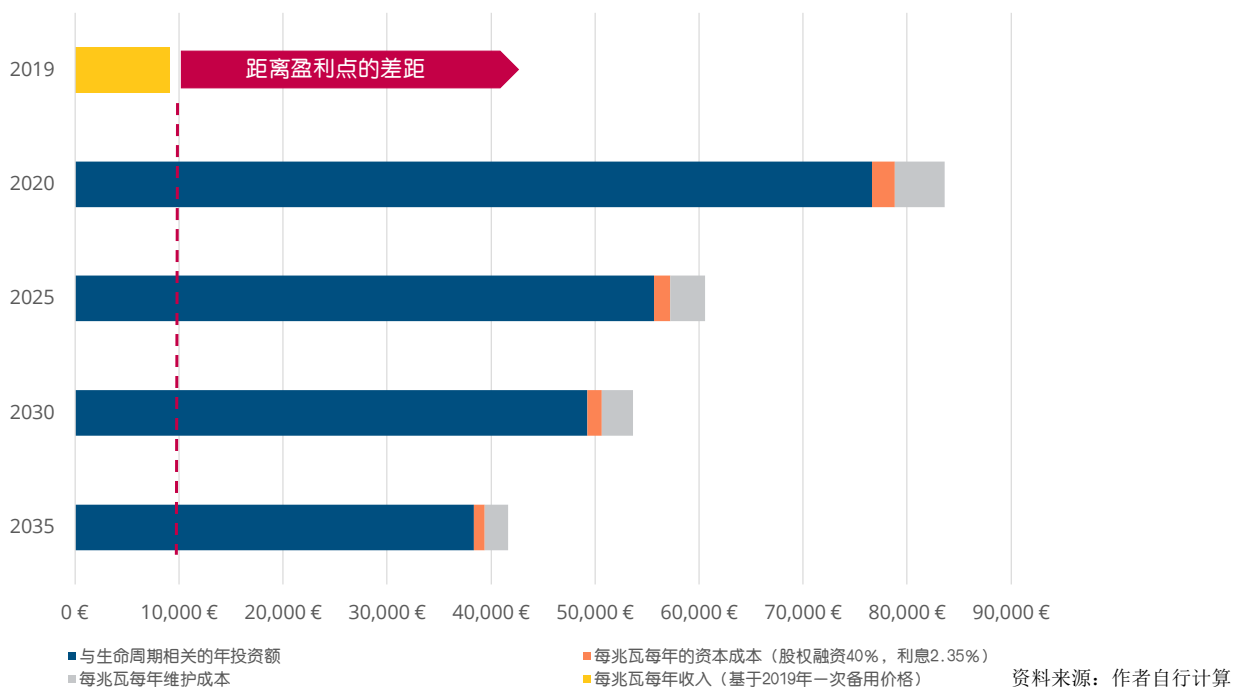
未来价差的发展取决于几个因素，例如燃料价格和二氧化碳价格、可用发电容量和电网容量的变化。在某些时段化石能源机组仍作为边际发电机组并决定价格，且在二氧化碳价格较高的情况下，预计价差可以达到最高值。同样，在容量不足且需求弹性非常低的情况下，可能会出现高价差。

考虑到未来电池成本，此商业案例的经济性将有所提高，但是只有在电池寿命进一步延长或价差进一步增加时，这一商业模式才会有利可图。以现货市场运行1兆瓦/1兆瓦时电池储能为例，2019年的收入为9125欧元，但每年的成本为84000欧元。随着未来电池成本的降低，总成本每年可降至41000欧元，但仍无法盈利（表9）。

表X1：在电力现货市场上出售容量1兆瓦/1兆瓦时储能的成本和收益

	2020年	2025年	2030年	2035年
每兆瓦电池投资	320000欧元	225000欧元	200000欧元	150000欧元
工程费用	100000欧元	80000欧元	70000欧元	60000欧元
每年的周期[1兆瓦]	365	365	365	365
生命周期	6	6	6	6
与生命周期相关的年投资额	76650欧元	55663欧元	49275欧元	38325欧元
每兆瓦每年的资本成本（股权40%，利息2.35%）	2147欧元	1559欧元	1380欧元	1073欧元
每兆瓦每年的维护费用	4800欧元	3375欧元	3000欧元	2250欧元
每兆瓦每年的总成本	83597欧元	60597欧元	53655欧元	41648欧元
每兆瓦每年收入（基于2019年现货市场价差（最高时和最低时））	9125欧元	9125欧元	9125欧元	9125欧元

图X3：在电力现货市场上出售容量1兆瓦/1兆瓦时储能的成本和收益



# 5 储能在德国能源转型中发挥的作用以及德国的储能支持政策

本章简要介绍德国当前的储能支持政策和措施，进一步分析储能设施对德国联邦网络管理局所发挥的重要作用和意义，并指出在当前复杂多样的监管框架内提升电力灵活性所面临的市场挑战。

## 德国储能资助项目

德国联邦政府的“储能资助倡议”为开发储能系统提供资金。自2012年以来，该倡议已向约250个项目提供了约两亿欧元的资助。这项倡议资助的项目包括家用电池和兆瓦级储能系统。此外，也包括可再生能源电力电解制氢的长期储能项目。这项资助倡议的重点涵盖风电制氢系统、配电网中的电池应用和储热系统等。即使在资助倡议结束后，“联邦政府能源研究项目”也将继续对这些项目进行资助。将来会有更多资金投入以可再生能源为主的供电系统中储能系统的使用优化研究中。

具有战略性重要意义的资助领域包括：

- 储电（电池、压缩空气储能、虚拟储能、冷凝器、飞轮以及抽水蓄能）
- 材料储能（将任意量的电能转换为氢气和甲烷、地质储能、高效释放存储材料中的电能）
- 储热（针对太阳能光热电站的材料和设计原则以及概念，供应楼宇使用或者输入供热管网）

- 综合领域（分布式储能设施的管理、制造工艺、系统分析和储能设施的公众接受度）

分布式储能系统可从德国复兴信贷银行获得补贴。自2013年初以来，太阳能储能系统项目就可通过德国复兴信贷银行的贴息贷款进行融资。德国复兴信贷银行为此提供低息贷款和还款补贴。德国复兴信贷银行这一推广项目“可再生能源储罐”项目已于2018年12月31日结束[18]，但是，联邦各州和城市层面仍然对购买光伏储能设备提供支持[18]。

电池对电动出行项目具有重要的战略意义。此外，固定式储能系统也将受益于这一发展趋势：2017年10月，欧盟委员会与成员国和相关行业企业一起，共同创立了欧洲电池联盟。其目的是以可持续的电池单元为核心，在欧洲创造一条具有竞争力、可持续的创新性价值链。根据预测，从2025年起，电池市场的价值每年能达到2500亿欧元。据保守估计，仅欧盟就需要在欧洲设立至少20家“千兆级工厂”（大型电池制造厂）。各方必须共同努力，尽快为该领域吸引足够的投资。

### 德国储能的监管框架

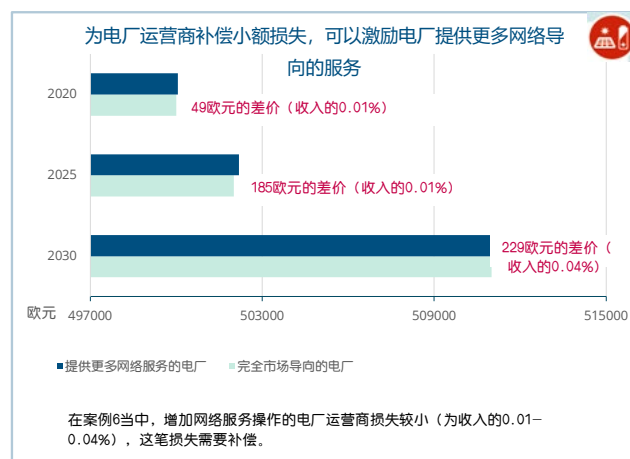
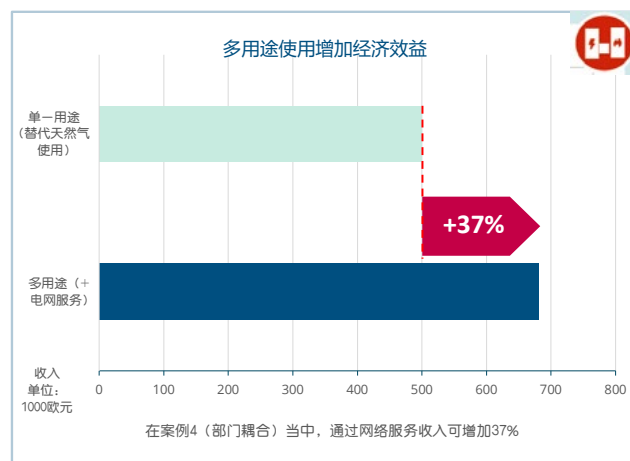
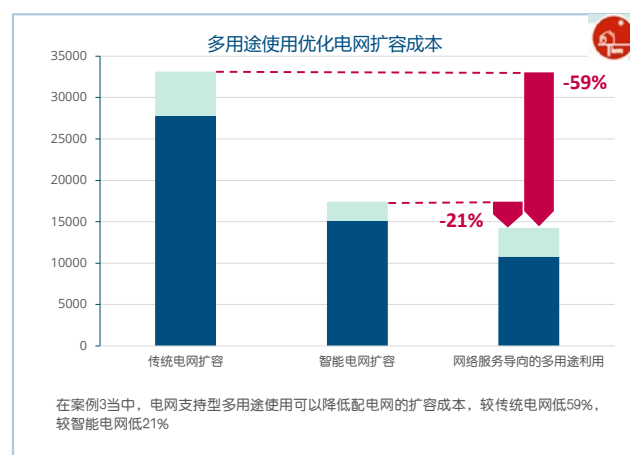
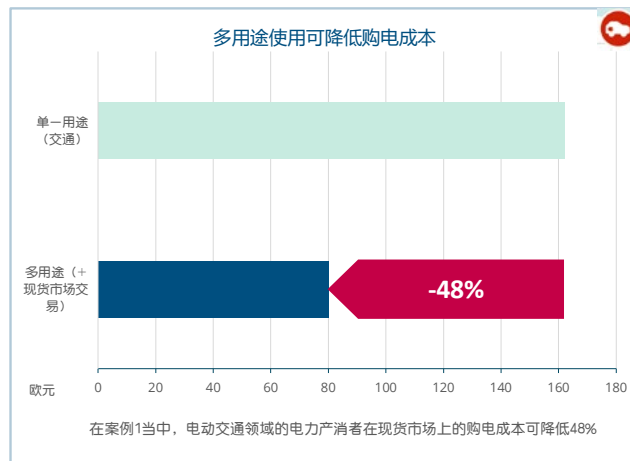
虽然直接补贴对市场的早期培育有益，但对于储能基于商业模式的市场化来说，比补贴更重要的是监管框架。德国能源署在其一项电网灵活性研究[19]中对此进行了详细分析。这项研究关注的是怎样通过几种应用情景的结合（实现多用途），使灵活性技术的使用得到优化。此处的优化不仅指商业价值优化，同时也意味着电网服务的优化。该研究从运营商的角度给出了三种应用情景：用户相关的应用情景、以市场为导向的应用情景和以网络服务为导向的应用情景。

该研究选取了六个案例：探讨监管框架优化对提高运营商经济效益的贡献程度，以及对电网运营优化的帮助作用。这些具有示范性意义的案例和其体现的多用途特点，结合监管优化，向电厂运营商和电网运营商展示通过哪些方式提高其商业价值：

- 案例1：低压电网中的电动出行领域产消者主要利用电动汽车通勤。在多用途案例中，车用电池储能还用于电力现货市场交易，以平衡电力供需，为电网提供服务。
- 案例2：低压电网中产消者相互连接成智能社区，合作利用社区储能设施（电池），尽可能减少外部购电。在多用途模式下，储能设施还用于电力现货市场交易，以平衡电力供需，为和电网提供服务。
- 案例3：低压电网中的渐进式自我优化系统，由光伏系统和热泵组成，通过电池储能尽可能减少外部电力输入。在多用途模式下，储能设施还可参与电力现货市场交易，以平衡电力供需，保证电网中电力供应不中断。
- 案例4：高压电网市场当中的系统运营商利用电热制热系统，销售热力和燃料（部门耦合概念）。在多用途模式下，电热转换站还参与电力现货市场交易，平衡电力供需，为电网提供服务。
- 案例5：中压电网中的配电网运营商建设并利用储能设施，减少电网扩容需求。在多用途模式下，储能设施还用于电力现货市场交易，以平衡电力供需，为电网提供服务。
- 案例6：中压电网中的系统运营商在光伏电站现场运营储能设施，提供平衡电力。在多用途模式下，储能设施还用于电力现货市场交易，服务电网。

图18a-d：显示多用途储能益处的（六个案例中的）四个案例间平均价差的发展

资料来源：[19]



储能系统法规的最新完善消除了非歧视性市场参与方面存在的障碍。法规调整后，储能设备与其他发电机组具有相同地位，因此，当他们使用电网电力时无需支付电网使用费。此外，还应进一步修改法规，以允许电网运营商使用储能设施，优化电网运营并降低电网扩容成本。

法律和法规要求的调整可以使灵活性从经济性角度得到优化利用。当前，关于灵活性使用的监管框架非常复杂多样[20]。相关规定不完全统一，且分散于诸多现有法律法规当中，例如，《德国能源经济法》、《可再生能源法》、《热电联产法案》以及《电网费用条例》。

一方面，显然当前的监管框架没有提供适当的激励措施和机会，让灵活的电网用户使用电网时既满足需求又与电网兼容。另一方面，电网运营商缺乏足够精确的手段来激发或使用灵活性。

因此，必须进一步完善电网收费制度，以激励电力灵活运用，为电网服务。电网收费的主要任务是在电网用户之间分摊网络费用，做到既公平，又考虑到每个

用户的贡献。当前，电网成本当中的刚性价格部分并未考虑电网现状（白天的阻塞问题）以及与电网相关的灵活性使用。调整电网收费并在电网收费系统中引入动态变化元素（费用随时间变化/随负荷变化）有助于提升灵活性，从而优化电网现状。应该建立一个灵活性产品市场。电网运营商提供的灵活性产品和由此所获得的经济回报可以鼓励电厂运营商利用其灵活性，优化电网运行。由此，电厂运营商就可以增加电网购电和或向电网馈电，这和他们仅仅根据市场行情做出的决定可能不同。进一步开发电网收费系统可以消除不必要的管控效果，从而可以鼓励电力的灵活应用。税收、费用分摊和征收抑制灵活性使用，并阻碍如电转热等技术的商业化利用。所谓的政府指导价（SIP）通常按每千瓦时收取，而且不是动态变化的，即其中不包含任何随时间或负荷变化的价格要素。因此，调整税费分摊体系，使其具有可用性，为激励与电网相关的多种用途提供了进一步的起点。总体而言，通过如结合政府指导价，降低税费复杂度是可取的。这有助于改善各种政府指导价带来的累积效应这一复杂问题，同时，也有助于政策制定者衡量能源政策调控效果是否符合预期。



## 6 德国的储电规范

储能系统的价格仍然高于其他电力灵活性方案。因此，降低成本是提高储能系统经济效益的最重要前提。除了研发之外，标准化对于达成这一目的也非常重要。标准化为批量生产创造了先决条件，并有助于加快技术知识和创新成果的传播。因此，标准化是大幅降低成本的关键。

除经济效益外，安全性在电池等储能系统中也发挥着重要作用。在这方面，标准化可以为提高产品安全性做出重要贡献。在国际上，标准化有助于避免技术性贸易壁垒，从而降低市场准入门槛。这有助于德国公司进入世界市场，并帮助他们获得竞争优势。例如，2019年，大型储能系统的消防安全问题给韩国大型电池市场造成了冲击。

在储能系统的各个细分领域当中，已经有大量规范存在。2016年3月15日至16日，负责德国所有标准化事务的德国标准化研究所、德国标准协会（DIN）和德国电气电子和信息技术协会（VDE）联合成立的德国DIN和VDE电气，电子和信息技术委员会（DKE）、德国工程师协会（VDI）以及德国燃气和水协会（DVGW）的代表一起提出了《德国储能标准化路线图》[21]。《路线图》

是由上述几家机构以及行业专家和科学家合作制定，并确定了以下五个技术领域的相关规范和标准：

- 电化学储能设备（例如电池）
- 化学储能（例如，电转气）
- 机械储能
- 储热
- 电储能设备

《标准化路线图》旨在确定需要进一步发展且具有战略意义的领域。因此，《标准化路线图》是储能领域未来的工作计划。这是帮助德国在欧洲确立自身地位的重要前提。该路线图可为规则制定者评估未来项目提供指南，也可供能源行业和公共部门使用，促进储能技术的进一步发展。在相关专家和公众的参与下，《标准化路线图》正在不断发展。

此处简要概述与本报告最相关的五个技术领域中所面临的主要问题。

### 标准化—电化学储能系统

不同标准按以下原则划分

- 应用情景：电动出行、固定式家用储能系统
- 电池类型：充电式和非充电式
- 原材料：如铅或锂

当前的规范和标准涉及以下应用领域：术语、评估、计划/尺寸/设计、安装/执行、投产、验收/运营、维护、

系统/电网连接、安全性要求、拆卸/处置、排放/环境方面、新项目。未规范领域：产品规范、许可。

由于铅电池在汽车行业的使用已久，铅电池规范已经很多，而鉴于要考虑消防安全等更多方面，锂离子电池相关规范仍在完善中。

## 标准化—化学储能系统

化学储能系统的相关应用基于沼气、电转X（气体、液体、化学品等）。当前的规范和标准涉及以下应用领域：术语、评估、许可、计划/制造/建造/测试/投产/验收/运营/维护/修理、产品规范、系统/电网连接、安全性要求、排放/环境方面、检查、退役/拆卸/处置。

标准和规范的制定考虑了不同气体（例如沼气、天然气、氢气）的供应链。这些气体以及相应的基础设施所使用的标准和规范大多是针对每个气体量身定制的。标准化领域正在完善的重要方面包括：安全性、运输基础设施及组成部分、氢能环境影响。

## 标准化—机械储能系统

机械储能系统的相关应用包括抽水储能、压缩空气储能等。

当前的规范和标准涉及以下应用领域：术语、计划/尺寸/设计、安装/执行、调试、验收/运营、维护、产品规范、电网连接、安全性要求、许可证、拆卸/处置、

排放/环境方面、新项目。规范未涉及的领域：评估。

目前没有关于抽水蓄能设施拆除和处置的技术法规。抽水储能电站的所用材料缺少标准化要求，无法确保此类储能电站的使用寿命。目前无针对压缩空气储能的规范或标准。





# 7 从中国的电力市场框架和政策背景看德国电力储能

(电力规划设计总院 程晨璐 王雅婷)

持续推动储能产业发展，有助于中国构建“清洁低碳、安全高效”的现代能源体系、加快实现绿色能源转型。纵观中国储能行业，除抽水蓄能发展历史较长、技术较为成熟外，电化学储能等新型电储能产业经过初期研发示范阶段，初步具备了规模化商业化应用的基础；但是，其发展应用路径还缺乏战略顶层设计，规模布局缺乏统筹科学规划，商业模式、市场机制、政策体系和产业服务体系尚不完善。考虑新型电储能行业仍处于发展初期，囿于成本、市场机制等多方面因素，短时间内尚不具备在各领域、各地区全面铺开、大规模应用的条件，但在一些需求突出、实施条件较好的地区，可因地制宜，结合新能源消纳、电力供应保障等实际情况，开展示范建设工作，推动新型电储能在电力系统源、网、荷各侧共同发力，探索创新开发模式、商业模式、运行模式，及时形成可复制可推广的经验。

借鉴国际储能行业发展有益经验，并结合我国储能产业发展实际，提出以下政策和机制相关建议：

**加强国家规划对于储能行业发展的科学引领作用。**当前，除抽水蓄能外，新型电储能发展尚未纳入国家规划体系，行业发展缺乏顶层设计指导。应积极探索推动将储能纳入国家“十四五”相关规划和能源领域中长期发展战略的可能性，明确储能行业发展目标、重点任务及实施路径，科学指导储能产业健康有序发展。

**发挥标准体系建设对储能行业发展的规范带动作用。**在全面、系统梳理储能行业标准化工作的基础上，统筹研究，做好储能标准体系建设的顶层设计，特别是针对当前存在主要问题，强化薄弱环节，加快从规划、设计、验收、运维、调度五个维度推动储能技术标准体系建设，有效指导当前储能项目建设运行工作，同时注重提高标准化工作的科学性、系统性和效率，充分发挥标准化工作对于储能行业健康发展的保障促进作用。重点针对新型电储能存在的安全风险，加快建立健全储能设施的安全监测评估的标准体系，通过设备试验、定时检测、在线监测等手段强化储能项目建设运行的全过程安全监测评估，有效排查控制储能设备在生产、运输、建设、运维等各个环节的安全风险水平，切实降低储能电站发生危险或安全事故的可能性。

**以市场化手段引导储能实现多重经济收益。**Hornsedale 储能电站等一系列国际案例表明，确保新型电储能参与各类市场、提供多种服务并实现多重市场收益的叠加，是提升新型电储能项目经济效益的关键。随着我国电力体制改革持续深化、电力市场建设加快推进，宜超前谋划、统筹推进各类电力市场建设。一是在保障电力系统安全与市场平稳有效运行的前提下，推动各类市场尽早向储能开放市场准入，在市场开放顺序方面，建议近期鼓励储能参与辅助服务市场，中远期将储能纳入电力现货市场，同时探索建立容量补偿机制或容量市场，有利于储能获取稳定收益。二是统筹协调、促进不同市场间的联通和市场规则机制间的衔接，避免出现交割环节资源调用冲突等情况。推动新型电储能基于自身特点、系统需求变化和市场价格波动，在不同市场间自主决策、自由转换、自行交易，实现经济收益最大化。

**加快建立电力现货市场以提升储能电量时空价值。**储能的价值主要体现在部分时段提供稀缺性的电力电量资源。由于可再生能源的间歇性、随机性和波动性，导致稀缺性出现时段是不规律的，现有的固定时段峰谷电价等机制不能充分发挥储能的价值。需要加快建立健全电力现货市场并形成分时、分位置的价格信号，引导储能改进生产运行策略、优化资源时空配置，通过销售稀缺性、高价值的电能资源实现经济收益提升，充分体现储能对于扩大可再生能源消纳、促进可再生能源发展的效益。

**健全完善储能参与电力辅助服务市场机制。**建立完善的电力现货市场前，应鼓励新型电储能积极参与辅助服务市场获得经济补偿。推动各地辅助服务市场赋予储能市场主体资格，促进储能参与辅助服务市场并提供调频、备用等各类服务，鼓励新型电储能优先调用；同时，建立“按效果付费”的补偿机制，纳入响应速度、调节精度等质量因素，合理确定储能参与辅助服务补偿价格水平、科学反映储能作为优质灵活调节资源的真实价值。

# 8 图录

图1: 2020年7月德国的电力生产和消费结构 (单位: 吉瓦)	10
图2: 1990年到2019年德国可再生能源占比 (%)	11
图3: 灵活性方案的调度类型和典型运行时间	13
图4: 储电技术的特征描述	15
图5: 储电的典型应用领域	16
图6: 截至2050年的四小时锂离子电池成本预测	16
图7: 各区域 (上图) 和每个国家 (下图) 的兆瓦级储电项目, 截至2019年2月 (单位: 兆瓦)	17
图8: 按国家/地区划分的2013-2019年度储能部署 (不含抽水蓄能) (上图), 电表后端需求侧储能与电网级储能对比 (下图)	19
图9: 目前主要应用的储电系统/技术类型	20
图10: 储电系统/技术的当前主要应用情景*	21
图11: 欧盟: 按技术和国家划分的储能容量 (在运项目+规划项目)	22
图12: 欧盟按国家/地区划分的电化学储电容量 (上图: 在运; 下图: 计划)	23
图13: 欧盟: 表前和表后 (居民、商业和工业) 年度欧洲储能市场 (吉瓦时)	24
图14: 德国的电网级电池和家用电池: 快速发展的市场	25
图15: 在德国配备大型电池储能设施进行调频的项目	30
图16: 2018年至2020年德国提供一次备用的季度容量价格	31
图X1: 电网级电池系统提供1兆瓦一次备用的成本与收益	32
图17: 2019年德国不同用户的电价构成	33
图X2: 德国每日现货市场价格每小时最低和最高价格之间平均价差的发展	34
图X3: 在电力现货市场上出售容量1兆瓦/1兆瓦时储能的成本和收益	35
图18a-d: 显示多用途储能益处的 (六个案例中的) 四个案例间平均价差的发展	37

# 9 表录

---

表1：15个储能系统应用案例概览	7
表2：灵活性方案概览（技术灵活性“有利因素”）	12
表3：灵活性支持手段概览（非技术灵活性“有利因素”）	13
表4：15个储能系统应用案例概览	26
表5：入选储能技术的详细特征和应用案例	27
表6：通过电网级电池系统提供1兆瓦一次备用的成本和收益	32
表7：2021年家用光伏和电池系统的价格和其他技术参数预期	33
表8：拥有电动汽车的居民用户的电费	34
表X1：在电力现货市场上出售容量1兆瓦/1兆瓦时储能的成本和收益	35

# 10 参考资料

- [1] University of Oxford (2020): Current direction for renewable energy in China. The Oxford Institute for Energy Studies / GIZ, June 2020 (p.3) <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2020/06/Current-direction-for-renewable-energy-in-China.pdf>
- [2] NEA (2020): Photovoltaic Power Grid Operation Status 2019 & Wind Power Grid Operation Status 2019, National Energy Administration NEA, 28 February 2020, [http://www.nea.gov.cn/2020-02/28/c\\_138827910.htm](http://www.nea.gov.cn/2020-02/28/c_138827910.htm)
- [3] Papaefthymiou, G., Grave, K., Dragoon, K. (2014): Flexibility options in electricity systems. Ecofys, Report. <https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2014/06/Ecofys.pdf> (Download 31 July 2020).
- [4] Agorameter. Power generation and consumption. [https://www.agora-energiewende.de/en/service/recent-electricity-data/chart/power\\_generation/30.06.2020/31.07.2020/](https://www.agora-energiewende.de/en/service/recent-electricity-data/chart/power_generation/30.06.2020/31.07.2020/) (Download 31 July 2020).
- [5] UBA (2020): Renewable Energies in Figures. Umweltbundesamt UBA, 28 March 2020. <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/renewable-energies/renewable-energies-in-figures> (Download 31 July 2020).
- [6] atainsights/CleanHorizon (2019): Energy Storage Status Overview + Survey 2019. <https://atainsights.com/wp-content/uploads/2019/08/Energy-Storage-Status-Update-Plus-Survey-2019.pdf> (Download 31 July 2020).
- [7] DOE/EPRI (2013): Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA. Sandia Report SAND2013-5131, July 2013. file:///C:/Users/ei/AppData/Local/Temp/SAND2013-5131.pdf (Download 31 July 2020).
- [8] IRENA (2017): Electricity Storage and Renewables - Costs and Markets to 2030. International Renewable Energy Agency IRENA, October 2017
- [9] US DOE (2020): DOE Global Energy Storage Database. United States Department of Energy. Office of Electricity & Energy Reliability [Online]. Available at <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database-home/> (Download 31 July 2020).
- [10] WEC (2019): Energy Storage Monitor ESM. World Energy Council WEC, November 2019. [https://www.worldenergy.org/assets/downloads/ESM\\_Final\\_Report\\_05-Nov-2019.pdf](https://www.worldenergy.org/assets/downloads/ESM_Final_Report_05-Nov-2019.pdf) (Download 31 July 2020).
- [11] IEA (2020): Tracking Report Energy Storage. International Energy Agency IEA, June 2020. <https://www.iea.org/reports/energy-storage> (Download 31 July 2020).
- [12] NREL (2019): Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage. National Renewable Energy Laboratory NREL, June 2019. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73222.pdf> (Download 31 July 2020).
- [13] European Commission (2020): Study on energy storage – Contribution to the security of the electricity supply in Europe. Report by Artelys/Trinomics/Enerdata. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020, and Database of the European energy storage technologies and facilities <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a6eba083-932e-11ea-aac4-01aa75ed71a1/language-en> and <https://data.europa.eu/euodp/data/dataset/database-of-the-european-energy-storage-technologies-and-facilities> (Download 31 July 2020).
- [14] EMMES (2020): European Market Monitor on Energy Storage (EMMES). 4th edition. DELTA-EE and European Association for Storage of Energy EASE, 23 March 2020. <https://www.delta-ee.com/emmes> and <https://www.energy-storage.news/news/energy-storage-in-europe-big-things-expected-despited-2019-slowdown> (Download 31 July 2020).
- [15] Households replacing power stations in Germany - sonnen is putting the largest virtual battery of its kind into operation creating the power grid of the future. <https://sonnengroup.com/households-replacing-power-stations-germany-sonnen-putting-largest-virtual-battery-its-kind/> (Download 31 July 2020).
- [16] Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung. [regelleistung.net](http://regelleistung.net)
- [17] Bundesnetzagentur (Federal Network Agency) BNetzA.
- [18] energie-experten (2020): Electricity storage subsidies: loans and grants 2020/ 2021 at a glance (Stromspeicher-Förderung: Kredite und Zuschüsse 2020/ 2021 im Überblick). <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/stromspeicher/foerderung.html> (Download 31 July 2020).
- [19] dena (2017): Optimierter Einsatz von Speichern für Netz- und Marktanwendungen in der Stromversorgung. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Editor), March 2017 <https://www.dena.de/en/topics-projects/projects/energy-systems/grid-flex-study/>
- [20] Payment Obligations for State Induced and Regulated Price Components <http://strompreisbestandteile.de/>

- [21] DIN/DKE/DVGW/VDI (2016): Deutsche Normungsroadmap Energiespeicher Version 1. DIN e. V., DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V.. (editors), Februar 2016 <https://www.din.de/resource/blob/117984/2d5a13f0649b2e807f5dba34f6ea1bd7/normungsroadmap-energiespeicher-data.pdf> (Download 31 July 2020).
- [22] Oeko-Institut (2018): Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparen. Freiburg 21 March 2018 <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/PV-Batteriespeicher-Endbericht.pdf> (Download 31 July 2020) sowie Stromspar-Speicherrechner (calculation tool for the economics of storage home systems) <https://www.ecotopten.de/strom/tipps-fuer-solar-batteriespeicher> (Download 31 July 2020)

# 附件： 德国储能系统的15个案例

技术	大型电池
 <p>案例 1 博登肖姆 储能</p>	
<p>说明</p>	<p>位于德国博登肖姆的项目旨在阐明一个问题，即由100%可再生能源供电的公共供电网络是否可以作为孤网运行并保持频率稳定。这将成为一个自发自用大型供电网的核心。</p> <p>在博登肖姆，电力几乎完全来自可再生能源：一座沼气电厂、八座热电联产电厂和260座光伏电站。支撑这个供电网络的储能系统包含48000块电池，最大输出功率为10兆瓦，容量为15兆瓦时，储电量可供4000户家庭使用两小时。</p>
<p>应用案例/服务（分类，图5）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 辅助服务：调频调峰、电压支撑、黑启动</li> <li>离网 - 微网：系统稳定服务、微网：促进波动性可再生能源比例提高</li> </ul>
<p>落地时间</p>	<p>2019年5月投运</p>
<p>投资和收益</p>	<p>投资1000万欧元（其中170万欧元来自石勒苏益格-荷尔斯泰因州），年营业额100万欧元，年净收益20万欧元</p>
<p>项目参与方</p>	<p>运营商：VBB（博登肖姆市政公用事业公司）</p>
<p>挑战、解决方案和成功经验</p>	<p>为了能在100%使用可再生能源的情况下保证稳定和实现供电自给自足，建设了具有孤网供电能力的20千伏的供电网络，并且伴随部门耦合和光纤入户。此外，客户能源需求与分布式发电机供电可以通过这些网络实现平衡。建设生物质电厂的同时，建造了一个新的电池快速储能设施，并为网络服务提供帮助。</p>
<p>更多信息</p>	<p><a href="https://www.vb-bordesholm.de/batteriespeicher.html">https://www.vb-bordesholm.de/batteriespeicher.html</a></p>

技术 大型电池



案例 2

亚尔德伦德  
电池储能



<p>说明</p>	<p>为了通过一次控制电力减少石勒苏益格-荷尔斯泰因州的弃风，亚尔德伦德市（德国）建设了48兆瓦/50兆瓦时电池储能系统，包含约1万块锂离子电池组，是“欧洲最大的电池”，足以满足5300户家庭日用电量。</p>
<p>应用案例/服务（分类，图5）</p>	<p>大容量能源服务-电能时移（套利）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 客户能源管理服务 - 零售电能时移</li> </ul>
<p>落地时间</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2018年5月投运</li> <li>• 建设时间八个月</li> </ul>
<p>投资和收益</p>	<p>投资：3000万欧元。收入来自平衡市场</p>
<p>项目参与方</p>	<p>Eneco公司和三菱公司</p>
<p>挑战、解决方案和成功经验</p>	<p>电池中存储的电力可在德国一次备用控制市场每周一次的拍卖中出售给电网运营商，电网运营商随后将其用于提供平衡电力，接下来这些电池将会取代长期以来负责提供平衡电力的常规化石燃料电厂。电池也作为当地风电的缓冲，防止在发电高峰时段出现过载，避免弃风。与当地消防部门特制了安全条例以防范火灾。</p>
<p>更多信息</p>	<p><a href="https://www.euwid-energie.de/48-mw-batteriespeicher-geht-in-jardelund-in-betrieb/">https://www.euwid-energie.de/48-mw-batteriespeicher-geht-in-jardelund-in-betrieb/</a>  <a href="https://www.energy-storage.news/news/50mwh-battery-completed-in-germany-claims-europes-largest-crown">https://www.energy-storage.news/news/50mwh-battery-completed-in-germany-claims-europes-largest-crown</a></p>

## 技术

## 大型电池



## 案例 3

什未林电池  
园区



## 说明

为将该地区过剩风能储存起来，德国什未林在本地建设了5兆瓦/5兆瓦时电池园区，包括由Yunicos公司和三星提供的25600块锰酸锂电池。2016年末，德国清洁能源与天然气公司（WEMAG）决定扩大该电池园区。产出从5兆瓦增加到10兆瓦，容量从5兆瓦时增加到15兆瓦时；另外增加了1254个电池组（27588块电池）。

应用案例/服务（分类，图5）

- 辅助服务：调频调峰、黑启动
- 客户能源管理服务-零售电能时移

落地时间

- 2014年9月投运
- 2016年扩容

投资和收益

- 投资1000万欧元（2014—2016年）
- 由联邦政府出资 - 研发与示范、私募股权/第三方股权

项目参与方

开发者/运营商：Yunicos公司，WEMAGAG（德国清洁能源和天然气公司）

挑战、解决方案和成功经验


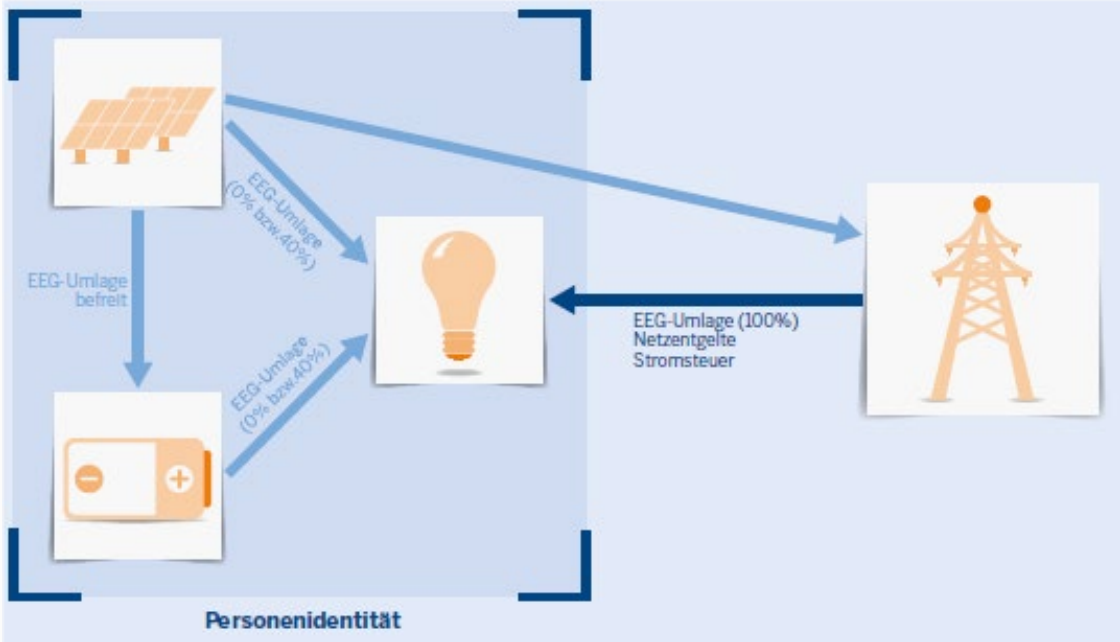
电池园区通过在一次调频市场中竞争盈利。此外，Yunicos公司正在升级电池系统功能，以使其能够实现黑启动、全孤岛模式以及使可再生能源参与电网恢复。


更多信息


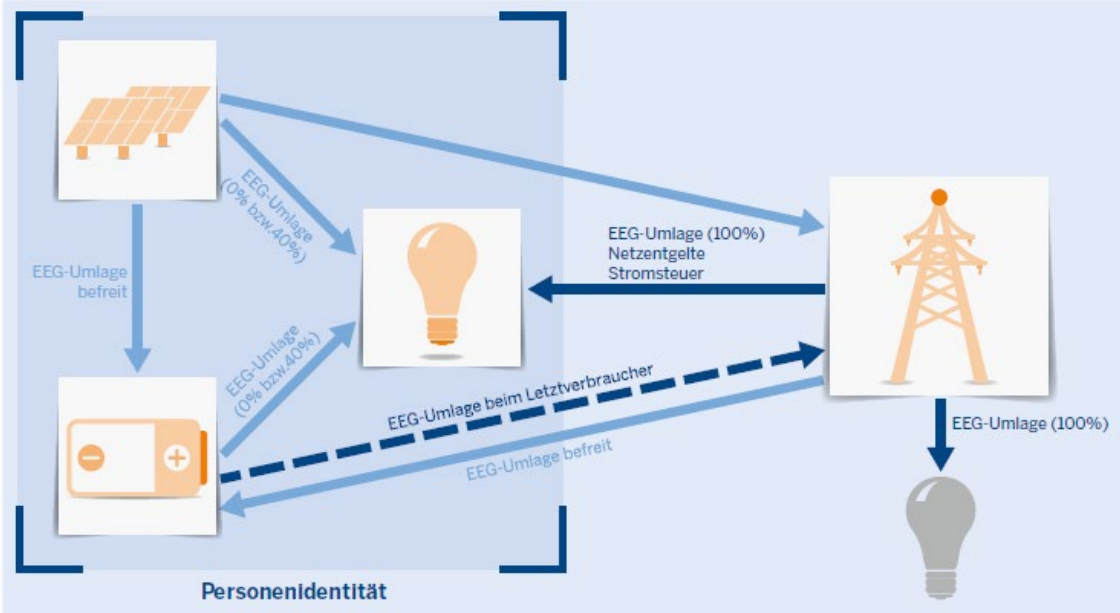
<https://energystorage.org/project-profile/making-batteries-a-business-schwerin-battery-park/>  
[https://uberserver.de/yunicos/wp-content/uploads/2016/07/Yunicos\\_Reference\\_Project\\_Schwerin.pdf](https://uberserver.de/yunicos/wp-content/uploads/2016/07/Yunicos_Reference_Project_Schwerin.pdf)



技术	大型电池
<div data-bbox="156 454 272 562" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="161 595 261 633">案例 4</p> <p data-bbox="129 658 292 725">霍恩斯代尔（澳大利亚）</p> <p data-bbox="181 752 240 786">储电</p>	<div data-bbox="327 376 1453 1023" data-label="Image"> </div>
<p data-bbox="181 1160 240 1193">说明</p>	<p data-bbox="327 1104 1453 1249">为了使系统稳定并降低峰值负荷带来的成本，采用特斯拉提供的电池作为备用电源。霍恩斯代尔电力储备系统位于澳大利亚，是“世界上最大的锂离子电池”。2019年11月，Neoen公司确认将该设施的容量增加50兆瓦/64.5兆瓦时，总计达到185兆瓦时。新增容量于2020年3月23日安装完成。</p>
<p data-bbox="129 1294 292 1395">应用案例/服务（分类，图5）</p>	<ul data-bbox="327 1310 858 1379" style="list-style-type: none"> <li>• 辅助服务：调频调峰、电压支撑、黑启动</li> <li>• 客户能源管理服务-需量收费管理</li> </ul>
<p data-bbox="156 1447 264 1480">落地时间</p>	<ul data-bbox="327 1431 767 1500" style="list-style-type: none"> <li>• 2017年12月1日投运</li> <li>• 新增容量2020年3月23日安装完成</li> </ul>
<p data-bbox="142 1606 279 1639">投资和收益</p>	<ul data-bbox="327 1536 1461 1709" style="list-style-type: none"> <li>• 建造费用：约9600万澳元</li> <li>• 澳大利亚清洁能源协会与Neoen公司、澳大利亚可再生能源署以及南澳大利亚政府合作，承诺为扩容项目提供5000万美元的项目融资</li> <li>• 储能业务的收入从2019年第一季度的420万欧元增长到2020年第一季度的2160万欧元（3620万澳元）</li> </ul>
<p data-bbox="142 1744 279 1778">项目参与方</p>	<p data-bbox="327 1744 635 1778">业主和运营商：Neoen公司</p>
<p data-bbox="129 1865 292 1933">挑战、解决方案和成功经验</p>	<ul data-bbox="327 1812 1453 1989" style="list-style-type: none"> <li>• 根据合同，该设施可向政府提供70兆瓦、持续时间10分钟（11.7兆瓦时）的电力服务，以确保电网稳定（电网服务），并防止风力突然下降或出现其他电网问题时，启动其他发电机时切负荷造成的停电。这项服务使澳大利亚能源市场运营商支付的网络服务成本降低了90%</li> <li>• Neoen公司将30兆瓦、持续3个小时（90兆瓦时）用于负荷管理，以便在低价时储电，在需求高时售电</li> </ul>
<p data-bbox="156 2056 264 2089">更多信息</p>	<p data-bbox="327 2022 1461 2078"> <a href="https://www.pv-magazine.com/2018/12/05/south-australias-tesla-big-battery-saves-40-million-in-grid-stabilization-costs/">https://www.pv-magazine.com/2018/12/05/south-australias-tesla-big-battery-saves-40-million-in-grid-stabilization-costs/</a> </p> <p data-bbox="327 2096 1409 2130"> <a href="https://ieefa.org/big-battery-in-australia-proves-profitable-as-neoen-recovers-capital-costs-in-just-two-years/">https://ieefa.org/big-battery-in-australia-proves-profitable-as-neoen-recovers-capital-costs-in-just-two-years/</a> </p>

技术	小型/分布式电池
 <p><b>案例 5</b></p> <p>优化光伏+家用储能系统的 自发自用（非耦合）</p>	
说明	<p>为了优化能源自发自用并最大限度降低附加费、电网费及电力税，我们采用非耦合式（非并网）家用储能系统，以便最大限度地促进能源的自发自用。系统中的电力直接由小型光伏电站（峰值功率小于10千瓦，这是因自发自用而少收可再生能源附加费的条件）提供或来自电池储能系统。</p>
应用案例/服务（分类，图5）	离网-太阳能家用系统
建设时间	安装时间：一个月到数月不等
投资和收益	每千瓦时约641欧元（详见4.3和[22]）
项目参与方	个人业主、个体工业公司或服务公司
挑战、解决方案和成功经验	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 自发自用的电力直接来自即时发电或储能系统存储的电力→由于自发自用，而减免可再生能源附加费</li> <li>• 不使用公共电网→没有电网费</li> <li>• 即时自发自用，无需小型分布式电站供电，无电力税</li> <li>• 如果自发自用超过10千瓦/10000千瓦时的限值，可再生能源附加费将减少40%（但不完全免收），未配备储能系统的直接自发自用也采用这一优惠比例。仅对最终消费的电量收费，以避免使用自己存储的电力造成的双重收费</li> </ul>
更多信息	<a href="https://www.bves.de/wp-content/uploads/2017/02/EA-paper-9.pdf">https://www.bves.de/wp-content/uploads/2017/02/EA-paper-9.pdf</a>

技术	小型/分布式电池
<div data-bbox="156 454 272 595">  <p>案例 6</p> </div> <p data-bbox="129 618 293 797">与电网连接（捆绑）以优化光伏及家用储能系统的自发自用</p>	<div data-bbox="327 376 1453 922"> </div>
<p>说明</p>	<p>为了优化自发自用，家用储能系统可以与电网连接，形成捆绑，以套餐方式付费。小型分布式储能系统相互连接，组成虚拟电厂（VPP）或参与能源市场的调峰调频。</p>
<p>应用案例/服务（分类，图 5）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 客户能源管理服务-增加太阳能光伏发电的自发自用</li> <li>• 离网-太阳能家用系统，微网：促进波动性可再生能源的比例的提高</li> </ul>
<p>建设时间</p>	<p>安装时间：一个月到数月不等</p>
<p>投资和收益</p>	<p>每千瓦时约641欧元（详见4.3和[22]）</p>
<p>项目参与方</p>	<p>个人业主、个体工业公司或服务公司</p>
<p>挑战、解决方案和成功经验</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 分布式储能系统运营商通常提供一定量的免费电力，改善自发自用或统一电费并定期支付套餐费</li> <li>• 优惠政策的吸引力因情况而异</li> <li>• 因为采用套餐付费方式，用户无需直接支付电网费或附加费。可能收取的附加费，特别是从电网充电或向电网放电的附加费，都已包含在套餐费用当中</li> </ul>
<p>更多信息</p>	<p><a href="https://www.bves.de/wp-content/uploads/2017/02/EA-paper-9.pdf">https://www.bves.de/wp-content/uploads/2017/02/EA-paper-9.pdf</a></p>

技术	小型/分布式电池
 <p><b>案例 7</b></p> <p>与电网连接（个人）以优化光伏及家用储能系统的自发自用</p>	
说明	<p>为了优化自发自用，以个人身份将家用储能系统与电网连接，以便按照自己的需求储电和向电网放电。小型分布式储能系统已连接到电网，并且从电网充电通常按照常规购电方式进行。送入电网的光伏储电在之后按照光伏直接发电处理。</p>
应用案例/服务（分类，图 5）	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 客户能源管理服务-扩大太阳能光伏发电自发自用</li> <li>• 离网-太阳能家用系统</li> </ul>
建设时间	安装时间不超过一个月
投资和收益	每千瓦时约641欧元（详见4.3和[22]）
项目参与方	个人业主、个体工业公司或服务公司
挑战、解决方案和成功经验	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 此模式的可再生能源附加费减免政策也包含在当前的《可再生能源法》-&gt;补偿规定（§ 61EEG）一节当中，每年每安装1千瓦的储能可申请最高500千瓦时的附加费减免</li> <li>• 不直接参与电力市场，也不参与系统服务市场</li> <li>• 目前未观察到经济上的优势</li> </ul>
更多信息	<a href="https://www.bves.de/wp-content/uploads/2017/02/EA-paper-9.pdf">https://www.bves.de/wp-content/uploads/2017/02/EA-paper-9.pdf</a>

技术	小型/分布式电池
<div data-bbox="156 454 272 562" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="161 589 261 624">案例 8</p> <p data-bbox="129 651 293 792">STRATO数据中心，配备电池管理系统的无间断供电</p>	<div data-bbox="328 376 1455 1043" data-label="Image"> </div>
<p data-bbox="181 1160 240 1189">说明</p>	<p data-bbox="328 1122 1442 1227">德国STRATO是第二大互联网存储服务和网络应用程序供应商，安装了20个AEGPS提供的不间断电源（UPS）系统，并配备综合电池管理系统，以确保即使在停电期间也能保持数据中心的电源稳定不受干扰</p>
<p data-bbox="129 1308 293 1413">应用案例/服务（分类，图5）</p>	<p data-bbox="328 1346 692 1375">客户能源管理服务-电源可靠性</p>
<p data-bbox="156 1480 266 1509">落地时间</p>	<p data-bbox="328 1480 464 1509">2007年投运</p>
<p data-bbox="145 1592 277 1621">投资和收益</p>	<p data-bbox="328 1592 437 1621">暂无信息</p>
<p data-bbox="145 1688 277 1718">项目参与方</p>	<p data-bbox="328 1688 703 1718">业主和运营商：STRATO数据中心</p>
<p data-bbox="129 1785 293 1852">挑战、解决方案和成功经验</p>	<ul data-bbox="328 1785 1262 1852" style="list-style-type: none"> <li>• 安装的4.33不间断电源系统（20*220千伏安）使用缓冲电池，效率高达94%</li> <li>• 数据中心配有柴油发电机整合系统，整个系统可以支持数据中心运行四周</li> </ul>
<p data-bbox="156 1946 266 1975">更多信息</p>	<p data-bbox="328 1951 1016 1980"><a href="https://www.aegps.com/de/technologie/referenzen/strato-2007-001/">https://www.aegps.com/de/technologie/referenzen/strato-2007-001/</a></p>

## 技术

## 小型/分布式电池



## 案例 9

卡尔腾基伦

利用电池储能  
降低峰值负荷

## 说明

Jungheinrich公司是一家内部物流公司，是欧洲最现代化的仓库之一的运营商。其设施能耗约为3吉瓦时/年，年峰值负荷为500千瓦。由于本地将工业卡车换成了铲车，峰值负荷提高到了1400千瓦。为了降低大幅增加的能源成本和电网费，该公司采用了电池储能解决方案，该储能系统的容量240千瓦（4个60千瓦的逆变器）/264千瓦时（八个33千瓦时的电池组）。峰值负荷因此减少了240千瓦。通过人工智能负荷曲线监控系统，电池储能单元可提前侦测峰值负荷，并提供所需的额外电力。

应用案例/服务  
(分类, 图  
5)

客户能源管理服务-需量电费管理

落地时间

2018年6月投运

投资和收益

每年最高节省电网费21600欧元（假设电网收费为90欧元/千瓦，峰值负荷减少240千瓦）

项目参与方

业主：Jungheinrich公司

挑战、解决方案  
和成功经验

- 该设施占地面积22000平方米，存储了配件超过10万个，并且每天要向世界各地运送超过1.5万个配件，于是年耗电量达到3吉瓦，年峰值负荷为500千瓦。更换铲车后，峰值负荷增加到1400千瓦->因峰值负荷增加导致高能耗成本和电网费
- 由瑞典电力公司Vattenfall提供的电池储能方案和安装服务：在中压变压器附近的低压分线箱旁边安装了储能系统：240千瓦（4个60千瓦的逆变器）/264千瓦时（八个33千瓦时的电池组）
- 通过综合负荷监控控制，电池可提前达到峰值并提供所需电量->负荷峰值降低了240千瓦，每年最多可节省21600欧元的电网费

更多信息

[https://assets.vattenfall.de/binaries/content/assets/commercial-web/geschafstkunden/downloads/batteriepartnerschaft/case\\_study\\_jungheinrich\\_fh\\_v04\\_fh.pdf](https://assets.vattenfall.de/binaries/content/assets/commercial-web/geschafstkunden/downloads/batteriepartnerschaft/case_study_jungheinrich_fh_v04_fh.pdf)

技术	抽水蓄能
<div data-bbox="156 454 272 560" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="151 611 279 768"> <b>案例 10</b>                      葛底斯塞尔                      抽水蓄能                 </p>	<div data-bbox="320 369 1449 1037" data-label="Image"> </div>
<p data-bbox="183 1234 239 1265">说明</p>	<p data-bbox="327 1093 1455 1198">                     葛底斯塞尔抽水蓄项目位于图林根高原的西部，施瓦尔察河（德国）上游。该项目平衡波动的可再生能源，确保电网稳定性，是德国最大的抽水蓄能电站，也是欧洲最大规模的抽水蓄能电站，设备容量为1060兆瓦电力，水头302米。                 </p> <p data-bbox="327 1227 1455 1406">                     过去，葛底斯塞尔抽水蓄项目被用于套利交易，提高常规电厂灵活性（低价抽水/高价放水）。此外，该项目还用于最大程度地降低（常规）电厂的运营成本（优化投资组合）。由于当前电价低，加上对光伏发电日间峰值设置上限（过去曾达到过很高的价格），该项目售电是在平衡电力市场上完成的。除了市场交易产品外，该项目还提供其他系统服务，例如无功发电、电压调节，瞬时备用和短路功率。由于功率变化速度高，抽水蓄能也适用于再调度服务。                 </p>
<p data-bbox="135 1444 295 1547">应用案例/服务（分类，图5）</p>	<p data-bbox="327 1480 893 1512">大容量能源服务 - 电能时移（套利）、供电能力</p>
<p data-bbox="156 1581 274 1612">落地时间</p>	<p data-bbox="327 1581 470 1612">2004年投运</p>
<p data-bbox="143 1668 287 1700">投资和收益</p>	<p data-bbox="327 1668 1093 1700">总投资成本约6.23亿欧元（每千瓦600欧元）。投资回收期&gt;40年。</p>
<p data-bbox="143 1758 279 1789">项目参与方</p>	<p data-bbox="327 1758 933 1789">Vattenfall公司（瑞典政府所有的瑞典市政服务商）</p>
<p data-bbox="130 1861 292 1933">挑战、解决方案和成功经验</p>	<p data-bbox="327 1843 1444 1951">                     蓄水池可容纳约1300万立方米的工作水，使涡轮机可满负荷运行约9个小时。电厂从休眠状态到满功率运行（1060兆瓦），大约需要100秒。可以快速投入运行，使其成为能源革命的重要一环，因为它可以应对可再生能源并网带来的剧烈波动。抽水蓄能电站可确保电网稳定。                 </p>
<p data-bbox="156 2027 263 2058">更多信息</p>	<p data-bbox="327 2009 813 2040"> <a href="https://powerplants.vattenfall.com/de/goldisthal">https://powerplants.vattenfall.com/de/goldisthal</a> </p> <p data-bbox="327 2058 1292 2089"> <a href="http://www.daub-ita.de/en/tunnel-projects/deutschland/goldisthal-pump-storage-power-station/">http://www.daub-ita.de/en/tunnel-projects/deutschland/goldisthal-pump-storage-power-station/</a> </p>

## 技术

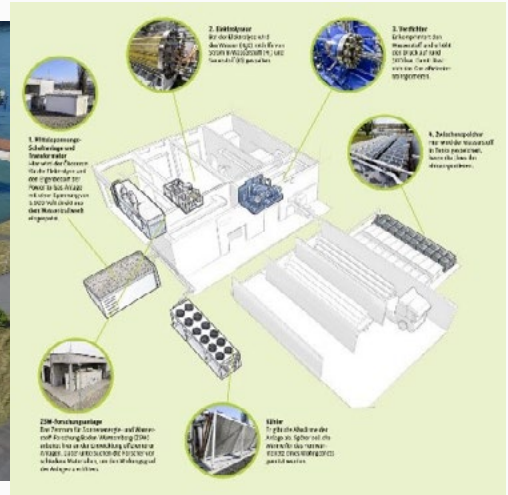
## 电转X和电动出行



## 案例 11

维伦

水电制氢



## 说明

利用维伦水电站（德国南部）的绿色电力经电解槽生产高质量氢气，这一想法的初衷是，通过高可用性水力发电增加系统满负荷时长并通过电制氢实现部门耦合，降低绿氢生产成本。电解槽的设备容量是1兆瓦，每天产生的氢气高达500千克（约为1000辆燃料电池汽车的每日平均能耗）。

## 应用案例/服务（分类，图5）

大容量能源服务 - 电能时移（套利）

（通过增加高可用性水力的系统满负荷时长，降低绿氢生产成本，并通过电制氢实现部门耦合）

## 落地时间

电制氢自2019年12月投运

## 投资和收益

总投资600万欧元，其中170万欧元由巴登-符腾堡州政府资助

## 项目参与方

运营商：Energieversorger Energiedienst AG（一家在德国和瑞士开展业务的能源供应商）

## 挑战、解决方案和成功经验

- 自从开始运行电制氢到4月中旬，电制氢运行累计1850个运行小时
- 用电制取300帕压缩高纯度氢气的总系统效率目前为66%（参考气体热值）
- 由于水电站的可用性高，可保障较长的满负荷时长
- 因为不需要连接公共电网，无需支付网络费用和可再生能源附加费（《可再生能源法》规定的费用）
- 潜在的收入来源：储存在气罐中的氢气可供燃料电池车使用，电解槽和水电站产生的热量将（通过供热网）用于住宅区的供热
- 毗邻工厂，配备采用最新技术、经优化的300千瓦电解槽，经过巴登-符腾堡州太阳能与氢能研究中心（ZSW）测试，可提高工业级电制氢的运营效率

## 更多信息

<https://www.energiesdienst.de/produktion/wasserstoff/power-to-gas/>

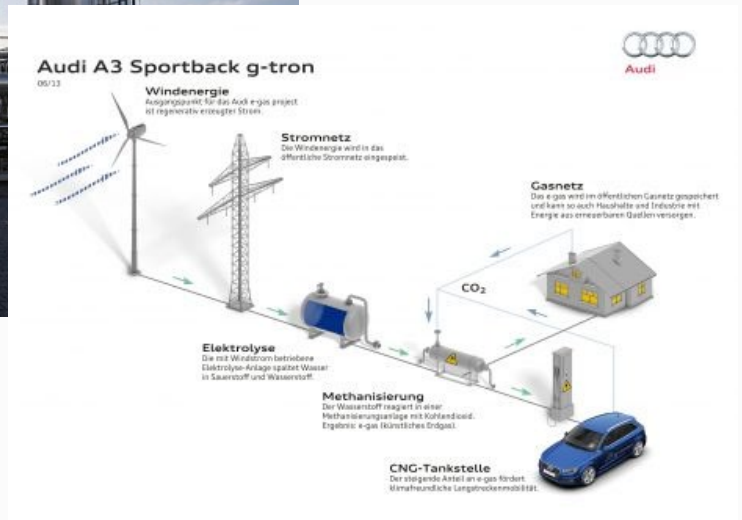


技术 电转X和电动出行



案例 12

奥迪E-Gas工厂（电制甲烷）



**说明** 奥迪E-gas工厂位于德国北部韦尔特，设在能源供应商EWE厂区。该工厂旨在通过电制甲烷存储过剩的电力，以实现电力部门和天然气部门之间的双向耦合。这是世界上利用二氧化碳和可再生能源发电（风能、太阳能和生物质能）生产合成天然气的第一座工业级电厂，装机容量为6.3兆瓦。生产的高质量合成气可以送入天然气管网。

**应用案例/服务（分类，图5）** 大容量能源服务 - 电能时移（套利）

**落地时间** 2013年6月投运

**投资和收益** 由奥迪公司100%出资

**项目参与方** 运营方：奥迪公司

- 挑战、解决方案和成功经验**
- 每小时制氢量高达1300立方米，满负荷运行4000小时，每年可生产约1000吨甲烷。产生的合成气可为1500辆奥迪天然气汽车供气，每辆可行驶15000公里。该生产过程每年消耗约2800吨二氧化碳
  - 在韦尔特，电能由EWE公司运营的热电联产电厂提供。自2013年以来，过剩的可再生能源可以作为合成气进行存储，并送入公共天然气管网，并在需要时用于发电，从而实现电力部门和天然气部门之间的耦合（双向供应）
  - 过剩的可再生能源首先通过电解槽转化为氢气。氢气将与EWE公司沼气站排放的（来自垃圾的）二氧化碳混合，并转化为合成气，可用于天然气汽车使用或存储在天然气管网中。电转气车间产生的热量可用于沼气站，从而进一步提高其效率

**更多信息** <https://www.audi-technology-portal.de/de/mobilitaet-der-zukunft/audi-future-lab-mobility/audi-future-energies/audi-e-gas>  
<https://www.energie-wasser-praxis.de/technik/artikel/mit-power-to-gas-klimafreundlich-auto-fahren/>

## 技术

## 压缩空气储能



## 案例 13

光伏和压缩空气储能自发自用原型系统



## 说明

GeorgTränkle作为压缩空气储能系统的专家，与其他三位专家一起开发了压缩空气储能和光伏系统，旨在优化系统的自发自用。第一台原型机于2014年开发，并于2019年在弗赖恩瑞德投运。系统的核心包括十二个液压气缸。该原型的充电容量为15千瓦，可以扩展到50千瓦以上。

应用案例/服务（分类，图5）

离网-太阳能家用系统

落地时间

从2019年1月投运

投资和收益

由GeorgTränkle自行融资

项目参与方

运营商和业主：GeorgTränkle

挑战、解决方案和成功经验

- 太阳能电站的过剩电力储存在压缩空气储能设施当中。需要时，压缩空气可以用于发电
- 两个压缩空气储气罐的容量分别为80升/300帕，储电容量为7.5千瓦时。通过增加压缩空气储气罐以及充电和放电单元，即可轻松实现扩展

更多信息

<https://www.photovoltaikeu/planung-wartung/alternative-speicher-die-technik-des-druckluftspeicher-unter-der-lupe>

技术	电动出行
<div data-bbox="153 405 268 510" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="150 533 271 575" data-label="Section-Header"> <h3>案例 14</h3> </div> <div data-bbox="138 595 282 705" data-label="Text"> <p>约翰·克鲁伊夫竞技场 (JCA)</p> </div> <div data-bbox="127 725 295 840" data-label="Text"> <p>电动汽车向电网送电+电池储能存储</p> </div>	<div data-bbox="327 344 1444 958" data-label="Image"> </div>
<p>说明</p>	<p>约翰·克鲁伊夫竞技场 (JCA) 是阿姆斯特丹的一个足球场，比赛期间对能源的需求很高。为了平衡波动的可再生能源并实现电力和交通之间的部门耦合，约翰·克鲁伊夫竞技场建设了第一座双向充电站。15个新的充电站搭配与原有的3兆瓦电池储能系统 (由148个NissanLeaf电池组成) 以及1兆瓦的屋顶光伏。</p>
<p>应用案例/服务 (分类, 图 5)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 大容量能源服务 - 电能时移 (套利)</li> <li>• 客户能源管理服务 - 需量收费管理, 增加太阳能光伏的发自自用</li> </ul>
<p>落地时间</p>	<p>自2019年12月投运</p>
<p>投资和收益</p>	<p>每个充电站约1500欧元</p>
<p>项目参与方</p>	<p>运营商: 约翰·克鲁伊夫竞技场 (JCA) 技术合作伙伴: MobilityHouse</p>
<p>挑战、解决方案和成功经验</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 通过创新充电方式和能源管理, MobilityHouse的软件控制不仅可以实现电动汽车的充电, 也可以依据电动汽车车主的意愿, 实现电动汽车向场馆送电或通过场馆向电网送电 (电动汽车向电网送电)</li> <li>• 将来, 近2000个停车位将配备这种智能双向充电基础设施。因此, 体育场可以充当能源枢纽, 电动汽车则作为中间储能载体, 消耗电网中过剩的可再生能源</li> </ul>
<p>更多信息</p>	<p><a href="https://www.mobilityhouse.com/de_de/magazin/pressemeldungen/the-mobility-house-amsterdam-arena-v2g-projekt.html/">https://www.mobilityhouse.com/de_de/magazin/pressemeldungen/the-mobility-house-amsterdam-arena-v2g-projekt.html/</a></p>

## 技术

## 电动出行



## 案例 15

芬兰

电动汽车向电网送电，公共双向电动汽车充电站



## 说明

为了将电动汽车纳入能源系统，实现电动汽车和汽车部门耦合，芬兰赫尔辛基正在建设一个公共双向电动汽车充电站。电动汽车向电网放电的充电点（10千万）弥补了现有太阳能电站和固定式储能设施的缺点，且电动汽车可作为储能设施，用于稳定电网。

应用案例/服务（分类，图5）

- 大容量能源服务 - 电能时移（套利）
- 客户能源管理服务 - 需量收费管理，增加太阳能光伏的发自自用

落地时间

项目于2017年启动

投资和收益

由欧盟“地平线2020”计划（Horizon2020）资助

项目参与方

Virta、Helen和日产共同合作

挑战、解决方案和成功经验

- 适合带有CHAdeMO插头的汽车，第一阶段供日产电动汽车使用
- 电动汽车向电网送电不会影响日产的八年电池保修。
- 电动汽车不是负担，而是弥补电网功能的不足。借助车网充电站，汽车电池可以用作能源系统的一部分
- 将来，电动汽车车主可以利用家中车辆的电池作为储能单元，还可以参与平衡电网，并从提供服务中获得经济收益。
- 芬兰的电动汽车使用正朝着完全一体化生态系统的方向发展，这是第一步。能源和汽车领域的不断融合带来了能源管理发展的无限可能。
- 电动汽车和间歇性可再生能源越来越普及，电动汽车车主参与平衡电网就显得至关重要。要保持发电和用电之间的平衡，就需要有一个管理系统，优化资源分配。

更多信息

<https://www.helen.fi/en/news/2017/first-two-way-charging-point-in-finland-to-be-installed-in-helsinki>



网站



微信

