



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

我国抽水蓄能开发情况及 储能支撑新型电力系统构建的认识与思考

刘永奇

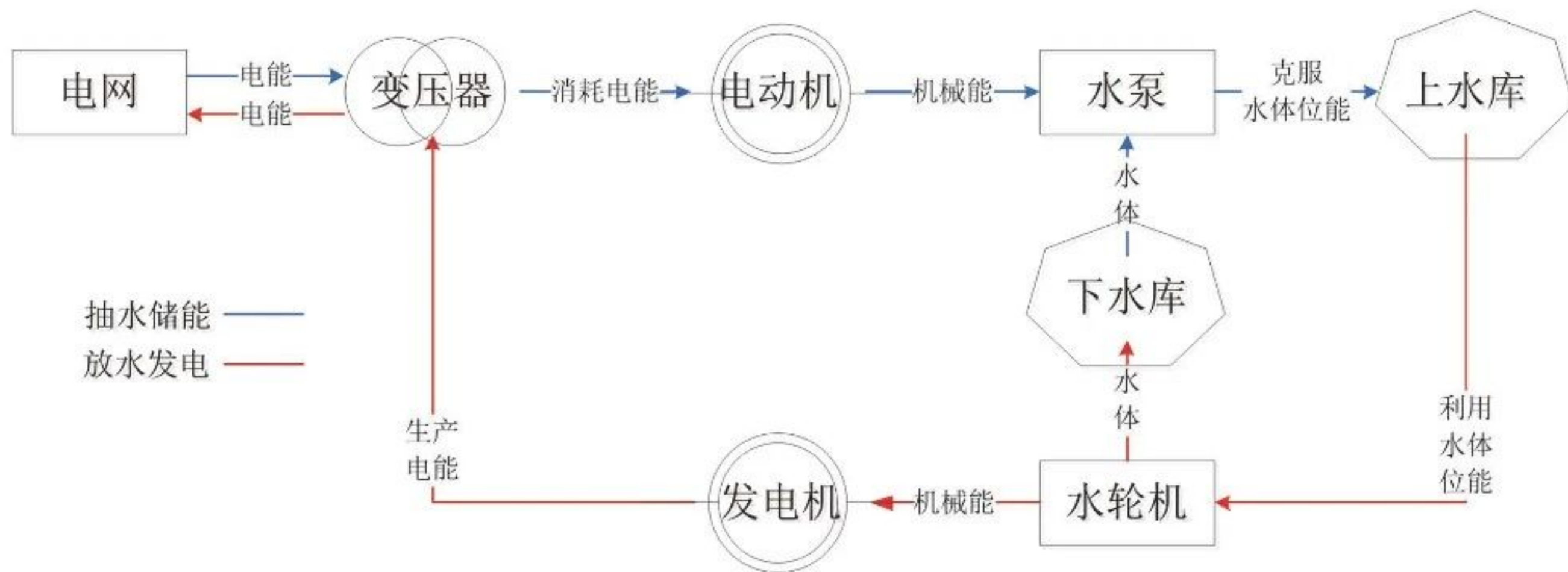
2023年5月

汇报内容



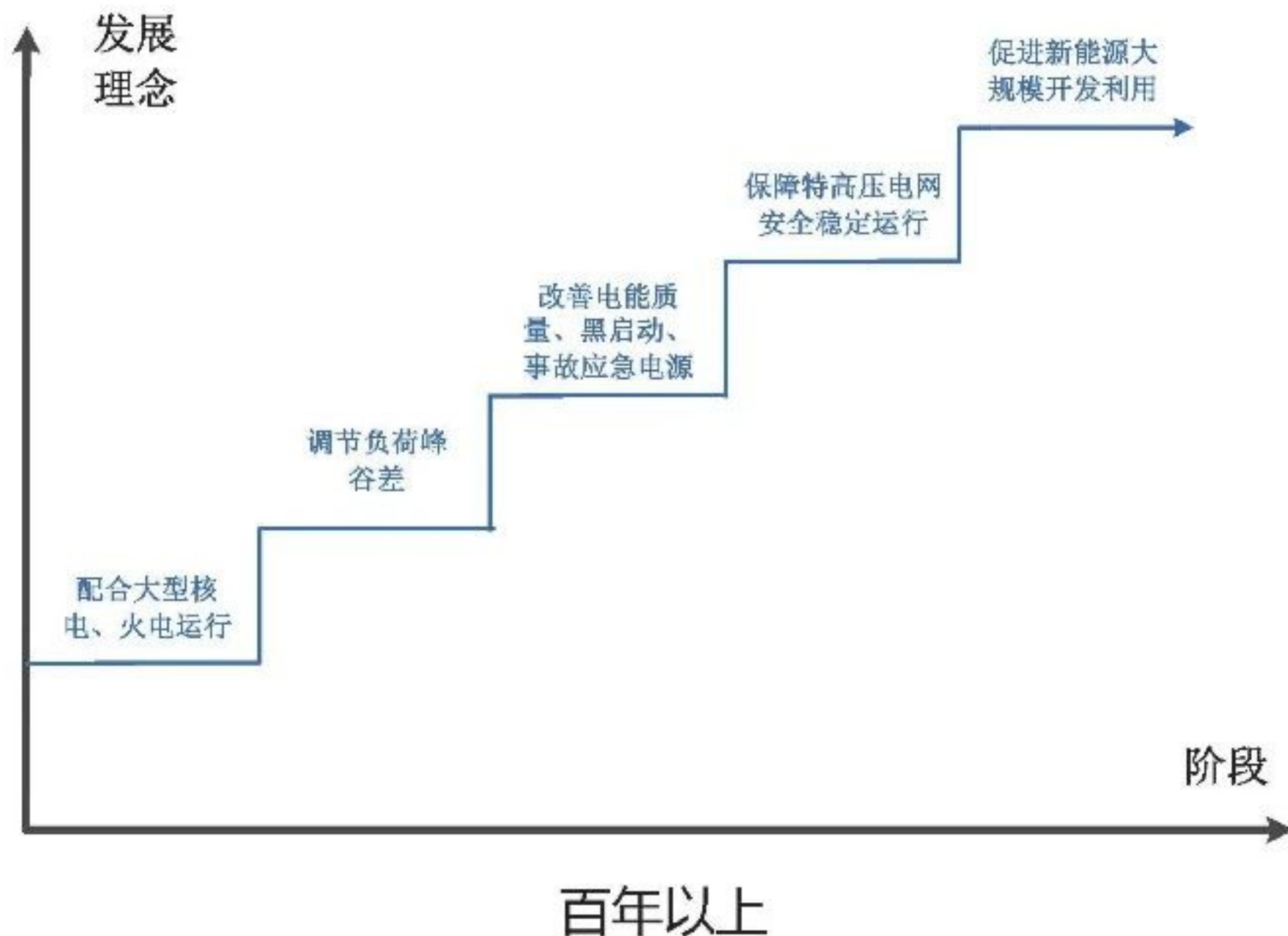
- 我国抽水蓄能开发情况
- 储能支撑新型电力系统构建的认识与思考

1.基本原理



2.功能演进

➤ 发展理念随着电力系统升级发展而迭代演化。



3.资源价值

- 低价值能源转换成高价值能源
- 优化系统能源资源的利用
- 产生比他消耗的能源多得多的经济价值



- 具有发电、储能、调相机等多种运行工况的同步机灵活调节电源
- 大规模存储能力

- 对地形、地质、水源等要求较高，优良站址有限，优质站址资源本身是稀缺资源

4.成套设备



水力机械

水泵水轮机
球阀
调速器
水力监视测量系统
自动化元件及常用仪表
技术供排水系统
压缩空气系统
油系统

电气一次

发电电动机
主变压器
发电机侧开关设备
封闭母线
静止变频装置
厂用设备及变压器

电气二次

计算机监控
机组状态在线监测系统
继电保护
励磁系统及其附属设备
直流系统
钥匙闭锁系统

金属结构

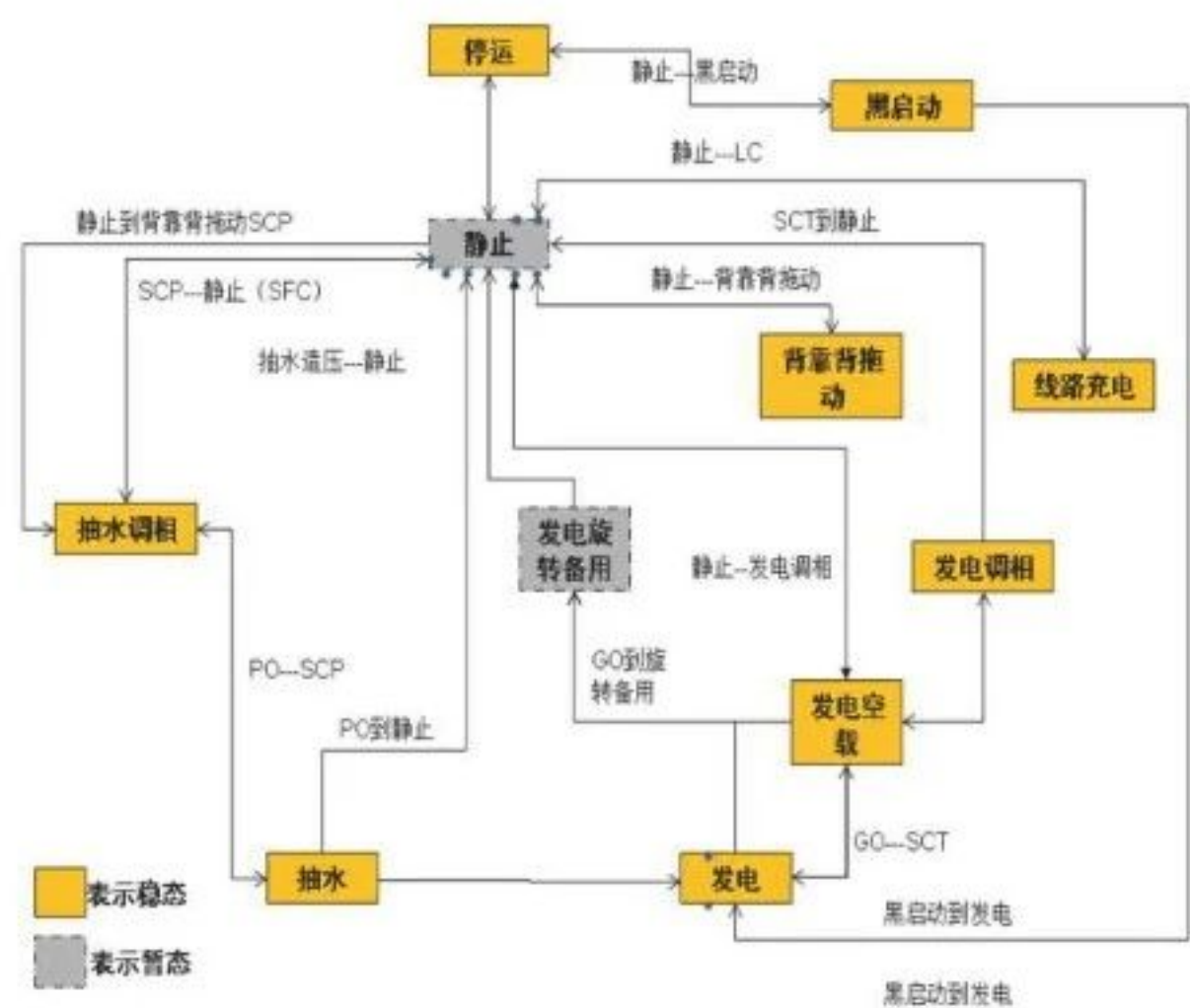
钢岔管
尾水闸门及其操作控制系统
上、下库闸门及其操作控制系统

4.成套设备

- 经过多年发展，国内在抽水蓄能工程勘察设计施工、成套设备设计制造及电站运行等方面均实现国产化，形成较为完备的产业体系。



5.技术特性



序号	单机工况转换	时间（秒）
1	静止→发电满载	190
	静止→发电空载	140
2	发电空载→发电满载	50
	发电空载→静止	330
3	发电满载→静止	380
	发电满载→发电空载	50
4	静止→满载抽水 (SFC)	400
	满载抽水→静止	350
5	满载抽水→满载发电（正常）	500
	满载抽水→满载发电（急转）	260

1. 开发条件

抽水蓄能电站 开发条件

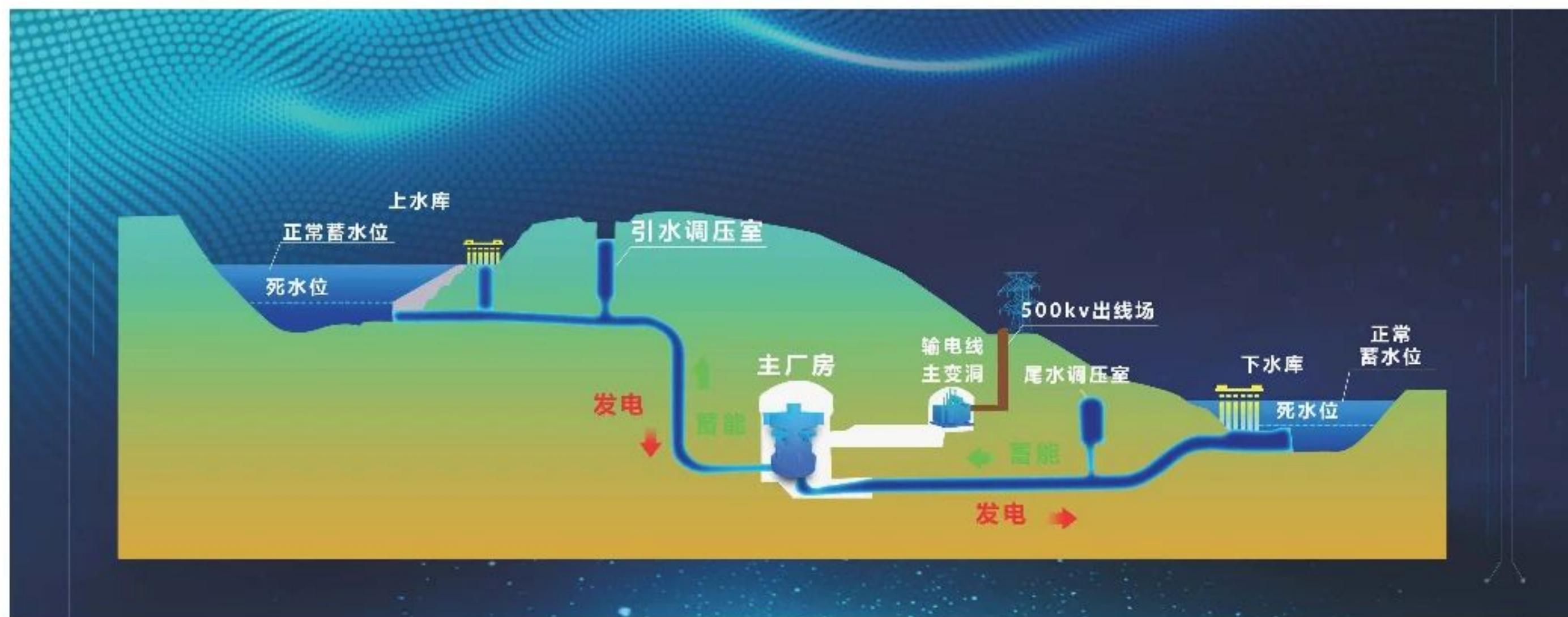
1. 系统需求	• 电源结构 • 电网结构 • 负荷结构
2. 经济特性	• 单位千瓦造价 • 系统经济优化
3. 地形条件	• 上下库成库条件 • 合理水头（一般在200-700米之间） • 合理距高比（一般在2-10之间为宜）
4. 地质条件	• 区域地质条件 • 上下库防渗条件，边坡稳定条件 • 输水隧洞及地下厂房的围岩岩性，断层分布
5. 水源条件	• 满足初期蓄水 • 补充运行期蒸发、渗漏等损失水量

(二) 抽水蓄能开发



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

1. 开发条件



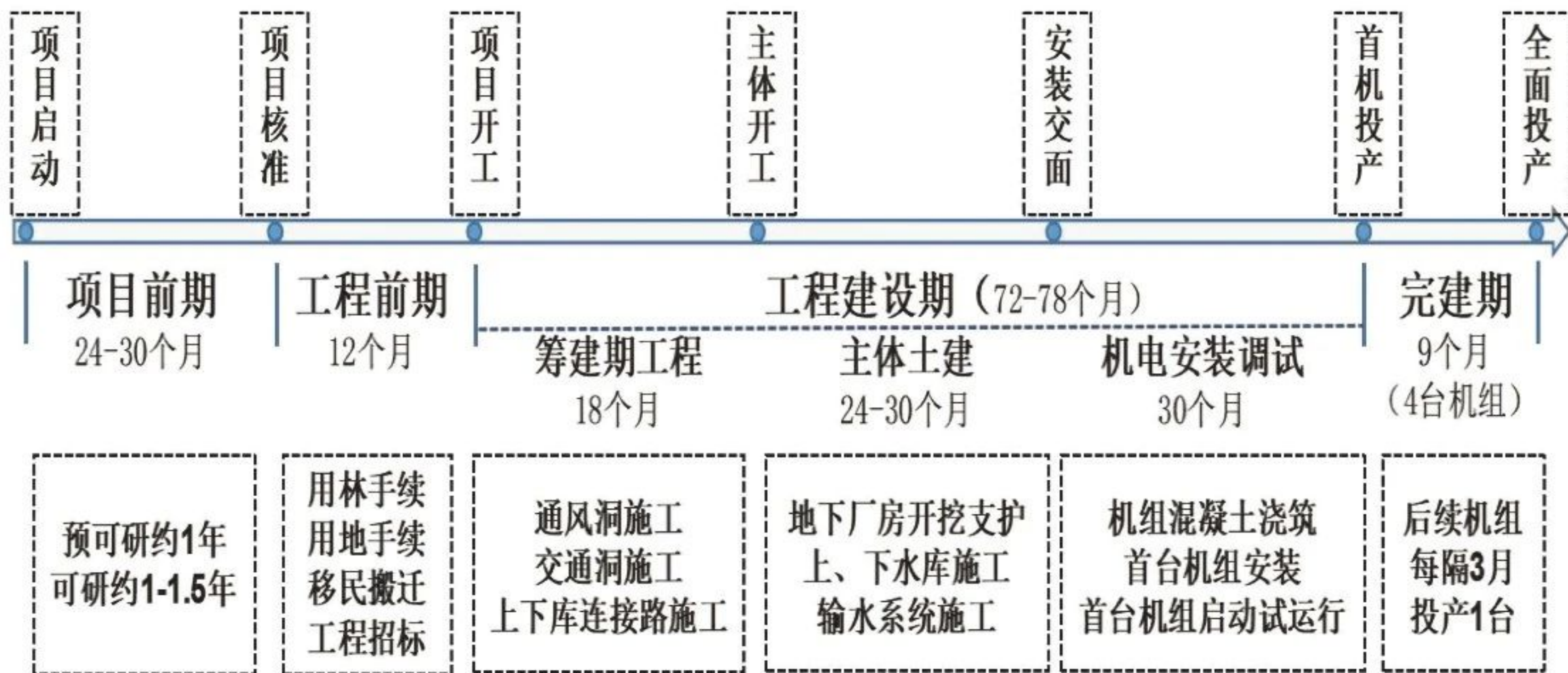
(二) 抽水蓄能开发



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

2.开发周期

➤ 总开发周期在9-10年。



(二) 抽水蓄能开发

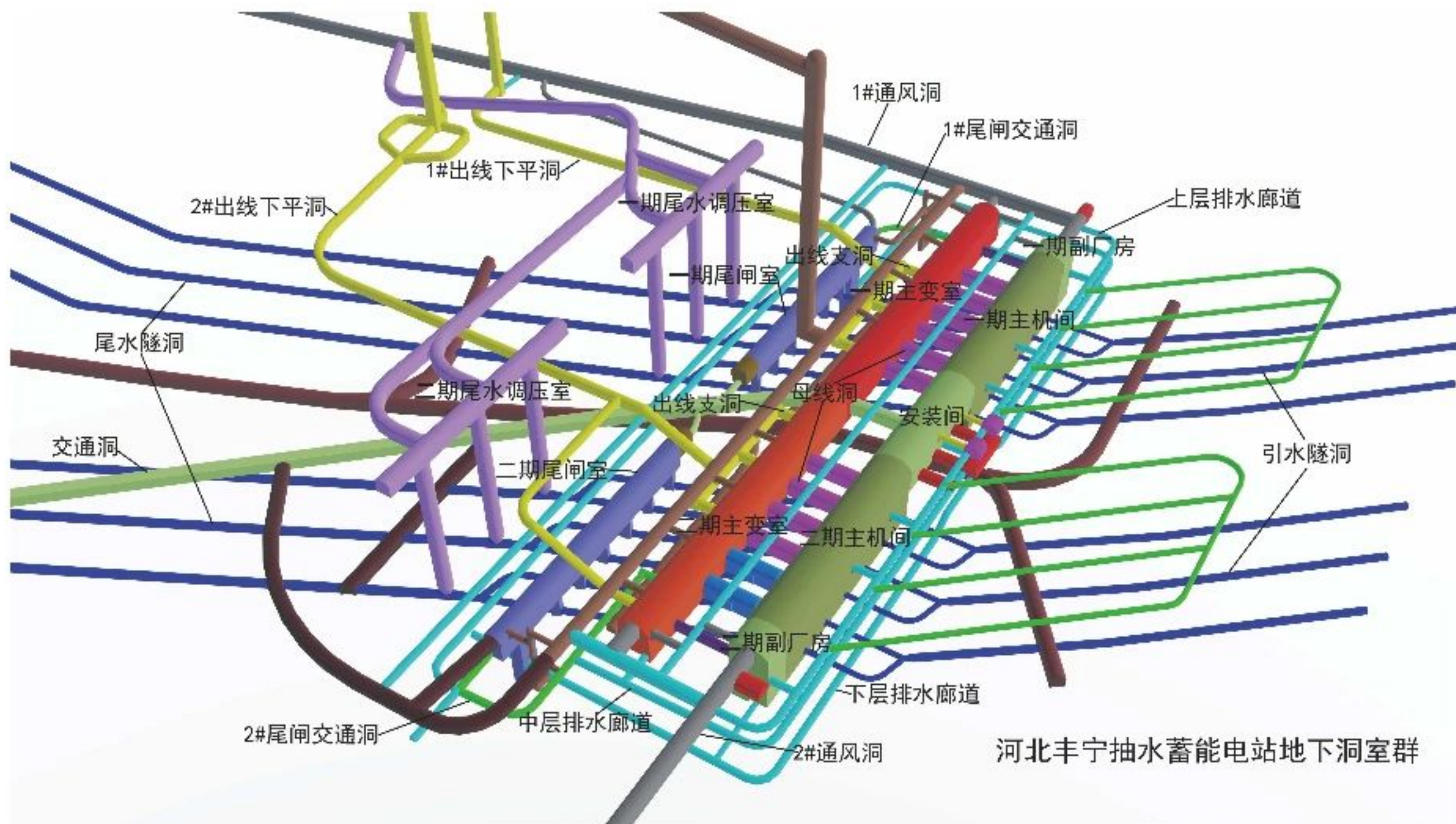


国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

3. 电站布置 (丰宁)



3. 电站布置 (丰宁)



(二) 抽水蓄能开发



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

4. 秉持七个开发原则&防止两个错误认识



把抽水蓄能纳入区域、省级电力发展规划的电力电量平衡分析

只要有落差就可以建设抽水蓄能

(三) 抽水蓄能发展情况



1. 规划情况

- 国家能源局《抽水蓄能中长期发展规划（2021-2035年）》。
- 重点实施项目库：4.21亿千瓦；储备项目库：3.05亿千瓦。
- 健全完善抽水蓄能发展政策体系，加快建设一批抽水蓄能项目。（2023年能源工作指导意见）



(三) 抽水蓄能发展情况



2. 电价政策

2021年《关于进一步完善抽水蓄能价格形成机制的意见》（发改价格〔2021〕633号）

明确了现阶段抽水蓄能继续坚持两部制电价，将容量电价纳入输配电价回收、电量电价引入竞争机制

2019年《输配电定价成本监审办法》修订稿

抽水蓄能电站相关成本费用不得计入输配电定价成本。

2016年《省级电网输配电价定价办法（试行）》

抽水蓄能电站资产不得纳入输配电价核定中可计提收益的固定资产范围。

发改价格〔2014〕1763号

放开抽水蓄能电站投资，单独核定电价。
电力市场形成前，抽水蓄能电站实行两部制电价。容量电费和抽发损耗纳入当地省级电网（或区域电网）运行费用统一核算，并作为销售电价调整因素统筹考虑。
鼓励采用招标、市场竞价等方式确定抽水蓄能电站业主、电量、容量电价、抽水电价和上网电价。

发改能源〔2004〕71号
发改价格〔2007〕1517号

发改能源〔2004〕71号后新建抽水蓄能电站，由电网企业全资建设，不再单独核定电价，运营费用纳入电网运行费用统一核定。
发改能源〔2004〕71号文件前审批但未定价的抽水蓄能电站，作为遗留问题由电网企业租赁经营，租赁费由电网企业消化50%，发电企业和用户各承担25%。

2004年之前

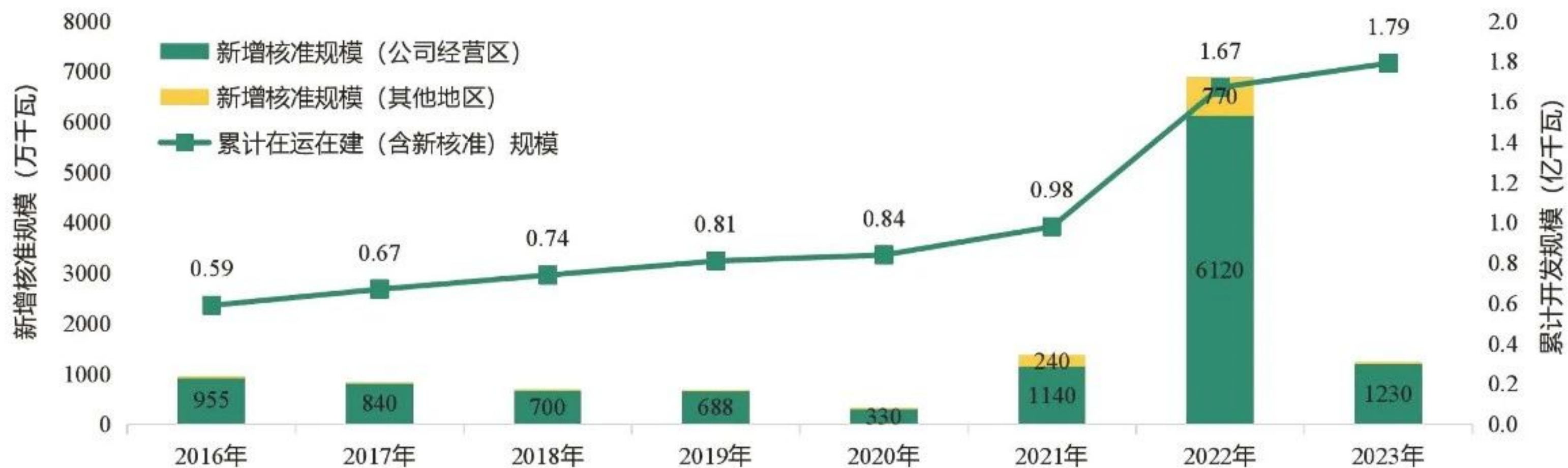
抽水蓄能电站投资主体多元，单独核定电价，作为独立电厂运营，运营费用通过上网和销售电价传导给用户。

(三) 抽水蓄能发展情况



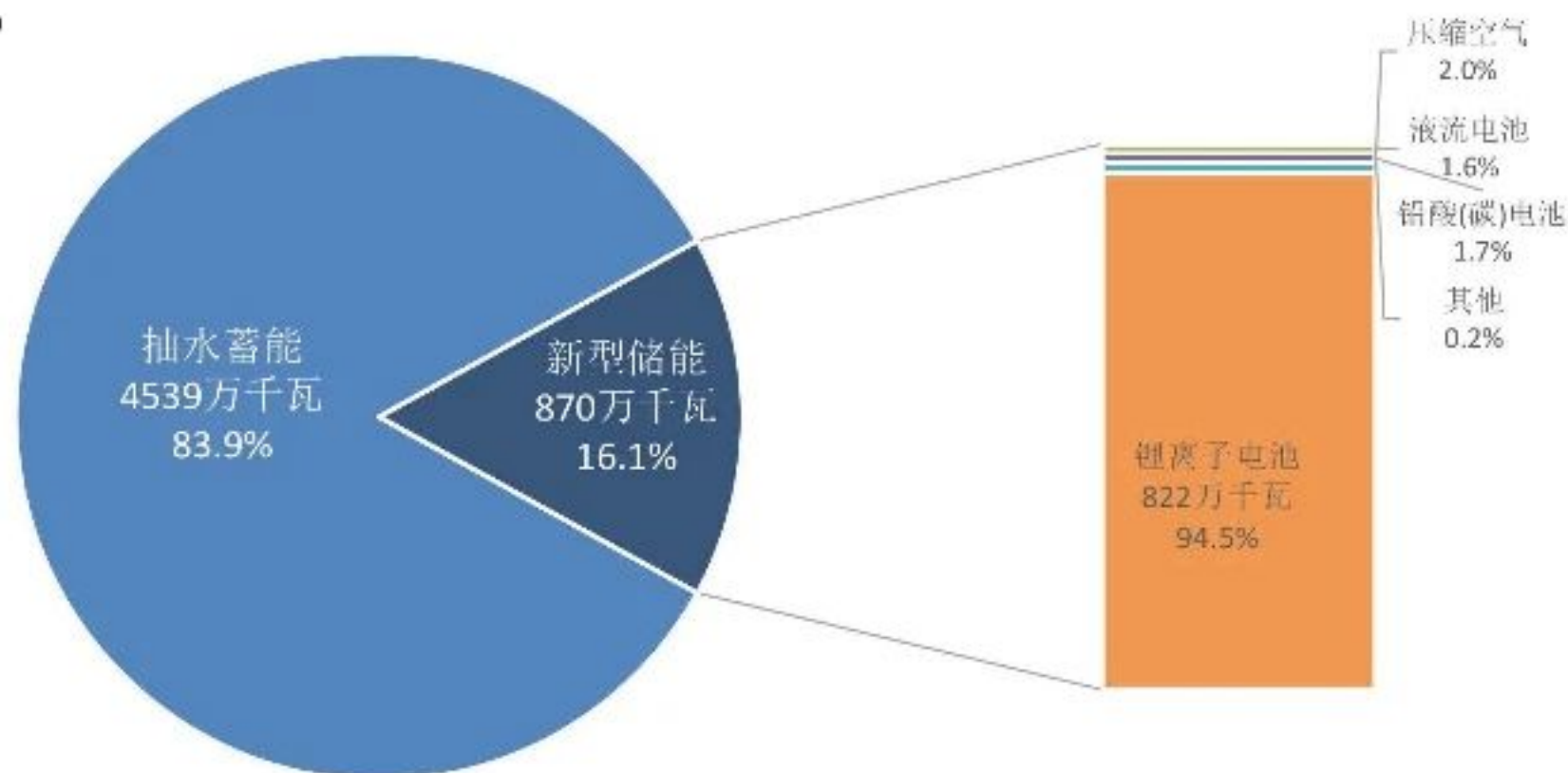
国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

3.发展规模



3.发展规模

- 截至2022年底，中国已投运储能总装机5409万千瓦。
- 抽水蓄能总装机4539万千瓦，占比最高，达83.9%。
- 新型储能总装机870万千瓦，继续保持高增长（同比110%）；新型储能中以锂电池为主，占比94.5%。



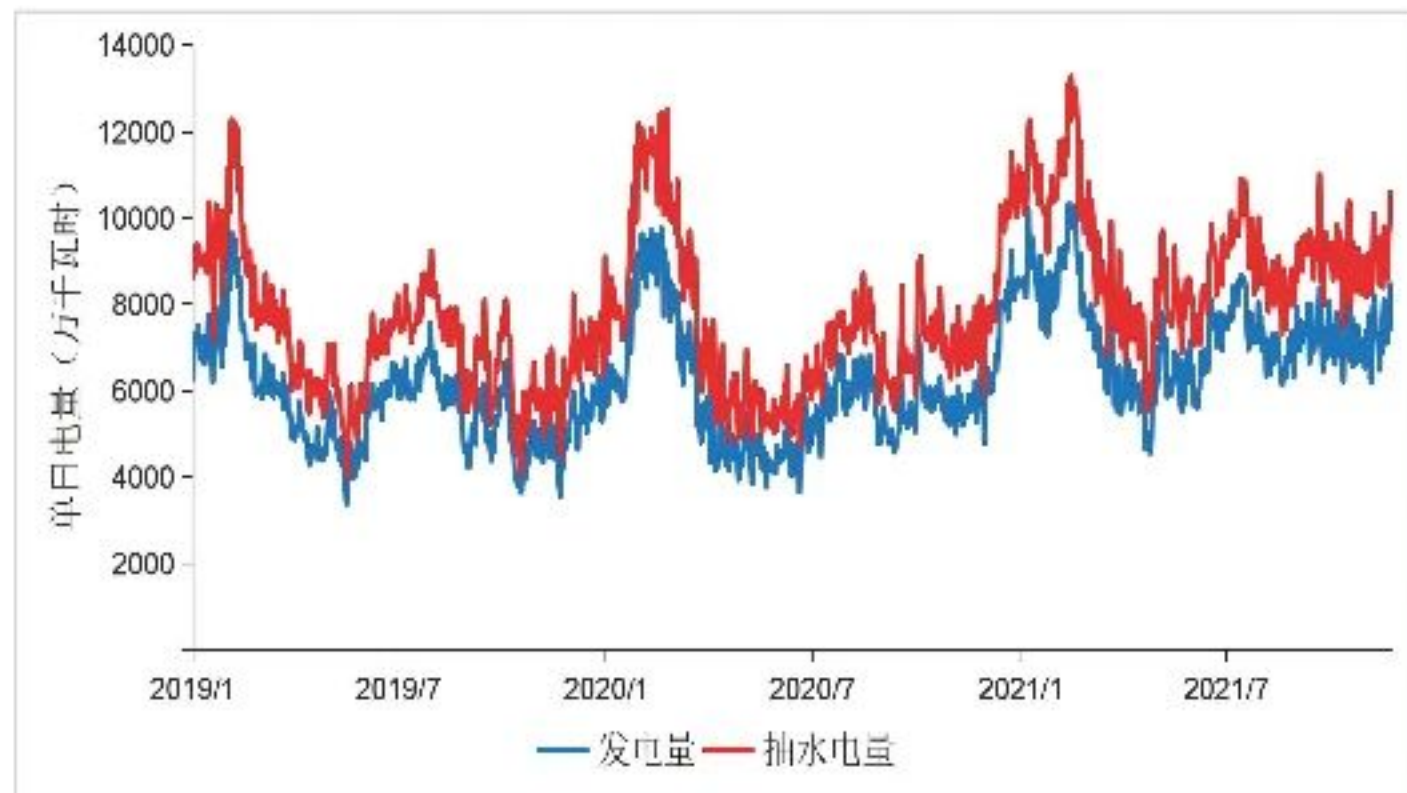
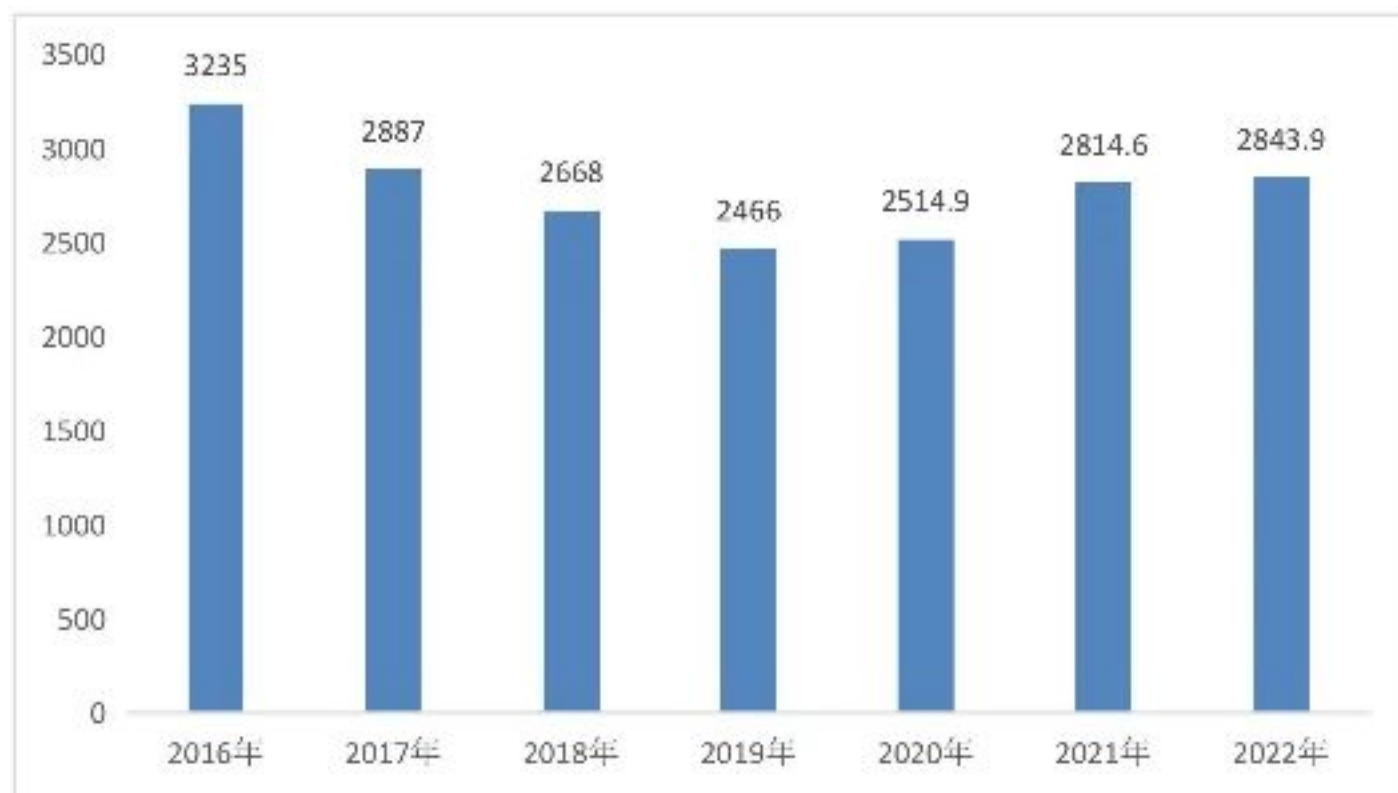
4.公司抽蓄发展情况

➤ 国网公司是抽水蓄能行业的主力军和排头兵，在运在建电站62座、7789万千瓦。

类别	数量 (个)	装机 (万千瓦)
在运电站	26	3016
在建电站	36	4773
核准待开工项目	6	940
合计	68	8729

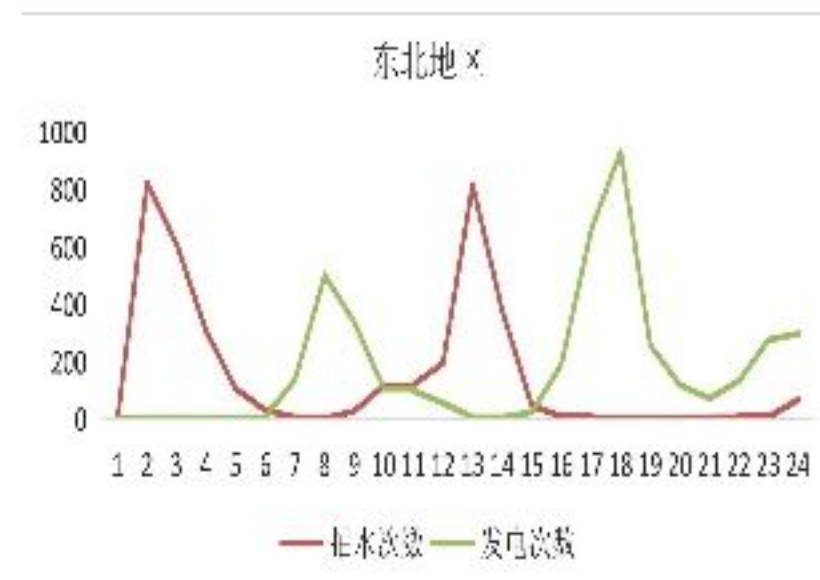
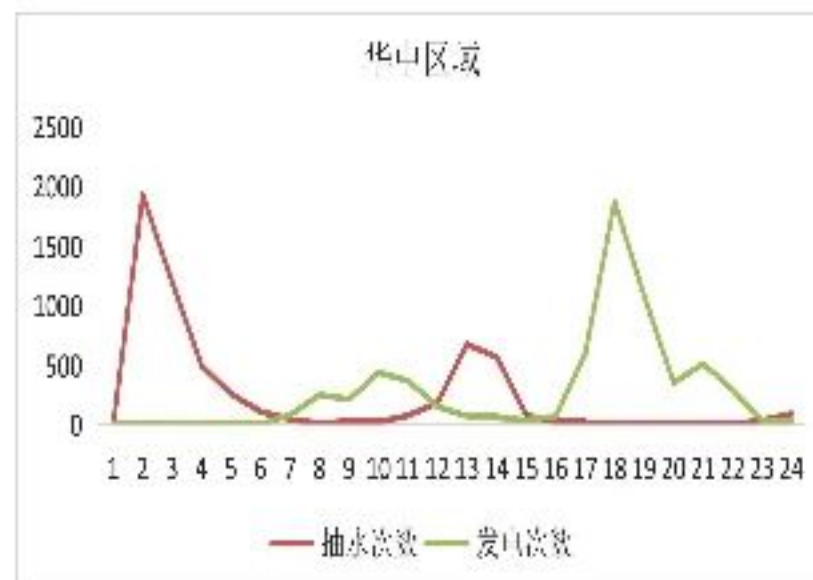
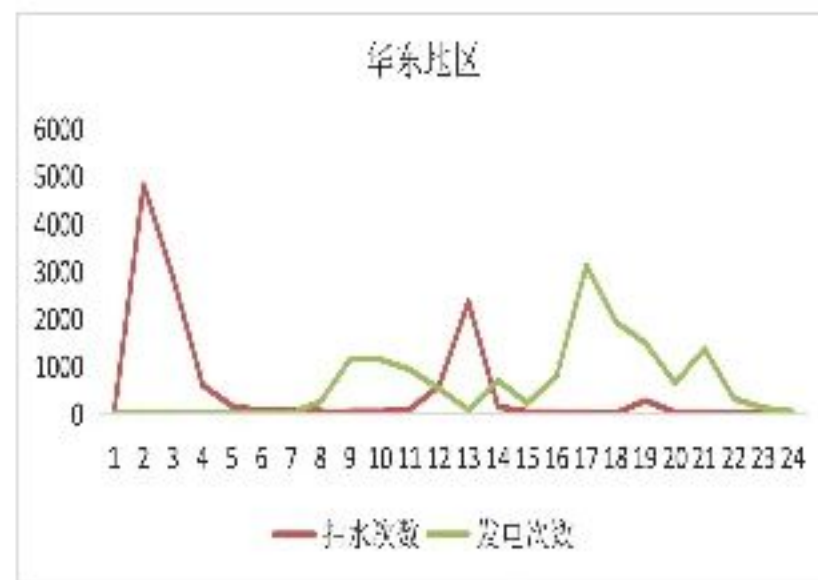
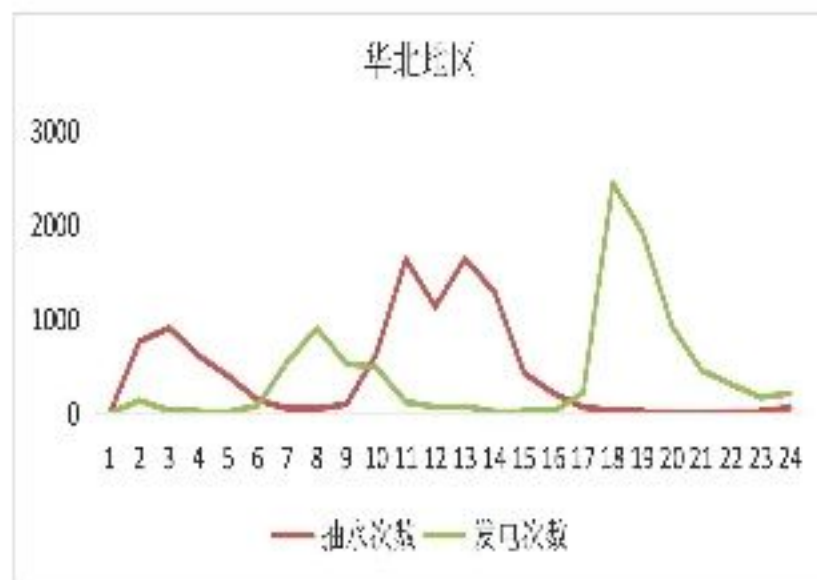
1. 总体运行情况

- 抽蓄机组利用小时数在2500-3200小时区间，效率 $\geq 75\%$ 。
- 月度看，呈现冬、夏双高峰，冬高峰高于夏高峰。
- 冬高峰主要满足“大风期”“供暖期”系统调节需求，夏高峰主要满足迎峰度夏“大负荷期”系统顶峰需求。



2. 抽发运行特点

- 日内看，呈现“两抽两发”模式。
- **发电**：各区域均晚峰需求大。**抽水**：华东、华中夜间需求大；华北午间需求大；东北夜间、午间相当。

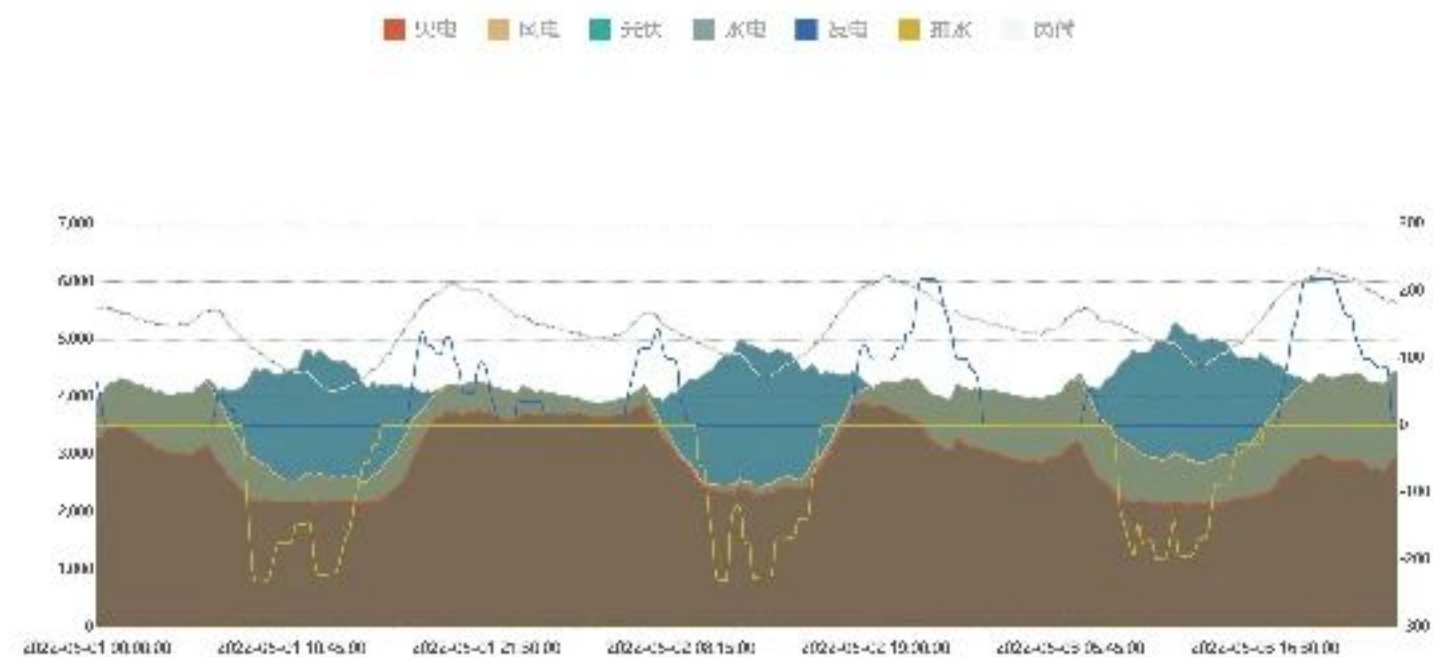
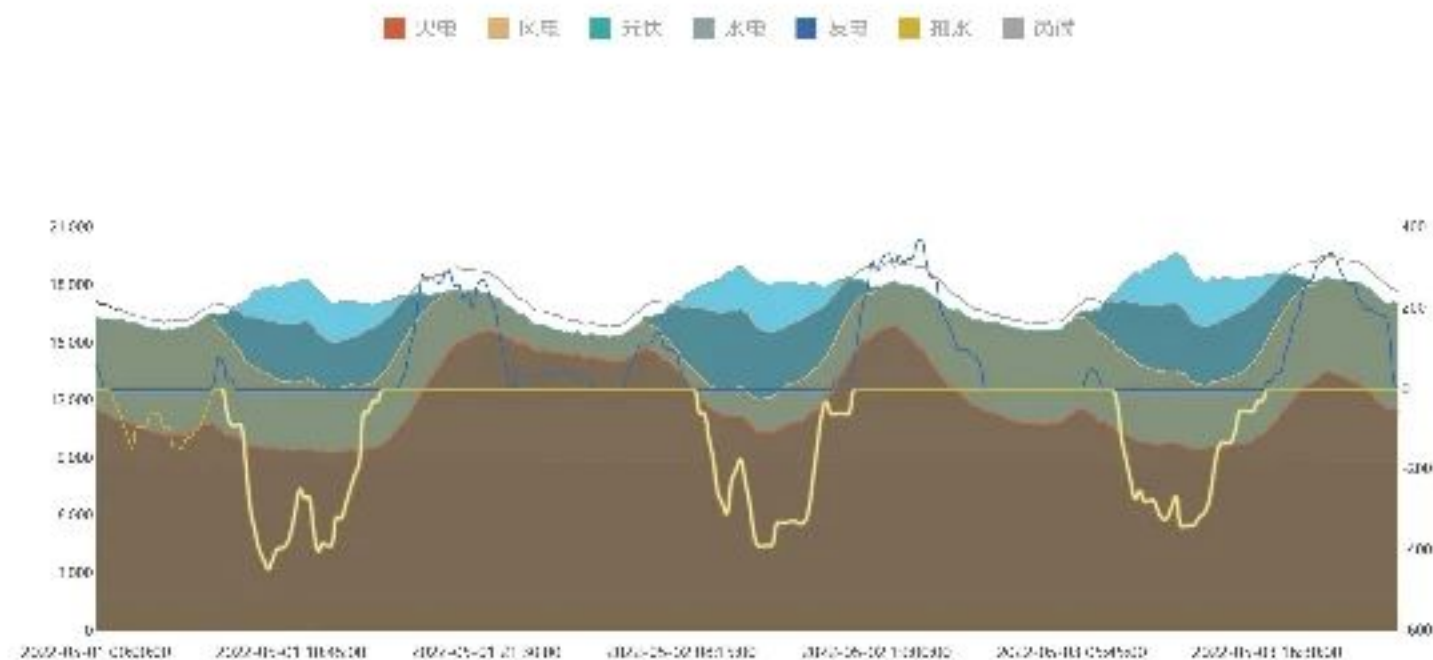


(四) 抽水蓄能运行情况



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

3. 抽蓄运用示例

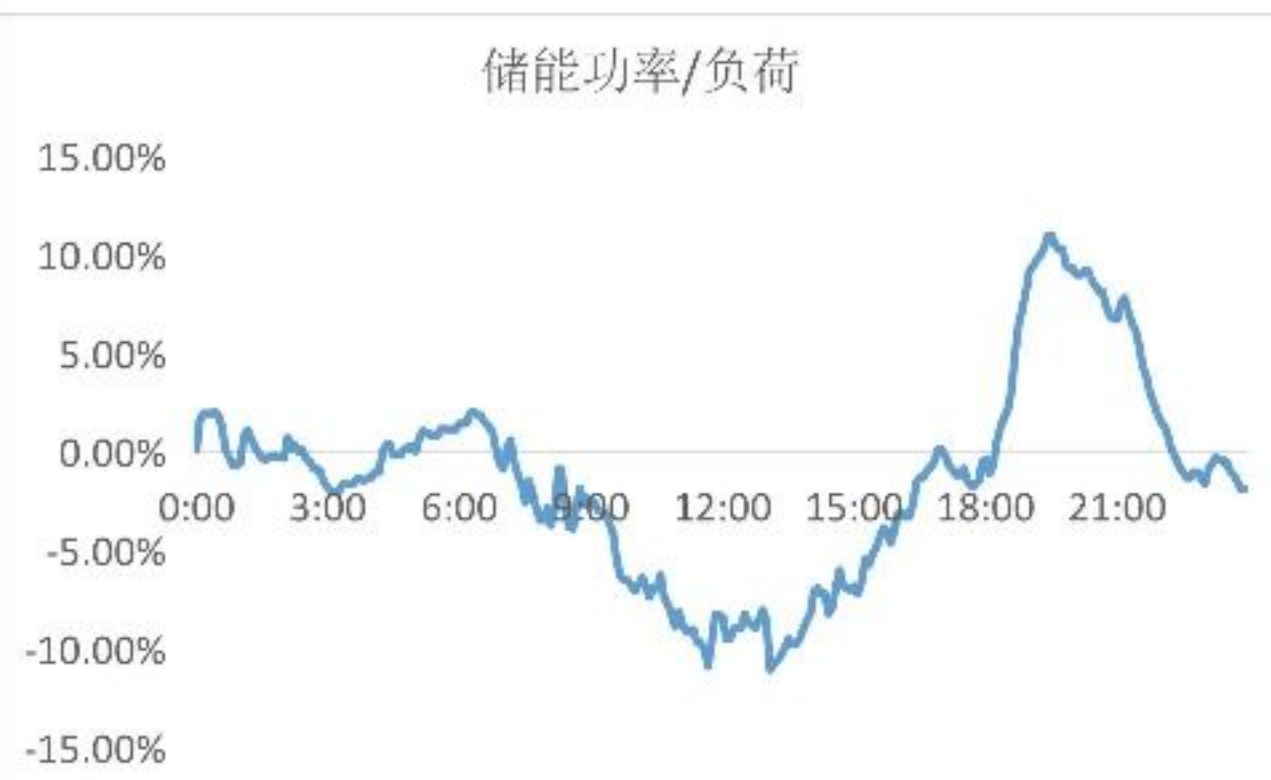
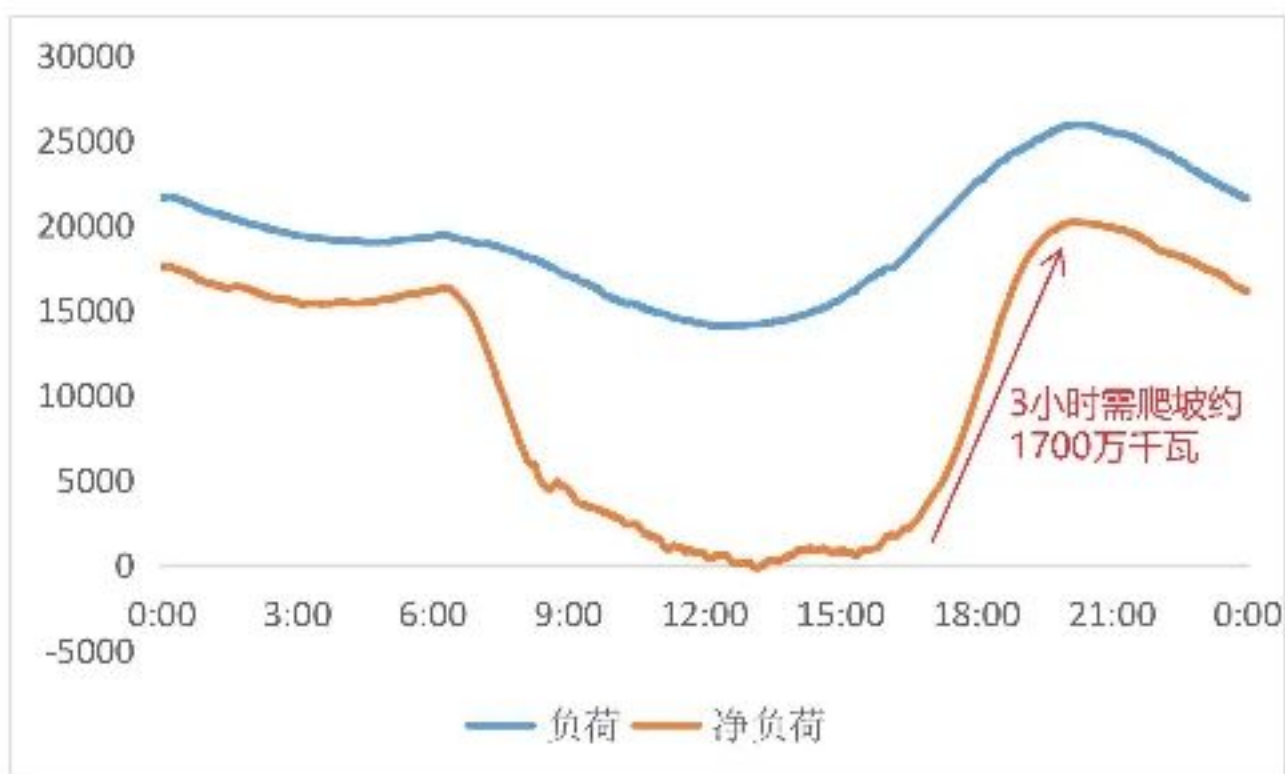
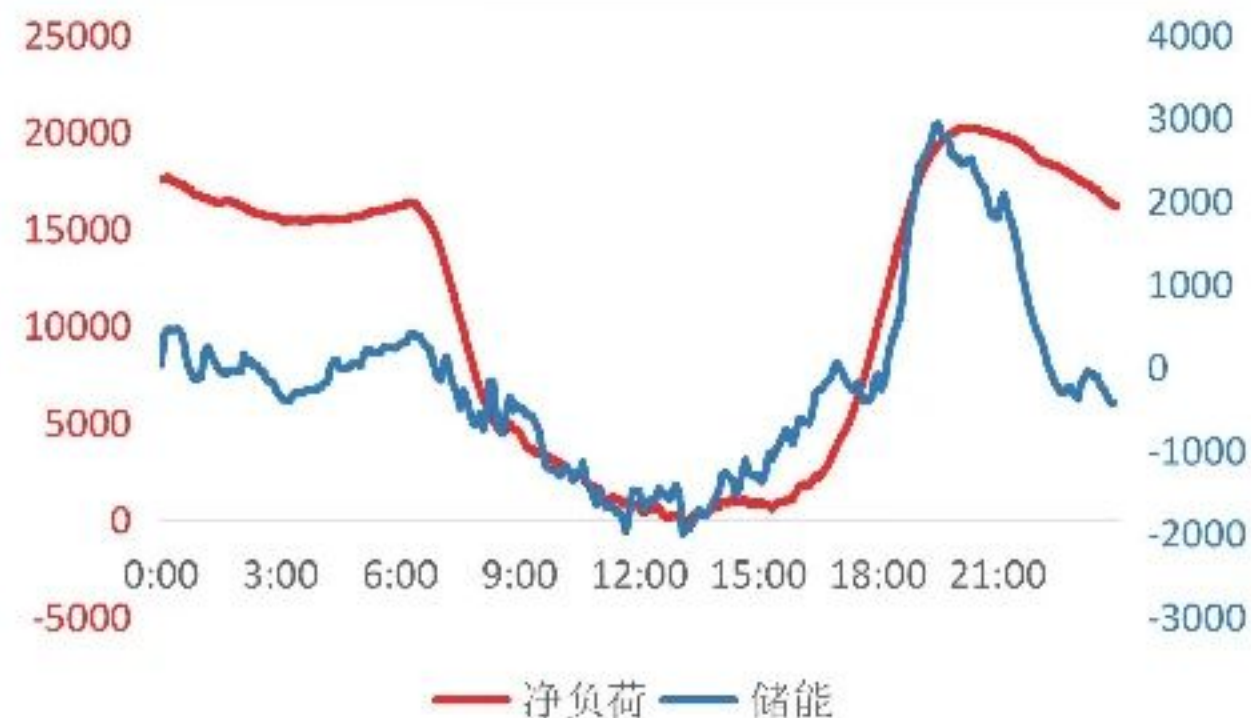


(五) 国外新能源与储能优化运行



加州CASIO (2023.4.23)

- 午间“净负荷”为0。
- 储能功率与负荷比值最大在10%左右。
- 储能高度匹配净负荷曲线运行。



1. 规划运行



规划

- 研究明确不同电源电网负荷结构下的抽水蓄能合理装机比例
- 研究抽水蓄能与新能源、电网的协调规划



调用

- 研究抽水蓄能在新能源占比逐渐提升的新型电力系统中的优化运行，制定调用规则



评价

- 研究抽水蓄能在“保安全”、“保供应”、“促消纳”等方面综合价值评估方法

2.创新抽蓄在系统安全防御体系中的作用



研究提升和发挥抽水蓄能机组的调相功能，支撑电压稳定



研究利用抽水蓄能机组的切泵安全经济等特性，支撑系统大功率缺失情况下频率稳定



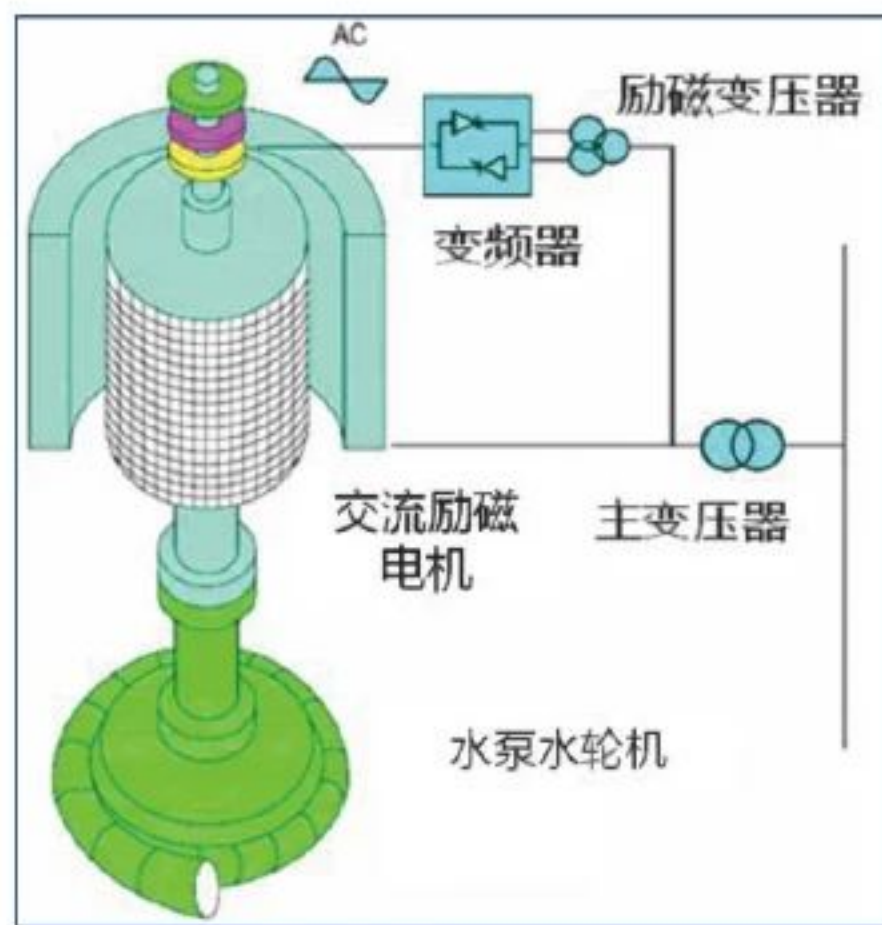
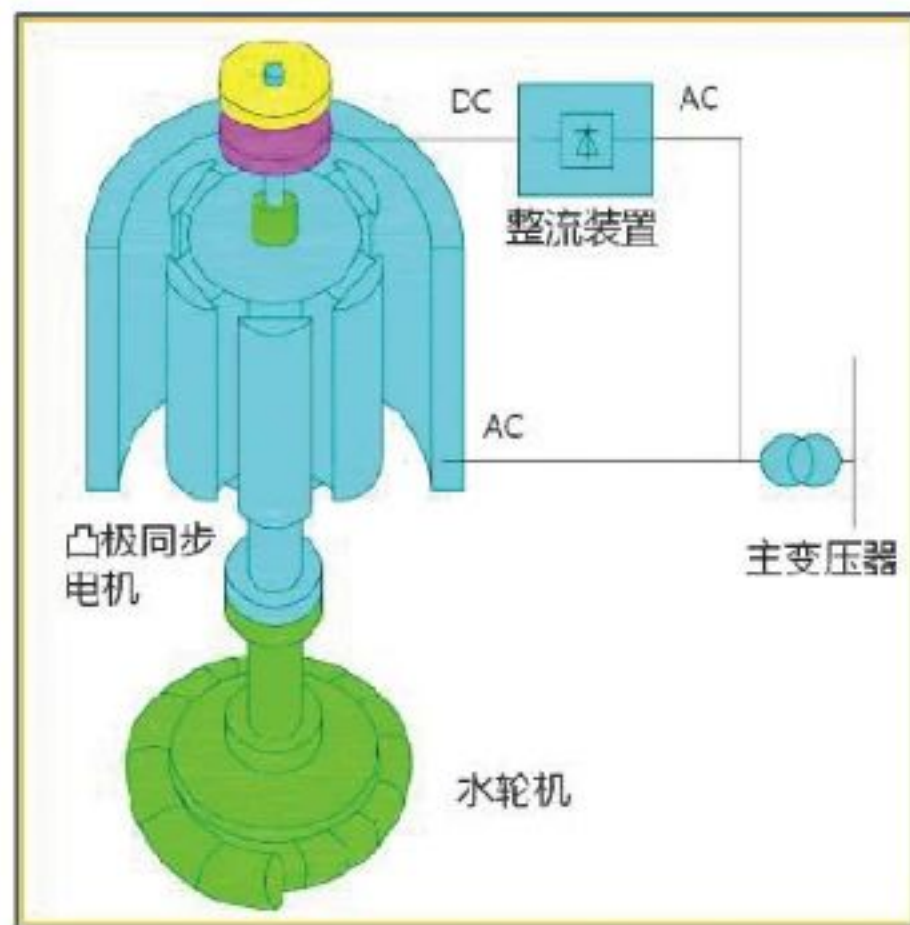
研究利用抽水蓄能机组提升系统惯量水平



研究数字化控制手段，快速参与系统控制调节

3. 变速抽水蓄能技术

➤ 实现交流励磁变速抽水机组自主化工程应用。



发电电动机



水泵水轮机

异

电磁设计

异

转子结构

异

集电系统及励磁装置

似

转动系统外其余部件

异

水力开发性能

异

过渡过程分析

异

运行策略

似

水泵水轮机结构形式

汇报内容



■ 我国抽水蓄能开发情况

■ 储能支撑新型电力系统构建的认识与思考

(一) 我国电力工业变革和发展



- 我国电力工业的变革发展与社会经济的变革发展紧密交织，历经多个发展阶段，已跻身世界电力工业先进前列。
- 在全球能源转型背景下的新发展阶段，注重风电、太阳能发电等清洁能源发展成为我国电力工业重要任务。



	特点	重点
第一阶段：1949-1978年	小机组、低电压、城市电网/孤立电网	解决有无的问题
第二阶段：1978-2000年	大机组、高电压、区域电网	提升效率、可靠性；扩大规模
第三阶段：2000-2012年	大基地、特高压、全国互联电网	大范围优化配置资源
第四阶段：2012年以来	大基地、特高压、全国互联电网+新元素：新能源、储能	可持续发展

(二) 新能源持续快速发展



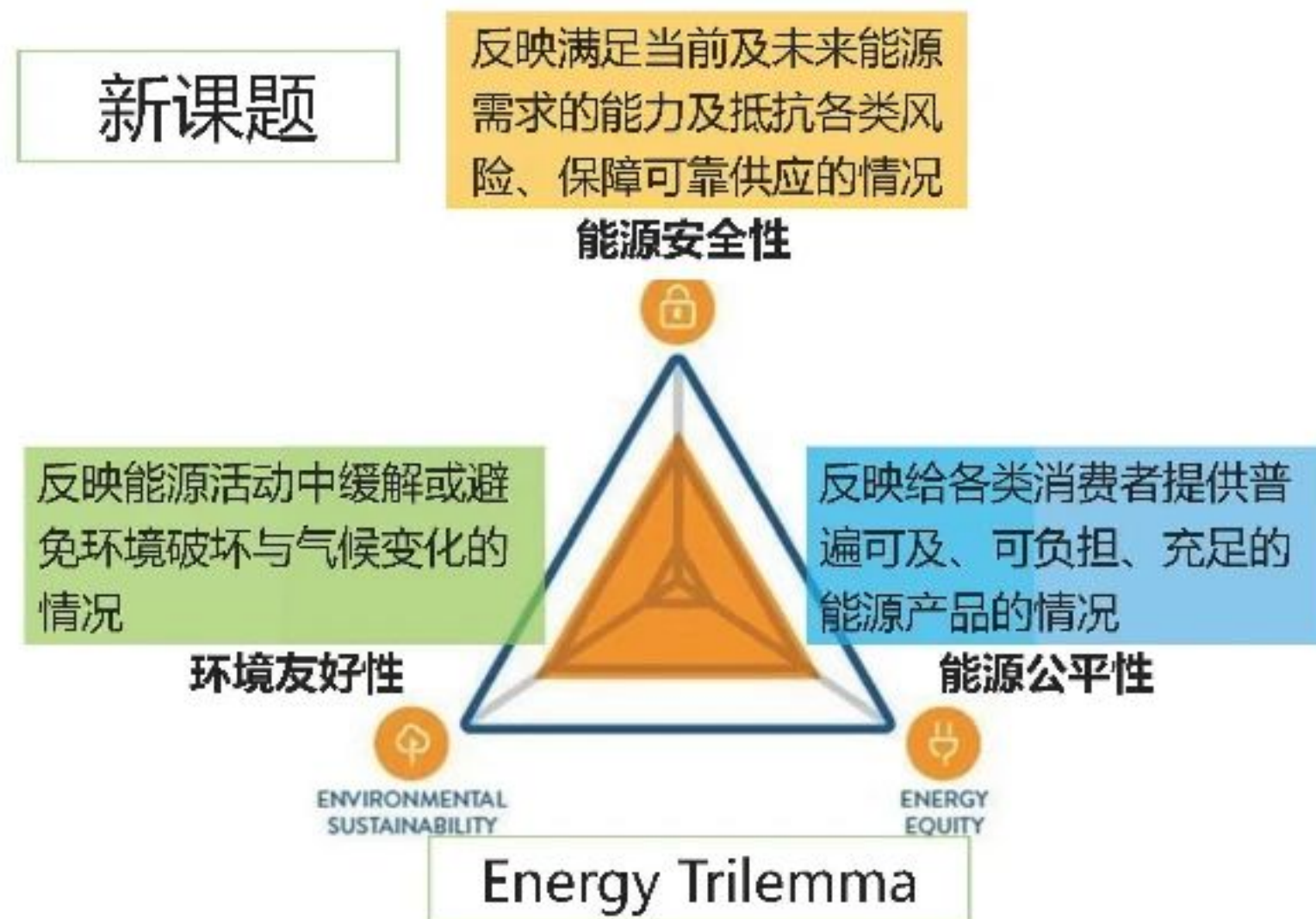
- 截至2022年底，国网公司经营区新能源装机达6.39亿千瓦（占全国的84.2%），光伏、风电已分别成为装机第二、第三大电源。
- 2022年新能源发电量占比达到15.1%。



(三) 新课题：“不可能三角”



- “不可能三角”是能源电力新的发展阶段和发展理念下的新课题。
- “不可能三角”的稳定状况主要取决于主力电源特性，核心是高比例新能源电力系统的安全性和公平性。



(三) 新课题：“不可能三角”



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

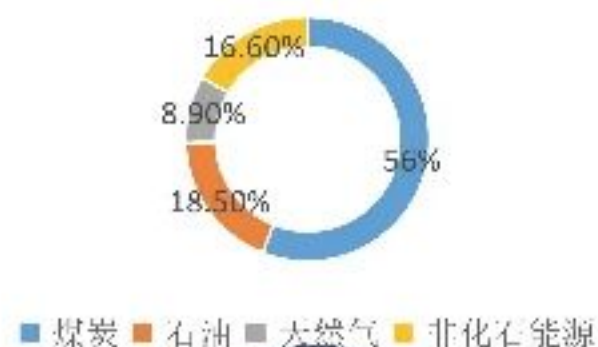
1.绿色

- 新型能源体系、新型电力系统：“双碳”目标主战场、主力军。
- 新能源发电**功能定位**：能源转型调结构的重要力量，需要实现高比例发展。

非化石能源消费提升目标

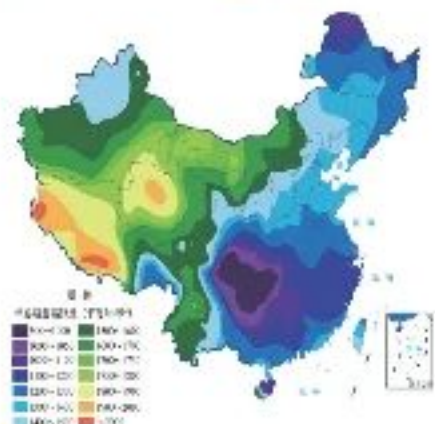
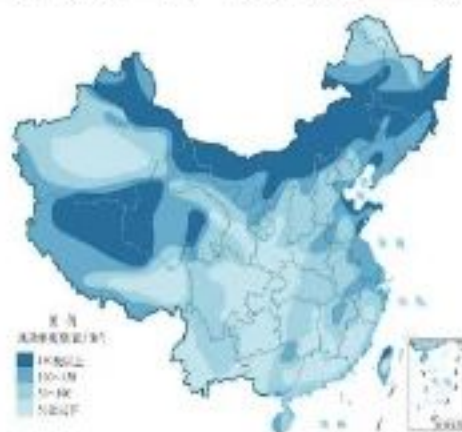


2021年能源消费结构



01

- 化石能源消费存量，调结构任务重



02

- 风光资源丰富

将持续快速提升

新能源装机占比（2022）

- 公司经营区：31.6%
- >60%：1个省级电网
- 50%~60%：2个省级电网
- 30%~50%：12个省级电网

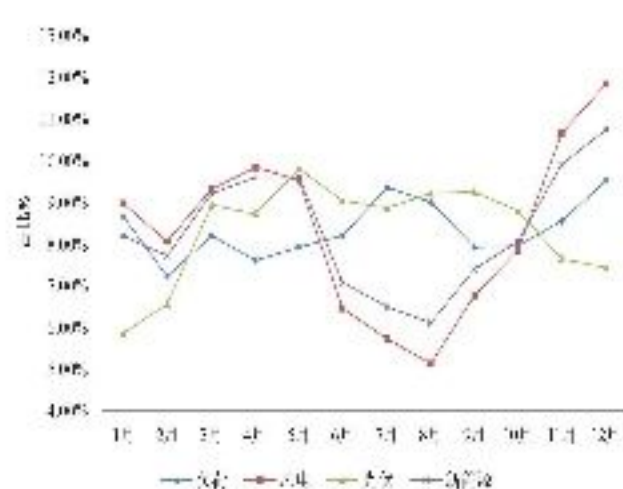
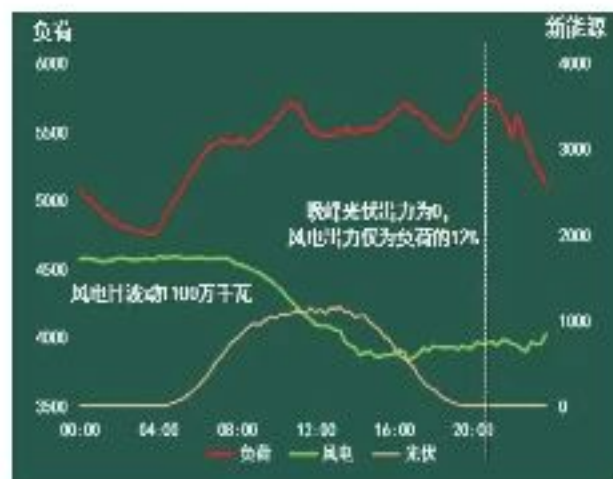
03

- 依靠新能源跃升式发展促进绿色转型

2.安全

- 电力系统运行特性：时变平衡系统，传统上主要依靠电源的调节支撑能力。
- 新能源发电运行特性：随机波动性+非同步机电源，如何保障供应安全？

01 跟踪匹配用电负荷能力弱



新能源发电与负荷在日月季时间尺度不平衡

02 频率电压调节和支撑能力下降



非同步机替代同步机

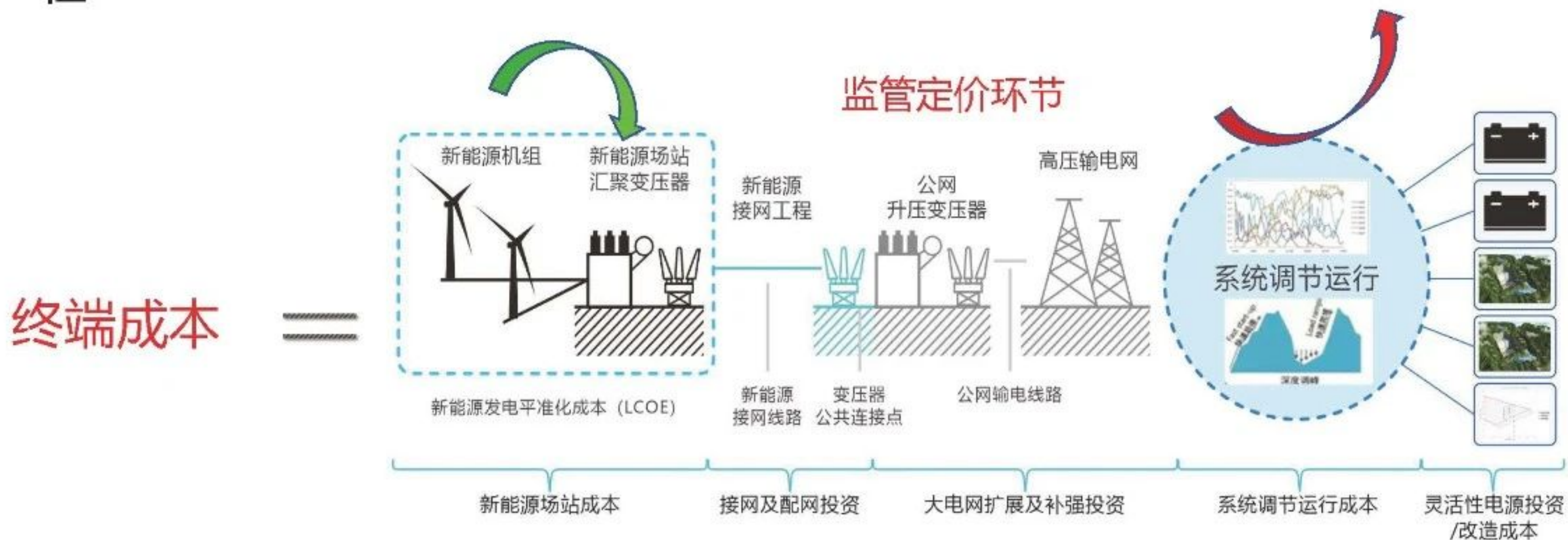
(三) 新课题：“不可能三角”



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

3.普惠

- 新能源发电**经济属性**：造价降低+运营成本低+系统调节成本趋高，如何保持经济性？

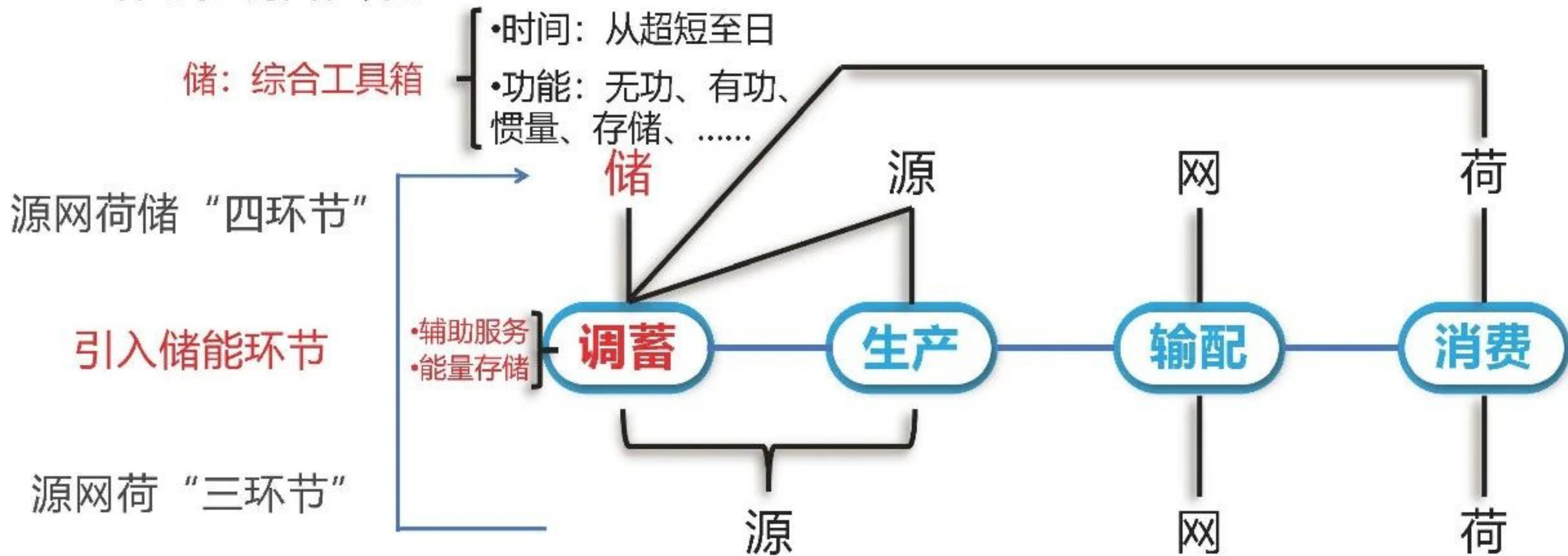


(四) 储能助力能源转型+供应安全



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

- **新型电力系统**：源侧调蓄需求趋大、但调蓄能力趋弱，需重构调蓄能力，由多主体承担调蓄任务。

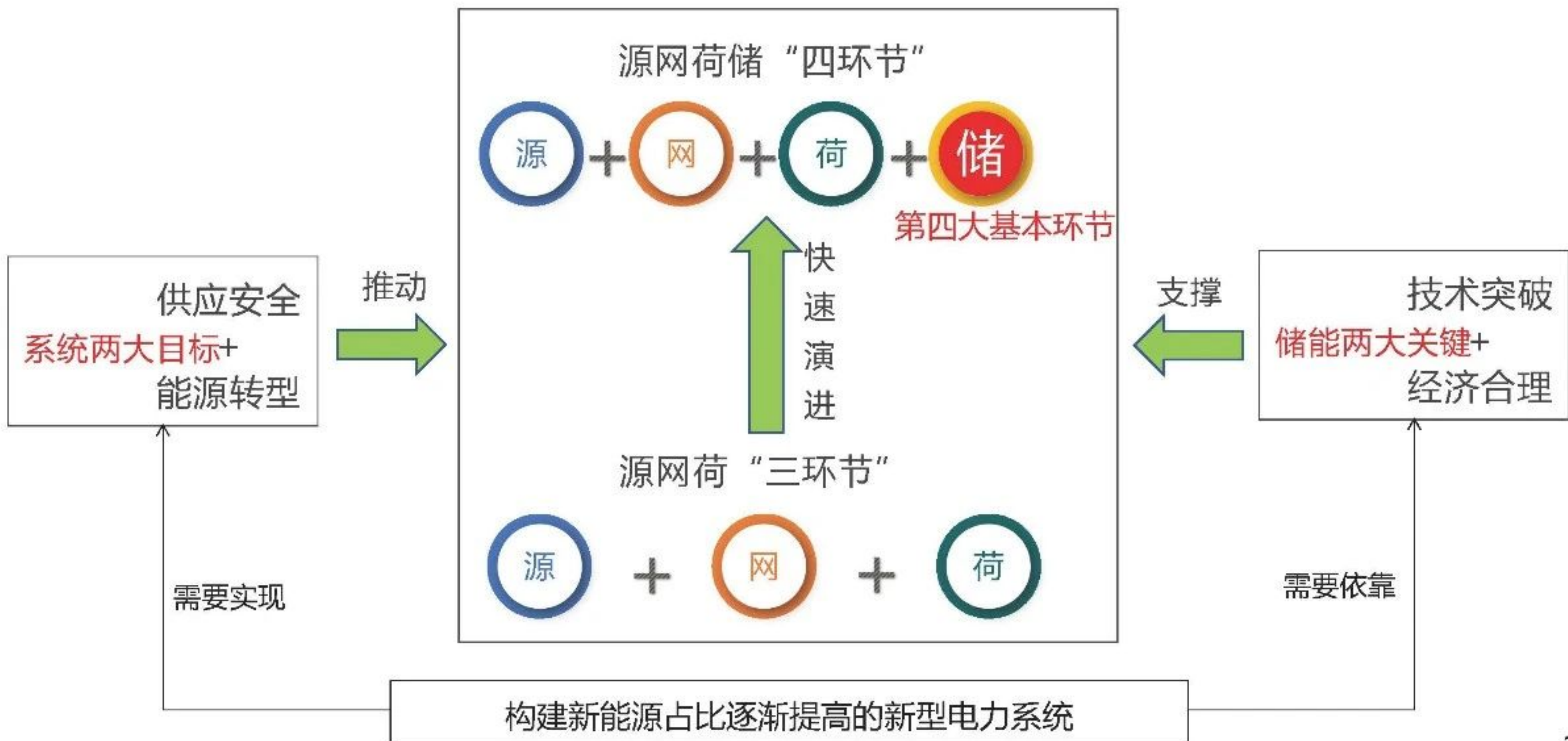


- **传统电力系统**：电力调蓄和生产任务主要由单一主体（电源侧）承担。

(四) 储能助力能源转型+供应安全



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA



构建新型电力系统重点关注

01

系统建设聚焦“一个增强”

• 增强系统扰动应对能力

02

机制建设聚焦“两个适应”

• 适应高比例新能源接入的运行机制
• 适应高需求的市场机制

03

储能发展聚焦“三个突破”

• 突破储能核心技术
• 突破网储协调技术
• 突破长时储能技术

1.增强系统扰动应对能力

➤ 电力系统安全稳定的核心取决于**对各类扰动的承受和处理能力**。



规划设计

- 合理的电源结构
- 合理的网架结构



方式安排

- 留有裕度
- 充足的有功和无功备用电源

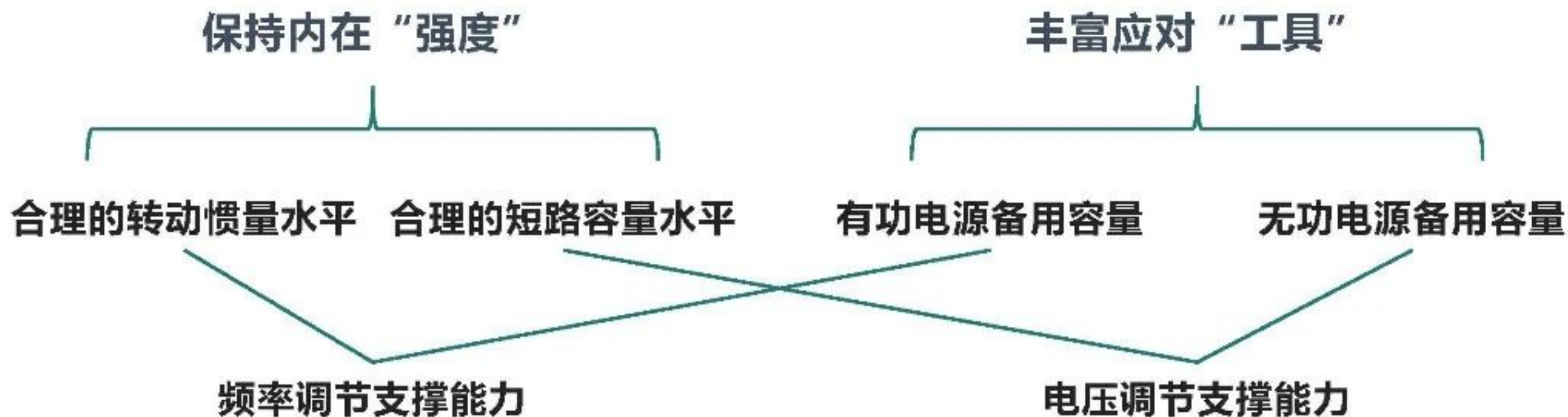


控制/防御策略

- AGC/AVC等调频调压措施
- 第一道防线：继电保护
- 第二道防线：稳定控制措施
- 第三道防线：失步/快速解列、低频/低压减载、高频切机

1.增强系统扰动应对能力

- 新型电力系统面临扰动增加与抗扰动能力下降之间的矛盾，需要增强对扰动处置能力，核心是保持内在“强度”+丰富应对“工具”。
- “新能源+多元调节支撑体系”是新型电力系统的必然选择。
- 多元调节支撑体系发展重点：储能、构网型电力电子技术、调相机、可控负荷。

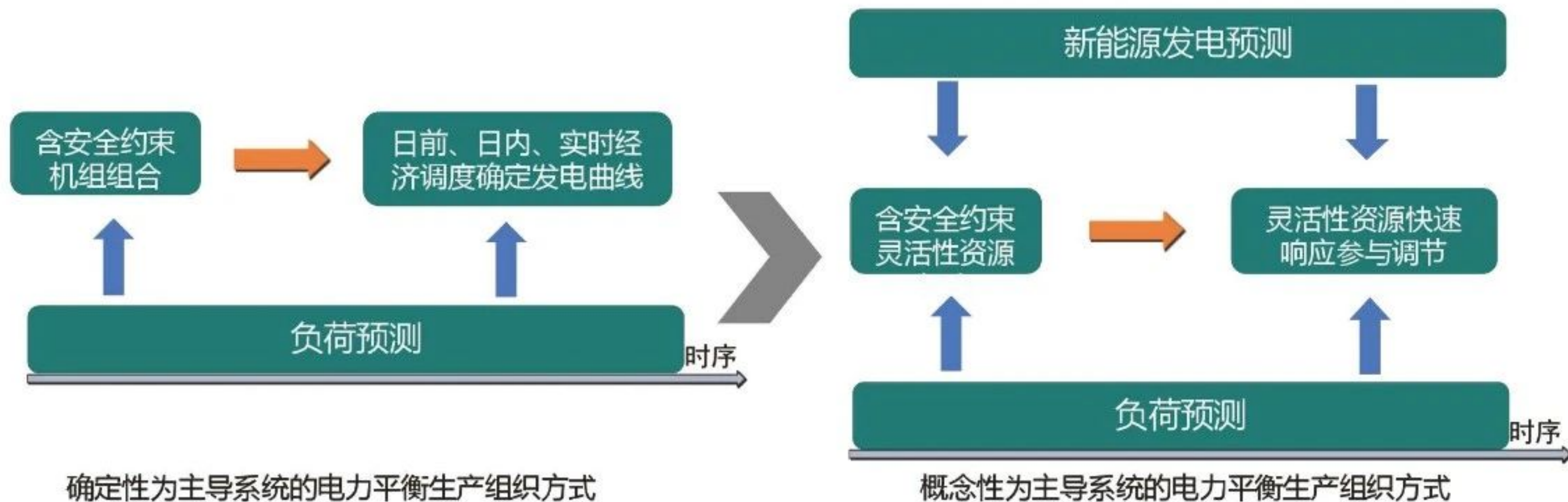


(五) 对新型电力系统构建的思考-两个适应



1. 适应高比例新能源接入的运行机制

- **方式安排**：校核支撑性设备的开机水平，保持合理“强度”；校核调节性设备的备用水平，预留控制“工具”。**实时运行**：分析在线化、决策智能化、执行自动化，以应对高度不确定的系统。
- 目标函数、约束条件发生深刻变化，需要新型调度运行机制。



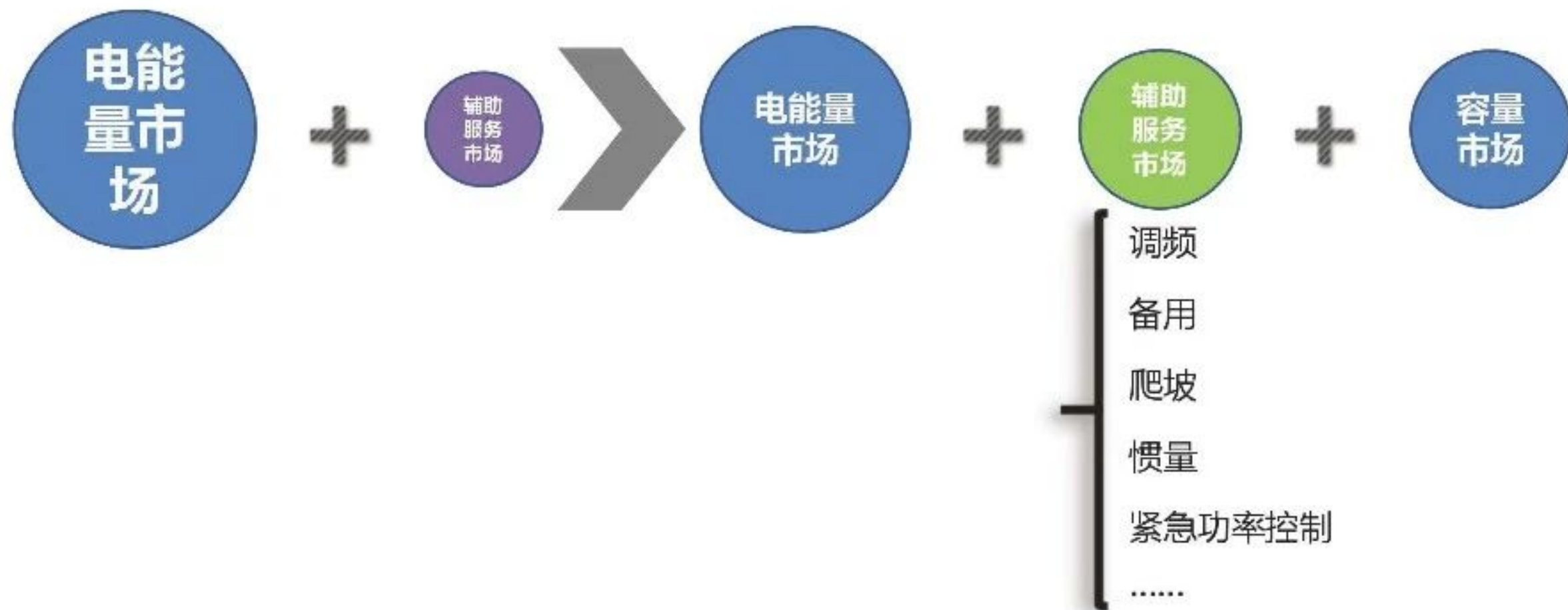
(五) 对新型电力系统构建的思考-两个适应



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

2.适应高需求的市场机制

- 丰富完善电力市场尤其是辅助服务市场交易机制，扩大辅助服务市场规模，为储能提供价值实现方式。



1.突破储能核心技术

化学储能

高安全
长寿命
低成本

压缩空气
储能

高效率
并网性能

抽水蓄能

变速机组

2.突破网储协调技术

- 网源协调技术已较成熟。经过长期的认识和实践以及不断对常规电源的涉网保护和励磁参数等进行优化完善，相关技术标准和管理职责已较完备。
- 网储协调技术需加快完善。电化学储能通过电力电子装置并网，具有基于控制算法的响应特性，“可塑性强”，动态行为更加复杂，需要高度重视快速发展中的“网储协调”问题。提出并完善性能、试验等技术标准以及各环节管理职责。

ICS 29.240
CCS F 21



中华人民共和国国家标准

GB/T 40594—2021

电力系统网源协调技术导则

Technical guide for power grid and source coordination

(五) 对新型电力系统构建的思考-三个突破



国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

3.突破长时储能技术

➤ 突破长时储能技术，解决日间至中长期电力存储调节难题。





国家电网有限公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

谢谢！

