

□ 文 / 吕林素 赵 曼

第一作者简介 吕林素，博士，三级研究员，自然资源首席科普传播专家，长期从事宝石学、矿物学、岩石学、矿床学方面的研究及展陈设计、科普宣传工作，中国地质博物馆岩石矿物研究室原主任，现聘为四川文化艺术学院教授。

能源，“能与力，最完美的组合，最亲密的搭档。”实质上，能源就是地球上蕴藏的、直接或者通过加工与转换而取得有用能的各种资源。换句话说，能源就是人类利用自然界能量资源的总称。能源按其来源和可否再生性划分为三大类：化石能源、核能源与可再生能源。

能源利用方式的每次变革，都极大地推动了人类社会进步。人类能源利用经历薪柴时代、煤炭时代与油气时代。第三、四次工业革命——“科技革命”与“智能革命”浪潮相继来袭，能源、材料与信息技术（尤其是大数据、人工智能）成了“三大支柱”，并且能源革新尤为突出。正因为“新能源与电动机”的邂逅，打破了以煤油气为主体的传统能源观念，引领人类从化石能源逐渐转向非化石能源。如今，化石能源、核能源与可再生能源多能互补、协同发展，开创了能源的新时代——“后油气时代”，即以新能源为主导的多元能源时代。

能源迭代利用新史

我们的祖先生生不息，得益于与大自然和谐共处，最早利用的是活体含碳燃料——薪柴来满足生产生活需求。蒸汽机与内燃机的相继出现，实现了燃料从化学能经热能到机械能或电能的转化，才使碳基燃料——化石燃料成为主要动力能源。然而，电能的广泛应用，为人类大规模利用水能、核能和地热能等自然能源创造了条件，开辟了更为广阔的能源利用之路。

古代能源——自然资源的直接利用

古代能源主要依赖于自然界的直接资源，利用方式简单且受限于当时的技术水平。人力和畜力（如牛、马、骆驼）是农业社会的重要动力来源，用于耕作、运输等，人力则是最基本的能源形式。然而，古人利用的自然能源，除了薪柴、煤炭、石油和天然气，就是水能、风能、太阳能和地热能，其应用历史可追溯至几千年前。

古代水能。将水力驱动机械装置应用于生产和生活。古代中国的水力机械技术发达，不仅有立式水轮（驱动磨坊、碾米、榨油等）、卧式水轮（如用于灌溉的翻车）和筒车（提水灌溉装置），而且有水碓（磨）（加工粮食的舂米或磨粉设备）和水排（冶金鼓风机），还有宋代发明的水转大纺车（水力纺织机械）和水运仪象台（水力天文仪器）。西欧还出现了潮汐磨坊——利用潮汐能驱动水轮，是海洋能之潮汐能的最早应用。

古代风能。将风力驱动机械装置应用于生产和生活。风车和帆船是风能利用的典例。古代中国的先进风力机械技术，既有风车（抽水灌溉或磨粉），又有风帆车、风帆助航，还有风力提水机（灌溉）。此外，荷兰风车主要用于排水和工业应用，现多作为文化遗产。

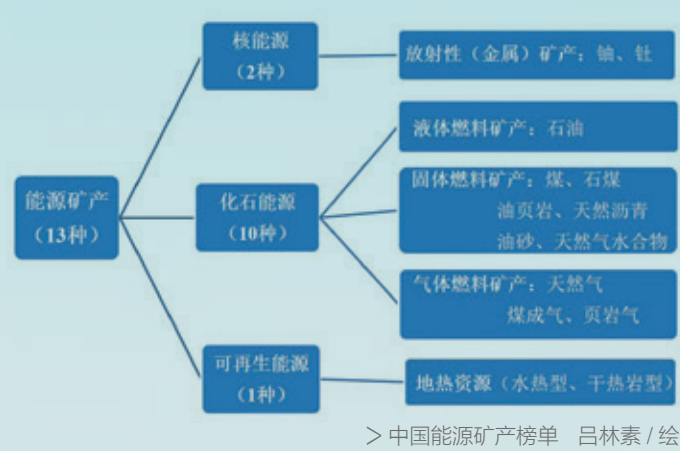
古代太阳能。通过建筑设计（如阳光供暖）和晾晒食物间接利用太阳能。中国东汉王充在《论衡·说日》中提到：“夫日者，天之火也，与地之火，无以异也。”，体现了古人对太阳能的初步认知。

古代地热能。无论是中国还是古罗马，都在地热资源丰富区对温泉进行了多元应用——洗衣、沐浴、供暖、烹饪、灌溉、医疗和休闲，地中海地区还流传着地热能的神话和传说。

因此，这些古代能源在人类历史中扮演了重要角色，推动了早期文明的发展和进步。随着电能技术的进步，能源利用方式逐渐向更高效的现代能源转变。

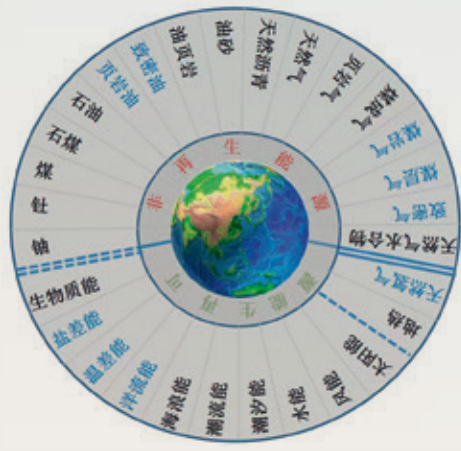
现代能源——能源矿产的主体地位

从能源资源主体来说，最关键的还是能源矿产——是指埋藏于地下的，经过漫长的

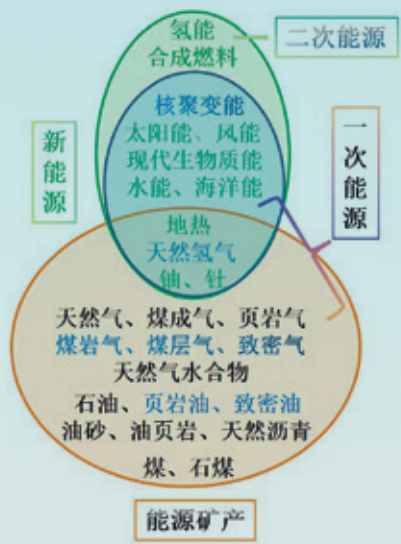


地质作用形成的，呈固态、气态和液态的，并蕴含某种形式的能，且能够成为经济上可采出、有价值、可加工、可利用的自然资源，包括化石能源、核能源和可再生能源三大类。

化石能源。是由远古动植物化石经地质作用演变成的能源（2024 版《中华人民共和国能源法》，以下简称《能源法》），即过去的燃料矿产，主要包括煤、石油和天然气。此外，还有以油页岩、油砂、天然沥青及未被列为独立矿种的“页岩油”“致密油”等形式储存的非常规石油（具有黏度高、密度大、非烃化合物含量高等特点），以及以煤成气、页岩气、天然气水合物（俗称“可燃冰”）及未被列为独立矿种的“煤层气”“煤岩气”“致密气”等形式储存的非常规天然气（具有低碳、洁净、绿色、低污染特性，可视为清洁能源）。这些非常规油气已然成了当今全球油气储量和产量新的增长点。



> 能源按能量产生方式划分示意图 吕林素 / 绘
 （蓝字代表未列入能源矿种或待开发新能源，
 数据统计截至 2024 年）



► 能源分类体系示意图 吕林素 / 绘
(蓝字表示未列入能源矿种或待开发新能源，
数据统计截至 2024 年)

成对出现，均可制造核裂变燃料。然而，钍因其利用问题而只有潜在价值，使铀成了唯一。

可再生能源。指能够在较短时间内通过自然过程不断补充和再生的能源，如水能、风能、太阳能和地热能等（《能源法》），均为储量大、分布广、无污染、可再生的绿色能源。目前只有地热是能源矿产榜单上唯一的可再生能源。未来或有“天然氢气”与之相伴。

能源矿产——永远的一次能源，其中的煤、油、气构成了当今世界的三大能源。非常规油气资源的开发利用，正改变着全球油气生产格局，被国际公认为传统煤油气的接替能源。我国鼓励规模化开发致密油气、页岩油气、煤层气（《能源法》），其中重庆涪陵页岩气田已实现商业化开发。截至 2023 年底，我国 173 个矿

能源之光——照亮我们的能源之路

早在 20 世纪 20 年代，地质学家李四光先生就关注能源问题，并以《现代繁华与炭》为题演讲，科普能源，以唤醒民众；40 年代，他创立了“地质力学”新理论，赋能石油和铀矿的寻找和勘探，打破“中国贫油论”，还助力核能事业的发展；70 年代，他倡导新能源之地热能的开发利用；直至生命的最后一刻，他仍心系煤炭的综合利用。让我们每一位地质人在传承中发展，共促“能源基业”长青。

决定生活品质和经济的重要参数是能源。那么“什么东西是现代繁华的最大凭据？”回答是煤炭。但煤炭烧尽后，未来能源出路何在？李四光先生于 20 世纪 20 年代便预见性地指出：一是月球、太阳等天体对地球的引潮力，即今之海洋能中的潮汐能和潮流能；二是原子裂变的，即今之核能（或原子能）中的核裂变能；三是太阳送来的，既有直接的太阳辐射能，也有间接的水力和风力，即今之太阳能、水能和风能；四是蕴藏于地下的热，即今之地热能。这些非化石能源无一不是新能源，真是高瞻远瞩，令人折服。

种榜单上，能源矿产仅占 13 个席位，但却成就了我国一次能源生产大国的地位，同时一次能源消费也位居世界首位。《中国矿产资源报告 2024》显示，我国能源消费结构持续优化，2013 年到 2023 年，煤炭消费占比从 67% 降至 55%，清洁能源占比从 10% 提高至 20%，能源资源节约集约与清洁利用稳步推进。

新型能源——迈向绿色能源新时代

化石能源、核能源和可再生能源主要用于发电和供热，同时化石能源还是重要的化工原料。有“工业粮食”之称的“煤老大”和有“工业血液”之称的“石油老二”作为能源支柱，在经济发展中发挥基础作用，在造就了我们如今美好生活的同时，也带来了生态环境问题。“富煤、缺油、少气”是我国的能源禀赋特点，

而“减煤、降油、增气、加新”则是我们的必由之路。我们每个人都应践行绿色低碳的生活方式。

新能源，是指在实现“2030 年碳达峰、2060 年碳中和”的“双碳”目标背景下，以新技术和新材料为基础，正在系统开发和推广应用的各种低碳或零碳能源形式，主要包括太阳赋能的太阳能、风能、水能、海洋能、现代生物质能（区别于传统薪柴直接燃烧）以及埋藏于地下的地热、天然氢气等可再生的一次能源，还包括核能——核裂变能（如铀、钍）和核聚变能（如氘、氚，处于实验阶段）等非再生的一次能源，也包括利用清洁能源生产的氢能（特别是绿氢）及其衍生的合成燃料（如合成甲烷）等二次能源，具有总量丰富、环境友好、可持续性强的特点，是替代传统化石能源、实现能源结构转型的关键。其实，新能源就是与人类赖以生存的地球生态环境保持和谐共存的绿色能源。

总之，人类对自然能源的开发利用经历了从薪柴到化石能源，再到非化石能源的转型，每次能源变革都提升了人类对自然的掌控力。能源科技的飞跃不仅推动了生产技术的革新，还在“双碳”目标的引领下，为可再生能源产业带来了机遇与挑战。我国通过实施可再生能源消费最低比重目标，并完善其电力消纳保障机制（《能源法》），推动可再生能源成为更具“绿色”特征的新质生产力。换言之，人类文明发展史，也是一部人类能源利用史。

地下的能源新宝藏

天然氢气（亦称“地质氢”“白氢”“金氢”）是由地质作用自然生成的，具有清洁且可再生特性，可视为新能源。地热能绿色零碳且可循环，无疑是新能源。核能中，核聚变能是新能源；核裂变能虽因铀燃料不可再生及安全顾虑不被视为新能源，而从能源来源新颖性、利用技术创新性、能源潜力巨大性、环境可持续性看，加之能量密度高、零碳等

优点，使其具备新能源特质。天然氢气、地热、铀矿都是埋藏于地下的、由地质作用形成的无碳能源，堪称“不可忽视的无碳新型能源宝藏”。

天然氢气——点燃了绿色用能希望之火

氢能是指氢作为能量载体进行化学反应释放出的能源（《能源法》）。氢是宇宙中最轻、最丰富的元素，其单质氢气无色、无臭、无味，高度易燃，在氧气中燃烧仅产生水蒸气，是清洁能源。因此，氢能作为高效燃料，被视为眼下最具竞争力的新能源，备受瞩目。

氢能特点。氢作为能源具备七大特性：质量最轻，密度极低，易于扩散；极为普遍，广泛存在于空气、地下及可通过人工合成获得；导热性能优异，是气体中的佼佼者；燃烧性能好，氢点燃迅速，燃点高，燃烧速度快；发热值高，是汽油的三倍，仅次于核燃料；本身无毒，氢燃烧产物仅为水和少量可处理的氨气，极为环保；气液固三态间转换灵活，氢能便于储存、运输及适应多种应用环境。

氢能利用。氢作为优异的新能源载体，扮演着平衡电网的关键角色，并且是储能和实现终端能源电气化的极为重要途径。从利用形式看，氢能既可通过燃烧产生热能，在热力发动机中产生机械功，又可作为能源材料用于燃料电池，还可转换成固态氢，用作结构材料。无疑，氢燃料电池是当下氢能一个比较合适的解决方案。

天然成藏。自然界中存在天然氢气，往往通过水—岩反应、放射性衰变和深部地球过程产生，分布于洋中脊热液体系、地幔流体以及火山气体中。21 世纪初，俄罗斯发现首个天然氢气田，而非洲马里的天然氢气井（纯度达 98%）已应用于民生，成为天然氢能源利用的先驱。而我国天然氢气主要富集于华北、东北和西北地区的含油气盆地和地热活跃区，这些天然氢或将成为极具潜力的一次能源。

其实，通常所说的氢能多指人工制氢，分为“灰

氢”“蓝氢”“绿氢”。灰氢通过化石能源（如煤气化、天然气）制氢及工业副产氢，全球占比高达 96%，成本低但碳排放高，占全球氢能的 96%；蓝氢同样源自化石能源，但采用碳捕获和碳封存技术，碳排放减少，成本较高；绿氢则利用可再生能源（如水能、风能、太阳能等）电解水制氢、生物质气化制氢，零碳排放，但成本高。可见，这些氢能都属于二次能源。

目前，灰氢因其经济性和高占比成为主流，蓝氢在减排上有所进步，而绿氢虽代表未来的绿色方向，但规模受限。于是，地球母亲孕育的天然氢气就成了最具吸引力的选择。我国已将天然气列为重点发展方向，其研究、勘探、开采和储存技术正在快速推进，展现出作为潜在能源矿产的魅力。

地热——开辟了人类用能的新纪元

地热能是指来自地球内部的天然热能，这是地球的自身引力和核聚变引起的可再生资源，20 世纪初开始用于发电。感人至深的是，李四光先生直到 1971 年去世前夕，仍会见了天津地热指挥部负责人，探讨了中低温地下热水的利用问题。他指出：“开发利用地热能，就像人类发现煤炭、石油能够燃烧一样，开辟了

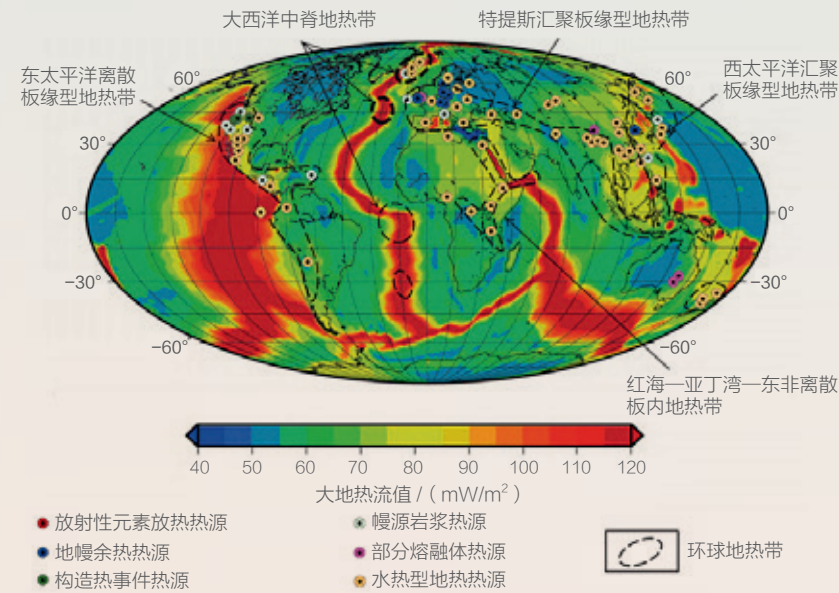
人类用能的新纪元。”

地热特点。地热作为能源有三大特点：热源来自地球深部，主要通过岩石热传导至循环水形成地热水，或经断裂构造传导地下热能；地热包含地球早期残留热及放射性元素衰变热；地球内部温度随深度增加而急剧上升，地壳平均增温率 30℃ / 千米，地心温度预估高达 4 500℃ ~ 7 000℃，接近太阳表面温度。此外，地热资源集中于地壳板块边缘及部分板内热点。

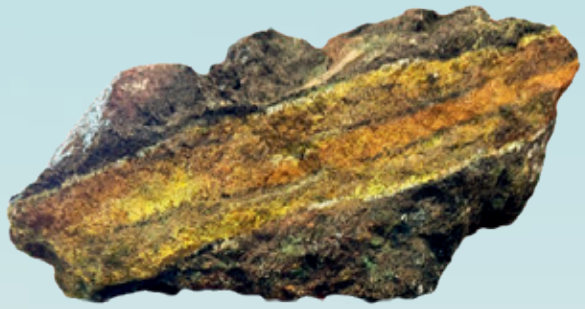
地热类型。地热资源有水热型（含水）和干热岩型（不含水）之分，前者是指地球内部热能影响形成的地下热水或蒸汽，通常以 20℃ 为冷水热水界限，是常规地热资源；而后者则是指地下深处高温且少流体的炽热岩石，埋深数千米、温度超 200℃，属于非常规地热资源。据估算，地下 3 ~ 10 千米的干热岩占地球地热资源总量的 90%，我国该深度范围内干热岩资源量折合标准煤达 856 亿吨，显示了地热资源的巨大潜力。

地热优势。地热资源正成为全球新能源焦点，利用方式包括直接利用和发电，并有三大独特优势：稳定性好，不受季节、气候影响，可靠且持续；利用率高，发电利用效率超 70%，远高于风能和太阳能；地源热泵，随着这种技术的兴起，使地热能可在各地均可开发。

地热分布。地球是一个庞大的热库，蕴藏着令无数人难以想象的



＞ 全球主要地热资源分布（张英等，2017）



＞ 中国第一块铀矿石标本——被誉为中国铀矿地质的“开业之石”。（陈春琳摄于李四光地质科学奖基金会与中国地质博物馆共同举办的“地质之光——弘扬李四光精神 共绘地质科学华章主题绘画展”）

标志重大立场转变；印度、南非等国计划大幅扩建核电，以满足电力需求增长并降低煤电依赖；巴西也视核电为能源转型的关键。这些举措展现了核电在全球能源战略中的重要地位。

核能优势。核能具有四大优势：核能的能量密度远超可再生能源，1 千克铀-235 核裂变能量相当于 2 500 吨煤；核能运转可靠高效，可全天候发电，远超风电、光伏等；虽新建核电站成本高昂，但运营成本较低；核能还能用于电力调峰、制氢、海水淡化和供暖，有助于降低国家能源对外依存度。

核安全性。核安全因其技术复杂性、事故突发性、影响隐蔽性、污染持久性和公众高度敏感性，成为能源领域的重中之重。因此，只有加强核废物处理技术的研发和应用，同时严格遵守核安全法规 and 标准，才能确保核能的安全利用和可持续发展。

铀矿榜单。从储量看，位居世界铀矿前列有澳大利亚、加拿大、哈萨克斯坦和南非，这四国就占世界总储量的 80% 以上，仅澳大利亚就超 40%，堪称“坐在矿车上的国家”。不过，产量最高的当属哈萨克斯坦，约占世界的三成。我国铀矿资源现已跻身世界前十，特别是内蒙古中部大营和甘肃平凉泾川这两座世界级砂岩型特大铀矿功不可没。中国的“贫铀”史已然被打破，新的“铀”故事才刚刚开启。

巨大热能，总量相当于煤炭储量的 1.7 亿倍，能满足人类数十万年的能源需求。全球有四大高温地热带：东太平洋离散板缘型、大西洋中脊、特提斯汇聚板缘型和西太平洋离散板缘型地热带，其中东、西太平洋离散板缘型地热带合称环太平洋地热带。此外，还有红海—亚丁湾—东非离散板内地热带和地中海—喜马拉雅地热带。

开发地热。目前环太平洋地热带的开发利用水平高，这里既有“全球地热田之冠”美国加州的盖瑟斯地热田，又有后来居上者菲律宾地热田，还有“新西兰的地热之星”怀拉基地热田。尽管其他地热带的开发程度较低，但也有著名的冰岛地热田——被誉为“大西洋中脊上的地热奇苑”，以及西藏羊八井地热田——中国最大的高温湿蒸汽热田，二者发电潜力超过 100 万千瓦，展现出两地地热资源的丰富与潜力。此外，地热还广泛用于供暖制冷、农业等领域。

铀——开启了人类利用核能之火

铀是自然界能够找到的最重原生元素，主要包含铀-238（占 99.275%）、铀-235（占 0.720%）和铀-234（占 0.005%）三种同位素。“奥本海默带给人原子能之火”之后，铀即被用作核燃料（核能发电的主要燃料，²³⁵U>3%）和原子弹装料（²³⁵U>90%）之一。继摩擦取火、蒸汽机革命及电能应用之后，核裂变能再度引领人类开启了自然能源利用的新纪元。

核能发电。核电站就是以核反应堆替代火电站的锅炉，利用铀-235 在核反应堆中进行独特的“核燃烧”，所释放的热能将水加热转化为高温高压蒸汽，进而驱动汽轮机（也称涡轮机）发电，即将核能间接转换为电能，这是目前核能和平利用的最主要方式。我国最大核电站——深圳大亚湾核电站，年发电约 450 亿千瓦时。耐人寻味的是，多国正同步推进核电发展：法国重启核电计划，

相比核裂变能，核聚变能具有两大显著优势。首先，聚变燃料更为丰富，主要是氢的同位素氘和氚，并且氘大量储藏于海水中，每升海水中大约含有 30 毫克的氘，所蕴含的能量相当于 300 升汽油，被称为“未来天然燃料”；其次，核聚变能清洁安全，不产生放射性污染，且反应过程稳定可控，特别是氘—3 的核聚变反应，比氘氘聚变更清洁、高效、安全。如今，我国不仅拥有自主设计的“东方超环”（EAST）——世界首个全超导非圆截面托卡马克核聚变实验装置，还正在建造“紧凑型聚变能实验装置”（BEST），这使我国在探索可控核聚变研究领域走在了世界前列，或将引领一场“聚变革命”。

总之，随着化石能源的日益枯竭，作为零碳清洁的氢能（特别是天然氢）、地热能和核能，赢得了巨大的发展空间。我国更是积极有序推进氢能开发利用，促进氢能产业高质量发展；因地制宜发展作为可再生能源的地热能；安全有序发展核电——加强对核电站规划、选址、设计、建造、运行等环节的管理和监督（《能源法》）。

太阳赋能的新能源

地球上的自然能源之新能源，无论是现代生物质能（由植物通过光合作用转化太阳能而来；即便是化石能源，本质上也是埋藏于地下的史前生物储存的“太阳能”），还是风能、水能以及海洋能之海浪能（或波浪能）、海流能（洋流能）、温差能（或海洋能）及盐差能（或盐差梯度能），其原始能量主要源自太阳辐射，抑或是地球与月亮和太阳之间相互作用产生的引力势能，如海洋能中的潮汐能和潮流能这对孪生兄弟，更甭说太阳能——直接利用太阳辐射的能量。它们最终都源自太阳的能量，都是取之不尽、用之不竭的清洁可再生能源，是大自然赐予我们的绿色能源宝藏。

太阳能——无尽光芒 绿色动力

太阳能是指从太阳辐射到地球的光能和热能。它来源于太阳内部发生的核聚变反应，并以电磁波的形式辐射到地球，最早于 19 世纪被人类转化利用。

太阳能特点。太阳能具有三大特点：普遍性，只要太阳照耀的地方就可利用，即使夜间也可通过储存技术加以利用；巨大性，太阳每秒钟照射到地球上的能量相当于 500 万吨煤燃烧产生的热量，可谓巨大的能源宝库；长久性，可稳定地向地球辐射能量约 50 亿年。

太阳能利用。太阳能主要有光电和光热两大利用方式。光电利用通过太阳能电池板将阳光转为电能，关键技术为光电转换，已有晶体硅、薄膜、钙钛矿等电池，染料敏化、量子点等新型电池正在研发，光伏建筑一体化技术将发电产品与建筑融合，提供清洁电力。光热利用则通过集热器转换太阳光为热能，常见应用为太阳能热水系统，也为供暖技术打下基础。此外，太阳能还用于热发电、制冷及海水淡化等领域。

太阳能优势。光伏发电具有资源无尽、分布式发电（可散布于屋顶、阳台、荒漠等各个角落），使用寿命长（25～30 年）、运维成本低（只需常规清洁和检查）等优势，可谓经济实惠。光热利用则具备友好并网与调峰能力，并在装机规模扩大时具有成本优势。光热发电更是唯一能同时实现友好并网与有效调峰的可再生能源发电技术，或可满足全球电力需求。

因此，太阳能是一种无穷无尽且持久可用、但需克服能量密度低和间歇性的绿色能源，其魅力在于其可持续、经济、创新和社会价值；太阳能之美则体现了人类与自然和谐共生的理念。我国积极推进太阳能开发利用，坚持集中式与分布式并举，加快光伏发电基地建设，支持分布式光伏发电就近开发利用，积极发展光热发电（《能

源法》），并在广袤的沙漠戈壁上造就了光伏一绿化—牧羊生态奇观，且使中国光伏治沙的实践成了时代工程的典范。

风能——风舞翩跹 动力无限

风能，源自地球大气层流动的清洁能源，并伴随着地球的自转与太阳辐射的不均匀分布而生。本质上，它源于太阳辐射造成的地球表面受热不均匀，导致大气层压力分布不平衡，形成空气流动，也就是风，从而为人类提供了无尽的动力源泉。

风能特点。风能具有五大特点：广泛性，从平原到山脉、海洋到峡谷，空气流动处皆有风能，且不受地域时间限制；可再生性，只要地球自转不息，太阳辐射不均，风能就永不枯竭；波动性，受风速、风向、天气气候、地形影响，具有间歇性、季节性和不稳定性；差异性，资源分布不均匀如我国西北内陆与东南沿海资源丰富，需合理规划；生态友好性，其设施多为非立体化，利于保护生态和生物多样性，促进可持续发展。

风能分布。地球上的风能资源丰富，尤其在沿海和开阔大陆收缩地带。非洲风能蕴藏量达 650 万亿千瓦时/年，集中在苏丹、索马里和埃及；亚洲 500 万亿千瓦时/年，主要在俄罗斯、中国和哈萨克斯坦；北美洲 400 万亿千瓦时/年，以美国、加拿大和墨西哥为主。我国风能资源丰富区在“三北”和东南沿海，青藏高原、甘肃北部等地也拥有较丰富的风能资源。

风能利用。风力发电是利用风的动能驱动叶片旋转，再通过发电机将机械能转化为电能，这是目前风能利用中最常见也最商业化的方式。此外，还有风力致热将风能转换为热能的技术，转换方法主要有间接发热法、空气压缩放热法和液体搅拌致热法，主要用于供热采暖；风力提水利用风能驱动水泵抽水；风力灭火机用于森林防火；风能为船舶助航；风力驱动的汽车和飞行器更为

绿色出行提供新的可能。

风能优势。风力发电优势有三：基建周期短、占地少，单台机组安装仅需几周，多建于荒岛、沙漠等闲置土地上，高效利用资源；装机规模灵活、维护简便，采用分布式技术，可单机或多机运行，日常维护成本低；经济与社会效益兼具，既能降低能源成本，又能推动风能制氢等产业链发展，如并网型和离网型风电制氢技术。

因此，风能是一种潜力巨大、但需克服间歇性和不稳定性的绿色能源，其魅力在于其无尽的动力和清洁的特性；风能之美则体现在人类利用自然力、推动社会可持续发展的智慧与勇气中。我国积极开发风能，坚持集中式与分布式并举，加快风电基地建设，支持分布式风电就近开发，有序推进海上风电（《能源法》），使风电领跑世界，成了全球最大的风电装备制造和装机大国。内蒙古准格尔旗更是建成了绿色“风光氢储车”集群，展现了中国风能等清洁能源的风采。

水能——流水不息 能源绵绵

水能，源自地球水体（如河流、湖泊、瀑布）的重力势能与动能，是自然赋予、源源不绝的清洁能源。它依赖于地势起伏和水流循环，通过水体流动与落差展现能量。本质上，水能由自然地理条件导致的水体势能差异形成，在重力作用下转化为动能能量，为人类提供连绵不绝的动力资源。在我国，水能因历史悠久和技术成熟曾被视为传统能源，但从清洁可再生角度看，它又是新能源。不过，国际上通常仅将小水电视为新能源。

水能特点。水能具备四大特点：蕴藏丰富，遍布全球河流、湖泊及瀑布，不受地域限制；可再生性，自然水循环中持续生成，永不枯竭；稳定性好，适合大规模、长周期能源供应；环境影响大，水电站建设可能影响河流生态与水文，需合理规划。

水能分布。地球上的水能资源极为丰富，以亚

洲地区最为丰富，集中于中国、印度、俄罗斯。我国水能资源蕴藏量居世界首位，主要分布于西部的青藏高原及中部的长江流域、黄河流域等地。其中，长江、黄河两大水系的水能资源最为丰富。

水能利用。水力发电是通过建设水电站，利用水流的重力势能或动能驱动涡轮发电机转动，从而将水能转换为电能，这是目前水能利用中最主要也最成熟的方式，并且是许多国家电力供应的重要组成部分。此外，水电富余电力可用于制氢，环保且纯度高。

水能优势。水力发电优势主要有四：转换率高，能有效将水流能量转为电能；装机容量大；成本低廉，水电站建成后，运行稳定，仅需日常运维即可；促进区域经济的繁荣，带动基建、旅游及相关产业。

因此，水能应该是迄今为止最受欢迎且广泛采用的可再生能源，其魅力在于其源源不绝的动力与清洁环保的特性；水能之美则体现在人类利用自然力量、推动经济社会发展与生态保护和谐共生的智慧与努力中。我国统筹水电开发和生态保护，以三峡水电站——我国最大的水电站为代表，严控小型水电站建设，合理布局抽水蓄能电站，推进新型储能高质量发展（《能源法》）。

海洋能——深蓝宝藏 能量巨大

海洋能，源自浩瀚无垠的海洋，涵盖多种形式的能量，包括潮汐能、潮流能、海浪能、洋流能、海洋温差能及盐差能六种。本质上，它们主要来源于太阳辐射、月球和太阳引力以及地球自转等自然力量的作用，是蕴藏在浩瀚海水中的各种可再生能源，更是日月与大海的结晶。海洋能利用的概念最早可追溯至 100 年前，当时就提出利用海洋表层温差发电——通过海洋能转换技术（OTEC）的构想。

海洋能特点。海洋能具有四大显著特点：丰富性，海洋覆盖地球表面的近三分之二；多样性，以多种形式存在，每种形式都有其独特的开发方式和

应用场景；可再生性，源于自然界的循环过程，不会因人类利用而枯竭；巨大性，据估算，全球海洋能的总储量远超人类目前的能源需求。

海洋能利用。海洋能的利用方式多种多样，不仅有动能被潮汐、潮流、海浪、海流或洋流发电机转化为电能，而且有热能被海洋温差能发电机转化为电能，还有化学能被渗透能（盐度差引起）电站所利用。每种方式都蕴含着先进的技术和广阔的应用前景。目前全球已有潮汐能、潮流能和海浪能的示范项目。

海洋能优势。海洋能发电优势有五：发电方式多样，包括潮汐能、海浪能、海洋热能等，可依地区特点选择适合技术；技术成熟度高，如潮汐能和海浪能技术已相对成熟；发电稳定可靠，潮汐发电适于沿海供电，潮流发电适合海岛及近海能源供给；经济效益显著，因海洋能的能量密度高还可用于海水淡化等，具有多重效益。

因此，海洋能是一座深藏不露、潜力无限的蓝色宝藏，其魅力在于其可再生、清洁、多样和巨大的特点，吸引着全球倾力开发；海洋能之美则体现在浩瀚的蓝色海洋中，书写着人类探索新能源的壮丽篇章。我国通过立法推动海洋能规模化开发利用（《能源法》），尤其是潮流能发电技术引领世界，浙江 LHD 站成为首座获国际能源署认可的潮流能电站。

现代生物质能——生命之源 能源新生

生物质能是指利用自然界的植物和城乡有机废物，通过生物、化学或者物理过程转化成的能源（《能源法》）。其实，生物质能是太阳能以化学能形式储存于生物质中的清洁能源，源于生命、循环再生。它根植于大自然的生命循环，通过光合作用形成各种有机体——包括动植物、微生物及其废弃物所蕴含的能量，等待着人类的智慧去发掘和利用。

生物质能特点。首先，可再生性，源于生生不

息的生命活动，只要生命存在，就能源源不断地产生；其次，碳中性，燃烧释放的二氧化碳与植物生长吸收的二氧化碳持平，实现天然碳循环闭合；再次，无处不在，从广袤的森林到乡村的秸秆，从城市的厨余垃圾到养殖场的畜禽粪便，遍布生活各个角落；复次，灵活多变，以固态（如木柴）、液态（如生物柴油）和气态（如沼气）等形式存在，为能源利用提供了多样化的选择。

生物质能利用。现代生物质能的利用方式灵活多样，涉及生物质能的转化技术，既有物理转化技术（生物质成型燃料），又有化学转化技术（如直接燃烧发电、气化、热解和液化），还有生物-化学转化技术（如生物乙醇、生物柴油、氢和沼气等燃料），其间穿插着生物质利用技术——包括燃料乙醇制备、生物柴油制备、生物质制氢和沼气发酵等技术，还有生物质发电技术——包括垃圾、沼气和气化气等发电技术。可以说，每种方式都蕴含着高效的能源转换技术和广阔的应用领域。

生物质能优势。首先，低污染性与碳中性，硫、氮含量低，且生长、燃烧过程中二氧化碳平衡；其次，可再生性与总量丰富，来源既有植物，又有农业及林业废弃物，还有城市有机垃圾等，总量远超全球能源需求；再次，多样性与灵活性，既可制成固体燃料，又可发酵产沼气，还可气化发电，也可生产燃料乙醇及生物柴油；复次，经济高效与分散供给，生物质资源虽分布不均，而利用本地资源，可促进农业废弃物资源化，提升农业效益，为农村提供可靠能源，增强能源供应稳定性和安全性，实现能源分散供给优势。

因此，在全球可再生能源中，生物质能虽是唯一非零碳能源，而作为生命之源的能源新生和碳中性，一直是主要贡献者，在发展中国家被广泛使用。我国鼓励合理开发利用生物质能，因地制宜发展生物质发电、生物质能清洁供暖和生物液体燃料、生物天然气（《能源法》）。生物质能的魅力在于以

其可再生、环保、分布广和形式多样著称；生物质能之美更有助于构建人与自然和谐共生的美好家园，是生命循环与能源利用的完美结合。

此外，清洁能源转型推动了能源结构向金属密集型转变，涉及化学电源，既有锂电池，又有镍氢电池，也有钠离子、铅酸和铝电池。锂电池中的石墨烯电池更因高性能而备受关注。锂、镍、钴等金属因此成为新能源或清洁能源矿产的关键，催生了“有‘锂’走遍天下”“妖镍”“钴奶奶”等新词屡上热搜。“锂三角”阿根廷、玻利维亚、智利拟效仿石油输出国组织——“欧佩克（OPEC）”成立南美“锂佩克”，印尼也想搞所谓的“镍佩克”，锂被誉为新能源时代的“白色石油”。我国锂矿储量显著增长，2025 年初全球占比已达 16.5%，跃居世界第二，四川射洪等地更是打造了锂电全产业链，在新能源矿产领域彰显了强劲实力。

综上所述，新时代的“双碳”目标，呼唤着新能源，更呼唤着清洁能源。我国的页岩气、“可燃冰”和干热岩储量居世界之首，被誉为“能源之星”；而光伏、风能、水电并称“世界三大清洁能源”。可再生能源的开发与利用，正在引发一场深刻的能源革命——包括消费、供给、技术和体制四个方面，并提高终端能源消费“四化”——包括清洁化、低碳化、高效化、智能化的水平，成为构建清洁低碳、安全高效新型能源体系的关键。因此，可再生能源的最优利用是实现未来能源系统可持续性和零碳的核心，是破解能源危机、助力“双碳”目标实现的新密码。然而，能源领域的终极梦想是可控核聚变能——“人造太阳”，将点亮人类能源梦想。

第一作者单位 / 中国地质博物馆

四川文化艺术学院

（本文编辑：张佳楠）