

理 论 篇

能源与智慧能源

【学习目标】

1. 掌握能源的概念及能源的分类。
2. 掌握智慧能源的定义和特征。
3. 掌握智慧能源的体系架构。
4. 了解世界能源发展现状及能源危机产生的原因。
5. 了解我国新能源产业智慧化发展现状及趋势。

【章节内容】

能源是人类社会文明进步和经济发展的重要物质基础,安全可靠的能源供应体系和高效、清洁、经济的能源利用是支撑人类文明和社会持续发展的基本保证。能源的供应方式和技术水平决定了经济发展的水平,每次能源革命都伴随着经济结构调整,世界各国的经济腾飞和工业化必须以大量的能源消费作为支撑。为保障能源安全,实现碳达峰目标,我们必须大力调整能源结构,加快能源清洁低碳转型,壮大清洁能源产业,加速可再生能源开发,加大核电投资力度,提高能源供应中的电能占比,实现能源供给侧结构的有效调整,构建现代化能源结构体系,而发展智慧能源将在这个过程中发挥至关重要的作用,是发展现代能源体系的必经之路。

1.1 能源与智慧能源概述

1.1.1 能源概述

1. 能源的概念

能源是指可以直接或间接向人类提供的任何形式的能量资源、比较集中的含能物质(如煤炭、石油、天然气)或能量过程(如风、潮汐)。能源也称能量资源或能源资源,为人类的生

产生活提供重要的物质基础,是经济发展的重要动力,未来国家命运一定程度上取决于能源的掌控。能源的开发和有效利用程度及人均消费量是生产技术和生活水平的重要标志。

2. 能源的分类

能源种类繁多,根据不同的划分方式,能源可分为不同的类型,主要的分类方法如下。

1) 按能源的产生方式或成因分类

按能源的产生方式或成因分类,能源可分为一次能源和二次能源。

(1) 一次能源又称为天然能源,是指自然界中以天然的形式存在并没有经过加工或转换的能量资源,如煤炭。一次能源还可以进一步分为三类:煤、石油、天然气等属于第一类能源,风、流水中所含的能量也来源于太阳能,它们和草木燃料及其他由光合作用形成的能源在一起,都属于第一类能源;第二类能源是地球本身蕴藏的能量,如海洋和地壳中储存的各种核燃料及地球内部的热能;第三类能源是由于地球在其他天体的影响下产生的能量,如潮汐等。

(2) 二次能源又称为人工能源,是指由一次能源直接或间接转换成其他种类和形式的能量资源。人类基于自身的主观能动性,可以依靠一次能源制造或生产出许多种可供人类使用的能量形式,如电能、氢能、煤气、汽油、柴油、焦炭、洁净煤、激光和沼气等。

2) 按能源的技术开发程度分类

按能源的技术开发程度分类,能源可分为常规能源和新能源。

(1) 常规能源是指在现有的经济和技术条件下,已被人类广泛利用并在人类生活和生产中起过重要作用的能源,通常指煤炭等。

(2) 新能源是指采用新技术和新材料获得的、在新技术的基础上系统地开发利用的能源。新能源又称非常规能源,大部分是天然和可再生的,是未来世界持久能源系统的基础。按类别分类,新能源分为太阳能、风能、生物质能、生物柴油、燃料乙醇、氢能、地热能等。新能源普遍具有污染少、储量大等特点,对于解决当下面临的环境污染问题和资源(特别是化石能源)枯竭问题具有重要意义。另外,由于很多新能源分布比较均匀,对避免由能源而引发的战争也有重要意义。

在科技日益发达的今天,信息将成为一种特定意义的全新的能源形式,它将依附于各种节能理念、节能知识、节能机制和节能技术,大幅度提高人类的能源使用效率,节约更多的能源以满足新的需求。

3) 按能源的形成和再生性分类

按能源的形成和再生性分类,能源可分为可再生能源和不可再生能源。

(1) 可再生能源泛指取之不竭的能源。严格来说,可再生能源是指人类历史时期内都不会耗尽的能源,具有自我恢复原有特性并可持续利用,包括太阳能、水能、生物质能、氢能、风能、海浪能及海洋表面与深层之间的热循环等。地热能也可算作可再生能源。

(2) 不可再生能源泛指人类开发利用后,在现阶段不可能再生的能源,如煤和石油,它们都是古生物的遗体被掩压在地下深层中,经过漫长的演化而形成的(也称为“化石燃料”),被燃烧耗用后不可能在数百年乃至数万年内再生。

4) 按能源对环境的污染程度分类

按能源对环境的污染程度分类,能源可分为清洁能源和非清洁能源。

(1) 清洁能源是指对环境友好的能源,其主要特征是环保、排放少、污染程度小。清洁

能源更加注重高效的系统化的技术应用。

(2) 非清洁能源是相对清洁能源而言的。

5) 按能源的使用性质分类

按能源的使用性质分类,能源可分为燃料性能源和非燃料性能源。

(1) 燃料性能源是指用于直接燃烧而产生能量的物质,包括矿物燃料(如煤炭、石油、天然气)、生物燃料(如柴草、沼气)、核燃料(如铀)、化工燃料(如酒精、火药)。

(2) 非燃料性能源是指不能直接燃烧的能源,如水能、电能、蒸汽能、太阳能、风能、地热能、潮汐能等。

另外,能源可以按能源的实物形态分为固体能源、液体能源和气体能源,还可以按能源的属性分为商品能源、非商品能源、环境能源。

1.1.2 智慧能源的内涵与特征

2008年11月,IBM提出“智慧地球”概念。2009年8月,IBM又发布了《智慧地球赢在中国》计划书,正式揭开IBM“智慧地球”中国战略的序幕。数字化、网络化和智能化被公认为未来社会发展的大趋势,而与“智慧地球”密切相关的物联网、云计算等,更成为科技发达国家制定本国发展战略的重点。更透彻的感知、更全面的互联互通、更深入的智能化是智慧地球的基本特征。能源是整个地球的重要组成部分,显然,智慧能源也包含其中。

当今的世界能源格局正从“化石能源为主”走向“清洁能源、化石能源与节能并重”的时代。新时代的能源结构面临诸多挑战,既要解决化石能源短缺问题和避免环境污染问题,又要实现全球碳中和的远景目标,其关键在于如何有效地把现有以化石为主的能源体系与新兴清洁能源、可再生能源融合在一起,实现能源的高效利用,即尽可能减少能源的浪费,尽可能扩展清洁能源的应用。然而,新时代的能源结构需要满足日益增长的可持续能源需求,同时不损害环境、社会、经济和未来人类的福祉,已经成为世界性的新课题,而智慧能源的产生和发展将有助于解决这一世纪难题。智慧能源概念的引入,核心在于如何充分发挥能源结构中各部分之间的协同作用。以智能电网为例,在确定能源基础设施设计和运营战略方法时,往往只需要关注其机构相关的子部门,而智慧能源则需同时考虑整个能源系统,如对个别技术和部门的分析,必须建立在整个高效运行的能源系统基础之上,即需要厘清整个系统各部分的相互影响,充分发挥各部分之间的协同作用,只有这样才能找到最根本、最有效、成本最低的解决方案。具体来讲,智慧能源是将现有的水能、太阳能、风能、天然气等单向运转而且浪费巨大的能源网络,以智能电网为触媒,改造为高效互动的创新网络。智慧能源可推动能源设施从孤岛系统向柔性能源生态集群转变,形成人、机、网、市场四位一体的格局。因此,整个能源系统的智慧化对全球能源变革至关重要。

智慧能源是指将先进的信息技术、通信技术、智能控制技术、储能技术与能源生产、供应、消费相融合的一种能源应用技术。针对地热能、太阳能、空气能、水能、天然气等多种可再生能源与清洁能源,运用冷热回收、储能、热平衡、智能控制等新技术对各种能量流进行智能平衡控制,实现能源的循环往复利用,一体化满足制冷、供热、热水、冷藏冷冻、发电等多种需求功能。

1. 智慧能源的内涵特征

通常,对智慧能源的理解,在狭义上主要是以现代高科技为核心,致力于发展清洁、低

碳、高效的能源模式；在广义上，智慧能源囊括了多个产业，包括互联网产业、通信产业，以及涉及能源各环节的装备产业，即智慧能源不仅包括能源的生产，还包括能源的储存、转换、运输、并网、消费等，也包括其他相关的周边产业，以及相关的技术支撑和政策机制。

智慧能源是以电力系统为核心，多种类型能源在物理网络上互联互通，充分利用互联网思维和物联网技术，实现横向多能互补，纵向“源网荷储”协调优化，具备全面互联、全面感知、全面智能、全面协同等特征的新型能源生态体系。其技术本质是通过信息的充分和自由流动，有效降低能源系统的随机性，消除不确定性，更好地解决能源安全、清洁低碳、高效便捷等基本问题。智慧能源的内涵特征如下。

(1) 智慧能源是一种特定意义的新能源。按能源的技术开发程度分类，能源可分为常规能源和新能源。新能源是在新技术基础上系统开发利用的能源。倪维斗院士指出新旧能源是相对的，如果能使目前主力化石能源的效率大幅度提高，能大幅度减少二氧化碳排放的能源，即实现传统能源的更新换代和高效利用，都可以算作新能源。照此标准，煤制天然气，煤的高效、清洁和可持续利用都可以纳入新能源的范畴。智慧能源是从能源结构到生产方式、使用方式都发生变化的状态，是对能源体系进行的改革，是高效、低碳、可持续发展的。智慧能源把计算机技术应用到能源的领域，对所有的能源进行管理上的最优化，通过专业技术去吸收热能、冷能及环境的能，再通过能量流和信息技术的融合产生巨大的协同效应，达到最高能效。智慧能源能够增加能源接入的总量，提高能源的生产效率和利用效率，还能减少能源的浪费。因此，智慧能源可以理解能源的一种新常态，是一种具有特定意义的新能源。

(2) 智慧能源是一种整体的能源解决方案。智慧能源不是通用的，而是要针对具体的实际问题进行设计，具有很强的以问题为导向的特征。一方面，智慧能源不只考虑能源的某个环节，而是综合考虑能源的生产、输送、消费等环节的运作情况，还考虑各环节的互动情况；另一方面，智慧能源所涉及的能源常常是多种能源，从整体上采用智能化手段进行优化设计，以达到高效、节能、清洁的目的。

(3) 智慧能源是一个高效、互动的能源体系。智慧能源囊括了多个产业、多个体系，与传统能源在结构和功能上都具有较大的区别。首先，智慧能源中的“智慧”涉及能源生产、储存、运输、消费等各个环节，以实现各个环节的高效运作为目标。其次，在实现“智慧”的过程中，“互动”是一个主要特征，“互动”可以实现各个环节准确的信息交换，为整个能源体系中的资源配置、决策制定提供了准确的信息导向，从而减少能源各个环节的资源浪费。

(4) 建设智慧能源优先发展智能电网。智慧能源虽然涉及多种能源，但是，因电力在国民经济中的重要地位及电力系统发展的状况，从国内外能源的发展状况及未来几年的发展趋势来看，建设智慧能源应优先发展智能电网。在其他能源的发展中，智慧水资源、智慧燃气发展较快。

2. 智慧能源的基本特征

作为一种全新的能源形式，智慧能源重塑了整个能源系统的业务流程和业务模式，通常被认为是基于系统能效技术、互联网技术、信息通信技术、智能计量技术、大数据分析技术和数据控制与优化等技术，从能源产业链的合并，逐步实现涉及能源生产、储存、传输分配、消费及控制等整个能源产业链的智能化。智慧能源强调能源安全供给、经济竞争力和环境可持续性多个维度的统筹兼顾，通过能源产业链整合，提升能源投入产出比，降低环境和生态的影响，全面适应和充分满足生态文明的新需求。在智慧的背景下，能源不再只是一种商

品,而是改变人们生活的一种模式。

因此,智慧能源具有如下几方面基本特征。

(1) 智能高效。智慧能源作为一种整体解决方案,提供的是一种手段,即如何使能源智慧化,而智慧化的最终目的是实现高效利用。能源种类繁多,在能源的生产、储存、运输、调用、消费等方面,均可利用专业的智能化技术,优化各个环节的资源配置和服务,实现整个能源利用过程中的智能高效。

(2) 系统融合。智慧能源是一个体系,涉及诸多行业,贯穿能源生产、消费的各个环节。要实现能源各环节及整个能源系统的高效、清洁,就必须实现能源各环节之间准确的数据交互和融合,然后从整个能源系统角度进行政策调整和资源配置,减少决策延迟和失误,保证各环节之间的高效配合和互动,从而实现能源的高效利用。因此,在智慧能源中,系统的高度融合是一个明显的特征。

(3) 多能互动。智慧能源在结构上涉及多个行业,同时在能源类型上也囊括了多种能源,如不可再生能源、可再生能源、清洁能源等。智慧能源要实现能源的高效利用,就必须实现多种能源的相互配合,不仅要体现“少浪费”,还要体现“清洁”,如太阳能、风能的高效使用,将通过与其他能源的“互动”,进行多能互补,从而实现能源的高效、清洁。

(4) 广泛互联。智慧能源是一种能源利用模式,涉及多种能源的配合利用,而在这个互动过程中,“广泛互联”的建设是一个基本条件,如发展智慧能源,可优先发展智慧建筑、智慧微网和智慧电网等。“广泛互联”不仅仅包括能源的互动互联,同时包含能源系统中其他一切相关信息的互通互联,如能源需求侧的信息、各环节储能系统信息、各环节消费信息、安全信息等。只有实现了“广泛互联”,才能实现整个能源系统的“智慧”。

1.1.3 智慧能源的体系构架

1. 智慧能源体系的概念

2020年9月,国家能源局印发《关于加快能源领域新型标准体系建设的指导意见》,明确目标导向,深化能源标准化工作改革,在智慧能源、能源互联网、风电、太阳能、地热能、生物质能、储能、氢能等新兴领域,率先推进新型标准体系建设,发挥示范带动作用。

智慧能源体系是基于互联网思维,联合多种能源供给体系的一种较为高级的供给系统,结构上主要包括泛能网、微电网、智能电网、能源互联网。首先,这种供给系统以互联网为基础,对不同形式的能源进行监控、管理、调度,通过优化能源结构,加大多能互补,高效利用清洁能源;其次,可借助能源互联网,实现能源的线上交易和精准管控,实现供需对接、按需流动,促进资源的高效利用,减少能源的浪费。

智慧能源体系具有智能高效、系统融合、多能互动、广泛互联等特点,其体系结构以清洁、高效、灵活为目标,通过积极整合及协调泛能网、微电网、智能电网、能源互联网等多组态能源形态,实现就地、局域、地区及跨区范围的多能互补和能源资源优化配置。

2. 智慧能源体系的内容与特征

1) 智慧能源结构体系

智慧能源结构体系可以顺利实现不同类型和规模的能源与需求之间的快速实时平衡、灵活调度、优化配置、高效运行。它是基于互联网思维,由多个能源供应系统组成的新一代

能源系统,在能源技术革命过程中具有里程碑意义。智慧能源结构体系物理形态包括微电网、泛能网、智能电网和能源互联网。

(1) 微电网是指由分布式电源、储能装置、能量转换装置、相关负荷和监控、保护装置汇集而成的小型发配电系统,是一个能够实现自我控制、保护和管理的自治系统,既可以与外部电网并网运行,也可以孤立运行,是智能电网的重要组成部分。

(2) 泛能网基于系统能效技术,通过能源生产、储运、应用与回收循环四环节能量和信息的耦合,形成能量输入和输出跨时域的实时协同,实现系统全生命周期的最优化和能量的增效,能效控制系统对各能量流进行供需转换匹配、梯级利用、时空优化,以达到系统能效最大化,最终输出一种自组织的高度有序的高效智能能源。

(3) 智能电网是以电为核心,具备电源、电网和用户间信息双向流动、高度感知及灵活互动的新一代电力系统。智能电网是一个由众多自动化的输电和配电系统构成的电力系统,以协调、有效和可靠的方式实现所有的电网运作,具有自愈功能,快速响应电力市场和企业业务需求,具有智能化的通信架构,实现实时、安全和灵活的信息流,为用户提供可靠、经济的电力服务。

(4) 能源互联网是智能电网发展的高级阶段。它由一个或多个跨区域相互连接的智能电网子系统构成,能够在同一个信息物理系统中实现多种能源的协调和优化。换言之,能源互联网是指以智能电网为基础平台、以互联网为支撑构建的多类型能源网络,即利用互联网思维与技术改造传统能源行业,实现横向多源互补、纵向“源—网—荷—储”协调、能源与信息高度融合的新型能源体系,促进能源交易透明化、推动能源商业模式创新。

可以从多个角度来理解微电网、泛能网与智能电网之间的关系。就能源品种而言,微电网主要供应电力,泛能网则强调多种能源综合优化利用,实现冷热电三联供。就区域范围而言,微电网和泛能网都可以满足局部地区的用电或用能需求,实现能源的自平衡,泛能网具有区域多能源融合及广域能源协同优化的特征,智能电网的范畴更大,既包含大电网又包含区域电网,也包含微电网或泛能网。就应用场景而言,微电网可以促进分布式电源的消纳,减少对大电网的冲击,提升供电可靠性,泛能网可以满足对冷热电需求较大的工业园区,通过多种能源之间的转换,提升能源整体利用效率。

2) 智慧能源生态体系

发展智慧能源,其生态体系的打造将是重中之重。智慧能源生态体系涉及诸多机构,如新能源企业、石油企业、电网企业、能源储备制造企业、能源交易中心、科研机构、政府机构等,通过打造相关智能化平台,连接整个产业链,汇集各方力量,以用户为核心,整合供给与需求侧资源配置,形成智慧能源生态圈闭环。通过产业链智能化转型,不断推动生态圈成长,如能源生产、能源消费、能源管理、能源储运等方面的智能化、数字化,如图 1-1 所示,将能源流、信息流、价值流合为一体,打造成多方互利共赢的良好生态。

3) 智慧能源体系的主要特征

智慧能源体系具有安全可靠、清洁低碳、智能高效等特征。

(1) 安全可靠。智慧能源体系是基于能源系统结构的优化、能源技术的进步、能源的高效开发和利用而建立的,是以保障能源安全供应、控制能源系统安全风险为目的而建立的。

(2) 清洁低碳。智慧能源体系除了推动各类能源的高效利用外,也是实现能源清洁低碳的纽带。智慧能源体系的建立,利于可再生清洁能源从规模效应向质量取胜转变,可解决太阳能、风能等能源不稳定的问题,同时利于化石能源的清洁利用和核能的安全发展,利于

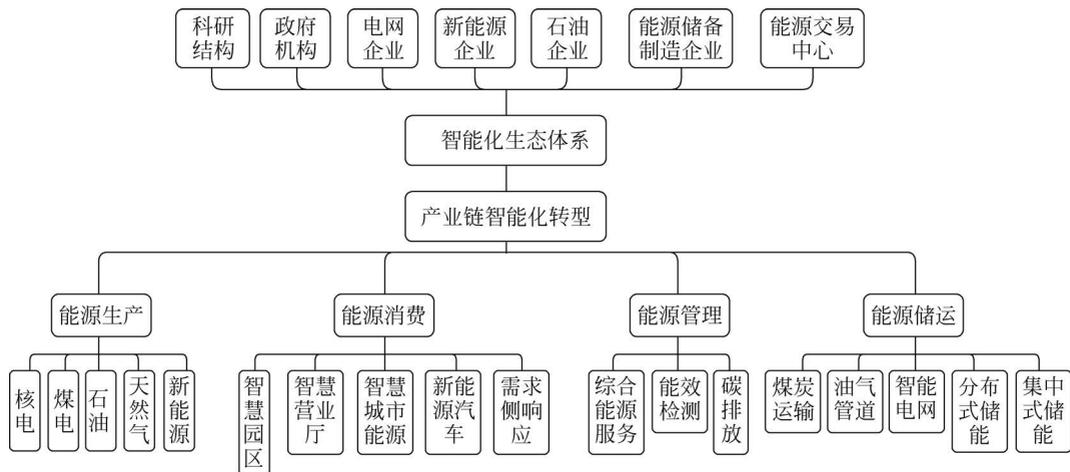


图 1-1 智慧能源生态体系

能源和社会的清洁低碳。

(3) 智能高效。智慧能源体系是基于人工智能、大数据、数字化等技术而建立的,利于能源各环节的智能化、高效化。智慧能源体系通过成本控制、安全防护、多能互补,催生行业新业态,大力推进能源转型。

3. 智慧能源体系架构

智慧能源总体架构是以智能化为核心,基于智能云、物联网等基础设施平台及 AI 中台、知识中台、业务中台、数据中台等,借助云计算、人工智能、大数据、区块链等技术,最终推动能源企业实现智能化转型。其架构主体包括数字化基础设施层、平台层、应用层,可根据不同企业特性和要求,形成定制化解决方案。同时,为有序推进智慧能源建设,架构还包括能源生态体系、运营服务体系、网络安全保障体系和标准规范体系,如图 1-2 所示。

数字化基础设施层是能源企业的信息基础设施,包括机器人、无人机、智能传感器(如测试烟雾、油温等)、智能燃气表、服务器、存储、网络设备等,支撑企业信息沟通、服务传递和业务协同。

数字化平台层是实现新兴技术对能源企业赋能的核心,以智能云平台、IoT 平台为基础, AI 中台为核心,配合数据中台、知识中台与业务中台,打通企业的能源流、信息流、价值流,助力企业智能化转型全过程。AI 中台是企业 AI 能力的生产和集中管理平台,包括 AI 能力引擎、AI 开发平台两部分核心能力及管理平台。能力引擎包括如人脸识别、语音识别(ASR)、自然语言处理(NLP)等通用服务以及领域专用 AI 服务。基于 AI 中台,企业将拥有建设 AI 开发和应用的自主能力、集约化管理企业 AI 能力和资源,统筹规划企业智能化升级版图。知识中台是基于知识图谱、自然语言、搜索与推荐等核心技术,依托高效生产、灵活组织、便捷获取的智能应用知识的全链条能力,厘清业务逻辑,用机器可以理解的方式将知识组织起来,从而建立符合企业需求的智能化应用,推动企业向智能化发展,重塑企业发展格局。

数字化应用层是将人工智能、云计算、大数据、区块链等技术与能源勘探、开采、生产、储运、消费场景深度融合,广泛应用于能源企业各个场景。以智能化手段解决能源企业发展中的突出问题,支撑能源企业智能生产、精益管理、业务创新,提升企业生产服务能力,帮助企业提质增效,最终实现企业智能化转型。按照能源业务价值链划分,可以将能源智慧化应用

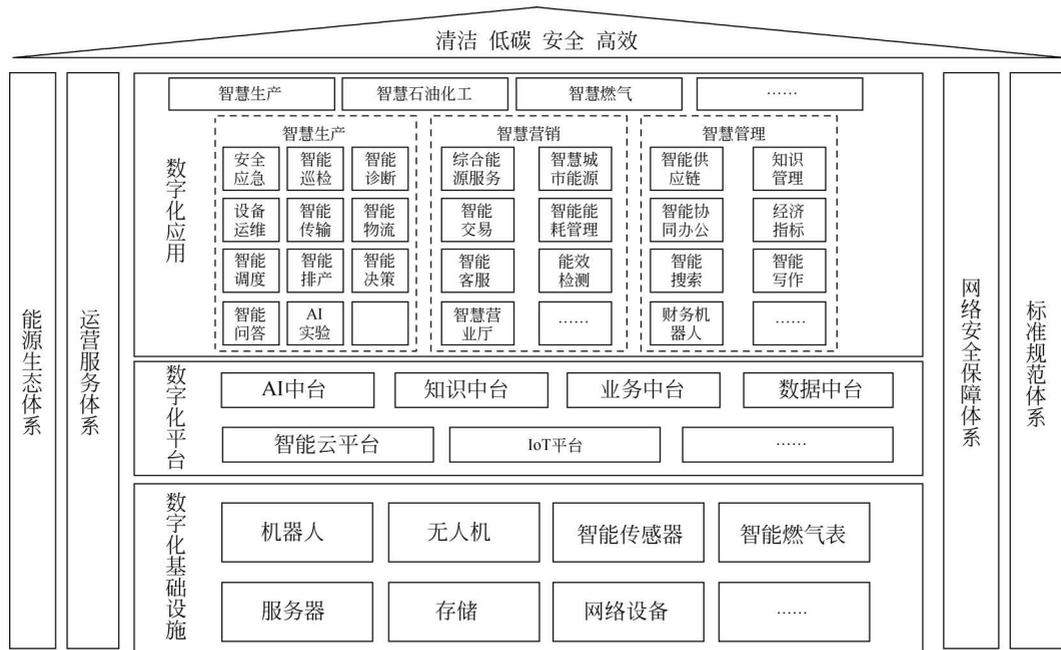


图 1-2 智慧能源的总体架构

分为三大应用领域：智慧生产、智慧营销、智慧管理。四体系是指智慧能源建设的四大保障体系：能源生态体系、运营服务体系、网络安全保障体系、标准规范体系。其中能源生态体系包括能源企业、高科技信息化技术企业、设备制造企业、咨询机构、工程建设企业、运输服务企业、能源交易中心等共建共享生态圈；运营服务体系包括运营模式、管理组织、创新交流等；网络安全保障体系包括信息安全监管、测评、应急处置等体系；标准规范体系包括总体标准、基础设施、支撑技术与平台、管理与服务等标准规范。

1.2 世界能源发展现状

地球拥有十分丰富的能源资源，除化石能源以外，还有太阳能、水能等可再生资源，当前世界能源的消耗以化石能源为主。

1.2.1 能源生产情况

1. 石油

截至 2020 年年底，全球探明的石油剩余可采储量为 2.444×10^{11} t。按地区划分，可采石油主要分布于中东地区，储量为 1.132×10^{11} t，约占世界总储量的 48.3%。按国家划分也极不均匀，石油输出国组织(OPEC)拥有 70.1% 的全球储量，储量最高的国家是委内瑞拉(占全球储量的 17.5%)，紧随其后的是沙特阿拉伯(占全球储量的 17.2%)和加拿大(占全球储量的 9.7%)。中国石油探明储量为 3.5×10^9 t，占世界石油剩余可采储量的 1.5%，位列世界第 13。