

# 聚变发电站总平面布置优化

李新凯<sup>1,✉</sup>, 向魁<sup>1</sup>, 李华<sup>2</sup>, 朱光涛<sup>1</sup>

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663;  
2. 中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘要:** [目的] 在中国聚变工程试验堆(CFETR)的概念设计过程中, 厂区总平面布置意义重大, 通过对厂区总平面布置面临的储能系统和布置进行比较, 初步探索聚变发电厂厂区总平面的布置方案。[方法] 根据聚变发电厂工艺流程、储能技术路线及储热介质的分析、研究, 通过组合储能方式和布置形成了四种方案, 进行了技术经济对比。[结果] 熔融盐储能经济优势突出, 但高温腐蚀问题对核电站安全运行影响较大, 导热油方案则刚好相反。提出的储能区与核岛、常规岛的三角形布置或串联布置方案均符合总平面布置要求, 并且能很好地满足全厂热力系统及储能系统热力运行流向。[结论] 储能技术路线及储能区的布置是影响聚变发电厂布置的关键因素, 提出的布置方案均能很好地适应新增加的储能系统热力运行, 为后续聚变发电厂总平面布置提供参考。

**关键词:** 聚变发电站; 储能; 储热; 厂区总平面; 总平面优化

中图分类号: TL4; TL48

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)02-0063-07

开放科学(资源服务)二维码:



## General Layout Optimization for Fusion Power Plant

LI Xinkai<sup>1,✉</sup>, XIANG Kui<sup>1</sup>, LI Hua<sup>2</sup>, ZHU Guangtao<sup>1</sup>

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China;  
2. Institute of Plasma Physics, Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, Anhui, China)

**Abstract:** [Introduction] The general layout of the plant has great significance for the conceptual design process of the China Fusion Engineering Test Reactor (CFETR). Herein, preliminary exploration of the fusion power plant general layout has been conducted by comparing various energy storage system selection and planning energy storage area layout. [Method] This research analyzed the energy flow characters of the fusion power plant, energy storage technology route and the characteristics of heat storage materials. Techno-economic comparisons have also been given among four plans of various combination of heat storage methods and their layouts. [Result] We find that the molten salt storage solution has outstanding economic strengths, but its high temperature corrosion has a greater impact on the safety operation and maintenance of nuclear power plants, while the heat transfer oil solution is just the opposite. Therefore, the results show that triangular arrangement or tandem arrangement of energy storage areas with nuclear islands and conventional islands can well meet the thermal system of the whole plant and the thermal operation flow direction of the energy storage system, which is in line with the general layout requirements. [Conclusion] In conclusion, the energy storage technology route and the arrangement of the storage area are key factors affecting the layout of fusion power plants. The layout presented in this paper are all well adapted to the thermal operation of the newly added energy storage system that may be applied in the fusion power plant general layout.

**Key words:** fusion power plant; energy storage; heat storage; general layout; general plane optimization

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

收稿日期: 2022-03-22 修回日期: 2022-04-29

基金项目: 中国能建广东院科技项目“核聚变发电厂常规岛概念设计技术研究”(EV05571W)

2021年9月,中共中央国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》,为实现碳达峰、碳中和,提出我国的绿色低碳循环发展的最终目标:到2060年绿色低碳循环发展的经济体系和清洁低碳安全高效的能源体系全面建立,能源利用效率达到国际先进水平,非化石能源消费比重达到80%以上。为实现该目标,近年来我国一直致力于加快构建清洁低碳安全高效能源体系,严格控制化石能源消费。而以太阳能和风能为代表的新能源发电“靠天吃饭”,具有波动性、随机性、间歇性的不足,依然需要煤电发挥基础保障性和系统调节性电源的作用;我国富煤贫油少气,天然气发电不利于把能源的饭碗牢牢端在自己手里。核能作为一种清洁、高效、优质的能源,“积极、安全、有序发展核电”成为我国优化能源结构、保障能源供给安全、实现“双碳”目标、应对气候变化的重要手段<sup>[1]</sup>。

我国核能发展长远目标是发展核聚变技术<sup>[2]</sup>,从而基本上“永远”解决能源需求的矛盾,中国聚变工程试验堆(CFETR)正是我国自主设计、研发用于发电应用的核聚变堆型。厂区总平面布置统领着全厂各系统的优化规划,对于一个核电厂全生命周期的安全、经济运行有着决定性的意义。本文通过对试验堆工程概念设计过程中,厂区总平面布置所面临的储能系统选择和布置进行方案比较,初步探索聚变发电厂厂区总平面的布置方向。

## 1 核聚变发电厂工程方案简介

### 1.1 工作原理及能量输出特性

核聚变发电是一种利用原子核聚变反应产生热

能,然后利用热能发电的技术。聚变发电厂(Fusion Power Plant - FPP)是CFETR的能量输出装置。CFETR运行时的能量流程主拓扑架构如图1所示,该图展示了从托卡马克主机热源到发电并网的能量流程,发电厂子系统包含蒸汽发生器、汽轮机、同步发电机和并网变压器等组件,实现聚变堆输出热能转换成机械能,最终转换成电能、并输送到电网的全过程。

现阶段的聚变堆发电具有如下特性:(1)聚变反应以脉冲式进行。受限于当前的物理模型和材料特性,等离子体放电平顶段持续一段时间后,必须进行短时停机再重新开始放电过程;(2)等离子体存在破裂可能。受限于等离子体运行机制特性,等离子体放电存在着“破裂”的可能性,当“破裂”发生时即出现热淬灭,等离子体放电被迫中止。由于等离子体控制的复杂性,破裂或者其他不稳定因素均会导致能量输出不稳定。

因此,为应对聚变堆能量输出不稳定,现阶段CFETR的系统设计除参照传统发电厂的汽机发电机配置外,机组配置集中体现了如下两个方面特点:

1) 无论是运行间隔还是等离子体破裂,都将导致一回路输出能量断崖式下跌,使得汽轮机的进汽参数急剧下降,无法继续满足机组运转的最低需求,从而导致停机。按照机组寿命和运行要求,不允许存在该情况。而且,对电网冲击也较大。因核岛功率输出的不稳定性,工艺侧需考虑设置中间储能缓冲系统,以解决核岛能量输出波动问题,以确保汽轮机机组能够安全、平稳运行,并能稳定发电输出。

2) CFETR运行期间,核岛物理实验需求不得受

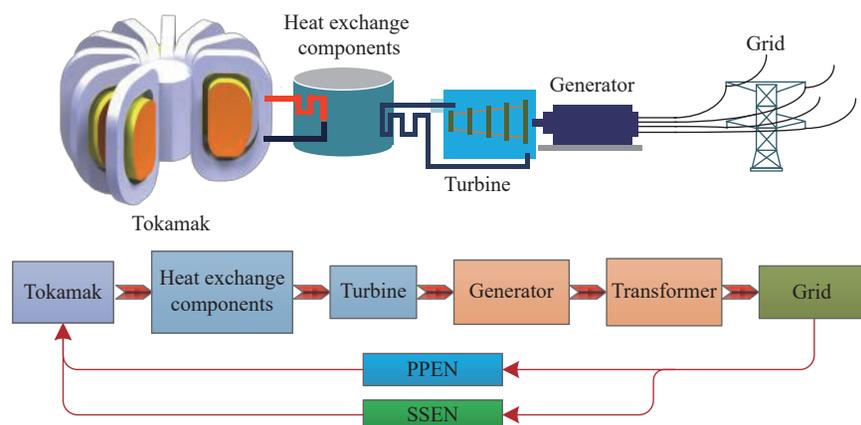


图1 CFETR发电厂能量流程图

Fig. 1 Energy flow chart of CRETR power plant

到常规岛故障影响而停机,即要求考虑在常规岛机组故障时,核岛仍能正常工作。因此,为满足核岛不间断运行的要求,在核岛侧 Tokamak 主机和蒸汽发生器间设置并联的辅助散热系统,当汽轮发电机组发生停机的工况,启用辅助散热系统,旁路蒸汽发生器,通过在一回路侧并联辅助散热系统,持续导出核岛热量,确保核岛正常运行。

## 1.2 厂区总平面布置的变化

根据 CFETR 能量输出不稳定的特性以及 Tokamak 主机实验不得受到常规岛故障影响而停机的要求,CFETR 聚变发电厂工艺系统增设了中间储能缓冲系统及辅助散热系统。

辅助散热系统是为满足实验需要而设置的系统,不是核聚变发电厂的必然配置。辅助散热系统拟通过常规岛旁路换热器及相关管道连接至常规岛的循环水供水系统,实现汽轮发电机组停机状态下的核岛堆芯热量排出。换热器的一次水为核岛一回路工质;二次水为循环冷却水,循环冷却水来自电站的循环水泵房。散热系统可根据 CFETR 所处厂址自然环境采用直流循环冷却或二次循环冷却,布置较为常规,本文不展开论述。

针对 CFETR 能量输出不稳定问题,在概念设计过程中提出的解决方案是配套建设中间储能缓冲系统。可再生能源发电项目同样具有明显的间歇性发电特征,而光热储发电一体化模式成为了有效的应对方案。光热发电最明显的优势是在储热的配合下连续稳定发电,成为既可以承担基本负荷,又可以承担调峰任务的电网友好发电类型<sup>[3]</sup>。目前塔式太阳能光热发电项目通过配套建设储热系统已在国内外均拥有成功的运行经验,证明方案可行、可靠。为此,采用相对成熟、可靠的储热式中间储能缓冲系统同样成为现阶段聚变堆发电的应对方案。增加储能(热)区后的厂区总平面布置中面临着如下问题:(1)储热介质选择;(2)不同储热介质的储量不同从而导致储热区占地出现巨大差异;(3)储热区占地占厂区用地比重大;(4)核电厂储热布置缺乏规范依据。

## 2 储能系统布置方案

### 2.1 储能系统技术路线

近年随着储能产业的发展以及储能技术不断突

破,诸如储热技术、氢储能技术、压缩空气储能等大量技术已经实现了较大规模的示范应用。储热技术不仅从技术上和经济上可以实现规模化,同时具有能量密度高、寿命长、利用方式多样、综合热利用效率高的优点<sup>[4]</sup>,在储能工程中得以广泛应用。众多储热材料中,显热储热技术成熟、操作简单、是目前应用最广泛的储热方式之一,其中导热油、熔盐等物质常常应用于中高温领域( $>120^{\circ}\text{C}$ ),是 CFETR 中间储能缓冲系统的现阶段较为理想的储热介质。

发电机组的热循环效率取决于驱动汽轮机的蒸汽温度,而 CFETR 中的蒸汽温度取决于隔离包层的冷却剂温度,汽轮机参数必须与包层的设计方案兼容。本工程在设计中核岛提供的主蒸汽按隔离包层的不同,分别按饱和蒸汽与过热蒸汽两种方式考虑,相对应储热工质、储热工质特性等主要参数如表 1 所示。

表 1 储能系统参数表

Tab. 1 Parameters of energy storage system

项目	方案一	方案二
核岛冷却包层	水	氦
储热工质	氢化三联苯型 导热油	Solar salt 熔融盐
闪点	184 $^{\circ}\text{C}$	不燃
工作温度范围	295~320 $^{\circ}\text{C}$	310~565 $^{\circ}\text{C}$

以方案一为例,增加储能系统后的核岛一回路及储热工质回路的运行原理如图 2 所示,实际上是在一回路到二回路之间,增加一个换热储能的过程,该系统起到了缓冲和蒸汽稳压的双重作用。

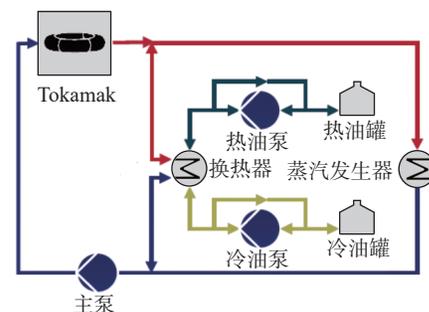


图 2 储能系统热力运行示意图

Fig. 2 Schematic diagram of energy storage system operation

### 2.2 储能系统布置方案

针对储能系统储热工质参数,根据我国现行《建

筑设计防火规范》关于生产火灾危险性的分类<sup>[5]</sup>及《塔式太阳能光热发电站设计标准》关于储热区域布置的要求<sup>[6]</sup>,两个方案的储热工质布置要求确定如表2所示:

表2 储热工质布置原则

Tab. 2 Layout principles of heat storage materials

项目	方案一	方案二
储热工质	氢化三联苯型 导热油	Solar salt熔融盐
生产火灾危险性	丙	戊
工作温度范围	295~320 °C	310~565 °C
储罐布置方式	露天独立布置	露天独立布置
储罐防护堤	罐区四周设置≥1 m高不燃性实体防护堤, 堤内有效容积≥11 000 m <sup>3</sup>	罐区四周设置≥1 m高不燃性实体防护堤, 堤内有效容积≥2 200 m <sup>3</sup>
储热区理论占地面积	~40 000 m <sup>2</sup>	~10 000 m <sup>2</sup>

通过排列组合方式,分析储热区与核岛、常规岛的布置关系,初步筛选出3种方案作为总平面布置的研究方向,如图3所示。

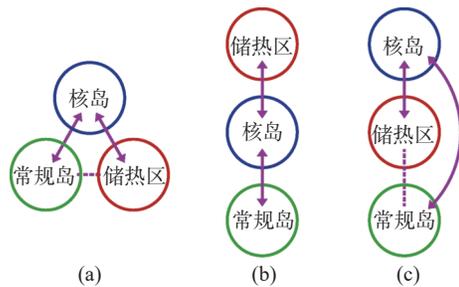


图3 核岛、常规岛及储热区布置关系图

Fig. 3 Layout diagram of NI, CI&amp; heat storage area

根据核电厂原则性热力系统,核岛的蒸汽发生器把二回路的给水加热成蒸汽,蒸汽通过汽轮机把热能转换成机械能,再推动发电机发电转换成电能。为减少热能在传递过程中的损失,常规岛与核岛紧邻布置的方式最为合理,在现有各种技术路线的核电总平面布置来看,两者均是如此布置。因此,图3核岛、常规岛及储热区布置关系图中的方案(c)将核岛与常规岛隔离,增加了二回路管道的长度,降低了热能传递效率,布置格局不合理,不再考虑该方案的格局。

### 2.3 总平面布置方案

根据假定的建厂条件,本概念设计按沿海厂址考虑。本工程建设1台350 MWe级(暂定)核聚变堆核电机组(预留1台汽机扩建),并设置中间储能

缓冲系统、常规岛及其BOP工艺系统,常规岛采用海水直流冷却方式。

根据功能要求,核电站厂区分四个区域:主厂房区、辅助生产区、开关站区及厂前建筑区。其中辅助生产区、开关站区及厂前建筑区与现有的核电厂布置无原则区别,厂区总平面将对主厂房区的不同布置方案进行重点研究。

根据储热工质的不同,以及储热区与核岛、常规岛的布置关系不同,通过配对组合方法,主厂房区的布置关系共设计出如表3所列的4个方案。

表3 布置组合方案表

Tab. 3 Combination schemes of layout

方案	导热油储能	熔融盐储能
方案一	(a)格局	—
方案二	—	(a)格局
方案三	(b)格局	—
方案四	—	(b)格局

注:表格中的(a)、(b)格局指图3所列格局。

#### 1) 方案一

本方案主厂房区的核岛、常规岛及储热区呈三角形布置,如图4所示。两组导热油储热区独立布置在核岛及常规岛的东侧。主厂房区总占地约21.35 hm<sup>2</sup>。

#### 2) 方案二

本方案主厂房区的核岛、常规岛及储热区呈三角形布置,如图5所示。由于Solar salt熔融盐储热区占地较小,可就近布置在核岛辅助厂房的南侧。

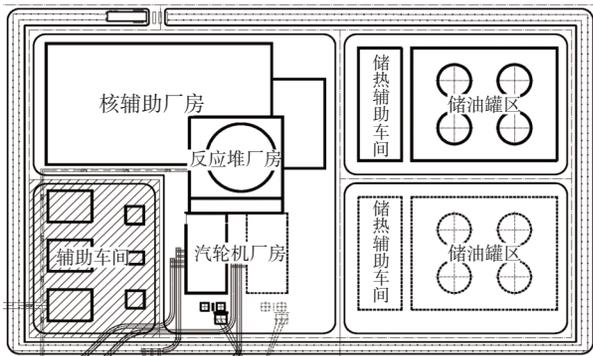


图 4 方案一  
Fig. 4 Scheme 1

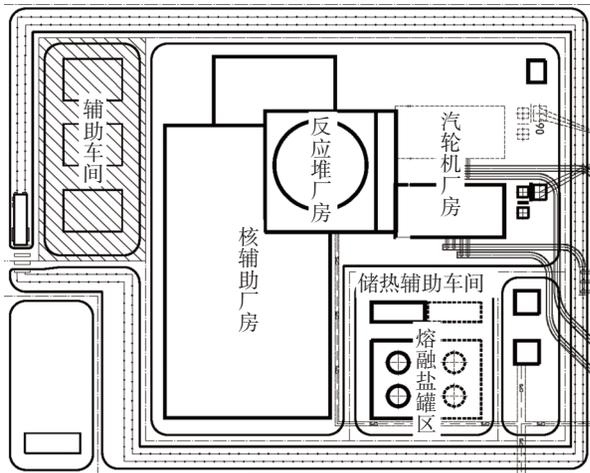


图 5 方案二  
Fig. 5 Scheme 2

主厂房区总占地约 14.97 hm<sup>2</sup>。

### 3) 方案三

本方案主厂房区的储热区、核岛及常规岛采用顺列串联方式布置, 如图 6 所示。导热油储热区布置在核岛的北侧。主厂房区总占地约 21.64 hm<sup>2</sup>。

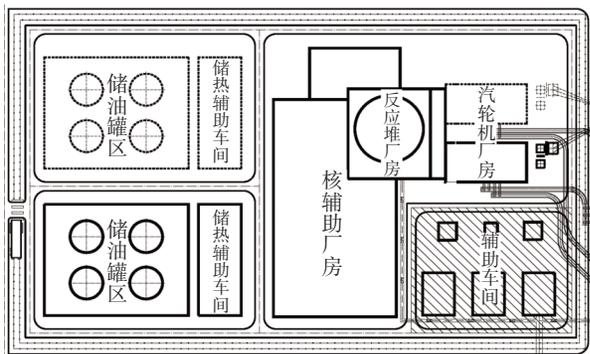


图 6 方案三  
Fig. 6 Scheme 3

### 4) 方案四

本方案主厂房区的储热区、核岛及常规岛采用顺列串联方式布置, 如图 7 所示。导热油储热区布置在核岛的北侧。主厂房区总占地约 16.10 hm<sup>2</sup>。

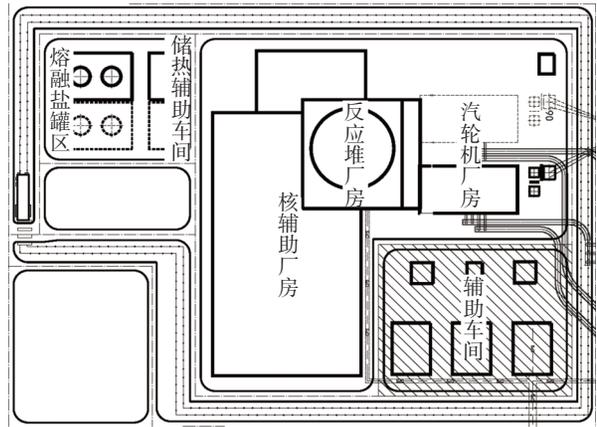


图 7 方案四  
Fig. 7 Scheme 4

## 2.4 技术经济对比

决定总平面布置方案优劣因素很多, 本次概念设计的总平面从布置格局、占地、工艺流程、分期建设、运行检修、辐射防护等方面进行了技术比较, 比较结果如表 4 所示。

基于设计深度以及上述 4 个布置方案占地对本项目投资影响有限, 本次经济比较仅对导热油储能及熔融盐储能两种储热方式下的项目投资进行比较, 比较结果如表 5 所示。

## 2.5 小结

一方面, 采用熔融盐储能的方案可以为汽机提供参数更高的过热蒸汽, 机组的发电功率及效率更高; 熔融盐储能区的占地同比减少约 3/4, 核电厂的总平面布置紧凑、灵活; 在工程初投资方面, 熔融盐储方案占有绝对的优势。

另一方面, 高温熔融盐先天具有的腐蚀问题, 在运行的生命周期内必然面临着比导热油方案更为突出的管道、设备更换问题。从辐射防护及实体保卫等角度考虑, 可能出现的储能系统设备及管道的更换工作在核电站实施变得异常复杂, 导热油方案又显得优势明显。

储热区与核岛、常规岛可采用三角形布置及串联布置, 两种方案都能很好地满足全厂热力系统及储能系统热力运行流向。在工程应用中, 应根据核

表4 方案技术比较表

Tab. 4 Comparison of technology schemes

项目	方案一	方案二	方案三	方案四
布置格局	三角形布置, 导热油储热区独立布置在核岛及常规岛的东侧。	三角形布置, 熔融盐储热区就近布置在核岛辅助厂房的南侧。	顺列串联布置, 导热油储热区布置在核岛的北侧。	顺列串联布置, 熔融盐储热区布置在核岛的北侧。
工艺流程	布置符合全厂热力系统及储能系统热力运行流向, 核岛辅助散热系统布置方式灵活。	基本同方案一。	布置符合全厂热力系统运行流向, 受核岛辅助厂房阻隔, 导热油储热区至核岛反应堆厂房的管路较长, 核岛辅助散热系统布置方式灵活。	基本同方案三。
占地	21.35 hm <sup>2</sup>	14.97 hm <sup>2</sup>	21.64 hm <sup>2</sup>	16.10 hm <sup>2</sup>
分期建设	主厂房区横向布置, 更适用单堆布置, 多堆布置时, 两堆之间距离大。	单堆或多堆厂址布置均合适。	主厂房区纵向布置, 单堆或多堆厂址布置均合适。	单堆或多堆厂址布置均合适。
储热系统运行检修	导热油稳定性卓越, 对设备无腐蚀性, 在温度指标允许范围内可长时间使用。	高温熔融盐腐蚀问题显著, 高温管道及附件均采用不锈钢材质, 管道系统需考虑腐蚀裕量及电伴热。	同方案一。	同方案二。
辐射防护	放射区与非放射区划分清晰。	同方案一。	放射区与非放射区相互穿插, 界限不清。	同方案三

表5 储热方案经济比较表

Tab. 5 Economic comparison of heat storage schemes

项目	导热油储能	熔融盐储能
工程静态投资/万元	203 944	151 714
其中储热区投资/万元	67 166	9 935

电厂的建设规模、用地条件、取排水条件等综合比较后确定。

### 3 结论

储能技术路线及储能区的布置是聚变发电厂区<sup>[7-8]</sup>别于现有核电厂总平面布置关键因素, 对聚变发电厂工艺流程、分期建设、运行检修、辐射防护等的合理规划及实施起着重要的作用。本次概念设计提出的三角形布置及串联式布置均能很好地适应新增加的储能系统热力运行, 但具体方案的选择仍要根据项目的具体情况比较后确定。

聚变发电刚刚步入工程概念试探的起点, 随着研究及实践的不断深入, 能量输出不稳定的解决思路必然会越加清晰。随着近年各类储能技术的探索与工程上的应用以及新型储热材料的研发, 能量密度高, 腐蚀性低、性能稳定、成本低的储热材料也会不断面世, 能更好地与核电厂“安全第一”<sup>[9]</sup>、经济可靠建设方针相适应。先进、经济、可靠的储能方案也会为聚变发电厂商运营提供优质的配套, 实现核

聚变发电的安全、平稳输出, 为全人类提供用之不断的终极能源解决方案。

#### 参考文献:

- [1] 刘晓宇. 积极安全有序发展核电(新知) [N]. 人民日报, 2021-11-22.  
LIU X Y. Active, safe and orderly development of nuclear power (new knowledge) [N]. People's Daily, 2021-11-22 (5).
- [2] 杜祥瑞, 叶奇素, 徐铎, 等. 核能技术方向研究及发展路线图 [J]. 中国工程科学, 2018, 20(3): 17-24. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2018.03.003.  
D X W, Y Q Z, XU M, et al. Research on technology directions and development roadmap of nuclear energy [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(3): 17-24. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2018.03.003.
- [3] 许继刚. 国标《塔式太阳能光热发电站设计标准》关键共性技术 [J]. 南方能源建设, 2020, 7(2): 46-50. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.007.  
XU J G. Key generic technologies on national standard of "standard for design of solar power tower plant" [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(2): 46-50. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.007.
- [4] 姜竹, 邹博杨, 丛琳, 等. 储热技术研究进展与展望 [J/OL]. (2021-12-08) [2022-04-29]. <https://doi.org/10.19799/j.cnki.2095-4239.2021.0538>. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2021.0538.  
JIANG Z, ZOU B, CONG L, et al. Recent progress and outlook of thermal energy storage technologies [J/OL]. (2021-12-08) [2022-04-29]. <https://doi.org/10.19799/j.cnki.2095-4239.2021.0538>. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2021.0538.

- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑设计防火规范: GB 50016—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for fire protection design of buildings: GB 50016—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 塔式太阳能光热发电站设计标准: GB/T 51307—2018 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. Standard for design of solar power tower plant: GB/T 51307—2018 [S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- [7] 谷振杰, 薛静, 王振中, 等. 一种托卡马克主机厂房的布置方法及厂房、中间厂房: CN112837837A [P]. 2021-05-25.  
GU Z J, XUE J, WANG Z Z, et al. The invention relates to a layout method of Tokamak mainframe workshop, workshop and intermediate workshop: CN112837837A [P]. 2021-05-25.
- [8] 谷振杰, 王振中, 薛静, 等. 一种托卡马克磁约束聚变电站主厂房群的布置方法及结构: CN110689985B [P]. 2021-04-02.  
GU Z J, WANG Z Z, XUE J, et al. Layout method and structure of main plant group of Tokamak magnetic confinement fusion power station: CN110689985B [P]. 2021-04-02.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 核电厂总平面及运输设计规范: GB/T 50294—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the

People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Design code for general plan and transportation of nuclear power plants: GB/T 50294—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.

#### 作者简介:



李新凯

#### 向魁

1984-, 男, 湖北武汉人, 热能工程硕士, 主要从事发电厂热机设计研究工作(e-mail)xiangkui@gedi.com.cn。

#### 李华

1984-, 男, 湖北黄冈人, 助理研究员, 工学博士, 主要从事高压电源、电磁兼容与大功率直流开关技术研究(e-mail)lihua@ipp.ac.cnipp.ac.cn。

#### 朱光涛

1971-, 男, 吉林长春人, 正高级工程师, 热能动力工程专业硕士, 主要从事发电厂设计研究和技术管理工作(e-mail)zhuguangtao@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)

## 《南方能源建设》网络首发的公告

为了更快更好地确立作者的科研成果首发权, 全面提高学术论文的传播效率和利用价值, 《南方能源建设》与中国知网《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签署合作协议, 通过《中国学术期刊(网络版)》(CAJ-N)正式出版我刊网络版。从2022年5月1日起, 凡经我刊审定录用的稿件将择优在中国知网上首发, 后视编排情况确定刊期, 由我刊印刷版出版。

CAJ-N 是国家新闻出版广电总局批准创办、国家教育部主管、清华控股有限公司主办、《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司出版的, 由我国各类学术期刊组成的连续型网络出版物, 每篇网络首发论文将被赋予一个唯一的国际 DOI 编码, 而且在版本变动中, 其 DOI 维持不变。按国家有关网络连续型出版物管理规定, 网络首发论文视为正式出版论文, 录用定稿网络首发之后, 不得修改论文题目、作者署名、作者单位以及其学术内容, 只可基于编辑规范进行少量的文字修改。我刊编辑部与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社共同为论文作者颁发论文网络首发证书。论文作者可以从“中国知网(<http://www.cnki.net/>)”下载或打印论文和证书。

(《南方能源建设》编辑部)