

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.012

# 新形势下的沿海核电厂址选择

黄海华

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** [目的]在内陆核电启动可能性较小的情况下,近期内我国核电建设仍将以沿海项目为主;由于岸线资源愈发紧缺,沿海核电厂址的选择难度不断加大,需要拓宽思路,科学选址。[方法]重点考虑沿海次区域,采用二次循环冷却的技术方案,结合地震地质、应急疏散、环境保护等条件,论证并做好核电厂址选择。[结果]粤西某核电工程的实际情况表明,新的思路和方法有助于优化选址、科学决策。[结论]对后续核电选址有较大的参考意义,对核电布局的科学性有重要的促进作用。

**关键词:** 沿海核电; 厂址选择

**中图分类号:** TL4; TM623

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8676(2019)01-0071-05

## Selection of Coastal Nuclear Power Plants Under Current Situation

HUANG Haihua

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] In the near future, the possibility of launching inland nuclear power is less likely, so China's nuclear power construction will be mainly based on coastal projects. As shoreline resources become increasingly scarce, it is increasingly difficult for coastal nuclear power plants to choose sites. Therefore, it is necessary to broaden the thinking and select sites scientifically. [Method] This paper recommended to focus on the coastal sub-region, adopted secondary circulation cooling technical scheme, and demonstrated the conditions of seismic geology, emergency evacuation and environmental protection, so as to make better selection of nuclear power plant site. [Result] The actual situation of a nuclear power project in western Guangdong shows that the new ideas and methods are helpful to optimize the site selection and scientific decision-making. [Conclusion] The research of this paper is of great reference to the site selection of subsequent nuclear power plants, and it is of great significance to make nuclear power layout more scientific.

**Key words:** coastal nuclear power plant; site selection

## 0 引言

随着我国经济社会的不断发展,对能源的需求日益迫切,能源资源紧缺和环境保护问题日益凸显,电力负荷分布和电源建设布局不协调加剧。

2018年,全国新增发电设备容量124.39 GW。其中,新增水电8.54 GW,占比7%;新增火电41.19 GW,占比33%;新增核电8.84 GW,占比

7%;新增并网风电21 GW,占比17%;新增并网太阳能发电47.73 GW,占比36%。

由于我国能源资源严重不足,且分布不均,经济发达和人口密集的东南沿海地区,资源更为不足。同时,我国的能源消费以煤炭为主,煤炭消费约占全部能源消费总量的70%,过分依赖煤炭所造成的环境污染问题日趋严重。核电是一种清洁安全的能源,发展核电、适当加大核电在整个电源结构中的比重<sup>[1]</sup>,对保障能源供应安全、促进节能减排有重要的意义。

经过40多年的发展,我国核电建设从无到有,逐步发展,在沿海地区成功建设了一批核电机组,

**收稿日期:** 2018-10-26 **修回日期:** 2018-11-07

**基金项目:** 中国能建广东院科技项目“准滨海(河)核电厂址选择影响因素及优势研究”(EX01821W)

形成了包括秦山、大亚湾、田湾、阳江、台山、红沿河、宁德、海阳、三门、防城港、海阳等在内的多个核电基地。截至2018年12月31日,我国投入商业运行的核电机组共44台(不含中国台湾地区),装机容量达到44.645 16 GWe(额定装机容量),其中7台核电机组在2018年投入商业运行,装机容量为8.838 GWe。

从当前形势来看,内陆核电启动建设的可能性很小,在可以预见的一段时间内,核电建设仍将以沿海厂址为主<sup>[2-4]</sup>。但伴随着经济发展,大型能源、港口、化工等类型项目的落地建设,城市及旅游区的蓬勃发展,以及自然资源保护的力度不断加大,使得沿海地区尤其是水深条件较好的区域,岸线资源已非常紧缺。如何在这种形势下选择合适的核电建设厂址,已成为一个重要课题。

本文通过粤西某核电厂址(下文简称L厂址)的特点分析,探讨新的形势下沿海核电厂址选择的思路。

## 1 厂址概况

### 1.1 地理位置

L核电厂位于粤西某市,厂址南面距离海边约4.5 km。厂址地貌总体以侵蚀丘陵地貌为主,包括低丘、冲沟等类型。低丘海拔高程20.0~38.1 m,相对高度10.0~18.0 m。区内冲沟切割深度5.0~15.0 m不等,冲沟下游沟底平缓,见第四系冲洪积物和坡残积物发育,冲沟上游沟底较陡,接近丘坡坡度。厂址区西南侧有局部向海域缓倾的较平坦的冲积平原(海拔3.0~6.6 m)。堆积物主要为灰白色微带褐黄色中细砂、粉细砂、砂砾及砂砾质黏土组成,含少量的贝壳。

### 1.2 建设规模

厂址规划建设6台百万千瓦级的核电机组,一次规划、分期实施,一期工程建设2台机组,拟采用先进的第三代压水堆核电站CAP1000技术。

### 1.3 交通运输条件

L厂址北距渝湛国家高速公路(G75)约4 km,距其最近出口约18 km;北距G325国道5.3 km,东距县道2.3 km。现已有简易公路通至厂址,厂址公路运输条件较好。

L厂址15 km范围内的港口码头有两个,具备一定的海上运输条件。

## 2 厂址选择特点分析

### 2.1 利用沿海次区域的区位优势

通过充分分析CAP1000技术的特点,以及厂址相关条件,综合沿海厂址与内陆厂址的特性和要求,提出沿海厂址的新思路<sup>[5]</sup>。该思路的最大特点是选址在沿海次区域,不占用深水岸线资源,采用二次循环冷却方式,这样既可利用海域的运输条件,又可以避免受水深条件的限制。

具体而言,根据L厂址的情况,从区位选择角度看,具有以下优势:

1) 拆迁工程量较小,规划限制区实施难度小。

L厂址半径5 km范围内平均人口密度为437人/km<sup>2</sup>,其中,距离厂址最近的居民点有人口328人,最大居民点是距离厂址约5 km处的某居委会,人口4 068人。非居住区范围影响不大,拆迁工程量小。

厂址周边工业不发达,厂址周围半径5 km内无规划的工业区和风景旅游区,不存在设置规划限制区的不利因素。

厂址5 km范围的人口密度平均值低于广东省人口密度平均值,厂址区域交通情况良好,无难以撤离的居民点,电厂实施应急计划的难度较小。

2) 对水环境影响小

采用带海水冷却塔的二次循环冷却方案,用海水作为循环系统补充水,减少淡水使用,保护淡水资源;取排水工程量较小,海域工程施工量不大,对水体岸线侵蚀、底部冲刷、泥沙淤积以及工程附近水体的水动力条件基本没有影响。

厂址附近的海域水面开阔,是理想的低放废液接纳水体:正常运行工况下,放射性流出物经处理后随冷却塔排污水排入厂址邻近海域,对海洋生物影响有限,对海洋环境影响小<sup>[6]</sup>。

3) 有利于深水岸线的合理使用

L厂址用地范围及限制发展区与周边海域深水岸线距离较远,核电厂需要布置在岸线附近的设施极少,项目的建设、运营对岸线的利用无不良影响。当地政府及企业可以充分利用附近海域岸线资源,进行其他产业开发,有利于地方经济发展。

4) 海上运输条件好

L厂址附近海域水深一般,但具备建设中小型重件码头的条件,码头投资低;同时,码头与厂址

间公路运输条件较好。因此，建设重件码头，利用海上运输条件，对核电厂建设期间的设备、材料运输较为有利。

### 5) 具备海水淡化条件

我国淡水资源紧缺的情况不容忽视。考虑到淡水资源的稀缺性和不可替代性，海水淡化将是未来缓解淡水资源紧缺局面的重要手段。L厂址所在的地区，亦属于淡水相对缺乏的区域。

从技术角度看，海水淡化系统工艺经国内外多年运行验证，是成熟可靠的。对于海水来讲，其水质稳定，水量充足，可靠性能够保证。因此，只要海水淡化工程制水能力达到了核电项目需水要求，其供水保证程度可以满足核电项目取水保证率要求。

L厂址临近海域，厂区用地有保障，完全具备大规模海水淡化的条件，海水淡化出水既可以作为淡水水源的备用或补充，也能作为独立的水源供应，满足核电站的用水需求。

## 2.2 非硬质岩地基的应用

### 2.2.1 地震条件

厂址区域范围在地质构造上分属华南加里东褶皱带、钦州华力西褶皱带和右江印支褶皱带等三个褶皱带，主体属华南加里东褶皱带。L厂址位于华南加里东褶皱带的云开大山隆起之上。

厂址近区域范围内新构造期以来的构造活动是以缓慢的整体性抬升为主，总体上断裂活动微弱，处于较为稳定的新构造环境。断裂差异性活动微弱。近区域范围内断裂主要为北东、北西和近东西方向。

根据近区域发震构造对厂址附近范围的影响分析、厂址附近范围断裂活动性鉴定及其地震活动特点，厂址附近范围不存在能动断层，根据物探结果，厂址附近范围内不存在隐伏断层。

根据有关地震地质资料初步分析，厂址区不存在影响厂址稳定的滑坡、泥石流、岩溶、塌陷、海啸等不良地质作用和地震地质灾害；厂址近区域范围内不存在晚更新世以来的火山活动，厂址区不存在潜在的火山灾害影响。

### 2.2.2 工程地质条件

地层岩性：厂址区内地表出露有第四纪、泥盆纪地层。

地质构造：厂址区总体表现为单斜构造，地层

多倾向 $220^{\circ}\sim 250^{\circ}$ ，倾角以 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 为主。节理发育，以剪节理为主。此外，厂址区内断裂有1条，规模很小，分布于牛头岭北西侧一带，呈北西向，断续出露长度约30 m。断裂发育于泥盆纪杨溪组细砂岩中，断面倾向南西，倾角 $70^{\circ}$ 。该断裂规模小，为前第四纪断裂，延伸很短，且胶结较好，总体较为完整。对场地稳定性和地基均匀性无影响。

### 2.2.3 地基适宜性

当拟建场地开挖到基础底面设计标高后，主厂房区地基为中等风化砂岩与粉砂质泥岩。部分核岛基底以下，局部存在视厚度 $0.5\sim 3.0$  m的强风化夹层。由于强风化夹层埋深较深，厚度不大，初步判断对核岛地基无影响。中等风化岩石的剪切波速为 $755\sim 1\ 538$  m/s，地基承载力特征值为 $1.2\sim 1.5$  MPa；强风化砂岩的剪切波速为 $414\sim 787$  m/s，地基承载力特征值为 $0.6$  MPa。中等风化岩石中不存在可滑移的缓倾角连续软弱结构面，地基岩体中也不存在溶洞，无采矿和其它地下采空区，无地基塌陷或倾覆的潜在危险，核岛主厂房可采用中等风化岩石作为天然地基。

### 2.2.4 非硬质岩地基的研究成果

我国大部分核电厂的核岛、泵房等重要的核安全相关物项，都选择在中等风化~微风化的硬质岩浆岩地基上；在L厂址的研究中，我们采用了工程地质测绘、水文地质调查、工程物探、工程地质钻探、原位测试、室内试验等多种手段，进行了全面而完整的勘探测试，对非硬质岩地基进行稳定性和适宜性综合评价。

上述研究和评价工作突破了我国核电厂核岛非硬质岩地基选址禁区，解决了不同类型地基岩土参数与三代核电厂标准设计条件的接口问题，确定了我国三代核电站核岛厂房楼层反应谱的地基动态参数适应性范围，对三代核电厂标准设计的定型和推广提供了基础数据，为核电厂选址和设计适应性评价提供了量化依据。

新近完成的L厂址核岛区详勘结果表明：核岛地基承载力满足基础荷载的要求，不存在地基塌陷、滑移等潜在危险地质因素，核岛地基稳定，地基适宜。

## 2.3 采用超大型海水冷却塔

### 2.3.1 基本条件

L厂址距离水深条件较好的海域超过12 km，

取水条件相对较差。

参照核电厂供水工程的经验数据,当取排水距离均为3 km时,采用单元制盾构隧道取水和暗沟排水的直流供水方案与采用海水冷却塔二次循环供水方案的经济性大体相当,取排水距离越大,对直流冷却的经济性影响越大<sup>[6]</sup>。综合分析附近海域条件后,确定采用二次循环供水冷却方案,降低了投资,并减少了温排水对环境的影响。同时,考虑到该地区淡水资源相对紧缺,推荐采用海水作为循环冷却系统补水。

采用二次循环冷却系统所需冷却水量大,故冷却塔淋水面积相对较大。目前,适用于我国华南地区气象条件的超大型的海水冷却塔,在国内核电工程中尚无应用实例,其在工艺、结构、施工、环境影响等方面均需开展大量研究工作。

## 2.4 方案研究

在L厂址研究中,我们提出了每台机组配置2座淋水面积为1.4万m<sup>2</sup>的自然通风海水冷却塔或每台机组配置1座淋水面积为1.9万m<sup>2</sup>的自然通风海水冷却塔两个方案,对塔型选择进行了技术和经济比较,并就超大型海水冷却塔在冷却塔热力性能、塔芯材料、塔型参数优化、大型冷却塔配风配水方案及热力计算优化等方面进行了深入的研究。

## 2.5 推荐方案

经过大量的专题论证及研究,从技术经济、占地面积、外界侧风及塔群效应对冷效影响、水汽飘滴及雾羽扩散等方面综合分析,推荐采用1机1塔(高位收水塔)方案。

塔的结构设计,充分考虑了风荷载、温度荷载、日照、地震、以及台风作用等因素,塔的整体稳定性、局部稳定性均满足规范要求;同时,根据等效临界风速方法的施工期稳定性分析结果,该冷却塔塔形在施工期稳定性可以充分保证,不会发生失稳。

## 2.6 有效降低土石方工程量

核电站在进行总平面规划时,由于核岛布置的特殊要求,要充分考虑场地的地质条件,以往项目通常都是将核岛放置在坚实、均匀的地基上;而厂址标高的选择既要考虑直流冷却的经济性,同时还需要考虑海洋波浪甚至是海啸等影响因素<sup>[7]</sup>。沿海地区可供选择的小丘陵地带越来越少,导致厂址往往需要展开大规模的平整工程才能形成足够的建设场地,

土石方开挖工程量动辄上千万立方,耗费巨大<sup>[7]</sup>。

在沿海次区域选址,避开了岸线资源宝贵的地段,可选择的范围较大;同时,基本上可以避免波浪直接影响。而采用二次循环冷却方案,对厂址标高的敏感性也随之降低。故场地平整的工程量相对可控。

L厂址按全厂规划容量平整,挖方约为420万m<sup>3</sup>,土石方工程量已大幅减少,有效降低了工程投资。

## 2.7 统筹规划,集约用地

核电厂址具有不可拆旧建新的特点,因此,必须尽可能合理、节约利用土地资源。在沿海次区域选址,用地范围可选空间更大,更有条件在满足土地利用总体规划的前提下,合理、集约用地。

通过对L厂址区域的用地性质、地质状况、交通运输条件、海域条件等方面进行的深入调研和科学论证,按照4~6台AP1000机组进行统筹规划,规划厂区用地以荒地为主,不占用基本农田,不占好地。施工场地与规划预留建设场地统一考虑,滚动使用。项目总规划占地面积不超过120hm<sup>2</sup>,符合国家“不占或少占农田”、集约用地的政策。

## 3 结论

核电厂址的选择,需要考虑诸多因素,包括场地条件、交通运输、地震与地质、工程水文与气象、取排水条件、人口密度、应急疏散条件、环境保护、电力接入系统等方面,更重要的是要认识到核电厂的建设对生态环境的影响,要做到与环境相兼容、可持续发展、以人为本、与地方规划相容、和谐发展。

在L厂址选择过程中,综合沿海厂址与内陆厂址的特性和要求,提出在沿海次区域选址的新思路,不占用深水岸线资源,既可利用海域的运输条件,又可以避免受水深条件的限制,同时突破性地提出非硬质岩地基的研究成果应用。L厂址有效减少了对岸线资源的影响,完全符合地方规划,而在厂址条件中,人口分布、社会环境、交通条件、外部人为事件和自然事件影响、近区域大气弥散和水弥散等方面都具备较好的条件,场地条件也较为理想,并通过技术手段有效解决了水源条件、地质条件等因素对厂址的限制,对后续核电选址有较大的参考意义,按此思路,沿海地区将有更多可供选择

的厂址，对广东乃至全国的核电布局的科学性有重要的促进作用。

#### 参考文献：

- [1] 邹树梁, 李达, 孙美兰, 等. 中美法核电厂选址政策比较分析 [J]. 南华大学学报(社会科学版), 2018, 19(2): 5-11.  
ZOU S L, LI D, SUN M L, et al. Comparative analysis of Chinese, American and French nuclear power plants siting policy [J]. Journal of University of South China(Social Science Edition), 2018, 19(2): 5-11.
- [2] 黎为, 莫超. 内陆核电厂环境安全性评估与分析 [J]. 中国核电, 2017, 10(3): 435-438.  
LI W, MO C. Studies on environment safety of inland nuclear power plants [J]. China Nuclear Power, 2017, 10(3): 435-438.
- [3] 陈泽韩. 我国内陆核电选址决策思考及安全环境问题探讨 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(4): 28-33.  
CHEN Z H. Critical thinking of site selection and environmental safety issues for inland nuclear power plants in China [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(4): 28-33.
- [4] 彭兢, 刘红光. 内陆核电厂与常规火力电厂厂址选择比较 [J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(增刊1): 95-99.  
PENG J, LIU H G. Comparison of site selections between inland nuclear power plants and fossil fuel power plants [J]. Engineering Journal of Wuhan University(Engineering Science Edition), 2009, 42(Supp. 1): 95-99.
- [5] 徐续, 赵锋, 张启明, 等. 核电厂前期厂址选择的思路 [J]. 中国核电, 2012, 5(4): 384-387.

XU X, ZHAO F, ZHANG Q M, et al. Thoughts on siting during the preliminary stage of a nuclear power plant [J]. China Nuclear Power, 2012, 5(4): 384-387.

- [6] 黄海华. 影响海滨电厂厂址选择的几个因素探讨 [J]. 电力勘测设计, 2004(4): 44-46.  
HUANG H H. Several main factors influence of selection coastal power plant location [J]. Electric Power Survey & Design, 2004(4): 44-46.
- [7] 齐江辉, 郑亚雄, 梁双令, 等. 葫芦岛核电站可能最大风暴潮(PMSS)数值模拟研究 [J]. 海岸工程, 2018, 37(2): 41-49.  
QI J H, ZHENG Y X, LIANG S L, et al. Simulation of the possible maximum storm surge (PMSS) at the Huludao nuclear power plant [J]. Coastal Engineering, 2018, 37(2): 41-49.

#### 作者简介：



HUANG H H

黄海华(通信作者)

1974-，男，广东兴宁人，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司设计总工程师，教授级高级工程师，西安建筑科技大学总图运输与设计专业学士，主要从事电力设计及其管理工作(email) huanghaihua@gedi.com.cn。

(责任编辑 郑文棠)

