

海岛核电厂址应急撤离能力分析研究

纪运哲, 蔺洪涛, 刘新建

(中国核电工程有限公司, 北京 100840)

摘要: 核电厂厂址选址阶段需要从应急角度考察厂址条件, 为后续应急计划的有效实施打下良好的基础。我国之前的核动力厂厂址无论是滨海还是内陆均位于大陆之上, 而鉴于海岛厂址地理环境条件的特殊性, 为确保核电厂的纵深防御最后环节——应急响应的有效性, 保护公众和环境, 并借鉴其他核动力厂在应急审查中出现的问题, 对海岛核电厂址应急撤离能力进行分析, 从而为应急决策提供技术支持。以某拟建海岛核电厂址为例, 基于目前的厂址条件, 分别对通过跨海大桥撤离和轮船撤离进行了评估和模拟。

关键词: 海岛; 核电厂址; 撤离时间估算; 应急撤离

中图分类号: TL364

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)04-0159-04

Analysis of Emergency Evacuation Capability for Island Nuclear Power Plant

Ji Yunzhe, Lin Hongtao, Liu Xinjian

(China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100840, China)

Abstract: Site emergency condition should be considered in Nuclear Power Plant (NPP) siting period to implement the follow-up emergency plan. Compared with the existing NPP sites which are inland or by the sea, the island NPP site's environment condition is very special. To ensure the validity of emergency response which is the last level of defense in depth, protect people and the environment, the emergency evacuation capability for island nuclear power plant was analyzed which can provide technical support of emergency decision making. The evacuation through bridge and steamboat were estimated and simulated based on one proposed island NPP site.

Key words: island; NPP site; evacuation time estimation; emergency evacuation

我国是一个海洋大国, 开发和利用海岛资源是我国未来发展的重点, 海洋经济将成为我国沿海各大省份未来发展的重点。充分利用海岛资源优势, 发展海岛核电, 对沿海各省后续核电的发展具有特别重要的意义。但由于海岛核电在国内外还没有实例, 海岛核电厂址的开发尚处于探索阶段, 与普通滨海厂址相比, 其应急方面的问题一直受到核安全监管部门以及公众的关注。

近些年来, 我国已经开展了对海岛核电的应急可行性研究, 由于海岛特殊的地理位置, 相比一般

的核电厂址, 在事故应急时会面临特殊的问题。首先是事故条件下需要采取紧急防护行动的人口数量, 国内已有核电厂烟羽应急计划区内的人口数一般为几万人甚至更多, 而对于海岛而言, 除了岛上居民外, 周围 10 km 内几乎没有居民, 事故条件下需要采取应急行动的居民数量较少。第二个不同点则是海岛居民撤离的特殊性。世界范围内, 目前尚未有在海岛建设核电厂的经验, 对于一般电厂要求的两个不同方向撤离道路, 实现起来会出现困难。

《核动力厂厂址应急条件评价》报批稿中要求对拟建核电厂址的应急撤离可行性进行研究^[1], 其中明确要求对应急撤离时间进行估计 (Evacuation Time Estimate, ETE)。本文根据以上要求, 对某拟建海岛核电厂址应急撤离能力进行了初步分析研究。

收稿日期: 2015-10-01

基金项目: 压水堆核电厂严重事故与应对措施的分析评价及验收准则研究 (FKY1519ZHB001)

作者简介: 纪运哲 (1991), 男, 安徽阜阳人, 助理工程师, 硕士, 主要从事核与辐射应急的研究工作 (e-mail) jyz07@126.com。

1 海岛厂址概况

此拟建核电厂的海岛面积 8.44 km^2 ，坡岗起伏，土层深厚，森林覆盖率达 40% 以上，最高大山岗海拔 152.6 m，岛上有 15 个自然村落，常住居民 2 459 人，分设 4 个行政村。岛上居民以渔业为主，周围有多个渔业养殖场。岛上的自然村之间有简单的道路连接，而当地与外界的联系主要通过渔船实现，目前此海岛至临近大型岛屿有固定的客运船只。

根据此岛所在县统计局公布的数据，截至 2013 年 5 月，此县专门从事海运的船舶有 319 艘，其中客运船舶 23 艘，共有客位约 6 124 个，每艘轮船大约可能容纳近 300 人。同时还有万吨级以上货运船只 296 艘。当月港口旅客吞吐量为 4.489×10^5 人，货物吞吐量 $4.04 \times 10^6 \text{ t}$ 。可见此县整体具有较好的海运能力。

在下文的模拟估算中，在天气条件允许正常通航的条件下，假定采用船舶的方式将海岛上的居民和核电厂工作人员撤离到某临近岛屿，调配的船只数量可以保守地取 2~4 艘，也就是每次可以撤离 600 人至 1 200 人。根据初步的规划，如果在此海岛上建设核电厂，将会修建从该岛至临近岛屿的跨海大桥，其距离大约为 10~15 km。本文也将针对从跨海大桥撤离的情形进行模拟估算。

2 居民到集结点时间估算

2.1 估算方法

撤离是指将人员迅速和临时地从某一区域转移，以避免或减少紧急情况下的短期辐射照射。对于此拟建厂址，四面环海，较为现实的撤离手段首先是通过轮船将岛上居民和核电厂的工作人员疏散到邻近的县城或者其他岛屿；如前所述，考虑核电厂建设期间的运输，拟修建此岛至临近岛屿的跨海大桥，可以作为进厂道路和事故条件下的应急撤离道路，因此跨海大桥也可以作为撤离的一种途径。根据现有的厂址条件，岛上居民分布较为分散，且交通不便，核电厂事故应急条件下如果将岛上所有居民都集中起来，基本需要依靠步行的方式。

居民到集结点时间的估算分为两个部分：一部分是出行时间 (Trip Generation Time, TGT) 的计算，为居民在收到撤离通知后到开始撤离之间所经

历的时间，这一部分的研究过程比较复杂，基本上采取的方法都是通过一定的概率分布或者函数关系式来假设；另一部分是通行时间 (Travel Time, TT) 的计算，这段时间通常情况下依靠计算机程序的模拟来实现^[2]。

考虑到海岛的特殊性，极端天气条件下撤离不太可行，所以本计算中只考虑了正常天气条件下的情况 (白天、晴天、平常的休息日)。撤离时应采用以公共交通工具撤离与步行自行撤离到集合点相结合的撤离方式。对于公共交通工具撤离，需要考虑撤离集结点、收容站的设置及公共交通撤离模式^[3-4]。综合考虑，在海岛上设置了 5 个集结点，如图 1 所示。

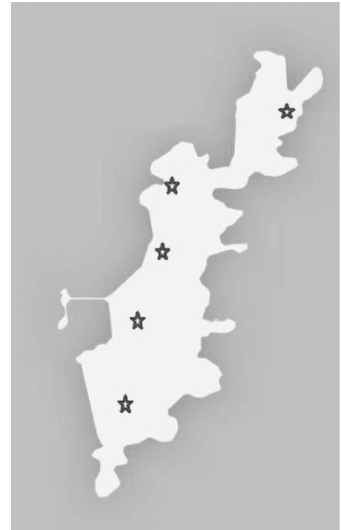


图 1 撤离集结点分布

Fig. 1 Distribution of Evacuation Assembly Point

2.2 轮船撤离

此计算假设在海岛上设置了 5 个集结点，共同步行到最左侧的码头处，由轮船转移。由于岛上居民撤离到岸边只能采用步行，所以在交通模拟软件中把人当成车辆来模拟，速度调节成步行速度，相应的参数也应作一些改动。先使用自主研发的交通模拟程序模拟岛上所有居民撤离到码头处的时间，再分析计算从码头处用船撤离到临近岛屿所用的时间。计算所用交通模拟程序，对于机动车 (公交车、小汽车、摩托车、农用车等)，系统利用元胞自动机模型 (NaSch 模型) 仿真车辆的运动；对于非机动车 (自行车、步行)，系统利用排队模型仿真其运动行为。假设海岛核电居民数为 2 400 人 (大约 800

户),居民出行时间分布按对数正态分布来计算^[5-6],见图2。

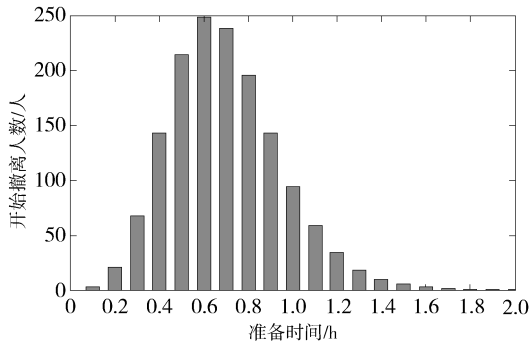


图2 居民出行时间分布

Fig. 2 Distribution of Trip Generation Time

本文使用自主研发的交通模拟软件在已经给定流量和路径的撤离网络中进行交通模拟运行,最后可以得出撤离过程中撤离人数比率随时间的变化,如图3所示。程序中需要输入撤离的路径,道路的参数(长度、宽度、自由流速度),集合点在每个时间段的人数,然后分时间段进行模拟循环,直至所有的人都撤离至目的地。一般取95%人口撤离时间作为指导值^[7],由此可知,各居民点到码头处所用时间大约为90 min。

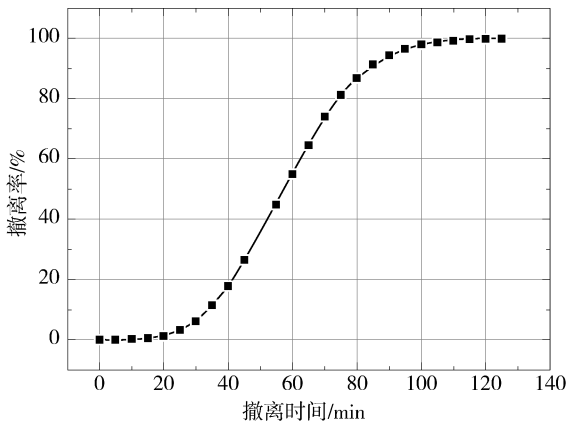


图3 轮船撤离时撤离率随时间的变化

Fig. 3 Variation of Rate of Steamboat Evacuation with Time

2.3 跨海大桥撤离

和轮船撤离一样,在海岛上设置了5个集结点,共同步行至岛的东侧,通过跨海大桥进行撤离。先用交通模拟软件模拟岛上所有居民撤离到跨海大桥所用的时间,再分析计算通过跨海大桥撤离到临近岛屿所用的时间。由计算结果(图4)可知:95%居民撤离到跨海大桥处所需时间大约

为75 min。

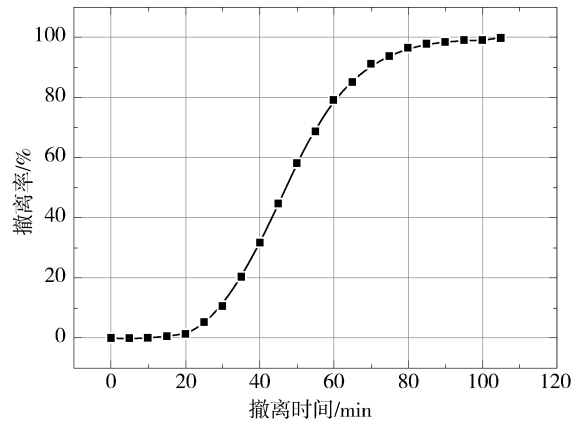


图4 跨海大桥撤离时撤离率随时间的变化

Fig. 4 Variation of Rate of Bridge Evacuation with Time

3 撤离至临近岛屿时间估算

前文给出了一般情况下海岛居民撤离到码头或者跨海大桥处的过程和时间,尽管模拟计算有很大的不确定性,并且受天气条件的影响较大,但可以给我们一个大致的判断。本节要解决的问题是对撤离的最后一个环节,即将人员从码头或者跨海大桥转运至某临近大型岛屿所需的时间。

考虑到计算模型实现的难易程度,这里仅考虑几个主要的因素:海岛码头或者跨海大桥集结点人员随时间的变化,交通工具的数量和每个车船的载客量,航线(跨海大桥)的距离,轮船(车辆)的行驶速度。对于更细节的人员进入交通工具的过程不明确考虑,但是要求每辆车(船)之间保持一定的间隔。

假定海岛居民到达码头或者桥头时,轮船或者汽车已经达到。轮船和车辆依次装满乘客,然后运输至临近岛屿,如果有需要,这些车辆和轮船再次返航,最终将所有居民撤离至临近岛屿。

3.1 轮船撤离

根据当地现有的客轮数量和规模,假定撤离时调配的船只数量为2~4艘,也就是每次可以撤离600~1200人。具体的撤离路线是从海岛西部的码头至临近岛屿的码头,总的距离大约为15 km。通过公众的到达码头的分布时间与轮船的容量与往返时间,编程实现模拟的过程。撤离的时间分布如图5所示。

计算中假定可用的轮船数量为4艘,可以看

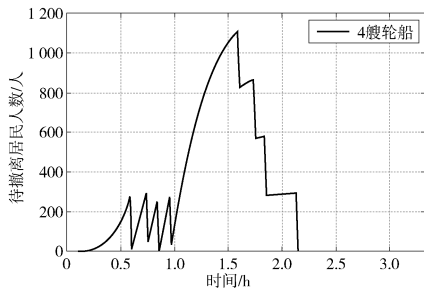


图5 轮船撤离过程模拟

Fig. 5 Simulation of Steamboat Evacuation

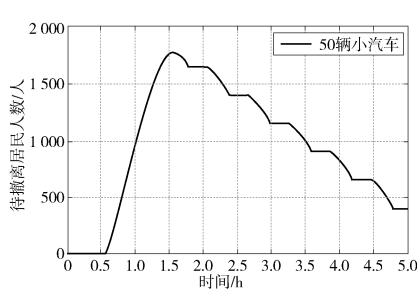


图6 小汽车撤离过程模拟

Fig. 6 Simulation of Vehicle Evacuation

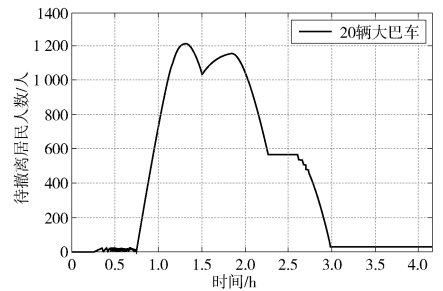


图7 大巴车撤离过程模拟

Fig. 7 Simulation of Bus Evacuation

出, 经过大约 0.5 h, 码头处的人员达到一定的数量, 之后随着轮船陆续离开, 码头上的人持续减少。但四艘轮船离开之后, 需要一定时间才能返回, 但在这个过程中持续有新的公众从家到达码头, 在大约 1.5 h 时接近 1 200 人, 轮船返航一次, 就可以将所有的居民撤离走。由于轮船每次能够运输较多的居民, 是比较有效的撤离方式。

3.2 跨海大桥撤离

跨海大桥撤离主要依靠车辆的运输, 对于应急条件下可用车辆的情况, 这里给出小轿车和大客车两种不同方案; 第一种情况下假定可以调集 50 辆小轿车类型的车辆, 考虑其中车辆可容纳较多的人, 假定每辆车平均载客量为 5 人; 第二种假定 20 辆大巴车, 每辆可以载客 30 人。汽车在撤离过程中需要行驶的距离为 15 km, 平均车速为 50 km/h。撤离的时间分布如图 6 和图 7 所示。

由于小客车运力的限制, 可以看到, 在开始撤离行动 5 h 后, 海岛上仍然剩余大约 400 人。最终需要大约 6 h 才能将公众完全撤离。而如果采用大巴车, 则运力明显提高, 可以在大约 3 h 内将人员全部撤离。

4 结论

本文针对事故条件下某拟建海岛核电站周围居民的撤离时间和过程进行了简单的模拟, 结果表明, 在天气条件允许的情况下, 当地居民需要 2~6 h 从海岛撤离到临近的大型岛屿。无论是通过轮船或者跨海大桥, 只要有充足的交通工具, 那么这些方案都是可行的。由于海岛的地形限制, 实际撤离数千居民, 最需要关注的是居民从接到通知后, 从家里到达集中的码头或者跨海大桥的过程。但是这个过程可以在核电站建设阶段, 通过修建道路或者

搬迁居民而得到较好解决^[8]。

本文模拟的情况都有一定的主观性和较大的不确定性。如采用小客车撤离时, 仅假定了 50 辆, 实际上可能有更多可用车辆, 或者是小客车与大巴车混合的模式, 但是模拟的过程可以提前发现应急撤离过程中可能存在的问题, 对厂址的应急决策支持有一定的积极意义。但考虑到海岛可能出现台风、大雾、大风等不利的天气条件, 以上的撤离方式均难以实现, 这时候就必须要考虑临时隐蔽的应急防护措施。

参考文献:

- [1] 国家核安全局. HAF JXXXX 核动力厂厂址应急条件评价(报批稿) [Z]. 2012.
- [2] THOMAS Urbanik. Evacuation Time Estimates for Nuclear Power Plants [J]. Journal of Hazardous Materials. 2000(75): 165-180.
- [3] Nuclear Regulatory Commission (NRC). Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Power Plants [R]. NUREG-0654/FEMA-REP-1, Rev. 1, 1980.
- [4] 赵善桂, 张琳, 陈晓秋, 等. 核电厂应急撤离的有关问题 [J]. 核安全, 2008(4): 52-56, 59.
- [5] 王海峰, 上官志洪, 赵锋, 等. 核电厂核事故应急疏散研究 [J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(7): 26-31.
- [6] 胡啸宇, 曹建主, 曲静原. 基于 OREMS 的核电厂址撤离时间估计 [J]. 辐射防护通讯, 2011, 31(2): 14-20.
- [7] Nuclear Regulatory Commission (NRC). Criteria for Development of Evacuation Time Estimate Studies [R]. NUREG/CR-7002, SAND2010-0016P, 2011.
- [8] Nuclear Regulatory Commission (NRC). Identification and Analysis of Factors Affecting Emergency Evacuations [R]. NUREG/CR-6864 SAND2004-5901, Vol. 1, 2005.