

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.04.026

核电厂寿期内预期人口分布的估算

周耀权, 赵艳飞, 郑伟

(中国核电工程有限公司, 北京 100840)

摘要: 在核电厂选址、建造和运行阶段均需要分析核电厂周围的人口分布特征, 并对未来人口变化趋势进行预测, 以评估核电厂寿期内的人口分布和可能的变化情况, 并作为厂址周围公众剂量评价和实施应急计划可行性论证的基础。核电厂周围的人口预测基于现有人口分布情况, 结合相关省市的实际人口增长情况和人口预测资料, 通常选用马尔萨斯人口预测模式进行分析和预测。由于我国人口的变化受到地域、政策、经济等多种因素的影响, 预测参数存在很多的不确定性, 并且有些核电厂评价区域还存在跨行政区的情况, 因此在实际工作中会遇到很多问题和困难, 本文给出了一些处理方法。相关的分析和预期人口估算方法可以为核电厂周围人口分布预测提供有益的参考。

关键词: 核电厂; 人口分布; 人口预测

中图分类号: F224

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)04-0142-05

Projected Population Distribution Estimation During the Lifetime of NPP

ZHOU Yaoquan, ZHAO Yanfei, ZHENG Wei

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

Abstract: During the siting, construction and operation phases of nuclear power plant (NPP), it is essential to analyze the population distribution characteristics and predict the population trend of the surrounding area, in order to evaluate the population distribution and possible variation trend during the NPP lifetime, and used for the basis of public radiation dose evaluation and emergency planning feasibility demonstration. Population Projection surrounding the NPP always based on the present population distribution situation, Malthus population prediction model can be chosen for analysis and prediction with the consideration of actual and population projection data from relevant provinces or cities. As the Chinese population variation is affected by many factors, such as region, policy and economy, etc. There are many uncertainties for the prediction parameters. Moreover, the evaluation area of some NPP is related to different districts, problems and difficulties would be arisen in the practical work. In this paper, some possible solutions were suggested. Related analysis and population prediction methods will be expected to be beneficial reference in the population projection around the nuclear power plant.

Key words: nuclear power plant; population distribution; population projection

人口分布特征是国内外核电厂厂址选择相关法规和标准中要求考虑的一个重要因素, 其中也包括了核电厂寿期内人口分布的预测。在核安全法规《核电厂厂址选择安全规定》(HAF 101)中明确提出了必须评价核电厂所在区域内相关因素在其预计寿

期内可预见的演变, 包括人口增长率和人口分布特征^[1]。在核安全导则《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》(HAD 101/03)中进一步细化了相关的要求, 提出了应以厂址区域的人口增长率、迁移趋势和可能的发展计划为依据, 给出厂址区域在核电厂寿期内的预期人口, 并按照核电厂预期投产年份以及在寿期内所选择的年份(通常按照每隔 10 年)给出其预期人口分布^[2]。此外, 在核设施环境保护管理导则《核电厂环境影响报告书的内容和格式》(NEPA-RG1)中也提出了需要给出核电厂运行第一

收稿日期: 2015-11-10

作者简介: 周耀权(1981), 男, 湖北黄冈人, 工程师, 硕士, 主要从事辐射防护与环境影响评价工作(e-mail)zhouyaoquan@sina.com。

年以及寿期内每隔十年的预期人口数及其依据^[3]。在 IAEA 安全要求 NS-R-3^[4] 和安全导则 NS-G-3.2^[5] 中也提出了相关的要求。

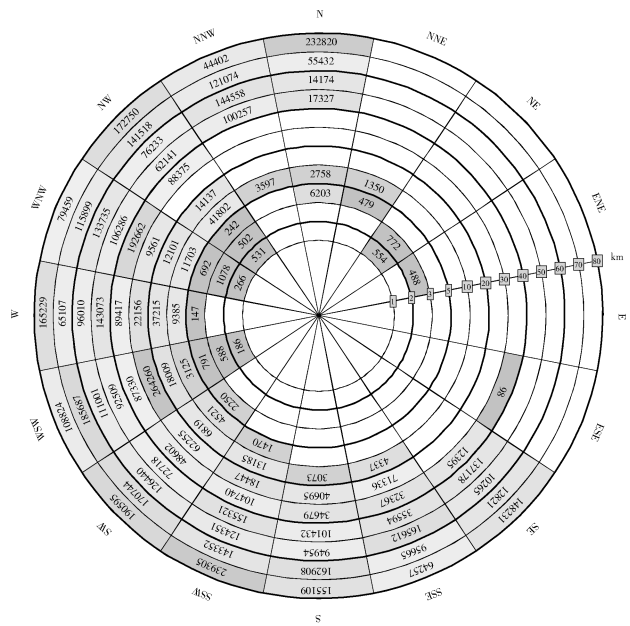
在核电厂选址、建造和运行各个阶段,均需要评估核电厂寿期内的预期人口分布情况,通常基于核电厂周围的现有人口及其分布情况的调查结果,结合部分省市的实际人口增长情况和人口预测资料,选用适当偏保守的预测模式和参数,对核电厂评价区内的人口分布进行分析和预测。由于我国人口的变化受到地域、政策、经济等多种因素的影响,因此预测参数存在很多的不确定性,并且有些核电厂评价区范围涉及的为小型市县等区域的人口预测,甚至有些核电厂评价区域还存在跨行政区的情况,因此在实际工作中会遇到很多问题和困难,本文通过分析和研究给出了一些处理方法,可以为核电厂周围人口分布预测提供有益的参考。

1 人口预测模型

核电厂评价区域内(通常指厂址半径 80 km 范围内)预期人口分布主要关注人口总数和分子区的人口预测,人口总数预测旨在反映未来人口规模的大小、发展速度和变化规律。分子区人口分布通常是以反应堆为圆心,1、2、3、5、10、20、30、40、50、60、70、80 km 为半径画出 12 个同心圆,然后再在圆心处以 16 个罗盘方位作为中心线,将这些同心圆等分成 22.5° 的圆周角,由相邻辐向线和圆弧组成的扇形即称之为子区(共计 192 个)进行统计,如图 1 所示,旨在反映厂址周围人口相对核电厂的距离、方位等分布特征。

人口预测是在对未来作出一序列假设的前提下进行的估算。在预测中,10 年期限内的预测通常称为短期预测,10~25 年期间的预测称为中期预测,25 年以上的预测称为长期预测^[6]。由于人口的变化受到多种因素的影响,预测时间越长其结果偏离实际发展的可能性就越大。

目前的人口预测方法有很多种,如算数级数推算算法、几何级数推算算法、指数增长方程推算算法、逻辑斯蒂(Logistic)曲线推算算法、年龄移算法、内森·凯菲茨 Keyfitz 矩阵方程、莱斯利(Leslie)矩阵方程、宋健人口发展方程等^[6]。随着现代计算机技术的发展,有些机构还开发了专门的人口预测软件,如国家人口与计划生育委员会研究开发的中国人



某核电厂2013年80 km范围内总人口: 6 376 088人

图1 核电厂厂址半径80 km范围192个子区示意图

Fig. 1 192 Sub-zone in the Radius of 80 km of the NPP

预测系统软件 CPPS、中国人口与发展研究中心研发的国际人口预测软件 PADIS-INT 等。

核电厂整个寿期通常为 40~60 年,因此属于长期预测。由于核电厂评价区范围基本都涉及跨越行政边界,有些厂址半径 5 km 范围就涉及两个省级行政边界,甚至有些核电厂评价区范围还可能出现跨国界的现象,导致常用的具有固定行政边界范围的一些人口预测方法或模型不太适用,因此,核电厂评价区的人口预测不同于城市的人口规划和预测。换言之,核电厂评价区域内未来人口分布情况的预测比较复杂,想要精确预测存在较大的困难。就核电工程项目而言,人口预测的意义主要在于反映在现有规律的作用条件下,核电厂寿期内可能呈现的人口增长趋势,因此没有必要进行非常精确的预测,也就没有必要从人口预测模型所需的各种预测参数求取开始进行人口预测工作,由于核电厂从选址直至建设运行之间的时间跨度较长,因此实际工作中可根据不同阶段所获取的人口预测资料进行调整或重新估算。

对于核电工程而言,希望预测模型相对简、易于操作,并应具备一定的保守性,另一方面在核电厂周围公众剂量评价时通常采用了预期投产年份(与调查年份通常相对较近)的人口分布,因此预测模型对于短期预测应具备一定的准确性,马尔萨斯

人口预测模型具备上述特点,因此目前在核电厂寿期内人口分布估算中通常采用马尔萨斯人口预测模型。在参考文献^[7]中也说明了采用马尔萨斯人口预测模型预测厂址周围核电厂整个寿期(40~60年)内未来人口的分布是目前通常的做法。

马尔萨斯人口模型是由英国统计学家 Malthus (马尔萨斯)1789年提出的著名人口模型。其具体表达式为^[7]:

$$\begin{aligned} dx/dt &= rx(t) \\ x(0) &= x_0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: r 为人口增长率; x_0 为 t_0 时刻的人口数; $x(t)$ 为 t 时刻的人口数,且 $x(t)$ 连续、可微。

马尔萨斯人口预测模型有两个表达式:一是综合增长率模型^[7-8],即几何级数推算法,见式(2)。

$$P_t = P_0(1+r)^n \quad (2)$$

式中: P_t 为预测目标年末人口规模; P_0 为预测基准年人口规模; r 为人口年均增长率; n 为预测年限($n=t-t_0$; t_0 为预测基准年年份)。

马尔萨斯模型的另一种表达式为指数模型^[7],即指数增长方程推算法,见式(3)

$$P_t = P_0 e^{r(t-t_0)} \quad (3)$$

当人口增长率和间隔时间相同时,两种模型的计算结果对比情况示意图见图2,可以看出两种模型的计算结果非常接近,指数模型相对综合增长率模型略微保守,因此为了偏保守考虑,在核电厂工程实际应用中较多采用了指数增长模型进行人口预测。

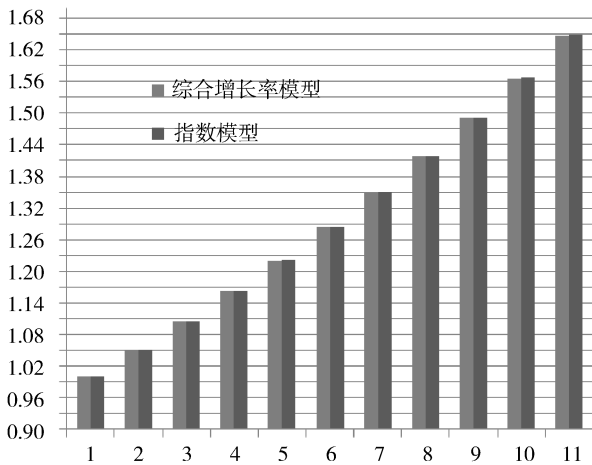


图2 综合增长率模型和指数模型预测结果比较示意图

Fig. 2 Projection Result Comparison of the Composition Growth Rate Model and Exponential Model

2 人口基数和增长率

由马尔萨斯人口指数增长模型表达式可以看出,其中最重要的两个参数为人口基数和人口增长率,核电厂周围人口调查获得的人口基数通常与人口资料统计口径、获取途径、资料获取程度等有关,通常主要分为户籍人口、常住人口等。

常住人口一般指在某地区实际居住半年以上的人口,户籍人口指公民依照《中华人民共和国户口登记条例》已在其经常居住地的公安户籍管理机关登记了常住户口的人。可以看出户籍人口以户籍所在地为基准,主要反映的是户口在本地的人口;常住人口以实际居住地为基准,反映的是常住在本地的人口。随着改革开放的不断深入和市场经济的发展,以及城镇化建设的快速发展,造成了大量的人口流动和迁移,有些地区常住人口数与户籍人口数差距巨大。理论上户籍人口和常住人口的主要差距来自于人口的流动,目前我国人口流向基本都是从经济落后地区到发达地区,从农村流向大城市和城镇。因此,对于核电厂周围的人口分布预测基数,应尽量采用常住人口数量,尽可能反应当地实际的居住人口数量。核电厂厂址周围的人口调查通常分为半径5 km、5~15 km、15~80 km几个大的网格进行调查和统计,为了尽可能的获得常住人口数据,通常对厂址半径5 km范围涉及的自然村逐个进行现场调查和统计;5~15 km范围采用各镇(乡)政府提供的有关统计资料,必要时结合现场调查;15~80 km采用各市(县)统计年鉴、年鉴及其他正式出版的统计资料中给出的常住人口数量。

根据前面的分析,对于核电厂周围人口分布的预测,没有必要从人口预测模型所需的各种初始参数开始,较为简便易行的方法是直接采用该地区已经完成并正式出版的人口预测数据和资料计算出人口增长率,并结合各厂址周围人口分布的具体情况进行一定的调整或修正。根据我国多个核电厂实际调查所能获得的资料,对于大的区域来说,通常可获得两套资料来源,分别为《世纪之交的中国人口》(全国卷及各省市卷)和部分省份出版的人口发展战略研究报告。《世纪之交的中国人口》(全国卷及各省市卷)为国务院统一部署、各省(直辖市)人口普查办公室编写,以2000年第五次人口普查资料为基础数据,考虑计生政策对人口出生率的影响,结

合各省(直辖市)的具体情况采用预测软件或其他预测方法进行预测,一般都采用了高、中、底等多种预测方案,大部分省市预测了2001—2050年的人口数。如《世纪之交的中国人口-(福建卷)》^[9]提供的人口预测数据是运用中国人口信息研究中心开发的预测软件,并结合第五次全国人口普查的结果进行预测,按照出生水平分高限、底限与中间值设3套方案,按照死亡水平按人口平均预期寿命的人口不同增长速度设置2套方案,并结合流动人口变动趋势预测,共生成6套方案。人口发展战略研究报告与《世纪之交的中国人口》相类似,但是有些省份没有正式出版相关的数据。如《福建省人口发展战略研究》报告所采用的人口预测模型是在中国人口信息研究中心开发的人口预测模型(CPPS)DOS版的基础上,在充分兼顾DOS版的延续性和现代计算机操作系统的发展而开发新一代人口预测系统,该系统以2000年为预测基年,基于系统仿真思想,给出高、中、低三套人口预测方案。《世纪之交的中国人口-(福建卷)》与《福建省人口发展战略研究》中推荐预测方案给出的福建省预测人口数据比较情况见图3。两种预测方案对福建省2001—2012年预测人口数与实际人口数比较情况见图4。

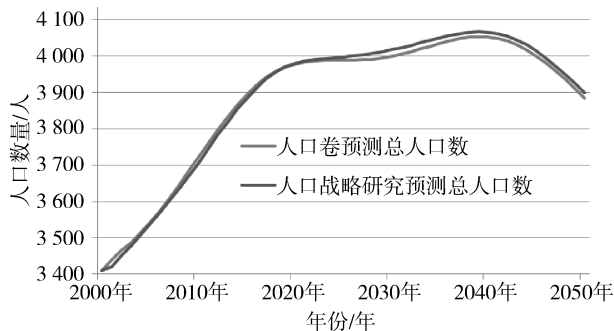


图3 福建省两种预测结果比较示意图

Fig. 3 Projection Result Comparison with Two Different Projection Data of Fujian Province

由图3和图4可以看出两份文件推荐方案给出的福建省总人口预测结果比较接近,对福建省2001—2012年的预测人口数与实际人口也比较接近。上述预测数据的优点是具备较高的权威性,人口预测参数比较完整,其缺点是相关预测通常主要反映该省(直辖市)的预期总体人口变化情况,由于核电站评价区通常只覆盖该省的部分区域,因此对于有些厂址评价区域符合性较好,有些区域符合性则相

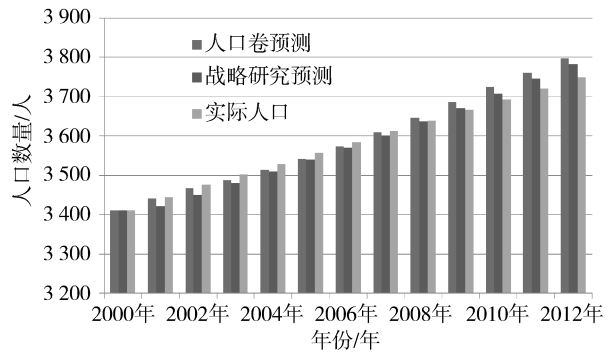


图4 福建省两种预测结果与实际人口比较(2001—2012年)

Fig. 4 Comparison of Two Different Projection Result and Actual Population of Fujian Province (2001—2012)

对较差,需要进行一定的修正。

对有些核电站厂址,还可以获得所在各市县计生委所作的人口预测数据,其优点是与当地的人口变化情况结合相对紧密,缺点是厂址评价区域涉及市县较多,有些地区没有系统和完整的预测数据,或者相关预测资料没有正式发布,缺乏一定的权威性,有些区域预测时间序列较短等各种问题。

除了上述预测资料外,评价区域涉及相关地区一些人口规划报告、人口预测研究成果和相关的文献可以作为一定的参考。

综上所述,可以采用《世纪之交的中国人口》作为核电站评价区的人口预测增长率的基础,根据所能获取的人口发展战略研究报告以及评价区各市县计生委人口预测资料情况,可采用几种方案进行比较,选用更合适的预测数据进行人口预测。对于符合性相对较差的区域,特别是实际人口增长率比高方案预测增长率还要高的区域,可结合2000年至现有年份实际人口增长率与预测增长率的比较情况,考虑采用合理保守的修正系数进行修正。

上述预测对于大区域或城镇来说预测结果一般符合性较好,但是对于核电站周围的人口预测,一个较为突出的问题是核电站更加关注近区域(如半径15 km、5 km范围)的人口分布情况,特别是规划限制区范围(目前我国核电站基本为反应堆为圆心,半径5 km范围)内的人口分布和变化情况,而核电站的选址要求尽量位于人口密度相对较低、离大城市相对较远的区域,因此,核电站近区域通常位于较为偏僻、经济不甚发达的区域,其人口增长率往往与上述两种预测方案存在较大的差距,可能导致预测结果与实际人口的变化存在较大的偏差。

目前的一些人口预测研究更偏重于大区域、大城市的人口变化趋势,经济不发达乡镇或农村区域的人口预测研究资料和文献则相对较少。不过就核电工程而言,也没有必要进行非常精确的预测,也就没有必要深入研究其近区域人口的生育率、出生率、死亡率、人口迁移等各种人口预测参数。对具体工程,可结合其附近区域的人口分布特征,可结合厂址附近相关城镇规划,以及规划的工业区、开发区可能带来的人口机械增长、人口搬迁等情况,并结合核电站各阶段的调查数据进行复核,采取合理保守的修正。

3 结论

在核电站选址、建造和运行阶段,均需要预测核电站周围的总人口和人口分布,以评估核电站寿期内的人口分布的可能变化趋势,但是对核电站来说,没必要做非常精确的预期人口估算,因此通常基于现有人口分布情况,结合部分省市的实际人口增长情况和获得的人口预测资料,选用较为简单保守的马尔萨斯人口指数预测模式进行分析和预测,其中人口基数在资料调查和统计时应尽可能采用常住人口。人口增长率可选用《世纪之交的中国人口》中提供的数据进行计算,并结合人口发展战略研究报告或相关市县提供的人口预测资料获取情况,采用几种方案进行比较,选用合理保守的增长率进行人口预测。对于核电站评价区域符合性相对较差的部分区域,可结合2000年至现有年份实际人口增长率与预测增长率的比较情况,采用合理保守的修正系数进行修正。在核电站后续各阶段可进一步结合获取的调查数据以及之前各阶段的预测资料进行

修正或重新估算。对核电站近区域可结合其人口分布特征,以及相关规划和各阶段的调查数据进行合理保守的修正。

参考文献:

- [1] HAF101, 核电站厂址选择安全规定 [S]. 1991.
- [2] HAD101/03, 核电站厂址选择及评价的人口分布问题 [S]. 1987.
- [3] NEPA-RG1, 核电站环境影响报告书的内容和格式 [S]. 1988.
- [4] IAEA NS-R-3, Site Evaluation for Nuclear Installations [S], 2003.
- [5] IAEA NS-G-3.2, Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants [S]. 2002.
- [6] 李晓梅. 人口预测模型研究及应用 [M]. 西南财经大学出版社, 2011.
- [7] 谭承军, 吕焕娥, 商照荣, 等. 浅析核电站选址及评价阶段厂址周围人口预测 [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25 (5): 443-445.
TAN Cheng-jun, LV Yuan-e, SHANG Zhaorong, et, al. Population Prediction of Nuclear Power Plant in The Stage of Site Selection and Evaluation [J], China Population, Resources and Environment, 2015, 25 (5): 443-445.
- [8] 何春. 马尔萨斯人口模型在广州市人口预测中的应用 [J]. 广东工业大学学报, 2010, 27(3): 31-34.
HE Chun, The Application of Malthus Population Model in The Prediction of Guangzhou Population [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2010, 27 (3): 31-34.
- [9] 福建省人口普查办公室. 世纪之交的中国人口(福建卷) [M]. 中国统计出版社, 2005.

(责任编辑 郑文棠)

订 阅

《南方能源建设》的办刊宗旨立足于为能源行业尤其是电力行业工程建设提供技术支持和信息服务,推广新理论、新技术的工程应用,提高我国能源建设质量和技术水平。主要面向全国能源行业尤其是电力行业设计、建设、制造等企业,以及相关的研究机构和高等院校的广大工程技术人员、管理人员、专家学者等。本刊设有能源资讯、专家论坛、规划咨询、勘测设计、施工建设、装备制造、工程管理、投资运营、运行维护、案例分析、简讯等栏目,将优先报道低碳环保、节能减排等技术研究和工程应用以及风能、太阳能、生物质能、海洋能等可再生能源的技术研究及工程建设。

出版周期: 季刊(季末25号)

订阅年价: 60元

国内刊号: CN 44-1715/TK

国际刊号: ISSN 2095-8676

联系电话: 020-32116043

传 真: 020-32118078

期刊网站: <http://nynf.cbpt.cnki.net> 微信号: ceec-gedi