

在滨海核电厂设计基准洪水位 确定中的风暴潮评价

张爱玲

(国家环境保护总局核安全中心, 北京 100088)

摘 要: 设计基准洪水位是滨海核电厂选址中的重要参数之一, 而风暴潮评价又是设计基准洪水位的主要组成因素。本文还结合目前核电厂的工程实例, 就风暴潮评价中存在的问题进行了探讨, 并提出了一些建议。

关键词: 核电厂选址; 设计基准洪水位; 风暴潮评价; 确定法; 随机法

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 0239 (2005) 4 - 0060 - 06

1 引言

一个核电厂厂址的选定, 是受到多种因素的制约, 在一个既定的区域内所选出的最佳厂址, 应该是通过对各因素赋予的加权因子进行厂址的代价与利益的分析后, 具有既满足有关要求又工程代价最少的厂址。但是核电厂又不同于一般建筑物, 它在装料后的调试、运行和退役阶段, 会包容有大量的放射性物质, 因此在选址时有比较严格的核安全要求。就核电厂厂址设计准则而言, 各国的核安全法规都明确规定, 核电厂选址中必须充分考虑诸如地震、水文、气象等外部事件的影响, 并在核电厂设计中确定相应的设计基准参数, 应保证在发生设计基准事件时或之后能使与该事件 (或事件组合) 相关的安全重要构筑物、系统和部件保持其完整性, 并且仍不丧失其功能。其中针对水文事件, 导则中规定核电厂中对安全上重要的结构、系统及部件应设计成能承受严重的水文气象条件和地震活动、或两者同时作用所造成的、合理假设的、最严重洪水状态, 而不丧失其执行安全功能的能力。

2 风暴潮评价在核电厂选址中的重要性

设计基准洪水 (DBF-Design Basis Flood) 对保护安全重要物项不因洪水淹没而可能导致放射性物质污染环境等事故具有很重要的意义, 另一方面, 它们对一个核电工程的投资有着相当大的影响, 用在核电厂防洪构筑物的投资是相当可观的, 已建和正在建造中的核电厂, 建造海堤或防波堤的费用都在一亿元人民币以上。DBF 水位的提高不仅意

意味着提高厂坪标高,增加防洪工程的投资(在地势低的厂址,还须增加大量土石方回填),同时意味着大大增加运行期厂用电的损耗。因此,安全的、科学合理的确定设计基准洪水是非常必要的。

设计基准洪水位(DBFL-Design Basis Flood Level)定义为经防洪设施控制洪水后所得到的最高水位,包括同时风产生的波浪效应。波浪一般由风区长度和水的深度来决定,而且在厂址周围的不同位置可能不同。设计基准洪水是核电厂设计应经受的洪水位,按照核安全导则 HAD101/09 的规定,滨海核电厂设计基准洪水应由以下因子组成:基准水位、极端洪水事件(包括可能最大风暴潮、可能最大海啸、可能最大假潮、或三者严重事件的组合)、风浪的影响和江河洪水,并在该导则中提出六种洪水事件的可能组合例子供设计者选用^[2]。

从这六种组合中可以看出,基准水位和风浪影响在各种组合中都是必须考虑的,而江河洪水只在有大江大河入海的滨海核电厂才须考虑。至于极端洪水事件,到底选用哪一事件进行组合,则需视核电厂所处的海滨经受洪水灾害的情况而定,而且厂址的设计基准洪水并不一定由某一极端洪水事件引起,而有可能是由同时发生的若干严重洪水事件组合引起的。因此,我国滨海核电厂在考虑洪水组合时选用哪一种组合,也与我国海滨的历史洪灾和厂址的区域特征有关。

可能最大风暴潮 PMSS - Probable Maximum Storm Surge 是指可能最大热带气旋 PMTC - Probable Maximum Tropical Cyclone (即可能最大台风)引发的潮位异常升高一增水。据统计,全球每年平均出现强热带气旋-台风 80.1 个,其中西北太平洋最多,每年平均 26.8 个,占全球的 34%。我国沿海又是西北太平洋中发生次数最多的海域,每年在我国沿海登陆的台风平均有 8 个之多,居全球之首。在我国沿海登陆的台风都会引发较大的风暴增水,其中以南海沿海最大,广东南渡站的最大增水值曾达到 5.92m,广东湛江和汕头也分别达到过 4.56m 和 3.14m,东海沿海次之,浙江乍浦和上海吴淞的最大增水值曾分别达到 4.34m 和 2.67m,黄、渤海沿岸最小,最大台风增水值在 2.50m 以下(但黄、渤海沿岸个别站点,如莱州湾的羊角沟站由温带气旋引发的最大增水超过 3.5m),由此可见,我国东南沿海的潮灾是由台风增水引起的,而发生在黄海沿岸的海州湾、渤海的莱州湾、渤海湾、辽东湾沿岸的潮灾既可由台风增水引起,也可由温带风暴增水引起。

海啸是指由海底地震引发的、具有超大波长和周期的海面波动。海啸有远洋海啸和近海海啸二种。前者在远洋形成后,可在大洋中传播数千公里,使千里之外的沿海地区遭受海啸侵袭;后者是近海海底地震引发的,但近海海底地震要引发海啸,也是有条件的,其条件之一是必须有足够大(一般为 1000m 以上)的水深。国内外专家都认为,我国南海及其周边海域具有引发海底地震海啸条件,已有的观测事实表明,远洋海啸对我国台湾东海岸影响较明显,但由于受到宽浅大陆架及外海岛链的影响,远洋海啸到达我国大陆沿海时海啸波高已大大减小。例如 1960 年在智利发生 8.7 级海底地震,引发了有史以来的最大海啸,其在智利沿岸的波高达 24.0m,传播到日本沿岸时波高仍达 6.1m,但传到我国的香港沿岸及长江口水域时,其波高已分别减为 0.38m 和 0.20m。这就是说,

已有的观测事实和研究结果表明,海啸不是我国沿海的主要灾害,但南海及其周边海域的潜在地震海啸威胁仍不能低估,期待有关部门对我国沿海的地震海啸危险性进行深入研究,并给出有应用价值的结果。

假潮是一种发生在封闭或半封闭海域中的自由振动,因此当核电厂厂址位于封闭或半封闭水域岸边时,必须考虑出现假潮的可能。假潮有自由假潮和强制假潮之分,前者是封闭或半封闭海域都可能存在的固有的自由振动,后者则由风力突变而诱发的强制振动,因而强振振动通常与风暴潮相伴而生,也就是说,假潮通常包括在风暴潮之中。在目前尚无法把两者分离出来的情况下,一般只是混合在一起作为风暴潮进行统计或模拟,即在考虑可能最大风暴潮的前提下,可能最大假潮就不必另行考虑。

以上分析表明,我国沿岸的主要极端洪水事件是可能最大风暴潮。我国核电厂建造的实践经验也表明了这一点。例如广东岭澳核电厂的可能最大风暴潮和可能最大海啸分别为 5.30m 和 0.38m;江苏田湾核电厂的可能最大风暴潮和可能最大海啸分别为 4.33m 和 0.51m;秦山核电厂的分别为 3.67m 和 0.53m;辽宁红沿河核电厂的分别为 3.53m 和 0.55m;山东海阳核电厂的分别为 3.96m 和 0.23m。

历史灾害分析和实践计算结果都表明目前在我国沿海主要的洪灾是风暴潮。因此在核电厂选址中考虑极端洪水事件时,应把重点放在风暴潮评价上。

3 风暴潮评价的基本方法

核安全导则 HAD101/09 中指出,两种基本方法可以用来确定可能最大风暴潮:一种方法是利用物理模型即确定论法;而另一种方法是以区域中实测水位的一组历史资料的分析为基础,即随机法。所用方法的选择取决于是否具有大量的、完整的和可靠的适用于这一方法的历史资料,也取决于是否能充分地模拟相关事件。如果现有的充分资料对两种方法都适用,则应将两种不同方法的计算结果相互校核。

确定论方法利用经验的模型或者利用以描述该系统的物理关系式为基础的模式。对于已知输入值或者已知一组初始边界条件,模型将给出一个或一组描述该系统情况的数值。为了获得“保守”的估计,应采用输入参数合适的极限值或保守值。

HAD101/09 指出,用确定论法推求 PMSS 需要建立一组极大化的假设风暴,使其移到某位置时正好使厂址产生可能最大风暴潮,然后将这种风暴参数输入适当的风暴潮模型中去。因而应用确定论来推求 PMSS 的关键是二个,一是建立一个极大化的假设风暴

可能最大热带气旋(PMTC),PMTC 参数的确定不能仅靠台风年鉴,对一些重大台风需尽量进行现场调查,收集尽可能多的资料,并走访当事人,以便把台风准确的强度、登陆时间和登陆地点定下来。这样做,既可为 PMTC 参数确定提供可靠样本,又可为模式检验提供实例;二是选择一个经过充分检验适用于厂址附近海域的风暴潮数值计算模式,模式计算域要足够大,厂址附近要有足够高的空间分辨率。目前国内外用于风暴潮模式检验的风暴潮资料中包括了波增水的贡献,因此,模式在完成 PMSS 值计算后进行 DBFL 组合计算时,不要考虑波浪增水。

随机法需要在该区域内有长时间连续可靠的风暴潮资料,以风暴潮数据作为随机分析的基本参数,在统计分析的基础上,选取与历史观测数据相拟合的概率分布函数,借助所选的概率分布函数推导出超越频率曲线,认真考虑偏离点的处理,确定对应于一定概率的置信区间,用历史特大风暴潮资料(如果能收集到这种资料并经过考证)作为检验。这样就可以推导出不同重现期的风暴增水。对随机法来说,历史记录越长,则在确定分布的参数值推算中的不确定性越小。

然而,可能最大风暴潮的两种推算方法各有其优缺点,两种方法在可靠性上都有待提高。确定论法的参数对可能最大风暴增水非常敏感,这就给可能最大风暴潮的确定论法带来较大的不确定性。比如,在选择可能最大热带气旋 PMTC 的各个参数时有一定的主观性,有些参数在海上很难测到可靠资料等,因此在计算中一般都要加入水文和气象专家的经验判断,考虑到核电厂安全的重要性以及目前没有合适的方法来评价计算结果的安全水平,这往往就会造成可能最大风暴潮最终取值相对偏保守的可能。

我国沿海很多地区有长期完整的风暴潮资料。对于目前已有 50 年以上资料、并且能收集到历史特大风暴潮的地区,采用随机法计算最大风暴潮并用确定论法校核历史特大风暴潮,这应该是很利。一般说来,在两种方法都可以使用的条件下,应该用两种方法计算,如果两种方法的计算结果都合理,则应将两种不同方法的计算结果进行综合分析和比较论证后,确定选用安全且合理的最大风暴潮。对于只有短期资料的地区,必须以确定论法的计算结果为准,随机法仅供参考。

但是,目前的核安全标准中并未明确规定随机法计算结果采用的重现期标准,使用人员无法对计算结果与确定论方法进行相互校核,而且也没有合适的方法来评价计算结果的安全性与合理性,应用起来难以掌握。因而,在确定可能最大风暴潮时从安全角度考虑较多,常常偏保守地选取计算中较大的风暴潮值。

4 建议

为了使我国现有的法规、导则更加完善,也使其有关规定更符合我国国情,确定既安全又合理的可能最大风暴潮以及设计基准洪水位,进一步加强对滨海核电厂厂址风暴潮的研究工作、实现规范化和标准化是非常必要的。建议开展以下几个方面的探索工作:

4.1 研究我国沿海可能最大热带气旋(PMTC)参数的分布规律

PMTC 参数(特别是台风中心气压 P_0)的确定,是推算可能最大风暴增水的基础资料 and 关键因素。目前,不同承担该研究工作的单位在相邻核电厂厂址确定可能最大热带气旋参数时,尚存在不少差异。因此为了使 PMTC 参数取值更权威性和规范性,建议有关部门组织水文、气象、海洋专家对我国沿海 PMTC 参数进行调研分析,提出我国沿海每隔一定纬度的 PMTC 参数的规范值。

4.2 探讨风暴潮模式,充实 HA D101/09 内容

目前应用的风暴潮模式有几种,虽然它们在海洋预报、工程设计中得到广泛应用,但在核电工程中的应用还仅是初步的,有时出现进行数学模型验证的实际风暴个例数量显得太少,有时出现检验结果与实际风暴吻合的不太理想的情况。因而今后应在这个基础上,进一步论证、对照,确定各种模式的可用性,并把较好的几个模式写入有关的核安全规定中,使今后应用风暴潮模式时更有依据。

4.3 加强随机法的研究,以赋予实际意义

目前在推算 PMSS 时,虽然要求进行随机法计算,但因为没有规定重现期,因而其计算结果使得应用难以掌握。为此,建议在进一步综合我国核电厂建设实践经验的基础上,对比确定论法和随机法的推算结果,参照国内有关部门(如水利、交通、电力等部门)的设计标准,结合我国国情提出核电厂 PMSS 的设计重现期标准。

4.4 开展联合模式的研究,提供既安全又合理的设计基准洪水位

目前,在现有的核电厂工程中,设计基准洪水位(DBF)多是由天文潮、风暴增水和台风浪三种因子组合成的。由于计算中存在的一些困难,在实际工程应用中多采用上述三个影响因子线性叠加的方法得出设计基准洪水位,这样的结果在核电安全上是有保证的,但并不一定是最合理的。随着核电事业的发展,人们在要求安全的前提下,必然希望提供合理的、经济的设计基准洪水位。导则指出:总水位的计算要综合处理这些作用,以便把这种非线性因素考虑进去;实际上,最高水位和最大波高可能发生在不同时间;为此必须绘制厂址近岸处实际情况的有效波高及波周期和百分之一波高以及最高静水位的时程图,以确定其合理组合。因此,如何确定最高天文潮、可能最大风暴潮和最大波高三者间的安全合理组合、开展联合数值模式的研究是非常必要的。

4.5 设计基准洪水的风险评价研究

为了安全合理地确定设计基准洪水,在深入理解导则的基础上,有必要开展一些调查研究和分析论证工作。除上述内容外,还有一项很重要的工作,即设计基准洪水对丧失最终热阱导致堆芯熔化及放射性物质污染环境事故的风险评价。它可以从根源上解决核电防洪标准的机理,科学地提出符合我国国情的安全合理的指导性准则,使有关人员能够较好地把握我国设计基准洪水所要求的安全度与可靠性;并且,可以同时进行工程的代价利益分析比,提高合理性。

参考文献:

- [1] HAF101 核电厂厂址选择安全规定[S]. 国家核安全局, 1991.
- [2] HAD101/09 滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定[S]. 国家核安全局, 1990.
- [3] HAD101/11 核电厂设计基准热带气旋[S]. 国家核安全局, 1991.
- [4] 标准审查大纲. 美国核管理委员会核反应堆管理局
- [5] 中国风暴潮概况及其预报[M]. 中国科学技术出版社, 1992.
- [6] 核电建设前期工作规程规范汇编[S]. 电力工业部规划计划司, 1996.

SOME EVALUATIONS FOR STORM SURGE IN DETERMINATION OF DESIGN BASIS FLOOD LEVEL ON COASTAL NUCLEAR POWER PLANT SITE

ZHANG Ai-ling

(Nuclear Safety Center, SEPA, Beijing 100088, China)

Abstract : Design Basis Flood Level is one of the important parameters in nuclear power plant siting in coastal area, and evaluation for storm surge is the main factor of Design Basis Flood Level. Combining with some NPP examples, some questions and suggestions about evaluation for storm surge are discussed in this paper.

Keywords : Nuclear power plant siting ; Design basis flood level ; Evaluation for storm surge ; Deterministic method ; Probabilistic method