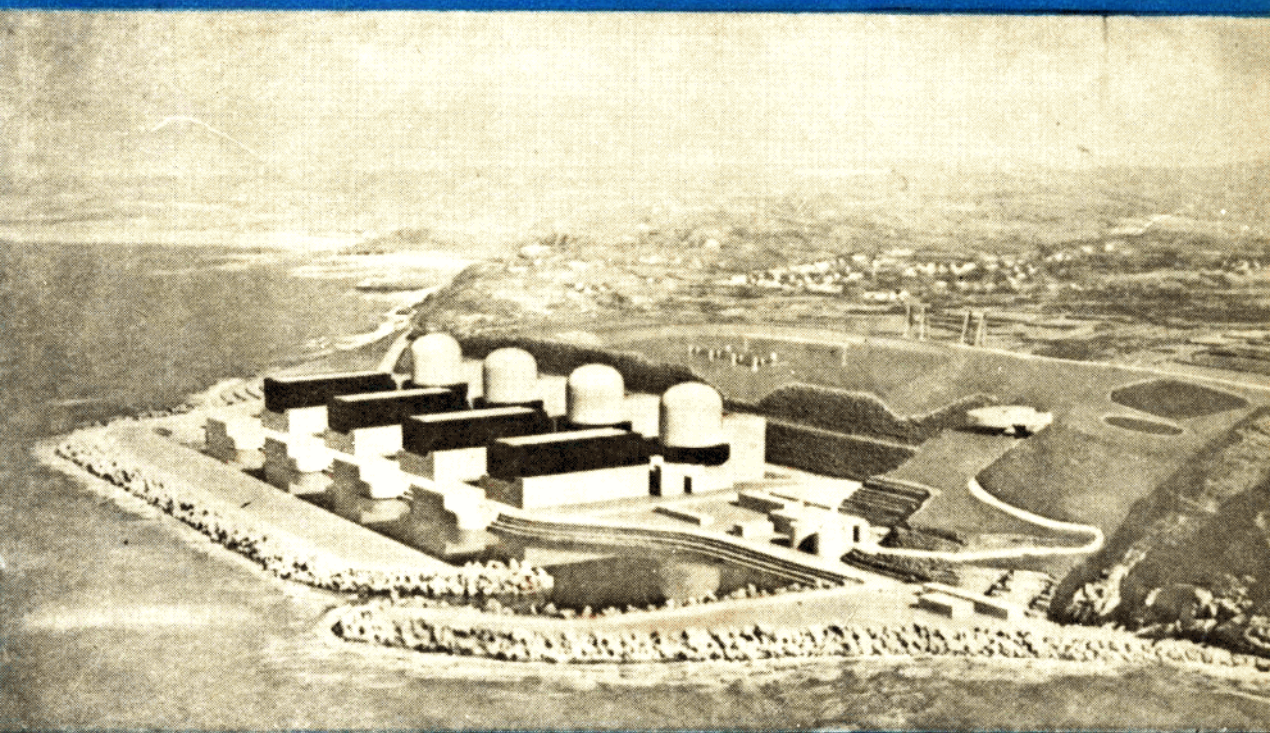


滨海核电站海洋水文水工试验与设计

周金全 主编
陈玉峰



原子能出版社

前 言

为适应我国发展核电的需要,作者通过滨海核电站海洋水文、水工试验和工程设计的实践经验,结合国内外核电站有关资料分析,介绍了滨海核电站的厂址选择、海洋水文工程条件的使用、水工试验和工程设计。

本书力图对分析、试验和设计的内容加以系统化、条理化,以期对滨海核电站建设海洋水文、水工、给水排水专业感兴趣的读者有所帮助。但由于我国核电建设仅仅开始,收集国内、外核电站的技术资料有一定局限性,而且各项工作与现场环境条件非常密切,书中的内容可能不够完善,不当之处在所难免,欢迎读者批评指正。

本书由周金全、陈玉峰主编,第一章由周金全编写,第二章由陈玉峰编写,第三章由黄冠鑫编写,第四章由岳均堂编写,第五章由府仁寿、陈稚聪编写,第六章由周金全编写。

本书在收集资料、编写过程中受到有关单位和同志们的支持和帮助,在此表示感谢。

编 者

1995 年 12 月

目 录

前 言

第一章 概 论	(1)
1. 世界核能发展趋势	(1)
2. 我国需要适当发展核电	(1)
3. 滨海核电站厂址选择的要点	(2)
4. 滨海核电站海洋水文、水工数模计算和试验要求	(3)
第二章 核电站厂址选择及总平面布置	(5)
1. 核电站厂址选择	(5)
1.1 厂址选择准则和基本要求	(5)
1.2 厂址选择程序和内容	(9)
2. 核电站总平面布置	(12)
2.1 总体规划	(12)
2.2 总平面布置	(13)
3. 核电站主厂房布置	(16)
3.1 主厂房组成	(16)
3.2 主厂房布置原则	(16)
3.3 主厂房布置概述(双堆核电机组)	(18)
第三章 滨海核电站场坪标高的设计	(24)
1. 引 言	(24)
1.1 场坪标高设计的特点	(24)
1.2 初步调查及组合事件的选择	(24)
1.3 确定法和随机法的互补	(26)
2. 最高天文潮位和海平面	(26)
2.1 天文潮	(27)
2.2 潮位的调和原理	(29)
2.3 设计用最高天文潮位的确定	(33)
2.4 基准面	(33)
3. 设计基准洪水位的随机法	(35)
3.1 随机分析	(35)
3.2 可靠度分析	(40)
3.3 确定核电站场坪标高的两种随机法	(42)
4. 设计基准热带气旋	(42)
4.1 热带气旋	(42)
4.2 台风的几个重要参数	(44)
4.3 可能最大热带气旋的确定	(47)
4.4 台风的气压场和风场模拟	(53)
5. 风暴潮和海啸、假潮	(55)
5.1 风暴潮的起因与危害	(55)
5.2 台风风暴潮的数值模拟	(56)
5.3 模型的调试	(57)

5.4	可能最高水位的确定	(61)
5.5	半封闭海域的模型	(61)
5.6	海啸和假潮	(67)
6.	海 浪	(72)
6.1	海浪的诸要素	(72)
6.2	影响海浪的因素	(75)
6.3	风场要素的确定	(76)
6.4	风浪要素的确定	(82)
6.5	台风浪的推算方法	(88)
6.6	近岸波要素的计算	(90)
7.	小 结	(93)
	附 表	(94)
	参考文献	(106)
第四章	滨海核电站冷却水与低放废水物理模型试验	(108)
1.	试验研究目的与所需资料	(108)
1.1	核电站需要大量的冷却水,以确保电站的安全经济运行	(108)
1.2	核电站冷却水,经受热升温后,再排回海域,技术条件均十分复杂	(108)
1.3	取、排水工程规划布置的好坏,直接影响核电站建设的投资与安全、经济运行	(108)
1.4	已建和拟建滨海核电站的试验研究情况	(109)
1.5	试验研究所需基础资料	(109)
2.	水和大气热交换与物质交换	(110)
2.1	水面热能交换概论	(110)
2.2	水面热能交换组成部分	(110)
2.3	水面散热系数的确定	(119)
2.4	自然水温	(123)
3.	温排水在潮流中运动的基本理论	(126)
3.1	滨海潮流属三维空间的非恒定流	(126)
3.2	温排水在潮流中的运动模型	(127)
3.3	低放废水的输移扩散	(129)
4.	物理模型试验	(131)
4.1	物理模型试验是科学研究者的一种重要手段	(131)
4.2	相似准则	(131)
4.3	物理模型试验技术	(134)
5.	工程应用实例	(139)
5.1	火电站甲冷却水对黄浦江水温影响的试验研究	(139)
5.2	核电站甲海水取排水工程试验	(147)
5.3	核电站丙冷却水试验与运行情况	(157)
5.4	火电站乙冷却水工程试验与运行观测资料对比	(162)
6.	小 结	(163)
	参考文献	(164)
第五章	滨海核电站冷却水系统的泥沙问题	(167)
1.	河口地区的水流条件及泥沙问题	(167)

1.1 河口地区水流条件	(168)
1.2 河口地区的泥沙运动	(169)
1.3 河口地区的河道演变	(170)
2. 海岸泥沙问题	(171)
2.1 波浪引起的近岸水流	(171)
2.2 海岸泥沙运动	(173)
3. 滨海核电站冷却水系统的泥沙问题	(175)
3.1 冷却水取水口位置的选择	(175)
3.2 取水系统内部的泥沙问题	(177)
4. 冷却水系统泥沙问题的研究方法工程措施	(179)
4.1 冷却水系统泥沙研究方法	(179)
4.2 解决泥沙淤积问题的工程措施	(183)
5. 工程实例	(189)
5.1 冷却水系统概况	(189)
5.2 核电站乙冷却水系统泥沙问题的研究	(191)
5.3 泥沙模型设计和试验实例	(191)
参考文献	(200)
第六章 滨海核电站取排水工程和水工设计	(201)
1. 概 述	(201)
1.1 滨海核电站供水水源、水量和水质	(201)
1.2 滨海核电站厂址选择、水工建筑和取排水工程设计所需的各项资料	(207)
2. 滨海核电站海洋水文、水工数模计算和物理模型试验等委托任务书内容	(209)
2.1 滨海核电站建立临时潮位、波浪、水温、气象(风)的观测站	(209)
2.2 滨海核电站厂址海床稳定和取排水口泥沙冲淤演变的研究	(211)
2.3 滨海核电站厂址海域潮位和波浪计算的研究	(212)
2.4 滨海核电站厂址温排水和低放废水的试验研究	(213)
2.5 滨海核电站厂址邻近海域海底地形测绘及水文、泥沙观测任务书	(214)
2.6 滨海核电站海岸防浪堤、厂区挡浪墙和取水构筑物的波浪模型试验	(216)
2.7 滨海核电站厂址海啸调查论证任务书	(217)
2.8 滨海核电站淡水水源论证及海水、淡水水质检测任务书	(218)
2.9 其他试验项目的研究	(219)
3. 滨海核电站取排水工程是总平面布置的重要组成部分	(220)
3.1 滨海核电站取排水口位置选择的基本原则	(220)
3.2 一般常见的滨海核电站总平面和取排水工程的平面布置	(224)
3.3 滨海核电站确定场坪高程和防浪墙高度	(232)
4. 滨海核电站取排水建(构)筑物设计	(236)
4.1 取排水建(构)筑物设计原则	(236)
4.2 取水建(构)筑物的形式和设计	(237)
4.3 排水建(构)筑物形式和设计	(251)
5. 滨海核电站取排水工程主要设备和管道	(252)
5.1 取排水工程主要设备	(252)
5.2 设备规格书编制要求	(269)
5.3 海水系统主要管道类型和选择	(270)
参考文献	(271)

第一章 概 论

能源是人类生存和社会发展的重要条件,高度发达的现代化社会都是建立在对能源的巨大需求基础之上的。因此能源的开发和利用,是衡量一个国家社会 and 经济发展水平的重要标志之一。

能源建设是关系到国民经济持续、稳定、协调发展和人民生活水平提高的重要问题,是实现我国国民经济战略目标的重要保证,为了实现在本世纪末工农业总产值翻两翻,达到小康水平的宏伟目标,我国已把能源建设确定为经济建设的战略重点之一,并制定了开发能源与节约能源并重的方针。根据我国多年实践的经验,在能源供需平衡中,电力是特别薄弱的环节,必须加快电力建设,以适应经济发展和人民生活用电不断增长的需要。目前,我国电力建设方针是因地制宜,水火并举和适当发展核电。决定适当发展核电的方针是根据世界能源发展趋势和我国国情确定的。这个正确的方针是一项长期的任务,目前正在努力贯彻实施之中。

1. 世界核能发展趋势

从世界能源发展的趋势看,自从1954年世界上第一座核电站在苏联开始运行以后,40多年来世界上许多国家都在积极发展核电。据不完全统计,截止1993年底,世界共有29个国家和地区已拥有核电站,运行中的商业核电站达429座,装机容量350450MW(其中,美国有核电站112座,发电量106400MW;法国57座,58800MW;前苏联42座,34670MW;日本45座,37200MW;德国21座,24430MW;加拿大22座,15350MW;英国37座,16610MW)。目前核发电量占世界总发电量约18%(其中核发电量占本国发电量,法国占78%,比利时58.9%,匈牙利51.4%,韩国49.1%,瑞典45.9%,瑞士39.2%,西班牙35.6%,德国34%,日本30%,英国24%,美国20.6%,加拿大16%,前苏联12.7%)。据有关资料估计到2000年,正在建设的核电站还有87座,其装机容量65670MW。全世界核发电装机容量将达到430000MW,将占世界总发电量的20%以上。40多年来以实践证明,核电技术可靠,运行安全,经济实用,虽然造价比火电贵,但发电成本比火电低,而且核能发电造成的环境污染比火电厂要轻得多,核电站所需核燃料的运输量也很有限。因此核能已成为目前一次能源中除煤、石油、天然气、水力以外的最成熟、最重要的能源,是当代世界能源结构中日益重要的一大支柱。

2. 我国需要适当发展核电

我国有丰富的煤炭和水力资源,在过去相当长的一段时间内,只是初步解决了我国电力的需求问题,还不能极大地满足工农业生产和人民生活的需要,有些地区缺电还很严重,都直接影响国民经济的发展和人民生活水平的提高。

虽然我国能源资源较丰富,水能资源居世界之首,已探明的煤炭资源储量也很丰富,但我国人口众多,人均占有资源仅为世界人均量的1/2,是前苏联的1/7,美国的1/10,能源结构上也不尽合理,目前煤占一次能源消耗量的76%左右,况且煤炭和水力资源在地区分布上很不均匀,60%的煤炭集中在华北、西北地区,70%的水力资源集中在西南地区,而人口相对集中、工农业比较发达的东南沿海地区,则常规能源短缺,交通运输紧张,环境污染也日趋严重,用北煤南运和西电东送的办法来解决这些地区的电力增长需要,将十分困难。因此在东南沿海发展

核电是非常适宜的。

目前我国有一定储量的铀矿资源,我国核工业已有 40 多年艰苦创业的历史,建立了从地质勘察、铀矿采冶、铀浓缩到反应堆元件制造、核燃料后处理等比较完整的核燃料循环体系,已建成生产堆、研究堆、动力堆等多种类型的核反应堆,并有较长时期的安全运行和管理经验,拥有一支专业齐全的技术队伍,所有这些都为发展核电提供了必要的物质基础和技术条件。当然,目前也存在核电站建设投资大、周期长、技术复杂、又缺乏建设大型核电站的经验,根据我国经济实力不可能也不适宜安排大量发展核电,因此当前只宜采取适当发展核电的方针,将核电作为一种补充能源,用来缓解这些地区电力供应紧张的局面,更重要而深远的意义是通过适当发展核电,建造一定规模的核电厂,掌握核电厂设计、制造、施工和运行管理的技术经验,逐步实现设计自主化和设备国产化,形成比较完整的核电体系,为下世纪进一步发展核电做好技术准备。

浙江省秦山 300MW 核电厂和广东省大亚湾 2×900 MW 核电厂相继投产运行,这是我国一个新的起点,是和平利用核能,为人民造福的一次重大成就,是我国核电事业树立了一个里程碑,结束了祖国大陆无核电的历史,使我国核电登上了一个新台阶,也是我国国力的一项新的显示。利用核能发电是高科技转化为生产力的一项综合技术,核电站是个庞大的复杂的系统工程,不仅技术难度很大,而且质量安全要求极严。通过这二个工程的建设,使我们锻炼了队伍,取得了经验,掌握了技术,从而为我国核电事业的进一步发展奠定了良好基础。

另外我国在秦山 300MW 核电成功的基础上,接着为巴基斯坦恰希玛建设核电站,首次扬眉吐气在国外建设核电工程,创造中国核电史上的另一页辉煌。

我国核电建设和运行中自始至终贯彻“安全第一,质量第一”的方针。采取极为认真的态度和有利的措施,确保核电站的安全,尽力做到万无一失。

我国核电站的建设,又全面地贯彻执行“以我为主,中外合作”的方针,较好地处理了以我为主,中外合作两者之间的关系,从而促进了技术水平的不断提高。

在国家全面规划和统一领导下,根据“八五”和“九五”期间的进一步论证工作,已确定东南沿海地区作为我国核电的重点开发区,已明确列入国家建设计划的有浙江省秦山核电二期工程、广东省第二核电站、辽宁省核电站和浙江省秦山核电加拿大重水堆工程。初步可行性研究已审查通过,还有浙江省三门核电站、福建省核电站、山东省核电站、江苏省核电站等等。

可以预料,充分利用我国核电建设掌握的实践经验,认真贯彻执行适当发展核电的方针,一定会继续取得更大的成就,我国核电发展的前景将是十分广阔的。

3. 滨海核电站厂址选择的要点

滨海核电站厂址选择是一项技术复杂、牵涉面广,又是政策性、技术性综合性都很强的工作。确定一个核电站的厂址必须全面的论证比较,需进行一系列调查研究、现场勘察、试验工作,要统一规划、合理布局,并经国家有关部门批准。

根据核电站建设的工作实践和国内、外咨询和考察工作,在核电站厂址选择时应考虑和掌握下列原则和条件。

3.1 核电站厂址选择应尽可能靠近用电负荷中心,缩短输电线路,减少基建投资和运行费用。

3.2 核电站场地面积应满足建厂和施工场地的要求,一般厂区面积(按 4 台 1000MW 机

组考虑)占约 50hm^2 (公顷),施工场地(按两台 1000MW 机组考虑)约 $20\sim 30\text{hm}^2$,地形坡度不大于 18% 。

3.3 核电站厂址地质条件应选在区域稳定的地质构造单元上,避开能动断层和不良的地质地段。主厂房的基础尽可能座落在地基稳定的基岩上。一般不选在地震活动性高的强震区,地震烈度尽可能 ≤ 7 度或地震地面运动水平加速度 $\leq 0.2g$ 。

3.4 厂址周围人口较少,远离大、中城市及风景区,适于环境保护,厂址附近无重要的鱼场和水产养殖场。

3.5 厂址气象条件应有利于核电厂排出物的弥散和排放,主导风向显著偏离集中居民区,并应尽量避免强台风龙卷风地区。

3.6 核电站海水取排水条件

滨海核电站利用海水作为冷却水源和最终热阱,一般采用直流供水系统。

海边取水条件必须满足在 97% 低潮位时水深应 $\geq 4.5\text{m}$,取水口位置和布置型式,应结合现场条件进行水工模型试验,应满足热水扩散后,使取水温升不超过 1°C ,并使取、排水口之间距离最短。

3.7 厂区防洪

核电站核级厂房(核岛厂房、安全厂用水泵房等)应按核安全法规 HAF0111 进行分析、试验和设计。雨水排除按最大可能降雨强度计算,应单独设置雨水系统。

3.8 核电站淡水供应

滨海核电站淡水主要供给高质生产用水和生活、消防用水。淡水水源应满足水量和水质的要求,枯水期保证率应 $\geq 97\%$,地表水源应设置净化处理厂,淡水输水管线应尽量缩短。

3.9 核电站厂区交通

厂区交通要求比较方便,有可供选择的合理经济的交通运输条件,同时还设有应急通道。

3.10 核电站厂址应位于不受外界人为因素影响或影响较小的地区。

4. 滨海核电站海洋水文、水工数模计算和试验的要求

根据核电站厂址选择的要求,一般核电站厂址选在紧临海边,一方面海边人口密度小,厂址少占良田耕地。另一方面可以就近取用大量海水,作为核电站的冷却用水,核电站排出的温排水和低放废水就近排入海中进行稀释。因此滨海核电站在防止洪水侵蚀,确定场坪标高和整个建设期间,海洋水文条件和各项水工数模计算和试验是非常重要的问题。必须通过海洋水文资料条件分析和各种水工模型试验成果,满足核电站水工设计的各项要求。

为确定核电站厂址要调查和收集海洋水文、水工、气象等全面资料,并根据核电站每个设计阶段应进行各种水工数模计算和物理模型试验。具体内容如下。

4.1 海洋水文方面:主要有潮位、波浪、潮流、水温、海雾、冰凌、海生物等资料。

4.2 滨海核电站厂址处,应建立潮位、波浪、水温、气象临时观察站。观测时间按 2 年考虑(波浪可按两个台风季节考虑),并进行海水水质分析。

4.3 海岸稳定、取排水口海床泥沙冲淤变化的分析研究,并对海岸线附近和近海底部地区沉积物的类型和可侵蚀性进行分析。

4.4 应收集厂址附近海域不同比尺的水下地形图和军用海图资料,并应进行海域地形测量。

4.5 根据取排水布置方案,进行温排水和低放废水数模计算和水工物理模型试验。

4.6 滨海核电站取排水构筑物受海域泥沙和波浪影响的水工模型试验。

4.7 海水腐蚀和海生物生长及繁殖等情况的调查和分析。

在确定滨海核电站厂址各个阶段中,应结合工程实际内容全面进行海洋水文、水工和气象资料收集和调查。

一般在核电站厂址选择和筛选阶段时,应充分利用现有调查和收集的资料进行分析研究。

当核电站进入设计阶段时,应委托有关单位进行详细调查和勘测。并应进行数值计算和物理模型试验。如厂址附近海域建立潮位、波浪、水温等临时观测站掌握详细的海洋水文资料。对海岸稳定、取排水口海床泥沙冲淤变化、潮流测量的分析研究,温排水和低放废水进行数模计算和物理模型试验。如含沙量高、波浪大的海湾还应进行取水构筑物泥沙和波浪模型试验等工作。

第二章 核电站厂址选择及总平面布置

本章主要叙述与核安全有关的厂址选择及总平面布置,除此之外,还应考虑与核电站建造、运行、管理有关的类似于常规电厂的厂址选择及布置的原则和要求。

1. 核电站厂址选择

核电站厂址选择是整个核电站工程建设中非常重要的一环,不仅直接影响核电站的基建速度和投资,而且对以后核电站安全运行、经济效益、环境保护等也将产生长期影响。厂址选择是一项政策性、技术性、综合性都很强的工作。

1.1 厂址选择准则和基本要求

1.1.1 统一规划,合理布局

核电站厂址选择要根据国民经济发展和建设规划、工业布局、电力发展规划,以及一次能源平衡等基本要求,结合建厂地区的电力需求、自然条件、社会环境等因素,统一规划,合理布局。通过多方案分析、比较,在中央和地方有关部门和单位参与下,共同选择厂址。

核电站乙工程,是1986年1月国务院决定由江苏江阴改到浙江海盐而确定的。华东地区既缺煤又缺电,由于该地区经济的迅速发展,每年按10%以上电量猛增,单靠火电不能从根本上解决该地区用电需求。核电站乙工程两台600MW核电机组,可以缓解工业发达的华东沿海地区严重缺电状况,靠近华东电网杭-嘉-湖用电负荷中心,符合我国工业布局。鉴于核电站厂址选择的困难,该地区发展成一址多堆的核电基地,节约投资,便于统一管理,有利环境保护和执行应急计划,符合我国核电发展规划,布局合理。因此得到中国核工业总公司和华东三省一市的大力支持,厂址选择也可充分利用核电站甲工程的经验和大量资料。

核电站乙工程厂址选择中,重点考虑接入系统方案和出线走廊。按4台600MW机组考虑,以四回线路接入500kV电网,其中两回到拟建的嘉兴变电所方向,另两回到瓶窑变电所方向。核电站乙工程在厂区共建一个500kV和200kV开关站。根据安全导则的要求,从上海和嘉兴变电所方向220kV电网分别引一路线作为厂外备用电源。经多次与当地电力部门反复协商,签订了出线走廊协议,500kV四回出线走廊(宽240m)从厂区北侧出线,220kV两回进线走廊(宽90m)从500kV出线东侧进线。

1.1.2 保护公众,保护环境

核电站厂址选择的主要目标,是保护厂区人员、公众、环境免受事故状态下放射性物质大量释放所引起的过量放射性影响。在厂址选择过程中,必须考虑核电厂释放的放射性物质对厂址所在区域及周围居民的影响。根据水文、气象、水文地质条件,选择对大气弥散、地表水和地下水弥散有利的厂址,减少和防止放射性物质对环境的大气污染、地表水及地下水的污染;同时严格控制放射性废液、废气的排放,妥善处理放射性固体废物,从而减少对公众和环境的影响。厂址要远离大、中城市及风景区,周围人口要少,应满足核安全的最终目标;在运行状态下,对厂区人员和公众所受到的辐射,保持在合理可行尽量低的水平,在任何情况下都不超过国家规定的限值;在事故状态下(包括可能导致需要采取应急措施的事故状态),对厂区人员和公众造成的辐射风险,要低到可接受的水平,并符合国家规定。

核电站乙工程厂址选择中,特别重视大气扩散条件,杨柳山厂址与方家山厂址相比,地形

开阔,对大气扩散有利。在两个厂址比较中,为了进一步搞清杨柳山厂址的大气扩散条件,第一次联合选厂组会议决定,立即委托中国辐射防护研究院开展杨柳山厂址风洞模拟试验,后来又做了现场大气弥散试验,试验表明,杨柳山厂址受该区山体尾流影响小,对大气弥散有利,可减少放射性物质对环境的大气污染,有利保护公众和环境。而方家山厂址受该区山体尾流影响较大,不利于大气扩散。第二次联合选厂组会在两个厂址中推荐杨柳山厂址是正确的。

核电站乙工程厂址选择还十分重视海水弥散条件。为此,第一次联合选厂组会就决定,立即委托中国水利水电科学研究院冷却水所做了取排水微模型试验,后来又做了温排水和低放废液排放物理模型试验和数值模拟计算。杨柳山靠近杭州湾,在地理上属钱塘江的外海区,从海口向内由宽变窄,急剧收缩,导致潮流作用强劲,潮差大,每天两次高潮,两次低潮,涨潮流速 4m/s ,落潮流速 3m/s ,水深流急,因此具有很大的掺混扩散能力。核电站排出的低放废水排入循环冷却水中,经循环冷却水稀释后,一起直接排入杭州湾,温排水流出后即与海水剧烈掺混,局部温降很大,海水稀释能力很强,排水口几平方公里范围,稀释能力可达10倍。试验表明,核电站甲、乙和三期工程温排水,对核电站乙工程取水口日平均取水温升影响为 0.4°C ,最大取水温升为 0.7°C ,是可接受的。海水温升 1°C 的包络面积为 $0.9\sim 3.1\text{km}^2$,对水环境造成的热污染影响范围较小,对环境基本没有不利影响,低放废液直接排入海水中,稀释扩散,对居民也基本不产生不利影响,从水体弥散的角度,杨柳山是一个非常好的厂址。

经计算,正常运行工况及事故工况,放射性气体和液体排出物通过各种途径所造成的个人和集体最大有效剂量当量,均远小于国家规定的限值,是完全可以接受的。

1.1.3 地形开阔,地质可靠

厂址地形选择要有利于建设和运行,尽可能选择开阔、平坦、完整成片的场地,避免大量的土石方开挖与回填。厂址地质条件对确定厂址关系极大,地质包括地震地质、工程地质及水文地质。为确保核电站安全,必须保持核电站在地震荷载作用下的地基稳定。厂址不要选在地震活动性高的强震区;不能靠近能动断层;不能产生地表断裂;不能有影响安全的地面塌陷、沉降或隆起;不能存在不能接受的基土液化、斜坡不稳定性;不能有厚层不良土壤覆盖;不能有大片岩溶、大量流沙淤泥、严重土崩等。厂址要选在区域稳定、对抗震有利的地区。地下水位宜在基础底面以下。主厂房群宜建在稳定的基岩上。

核电站乙工程厂址选择中,开始主要围绕方家山厂址进行,因国家计委要求和三期工程($2\times 600\text{MW}$)一起规划,方家山布置4台 600MW 机组有困难,而且三期工程场地距空军靶场航线太近(垂直距离约 500m),当时曾建议将三期工程移至该区南侧的桃花坞(包括杨柳山)厂址,对厂址进行多方案比较。

1988年1月根据国家计委关于对厂址进行多方案比较的批复,厂址选择主要围绕杨柳山厂址进行。鉴于地形、地质条件对确定厂址的重要性,组织设计院到杨柳山现场踏勘,认为场地开阔,条件较好,紧接着就组织设计院和几家工程勘察单位,开展地形测量和工程地质勘探,结果表明,杨柳山厂址没有岩溶等种种不良地质现象,4台机组的主厂房群和与安全有关的建构物布置在杨柳山上,基岩为火山碎屑岩,基础均可座落在完整、均匀的基岩上,地基稳定,无稳定的含水层;而BOP与安全无关的辅助建构物,可布置在用开挖的石头回填的桃花坞海滩上。整个厂区开挖、回填、整平以后,开阔、平坦,整个厂区面积约 120hm^2 (公顷),满足建厂用地和施工用地的要求。而方家山厂址,难以预留三期工程建厂场地,施工场地就更加紧张。联合选厂组会经过充分比较和艰苦论证,确定杨柳山厂址是正确的。

地震对确定厂址关系也极大,鉴于此,从选厂开始就非常重视地震。首先是充分利用核电

站甲工程的已有资料,鉴于国家核安全局对肖山-球川断裂、厂址极限安全地震动 S2 的峰值加速度 $0.11g$ 、地震海啸等问题还有保留意见,为确保核电站安全,组织设计院编写任务书,邀请专家审查任务书,委托有权威的国家地震局、江苏地震局地震工程研究所和国家地震局地质研究所承担地震地质和工程地震的研究工作。研究结果表明,厂址区不存在能动断层,肖山-球川断裂只是一条可能发生中强地震(6 度)的断层,没发生过显著的地表错动;厂址的极限安全地震动 S2 为 $0.15g$;厂址区不存在地震海啸。核电站乙工程厂址所在区域地质构造稳定,地震活动微弱,不存在活动断层,不会产生地表断裂、地面塌陷或隆起。杨柳山自然边坡稳定。地震研究表明,厂址是安全的。

1.1.4 防止事故,确保安全

厂址选择中必须考虑厂址所在区域可能发生的所有外部自然事件(地震、地表断裂、地面塌陷和沉降或隆起、基土液化、斜坡不稳定性、洪水等)和人为事件(飞机坠毁、化学品爆炸、危险液体释放、着火等)及极端气象(龙卷风、热带气旋等)对核电站安全的影响,由外部事件引起的放射性风险不应超过由核电站内部事件所引起的放射性风险。厂址要确保具有接受反应堆余热的最终热阱水体及其输热的安全厂用水的水源。确保厂外备用电源和厂内应急电源。总之,从厂址特征方面要防止外部灾害引发事故,在核电站遭受外部灾害后,要达到下列三项基本目标:(1) 保持反应堆冷却剂系统的完整性;(2) 使反应堆停堆并排出余热;(3) 使核电站厂址范围内各种放射性物质的释放限制在容许的水平,确保安全。

核电站乙工程厂址选择中,自始至终贯彻了这个“安全第一”的思想和原则,根据 HAF0100 对可能发生的所有外部事件和极端气象逐一收集资料,开展调查,落实发生的可能性。除第 1.1.3 节所述地质、地震有关的外部自然事件委托有资格的单位研究并给出正确结论外,组织设计院和有关单位,重点对厂址附近的空军训练靶场飞机坠毁、化学品爆炸、台风、龙卷风等,都做了详细调查。调查表明,厂址区 7~9 月台风活动多,并伴随暴雨,百年一遇最大平均风速为 $33.0m/s$,最大过程雨量为 $159.4mm$,厂址可能发生的龙卷风为 F4 级,设计基准按美国评价标准,最大风速为 $116m/s$;飞机坠毁、化学品爆炸等,通过调查,确定了设计基准。上述人为事件和极端气象在厂址虽然存在,但采取工程措施,不会引发事故,可保证安全。

1.1.5 靠近水源,防止淹没

为了确保核电站安全,必须确保最终热阱(水体或大气)及安全厂用水;核电站运行时还需要大量的循环冷却水和必要的生产、生活用淡水,因此,厂址要靠近水源,最大限度地利用天然水源。选厂时应优先考虑沿海地区或靠近大江、大河的地方,便于取水,也便于放射性废液和余热的稀释排放。但同时必须考虑洪水泛滥而影响核电站安全,保证不被洪水淹没。场址标高根据防洪要求确定,必须高于设计基准洪水位,否则必须建造永久性防洪构筑物。滨海厂址设计基准洪水根据可能最大风暴潮、假潮、海啸、风浪、基准水位等洪水事件确定;滨河厂址设计基准洪水根据降雨及融雪、天然或人工水库突然泄放以及其他洪水事件确定。

核电站乙工程厂址紧靠杭州湾,取水方便,水量足够,而且可以充分利用天然水源,节约投资;同时,厂址处海水潮流强劲,海水稀释和扩散能力很强,便于放射性废液和余热的稀释排放。但同时必须考虑洪水泛滥影响核电站的安全。因海水含沙量大(小潮汛 $6\sim7kg/m^3$,大潮汛 $10kg/m^3$),淤积严重,还要考虑泥沙淤积对取水的影响。鉴于核电站甲工程取水口泥沙淤积严重,为解决泥沙淤积问题,第一次联合选厂组会决定,立即委托浙江省河口海岸研究所(河口所),做了岸滩稳定分析,取水口泥沙冲淤变化观测,根据分析结果,尽管取水口泥沙冲淤变化很大,而且总的趋势是淤积,在核电站 40 年寿期,取水不成问题。此外,杨柳山厂址与方家山厂

址相比,方家山输水隧道为1.5km,杨柳山为270m,缩短工期,节约投资;方家山排水管道要穿越核电站甲工程海堤,难度较大,而杨柳山不存在穿海堤问题,便于施工,降低造价。两个厂址取水都有保证,但杨柳山取排水条件更好,因此,第二次联合选厂组会确定了杨柳山厂址。确定厂址以后,为了落实取水条件和泥沙淤积的设计基准参数,又委托河口所做了泥沙淤积物理和数学模型试验和计算。结果表明,取水口目前水深 $-22\sim-18\text{m}$,在核电站寿期内最多淤积3m,水深变为 $-19\sim-15\text{m}$,设计取水标高 -10m ,取水有保证。试验还表明,由于取水口不断取水,取水口50~100m范围内总存在一个稳定的冲刷漏斗,保证取水。若一段时间停止取水,造成泥沙淤积,经过1~3个月自然冲刷,也能恢复到 -14m 以下高程,仍能保证取水。

除了考虑泥沙淤积对取水的不利影响外,我们还考虑了天文潮和风暴潮对取水的不利影响。为此又委托河口所作了最低天文潮和千年一遇风暴潮减水的分析,分析结果,杨柳山厂址历史最低天文潮为 -3.75m ,千年一遇风暴潮减水为 -2.07m ,两者组合后得设计低水位为 -5.82m 。安全厂用水取水管顶标高为 -8m ,可以保证取水。

因防洪要求与场坪标高密切相关,从厂址选择开始,我们就非常重视这个问题,曾多次组织设计院到现场收集核电站甲工程的有关资料。鉴于核电站甲工程设计基准洪水位的确定缺乏足够的依据,为了确定设计基准水位,第二次联合选厂组会确定杨柳山厂址后,立即委托河口所做了潮位分析和波高计算,根据河口所的计算结果,初步确定场坪标高10.93m。

厂址选择初期,如何根据安全导则 HAF0111 确定设计基准洪水位,不是十分明确和具体,曾多次组织核二院、河口所与国家核安全局讨论,参加国家核安全局组织的设计基准洪水位研讨会,进一步明确了计算方法。为了彻底解决这个问题,组织设计院编写任务书,邀请这方面的专家进行审查,又委托南京水科院做了波浪爬高模型试验。河口所按统计法和确定论法,计算历史最高天文潮和可能最大风暴潮增水,以及相关的风浪波高和周期,绘制了时程曲线和包络线,根据时程曲线和包络线确定设计基准洪水位。核电站乙工程场坪标高按包络线峰值确定,即历史最高天文潮+千年一遇风暴潮增水+0.5千年一遇1/100大波波高 $=7.7+0.5\times 6.46=10.93\text{m}$ 。同时考虑波浪爬高的影响,波浪爬高模型试验按场坪标高10.93m,防浪墙高1.5m设计,试验表明,10.93m满足防洪要求,虽有一定越浪量,采用工程排水措施,是可接受的,不会造成洪水淹没。

1.1.6 场地适宜,节约用地

厂址要有适宜的场地。场地大小应满足核电站设置非居住区的要求,以反应堆为中心半径不得小于500m;满足各建构筑物、各种管线布置的要求。此外要有适当的施工场地,还要根据核电规划留有发展扩建的余地。但要注意节约用地,总平面布置要紧凑,充分利用山地、坡地、荒地、滩地,不占或少占良田,在可能的条件下结合施工改土造田、填海造地。

核电站乙工程厂址选择中,根据这一原则,对杨柳山和方家山两个厂址进行比较,杨柳山场地适宜,确定了该厂址。杨柳山厂址可同时规划布置4台机组,满足国家计委预留三期工程2台机组的要求,除满足各建构筑物、各种管线布置的要求外,还有约40hm²的海滩回填后,可作为施工用地,核电站乙工程和三期工程公用设施可统一考虑共用,布置紧凑,节约用地,而且充分利用山地、海滩地,少占耕地。而方家山厂址只能布置2台机组,不能预留三期工程2台机组的用地,公用设施也不能共用,施工用地也非常紧张,厂区占用耕地多,移民也多,难度较大。杨柳山厂址可谓“场地适宜,节约用地”。

1.1.7 交通便利,运输可靠

核电站规模大、涉及面广、建设周期长,有大量的设备、器材运输,还有适量的核燃料、放射

性固体废物运输,核电站一旦发生严重事故,为执行应急计划还应该有一定的救护和疏散条件。因此,交通方便是应该考虑的一个重要因素。要根据当地的具体情况,选择便利、可靠、经济的运输方式。

核电站乙工程杨柳山厂址靠近沪杭公路,在核电站甲、乙工程之间打通一条近1km的隧道,通过核电站甲工程主干道与沪杭公路相连,交通方便。大量的一般设备、器材,可采用公路运输。建筑材料除公路运输外,还可通过内河运到内河码头,再运到施工地点。

核电站甲工程大型设备经沪杭公路运到厂区时,需实行封锁交通,对沿途桥梁及跨越公路的输电线路需采用特殊措施,有关工厂停产。鉴于核电站甲工程大型设备采用沪杭公路运输难度大、费用高,而改造沪杭公路要加固沿途桥梁、征地移民,难度更大,因此,核电站乙工程大型超限、超重设备运输,以及核燃料安全运输,在厂址选择初期就确定采用水运为主、陆运为辅的水陆联运方案。在厂区附近建造一个3000t级的海运码头,大型设备、放射性固体废物和核燃料通过厂区海运码头,经海上直接运入或运出,或再经上海中转换船,从海上运入或经陆上运出。

为落实水运条件,第一次联合选厂组会后,立即委托交通部第三航务工程勘察设计院(三航院),做了海运码头初步方案,对海运码头的位置开展可行性研究,提出杨柳山南岸和白塔山对岸老海塘核电站甲工程厂址入口北侧两个可供选择的位置,第二次联合选厂组会确定杨柳山厂址后,因第一个海运码头位置紧靠厂区,大件运输方便,初步倾向该位置,并开展海床稳定分析和水文测验,结果表明,该位置涨潮、落潮时海水流速达6m/s之多,而且流向混乱,施工困难,投资大,船进码头和停靠码头困难大,也不安全。为确保运输安全,海运码头又改到第二个位置,即白塔山对岸,做了海床稳定分析和水文测验,确定了码头的具体位置。

上海到乍浦的陈山码头已有航道,可通过万吨油轮。为了落实陈山码头到秦山海运码头的航道,委托三航院做了可行性研究,提出两个航道方案,经比较,确定了沿海边已有深槽开辟航道的方案。

海运码头及航道落实以后,核电站乙工程采用水运为主、陆运为辅的水陆联运方案,解决大型设备、放射性固体废物和核燃料的运输,是安全、可靠又经济、合理的。

为了解决核电站一旦发生严重事故,执行应急计划应有一定的救护和疏散条件,核电站乙工程厂区除打通一条隧道通过核电站甲工程主干道与沪杭公路相连外,还利用当地已有机耕路,加以改造,修一条公路,使厂区在另一方向与沪杭公路相连,可作为应急备用道路。

1.2 厂址选择程序和内容

1.2.1 厂址选择的阶段划分

核电站厂址选择分三个阶段。

1. 厂址查勘阶段 根据与安全有关的厂址特性和非安全有关的厂址特性,确定推荐厂址(至少应有两个)。通过三个步骤完成:

- 1) 进行区域分析,查明可能厂址;
- 2) 筛选可能厂址,选择候选厂址;
- 3) 比较候选厂址,确定推荐厂址。

2. 厂址评价阶段 对推荐厂址进行全面调查和评价,证明推荐厂址满足安全要求,是可接受的,并确定与厂址有关的设计基准。

3. 运行前的阶段 建造开始之后到运行开始之前,对选定厂址进行深入调查和试验,以

便完成和完善厂址特征的评价。

1.2.2 厂址选择的组织

1. 核电站厂址选择工作应组织联合选厂组,可由主管部门担任组长,建设单位和设计院担任副组长,电力、环保、土地、水利、交通、地震、地质、城市规划等有关部门参加,共同进行厂址选择工作。

2. 厂址选择的具体工作,包括收集资料、现场踏勘、勘察、调查、试验、评价、比较、编写报告等,应组织专业齐全的选厂工作组,包括总图运输、电力、核工程、辐射防护、土建、地震、地质、水文、气象等,可由建设单位担任组长,负责选厂的组织工作,提供基础资料;设计院担任副组长,负责提出厂址选择的任务要求,进行厂址评价、比较,编写厂址选择报告。

3. 联合选厂组召开厂址选择审查会,听取有关部门和单位的意见,对厂址方案进行安全、技术、经济等全面比较,确定推荐厂址。

1.2.3 厂址选择程序和内容

1. 厂址选择准备

1) 拟订厂址选择工作计划。

2) 各专业拟出厂址选择主要指标并进行初步估算,包括建厂规模、占地面积、建筑面积、发电量、核燃料、放射性废物、设备材料及其单件最大尺寸和重量、水量及水源、运输量及方式、环保、输电线路、人员编制、工程总进度、投资、协作等。

3) 绘制厂区总平面布置方案草图。

4) 拟出搜集资料提纲等。

2. 现场调查和搜集基础资料

1) 现场踏勘,搜集基础资料,包括地形、地质、地震、水文、气象、环境、电网、交通、人口、土地利用、施工条件、地方建筑材料等方面的基础资料。

2) 根据厂址选择不同阶段对内容及深度的要求,开展现场工作,获得所需的基础资料。

(1) 开展地形测量、工程地质勘探;

(2) 地震地质、工程地震的调查研究;

(3) 水文观测、水质化验分析、水文地质勘探、取排水工程试验及其泥沙冲淤试验、温排水和低放废水排放扩散试验、设计基准洪水计算和波浪爬高模型试验;

(4) 气象观测、风洞模拟试验、大气弥散试验、极端气象调查;

(5) 环境调查,包括人口、土地利用及资源、工农业生产、海洋生物、外部人为事件、放射性本底调查等;

(6) 有效应急活动(通讯、出入口、撤离、运输等)的可行性等。

3. 厂址评价、比较、筛选

在现场调查、试验和资料整理的基础上,根据厂址特征对厂址进行安全、技术、经济评价、比较、筛选,推荐厂址。

1) 与安全有关的厂址特征包括:能动断层、地表断裂、地面塌陷和沉降及隆起、斜坡不稳定性、地下岩土层的适宜性、地震活动性、火山活动、洪水泛滥、龙卷风、热带气旋、飞机坠毁、化学品爆炸、危险液体释放、着火、大气弥散、水弥散、人口分布、应急计划、土地利用、安全厂用水可用性等。

2) 非安全有关的厂址特征包括:电网、冷却水、交通运输、地形、环境、离工业中心的远近、社会经济、施工条件等。

4. 编写厂址选择报告和环境影响评价报告

1) 厂址选择报告内容

- (1) 概述:依据、工作组织、工作经过;
- (2) 建厂必要性:电力负荷、电力平衡、核电站在电力系统中的作用;
- (3) 地理位置、周围环境、地形地貌;
- (4) 地质:工程地质、水文地质、地震地质、区域稳定性、地基稳定性;
- (5) 水文、取排水、设计基准洪水;
- (6) 气象、极端气象;
- (7) 新燃料供应、乏燃料运输及处理;
- (8) 放射性固体废物的贮存和处理;
- (9) 电力系统及其连接、出线回数、方向及电压;
- (10) 交通运输:运输方式及设施;
- (11) 厂区总平面规划及布置、生活区规划;
- (12) 环境影响评价和环境保护;
- (13) 安全评价;
- (14) 技术条件的分析和比较;
- (15) 经济分析和比较;
- (16) 结论、存在问题及建议。

附件:附图和应取得的协议文件(同意建厂协议、征地协议、用水协议、建造和使用码头协议、出线走廊协议、防洪协议等)。

2) 环境影响评价报告内容

- (1) 概述:建设依据、目的、规模、规划;
- (2) 厂址与环境:地理位置、人口、土地利用及资源、气象、水文、地质、地震、噪音;
- (3) 核电站概况:厂区规划及总平面布置、主回路系统、核辅助系统、专设安全设施、放射性废物处理系统及源项、废物运输;
- (4) 核电站施工建设对环境的影响;
- (5) 核电站运行对环境的影响;
- (6) 核电站事故对环境的影响;
- (7) 流出物监测和环境监测;
- (8) 厂址筛选;
- (9) 核电站建设和运行的效益分析;
- (10) 结论。

5. 厂址选择审批和定点

- 1) 厂址选择报告经主管部门审查后,报国家核安全局审批。
- 2) 环境影响评价报告经主管部门审查后,报国家环境保护局审批。
- 3) 厂址选择报告和环境影响评价报告都是可行性研究报告的一部分,连同可行性研究报告其他部分,经主管部门审查后,报国家计委。
- 4) 国家计委收到国家核安全局《核电站厂址选择审查意见书》、国家环境保护局《核电站环境影响评价报告批准书》后,对可行性研究报告进行评估和审批,确定厂址。

2. 核电站总平面布置

2.1 总体规划

2.1.1 总体规划的作用

总体规划是核电站总的布置。在厂址选择过程中就应作些原则性的考虑,确定厂址后,在进行厂区总平面布置和初步设计时详细进行。

总体规划重点落实核电站的外部条件,对核电站的厂区、水源地、取排水管线、厂内外交通运输、输电线路、防洪、三废处理及环境保护、施工场地、生活区等进行全面规划。正确解决和处理主体工程与配套工程的关系,近期建设与远景发展的关系,生产与生活的关系,核电站与邻近城镇和企业的关系。

2.1.2 总体规划的原则

1. 根据上级批准的规划容量,一个核电站的厂址可布置若干台核电机组。根据辐射防护规定,核电站应设置以反应堆为中心、半径不小于500m的非居住区,严禁居民居住。厂区边界根据非居住区、各建构筑物、各种管线的布置要求,结合厂址的地形、地貌、气象、交通等具体条件确定。核电站周围应设置以反应堆为中心、半径不小于5km的限制区,限制人口机械增长,不得兴建大的企事业单位、医院、疗养院、旅游胜地、飞机场、监狱等,核电站生活区应在限制区外,以减少放射性物质对公众和环境的影响,便于事故状态下采取应急措施。

2. 核电站的循环冷却水用量大,应当首先考虑选用江、河、湖、海等天然地表水源,采用直流供水方案;当地表水可取量小,亦可采用冷却塔循环供水方案,但应有充足的补充水源。工业及生活用淡水一般选用河、湖、水库作为水源。

环境冷却水和安全厂用水可选用同一取水口,也可分别选取,但安全厂用水必须绝对可靠,对影响水位下降的起因事件进行合理组合,并考虑泥沙淤积影响,确定最低水位。淡水按保证率97%的枯水年考虑水量。取水口应尽量靠近厂址;排水口要避开取水口、鱼类产卵场和水生物养殖场,并使放射性废液、化学物质和热排放都保持在规定的允许范围内。取排水口的选择,应尽量使管线缩短而顺直。

要保证核电站用水,同时要满足核电站防洪要求。

3. 高压输电线的进出线位置和走向要顺利,并与电网及当地有关部门共同确定。要设置两路实体上独立(走线不必分隔开)连接的高压输电网的厂外电源,在核电站停止运行时仍能对安全厂用设备供电。高压输电线要保证足够的出线走廊,避免迂回交叉,不能跨越村庄、工厂、车站等永久性建筑。高压出线可直接与变电所连接,或经高压开关站与电网连接。开关站应尽量靠近汽轮发电机厂房,同时要便于输电线进出。

4. 要满足厂内外交通运输的要求,并使交通运输方便。核电站的大件运输和新、乏燃料运输若采用水运方式,水运码头尽量靠近厂址,避免转运;若用公路运输,进厂公路主干道宜从最近已有的公路引入。要确保大件和新、乏燃料运输安全,必要时设置中转站。根据应急计划的要求,核电站还要建造一条应急备用道路。

5. 核电站可分期建设,总体规划应一次完成。除对厂区和建厂的外部条件作出规划外,对施工场地、生活区等同时作好规划,满足安全、生产要求,与邻近城镇和工矿企业的规划互相协调,留有发展余地。