

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.04.023

核电站常规岛厂房竖向标高设计影响分析

江添明, 李闯

(深圳中广核工程设计有限公司, 深圳 518031)

摘要: 一般核电厂重要厂房的内部布置在原型设计的总体方案中已经标准化, 包括常规岛厂房的内部分层和重要设备的布置。厂房竖向标高指在电厂设计初期确定厂房的底层相对于厂址总平面零米标高的相对高度。核电厂循环水量大, 循环水泵是常规岛侧最大的能耗用户, 凝汽器水室标高的变化, 对循环水泵的能耗非常敏感。结合工程实践和国内外对常规岛厂房竖向布置的研究成果, 通过整体上下调整常规岛厂房标高以充分利用虹吸可利用高度的布置方法, 需要考虑凝汽器水室底部排水, 厂房起吊跨的净空高度, 厂房与厂外总平面的交通等问题等, 定性分析了需要考虑的影响因素, 为各新建厂址常规岛厂房竖向标高定位提供参考。

关键词: EPR; 常规岛厂房; 竖向标高; 半地下布置

中图分类号: TM623

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)04-0128-04

Impact Analysis of Vertical Arrangement for Conventional Island in Nuclear Power Plant

JIANG Tianming, LI Chuang

(China Nuclear Power Design Company, Ltd. (Shenzhen), Shenzhen 518031, China)

Abstract: In nuclear power plant, the important buildings are standardized arranged, including Conventional Island (CI) building, the floor levels and the main equipment allocation are fixed in the original blue print. In this article, the vertical level elevation means the bottom elevation of CI building VS the site elevation. In nuclear power plant, the quantity of circulating water is large; the circulating pumps are the main power consumers. So the level variable of condenser is sensitive to the electrical cost of the circulating pumps. This article is based on the project feedback and the dedicated study by nuclear power plant designers for the vertical level, analysis the use of the fix height between the top of condenser and the level of overflow pit to earn the energy, in the meantime, the bottom level of condenser water box shall be above the higher sea level in order to be able to empty condenser water boxes for maintenance, the net height of handling row, transportation between the CI building and site, etc. are taken into account. Qualitative analysis list the relative factors should be considered in new power plant site.

Key words: EPR; conventional island; vertical arrangement; semi-underground arrangement

对于滨海核电厂, 在开展常规岛厂房设计过程中, 为节约循环水泵的运行费用(常规岛侧最大的厂用电用户), 一般考虑降低常规岛厂房内凝汽器水室顶标高, 并降低虹吸井溢流堰上水位高度, 达到降低循环水泵扬程的效果。有两种方式: 一种是在厂坪确定阶段, 在满足防洪要求的基础上, 降低厂区地坪高度, 从而降低循环水泵扬程; 另一种方式, 凝汽器低位布置, 考虑运行维护的便利, 一般采用常规岛厂房半地下布置方式, 直接将一层或两

层常规岛厂房下移至地坪以下, 从而达到降低循环水泵扬程的目的。目前国内二代改进型(CPR 1000+)核电厂主要为第一种布置方式, EPR、AP1000核电厂主要采用第二种方式。本文将重点讨论第二种方式。

一般地, 凝汽器的布置与常规岛厂房底层标高紧密相关。常规岛运行较经济的底层标高是根据厂址潮位、当地虹吸可利用高度及凝汽器水室顶标高等进行推算; 而若按厂址地坪标高为厂房底层, 由于滨海核电厂厂址地坪标高是根据滨海核电厂防洪排涝(考虑可能最大风暴潮增水、10%超越概率天文潮位、核电厂寿期内海平面变化和一定的裕量^[1])、厂区土石方量平衡、循环水取排水设计以

收稿日期: 2015-08-01

作者简介: 江添明(1977), 男, 广东河源人, 高级工程师, 学士, 主要从事核电厂常规岛设计工作(e-mail)jiangtianming@cngpc.com.cn。

及厂房基础处理及其工程造价等诸方面的因素来综合考虑确定,两者之间必然有一定差距。

如果汽机房底层标高设定在厂址地坪标高上,则将造成海水循环冷却水的提升高度增大,循环水泵运行费用增加,尤其对于EPR堆型核电站,循环冷却水量约为二代改进型电厂的1.4倍^[2]。某EPR机组循环水量为 $91.90 \text{ m}^3/\text{s}$,按电厂可用率92%计算,循环水泵每降低1 m,每年节约电量约为 $8.33 \times 10^6 \text{ kWh}$,按0.30元/kWh厂用电价计算,可节省约250万元。结合各受影响因素的费用,可对不同方案进行净现值计算,从而获得一个合理标高^[3]。

如何在满足防洪安全标高要求的同时,降低循环水泵扬程,同时,不同方案对初投资、技术要求、安全要求等方面有哪些影响,哪些方面值得重点关注等问题,需要进行深入的研究和探讨。

1 常规岛厂房竖向标高定位应满足的要求

1.1 充分考虑虹吸可利用高度

常规岛厂房相对厂坪的竖向标高定位对循环水泵的扬程影响最大。从经济运行的角度考虑,应充分考虑虹吸可利用高度。

循环水泵的扬程=循环水泵的几何扬程+循环水系统总的水头损失。

循环水泵的几何扬程是设计低水位和虹吸井堰上水位的差值,而堰上水位是凝汽器水室顶标高扣除虹吸利用高度确定的。单从循环水泵的经济运行角度来考虑,凝汽器低位布置最佳的高度是循环水系统充分利用虹吸可利用高度,循环水泵只提供环路的沿程损失,此时几何高差 H_{02} 为最小^[4],见图1。由于潮位变化,现场条件及工程造价等限制,需要综合考虑,确定一个合理的值。

1.2 必须满足常规岛运行维修要求

实际设计中常规岛厂房并不可以无限地地下沉以实现几何高差为0的情况,必须满足运行维护的要求。凝汽器水室的底标高应高于多年平均高潮位以及虹吸井溢流堰的堰上水位,以保证凝汽器发生故障时,检修工作能够在循环水管存水的情况下排干水室,不妨碍正常的检修维护^[4]。

1.3 必须考虑大件设备的吊装和运输

为了降低循环水泵扬程而降低常规岛厂房的凝汽器所在层标高,将引起厂房内外运输通道的变

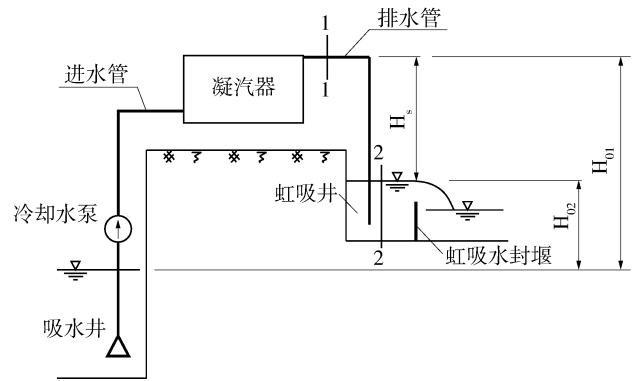


图1 循环水取排水示意图

Fig. 1 Intake and Drainage Elevation

化。厂房底层的起吊跨降至厂坪以下(相对标高为负值),大件起吊空间必须进行优化设计。厂房内相对标高的零米层作为与厂外的交通层,必须考虑厂房内、外的设备运输可行性和便利性。

2 常规岛厂房竖向定位影响因素分析

常规岛厂房的竖向标高定位由于受到厂址安全、运行经济性以及厂内运行维护及运输等要求的限制,在确定厂房竖向标高定位时,应分析厂房内受影响的因素,提出需要注意的地方,通过技经比较,以便在设计过程中得到综合的考虑,确定合理、优化的布置方案。主要有以下的因素。

2.1 厂房标高定位对机械设备的影

2.1.1 厂房标高定位对循环水泵的影响

循环水泵扬程由循环水系统几何高度及沿程阻力损失来决定。一般地,循环水进出水管道管径和管材相同的情况下,不同的汽机房竖向定位,循环水系统的沿程阻力变化不大,因此,循环水系统的几何高度变化是影响循环水泵扬程的主要因素。如前文所述,当地的虹吸可利用高度为一定值(我国南方厂址可取 $H_s=7.50 \text{ m}$),降低凝汽器水室顶标高,可以相应地降低循环水系统的几何高度,如图1所示, H_{02} 将随着凝汽器水室顶标高的变化而在一定范围内变化,最理想的情况是 $H_{02}=0$,但将受到其他因素的影响。

2.1.2 厂房标高定位对给水泵/启动给水泵的影响

一般地,核岛厂房的标高定位是确定的,常规岛厂房根据不同厂址条件确定的布置方案,对二回路给水系统将有一定的影响。主给水泵和启动给水泵均布置于常规岛厂房的底层,不同标高定位方

案, 给水系统的管道长度将改变, 但由于EPR堆型核电厂给水调节操作站在核岛侧, 固定点到给水泵之间的管道由常规岛侧进行布置和计算。对于泵本体的设计, 由于标高改变, 扬程将随着标高和管道布置而变化, 对泵的价格也有相应的影响。

2.1.3 厂房标高定位对辅助冷却水泵的影响

EPR核电厂常规岛辅助冷却水泵布置在循环水泵房, 系统特性和循环水泵类似, 扬程将随着常规岛厂房标高变化而改变。但由于辅助冷却水泵流量相对循环水泵小, 仅是一个考虑因素, 对经济比较不形成损益影响。

2.1.4 其它受影响的设备

因为给水箱和冷凝器之间的相对高度没有改变, 所以厂房标高的变化对凝结水泵没有任何影响。厂房高度定位对其它泵也没有影响(低压给水加热泵、常规岛设备冷却水泵、常规岛除盐水分泵等), 与循环水泵或二回路主给水泵组相比, 这些泵的功率数量级很低。

2.2 厂房标高定位对土建结构的影响

相比全地上布置方案, 厂房高度定位的下移, 土建结构将受到如下影响:

1) 下沉布置后, 虽然降低了厂房的整体高度, 但同时增加了基坑土石方开挖量, 增加了大面积的混凝土结构地下室, 地下部分混凝土及钢筋用量会相应增加; 在保证循环水泵扬程不变, 即运行费用不增加的情况下提高厂坪标高, 能减少工程上石方量、缩短建设工期, 节省项目初投资^[5]。

2) 常规岛厂房四周 $\pm 0.00\text{ m}$ 以下土建结构需做特殊处理。厂房部分下沉布置后, 必须在厂房四周设置防渗的钢筋混凝土挡土墙作为地下部分厂房的外墙(侧壁), 外墙与连接常规岛廊道的连接处需设置沉降缝和止水带, 穿廊道区域需开孔预留, 设计接口增加, 施工比较复杂, 容易留下漏水隐患。

3) 同样, 地下室底板也需考虑防渗处理。底板及侧壁防渗要求采用较高抗渗等级的防水混凝土。

4) 地下室底板及侧壁抗裂。在水压力作用下, 需加大底板及侧壁的厚度、增加配筋量、提高混凝土的强度等级及需适当添加抗裂外加剂等。

5) 由于地下部分面积大、开挖深度深, 因此, 地下室的设计和施工均需考虑抗浮问题。

6) 地下部分施工时, 需在大开挖基坑的四周布设集水网点进行降水, 同时需布设排水盲沟、集水

井等, 采取必要的措施, 确保地下室可采用干施工。

7) 由于地上部分厂房高度整体降低, 对于厂房的结构计算是有利的, 减少风荷载和抗震高度, 从而可以降低构件的配筋。

8) 常规岛厂房的整体下沉, 循环水取排水廊道将相应下沉, 增加了土石方开挖量。为了确保穿过汽机房基础地基的大口径循环水管的安全运行, 可以将循环水预制管(BONA)先安放在局部爆破成形的基岩槽沟内, 然后在循环水管外壁四周浇灌混凝土, 以使其与基岩槽沟形成整体。

2.3 电气系统设计及设备选型的影响

常规岛竖向标高定位布置方案对电气系统设计及设备选型的影响很小, 但因发电机出口母线是在厂房外长度加长, 主变区域将有所扩大, 从而会影响总管管道及相关布置。同时, 封闭母线的弯头增加对投资增加比较明显。

2.4 厂房布置和厂区总平面图受到的影响

对于常规岛厂房内部各层的布置, 由于格局在概念设计时已经标准化, 各层的设备和管道的大致布置方案不会因为底层标高的变化而有大的改变。根据实际厂址, 采用凝汽器下沉式布置后, 厂房内的布置主要需要考虑大件吊装和检修拖运路线的设计。首先需要考虑吊装跨的设置。吊装跨是厂房内设备管道管件与厂房外之间吊装和运输的唯一通道, 一般通过平板车将设备(包括汽轮发电机的转子、二回路的加热器、泵类等)运至吊装跨, 再通过厂房内的起吊装置将物品通过上下孔洞吊运到各定位层。吊装跨的设置对厂房布置中非常重要。

厂房的大门取决于吊装区域的设置, 可以开在厂房与核岛常规岛同轴的正面, 也可以从厂房的两侧面进出(与NI-CI轴线方向垂直), 只要满足主行车吊装极限位置即可。而对于凝汽器下沉式布置方案, 进出大门选择两侧开启较为合理。电厂的总平面规划图必须充分考虑大件运输的路线、转弯半径、吊装方案等。

2.5 与常规岛周边建构物、系统的接口变化

核电厂常规岛厂房与周边子项一般通过廊道连接, 只有小部分管道和封母采用地上架空布置, 如前面提到的二回路主给水系统、主蒸汽系统、封闭母线, 以及蒸发器排污系统等管线通过架空布置。厂房凝汽器下沉布置后, 相应的廊道标高也下沉布

置,管道、封母等的接口将随着具体的下沉标高,相应改变物理接口点。

2.6 厂房底层地下预埋管网布置的影响

对于厂房内的给排水系统,一般是在建筑期间预埋到地面素混凝土以下的筏基上。由于施工较早,而且最终为掩体,这部分的管道施工图比一般专业的施工图提前许多,并且一旦浇筑,将不可修改。所以在基础施工前,必须有详细的管道清单和系统布置方案。下沉布置厂房后,对于集水坑、管道坡度、与其他供应商(如汽轮机底座埋管)之间埋地管的碰撞检查等。

2.7 厂房内设备运输与吊装的考虑

厂房布置过程中对大件设备的吊装方案应作为重要关注点。厂房下沉布置后,吊装跨的承重载荷、各层开孔尺寸、主行车起吊载荷等,需要进行重新考虑。特别是发电机定子、汽水分离再热器、除氧器、凝汽器、凝汽器管束等重大件的吊装方案,需要结合厂房、建筑进度、总图规划等进行综合考虑。

对于一般的设备吊装运输与检修维护通道,在厂房布置过程中已经考虑了相关的因素,分为一、二、三级交通通道,根据不同的设备阀门设置不同尺寸的通行空间。

2.8 厂房标高定位对厂房内采暖通风空调及防潮

对于常规岛厂房为地上式布置的电厂,可采用自然进风机械排风或者设置鼓风机和排风机。对于降低底层布置的厂房,地坪以下的各层,须考虑采用机械的方式进行送风和排风来维持厂房内的环境要求。比如采用百叶窗的方式与厂外空气连通(厂房外墙与挡土墙之间的空间可以保证外面空气通过百叶窗进入厂房),对于通风要求高的局部区域,则应采用局部通风系统的方式保证通风顺畅。

对于中国南方的一些核电厂,由于地处亚热带气候区,空气潮湿,对于厂房内的湿度要求较高。厂房下沉布置后,地坪以下各层的通风空调系统必须保证厂房内的干湿度条件,以防设备因长期出于潮湿环境而造成腐蚀。

2.9 厂房标高定位对底层水淹及海水倒灌的影响

一般地上式布置的厂房,保持了厂址地坪标高以上(大概在0.20~0.30 m高差),在组合高潮位

下能够保证底层的积水及时排至厂外,即使发生循环水管道破裂情况,循环水不会淹没底层设备(循环水管坑需要采取其他预防措施)^[6]。当厂房下沉式布置后,整个底层厂房都在厂坪以下,当发生内水淹事故时,如果预警措施和排水措施不动作,地下各层设备将有可能被淹没,所以不同的厂房标高定位,针对内水淹风险应该采取不同的应对方案。在考察的核电厂常规岛厂房,对于循环水管坑,有抗震等级的水位探测器,通过逻辑运算及控制系统对循环水泵的启停进行控制,防止厂房水淹事故。

循环水排水管进入虹吸井前设置闸板门,在安装、检修期间关闭,以防止海水倒灌。

对于消防水排水,必须保证厂房普通火警情况下的消防水能顺利排出而不影响各层设备的安全。

3 结论

综合以上因素,常规岛厂房根据不同的厂址条件,相对厂坪标高在竖直方向上作适应性调整,以满足不同取排水条件下拟定厂房竖向布置定位。

对于确定的核电技术路线,原型设计方案中厂房内主要设备布置和厂房分层已经确定,根据厂坪标高、循环水量、循环水扬程等条件,充分考虑本文讨论的各种影响因素,可以方便地确定厂房采用下沉式布置或全地上式布置,在后续新项目方案设计过程中,为快速确定常规岛厂房布置方案、总图布置和循环水系统方案提供参考。

参考文献:

- [1] HAD101/09, 滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定[S].
- [2] 罗必雄, 乔旭斌, 陈娟, 等. 国内三代EPR核电常规岛技术特点[J]. 电力建设, 2010, 31(9): 102-106.
- [3] 江才俊, 余靖策, 侯平利. 滨海核电厂厂坪标高优化[J]. 电力建设, 2010, 31(8): 67-70.
- [4] GAUVRIT O, SIFFERLIN G, MEIGNAN C. EPR Flamanville Proposition De Calage De La Salle Des Machines [R]. Paris, 2009.
- [5] 张捷. 浅谈核电厂常规岛主厂房结构设计[J]. 广东建材, 2009(12): 74-76.
- [6] 黄卫刚, 杨志超, 戴忠华, 等. 水淹厂房的风险分析[J]. 水电与新能源, 2011, 93(1): 58-62.