宁德核电厂淡水水源方案比选分析

黄杰生　马玉华

（深圳中广核工程设计有限公司，深圳　518172）

摘要　为解决宁德核电厂的淡水资源问题，因地制宜地设计了一个能动的供水系统，为以后在濒海核电站设计中，解决淡水资源问题提供一种设计思路。

关键词　核电厂　水源选择　供水标准　淡水资源　用水量

DOI:10.13789/j.cnki.wwe1964.2017.0326

1　概况

福建宁德核电工程为新建商业电厂，厂址位于福建省福鼎市秦屿镇备湾村，东临东海，北临晴川湾。工程规划容量为 6×1 000 MW 级压水堆核电机组，电厂达到最终规划容量时淡水的年用水量约为 362.62×10^4 m^3，最高日取水量约为 19 806 m^3/d。厂址位于海边丘陵区，区内河流短小，受台风暴雨影响，径流年内丰枯变化大，为保证核电厂施工、运行期间的淡水供应，需根据对电厂附近的淡水水源的调查情况，确定安全、经济的淡水供应方案。

2　电厂水源

2.1　地下水

福鼎市系太姥山脉中部东麓，三面环山，一面临海，山岭耸崎，低丘起伏。地下水类型为强烈循环的裂隙潜水和裂隙承压水。福鼎市地下水蕴藏量 2.617 2亿 m^3，但是由于地下水补给来源为大气降水，动态变化季节性明显，且分布不均，含水层厚度有限，且变化急剧，受开采难度大，技术要求高等诸多影响因素，地下水进一步开发利用的潜力相对有限，且存在与城镇生活、农村人畜饮水、农田灌溉争水的问题。因此，核电厂不考虑开采利用地下水。

2.2　地表水

2.2.1　河流

福鼎市东南沿海周边店下、秦屿、硖门三乡镇无大的河流，主要有店下镇境内的罗溪、罗里溪、溪美溪；秦屿镇境内的吉溪、洋里溪、财堡溪、巨口溪；硖门乡镇境内的柏洋溪、溪坪溪。均发源于太姥山脉，除溪坪溪流域面积 52.7 km^2、吉溪流域面积 34 km^2 外，其他均属于流域面积 30 km^2 以下的小溪流，具有单独汇流特性，且因台风暴雨影响，径流年内丰枯变化大，不能作为电厂水源。

2.2.2　水库

根据福鼎市周边已建和规划的水库分布，周边具有一定调节库容的水库主要有瑞云水库、平桥水库、桑园水库等，其具体情况详见表 1：

2.3　海水

由于核电站是滨海电站，附近海水资源丰富，可以直接利用丰富的海水资源，不存在与地方农耕等争水的可能。

3　供水方案规划及其优缺点

根据调研分析的结果，由于地下水及河流水不能作为电厂水源，而周边水库的平桥水库水量不能满足核电用水需求、地方政府不同意将吉坑水库供

表 1　福鼎市周边地区水库分布情况

水库名称	汇流面积 /km^2	库容 /万 m^3	年径流量	供水情况	其他
瑞云水库	34.2	121	4 037	无法同时满足核电工程用水、农业灌溉及下游生态需水	水库下游有 1 040 kW 水电站
平桥水库	6.3	100	696	只能够满足地方灌溉、人饮、供水等用水需求	水库下游有 800 kW 水电站
吉坑水库	14.5	436	1 668	地方政府不同意供水	
桑园水库	142	6211	18 040	下游电站装机容量 3×1.25 万 kW，机组额定流量 3×6.55 m^3/s	
太姥山水库（规划中）	7.5	200	975	基本可全部给核电供水，每天最少可给核电供水 8 000 m^3；	须上报国家旅游局批准，难度较大
流坑亭水库（规划中）	4.76	287		基本可全部给核电供水，每天可供水量约 8 000 m^3	
河坑水库（规划中）	5.09	275		基本可全部给核电供水	

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

给宁德核电使用；瑞云水库库容偏小使得调节性能较差，无法同时满足核电工程用水、农业灌溉及下游生态需水。在满足 2 500 亩农田灌溉用水和保障下游生态用水前提下，瑞云水库作为宁德核电工程淡水水源，保证率达不到 97%；在枯水年核电工程取水还会减少原发电用水户的发电量（发电必须服从其他用水调度），需要对发电用户减少发电量进行补偿赔偿。若要对瑞云水库进行扩建，涉及霞浦市淹没问题，赔偿较大。另一方面瑞云水库建于上世纪七十年代末，其工况条件不好，实施坝体加高扩建难度大。

根据宁德的水资源现状及和区域水资源分布情况，宁德核电有三种淡水供水方案可供选择。

3.1 方案 1：赤溪引水方案

由于桑园水库至核电厂址的供水距离大约为 36 km，供水管道需翻山越岭、穿隧洞、涵洞，无路可走；而且桑园水库大坝设计防洪标准为 50 年一遇，不满足核电供水水库要求。因此赤溪引水方案采用在桑园水电站下游筑坝调节桑原水电站发电尾水，其集水面积 286 km^2，多年平均流量为 11.25 m^3/s，水量比桑园水库直接取水丰富一倍；然后通过长 12.7 km 的隧洞引水，隧洞出水设泵站加压后再用管道输往核电站，管道长度 5.85 km。赤溪上游污染少，水质优良，达到地表水Ⅰ类水质标准。

3.2 方案 2：海水淡化方案

在核电站内建设海水淡化系统，电站正常运行期间工业用水以及除盐系统用水均由海水淡化系统供给。

3.3 方案 3：核电站专用水库方案

根据福鼎市周边目前已有水源的分布情况分析，可在福鼎周边新建太姥山水库（国家 5A 级风景名胜区太姥山风景区）、河坑水库等核电站专用水库以向核电站供水。这些水库距离核电站都在十至二十公里，都可以自流至厂区，且水压满足厂区消防用水要求，上游没有任何污染，水质良好。

由于上述各方案的供水能力、综合经济效益、供水可靠性等方面差异较大，因此从各方案的经济、技术、进度、环境影响、供水可靠性等方面展开比较，从而选出最佳方案。

3.4 从总投资的角度考虑

（1）赤溪引水方案：需在 20 km 外的水源地建设水坝、泵站、13 km 输水隧道。据了解，每米隧道投资造价约 0.8 万～2.5 万元，而供水管道、拦水坝造价都在 5 000 万元左右，因此赤溪引水方案总造价约在 2 亿～4 亿元。由于坝顶标高为 35.5 m，因此需增设加压泵站，隧道后（隧道内自流）加压泵站扬程也要 70～80 m，年运行费用大约为 1 200 万元。

（2）海水淡化方案：根据一期工程估算，宁德一期海水淡化工程总投资大约为 8 000 万元；预留多介质过滤器和反渗透膜装置安装位置。但海水淡化方案生成成本较高，平均每获得一吨淡化洁净水需要人民币约 3.58 元，2 台机组年运行费用大约 800 万元。

（3）核电站专用水库方案：拟建的太姥山水库及河坑水库建坝投资新建太姥山水库需要 1 126 万元，新建河坑水库需要 4 000 万元，从这二水库修二根管道到核电站约需要 4 000 万元；总投资约 9 000 万元；核电站专用水库的水都可以自流至厂区，且上游没有任何污染，水质良好，运行管理费用较小。

3.5 从进度方面考虑

赤溪引水方案需打通 12.7 km 的隧洞，整个工程大约需 4 年半时间；海水淡化方案从合同签订到调试完毕需要约 2 年半时间；由于拟建的太姥山水库地处国家 5A 级风景名胜区太姥山风景区内，需与国家旅游局沟通协调，难度非常大，且小水库方案需要做大量前期工作，不确定的因素较多，具体供水时间很难确定，一旦出现颠覆性问题则对核电进度问题造成重大影响。

3.6 从自然和环境来看

（1）赤溪引水方案：当遇 20 年一遇的洪水时上游水位大约 34.33 m，库容 26 万 m^3，而湖里村整体标高在 31～38 m，村有 2 000 多人；因此湖里坝的建立对于湖里村的防洪将造成非常不利的影响，且湖里村的生产、生活污水将全部流入湖里坝中，使湖里坝成为一个“污水调节池”。另外，湖里坝的建设将减少上游漂流段的长度。

（2）海水淡化方案：可以直接利用丰富的海水资源，不存在与地方农耕等争水资源的可能，淡化后的排水经技术处理后不会对当地环境造成污染。

（3）核电站专用水库方案：核电站应与周边保持长期和谐互助的关系，但是水库方案会占用当地淡

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

某核工程海水淡化工艺比选

王 瑞 韩 蕊

（中国核电工程有限公司，北京 100840）

摘要 通过分析目前主流海水淡化工艺的优缺点和某核工程自身的特点，并参考已建和在建核电工程海水淡化系统的相关经验，确定某核工程采用反渗透海水淡化工艺。根据该核工程厂址所在地附近海域海水水质情况，选用絮凝反应沉淀池＋V型滤池＋超滤的预处理工艺，以保证反渗透海水淡化工艺的稳定运行。

关键词 海水淡化 核工程 反渗透 预处理

DOI:10.13789/j.cnki.wwe1964.2017.0327

海水淡化工艺主要有热法和膜法两种。热法海水淡化工艺主要包括低温多效蒸馏、多级闪蒸和压汽蒸馏等[1]。膜法海水淡化工艺主要包括反渗透和电渗析。压汽蒸馏主要用于中小型装置，电渗析更适用于含盐量低于3 000 mg/L的苦咸水。目前，低温多效蒸馏、多级闪蒸和反渗透是海水淡化领域的三大主流技术[2]。本文根据某核工程的特点，针对上述三种主流海水淡化工艺进行海水淡化工艺比选，并对相应的预处理工艺进行分析比较。

1 工程概况

某核工程厂址所在地无淡水水源，其生产用水和部分人员生活用水需要通过海水淡化方式获得。该核工程拟建设2台机组，一期工程建设1台600 MW示范工程，二期工程建设1台1 000 MW级核电工程。海水淡化系统按照2台机组共用考虑，最大设计规模为6 800 m^3/d，一期工程正常设计出力约2 000 m^3/d、最大设计出力约3 400 m^3/d。海水淡化厂房土建一次完成，设备一次安装。

2 海水淡化工艺

2.1 多级闪蒸

多级闪蒸是将海水加热到一定温度后，使其依次流经若干个压力逐渐降低的闪蒸室，由于闪蒸室

水资源，存在与当地农耕争水的可能。

3.7 从运行可靠性分析

水库方案均需敷设十几公里输水管线，福鼎地区地质灾害、水毁严重，管理麻烦，供水可靠性难以保证；海水淡化的所有设施都布置在核电站厂区内，管理方便，可靠度较高。

综上所述，赤溪引水方案造价、运行费用都比海水淡化高，且地方政府也反对核电在桑园水库下游赤溪流域建坝取水；从进度方面考虑，赤溪引水方案竣工通水时间不能满足核电要求；专用水库方案本应是最佳方案，但是由于专用水库方案有许多技术工作没有开展，而且与地方政府沟通也比较困难，具体供水时间不能确定。根据上述分析，最终确定了在核电站内建海水淡化系统，电站正常运行期间工业用水以及除盐系统用水均由海水淡化系统供给，瑞云水库作为核电厂的备用水源及生活用水水源。

4 结束语

宁德淡水工程的设计充分考虑了当地的地形特征及水资源分布情况，因地制宜地解决了宁德核电的淡水供给问题。同时由于它是一个能动的调节系统（海水淡化与瑞云水库供水互为备用），所以也提高宁德核电厂供水的保证率。本设计可以作为濒海核电站淡水供给系统设计思路的参考。

参考文献

1 GB 50013—2006 室外给水设计规范

2 JGJ 63—89 混凝土拌合用水标准

3 中广核工程设计有限公司. 淡水水源技术分析论文报告

4 福鼎市鸿展水利水电勘察设计有限公司. 备用水源所在区域水资源状况

E-mail:huangjiesheng@cgnpc.com.cn

收稿日期：2017－06－09

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net