

沿海火电厂冷却温水深层排放结构的研究

张以禄 贾永 武振清

国能(连江)港电有限公司

摘要:当前在沿海火力发电厂中,直流冷却温水排放方式比较多。本次研究从功能需求出发,结合实际情况,创造性提出新型的深层排放结构,既能满足环境保护要求,也能大幅降低工程造价,同时还经过实践的检验,值得推广应用。

关键词:火电厂;冷却温水;深层排放

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.13.050

一、引言

当前在沿海火力发电厂中,机组凝汽器冷却和辅机冷却多用海水直流冷却,百万机组海水直流冷却温水在夏季温升可达到9-10℃,冬季也能达到7-8℃,单一电厂周边,若通过海水表面散热,温升1℃范围将达到5-10公顷范围,而对于温升超过1度,部分海洋生物就要受到严重影响。比如大黄鱼就对温升有着较高的要求,大黄鱼保护区执行一类水质标准,渔业养殖区执行二类水质标准,要求人为造成的温升夏季不超过1℃,其他季节不超过2℃。因此火力发电厂直流冷却温水排放将影响到毗邻海域功能区的环境质量,亟须提出经济、有效、安全、综合污染小的方案应对直流冷却温水排放对环境造成的影响。

二、沿海火电厂冷却温水排放方式现状及存在问题

当前,沿海火力发电厂中直流冷却温水排放方式多采用三种,一是直接排放,二是沉管箱涵远程深层温水排放,三是通过建设冷却水塔减少温水排放。但是都存在不同程度的缺陷和弊端。

一是直接排放方式。虽然是现有沿海火力发电厂比较普遍的温排水排放方式,但从对海洋环境影响角度,其未采取任何方式,直接排放温排水,将会使海水表层温升1℃范围成倍数增大,将对环境和渔业生长、繁殖产生较大影响。以福建福州罗源湾海域为例,根据《福建省海洋功能区划》,罗源湾外的海洋功能区,主要有“罗源湾外特殊利用区”、“罗源湾保留区”、“罗源湾港口航运区”、“官井洋大黄鱼海洋保护区”、“黄岐半岛东部农渔业区”、“近海农渔业区”、“黄岐北部特殊利用区”、“井水农渔业区”、“马祖保留区”等9个海洋功能区。《福建省海洋功能区划》中要求引导污染物向湾外离岸深水达标排放,另据《连江县海水养殖水域规划》,罗源湾湾外的近岸现状和规划中均分布有大面积的海水养殖,因此,从海洋环境保护的角度来讲,现在直接排放方式已经无法满足对于特殊海洋区域环境保护要求。

二是沉管箱涵远程深层温水排放方式,虽然通过深

层排放实现了减少温排水影响范围,但是其在施工过程中对海洋环境也将产生不可逆的影响。由于受制于海洋区域地质条件影响,原状地表无法作为沉管箱涵的地基,必须对海域原状地面进行开挖,将扰动该海域水体状态,进而影响海生物生长;为强化地基基础和保护箱涵,必须从其他区域开采块石回填,进一步影响其他区域生态环境;同时为夯实地基基础,必不可少采用爆破夯实等方式,爆破震动对海洋生物产生剧烈影响;从工程造价角度看,沉管箱涵方案造价高,1公里造价近1亿元;沉管箱涵口小,温排水集中排放不易散热,排水过程中也将对海域生态环境产生影响。

三是建设冷却水塔减少温水排放方式。从工程技术角度看,百万机组建设冷却水塔是可行性的,但是需大量占地,至少增加占地面积6-7公顷,不符合“四节一环保”中节地要求,同时冷却水塔工程巨大,百万机组冷却水塔投资将增加近4亿元。由于冷却水塔需要增加循环水扬程,进而增加年耗煤量近6万吨,从大气环境影响角度,建设冷却水塔增加耗能,需要增加电厂燃煤量,导致大气污染物增加,大气污染物落地浓度贡献值随之加大;从噪声环境影响角度,在厂区增加了冷却水塔系统,对厂界噪声影响增大,对环境敏感点噪声影响增大。

要在沿海火力发电厂在直流冷却温水排放或建设过程中,减少对环境影响问题,同时进一步降低总体能耗,降低工程造价。一是要摒弃直接排放方式,不再让温排水漫无目的排放,控制温排水影响范围。有组织实现与海洋水体的有序热交换,控制海水温升范围。二是吸收沉管箱涵远程深层温水排放方式中深层排放有利于水体快速热交换的优点,摒弃其对水体、山体以及海洋生物的影响,降低工程造价。三是要摒弃建设冷却水塔减少温水排放的造价高、新增大气、噪声污染的方式。

三、创新型沿海火电厂冷却温水排放方式构思

新型沿海火电厂冷却温水排放方式构思是想通过对现在排放方式研究后,吸收有利思维,摒弃不利影响,进而实现减少温排水对环境的温升范围,减少工程占地和工程用料,从而达到了保护环境、降低造价目的。

(一) 总体思路

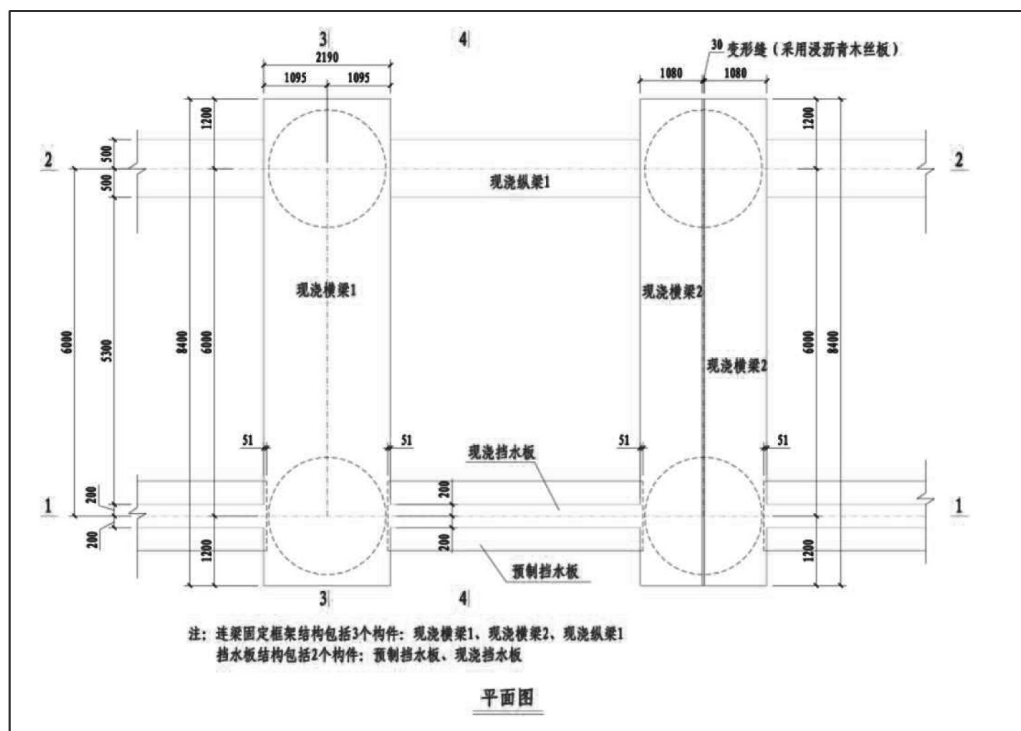
在直流冷却温水入海口处设置深层排放结构系统,入海口选取应结合温水流量排出需求,确保满足流速、排放深度要求,入海口选择需要进行物理模型试验确定;深层排放结构为两排带钢护筒的钢筋混凝土灌注桩+连梁固定框架+挡水板结构,平面布置上,与入海口两侧护岸相接,形成一个闭合区域。钢筋混凝土灌注桩要

求打入基岩层，淤泥层至桩顶设置钢护筒。灌注桩施工水位以上采用钢筋混凝土连梁作为固定框架，将其连成一体。在灌注桩钢护筒上部预埋钢牛腿，挂板放置在牛腿上，挂板顶部承重梁与现浇连梁浇筑在一起，下部采用钢带将挂板与灌注桩固定在一起。挂板为钢筋混凝土结构，采用陆地预制，水下安装的方法进行施工。直流

冷却温水深层排放结构，使冷却温水从结构底部设置的排出口排出。

(二) 具体方案

直流冷却温水深层排放结构方案分成四个主要部件，自下而上为桩基础结构、挡水板结构、连梁固定框架结构以及附属构件，四个部分具体如下：



直流冷却温水深层排放结构方案平面图

1. 桩基础结构

基于整体受力以及与挡水板结构连接要求，创新型方案采用带钢护筒的钢筋混凝土灌注桩结构，钢筋混凝土灌注桩结构由钢筋笼和混凝土组成；由于灌注桩长度与地质条件、单桩竖向极限承载力、水平极限承载力等有关，需要根据实际温水排出流量、流速、潮流情况完成数理模型试验后确定水平极限承载力要求，进而确定灌注桩入土深度和桩身直径；根据整体重量等确定单桩竖向极限承载力，确定桩长和桩体持力层、排架间距。

2. 挡水板结构

挡水板结构分成两部分，下部是预制挡水板（截面为T型的钢筋混凝土预制梁板结构），上部为现浇挡水板。

预制挡水板高度根据实际温水排放结构需要设置高度，考虑吊装重量要求，综合确定高度以及宽度，预制挡水板上部为承重梁高，下部为预制板，预制挡水板采用预制构件方式。为将多个结构连接，确保结构整体性，在预制承重梁时，预留外伸钢筋，通过外伸钢筋与相邻承重梁外伸钢筋焊接后现浇混凝土梁，形成整体结构。为使预制挡水板能够与桩身紧密结合，在板区域设

置预留孔，采用不锈钢带通过抱箍形式，将预制挡水板与桩身抱住。同时埋设圆钢，作为起吊环。为满足与预制挡水板支撑体系（钢牛腿）焊接要求，在边角预埋角钢。

为满足挡水要求，在承重梁上部现浇挡水板，长度方向与连梁固定框架结构连接。该挡水板采用钢筋混凝土结构，与连梁固定框架结构一并现浇，形成整体。

3. 连梁固定框架结构

连梁固定框架结构包括2个构件：现浇横梁、现浇纵梁1。现浇横梁，与水流方向平行布置；相邻两根现浇横梁设置1道变形缝。现浇纵梁，与水流方向垂直布置。

4. 附属构件

(1) 预制挡水板支撑体系（钢牛腿）

预制挡水板支撑体系为钢牛腿，钢牛腿由上下两块扁钢以及六块肋扁钢焊接而成。扁钢之间焊接采用角焊的连接方式；钢牛腿与钢护筒之间采用双面安装角焊的连接方式；牛腿与预制挡水板预埋角钢采用角焊的连接方式。钢牛腿与钢护筒焊接完成后，需对钢牛腿灌浆，灌浆时需要在钢牛腿内部充满灌浆料，在非纵横梁区牛

腿顶板上部还要浇筑灌浆料。

(2) 不锈钢带抱箍

不锈钢带抱箍：是为了将预制挡水板与桩身连接成整体的附属设施，为避免海水附属，材质可采用316L不锈钢，不锈钢带抱箍穿过预制挡水板预留孔，并在桩另侧采用316L不锈钢螺栓锁紧。

(3) 防腐处理

钢套筒、钢牛腿等钢制结构应涂防海水腐蚀涂料，其做法应符合《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》及《涂装前钢材表面处理规范》等相关规范的相应要求。混凝土防腐：混凝土外表面刷防腐涂层，露出水面部分要求刷混凝土同色涂层。

四、创新型沿海火电厂冷却温水排放方式优势

创新型方案沿海火电厂冷却温水排放方式较其他方案优势明显，尤其是在减少对环境的影响方面、降低工程造价具有不可替代的优势，具体如下：

(一) 环境影响污染少

1. 经过数理模型试验，以国能罗源湾百万机组电厂为例，采用该方案后，两台百万机组工程单独运行时，1~4℃温升最大面积为1.8km²、0.7 km²、0.39 km²、0.24 km²。与直接排放方案相比，1℃温升最大面积减小约0.56km²，减小约21.8%，4℃温升最大面积减小约0.1km²，减小约26.5%。将国能罗源湾电厂三个厂温排水叠加后（国能罗源湾电厂、华电可门电厂、华能罗源湾电厂），1~4℃温升最大面积为10.88km²、4.97km²、3.12km²、1.77km²。与直接排放相比，1℃温升最大面积减小约4.3%，4℃温升最大面积减小约5.1%。通过采取创新型方案后，温排水相对于直接表层排放在各个温度梯度的温升影响范围均有了较大的减少，≥1℃温升水沿岸距工程排水渠出口最大距离东向约缩减1000m左右，纵向离岸距离约缩减30m左右，1℃、4℃温升的影响范围相比直接排放方案均约减少了20%左右，更进一步的减轻工程对海洋生态造成的影响。

2. 通过数理模型试验测算，采用创新型方案与采用建设冷却水塔减少温水排放方式对比，对最近环境敏感点减少了噪音排放至少1-2dB(A)；同时较建设冷却水塔减少温水排放方式，将降低年耗煤量近6万吨，降低煤耗的同时，降低对环境气体的排放，SO₂小时浓度最大值占标率减少5.72%，日均浓度最大值占标率减少2.07%，年均浓度最大值占标率减少1.0%；NO₂小时浓度最大值占标率减少2.95%，日均浓度最大值占标率减少8.25%，年均浓度最大值占标率减少2%；PM10日均浓度最大值占标率减少8%，年均浓度最大值占标率减少0.14%。

3. 和建设冷却水塔减少温水排放方式对比，创新型方案减少占地至少3.5万平米，符合国家“四节一环保”要求；同时若建设冷却水塔遇到地势不平区域，需

进一步开挖回填平整场地，将造成水土流失和环境污染。沉管箱涵远程深层温水排放方式，其中水下开挖1km约60万方，回填量将达到40万方。从开挖看，大面积水下土体扰动，影响生物生存活动，繁殖也收到严重影响；回填开采石方，不仅仅影响山体生物生长，同时爆破震动、石料破碎等等均会对环境造成恶劣影响。

(二) 工程造价低

创新型方案在单个结构用混凝土770.7方，钢筋约85吨，钢板材约124.3吨；新增结构段将增加混凝土369.67方，钢筋约41吨，钢板材约62.4吨；按照常规排出口，300米的围合面积足够满足温水排出要求，共计标准段50段，总体造价约为5350万元。建设两个冷却水塔至少消耗混凝土4万方，钢筋约4400吨，含设备等造价约38437万元左右；建设沉管箱涵，至少外送海中3km，暂按照1km考虑，混凝土1万方，钢筋1100吨，海上开挖60万方，回填量40万方，总体造价为11460万元。

(三) 贯彻“四节”思想深入

“四节”思想指的是在工程建设中实现“节能、节地、节水、节材”的要求，创新型方案通过创新方式，实现了减少用地，较建设冷却水塔减少占地约6-7公顷；同时较建设冷却水塔减少年煤耗20万吨，实现了节能的要求；从另一个方面看，在与沉管箱涵用混凝土量一致情况下，减少了对山体石方利用，达到节材目的。在实现温水深层排放的前提下，项目较建设冷却水塔、沉管箱涵造价低了一半以上，全过程贯彻“节财就是节能”的理念，大幅降低工程造价。

四、结论

在环境保护要求越来越高的今天，在发展经济的同时，如何做到与大自然和谐共生，这是摆在我们当前发展环境和生态环境中的现实问题，本次研究着力解决既能满足人与自然和谐共生，又不过分追求单一环境保护的条件下，创新沿海电厂冷却温水深层排放结构方式，并通过实践的检验，值得推广应用。

参考文献

- [1] 胡大龙, 冉琼, 王正江, 熊卫军, 许臻, 杨阳, 王博, 卢剑, 姜琪. 直流冷却型火电厂水污染防治技术研究[J]. 华电技术, 2020, 42(03): 1-7.
- [2] 宋维勤. 火电厂乏汽利用及尖峰冷却改造研究[J]. 机电信息, 2018(03): 58-59.
- [3] 于咏梅, 曹茜. 黄河流域火电厂冷却方式的选择探讨[J]. 科技与企业, 2012(05): 112-113.
- [4] 陈晓清. 基于水量水质统筹的火电厂水系统节水优化研究[D]. 广西大学, 2021.
- [5] 王鹏. 火/核电厂冷却水在深水环境条件下出流问题的研究[D]. 中国水利水电科学研究院, 2006.