

大型逆流式自然通风高位收水冷却塔的应用研究

汪芬

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 随着我国能源结构的调整,在低碳经济的要求下,大型核电和高参数、大容量火电机组将成为我国电力行业的主要发展方向。循环水系统是电厂中的用水和耗能大户,为进一步落实节能降耗的环保要求,介绍了高位收水冷却塔工艺,通过了解其功能特点及配套系统运行特点,并按不同年利用小时数对其综合经济性进行分析比较,结果显示大型逆流式自然通风高位收水冷却塔以其显著的节能、节水、低噪声等优势,具有广阔应用前景。

关键词: 冷却塔;高位收水;节能;节水

中图分类号: TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)01-0109-04

Application Research on Large Counter-flow Natural Draft High Level Water Collection Cooling Tower

WANG Fen

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: With the adjustment of energy structure and the request of the low carbon economy in our country, the large nuclear power station and high parameter, large capacity thermal power station will become the main development direction of electric power industry. Circulating water system is the large consumption system of water and energy in power plant. In order to further implement the requirement of environmental protection in energy saving and consumption reducing, the process of large counter-flow natural draft high level water collection tower has been introduced. By understanding on high level water collection tower's functions and supporting system operation characteristics, meanwhile, the comprehensive economic comparison is analyzed under annual utilization hours. The results shown that large counter-flow natural draft high level water collection tower has a broad application prospect due to its advantages on remarkable energy saving, water saving and low noise.

Key words: cooling tower; high level water collection; energy saving; water saving; low noise

我国水资源现状是总量丰富,人均占有量不足,是一个干旱缺水严重的国家,据统计,我国年平均水资源为 $2.76 \times 10^{12} \text{ m}^3$,在世界排名第6,但是人均占有量仅为世界平均水平的1/4,只有2200 m^3 ,在排在世界第115位^[1],是全球13个人均水资源最贫乏的国家之一。电厂是工业用水大

户,内陆电厂均需采用节水的带自然通风冷却塔循环冷却供水方式。随着各地环评要求的逐步提高,为减少直流供水系统的温排水对海域影响,部分滨海电厂也采用了循环冷却供水方式,如天津北疆发电厂 $2 \times 1000 \text{ MW}$ 机组和浙江宁海电厂 $2 \times 1000 \text{ MW}$ 机组均采用了自然通风海水冷却塔^[2-4]。此外,由于不断上涨的基础能源价格,以及节能降耗的环保要求,也促进了节能技术和设计理念的推广。逆流式自然通风高位收水冷却塔以其节能、节水、低噪声等显著优势得到了业界广泛关注,特别是在大型核电和火电项目中,已经逐步进入实施应用阶段。

收稿日期: 2016-09-07

基金项目: 中国能建广东院科技项目“大型冷却塔三维热力特性优化研究”(EV03291W)

作者简介: 汪芬(1982),女,湖北孝感人,高级工程师,硕士,主要从事电厂循环水、给排水及消防设计工作(e-mail) wangfen@gedi.com.cn。

1 高位收水冷却塔应用概况

逆流式自然通风高位收水冷却塔是20世纪70年代末,由法国电力公司和比利时哈蒙冷却塔公司设计研究提出的节能型冷却塔,20世纪80年代中期开始在工业中采用。在法国1300 MW核电站先后投入运行的高位收水冷却塔有贝尔维尔(BELLEVILLE)1、2号塔,诺让(NOZENT)1、2号塔,舒兹(CHOUZ)1、2号塔及戈尔费什(GOLFECH)1、2号塔^[5]。20世纪90年代初,我国在蒲城电厂一期2×330 MW机组工程首次采用了自主设计的高位收水冷却塔,由于存在收水装置漏水和冬季结冰等问题,影响了高位收水塔在国内的进一步推广应用。

随着技术的不断改进,国内对高位收水冷却塔展开了深入、实质性工作,如神华重庆万州2×1000 MW机组工程和安庆电厂二期2×1000 MW机组扩建工程,采用了带自然通风高位收水冷却塔,均于2015年顺利通过168试运行投产,湖北咸宁核电站和江西彭泽核电站的大型高位收水塔设计已完成初步设计方案^[6],中山三角天然气热电联产项目亦采用了自主设计的高位收水冷却塔方案。

与常规逆流式自然通风塔相比,高位收水塔取消了常规塔底部的混凝土集水池及雨区,配有高位收水装置,冷却后的循环水在淋水填料底部经高位收水装置截留汇入集水槽至循环水泵房进水间,再经过循环水泵升压后送回主厂房循环冷却使用^[7],其他的配水系统、淋水装置、除水器与常规塔相似。

因高位集水槽水面到填料底部的高差远小于常规塔雨区的高度,即高位收水冷却塔从填料底部通过收水斜板及收水槽损失的能量远小于常规塔雨区损失的能量,相应产生的噪声更小。同时因高位收水冷却塔仅架设集水槽,无底部水池,能有效防止渗水浸泡地基^[8]。

2 高位收水塔功能特点

2.1 节能

冷却塔静扬程(竖井水位与集水池水位差)可分为二部分,即自由跌落高度与非自由跌落高度。对于冷却效果相当的常规自然塔与高位收水自然塔而言,非自由跌落高度(包括配水层水力高度、喷射配水高度、填料高度)并无区别,因此,他们的静

扬程差异就在于自由跌落高度的差异。高位收水冷却塔节能的关键在于减少了常规自然塔雨区自由跌落的高度。由于自由跌落产生的动能被完全损耗,因此,自由跌落区减少的高度等于循环水系统节约的水头,即循环水泵减少的静扬程,减少循环水系统运行费用,降低能耗。此外,由于高位塔的循泵扬程基本不受进风口高度的影响,一般情况下,高位塔的进风口高度较常规塔高,增加了进风面积,有利于提高冷却效果。

2.2 低噪声

根据相关研究及试验证明:所有的大型常规自然通风冷却塔的进风口处的噪声均接近82~86 dB。而淋水声又是冷却塔噪声的主要来源。从高空落下的循环水与集水池中的水撞击而产生淋水噪声。这是循环水在重力的作用下势能转化为动能,当下落到与集水池里的水撞击时,其中一部分动能便转化为声能进行传播。水的自由跌落高度越高,产生的噪声也越大。高位收水塔自由跌落高度约为常规塔自由跌落高度的30%,而且其自由跌落区均在塔的筒壁之内,相当跌落于天然隔声墙,因此噪声排放可有效降低,通常可降低约8~10 dB。

2.3 综合换热性能相当

冷却塔冷却的主要区域是淋水填料区域,雨区的换热仅为全塔换热的一小部分,且其冷效贡献随着填料高度的增加而逐渐减少,根据模拟试验研究,超大型自然通风冷却塔的雨区冷效占全塔总冷效的15%~20%^[9]。而雨区产生的风阻占冷却塔总阻力中的40%左右,高位收水冷却塔雨水较短,减少了雨区通风阻力,但由于增加了高位收水设施,收水斜板的设置阻挡了部分进风面积,又增加了一定的进风通风阻力。由于高位塔的特点增加进风口高度时其供水高度不变,故高位收水塔的进风口高度一般比常规塔要高些,高位塔设计时一般要选择合适的进风口高度,使塔进风阻力较常规塔减小,以提高塔内风速,提高冷却塔冷却效果。同时,高位收水塔内进风更均匀,塔内中心区域与外圈进风温度基本一致,改善了冷却塔的冷却效率。根据哈蒙公司提供的相同装机容量机组配置的常规冷却塔和高位收水冷却塔的冷却性能对比结果,总体冷却效果基本一致。国内亦有科研单位对蒲城电厂高位收水冷却塔的有关实测数据也表明,其冷却效果与常规冷却塔基本吻合^[8,10]。

3 高位收水塔方案综合经济性分析

3.1 输入条件

某2×1 000 MW机组工程地处广东省东北部,拟采用循环冷却供水方式。

厂址处年平均气象温度为21.4℃,大气压力为1.005 kPa,相对湿度为73%。根据冷端优化结果,本工程采用双背压、双壳体、表面型凝汽器,壳体和水管为全焊接结构,总冷却面积为 $6.0 \times 10^4 \text{ m}^2$,每台机组总冷却水量约 $9.5 \times 10^4 \text{ t/h}$ 。

按冷却塔进出水温差为9.3℃,出水温度分别为22.7℃和23.2℃,进行逆流式自然通风常规冷却塔和逆流式自然通风高位收水冷却塔进行方案设计。

3.2 方案设计

根据上述输入条件,进行冷却塔方案设计,确定各方案塔型尺寸,如表1所示。

表1 冷却塔方案塔型尺寸参数表

Tab. 1 Cooling tower type size parameter table

方案	方案一	方案二	方案三	方案四
塔型	常规塔	常规塔	高位收水塔	高位收水塔
年平均进水温度/℃	32.0	32.5	32.0	32.5
年平均出水温度/℃	22.7	23.2	22.7	23.2
总高度/m	199.0	199.0	189.0	170.0
底部直径/m	145.5	141.2	145.0	142.0
进风口高度/m	11.8	10.5	14.5	14.2
喉部直径/m	85.3	83.1	82.7	81.0
出口直径/m	88.3	86.1	86.7	85.0

3.3 综合经济性比较分析

3.3.1 经济比较原则

经济比较原则如下:

1)技术经济比较以2×1 000 MW机组为单位进行年费用最小法比较^[11],年费用包括年固定费用及年运行费用两部分。

$$NF = P \cdot (AFCR) + \mu_a \quad (1)$$

式中: NF 为年费用值,万元; P 为总投资现值,万元; $AFCR$ 为年固定分摊率,% (Annual Fixed Charge Rate); μ_a 为年运行费用,包括水泵的电耗即微增功率收益。

$$AFCR = CR + MR \quad (2)$$

式中: CR 为资金回收系数; i 为投资回收率,本工程投资回收率取8%; n 为工程的经济使用年限,

取 $n=20$ 年; MR 为大修费率,本工程大修费率取2%。

$$\mu_a = A_p - A_t \quad (3)$$

式中: A_p 为年循环水泵电费,万元; A_t 为年微增功率电费,万元。

$$CR = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

2)方案比较仅比方案间主要差异部分,包括冷却塔、循环水泵房及设备。循环水管、凝汽器均相同,不参与比较,塔芯材料均按进口技术合资生产进行比较;同时参考同类型工程,高位塔方案不考虑噪声治理费用,常规塔方案噪声治理费用按1 600万计列。

3)循环水泵耗电费用按成本电价0.274元/kWh计,微增功率费用按上网电价0.375元/kWh计;考虑到广东省内近几年大型火电纯凝机组运行小时数逐年降低,年利用小时数分别按5 000 h和4 500 h进行计算比较。

4)循环水泵运行费用部分仅比较了净扬程部分的差异,循环水系统采用单元制。

3.3.2 经济比较结果

根据中电联规划与统计信息部数据显示,近年全国火电机组年利用小时数逐步降低,2013年全国火电设备平均利用小时数为5 012 h,2014年全国火电设备平均利用小时数降低到4 706 h,2015年全国火电设备平均利用小时数降低到4 364 h。为比较不同年利用小时数各方案的优劣,本文分别按年利用小时数5 000 h和4 500 h,对常规塔和高位收水冷却塔方案进行计算比较,如表2所示。

表2 冷却塔方案经济比较表(2×1 000 MW机组)

Tab. 2 Economic comparison of cooling tower (2×1 000 MW unit)

方案	方案一	方案二	方案三	方案四
年利用小时数/h	5 000	4 500	5 000	4 500
静态投资/万元	0	0	-1 287	-1 287
循环水泵耗功费用/(万元·年 ⁻¹)	0	0	-111	-100
微增功率费用/(万元·年 ⁻¹)	0	0	331	298
年总费用(按20年)/(万元·年 ⁻¹)	0	0	63	41
排名	3	3	4	4

注:方案一中0为基准方案。

为进行更直观的比较,将方案一设定为基准方案,经过上述经济比较,结果如下:

1)高位收水塔因增加了收水装置费用,一次性静态投资较常规塔方案高,其中方案二静态投资(常规塔方案,出塔水温 $23.2\text{ }^{\circ}\text{C}$)最低,较方案一低约1 287万元。方案三静态投资(高位收水塔方案,出塔水温 $22.7\text{ }^{\circ}\text{C}$)最高,较方案一高约4 345万元。

2)取不同的年利用小时数,将产生不同的机组运行费用,循环水泵运行费用方面,高位收水塔凸显出优势,与常规塔相比,当年利用小时数为4 500~5 000 h时,每年的循环水泵运行费用节省达818万元~909万元,年利用小时数越高,循环水泵节省费用越多。

3)降低凝汽器的冷却水进水水温利于提高机组运行经济性:当凝汽器进水水温降低 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,机组背压降低约 0.30 kPa 。若按热耗及煤耗计,凝汽器进水水温降低 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,机组热耗可降约 6 kJ/kWh ,煤耗可降约 0.21 g/kWh 。当年利用小时数为4 500~5 000 h时,每年微增功率收益高达298万元~331万元,年利用小时数越高,微增功率收益越多。

4)按年费用最小法,因循泵运行费用大幅节省及较高的微增功率收益,方案三(高位收水塔方案,出塔水温 $22.7\text{ }^{\circ}\text{C}$)最优,当年利用小时数为4 500~5 000 h时,年费用较方案一低约289万元~380万元,年利用小时数越高,年费用节省越多。

从上述分析可以得出,方案三虽然静态投资最高,但由于显著的节能、降耗特性,在不同年利用小时数均表现出较好的经济性,作为推荐方案。

3.4 高位收水塔塔芯材料国产化进展

高位收水冷却塔塔芯材料包括淋水填料、喷淋装置和除水器、收水装置等。哈蒙冷却塔公司设计的高位收水冷却塔及其塔芯材料,技术发展早,相对成熟,性能稳定。目前国内百万机组仅三个工程采用高位收水冷却塔方案,其中重庆万州电厂、安徽安庆电厂采用了哈蒙公司的高位收水塔及其塔芯材料,单塔淋水面积分别为 $1.28\times 10^4\text{ m}^2$ 和 $1.26\times 10^4\text{ m}^2$ 。神华国华寿光电厂采用了国产技术高位收水塔及国产塔芯材料,单塔淋水面积约 $1.28\times 10^4\text{ m}^2$ 。神华国华寿光电厂采用国产技术高位收水塔方案。重庆万州电厂、安徽安庆电厂均于2015年投产运行,经验收反馈,高位收水冷却塔的冷却

能力均能达到设计要求,神华国华寿光电厂目前正在安装调试阶段。

高位收水冷却塔的淋水填料、喷淋装置和除水器与常规塔材料和功能基本一致,国产优质产品和哈蒙公司产品质量差别小,效果相当。笔者认为目前高位收水塔塔芯材料国产化需要攻克的难关主要是高位收水装置的产品定性及相关制造、生产工艺。

在3.3章节中塔芯材料均按进口技术合资生产进行经济比较,若塔芯材料国产化,高位收水塔的经济优势还将会进一步突显。

4 结论

随着我国能源结构及其发展政策的调整,大型核电和高参数、大容量火电机组将成为我国电力行业的主要发展方向,在低碳经济的要求下,以及大力执行节能降耗的环保要求下,大型逆流式自然通风高位收水冷却塔以其显著的节能、节水、低噪声等优势,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 张利平,夏军,胡志芳.中国水资源状况与水资源安全问题分析[J].长江流域资源与环境,2009,18(2):116-120.
- [2] 曾建柱.天津北疆发电厂 $12\ 000\text{ m}^2$ 海水冷却塔设计[J].电力建设,2009,30(2):58-60.
- [3] 赵云驰,王东海,李京,等.二次循环冷却系统应用于滨海核电站可行性分析[J].给水排水,2012,38(10):67-70.
- [4] 董琨,靖长财.浅谈国华电力 $1\ 000\text{ MW}$ 超超临界机组经济性指标和节能降耗措施[J].华北电力技术,2013(12):68-72.
- [5] 金嘉卿,谢化一,倪季良,等.高位收水冷却塔的设计[J].中国电力,1993,26(6):39-43.
- [6] 费全昌.我国冷却塔应用现状及面临的挑战[J].电力勘测设计,2014(2):29-33.
- [7] 何磊,黄涛,陈绍林.高位收水冷却塔集水槽结构设计[J].电力勘测设计,2015(3):37-41.
- [8] 赵云驰,侯燕鸿,王东海,等.超大型高位收水冷却塔工艺设计探讨[J].给水排水,2009,35(11):69-72.
- [9] 赵振国,石金玲,周常虹,等.冷却塔雨区的热力特性[J].水利学报,2000,31(3):12-18.
- [10] 赵云驰,侯燕鸿,王东海,等.超大型自然通风冷却塔工艺设计探讨[J].电力建设,2009,30(10):67-70.
- [11] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.火力发电厂水工技术规范:DL/T 5339—2006[S].北京:中国电力出版社,2006.