

辅机冷却水系统优化 专题报告

中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司

Northwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group

2024年 11 月 西 安

目 录

1 电厂概述	1
2 气象条件	2
3 辅机冷却水系统方案简介及配置	7
4 方案技术比较	16
5 方案经济比较	18
6. 结论	19

【内容概要】：辅机冷却水系统是电厂重要的系统之一，关系到电厂的安全和经济运行。本专题报告在保证辅机安全的前提下，对辅机冷却水系统的冷却方式采用干式冷却方案或干湿联合冷却方案，从系统的配置、运行、节水、节电等方面进行优化和比较。经过技术经济比较，推荐辅机冷却水系统采用干湿联合冷却方案。

1 电厂概述

甘能化庆阳电厂（2×660MW 机组）工程为新建工程为甘肃能化九龙川煤矿配套建设煤电一体化项目，本期拟建设 2×660MW 超超临界间接空冷燃煤机组，厂址位于甘肃省宁县境内。

甘肃省陇东地区是国家规划的 14 个大型煤炭基地之一，境内煤炭资源丰富，探明资源量 359.8 亿吨（其中庆阳 271.8 亿吨），保有资源量 184 亿吨。九龙川矿井地处西北地区甘肃省宁县，资源储量丰富，煤质好，开采条件较好，适宜建设现代化大型矿井。本工程所在宁县具备建设大规模煤电基地的有利条件，电源建设成本及发电成本相对较低。

宁县地方工业弱小，没有大型工业企业支撑，本项目的建设将有力带动全县财政税收、建筑建材、商贸服务、餐饮、住宿、食品加工、运输、基础建设等众多行业的发展，有效地推动当地经济建设的发展，缓解就业压力，增加居民收入，提高生活水平，对地方经济的发展具有重要意义。

本期工程，供煤煤矿已具备建设条件；供水水源利用城市中水和煤矿疏干水；主机采用高参数大容量空冷机组。高效节能环保型电厂是本工程的建设目标。

本工程计划在 2024 年 12 月开工，第一台机组计划于 2027 年 5 月建成投产，第二台机组计划于 2027 年 6 月建成投产。

2 气象条件

2.1 气候概况及气象站资料移用分析

宁县深居内陆属温带季风气候区。冬季漫长寒冷，雨雪少；春季转瞬即逝，冷暖变化大；夏季短促，气温高，降水集中；秋季降温快，初霜也来得早。气候干燥，气温日较差大，光照充足，太阳辐射强。降水各季分配不匀，降水较多主要集中在 6～9 月。

厂址附近有宁县气象站，宁县气象站建站于 1957 年，是国家基本气象站，位于宁县早胜镇“乡村”，北纬 35°25′、东经 108°00′，海拔高度为 1221.2m。2004 年迁站至北纬 35°31′、东经 107°55′，海拔高度为 979.4m，2017 年迁站至北纬 35°32′、东经 107°53′，海拔高度为 1135.3m。宁县气象站位于电厂西北方向约 19km 处，电厂海拔约 1230m。宁县气象站与电厂海拔、自然地理环境接近且两者间无较大阻挡物，故确定本工程常规气象条件采用宁县气象站观测资料统计。

根据宁县气象站多年观测资料，统计得宁县气象站基本气象要素年值和月值见表 2-1 和表 2-2。

表 2-1 宁县气象站基本气象要素年值统计表

项目	单位	数值	发生日期
平均气压	hPa	879.7	
平均气温	℃	8.9	
最热月平均气温	℃	21.9	
最冷月平均气温	℃	-5.5	
极端最高气温	℃	38.2	2005.6.19
极端最低气温	℃	-27.1	1991.12.28
平均水汽压	hPa	9.2	

平均相对湿度	%	68	
年平均降水量	mm	565.4	
一日最大降水量	mm	119.5	2013
年平均蒸发量	mm	1379.9	
平均风速	m/s	1.9	
最大风速（定时 2min 平均）	m/s	21	1973.12.30
最大积雪深度	cm	24	1993.3.17
平均雷暴日数	d	24.1	
平均沙暴日数	d	0.4	
平均大风日数	d	4.0	
平均雾日数	d	26.8	

表 2-2 宁县气象站累年逐月气象要素统计表

月份	平均气压 (hPa)	平均温度 (°C)	平均风速 (m/s)	平均相对湿度 (%)	平均降水量 (mm)	平均蒸发量 (mm)
1	884.0	-5.5	1.6	60	4.9	37.4
2	882.1	-2.2	2.0	60	7.6	50.6
3	880.1	3.6	2.2	63	21.8	93.3
4	877.9	10.6	2.4	60	36.7	154.6
5	876.5	15.4	2.2	63	51.9	189.4
6	873.5	19.6	2.1	66	66.6	207.6
7	872.3	21.9	2.1	73	115.7	201.7
8	875.1	20.7	1.9	77	108.9	172.0
9	880.2	15.3	1.6	79	78.3	108.8
10	884.0	9.2	1.7	76	49.3	79.7
11	885.5	2.1	1.7	71	19.0	47.9
12	885.5	-3.7	1.7	63	4.7	36.8
平均 或合计	879.7	8.9	1.9	68	565.4	1379.9

2.2 设计风速

根据宁县气象站历年实测10min平均最大风速系列采用极值I型法统计计算，并参照国家《建筑结构荷载规范》GB50009-2012中的风压等值线图，暂定电厂厂址处五十年一遇10m高10min平均最大风速为23.7m/s，其相应的风压为0.35kN/m²。

2.3 三十年一遇极端最低气温

根据宁县气象站历年极端最低气温资料系列，采用 P-III型频率计算并结合周边工程，确定三十年一遇极端最低气温为-27.0℃。

2.4 频率 5%和 10%气象条件

根据宁县气象站近 5 年夏季（6、7、8 月）逐日平均干球温度、气压、相对湿度等资料求得对应的逐日平均湿球温度，再将逐日平均湿球温度从大到小进行累积频率统计，求得累积频率为 5%的的日平均湿球温度为 22.3℃，相应平均干球温度为 25.5℃，相对湿度为 75%，平均气压为 876.9Pa，平均风速为 1.5m/s；累积频率为 10%的的日平均湿球温度为 21.3℃，相应平均干球温度为 24.2℃，相对湿度为 77%，平均气压为 876.7Pa，平均风速为 1.8m/s。

2.5 风向玫瑰图

宁县气象站全年、夏季、冬季风向玫瑰图见图 2-1。

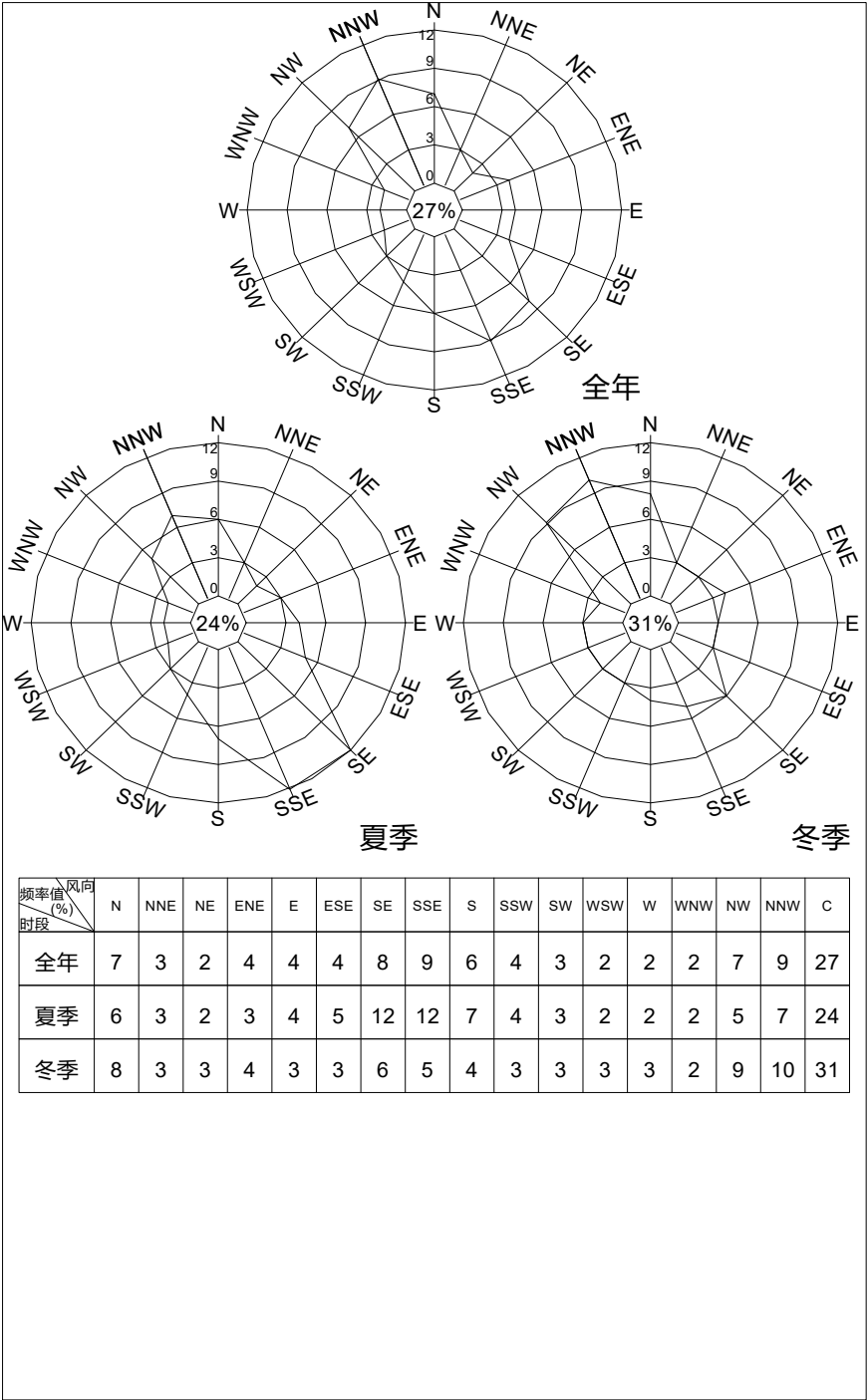


图 2-1 宁县气象站全年、夏季、冬季风向玫瑰图

2.6 空冷气象条件

因为宁县气象站2004年迁站至北纬35°31′、东经107°55′，海拔高度为

979.4m，2017年迁站至北纬35°32′、东经107°53′，海拔高度为1135.3m。两次迁站海拔高度差距有155.9m，海拔高度变化较大，因此，空冷气象数据采用2017～2023年逐时观测数据进行统计。由于厂址距宁县气象站19km，厂址和气象站之间地形和地貌有一定差别，必然导致气温、风速和风向有一定的变化，建议在建设场地进行空冷气象对比和低空逆温观测及分析，根据观测及分析结果，对气象站的统计参数进行修正。

按照《电力工程气象勘测技术规程》DT/T5158-2021中典型年的选取方法。典型年选取按如下过程：求出宁县气象站中最近7年的年平均气温，然后再求出最近5年内各年按小时气温统计的算术年平均值，将算术年平均值与最近7年的年平均气温最相近的一年作为典型年。在确定典型年时，若有多个年份气温与累年年平均气温相近时，应选择高于累年年平均气温的年份作为典型年。最终确定典型年为2021年。典型年逐时干球温度累积频率统计成果见表2-3，典型年逐时干球温度累积频率曲线图见图2-2。

表2-3 典型年（2021年）逐时干球温度累积频率统计表

气温分级 (℃)	出现时数	累积时数	累积频率 (%)	气温分级 (℃)	出现时数	累积时数	累积频率 (%)
35.9~35.0	5	5	0.06	6.9~6.0	316	5842	66.69
34.9~34.0	3	8	0.09	5.9~5.0	296	6138	70.07
33.9~33.0	13	21	0.24	4.9~4.0	269	6407	73.14
32.9~32.0	28	49	0.56	3.9~3.0	237	6644	75.84
31.9~31.0	52	101	1.15	2.9~2.0	233	6877	78.5
30.9~30.0	49	150	1.71	1.9~1.0	194	7071	80.72
29.9~29.0	80	230	2.63	0.9~0.0	235	7306	83.4
28.9~28.0	94	324	3.7	-0.1~-1.0	191	7497	85.58
27.9~27.0	123	447	5.1	-1.1~-2.0	161	7658	87.42
26.9~26.0	147	594	6.78	-2.1~-3.0	132	7790	88.93
25.9~25.0	159	753	8.6	-3.1~-4.0	166	7956	90.82
24.9~24.0	185	938	10.71	-4.1~-5.0	161	8117	92.66
23.9~23.0	182	1120	12.79	-5.1~-6.0	139	8256	94.25
22.9~22.0	203	1323	15.1	-6.1~-7.0	136	8392	95.8
21.9~21.0	245	1568	17.9	-7.1~-8.0	101	8493	96.95
20.9~20.0	266	1834	20.94	-8.1~-9.0	84	8577	97.91
19.9~19.0	272	2106	24.04	-9.1~-10.0	52	8629	98.5

18.9~18.0	268	2374	27.1	-10.1~-11.0	27	8656	98.81
17.9~17.0	309	2683	30.63	-11.1~-12.0	31	8687	99.17
16.9~16.0	341	3024	34.52	-12.1~-13.0	19	8706	99.38
15.9~15.0	299	3323	37.93	-13.1~-14.0	17	8723	99.58
14.9~14.0	260	3583	40.9	-14.1~-15.0	8	8731	99.67
13.9~13.0	219	3802	43.4	-15.1~-16.0	9	8740	99.77
12.9~12.0	243	4045	46.18	-16.1~-17.0	3	8743	99.81
11.9~11.0	265	4310	49.2	-17.1~-18.0	6	8749	99.87
10.9~10.0	303	4613	52.66	-18.1~-19.0	8	8757	99.97
9.9~9.0	328	4941	56.4	-19.1~-20.0	1	8758	99.98
8.9~8.0	302	5243	59.85	-20.1~-21.0	2	8760	100
7.9~7.0	283	5526	63.08				

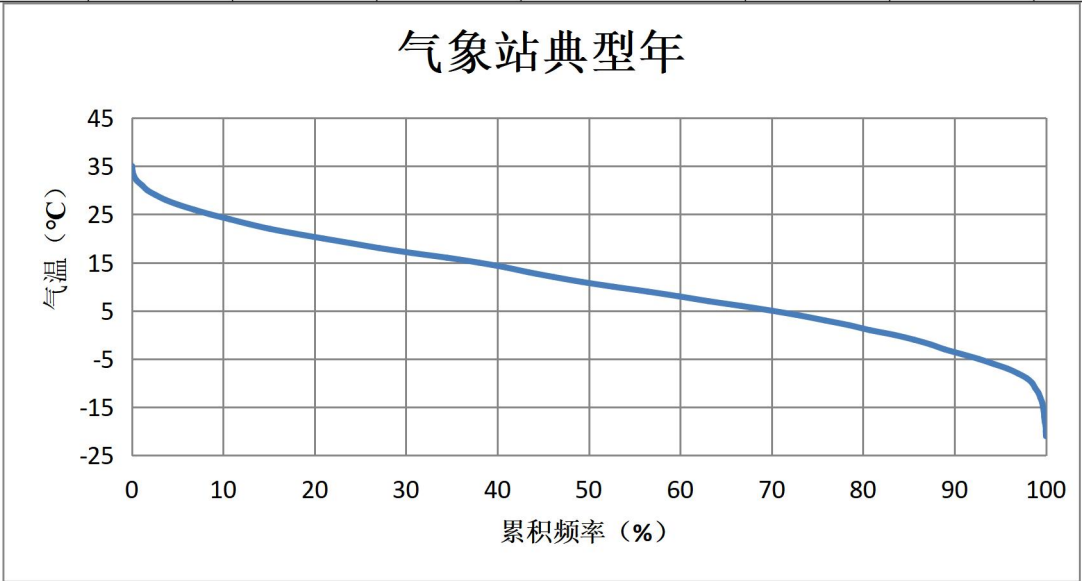


图 2-2 宁县气象站典型年（2021 年）湿球温度累积频率曲线

3 辅机冷却水系统方案简介及配置

辅机冷却系统关系到辅机系统能否安全运行。由于辅机冷却系统相对规模较小，考虑运行灵活性等因素，辅机冷却设施多数电厂都采用了机械通风的形式。目前常用的辅机冷却系统有湿式冷却系统、干式冷却系统和干湿联合冷却系统。以上三种辅机冷却系统在工程中均有应用，并且每种系统均有各自的优缺点和适用范围。

本工程除汽轮机凝汽器冷却水外，主厂房和空压机区域所有的冷却器和机械轴承的冷却水采用闭式冷却水系统。闭式冷却水系统是辅机冷却水

系统成一个闭式循环，与辅机冷却器及轴承等冷却装置直接接触的闭式循环水一般采用软化水或除盐水。可以由湿式冷却系统提供冷却水，设水—水换热器冷却闭式循环水系统内的热水，即为湿式冷却系统方案；也可以通过散热器直接用空气冷却闭式循环水系统内的热水，即为干式冷却系统方案；在干式冷却系统基础上增加蒸发冷却器,用于确保高温时段满足冷却任务。冬季和春秋季节气温较低时，只运行干式冷却系统，节约用水；夏季和春秋季节气温较高时，进行空气冷却的同时使用喷淋水进行蒸发冷却即为干湿联合冷却系统方案。

本工程因处于水资源贫乏地区，可供给本工程水资源有限，故不考虑湿式冷却系统方案，仅对干式冷却系统和干湿联合冷却系统进行比选。

3.1 方案一：干式冷却系统

辅机干式冷却系统由带机械通风干冷塔的闭式冷却水系统组成。与辅机冷却器及轴承等冷却装置直接接触的闭式循环水采用除盐水，在主厂房外设置专用的机械通风空冷散热器实现气水换热，将闭式循环水中的热量排放至大气。其工艺流程为：

闭式冷却水管→闭式水泵→冷却器和机械轴承→热水管→机械通风空冷散热器→闭式冷却水管。

空冷散热器垂直布置在机械通风干冷塔外进风口，高温辅机冷却水在散热器管束内流动，在散热器的上部设置提供冷却空气的轴流风机，冷却空气流经散热器外表面形成强迫对流换热，将冷却水温度降低，冷却水返回主厂房循环冷却辅机设备。干式冷却系统最大的优点是节水，冷却过程中循环水和空气不直接接触，可完全避免湿式冷却塔的风吹和蒸发损失。在夏季气温逼近气温极限时需辅助喷雾（除盐水）强化冷却，一般可将辅

机循环水冷却至38℃。但长期喷水降温有可能造成散热器表面结垢，影响换热性能。

单台660MW机组的辅机闭式冷却水量约为3000m³/h。

1) 辅机干式冷却水系统配置

厂区辅机冷却水系统采用带机械通风干冷塔的单元制供水系统。

带机械通风干冷塔的干冷系统设置为单元制，单台机组配5段干冷塔，两台机组的干冷塔集中布置，共10段。两台机组干冷塔总平面尺寸为48m×22m。每段干冷塔配一台轴流风机，散热器垂直布置在干冷塔进风口外。

单台机组配一条DN800辅机冷却进水母管、一条DN800辅机冷却回水母管、两台辅机闭式冷却水泵、一座高位补给水箱。辅机闭式冷却水泵和高位补给水箱布置在主厂房内。

a. 设计气温、气压、湿度及环境风速

夏季工况干球温度：31℃

夏季工况大气压力：876.9hpa

夏季工况相对湿度：77%

设计环境风速：4m/s（冷却塔零米以上10m高处环境风速）。

b. 机械通风干冷塔

按照夏季干冷塔冷却水设计进水温度：44℃，夏季干冷塔冷却水设计出水温度：38℃。

单台机组配5段机械通风干冷塔。

管束型号：FORG0 5代铝制6排管散热器

流程数：双流程

每台机组散热器散热面积：约12万m²

迎风面风速：2.3m/s

干冷塔段数：5段

每段干冷塔平面尺寸：11.0m×10m

冷却三角长度16.0米

塔进风口高：18.0m

风机直径：7.0m

风机数量：5台（变频）

风机轴功率：92kW；风机配电机功率：160kW

c. 喷雾加湿泵

每台机组配1台喷雾加湿泵，布置在干冷塔下方的地面上。当气温超过典型年设计气温31℃时，对干式冷却塔进行喷雾加湿，提高系统冷却效果。

喷雾加湿泵参数如下：

流量：40m³/h

扬程：150m

电动机功率：30kW

电压：380v

数量：1台

d. 清洗水泵

单台机组配1台清洗水泵，布置在干冷塔下方的地面上。清洗水泵参数如下：

流量：10m³/h

扬程：800m

电动机功率：37kW

电压：380v

数量：1台

e.输水泵及地下储水箱

单台机组配2台输水泵，1套地下储水箱，输水泵布置在干冷塔下方的地下储水箱内。输水泵及地下储水箱设计参数如下：

流量：80m³/h

扬程：40m

电动机功率：22kW

电压：380v

数量：2台

储水箱容积：75 m³

数量：1套

2) 辅机冷却水管道

单台机组各设1根DN800的辅机冷却水供水母管及1根DN800的辅机冷却水排水母管。辅机冷却水管道采用焊接钢管，直埋敷设。

3) 主厂房内闭式冷却水系统配置

主厂房内单台机组设置两台100%容量的闭式冷却水泵、一台约20m³闭式冷却水膨胀水箱。

每台水泵性能参数如下：

水泵型式:单级双吸卧式离心泵

流量：3000 m³/h

扬程： 45m

水泵轴功率：398kW

电动机功率：450kW

3.2 方案二：干湿联合冷却方案

辅机干冷系统冷却极限为环境干球气温。当辅机设备要求较低的冷却温度或新疆等夏季高温时间较长的地区，完全采用辅机干冷系统无法满足辅机冷却要求或代价太高。当辅机冷却系统同时面临高温时段可靠冷却和节水要求时，干湿联合冷却系统提供了一种选择。常用的干机空湿联合冷却可以全部单元均为蒸发冷却器，也可部分空冷散热器单元与部分蒸发冷却器单元串联或并联。加湿喷淋的起喷点越低，蒸发冷却部分比例越大，但耗水量越大，需要寻求一种冷却能力与节水的平衡。

蒸发式冷却器是一种间接接触式冷却，将湿式机械通风逆流式冷却塔的淋水填料替换为换热盘管组，辅机冷却水在换热盘管内流动，可以干式运行，夏季高温时段可以湿式方式运行，在换热盘管外表面喷淋水，在风机强制对流作用下，依靠水蒸发的潜热来冷却管内介质，强化传热，满足冷却要求。设除水器阻挡空气流中未蒸发水滴，使其流回水盘，减少喷淋水的消耗。

蒸发式冷却器的不足之处是在换热盘管外表面如果喷淋工业水，很容易结垢，散热能力逐年大幅衰减，3~5年之后就不能使用了，需要更换散热器。如果改为喷淋软化水或除盐水，代价很高，而且喷淋水是循环使用的，会携带空气中的灰尘、杂质进入喷淋循环水系统，虽然有旁滤设施，但水质也会逐渐恶化。

部分空冷散热器单元与部分蒸发冷却器单元串联或并联是一种解决方案，为避免蒸发冷却器干湿并联运行存在温度不均匀的现象，一般以干式

空冷与蒸发冷却串联运行。以临界喷水温度点作为设计边界条件进行空冷器选型，即环境气温低于临界喷水温度（启喷温度）时，蒸发冷却器单元不喷水，按纯空冷运行模式；环境气温临界喷水温度时，逐步开启若干台蒸发冷却器的喷淋水泵，给蒸发冷却器单元喷水，按干湿联合运行模式，满足在环境气温较高的条件下对被冷却介质降温要求。临界喷水温度（启喷温度）最低为5℃，并且可以根据节水的需求，加大空冷散热器单元的比例，提高蒸发冷却器单元启喷气温点到~20℃；再向上提高启喷气温点，基本上就全部是空冷散热器单元了，即转化为纯辅机干冷系统了。干湿联合冷却系统可以减少蒸发冷却器单元每年的喷淋时长，延长了蒸发冷却器单元的工作年限，即使若干年后需要更换结垢的蒸发冷却器，数量也只有原来全部蒸发冷却器单元的一半左右甚至更少，并且在冬季更换蒸发冷却器，空冷散热器单元还可正常运行为辅机冷却服务。

本工程辅机干湿联合冷却系统由带机械通风干冷塔和蒸发冷却塔的闭式冷却水系统和开式喷淋水系统组成。与辅机冷却器及轴承等冷却装置直接接触的闭式循环水采用除盐水，在主厂房外设置设专用的机械通风干冷塔和蒸发冷却塔实现气水换热，高温时段给蒸发冷却器喷淋水（采用工业水），将闭式循环水中的热量排放至大气。闭式冷却水工艺流程为：

闭式冷却水管→闭式水泵→冷却器和机械轴承→热水管→机械通风空冷散热器→机械通风蒸发冷却器→闭式冷却水管

喷淋水工艺流程为：

过滤器←旁滤水泵←蒸发冷却塔喷淋集水盘→喷淋水泵→机械通风蒸发冷却器

单台660MW机组的辅机闭式冷却水量约为3000m³/h。

单台660MW机组共设5组冷却单元，每两台机组配一座干湿联合冷却塔，总平面尺寸47.2m×28m，塔高14m。每个冷却单元配1台轴流风机。高温冷却循环水先进入3组干冷段冷却，冷却后汇集到联通母管，再进入2组蒸发冷却段继续冷却，每组蒸发空冷单元配置3台喷淋水泵，2用1备，配置旁滤系统过滤部分喷淋水，经过蒸发冷却降温后达到工艺降温要求，通过管道输送至各辅机用水点使用。辅机冷却水管、闭式水泵及膨胀水箱的配置和方案一相同。

1) 辅机干湿联合冷却塔配置

单台机组配5个空冷单元，干式部分配置3个空冷单元，蒸发冷却部分配置2个空冷单元。2×660MW机组共设10组冷却单元，包含6组干空冷单元和4组蒸发冷却单元，总平面尺寸47.2m×28m（分2列布置），塔高14m。高温冷却循环水先进入6组干冷段冷却，冷却后汇集到联通母管，进入蒸发冷却段4组蒸发冷却器继续冷却，每台辅机的蒸发空冷单元喷淋水循环配置3台水泵（2用1备），喷淋水箱配置旁滤系统进行喷淋水过滤，经过蒸发冷却降温后达到工艺降温要求，通过管道输送至各辅机用水点使用。

辅机冷却水量：2×3000m³/h

冷却水设计进水温度：43℃

冷却水设计出水温度：37℃

临界喷水温度（启喷温度）：20℃

流程数：双流程

2×660MW机组散热器散热面积：干冷段面积约2×70000m²，蒸发冷却器面积约2×7500m²。

干冷风机直径：Φ7000mm 额定功率：110kW（变频控制）台数：6台

湿冷风机直径：Φ7000mm 额定功率：90kW（变频控制）台数：4台

2) 喷淋系统

当环境温度大于20℃时，蒸发冷却单元投入喷淋系统，达到降温需求，喷淋泵参数如下：

喷淋水泵流量：400m³/h

喷淋水泵扬程：18m

功率：30kW

喷淋水泵台数：6台（4用2备）

根据厂址典型年气温干球温度统计值表，按照启喷温度为20℃以上的启喷时间为1834h。

3) 清洗泵组

每台机组配1台清洗泵组，布置在干冷塔下方。清洗水泵参数如下：

流量：10m³/h

扬程：800m

电动机功率：37kW

电压：380v

数量：2×1台

4) 旁滤系统

2台机组喷淋水池设置一套喷淋水旁滤系统，去除喷淋水中的悬浮物与浊度，改善水质，降低换热器受污物沉积影响换热的程度。

旁滤系统参数：

数量：1套

旁滤水量：85t/h

旁滤水泵扬程：16m

旁滤水泵功率：5.5kW

过滤罐：2台

4 方案技术比较

我国北方地区辅机空冷系统的夏季设计气温一般在29~33℃，和冷却水温要求的37~38℃温差在5~8℃，夏季设计气温33℃以上时，和冷却水温要求的37~38℃温差很小，散热器的规模非常大，不推荐采用纯干冷系统。本项目夏季设计气温31℃，可采用纯干冷系统，也可采用干湿联合系统，需要进行技术经济比较选定。

干湿联合系统是干式空冷与蒸发冷却串联运行，在环境气温低于联合冷却临界喷水温度时，纯空冷运行；当气温高于临界喷水温度时，逐步开启若干台蒸发空冷器的喷淋水泵，满足在环境气温较高的条件下对被冷却介质降温要求。该方案主要应用于厂址夏季环境温度较高，且高温时段较长的项目，通过湿冷段的降温以达到控制出塔水温的目的。

方案的技术比较见下表4-1.

表4-1

方案技术比较

方案 比较项目	方案一： 干式冷却系统	方案二： 干湿联合冷却系统
换热系统的特点	整个换热系统为一次换热。系统设计温度的控制点为环境干球温度。	整个换热系统为一次换热。在夏季高温时段增加喷淋蒸发冷却，可降低出水温度。
技术可靠性	国内外对主机排汽采用干冷系统研究较多，技术基本成熟。目前，国内各空冷器制造厂家在不断的研究和改进散热器，以达到更好的换热效果。	国内已有很多项目辅机冷却采用干湿联合冷却系统，技术成熟。
运行性能的稳定性	按照夏季设计出水温度小于38℃考虑，对于冷却水温要求较严格的真空泵冷却水，对增加机组夏季出力较为不利。	夏季运行需要开启喷淋系统，蒸发冷却器容易结垢腐蚀，造成换热效率衰减。按照夏季设计出水温度小于37℃考虑，出水温度较干冷系统稳定。
运行检修维护	当环境温度超过设计气温时须采用除盐水进行喷雾降温。 需要定期采用除盐水清洗散热器，防止散热器结垢以保证散热器使用寿命。一旦出现影响设备换热性能需要更换散热器管束的时候，费用较高。	当环境温度超过20℃时须采用开启喷淋系统。需要定期采用除盐水清洗散热器，防止散热器结垢以保证散热器使用寿命。一旦出现影响设备换热性能需要更换散热器管束时候，费用较高。
夏季度夏措施	为了保证辅机干冷系统夏季安全运行，除干冷塔考虑适当的余度外，风机转速按照110%配置；根据脏污程度不定时清洗，在不增加冷却面积的情况下，设置了水喷雾降温系统等措施。	设置蒸发冷却段保证辅机夏季安全运行，冷却塔考虑适当的余度；根据脏污程度不定时清洗。
冬季防冻措施	减少冷却塔运行数量，变频风机减速运行。	停止向蒸发冷却单元喷水。减少冷却塔运行数量，变频风机减速运行。
水质控制	整个闭式系统采用除盐水，清洗及喷雾降温均采用除盐水，常规控制，较简单。	整个闭式系统采用除盐水，蒸发冷却段的外循环水采用工业水，常规控制，较简单。
应用业绩	我院已在华能左权电厂、山阴电厂、	我院已在启光电厂、准东五彩湾北三电

	陕西榆能横山煤电一体化项目、北方联合电力和林电厂等的设计中采用了该系统。	厂、北一电厂、红墩界电厂、清水川电厂、蒙泰电厂等的设计中采用了该系统。
--	--------------------------------------	-------------------------------------

5 方案经济比较

5.1 耗水比较

方案一：干式冷却系统的空冷散热器采用除盐水作为喷雾加湿水。

方案二：干湿联合冷却系统的喷淋水采用工业水。

干式冷却系统的喷雾加湿水也可以采用软化水，但需增加相应的存储设施、供水泵和管网，运行管理不便。本工程暂按采用除盐水设计。

表5-1 辅机冷却系统耗水量（2×660MW级机组）

序号	项 目	方案一 (水质：除盐水)	方案二 (水质：工业水)
1	冷却塔蒸发、风吹损失水量 (m³/h)	0	8
2	喷淋损失水量 (m³/h)	40×2	0
3	辅机运行小时数/加湿喷淋小时数 (小时)	101	1834
4	年消耗水量 (万m³)	0.808	1.4672
5	年消耗水量差 (万m³)	-0.6592	基准
6	年水费 (万元)	16.16	11.74
7	年水费差 (万元)	4.42	基准

附注：工业水水价按照8元/吨计算，除盐水价按照20元/吨计算。

5.2 功率消耗比较

各方案的功率消耗见表5-2。

表5-2 2×660MW机组设备功率消耗对比表

序号	项目	方案一	方案二
1	风机轴功率 (kW)	10×92	6×86 (干冷段) +

			4×70（湿冷段）
2	喷雾水泵电机功率（kW）	2×30	0
3	喷淋水泵及旁滤水泵电机功率（kW）	0	4×30（喷淋水泵）+ 1×5.5（旁滤水泵）
4	辅机运行小时数/加湿喷淋小时数（小时）	101	1834
5	电费（万元）	98.02	91.10
6	电费差（万元）	6.92	基准

附注：年利用小时数按照5500h，变频风机按0.7系数折算，按成本电价0.27567元/kw.h进行计算。

5.3 经济比较

表5-3

2×660MW机组运行费用对比表

单位：万元

序号	项 目	方案一	方案二
1	初期总投资费用（含土建及安装）	相当	相当
2	年水费	16.16	11.74
3	年电费	98.02	91.10
4	年总运行费用	114.18	102.84
5	年总运行费用差	11.34	基准

从表 5-3 看出，本工程 2×660MW 方案一年总费用比方案二多 11.34 万元。

6. 结论

通过以上技术比较，两种方案均可满足辅机冷却的要求。按干湿联合系统配置合理，具有良好的节水和节电性能，且夏季高温时段采用干湿联合冷却方案，系统对提高辅机系统的运行安全性，优于方案一。所以本工程推荐采用方案二，即辅机冷却水系统采用带机械通风冷却塔的干湿联合系统，该方案也符合国家节能减排的产业政策。