



60-F23341C-S02-01

甘肃能化庆阳 2×660MW 煤电项目

初步设计阶段

第14卷 第2分卷

水工结构部分说明书

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



60-F23341C-S02-01

甘肃能化庆阳2×660MW煤电项目
初步设计阶段

第 14 卷 第 2 分卷

水工结构部分说明书

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

本工程初步设计文件由以下各卷组成

- 第 1 卷 总的部分
- 第 2 卷 电力系统部分
- 第 3 卷 总图运输部分
- 第 4 卷 热机部分
- 第 5 卷 运煤部分
- 第 6 卷 除灰渣部分
- 第 7 卷 电厂化学部分
- 第 8 卷 烟气脱硫工艺部分
- 第 9 卷 电气部分
- 第 10 卷 仪表与控制部分
- 第 11 卷 信息系统及安全防护部分
- 第 12 卷 建筑结构部分
 - 第 1 分卷 建筑部分
 - 第 2 分卷 土建结构部分
- 第 13 卷 采暖通风及空气调节部分
- 第 14 卷 水工部分
 - 第 1 分卷 供水部分
 - 第 2 分卷 水工结构部分
- 第 15 卷 环境保护部分
- 第 16 卷 水土保持部分
- 第 17 卷 消防部分
- 第 18 卷 劳动安全部分
- 第 19 卷 职业卫生部分
- 第 20 卷 节约资源部分
- 第 21 卷 施工组织大纲部分
- 第 22 卷 运行组织及设计定员部分
- 第 23 卷 设备及主要材料清册
- 第 24 卷 工程概算

批 准： 刘 学 军

审 核： 袁瑞山 侯宪安

校 核： 张 晓 斌

设 计： 尹 高 璇

目 录

1	工程概况	1
2	设计依据	1
3	设计范围	2
4	区域自然条件	2
4.1	岩土工程条件	2
4.2	水文气象条件	8
5	厂址防洪	13
5.1	水文概况	13
5.2	厂址的防洪	13
6	灰场	13
6.1	电厂灰渣量	13
6.2	贮灰场规划	14
6.3	灰场地形地貌	14
6.4	灰场洪水	16
6.5	贮灰场建设方案	17
7	主要水工建（构）筑物结构设计	20
7.1	自然通风间接空冷塔	20
7.2	干湿联合冷却塔	26
7.3	循环水泵房	27
7.4	综合水泵房	27
7.5	工业废水处理间	27
7.6	煤水处理间	28

7.7	工业消防蓄水池	28
7.8	初期雨水调节池	28
7.9	升压泵房	错误！未定义书签。
7.10	次要建（构）筑物	28
8	地基处理方案	29
9	结构设计及建筑材料	29
9.1	水工构筑物的抗震设计	29
9.2	结构耐久性设计	30
9.3	混凝土保护层	30
9.4	最大裂缝宽度限值	30
9.5	混凝土结构材料自身的耐久性要求	30
9.6	结构构造措施	30
9.7	工程材料	31

1 工程概况

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，厂址位于甘肃省庆阳市宁县东南方向早胜镇附近，距离宁县直线距离约15km，与早胜镇距离约1.5km。厂址北侧为寺底村，南侧及东侧为南北村。厂址北距G327国道直线距离约500m，西距G211约1.0km，距G69银百约3.0km，有多条村村通道路在厂址内通过，交通便利。

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。

建设单位为甘肃能化股份有限公司。

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。

电厂年发电利用小时数5500小时考虑。

2 设计依据

- 2.1 本工程可行性研究报告及其评审会议纪要文件。
- 2.2 已审查通过的初步设计原则及意见。
- 2.3 电规总院可行性研究报告评审意见及可行性研究报告。
- 2.4 甘肃能化股份有限公司提供的原始资料。
- 2.5 火力发电厂设计技术规程及各专业有关技术规程规定。
- 2.6 本工程前期工作所取得的其他支持性文件、资料、图纸及报告。
- 2.7 DL/T 5427-2009 《火力发电厂初步设计文件内容深度规定》。
- 2.8 现行的国家及行业有关规程、规范和规定：

- (1) 《火力发电厂水工设计规范》 (DL/T5339-2018)
- (2) 《大中型火力发电厂设计规范》 (GB50660-2011)
- (3) 《工业循环水冷却设计规范》 (GB/T50102-2014)
- (4) 《建筑设计防火规范》 (GB5016-2014) 2018年版
- (5) 《建筑结构荷载规范》 (GB50009-2012)
- (6) 《混凝土结构设计规范》 (GB50010-2010) 2015年版
- (7) 《砌体结构设计规范》 (GB50003-2011)
- (7) 《建筑地基基础设计规范》 (GB50007-2011)

- (8) 《建筑抗震设计规范》 (GB50011-2010) 2016年版
- (9) 《构筑物抗震设计规范》 (GB50191-2012)
- (10) 《钢结构设计标准》 (GB50017-2017)
- (11) 《建筑地基处理技术规范》 (JGJ79-2012)
- (12) 《水工混凝土结构设计规范》 (SL/T191-2008)
- (13) 《湿陷性黄土地区建筑标准》 (GB50025-2018)
- (14) 《碾压式土石坝设计规范》 (DL/T5395-2007)
- (15) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》 (GB18599-2020)

3 设计范围

- (1) 空冷系统水工建（构）筑物；
- (2) 辅机冷却水系统水工建（构）筑物；
- (3) 厂内排水及雨水系统水工建（构）筑物；
- (4) 污、废水处理系统水工建（构）筑物；
- (5) 煤水处理系统水工建（构）筑物；
- (6) 厂内补给水系统水工建（构）筑物；
- (7) 厂外补给水系统水工建（构）筑物；
- (8) 厂外排水系统水工建（构）筑物；
- (9) 灰场及管理站。

4 区域自然条件

4.1 岩土工程条件

4.1.1 地形地貌及不良地质作用

拟建厂址地貌上属黄土塬，场地地势平坦开阔，场地原始地形总体上呈北西高、西东低，由北西向南东微倾态势，地面高程1227.70~1232.60m。地表中西部及南部建设有较多的民房，多为砖混结构；输电线路较多，多为近东西向展布、少量为近南北向展布；其余地段均为耕地，主要种植小麦、蔬菜等农产品。

场地南侧最近约380m（距离冲沟沟头距离）处为近南北向展布的黄土冲沟，该冲沟宽约400m，沟深最大约110m，沟底见有水体，水体高程约1111.5m（比厂区高程低约120m），考虑到厂址距离冲沟存在安全距离，可不考虑冲沟内不良地质作用对场地的影

响。

4.1.2 地层岩性及分布特征

根据本次勘察钻孔（最大深度66m）及探井揭露的地层、地质调查测绘结果，结合前期勘察成果，并参考区域地质资料，拟建厂址地层岩性从上到下主要为上更新统马兰组（ Q_3^{eol} ）黄土、中更新统离石组（ Q_2^{eol} ）黄土，黄土层中夹有多层古土壤，各土层分布较稳定。各层岩性及分布特征描述如下：

L1黄土（ Q_3^{eol} ）：浅黄色，稍湿～湿，硬塑，土质较均匀，垂直节理、大孔隙发育，粉粒含量高。地表一般有40mm～60mm的农耕土层，富含植物根须。该层为第一层黄土，层厚8.3m～13.3m，层底高程1215.93m～1223.25m。

S1古土壤（ Q_3^{eol} ）：棕黄～棕红色，稍湿～湿，硬塑，土质不均匀，具粒状结构，大孔隙和虫孔发育，见较多白色钙质菌丝，混钙质结核，黏粒含量高，含少量的钙质结核。该层为第一层古土壤，勘探揭露层厚1.3m～4.6m，层底埋深11.5m～17.2m，层底高程1212.93m～1220.25m。

L2黄土（ Q_2^{eol} ）：褐黄色，稍湿～湿，硬塑，土质较均匀，垂直节理、大孔隙较发育，粉粒含量高，混少量钙质结核。该层为第二层黄土，部分钻孔夹有古土壤薄层，层厚5.1m～11.9m，层底埋深18.0m～26.5m，层底高程1203.83m～1212.93m。

S2古土壤（ Q_2^{eol} ）：棕黄～棕红色，稍湿～湿，硬塑，土质不均匀，具粒状结构，针状孔隙和虫孔发育，见较多白色钙质菌丝，混钙质结核，黏粒含量高。该层为第二层古土壤，层厚0.6m～3.8m，层底埋深20.0m～27.8m，层底高程1202.47m～1211.23m。

L3黄土（ Q_2^{eol} ）：褐黄～黄褐色，稍湿～湿，硬塑，土质较均匀，见针状孔隙，垂直节理发育，混钙质结核，粉粒含量较高。该层为第三层黄土，层厚5.4m～13.5m，层底埋深28.6m～35.8m，层底高程1193.39m～1202.84m。

S3古土壤（ Q_2^{eol} ）：棕褐～棕红色，稍湿～湿，硬塑，土质较均匀，见针状孔隙，见白色钙质菌丝，混钙质结核，黏粒含量高。下部见有较多的钙质结核。该层为第三层古土壤，一般层厚1.1m～4.6，层底埋深31.0m～39.0m，层底高程1189.48m～1199.97m。

L4黄土（ Q_2^{eol} ）：褐黄～黄褐色，稍湿～湿，硬塑，土质较均匀，见针状孔隙，垂直节理发育，混钙质结核，粉粒含量较高。该层为第四层黄土，单层厚3.1m～11.8m，层底埋深36.5m～47.6m，层底高程1180.53m～1194.94m。

S4古土壤（ Q_2^{eol} ）：棕褐～棕红色，稍湿～湿，硬塑，土质较均匀，见针状孔隙，混钙质结核，黏粒含量高，见有钙质结核。该层为第四层古土壤，单层厚1.5～6.4m，层

底埋深40.2m~50.8m，层底高程1177.73m~1191.24m。

L5黄土 (Q_2^{eol})：褐黄~黄褐色，湿~饱和，硬塑，土质均匀，见针状孔隙，混钙质结核，粉粒含量较高。该层为第五层黄土，夹有一层特征不明显的古土壤，单层厚9.7m~20.6m，层底埋深58.8m~65.0m，层底高程1163.48m~1171.09m。

S5古土壤 (Q_2^{eol})：棕褐~棕红色，湿~很湿，硬塑，土质较均匀，见少量针状孔隙，混钙质结核，黏粒含量高。该层为第五层古土壤，层厚1.0m~3.5m，层底埋深61.1m~64.2m，层底高程1164.73m~1167.99m。

L6黄土 (Q_2^{eol})：黄褐色，湿~饱和，硬塑，土质均匀，见少量针状孔隙，混少量钙质结核。该层为第六层黄土，勘探揭露单层厚度1.1m~4.0m，钻孔未揭穿该层。

各层土的埋藏条件及空间分布情况见工程地质剖面图F23341C-G01-04~19。

4.1.3 地下水埋藏条件

依据本次勘察结果，并结合区域地质资料，场地地下水主要为第四系黄土孔隙水。该类地下水主要以潜水形式分布于第四系中更新统黄土层中，主要以大气降水为补给来源，以人工取水和附近沟谷低处泉水为其主要排泄方式。

根据相关水文地质资料可知，受季节影响，地下水水位变化幅度为2.0~3.0m，其中12~2月为枯水期，5~9月为丰水期。勘察期间属丰水期，钻孔测得水位为第四系黄土孔隙水，水位埋深为44.0~47.9m，对应标高1182.13~1185.83m。

根据调查得知，厂区周边地下水位随城市发展及工农业用水影响，近年来，地下水位呈下降趋势，表现在10余年前当地村民打井取用地下水一般井深在45m以内，近年来周边打井取用地下水井深需达到55m以上。

4.1.4 建筑场地类别及地震动参数

依据地震安评报告及地勘资料，工程场地的地基土类型为中软场地土，建筑场地类别为III类。根据地震安评报告，所在区50年超越概率10%地震动峰值加速度0.087g，水平地震影响系数 α_{max} 为0.09对应抗震设防烈度为7度，地震动反应谱特征周期为0.65s。

根据《地震安全性评价报告》，该工程场地在50年超越概率10%和2%的不同地震作用下，均不发生饱和粉土液化灾害，可不考虑饱和砂土和饱和粉土液化地震地质灾害影响。

4.1.5 厂区地基土岩土工程评价

1) 黄土湿陷性

场地按自重湿陷场地，湿陷等级按IV（很严重）考虑；本阶段大部分区域湿陷下限

按L3层底考虑，湿陷下限深度按31.0m考虑；部分区域（J143、J146）湿陷下限按L4层中部考虑，湿陷下限深度按39.0m考虑；建议下阶段根据建（构）筑物总平面布置及勘察结果进一步分区评价。

2) 地下水及地基土腐蚀性

根据《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001）（2009年版）附录G的规定，场地环境类型为II类。本阶段勘察通过腐蚀性分析评价结果显示，地下水及地基土对混凝土结构和混凝土结构中的钢筋具微腐蚀性；考虑到本阶段尚未开展电阻率测量工作，土对钢结构的腐蚀性在下阶段进一步确定。

3) 地基土承载力特征值

表4.1 地基土承载力特征值一览表

层号	评价方法、依据	评价结果 $f_{ak}(\text{kPa})$	地基承载力特征值 $f_{ak}(\text{kPa})$
L1黄土	标准贯入试验（ $N=8.0$ ）	128	150
	室内试验 $w=10.0\sim 18.8$, $w_L/e=24.0\sim 35.8$	155~250	
	地区经验数据	150	
S1 古土壤	标准贯入试验（ $N=9.2$ ）	147	150
	室内试验 $w=14.2\sim 19.6$, $w_L/e=31.1\sim 47.6$	185~250	
	地区经验数据	150	
L2黄土	标准贯入试验（ $N=9.6$ ）	154	160
	室内试验 $w=11.9\sim 22.0$, $w_L/e=28.9\sim 37.4$	155~250	
	地区经验数据	160	
S2 古土壤	标准贯入试验（ $N=9.6$ ）	154	170
	室内试验 $w=18.3\sim 21.6$, $w_L/e=34.6\sim 45.1$	190~250	
	地区经验数据	170	
L3黄土	标准贯入试验（ $N=9.9$ ）	158	170
	室内试验 $w=12.7\sim 26.0$, $w_L/e=30.2\sim 46.0$	145~250	
	地区经验数据	170	
S3 古土壤	标准贯入试验（ $N=10.2$ ）	163	190
	室内试验 $w=17.4\sim 25.8$, $w_L/e=39.2\sim 46.6$	190~240	
	地区经验数据	190	
L4黄土	标准贯入试验（ $N=10.8$ ）	173	190

层号	评价方法、依据	评价结果 $f_{ak}(kPa)$	地基承载力特征值 $f_{ak}(kPa)$
土	室内试验 $w=14.5\sim 27.2$, $w_L/e=30.4\sim 39.7$	150~250	
	地区经验数据	190	
S4 古土壤	标准贯入试验 ($N=12.0$)	192	200
	室内试验 $w=18.5\sim 25.1$, $w_L/e=31.5\sim 50.9$	150~230	
	地区经验数据	200	
L5黄 土	标准贯入试验 ($N=12.4$)	198	200
	室内试验 $w=19.0\sim 28.2$, $w_L/e=34.7\sim 55.4$	170~230	
	地区经验数据	200	
S5 古土壤	室内试验 $w=17.8\sim 27.8$, $w_L/e=39.7\sim 51.3$	190~240	220
	地区经验数据	220	
L6黄 土	室内试验 $w=22.3\sim 26.8$, $w_L/e=39.8\sim 45.2$	190~210	220

4) 地基均匀性分析

根据本次勘察成果，地基土岩性种类、层位多，主要有（L1~L6）层黄土、（S1~S5）层古土壤，各层底面高程及厚度存在一定差异，且局部夹薄层，见有钙质结核，是产生不均匀沉降的不利因素，其层位稳定，力学性质差异不大，且成层性、连续性较好，主要持力层其层位埋深和厚度在水平和竖直方向上差异不大。综合分析认为，本工程场地按一般均匀性地基对待。

5) 地基土工程性能评价

Q_3 黄土、古土壤，主要分布于上部，由上至下逐渐由物理力学性质逐渐变好，具湿陷性，一般不宜直接作为建筑物的持力层。

Q_2 黄土、古土壤，位于 Q_3 黄土、古土壤下部，上部具湿陷性，中下部一般不具湿陷性。该层中下部可作为建（构）筑物的桩端持力层。

4.1.6 地基处理方案分析论证

依据本次勘察成果，在目前自然工况下，工程场地属自重湿陷性场地，湿陷性敏感、强烈，不宜作为建筑物的天然地基，需采用人工地基，应根据地层的性质及分布特点，针对不同建（构）筑物采取不同的地基处理措施。根据《湿陷性黄土地区建筑标准》（GB 50025—2018）第6.1.1条、第6.1.3条、第6.1.4条和第6.1.5条，在自重湿陷性黄土场地，

甲类建筑物应处理基础底面以下的全部湿陷性黄土层；乙、丙类建筑物消除地基部分湿陷量的有关规定。综合考虑，地基处理方法建议采用钻孔灌注桩、灰土垫层、免夯填挤密桩复合地基等地基基础方案。分析如下：

（1）对于厂区拟建的主厂房、锅炉房、冷却塔等地基承载力和变形要求高的主要建（构）筑物，可采用干作业的钻孔灌注桩方案，成孔方法时需考虑钙质结核层对成孔的影响，以及成孔的安全性和经济性，桩端进入非湿陷性土层一定深度。

（2）对厂区的乙、丙类建筑可考虑采用部分消除湿陷量的地基处理方案，如挤密桩复合地基、灰土垫层法等，并结合防水及结构措施。处理深度（或厚度）应满足《湿陷性黄土地区建筑标准》（GB 50025—2018）的有关要求。

若采用桩基方案，可考虑采用旋挖等干作业成孔工艺，结合附近工程经验，各层土的极限侧阻力及极限端阻力经验值见表4.1.2，最终桩基参数的取值以试桩报告为准。

表4.1.2 各层土的极限侧阻力及极限端阻力经验值		
层号	极限侧阻力 q_{sik} （kPa）	极限端阻力 q_{pik} （kPa）
L1黄土	-25	/
S1古土壤	-15	/
L2黄土	-15	/
S2古土壤	-10	/
L3黄土	-10	/
	90（中性点以下）	
S3古土壤	95	/
L4黄土	95	/
S4古土壤	105	1300
L5黄土	110	1300
S5古土壤	115	1300
L6黄土	120	1400

注：根据工程经验，黄土桩侧正负摩阻力中性点按0.6倍的湿陷土层总厚度考虑。

需特别说明的是：

地基处理方案的选择，应根据场地地质条件、环境条件、技术条件、经济条件、安全等多方面因素综合考虑，不论采用何种方法，有关设计与施工工艺参数，应通过现场原体试验结果确定。

4.1.7 结论及建议

(1) 依据《地震安全性评价报告》，厂址的地震动峰值加速度为0.087g，对应的地震基本烈度为Ⅵ度。

(2) 根据《地震安全性评价报告》，该工程场地在50年超越概率10%和2%的不同地震作用下，均不发生饱和粉土液化灾害，可不考虑饱和砂土和饱和粉土液化地震地质灾害影响。

(3) 拟建厂址地貌上属黄土塬，场地地势平坦开阔，场地原始地形总体上呈北西高、西东低，由北西向南东微倾态势，地面高程1227.70~1232.60m。地表中西部及南部建设有较多的民房，多为砖混结构；输电线路较多，多为近东西向展布、少量为近南北向展布；其余地段均为耕地，主要种植小麦、蔬菜等农产品。

厂址距离周边冲沟有适宜的安全距离，可不考虑冲沟内不良地质作用对场地的影响。

(4) 依据本次勘察成果，厂址地层从上到下为第四系上更新统马兰组 (Q_3^{eol}) 黄土、中更新统离石组 (Q_2^{eol}) 黄土，黄土层中夹有多层古土壤，各土层分布较稳定。

(5) 厂区地下水主要以潜水形式分布于第四系中更新统黄土层中，主要以大气降水为补给来源，以人工取水和附近沟谷低处泉水为其主要排泄方式，地下水水位变化幅度为2.0~3.0m，勘察期间属丰水期，钻孔测得水位为第四系黄土孔隙水，水位埋深为44.0~47.9m，对应标高1182.13~1185.83m。根据调查得知，近年来地下水位呈下降趋势。

(6) 场地按自重湿陷场地，湿陷等级按Ⅳ（很严重）考虑；本阶段大部分区域湿陷下限按L3层底考虑，湿陷下限深度按31.0m考虑；部分区域（J143、J146）湿陷下限按L4层中部考虑，湿陷下限深度按39.0m考虑；建议下阶段根据建（构）筑物总平面布置及勘察结果进一步分区评价。

(7) 地下水及地基土对混凝土结构和混凝土结构中的钢筋具微腐蚀性。

(8) 厂址上部地基土工程性能较差，不能满足天然地基要求，需采用人工地基或桩基础方案。建议甲类建筑物应处理基础底面以下的全部湿陷性黄土层；乙、丙类建筑物消除地基部分湿陷量的有关规定。

(9) 依据《建筑地基基础设计规范》（GB50007—2011），本工程场地季节性标准冻土深度在60~80cm。

4.2 水文气象条件

4.2.1 厂址水文条件

厂址位于甘肃省庆阳市宁县东南约15km处，北侧距327国道、九龙河分别约600m、

7.5km，西距早胜镇、马莲河分别约1.5km、12km，厂址高于北侧九龙河约250m，不受北侧九龙河百年一遇洪水影响；厂址高于西侧马莲河约300m，不受西侧马莲河百年一遇洪水影响。站址东南约150m有冲沟发育，站址高于冲沟底部上百米，不受冲沟洪水影响，但距离冲沟较近，应注意高边坡的稳定性。

厂址位于山塬顶部，现状为农田，整体地势较高，区域地势东北高西南低，厂址东、北侧受坡面洪水的影响，另，厂址北侧和南侧围墙处，局部低洼，最洼处地势比旁边低一米多，下雨时低洼处会积水，建议将围墙外侧平整并保持排水通畅，在围墙外侧平整后建议东、北侧围墙基础抬高0.4m。

4.2.1 气象条件

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，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东南方向约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 4.2-1 和表4.2-2。

表4.2-1 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	

项目	单位	数值	发生日期
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	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4.2-2 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 (℃)	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

4.2.3 设计风速及风压

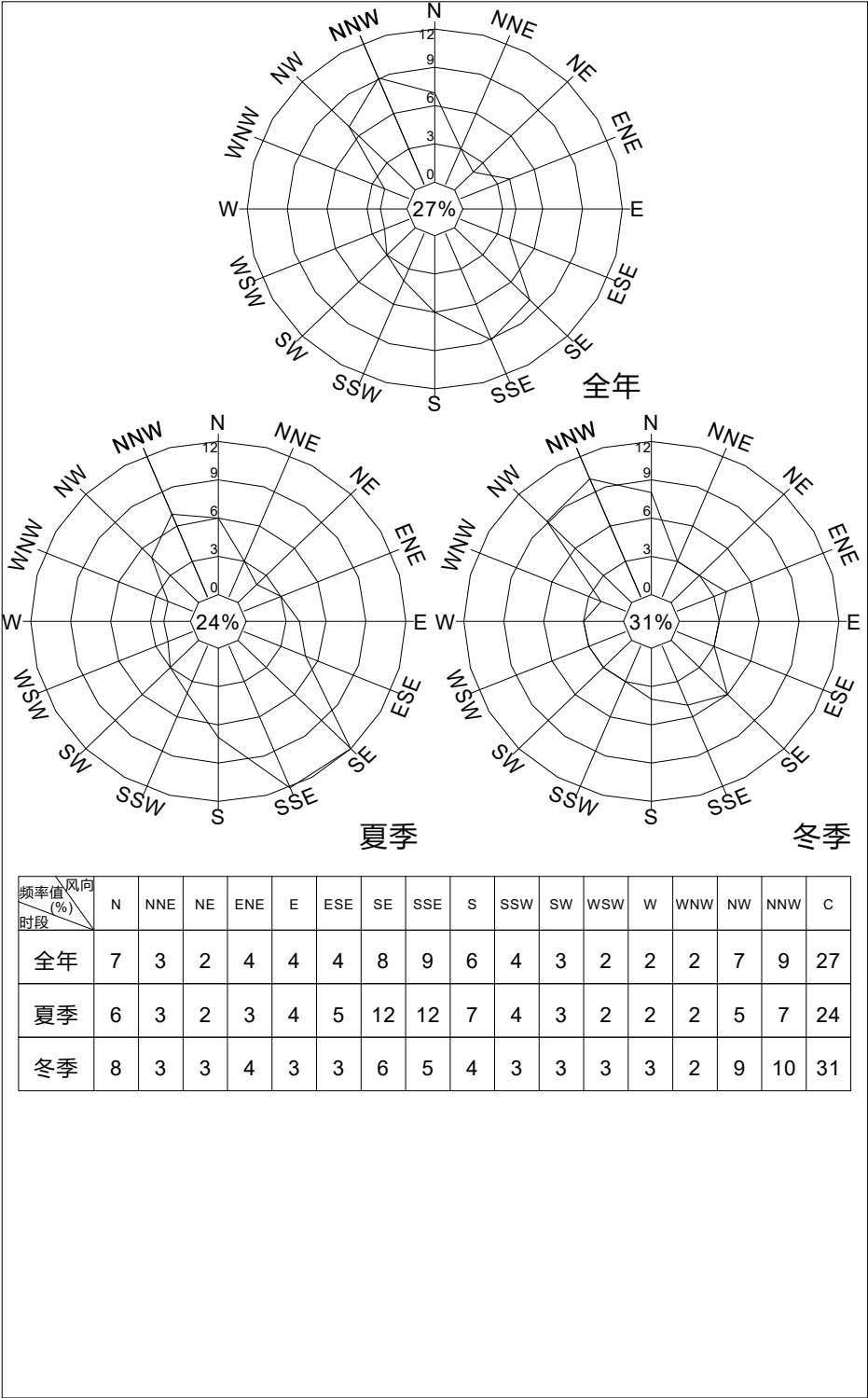
根据宁县气象站历年实测10min平均最大风速系列采用极值I型法统计计算，并参照国家《建筑结构荷载规范》GB50009-2012中的风压等值线图，暂定电厂厂址处五十年一遇10m高10min平均最大风速为23.7m/s，其相应的风压为0.35kN/m²；百年一遇10m高10min平均最大风速应为25.3m/s，相应风压为0.40kN/m²。

4.2.4 设计雪压

根据宁县气象站历年最大积雪深度资料，采用极值I型法统计计算，并结合周围地区及《建筑结构荷载规范》GB50009-2012中的全国基本雪压分布图分析后认为，电厂五十年一遇雪压应采用 0.30kN/m^2 。

4.2.5 三十年一遇极端最低气温及风速

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°C 。



2.1-1 宁县气象站全年、夏季、冬季风向玫瑰图

5 厂址防洪

5.1 水文概况

根据本阶段水文资料，厂址高于北侧九龙河约250m，不受北侧九龙河百年一遇洪水影响；厂址高于西侧马莲河约300m，不受西侧马莲河百年一遇洪水影响。厂址东南约150m有冲沟发育，站址高于冲沟底部上百米，不受冲沟洪水影响。

厂址位于山塬顶部，现状为农田，整体地势较高，区域地势东北高西南低，厂址东、北侧受坡面洪水的影响，另，厂址北侧和南侧围墙处，局部低洼，最洼处地势比旁边低一米多，下雨时低洼处会积水，建议将围墙外侧平整并保持排水通畅，在围墙外侧平整后建议东、北侧围墙基础抬高0.4m。

5.2 厂址的防洪

厂址不受河流百年一遇洪水影响，仅受厂址东、北侧坡面洪水的影响， 拟在厂区东、北侧采用围墙基础兼挡水墙，将上游坡面汇水拦截，以保证厂区不受外来洪水影响。

6 灰场

6.1 电厂灰渣量

为了节约用水、保护环境、便于利用，电厂采用干式除灰系统，贮灰采用调湿灰碾压方式。电厂灰渣量见下表6.1-1、电厂石子煤量见下表6.1-2、电厂脱硫石膏量见下表6.1-3。

表6.1-1		电厂灰渣量一览表			
机 组		年 灰 渣 量 (×10 ⁴ t)			年灰渣体积 (×10 ⁴ m ³)
		灰	渣	灰 渣	
设计煤种	2×660MW	64.40	7.16	71.56	71.56

表6.1-2		电厂石子煤量一览表	
机 组		年石子煤量 (×10 ⁴ t)	年石子煤体积 (×10 ⁴ m ³)
设计煤种	2×660MW	1.485	0.7425

石膏量		年石膏量（×10 ⁴ t）	年石膏体积（×10 ⁴ m ³ ）
机 组			
设计煤种	2×660MW	16.5	8.68

注：

1）日运行小时数20h，年运行小时数5500h 。

2）灰渣量按设计煤种计算 。

3）压实灰渣容重按1.0t/m³计，压实石子煤容重按2.0t/m³计，压实石膏容重按1.9t/m³计。

电厂2×660MW机组设计煤种年灰渣量为71.56×10⁴t，石子煤为1.485×10⁴t，石膏量为16.5×10⁴t。碾压后，灰渣按重度1.0t/m³计，石子煤按重度2.0t/m³计，石膏堆积密度按1.9t/m³计算。2×660MW机组每年所产生的固体废弃物量为80.9825×10⁴m³。

6.2 贮灰场规划

按照国家发展改革委等10个部门于2013年3月1日发布实施的《粉煤灰综合利用管理办法》及DL5339-2018《火力发电厂水工设计规范》，新建和扩建燃煤电厂,项目可行性研究报告和项目申请报告中须提出粉煤灰综合利用方案，明确粉煤灰综合利用途径和处置方式。同时规定，新建电厂应综合考虑周边粉煤灰利用能力，以节约土地、防止环境污染，避免建设永久性粉煤灰堆场（库），确需建设的，原则上占地规模按不超过3年储灰量设计。因此，本工程产生的灰渣（包括脱硫石膏），应首先综合利用，综合利用暂时受阻时，存入灰场，待市场有需求时，再挖出使用。本工程灰场容量按本工程总装机3年的灰渣量设计。

本工程贮灰场拟采用马家村西沟灰场，该灰场位于厂区北偏东方向，直线距离约2.0km处,按山谷干式贮灰场设计。

本期工程每年排放的灰渣量、石子煤及脱硫石膏所需库容约80.9825×10⁴m³，贮灰场容积3年所需库容约242.94×10⁴m³。当堆灰至标高1153m时，堆灰高度约65m，占地约18hm²，形成库容约275万m³，可满足电厂本期2×660MW机组贮灰渣、石膏3年储灰量。

6.3 灰场地形地貌

拟建马家村西沟灰场位于厂区北偏东方向，直线距离约2.0km处，为山谷型灰场，岸壁陡峭，沟谷呈“U”型。其一侧有水泥道路通过，但局部已被冲断，交通条件一般，灰场现状如图6.3-1~3。



图6.3-1 灰场地貌无人机影像



图6.3-2 灰场现状照片



图6.3-3 灰场现状照片

灰场走向自沟口北西项至沟头转为南偏东向，沟底高程1080.0~1132.0m；两侧为黄土斜坡地段，沟底至沟顶相对高差约100~140m，总体坡度为30~35°；黄土斜坡地段见有小型崩塌、滑坡发育，右侧斜坡见有多条水蚀支沟，其长度约100~150m，宽10~30m；沟底经高速公路修路弃土回填，为随意堆填，未经碾压处理，地形已发生改变，沟底两侧及沟头修建有排水渠，目前该排水渠在沟内已不连续，被崩塌、滑坡、雨水冲刷带来的黄土掩埋。

灰场地段在沟底分布有人工填土、冲洪积黄土状粉土，以下为区内黄土/古土壤互层；在冲沟斜坡地段分布有厚层黄土/古土壤互层，其分布特征与厂区内接近。库区地层渗透性较强，需考虑采取防渗措施。

6.4 灰场洪水

本阶段依据水文资料，根据水科院小流域洪水计算方法对灰场的洪水进行了验算，计算采用的流域参数由地形图上量得，最大24小时暴雨量由中国暴雨图集计算而得，现将灰场各设计频率的洪峰流量、洪水总量及相应的洪水流量过程线计算结果列表如下，详见表6.4-1、表6.4-2：

表6.4.1 灰场初期坝以上洪峰流量计算成果表

灰场名称	流域面积 (km ²)	沟长 (km)	比降 (‰)	频率 (%)	最大24 小时雨量 (mm)	下渗 强度 (mm/h)	汇流 时间 (h)	洪峰 流量 (m ³ /s)
马家村西沟 灰场	2.03	2.8	76.5	0.2	270	8	0.7	71.3
				0.5	232.2		0.8	59.0
				1	202.8		0.8	49.6
				2	174.6		0.8	40.8
				3.33	153.6		0.9	34.4

表6.4.2 灰场初期坝以上洪水流量过程线和洪水总量表

灰场名称	频率 (%)	洪水过程线						洪水总量 (×10 ⁴ m ³)
马家沟 西灰场	0.2	时间 (h)	0	0.4	0.7	2.2	5.2	32.0
		流量 (m ³ /s)	0	11.4	71.3	8.1	0	
	0.5	时间 (h)	0	0.4	0.8	2.2	5.1	26.0
		流量 (m ³ /s)	0	9.4	59.0	6.7	0	
	1	时间 (h)	0	0.4	0.8	2.2	5	21.3
		流量 (m ³ /s)	0	7.9	49.6	5.6	0	
	2	时间 (h)	0	0.4	0.8	2.2	4.8	17.1
		流量 (m ³ /s)	0	6.5	40.8	4.6	0	
	3.3	时间 (h)	0	0.4	0.9	2.1	4.6	14.0

6.5 贮灰场建设方案

电厂产生的灰渣（包括脱硫石膏），首先考虑综合利用，综合利用暂时受阻时，存入灰场。

为节约用水和保护环境的考虑，贮灰拟采用干式贮灰方案。

贮灰场按3年的贮灰量建设。灰场设施主要包括：库区防渗层、初期坝、拦水坝、现浇混凝土排水竖井+涵管、集水池、运灰道路、灰场摊铺碾压机具和灰场管理站。

（1）贮灰场初期坝

按照国家现行的大气污染防治法，贮灰场必须先筑坝再堆灰，不允许边筑坝边堆灰。

由于拟选厂址处于黄土地区，主要地貌为黄土塬、黄土梁峁、黄土沟谷。黄土塬地势平坦，均为良好农田，不宜于取土筑坝，筑坝宜取于黄土梁峁与黄土沟谷地带的黄土

作为筑坝材料。

灰场初期坝采用均质土坝，土料暂定为库区取土，坝处沟底高程1088m，坝顶宽4米，高40米，坝顶高程1128m，上游边坡1: 2.5，下游边坡1: 2.5，相应容积约 $86.62 \times 10^4 \text{m}^3$ ；当堆灰高65m时，相应高程1153m，相应容积约 $275 \times 10^4 \text{m}^3$ ，可满足电厂本期贮灰渣、石子、石膏3年要求，占地面积 $18 \times 10^4 \text{m}^2$ （水平投影）。

上下游护坡采用干砌块石，因坝址区域无岩土资料，本阶段地基处理暂按强夯+3: 7灰土垫层换填考虑。

（2）贮灰场排水系统

灰场排水系统由排水竖井、钢筋混凝土涵管、排水沟、消能水池等组成。

该灰场属二级山谷灰场。设计洪水重现期为50年一遇，相应洪水流量为 $40.8 \text{m}^3/\text{s}$ ，洪水总量为 $17.1 \times 10^4 \text{m}^3$ ，为避免雨水影响灰场的运行管理，保证灰场防洪安全，排泄灰场区域雨水，本工程拟在灰场内靠坡原土上设置钢筋混凝土卧管—竖井式排水系统，将堆灰区间的雨水通过灰场内的排水竖井进水窗进水、通过竖井和与竖井相连的排水涵管、排水沟、消能池将雨水排泄至下游初期坝与挡水坝间形成的集水澄清水池内暂时存放，用于灰场喷淋防尘或自然蒸发。

灰场拟设3座内径4.0m的竖井，涵管内径1.60m，长约625m。竖井可随堆灰面升高而加高。

因灰场区域无岩土资料，本阶段排水涵管及竖井地基处理暂按3: 7灰土换填考虑。

3）贮灰场挡水坝

挡水坝拟采用浆砌石坝，坝处沟底高程1078m，坝顶宽2.5米，高6米，坝顶高程1084m，上游边坡1: 0.1，下游边坡1: 0.4，设溢洪道。

（4）贮灰场截洪沟及清水系统

为考虑对灰场环境保护，做到清污分流。拟考虑在贮灰场东岸及西岸增设钢筋混凝土截洪沟，雨季将灰场两侧雨水通过截洪沟排至灰场下游；由于贮灰场两岸自然地形陡峭，不利于在原始自然边坡地形修建截洪沟，拟考虑贮灰量即将达到设计库容时，在两侧灰面上修筑截洪沟，满足环保要求。

根据水文资料由于雨季向贮灰场东南角处方向汇水量较大，拟考虑增设拦洪坝+暗涵排水系统，将雨水排至灰场下游。

（5）贮灰场防渗层

根据环保要求，贮灰场属于《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》

（GB18599-2020）中的“II类场”，为贯彻执行区域规划，按照国家环保政策，本工程灰场除采取措施防止飞灰污染外，应采取防渗措施，防止灰水下渗，防止灰渣中有害成分对地下水及土壤的污染。

由于工程所在区域无抗渗性能优异的粘土，且粘土防渗层需占用一定量的库容，故本工程贮灰场库区采用人工防渗措施，防渗拟采用1.5mm厚HDPE防渗膜+膨润土防水毯的复合人工防渗系统。防渗范围为坝内边坡（含）之内库底+库岸的全部面积。复合土工膜铺设时应将整个库区清基、整平碾压后，铺设复合土工膜，再用500mm厚素土覆盖、压实作为保护层，可以达到较好的防渗效果；沟底处素土层上设渗漏液导排层及排水管。

灰场防渗面积按电厂本期3年灰渣量堆放面积计，3年范围沟的底部防渗一次施工完成，岸坡防渗层随堆灰作业逐渐完成。

（6）运灰道路

灰场内的运灰道路为临时性建筑，可以在贮灰过程中用粗灰渣铺筑，路面宽度6.5m。车辆及碾压设备的临时道路，可以现场规划。在碾压好的灰面上，严格禁止车辆乱开，急刹车，急转弯。

电厂至灰场库区（沟底及运行期堆灰面）的运灰道路应进行专门设计，不在贮灰场的设计范围内，设计见总图专业相关设计说明。

（7）贮灰场管理站及设备

灰场管理站拟布置于运灰道路边，占地面积约2300m²，内设摊铺碾压灰渣的机具库、检修间、办公室、厕所、宿舍等，并布设一座洗车台，用于冲洗离开灰场的车辆。

灰场配备的主要摊铺碾压机具见表6.5.1。洒水车由工艺专业开列。

6.5.1 灰场设备一览表					
设备名称	T140型履带式推土机	50装载机	YZ12型自行式压路机	手扶式压路机	2.5吨客货两用工具车
设备数量	1	1	2	3	1

（8）灰渣填筑

堆灰渣采用自下而上分层碾压，由坝前向灰场内堆筑，既将调湿灰从厂区运到贮灰场的作业面，用推土机摊铺，再用压路机碾压堆而贮之。灰面按1：30坡向排水系统，堆灰高于初期坝后，拟按1：3.5形成外边坡，永久边坡护坡用干砌块石。

卸下的灰渣应即时摊铺、即时碾压。灰场喷洒水为电厂的废水，如有松散状态的干灰且遇5级以上风时，应在灰面洒水抑尘并适当增加洒水次数。如灰场不再加高，其顶面应及时覆耕土以还田。

（9）灰场环保对策

干灰场对环境的污染，主要表现为飞灰污染和灰渣流失污染。干灰场运行过程中，拟采取以下环保措施：

①粉煤灰在外运前必须调湿，运灰汽车需封闭，以防止粉煤灰的散落和二次扬尘。

②运输过程中防止飞灰主要通过使用封闭式专用车辆、运灰车辆出厂前进行表面冲洗、运灰道路加强喷洒次数和清扫等措施来实现。

③贮灰场分区分块运行，减小堆灰过程的工作面。对于飞灰污染，采取在灰面及时洒水、及时碾压平整的措施，对暂时不堆灰的区域可临时撒一层薄土与灰体一起碾压，以防止起尘。

为防止灰尘污染道路，对于卸灰后的车辆，应在管理站冲洗台进行冲洗，对于运灰道路，应定期清扫，保证路面清洁。

④运到灰场的调湿灰要及时摊铺碾压，调湿灰运到灰场后及时碾压，使灰面形成具有一定厚度的硬壳层；经试验表明，如硬壳层不被破坏，具有较强的抗风蚀能力。

⑤设置洒水系统，根据实际情况进行洒水，保证灰面含水量，增大灰粒间的凝聚力，防止飞灰污染。

⑥风速大于8m/s时停止灰场作业。

⑦灰场堆灰至设计标高时覆土绿化或还田。当灰面标高达到设计标高时，贮灰场及时覆土，并栽种本地树种或草种。

7 主要水工建（构）筑物结构设计

本工程主要水工建筑物有：自然通风间接空冷塔、循环水泵房、辅机干湿联合冷却塔、综合水泵房、工业废水处理间、煤水处理间、锅炉酸洗池、工业消防蓄水池、初期雨水调节池等。

7.1 自然通风间接空冷塔

根据目前国内外工程应用情况，自然通风间接空冷塔可采用钢筋混凝土双曲线空冷塔或钢结构空冷塔。

7.1.1 结构自重

根据《火力发电厂水工技术规定》及《工业循环水冷却设计规范》，计算结构自重时，钢筋混凝土容重采用 25kN/m^3 。

7.1.2 风荷载

风荷载是冷却塔的重要荷载之一，是冷却塔的主要作用荷载。冷却塔主体结构是一典型的薄壳结构，对风荷载极为敏感。如何正确选用风荷载，对冷却塔的结构安全至关重要。

现阶段冷却塔设计风荷载参数取值，按水文气象资料及《工业循环水冷却设计规范》（GB/T 50102-2014）相关规定采用，并参考了德国VGB、美国ACI和英国BS规范，确定如下：

(1) 基本风压：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/m^2 ；百年一遇10m高10min平均最大风速应为 25.3m/s ，相应风压为 0.40kN/m^2 。

(2) 风压高度变化系数按B类地貌采用。

(3) 风振系数按1.90采用。

(4) 冷却塔平均风压分布系数按《工业循环水冷却设计规范》中的光滑塔风压曲线考虑。

(5) 结构重要性系数按1.0考虑。

(6) 塔群系数按1.2考虑。

7.1.3 塔外设计气温

根据本工程水文气象资料，三十年一遇极端最低气温为 -27.0°C 。

7.1.4 抗震设防

抗震设防烈度按6度考虑。

7.1.5 设计工况

荷载分项系数和荷载组合系数按《工业循环水冷却设计规范》（DL/T50102-2014）中的有关规定采用。

对于塔筒优化计算，其荷载组合如下：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_W S_{Wk} + \gamma_T \psi_t S_{Tk} \quad (1)$$

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_W \psi_W S_{Wk} + \gamma_T S_{Tk} \quad (2)$$

对于地震作用下的偶然组合如下：

$$S=\gamma_G S_{GK}+\gamma_W \psi_W S_{WK}+\gamma_T \psi_T S_{TK}+\gamma_E S_E \quad (3)$$

对于地基承载力验算，其荷载组合如下：

$$S_K=1.1G+S_{WK}/\beta+\psi_T S_{TK} \quad (4)$$

对于基础上拔力平衡验算，应采用下列组合：

$$S=S_{GK}+1.2S_{WK} \quad (5)$$

上述式中：

S —荷载效应组合的设计值；

S_{GK} —按永久荷载标准值计算的荷载效应值；

S_{WK} —按风荷载标准值计算的荷载效应值；

S_{TK} —按计入徐变系数的温度作用标准值计算的效应值；

S_E —按地震作用标准值计算的效应值。

ψ_W —风荷载效应组合系数，一般取0.6；

ψ_T —温度作用效应组合系数，一般取0.6；

γ_G —永久荷载分项系数，当其效应对结构有利时，取1.0；当其效应对结构不利时在基本组合中，对由可变荷载效应控制的组合，应取1.3，在偶然组合中取1.3；

γ_W —风荷载分项系数，取1.5

γ_T —温度作用分项系数，取1.0

7.1.6 钢筋混凝土自然通风间接空冷塔

7.1.6.1 结构选型

冷却塔结构选型是在考虑静载、风荷载作用及内吸力作用下，控制壳体屈曲安全系数应 ≥ 5.0 的前提下，使结构应力水平较低、满足抗倾、抗拔和地基承载力要求时，冷却塔结构工程量最小。

冷却塔斜支柱采用钢管混凝土X支柱，塔基础采用环板基础；

通过对钢管混凝土的结构安全计算分析，施工方案的可行性分析，钢管混凝土柱应用于冷却塔的斜支柱是有保证的，结构是安全可靠的，建设是可行的，同时能节约造价，缩短施工工期。

冷却塔筒壁子午向母线为两段双曲线(以喉部为界)+直线锥体段组成。

7.1.6.2 塔型选择

冷却塔属薄壳结构，风荷载对其影响很大，风在冷却塔上引起的作用大小，取决于来流的特性、塔的几何形状以及塔表面的特点。冷却塔按壳体外表面是否纵向加肋可分

为“加肋塔”和“无肋塔”两种，由于塔筒外表面糙率不同，二者沿环向的平均风压分布曲线也不同。考虑到本工程冷却塔规模及设计风压不大，本工程冷却塔采用光滑塔作为设计方案。

7.1.6.3 稳定分析

根据冷却系统热力优化的结果,结合厂址气象条件和岩土工程条件,同时借鉴同类型机组工程冷却塔设计经验，对本工程推荐方案超大规模冷却塔塔型进行多方案比选及优化分析研究，在保证工程安全的前提下，通过选定塔筒合理的形状、尺寸，达到降低工程造价、缩短施工工期的目的。

冷却塔塔筒稳定分析包括塔筒整体稳定分析和塔筒局部弹性稳定分析两部分，二者必须同时满足稳定要求。

冷却塔结构选型计算采用我院开发的冷却塔结构选型程序。该程序采用薄膜理论、数解法分析壳体应力，计算时除可考虑静载、风荷载作用外，还计算了内吸力产生的应力，对塔型进行选型分析和局部屈曲稳定验算。控制局部屈曲安全系数≥5。

在塔型优化时，主要热力尺寸由我院工艺专业通过热力系统优化确定，结构优化主要是确定的冷却塔喉部位置及壳底斜率。优化的过程即通过试算获得较为理想的喉部位置及壳底斜率。

我们比较了多个结构方案，最终选用工程量相对较小的设计参数。

塔型选定后，利用国内冷却塔静力分析程序LBS输出的内力以及ANSYS程序按规范公式进行了复核，局部稳定性，屈曲稳定安全系数均满足规范要求。

7.1.6.4 本工程空冷塔结构

本工程采用两机一塔方案，两台机组设一座间冷塔。

本阶段冷却塔设计采用100年一遇基本风压进行设计。

当本工程间接空冷塔采用钢筋混凝土双曲线间冷塔时，采用54对双交叉钢管混凝土斜支柱作为支撑，环板基础及塔筒为现浇钢筋砼结构，塔高223米，底部0.0m直径171.2米，喉部直径110米，出口直径115米，进风口高度40.5米。详细的结构尺寸见下表。

冷却塔结构尺寸表

项 目		单位	两机一塔
冷却塔本体 主要几何参数	塔筒混凝土强度等级		C40
	冷却塔塔高	m	223

项 目		单位	两机一塔
	±0.0m直径	m	171.2
	喉部直径	m	110
	喉部标高	m	165.02
	塔顶出口直径	m	115
	进风口高度	m	40.5
	最小壁厚	m	0.325
	壳底最大壁厚	m	1.50
	壳底斜率		0.25
	斜支柱型式		双交叉柱 钢管混凝土柱 直径Φ1321mm
	斜支柱对数		54
	冷却塔基础型式		环板基础 9.8mX2.5m
	地基处理		Φ800mm钻孔灌注桩

我们对两机一塔进行了的分析研究，从计算分析、工程类比、施工可行性分析及我院已有研究成果判断和技术能力进行了专题论证（详见《间接空冷塔两机一塔结构选型专题报告》），我院有类似的冷却塔的工程业绩。因此，我们认为设计建造本工程冷却塔是完全可以实现的，技术上是 有保证的，结构是安全、可靠的。

冷却塔地基处理，根据岩土报告，考虑间冷塔的特点，需要完全消除湿陷性黄土湿陷量，间冷塔基础下采用Φ800mm直径钻孔灌注桩处理，桩长 约在40米左右，桩端持力层为L6层。

7.1.7 钢结构间接空冷塔

7.1.7.1 结构形式

目前国内已建设的大型钢结构冷却塔主要有两种型式：直筒截锥型和双曲线型。已（在）建工程最大塔高分别为195m和210m。钢结构冷却塔重量轻具有较强的抗侧刚度和抗风能力，整体稳定性好。

目前，国内外已建成投运的钢结构间冷塔多采用直筒锥段、单层三角型网格+加强环结构体系，技术成熟。其主要受力构件水平杆、斜向杆、加强环等均采用由角钢组焊的四肢格构式杆件，受力合理，截面性能充分利用。杆件截面种类少，便于工厂批量生产。

钢塔围护体系（蒙皮）采用矩管檩条+波形防锈铝板的型式。蒙皮与檩条之间采用不锈钢自攻螺钉连接。

钢结构塔构件连接整体采用焊接，钢材材质根据受力情况的不同选用Q355B和Q235B，并根据工作温度，选择性进行低温冲击功试验，确保钢材在低温环境下的抗脆性能。

7.1.7.2 塔型选择

当本工程自然通风间接空冷系统采用两机一塔钢结构自然通风间冷塔时,塔高223米，零米斜支柱轴线直径171.2米，进风口高度41.5米，出口直径115米。

本工程现阶段不推荐具体采用塔型，未来根据招标结果确定。

（1）双曲线型钢结构冷却塔主体采用双曲线双向斜交钢管桁架结构体系，塔体由多层三角形网格组成，蒙皮外置。网格高度由11.0m至8.0m不等。为了增加钢塔整体侧向刚度，沿高度布置多道加强环。主结构采用圆管作为基本构件，钢材牌号采用Q355B。节点采用相贯焊接，局部交汇较多杆件处采用焊接空心球节点。

钢塔围护体系（蒙皮）采用檩条+波形铝板的型式。蒙皮与檩条之间采用不锈钢自攻螺钉连接。

零米标高设置一层混凝土顶板，用于支撑零米层相应设备。

塔基础采用现浇钢筋混凝土环板基础。

塔内地坪采用碎石地面，展宽平台支撑体系采用钢结构，展宽平台密封板采用镀锌花纹钢板，冷却器基础采用钢筋混凝土基础板。

自然通风间冷钢塔的地基处理拟采用直径800mm的钢筋混凝土灌注桩。

（2）直筒截锥型钢结构冷却塔主体采用角钢+缀板桁架结构体系，塔体由多层三角形网格组成，蒙皮外置，为了增加钢塔整体侧向刚度，沿高度布置多道加强环。加强环主结构采用角钢+缀板桁架作为基本构件钢塔围护体系（蒙皮）采用檩条+波形铝板的型式。蒙皮与檩条之间采用不锈钢自攻螺钉连接。

零米标高设置一层混凝土顶板，用于支撑零米层相应设备。

塔基础采用现浇钢筋混凝土环板基础。

塔内地坪采用碎石地面，展宽平台支撑体系采用钢结构，展宽平台密封板采用镀锌花纹钢板，冷却器基础采用钢筋混凝土基础板。

自然通风间冷钢塔的地基处理拟采用直径800mm的钢筋混凝土灌注桩。

7.1.7.3 稳定分析

钢结构冷却塔结构按线弹性结构分析为主，非线性分析作为补充。钢塔立柱、支撑及环梁均采用SAP2000的梁单元，围护结构采用薄壳模拟，风的加载采用程序化方式加载。

通过建模分析，钢结构间冷塔结构是安全可靠的，可以成为一种选择方案。

7.1.8 比选结果

钢结构冷却塔与钢筋混凝土结构冷却塔（两机一塔）比较汇总表

比较项目 \ 方案名称	钢筋混凝土塔 (钢管混凝土斜支柱)	钢结构塔 (双曲线型)	钢结构塔 (直锥型)
冷却塔塔高	223	223	223
空冷塔出口直径(m)	115	115	115
空冷塔支柱 零米直径(m)	171.2	171.2	171.2
空冷塔散热器 外缘直径(m)	181.2	181.2	181.2
进风口高度(m)	40.5	41.0	41.0
总换热面积m ²	311.26	311.26	311.26
施工周期	14个月	12个月	11个月
冷却塔结构造价（万元）	15289	16190	15583
设备购置费（万元）	12762	13940	12940
安装工程费（万元）	2500	2530	2530
地基处理费用（万元）	2304	2134	2048
投资总费用（万元）	32855 (概算价)	34794 (市场价)	33101 (市场价)
投资总费用差值（万元）	0.00	1939	246

附注：

- 1、投资总费用里不包含空冷塔塔内设施土建费用、全塔除散热器以外的钢结构安装费用。
- 2、施工工期中均不含冷却塔地基处理施工周期

通过调查研究、计算分析、与已建冷却塔的工程类比，我们认为：设计建造本工程间接空冷塔无论是采用钢筋混凝土方案还是钢结构方案是完全可以实现的，技术上是有帮助的，结构是安全可靠的。

7.2 辅机干湿联合冷却塔

本期工程建设1座干湿联合冷却塔，由10段组成，其中4段为湿冷却塔，6段为干冷却塔，每段尺寸为9.5m×14m，双排布置，总平面尺寸为47.2m×28m，上部采用现浇钢筋混凝土框架结构，湿塔部分水池为钢筋混凝土箱型结构，干塔部分为钢筋混凝土独立柱基础。外围护墙及隔墙均采用150mm厚现浇钢筋混凝土现浇板。

干湿联合冷却塔的地基处理拟用直径800mm的钢筋混凝土灌注桩。

7.3 循环水泵房

本工程设1座循环水泵房，泵房上部结构尺寸为66m×12m×12.1m(高),采用钢筋混凝土框架结构，柱距4.5m、5.0m，屋面板为现浇钢筋混凝土板，外墙均采用350厚加气混凝土砌块加外墙外保温系统围护，塑钢中空玻璃窗和保温彩钢大门，中级涂料墙面；泵房下部结构尺寸为66m×12m×5.0m（深），采用钢筋混凝土箱型结构，采用大开挖施工。

旁侧配电室为独立柱基础钢筋混凝土框架结构。平面尺寸7.5m×12m，地上高5.4m。围护墙为350mm厚加气混凝土砌块，大门拟用防火门，窗拟用防火窗，地面为地砖地面，内外墙面用涂料饰面。

泵房地基处理拟采用旋挤压灌挤密桩复合地基处理方式，配电室地基处理采用灌注桩。

7.4 综合水泵房

本工程设1座综合水泵房，上部平面轴线尺寸为33.5m×9m，高7.65m，采用钢筋混凝土框架结构，屋面板为现浇钢筋混凝土板，350mm厚加气混凝土砌块围护墙；涂料饰面；门窗采用塑塑钢中空玻璃窗和保温彩钢大门。下部结构为现浇钢筋混凝土箱型结构，下部的轴线尺寸33.5m×9m，深5.6m。

旁侧配电室为独立柱基础钢筋混凝土框架结构。平面尺寸20.0 m×9.0m，地上高5.4m。围护墙为350mm厚加气混凝土砌块，大门拟用防火门，窗拟用防火窗，地面为地砖地面，内外墙面用涂料饰面。

综合泵房拟采用大开挖方式施工，地基处理采用旋挤压灌挤密桩复合地基处理方式。配电室地基处理采用钻孔灌注桩。

7.5 工业废水处理间

本工程设1座工业废水处理间，其上部结构尺寸为42m×15m×(12.3m~12.6)(高)，采用钢筋混凝土柱-实腹钢梁排架结构，压型钢板底模现浇混凝土屋面板，外墙均采用350厚加气混凝土砌块加外墙外保温系统围护，门窗采用塑塑钢中空玻璃窗和保温彩钢大门，中级涂料墙面；下部结构尺寸为42m×15m×(6m~8m)（深），采用钢筋混凝土箱型

结构，采用大开挖施工。

地基处理拟采用旋挤压灌挤密桩复合地基处理方式。

7.6 煤水处理间

本工程设1座煤水处理间，其上部结构尺寸为30m×12m×11.3m (高)，采用钢筋混凝土框架结构，屋面板为现浇钢筋混凝土板，外墙均采用350厚加气混凝土砌块加外墙外保温系统围护，门窗采用塑塑钢中空玻璃窗和保温彩钢大门，中级涂料墙面；下部结构尺寸为36m×12m×(3.5m~5.5m) (深)，采用钢筋混凝土箱型结构，采用大开挖施工。旁侧煤泥晾晒池尺寸为12X6米，深度0.60米。

地基处理拟采用旋挤压灌挤密桩复合地基处理方式。

7.7 工业消防蓄水池

本工程设8座2000立方米工业、消防蓄水池，单座水池平面尺寸为27.3m×19.5m,净深4米，采用半埋式布置，水池结构采用现浇钢筋混凝土箱形结构，水池底板、顶板及侧壁内表面采用1.5mm厚水泥基渗透结晶型防水涂料。生活蓄水池为1座50立方米国标蓄水池，采用无梁楼盖箱型水池。外保温采用岩棉保温板，水池池顶保温采用聚苯乙烯塑料板。

工业消防蓄水池拟采用大开挖方式施工。

地基处理拟采用旋挤压灌挤密桩复合地基处理方式。

7.8 初期雨水调节池

初期雨水调节池为地下现浇钢筋混凝土箱形结构，轴线尺寸22m×22m，深7m，采用大开挖施工。

初期雨水调节池的地基处理拟采用旋挤压灌挤密桩复合地基处理方式。

7.9 锅炉酸洗池

本工程设1座锅炉酸洗池，平面尺寸为55×31m，深度4米，采用钢筋混凝土箱型结构，池内表面贴2.5mm厚多点锚固板或40mm厚花岗岩板或15mm厚改性聚氯乙烯胶泥防水防腐涂层。上部设备间采用现浇钢筋混凝土框架结构，平面尺寸30×6m；填充墙采用350mm厚加气混凝土砌块加外墙外保温系统围护；门窗采用钢门和塑钢窗。

7.10 次要建（构）筑物

其它次要建（构）筑物采用钢筋混凝土结构或砖混结构。

8 地基处理方案

依据本次勘察成果,在目前自然工况下,工程场地属自重湿陷性场地,湿陷性敏感、强烈,不宜作为建筑物的天然地基,需采用人工地基,应根据地层的性质及分布特点,针对不同建(构)筑物采取不同的地基处理措施。根据《湿陷性黄土地区建筑标准》(GB 50025—2018)第6.1.1条、第6.1.3条、第6.1.4条和第6.1.5条,在自重湿陷性黄土场地,甲类建筑物应处理基础底面以下的全部湿陷性黄土层;乙、丙类建筑物消除地基部分湿陷量的有关规定。综合考虑,地基处理方法建议采用钻孔灌注桩、灰土垫层、挤土成孔免夯填挤密桩复合地基等地基基础方案。地基处理方案如下:

(1) 对于厂区拟建的主厂房、锅炉房、冷却塔等地基承载力和变形要求高的主要建(构)筑物,可采用干作业的钻孔灌注桩方案,成孔方法时需考虑钙质结核层对成孔的影响,以及成孔的安全性和经济性,桩端进入非湿陷性土层一定深度。

(2) 对厂区的乙、丙类建筑及重要的管线基础可考虑采用部分消除湿陷量的地基处理方案,如挤密桩复合地基、灰土垫层法等,并结合防水及结构措施。处理深度(或厚度)应满足《湿陷性黄土地区建筑标准》(GB 50025—2018)的有关要求。

若采用桩基方案,可考虑采用旋挖等干作业成孔工艺,结合附近工程经验,各层土的极限侧阻力及极限端阻力经验值,最终桩基参数的取值以试桩报告为准。

鉴于厂区的地质情况,结合工艺布置方案,对厂区水工建构筑物地基处理按以下考虑:

冷却塔地基基础设计等级属于甲类建筑物,间冷塔基础下采用 $\Phi 800\text{mm}$ 直径钻孔灌注桩处理,桩长约在40米左右,桩端持力层为L5层。

其它水工建构筑物地基处理拟采用钻孔灌注桩或3:7灰土垫层或挤土成孔免夯填挤密桩复合地基换填处理。

9 结构设计及建筑材料

9.1 水工构筑物的抗震设计

地震设防烈度:水工构筑物抗震设防烈度按6度考虑。

本工程乙类水工构筑物按提高一度采取抗震措施,其它类别按6度采取抗震措施。

根据建筑物结构破坏可能产生后果的严重性,对建筑物结构安全等级划分以及抗震设计原则见下表。

主要建筑物安全等级及抗震设计原则

序号	建（构）筑物 名称	建筑结构安全 等级	地基基础设计 等级	抗震设计		备注
				抗震设防 烈度	建筑物 抗震类别	
1	自然通风冷却塔	二	甲	6	乙	
2	循环水泵房	二	乙	6	乙	
3	辅机干湿联合冷却塔	二	乙	6	乙	
4	综合水泵房	二	乙	6	乙	
5	工业废水处理间	二	乙	6	丙	
6	煤水处理间	二	乙	6	丙	

9.2 结构耐久性设计

拟建工程设计使用期限为50年。按《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T50476-2019)的规定进行结构耐久性设计。

9.3 混凝土保护层

该地区场地的地基土对混凝土结构及混凝土中的钢筋具微腐蚀性，因此下部主体结构主筋的最小净保护层不小于35mm。

9.4 最大裂缝宽度限值

控制的下部结构墙体、底板的最大裂缝宽度限值为0.2mm。

9.5 混凝土结构材料自身的耐久性要求

对于与土壤接触的下部结构，选用优质密实的混凝土，水泥用量应按混凝土的耐久性和降低水泥水化热要求综合考虑，按以下表要求进行控制结构砼质量。

最大水灰比	最小水泥用量 (kg/m³)	最低混凝土 强度等级	最大碱含量 (kg/ m³)
0.50	300	C30	3.0宜使用非碱活性骨料

- 同时可采取以下措施：
- 混凝土配比中添加高效减水剂，控制水灰比<0.50，增强砼自防水能力。外加剂对混凝土的性能应无不利影响，其氯离子含量不宜大于水泥质量的0.1%。
 - 要求混凝土结构抗渗等级达到W6。

9.6 结构构造措施

(1) 增加混凝土表面的构造钢筋，控制结构面在施工过程中的裂缝开展。

(2) 构件截面几何形状应简单、平顺，减少棱角、突变和应力集中。混凝土表面应有利于排水，不宜在接缝或止水处排水。应在截面突变处设置构造钢筋，或配置附加钢筋，跨施工缝设置骑缝构造钢筋。钢筋间距应能保证混凝土浇筑均匀和捣实，且不宜小于70mm。构造钢筋间距不宜大于250mm，构件中受力钢筋和构造钢筋宜构成闭口的钢筋笼，

9.7 工程材料

(1) 混凝土、钢筋的设计指标按《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)2015年版的规定采用，钢材的设计指标按《钢结构设计标准》(GB50017-2017) 的规定采用。

(2) 水泥宜采用普通硅酸盐水泥，其强度等级不小于42.5级。控制铝酸三钙含量不大于8%。

(3) 钢筋选材及等级：应选用符合国标的优质热轧钢筋，热轧光圆钢筋材料为HPB300， $f_yk=300\text{Mpa}$ ， $f_y=f_y'=270\text{Mpa}$ ；高强热轧带肋钢筋材料为HPB400， $f_yk=400\text{Mpa}$ ， $f_y=f_y'=360\text{Mpa}$ ；钢结构构件一般采用Q235B镇静钢。

(4) 石材强度等级：MU40，砌筑石材水泥砂浆强度等级M7.5。