

全球首例 110 千伏直入式蓄热电锅炉热源厂建筑设计

林桂红

中冶京诚工程技术有限公司, 中国·北京 100176

摘要: 2022 年北京冬奥会配套工程: 张家口崇礼区城区二道沟热源厂煤改电项目——全球首例 110 千伏直入式蓄热电锅炉热源厂, 以清洁电能取代传统燃煤, 有效减少大气污染, 实现可再生能源的高效利用, 为“绿色奥运、低碳奥运”提供良好的生态环境。

关键词: 绿色奥运; 低碳奥运; 全球首例 110 千伏直入式蓄热电锅炉热源厂

Building Design of the World's First 110 kV Direct Heat Storage Electric Boiler Heat Source Plant

Guihong Lin

MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

Abstract: Supporting project for the 2022 Beijing Winter Olympics: The Erdaogou Heat Source Plant in Chongli District, Zhangjiakou City, China, is a coal to electricity conversion project. It is the world's first 110 kV direct heat storage boiler heat source plant that replaces traditional coal with clean electricity, effectively reducing air pollution, achieving efficient utilization of renewable energy, and providing a good ecological environment for the “Green Olympics and Low Carbon Olympics”.

Keywords: green olympics; low carbon olympics; the world's first 110 kV direct entry thermal storage electric boiler heat source plant

1 项目位置

崇礼区城区二道沟热源厂煤改电项目位于河北省张家口市崇礼区西二道沟村, 原有二道沟热源厂附近, 崇红公路南侧。

2 项目概况

2.1 锅炉负荷的计算

对于固体蓄热锅炉供热, 首先考虑利用当地的峰平谷电价, 采用电蓄热锅炉供热, 降低用电成本, 崇礼区峰平谷时段电价见表 1。

表 1 崇礼区峰平谷时段电价

分类	时段(时长)	电价(元/kW·h)
低谷电	20:00~8:00(12小时)	0.15
高峰电	8:00~20:00(12小时)	0.536

基于崇礼区峰谷电价分析, 在夜间低谷电时段(崇礼区的夜间低谷电时段为 20:00~8:00)采用“边蓄边供”的形式供暖, 在白天用电高峰时段采用蓄热能量给城市供热, 白天 12 小时峰电时段负荷取占夜间 12 小时低谷电时段负荷的 100% 计算。

根据崇礼城区规划建设情况, 确定本项目供热范围为总供热面积 154 万 m², 热指标 60W/m²。

热负荷计算:

$$Q_{\max} = q \times A$$

式中: Q_{\max} ——采暖设计热负荷, W;

q ——采暖热指标, W/m²;

A ——采暖面积, m²。

二道沟供热 154 万 m², 采暖设计热负荷:

$$Q_{\max} = 60 \times 154 \times 10^4 \text{ W} = 92.4 \text{ MW}$$

蓄热用电锅炉功率计算: 因为采用夜间 12h 蓄热, 在完成夜间供热的同时, 为白天供热负荷蓄热, 锅炉输入功率为供热负荷的 2 倍。并考虑 95% 的锅炉效率, 因此蓄热电锅炉输入功率为: $N_1 = 92.4 \times 2 \div 0.95 = 194 \text{ MW}$, 设 4 台 110kV 固体蓄热锅炉, 单台锅炉输入功率为 48.5MW, 蓄热功率为 23.5MW, 输出功率 25MW。

2.2 固体蓄热电锅炉选型

固体蓄热电锅炉机组通电之后, 蓄热装置内的加热元件产热, 将电能转化为热能, 热量产生后通过热交换将热能储存蓄热装置的蓄热体中, 储能装置温度可达到 500℃。蓄热装置的外层采用高等隔热保温层, 使装置内蓄热体与外部环境隔热, 防止热量散失过快, 从而提高热源利用率。在热量释放过程中, 被储存的热量通过循环引风机有序向外释放, 循环引风机的风扇由变频调速电机驱动。当蓄热装置供给热量传输时, 装置可按照预先设定好的工作程序, 使离心引风机运转提供循环高温空气。循环的高温空气可以通过换热器并对循环水系统中的水进行热交换, 热水由循环水泵经供暖系统送到末端设备, 达到供热、供暖目的。

固体蓄热电锅炉的运用已在 10 年以上, 电压等级从 10~66kV, 应用单位上百家, 锅炉台数上千台, 最大供热负荷 320MW, 积累了丰富的经验, 具备了先进可靠的技术。

其中已有四座 66kV 固体蓄热电锅炉调峰热源厂，供热负荷在 260~320MW，设备稳定运行三年以上，通过运行效果证明，制造设备基本解决了蓄热砖结构容易变形和电炉丝容易老化的难题，为高电压大功率固体电蓄热锅炉技术在生产供暖用电蓄热锅炉方面的应用提供了经验（见图 1）。

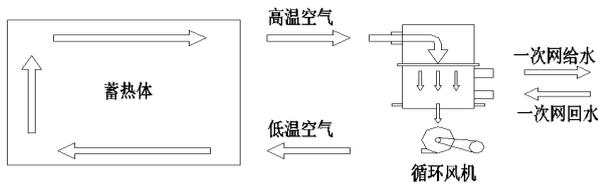


图 1 固体蓄热锅炉供热工作示意图

蓄热用电锅炉功率计算：因为采用夜间 12h 蓄热，在完成夜间供热的同时，为白天供热负荷蓄热，锅炉功率为供热负荷的 2 倍。并考虑 95% 的锅炉效率。

考虑到设备参数一般为整数，且大小互为备用，二道沟选择固体蓄热电锅炉的推荐容量见表 2。

表 2 热源厂热源设备选型推荐容量表

名称	110KV 固体蓄热锅炉
二道沟	48.5MW × 4

表 3 二道沟锅炉房固体蓄热电锅炉参数

序号	列项	技术参数	备注
1	电蓄热炉	DCL-110N-A-48500 × 4 台	
2	额定电压	110kV	
3	额定功率	48500kW × 4 台	
4	输出介质	55℃~95℃	热水
5	热输出功率	25000kW × 4 台	可变频控制输出
6	蓄 / 放热时间	12h/24h	
7	固体蓄热使用温度范围	150℃ / 500℃	
8	最大蓄热量	300000kWh × 4 台	
9	换热器输出接口	DN100	
10	加热方式	纯阻性加热	电热合金
11	固体蓄热体工作压力	常压	
12	热交换器	30 组 × 4 台	
13	换热器出厂测试压力	2.5MPa	
14	单台热交换器流动水阻	≤ 90kPa	
15	热交换器风机	60 台 × 4 台	变频控制调速
16	储能体测温点	15 支 × 4 台	K 型热电偶
17	热交换器测温点	30 支 × 4 台	K 型热电偶
18	短频耐受电压	≥ 160kV	
19	对地绝缘电阻	≥ 15MΩ	
20	保温层温升	≤ 25℃	环境温度
21	运行方式	自动 / 手动 / 远程	
22	设计寿命	20 年	
23	设计热效率	95%	
24	储能体载荷	130kN/m ²	
25	热交换器及保温壳体载荷	60kN/m ²	
26	其他部分载荷	40kN/m ²	

采用 110kV 固体蓄热电锅炉，只需建设 110kV 开闭站，可以降低变电站投资费用（见表 3）。

每台设备根据不同的工作电压，按国家标准空气放电 1.2~1.5 倍的距离，设计固体蓄热体相间空气间隔，确保设备在使用中不发生绝缘击穿。同时始终坚持设备安装完成后，必须通过安装所在地电力系统的现场检测，各项测试数据及设施环境达到投运要求，再上网工作。

固体电蓄热炉是纯阻性负载，在投切运行时不会产生冲击电流和冲击电压，也不会产生谐波。尤其是采用独立间隔供电的设备，设置好继电保护定值，不会影响电网供电。

2.3 热力循环系统

由于工期较紧，保留原有锅炉房，作为备用热源，因此本项目均不利用原有设备。本项目热力系统均为新建，与原锅炉房并联。热网 55℃回水由厂区内 DN700 或（DN800）回水管道引入锅炉房热网循环水泵间内，经过锅炉提温后，加热成 95℃高温热水后汇入厂区 DN700 或（DN800）供热水母管，然后送至各用户换热站。

设备参数参考原有锅炉供热系统参数，二道沟锅炉房一次网采用分布变频泵系统，热源厂循环泵扬程较低，二道沟热力循环系统主要设备选型见表 4。

表 4 二道沟热力循环系统主要设备选型

项目名称	规格	单位	数量	备注
循环水泵 (变频)	Q=2200t/h, H=30m, N=220kW	台	3	两用一备
补水泵 (变频)	Q=180t/h, H=44m, N=37kW	台	2	一用一备
加压水泵 (变频)	Q=85m ³ /h, H=30mH/2O, N=37KW	台	2	一用一备
全自动水处理	处理水量 80t/h 双阀双罐	台	1	
解析除氧器	处理水量 80t/h	台	1	
软化除氧水箱	40m ³	台	1	
自来水箱	40m ³	台	1	
旋流除污器	DN800, 过滤精度 100 目	台	1	
管网析气装置	单台处理水容积 Q=300m ³ /	套	2	
阀门	组合件	套	1	
托座	组合件	套	1	

供热调节:

热水管网运行调节采用质量调节, 随着室外温度的变化, 热网供水温度与流量发生变化。

二道沟锅炉房采用分布变频控制系统, 即热源厂的循环水泵仅负责热源厂内部的水循环系统阻力, 区域热力站根据自己的需求各取所需。这种控制系统, 热网平衡调节方便, 节省运行费用。而对于热源循环泵的选择, 只要能够满足总流量和克服热源到压差控制点的阻力即可, 这样可大大降低热源循环泵的扬程, 使得热源循环泵电机功率下降许多。各热力站内一次侧设循环水泵, 根据供热负荷调节泵的转速, 控制一次网的流量, 从而调整供热负荷, 就构成了分布式变频系统。

2.4 车间与厂区热力管道

车间内部热力管道为采暖水管道、补水管道, 采暖水管道与现有热源厂采暖水管道管径相同 DN800。车间内的采暖水管道采用架空敷设, 主干管尽可能沿柱侧或梁底敷设。各支管在用户点前加装阀门。

各种管道在车间入口处均设流量、压力测量及切断阀等设施, 主保温材料采用气凝胶纳米保温材料, 保护层采用镀锌铁皮, 管道采用隔热托座。

厂区采暖热水包括供水管道和回水管道。采暖水管道无补偿直埋敷设, 冷安装, 在适当位置与现有采暖供回水管道连接, 连接处设阀门井, 管道埋深 2.0m。

2.5 总图与建筑结构设计

保留原有锅炉房作为备用锅炉, 暂不拆除, 因此新建锅炉需要新的征地, 新征锅炉用地面积不小于 25 亩, 长度约 190m×46m。

主厂房设计方案根据工艺提供的资料进行设计。锅炉房建筑尺寸为 190m×46m。作为现代工业企业, 其主厂房的建筑设计在满足工艺流程前提下, 在设计思想和建筑材料的选用上, 都充分体现主厂房的简洁明快且大气的建筑风格。

建筑采用钢结构方案; 建筑物的内外墙体均采用加气混凝土砌块, 外窗采用单框双玻塑钢窗。所有建筑物均采用

有组织外排水。墙体外饰面以白色、墨绿色为主色调, 展现出简洁明快的总体风格。主厂房由锅炉房、控制室、GIS 室、机柜室、低压配电室、水泵房 (水处理间) 及其他辅助房间等组成。锅炉间部分采用轻钢屋面结构钢屋架。

根据工艺设备布置需要, 保留原有锅炉房, 作为备用热源, 两个热源厂均需新建锅炉房厂房。

本地区设计基本地震加速度值 0.10g, 抗震设防烈度为 7°, 设计地震分组为第一组。建筑物抗震设防类别丙类。建筑安全等级为二级, 结构重要性系数: 1.0。建筑结构的设计使用年限为 50 年。

建筑地基基础设计等级为丙级。基础拟采用天然地基做持力层, 热源厂锅炉房厂房采用钢排架结构, 独立基础。辅助楼为砌体结构, 钢筋混凝土条形基础。

2.6 给水排水

本项目的给水系统设计主要是两个热源厂厂区内的给水与排水设计。主要包括厂区内的生活污水系统、生产给水系统以及排水系统。

本项目属于改扩建项目, 在设计时尽量采用之前的给水与排水系统。给排水不做单独设计。

2.7 采暖通风

现有建筑采暖系统利用现有系统, 新建建筑采用散热器采暖系统, 局部采用热风型风机盘管系统。

2.8 电气

热源厂的设备用电、照明、防雷、接地。

目前, 二道沟热源厂和崇礼区城区二道沟热源厂煤改电项目两个厂区各有 1 路 10kV 电源, 充分利用现有变压器满足水泵、风机、照明、办公等用电设备需要。

本项目采用电蓄热锅炉, 用电负荷较大, 需要单独引入高压电源, 二道沟热源厂距离位于红旗营的 220kV 紫山沟变电站直线距离约 7km 左右, 以 1.5 倍山地系数计算距离, 约 10.5 公里。热源厂 110kV 线路两路来线, 互为备用。220kV 紫山沟变电站 (2×180MVA) 电容量能够满足现有供热负荷设备 12h 低谷蓄热用电负荷 (见图 2)。

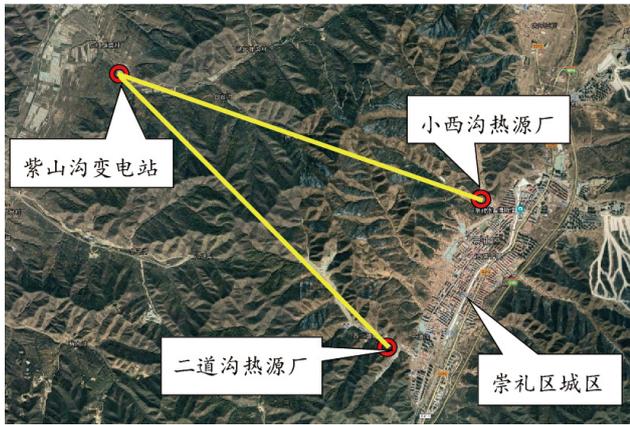


图 2 热源厂的设备用电、照明、防雷、接地

如果采用 10kV 或 35kV 电压等级电蓄热锅炉，在热源厂需建设 110kV 变电站一座，变压器 $2 \times 100\text{MVA}$ 。采用 110kV 电压等级电蓄热锅炉，就不用设变电站。

110kV 固体蓄热电锅炉电源采用 110kV 系统，进线电源两回路（一用一备），接线方式采用单母线分段接线形式，采用 GIS 高压开闭站与锅炉连接。在预设的电网低谷时段或风力发电的弃风电时段，自动控制系统接通高压开关，高压电网为高压电发热体供电，高压电发热体将电能转换为热能同时被高温蓄能体不断吸收，当高温蓄热体的温度达到设定的上限温度或电网低谷时段结束或风力发电弃风电时段结束时，自动控制系统切断高压开关，高压电网停止供电，高压电发热体停止工作。

高温蓄热体通过热输出控制器与高温热交换器连接，高温热交换器将高温蓄热体储存的高温热能转换为热风输出。

锅炉设备及配套设备由配电室采用放射式供电。

配电电压：

355kW 循环水泵采用 10kV 电压；

低压用电设备采用 400V；

照明网络电压采用 400/230V；照明分支回路及照明灯具电压为 230V；移动检修照明电压为 36V。个别需要进入金属容器内部进行检修的场合采用 12V。

电气传动及自动控制：

高压电机采用高压变频调速装置。

低压调速控制电机采用交流变频调速装置。

大于 75kW 低压电机采用软起动装置。

不调速的低压电动机采用无触点开关、接触器控制，一般为直接起动。高压开关柜的操作采用 DC220V 直流电源，电磁操作机构。

电磁阀和阀门接近开关的电压等级均为 AC220V/DC24V。

各电气设备根据工艺要求设置集中操作和现场机旁箱操作。

操作方式一般采取自动 / 手动 / 机旁三种方式。

主要电气设备选型：

110kV 高压开关柜：GIS 高压开关柜；

10kV 高压开关柜：KYN28A-12（Z）型户内金属铠装抽出式开关设备，内装真空断路器，采用电磁操作机构，操作电压 DC220V；

起动装置：大容量电机采用软起动装置；

低压配电屏：GGD 型固定柜；

MCC 屏：GGD 型固定柜；

交流传动柜：数字式变频装置，防护等级不低于 IP20；

动力配电箱：户外金属密闭自立式，防护等级不低于 IP54；

直流电源屏：全密封、免维护型铅酸电池屏；

现场操作箱：金属密闭自立式，防护等级不低于 IP54；

防爆区域内选择适当等级的防爆器材。

电缆的选择及敷设方式：

高、低压供配电线路均采用电缆供电。电缆敷设方式将根据同一路径电缆数量的多少采用不同的敷设方式，如电缆沟方式、穿钢管方式、电缆直埋地方式、电缆桥架架空等方式。

动力电缆和控制电缆均采用铜芯阻燃电缆，与 PLC 有关的控制电缆采用屏蔽电缆。吊车供电采用安全滑触线。

在高温区域采用阻燃桥架及耐高温电缆。

所有电缆设施均按规范要求采取阻燃封堵、分隔等防火措施。

照明设计：各场所照度标准按《建筑照明设计标准》选取。灯具采用高效灯具。光源采用高效节能光源，办公室及控制室等场所采用格栅荧光灯，办公建筑物内部光源主要采用三基色荧光灯，显色性指数不小于 80，色温 5000K 左右。并考虑防眩光措施。照明功率密度值严格控制在节能指标范围内。室外灯具光源采用 LED 节能光源。

防雷及接地设计及安全措施：各建筑物按照防雷规范确定防雷等级。在屋顶设避雷带作为接闪器以防直接雷击，利用建筑物的柱内主筋作引下线，利用基础作接地极。接地电阻根据各建筑物要求确定，联合接地电阻不大于 1 欧姆，重复接地及保护接地电阻不大于 10 欧姆。为防止雷电波侵入，在建筑物的人户处安装电源浪涌保护器。

进出建筑物的所有金属管道等金属体做总等电位连接。有洗浴的场所做局部等电位连接。低压配电接地型式采用 TN-S 及 TN-C-S 系统。路灯配电的接地形式为 TT 系统。建筑物设火灾漏电报警系统，消防电源监控系统。潮湿场所、插座等供电设 30mA 漏电保护。

110kV 直入式蓄热电锅炉优点：首先，110kV 直入送电创新点在于高电压。传统送电模式电压较低，需要在项目周围配套建设变电站。110kV 直入送电，可省去建设变电站

的费用,减少初始投资,同时减少占地和后期维护。其次,使用变电站还将产生约 6% 的电力损耗,造成电力浪费。最后,在电力市场上,电压越高电价越低,高电压也可以降低运行成本(见图 3)。



图 3 110kV 直入式蓄热电锅炉

3 建筑概况

崇礼区城区二道沟热源厂煤改电项目为一栋楼,总建筑面积为 11397m²,建筑总高度: 19.800m。

建筑内部功能分区明确,分为厂房区(1层)和辅助楼区(3层)。

厂房区一层为锅炉房,主要为 1 号设备、2 号设备、3 号设备、4 号设备总计 4 台电锅炉;辅助楼区一层为水泵房(锅炉补水设备、热网循环水设备、给水设备)、控制室、化验室、会议室、日间值班室、备件库;二层为 GIS 室、机柜室、低压配电室、日间值班室;三层为日间值班室。

4 建筑设计

4.1 功能分区

本项目分为厂房和辅助楼。

4.2 设计理念

安全、经济、适用、美观、低碳环保、绿色生态、可持续发展。

以人为本,天人合一,人与自然和谐发展。建筑采用大自然中清新的墨绿色,斑驳的虎皮石,与周围群山森林环境有机融合,浑然一体;材质自然、纹理疏密有致、色彩清新雅致、造型简洁流畅,既体现现代建筑的高科技属性,又生态环保,与当地环境融为一体,具有地方特色。充分体现“绿色奥运、人文奥运、科技奥运”(见图 4)。



图 4 张家口崇礼区城区二道沟热源厂煤改电项目设计图

张家口崇礼区城区二道沟热源厂煤改电项目——全球首例 110kV 直入式蓄热电锅炉热源厂,以清洁电能取代传统燃煤,有效减少大气污染,实现可再生能源的高效利用,为“绿色奥运、低碳奥运”提供良好的生态环境。