高压电极式电热锅炉全蓄热的应用设计实例

Application Design Example of High-Pressure Electrode Type

Electric Heating Boiler with Full Heat Storage

潘方圆¹ 李芸霄¹ 任川山² 王静³

Fangyuan Pan¹ Yunxiao Li¹ Chuanshan Ren² Jing Wang³

1. 国网(北京)综合能源规划设计研究院
有限公司

中国·北京 100052;

2. 中国中建设计集团有限公司

中国·北京 100037;

3. 中国建筑设计咨询有限公司

中国·北京 100120

1. State Grid (Beijing) Comprehensive Energy
Planning and Design Research Institute Co., Ltd.,
Beijing, 100052, China;

2. China State Construction Design Group Co., Ltd.,
Beijing, 100037, China;

3. China Architectural Design Consulting Co., Ltd.,
Beijing, 100120, China

【摘要】电供暖将高品位电能转换为低品位热能,综合能源效率低,国家及地方性规范,均以强制性条文对电供暖工程应用进行了限制。伴随着电供暖优惠政策的出现,电供暖在民用建筑中的应用呈上升趋势。论文介绍某工程以高压电极式电热锅炉+蓄热水箱为热源的工程应用案例,供参考及探讨。

【Abstract】Electric heating converts high-grade electrical energy into low-grade thermal energy, has low comprehensive energy efficiency, and national and local regulations have imposed mandatory provisions on the application of electric heating engineering. With the emergence of preferential policies for electric heating, the application of electric heating in civil buildings is on the rise. This article introduces a project application case where a high-voltage electrode-type electric heating boiler+hot water storage tank is used as a heat source for reference and discussion.

【关键词】高压电极式电热锅炉;蓄热水箱;PLC 控制系统

【Keywords】high-pressure electrode electric boiler; hot water storage tank; PLC control system

【DOI】10.36012/etr.v2i2.1111

1 引言

实施科学用电具有显著的社会效益和经济效益。可以减少一次能源的消耗与污染物的排放,缓解环境压力,同时可以合理配置电力资源,提高电网设备利用率。在民用建筑电供暖领域,采用电热锅炉的技术路线应用范围广,本文介绍的是高压电极式电热锅炉+蓄热水箱的供热形式。

2 工程概况

该项目为位于张家口市崇礼区,项目规划建设总面积约 78km²,是围绕滑雪场建设的滑雪、度假、餐饮、娱乐的综合性度假商业体,分为滑雪场区、配套区、滑进滑出区、住宅区、高铁配套区及小镇商街区 6 个区域。

供热区域包含滑雪度假酒店、滑雪养生酒店及商街 3 个相邻的建筑,供热平面建筑面积约 13.8 万 m²(根据建筑层高折算后约 20.5 万 m²),供热站及 3 个换热站占地总面积约 5000m²。

3 项目背景

3.1 国家标准及技术手册规定

因直接采用电供暖属于高品位电能直接转换为低品位热能,综合能源效率低,国家及地方性规范,均以强制性条文对电供暖工程应用做出了相应限制。

①GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》;第 5.5.1 条 除符合下列条件之一外,不得采用电加热供暖(强制性条文):1 供电政策支持。

②GB 50189—2015《公共建筑节能设计标准》;第4.2.2条 除符合下列条件之一外,不得采用电加热设备作为供暖热源(强制性条文):1 电力供应充足,且电力需求侧管理鼓励用电时。

③全国民用建筑工程设计技术措施——暖通空调·动力(2009);第6.1.4条 除了符合下列条件之一者外,不得设计采用电热锅炉、电热水机组、电热水器直接作为空调系统的热源(一般性条文):1 电力供应充足、供电政策支持、电价优惠的地区;4 夜间可利用低谷电进行蓄热,且蓄热式电锅炉在白天用电高峰时段和平段时间不启动运行的建筑;5 利用可再生能源发电地区的建筑。

受国家标准限制影响,采用电力直接供应作为建筑物冬季采暖热源,如无特定技术、政策条件支持。在施工图设计文件审查阶段,将因违法国家标准强制性条文的原因,无法通过审查,无法办理建设工程开工许可证,导致工程无法建设。这一点应当引起足够的重视。

3.2 地方政策规定

2017年6月15日,张政办函〔2017〕第44号文《张家口市人民政府办公室关于加快推进“电供暖”工作的通知》,2017年10月30日,河北省发展和改革委员会《河北省发展和改革委员会关于清洁供暖有关价格政策的通知》两项通知先后颁布,为该地区建设工程采用电加热供暖提供了“供电政策支持”这一前置条件。

依据《张家口市人民政府办公室关于加快推进“电供暖”工作的通知》规定,纳入“电供暖”改造实施范围的用户可享受谷段电价0.15元/kW·h的优惠政策。同时,依据《河北省发展和改革委员会关于清洁供暖有关价格政策的通知》中完善峰谷和阶梯电价政策,供暖期居民采暖用电谷段时间延长2h,即谷段20时至次日8时,峰段8时至20时。在上述优惠政策下,本项目电蓄能主要是应用夜间低谷电(20:00~8:00)时段的风电作为能源,采用夜间蓄热白天间接供热+夜间直供方式。同时,依据典型地区电供热价格初步测算结果显示,当地公共建筑合理投资回收期临界电价为0.25元/kW·h,本工程采用电供暖具备技术、经济合理性。

4 暖通设计要点

4.1 供暖系统

电极锅炉采用6kV/10kV高压直供,需设置隔离变压器、中置柜。同时电极式锅炉将锅炉内水作为电阻体直接加热,因此电极式锅炉对锅炉水质要求较高,通常采用纯净水+电解质控制导电率的方式。同时电极式锅炉常见功率可

达6~40MW,供热面积大,蓄热量大,蓄热水箱体积普遍达到千吨级,难以控制整体导电率及水质。因此,电极式锅炉在实际应用中锅炉与蓄热装置间通常额外设置一组换热器,实现物理隔离。客观上较其他种类锅炉增加一道换热流程,有效热温差低(3~5℃),热损失增大(7%~10%)。

本项目供热站设在区域中部,供热站内设置2台高压电极式电热锅炉,热网共分三级:锅炉产生的高温热水向蓄热板换及直供板换供热,经换热后,回水由一次网回至锅炉,为一级热网系统。夜间蓄热时,蓄热水箱内的水经蓄热板换换热后,由二次网回至蓄热水箱;白天放热时,蓄热水箱内的水经放热板换换热后,由二次网回至蓄热水箱,为二级热网系统。夜间直供时,三次网的冷水经直供板换换热后,供至热用户;白天间接供热时,三次网的冷水经放热板换换热后,供至热用户,为三级热网系统。如图1所示。

图1 供热系统流程图

一次网供回水设计温度为95℃/75℃,常压;二次网供回水设计温度为90℃/60℃,常压;三次网供回水设计温度为85℃/55℃,设计压力为1.0MPa。一次、二次网为开式系统,采用高位水箱定压,水箱高度根据热网最高点、汽化压力和富裕压力确定;三次网为闭式系统,采用补水泵变频补水定压。定压点均设在热网循环水泵入口干管上。

4.2 供热站设备

4.2.1 高压电极式电热锅炉

高压电极式电热锅炉热功率10MW/台,总热功率20MW,根据总热负荷选取,并考虑富余量。

高压电极式电热锅炉的电极系统包括三相电极,中性点不接地电极和保护盾。电极安装在绝缘体上,和炉体隔离。保护盾由电动执行器控制,可以调节锅炉的供热负荷量,调节负荷从5%~100%。锅炉热效率99.8%,供回水温度95℃/75℃,常压型,设计年耗水量1.2万m³。

高压电极式电热锅炉可以直接连接到6~14kV的电网,锅炉本体是安装在绝缘器上,这种安装方式具有高电阻率,电压10kV时,电阻为1.5~2.5kΩ。锅炉内运用除盐水,加上电解质(磷酸三钠)增加导电率,通过控制炉水的导电率在适当值,来保证运行的安全性。

4.2.2 蓄热水箱

蓄热水箱容积为4500t,常压,采用钢板制作,底部和外

壳均作保温,水箱各构件之间均采用满焊,外支撑槽钢采用双面断续焊,水箱内设置两排布水器,上层开孔 45°朝上,下层开孔 45°朝下,形成斜温层。每台水箱设置 2 只电阻腐蚀探针。布水器及管件均采用 304 不锈钢。蓄热水箱的附件有进口管、出口管、溢流管、排污管、顶部人孔、盘梯,检修及参观平台等(见图 2)。

图 2 水箱剖面图

4.2.3 锅炉辅机配套设备

①板式换热器共 7 套,2 套直供,2 套蓄热,3 套放热。

②一次网补水采用纯水,二次、三次网补水采用软化水。一次网纯水补水系统采用纯水处理机组,软化水总硬度 ≤ 0.6 mmol/L,满足相关规定^[1]。系统出力 2m³/h,软化水水处理系统选择钠离子交换器,系统出力 30m³/h。

③热网循环水泵采用调速控制进行量调节,热网循环水泵、热网补给水泵等均采用调速装置,以节约电能。

④在供热站内设置纯水取样器、软化水取样器,并配备相应的分析设备。

⑤换热站一次网进站干管处设置温度、压力、流量检测,出站干管处设置温度、压力检测;二次网供水管路上设置温度、压力、流量、变频检测,回水管路上设置温度、压力检测装置。

⑥供热站采取隔离、吸声、减振等措施后,噪声控制符合国家标准^[2];锅炉的大气排放执行相关国家标准^[3];污水排放达到国家标准^[4]。

4.3 供热站图纸

供热站平面布置如图 3 所示。供热系统如图 4 所示。

图 3 供热站平面图

图 4 供热系统图

5 电气设计要点

5.1 电源和电压

本工程用电负荷等级为二级,高、低压供电系统接线方式及运行方式:采用三路 10kV 电源供电,三路电源采用电缆埋地敷设至 10kV 高压进线柜。其中两路 10kV 电源分别承担 1 台 10MW 电极锅炉全部负荷,另一路 10kV 电源承担全部低压负荷。10kV 系统采用单母线分段接线方式,三段母线之间设联络开关,正常工况两路电源同时供电、分列运行;故障工况下由一段电源承担 10kV 电源承担 2 台 10MW 电极锅炉,降负荷运行。

低压系统于本工程变配电室设一台 630kV·A 10/0.4kV 变压器,对应设一段 380V 母线段。

为满足电气系统操作与信号控制要求,配置一套 220V 直流电源装置。

5.2 电气系统

区域内设电缆沟、电缆桥架等配电设施,各用电设备的配电采用交联聚氯乙稀绝缘电力电缆,沿配电设施供电至设备处,引接至设备端子采用金属管保护。

低压配电采用放射式与树干式相结合的方式,对于单台容量较大的负荷或重要负荷如:水泵房等设备采用放射式供电;对于一般负荷采用树干式与放射式相结合的供电方式。所有电缆、电线及母线均采用铜质,保护钢管暗装敷设时均采用焊接钢管,进出室外的线路采用热镀锌钢管。

采用三相全控桥式自动充电机,精度高、可靠性高,具有软启动、软停止功能和自动稳压均匀浮充自动转换功能。

5.3 电能管理及节电措施

10kV 电源进线位置设有功、无功及电能计量表。设置无功功率自动补偿控制器,根据系统情况实现自动补偿功能,照明系统采用集中与就地控制相结合的方式,实现节能有效控制。

(下转第 81 页)

从表 1 可知,上述 6 种风险因素的风险等级一次排列为:
 $R_1, \dots, R_6$ 。假若单一地对各因素进行评价,则可以得出:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.0 & 0.3 & 0.3 & 0.4 \end{pmatrix} \quad R_2 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0.0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0.0 \end{pmatrix}$$

$$R_3 = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.0 & 0.1 & 0.2 & 0.7 \end{pmatrix} \quad R_4 = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.1 & 0.4 & 0.5 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \end{pmatrix}$$

$$R_5 = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix} \quad R_6 = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.1 & 0.4 & 0.5 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix}$$

当风险的等级越高时就意味着风险的综合影响也会随之增大。所以,对于单一的风险因素,其等级越高时,评价因素的权重也就应该越大。在实际评价工作中,由于对风险的等级判断会因人而异,为避免较少地发生分歧。故在对风险进行评估过程中,本文选择使用专家自选来确定各风险因素的分配集:
 $A=(0.3, 0.7)^{[3]}$ 。

综合评价价值可以有效地展现出各个风险因素对于整个项目最终结果的影响程度。当综合评价价值越大时,则说明因素的风险等级越高。按照这个标准对各风险进行排序,如表 2 所示。

4 结语

综上所述,使用模糊综合评价法来对研发项目的风险因

表 2 风险因素综合评价排序表

序号	项目综合风险因素	综合评价价值	排名
1	政策风险	2.86	5
2	业务风险	4.62	2
3	技术风险	2.70	6
4	管理风险	4.44	4
5	进度风险	4.56	3
6	资金风险	5.00	1

素进行客观、科学的评价,能够有效展现出各个风险因素的等级,同时还能够有效的展现出各个风险因素对整个项目最终结果的影响程度。但是就实际情况而言,由于实际发展的过程中,存在诸多不确定性的因素,导致模糊综合评价法的分析结果失真,所以,风险管理人员在实际管控的过程中还应该结合实际情况而定。

参考文献

- [1]谭跃进,陈英武,易先进.系统工程原理[M].长沙:国防科技大学出版社,1999.
- [2]徐建.基于模糊综合评价法的武器装备研制进度风险评估[J].价值工程,2014(1):314-315.
- [3]朱灵波,戴冠中.一种模糊综合评价的信息安全评估模型[J].信息安全与通信保密,2006(8):13-15.

(上接第 77 页)

针对本项目实际情况,节电措施主要包括:

- ①变压器选低损耗节能型电力变压器、变压器负载率在 80%~85%;
- ②在变配电室的两段 0.4kV 母线处设无功功率因数补偿,根据实际需要装设电容器柜,并根据功率因数变化进行自动投切,使功率因数保持在 0.92 以上。
- ③设计中大功率设备选用调速装置,装置调速平滑,功率因数高。

5.4 电气安全

10kV 系统,按照供电部门要求为不接地系统;380V 低压系统采用 TN-S 接地方式。系统的工作接地、保护接地、防雷接地等采用共用接地装置,其接地电阻 $\leq 1\Omega$ 。其中性线与 PE 线在接地点后严格分开,凡正常不带电而当绝缘破坏有可能对地呈现电压的,一切电气设备的金属外壳均应可靠接地。

6 控制系统设计要点

整个供热站的自动化控制采用 PLC 控制系统,主要完成供热站内蓄热侧、三次热网系统的自动控制、监测、数据显示

和采集、故障报警及联锁保护;水泵的运行状态、频率调节、启停控制;电动阀门的调节;各设备状态越限报警;历时数据存储、查询及报表打印;设置室外温度补偿等功能。

7 结语

各相关专业均遵照国家及地方的设计标准、规范、规定进行设计,在设备选型和系统设计时,考虑时代发展的要求,选择节能、环保、自动化水平高的先进产品,保证供热系统安全可靠的运行。电极锅炉运行过程中不产生大气污染排放物,可实现 5%~100%功率快速无级调节,在实现项目节能减排目标的同时,具备消纳可再生能源(风电、光电)的能力,与大型蓄热设施相结合,具备良好的经济、环境、电网负荷调节能力。在可再生能源丰富、电力丰沛、存在冬季供热需求的区域将获得更多的推广应用。

参考文献

- [1]GB/T 1576—2018 工业锅炉水质[S].
- [2]GB 3096—2008 声环境质量标准[S].
- [3]GB 13271—2014 锅炉大气污染物排放标准[S].
- [4]CJ 343—2010 污水排入城市下水道水质标准[S].