



EPTCHINA.CN
中国电力科技网

SXEC 苏夏

大机组供热改造与优化运行技术2019年会



袁智威

中船重工第七〇三研究所蒸汽动力事业部机电研发部副主任，高级工程师。长期从事低温余热发电技术研究，多次承担国家科技部、黑龙江省科技厅低温余热发电相关课题的项目负责人，在热能动力工程、国际ORC年会等期刊和会议发表多篇学术论文，拥有数项低温余热发电技术专利。

排烟余热深度利用技术

主办单位：中国电力科技网 协办单位：江苏苏夏能源集团 2019年9月25-27日 中国·石家庄

2009 Qingdao / 2010 Nanjing / 2011 Yangzhou / 2012 Wuxi / 2013 Suzhou / 2014 Xian / 2015 Guangzhou / 2016 Shenyang / 2017 Xuzhou / 2018 Changshu / 2019 Shijiazhuang

排烟余热深度利用技术



2019年9月

汇报人：袁智威



汇报提纲

- 
- 一、排烟余热利用的意义
 - 二、目前烟气利用技术分析
 - 三、非采暖季烟气余热发电可行性
 - 四、低温烟气余热发电关键技术
 - 五、工程案例

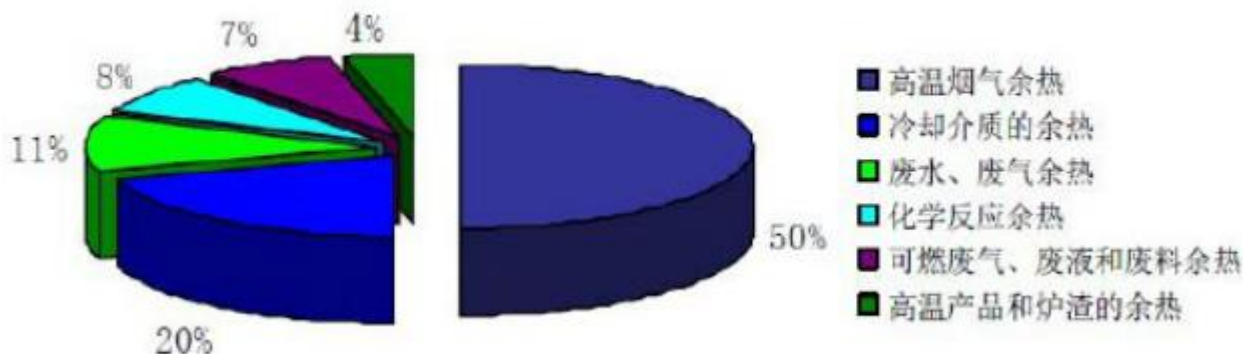
一、排烟余热利用的意义



能源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。我国的人均能源资源拥有量较低，其中，煤炭和水力资源人均拥有量相当于世界平均水平的50%，石油、天然气人均资源量仅为世界平均水平的1/5。我国尚处在工业化、城镇化加快发展的历史阶段，高耗能产业在经济增长中仍将占有较大比重。节能政策是我国的一项基本国策，节能已成为继煤炭、电力、石油和天然气之后的“第五能源”。国家“十三五规划”明确提出了节能减排的目标，“十三五”期间单位GDP能耗比2015年下降15%以上。

一、排烟余热利用的意义

资料来源：北京发改委《节能减排篇》



各类余热资源占比情况

根据调查，各行业的余热总资源约占其燃料消耗总量的17%~67%，可回收利用的余热资源约为余热总资源的60%。而排烟余热占我国总能耗的30%左右，占余热总资源的50%以上。

一、排烟余热利用的意义

资料来源：电站锅炉排烟温度热经济性分析计算

据统计，在火力发电厂中，排烟热损失是电站锅炉各项热损失中最大的一项，一般约为5%~12%，占锅炉热损失的60%~70%。影响排烟热损失的主要因素是排烟温度，一般情况下，排烟温度每增加10℃，排烟热损失增加0.6%~1.0%，相应多耗煤1.2%~2.4%。

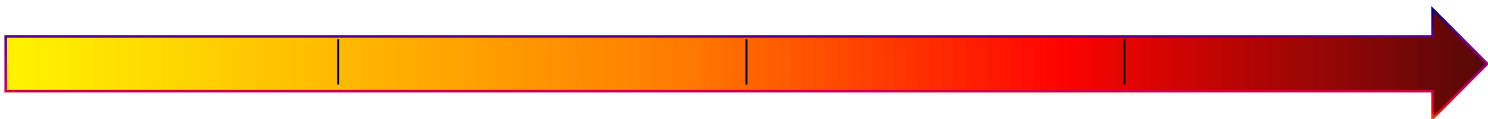
工业炉窑热效率低于70%，钢铁、电解铝、发电、建材、化工等行业的主要工业产品单位能耗高出20%~80%，余热利用率仅为4%~5%，只钢铁行业烧结工序的能耗中排烟余热一项约占冶金总能耗的12%。因此排烟余热的有效利用对我国节能有着重要的意义。

二、目前烟气利用技术分析

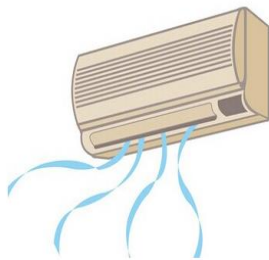
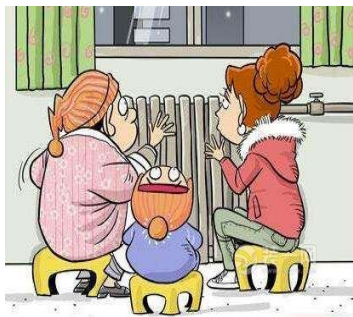
200℃

400℃

600℃



供热、制冷、干燥物料



产生蒸汽



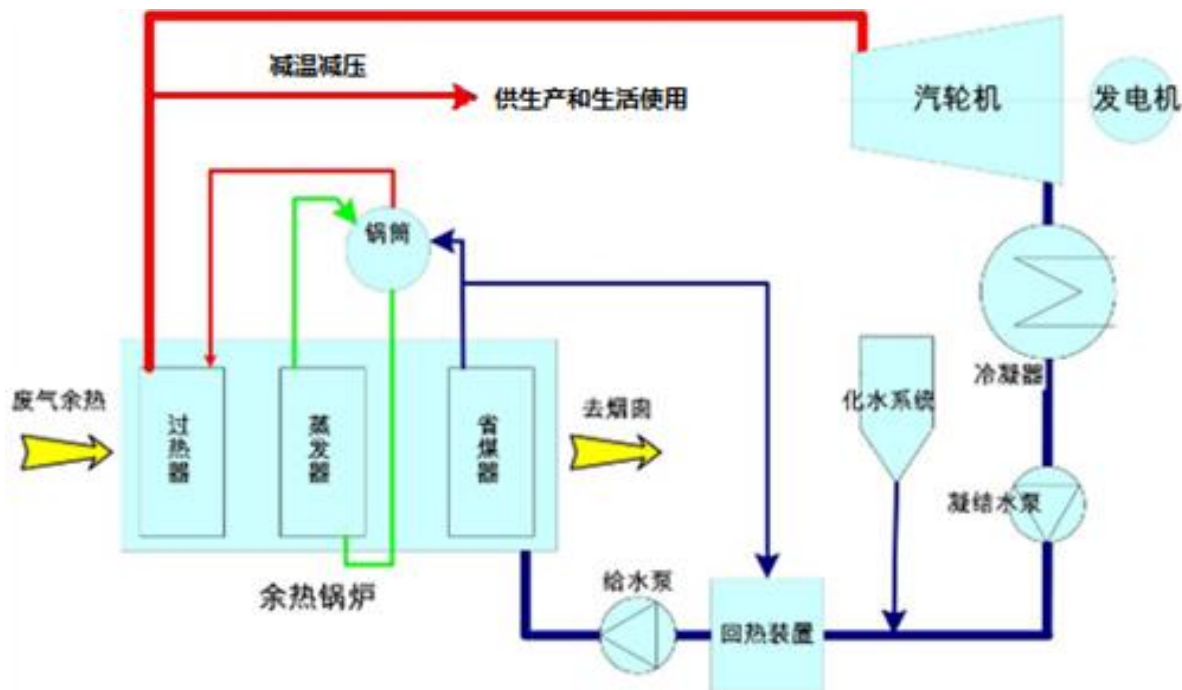
做功发电



排烟余热按温度来分，高温排烟余热（一般指高于600℃）；中温排烟余热（一般指200℃~600℃左右）；低温排烟余热（一般指低于200℃）。

二、目前烟气利用技术分析

高温、中温烟气利用



常规余热发电系统

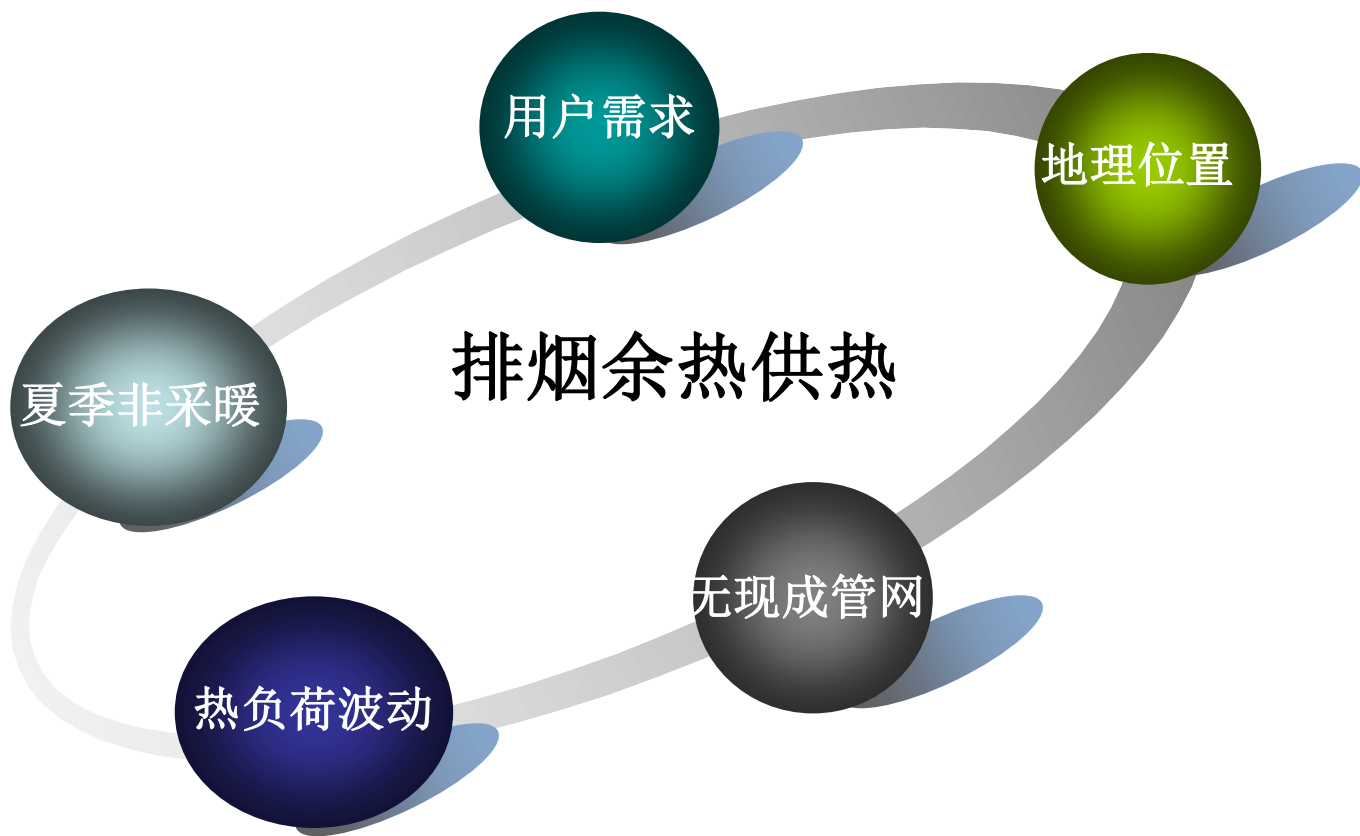
二、目前烟气利用技术分析

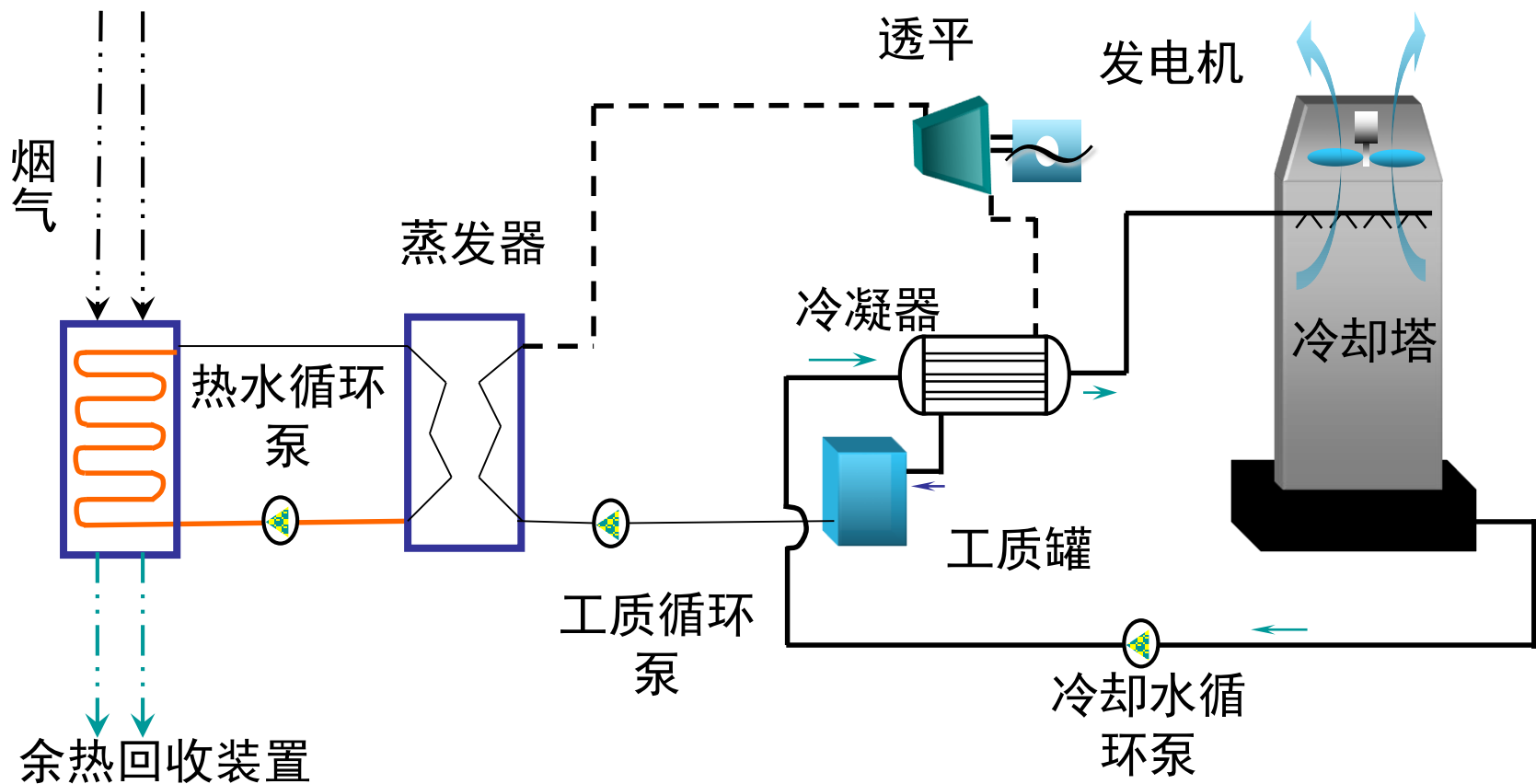
低温烟气利用

多以提供热水形式加以部分余热的回收利用，如采暖、生活热水等；大部分由于无法自行消纳或没用连续的热用户或热用户较少，无法实现合理的回收，尤其是夏季，只能直接排放。

尤其对于 150°C 以下，甚至接近或略低于 100°C 的排烟余热，基本没有相对合理的利用方式。而这部分低品位的能源总量巨大，以工业废热为例，所利用的热能中有50%左右最终以低品位废热的形式直接排放。利用和回收这部分能源，既有助于解决我国的能源问题，又能减少能源生产过程中的环境污染。

因此对于低温排烟余热的合理的、全年的回收利用技术，受到国家的大力鼓励和支持，尤其是能够实现低温排烟余热的夏季利用技术。



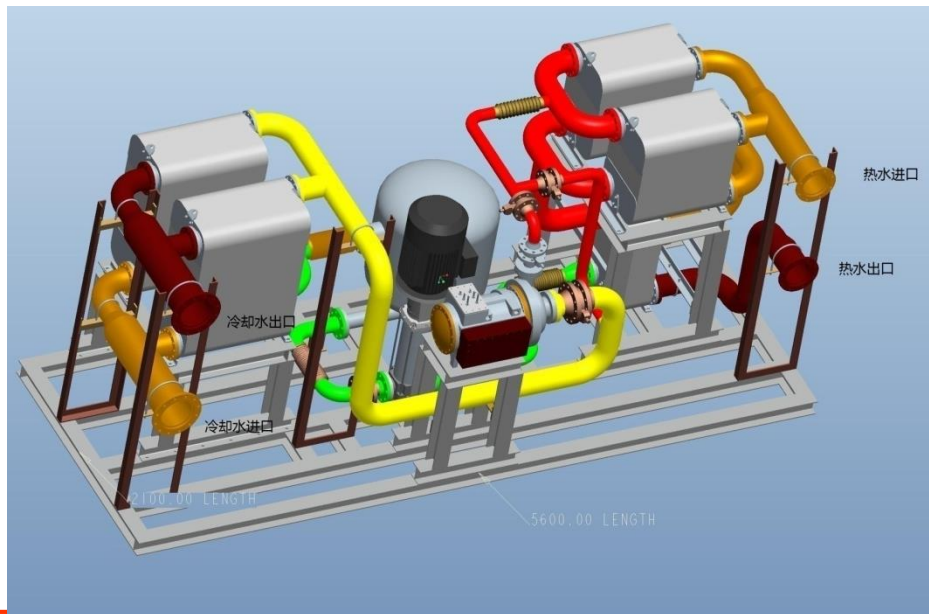


有机朗肯循环低温余热发电系统

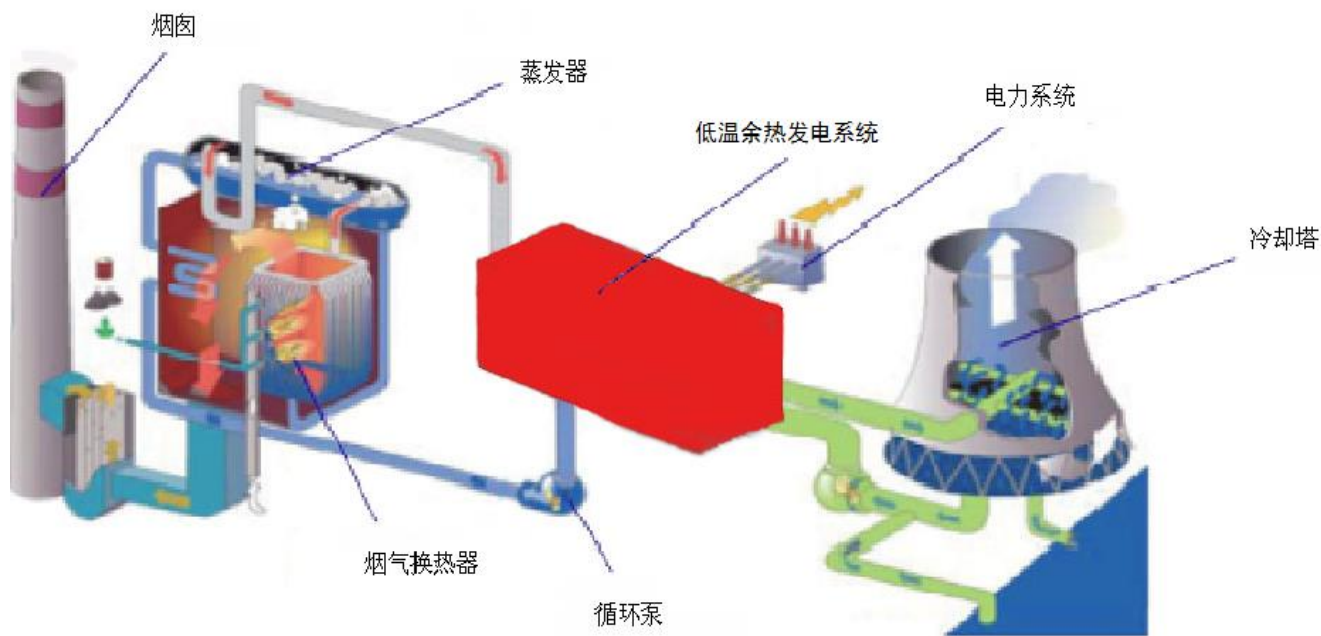
三、非采暖季烟气余热发电可行性

生产商	应用范围	功率范围/kW	热源温度/℃	关键技术
ORMAT, 以色列	地热, 余热回收 太阳能	200-72000	150-300	工质: 正戊烷
Turboden, 意大利	热电联合循环, 地热	200-2000	100-300	轴流式透平 工质: OMTS
Adoratec, 德国	热电联合循环	315-1600	300	工质: OMTS
GMK, 德国	余热回收, 地热 热电联合循环	50-2000	120-350	3000rpm多级轴流式透平 工质: GL160
Koehler-Ziegler, 德国	热电联合循环	70-200	150-270	螺杆膨胀机 工质: 烃
UTC, 美国	余热回收 地热	280	>93	
Cryostar, 法国	余热回收, 地热		100-400	径流式透平 工质: R245fa, R134a
Freepower, 英国	余热回收	6-120	180-225	
Electrathern, 美国	余热回收	50	>93	双螺杆膨胀机
Infinity Turbine	余热回收	250	>80	径流式透平膨胀机 工质: R134a

703研究所于2008年进入低温余热发电领域，目前已自主研发出125kW、350kW系列化不同功率等级的低温余热发电装置（见下图），有效回收各种低温废热源（针对200℃以下）。目前350kW功率等级的低温余热发电装置已进入商业化推广阶段。采用ORC发电系统实低温排烟余热的全年利用已完全成熟。



有机朗肯循环系统发电系统的关键过程是：低温排烟余热加热有机工质成为过热有机蒸汽，过热状态的有机工质蒸汽驱动汽轮机做功，透平带动发电机向外输送电能。因此ORC发电系统是低温排烟余热发电的核心技术。低温排烟余热利用ORC发电系统(见下图)



ORC发电特点

远程监控、
无人值守

标准模块化

高度集成，
占地面积小

80℃以上适
用

单机功率从
几kW到几MW

有机工质零
泄漏





350KW一体化集装箱式ORC发电机组



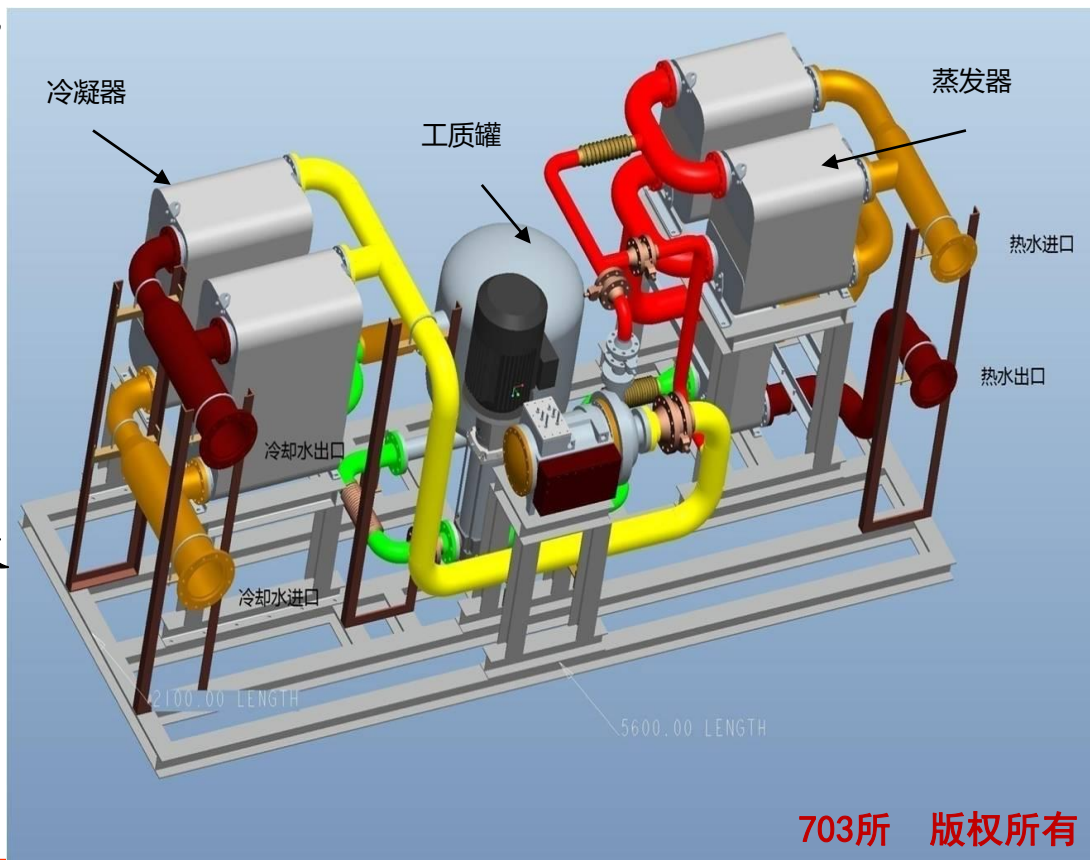
① 运行条件：热水温度 98°C ，变工况范围 $95^{\circ}\text{C}\sim 105^{\circ}\text{C}$ 。冷却水供水温度 24°C ，变工况温度范围 $10^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ 。

② 性能参数：

- 1) 额定功率315 kW ；
- 2) 额定电压400V ；
- 3) 额定频率50Hz ；
- 4) 额定转速20000r/min。

① 尺寸：L5600×W2100×H2450 即20尺标准集装箱。

② 重量：净重8.2吨，运行重量约9吨。



703所 版权所有



四、低温烟气余热发电关键技术

专利

- CN203132371U 一种基于有机朗肯循环的石灰窑烟气余热回收发电系统
- CN203201684U 一种基于朗肯循环的内燃发电机组余热梯级回收利用系统
- CN103206317A 一种内燃发电机组余热梯级回收利用系统
- CN107035438A 一种采用引射器的有机朗肯循环汽轮机发电机组冷却系统
- CN107060908A 一种有机朗肯循环汽轮发电机组冷却系统及冷却方法
- CN107035727A 一种防止ORC发电系统泵汽蚀的储液装置及其使用方法
- CN107035726A 一种防止ORC发电系统泵汽蚀的防护装置及其使用方法
- CN107061370A 一种利用前置泵解决ORC发电系统泵汽蚀的装置及其使用方法
- CN108897348A 一种ORC发电系统工质罐液位自动控制系统
- CN109026234A 一种有机朗肯循环与热泵驱动的热电联供系统及热电联供方法

项目资助

国家科技部支撑计划
黑龙江省科技厅
哈尔滨市科技局
七〇三所创新创新基金

东方希望包头稀土铝业有限责任公司铝厂低温烟气余热利用项目，利用我所研究开发的ORC发电技术，回收电解铝低温排烟余热，进行发电，解决了电解铝低温烟气夏季无法合理利用的难题，同时冬季对外供热，实现了低温排烟余热利用的全年化和收益优质化，为电解铝厂节能降耗做出贡献，下图为电解槽照片，右侧斜向上的管道为排烟管道。



工程概况：

东方希望包头稀土铝业有限责任公司共有6个电解铝车间，共分为3个系列，每个系列两个车间，全厂共计912台电解槽，电解槽产气量8600~10000Nm³/h，温度110~140℃；排烟系统共计9套，本项目为铝厂的9套排烟系统设置9座低温余热利用系统，具有采暖季供热及非采暖季发电两种功能。主要系统包含：供热首站、烟气换热器、ORC发电系统、换热站、热网循环水系统、中间循环水系统、输配电系统、自动控制系统、暖通系统等。

五、工程案例



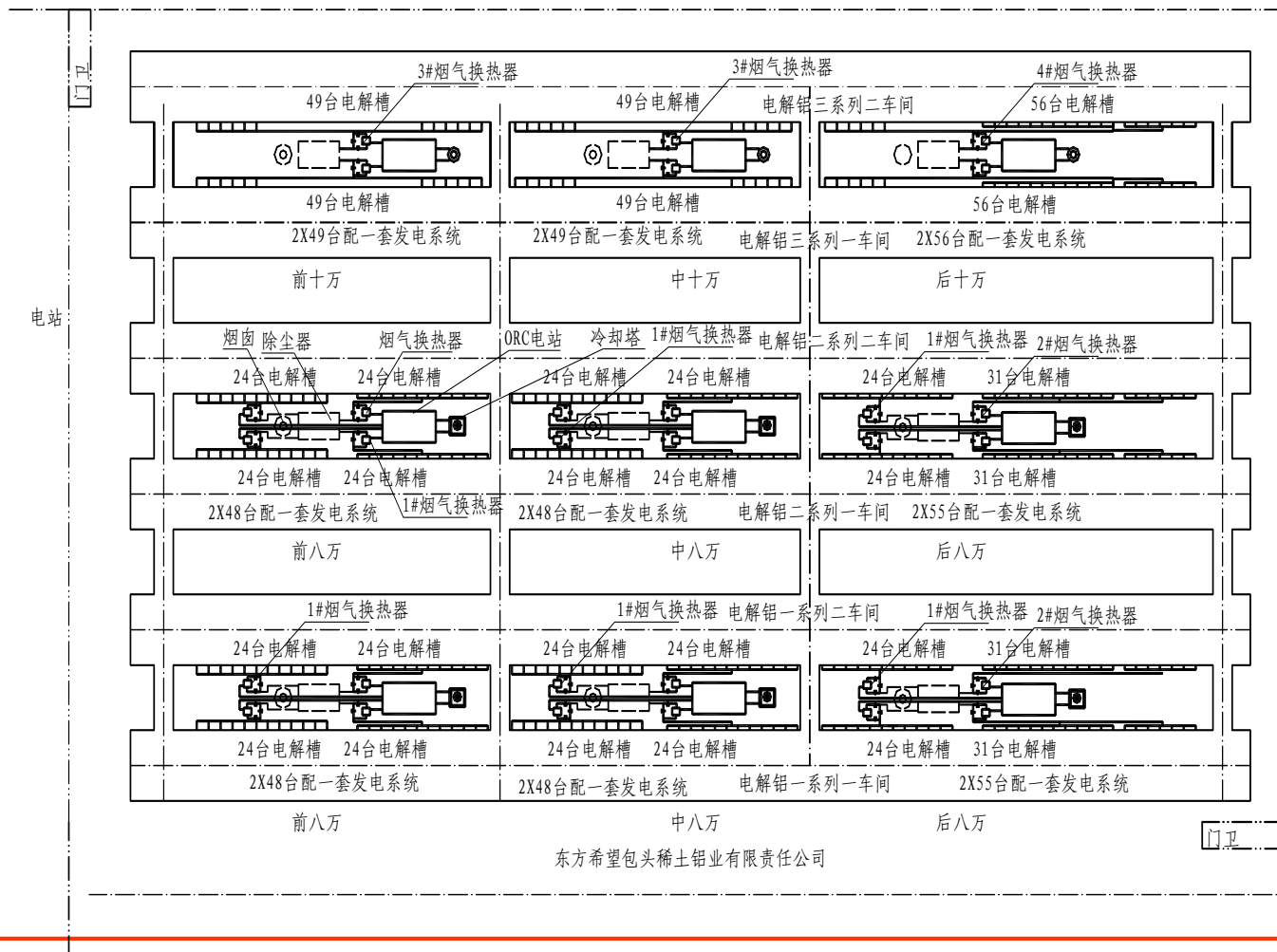
工程总体主要设备配置如下：

9套排烟系统配置9套ORC发电系统及9台供热换热器；每一套排烟系统，设置2台ORC发电系统及一台供热换热器；

全厂共计18台ORC发电系统、9台供热换热器及附属设备，每台ORC发电系统315KW，全厂夏季发电5670KW，冬季供热100GJ。

烟气换热器安装现场施工

ORC发电供热系统布置简图



2015年东方希望包头稀土铝业有限责任公司电解铝低温排烟余热利用项目一期供热工程建设开始施工，2017年已完成1系列电解槽的采暖季供热，2019年正在完善2系列电解槽的冬季供热工程，3系列在总结优化前两系列运行状况后进行建设，全厂一期供热工程全部完工后可实现100万GJ/a的供热能力；

二期ORC发电工程在一期供热工程完善后开始进行，未来二期发电工程实施后，ORC机组可实现非采暖季发电5670KW，为该厂每年节电2476.66万kWh。

东方希望包头稀土铝业有限责任公司电解铝低温排烟余热利用项目全部建成后，将为该厂实现：

年发电节煤0.304万吨标煤 (0.1228kg/kWh);

年供热节煤3.412万吨标煤(0.03412t/GJ);

全年共节标煤3.716万吨;

年减少排放二氧化碳9.662万吨(2.6t/tce)。

根据电解铝行业调查统计, 东方希望包头稀土铝业有限责任公司电解铝产量约占全国的5%左右, 如果电解铝行业的低温排烟余热全部开发, 可实现每年节约74.324万吨标煤。

由此可见, ORC发电技术为我国排烟余热深度利用提供了一种合理的、全年性的回收方案, 未来发展前景可观。

