



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

工业余热梯级综合利用导则

Guidelines for industrial waste heat comprehensive cascade utilization

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1. 范围	1
2. 规范性引用文件	1
3. 术语和定义	1
4 余热分类.....	1
4.1 按载体分类.....	1
4.2 按品位分类.....	1
5. 梯级综合利用原则与方法	2
5.1 梯级综合利用基本原则.....	2
5.2 梯级综合利用规划方法.....	2
6 梯级综合利用主要步骤.....	3
6.1 概述.....	3
6.2 确定系统边界.....	3
6.3 余热资源现状调查.....	3
6.4 余热梯级利用方案确定.....	3
6.5 方案的实施.....	3
6.6 余热利用绩效后评估.....	3
7. 项目节能量与节能效益评估	4
7.1 项目节能量评估.....	4
7.2 项目节能经济效益评估.....	4
附录 A.....	5
（资料性附录）	5
余热利用的典型设备	5
A.1 余热锅炉.....	5
A.2 流体换热器.....	5
A.3 粉粒体换热器.....	5
A.4 汽化冷却装置.....	6
A.5 储热设备.....	6
A.6 余热发电装置.....	6
A.7 余热制冷装置.....	7
A.8 热泵.....	7
附录 B.....	8
（资料性附录）	8
通用工业企业系统余热梯级利用基本方法	8
附录 C.....	9

（资料性附录） 9

典型钢铁企业余热梯级利用总体思路与案例 9

附录 D..... 12

（资料性附录） 12

典型石化企业余热梯级利用总体思路与案例 12

附录 E..... 15

（资料性附录） 15

典型建材企业余热梯级利用总体思路与案例 15

附录 F..... 19

（资料性附录） 19

典型火电企业余热梯级利用总体思路与案例 19

前 言

本标准按照GB/T1.1-2009给出的规则起草。

本标准由全国能量系统标准化技术委员会（SAC/TC459）提出并归口。

本标准起草单位：中国标准化研究院、国能合纵(北京)能源电力技术中心、天津键威泽节能环保科技股份有限公司、上海宝钢节能环保技术有限公司、中节能科技投资有限公司、北京工业大学、中国石化工程建设有限公司、中国国际咨询工程公司、中国电力企业联合会、中国循环经济协会、南京凯盛开节能环保能源有限公司、上海工业节能产业技术创新战略联盟、广州盈运节能科技公司、青岛捷能汽轮机、江苏东九重工 等

本标准主要起草人：刘猛、曹先常、郭云高、唐兆伟、王剑波、闫树芳、李建锋、吴玉庭、刘健平、兰文龙、屠正瑞、桂其林、赵志立、吴静怡、于海、刘咏梅、方亮、陈池、齐欣 等

工业余热梯级综合利用导则

1. 范围

本标准规定了工业余热分类及其梯级综合利用基本原则、具体措施、规划方法和实施步骤。
本标准适用于工业企业的余热资源利用，其它相关领域可参照本标准执行。

2. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1028-xxxx 工业余能资源评价方法

GB/T 3486 评价企业合理用热技术导则

GB/T 14909 能量系统焓分析技术导则

GB/T 28750 节能量测量和验证技术通则

GB/T 31346 节能量测量和验证技术要求 水泥余热发电项目

GB/T 32045 节能量测量和验证实施指南

GB/T13234 用能单位节能量计算方法

3. 术语和定义

GB/T 1028、GB/T13234规定的术语和定义适用于本文件。

4 余热分类

4.1 按载体分类

按载体进行分类可分为：气态载体余热、液态载体余热、固态载体余热、混合态载体余热。

气态载体余热：包括烟气的余热资源、放散蒸汽的余热资源及不可燃性废气。

液体载体余热：包括液态产品和液态中间产品的余热资源、冷凝水和冷却水的余热资源、可燃性废液。

固态载体余热：包括固态产品和固态中间产品的余热资源、排渣的余热资源及不可燃性固态废料。

混合态载体余热：指含有以上两种形态或以上的余热资源。

4.2 按品位分类

根据不同的载体类型，以温度为表观特征，综合考虑回收利用的技术经济性，进行品位划分。见表4.1。

表4.1 工业余热资源的分类

载体 等级	气态载体余热	液态载体余热	固态载体余热
高品位	>300℃	>200℃	>700℃
中品位	200～300℃	95～200℃	400～700℃
低品位	<200℃	<95℃	<400℃
注1：余热以水蒸汽形式体现时，其作为一种能源载体，单独考虑，不纳入本标准上述三类余热资源范畴。			
注2：混合态载体余热品位分类，根据其主要载体的具体情况，参考上述参数合理确定。			

5. 梯级综合利用原则与方法

5.1 梯级综合利用基本原则

余热梯级利用基本原则：量热度需、热尽其用，温度对口、梯级利用。在确保不降低所在系统的现有性能的前提下，在考虑余热特性的基础上，系统分析余热的规模和品位，综合考虑需求情况，合理采用余热利用措施，实现余热的充分高效利用。

5.2 梯级综合利用规划方法

余热利用的措施分为回用、替代、提质、转换四类，根据梯级利用基本原则，综合考虑能源利用效率的高低，余热的利用规划宜优先考虑排序靠前的利用措施，实现余热“热尽其用、梯级利用”。

5.2.1 回用

以用能设备为中心，通过热量传递或交换，将余热返回到原有设备中，减少用能设备外部高品位能量输入的过程或方法。

主要措施包括：空气预热、燃料预热、物料预热等。

5.2.2 替代

通过热量储存、传递或交换，将余热返回到设备所在的工艺或周边系统中，替换外部能量输入，实现区域能量自平衡的过程或方法。

主要措施包括：燃料替代、蒸汽替代、电力替代、热风替代等。

5.2.3 提质

以中高品位能量为驱动，通过直接或间接热量交换或热力循环，将余热由较低品位提升为较高品位，使其与用热需求匹配利用的过程或方法。

主要措施包括吸收式热泵、蒸汽喷射泵、压缩式热泵、多能互补等。

5.2.4 转换

将余热资源转变为机械能、电能、冷能等其它形式能量的过程或方法。
具体措施包括余热发电、余热制冷等。

6 梯级综合利用主要步骤

6.1 概述

工业余热梯级综合利用包括但不限于以下步骤：

- 确定系统边界
- 余热资源现状调查
- 余热梯级利用方案确定
- 方法的实施
- 余热利用绩效后评估。

6.2 确定系统边界

应确保边界内包括受到余热回收利用直接影响的过程或流程、装置、设备等。

6.3 余热资源现状调查

应对系统边界内的余热资源现状进行调查和相关数据资料收集，包括但不限于以下内容：

——系统用能和生产现状及相关数据，应包括使用能源种类、数量，生产产品或提供服务的种类和数量；

——识别产出余热系统的生产工艺及能源利用流程，测量记录该系统的现状能耗。包括记录能源和耗能工质的种类、数量等；

——系统内余热资源及其直接相关的用能设备或流程的分布情况和数据，应包括余热资源的种类、载体相态、流量、温度、压力等，以及用能设备的能耗、能效、产量或其他有效输出的数量等。

——测量记录系统内产出余热的设备的能耗、能效、产量或其他有效输出的数量等，包括记录余热资源的种类、载体相态、流量、温度、压力等。

余热资源量的计算参考 GB/1028-xxxx 第 5.2 条款。

6.4 余热梯级利用方案确定

基于 7.2 的系统余热现状，根据 6.1，参考 6.2 选取形成本系统余热梯级综合利用方法。

针对选取方法，筛选相关余热梯级利用的通用技术、单项技术和综合集成技术。

如同时存在不同方案，应对各种方案的等效节能量和余能利用率进行评估，并作为确定方案的重要依据之一。

余热利用的典型设备的选取应根据项目具体情况确定，可参照但不限于附录 A。

余热梯级利用方案应根据具体行业、具体项目自身情况确定，可参照但不限于附录 B、C、D、E。

6.5 方案的实施

6.6 余热利用绩效后评估

可参照本文件第 7 章对项目节能量与节能效益进行评估。

7. 项目节能量与节能效益评估

7.1 项目节能量评估

项目节能量评估方法参照 GB/T13234、GB/T 28750 和 GB/T 32045 执行，水泥余热发电项目节能量计算应按照 GB/T 31346 执行。

7.2 项目节能经济效益评估

节能效益主要是指余热回收利用项目实施后对应节能量所产生的经济效益，一般以节能量折算标准煤的量为基础进行计算，具体项目实际评估可基于项目相关方一致认定的节能量和经济效益评估方法及参数对节能效益进行评估。

附录 A

（资料性附录）

余热利用的典型设备

A.1 余热锅炉

本标准仅指用于产生水蒸汽的余热回收装置。

A.1.1 分类

- (1) 按照结构形式分类：水管、火管、热管等。
- (2) 按照布置方式分类：立式、卧式。
- (3) 按照循环方式分类：自然循环、强制循环。
- (4) 按照压力等级分类：高压、中压、低压。
- (5) 按照产汽工艺分类：单压、双压等。

A.1.2 适用场合

主要适用于中高温余热资源，通常以气体或以气体为中间介质的余热资源。例如：炉窑烟气余热、冷却废气余热等。

A.2 流体换热器

A.2.1 分类

按照结构分类：管壳式、套管式、螺旋板式、板翅式、板式、夹套式等。
按照用途分类：加热器、冷却器、冷凝器、重沸器、深冷器、热回收装置等。
按照换热介质分类：液-液热交换、气-液热交换、气-气热交换等。

A.2.2 适用范围

适用于各类冷却、加热场合。考虑因素：热负荷及流量大小、流体的性质、温度、压力及允许压降的范围、清洗维修的要求、设备结构、材料、尺寸、重量、价格、使用安全性和寿命等。

A.3 粉粒体换热器

粉粒体换热器特指通过气体或液体等换热介质直接或间接地加热或冷却固体颗粒的装置。

A.3.1 分类

按照结构分类：螺旋式、百叶式、分仓式、分层式、蜂窝式、复合式。
按照运动形式分类：固定型、移动型等。
按照用途分类：冷却器、热回收装置等。

7.3.2 适用范围

适用于各类粉粒体物料冷却或干燥等。例如：干熄焦炉、窑炉物料冷却、烧结矿、锅炉等各类炉渣等。考虑因素：物料特性、物料出力、进料温度、出料温度、换热介质进出温度、布置空间等。

A.4 汽化冷却装置

A.4.1 分类

利用工质（例如水）汽化吸热特点，以汽化冷却工艺替代原有水-水冷却方式，实现热能回收的一种冷却方式。典型汽化冷却分为：转炉汽化冷却、加热炉汽化冷却、球团竖炉汽化冷却、焦炉上升管换热器等不同类型。

A.4.2 适用场合

汽化冷却技术主要用于轧钢加热炉、炼钢转炉、球团竖炉、焦炉上升管等工业设备中，以汽化冷却技术回收蒸汽替代原有的水冷系统，最终提高系统能源利用效率。包括：（1）轧钢加热炉应优先采用汽化冷却系统替代炉内主要水冷部件；（2）炼钢转炉应优先采用汽化冷却烟道代替原有水冷烟道；（3）球团竖炉应优先采用汽化冷却系统代替原有水冷梁。

A.5 储热设备

A.5.1 分类

按温度分类：可分为低温储热设备(100℃以下)；中温储热设备(100℃-400℃之间)；高温储热设备(400℃以上)三类。

按照储热原理分类：显热储热设备、相变储热设备、热化学储热设备三类。显热储热设备是指通过储热材料温度升高（降低）来实现储（放）热的设备，主要包括液体显热储热（熔盐、水、导热油等）、固体显热储热设备（金属氧化物、混凝土、陶瓷、岩石、金属等）等；相变储热设备是指通过储热材料的相变而实现储放热的设备，主要包括液气相变储热设备（蒸汽）、液固相变储热设备（石蜡、无机盐、冰、有机物等）等；热化学储热设备是指利用物质在可逆化学反应中的吸热和放热过程达到储放热的目的，主要包括氢氧化物化学储热、结晶水合物化学储热、金属氧（氢）化物等。

A.5.2 适用场合

储热设备主要用于不连续、不稳定或富余的热能存储，或者用以满足热用户的波动及经济性等不同需求，最终实现系统经济高效。

A.6 余热发电装置

A.6.1 分类

根据热电转换原理可分为：水蒸汽朗肯循环发电、有机工质朗肯循环发电、卡琳娜循环发电、烟气轮机发电、热电材料发电等。

A.6.2 适用场合

水蒸汽朗肯循环发电主要适用于中高温稳定连续的余热资源；有机工质朗肯循环发电和卡琳娜循环发电主要适用于中低温余热资源；烟气轮机发电主要用于石化余热；热电材料直接发电适用于空间要求极高的特定场合。

A.7 余热制冷装置

A.7.1 分类

根据原理可分为：吸收式余热制冷、吸附式余热制冷、喷射式制冷等。

A.7.2 适用场合

吸收式余热制冷一般适用于 90℃ 以上热水或余热资源；吸附式余热制冷适用于 65℃ 以上热水或余热资源；喷射式制冷一般适用于具有低压蒸汽资源的场合等。

A.8 热泵

A.8.1 分类

根据原理，用于工业余热回收的热泵可分为蒸汽压缩式热泵（包括螺杆式、离心式、涡旋式、活塞式等）、吸收式热泵（包括第一类吸收式热泵、第二类吸收式热泵）、吸附式热泵、化学热泵、蒸汽喷射式热泵等。

A.8.2 适用场合

热泵主要适用于建筑供暖和工业用热等。

附录 B

(资料性附录)

通用工业企业系统余热梯级利用基本方法

B.1 通用工业企业系统余热梯级利用典型方案

工业企业系统余热资源可分为高、中、低三种品位，并根据用能终端的需求，采用相应的余热回收技术加以利用。图 B.1 表示了一种通用工业企业系统余热资源梯级利用的典型方案，适用于工业企业动力等能源公辅系统，本方案主要涉及回收与利用两大环节，充分体现了余热资源特性、回收高效性、利用匹配性、用能终端经济性，体现了工业余热梯级利用的系统设计思路，实现能源利用效率最大化。

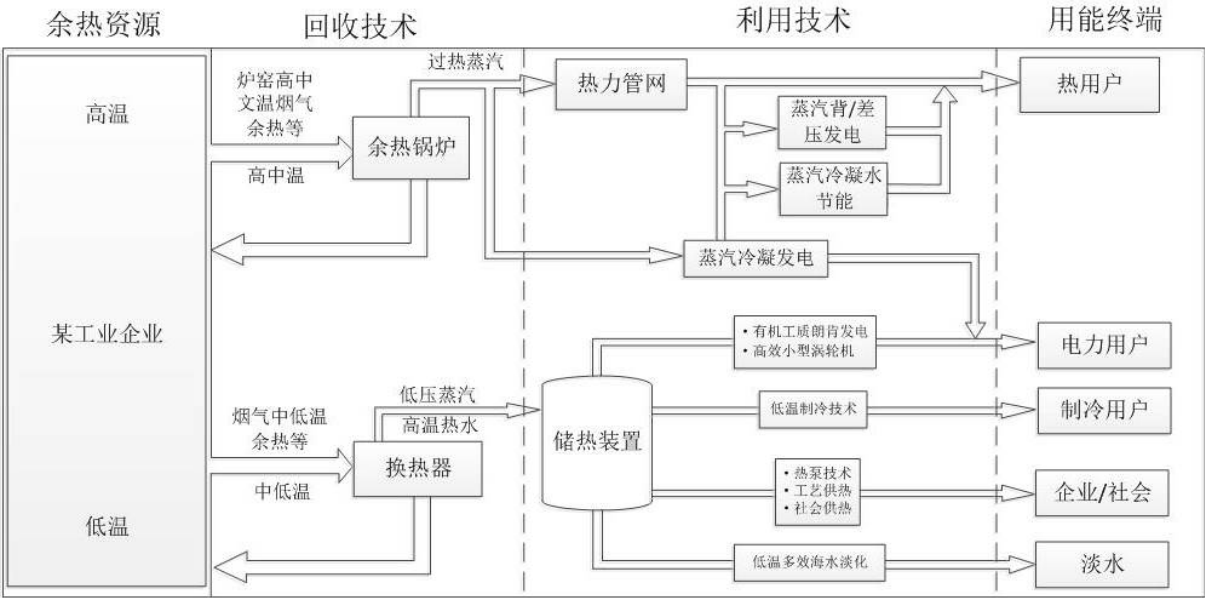


图 B.1 通用工业企业系统余热梯级利用方案

B.2 主要共性技术

- 1) 高效换热技术（扰流子等强化换热技术、大温差换热技术、相变换热等）。
- 2) 烟气余热深度利用技术（工艺物流加热、空气预热、除盐水预热、余热发电、余热制冷和余热供暖等）。
- 3) 热泵技术等。
- 4) 乏汽余热回收（汽轮机排汽余热、除氧器乏汽、定排乏汽）技术。
- 5) 低温余热发电技术（有机工质朗肯循环发电技术、卡琳娜循环发电技术等）。
- 6) 余热制冷技术。

附录 C

（资料性附录）

典型钢铁企业余热梯级利用总体思路与案例

常规长流程钢铁联合企业以生产钢铁材料为目标，主要由炼焦、烧结、高炉、炼钢、轧钢、公辅六大典型工序组成，实际生产中受规模、环境、工艺等影响，有的钢铁企业由其中部分工序组成。因此钢铁余热综合梯级利用可分为六大典型工序余热综合梯级利用，按照“温度对口、梯级利用”余热梯级规划方法，结合钢铁生产特点，冶炼（炼焦、烧结、高炉、炼钢）区域以“主体设备”为中心，研究主体设备的热能综合梯级利用系统，促进工序能耗降低。轧钢及公辅区域以“区域用能”为中心，研究区域热能综合梯级利用系统，实现区域能源利用效率最大化。具体如下：

C.1 主要余热资源概况

- 1) 炼焦：主要包括：炼焦过程中产生的高温焦炉荒煤气、红焦、焦炉烟气等余热资源。
- 2) 烧结：主要包括烧结机烟气余热、烧结矿冷却废气余热等。
- 3) 高炉：主要包括高温熔融渣（冲渣水）显热、热风炉烟气余热、高温铁水散热、炉体冷却水显热、高炉煤气显热等。
- 4) 炼钢：主要包括烟气显热、转炉煤气显热、冷却水显热、钢坯显热等。
- 5) 轧钢：主要包括加热炉烟气显热、热处理炉烟气显热、冷却水显热、钢坯显热等。
- 6) 公辅：锅炉烟气余热、冷凝水余热等。

C.2 单项技术示例

- 1) 焦化：干熄焦余热发电技术、荒煤气显热回收、煤调湿技术、烟气余热锅炉技术等。
- 2) 烧结：烧结机烟气余热锅炉、烧结机废气点火技术、烧结机废气热风烧结技术、烧结矿冷却废气余热回收（发电）技术等。
- 3) 高炉：高炉冲渣水显热回收技术、热风炉烟气双预热技术、热风炉烟气煤粉干燥技术、铁水保温技术等。
- 4) 炼钢：蓄热式烘烤技术、转炉汽化冷却技术、电炉烟气余热回收技术、钢坯辐射热回收技术、钢包加盖技术等。
- 5) 轧钢：高效燃烧技术（蓄热式燃烧技术等）、空煤气预热技术、工艺用能源替代技术、烟气余热锅炉技术、汽化冷却技术等。
- 6) 共性：有机工质朗肯循环发电等低温余热发电技术、余热制冷技术、强化换热技术、储热技术等。

C.3 综合集成技术

1) 炼焦：综合焦炉系统红焦、烟气、荒煤气、冷凝水等不同余热资源，考虑余热资源种类、品位、环境等要素，结合焦炉系统所需煤气预热、空气预热、入炉煤干燥、给水加热、除氧用汽、焦化用汽、区域制冷、熄焦装置等不同需求，采用“回用、替代、提质、转换”等不同技术措施，按焦炉系统能源利用最大化原则进行焦炉能源转换功能整合，实现焦炉工序能耗最低。

2) 烧结：考虑烧结系统烧结机烟气和冷却机（烧结矿）废气量大余热资源梯度特点，结合烧结点

火、烧结保温、混匀、区域制冷等不同的能源需求，整合烧结烟气循环、中温双压余热锅炉、低温余热利用等技术，按照“温度对口、梯级利用”的原则实现烧结余热“热、电、冷”综合梯级利用方案。

3) 高炉：将低品位的冲渣水余热及炉体冷却水余热由高效换热器，通过能量“替代、提质”将热量输送给用户预热、采暖及生活热水使用，或者经过“转换”输出冷量给冷用户使用，实现余热利用；热风炉低温烟气余热经烟气双预热技术“回用”替代热风炉用燃气，“回用”后烟气余热进行煤粉干燥、或提升部分热水温度供更高热用户使用；在熔渣沟内设置蓄热体及换热原件吸收高温熔融渣显热回收高品位热源，实现高炉区域能源利用最大化。

4) 炼钢：综合转炉（电炉）、精炼、连铸系统中波动、分散的不同余热资源特点，考虑转炉汽化冷却、电炉烟气余热锅炉、蓄热式烘烤、钢包加盖等技术，结合炼钢系统所需钢包烘烤、冶炼与处理、真空精炼、区域制冷等不同需求，采用“回用、替代、提质、转换”等不同技术措施，实现炼钢系统能源利用最大化。

5) 轧钢：综合轧钢区域加热炉、热处理炉、冷凝水等余热资源分散、量小特点，结合空煤气预热、给水预热、保温、干燥、碱液预热、空调制冷等需求，从区域角度考虑“回用、替代、提质、转换”等不同层级技术措施，实现区域能源利用最大化。

6) 公辅：参考附录 B。

C.4 余热梯级利用方法示例

以钢铁企业烧结工序的环冷机余热资源为研究对象，常规环冷机废气去向分烧结点火、余热锅炉产蒸汽、外排三部分组成，如图C. 2所示。从环冷机中温段（1号、2号排气筒）废气综合温度约350℃，利用双压余热锅炉技术回收蒸汽直接使用或发电使用，废气热量回收后返回环冷机重新对烧结矿进行冷却；同时300℃以中低温废气（3、4、5号排气筒）因为温度低全部排空，导致能源浪费。

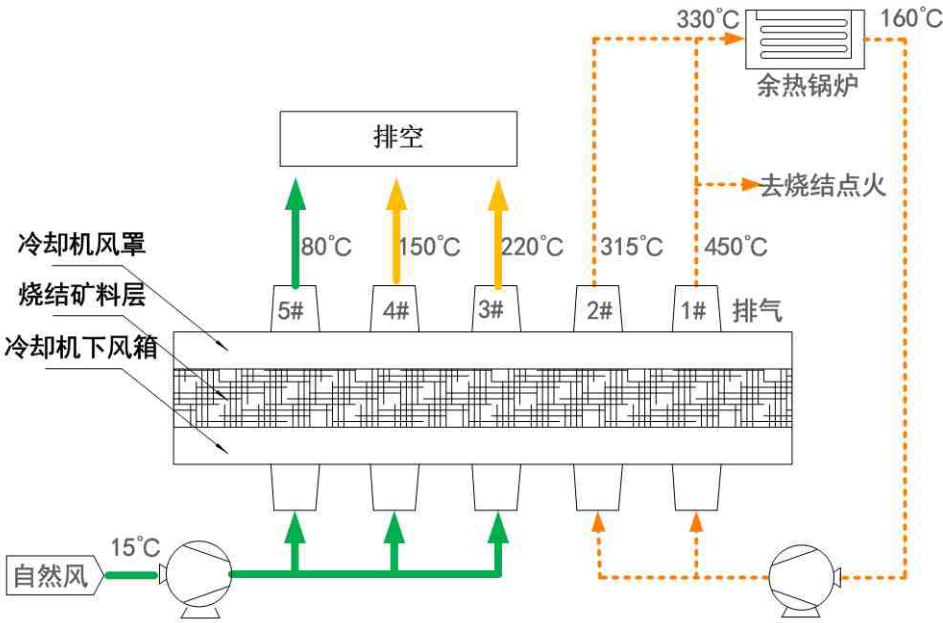


图 C. 2 烧结环冷机废气余热利用现状

针对以上问题，采用余热梯级利用规划方法，形成烧结环冷机废气余热梯级利用方案，如图C. 3所示。环冷机中温段（1号、2号排气筒）废气余热的利用方式与常规方式一样，不同的是充分利用了环冷机的低温段余热资源，环冷机低温段（3号排气筒）可利用的废气温度约150~220℃，其通过高压热水交换器，回收低温废气热能与前段余热锅炉产生的次低压蒸汽一起用于有机工质朗肯循环低温发电，以

提高余热资源利用效率，余热回收后的废气汇合环冷机低温段（4号排气筒）烟气通过风机送到烧结机台车面上的烟气罩内，环冷机更低温度废气余热可用于生产生活热水供现场使用，最终实现第3、4、5#排气筒低温余热的回收与利用。烧结环冷机废气余热梯级利用方案受热源、用户、环境等因素影响而不尽相同，最终以“效率”、“效益”双优最为最后评价的基准。

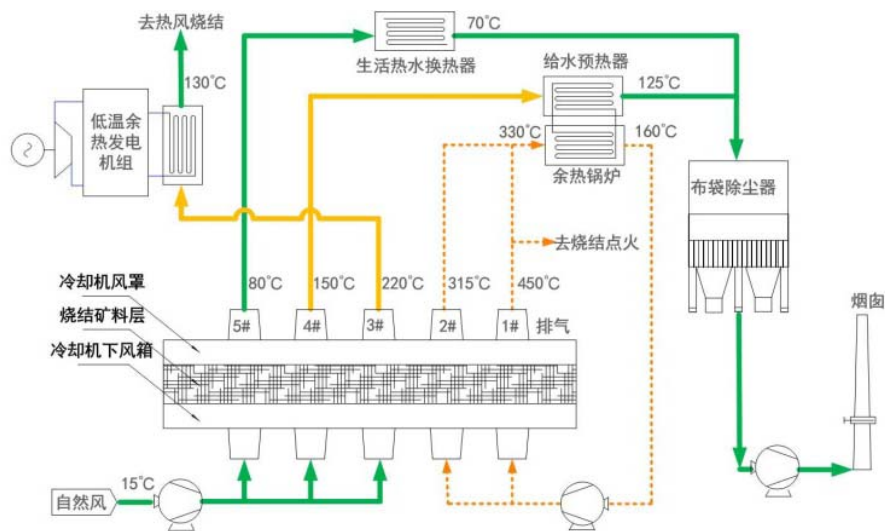


图 C.3 烧结环冷机废气余热资源梯级利用系统

附录 D

（资料性附录）

典型石化企业余热梯级利用总体思路与案例

石油炼制的过程是先将原油切割成各种不同沸程的馏分，然后将这些馏分或者按照产品规格要求，除去其中的非理想成分和有害杂质，或者经过化学转化形成所需的组分，进而加工成产品。石化企业既是能源生产大户，又是能源消耗大户，石化行业的能源消耗约占全国工业总能耗的16%。石化企业主要生产过程分为炼油和化工两大类，其中炼油生产过程是将原油通过分离、转化、精制和改质、炼厂气加工等工艺手段生产各种燃料（汽油、煤油、柴油）、润滑油、石蜡、沥青等石油产品或石油化工原料的工艺过程；化工生产过程是将炼油过程生产的各种化工原料通过分离、聚合、氧化等工艺过程加工合成树脂、合成橡胶、合成纤维等石化产品的工艺过程。石油化工生产中工艺物流的加热和冷却过程会产生大量余热，以低温余热为主。石化企业余热资源梯级利用应遵循以下基本原则：

- 1) 生产装置和系统单元优先选用低能耗的工艺技术，并选择高效率的设备和设施，实现本质节能。在联合装置范围内或全厂范围内优化换热网络流程，力争减少或不产生低温余热。
- 2) 余热资源利用不影响装置正常生产，保证装置操作安全平稳，在热源、热阱变化以及生产方案切换时装置安全生产不受影响。
- 3) 根据余热资源的品位和特性，通过系统优化实现余热的梯级有效利用，提高余热资源的回收利用效率；高温位余热优先用于高温位的热用户，低温位的余热优先用于低温位的热用户。
- 4) 优先考虑连续、稳定、同级利用，在同级利用的基础上再考虑余热发电和余热制冷等升级利用技术。优先采用以低温热量代替原工艺生产消耗的蒸汽等二次能源：如利用余热加热除盐水、以热水作为气分等装置重沸器热源、以热水作为储运系统油罐加热和维温热源等。
- 5) 余热利用要先热联合后回收，先工业后生活，先厂内后厂外（园区）。

D.1 主要余热资源概况

- 1) 工艺：在分离、转化、精制、改质、聚合、氧化等各种工艺加工过程中工艺物流的余热。
- 2) 工艺装置加热炉和余热锅炉的烟气余热。
- 3) 公用工程和辅助设施：热动力锅炉烟气余热、凝结水余热、蒸汽发生设备排污水余热、循环冷却水余热、蒸汽透平、除氧器和排污扩容器等设备产生的乏汽余热。

D.2 单项技术示例

- 1) 装置间的热进料/热出料：通过上游装置提高出料温度，将输出的物料直接供给下游装置加工处理，以避免物料的冷却和再加热，节约上游装置的冷却以及下游装置的加热用能消耗。
- 2) 装置间的热联合：热联合是指将一个装置产生的多余的热量输送至另外一个装置作为加热工艺介质的热源，以充分利用高温位热量达到降低能耗的目的。如催化裂化装置与气体分馏装置之间的热联合、催化裂化装置与常减压蒸馏装置之间的热联合等。热联合包括直接热联合和间接热联合两种方式，直接热联合是指用一个装置的热物料直接加热另外一个或几个装置的物料，间接热联合就是用一个或多个装置的热物料先加热某一热载体，然后再用此热载体去给一个或多个需要供热点供热，一般情况下，热载体是循环使用的。
- 3) 芳烃装置：芳烃装置能量深度集成技术、低温余热发电成套技术。
- 4) 催化汽油脱硫装置：低温余热发电成套技术。

- 5) 柴油加氢、航煤加氢、催化裂化、加氢裂化等装置：工艺物流余热发电成套技术、大温差换热技术等。
- 6) 常减压、催化裂化和焦化等装置：余热制冷技术、余热制冷代替循环水冷却用于吸收稳定系统，在节能的同时提高产品收率的技术等。
- 7) 重整装置和饱和气回收等装置：余热制冷代替氨冷/电冷机组技术。
- 8) 加热炉：利用加热炉烟气余热的耐腐蚀高效空气预热器技术等。
- 9) 公用工程与辅助设施：参考附件 A。

D.3 综合集成技术

1) 芳烃装置能量梯级利用技术：综合考虑芳烃联合装置工艺流程长，循环物料多，分离过程复杂，分馏塔数目多，塔顶冷凝低温热量多，余热热源温位低，难以在联合装置内部得到利用等要素，采用芳烃装置能量深度集成与低温余热发电技术回收利用芳烃装置大量余热，实现芳烃装置能量梯级利用。对二甲苯产量为 60 万吨/年的芳烃联合装置，其余热量大于 100MW，通过芳烃装置能量梯级利用技术，实现装置由受电 15~16MW 到外送电 3MW，装置能耗降低 28%。芳烃装置能量梯级利用技术包括低压蒸汽发电部分和热水发电两部分，对于抽余液塔和抽出液塔，通过提高塔的操作压力，使塔顶温度升高发生 0.1~0.5MPa 低压蒸汽，用这部分低压蒸汽做动力源发电或驱动重整、异构化、歧化装置的压缩机透平。同时，对于芳烃联合装置中其余温位更低的余热资源，因温度低、难以用来发生蒸汽，则采用热媒水系统与各个工艺物料分别进行串联/并联换热，回收的低温热集中送到热水发电机组发电。热水发电部分可根据热源温位和热源大小比选采用卡琳娜循环发电技术或有机工质朗肯循环发电技术。

2) 在换热网络优化的基础上，充分考虑石化企业全厂范围内低温热源、和热阱的热量、温位及平面布置位置等具体条件建立全厂性低温热系统，按照“温度对口，梯级利用”的原则，把分散在各个工艺装置的热源集中起来，再供给分散在不同地方、不同温位的热阱，在全局范围内实现低温热的充分及合理利用。通过采用机朗肯循环发电技术回收利用装置内温位相对较高、热源相对集中的余热资源；通过采用余热制冷技术将低温热能转化成冷能，利用热水型溴化锂制冷机组产生冷水代替循环水，用于催化、焦化、气分等工艺装置，冷却塔顶油气等工艺介质提高产品收率；利用热媒水系统回收过剩低温余热用于厂区建筑物和生活区供暖，替代“高能低用”的供暖蒸汽，降低采暖成本。通过余热发电、制冷、供暖等综合利用技术做到全厂余热“高能高用、低能低用”，使能量利用达到最优配置。

D.4 余热资源梯级利用方法示例

以某石化企业为例，催化裂化、焦化、加氢裂化、柴油加氢、航煤加氢、催化汽油脱硫等装置存在大量低温余热资源，这些余热没有充分利用，还需要额外消耗大量电能和循环水采用空冷器和水冷器进行冷却，额外消耗大量电能和循环水。同时，气分等装置的低温加热负荷仍在采用 1.0MPa 蒸汽，厂区建筑物和生活区供暖也消耗大量的 1.0MPa 蒸汽。此外，重整装置和饱和气回收装置仍在采用高耗能的电制冷/氨制冷机组提供冷水。全厂能耗高、存在“高能低用”现象、能量利用不合理。综合考虑全厂范围内低温热源、和热阱的热量、温位及、总平面布置位置情况以及、区域内工艺装置低温热的产、生和消耗特点，在工艺装置内热量优化利用的基础上，将全厂低温热的回收利用划分为若干个区域，拓展同级利用、升级利用方式，形成全厂低温余热梯级综合利用系统。在装置间直接热联合的基础上，优化各个区域低温热系统的设置，设计适宜的热媒水流量和温差，按照“温度对口，梯级利用”的原则，通过热媒水的串联/并联换热，把分散在各个装置和单元的余热资源集中起来，再供给分散在不同地方、不同温位的热阱，实现冷热物流的匹配优化以及热量回收与利用的最大化。区域热媒水系统示意流程如图 D.1。

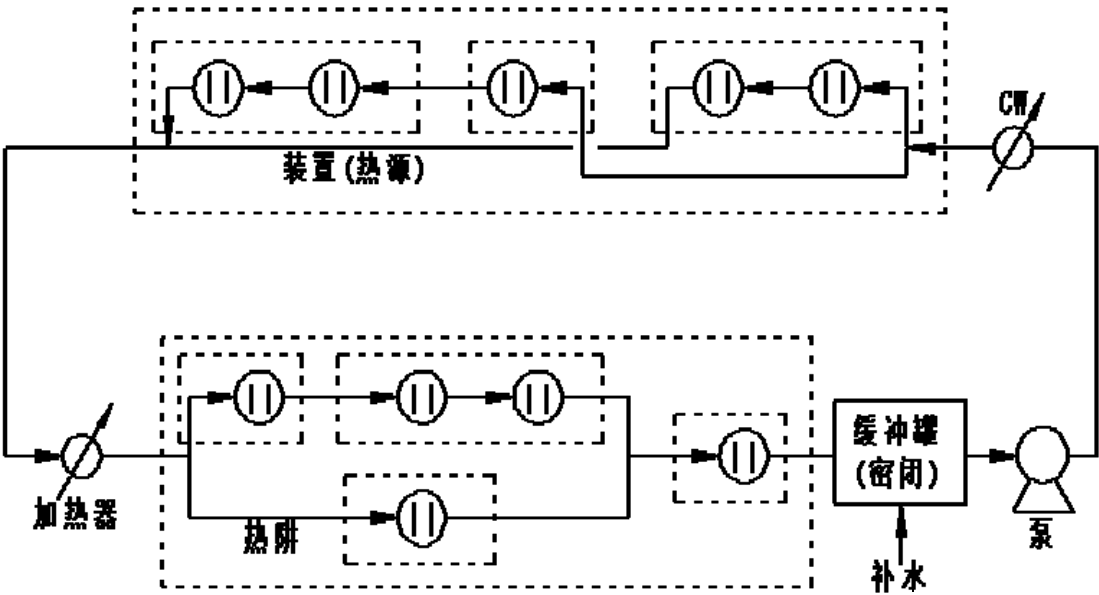


图 D.1 某石化企业区域热媒水系统示意图

在被动利用装置余热基础上，进一步结合余热发电、余热制冷、热泵、余热供暖等各种低温余热利用技术的特点，针对不同余热利用技术途径→反馈提出各个装置的余热取热优化方向和要求。通过方案优化，该企业的余热梯级综合利用项目设置为三个区域子系统。

1) 第一余热综合利用区域（包括焦化、高压加氢裂化和柴油加氢等装置）：

取出焦化、高压加氢裂化和柴油加氢等装置的低温热，通过采用预热器热力锅炉的除盐水、余热发电、余热制冷、热泵等综合利用技术的应用，节省了用于除盐水加热的热电锅炉除氧蒸汽，替代了饱和气回收装置的电制冷机组，制冷水用于焦化装置替代循环水，优化了操作条件，增产液化气。

2) 第二余热综合利用区域（包括3#催化裂化、气分和重整装置）：

利用催化裂化装置顶循、塔顶油气和轻柴油的余热产生70-90℃热媒水，供给气分装置分馏塔的重沸器使用，替代气分装置存在高能低用的1.0MPa蒸汽， 负荷解决高能低用的问题。根据新建重整装置用冷负荷、需求，结合吸收稳定部分各种优化操作方案的冷水负荷要求，反馈提出重整采用装置的余热优先制冷以满足冷量需求剩余余热发电的方式，取热优化方向，实现了重整装置余热资源的余热发电和余热制冷优化组合利用。

3) 第三余热综合利用区域（包括2#催化裂化、气分、催化汽油脱硫和航煤加氢等装置）：

根据该区域气体分馏等装置热阱负荷以及生活区冬季供暖负荷需求，结合余热发电、制冷、热泵、供暖等各种低温余热利用技术特点，反馈提出各个装置的余热取热利用优化要求，实现该区域各个装置余热资源的集成优化利用。根据“高能高用、低能抵用”以及余热发电机组的配置以“以暖定电”的原则，将区域内催化汽油脱硫、航煤加氢等装置内温度相对较高的余热资源用于余热发电，其他装置内温位较低的余热资源优先用于冬季供暖和非采暖季余热制冷。通过以上集成低温热回收、热量集成利用和热量梯度利用的节能措施，实现全厂余热资源综合有效利用。

附录 E

（资料性附录）

典型建材企业余热梯级利用总体思路与案例

建材工业是高耗能产业，主要产品有水泥、玻璃、陶瓷、砖瓦、石灰、铸石、岩棉等。生产过程多使用工业炉窑采用煅烧、熔融、焙烧、烘烤等工艺，能源消耗量大、余热排放量多，可回收利用的余热量大。

建材工业余热利用根据余热特性、余热品位、余热分布和用能需求确定余热利用具体方案，基本原则是：

- 1) 确保余热利用不影响现有生产线的正常运行，不增加现有生产线的能耗和污染物排放量；
- 2) 生产线提高用能效率、增强余热回收效果，尽可能回收高品位的余热；
- 3) “高能高用、低能低用”，实现余热梯级利用，高效利用余热；
- 4) 余热回收设备适应余热特性，能够可靠、高效、稳定运转；
- 5) 采取必要措施减少系统散热、漏风，不降低余热品位。

E.1 主要余热资源概况

1) 炉窑的烟气排放热：水泥窑、玻璃窑以及其它各类隧道窑、轮窑、辊道窑、烘干机等设备排放烟气携带的热量。

2) 炉窑表面散热：水泥窑、玻璃窑以及其它各类隧道窑、轮窑、辊道窑、烘干机等设备的本体散热。

3) 产品和中间产物携带的热量：水泥熟料、砖瓦、玻璃、陶瓷等产品携带的热量，干燥、烘干、烧成等工序原料及中间产物坯体携带的热量。

4) 冷却空气吸收的热量：冷却空气在篦式冷却机、筒式冷却机、退火炉等设备中从高温物料吸收的热量。

5) 冷却水吸收的热量：工业设备冷却水吸收的热量。

E.2 单项技术示例

1) 水泥窑、玻璃窑烟气排放热：水泥窑和玻璃窑烟气余热经回收用于供暖、拖动、发电等。

2) 隧道窑和辊道窑烧结产品显热和窑内高温烟气余热：烧结产品显热和窑内高温烟气余热经回收用于供暖、拖动、发电等。

3) 水泥窑胴体表面散热：水泥窑胴体散热经回收用于锅炉给水预热、供暖等。

4) 水泥熟料显热：在篦冷机、筒式冷却机内通过冷却空气回收热量，除满足水泥生产需求外，剩余部分作为余热经回收用于供暖、拖动、发电等。

5) 冷却空气带走的热量：使用冷却空气在篦冷机、筒式冷却机、退火炉等设备内回收余热用于供暖、拖动、发电等。

6) 冷却水带走的热量：冷却水余热经回收用于供暖等。

E.3 综合集成技术

1) 水泥生产线：水泥生产线余热主要来自篦冷机和预热器废气以及回转窑胴体热辐射，其余热特

性、余热品位和余热分布有所不同。考虑余热发电以及水泥生产过程中物料烘干、供热制冷等对热源的不同需求，采用“回用、替代、提质、转换”等措施合理分配热能，将高品位的热量用于生产蒸汽发电或拖动设备，低品位的热量用于物料烘干和采暖，实现余热的“梯级利用”，降低水泥生产的综合能耗。

2) 玻璃窑：玻璃生产主要余热来自熔窑、锡槽和退火窑的炉体散热和系统排风余热。考虑余热特性和余热品位等要素，结合玻璃生产系统切裁和装箱工段的热风供暖、供热制冷、用电等不同需求，采用熔窑和锡槽炉体散热供暖技术、退火窑排风余热回收技术、水源热泵技术、纯低温余热发电技术等措施，按照“温度对口、梯级利用”的原则实现玻璃生产余热“热、电、冷”综合梯级利用方案。通常回收系统排风余热用于发电、回收窑炉炉体散热用于供暖制冷，实现玻璃生产线余热梯级综合利用。

3) 隧道窑、辊道窑：隧道窑、辊道窑内的制品烧结后在冷却过程中释放的热量被冷却空气吸收产生热风，急冷段热风品位高，缓冷段和快冷段热风品位低。冷却带产生的热风除用作助燃风或加热助燃空气外，按照余热“梯级利用”的原则，将低品位热风用于生坯干燥，高品位热风供余热锅炉生产蒸汽，使能得到高效利用。

E.4 余热资源梯级利用方法示例

1)、水泥生产线余热梯级利用示例

水泥线窑尾预热器排放的废气温度约 310~330℃，水泥线常规生产工艺，窑尾废气先由增湿塔喷水降温再引入窑尾收尘器或部分用于原、燃料烘干。原料粉磨、烘干系统多采用立磨或辊压机终粉磨工艺，系统要求的废气温度小于 250℃，废气入磨前往往需要掺入空气进一步降温。窑头篦冷机通过冷却空气冷却熟料，分为高温热回收区、中温冷却区、低温冷却区，高温热回收区热风入窑系统助燃，中温冷却区热风除少量煤粉烘干，大部分与低温冷却区热风混合，经空气冷却器或掺入冷风、喷水降温后引入窑头收尘器。上述情况导致能源浪费，大量烟气余热未得利用就被排放，即使用于原、燃料烘干，也要降低热风品位以适应设备要求。

针对以上问题，为降低水泥生产的能耗，有必要调整水泥线热能的使用方式，实现余热资源的梯级利用，如图 E.1 所示。窑头、窑尾设余热锅炉生产蒸汽用于发电或设备拖动：窑尾废气先经窑尾余热锅炉降温再引入窑尾收尘器或用于原、燃料烘干，无需喷水、掺冷风降温；窑头篦冷机中温冷却区热风先经窑头余热锅炉降温，再与低温冷却区热风混合后引入窑头收尘器或回送至篦冷机再循环，也无需风冷、喷水、掺冷风降温。回转窑胴体辐射热也可回收利用，设置集热罩生产热水用于厂区供暖。通过上述措施，余热资源得到充分、高效利用，经济效益、社会效益显著。

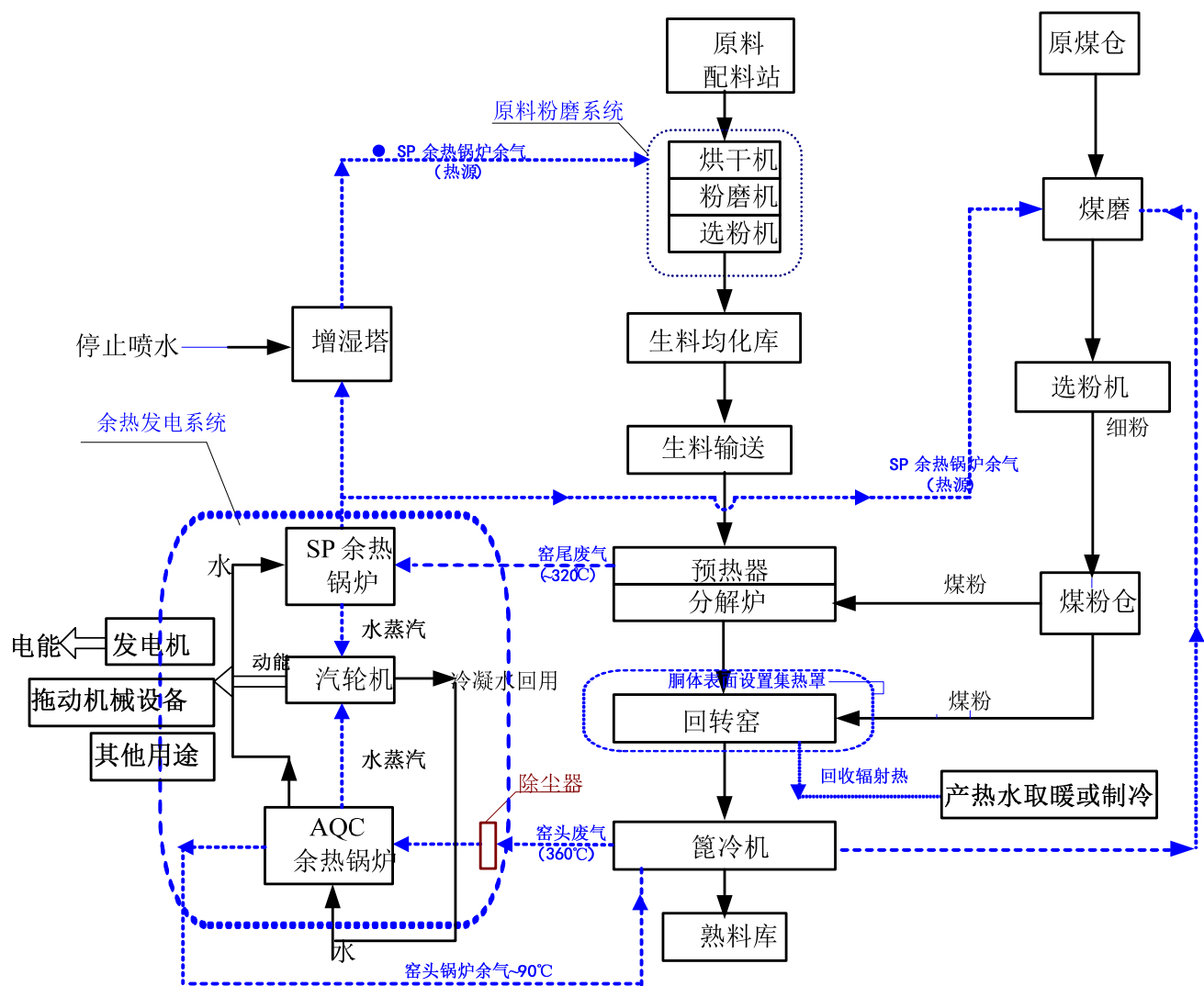


图 E.1 水泥生产线余热梯级利用系统图

2)、隧道式窑炉余热梯级利用案例

采用隧道窑生产砖瓦、陶瓷的过程中，坯体经过烧成带后温度达到 1000℃左右，进入冷却带由冷却空气回收大部分热量并产生热风，少量未释放出来的低品位热量随坯体送至窑体外自然散发。隧道窑冷却带分为急冷段、缓冷段和快冷段：急冷段冷却速度快、热风品位高；缓冷段为防止坯体开裂，冷却速度慢、热风品位较低；快冷段冷却速度快、热风品位低。

根据隧道窑冷却带的特性，按照余热“梯级利用”的原则，热风按品位进行高效利用：将冷却带 250℃以上的中、高温风，部分用作助燃风或加热助燃空气，部分用于余热锅炉生产蒸汽和热水，将 250℃以下的热风送入干燥窑用于干燥生坯。余热梯级利用方案如图 E.2 所示。对于煤炭企业超内燃的隧道窑，400kcal/Kg 以上的热量也能全部被对流换热式余热锅炉利用，这样还将有利于提高产量和产品的质量。根据实际需求，余热锅炉产生的水蒸汽优先选择供暖、制冷或洗浴等生活用热，然后再选择热电联供或其它用途；年产量在 1 亿块（折标）以上规模的砖瓦企业和日产量在 3 万平方米以上的建筑陶瓷生产企业选择热电联供的余热利用方案，节能和投资效益最佳；选择发电方案时，余热锅炉的蒸汽参数以 2.5～3.82MPa、400～450℃时的技术经济比较合理。

不论是在隧道式窑炉的高温带还是冷却带布置余热锅炉的换热装置，必须与硅酸盐制品对高温带烧成温度的严格要求和冷却过程再结晶的特性结合，否则会影响产品的质量。

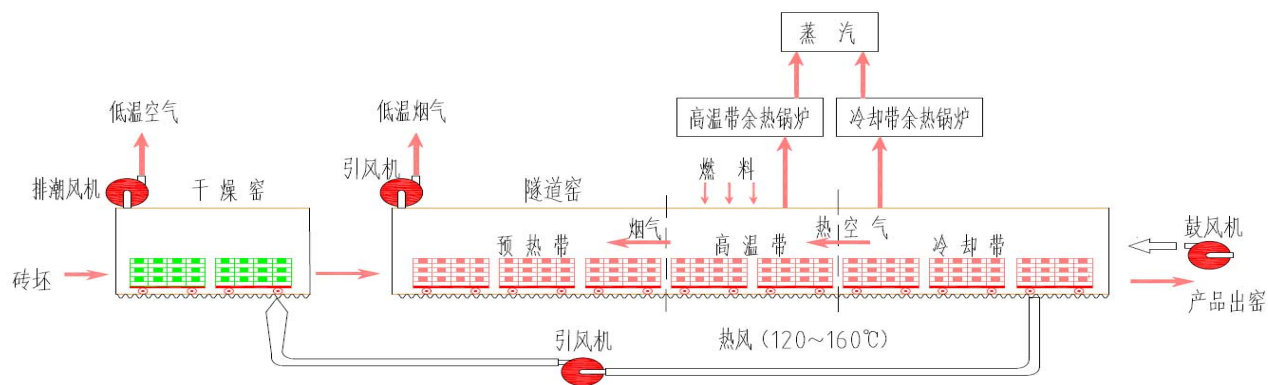


图 E.2 隧道式窑炉余热梯级利用系统图

附录 F

（资料性附录）

典型火电企业余热梯级利用总体思路与案例

火力发电是指通过燃烧煤炭、天然气、生物质等燃料，产生高温高压的水蒸气或燃气来驱动热功转换设备产生电力的过程。在此过程中，受限于热力学第二定律，热能不可能 100% 的转化为电能，所以会产生大量的余热资源。

火力发电行业的余热利用根据余热资源的品质来确定使用的回收设备及用途，总的原则是：

- （1） 余热资源的回收利用不能降低电厂供电效率；
- （2） 根据余热资源的特点及品质来确定余热资源的回收方式及用途；
- （3） 余热资源优先用于本企业的生产过程；
- （4） 余热资源的回收利用需综合考虑其经济性。

F.1 主要余热资源概况

- （1） 锅炉烟气余热：锅炉或余热锅炉排烟中所携带的热量；
- （2） 锅炉排渣余热：锅炉燃煤过程中所产生灰渣携带的热量，尤其是燃烧高灰分燃料的循环流化床锅炉排渣温度很高所携带的热量很大；
- （3） 汽轮机排汽余热：汽轮机排汽所携带的热量。

F.2 单项技术示例

- （1） 锅炉烟气余热：锅炉烟气余热回收可用于加热凝结水、供暖、制冷、海水淡化以及物料干燥等；
- （2） 锅炉排渣余热：锅炉排渣余热回收可用于加热凝结水、供暖、制冷等；
- （3） 汽轮机排汽余热：汽轮机排汽余热回收可用于供暖、保温等。

F.3 综合集成技术

综合火力发电过程中的锅炉送风流量、烟气流量、排烟温度、排渣量、排渣温度，汽轮机抽汽温度、排汽温度以及各级凝结水加热器的进出口水温，同时根据电厂供热或制冷负荷需求，或者是否有海水淡化、物料干燥等特殊需求，按照温度匹配原则选择合理的余热回收及利用方式，做到余热资源最大程度的利用。

F.4 余热资源梯级利用方法示例

对于燃气电站，需尽可能的降低排烟温度以回收烟气余热，甚至回收烟气中部分水蒸气的冷凝潜热，这样可减少汽轮机的供热抽汽流量，在保持供暖负荷不变的情况下多发电量，减少热能浪费，增加电厂效益。

对于燃煤火电机组，可能需要利用的余热资源有锅炉排烟、排渣余热以及汽轮机排汽余热。

锅炉排烟温度的选取需要综合考虑了烟气低温腐蚀、换热温差以及系统的经济性等因素后确定。但在某些情况下，比如燃煤含水量较高（燃用褐煤或煤泥）或者因为其他原因造成烟气流量过大，就会出现排烟温度过高的现象，此时即使进一步增加空预器的受热面，也不能有效的降低锅炉排烟温度，那么

降低锅炉的排烟热损失，就需要对锅炉的烟气余热进行利用；同时，如果锅炉排渣量大且温度较高，灰渣的余热资源也必须回收利用，如图 F.1 所示。

在图 F.1 中，根据温度匹配原则，从锅炉省煤器出来的烟气大部分流经空预器加热锅炉送风，同时分出一小部分热烟气经过高温换热器和中温换热器加热凝结水，高温换热器的凝结水取自给水泵出口，加热后与 1 号高加出口给水混合后进入省煤器，中温换热器的凝结水根据烟气酸露点的高低取自某级低压加热器出口，加热后进入除氧器。如果排烟温度还不能降至合理温度，需要在后面增加一个低温换热器，回收的热量用于供暖或制冷等。如果发电过程中需要干燥煤泥或褐煤等湿粘物料，可以从低温换热器进口处或其他部位抽取部分温度合适的烟气。对于大部分循环流化床锅炉机组，因底渣的总量较大且温度很高，所以需要利用冷渣机回收其携带的热量，该部分热量可以用来加热凝结水，也可以用于供暖或制冷等。

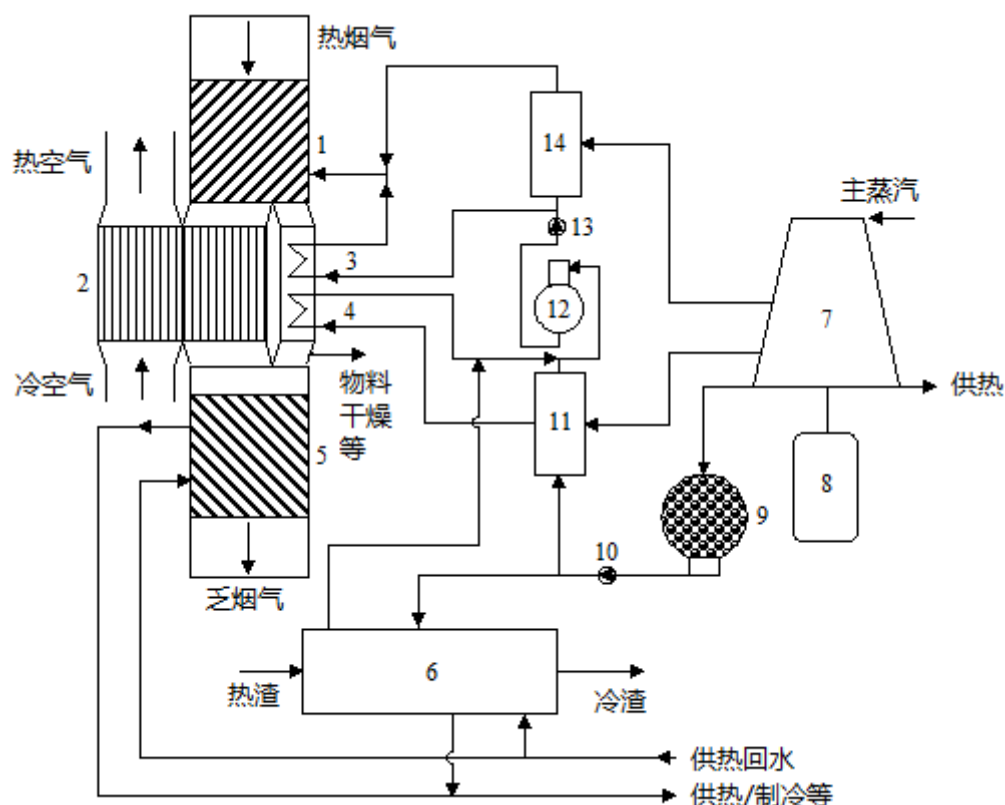


图 F.1 燃煤火力发电厂锅炉余热利用案例

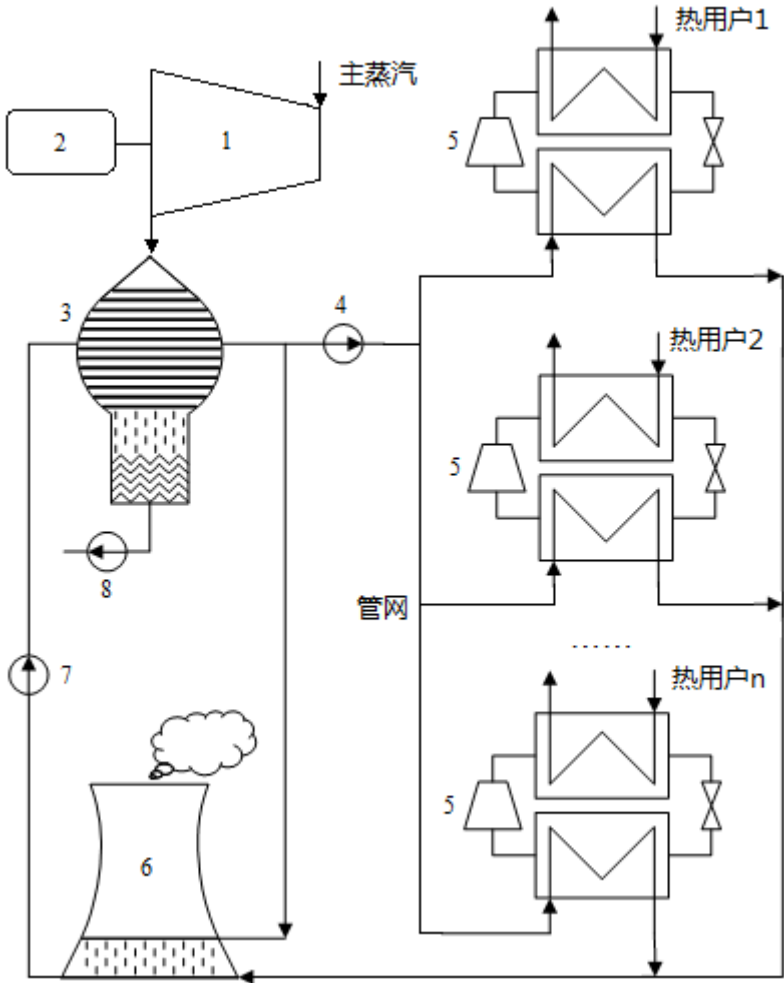
- 1、省煤器 2、空预器 3、高温换热器 4、中温换热器 5、低温换热器 6、冷渣机 7、汽轮机 8、发电机 9、凝汽器
10、凝结水泵 11、各级低压加热器 12、除氧器 13、给水泵 14、各级高压加热器

如果热力发电厂周围有较大的居民采暖负荷，则可以考虑充分利用汽轮机排汽余热进行供热，可以采用压缩式热泵或吸收式热泵利用汽轮机排汽余热进行供暖，如图 E.2 与 E.3 所示。

在图 F.2 中，由凝汽器出来的循环水一部分进入凉水塔，另一部分则进入供热管网。供热管网将循环水输送到各个热用户后，作为压缩式热泵的低温热源，由大型高效的压缩式热泵为热用户提供采暖热水，这样就可以替代汽轮机的采暖抽汽。循环水热量释放给压缩式热泵后输送回电厂，直接进入凝汽器或与凉水塔底部的冷水混合后进入凝汽器。由于循环水的温度较低，相同情况下，管网热损失大大减轻；当采用高效压缩式热泵时，热泵的耗电量总量将小于汽轮机增加的发电量，从而增加了整个系统的效能。该种采暖方式不影响汽轮机的调峰能力，同时汽轮机排汽的一部分热量用于采暖，所以凉水塔的散热负荷也显著降低，减少了冬季发电过程中的水资源消耗。

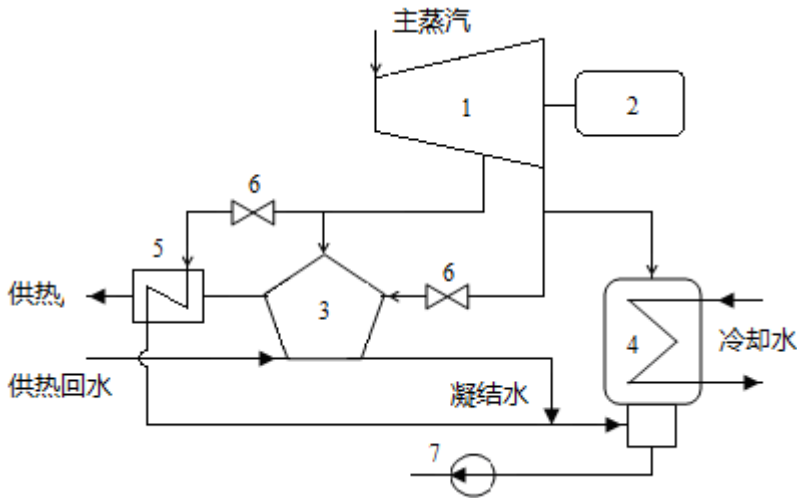
在图 F.3 中，汽轮机的抽汽作为吸收式热泵的驱动热源，从汽轮机排汽中吸收部分余热资源，供暖

回水被吸收式热泵加热后，如果温度不足，可以利用汽轮机抽汽进一步加热后提供给热用户。这样可以利用汽轮机采暖抽汽与供热管网热水之间的品位差，增加了机组的供热量。



F.2 热力发电厂汽轮机排汽余热利用案例 I

1、汽轮机 2、发电机 3、凝汽器 4、采暖泵 5、压缩式热泵 6、凉水塔 7、循环水泵 8、凝结水泵



F.3 热力发电厂汽轮机排汽余热利用案例 II

1、汽轮机 2、发电机 3、吸收式热泵 4、凝汽器 5、加热器 6、调节阀 7、凝结水泵