

海洋石油生产设施节能措施 案例汇编

阎洪涛◎主编

海洋石油生产设施 节能措施案例汇编

阎洪涛 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

《海洋石油生产设施节能措施案例汇编》以中海石油(中国)有限公司深圳分公司现场实施的节能减排项目为基础,对项目进行了梳理,并按照节能管理措施及节能改造措施进行了分类。节能管理措施部分由生产运行优化、资源节约及回收利用、东部海域三用船节能管理三类组成,节能改造措施由放空气回收、余热回收、设备改造及生产工艺优化四类组成,《汇编》中对措施的实施背景、具体改进内容及实施后的效果进行了详细介绍,可为同行业企业节能工作的开展及节能措施的实施提供经验借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

海洋石油生产设施节能措施案例汇编 / 阎洪涛主编.
—北京:中国石化出版社,2019.11
ISBN 978-7-5114-5587-1

I. ①海… II. ①阎… III. ①海上油气田-采油设备-节能-案例-中国 IV. ①TE952

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第263780号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)57512500

发行部电话:(010)57512575

http://www.sinopec-press.com

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

710×1000毫米16开本11印张195千字

2019年12月第1版 2019年12月第1次印刷

定价:58.00元

前 言

Preface

中国是目前世界上第一位能源消费国，能源供应为经济社会发展提供了重要的支撑。2016年，中国能源消费总量约为43.6亿吨标准煤，其中化石能源消费占比高达86.7%。能源消费的持续增长带来了一系列的环境问题，我国主要空气污染物的排放大大超过了环境承载能力，雾霾的发生和空气污染物的排放有直接关系。同时，能源的高消费带来了温室气体的高排放，温室气体对气候变化有决定性影响，而气候变化已成为国际关注的焦点。2015年6月30日，中国向《联合国气候变化框架公约》秘书处提交了应对气候变化国家自主贡献文件《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》，提出了具体的行动目标，对碳排放做出了承诺。面对能源消费增长过快、能源安全形势严峻、能源环境问题突出、生态环境压力增加等一系列问题，国家推出了一系列的措施，而节约能源是解决上述问题的重要措施之一，节约能源已成为中国经济社会发展长期而艰巨的战略任务。海洋石油行业是耗能大户，节约能源既是应担负的责任，又是增强自身发展动力、降本增效的保障，但海上设施地理环境特殊复杂、远离陆地、生产作业空间有限，因此相比陆地企业，海上设施开展能源节约工作难度很大，如何有效地开展节能工作，成为摆在海洋石油工作者面前的一道技术难题。

中国海油既是能源的消费者，同时又是能源的供应者，更加深刻地理解能源节约的重大意义。中国海油以绿色发展理念为导向，以实现节能目标为前提，以建立和完善管理体系为基础，以先进节能技术应用为抓手，以创新节能管理方式为突破，实施全员、全过程的节能

管理。同时，中国海油重视节能项目的实施，每年投入大量的资金，并通过先进节能技术的应用、节能技改项目的实施实现了节能降耗、降本增效的目的。中海石油(中国)有限公司深圳分公司(以下简称“深圳分公司”)积极响应国家及集团公司的号召，高度重视节能减排工作，推动全员树立节能理念，持续优化能源结构，大力推进节能措施的实施，以节能措施保障能源节约。深圳分公司对已实施的节能措施按照节能管理措施及节能改造措施进行了分类，节能管理措施由生产运行优化、资源节约及回收利用、东部海域三用船节能管理三类组成，管理措施并不需投入资金或只投入了较少的资金，但部分项目实施后产生的节能效果却非常明显。节能改造措施由放空气回收、余热回收、设备改造及生产工艺优化四类组成，改造措施则需要通过投入资金实现，大部分节能改造措施可实现较大的节能量，尤其对于放空气回收及余热回收措施，对于节约能源及降低污染物及温室气体排放可起到非常显著的作用。在完成集团公司及地方政府的节能指标上，大量节能措施的实施起到了决定性的作用，2010年至2018年期间，深圳分公司总计实现了10万多吨标准煤的措施节能量，出色地完成了集团公司及地方政府的节能任务。

为了进一步推动节能措施的实施，并为海上油气田生产设施在以后的节能措施发掘中提供经验，深圳分公司组织编写了《海洋石油生产设施节能措施案例汇编》。在编委会的总体安排下，本书由阎洪涛负责策划、总体构思和设计，阎洪涛担任主编；李锋、魏丛达进行全书的审核和修订，担任副主编。

本书在编写过程中得到了中国海油系统内及社会上的众多同行专家的鼓励和支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，本书难免存在不足之处，恳请广大读者不吝赐教，提出宝贵意见，以便在今后的修订中加以改进和完善。

目 录 <<<<

Contents

第一篇 节能管理措施汇编

1 生产运行优化	(3)
1.1 措施概况	(3)
1.2 措施应用情况	(4)
1.2.1 番禺 30-1 平台钻井模块向生产模块反向送电	(4)
1.2.2 番禺 34-1 平台 MRU 再生塔重沸器温度参数优化	(6)
1.2.3 荔湾 3-1 平台停产大修租用柴油发电机	(10)
1.2.4 珠海终端提高液态产品丙烷中丁烷含量, 降低 LPG 调和量	(13)
1.2.5 珠海终端循环水风冷塔运行时间调整	(14)
1.2.6 “南海盛开”号优化油轮储油舱运行温度参数	(16)
1.2.7 西江油田生产工艺参数调整	(17)
1.2.8 西江油田“海洋石油 115”FPSO 电伴热系统按区域分时段送电	(20)
1.2.9 西江油田作业区主发电机单机供电	(22)
1.2.10 番禺 5-1A 平台中央空调系统优化	(26)
1.2.11 恩平 18-1 平台生产加热器降低负荷运行	(29)
1.2.12 恩平 24-2 平台污油泵改变运转方式	(31)
1.2.13 “海洋石油 118”优化氮气空压机运行节能	(33)
1.2.14 陆丰 13-1 平台减少透平发电机运行时间	(36)
1.2.15 番禺 4-2A 老造氮空压机运行优化	(37)
1.2.16 “南海挑战”平台主海水系统在线运行水泵数量优化	(40)
1.2.17 “南海挑战”平台钻井水系统改造	(43)
1.2.18 陆丰 13-1 平台提高生产余热回收装置工作时率	(46)

1.2.19	基于长期低负载运行的 T70 透平参数优化	(48)
1.3	经验与总结	(51)
2	资源节约及回收利用	(53)
2.1	措施概况	(53)
2.2	措施应用情况	(53)
2.2.1	番禺 4-2B 平台降低压井柴油消耗优化与应用	(53)
2.2.2	高栏终端山泉水回收利用	(59)
2.2.3	西江油田收集空调冷凝水	(62)
2.2.4	恩平 23-1/18-1 平台直升机甲板雨水收集	(63)
2.2.5	恩平油田空调冷凝水收集	(64)
2.2.6	恩平海上平台优化压井节省柴油	(66)
2.2.7	陆丰油田降低避台期间压井作业柴油消耗	(67)
2.3	经验与总结	(72)
3	东部海域三用船节能管理	(73)
3.1	措施概况	(73)
3.2	措施应用情况	(73)
3.2.1	番禺油田船舶管理细化	(73)
3.2.2	后勤船舶精细化管理	(75)
3.2.3	海上系泊浮筒的使用	(79)
3.3	经验与总结	(84)

第二篇 节能改造措施汇编

1	放空气回收	(87)
1.1	措施概况	(87)
1.2	措施应用情况	(88)
1.2.1	珠海终端低压燃料气回收装置	(88)
1.2.2	流花油田群放空天然气回收	(92)
1.2.3	惠州 19-2 平台放空气回收发电	(95)
1.2.4	陆丰 13-2 平台小型燃气发电机节能项目	(97)
1.2.5	陆丰 7-2 油田双燃料发电机应用	(100)
1.3	经验与总结	(102)
2	余热回收	(103)
2.1	措施概况	(103)

2.2	措施应用情况	(104)
2.2.1	珠海终端外输压缩机加装余热回收装置	(104)
2.2.2	“海洋石油 115”FPSO 主机尾气余热利用	(107)
2.2.3	西江 24-3 平台与西江 30-2 平台生产水低温余热利用	(110)
2.2.4	“海洋石油 111”FPSO 主机尾气余热利用项目	(114)
2.3	经验与总结	(116)
3	设备改造	(118)
3.1	措施概况	(118)
3.2	措施应用情况	(119)
3.2.1	高栏终端 110kV 变电站无功补偿装置 SVG 整改	(119)
3.2.2	番禺 30-1 平台中压海水电潜泵换型	(121)
3.2.3	珠海终端公寓楼电热水系统太阳能改造	(122)
3.2.4	珠海终端照明系统节能改造	(124)
3.2.5	番禺 4-2B 平台海水系统改造	(126)
3.2.6	番禺油田原油外输泵叶轮改造	(128)
3.2.7	“南海盛开号”锅炉节能改造项目	(130)
3.2.8	西江 30-2 平台管线泵降级改造	(131)
3.2.9	“南海胜利”更换锅炉水管, 增加热力除氧装置改造	(134)
3.3	经验与总结	(135)
4	生产工艺优化	(137)
4.1	措施概况	(137)
4.2	措施应用情况	(138)
4.2.1	番禺 34-1 平台更换燃料气压力调节阀 PV-3109	(138)
4.2.2	高栏终端增加循环水旁滤罐和反洗水装置	(140)
4.2.3	番禺油田 FPSO 惰气系统改造	(143)
4.2.4	番禺油田电力联网优化发电机组运行	(146)
4.2.5	西江油田“海洋石油 115”锅炉尾气下舱	(148)
4.2.6	西江油田主机燃油增加闪蒸装置改造	(151)
4.2.7	恩平“海洋石油 118”FPSO 闪蒸系统优化冷却工艺	(153)
4.2.8	恩平 23-1 平台生产和钻井公用气互供	(155)
4.2.9	陆丰 13-2DPP 闪蒸设备节能改造	(158)
4.3	经验与总结	(159)
	参考文献	(161)

第一篇

节能管理措施汇编

- 1 生产运行优化
- 2 资源节约及回收利用
- 3 东部海域三用船节能管理

1 生产运行优化

1.1 措施概况

海上生产设施由生产工艺设施及公用系统设施组成。生产工艺设施主要包括平台、FPSO 及陆地终端的原油处理系统、生产水处理系统、天然气处理系统等，天然气处理系统由脱水、脱碳等单元组成；对于天然气终端，可能存在 LPG 系统和凝析油系统。公用系统设施主要包括冷却系统、仪表风系统、热介质系统、空调及冷藏系统、淡水系统、柴油系统、惰气发生系统、发电及输配电系统等。

各系统在运行过程中，存在大量的运行优化空间，生产人员可通过调整系统运行状况，优化生产过程，降低生产设施能源消耗，提高生产效益。系统存在运行优化空间的原因如下：(1)运行工况与设计存在偏差。海上生产地质条件和地理环境十分复杂，导致生产设施投产后，各系统运行工况与设计运行工况存在较大偏差，设计运行工况是设计工程师经过优化评估后的结果，实际运行工况现场人员一般根据经验进行逐步调整，因此，实际运行工况未必处在最优化状态，需要现场人员不断对生产工况进行分析、判断，对生产过程进行优化，找到最佳的运行工况。(2)生产设施在运行过程中，由于地质条件变化、设备老化、平台改造等因素，运行工况需随之调整，调整之后运行工况一般很难处在最佳运行状态，因此，需要对调整后运行工况进行分析及优化，重新确定最佳运行工况。

生产运行优化一般可通过以下几种思路实现：(1)参数调整。参数调整指对生产工艺设施或公用系统设施运行参数进行调优，如优化运行温度、压力，或设备运行时间。(2)流程优化。流程优化指在对工艺流程不进行改造或较小改造的情况下，通过对工艺流程部分单元的切换或切出，实现生产工况的优化，降低生产过程能源消耗。(3)设备运行调整。生产过程中设备处于“大马拉小车”运行状况，若工艺流程中存在多台设备并联，则考虑通过调整负荷对部分设备进行关停；若只有单台设备，则考虑利用空闲小功率设备进行替换，实现减小设备运行功率的目的，降低设备能源消耗。

深圳分公司非常重视生产运行优化，从平台一线操作人员至平台管理人员，不断对现有生产工况进行思考、分析，提出了很多建设性意见，大部分意见经过认证讨论，得到了一致认可，并在现场进行了实施。

1.2 措施应用情况

1.2.1 番禺 30-1 平台钻井模块向生产模块反向送电

一、背景

番禺 30-1 平台生产期间采用透平发电机(5300kW, 3.3kV)供电, 钻井模块在无钻井作业时, 由生产模块通过钻井变压器(3.3kV/600V, 3000kVA)将 3.3kV 降压至 600V 供给钻井配电盘(顺向送电)。平台停产期间, 由于平台实际负载(1200kW)比较低, 透平发电机采用燃油模式时油耗高, 且经济性能差, 而且对燃油质量要求高。钻井模块在钻井期间 4 台钻井柴油发电机(1200kW, 600V)为钻井模块单独供电, 钻井柴油发电机燃烧效率高, 油耗低, 功率可调范围宽。

二、改进措施

透平发电机采用燃油模式时效率低, 而钻井柴油发电机燃烧效率高, 因此对平台供电系统进行改进, 使用钻井柴油发电机替代透平发电机为平台供电, 将钻井柴油发电机所输出的电能, 利用钻井配电盘, 通过钻井变压器(3.3kV/600V, 3000kVA)将 600V 升压至 3.3kV 供给生产配电盘, 实现电能的反向传输, 从而为整个平台提供动力。

钻井变压器(3.3kV/600V, 3000kVA)为普通树脂干式变压器, 连接形式为 D/d0, 可以反向使用。平台配电盘主回路电缆及母排设计为 4000A/400V(630A/3300V)载容量, 反送电期间负荷只有 800kW, 可以满足使用要求。

项目具体实施过程如下:

1. 保护信号校对和改造

通过查找资料和图纸, 校对平台生产配电盘、钻井配电盘、火气系统、应急关断系统, 发现原设计保护可以满足反送电需求:

- (1) 变压器两侧的高、低压开关可以实现连锁跳闸;
- (2) 钻井发电机、机房、变压器房的火气和应急关断系统可以实现全覆盖;
- (3) VCB106 开关的 ESD 信号虽未接入, 但可以通过钻井模块、钻井发电机的 ESD 信号动作, 使 VCB106 开关失压跳闸。

2. 电气控制回路改造

平台原设计只允许生产模块向钻井模块顺向送电, 所以合、分闸信号均为连锁信号, 开关合闸顺序无法直接反向, 即 ACB1 和 VCB106 开关均缺少合闸电源。于是对两个配电盘的控制回路进行了如下改造:

- (1) 低压盘改造方案: 钻井 600V 配电盘设置合闸电源选择开关, 引入母线

电源，实现正向送电和反向送电合闸操作电源的切换；

(2) 中压盘改造方案：在 VCB106 控制面板上加装一个旁路开关，将试验位的 UPS 电源作为合闸电源；

(3) 零序保护：根据实际试验情况，如有必要，选择性退出零序保护。

3. 钻井变压器及配电盘检查

对钻井变压器进行年检校验，紧固连接电缆，并对温控器进行保护测试，均满足要求。

对钻井配电盘进行检查，对 5 台主开关进行年检校验，4 台满足要求；3#发电机出口开关故障，予以送修。

4. 钻井发电机检查

由厂家对 4 台发电机进行年检，并对保护和控制回路进行测试，1#/2#/4#发电机均满足使用要求，3#发电机存在一定的问题，不予使用。

5. 生产模块配电盘检查

对生产模块中压盘 VCB106 开关柜进行检查，核对综保参数及功能测试，检查互感器接线和主回路线路状态，测试高、低压开关跳功能，均满足反送电要求。

6. 空载试验

2017 年 9 月 25 日先后进行了多次空载合闸测试，包括发电机单机在线模式下的反送电合闸和发电机双机并网模式下的反送电合闸。最终总结出反送电操作流程如下：

- (1) 启动 1#发电机，ACB2 开关合闸送电至 600V 母排；
- (2) 启动 2#发电机，自动并车合闸 ACB3 开关，双机并网运行；
- (3) 快速合闸 ACB1 开关，给 600/3300V 变压器送电；
- (4) 快速解列其中一台发电机，退出 600V 母排，保持单机在线；
- (5) 合闸送电钻井 600/400V 变压器，启动钻井辅助设备；
- (6) 合闸中压盘开关 VCB106，送电至生产模块中压盘 MB 段；
- (7) 在中压盘对平台主变进行投入，再投入相应负载；
- (8) 根据实际负载大小情况，确定是否再投入一台发电机并机或退出。

7. 带载测试

2017 年 09 月 27 日开始进行反送电带载测试：

钻井发电机机组启机约 9h，带载测试约 8h，基本负荷 400kW 左右，最高冲击负荷约 810kW。期间发电机、变压器、应急发电机、中低压盘均运行正常；除了中压盘 MA 段上 3.3kV 海水提升泵没有反送电测试外，平台电力系统其他环节

均进行了反送电电源的测试。

带载测试过程中没有发现异常，反向运行的钻井变压器温度和正向运行时温度接近，没有出现严重发热现象。

8. 试运行

通过和 400V 海水泵换型项目配合，自 2017.10.5 开始试运行一周，平台供电电源由透平发电机切换至钻井发电机。经测试日常基本负荷在 600kW 左右，高峰期负荷在 800kW 左右，电力系统运行平稳，供电可靠。

9. 反送电项目实施

自 2017.10.5 开始，至 2018.02.05 结束，平台复产项目期间实行反送电运行；钻井发电机运行平稳，电力系统运行平稳，供电可靠。

三、效果评价

1. 经济效益

反送电节能实施后，大幅节约了发电用柴油消耗。经测算，该项目和海水泵换型项目同时实施后发电柴油油耗由原 $17\text{m}^3/\text{d}$ 降低到 $4\text{m}^3/\text{d}$ ，每天可以节约柴油 13m^3 ，累计可以节约柴油 1600m^3 （扣除海水泵换型的柴油节约量，本项目统计期内节约柴油 1492m^3 ），项目统计期内节约标煤 2173.4tce；节约费用约 735.4 万元。该供电方案有效降低能耗，节能效益明显，大幅降低碳排放，经济效益显著。

2. 供电效益

反送电改造成功后，除主发电机和应急发电机两套电源外，为平台电力系统增加了一套备用电源，在停产、大修期间可以有效减小平台停电几率。

1.2.2 番禺 34-1 平台 MRU 再生塔重沸器温度参数优化

一、背景

番禺 34-1 中心平台主要开采番禺 34-1 气田、番禺 35-1 气田及番禺 35-2 气田，其中番禺 35-1/35-2 气田采用水下生产模式进行开采。在海管输送过程中需要加入贫乙二醇来抑制水合物的形成，MRU（乙二醇回收系统）将返回到平台的富乙二醇进行回收处理。

MRU 由预闪蒸、预处理、脱水再生和脱盐闪蒸四个单元组成，其中脱水再生单元作为 MRU 的核心部分，利用重沸器对富乙二醇进行升温至 132°C ，随后在再生塔中蒸馏出大部分水分，最终将富乙二醇提纯为含水低于 20% 的贫乙二醇。

番禺 34-1 平台配备了两套功率为 9000kW 的废热/补燃装置（WHRU），

单套 WHRU 中透平(全负荷)尾气提供 4500kW 热量,补燃系统(全负荷)提供 4500kW 热量。在废热提供热量不满足生产工艺需求时,可以通过燃料气补燃对热媒油补充加温。通过废热回收单元热媒油被加热到 220℃ 后供给各热介质用户,其中重沸器是最大的热媒用户。热媒加热系统组成及工艺流程如图 1-1-1 所示。

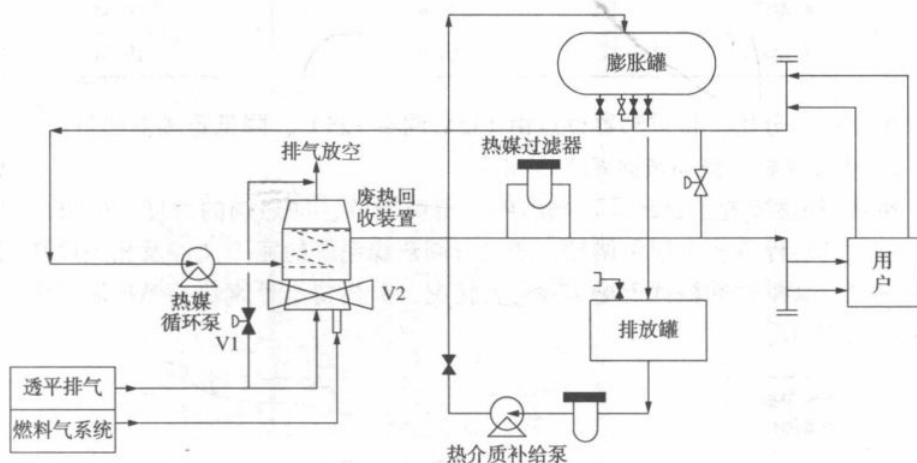


图 1-1-1 热媒系统流程简图

MRU 投产初期的处理量即大于 $3\text{m}^3/\text{h}$, 此时为维持再生塔重沸器的正常运行, 需要启动补燃模式才能维持热媒系统至工作温度。但补燃系统启动后存在如下问题: 一是需额外消耗燃料气, 二是部分透平废热通过旁通阀直接将尾气中的热量排掉造成浪费, 未能做到资源的节约及合理使用。

二、改进措施

为降低燃料气消耗, 同时充分利用透平尾气余热, 平台对 MRU 工艺及废热利用系统的操作进行了详细研究, 对操作参数进行了逐步调整, 于 2015 年 9 月完成了操作的优化, 从而降低了燃料气的消耗。具体优化步骤如下:

1. 优化生产参数, 降低用户热量需求

根据 MRU 厂家推荐, 重沸器温度设定值为 132°C , 实际生产中通过数据分析发现, 当富乙二醇含水率 70% 左右时, 再生塔贫乙二醇侧塔底温度达到 123°C 以上, 即可生产出含水合格的贫乙二醇。

根据前期的生产经验, 在保证再生塔贫乙二醇侧塔底温度 123°C 以上的前提下, 逐渐降低重沸器的操作温度, 发现当操作温度设定值为 125°C 左右, 再生塔贫乙二醇侧塔底温度可保持在 123°C 以上, 且脱水后的贫乙二醇含水低于 20%, 如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 再生塔贫 MEG 侧塔底温度与贫 MEG 含水率关系

再生塔入口富 MEG 含水率/%	再生塔贫 MEG 侧塔底温度/℃	再生单元出口贫 MEG 含水率/%
70 左右	115.0	28.48
70 左右	120.0	22.41
70 左右	121.5	21.94
70 左右	123.6	19.94
70 左右	125.0	19.64

根据以上分析，将重沸器设点由 132℃ 调至 125℃，降低重沸器热量需求。

2. 修改逻辑，提高废热尾气利用率

废热/补燃装置主要涉及补燃启停及负荷调节、加热阀的开度、中央风机启停、装置的启停等多个回路调控。通过查阅热媒系统的完工文件及相关废热回收的控制逻辑文献，并根据现场实际运行情况，分析得出了废热补燃控制逻辑，如图 1-1-2 所示。

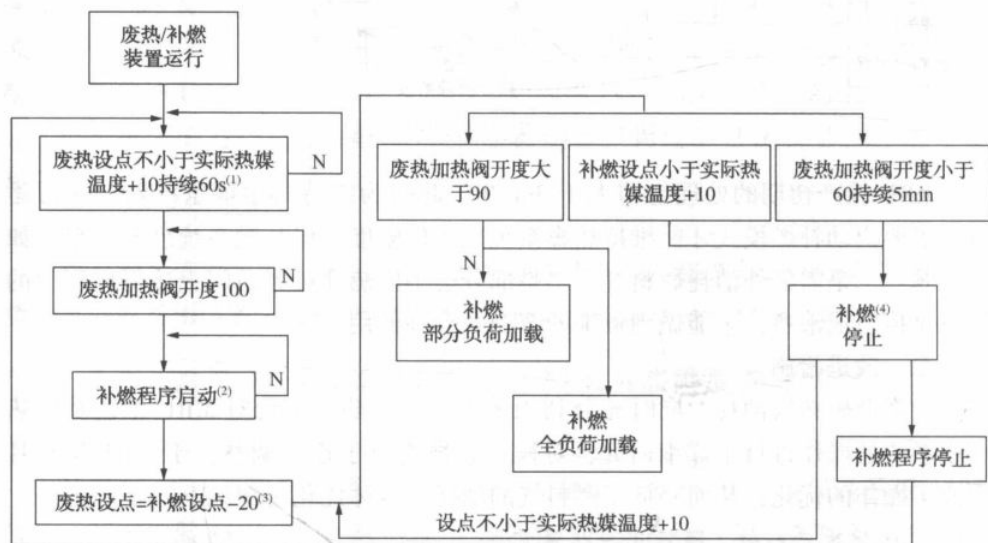


图 1-1-2 废热补燃控制逻辑图

注：(1) 实际热媒温度为废热/补燃装置出口处检测得到的热媒温度。

(2) 补燃程序启动时，补燃系统将进行自检测试程序，此时补燃附加系统(中央风系统)启动，测试合格后才进行点火过程。

(3) 当补燃启动后，之前设置的废热设点自动转换为补燃设点，同时废热设点自动下降 20℃。

(4) 补燃停止延迟 0.5h 后中央风系统停止，同时补燃程序停止。

通过图 1-1-2 可以得知，当补燃启动后废热设点自动降低 20℃，由于加热阀的开度受废热设点与实际热媒温度之间 PID 的运算影响，当废热设点在设点基

基础上降低 20℃ 后，由于补燃的运行使得实际热媒温度上升，此时通过 PID 的计算调节，加热阀将逐步关小，旁通烟板阀逐步开大。旁通烟板阀的开大将导致大量的尾气直接排掉，损失大量的热量。为此该项目攻关小组对逻辑进行了优化，通过计算后决定将废热的设点由减 20℃ 改为减 5℃，从而保证在补燃启动后，旁通烟板阀开度维持较大值。

图 1-1-3 为逻辑修改前后补燃启动后烟板阀开度情况。当逻辑修改后，补燃烟板阀开启得到了极大的改善，补燃启动后旁通烟板阀开度始终在 95% 以上，使得尾气的使用率大大提高。

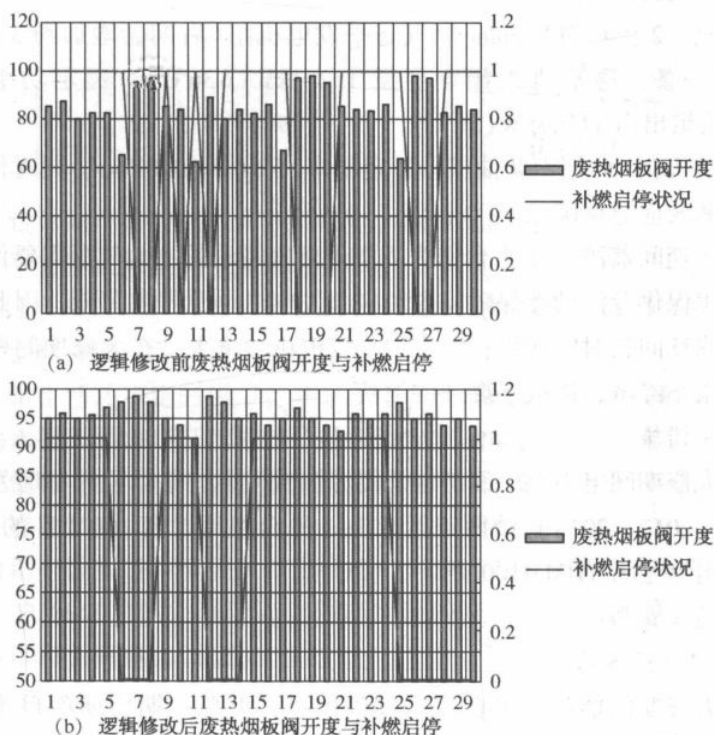


图 1-1-3 逻辑修改前后补燃启动后烟板阀开度情况

三、效果评价

操作优化完成后，重沸器的操作温度由设计的 132℃ 调低至 125℃，减少了热媒的消耗，同时废热利用率得到了提升，大幅降低了补燃燃料气的消耗。经测算，通过实施以上改进措施后，重沸器在 3m³/h 的处理量时，平均每天少启用 1 次补燃系统，平台每日天然气耗量由优化前的 4219m³ 下降至 3233m³，每天减少天然气用量约 1000m³，年节能量为 406.7tce。