

3000吨型合成氨厂 工艺和设备计算

上海市化学工业局设计室 编

化学工业出版社

3000吨型合成氨厂 工艺和设备计算

上海市化学工业局设计室编

化学工业出版社

内 容 提 要

本书主要以上海市化工局设计室1974年所作的3000吨型合成氨厂通用设计为基础,介绍了3000吨型合成氨厂工艺和设备计算。

工艺计算部分是按生产工序分别介绍了物料、热量衡算及主要设备的工艺计算。所采用的数据、公式和计算方法主要参考《小氮肥厂工艺设计手册》一书。其中氨合成塔触媒筐温度和氨浓度的分布是用电子计算机计算的,书中给出了计算依据的数学模型、计算公式、程序的框图和计算结果等。

设备计算部分主要介绍了变换炉、饱和热水塔、冷凝塔、碳化塔、合成塔和冷、热交换器等设备的强度和稳定性校核计算。

本书可与《小氮肥厂工艺设计手册》配合使用,供氮肥工业战线从事小型氮肥厂设计、生产的技术人员、工人学习和使用,也可供大专院校无机专业师生参考。

3000吨型合成氨厂工艺和设备计算

上海市化学工业局设计室编

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $18 \frac{1}{2}$ 插页1 字数442千字印数1—14,450

1979年10月北京第1版1979年10月北京第1次印刷

书号15063·3067定价1.95元

限国内发行

前 言

为适应小氮肥厂生产和挖潜技改的需要，我们编写了《3000吨型合成氨厂工艺和设备计算》一书，供小氮肥厂技术人员、工人参考。

本书是以上海市化工局设计室1974年作的3000吨型合成氨厂 VSH-XB 版通用设计为基础，分工艺计算篇和设备计算篇两部分，介绍了3000吨型合成氨厂的工艺和设备计算。现有几点说明如下：

一、工 艺 计 算 篇

1. 原料为碳化煤球，采用铜洗流程，产品为碳酸氢铵。设备能力按年产5000吨合成氨来平衡，即每小时氨产量为0.68吨。

2. 以《小氮肥厂工艺设计手册》（书中简称《手册》）为主要参考资料。凡引自该《手册》的计算公式与数据，均已分别注明（资料的原始来源，详见《手册》）；而引自其他参考资料的计算公式与数据，则已在计算中分别注明或在各章后另附资料来源。

3. 设备工艺计算是结合 VSH-XB 版设备复核进行的，故计算中的工艺参数虽然一般是在常用范围之内，但不一定都是最佳数据，请使用时注意。

4. 物料衡算过程，先是进行全厂性的计算，然后各工段分头进行计算。由于计算误差，造成某些工段间气体成份略有出入，但误差甚小，故不再调整。误差所在之处及误差程度均在有关工段分别加以说明。

二、设 备 计 算 篇

1. 本篇对九个有代表性的设备进行了强度和稳定性校核。计算时以第一机械工业部、石油化学工业部的《钢制石油化工压力容器设计规定》（1978年版）为主要依据。

2. 本篇为校核性计算，由于这次校核时采用的计算依据和 VSH-XB 版设备设计时的计算依据不同，又由于 VSH-XB 版中部分设备套用老版图纸，校核计算结果，某些零部件的计算应力数据低于新规定的推荐值；另外，个别零部件材料机械性能数据，根据实际情况采用了施工用材的实际数据，又高于新规定的推荐值。

3. 校核计算中采用的壁厚附加量，未特别注明者，均用附录中数据。

4. 循环机仅作传动和热力计算，列于附录。

在编写过程中，得到了有关单位的大力支持，谨此致谢！

由于我们水平有限，调查研究也不够充分，错误在所难免，敬望批评指正。

编者

目 录

第一篇 工艺计算

第一章 造气系统工艺计算	1
一、物料及热量衡算.....	1
二、主要设备工艺计算.....	19
(一) 空气鼓风机.....	19
(二) 煤气发生炉.....	19
(三) 废热锅炉.....	20
(四) 洗气箱.....	25
(五) 洗气塔(空塔喷淋塔).....	27
第二章 脱硫系统工艺计算	30
一、物料及热量衡算.....	30
二、主要设备工艺计算.....	34
(一) 除尘塔.....	34
(二) 脱硫塔.....	35
第三章 加压变换系统工艺计算	40
一、物料及热量衡算.....	40
二、主要设备工艺计算.....	61
(一) 变换炉.....	61
(二) 第一热交换器.....	67
(三) 饱和塔.....	71
(四) 热水塔.....	78
(五) 第二热交换器.....	85
(六) 第一水加热器.....	89
(七) 第二水加热器.....	92
(八) 冷凝塔.....	101
第四章 碳化系统工艺计算	110
一、物料及热量衡算.....	110
二、主要设备工艺计算.....	121
(一) 主碳化塔.....	122
(二) 尾气洗涤塔.....	123
(三) 吸氨冷却排管.....	126
(四) 清洗塔.....	126
第五章 压缩系统工艺计算	128
第六章 精炼系统工艺计算	135
一、物料及热量衡算.....	135

二、主要设备工艺计算	144
(一) 铜洗塔	144
(二) 铜液再生塔	150
(三) 铜液水冷器	159
(四) 铜液氨冷器	161
第七章 合成系统工艺计算	164
一、物料及热量衡算	164
二、主要设备工艺计算	180
(一) 水冷器	180
(二) 冷交换器	186
(三) 一级氨冷器	189
(四) 二级氨冷器	192
(五) 合成塔	194

第二篇 设备计算

第八章 中低压设备	212
一、变换炉	212
二、饱和热水塔	222
三、冷凝塔	230
四、第一热交换器	232
五、第二热交换器	240
六、碳化塔	252
七、液氨贮槽	255
第九章 高压设备	260
一、合成塔	260
二、冷交换器	275

附录

一、3000吨型合成氨厂概略生产流程图	插图
二、全厂气体平衡表	283
三、设备一览表 (V SH-XB版)	284
四、循环机传动和热力计算	286
五、壁厚附加量	290

第一篇 工 艺 计 算

第一章 造气系统工艺计算

计算说明:

1. 原料采用碳化煤球。
2. 基本数据主要是参照福建省永春化肥厂、福建省长泰化肥厂、广西壮族自治区武鸣化肥厂及煤炭科学研究院的实测结果,并作了适当调整。
3. 加氮方法是采用上吹加氮,即开始上吹的同时,吹风阀暂不关闭,继续由空气管路向炉内送空气,一并回收到系统中去。加氮时间可根据半水煤气成份要求随时调整。显然,这种方法不如上、下吹全过程均匀加氮的效果好,但简单方便,亦可满足生产需要。为简化计算,按照蒸汽吹送阶段上吹为均匀加氮来进行计算。

一、物料及热量衡算

计算基准: 100公斤入炉碳化煤球 (湿基)。

(一) 已知数据

1. 燃料组成及热值

成 份	C	H	O	N	S	A	W	CO ₂ (V)	合 计
重量% (湿)	56	0.93	1	0.55	0.94	28.26	3.62	8.7	100
重量% (干)	58.10	0.96	1.04	0.57	0.98	29.32	0	9.03	100

注: CO₂ (V)——原煤中的碳酸盐以及制造煤球时加入石灰和碳化后形成的CaCO₃在高温下全部分解出的CO₂;
A——灰份;
W——水份;
高热值Q₀=5020千卡/公斤。

2. 吹风气组成

成 份	H ₂	CO	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	合 计	H ₂ S
体积% (干)	1.46	6.96	16.59	0.40	74.25	0.34	100	1.23克/标准米 ³

3. 水煤气组成 (上吹加氮)

名 称	成 份, 体积% (干)							H ₂ S, 克/标准米 ³
	H ₂	CO	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	合 计	
水 煤 气	42.59	24.70	13.99	0.40	17.06	1.26	100	2.05
上行煤气	36.49	22.35	13.99	0.40	25.51	1.26	100	2.05
下行煤气	54.77	29.39	13.99	0.40	0.19	1.26	100	2.05

4. 飞灰组成

成份	C	S	A	CO ₂ (V)	合计
重量%	53	0.7	39	7.3	100

5. 炉渣组成

成份	C	SO ₃	A	CO ₂ (V)	合计
重量%	14	3.36	78.64	4	100

6. 各物料进出炉温度

燃料 28℃

空气 28℃ 湿度 83%

蒸汽 1 公斤/厘米² (表压) 饱和蒸汽 $i = 646.9$ 千卡/公斤

吹风气 450℃

上行煤气 450℃

下行煤气 150℃

飞灰 450℃

炉渣 150℃

7. 循环时间 (上吹加氮)

操作程序	吹 风	上 吹	下 吹	二次上吹	吹 净	合 计
时间, %	19	32	40	6	3	100
时间, 秒	34.2	57.6	72	10.8	5.4	180

8. 飞灰量: 飞灰重量 5 公斤

其中 C	$0.5300 \times 5 = 2.6500$ 公斤	CO ₂	$0.0730 \times 5 = 0.3650$ 公斤
S	$0.0070 \times 5 = 0.0350$ 公斤		
A	$0.3900 \times 5 = 1.9500$ 公斤	合计	5.0000 公斤

9. 炉渣量

$$\text{炉渣重量} = \frac{28.2600 - 1.9500}{0.7864} = 33.4563 \text{ 公斤}$$

其中 C	$0.1400 \times 33.4563 = 4.6839$ 公斤	CO ₂	$0.0400 \times 33.4563 = 1.3383$ 公斤
SO ₃	$0.0336 \times 33.4563 = 1.1241$ 公斤		
A	$0.7864 \times 33.4563 = 26.3100$ 公斤	合计	33.4563 公斤

10. 燃料各组份损失于飞灰和炉渣中之总重量

C $2.6500 + 4.6839 = 7.3339$ 公斤 A $1.9500 + 26.3100 = 28.2600$ 公斤O $1.1241 \times \frac{48}{80} = 0.6745$ 公斤 CO₂ $0.3650 + 1.3383 = 1.7033$ 公斤S $0.0350 + 1.1241 \times \frac{32}{80} = 0.4846$ 公斤 合计 38.4563 公斤

11. 燃料气化后进入吹风气和水煤气中各元素的量

C $56.0000 - 7.3339 = 48.6661$ 公斤H $0.9300 + 3.6200 \times \frac{2}{18} = 1.3322$ 公斤

N 0.5500 公斤

O $1.0000 + 3.6200 \times \frac{16}{18} - 0.6745 = 3.5433$ 公斤S $0.9400 - 0.4846 = 0.4554$ 公斤

$$\text{CO}_2 \quad 8.7000 - 1.7033 = 6.9967 \text{ 公斤}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 中 C} \quad 6.9967 \times \frac{12}{44} = 1.9082 \text{ 公斤}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 中 O} \quad 6.9967 \times \frac{32}{44} = 5.0885 \text{ 公斤}$$

$$\text{合计} \quad 61.5437 \text{ 公斤}$$

(二) 空气吹风阶段计算

1. 物料衡算

(1) 每标准米³吹风气中所含元素量

$$\text{C} \quad \frac{12}{22.4} \times (0.0696 + 0.1659 + 0.0034) = 0.1280 \text{ 公斤}$$

$$\text{H} \quad \frac{2}{22.4} \times (0.0146 + 0.0034 \times 2) + 1.23 \times \frac{1}{1000} \times \frac{2}{34} = 0.001983 \text{ 公斤}$$

$$\text{O} \quad \frac{32}{22.4} \times (0.0696 \times 0.5 + 0.1659 + 0.0040) = 0.2924 \text{ 公斤}$$

$$\text{N} \quad \frac{28}{22.4} \times 0.7425 = 0.9281 \text{ 公斤}$$

$$\text{S} \quad 1.23 \times \frac{1}{1000} \times \frac{32}{34} = 0.001158 \text{ 公斤}$$

$$(2) \text{ 由碳平衡计算吹风气产量} \quad \frac{48.6661 + 1.9082}{0.1280} = 395.11 \text{ 标准米}^3$$

$$(3) \text{ 由氮平衡计算空气需用量} \quad \frac{395.11 \times 0.9281 - 0.5500}{0.79 \times \frac{28}{22.4}} = 370.79 \text{ 标准米}^3$$

(4) 空气中水汽含量

空气温度28℃, 相对湿度83%, 由《手册》附图1-4-1查得空气中水汽含量为0.019 公斤/公斤干空气。

$$370.79 \times \frac{29}{22.4} \times 0.019 = 9.1208 \text{ 公斤}$$

(5) 氢平衡

进项	燃料带入氢	1.3322 公斤
----	-------	-----------

	空气中水汽含氢	$9.1208 \times \frac{2}{18} = 1.0134 \text{ 公斤}$
--	---------	--

	合计	2.3456 公斤
--	----	-----------

出项	吹风气含氢	$0.001983 \times 395.11 = 0.7835 \text{ 公斤}$
----	-------	--

	吹风气中水汽含氢 (差额)	1.5621 公斤
--	---------------	-----------

	合计	2.3456 公斤
--	----	-----------

	吹风气中水汽含量	$1.5621 \times \frac{18}{2} = 14.0589 \text{ 公斤}$
--	----------	---

	吹风气中水汽含量	$\frac{14.0589}{395.11} = 0.0356 \text{ 公斤/标准米}^3 \text{ 吹风气}$
--	----------	--

(6) 氧平衡

进项 燃料带入氧 $3.5433 + 5.0885 = 8.6318$ 公斤

空气中含氧 $370.79 \times 0.21 \times \frac{32}{22.4} = 111.2370$ 公斤

空气中水汽含氧 $9.1208 \times \frac{16}{18} = 8.1074$ 公斤

合计 127.9762 公斤

出项 吹风气含氧 $395.11 \times 0.2924 = 115.5302$ 公斤

吹风气中水汽含氧 $14.0589 \times \frac{16}{18} = 12.4968$ 公斤

合计 128.0270 公斤

误差 $\frac{128.0270 - 127.9762}{127.9762} \times 100\% = 0.04\%$

(7) 硫平衡

进项 燃料带入硫 0.4554 公斤

合计 0.4554 公斤

出项 吹风气含硫 $395.11 \times 0.001158 = 0.4575$ 公斤

合计 0.4575 公斤

2. 热量衡算

(1) 进项

① 燃料发热量 $5020 \times 100 = 502000$ 千卡

② 燃料显热 $0.24 \times 100 \times 28 = 672$ 千卡

式中 0.24——燃料比热, 千卡/公斤·℃ (由杨学圃编《发生炉气及水煤气工学》估算得出)

③ 空气显热 $0.311 \times 370.79 \times 28 = 3229$ 千卡

式中 0.311——空气的平均热容, 千卡/标准米³·℃ (由《手册》附图1-5-10查得)

④ 空气中水汽热焓 $607.9 \times 9.1208 = 5545$ 千卡

式中 607.9——28℃时饱和蒸汽热焓, 千卡/公斤

合计 511446 千卡

(2) 出项

① 吹风气发热量 $292.002 \times 395.11 = 115373$ 千卡

式中 292.002——吹风气热值

由《手册》表1-3-1查得各气体组份的发热量, 从下式算得:

$$\text{吹风气热值} = 3050\text{H}_2 + 3020\text{CO} + 9520\text{CH}_4 + 6140\text{H}_2\text{S}$$

式中 H_2 、 CO 、 CH_4 ——各气体组份的体积百分数;

H_2S ——体积, 标准米³。

$$\begin{aligned} \text{吹风气热值} &= 3050 \times 0.0146 + 3020 \times 0.0696 + 9520 \times 0.0034 \\ &\quad + 6140 \times 0.0008 = 292.002 \text{ 千卡/标准米}^3 \end{aligned}$$

其中 0.0008由下式算得:

$$1.23 \times \frac{22.4}{34} \times \frac{1}{1000} = 0.0008 \text{ 标准米}^3$$

② 吹风气显热 $0.343 \times 395.11 \times 450 = 60985 \text{ 千卡}$

式中 0.343——吹风气的平均热容, 千卡/标准米³·℃

由《手册》附图1-5-9~17查得各气体在0~450℃的恒压平均分子热容, 从下式算得:

$$\begin{aligned} \text{吹风气平均热容} = & (6.99\text{H}_2 + 7.14\text{CO} + 10.55\text{CO}_2 + 7.43\text{O}_2 + 7.09\text{N}_2 \\ & + 11.11\text{CH}_4 + 8.84\text{H}_2\text{S}) \times \frac{1}{22.4} \end{aligned}$$

其中 H₂、CO、CO₂、O₂、N₂、CH₄——各气体组份的体积百分数;

H₂S——体积, 标准米³。

$$\begin{aligned} \text{吹风气平均热容} = & (6.99 \times 0.0146 + 7.14 \times 0.0696 + 10.55 \times 0.1659 \\ & + 7.43 \times 0.0040 + 7.09 \times 0.7425 + 11.11 \times 0.0034 \end{aligned}$$

$$+ 8.84 \times 0.0008) \times \frac{1}{22.4} = 0.343 \text{ 千卡/标准米}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

③ 吹风气中水汽热焓 $808.1 \times 14.0589 = 11361 \text{ 千卡}$

式中 808.1——450℃时过热蒸汽热焓, 千卡/公斤

④ 飞灰发热量 $4390 \times 5 = 21950 \text{ 千卡}$

式中 4390——飞灰的高热值, 千卡/公斤

由《手册》式 (1-2-11)

$$Q_G = K_{OG} - 80W - 90A$$

其中 K_{OG}——常数, 飞灰中的可燃基氢含量H'小于1.2%, 由《手册》表1-2-4查得

$$K_{OG} = 7900 \text{ 千卡/公斤}$$

$$Q_G = 7900 - 80 \times 0 - 90 \times 39 = 4390 \text{ 千卡/公斤}$$

⑤ 飞灰显热 $0.23 \times 5 \times 450 = 518 \text{ 千卡}$

式中 0.23——飞灰比热, 千卡/公斤·℃

⑥ 炉渣发热量 $8100 \times 4.6839 = 37940 \text{ 千卡}$

式中 8100——碳的热值, 千卡/公斤

⑦ 炉渣显热 $0.21 \times 33.4563 \times 150 = 1054 \text{ 千卡}$

式中 0.21——炉渣比热, 千卡/公斤·℃

⑧ 散失热量 (设为燃料发热量的6%) $502000 \times 0.06 = 30120 \text{ 千卡}$

合计 279301 千卡

(3) 积聚在碳层中热量 $511446 - 279301 = 232145 \text{ 千卡}$

(4) 吹风效率 $\frac{232145}{502000} \times 100\% = 46.24\%$

(5) 热量平衡表

进项, 千卡		出项, 千卡	
①燃料发热量	502000	①吹风气发热量	115373
②燃料显热	672	②吹风气显热	60985
③空气显热	3229	③吹风气中水汽热焓	11361
④空气中水汽热焓	5545	④飞灰发热量	21950
		⑤飞灰显热	518
合 计	511446	⑥炉渣发热量	37940
		⑦炉渣显热	1054
		⑧散失热量	30120
		⑨积聚在碳层中热量	232145
		合 计	511446

(三) 蒸汽吹送阶段计算

1. 物料衡算

(1) 每标准米³水煤气中所含元素量

$$C \quad \frac{12}{22.4} \times (0.2470 + 0.1399 + 0.0126) = 0.2140 \text{ 公斤}$$

$$H \quad \frac{2}{22.4} \times (0.4259 + 0.0126 \times 2) + 2.05 \times \frac{1}{1000} \times \frac{2}{34} = 0.040397 \text{ 公斤}$$

$$O \quad \frac{32}{22.4} \times (0.2470 \times 0.5 + 0.1399 + 0.0040) = 0.3820 \text{ 公斤}$$

$$N \quad \frac{28}{22.4} \times 0.1706 = 0.2133 \text{ 公斤}$$

$$S \quad 2.05 \times \frac{1}{1000} \times \frac{32}{34} = 0.001929 \text{ 公斤}$$

$$(2) \text{ 由碳平衡计算实际水煤气产量 } \frac{48.6661 + 1.9082}{0.2140} = 236.33 \text{ 标准米}^3$$

$$(3) \text{ 由氮平衡计算加入空气量 } \frac{236.33 \times 0.2133 - 0.55}{0.79 \times \frac{28}{22.4}} = 50.49 \text{ 标准米}^3$$

$$(4) \text{ 空气中水汽含量 } 50.49 \times \frac{29}{22.4} \times 0.019 = 1.2420 \text{ 公斤}$$

(5) 氢平衡

① 已知和假设数据

上行煤气产量 x 标准米³上行煤气含水量 0.29公斤/标准米³干煤气下行煤气产量 $236.33 - x$ 标准米³下行煤气含水量 0.68公斤/标准米³干煤气上、下吹蒸气量相等 各为 W 公斤每标准米³上行煤气所含元素量

$$C \quad \frac{12}{22.4} \times (0.2235 + 0.1399 + 0.0126) = 0.2014 \text{ 公斤}$$

$$H \quad \frac{2}{22.4} \times (0.3649 + 0.0126 \times 2) + 2.05 \times \frac{1}{1000} \times \frac{2}{34} = 0.034951 \text{ 公斤}$$

$$O \quad \frac{32}{22.4} \times (0.2235 \times 0.5 + 0.1399 + 0.0040) = 0.3653 \text{ 公斤}$$

$$N \quad \frac{28}{22.4} \times 0.2551 = 0.3189 \text{ 公斤}$$

$$S \quad 2.05 \times \frac{1}{1000} \times \frac{32}{34} = 0.001929 \text{ 公斤}$$

每标准米³下行煤气所含元素量

$$C \quad \frac{12}{22.4} \times (0.2939 + 0.1399 + 0.0126) = 0.2391 \text{ 公斤}$$

$$H \quad \frac{2}{22.4} \times (0.5477 + 0.0126 \times 2) + 2.05 \times \frac{1}{1000} \times \frac{2}{34} = 0.051272 \text{ 公斤}$$

$$O \quad \frac{32}{22.4} \times (0.2939 \times 0.5 + 0.1399 + 0.0040) = 0.4156 \text{ 公斤}$$

$$N \quad \frac{28}{22.4} \times 0.0019 = 0.0024 \text{ 公斤}$$

$$S \quad 2.05 \times \frac{1}{1000} \times \frac{32}{34} = 0.001929 \text{ 公斤}$$

② 上行阶段

$$\text{进项 燃料带入氢} \quad 1.3322 \times \frac{x}{236.33} = 0.005637 x \text{ 公斤}$$

$$\text{蒸汽含氢} \quad W \times \frac{2}{18} = \frac{W}{9} \text{ 公斤}$$

$$\text{空气中水汽含氢} \quad 1.2420 \times \frac{2}{18} = 0.1380 \text{ 公斤}$$

$$\text{合计} \quad \frac{W}{9} + 0.005637 x + 0.1380 \text{ 公斤}$$

$$\text{出项 煤气含氢} \quad 0.034951 x \text{ 公斤}$$

$$\text{煤气中水汽含氢} \quad 0.29 x \times \frac{2}{18} = 0.032222 x \text{ 公斤}$$

$$\text{合计} \quad 0.067173 x \text{ 公斤}$$

$$\text{平衡} \quad \frac{W}{9} + 0.005637 x + 0.1380 = 0.067173 x$$

$$\therefore \quad \frac{W}{9} = 0.061536 x - 0.1380$$

(1)

③ 下行阶段

$$\text{进项 燃料带入氢} \quad 1.3322 - 0.005637 x \text{ 公斤}$$

$$\text{蒸汽含氢} \quad \frac{W}{9} \text{ 公斤}$$

$$\text{合计} \quad \frac{W}{9} - 0.005637x + 1.3322 \text{公斤}$$

$$\text{出项 煤气含氢} \quad 0.051272 \times (236.33 - x) = 12.1171 - 0.051272x \text{公斤}$$

$$\text{煤气中水汽含氢} \quad 0.68 \times (236.33 - x) \times \frac{2}{18} = 17.8560 - 0.075556x \text{公斤}$$

$$\text{合计} \quad 29.9731 - 0.126828x \text{公斤}$$

$$\text{平衡} \quad \frac{W}{9} - 0.005637x + 1.3322 = -0.126828x + 29.9731$$

$$\therefore \quad \frac{W}{9} = -0.121191x + 28.6409 \quad (2)$$

④ 解方程 (1)、(2)

$$0.061536x - 0.1380 = -0.121191x + 28.6409$$

$$\therefore \quad x = 157.50 \text{标准米}^3 \quad W = 85.9799 \text{公斤}$$

$$\text{上行煤气产量} \quad 157.50 \text{标准米}^3$$

$$\text{上行煤气产量占总产量的百分比} \quad \frac{157.50}{236.33} \times 100\% = 66.64\%$$

$$\text{下行煤气产量} \quad 236.33 - 157.50 = 78.83 \text{标准米}^3$$

$$\text{下行煤气产量占总产量的百分比} \quad \frac{78.83}{236.33} \times 100\% = 33.36\%$$

$$\text{上行煤气含水量} \quad 0.29 \times 157.50 = 45.6750 \text{公斤}$$

$$\text{下行煤气含水量} \quad 0.68 \times 78.83 = 53.6044 \text{公斤}$$

$$\text{水煤气总含水量} \quad 45.6750 + 53.6044 = 99.2794 \text{公斤}$$

$$\text{上吹蒸汽用量} \quad 85.9799 \text{公斤}$$

$$\text{下吹蒸汽用量} \quad 85.9799 \text{公斤}$$

$$\text{蒸汽总用量} \quad 85.9799 \times 2 = 171.9598 \text{公斤}$$

$$\text{上吹蒸汽分解率} \quad \frac{85.9799 - 45.6750}{85.9799} \times 100\% = 46.88\%$$

$$\text{下吹蒸汽分解率} \quad \frac{85.9799 - 53.6044}{85.9799} \times 100\% = 37.66\%$$

$$\text{平均蒸汽分解率} \quad \frac{171.9598 - 99.2794}{171.9598} \times 100\% = 42.27\%$$

(6) 氧平衡

$$\text{进项 燃料带入氧} \quad 3.5433 + 5.0885 = 8.6318 \text{公斤}$$

$$\text{蒸汽含氧} \quad 171.9598 \times \frac{16}{18} = 152.8532 \text{公斤}$$

$$\text{空气含氧} \quad 50.49 \times 0.21 \times \frac{32}{22.4} = 15.1470 \text{公斤}$$

空气中水汽含氧	$1.2420 \times \frac{16}{18} = 1.1040$ 公斤
合计	177.7360公斤
出项 煤气含氧	$0.3820 \times 236.33 = 90.2781$ 公斤
煤气中水汽含氧	$99.2794 \times \frac{16}{18} = 88.2484$ 公斤
合计	178.5265公斤
误差	$\frac{178.5265 - 177.7360}{177.7360} \times 100\% = 0.44\%$

(7) 硫平衡

进项 燃料带入硫	0.4554公斤
合计	0.4554公斤
出项 煤气含硫	$0.001929 \times 236.33 = 0.4559$ 公斤
合计	0.4559公斤

(8) 上、下行阶段各元素量平衡核算

假定燃料带入上、下行煤气中的氧、氮、硫元素的量是按上、下行煤气产量分配的 (但实际情况不一定完全如此), 其中氧平衡和氮平衡误差较大, 可能是该假定与实际情况有出入而造成的。

① 碳平衡

进项 燃料带入碳	$48.6661 + 1.9082 = 50.5743$ 公斤
合计	50.5743公斤
出项 上行煤气含碳	$0.2014 \times 157.50 = 31.7205$ 公斤
下行煤气含碳	$0.2391 \times 78.83 = 18.8483$ 公斤
合计	50.5688公斤

② 氧平衡

I. 上行阶段

进项 燃料带入氧	$8.6318 \times 0.6664 = 5.7522$ 公斤
蒸汽含氧	$85.9799 \times \frac{16}{18} = 76.4266$ 公斤
空气含氧	$50.49 \times 0.21 \times \frac{32}{22.4} = 15.1470$ 公斤
空气中水汽含氧	$1.2420 \times \frac{16}{18} = 1.1040$ 公斤
合计	98.4298公斤
出项 煤气含氧	$0.3653 \times 157.50 = 57.5348$ 公斤
煤气中水汽含氧	$45.6750 \times \frac{16}{18} = 40.6000$ 公斤
合计	98.1348公斤

$$\text{误差} = \frac{98.4298 - 98.1348}{98.4298} \times 100\% = 0.30\%$$

II. 下行阶段

进项	燃料带入氧	$8.6318 \times 0.3336 = 2.8796$ 公斤
	蒸汽含氧	$85.9799 \times \frac{16}{18} = 76.4266$ 公斤
	合计	79.3062公斤
出项	煤气含氧	$0.4156 \times 78.83 = 32.7617$ 公斤
	煤气中水汽含氧	$53.6044 \times \frac{16}{18} = 47.6484$ 公斤
	合计	80.4101公斤

$$\text{误差} = \frac{80.4101 - 79.3062}{79.3062} \times 100\% = 1.39\%$$

③ 氮平衡

I. 上行阶段

进项	燃料带入氮	$0.55 \times 0.6664 = 0.3665$ 公斤
	空气含氮	$50.49 \times 0.79 \times \frac{28}{22.4} = 49.8589$ 公斤
	合计	50.2254公斤
出项	煤气含氮	$0.3189 \times 157.50 = 50.2268$ 公斤
	合计	50.2268公斤

II. 下行阶段

进项	燃料带入氮	$0.55 \times 0.3336 = 0.1835$ 公斤
	合计	0.1835公斤
出项	煤气含氮	$0.0024 \times 78.83 = 0.1892$ 公斤
	合计	0.1892公斤

$$\text{误差} = \frac{0.1892 - 0.1835}{0.1835} \times 100\% = 3.1\%$$

④ 硫平衡

I. 上行阶段

进项	燃料带入硫	$0.4554 \times 0.6664 = 0.3035$ 公斤
	合计	0.3035公斤
出项	煤气含硫	$0.001929 \times 157.50 = 0.3038$ 公斤
	合计	0.3038公斤

II. 下行阶段

进项	燃料带入硫	$0.4554 \times 0.3336 = 0.1519$ 公斤
	合计	0.1519公斤
出项	煤气含硫	$0.001929 \times 78.83 = 0.1521$ 公斤
	合计	0.1521公斤

(9) 水煤气组成核算

$$\text{H}_2 \quad 0.3649 \times 0.6664 + 0.5477 \times 0.3336 = 0.4259$$

$$\text{CO} \quad 0.2235 \times 0.6664 + 0.2939 \times 0.3336 = 0.2470$$

$$\text{CO}_2 \quad 0.1399 \times 0.6664 + 0.1399 \times 0.3336 = 0.1399$$

$$\text{O}_2 \quad 0.0040 \times 0.6664 + 0.0040 \times 0.3336 = 0.0040$$

$$\text{N}_2 \quad 0.2551 \times 0.6664 + 0.0019 \times 0.3336 = 0.1706$$

$$\text{CH}_4 \quad 0.0126 \times 0.6664 + 0.0126 \times 0.3336 = 0.0126$$

$$\text{H}_2\text{S} \quad 2.05 \times 0.6664 + 2.05 \times 0.3336 = 2.05 \text{ 克/标准米}^3$$

与已知组成完全一致。

2. 热量衡算

(1) 进项

$$\textcircled{1} \text{ 燃料发热量} \quad 5020 \times 100 = 502000 \text{ 千卡}$$

$$\textcircled{2} \text{ 燃料显热} \quad 0.24 \times 100 \times 28 = 672 \text{ 千卡}$$

$$\textcircled{3} \text{ 蒸汽热焓} \quad 646.9 \times 171.9598 = 111241 \text{ 千卡}$$

$$\textcircled{4} \text{ 空气显热} \quad 0.311 \times 50.49 \times 28 = 440 \text{ 千卡}$$

式中 0.311——由《手册》附图1-5-10查得的0~28℃时空气平均热容, 千卡/标准米³·℃

$$\textcircled{5} \text{ 空气中水汽热焓} \quad 607.9 \times 1.2420 = 755 \text{ 千卡}$$

$$\text{合计} \quad 615108 \text{ 千卡}$$

(2) 出项

$$\textcircled{1} \text{ 水煤气发热量} \quad 2173.483 \times 236.33 = 513659 \text{ 千卡}$$

式中 2173.483——水煤气热值, 由下式算得:

$$3050\text{H}_2 + 3020\text{CO} + 9520\text{CH}_4 + 6140\text{H}_2\text{S}$$

其中 H_2 、 CO 、 CH_4 ——各气体组份的体积百分数;

H_2S ——体积, 标准米³。

$$3050 \times 0.4259 + 3020 \times 0.2470 + 9520 \times 0.0126 + 6140 \times 0.0014 \\ = 2173.483 \text{ 千卡/标准米}^3$$

其中 0.0014由下式算得:

$$2.05 \times \frac{22.4}{34} \times \frac{1}{1000} = 0.0014 \text{ 标准米}^3$$

② 水煤气显热

$$\text{I. 上行煤气显热} \quad 0.340 \times 157.50 \times 450 = 24098 \text{ 千卡}$$

式中 0.340——上行煤气的平均热容, 千卡/标准米³·℃

由《手册》附图1-5-9~17查得各气体在0~450℃的恒压平均分子热容, 从下式算得:

上行煤气平均热容 = $(6.99\text{H}_2 + 7.14\text{CO} + 10.55\text{CO}_2 + 7.43\text{O}_2 + 7.09\text{N}_2 + 11.11\text{CH}_4$

$$+ 8.84\text{H}_2\text{S}) \times \frac{1}{22.4}$$

其中 H_2 、 CO 、 CO_2 、 O_2 、 N_2 、 CH_4 ——各气体组份的体积百分数;

H_2S ——体积, 标准米³。

$$\text{上行煤气平均热容} = (6.99 \times 0.3649 + 7.14 \times 0.2235 + 10.55 \times 0.1399 + 7.43 \times 0.0040 \\ + 7.09 \times 0.2551 + 11.11 \times 0.0126 + 8.84 \times 0.0014)$$