

题 目： 10000m³/h 氨法烟气脱硫工艺的设计

摘要

氨法烟气脱硫技术是工业应用的重要脱硫方法。设计参考国内外脱硫技术文献，了解各种脱硫技术和工艺，制定了最可行的湿法氨脱硫工艺设计方案。设计了 10000 m³/h 氨烟气脱硫装置及工艺，对脱硫工艺的物料平衡和热平衡进行了计算。对 SO₂ 吸收系统中的吸收塔、氧化槽、喷淋层进行了结构大小计算，对吸收塔附属设备氧化风机、除雾器冲洗系统、除雾器、循环浆液泵等进行了选型，绘制了工艺流程图、设备结构图及平面布置图。综合考虑了工厂选址地理位置、造价和其他相关影响因素，对选址原则做了简单介绍。在生产过程中也难免会产生各种废弃物，因此在环保方面也做了相关处理。

关键词：锅炉烟气；脱硫；吸收塔；氨法

Abstract

Ammonia flue gas desulfurization technology is an important desulfurization method for industrial applications. The design refers to domestic and foreign desulfurization technical literature, understands various desulfurization technologies and processes, and formulates the most feasible wet ammonia desulfurization process design scheme. The 10000 m³/h ammonia flue gas desulfurization device and process were designed, and the mass balance and thermal balance of the desulfurization process were calculated. The structure size of the absorption tower, oxidation tank and spray layer in the SO₂ absorption system was calculated, the oxidation fan, mist eliminator flushing system, mist eliminator, circulating slurry pump and other auxiliary equipment of the absorption tower were selected, and the process flow diagram, equipment structure diagram and floor plan were drawn. Comprehensively considering the geographical location, cost and other relevant influencing factors of the factory site, the site selection principle is briefly introduced. It is inevitable that various wastes will be generated in the production process, so we have also taken care of environmental protection.

Keywords: Boiler flue gas; Desulfurization; Absorption tower; Ammonia process

目录

Abstract	II
目录.....	III
第一章 绪论.....	4
1.1 烟气脱硫技术概况.....	4
1.2.1 石灰石-石膏湿法脱硫工艺	6
1.2.2 氨法脱硫工艺.....	7
1.2.3 MgO 湿法烟气脱硫工艺	7
1.3 湿法烟气脱硫存在的问题及解决.....	8
1.3.1 富液的处理.....	8
1.3.2 烟气的预处理.....	8
1.3.3 烟气的预冷却.....	9
1.3.4 结垢和堵塞.....	9
1.3.5 腐蚀及磨损.....	9
1.3.6 除雾.....	9
第二章 烟气脱硫工艺的选择.....	11
2.1 氨法烟气脱硫工艺的分类.....	11
2.1.1 电子束氨法(EBA 法)与脉冲电晕氨法(PPCP 法)	11
2.1.2 简易氨法.....	12
2.1.3 湿式氨法.....	12
2.2 脱硫工艺的确定.....	12
2.3 本设计采用的脱硫系统.....	12
第三章 湿式氨法烟气脱硫技术简介.....	14
3.1 工艺原理.....	14
3.2 工艺流程.....	14
3.3 适用范围.....	15
3.4 技术特点.....	15
3.5 技术经济优势.....	16
3.6 硫酸铵品质的保障措施.....	16
第四章 物料平衡的计算.....	18
4.1 锅炉大气污染物排放标准.....	18
4.2 各种设计参数的确定.....	19
4.4 吸收剂消耗量的计算.....	20
4.4.1 净烟气中 SO ₂ 浓度.....	20
4.4.2 氨水的消耗量.....	20
4.5 工艺水耗量的计算.....	21
第五章 主要设备尺寸、规格的计算.....	23
5.1 SO ₂ 吸收系统.....	23
5.1.1 吸收塔的选择.....	23

5.1.2 吸收塔尺寸设计计算.....	24
----------------------	----

5.1.3 吸收塔高度的计算.....	26
5.1.4 吸收塔附属设备的选型.....	27
5.2 烟气系统.....	28
5.2.1 旁路烟道.....	29
5.2.2 FGD 进口烟道.....	29
5.2.3 FGD 出口烟道.....	29
5.2.4 烟气换热器.....	29
第六章 车间布置.....	31
6.1 脱硫装置的平面布置.....	31
6.2 浆液管道布置要求.....	31
第七章 厂址选择和环保措施.....	32
7.1 厂址选择原则.....	32
7.2 环保措施.....	32
7.2.1 废气处理.....	32
7.2.2 废水处理.....	32
7.2.3 废固处理.....	32
参考文献.....	34
谢 辞.....	35
附录.....	36

第一章 绪论

1.1 烟气脱硫技术概况

20 世纪 70 年代，日本、意大利等国开始研究氨硫化过程，并取得了相继的成功。当时，氨硫化过程的主要部分属于化肥工业，因此该技术尚未在能源领域得到广泛应用。随着合成氨工业的不断发展和氨脱硫工艺的不断完善，从 90 年代开始，氨脱硫工艺逐渐演变。研究硫酸氨去除技术的外国公司主要有美国的 GE、Marsulex、皮尔康、巴贝克与威科克斯、伦特杰斯比斯奇奥夫、克鲁普·科普斯、NKK、IHI、奇约达、苏米托莫、米特苏比什、埃巴拉等德国公司。中国的能源主要由煤和木炭组成，燃煤排放的二氧化硫量目前居世界首位，也是酸雨区的第三大区域。目前，由于能源需求的增长，到 2025 年，中国的二氧化硫产量预计将达到每年 3400 万吨。每 2 吨 SO₂，将花费经济 1000 美元。因此，需要恢复二氧化硫种群，以实现更好的经济和环境条件。

表 1.1 烟气脱硫技术概要

主要技术供应商	江南环境工程建设有限公司、华东理工大学
本项目氨法脱硫装置	天津永利电力公司烟气脱硫装置，装机容量 60MW
烟气脱硫技术发展方法	磷酸铵法、电子束法、电晕放电、离子体法

这些年以来氨法脱硫技术备受研究院关注。从原理上看，由于氨法是回收利用法，可使得中国大部分的氨得到利用来生产硫肥，这样既能使得大气 SO₂ 污染得到一定处理，也能变废为宝，取得一定经济效益。氨法脱硫工艺在脱硫的同时可以脱氮，适合中国的国情，达到资源的可持续发展和环保目的。无论从经济角度还是脱硫效应，都应选择氨法技术。

1.2 几种常见的烟气脱硫工艺

FGD 技术按脱硫不同类型有下列五种方法：

表 1.2 FGD 五种不同方法

FGD 技术	脱硫剂
钠法	使用氢氧化钠 (NaOH) 作为脱硫剂
镁法	使用氧化镁 (MgO) 作为脱硫剂
钙法	使用氢氧化钙或石灰石 (CaCO ₃) 作为脱硫剂
氨法	使用氨水 (NH ₃ ·H ₂ O) 作为脱硫剂
有机碱法	使用乙醇胺 (MEA)、二甲醚胺 (DMEA) 等有机胺类物质作为脱硫剂

脱硫方法在全球贸易的技术中采用，根据粉尘中的物料和接收物料的粉尘和脱硫过程中的脱硫，脱硫技术可分为湿法、干法和半干法（半干湿）。

1.2.1 石灰石-石膏湿法脱硫工艺

该工艺石灰石一般用作脱硫吸收剂用来制作吸收剂浆液，湿法石灰石脱硫系统包含以下几类，每一类都有着不同的作用和功能，如下图所示：

表 1.3 五类湿法脱硫系统

湿法石灰石脱硫	功能与作用
石膏脱水系统	用于将脱硫吸收塔中产生的硫酸钙沉淀物进行脱水处理，使其成为干燥的石膏粉末，可用于建材等领域
吸收氧化系统	将石灰石浆液喷洒到脱硫吸收塔内，与烟气进行接触，通过化学反应将烟气中的二氧化硫 (SO ₂) 吸收并转化为硫酸钙 (CaSO ₄) 沉淀物
烟气系统	由引风机、烟囱等组成，用于将燃煤或其他燃料所产生的烟气排出到大气中
浆液制备系统	将石灰石研磨成细粉末，加入水中形成悬浮在水中的石灰石浆液，并通过泵站输送至脱硫吸收塔
排放系统	对含有硫酸钙沉淀物的废水进行处理，以达到排放标准，并通过烟气系统将处理后的烟气排出到大气中

烟气脱硫后，液滴经蒸发器脱除，压缩机风机开启，GGH 冷却后送至吸收塔 **Error!**

Reference source not found.

。去除 SO₂、SO₃、HF、HCl，副产物被夹带风氧化成石膏（CaSO₄·2H₂O），石灰石作为吸收剂。循环浆液由浆液循环泵向上输送，进入喷床，经喷嘴喷洒后，与气液充分接触。

在吸收塔出口，烟气通常被冷却至约 46 - 55℃，GGH 烟气一起共同加热上升到80℃以上，用来增加上升高度和扩散速度。

随后废气尾气会被排入大气中，对环境还是有点影响，但是可以达到了理想排放标准，减轻了大气污染。

1.2.2 氨法脱硫工艺

在氨脱硫过程中，通过使用氨作为吸收水将烟气中的二氧化硫（SO₂）转化为硫酸铵（(NH₄)₂SO₄）或硫酸氢铵（NH₄HSO₄）来实现目标。氨脱硫与普通湿法石灰石/石膏脱硫相比，具有高效石灰石脱硫的优点，应注意控制氨脱硫过程中的吸收量，以及净化排出的污水和残余气体。此外，在进行脱硫时，还应考虑与其他污染物（如 NO_x）的相互作用。因此，为了在实际使用中达到最佳的脱硫效果，有必要根据具体情况进行调整。不会直接排放到大气中，减少对大气的污染。

1.2.3 MgO 湿法烟气脱硫工艺

氨法脱硫系统主要包括以下几类系统，都有着不同的作用和功能，缺一不可，如下图所综述：

表 1.4 氨法脱硫系统中五类主要系统简介

氨法脱硫系统	简介说明
SO ₂ 尾气吸收系统	使用氨水作为吸收剂，将烟气中的 SO ₂ 转化为硫酸铵或硫酸氢铵。该系统包括液氨或氨水输送系统、喷淋系统、吸收塔等设备
烟气系统	用于引导燃煤或其他燃料所产生的烟气进入吸收塔，以及将经过吸收塔处理后的烟气排放到大气中。该系统包括引风机、烟道、烟囱等设备
脱硫污泥氧化系统	用于对氨法脱硫过程中产生的脱硫污泥进行处理，以达到资源化利用或无害化处理的目的。该系统包括浓缩池、压滤机、氧化池等设备
工艺水系统	用于氨法脱硫过程中需要用到的水的供应和循环。该系统包括进水系统、循环水系统、废水处理系统等设备
副产物处理系统	用于对氨法脱硫过程中产生的硫酸铵或硫酸氢铵进行处理，以达到资源化利用或无害化处理的目的。该系统包括浓缩塔、结晶器、干燥机等设备

湿法 MgO 烟气脱硫的主要优点：

反作用力强（液气反应，接触面积大，脱硫效率高）；对废气条件的高度适应性（气体体积和浓度波动较大的可能性）；脱硫物质好寻找，方便快捷；副产物少，尾气易于处理，对环境污染较小；产值高，还有几类边缘产物盈利；投资成本低（无废水和残渣处理处置装置，废气从处理塔顶部简单排放，无需单独的湿烟囱或混凝土防腐保护）。从其实际工作效果来看，是一种适合我国国情的脱硫技术。而且生产过程中许多副产物可以用于制作化肥，回收利用，增加收入。相反，由于元素硫的回收，它满足了农业部门对硫肥日益增长的需求。

缺点：

1 副产物回收困难 亚硫酸镁/硫酸镁极易溶于水，本项目最经济的方法是“双碱法”加生石灰 CaO。

2 目前国内尚无相应的副产物回收利用设施；

3 使用镁脱硫工艺的需要比较苛刻条件，需要后面产物能够回馈社会回收利用，一般用于硫酸相关制作行业和用来造纸。

1.3 湿法烟气脱硫存在的问题及解决

该工艺流程通常会存在四类问题：活性剂价格昂贵成本高、能耗较大、腐蚀烟囱管道、废水处理不易等问题。此时提出问题并解决问题显得尤为重要，所以工艺过程反应中可以选择提高反应速率，减少对活性剂依赖性。增设污水处理厂也很必要，还要在实验室中优化系统设计，探索新型工艺技术。

1.3.1 富液的处理

对于烟气脱硫阶段的化学吸收，不仅要满足脱硫要求，对富含二氧化硫的液体（包括煤烟、硫酸盐、亚硫酸盐等废弃物）进行洗涤净化也很重要，以免造成资源浪费和二次污染。废水处理也是湿法烟气脱硫技术的关键要素。因此，在设计烟气脱硫工艺时，还应考虑合理的 SO₂ 吸收和富液处理。

1.3.2 烟气的预处理

在吸收 SO₂ 之前，一般要设置专门的除尘器。但是，这会形成一个相对复杂的过程，设备投资和运行成本会更高 **Error! Reference source not found.**。如果在 SO₂ 净化过程中去除烟灰，则更经济。例如初效洗涤塔、文丘里洗涤塔等。可加于吸收塔前。废气的高温冷却也可以起到除尘的作用。在高温烟气中，粉尘颗粒相对较小，难以分离。但是，烟气冷却到 80℃ 左右后，烟气中的水分子凝结成水滴，可以包裹灰尘颗粒，使其更容易被湿法脱硫设备捕获，从而提高除尘效率。

1.3.3 烟气的预冷却

大部分含硫烟气温度为 120-185℃或者更高，但是要在较低温度（约 60℃）下进行吸收操作，使烟道气在被吸收前提前降温。通常，将烟气冷却至约 60℃**Error! Reference source not found.**，常用的冷却方法有：直接撒水处理物理降温、用吸热效率高的除尘器和附着湿润物质等等方法。

1.3.4 结垢和堵塞

这些都是工艺中比较常见的问题，首先要对设备结构有足够的了解，其次，才能更好的发现问题根源，找到堵塞问题所在，然后才能从中找到根本解决办法。并且联系实际做出更好的设备选型和材料选择。

目前常用的方法有：定期清扫结构设备，特别是有角度的设施，使用除垢剂，提高烟气除尘效率也是关键。解决方案：合理化设备结构，提高液气比，做好除尘工作。

1.3.5 腐蚀及磨损

燃煤不仅会产生大量的二氧化硫，还会产生少量的三氧化硫。由于烟气中水分很少，SO₃立即形成硫酸雾。主要解决方案是：材料内部使用防腐材料制造，定期清扫，加大对实验参数控制，选择合理环境下建厂，优化外部条件。

废气的快速流动会导致气体流动，从而导致工具和管道的腐蚀。该解决方案包括合理的工艺流程，在废气开始之前除尘，以及使用防腐和防腐材料建造吸收塔。

1.3.6 除雾

除雾是脱硫中一个重要环节，能够影响反应能否正常进行，决定着产物纯度如何。所以安装除雾器是必不可少的。网式、电、旋风等除雾器都是常见的几种除雾器，且效果稳定。水膜除雾也很常用只需将水膜涂在内部设备表面就能发挥显著作用。使气体在离开吸收塔之前得到除雾。

1.4 本设计的主要任务

本设计主要任务和相关做法如下：

表 1.5 主要任务和做法

主要任务	相关内容
设计背景和目标	阐述设计项目的背景和目标,明确为什么需要进行湿法烟气脱硫设备的设计,以及设计要达到的技术、经济和环保指标等
设计参数和条件	列出湿法烟气脱硫设备的设计参数和条件,包括处理烟气流量、温度、压力、湿度等基本参数,以及使用吸收液体的种类和浓度等条件
设计方案和工艺流程	根据设计参数和条件,提出相应的设计方案和工艺流程。其中,设计方案应包括设备类型、尺寸和结构等;工艺流程应包括烟气预处理、吸收塔、除雾器、废水处理等环节
设备选型和材料选择	根据设计方案和工艺流程,确定设备选型和材料选择,包括吸收塔、泵站、喷淋系统、管道、阀门等设备的选型,以及金属、塑料等材料的选择
安全与环保设计	在设计中考虑设备的安全性和环保性,采取相应的措施确保设备运行安全稳定,并减少对环境的污染
技术经济分析	对设计方案进行技术经济分析,包括成本分析、效益分析、投资回收期分析等,以确定设计方案的可行性和优劣性

第二章 烟气脱硫工艺的选择

根据第一章对各种脱硫工艺的介绍和比较,目前石灰石湿法烟气脱硫在现有市场上占有着比较大的比重,但氨法烟气脱硫与之相比却是有着很大的前瞻市场占比,并且相比之下氨法烟气脱硫能够更好地处理和利用副产物,因此,本方案选择氨法烟气脱硫。

2.1 氨法烟气脱硫工艺的分类

氨法烟气脱硫工艺的几种类别和说明:

表 2.1 氨法烟气脱硫工艺分类说明

氨法烟气脱硫工艺分类	简介
单段干式氨法	该工艺是在较低的温度下进行的干式反应,烟气中的 SO_2 与氨气在吸收塔内反应生成 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 由于水分含量较低,产生的湿度也较小
双段干式氨法	该工艺将氨气和烟气分别在两个不同的吸收塔中进行反应,其中一个吸收塔为干式,另一个吸收塔为湿式,干式吸收塔中只能去除部分 SO_2 ,而湿式吸收塔则通过加水使得反应产物转变为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
单段湿式氨法	该工艺将氨气和烟气混合后在湿式吸收塔中进行反应,反应产物为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 H_2SO_4 。该工艺需要较高的氨水用量,但产生的湿度较高
双段湿式氨法	该工艺与双段干式氨法类似,将氨气和烟气分别在两个不同的吸收塔中进行反应,其中一个吸收塔为干式,另一个吸收塔为湿式,通过加水使得反应产物转变为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 H_2SO_4

2.1.1 电子束氨法(EBA 法)与脉冲电晕氨法(PPCP 法)

电子氨(EBA 方法)和发射氨的肺冠(PPCP)使用电子束和脉冲电晕辐射来分散水和氨,但在 SO_2 和 NO 反应器中,大气气体进入操作回路而不添加颗粒。碱被非常高浓度的 SO_2 和 NO_2 氧化物氧化,并与 H_2O 相容以产生 H_2SO_4 和 HNO_3 。注入 NH_3 后,形成气溶胶 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4/\text{NH}_4\text{NO}_3$,然后由集尘器收集。电晕放电烟气脱硫脱硝反应器的电场本身具有除尘作用,因此可以很好地处理副产物。这两种制氨方法具有能源强度高、效率低的特点,技术还不够成熟,有待改进。

2.1.2 简易氨法

正常来说,简易氨法是一种难以回收的氨法,产物大多是气溶胶状态,回收不易

，氨法的经济性也不容乐观；在脱硫后的烟气排空后还会分解出 SO₂，造成二次污染。因此，该工艺只能用于环保要求低、有废氨水来源、不需要长期运行的装置上。

2.1.3 湿式氨法

湿法氨法烟气脱硫技术是一种可实现循环经济的绿色脱硫工艺，以一定浓度的氨水为吸附剂，脱硫终产物硫酸铵作为农用肥料。二次污染，不增加二氧化碳排放采用新矿物原料，脱硫率 90%-99%。湿法合成氨法一般分为吸收脱硫、中间产品加工、副产品包装和生产三个步骤。按工艺及副产物可分为氨肥法、铵酸法、亚硫酸铵法等。本文所说的氨肥法是指副产品为硫酸铵肥料 **Error! Reference source not found.**。

2.2 脱硫工艺的确定

考虑到烟气的种类和浓度以及其他相关性质分析、污染物的种类性质及其排放标准、工业设备成本及其副产物性质特征，本工艺选择湿法氨法烟气脱硫工艺比较合适。

2.3 本设计采用的脱硫系统

该设计脱硫系统主要组成部分和它们的使用说明：

表 2.2 脱硫系统主要组成简介

脱硫系统主要组成	各系统特点
吸收氧化系统	该系统包括吸收塔、喷淋器、氨水泵、浓度计、PH 计等设备。烟气经过预处理后进入吸收塔，在喷淋器的作用下与氨水充分接触，反应生成硫酸铵和硫酸。同时，为了控制反应的速率和效果，需要根据实际情况调整氨水的浓度和 PH 值
副产物回收系统	该系统包括结晶器、离心机、压滤机等设备。在氨法脱硫过程中，产生的副产物硫酸铵通过结晶器进行结晶，再经过离心机和压滤机处理后得到固体硫酸铵产品。这些产品可以用于农业、化肥、建材等行业，具有一定的经济价值
烟气系统	该系统包括进风口、烟道、排放管道等设备。烟气从吸收塔出口进入烟道，再通过除雾器去除水汽和颗粒物，最终排放到大气中。为了保证排放达到国家和地方的环保标准，需要在排放前对烟气进行监测和检测
排气系统	该系统包括通风设备、空气过滤器等。在氨法脱硫过程中，氨气可能会通过泄漏或者逸出等方式进入室内或者室外空气中，对人体健康和环境造成影响。因此，需要安装相应的排气系统和空气过滤器，将有害气体排出并过滤净化

工艺流程图如下：

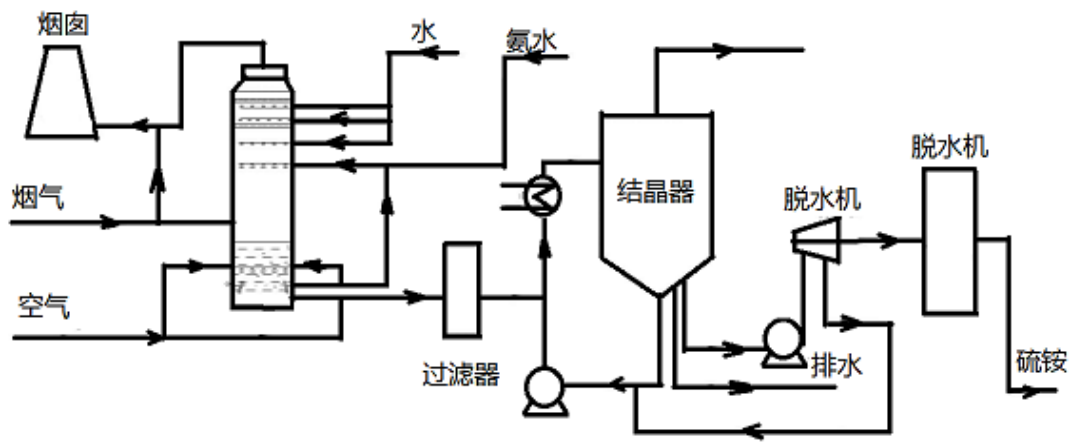


图 2.1 氨法湿法脱硫工艺流程图

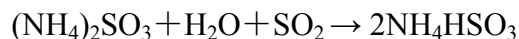
第三章 湿式氨法烟气脱硫技术简介

3.1 工艺原理

在该设计中，液氨用于将 SO_2 蒸发成大气气体，形成硫化铵溶液，硫化铵在氧气条件下被氧化成硫酸铵。加热排水后形成硫酸铵晶体，将上一步获得的材料加热冷却制成肥料。

(1) 吸收过程

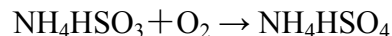
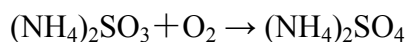
在脱硫塔中，氨和 SO_2 发生反应：



随着溶液的进展时间的流逝，溶液中 NH_4HSO_3 含量会一直增加，但 NH_4HSO_3 不能吸收 SO_2 ，需要及时调整以确保高氨含量。

(2) 氧化过程

该过程主要是利用空气生成 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ：



(3) 结晶过程

在湿法氨法脱硫工艺中，产生的副产物硫酸铵需要进行结晶处理，以便于后续的离心和压滤。首先，要确定硫酸铵结晶的条件，包括结晶温度、浓度和振动速率等因素。一般硫酸铵的结晶温度约为 20°C ，浓度为 $10\%\sim 30\%$ ，搅拌速率为 $50\sim 150\text{rpm}$ 。在混合过程中，检查温度和结晶浓度，使硫酸铵逐渐积累晶体。在洗礼过程中，应注意控制混合的速度和时间，使洗礼过程既不过快也过慢。

3.2 工艺流程

在湿氨脱硫中，烟气处理、吸收氧化、副产物回收、废气处理和废气处理相结合并相互作用。整个过程需要严格控制反应条件和操作参数，以确保副产物脱硫回收的有效稳定效果。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要
下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/595203141232011134>