

循环流化床锅炉双面百叶窗
分离器的冷态模型实验及计算研究

硕士学位论文

研究生 李舒量

导师 张亚夫

中国科学院工程热物理所

一九九五年

循环流化床锅炉双面百叶窗
分离器的冷态模型实验及计算研究

硕士学位论文

研究生 李舒量

导 江苏工业学院图书馆 夫
藏书章

中国科学院工程热物理所

一九九五年

目录

目录	1
摘要	4
Abstract	4
致谢	5
一. 引言	6
二. 工程背景和研究状况	9
1. 循环流化床分离器的发展状况	9
2. 百叶窗分离器	12
3. 双面百叶窗分离器设想的提出	14
三. 双面百叶窗冷态模型实验设计	16
1. 冷态模型实验方法的初步分析	16
2. 冷态模型实验台系统	18
(1) 双面百叶窗外分离实验系统	18
(2) 双面百叶窗内分离实验系统 1	19
(3) 双面百叶窗内分离实验系统 2	20
3. 实验物料	20
4. 测量手段	20
四. 数据处理方法	22
五. 双面百叶窗外分离的实验研究	26
1. 双面百叶窗分离器的基本工作情况	26
(1) 基本工作环节	26
(2) 各级分离叶片的负荷分布	27
(3) 新鲜物料与颗粒瀑布的不同分离情况	27
(4) 分离叶片上物料的堆积情况	29
(5) 在不同分离负荷下分离叶片的工作情况	30
2. 倒钩结构对分离特性的影响	31
(1) 倒钩高度对分离特性的影响	31
(2) 倒钩位置对分离特性的影响	32
(3) 倒钩长度对分离特性的影响	32

3. 导流百叶窗与分离百叶窗间距对分离特性的影响	34
4. 导流角对分离特性的影响	35
5. 风速对分离特性的影响	36
6. 叶片负荷对分离特性的影响	37
7. 加装叶片前缘小片的尝试	37
8. 分离百叶窗叶片缺损事故模拟	37
9. 分级效率	37
10. 压降特性	37
11. 双面百叶窗与传统百叶窗性能对比	38
六. 双面百叶窗内分离实验	39
1. 最初的双面百叶窗内分离实验	39
2. 改进的双面百叶窗内分离实验	39
七. 双面百叶窗流场数值计算	41
1. 数值计算对双面百叶窗的适用性	41
2. 计算方法	41
(1) 气相流场的计算方法	41
(2) 单颗粒在流场中的运动轨迹	41
3. 双面百叶窗各组计算结果	42
(1) 倒钩位置	42
(2) 导流角 α_1	43
(3) 流速	45
(4) 倒钩长度 l_h	46
(5) 倒钩高度 h_h	47
(6) 倒钩中的涡	47
(7) 导流角 α_1 (进一步优化结构)	48
(8) 冷态与热态比较	49
4. 计算的收敛情况	49
八. 双面百叶窗分离效率计算模型	50
九. 进一步完善双面百叶窗的方案探讨	52
十. 双面百叶窗的工程应用形式	53
十一. 结论	54

十二. 符号表	56
十三. 参考文献	58
附录 1. 各章图表	60
附录 2. 各组双面百叶窗结构	76
附录 3. 各组双面百叶窗实验原始数据曲线	88

目录

目录	1
摘要	4
Abstract	4
致谢	5
一. 引言	6
二. 工程背景和研究状况	9
1. 循环流化床分离器的发展状况	9
2. 百叶窗分离器	12
3. 双面百叶窗分离器设想的提出	14
三. 双面百叶窗冷态模型实验设计	16
1. 冷态模型实验方法的初步分析	16
2. 冷态模型实验台系统	18
(1) 双面百叶窗外分离实验系统	18
(2) 双面百叶窗内分离实验系统 1	19
(3) 双面百叶窗内分离实验系统 2	20
3. 实验物料	20
4. 测量手段	20
四. 数据处理方法	22
五. 双面百叶窗外分离的实验研究	26
1. 双面百叶窗分离器的基本工作情况	26
(1) 基本工作环节	26
(2) 各级分离叶片的负荷分布	27
(3) 新鲜物料与颗粒瀑布的不同分离情况	27
(4) 分离叶片上物料的堆积情况	29
(5) 在不同分离负荷下分离叶片的工作情况	30
2. 倒钩结构对分离特性的影响	31
(1) 倒钩高度对分离特性的影响	31
(2) 倒钩位置对分离特性的影响	32
(3) 倒钩长度对分离特性的影响	32

3. 导流百叶窗与分离百叶窗间距对分离特性的影响	34
4. 导流角对分离特性的影响	35
5. 风速对分离特性的影响	36
6. 叶片负荷对分离特性的影响	37
7. 加装叶片前缘小片的尝试	37
8. 分离百叶窗叶片缺损事故模拟	37
9. 分级效率	37
10. 压降特性	37
11. 双面百叶窗与传统百叶窗性能对比	38
六. 双面百叶窗内分离实验	39
1. 最初的双面百叶窗内分离实验	39
2. 改进的双面百叶窗内分离实验	39
七. 双面百叶窗流场数值计算	41
1. 数值计算对双面百叶窗的适用性	41
2. 计算方法	41
(1) 气相流场的计算方法	41
(2) 单颗粒在流场中的运动轨迹	41
3. 双面百叶窗各组计算结果	42
(1) 倒钩位置	42
(2) 导流角 α_1	43
(3) 流速	45
(4) 倒钩长度 l_h	46
(5) 倒钩高度 h_h	47
(6) 倒钩中的涡	47
(7) 导流角 α_1 (进一步优化结构)	48
(8) 冷态与热态比较	49
4. 计算的收敛情况	49
八. 双面百叶窗分离效率计算模型	50
九. 进一步完善双面百叶窗的方案探讨	52
十. 双面百叶窗的工程应用形式	53
十一. 结论	54

十二. 符号表	56
十三. 参考文献	58
附录 1. 各章图表	60
附录 2. 各组双面百叶窗结构	76
附录 3. 各组双面百叶窗实验原始数据曲线	88

摘要

双面百叶窗是一种结构紧凑、规整的新型百叶窗式气固分离器，很适合用于循环流化床锅炉上。论文通过冷态实验和数值计算对双面百叶窗的分离特性进行了研究，给出了导流角、导流百叶窗与分离百叶窗的间距、分离百叶窗叶片的倒钩结构、风速、料腿窜气、分离负荷等因素对分离特性的影响。实验发现，分离百叶窗前存在颗粒瀑布。在大型化时，分离百叶窗中下部的颗粒瀑布浓度会变得非常高，这会使分离效率大大降低。论文提出了颗粒瀑布收集系统方案以解决这个问题。为计算大负荷下的分离叶片分离效率，提出了一个叶片分离效率模型。

关键词：循环流化床锅炉， 分离器， 双面百叶窗

Abstract

Double louver is a new structure of louvers type gas-solid separator. It is compact and rectangular-shaped which makes it suitable for circulating fluidized bed boiler. The separation feature of double louver was studied by cold model experiments and numeric calculation. It shows that the separation performance is affected by leading angle, distance between leading louver and separation louver, the structure of hook, the velocity of gas, the leakage of fluidized gas of standpipe and load of separation. Particle fall was spotted in the experiments. The middle and bottom parts of the particle fall will become very dense when enlarging the double louver. It will decrease the separation efficient greatly. An idea for collecting particle fall was given to solve the problem. A model is given to calculate the blade efficiency.

key words: circulating fluidized bed boiler, separator, double louver

致谢

感谢张亚夫教授的亲切关怀指导。王达三教授、潘忠刚教授、燕桂章高级工程师、吕清刚博士、那永洁工程师、包绍麟工程师自始至终给予本论文工作以极大的支持和帮助，在此向他们表示衷心的感谢。还特别感谢参加了实验工作的许鸿坤、杨振良和陆一新同志以及对计算工作提供帮助的王志峰博士。

一.引言

我国是以煤为主要能源的国家,煤占能源总消耗的 75%,而 80%以上的煤是以直接燃烧的方式利用的。由于我们的燃烧技术比较落后,燃料利用率低,污染严重。消耗煤炭总量近 1/3 的大量工业锅炉,其平均热效率只有 50~60%,消耗煤产量近 1/4 的发电行业,其发电热效率只有 30%左右。含硫量 2%以上的煤占我国煤炭总产量的 1/4 左右,而大多数锅炉因为技术和经济上的原因,目前尚无法采取有效脱硫措施,因而在许多地区造成了严重的空气污染和酸雨危害,对人民身体健康和工农业生产造成了极大的影响,在西南地区尤为严重。因此,提高工业锅炉的燃烧效率、降低污染是我国能源工业的紧迫任务。

从目前的技术和经济角度来看,循环流化床燃烧技术是解决这个问题的一個良好方案。循环流化床燃烧技术是近十几年来发展起来的新型燃煤技术,是对传统的炉排炉和煤粉炉的一个重大革新。由于物料的反复循环、锅炉的低温燃烧特性(850 — 950°C)和空气的分级供给,使其对煤种的适应性好、燃烧效率高、SO₂和 NO_x排放容易控制。此种锅炉可以燃用褐煤、各类烟煤和无烟煤,也可燃用城市垃圾、甘蔗渣、树皮、油页岩、石煤、低挥发份无烟煤和石油焦等劣质燃料,同一台锅炉甚至可以同时燃用多种燃料。可以通过添加石灰石进行简单的炉内脱硫处理,其成本比尾部烟气脱硫低得多, NO_x生成量比煤粉炉和炉排炉也少得多。该种锅炉的负荷调节比大、负荷调节速度快,也易于实现大型化。对于十几吨/时到几百吨/时的锅炉,或燃用劣质燃料方面,循环流化床锅炉的优势尤其明显。

由于循环流化床锅炉具有传统锅炉所不具备的许多优点,在世界范围内得到迅速发展。德国 Lurgi 公司首先发展了氢氧化铝焙烧的循环流化床工艺,芬兰 Ahlstrom 公司第一个将这种工艺用于燃煤设备,所开发的世界上首台循环流化床锅炉(20t/h)于 1979 年投入运转。很快美国 Battelle 实验室开发的 25t/h 循环流化床锅炉(1981 年)、德国 Lurgi 公司的 84MW 循环流化床锅炉(1982)相继投运。瑞典 Gotaverken 和 Studsvik 等公司也介入到开发行列。到 1990 年, Lurgi/CE 的 499t/h 锅炉投运,至今已运行多年。到目前,世界上差不多所有的大锅炉厂都介入了开发循环流化床锅炉的浪潮,约有 200 台蒸发量为每小时几十吨到几百吨容量的循环流化

床锅炉在运转和建设中。

目前各个公司开发的循环流化床锅炉，虽然构成循环流化床燃烧的基本环节和工作过程的组织原理基本上是一样的，但气固分离器的结构和安装位置、受热面的布置有所不同，因而出现了各种各样的炉型。循环流化床锅炉的基本工作原理是，燃煤和空气进入一个流态化燃烧室，发生掺混和点火燃烧，烟气夹带大量细颗粒进入后部的气固分离器，物料被分离，然后通过返料器返回燃烧室再参加循环。为使炉膛内燃烧温度维持在 $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，需要把约50%的燃烧释热由冷却受热面传给锅炉汽水系统。Pyroflow(芬兰 Ahstrom)、Lurgi(德国)和 Multi-Solids(美国 Battelle)是三种典型的炉型，它们都采用了紧接燃烧室的旋风分离器作为细物料分离收集装置，所不同的是 Ahstrom 只将受热面布置在炉膛上部，Battelle 只将受热面布置在外部返料热交换器内，而 Lurgi 则两处皆设。当然，为发挥各自的特点，所采用的流化速度和具体结构是有所不同的。德国 Babcock 的 Circofluid 炉型将旋风分离器移至后部中温区进行中温分离，炉膛内风速较低、布置了屏式过热器、管式过热器和省煤器。瑞典的 Studsvik 炉型在炉膛出口采用一系列 U 型柱分离器(U-Beam)进行高温分离，并利用储料装置在一定程度上控制返料。德国的 Steinmuller 炉型、B&W(Babcock & Wilcox)的第三代炉型在炉膛内设置槽形分离器，后部又设一级中温多管旋风分离器。芬兰的 Ecofire 炉型采用水平高温旋风分离器和炉内返料形式。在这些炉型中，Lurgi 和 Pyroflow 的应用和经验最多，而 Lurgi 比 Pyroflow 更适用与 220t/h 以上的大型电站锅炉。

我国自1964年以来，在燃用劣质煤的鼓泡流化床锅炉方面有相当的发展。在循环流化床锅炉的研究和开发方面，虽然起步较晚，但近年来已迅速展开，取得了一定成绩。中国科学院工程热物理所在国内率先开展了循环流化床燃烧技术的科研和开发工作，1984年建起了国内第一台循环流化床燃烧装置，容量为 2.8MW ，顺利地进行了试验和运转。其炉型基本是仿照 Pyroflow 炉型，但在炉膛上部设置了曲径燃烬层^[8]。随后与开封锅炉厂合作，开发 10t/h 循环流化床锅炉，1988年通过产品鉴定并投入生产。这是我国第一台循环流化床锅炉，其炉型基本上也是仿照 Pyroflow 炉型，但结构上采用紧凑的整体式。“七五”期间，又承担了“ 35t/h 循环流化床发电锅炉”的国家攻关任务，为了减轻循环物料的粉化和高温旋风分离器

内衬的磨损以及提高燃料燃烬，采用了高温的第一级惯性分离（惯性室）、第二级旋风分离的分级循环流化床燃烧系统。该锅炉 1989 年通过技术鉴定，投入生产。该所又开发了 75t/h 百叶窗分级分离循环流化床锅炉，于 1992 年通过鉴定。国内还有不少大专院校和科研单位也先后介入循环流化床锅炉的研究和开发行列，都在努力发挥各自的特长和经验使各自的系统转为能实用的循环流化床锅炉设备，如清华大学开发了平面流分离器炉型和旋涡分离器式的内循环炉型，哈尔滨工业大学开发了低循环倍率、带床内埋管的炉型，华中理工大学、浙江大学开发了中温下排气旋风分离器炉型。西安热工所、西安交通大学、上海成套所、东南大学等单位亦都在开展这方面的工作，国内各大锅炉厂、许多中小锅炉厂都生产循环流化床锅炉，有些锅炉厂正尝试引进国外技术、合作生产大型循环流化床锅炉。目前，国内自行设计生产的容量最大的循环流化床锅炉，已运行并通过鉴定的是中国科学院工程热物理所的 75t/h 和清华大学的 75t/h 锅炉，正在建设中的是中国科学院工程热物理所的 220t/h 锅炉。中国科学院工程热物理所正着手国际合作，开发 410t/h 循环流化床锅炉。国内新建和由旧锅炉改造而成的循环流化床锅炉约 200 多台，它们的燃烧效率一般为 98% 左右，热效率为 85~90%，比过去的中小工业锅炉大有提高，为节约能源、保护环境和发展经济作出了贡献。

分离器是循环流化床锅炉的关键部件，对炉膛的燃烧和传热影响很大。由于循环流化床燃烧是一种新技术，理论和经验都有限，大多数炉型的样板炉在调试阶段几乎都经历了翻修或改造，其中问题最多的就是分离器，原因是分离器损坏或分离效率达不到设计值。在各炉型大型化阶段，人们对放大时可能带来的问题估计不足，分离器的问题尤为突出。如果分离器分离效率不够，就可能出现炉膛下部超温、结渣、带不上负荷、燃烧效率下降及烟道内受热面不正常磨损等一系列严重问题。因此，各循环流化床锅炉研究单位都把分离器的研究工作放在重要位置上。

这篇论文，将对一种新型分离器——双面百叶窗分离器——进行冷态试验和计算研究，目的是：第一，论证其可行性，避免决策失误；第二，搞清双面百叶窗流动的基本特征，进行初步的结构参数优化；第三，为 410t/h 锅炉的生产设计提出一些建议。

二.工程背景和研究状况

1. 循环流化床分离器的发展状况

循环流化床锅炉靠气固分离系统将气体夹带的物料分离下来送回炉膛,维持物料的反复循环,组织炉膛的燃烧和传热,保证脱硫剂的高效利用。为使循环流化床锅炉正常运行,要求系统总体分离效率达到97%~99.9%(视煤种和锅炉特性而定)。早期的循环流化床锅炉都是利用旋风筒进行一级高温分离,后来出现了中温一级分离(德国 Babcock 的 Circofluid 炉型)和多级分离。多级分离常用的是高温、中温或高温低温两级分离,其好处是:第一级高温分离可以利用分离效率较低,但结构较简单的分离器,未被第一级分离下来的细物料由中温或低温分离器分离,由于温度降低,烟气处理量减小,分离器的体积可以做得比较小,而且不需使用耐高温材料,这样物料分离过程的组织更为合理,锅炉的总体结构更紧凑,造价更低。

循环流化床锅炉的各种分离器,在开发过程中可以借鉴原来化工流化床或工业除尘领域中的许多经验,但这些经验还远远不够,因为循环流化床锅炉上分离器的工作条件十分恶劣,烟气流量大,固体物料浓度高,高温分离器正常工作温度达850~950℃,因此,循环流化床锅炉所用的分离器,在结构和材料上都有特殊要求,每一种分离器几乎都要经历反复改造的过程。到目前为止,循环流化床锅炉大致有以下这些已经商业化的分离器:

(1) 高温旋风筒

用以进行高温分离,绝大多数情况下一级分离就能满足锅炉运行要求。Ahlstrom (Pyroflow 炉型)、Lurgi 和其它许多公司都采用。主要优点是分离效率高,即使是大型旋风筒,由于各公司都进行了大量改进工作,分离效率也不太低。在大型化时出现了水冷或汽冷型。高温旋风筒的主要缺点是:①工艺要求高,造价很高,水冷或汽冷型更是如此。②非水冷、汽冷型保温材料厚(200~450mm),启动时间长(大型锅炉接近20小时),启动时要消耗大量燃油;停炉时间

也很长。③与传统锅炉结构不好匹配，占地面积大，笨重。大型锅炉采用多个旋风筒并联，问题更突出。

(2) 中温旋风筒

德国 Babcock 的 Circofluid 炉型采用较低的流化速度和炉内防磨措施，将屏式过热器、管式过热器和省煤器布置在炉膛上方，使炉膛出口温度降至 400°C ，再用中温旋风筒进行分离。这种布置，使得旋风筒可以用钢来制造，体积也比高温旋风筒小。

(3) 方旋风筒

Ahlstrom 公司新开发了方旋风，结构非常简单、紧凑。方形分离室内装有涡旋发生器，方旋风筒的壁面由水冷壁构成，直接和炉膛相连，没有膨胀节。据称这种分离器的分离效率和传统旋风筒相当。Ahlstrom 公司把采用方旋风筒的炉型取名为 Pyroflow 紧凑型 (Pyroflow Compact)，并称为第二代循环流化床锅炉。第一台 Pyroflow 紧凑型循环流化床锅炉（热功率 18MW，电功率 5MW）于 1992 年底在芬兰 Kuhmon 市投运，热功率为 100MW 的紧凑型循环流化床锅炉定于 1995 年初投运。

(4) 炉内旋风筒

Templla Power 公司（总部设在芬兰）开发的 CYMIC 炉型将旋风筒布置在圆形炉膛的上部，气固混合物从旋风筒四周进入旋风筒，并靠进口导向板起旋。

(5) 卧式旋风筒

芬兰 Ecofire 炉型利用炉顶卧式旋风筒减小一级高温分离，清华大学也开发成功类似的炉型。卧式旋风筒炉型结构紧凑适用于中小锅炉。

(6) 下排气旋风筒

浙江大学开发的一种炉型采用一级中温下排气旋风筒进行分离，锅炉结构比较紧凑。

(7) 多管旋风筒

德国 Steinmuller、B&W (Babcock & Wilcox) 公司有利用多管旋风筒进行中温分离的炉型。多管旋风筒一般是直流式的，阻力比常规旋风筒低，但分离效率低于常规旋风筒，高于惯性分离器。

(8) 惯性室

中国科学院工程热物理所的一种炉型利用惯性室进行第一级高温分离，紧接着的高温旋风筒进行高温第二级分离。浙江大学的一种炉型利用U型惯性室进行粗分离。惯性室是结构很简单的惯性分离器，分离效率低，适用于粗分离。

(9) U型柱(U-Beam) 分离器

瑞典 Studsvik 公司最先开发，B&W 公司购买了生产许可证。U型柱分离器结构紧凑、阻力低，但分离效率不太高，用于高温分离时材料价格颇高。目前，国内一些单位正着手开发水冷型U型柱分离器，以解决高温情况下材料昂贵的问题。

(10) 百叶窗分离器

中国科学院工程热物理所开发了适用于循环流化床锅炉的百叶窗分离器，包括用于高温和低温分离的两种形式，前者为纯百叶窗结构，后者为百叶窗-旋风筒组合结构。百叶窗分离器的特点是结构紧凑、阻力低、造价低。

(11) 平面流分离器

清华大学开发了高温平面流分离器，已用于 75t/h 循环流化床锅炉上，它也具有结构紧凑、阻力低、造价低的特点，但分离效率不太高。以高温旋风筒为分离器的炉型在西方发达国家占有绝对优势，1992 年市场占有率(按容量计算)约 90%。这是因为高温旋风筒分离效率高，锅炉循环倍率 R 往往达 40 左右，它给炉膛燃烧和传热带来了很好的特性，脱硫剂的利用效率也高。另外，高温旋风筒及相应的炉型最为成熟，赢得了客户的信赖，使得他们不是很愿意选择其它炉型。高温旋风筒技术要求高，投资大，启动时消耗大量燃油，又有专利保护，因此，在中国大型化很困难。为此，国内一些循环流化床锅炉开发单位已经把主攻方向技术要求低、投资小的惯性分离器和多级分离系统上，如中国科学院工程热物理所开发了百叶窗分离器及相应的多级分离系统，清华大学开发了平面流分离器，浙江大学也在研究带内隔板式百叶窗分离器、水冷U型柱分离器及炉内伞形惯性槽式分离器。在这些工作中，中国科学院工程热物理所的百叶窗分离器及相应的多级分离炉型是比较成熟的，国内市场占有率最大。

2. 百叶窗分离器

百叶窗分离器是一种惯性分离器，过去在工业除尘领域中常用于稀相气固分离。为提高分离效率，一般还应将尾部高浓度气体抽到分离效率很高的小旋风筒进行分离。百叶窗分离器的分离效率虽然比不上旋风筒，但在各种惯性分离器中，它的分离效率是最高的。其主要优点是^{[1][2][3][11]}：体积小，结构简单，分离效率比较高，阻力比旋风除尘小。

四十年代，前苏联在大型电站煤粉炉顶部的水平烟道中设置了百叶窗-旋风筒式除尘器，并做了大规模的工业试验。试验表明，这种装置的除尘性能良好，能有效降低尾部烟道中的烟气含尘量，主要问题是叶片材料发生高温变形和氧化^[2]。五十年代，美国 Smith 等人通过使用探讨了百叶窗除尘器的除尘机理，认为尘粒在叶片表面的碰撞反弹是影响除尘效率的关键之一^{[2][3]}。六七十年代，新津靖、冈田定五、宁敷建一等人的研究表明^{[11][3]}，带尾部抽气的用于稀相分离的百叶窗最佳参数是：叶片倾角 24° ，叶片宽度 20~30mm，叶片列间距 20mm，尾部抽气率 6~10%。适用的来流速度范围 2~10m/s，含尘浓度一般小于 50g/m³。关于叶片倾角，大于 24° 时倾角越小分离效率越高，而且，阻力不随倾角减小而增大，但倾角小于 24° 以后分离效率没有提高，阻力却随倾角减小迅速增大。关于叶片列间距，在与叶片长度相近的范围内（保证一定的重叠度）分离效率不受影响，但间距过大时分离效率迅速下降；叶片列间距过小没有好处，分离效率并不提高。风速对分离效率的影响是，风速越高，分离效率越高，对小颗粒更是如此。在几何参数一定时，阻力与风速的平方成正比。

八十年代末期，中国科学院工程热物理所开始研究适用于循环流化床锅炉的百叶窗分离器^{[1][2][3][4][5]}，用百叶窗分离器进行第一级高温分离（850~950℃）和第二级单位分离（310℃左右）。将百叶窗分离器应用于循环流化床锅炉上，特别是第一级高温分离，有很多难点。这里的颗粒浓度要比一般锅炉和工业除尘设备中的高出上百倍，其粒径也大得多，平均粒径要高出十倍，前者不利于分离，后者很利于分离。在循环流化床锅炉上，为了整体布置的紧凑合理和降低成本，百叶窗分离器的结构尺寸，是不可能为了良好的分离特性而做得巨大和复杂的，因此，第一级高温百叶窗不设尾部抽气，结构上也做了与锅炉形状相结合的处理，见图 2.2.1。