(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 204084324 U
(45)授权公告日 2015.01.07

(21)申请号 201420430664.7

(22)申请日 2014.07.31

(73)专利权人 清华大学
地址 100084 北京市海淀区 100084 信箱 82 分箱清华大学专利办公室

(72)发明人 李先庭 纪文杰 吴伟 王宝龙 耿阳 潘文彪 石文星

(74)专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司 11327
代理人 邸更岩

(51)Int.Cl.
F22D 1/36(2006.01)
F24H 9/00(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

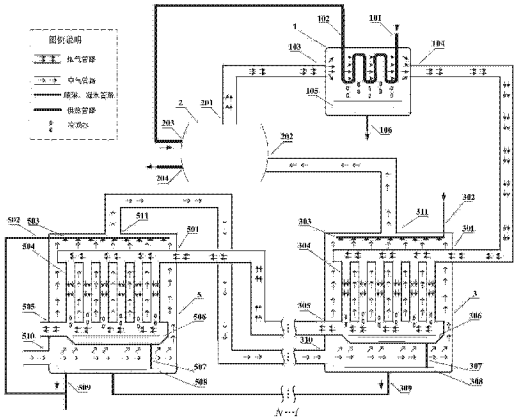
权利要求书1页 说明书9页 附图6页

(54)实用新型名称

一种锅炉烟气深度热回收装置

(57)摘要

一种锅炉烟气深度热回收装置，属于余热回收技术领域。本实用新型包括锅炉、烟气－回水换热器和串联布置的N级热回收装置，其中N≥1。每级热回收装置均包含喷嘴、烟气－空气换热器、烟气凝水槽、烟气凝水管、热回收集水槽、热回收排水管等。每级热回收装置通过空气侧的喷淋加湿来提高空气的等效热容，大大增加了空气的载热能力，使得锅炉的排烟温度更低，从空气侧实现锅炉烟气的深度热回收。本实用新型采用了锅炉的进风与烟气进行换热，通过对进风空气侧喷淋加湿的手段增加空气含水量，提高空气的等效热容，从而实现更大的换热量，有效降低了锅炉排烟温度，充分回收了烟气余热；此外，燃料湿度增加可降低燃烧温度，能减少NO_x的形成。



CN 204084324 U

1. 一种锅炉烟气深度热回收装置，包含烟气－回水换热器（1）和锅炉（2），所述烟气－回水换热器（1）包含一次网回水入口（101）、一次网回水出口（102）、回水换热器烟气入口（103）、回水换热器烟气出口（104）、回水换热器凝水槽（105）和回水换热器排水口（106）；所述锅炉（2）包含锅炉烟气出口（201）、锅炉空气入口（202）、锅炉回水口（203）和锅炉热水出口（204）；所述锅炉烟气出口（201）与回水换热器烟气入口（103）相连，一次网回水出口（102）与锅炉回水口（203）相连，回水换热器凝水槽（105）和回水换热器排水口（106）位于烟气－回水换热器（1）的底部；

其特征在于：所述锅炉烟气深度热回收装置还包含串联布置的N级热回收装置，其中N≥1；每级热回收装置均包含热回收烟气入口、喷淋水入口、喷嘴、烟气－空气换热器、热回收烟气出口、烟气凝水槽、烟气凝水管、热回收集水槽、热回收排水管、热回收空气入口和热回收空气出口；每级热回收装置中，所述的喷嘴、烟气－空气换热器、热回收集水槽和热回收排水管从上到下依次布置；烟气凝水槽和烟气凝管水依次布置在烟气－空气换热器的底部；

回水换热器烟气出口（104）与第一级热回收烟气入口相连，每级热回收烟气出口与下级热回收烟气入口相连，第N级热回收烟气出口与外界相通；每级热回收空气入口与下级热回收空气出口相连；

第N级热回收空气入口与外界相通，第一级热回收空气出口与锅炉空气入口（202）相连；每级热回收排水管与下级热回收集水槽相连，第N级热回收排水管与外界相通，第一级热回收装置之后的每级热回收排水管还与本级的喷淋水入口相连。

2. 根据权利要求1所述的一种锅炉烟气深度热回收装置，其特征在于：所述串联布置的N级热回收装置的第一级喷淋水入口与外接水源或回水换热器排水口（106）相连；所述外接水源为自来水、地表水或地下水。

3. 根据权利要求1所述的一种锅炉烟气深度热回收装置，其特征在于：每级热回收装置中的烟气－空气换热器底部均具有凝水排放坡度。

4. 根据权利要求1所述的一种锅炉烟气深度热回收装置，其特征在于：每级热回收装置中的烟气－空气换热器采用叉流换热器、逆流换热器或者顺流换热器。

一种锅炉烟气深度热回收装置

技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种锅炉烟气深度热回收装置，特别适用于燃气锅炉与燃煤锅炉烟气余热回收，属于余热回收及节能技术领域。

背景技术

[0002] 燃煤、燃气是我国最主要的能源来源，据统计，我国的锅炉总量近 220 万台，在电力、冶金、纺织、食品等行业发挥着重要的作用，与我们息息相关的供热采暖都及生活热水也需要锅炉提供大量的热。

[0003] 而在锅炉的各种热损失中，排烟损失占到了 60％～ 70％。高温烟气直接排掉是一种不仅是巨大的能源浪费，而且会造成环境污染。若能有效回收排烟的热量，提高锅炉的热效率，可节省大量的燃料消耗。因此采取有效的方法实现锅炉的烟气余热的高效回收，一直是人们关注的重点。

[0004] 省煤器是现已推广应用的一项成熟技术，它主要是通过吸收的低温烟气的热量，从而降低排烟的温度，节省了能源，提高了效率。然而在省煤器的设计中，为了避免酸腐蚀问题，在换热过程中要求不能产生凝水（酸），即换热过程只是通过降低烟气的显热来起到热回收的作用。因此，目前的省煤器仅可使锅炉效率提高 5％左右，此时排烟温度仍在 100℃以上，排烟仍有很多的热量（显热和潜热）未被回收利用。

[0005] 能够更深度回收烟气余热，进一步降低排烟温度，一直以来是备受关注的话题，也有着一定的挑战性与难度。目前现有的较为成熟的代表性技术主要有以下两种：

[0006] 一、专利文献 ZL201320699289.1 提出了一种基于吸收式热泵技术的烟气余热回收系统。系统主要部件为燃气锅炉、燃气驱动吸收式热泵以及直接接触式烟水换热器，其中燃气锅炉与吸收式热泵产生的烟气汇合后通过直接接触式烟水换热器降温冷凝，一股循环水在烟水换热器和吸收式热泵之间循环，循环水被烟气加热后回到吸收式热泵的蒸发器被降温，低温循环水再通入换热器与烟气换热。热水侧，一次网回水首先依次通入吸收式热泵的吸收器和冷凝器被预热，预热后的一次网水再进入燃气锅炉，被加热后作为一次网供回水供给换热站或热用户。按照这样的余热回收方案，锅炉热效率一般可以提高 12％左右（按燃气低位热值计算）。

[0007] 二、专利文献 CN201110371994.4 公开了一种烟气余热回收利用与除尘净化复合型设备。该设备包括换热吸收复合装置、间壁式换热器、沉淀收集排污装置、溶液池和液泵；换热吸收复合装置的顶部设有液体分布器，液间壁式换热装置位于换热吸收复合装置的下部，换热吸收复合装置的下部设有沉淀收集排污装置。换热吸收复合装置由烟气进口段、烟气进口导流段、换热吸收段、烟气出口挡液导流段和烟气进口段组成，在换热吸收段内布置有液体网孔式液膜分布网。该设计集余热回收和净化处理于一体，不仅可以回收利用排烟显热和潜热，还兼有防腐除尘防垢、净化处理等作用，并减小流动阻力以及风机和水泵能耗，降低产品的成本，达到烟气余热回收利用，同时锅炉热效率一般可以提高 10％左右（按燃气低位热值计算）。

[0008] 但是上述两种技术方案都存在各自的技术短板。基于吸收式循环的烟气余热回收设备的初投资巨大，经济性欠佳，在实际工程中较难大范围推广。而“一种烟气余热回收利用与除尘净化复合型设备”最主要的优势是解决了烟气余热回收中的腐蚀性问题，但由于其冷介质的温度不够低，换热能力有限，排烟温度仍然较高，热回收深度不够。

实用新型内容

[0009] 针对现有技术存在的不足和缺陷，本实用新型的目的是提出一种锅炉烟气深度热回收装置，在利用普通烟气－回水换热器进行一次热回收的基础上，创新性地提出在空气侧进行喷淋加湿，从而进一步回收排烟潜热实现深度热回收的思想。通过给送入锅炉的助燃空气喷淋加湿，增大空气的等效热容，进一步提高空气的热回收能力。

[0010] 本实用新型的技术方案如下：

[0011] 一种锅炉烟气深度热回收装置，包含烟气－回水换热器和锅炉，所述烟气－回水换热器包含一次网回水入口、一次网回水出口、回水换热器烟气入口、回水换热器烟气出口、回水换热器凝水槽和回水换热器排水口；所述锅炉包含锅炉烟气出口、锅炉空气入口、锅炉回水口和锅炉热水出口；所述锅炉烟气出口与回水换热器烟气入口相连，一次网回水出口与锅炉回水口相连，回水换热器凝水槽和回水换热器排水口位于烟气－回水换热器的底部；

[0012] 其特征在于：所述锅炉烟气深度热回收装置还包含串联布置的N级热回收装置，其中N≥1；每级热回收装置均包含热回收烟气入口、喷淋水入口、喷嘴、烟气－空气换热器、热回收烟气出口、烟气凝水槽、烟气凝水管、热回收集水槽、热回收排水管、热回收空气入口和热回收空气出口；每级热回收装置中，所述的喷嘴、烟气－空气换热器、热回收集水槽和热回收排水管从上到下依次布置；烟气凝水槽和烟气凝水管依次布置在烟气－空气换热器的底部；

[0013] 回水换热器烟气出口与第一级热回收烟气入口相连，每级热回收烟气出口与下级热回收烟气入口相连，第N级热回收烟气出口与外界相通；每级热回收空气入口与下级热回收空气出口相连；

[0014] 第N级热回收空气入口与外界相通，第一级热回收空气出口与锅炉空气入口(202)相连；每级热回收排水管与下级热回收集水槽相连，第N级热回收排水管与外界相通，第一级热回收装置之后的每级热回收排水管还与本级的喷淋水入口相连。

[0015] 上述技术方案中，所述串联布置的N级热回收装置的第一级喷淋水入口与外接水源或回水换热器排水口相连；所述外接水源为自来水、地表水或地下水。

[0016] 本实用新型的技术特征还在于：所述每级热回收装置中的烟气－空气换热器底部均具有凝水排放坡度。每级热回收装置中的烟气－空气换热器采用叉流换热器、逆流换热器或者顺流换热器。

[0017] 本实用新型与现有热水制取系统相比具有如下优点：

[0018] ①相对于已有的热回收装置，通过空气侧的喷淋加湿来增加空气的等效热容，大大提高空气的载热能力、降低排烟温度，使得烟气的热回收程度更深，节省了燃料耗量；②增大了锅炉送风中的水蒸气含量，对燃烧有益，可以减少氮氧化物的排放；③锅炉出口排烟的水蒸气含量增加，在烟气－回水换热装置中能够回收的热量更多，高温凝水量增大与一

次网的换热量也有所增大；④明显提高烟气余热回收量及锅炉热效率，在一般工况下即使按照天然气的高位热值计算，锅炉的热效率也可以超过 100％；⑤由于提高锅炉的热效率可以节省天然气的耗量，从而减少大气污染物的排放，对节能环保有很大意义。

[0019] 总的来说，由于本实用新型采用了锅炉的进风与烟气进行换热，通过对进风空气侧喷淋加湿的手段增加空气含水量，提高空气的等效热容，从而实现更大的换热量，有效降低了锅炉排烟温度，充分回收了烟气余热。该技术通过空气侧的喷淋加湿实现了空气与烟气的“全热”交换。此外，燃料湿度增加可降低燃烧温度，能减少 NO_x 的形成，有效降低污染物排放，克服了现有热回收装置的缺点，能够实现在较低的成本及运行费用下实现更深度的热回收，节能减排效果显著。

附图说明

[0020] 图 1 是本实用新型的单级外接水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原理示意图。

[0021] 图 2 是本实用新型的单级冷凝水喷淋的实施例的结构原理示意图。

[0022] 其中：1- 烟气 - 回水换热器；101- 一次网回水入口；102- 一次网回水出口；103- 回水换热器烟气入口；104- 回水换热器烟气出口；105- 回水换热器凝水槽；106- 回水换热器排水口；2- 锅炉；201- 锅炉烟气出口；203- 锅炉回水口；204- 锅炉热水出口；3- 第一级热回收装置；301- 第一级热回收烟气入口；302- 第一级喷淋水入口；303- 第一级喷嘴；304- 第一级烟气 - 空气换热器；305- 第一级热回收烟气出口；306- 第一级烟气凝水槽；307- 第一级烟气凝水管；308- 第一级热回收集水槽；309- 第一级热回收排水管；310- 第一级热回收空气入口；311- 第一级热回收空气出口。

[0023] 图 3 是本实用新型的两级外接水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原理示意图。

[0024] 图 4 是本实用新型的两级冷凝水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原理示意图。

[0025] 其中：1- 烟气 - 回水换热器；101- 一次网回水入口；102- 一次网回水出口；103- 回水换热器烟气入口；104- 回水换热器烟气出口；105- 回水换热器凝水槽；106- 回水换热器排水口；2- 锅炉；201- 锅炉烟气出口；203- 锅炉回水口；204- 锅炉热水出口；3- 第一级热回收装置；301- 第一级热回收烟气入口；302- 第一级喷淋水入口；303- 第一级喷嘴；304- 第一级烟气 - 空气换热器；305- 第一级热回收烟气出口；306- 第一级烟气凝水槽；307- 第一级烟气凝水管；308- 第一级热回收集水槽；309- 第一级热回收排水管；310- 第一级热回收空气入口；311- 第一级热回收空气出口；4- 第二级热回收装置；401- 第二级热回收烟气入口；402- 第二级喷淋水入口；403- 第二级喷嘴；404- 第二级烟气 - 空气换热器；405- 第二级热回收烟气出口；406- 第二级烟气凝水槽；407- 第二级烟气凝水管；408- 第二级热回收集水槽；409- 第二级热回收排水管；410- 第二级热回收空气入口；411- 第二级热回收空气出口；

[0026] 图 5 是本实用新型的多级外接水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原理示意图。

[0027] 图 6 是本实用新型的多级冷凝水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原

理示意图。

[0028] 其中：1- 烟气 - 回水换热器；101- 一次网回水入口；102- 一次网回水出口；103- 回水换热器烟气入口；104- 回水换热器烟气出口；105- 回水换热器凝水槽；106- 回水换热器排水口；2- 锅炉；201- 锅炉烟气出口；203- 锅炉回水口；204- 锅炉热水出口；3- 第一级热回收装置；301- 第一级热回收烟气入口；302- 第一级喷淋水入口；303- 第一级喷嘴；304- 第一级烟气 - 空气换热器；305- 第一级热回收烟气出口；306- 第一级烟气凝水槽；307- 第一级烟气凝水管；308- 第一级热回收集水槽；309- 第一级热回收排水管；310- 第一级热回收空气入口；311- 第一级热回收空气出口；5- 第 N 级热回收装置；501- 第 N 级热回收烟气入口；502- 第 N 级喷淋水入口；503- 第 N 级喷嘴；504- 第 N 级烟气 - 空气换热器；505- 第 N 级热回收烟气出口；506- 第 N 级烟气凝水槽；507- 第 N 级烟气凝水管；508- 第 N 级热回收集水槽；509- 第 N 级热回收排水管；510- 第 N 级热回收空气入口；511- 第 N 级热回收空气出口。

具体实施方式

[0029] 本实用新型提供的一种锅炉烟气深度热回收装置，包含烟气 - 回水换热器 1、锅炉 2 以及串联布置的 N 级热回收装置，其中 $N \geq 1$；所述烟气 - 回水换热器 1 包含一次网回水入口 101、一次网回水出口 102、回水换热器烟气入口 103、回水换热器烟气出口 104、回水换热器凝水槽 105 和回水换热器排水口 106；所述锅炉 2 包含锅炉烟气出口 201、锅炉空气入口 202、锅炉回水口 203 和锅炉热水出口 204；所述锅炉烟气出口 201 与回水换热器烟气入口 103 相连，一次网回水出口 102 与锅炉回水口 203 相连，回水换热器凝水槽 105 和回水换热器排水口 106 位于烟气 - 回水换热器 1 的底部。每级热回收装置均包含热回收烟气入口、喷淋水入口、喷嘴、烟气 - 空气换热器、热回收烟气出口、烟气凝水槽、烟气凝水管、热回收集水槽、热回收排水管、热回收空气入口和热回收空气出口；每级热回收装置中，所述的喷嘴、烟气 - 空气换热器、热回收集水槽和热回收排水管从上到下依次布置；烟气凝水槽和烟气凝管水依次布置在烟气 - 空气换热器的底部；回水换热器烟气出口 104 与第一级热回收烟气入口相连，每级热回收烟气出口与下级热回收烟气入口相连，第 N 级热回收烟气出口与外界相通；每级热回收空气入口与下级热回收空气出口相连；第 N 级热回收空气入口与外界相通，第一级热回收空气出口与锅炉空气入口 202 相连；每级热回收排水管与下级热回收集水槽相连，第 N 级热回收排水管与外界相通，第一级热回收装置之后的每级热回收排水管还与本级的喷淋水入口相连。

[0030] 下面结合附图对本实用新型的结构和运行方式做进一步说明。

[0031] 图 1 是本实用新型的单级外接水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原理示意图，包含烟气 - 回水换热器 1 和锅炉 2，所述烟气 - 回水换热器 1 包含一次网回水入口 101、一次网回水出口 102、回水换热器烟气入口 103、回水换热器烟气出口 104、回水换热器凝水槽 105 和回水换热器排水口 106；所述锅炉 2 包含锅炉烟气出口 201、锅炉空气入口 202、锅炉回水口 203 和锅炉热水出口 204；所述锅炉烟气出口 201 与回水换热器烟气入口 103 相连，一次网回水出口 102 与锅炉回水口 203 相连，回水换热器凝水槽 105 和回水换热器排水口 106 位于烟气 - 回水换热器 1 的底部。

[0032] 所述锅炉烟气深度热回收装置还包含第一级热回收装置 3（即 $N = 1$）；所述第一

级热回收装置 3 包含第一级热回收烟气入口 301、第一级喷淋水入口 302、第一级喷嘴 303、第一级烟气 - 空气换热器 304、第一级热回收烟气出口 305、第一级烟气凝水槽 306、第一级烟气凝水管 307、第一级热回收集水槽 308、第一级热回收排水管 309、第一级热回收空气入口 310 和第一级热回收空气出口 311 ;第一级热回收装置 3 中,第一级喷嘴 303、第一级烟气 - 空气换热器 304、第一级热回收集水槽 308 和第一级热回收排水管 309 从上到下依次布置,第一级烟气凝水槽 306 和第一级烟气凝水管 307 依次布置在第一级烟气 - 空气换热器 304 的底部 ;回水换热器烟气出口 104 与第一级热回收烟气入口 301 相连,第一级热回收烟气出口 305 与外界相通 ;第一级热回收空气入口 310 与外界相通,第一级热回收空气出口 311 与锅炉空气入口 202 相连 ;第一级热回收排水管 309 与外界相通 ;所述第一级热回收装置 3 的第一级喷淋水入口 302 与外接水源相连 ;所述第一级热回收装置 3 的第一级烟气 - 空气换热器 304 的底部具有凝水排放坡度 ;第一级烟气 - 空气换热器 304 为叉流换热器、逆流换热器或者顺流换热器。

[0033] 采用本实用新型所提供的单级外接水喷淋锅炉烟气深度热回收运行过程是 :在第一级热回收装置 3 中,烟气在第一级烟气 - 空气换热器 304 内部流动,空气在第一级烟气 - 空气换热器 304 外部流动,喷淋水在第一级烟气 - 空气换热器 304 的空气侧喷淋加湿,形成一种烟气、空气和喷淋水三股流体传热传质的过程,该过程具体包括如下步骤 :

[0034] 1) 所述锅炉 2 的锅炉烟气出口 201 的烟气经回水换热器烟气入口 103 送入烟气 - 回水换热器 1 中,与从一次网回水入口 101 流入的一次网回水进行热交换后从回水换热器烟气出口 104 排出 ;一次网回水吸收烟气的热量后经一次网回水出口 102 流出,并通过锅炉回水口 203 送入锅炉 2,加热到所需温度后从锅炉热水出口 204 送给热用户 ;烟气在一次网回水的冷却下,凝结出的凝水汇集至回水换热器凝水槽 105,并经回水换热器排水口 106 排出 ;

[0035] 2) 对于烟气循环 :由回水换热器烟气出口 104 排出的烟气经第一级热回收烟气入口 301 进入第一级热回收装置 3,并在第一级烟气 - 空气换热器 304 内部向下流动,经过热回收之后,烟气最终从第一级热回收烟气出口 305 排向室外或排烟净化处理装置 ;

[0036] 3) 对于空气循环 :外界空气从第一级热回收空气入口 310 进入第一级热回收装置 3,并在第一级烟气 - 空气换热器 304 的外部向上流动,经过热回收之后,空气最终从第一级热回收空气出口 311 流出,并经锅炉空气入口 202 送入锅炉 2 中助燃 ;

[0037] 4) 对于喷淋和凝水循环 :外接水源 (自来水、地表水或地下水) 经第一级喷嘴 303 在第一级烟气 - 空气换热器 304 管外喷淋,给向上流动的空气喷淋加湿,从而提高空气的等效热容 ;第一级烟气 - 空气换热器 304 管内的烟气释放潜热后所析出的凝结水汇集到第一级烟气凝水槽 306 中,然后经第一级烟气凝水管 307 流入第一级热回收集水槽 308 中,与落下的喷淋水混合后经第一级热回收排水管 309 排向外界或排水净化处理装置。

[0038] 空气喷淋加湿后等效热容增加,热回收能力增强,从烟气中回收的热量大大增加,进一步降低烟气排放温度和含湿量,实现了锅炉烟气的深度热回收。此外,完成热回收后的空气,温度和含湿量均明显增加,送入锅炉 2 中助燃后,不仅能减少锅炉所需的加热量和燃料消耗,还能降低燃烧温度、减少 NOx 的形成和排放。

[0039] 图 2 是本实用新型的单级冷凝水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原理示意图,与图 1 的不同之处在于采用烟气 - 回水换热器 1 中的烟气冷凝水作为喷淋水源,

即将所述回水换热器排水口 106 与第一级热回收装置 3 的第一级喷淋水入口 302 相连，回水换热器凝水槽 105 中收集的烟气冷凝水经回水换热器排水口 106 通入第一级喷淋水入口 302，作为第一级热回收装置 3 的喷淋水源。采用烟气冷凝水作为喷淋水源的好处是：烟气凝水温度高于自来水，对空气的加湿过程更容易。在室外空气相对湿度较大时，或者冬季气温较低时，一般需要对空气进行加热才能完成加湿，而采用冷凝水喷淋正好能实现这个目的。

[0040] 图 3 是本实用新型的两级外接水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原理示意图，包含烟气 - 回水换热器 1 和锅炉 2，所述烟气 - 回水换热器 1 包含一次网回水入口 101、一次网回水出口 102、回水换热器烟气入口 103、回水换热器烟气出口 104、回水换热器凝水槽 105 和回水换热器排水口 106；所述锅炉 2 包含锅炉烟气出口 201、锅炉空气入口 202、锅炉回水口 203 和锅炉热水出口 204；所述锅炉烟气出口 201 与回水换热器烟气入口 103 相连，一次网回水出口 102 与锅炉回水口 203 相连，回水换热器凝水槽 105 和回水换热器排水口 106 位于烟气 - 回水换热器 1 的底部。

[0041] 所述锅炉烟气深度热回收装置还包含串联布置的第一级热回收装置 3 和第二级热回收装置 4（即 N = 2）；所述第一级热回收装置 3 包含第一级热回收烟气入口 301、第一级喷淋水入口 302、第一级喷嘴 303、第一级烟气 - 空气换热器 304、第一级热回收烟气出口 305、第一级烟气凝水槽 306、第一级烟气凝水管 307、第一级热回收集水槽 308、第一级热回收排水管 309、第一级热回收空气入口 310 和第一级热回收空气出口 311；第一级热回收装置 3 中，第一级喷嘴 303、第一级烟气 - 空气换热器 304、第一级热回收集水槽 308 和第一级热回收排水管 309 从上到下依次布置，第一级烟气凝水槽 306 和第一级烟气凝水管 307 依次布置在第一级烟气 - 空气换热器 304 的底部；所述第二级热回收装置 4 包含第二级热回收烟气入口 401、第二级喷淋水入口 402、第二级喷嘴 403、第二级烟气 - 空气换热器 404、第二级热回收烟气出口 405、第二级烟气凝水槽 406、第二级烟气凝水管 407、第二级热回收集水槽 408、第二级热回收排水管 409、第二级热回收空气入口 410 和第二级热回收空气出口 411；第二级热回收装置 4 中，第二级喷嘴 403、第二级烟气 - 空气换热器 404、第二级热回收集水槽 408 和第二级热回收排水管 409 从上到下依次布置，第二级烟气凝水槽 406 和第二级烟气凝水管 407 依次布置在第二级烟气 - 空气换热器 404 的底部；回水换热器烟气出口 104 与第一级热回收烟气入口 301 相连，第一级热回收烟气出口 305 与第二级热回收烟气入口 401 相连，第二级热回收烟气出口 405 与外界相通；第二级热回收空气入口 410 与外界相通，第一级热回收空气入口 310 与第二级热回收空气出口 411 相连，第一级热回收空气出口 311 与锅炉空气入口 202 相连；第一级热回收排水管 309 与第二级热回收集水槽 408 相连，第二级热回收排水管 409 与第二级喷淋水入口 402 相连、并与外界相通；所述第一级热回收装置 3 的第一级喷淋水入口 302 与外接水源相连；所述第一级烟气 - 空气换热器 304 和第二级烟气 - 空气换热器 404 的底部均具有凝水排放坡度；第一级烟气 - 空气换热器 304 和第二级烟气 - 空气换热器 404 均为为叉流换热器、逆流换热器或者顺流换热器。

[0042] 采用本实用新型所提供的两级外接水喷淋锅炉烟气深度热回收运行过程是：对于第一级烟气 - 空气换热器 304 和第二级烟气 - 空气换热器 404，烟气在内部流动，空气在外部流动，喷淋水在空气侧喷淋加湿，在第一级热回收装置 3 和第二级热回收装置 4 中均形成一种烟气、空气和喷淋水三股流体传热传质的过程，该过程具体包括如下步骤：

[0043] 1) 所述锅炉 2 的锅炉烟气出口 201 的烟气经回水换热器烟气入口 103 送入烟气 - 回水换热器 1 中，与从一次网回水入口 101 流入的一次网回水进行热交换后从回水换热器烟气出口 104 排出；一次网回水吸收烟气的热量后经一次网回水出口 102 流出，并通过锅炉回水口 203 送入锅炉 2，加热到所需温度后从锅炉热水出口 204 送给热用户；烟气在一次网回水的冷却下，凝结出的凝水汇集至回水换热器凝水槽 105，并经回水换热器排水口 106 排出；

[0044] 2) 对于烟气循环：由回水换热器烟气出口 104 排出的烟气经第一级热回收烟气入口 301 进入第一级热回收装置 3，并在第一级烟气 - 空气换热器 304 内部向下流动，然后经第一级热回收烟气出口 305 流向第二级热回收烟气入口 401，并在第二级烟气 - 空气换热器 404 内部向下流动，经过两级热回收之后，烟气最终从第二级热回收烟气出口 405 排向室外或排烟净化处理装置；

[0045] 3) 对于空气循环：外界空气从第二级热回收空气入口 410 进入第二级热回收装置 4，并在第二级烟气 - 空气换热器 404 的外部向上流动，然后经第二级热回收空气出口 411 流向第一级热回收空气入口 310，并在第一级烟气 - 空气换热器 304 的外部向上流动，经过两级热回收之后，空气最终从第一级热回收空气出口 311 流出，并经锅炉空气入口 202 送入锅炉 2 中助燃；

[0046] 4) 对于喷淋和凝水循环：外接水源（自来水、地表水或地下水）经第一级喷嘴 303 在第一级烟气 - 空气换热器 304 管外喷淋，给向上流动的空气喷淋加湿，从而提高空气的等效热容；第一级烟气 - 空气换热器 304 管内的烟气释放潜热后所析出的凝结水汇集到第一级烟气凝水槽 306 中，然后经第一级烟气凝水管 307 流入第一级热回收集水槽 308 中，与落下的喷淋水混合后经第一级热回收排水管排 309 送入第二级热回收集水槽 408；第二级烟气 - 空气换热器 404 管内的烟气释放潜热后所析出的凝结水汇集到第二级烟气凝水槽 406 中，然后经第二级烟气凝水管 407 流入第二级热回收集水槽 408 中，与落下的喷淋水混合后经第二级热回收排水管排 409 分为两路，一路流入第二级喷淋水入口 402 作为第二级热回收装置 4 的喷淋水源，另一路则将多余的水排向外界或排水净化处理装置。

[0047] 两级外接水喷淋方案除了具有图 1 所示单级外接水喷淋方案的所有优点外，还具有一个重要的特点：第一级热回收装置 3 中温度和含湿量相对较高的空气喷淋加湿后，回收第一级烟气 - 空气换热器 304 中温度和含湿量相对较高的烟气中的热量；第二级热回收装置 4 中温度和含湿量相对较低的空气喷淋加湿后，回收第二级烟气 - 空气换热器 404 温度和含湿量相对较低的烟气中的热量。整个过程较好的实现了梯级利用，对烟气深度热回收提供了重要保障。相对于单级喷淋，两级喷淋热回收后空气的温度和含湿量均进一步增加，烟气排放温度和含湿量能降得更低，节能减排效果更佳。

[0048] 图 4 是本实用新型的两级冷凝水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原理示意图，与图 3 的不同之处在于采用烟气 - 回水换热器 1 中的烟气冷凝水作为喷淋水源，即将所述回水换热器排水口 106 与第一级热回收装置 3 的第一级喷淋水入口 302 相连，回水换热器凝水槽 105 中收集的烟气冷凝水经回水换热器排水口 106 通入第一级喷淋水入口 302，作为第一级热回收装置 3 的喷淋水源。采用烟气冷凝水作为喷淋水源的好处是：烟气凝水温度高于自来水，对空气的加湿过程更容易。在室外空气相对湿度较大时，或者冬季气温较低时，一般需要对空气进行加热才能完成加湿，而采用冷凝水喷淋正好能实现这个目

的。

[0049] 图 5 是本实用新型的多级外接水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原理示意图，包含烟气 - 回水换热器 1 和锅炉 2，所述烟气 - 回水换热器 1 包含一次网回水入口 101、一次网回水出口 102、回水换热器烟气入口 103、回水换热器烟气出口 104、回水换热器凝水槽 105 和回水换热器排水口 106 ；所述锅炉 2 包含锅炉烟气出口 201、锅炉空气入口 202、锅炉回水口 203 和锅炉热水出口 204 ；所述锅炉烟气出口 201 与回水换热器烟气入口 103 相连，一次网回水出口 102 与锅炉回水口 203 相连，回水换热器凝水槽 105 和回水换热器排水口 106 位于烟气 - 回水换热器 1 的底部 ；所述锅炉烟气深度热回收装置还包含串联布置的第一级热回收装置 3，…，第 N 级热回收装置 5 ；所述第一级热回收装置 3 包含第一级热回收烟气入口 301、第一级喷淋水入口 302、第一级喷嘴 303、第一级烟气 - 空气换热器 304、第一级热回收烟气出口 305、第一级烟气凝水槽 306、第一级烟气凝水管 307、第一级热回收集水槽 308、第一级热回收排水管 309、第一级热回收空气入口 310 和第一级热回收空气出口 311 ；第一级热回收装置 3 中，第一级喷嘴 303、第一级烟气 - 空气换热器 304、第一级热回收集水槽 308 和第一级热回收排水管 309 从上到下依次布置，第一级烟气凝水槽 306 和第一级烟气凝水管 307 依次布置在第一级烟气 - 空气换热器 304 的底部 ；所述第 N 级热回收装置 5 包含第 N 级热回收烟气入口 501、第 N 级喷淋水入口 502、第 N 级喷嘴 503、第 N 级烟气 - 空气换热器 504、第 N 级热回收烟气出口 505、第 N 级烟气凝水槽 506、第 N 级烟气凝水管 507、第 N 级热回收集水槽 508、第 N 级热回收排水管 509、第 N 级热回收空气入口 510 和第 N 级热回收空气出口 511 ；第 N 级热回收装置 5 中，第 N 级喷嘴 503、第 N 级烟气 - 空气换热器 504、第 N 级热回收集水槽 508 和第 N 级热回收排水管 509 从上到下依次布置，第 N 级烟气凝水槽 506 和第 N 级烟气凝水管 507 依次布置在第 N 级烟气 - 空气换热器 504 的底部 ；回水换热器烟气出口 104 与第一级热回收烟气入口 301 相连，第一级热回收烟气出口 305 与下级热回收烟气入口相连，…，第 N 级热回收烟气出口 505 与外界相通 ；第 N 级热回收空气入口 510 与外界相通，第 N 级热回收空气出口 511 与上级热回收空气入口相连，…，第一级热回收空气出口 311 与锅炉空气入口 202 相连 ；第一级热回收排水管 309 与下级热回收集水槽相连，…，第 N 级热回收排水管 509 与第 N 级喷淋水入口 502 相连、并与外界相通 ；所述第一级热回收装置 3 的第一级喷淋水入口 302 与外接水源相连 ；所述第一级烟气 - 空气换热器 304，…，第 N 级烟气 - 空气换热器 504 的底部均具有凝水排放坡度 ；第一级烟气 - 空气换热器 304，…，第 N 级烟气 - 空气换热器 504 均为为叉流换热器、逆流换热器或者顺流换热器。

[0050] 采用本实用新型所提供的多级外接水喷淋锅炉烟气深度热回收运行过程是 ：对于第一级烟气 - 空气换热器 304，…，第 N 级烟气 - 空气换热器 504，烟气在内部流动，空气在外部流动，喷淋水在空气侧喷淋加湿，在第一级热回收装置 3，…，第 N 级热回收装置 5 中均形成一种烟气、空气和喷淋水三股流体传热传质的过程，该运行过程具体包括如下步骤 ：

[0051] 1) 所述锅炉 2 的锅炉烟气出口 201 的烟气经回水换热器烟气入口 103 送入烟气 - 回水换热器 1 中，与从一次网回水入口 101 流入的一次网回水进行热交换后从回水换热器烟气出口 104 排出 ；一次网回水吸收烟气的热量后经一次网回水出口 102 流出，并通过锅炉回水口 203 送入锅炉 2，加热到所需温度后从锅炉热水出口 204 送给热用户 ；烟气在一次网回水的冷却下，凝结出的凝水汇集至回水换热器凝水槽 105，并经回水换热器排水口

106 排出；

[0052] 2) 对于烟气循环：由回水换热器烟气出口 104 排出的烟气经第一级热回收烟气入口 301 进入第一级热回收装置 3，并在第一级烟气－空气换热器 304 内部向下流动，然后经第一级热回收烟气出口 305 流向下级热回收烟气入口，…，然后流向第 N 级热回收烟气入口 501，并在第 N 级烟气－空气换热器 504 内部向下流动，经过 N 级热回收之后，烟气最终从第 N 级热回收烟气出口 505 排向室外或排烟净化处理装置；

[0053] 3) 对于空气循环：外界空气从第 N 级热回收空气入口 510 进入第 N 级热回收装置 5，并在第 N 级烟气－空气换热器 504 的外部向上流动，然后经第 N 级热回收空气出口 511 流向下级热回收空气入口，…，然后流向第一级热回收空气入口 310，并在第一级烟气－空气换热器 304 的外部向上流动，经过第 N 级热回收之后，空气最终从第一级热回收空气出口 311 流出，并经锅炉空气入口 202 送入锅炉 2 中助燃；

[0054] 4) 对于喷淋和凝水循环：外接水源（自来水、地表水或地下水）经第一级喷嘴 303 在第一级烟气－空气换热器 304 管外喷淋，给向上流动的空气喷淋加湿，从而提高空气的等效热容；第一级烟气－空气换热器 304 管内的烟气释放潜热后所析出的凝结水汇集到第一级烟气凝水槽 306 中，然后经第一级烟气凝水管 307 流入第一级热回收集水槽 308 中，与落下的喷淋水混合后经第一级热回收排水管排 309 送入下级热回收集水槽，…，然后流向第 N 级热回收集水槽 508；第 N 级烟气－空气换热器 504 管内的烟气释放潜热后所析出的凝结水汇集到第 N 级烟气凝水槽 506 中，然后经第 N 级烟气凝水管 507 流入第 N 级热回收集水槽 508 中，与落下的喷淋水混合后经第 N 级热回收排水管 509 分为两路，一路流入第 N 级喷淋水入口 502 作为第 N 级热回收装置 5 的喷淋水源，另一路则将多余的水排向外界或排水净化处理装置。

[0055] 多级外接水喷淋方案在图 3 所示两级外接水喷淋技术方案的基础上，梯级利用的级数更多，对烟气的热回收程度更深，节能减排效果更佳。单级外接水喷淋和两级外接水喷淋方案均是多级外接水喷淋方案的特例。

[0056] 图 6 是本实用新型的多级冷凝水喷淋锅炉烟气深度热回收装置实施例的结构原理示意图，与图 5 的不同之处在于采用烟气－回水换热器 1 中的烟气冷凝水作为喷淋水源，即将所述回水换热器排水口 106 与第一级热回收装置 3 的第一级喷淋水入口 302 相连，回水换热器凝水槽 105 中收集的烟气冷凝水经回水换热器排水口 106 通入第一级喷淋水入口 302，作为第一级热回收装置 3 的喷淋水源。采用烟气冷凝水作为喷淋水源的好处是：烟气凝水温度高于外接水，对空气的加湿过程更容易。在室外空气相对湿度较大时，或者冬季气温较低时，一般需要对空气进行加热才能完成加湿，而采用冷凝水喷淋正好能实现这个目的。单级冷凝水喷淋和两级冷凝水喷淋方案均是多级冷凝水喷淋方案的特例。

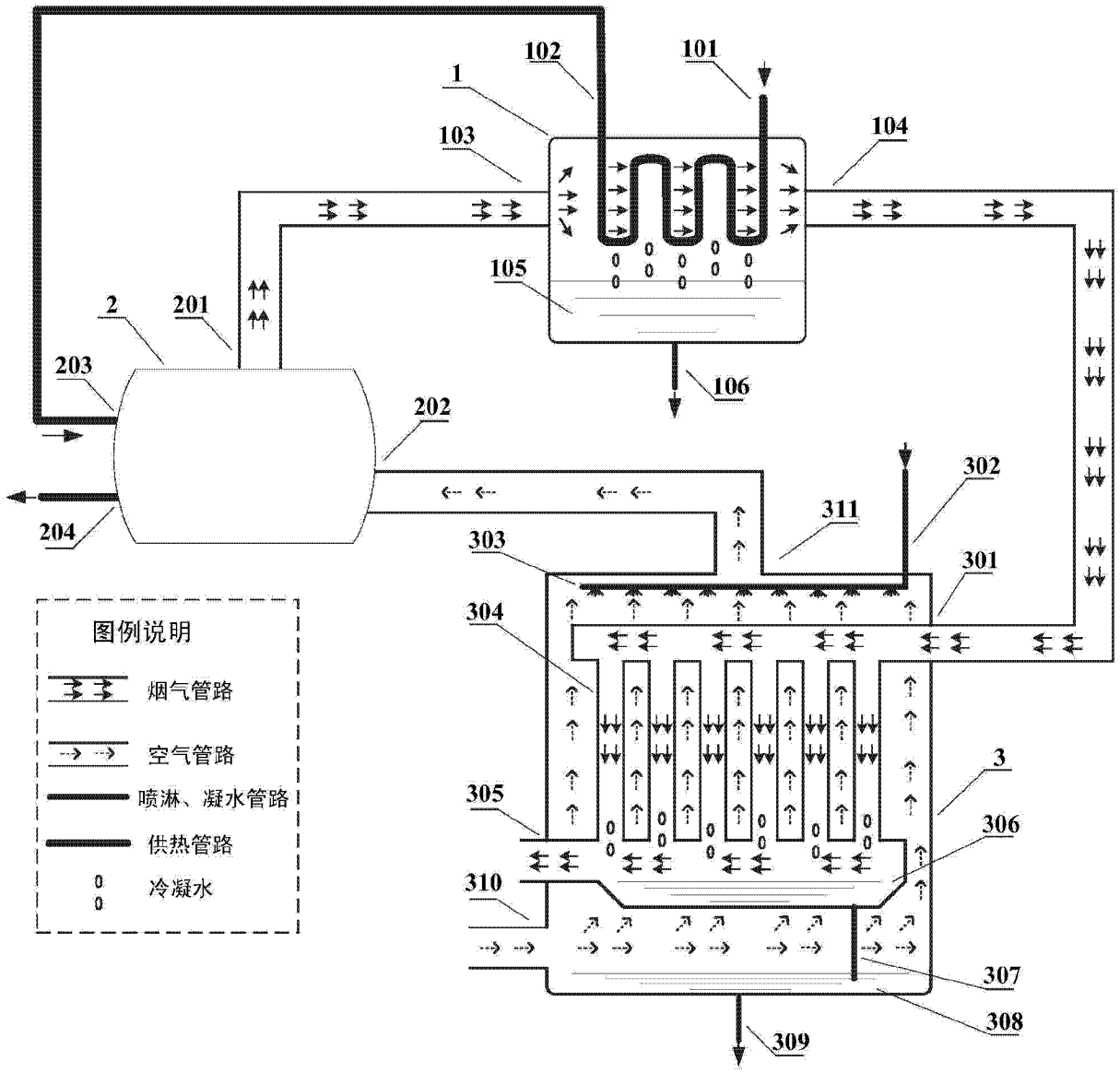

102
101
1
103
104
105
2
201
203
106
202
204
302
311
303
301
304
3
305
306
310
307
308
309
图例说明
烟气管路
空气管路
喷淋、凝水管路
供热管路
冷凝水

图 1

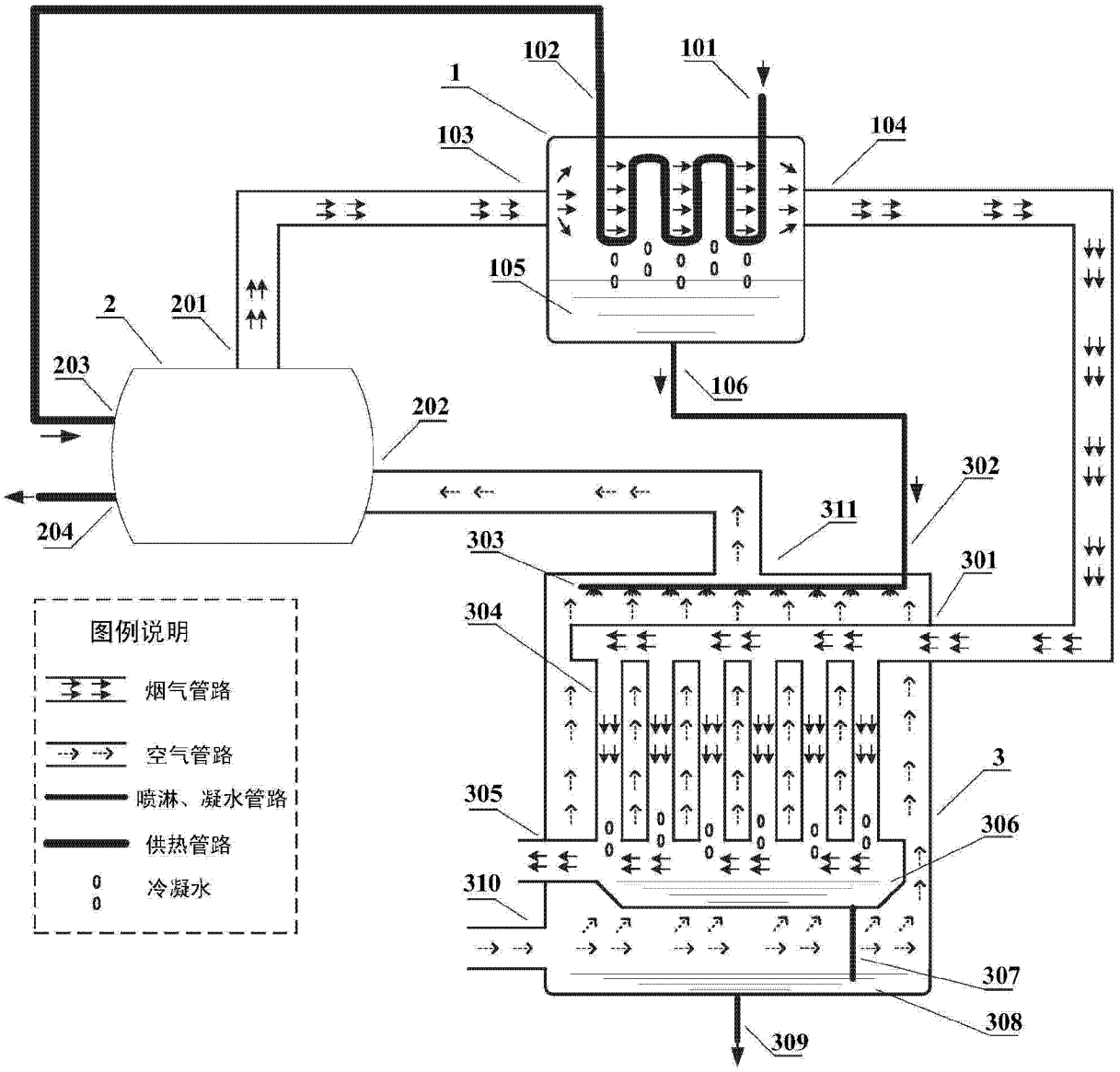

102
101
1
103
104
105
2
201
203
106
202
302
311
204
303
301
304
图例说明
烟气管路
空气管路
喷淋、凝水管路
供热管路
冷凝水
3
305
306
310
307
308
309

图 2

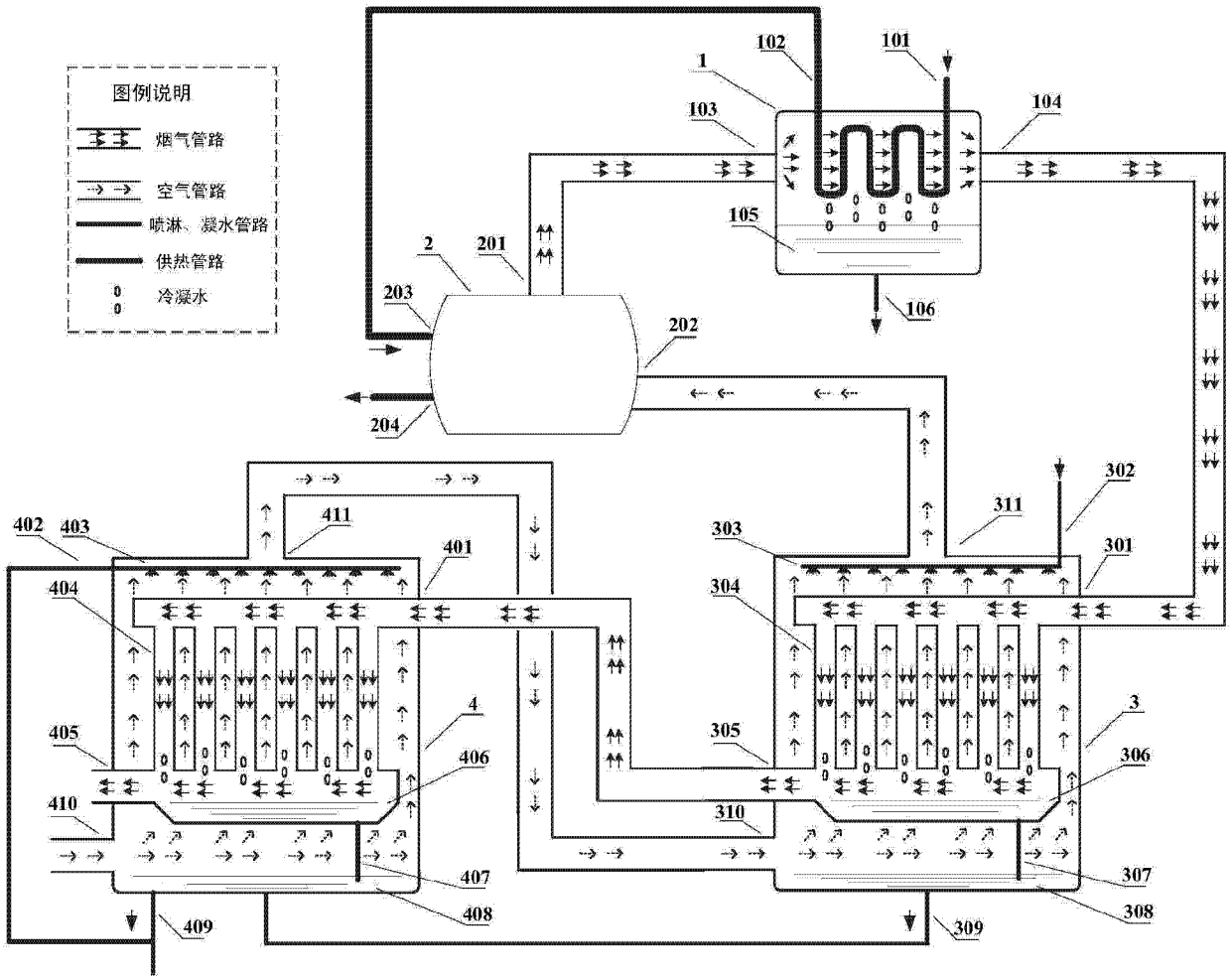

图例说明
烟气管路
空气管路
喷淋、凝水管路
供热管路
冷凝水
1
2
3
4
101
102
103
104
105
106
201
202
203
204
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411

图 3

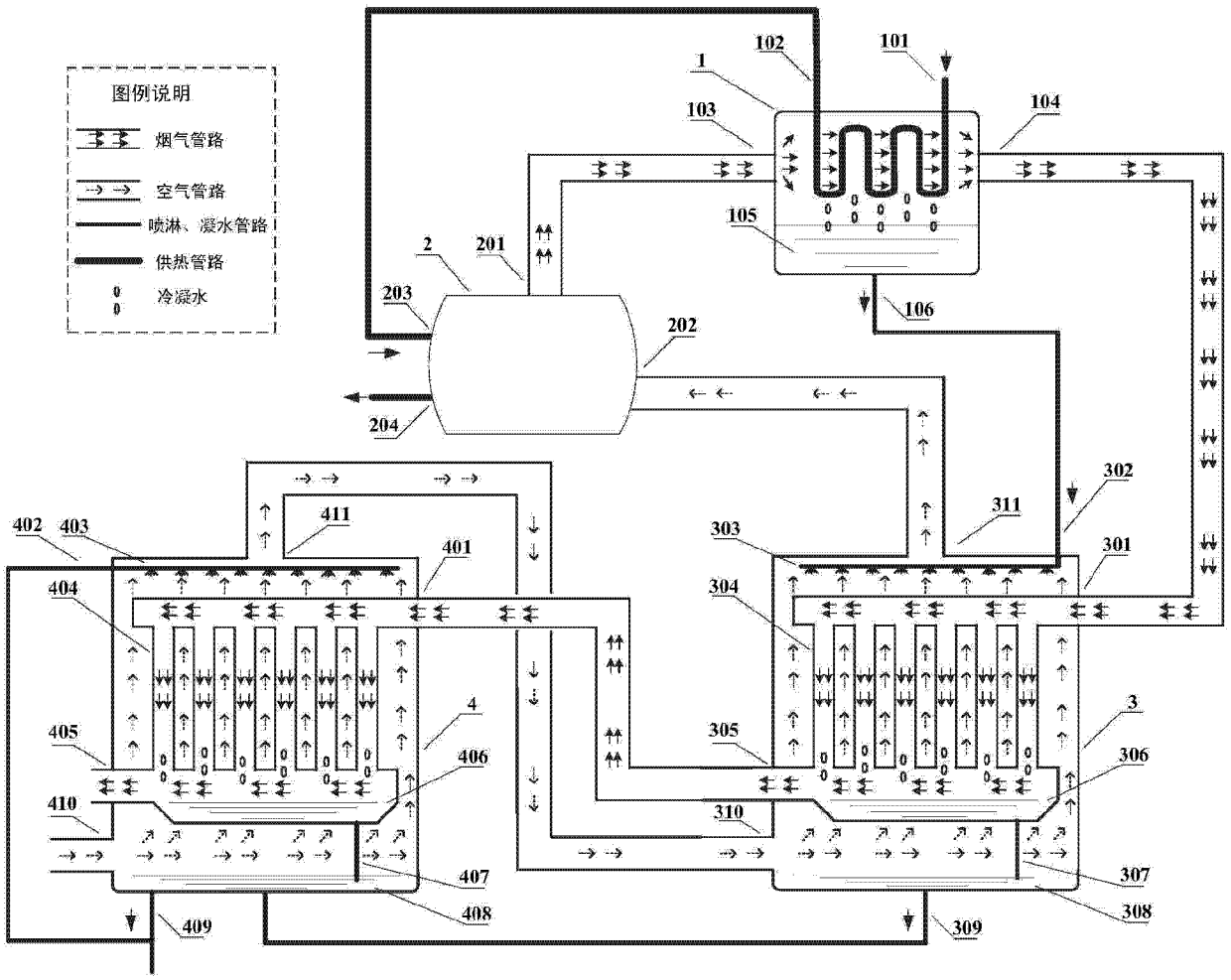

图例说明
烟气管路
空气管路
喷淋、凝水管路
供热管路
冷凝水
1
2
3
4
101
102
103
104
105
106
201
202
203
204
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411

图 4

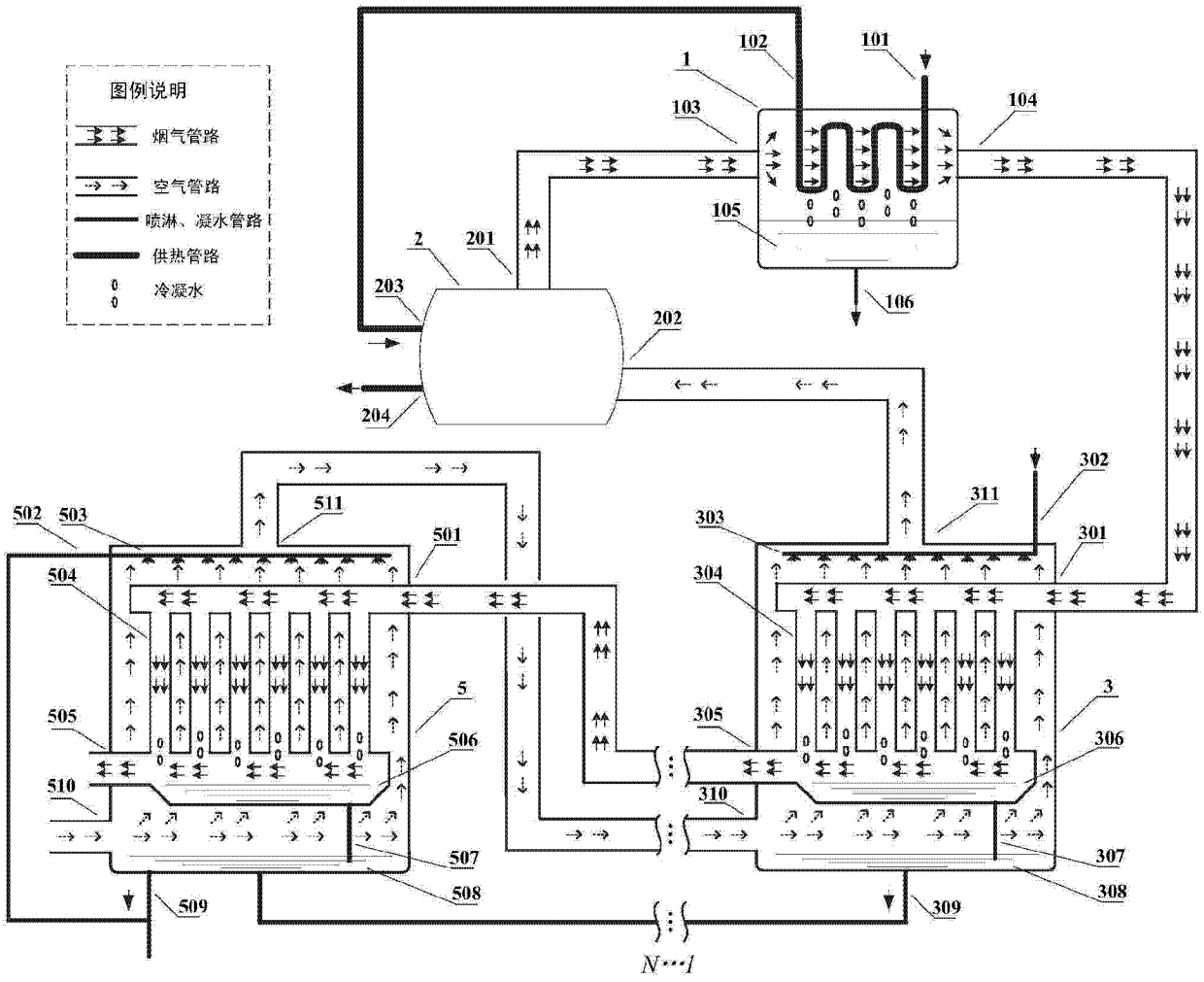

图例说明
烟气管路
空气管路
喷淋、凝水管路
供热管路
冷凝水
1
2
3
5
101
102
103
104
105
106
201
202
203
204
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
N…1

图 5

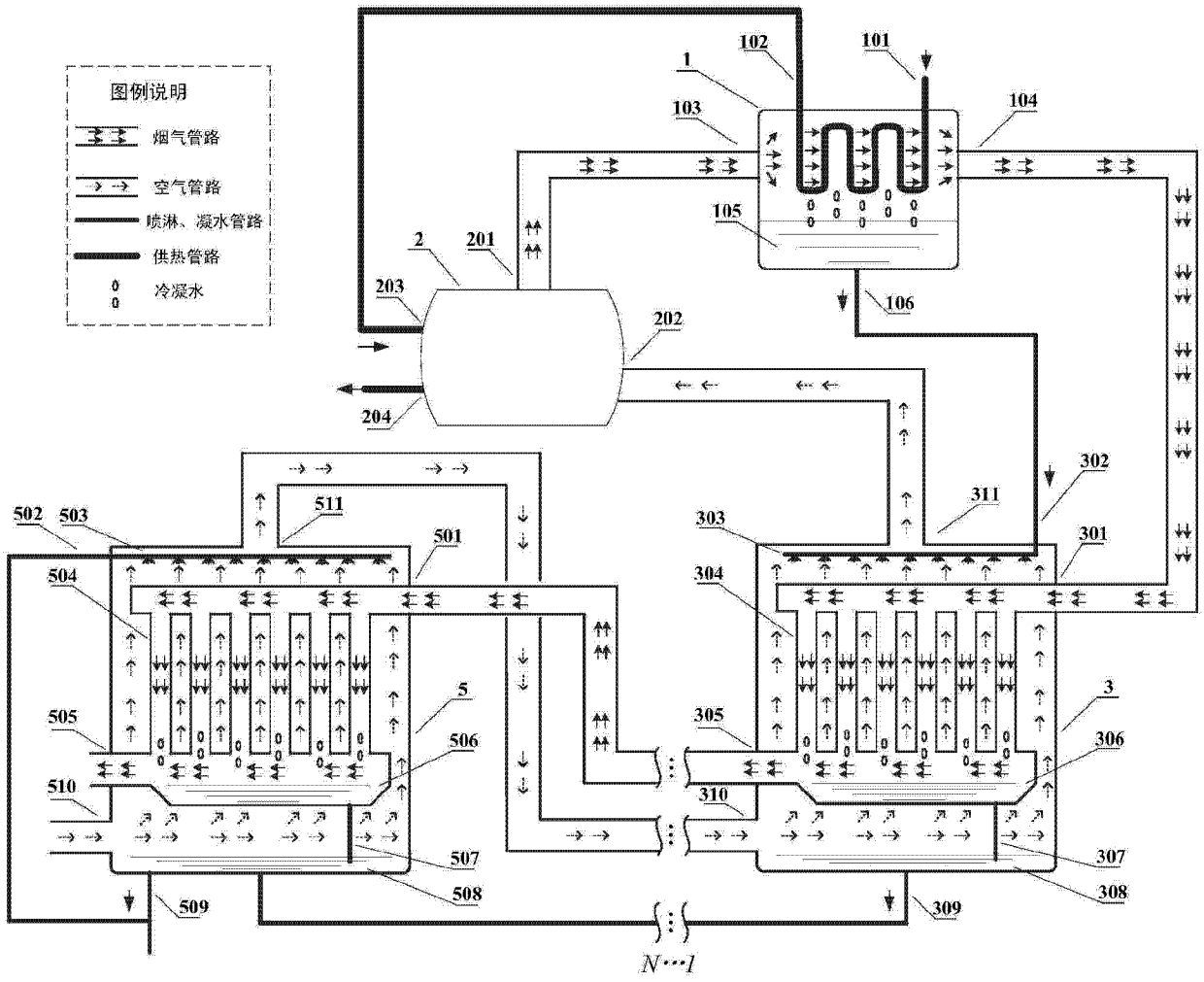

图例说明
烟气管路
空气管路
喷淋、凝水管路
供热管路
冷凝水
1
2
3
5
101
102
103
104
105
106
201
202
203
204
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
N…1

图 6