

《燃煤烟气二氧化碳捕集塔》编制说明

（征求意见稿）

一、工作简况

1 任务来源

本项目是根据中国工业节能与清洁生产协会发布的关于《燃煤烟气二氧化碳捕集塔》团体标准立项的通知进行编制，项目名称“燃煤烟气二氧化碳捕集塔”，本标准由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。起草牵头单位：浙江大学，计划完成时间 2022 年 X 月。

2. 主要工作过程

起草阶段：2022 年 1 月 10 日，接到计划下达任务后，浙江大学组织成立标准起草工作组。工作组在广泛收集国内外燃煤烟气二氧化碳捕集行业环境保护、清洁生产的相关政策、法律法规、技术导则和标准等文献，选择典型企业开展系统深入的实地调研和数据统计，结合我国二氧化碳捕集行业现状，在全面系统研究的基础上，于 2022 年 6 月 17 日完成团体标准《燃煤烟气二氧化碳捕集塔》(初稿)及编制说明。

2022 年 6 月 17 日~6 月 21 日，对团体标准《燃煤烟气二氧化碳捕集塔》(初稿)及编制说明进行了标准制定组内部及相关专家函审。收到 6 家单位回函，共提出 23 条修改意见。其中，采纳 21 条，部分采纳 2 条，未采纳 0 条。根据各位专家提出的建议，结合工作组内部讨论，修改和完善后于 6 月 20 日形成团体标准《燃煤烟气二氧化碳捕集塔》(研讨稿)及编制说明。

于 2022 年 6 月 21 日~6 月 22 日，在杭州组织召开团体标准《燃煤烟气二氧化碳捕集塔》(研讨稿)研讨会，根据会议意见，对标准“研讨稿”进行修改和完善，于 7 月 4 日形成团体标准《燃煤烟气二氧化碳捕集塔》(征求意见稿)及编制说明。

征求意见阶段：

审查阶段：

报批阶段：

3. 主要参加单位和工作组人员及其所做的工作等

本标准起草单位：浙江大学、浙江天洁环境科技股份有限公司、浙江省能源集团有限公司、浙江菲达环保科技股份有限公司、华电电力科学研究院有限公司、国电环境保护研究院有限公司、中国华电科工集团有限公司、国能龙源环保有限公司、中国矿业大学、山东国舜建设集团有限公司、武汉世嘉新能源有限公司、西安热工研究院有限公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、浙江大学嘉兴研究院。

本标准主要起草人：。

所做的工作：

二、标准编制原则、主要内容和解决的主要问题

1. 标准编制的原则

标准制、修订遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则，标准的制、修订与技术创新、试验验证、产业推进、应用推广相结合，统筹推进。本标准编制主要依据以下两条原则：

a)编写结构及格式按《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》(GB/T 1.1-2020)的规定。

b)技术内容主要以《烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准》(GB/T 51316)、《塔式容器》(NB/T 47041)等标准作为基础。

2. 标准主要内容

2.1 适用范围

本文件规定了燃煤烟气二氧化碳捕集塔的组成，技术要求，试验方法，检验规则，标志和文件及包装、运输和贮存。

本文件适用于燃煤烟气二氧化碳捕集需采用的钢制吸收塔和解吸塔的制造。建材、冶金、化工等行业及燃气、燃油、垃圾和生物质燃烧尾气采用的二氧化碳捕集装备可参照执行。

2.2 规范性引用文件

本文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。综合以上，共计引用 34 个文件。

2.3 术语和定义

本文件对燃煤烟气二氧化碳捕集塔的术语和定义进行系统梳理，同时为方便采标，确定了 8 个术语和定义。部分术语参照了《烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准》(GB/T 51316-2018)、《燃煤烟气二氧化碳捕集装备》(JB/T 12909-2016)、《二氧化碳捕集利用与封存术语》(T/CSES 41-2021)等相关表述，并进行了适当修改。

2.4 组成

捕集塔由吸收塔和解吸塔构成。吸收塔主要由塔体、填料层、塔内构件、基础埋件和平台扶梯等组成。常规吸收塔内构件主要由气体分布装置、填料支承装置、填料压板、液体分布装置、液体收集再分布装置和除雾器等组成。解吸塔主要由塔体、填料层、塔内构件、基础埋件和平台扶梯等组成。常规解吸塔内构件主要有填料支承装置、填料压板、液体分布装置、液体收集再分布装置等组成。填料分为散堆填料和规整填料，散堆填料宜选用鞍环填料、鲍尔环填料、阶梯环填料、环矩鞍填料等；规整填料宜选用格栅填料、波纹填料、脉冲填料等。典型的二氧化碳吸收塔和解吸塔塔及内构件如下图所示。

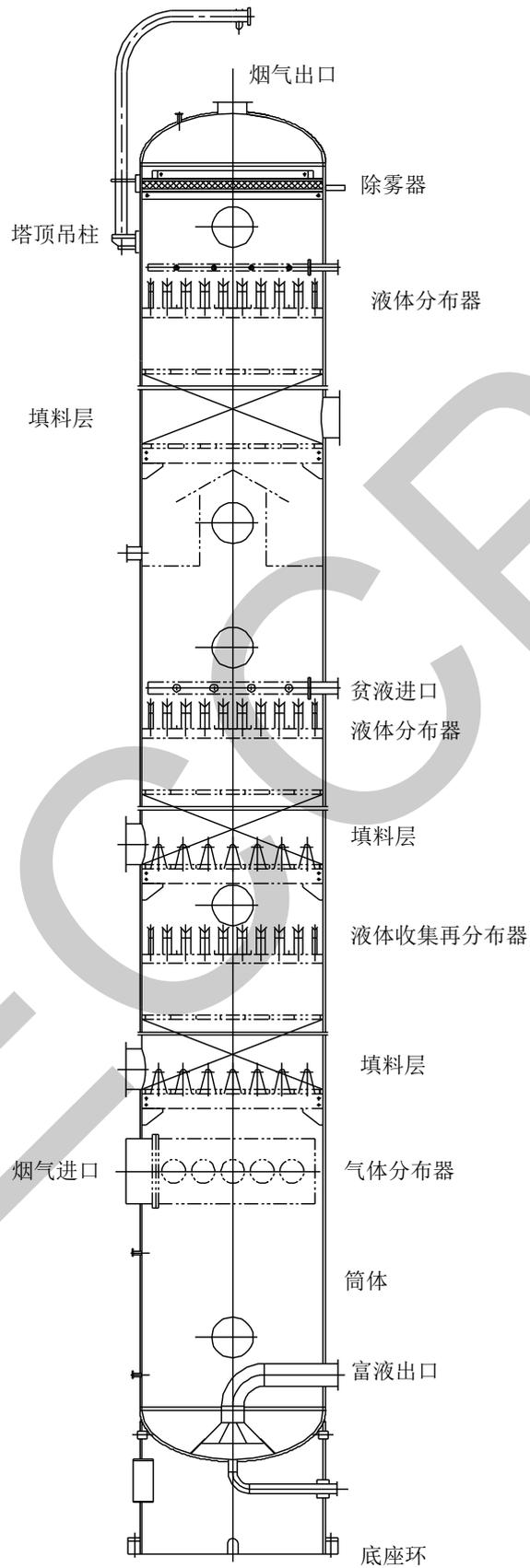


图 1 吸收塔结构图

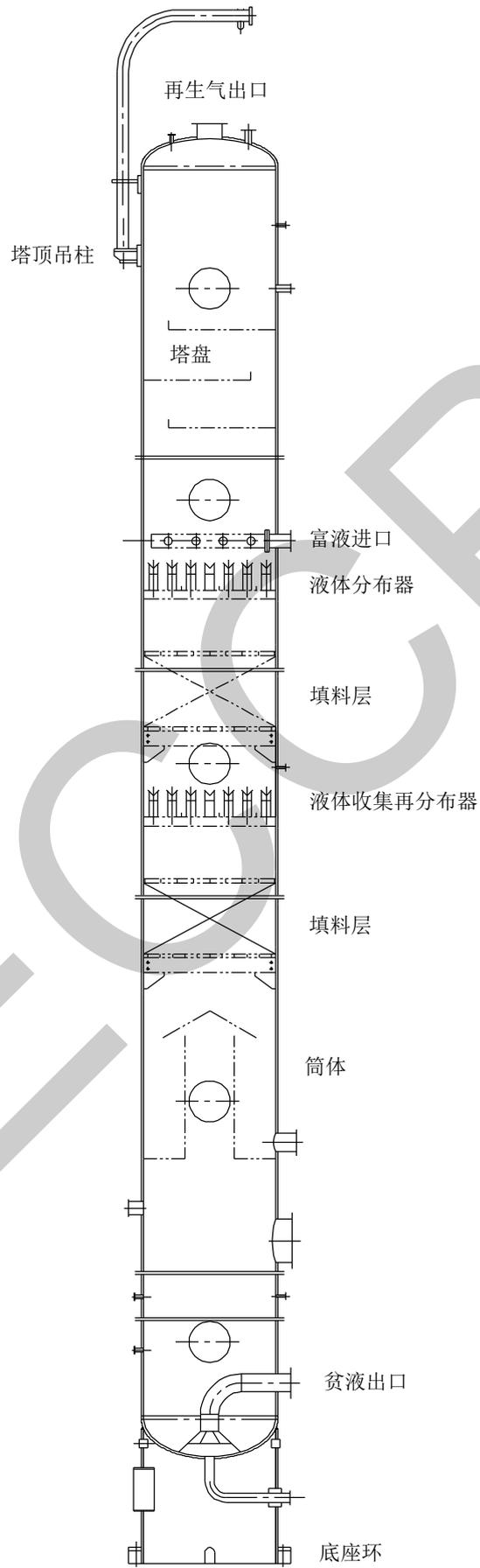


图 2 解吸塔结构图

2.5 技术要求

2.5.1 基本要求

结合《烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准》(GB/T 51316)、《燃煤烟气二氧化碳捕集装备》(JB/T 12909)、《塔式容器》(NB/T 47041)、《金属塔填料技术条件》(HG/T 4374)、《化工设备设计全书—塔设备》等相关标准规范要求,对烟气二氧化碳捕集塔的设计基础参数、设计使用寿命、装置可用率等给出基本要求。

同时进一步对烟气二氧化碳吸收塔和解吸塔,给出了设备入口烟气条件及主要性能指标。《燃煤烟气二氧化碳捕集装备》(JB/T 12909-2016)中:温度小于 40 °C;粉尘含量不大于 5 mg/m³;SO₂ 浓度不大于 10 mg/m³。《烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准》(GB/T 51316-2018)中规定进入吸收装置的烟气指标宜符合下列规定:温度不宜高于 40 °C,粉尘含量不宜大于 5 mg/m³、SO₂ 含量不宜大于 10 mg/m³、NO_x 含量不宜大于 50 mg/m³。同时化学吸收剂的最佳反应温度在 40 °C左右,且吸收剂吸收 CO₂ 过程为放热反应,因此,规定吸收入口烟气温度控制在 40 °C以下。为了减少污染物对吸收剂的损耗,结合超低排放限值要求,建议进入吸收塔烟气污染物宜满足:烟尘浓度≤5 mg/m³、SO₂ 浓度≤35 mg/m³。

2.5.2 吸收塔和解吸塔

燃煤电厂大规模捕集烟气 CO₂ 一般采用 2-羟基乙胺 (MEA) 为主体的混合胺溶液作为吸收剂。MEA 溶液脱除烟气 CO₂ 在气液界面传质并在液相主体发生化学反应的过程,在传质过程中会产生大量起泡,在正常操作条件下起泡会迅速破裂,不会对传质过程产生影响,采用填料塔有利于控制发泡;混合胺溶液具有一定的腐蚀性,选用填料塔,可以选用耐腐蚀性能好的材质,而造价比相应的板式塔便宜;脱硫后烟气基本不含固体悬浮物,也不含易聚合气体,选用填料塔不存在易堵塞的问题;吸收塔进料温度 40 °C,反应产生 10 °C~ 15 °C 温升,此时胺溶液的黏度影响板式塔传质效果;此外,CO₂ 与醇胺溶液反应速度较慢。采用高比表面积的填料塔,利于增加气液接触面积和时间,可以大幅降低深度脱碳对塔高的要求,降低投资和操作费用。

从以上原则分析,推荐采用填料塔。填料塔以填料作为气液接触元件,气液两相在填料层中逆向连续接触。它具有结构简单、压力降小,耐腐蚀非金属材料制造等优点,对于气体吸收、真空蒸馏以及处理腐蚀性流体的操作,颇为适用。当塔径增大时,引起气液分布不均、接触不良等,造成效率下降,即称为放大效应。同时,填料塔还有重量大、造价高、清理检修麻烦、填料损耗大等缺点,以致使填料塔在很长时期以来不及板式塔使用广泛。但是随着新型高效填料的出现,流体分布技术的改进,填料塔的效率有所提高,放大效应也在逐步得以解决。对于捕集塔径较大的吸收塔,采用散堆填料放大效应严重,容易产生偏流、沟流等缺陷。规整填料波纹片规则排列组装,吸收液沿波纹片表面呈膜状流动,烟气沿填料空隙流动,从而消除大型填料塔的放大效应,保证脱除效率。

由于填料塔具有通量大、效率高、压降低和持液量小等优点,所以当前碳捕集塔以填料塔为主。吸收塔和解吸塔采用圆柱填料塔。其中吸收塔考虑到吸收液的腐蚀性,筒体宜选用奥氏体不锈钢—钢复合板、碳钢内衬防腐或砼方内衬防腐材料;与筒体焊接的内构件应采用奥氏体不锈钢材料。解吸塔考虑运行温度,塔体按不锈钢设计,内设不锈钢塔盘。

2.5.3 填料

(1) 填料种类

填料的种类很多，根据装填的方式的不同，可分为散堆填料和规整填料两大类。

①散堆填料

散堆填料是具有一定集合形状和尺寸以随机的方式堆积在塔内，又称为乱堆填料。散堆填料根据结构特点不同，又可分为环形填料、鞍形填料、和环鞍的填料等。以下是典型的散堆填料：

a. 拉西环填料是最早提出的工业填料，其结构为外径与高度相等的圆环，可用陶瓷、塑料、金属等材质制成。拉西环填料的气液分布较差、传质效率低、阻力大、通量小，目前工业上用得较少。

b. 鲍尔环填料是在拉西环的基础上改进而得。其结构为在拉西环的侧壁上开出两排长方形的窗口，被切开的环壁的一侧仍与壁面相连，另一侧向环内弯曲，形成内伸的舌叶诸舌叶的侧边与环中间相搭，可用陶瓷、塑料、金属制造鲍尔环由于环内开孔，大大提高了环内空间及环内表面的利用率气流阻力小，液体分布均匀。与拉西环相比，通量可提高 50%以上，传质效率提高 30%左右。鲍尔环是目前应用较广的填料之一。

c. 阶梯环填料是对鲍尔环的改进。阶梯环相比鲍尔环高度减少了一半，并在一端增加了一个锥形的翻边由于高径比减少，使得气体绕填料外外壁的平均路径大为缩短，减少了气体通过填料层的阻力。锥形翻边不仅提高了填料的机械强度，而且使填料之间由线接触为主变为点接触为主，这样不但增加了填料层之间的空隙，同时成为液体沿填料表面流动的汇集分散点，可以促进液膜的表面更新。有利于传质效率的提高。阶梯环的综合性能优于鲍尔环，成为目前环形填料中最为优良的一种。

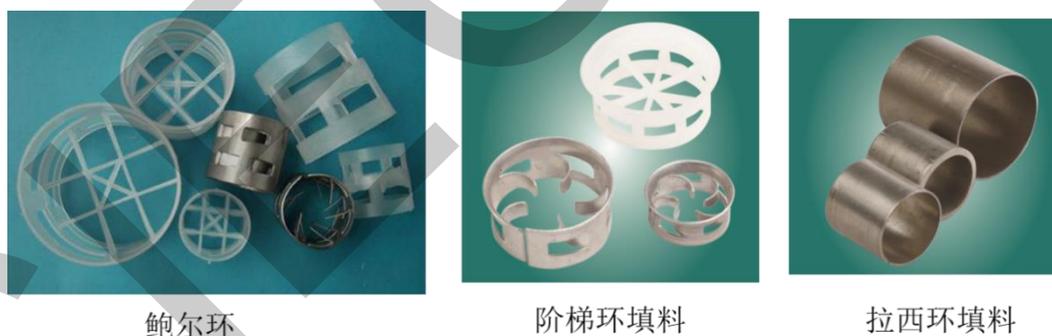


图 3 散堆填料

②规整填料

规整填料是按一定的几何图形排列，整齐堆砌的填料。规整填料种类很多，根据其几何结构分为格栅填料、波纹填料、脉冲填料。工业上使用的绝大多数规整填料为波纹填料。波纹填料按结构分为网波纹填料和板波纹填料可用陶瓷、塑料、金属制造。

金属丝波纹填料是网波纹填料的主要形式，是由金属丝制成。其特点是压降低、分离效率高，特别适用于精密精馏及真空精馏装置，为难分离物系、热敏性的精馏提供了有效的手段。尽管造价高，但因性能优越仍得到了广泛的应用。

金属板波纹填料是板填料的主要形式。该填料的波纹板片上冲压有许多 $\Phi 4\text{ mm} \sim \Phi 6\text{ mm}$

的小孔，可起到粗分配板片上的液体、加强横向混合的作用。波纹板片上扎成细小沟纹，可起到细分配板片上的液体、增强表面润湿性能的作用。金属孔板波纹填料强度高，耐腐蚀性强，特别适用于大直径塔及气液负荷较大的场合。

波纹填料的优点是结构紧凑，阻力小，传质效率高，处理能力大，比表面积大。其缺点是不适用于处理粘度大、易聚合或有悬浮物的物料，且装卸、清洗困难、造价高。



金属板波纹填料



不锈钢丝网波纹填料



塑料孔板波纹填料

图 4 规整填料

(2) 填料的选择

填料种类的选择要考虑分离工艺的要求，通常考虑以下几个方面：(a) 传质效率要高：一般而言，规整填料的传质效率高于散堆填料；(b) 通量要大：在保证具有较高传质效率的前提下，应选择具有较高泛点气速或气相动能因子的填料；(c) 填料层的压降要低；(d) 填料抗污堵性能强，拆装、检修方便。

① 填料规格的选择

填料规格是指填料的公称尺寸或比表面积。

(a) 散堆填料规格的选择：塔常用的散堆填料主要有 DN16、DN25、DN38、DN50、DN76 等几种规格。同类填料，尺寸越小，分离效率越高，但阻力增加，通量减少，填料费用也增加很多。而大尺寸的填料应用于小直径塔中，又会产生液体分布不良及严重的壁流，使塔的分效率降低。因此，对塔径与填料尺寸的比值要有一规定，一般塔径与填料公称直径的比值 D/d 应大于 8。

(b) 规整填料规格的选择：规整填料的型号和规格主要有 125、150、250、350、500、700 等几种规格，同种类型的规整填料，其比表面积越大，传质效率越高，但阻力增加，通量减少，填料费用也明显增加。选用时应从分离要求、通量要求、场地条件、物料性质及设备投资、操作费用等方面综合考虑，使所选填料既能满足技术要求，又具有经济合理性。

填料塔可以选用同种类型，同一规格的填料，也可选用同种类型不同规格的填料；可以选用同种类型的填料，也可以选用不同类型的填料；有的塔段可选用规整填料，而有的塔段可选用散堆填料。设计时应灵活掌握，根据技术经济统一的原则来选择填料的规格。

② 填料材质的选择

填料的材质分为陶瓷、金属和塑料三大类。

(a) 陶瓷填料：陶瓷填料具有很好的耐腐蚀性及耐热性，陶瓷填料价格便宜，具有很好的表面润湿性能，质脆、易碎是其最大缺点。在气体吸收、气体洗涤、液体萃取等过程中应用较为普遍。

(b) 金属填料: 金属填料可用多种材质制成, 选择时主要考虑腐蚀问题。碳钢填料造价低, 且具有良好的表面润湿性能, 对于无腐蚀或低腐蚀性物系应优先考虑使用; 不锈钢填料耐腐蚀性强, 一般能耐除氯离子以外常见物系的腐蚀, 但其造价较高, 且表面润湿性能较差, 在某些特殊场合 (如极低喷淋密度下的减压精馏过程), 需对其表面进行处理, 才能取得良好的使用效果; 钛材、特种合金钢等材质制成的填料造价很高, 一般只在某些腐蚀性极强的物系下使用。

一般来说, 金属填料可制成薄壁结构, 它的通量大、气体阻力小, 且具有很高的抗冲击性能, 能在高温、高压、高冲击强度下使用, 应用范围最为广泛。

(c) 塑料填料: 塑料填料的材质主要包括聚丙烯 (PP)、聚乙烯 (PE) 及聚氯乙烯 (PVC) 等, 国内一般多采用聚丙烯材质。塑料填料的耐腐蚀性能较好, 能耐一般的无机酸、碱和有机溶剂的腐蚀。其耐温性良好, 可长期在 100 °C 以下使用。塑料填料质轻、价廉, 具有良好的韧性, 耐冲击、不易碎, 可以制成薄壁结构。它的通量大、压降低, 多用于吸收、解吸、萃取、除尘等装置中。塑料填料的缺点是表面润湿性能差, 但可通过适当的表面处理来改善其表面润湿性能。

(3) 填料层高度

参照《烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准》(GB/T 51316-2018) 的规定: 吸收塔的填料高度不宜高于 20 m, 解吸塔的填料高度不宜高于 15 m。

(4) 参照《烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准》(GB/T 51316-2018) 的规定: 吸收塔、解吸塔的设计空塔气速宜取泛点气速的 50%~70%。

2.5.4 塔内构件

填料塔的内件主要有填料支承装置、填料压板、液体分布装置、液体收集再分布装置等。合理地选择和设计塔内件, 对保证填料塔的正常操作及优良的传质性能十分重要。

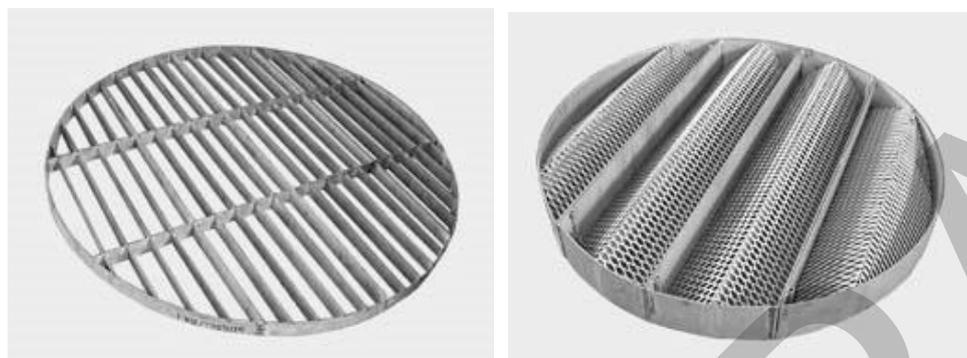
(1) 填料支承装置

填料支承装置的首要目的是支承填料床层, 并且不过分的限制气体和液体的流动, 同时也起到重新分布气液两相作用。如设计不当, 支承板会引起塔内过早的发生液泛。对于捕集塔, 由于液体分布器、填料等内件的跨度和重量较大, 支承梁会产生较大的挠度。常用的填料支承装置有栅板型、孔管型、驼峰型等。对于散堆填料, 通常选用孔管型、驼峰型支承装置; 对于规整填料, 通常选用栅板型支承装置。填料支承装置对保证填料塔的操作性能具有重大作用, 纵然使填料本身的通过能力很强, 如果支承装置设计不当, 液泛仍将提前到来, 使塔的捕集能力降低, 因此, 合理设计填料支承结构是十分重要的。大型填料塔的支撑主梁主要有工字钢梁支撑、栅梁支撑和桁架梁支撑。大型填料塔的工字钢支撑梁主要用于支撑填料、液体分布器、液体收集器等结构支撑。工字钢分为工字型钢、焊接工字钢和组合工字钢 3 种形式。栅梁与桁架梁比工字钢支撑结构适用于支撑填料, 桁架梁在大型填料塔支撑结构中应用广泛。

桁架支承结构, 对烟气与胺溶液的流动影响较小, 而且结构灵活, 重量较轻, 拆装方便, 被广泛应用于大型塔器支撑结构。虽然在国内的设计中桁架结构较少用于塔内件支承, 但基于该结构的上述优点, 大型填料塔的大直径段以及塔体变径段中的填料均采用了桁架支承结

构。塔器直径大于 7000 mm 时，填料、液体分布器、液体收集器一般采用桁架支撑结构。

因此，为防止在填料支承装置处压降过大甚至发生液泛，要求填料支承装置的自由截面积应大于 75%。



整体式填料支撑

用于散装填料的气液分流式填料支承

图 5 填料支撑

(2) 填料压板

为防止在上升气流的作用下填料床层发生松动或跳动，需在填料层上方设置填料压紧装置。填料压紧装置有压紧栅板、压紧网板、金属压紧器等不同的类型。对于散堆填料，可选用压紧网板，也可选用压紧栅板，在其下方，根据填料的规格敷设一层金属网，并将其与压紧栅板固定；对于规整填料，通常选用压紧栅板。设计中，为防止在填料压紧装置处压降过大甚至发生液泛，要求填料压紧装置的自由截面积应大于 70%。为了便于安装和检修，填料压紧装置不能与塔壁采用连续固定方式，对于小塔可用螺钉固定于塔壁，而大塔则用支耳固定。

(3) 液体分布装置

液相分布的端效应、气液相分布的中效应和气体分布的端效应形成填料塔的放大效应。为减弱气相分布的端效应，必须设置性能优良的进气初始分布器与二次气体分布器。液体分布装置的种类多样，有喷头式、盘式、管式、槽式及槽盘式等。工业应用以管式、槽式及槽盘式为主。

管式分布器由不同结构形式的开管制成。其突出的特点是结构简单，供气体流过的自由截面大，阻力小。但小孔易堵塞，操作弹性一般较小。管式液体分布器多用于中等以下液体负荷的填料塔中。在减压精馏及丝网波纹填料塔中，由于液体负荷较小，设计中通常用管式液体分布器。

槽式液体分布器是由分流槽(又称主槽或一级槽)、分布槽(又称副槽或二级槽)构成的。一级槽通过槽底开孔将液体初分成若干流股，分别加入其下方的液体分布槽。分布槽的槽底(或槽壁)上设有孔道或导管，将液体均匀分布于填料层上。槽式液体分布器具有较大的操作弹性和极好的抗污堵性，特别适合于大气液负荷及含有固体悬浮物、粘度大的液体的分离场合，应用范围非常广泛。

槽盘式分布器是近年来开发的新型液体分布器，它兼有集液、分液及分气三种作用，结构紧凑，气液分布均匀，阻力较小，操作弹性高达 10: 1，适用于各种液体喷淋量。近年来应用非常广泛，在设计中建议优先选用。

综合以上在选择液体分布器时,应考虑以下几方面:具有与塔填料相匹配的分液点密度,并保证分布均匀;操作弹性较大,定位性好;为气体提供最大的自由截面率,实现气体均布,而且阻力小;抗污性能好,不易堵塞,不易产生物泡沫夹带和发泡;结构合理,便于安装、调整和维护。

其结构形式有:管式喷淋器,结构形式比较简单;盘式分布器,适用于直径 800 mm 以上的塔;槽式分布器,对于大塔径的分布器可采用板式或槽式分布器。

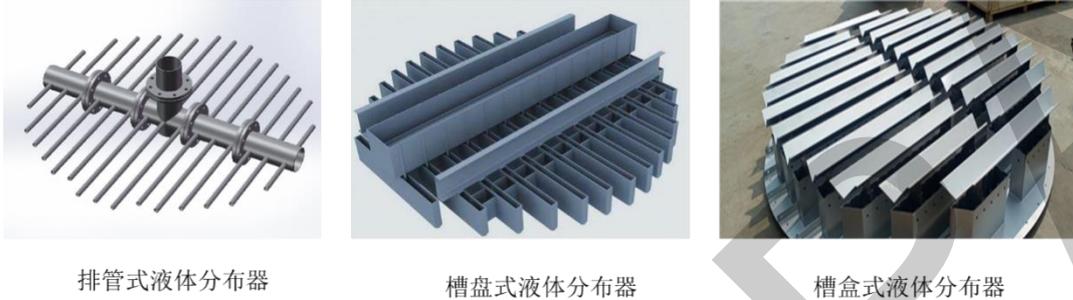


图 6 液体分布装置

(4) 液体收集及再分布装置

前已述及,为减小壁流现象,当填料层较高时需进行分段,故需设置液体收集及再分布装置。最简单的液体再分布装置为截锥式再分布器。截锥式再分布器结构简单,安装方便,但它只起到将壁流向中心汇集的作用,无液体再分布的功能,一般用于直径小于 0.6 m 的塔中。在通常情况下,一般将液体收集器及液体分布器同时使用,构成液体收集及再分布装置。液体收集器的作用是将上层填料流下的液体收集,然后送至液体分布器进行液体再分布。常用的液体收集器为斜板式液体收集器。前已述及,槽盘式液体分布器兼有集液和分液的功能,故槽盘式液体分布器是优良的液体收集及再分布装置。

(5) 除雾器

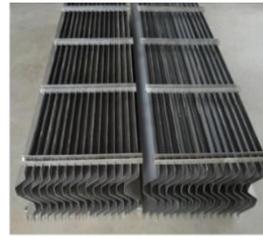
折流板除雾器是利用水膜分离的原理实现气水分离,当带有液滴的烟气进入狭窄、曲折的通道,产生的离心力将液滴分离出来,液滴撞击板片时,部分液滴粘附在板片壁上形成水膜,缓慢下流,汇集成较大的液滴落下,从而实现气水分离。折流板除雾器具有结构简单、对中等尺寸和大尺寸雾滴的捕获效率高,压降低、易于冲洗,具有敞开式结构便于维修和费用较低等特点。

丝网除雾器主要是由丝网、丝网格栅组成丝网块和固定丝网块的支承装置构成。丝网除雾器能滤除悬浮于气流中的较大液沫,而且能滤除较小和微小液沫,直径 5 μm 以上的雾沫可除去 99.5%以上,压降低、除沫效果良好。

本文件中除雾器结构包括折板除雾器和丝网除雾器,已发布《丝网除沫器》(HG/T 21618—1998)和《湿法烟气脱硫设备 除雾器》(JB/T 10989—2020)标准,技术成熟,可直接引用,因此本文件中关于除雾器材料、操作流速、除雾器叶片间距等相关规定直接进行引用。



丝网除沫器



折流板除沫器

图 7 除雾器

2.5.5 材料要求

二氧化碳吸收溶液本身具有一定的防腐效果,工业应用过程中溶液添加了缓蚀剂,因此,脱碳溶液的腐蚀性较小,一般设备最好用不锈钢制作,也可以采用碳钢制作,内壁采用玻璃鳞片。同时《塔式容器》(NB/T 47041—2014)已发布且比较成熟可以直接引用。解吸塔筒体应采用不锈钢材料。

同时本文件对吸收塔和解吸塔内所有会接触到贫液和富液的紧固件、支承板、气液分布器、地脚螺栓、裙座、底座环、平台面等材质进行规定。

2.5.6 结构计算要求

吸收塔和解吸塔结构设计需要考虑塔自身及塔内件的荷载、浆液荷载、运行检修荷载、塔内烟气压力、风荷载、雪荷载和地震荷载等,并对这些荷载进行组合,依次按强度、稳定性、变形量进行校核计算,最终确定壁板厚度和加强结构形式。

2.5.7 油漆和保温要求

《火力发电厂保温油漆设计规程》(DL/T 5072)和《重型机械通用技术条件 第 12 部分:涂装》(GB/T 37400.12)已发布且比较成熟,本文件中相关装置的保温、油漆设计要求可以直接引用。

2.5.8 安全保护

《设备及管道保温技术通则》(GB 4272)、《固定式钢梯及平台安全要求》(GB 4053)(所有部分)、《安全标志及其使用导则》(GB 2894)已发布,本文件中的相关收塔、解吸塔筒体及管道,楼梯、平台等安全设计要求可以直接引用。

2.6 试验方法

吸收塔和捕集塔一般采用工厂预制或者现场预制,然后现场组合拼装焊接成形。需对材料、预制加工、外观尺寸检验、焊接形式及焊缝质量检验、充水试验等提出要求。

2.7 检验规则

本文件的各项技术要求分别从出厂检验、安装检验以及性能检验三个阶段提出相应的检验规则,各检验项目的技术要求(除基本要求外)、试验方法、检验规则一一对应。

2.8 包装、运输和贮存

按照现行标准 GB/T 13384、GB/T 191 等执行。

3 标准解决的主要问题

二氧化碳捕集装备涉及行业较多如电力、钢铁、水泥等,涵盖的吸收塔和解吸塔的类型不一,同时涉及的二氧化碳捕集方式和吸收剂的种类较多,当前尚无统一、规范的装备设计、

制造、安装及运行维护的管理要求及标准，本标准的制定，符合国家清洁生产、减污降碳的部署，并将完善该装备的产品标准。本文件的制定将依据中国工业节能与清洁生产协会团体标准编写规则，结合国内产业发展的实际情况，提出适用于二氧化碳捕集装备的各项技术指标和要求，充分考虑标准的先进性和可操作性。本文件的各项指标和要求适应国家产业技术发展水平，符合国家节能减排产业政策，能指导设计和生产，使生产制作合理化，促进规模发展，在二氧化碳捕集设备应用方面具有推广意义。

三、是否有对应的国家标准或行业标准

本文件没有对应的国家标准或行业标准。

四、主要试验（或验证）情况分析

自 2004 年我国第一个 CCUS 示范项目在山西投运以来，已投运和建设中的 CCUS 示范项目 50 多个，集中在华东和华北地区，同时国内规模最大的煤电碳捕集利用与封存示范工程 50 万吨/年二氧化碳正在建设中。碳捕集工程实施为支撑火电厂低碳化转型积累了经验，具有普遍示范作用。

典型案例一：某燃煤烟气万吨级碳捕集示范工程

（1）基础条件

烟气量：12500 m³/h，二氧化碳体积分数 12.5%，年开工时间为 8000 小时，以烟道气提浓后的 96%二氧化碳计，本装置总收率大于 90%。

（2）二氧化碳吸收解吸过程

不含灰尘和硫化物的烟道气被引入化学吸收塔中，在向上的流动过程中，混合气中的二氧化碳被向下流动的复合碱液吸收，由碱液泵经过换热器送到再生塔。基本不含二氧化碳的吸收尾气从吸收塔顶引出，经过冷却分水器后排空。

从吸收塔底出来的碱液，由泵送出经过富液换热器升温，再经过贫富液换热器加热，送到再生塔的顶部。在向下流过填料层的过程中，被从下面进入的塔釜蒸汽加热，碱液中的二氧化碳从溶液中解吸出来，从塔顶排出塔外。流到塔釜的基本不含二氧化碳的碱液，由泵送出经过贫富液换热器和水冷却器降温后，再送往吸收塔上部循环使用。

再生塔底出来的贫液在没经过换热器前，引出约 1%物流，进入胺回收加热器，被蒸汽加热后溶液里的胺挥发回到再生塔重新使用，胺回收加热器底部的残液引出到界外，统一作为中和废酸液的中和剂，变成中性后送到界外使用。再生塔底部由锅炉引来的中压蒸汽间接加热。

再生塔顶部出来的二氧化碳气，经过富液换热器冷却，再经过水冷却器降温到 40℃左右，进入分离器分出冷凝水，一部分冷凝水返回到再生塔顶部，另一部分冷凝水返回到地下槽配碱用，气体作为二氧化碳产品气送到后续净化系统。

（3）关键设计参数

入吸收塔贫液量：50 m³/h，出吸收塔富液量：50 m³/h；入吸收塔烟气温度 50℃，烟气出吸收塔温度 40℃，入吸收塔贫液温度 40℃，富液出吸收塔温度 52℃；再生塔底温度 102℃，出再生塔再生气温度 85℃。

吸收塔采用填料塔直径 2.2 m，高度 23.4 m；材质: 16MnR+塔体内涂鳞片胶泥；上塔水洗段内装鲍尔环填料，填料高度 3 m；下塔溶剂吸收段内装阶梯环填料二段，单端填料高度 6 m；液泛气速为 1.28 m/s，空塔气速 0.73 m/s。

再生塔采用填料塔直径 1.6 m，高度 23.1 m；材质: Q345R+S30408；内装 Y150 不锈钢孔板波纹填料二段，每段填料 7.0 m；液泛气速为 1.06 m/s，空塔气速 0.54 m/s

典型案例二：某燃煤烟气十万吨级碳捕集示范工程

(1) 基础条件

入塔烟气流：100000 Nm³/h，二氧化碳体积分数 11.1%，年开工时间为 8000 小时，以烟道气提浓后的 96%二氧化碳计，本装置总收率大于 90%。

(2) 二氧化碳吸收解吸过程

因脱硫脱硝后的烟气中含有 SO₂、SO₃、HCl、HF 等强酸性物质，为了减少对后续设备和管线的腐蚀以及吸收剂的影响，设置水洗塔对烟气进行水洗；水洗后的烟气调节流量后由引风机送入吸收塔，其中一部分 CO₂ 被溶剂吸收，尾气由吸收塔顶直接排放，其主要成分为 N₂。吸收 CO₂ 后的富液由塔底经泵送入贫富液换热器，回收热量后送入再生塔。解吸出的 CO₂ 连同水蒸气分离除去水分后得到纯度 99.5%(干基)以上的产品 CO₂ 气，送入后序工段使用。再生气中被冷凝分离出来的冷凝水，用泵送至再生塔。富液从再生塔上部进入，通过汽提解吸部分 CO₂，然后进入再沸器，使其中的 CO₂ 进一步解吸。解吸 CO₂ 后的贫液由再生塔底流出，经贫富液换热器换热后，用泵送至贫液器，冷却后进入吸收塔。溶剂往返循环构成连续吸收和解吸 CO₂ 的工艺过程。

(3) 关键设计参数

入吸收塔贫液量：450 m³/h，入吸收塔烟气温 40~50℃，入吸收塔贫液温度 40℃，再生塔底温度 105℃，出再生塔再生气温度 95℃，再生气冷却后温度不大于 40℃。

吸收塔采用填料塔直径 5.2 m，高度 46 m；材质: Q345R+S30408；内装 252Y 不锈钢规整填料五段，其中 5000 mm 填料四段，3000 mm 填料一段，预留 5000 mm 塑料规整填料空间一段。

再生塔采用填料塔直径 4.0 m，高度 40 m；材质: Q345R+S30408；内装 452Y 不锈钢规整填料二段，每段填料 5000 mm。

五、标准中涉及专利的情况

本文件不涉及专利情况。

六、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

团体标准《燃煤烟气二氧化碳捕集塔》是在系统调研、性能测试数据统计分析和反复论证的基础上完成的。标准不仅汲取了发达国家的成熟经验，还紧密结合国内现状与发展需求。技术要求设置合理、实践可行，可操作性强。本文件的各项指标和要求适应国家产业发展水平，符合国家节能减排产业政策，能指导设计和生产，使生产制作合理化，促进规模发展，在二氧化碳捕集设备应用方面具有推广意义。

七、采用国际标准和国外先进标准情况

本文件没有采用国际标准和国外先进标准。
本文件在制定过程中未查到同类国际、国外先进标准。
本文件制定过程中未测试国外的样品和样机。
本文件技术水平为国内先进水平。

八、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本文件与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。

九、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧意见。

十、标准性质的建议说明

建议本文件为推荐性团体标准。

十一、贯彻标准的要求和措施建议

建议本文件批准发布 1 个月后实施。

十二、其他应予说明的事项

无其他应予说明的事项。
