

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 9 月 10 日 (10.09.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/177504 A1

- (51) 国际专利分类号:
B23Q 11/10 (2006.01) **B05B 5/00** (2006.01)
B24B 57/02 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/074386
- (22) 国际申请日: 2020 年 2 月 6 日 (06.02.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910164150.9 2019年3月5日 (05.03.2019) CN
- (71) 申请人: 青岛理工大学(QINGDAO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。 内蒙古民族大学(INNER MONGOLIA UNIVERSITY FOR NATIONALITIES) [CN/CN]; 中国内蒙古自治区通辽市科尔沁区霍林河大街西536号, Inner Mongolia 028000 (CN)。
- (72) 发明人: 李长河(LI, Changhe); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520

(CN)。 贾东洲(JIA, Dongzhou); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。 曹华军(CAO, Huajun); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。 许雪峰(XU, Xuefeng); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。 韩志光(HAN, Zhiguang); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。 张乃庆(ZHANG, Naiqing); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。 赵华洋(ZHAO, Huayang); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。 杨敏(YANG, Min); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。 张彦彬(ZHANG, Yanbin); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。 王晓铭(WANG, Xiaoming); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。 李润泽(LI, Runze); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号,

(54) **Title:** ELECTROSTATIC NOZZLE AND CONTROLLABLE JET MINIMAL QUANTITY LUBRICATION GRINDING SYSTEM

(54) 发明名称: 一种静电喷嘴及可控射流微量润滑磨削系统

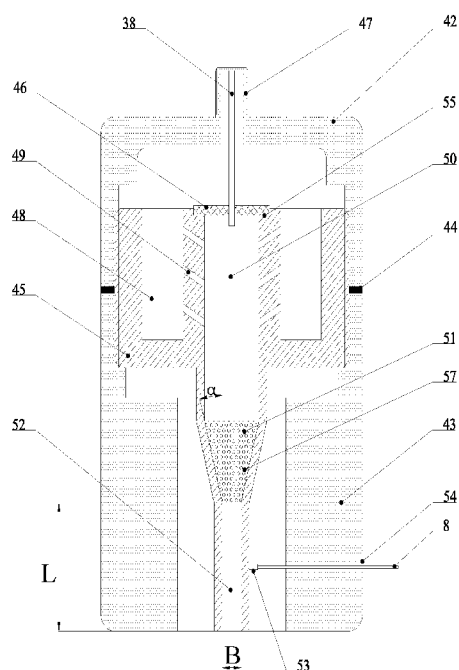


图 2

(57) **Abstract:** Disclosed are an electrostatic nozzle and a controllable jet minimal quantity lubrication grinding system. The electrostatic nozzle comprises a nozzle core (45), wherein an upper portion of the nozzle core (45) is connected to an upper nozzle body (42); an idle space is formed between the upper nozzle body (42) and the nozzle core (45), and is used for storing compressed air and reducing the pressure; a lower portion of the nozzle core (45) is connected to a lower nozzle body (43); a gas and liquid mixing chamber (50), an acceleration chamber (51) and a nozzle outlet (52) are successively provided inside the nozzle core (45) from top to bottom; and micro-protrusions (57) are uniformly arranged on an inner wall of the acceleration chamber (51). The controllable jet minimal quantity lubrication grinding system comprises the electrostatic nozzle with the micro-protrusions (57) being uniformly arranged on the inner wall of the acceleration chamber (51). The micro-protrusions improve the lipophilicity of an inner surface of the acceleration chamber (51) and expand the contact area between a minimal quantity lubricant and the nozzle core (45), such that the formed droplets have an ideal charge performance, thereby facilitating control over a subsequent transport path of the droplets.

Shandong 266520 (CN)。高腾(GAO, Teng); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。武文涛(WU, Wentao); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。崔歆(CUI, Xin); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。侯亚丽(HOU, Yali); 中国山东省青岛市经济技术开发区嘉陵江路777号, Shandong 266520 (CN)。

(74) 代理人: 济南圣达知识产权代理有限公司(JINAN SHENGDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国山东省济南市经十路17703号华特广场B308室, Shandong 250061 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种静电喷嘴及可控射流微量润滑磨削系统, 一种静电喷嘴, 包括喷嘴芯(45), 喷嘴芯(45)的上方连接有上喷嘴体(42), 上喷嘴体(42)与喷嘴芯(45)之间形成空闲空间, 用来储存压缩空气和减压; 喷嘴芯(45)的下方连接有以下喷嘴体(43); 喷嘴芯(45)内部从上至下依次设置有气液混合室(50)、加速室(51)和喷嘴出口(52); 加速室(51)内壁上均匀排布有微凸体(57)。以及一种可控射流微量润滑磨削系统, 包括加速室(51)内壁上均匀排布有微凸体(57)的静电喷嘴。微凸体增加了加速室(51)内表面的亲油性以及微量润滑液与喷嘴芯(45)的接触面积, 形成液滴具有理想的荷电性能, 有利于液滴后续输送路线的控制。

一种静电喷嘴及可控射流微量润滑磨削系统

技术领域

本公开属于机械加工中磨削液供给装置领域，尤其涉及一种静电喷嘴及可控射流微量润滑磨削系统。

背景技术

本部分的陈述仅仅是提供了与本公开相关的背景技术信息，不必然构成在先技术。

微量润滑技术又称 MQL (Minimal Quantity Lubrication) 技术，具体是将极微量的磨削液与具有一定压力的压缩空气混合雾化后喷射至磨削区，对磨屑、砂轮及加工表面进行有效润滑。这一技术在保证有效润滑和冷却效果的前提下，最大限度降低磨削液的使用（约为传统浇注式润滑方式用量的千分之几），进而降低生产成本和对环境的污染以及对人体的伤害。

纳米射流微量润滑是基于强化换热理论建立的，由强化换热理论可知，固体的传热能力远大于液体和气体。常温下固体材料的导热系数要比流体材料大几个数量级。在微量润滑介质中添加固体粒子，可显著增加流体介质的导热系数，提高对流换热能力，极大弥补微量润滑冷却能力不足的缺陷。此外，纳米粒子在润滑与摩擦学方面还具有特殊的抗磨减摩和高承载能力等摩擦学特性。纳米射流微量润滑就是将纳米级固体粒子加入微量润滑流体介质中制成纳米流体，即纳米粒子、润滑剂（油、或油水混合物）与高压气体混合雾化后以射流形式喷入磨削区。

纳米流体微量润滑技术所产生的液滴依靠高压气体的携带作用进入磨削区进而起到冷却润滑的作用，然而其运动路径并不可控，存在液滴扩散、漂移等问题。液滴飘散到工作环境中不但污染环境还威胁操作人员的身体健康，同时也降低了磨削液的有效利用率，造成了资源的浪费。现如今使用微量润滑加工时润滑液与冷却液对操作人员健康的影响正被高度关注，如：操作人员会得各种各样的呼吸系统疾病，包括职业性气喘、过敏性肺炎、肺功能丧失和皮肤病如过敏、油痤疮、和皮肤癌等。针对这一现实问题研究人员通过大量的探索工作提出静电雾化微量润滑，希望通过电场力的作用对雾化液滴实现可控输运的同时进一步提高雾化效果。

申请号为 201310042095.9 的专利公开了一种纳米流体静电雾化可控射流微量润滑磨削系统，该方案采用电晕荷电技术对喷嘴出口处的微量润滑液进行荷电，在高压电场的作用下液滴会进一步发生破碎，破碎形成的小液滴沿电场线方向可控的输送到磨削区，从而对磨削区进行有效的冷却润滑。申请号为 201310050221.5 的专利公开了一种切削液气雾微量润滑方法，该方案也采用了电晕放电原理对润滑液进行破碎和输运。

发明人发现，从目前公开的文献来看，对于机械加工领域采用静电雾化进行润滑的技术并不多，而且技术也尚未成熟。当前对于润滑油的荷电输运多采用电晕放电（电极针尖端放电）的方式，但电晕放电存在着电晕区小，荷电率差的问题，提高了使用电压的同时造成了能源的浪费。采用接触式荷电（高压电源直接与喷嘴接触）可以有效提高润滑液的荷电量，但也存在漏电风险，目前市场上并未出现适合接触式荷电的微量润滑装备。事实表明在使用接触式荷电时，在喷嘴出口处微量润滑液在压缩空气、电场力等外力作用下拉伸成一系列小液柱进而破裂成小液滴。在这一过程中液柱直径极不均匀，导致后续形成的小液滴粒径分布较为分散，不利于液滴粒径的可控。同时喷嘴出口处的小液柱在压缩空气形成的乱流作用下波动较为严重，十分不利于液滴后续输送路线的控制。

除上述问题外，发明人还发现，由于压缩空气压强较大，从喷嘴喷出时有噪音，噪音会影响操作人员听觉健康；以及在使用微量润滑磨削系统中发现由于纳米粒子吸附性能较强，输送纳米流体的管路经常出现堵塞的情况，这大大影响了其使用性能，也是静电雾化微量润滑系统亟待解决的问题。

发明内容

本公开的第一方面提供了一种微织构静电喷嘴，其在加速室内侧表面设置一系列微凸体，大大增加了加速室内表面的亲油性能。

本公开的第一方面的一种微织构静电喷嘴的技术方案为：

一种微织构静电喷嘴，包括：喷嘴芯，所述喷嘴芯的上方连接有上喷嘴体；所述上喷嘴体与喷嘴芯之间形成空闲空间，用来储存压缩空气和减压；所述喷嘴芯的下方连接在下喷嘴体；喷嘴芯内部从上至下依次设置有气液混合室、加速室和喷嘴出口；所述加速室内壁上均匀排布有微凸体。

本公开的第二方面提供了一种二级复合微织构静电喷嘴，其在加速室内侧表面设置一系列微凸体，微凸体为二级复合结构由一级微凸体和二级微凸体构成，相比于单独的微凸体结构复合微凸体无疑会更大程度地增加加速室内表面的亲油性能。

本公开的第二方面的一种二级复合微织构静电喷嘴的技术方案为：

一种二级复合微织构静电喷嘴，包括：喷嘴芯，所述喷嘴芯的上方连接有上喷嘴体；所述上喷嘴体与喷嘴芯之间形成空闲空间，用来储存压缩空气和减压；所述喷嘴芯的下方连接在下喷嘴体；喷嘴芯内部从上至下依次设置有气液混合室、加速室和喷嘴出口；所述加速室内壁上均匀排布有微凸体，所述微凸体由一级微凸体和二级微凸体组成，二级微凸体设置在一级微凸体上。

本公开的第三方面提供了一种降噪增阻静电喷嘴，其在加速室内侧表面设置一系列锥条状微凸体，锥条状微凸体之间形成的锥条凹槽能够有效的降低噪音，降低了对操作人员听觉健康的危害；加速室内侧表面设置的一系列微凸体也极大的增加了喷嘴芯与微量润滑液的接触面积。

本公开的第三方面的一种降噪增阻静电喷嘴的技术方案为：

一种降噪增阻静电喷嘴，包括：喷嘴芯，所述喷嘴芯的上方连接有上喷嘴体；所述上喷嘴体与喷嘴芯之间形成空闲空间，用来储存压缩空气和减压；所述喷嘴芯的下方连接在下喷嘴体；喷嘴芯内部从上至下依次设置有气液混合室、加速室和喷嘴出口；所述加速室内壁上均匀排布有微凸体，所述微凸体为锥条状，任意两个锥条状微凸体之间形成锥条凹槽。

本公开的第四方面提供了一种渐变微凸体接触式静电喷嘴，其在加速室内侧表面设置一系列过渡式非等高微凸体，采用过渡式微凸体结构能够使微量润滑液在加速室内的运动阻力从大至小分布，有助于在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜，同时大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度，进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀，其运动路径也更加可控。

本公开的第四方面的一种渐变微凸体接触式静电喷嘴的技术方案为：

一种渐变微凸体接触式静电喷嘴，包括：喷嘴芯，所述喷嘴芯的上方连接有上喷嘴体；所述上喷嘴体与喷嘴芯之间形成空闲空间，用来储存压缩空气和减压；所述喷嘴芯的下方连接在下喷嘴体；喷嘴芯内部从上至下依次设置有气液混合室、加速室和喷嘴出口；所述加速室内壁上均匀排布有微凸体，所述微凸体采用过渡式非等高结构，即微凸体高度沿射流运动方向逐渐减小。

本公开的第五方面提供了一种可控射流微量润滑磨削系统，其包含静电喷嘴采用静电喷嘴对润滑液进行荷电，实现雾滴实现可控分布的同时可提高荷电率及液滴的均匀度。

本公开的第五方面的一种可控射流微量润滑磨削系统的技术方案为：

在一个或多个实施例中，一种可控射流微量润滑磨削系统，包括上述所述的微织构静电喷嘴。

在一个或多个实施例中，一种可控射流微量润滑磨削系统，包括上述所述的二级复合微织构静电喷嘴。

在一个或多个实施例中，一种可控射流微量润滑磨削系统，包括上述所述的降噪增阻静电喷嘴。

在一个或多个实施例中，一种可控射流微量润滑磨削系统，包括上述渐变微凸体接触式静电喷嘴。

本公开的有益效果是：

(1) 本公开的一种微织构静电喷嘴，在加速室内侧表面设置一系列微凸体，大大增加了加速室内表面的亲油性能。加速室内表面的亲油性能可有效的吸附从混合室内流出的微量润滑液，提高了微量润滑液的运动阻力，并在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜，大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度，进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀，其运动路径也更加可控；加速室内侧表面设置的一系列微凸体也极大的增加了喷嘴芯与微量润滑液的接触面积，由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间，因此具有更为理想的荷电性能。

(2) 本公开的一种二级复合微织构静电喷嘴，加速室内侧表面设置一系列微凸体，微凸体为二级复合结构由一级微凸体和二级微凸体构成，相比于单独的微凸体结构复合微凸体无疑会更大增加加速室内表面的亲油性能。加速室内表面的亲油性能可有效的吸附从混合室内流出的微量润滑液，提高了微量润滑液的运动阻力，并在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜，大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度，进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀，其运动路径也更加可控；加速室内侧表面设置的一系列二级复合微凸体也极大的增加了喷嘴芯与微量润滑液的接触面积，由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间，因此具有更为理想的荷电性能。

(3) 本公开的一种降噪增阻静电喷嘴，在加速室内侧表面设置一系列锥条状微凸体，大大增加了加速室内表面的亲油性能。加速室内表面的亲油性能可有效的吸附从混合室内流出的微量润滑液，提高了微量润滑液的运动阻力，并在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜，大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度，进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀，其运动路径也更加可控。同时，锥条状微凸体之间形成的锥条凹槽能够有效的降低噪音，降低了对操作人员听觉健康的危害；加速室内侧表面设置的一系列微凸体也极大的增加了喷嘴芯与微量润滑液的接触面积，由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间，因此具有更为理想的荷电性能。

(4) 本公开的一种渐变微凸体接触式静电喷嘴，在加速室内侧表面设置一系列过渡式非等高微凸体，采用过渡式微凸体结构能够使微量润滑液在加速室内的运动阻力从大至小分布，有助于在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜，同时大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度，进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀，其运动路径也更加可控；加速室内侧表面设置的一系列微凸体也极大的增加了喷嘴芯与微量润滑液的接触面积，由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间，因此具有更为理想的荷电性能。

(5) 本公开的一种可控射流微量润滑磨削系统，采用上述静电喷嘴，大大增加了微量润滑液与其接触的时间；而且在绝缘油管内侧涂覆有疏水疏油碳纳米涂层，由于在纳米尺寸低凹的表面可使吸附的气体分子稳定存在，所以在宏观表面上相当于有一层稳定的气体薄膜，使油和水均无法与材料表面直接接触，从而使材料表面呈现超常的双疏（疏油疏水）特性，因此可以有效的避免油管堵塞的问题。

附图说明

构成本公开的一部分的说明书附图用来提供对本公开的进一步理解，本公开的示意性实施例及其说明用于解释本公开，并不构成对本公开的不当限定。

图 1 (a) 是本公开实施例提供的圆柱型喷嘴；

图 1 (b) 是本公开实施例提供的锥型喷嘴；

图 1 (c) 是本公开实施例提供的锥柱型喷嘴；

图 1 (d) 是本公开实施例提供的锥柱扩散型喷嘴；

图 2 是本公开实施例提供的静电喷嘴总装配剖视图；

图 3 是本公开实施例提供的喷嘴旋向通气孔剖视图；

图 4 是本公开实施例提供的混合室封盖结构示意图；

图 5(a)是本公开实施例提供的微织构静电喷嘴的加速室内表面展开微织构分布示意图；

图 5(b)是本公开实施例提供的微织构静电喷嘴的加速室内表面展开微织构分布示意图；

图 6 是本公开实施例提供的微织构静电喷嘴的加速室内表面展开微织构单位面积结构示意图；

图 7(a)是本公开实施例提供的二级复合微织构静电喷嘴的加速室内表面展开微织构分布示意图；

图 7(b)是本公开实施例提供的二级复合微织构静电喷嘴的加速室内表面展开微织构分布示意图；

图 8(a)是本公开实施例提供的降噪增阻静电喷嘴的加速室内表面展开微织构分布示意图；

图 8(b)是本公开实施例提供的降噪增阻静电喷嘴的加速室内表面展开微织构分布示意图；

图 9(a)是本公开实施例提供的渐变微凸体接触式静电喷嘴的加速室内表面展开微织构分布示意图；

图 9(b)是本公开实施例提供的渐变微凸体接触式静电喷嘴的加速室内表面展开微织构分布示意图；

图 10 是本公开实施例提供的渐变微凸体接触式静电喷嘴的加速室内表面展开微织构单位面积结构示意图；

图 11 是本公开实施例提供的可控射流微量润滑磨削系统轴测示意图；

图 12 是本公开实施例提供的可控射流微量润滑磨削系统爆炸示意图；

图 13 是本公开实施例提供的微量润滑液输送管横断面图；

图 14 是本公开实施例提供的可调高压直流电源电路系统框图；

图 15(a)是本公开实施例提供的工件加电装置剖视图；

图 15(b)是本公开实施例提供的工件加电装置俯视图。

其中，1-磨床部分工作台，2-绝缘板材，3-工件，4-砂轮，5-砂轮罩，6-磁力吸盘，7-微量润滑液输送管，8-直流高压电线，9-可调高压直流电源，10-静电喷嘴，11-箱体，12-绝缘油杯接头，13-绝缘油杯，14-绝缘固定螺栓，15-绝缘垫圈，16-绝缘连接螺栓，17-微量泵固定板，18-精密微量润滑泵，19-气流量调节旋钮，20-绝缘三通，21-电磁阀，22-过滤调压阀，23-气源接头，24-双向接头，25-脉冲控制器，26-气管 I，27-气管 II，28-气管 III，29-液流量调节旋钮，30-气液出口接头，31-电磁阀安装架，32-润滑泵进气接口 I，33-润滑泵进气接口 II，34-微量润滑液输送管出孔，35-油杯盖，36-箱盖，37-绝缘龙蛇管，38-绝缘油管，39-气体输送腔，40-疏水疏油碳纳米涂层，41-液体输送腔，42-上喷嘴体，43-下喷嘴体，44-绝缘密封圈，45-喷嘴芯，46-环状止逆圈，47-微量润滑液输送管接口，48-储气室，49-旋向气孔，50-气液混合室，51-加速室，52-喷嘴出口，53-高压电线接口，54-高压电线接出通孔，55-止逆圈安置槽，56- V_2O_5 纳米纤维片材，57-微凸体，58-工件加电装置，59-绝缘壳体，60-压铁，61-永磁铁，62-开口销插槽，63-接线环，64-压紧弹簧，65-一级微凸体，66-二级微凸体。

具体实施方式

应该指出，以下详细说明都是例示性的，旨在对本公开提供进一步的说明。除非另有指明，本文使用的所有技术和科学术语具有与本公开所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

需要注意的是，这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式，而非意图限制根据本公开的示例性实施方式。如在这里所使用的，除非上下文另外明确指出，否则单数形式也意图包括复数形式，此外，还应当理解的是，当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时，其

指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

实施例 1

如图 1 (a) -图 1 (d) 所示, 目前喷射喷嘴结构有圆柱型喷嘴如图 1 (a) 所示, 锥型喷嘴如图 1 (b) 所示, 锥柱型喷嘴如图 1 (c) 所示和锥柱扩散型喷嘴如图 1 (d) 所示。喷嘴对于射流速度分布、紊动强度要求较高, 喷嘴设计要求具有较为均匀的射流速度, 速度梯度不易过大, 射流紊动强度要小, 射流不易有较大波动, 喷嘴出口液滴浓度分布要均匀, 射流浓度梯度不易过大。根据相关工作者研究经验认为, 在相同入口和出口条件下, 在速度分布方面, 圆柱型喷嘴出口速度分布最不均匀, 中心速度分布与边界速度分布相差较大, 锥柱扩散型喷嘴出口速度分布最均匀, 锥柱型喷嘴速度分布强于锥型喷嘴。在紊动强度方面, 锥柱扩散型喷嘴的紊动强度最大, 锥柱型喷嘴紊动强度介于圆柱型喷嘴和锥型喷嘴之间; 在喷嘴出口液滴浓度分布方面, 锥柱型喷嘴出口最为均匀。

综上所述认为, 锥柱型喷嘴出口速度分布比较均匀, 出口紊动强度分布较小, 且出口液滴浓度分布最为均匀, 所以根据对射流特性的要求, 本实施例采用锥柱型喷嘴, 即如图 1 (c) 所示的这类喷嘴。

如图 2、图 3 和图 4 所示, 本实施例的微织构静电喷嘴, 包括: 上喷嘴体 42, 下喷嘴体 43, 绝缘密封圈 44, 喷嘴芯 45, 环状止逆圈 46, 微量润滑液输送管接口 47, 储气室 48, 旋向气孔 49, 气液混合室 50, 加速室 51, 喷嘴出口 52, 高压电线接口 53, 高压电线接出通孔 54, 止逆圈安置槽 55, V_2O_5 纳米纤维片材 56, 微凸体 57。

所述上喷嘴体 42 通过螺纹连接于上方, 下喷嘴体 43 通过螺纹连接于喷嘴芯 45 下方, 上喷嘴体 42 和下喷嘴体 43 之间设置有绝缘密封圈 44, 可有效的防止喷嘴内的气体泄漏。上喷嘴体 42 和下喷嘴体 43 为绝缘材质, 喷嘴芯 45 为金属导电材质。上喷嘴体 42 上方设置有微量润滑液输送管接口 47, 微量润滑液输送管接口 47 可通过螺纹与绝缘龙蛇管 37 相连接。从而流经绝缘龙蛇管 37 的压缩空气可以进入到静电喷嘴内。喷嘴芯 45 内设置有储气室 48, 储气室 48 起到储存压缩空气和减压的作用, 同上喷嘴体 42 与喷嘴芯 45 之间形成的空闲空间也起到相同的作用。喷嘴芯 45 内部从上至下依次设置有气液混合室 50, 加速室 51 和喷嘴出口 52。加速室 51 收缩角 α 在 $5-20^\circ$ 之间, 喷嘴出口直径为 B 长度为 L, L/B 取值在 2-6 之间, 本实施例中 α 为 13° , B 为 1mm, L/B 为 4。

喷嘴芯 45 上方设置有止逆圈安置槽 55, 环状止逆圈 46 固定粘接在止逆圈安置槽 55 槽内。环状止逆圈 46 为一个具有弹性的绝缘环状橡胶圈, 在环状止逆圈 46 上阵列排布有 4-10 片 V_2O_5 纳米纤维片材 56, 图 3 中以 8 片为例。 V_2O_5 纳米纤维片材 56 沿环状止逆圈 46 粘贴一周将环形中心孔遮住, 绝缘油管 38 从多片 V_2O_5 纳米纤维片材 56 中心穿过进入到气液混合室 50 内, V_2O_5 纳米纤维片材 56 具有特殊的性质, 其在外电场作用下可进行类似肌肉的强力可逆收缩, 能够紧紧将绝缘油管 38 包住, 避免了气液混合室 50 内气流导致的气流和润滑液回流, 环状止逆圈 46 具有一定弹性, 其弹性变形量可抵消 V_2O_5 纳米纤维片材 56 的收缩量。喷嘴芯 45 上设置有旋向气孔 49, 旋向气孔 49 是沿气液混合室 50 外壁阵列排布, 入口轴线与气液混合室 50 内腔壁面相切, 压缩空气流经旋向气孔 49 以切向速度 v 进入到气液混合室 50。由于压缩空气同时通过多个旋向气孔 49 进入到气液混合室 50 内, 其速度方向与轴向中心不相交, 因此进入的气流对轴向中心存在一个动量矩, 促使气流在气液混合室 50 绕轴向中心旋转, 同时向喷嘴出口方向推进, 从而带动纳米流体旋转形成涡流。该涡流的形成使微量润滑液与压缩空气得到充分的混合, 同时也导致了乱流的形成。加速室 51 和喷嘴出口 52 主要用于射流加速和润滑液在喷嘴内的铺展, 润滑液在喷嘴内和出口处通常拉扯成液膜或液线, 最终在气动力和静电力等外力的作用下最终破碎成液滴。喷嘴芯 45 上设置有高压电线接口 53, 下喷嘴体 43 上设置有高压电线接出通孔 54, 直流高压电线 8 可以穿过高压电线接出通孔 54 与高压电线接口 53 相连接, 从而为喷嘴芯 45 供电。加速室 51 内壁上设置有一系列微

凸体 57，微凸体 57 的具体形态和位置如图 6 所示。

如图 5(a)-图 6 所示，微凸体 57 均匀排布在加速室 51 内壁上，本实施例中微凸体为六棱柱，同样微凸体 57 也可以为圆柱体、圆锥体以及多棱柱体。各微凸体 57 的水平中心距为 a 在 $5-50\mu\text{m}$ 之间，竖直中心距为 b 在 $5-50\mu\text{m}$ 之间，边长为 c 在 $2-7\mu\text{m}$ 之间，高度为 h 在 $3-30\mu\text{m}$ 之间，面积占有率 η （即全部微凸体 57 投影面积与整个加速室 51 内表面面积比值）在 20-80% 之间。

本实施例 a 为 $15\mu\text{m}\pm 3\mu\text{m}$ ， b 为 $15\mu\text{m}\pm 3\mu\text{m}$ ， c 为 $4\mu\text{m}\pm 0.5\mu\text{m}$ ， h 为 $10\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$ ， η 为 40%，在加速室内表面 51 截取边长为 L 的正方形为分析单元其面积为 L^2 。

需要说明的是，可通过微凸体参数设置，实现喷嘴加速室内表面粗糙度因子的主动设计。

传统静电喷嘴中乱流的形成不利于微量润滑液的均匀铺展，润滑液和压缩空气在旋向气流的混合作用下变得极为不稳定，速度分布不均匀紊动强度较大，经加速室加速后这种显现变得尤为明显，最终导致喷嘴喷出的液滴尺寸分布也很不均匀，由于形成的液线波动较大也不利于形成液滴后的可控输运。本实施例的微结构静电喷嘴在加速室内侧表面设置一系列微凸体，大大增加了加速室内表面的亲油性能。加速室内表面的亲油性能可有效的吸附从混合室内流出的微量润滑液，提高了微量润滑液的运动阻力，并在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜，大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度，进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀，其运动路径也更加可控。加速室内侧表面设置的一系列微凸体也极大的增加了喷嘴芯与微量润滑液的接触面积，由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间，因此具有更为理想的荷电性能。

实施例 2

如图 2-图 4 所示，本实施例的二级复合微结构静电喷嘴，包括：

上喷嘴体 42，下喷嘴体 43，绝缘密封圈 44，喷嘴芯 45，环状止逆圈 46，微量润滑液输送管接口 47，储气室 48，旋向气孔 49，气液混合室 50，加速室 51，喷嘴出口 52，高压电线接口 53，高压电线接出通孔 54，止逆圈安置槽 55， V_2O_5 纳米纤维片材 56，微凸体 57。

所述上喷嘴体 42 通过螺纹连接于上方，下喷嘴体 43 通过螺纹连接于喷嘴芯 45 下方，上喷嘴体 42 和下喷嘴体 43 之间设置有绝缘密封圈 44，可有效的防止喷嘴内的气体泄漏。上喷嘴体 42 和下喷嘴体 43 为绝缘材质，喷嘴芯 45 为金属导电材质。上喷嘴体 42 上方设置有微量润滑液输送管接口 47，微量润滑液输送管接口 47 可通过螺纹与绝缘龙蛇管 37 相连接。从而流经绝缘龙蛇管 37 的压缩空气可以进入到静电喷嘴内。喷嘴芯 45 内设置有储气室 48，储气室 48 起到储存压缩空气和减压的作用，同上喷嘴体 42 与喷嘴芯 45 之间形成的空闲空间也起到相同的作用。喷嘴芯 45 内部从上至下依次设置有气液混合室 50，加速室 51 和喷嘴出口 52。加速室 51 收缩角 α 在 $5-20^\circ$ 之间，喷嘴出口直径为 B 长度为 L ， L/B 取值在 2-6 之间，本实施例中 α 为 13° ， B 为 1mm， L/B 为 4。

喷嘴芯 45 上方设置有止逆圈安置槽 55，环状止逆圈 46 固定粘接在止逆圈安置槽 55 槽内。环状止逆圈 46 为一个具有弹性的绝缘环状橡胶圈，在环状止逆圈 46 上阵列排布有 4-10 片 V_2O_5 纳米纤维片材 56，图 3 中以 8 片为例。 V_2O_5 纳米纤维片材 56 沿环状止逆圈 46 粘贴一周将环形中心孔遮住，绝缘油管 38 从多片 V_2O_5 纳米纤维片材 56 中心穿过进入到气液混合室 50 内， V_2O_5 纳米纤维片材 56 具有特殊的性质，其在外电场作用下可进行类似肌肉的强力可逆收缩，能够紧紧将绝缘油管 38 包住，避免了气液混合室 50 内气流导致的气流和润滑液回流，环状止逆圈 46 具有一定弹性，其弹性变形量可抵消 V_2O_5 纳米纤维片材 56 的收缩量。喷嘴芯 45 上设置有旋向气孔 49，旋向气孔 49 是沿气液混合室 50 外壁阵列排布，入口轴线与气液混合室 50 内腔壁面相切，压缩空气流经旋向气孔 49 以切向速度 v 进入到气液混合室 50。由于压缩空气同时通过多个旋向气孔 49 进入到气液混合室 50 内，其速度方向与轴向中心不相交，因此进入的气流对轴向中心存在一个动量矩，促使气流在气液混合室 50 绕轴向中

心旋转,同时向喷嘴出口方向推进,从而带动纳米流体旋转形成涡流。该涡流的形成使微量润滑液与压缩空气得到充分的混合,同时也导致了乱流的形成。加速室 51 和喷嘴出口 52 主要用于射流加速和润滑液在喷嘴内的铺展,润滑液在喷嘴内和出口处通常拉扯成液膜或液线,最终在气动力和静电力等外力的作用下最终破碎成液滴。喷嘴芯 45 上设置有高压电线接口 53,下喷嘴体 43 上设置有高压电线接出通孔 54,直流高压电线 8 可以穿过高压电线接出通孔 54 与高压电线接口 53 相连接,从而为喷嘴芯 45 供电。加速室 51 内壁上设置有一系列微凸体 57,微凸体 57 的具体形态和位置如图 7(a) 和图 7(b) 所示。

如图 7(a) 和图 7(b) 所示,本实施例的微凸体 57 由一级微凸体 65 和二级微凸体 66 组成,均匀排布在加速室 51 内壁上,二级微凸体 66 设置在一级微凸体 65 上。本实施例中一级微凸体 65 和二级微凸体 66 均为圆柱形,直径分别为 d_1 和 d_2 , d_2 为 d_1 的 $1/5-2/3$ 。同样也可以设置为圆锥体以及多棱柱体。各一级微凸体 65 的水平中心距为 a 在 $5-50\mu\text{m}$ 之间,竖直中心距为 b 在 $5-50\mu\text{m}$ 之间,高度为 h 在 $3-30\mu\text{m}$ 之间,一级微凸体 65 面积占有率 η (即全部一级微凸体 65 投影面积与整个加速室 51 内表面面积比值) 在 $20-80\%$ 之间,根据面积占有率 η 可得到一级微凸体 65 个数为 n_1 。二级微凸体 66 高度 h' 为 h 的 $1/5-1/3$,二级微凸体 66 面积占有率 η' (即全部二级微凸体 66 投影面积与一级微凸体 65 表面面积比值) 在 $30-80\%$ 之间,根据面积占有率 η' 可得到每个一级微凸体 65 上二级微凸体 66 个数为 n_2 。

本实施例中 d_1 为 $4\mu\text{m}\pm 0.5\mu\text{m}$, d_2 为 $1.5\mu\text{m}\pm 0.5\mu\text{m}$, a 为 $15\mu\text{m}\pm m\mu\text{m}$, b 为 $15\mu\text{m}\pm m\mu\text{m}$, h 为 $10\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$, η 为 40% , h' 为 $3\mu\text{m}\pm 0.5\mu\text{m}$, η' 为 50% 。

本实施例的二级复合微结构静电喷嘴在加速室内侧表面设置一系列微凸体,微凸体为二级复合结构由一级微凸体和二级微凸体构成,相比于单独的微凸体结构复合微凸体无疑会更大程度地增加加速室内表面的亲油性能。加速室内表面的亲油性能可有效的吸附从混合室内流出的微量润滑液,提高了微量润滑液的运动阻力,并在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜,大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度,进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀,其运动路径也更加可控。加速室内侧表面设置的一系列二级复合微凸体也极大的增加了喷嘴芯与微量润滑液的接触面积,由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间,因此具有更为理想的荷电性能。

实施例 3

如图 2-图 4 所示,本实施例的降噪增阻静电喷嘴具体包括,上喷嘴体 42,下喷嘴体 43,绝缘密封圈 44,喷嘴芯 45,环状止逆圈 46,微量润滑液输送管接口 47,储气室 48,旋向气孔 49,气液混合室 50,加速室 51,喷嘴出口 52,高压电线接口 53,高压电线接出通孔 54,止逆圈安置槽 55, V_2O_5 纳米纤维片材 56,微凸体 57。

所述上喷嘴体 42 通过螺纹连接于上方,下喷嘴体 43 通过螺纹连接于喷嘴芯 45 下方,上喷嘴体 42 和下喷嘴体 43 之间设置有绝缘密封圈 44,可有效的防止喷嘴内的气体泄漏。上喷嘴体 42 和下喷嘴体 43 为绝缘材质,喷嘴芯 45 为金属导电材质。上喷嘴体 42 上方设置有微量润滑液输送管接口 47,微量润滑液输送管接口 47 可通过螺纹与绝缘龙蛇管 37 相连接。从而流经绝缘龙蛇管 37 的压缩空气可以进入到静电喷嘴内。喷嘴芯 45 内设置有储气室 48,储气室 48 起到储存压缩空气和减压的作用,同上喷嘴体 42 与喷嘴芯 45 之间形成的空闲空间也起到相同的作用。喷嘴芯 45 内部从上至下依次设置有气液混合室 50,加速室 51 和喷嘴出口 52。加速室 51 收缩角 α 在 $5-20^\circ$ 之间,喷嘴出口直径为 B 长度为 L , L/B 取值在 $2-6$ 之间,本实

施例中 α 为 13° , B 为 1mm , L/B 为 4 。喷嘴芯 45 上方设置有止逆圈安置槽 55,环状止逆圈 46 固定粘接在止逆圈安置槽 55 槽内。环状止逆圈 46 为一个具有弹性的绝缘环状橡胶圈,在环状止逆圈 46 上阵列排布有 $4-10$ 片 V_2O_5 纳米纤维片材 56,图 3 中以 8 片为例。 V_2O_5 纳米纤维片材 56 沿环状止逆圈 46 粘贴一周将环形中心孔遮住,绝缘油管 38 从多片 V_2O_5 纳米纤

维片材 56 中心穿过进入到气液混合室 50 内, V_2O_5 纳米纤维片材 56 具有特殊的性质, 其在外电场作用下可进行类似肌肉的强力可逆收缩, 能够紧紧将绝缘油管 38 包住, 避免了气液混合室 50 内气流导致的气流和润滑液回流, 环状止逆圈 46 具有一定弹性, 其弹性变形量可抵消 V_2O_5 纳米纤维片材 56 的收缩量。喷嘴芯 45 上设置有旋向气孔 49, 旋向气孔 49 是沿气液混合室 50 外壁阵列排布, 入口轴线与气液混合室 50 内腔壁面相切, 压缩空气流经旋向气孔 49 以切向速度 v 进入到气液混合室 50。由于压缩空气同时通过多个旋向气孔 49 进入到气液混合室 50 内, 其速度方向与轴向中心不相交, 因此进入的气流对轴向中心存在一个动量矩, 促使气流在气液混合室 50 绕轴向中心旋转, 同时向喷嘴出口方向推进, 从而带动纳米流体旋转形成涡流。该涡流的形成使微量润滑液与压缩空气得到充分的混合, 同时也导致了乱流的形成。加速室 51 和喷嘴出口 52 主要用于射流加速和润滑液在喷嘴内的铺展, 润滑液在喷嘴内和出口处通常拉扯成液膜或液线, 最终在气动力和静电力等外力的做用下最终破碎成液滴。喷嘴芯 45 上设置有高压电线接口 53, 下喷嘴体 43 上设置有高压电线接出通孔 54, 直流高压电线 8 可以穿过高压电线接出通孔 54 与高压电线接口 53 相连接, 从而为喷嘴芯 45 供电。加速室 51 内壁上设置有一系列微凸体 57, 微凸体 57 的具体形态和位置如图 8 (a) 和图 8 (b) 所示。

如图 8 (a) 和图 8 (b) 所示, 微凸体 57 均匀排布在加速室 51 内壁上, 加速室 51 展开后上边长为 L , 下边长为 L' , 高为 H , 上边与展开侧的夹角为 β 。本实施例中微凸体为锥条状 (各锥条状微凸体 57 之间形成锥条凹槽)。锥条状微凸体 57 的上方宽度为 a 在 $3-30\mu m$ 之间, 两个锥条状微凸体 57 之间上方的距离为 a' , 且 $a=a'$ 。锥条状微凸体 57 的下方宽度为 b 和两个锥条状微凸体 57 之间下方的距离为 b' , 且 $b=b'$, 所述实施例中 $a/a'=L/L'$, 锥条状微凸体 57 高为 h 。面积占有率 η (即全部微凸体 57 投影面积与整个加速室 51 内表面面积比值) 在 20-80% 之间。本实施例 a 为 $15\mu m \pm m\mu m$, h 为 $10\mu m \pm m\mu m$, η 为 50%。

本实施例的降噪增阻静电喷嘴在加速室内侧表面设置一系列锥条状微凸体, 大大增加了加速室内表面的亲油性能。加速室内表面的亲油性能可有效的吸附从混合室内流出的微量润滑液, 提高了微量润滑液的运动阻力, 并在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜, 大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度, 进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀, 其运动路径也更加可控。同时, 锥条状微凸体之间形成的锥条凹槽能够有效的降低噪音, 降低了对操作人员听觉健康的危害。加速室内侧表面设置的一系列微凸体也极大的增加了喷嘴芯与微量润滑液的接触面积, 由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间, 因此具有更为理想的荷电性能。

实施例 4

如图 2-图 4 所示, 本实施例的一种渐变微凸体接触式静电喷嘴, 包括: 上喷嘴体 42, 下喷嘴体 43, 绝缘密封圈 44, 喷嘴芯 45, 环状止逆圈 46, 微量润滑液输送管接口 47, 储气室 48, 旋向气孔 49, 气液混合室 50, 加速室 51, 喷嘴出口 52, 高压电线接口 53, 高压电线接出通孔 54, 止逆圈安置槽 55, V_2O_5 纳米纤维片材 56, 微凸体 57。

所述上喷嘴体 42 通过螺纹连接于上方, 下喷嘴体 43 通过螺纹连接于喷嘴芯 45 下方, 上喷嘴体 42 和下喷嘴体 43 之间设置有绝缘密封圈 44, 可有效的防止喷嘴内的气体泄漏。上喷嘴体 42 和下喷嘴体 43 为绝缘材质, 喷嘴芯 45 为金属导电材质。上喷嘴体 42 上方设置有微量润滑液输送管接口 47, 微量润滑液输送管接口 47 可通过螺纹与绝缘龙蛇管 37 相连接。从而流经绝缘龙蛇管 37 的压缩空气可以进入到静电喷嘴内。喷嘴芯 45 内设置有储气室 48, 储气室 48 起到储存压缩空气和减压的作用, 同上喷嘴体 42 与喷嘴芯 45 之间形成的空闲空间也起到相同的作用。喷嘴芯 45 内部从上至下依次设置有气液混合室 50, 加速室 51 和喷嘴出口 52。加速室 51 收缩角 α 在 $5-20^\circ$ 之间, 喷嘴出口直径为 B 长度为 L , L/B 取值在 2-6 之间, 本实施例中 α 为 13° , B 为 1mm, L/B 为 4。喷嘴芯 45 上方设置有止逆圈安置槽 55, 环状止逆

圈 46 固定粘接在止逆圈安置槽 55 槽内。环状止逆圈 46 为一个具有弹性的绝缘环状橡胶圈，在环状止逆圈 46 上阵列排布有 4-10 片 V_2O_5 纳米纤维片材 56，图 3 中以 8 片为例。 V_2O_5 纳米纤维片材 56 沿环状止逆圈 46 粘贴一周将环形中心孔遮住，绝缘油管 38 从多片 V_2O_5 纳米纤维片材 56 中心穿过进入到气液混合室 50 内， V_2O_5 纳米纤维片材 56 具有特殊的性质，其在外电场作用下可进行类似肌肉的强力可逆收缩，能够紧紧将绝缘油管 38 包住，避免了气液混合室 50 内气流导致的气流和润滑液回流，环状止逆圈 46 具有一定弹性，其弹性变形量可抵消 V_2O_5 纳米纤维片材 56 的收缩量。喷嘴芯 45 上设置有旋向气孔 49，旋向气孔 49 是沿气液混合室 50 外壁阵列排布，入口轴线与气液混合室 50 内腔壁面相切，压缩空气流经旋向气孔 49 以切向速度 v 进入到气液混合室 50。由于压缩空气同时通过多个旋向气孔 49 进入到气液混合室 50 内，其速度方向与轴向中心不相交，因此进入的气流对轴向中心存在一个动量矩，促使气流在气液混合室 50 绕轴向中心旋转，同时向喷嘴出口方向推进，从而带动纳米流体旋转形成涡流。该涡流的形成使微量润滑液与压缩空气得到充分的混合，同时也导致了乱流的形成。加速室 51 和喷嘴出口 52 主要用于射流加速和润滑液在喷嘴内的铺展，润滑液在喷嘴内和出口处通常拉扯成液膜或液线，最终在气动力和静电力等外力的做用下最终破碎成液滴。喷嘴芯 45 上设置有高压电线接口 53，下喷嘴体 43 上设置有高压电线接出通孔 54，直流高压电线 8 可以穿过高压电线接出通孔 54 与高压电线接口 53 相连接，从而为喷嘴芯 45 供电。加速室 51 内壁上设置有一系列微凸体 57，微凸体 57 的具体形态和位置如图 9 (a) 和图 9 (b) 所示。

如图 9 (a) 和图 9 (b) 以及图 10 所示，微凸体 57 均匀排布在加速室 51 内壁上，本实施例中微凸体为六棱柱，同样微凸体 57 也可以为圆柱体、圆锥体以及多棱柱体。微凸体 57 采用过渡式非等高结构，即微凸体高度沿射流运动方向逐渐减小，相邻两排间高度差为 Δh 。各微凸体 57 的水平中心距为 a 在 $5-50\mu m$ 之间，竖直中心距为 b 在 $5-50\mu m$ 之间，最矮的微凸体高度为 h 在 $2-15\mu m$ 之间，高度差为 Δh 为 $0.3-2\mu m$ 之间，面积占有率 η (即全部微凸体 57 投影面积与整个加速室 51 内表面面积比值) 在 20-80% 之间，微凸体 57 上表面与加速室 51 内表面夹角为 β 。本实施例 a 为 $15\mu m \pm 3\mu m$ ， b 为 $15\mu m \pm 3\mu m$ ， h 为 $4\mu m \pm 0.3\mu m$ ， Δh 为 $0.5\mu m \pm 0.1\mu m$ ， η 为 40%。在加速室内表面 51 截取边长为 L 的正方形为分析单元其面积为 L^2 ，且包括最矮微凸体。

本实施例的一种渐变微凸体接触式静电喷嘴在加速室内侧表面设置一系列过渡式非等高微凸体，采用过渡式微凸体结构能够使微量润滑液在加速室内的运动阻力从大至小分布，有助于在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜，同时大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度，进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀，其运动路径也更加可控。加速室内侧表面设置的一系列微凸体也极大的增加了喷嘴芯与微量润滑液的接触面积，由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间，因此具有更为理想的荷电性能。

实施例 5

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统，包括如图 2-图 6 所示的微结构静电喷嘴。

如图 11 所示，实施例的可控射流微量润滑磨削系统，包括磨床部分工作台 1，绝缘板材 2，工件 3，砂轮 4，砂轮罩 5，磁力吸盘 6，微量润滑液输送管 7，直流高压电线 8，可调高压直流电源 9，静电喷嘴 10，工件加电装置 58 以及微量润滑装置。

在磨床部分工作台 30 上覆上绝缘板材 2 (这种材料可以导磁，但不导电，从而既可以保证工件的安装又可以保证喷嘴与工件间形成稳定电场)。将磁力吸盘 6 吸附在砂轮罩 5 侧面，采用绝缘塑料链接扣固定微量润滑液输送管 7 和直流高压电线 8 中与喷嘴相连接的那条。微量润滑液输送管 7 一端与微量润滑装置相连，另一端与静电喷嘴相连。直流高压电线 8 其中一条的一端与静电喷嘴相连为喷嘴供电，另一端与可调高压直流电源 9 的负极输出端相连。另一条直流高压电线 8 的一端与工件加电装置 58 相连另一端与可调高压直流电源 9 的正极输出端相连接，并进行接地处理。将工件加电装置 58 吸附于工件 3 非加工表面，将工件与可调

高压直流电源 9 正极接通。从而使喷嘴为负极性，工件表面为正极性，喷嘴与工件之间形成电场，为微量润滑液滴的可控输运提供条件。

如图 12 所示，微量润滑装置具体包括箱体 11，绝缘油杯接头 12，绝缘油杯 13，绝缘固定螺栓 14，绝缘垫圈 15，绝缘连接螺栓 16，微量泵固定板 17，精密微量润滑泵 18，气流量调节旋钮 19，绝缘三通 20，电磁阀 21，过滤调压阀 22，气源接头 23，双向接头 24，脉冲控制器 25，气管 I 26，气管 II 27，气管 III 28，液流量调节旋钮 29，气液出口接头 30，电磁阀安装架 31，润滑泵进气接口 I 32，润滑泵进气接口 II 33，微量润滑液输送管出孔 34，油杯盖 35，箱盖 36。

箱体 11 由绝缘塑料制成，箱体 11 前方设置有绝缘塑料制成的箱盖 36。箱体 11 内设置有两组精密微量润滑泵 18，两组精密微量润滑泵 18 上下并列布置，通过绝缘连接螺栓 16 将精密微量润滑泵 18 固定连接于微量泵固定板 17 下方，微量泵固定板 17 下方上预留有进液孔，其位置与精密微量润滑泵 18 进液孔相对应。进一步通过绝缘固定螺栓 14 和绝缘垫圈 15 将微量泵固定板 17 固定连接在箱体 11 内侧顶部。绝缘油杯接头 12 穿过箱体 11 上方通过螺纹连接固定在微量泵固定板 17 上方设置的进液孔上，绝缘油杯接头 12 上方与绝缘油杯 13 相连，从而为精密微量润滑泵 18 供液，绝缘油杯 13 上方设置有油杯盖 35。

气源接头 23 一端固定于过滤调压阀 22 上，另一端与压缩空气气源相连。过滤调压阀 22 上设置与箱体 11 外侧，压缩空气由气源接头 23 进入过滤调压阀 22，过滤调压阀 22 用于压缩空气过滤和入气压力调节，从而为润滑系统提供压力稳定的洁净压缩空气。过滤调压阀 22 通过双向接头 24 与电磁阀 21 相连接，控制压缩空气的通断，电磁阀 21 固定安装在电磁阀安装架 31 上，电磁阀安装架 31 设置在箱体 11 内。电磁阀 21 出口与绝缘三通 20 右侧接口相连接，压缩空气通过绝缘三通 20 下方接口通过气管 I 26 将压缩空气引入脉冲控制器 25，压缩空气进一步通过气管 II 27 进入精密微量润滑泵 18 下方设置的润滑泵进气接口 II 33，这一路压缩空气用于精密微量润滑泵 18 吸入绝缘油杯 13 中的微量润滑液，可称为吸液气路，因此可以通过脉冲控制器 25 控制出气频率，进而控制精密微量润滑泵 18 吸入润滑液的频率。绝缘三通 20 左侧接口通过气管 III 28 与精密微量润滑泵 18 下方设置的润滑泵进气接口 I 32 相连接，这一路压缩空气用于输送雾化微量润滑液，可称为雾化气路。精密微量润滑泵 18 上设置有气流量调节旋钮 19 和液流量调节旋钮 29，气流量调节旋钮 19 用于调节雾化气路压缩空气的流量，液流量调节旋钮 29 用于调节精密微量润滑泵 18 每个脉冲内的吸液量。微量润滑液输送管 7 穿过箱体下方设置的微量润滑液输送管出孔 34 与精密微量润滑泵 18 上设置的气液出口接头 30 相连接，用于雾化空气和微量润滑液的输出。

如图 13 所示，微量润滑液输送管 7 具体由绝缘龙蛇管 37，绝缘油管 38，气体输送腔 39，疏水疏油碳纳米涂层 40，液体输送腔 41 几部分组成。

微量润滑液输送管 7 最外侧为绝缘龙蛇管 37，内部设置有绝缘油管 38，绝缘龙蛇管 37 与绝缘油管 38 之间形成气体输送腔 39，用于雾化空气输送。绝缘油管 38 内部涂覆有疏水疏油碳纳米涂层 40，同时在内部形成液体输送腔。绝缘龙蛇管 37 的一端与气液出口接头 30 相连接相连，另一端与静电喷嘴相连，进而使雾化空气通过精密微量润滑泵 18 进入静电喷嘴。绝缘油管 38 一端穿过气液出口接头 30 与精密微量润滑泵 18 内部设置的微量润滑液出口相连，另一端与静电喷嘴相连，进而使微量润滑液通过精密微量润滑泵 18 进入静电喷嘴，可见本实施例中雾化空气与微量润滑液采用同轴的形式供应至喷嘴。

如图 14 所示，可调高压直流电源由交流电源单元、直流稳压单元 V1、直流稳压单元 V2、自激振荡电路、功率放大电路、高频脉冲升压器、倍压整流电路和恒流自动控制电路组成。

本实施例的高压直流电源能产生较高的静电高压，而供电电流微小，安全性能较高。本实施例所采用的箱体、绝缘龙蛇管、绝缘油管、绝缘固定螺栓，绝缘垫圈，绝缘连接螺栓，微量泵固定板，绝缘油杯接头，绝缘油杯均为绝缘材料制成，有效避免了系统漏电。

如图 15 (a) 和图 15 (b) 所示，工件加电装置 58 由绝缘壳体 59，压铁 60，永磁铁 61，

开口销插槽 62, 接线环 63, 压紧弹簧 64 构成。

绝缘壳体 59 内设置有永磁铁 61, 压铁 60 设置在绝缘壳体 59 中心, 压铁 60 下部穿过绝缘壳体 59。压铁 60 尾部设置有开口销插槽 62 和接线环 63, 压铁 60 与绝缘壳体 59 之间设置有压紧弹簧 64。将工件加电装置 58 靠近工件非加工表面时, 永磁铁 61 会与工件 3 产生吸引力压缩压紧弹簧 64, 同时压紧弹簧 64 提供反作用力, 保证压铁 60 与工件 3 紧密相连。在压铁 60 上开有开口销插槽 62, 其作用是插入开口销, 以保证工件加电装置 58 未与工件 3 吸附时, 压铁 60 和压紧弹簧 64 不会从绝缘壳体 59 中脱落。接线环 63 通过直流高压电线 8 与可调高压直流电源 9 正极接线柱相连接。

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统的具体工作过程如下:

将绝缘板材 2 铺放在磨床部分工作台 1 上, 将工件 3 放置在绝缘板材 2 上, 打开工作台磁力开关加紧工件。将静电喷嘴按照上述连接方式将上喷嘴体 42, 下喷嘴体 43, 绝缘密封圈 44, 喷嘴芯 45, 环状止逆圈 46 连接。打开绝缘油杯 13 上方油杯盖 35 向绝缘油杯 13 注入润滑液 (通常为纯植物基油与纳米粒子混合而成的纳米流体)。将微量润滑液输送管 7 两端分别与静电喷嘴和微量润滑装置相连接, 所述与静电喷嘴相连接一端的绝缘龙蛇管 37 与微量润滑液输送管接口 47 相连接, 绝缘油管 38 从多片 V_2O_5 纳米纤维片材 56 中心穿过进入到气液混合室 50 内。所述与微量润滑装置相连接一端的绝缘龙蛇管 37 与精密微量润滑泵 18 上设置的气液出口接头 30 相连接, 绝缘油管 38 一端穿过气液出口接头 30 与精密微量润滑泵 18 内部设置的微量润滑液出口相连。绝缘油管 38 可将微量润滑泵中的润滑液通过液体输送腔 41 输送至气液混合室 50 内。绝缘龙蛇管 37 可将雾化用压缩空气通过气体输送腔 39 输送至喷嘴体内。将一条直流高压电线 8 的一端穿过高压电线接出通孔 54 与高压电线接口 53 相连接, 另一端与可调高压直流电源 9 负极接线柱相连。微量润滑液输送管 7 和这条直流高压电线 8 利用磁力吸盘 6 固定在砂轮罩 5 上防止窜动。再取一条直流高压电线 8 将其一端与接线环 63 相连, 另一端与可调高压直流电源 9 正极接线柱相连。将工件加电装置 58 吸附在工件 3 的非加工表面, 从而使静电喷嘴和工件 3 之间形成电场, 为微量润滑油雾可控输运提供条件。方案所述箱体 11、绝缘龙蛇管 37、绝缘油管 38、绝缘固定螺栓 14, 绝缘垫圈 15, 绝缘连接螺栓 16, 微量泵固定板 17, 绝缘油杯接头 12, 绝缘油杯 13 均采用绝缘材料制成, 有效避免了系统漏电。

将外界气源与气源接头 23 上为微量润滑装置提供压缩空气, 打开过滤调压阀 22 调节至所需压强。压缩空气经过滤调压阀 22 和双向接头 24 进入电磁阀 21, 电磁阀 21 可以控制压缩空气的通断。压缩空气通过电磁阀 21 出口进入绝缘三通 20, 绝缘三通 20 将压缩空气分为两路, 其中一路通过气管 I 26 进入脉冲控制器 25, 通过脉冲控制器 25 可以控制出气频率。压缩空气经脉冲控制器 25 调节频率后通过气管 II 27 进入精密微量润滑泵 18 下方设置的润滑泵进气接口 II 33, 这一路压缩空气用于精密微量润滑泵 18 吸入绝缘油杯 13 中的微量润滑液, 可称为吸液气路。通过脉冲控制器 25 控制进入精密微量润滑泵 18 中压缩空气的频率, 进而控制精密微量润滑泵 18 吸入润滑液的频率, 微量润滑液吸入精密微量润滑泵 18 后可通过液流量调节旋钮 29 调节润滑液每次脉冲的排出量, 微量润滑液排出后经由液体输送腔 41 输送至气液混合室 50 内。另一路压缩空气通过气管 III 28 与精密微量润滑泵 18 下方设置的润滑泵进气接口 I 32 相连接, 这一路压缩空气可通过流量调节旋钮 19 调节输出气量, 调节后的压缩空气经由气体输送腔 39 输送至喷嘴体内用于输送雾化微量润滑液。绝缘油管 38 内侧涂覆有疏水疏油碳纳米涂层 40, 由于在纳米尺寸低凹的表面可使吸附的气体分子稳定存在, 所以在宏观表面上相当于有一层稳定的气体薄膜, 使油和水均无法与材料表面直接接触, 从而使材料表面呈现超常的双疏 (疏油疏水) 特性, 因此可以有效的避免油管堵塞的问题。

微量润滑液通过液体输送腔 41 进入到气液混合室 50 内, 压缩空气通过气体输送腔 39 进入到储气室 48 内, 进一步通过旋向气孔 49 进入到气液混合室 50 内。由于旋向气孔 49 是沿气液混合室 50 外壁阵列排布, 入口轴线与气液混合室 50 内腔壁面相切, 压缩空气流经旋向

气孔 49 以切向速度 v 进入到气液混合室 50。压缩空气同时通过多个旋向气孔 49 进入到气液混合室 50 内，其速度方向与轴向中心不相交，因此进入的气流对轴向中心存在一个动量矩，促使气流在气液混合室 50 绕轴向中心旋转，同时向喷嘴出口方向推进，从而带动纳米流体旋转形成涡流。该涡流的形成使微量润滑液与压缩空气得到充分的混合，同时也导致了乱流的形成。微量润滑液与压缩空气充分混合后经由加速室 51 和喷嘴出口 52 两部分，这一过程中混合流得到加速和铺展，润滑液在喷嘴内和出口处通常拉扯成液膜或液线，最终在气动力和静电力等外力的做用下最终破碎成液滴。在传统静电喷嘴中乱流的形成不利于微量润滑液的均匀铺展，润滑液和压缩空气在旋向气流的混合做用下变得极为不稳定，速度分布不均匀紊动强度较大，经加速室 51 加速后这种显现变得尤为明显，最终导致喷嘴喷出的液滴尺寸分布也很不均匀，由于形成的液线波动较大也不利于形成液滴后的可控输运。为了解决这一问题，本方案在加速室内表面设置一系列微凸体 57，其形状与分布如上所述，制成一类一种包含微织构的荷电喷嘴。

可以通过 Yong's 方程和 Wenzel 模型，分析微织构荷电喷嘴的有益效果。液体在固体表面上的接触角由固、气、液界面间表面张力相互平衡所决定的，最终的平衡状态使得体系总能量趋于最小，因此液体在固体表面上一般处于稳态或亚稳态。通常液滴在光滑平坦固体表面上的接触角可以用 Yong's 方程表示：

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (1)$$

即：

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lv}} \quad (2)$$

其中 γ_{sv} 、 γ_{sl} 、 γ_{lv} 分别为固—气、固—液、气—液界面的表面张力； θ 为平衡接触角，也可称为本征接触角。

Wenzel 模型中认为将一液滴置于一个粗糙表面上的真实接触角很难测定，实验所测定的只是其表观接触角，可用 θ_r 表示。若固体表面上的液体能够填满粗糙固体表面上的凹坑，则称为湿接触。此时在恒温恒压条件下，由于界面的变化引起体系自由能的变化可表示如下：

$$d_E = r(\gamma_{sv} - \gamma_{sl})dx + \gamma_{lv}dx \cos \theta_r \quad (3)$$

其中， d_E 为接触线有一无限小量 dx 移动时所需要的总能量，在平衡态时 $d_E=0$ ，进而可以得到表观接触角和本征接触角之间的关系如下：

$$\cos \theta_r = r(\gamma_{sv} - \gamma_{sl}) / \gamma_{lv} \quad (4)$$

其中 r 为粗糙度因子，指实际的固—液界面接触面积与表观接触面积之比 ($r \geq 1$)。将公式 (2) 和公式 (4) 进行对比可得：

$$\cos \theta_r = r \cos \theta \quad (5)$$

Wenzel 模型表明，粗糙表面的存在使得实际上固液的接触面积要大于表观接触面积，于是在几何上增强了疏液性或亲液性。当 $\theta < 90^\circ$ 时， θ_r 随着表面粗糙度的增加而降低，表面变得更亲液。当 $\theta > 90^\circ$ 时， θ_r 随着表面粗糙度的增加而变大，表面变得更疏液。本方案所采用的喷嘴芯 45 为金属导电材质通常为紫铜或不锈钢，这些材料表面为亲油类表面即当 $\theta < 90^\circ$ 。传统喷嘴内表面较为光滑 r 值较小，本方案在加速室 51 内侧表面设置一系列微凸体 57，这无疑会大大增加 r 值使 r 远大于 1，即大大增加了加速室 51 内表面的亲油性能。方案所用六棱柱微凸体均匀分布在单位面积为 L^2 的表面上，六棱柱微凸体边长为 c ，高为 h ，分布个数 n

可根据 η 和加速室内表面实际面积确定, 此时单位面积上的粗糙度因子 r 可计算如下:

$$r = \frac{L^2 + n \cdot 6ch}{L^2} \quad (6)$$

根据公式 (6) 可以看出通过设置微凸体的个数 n , 边长 c 和高度 h 可实现粗糙度因子 r 的主动设计。

加速室 51 内表面的亲油性能可有效的吸附从混合室 50 内流出的微量润滑液, 提高了微量润滑液的运动阻力, 并在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜, 大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度, 进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀, 其运动路径也更加可控。加速室 51 内侧表面设置的一系列微凸体 57 也极大的增加了喷嘴芯 45 与微量润滑液的接触面积, 由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间, 因此具有更为理想的荷电性能。

打开可调高压直流电源 9 开关为喷嘴芯 45 供电, 喷嘴芯 45 通过与微量润滑液接触对其荷电, 微量润滑液在静电力气动力的作用下雾化为均匀小液滴, 进而可控输送至切削区实现冷区润滑功能。微量润滑液的具体雾化机理可表述如下:

静电雾化是静电力克服液体表面张力, 从而导致液体破碎为微小雾滴的现象。喷嘴芯 45 与微量润滑液接触使液体表面带有大量的同性电荷, 增加了液体表面活性, 使表层分子产生显著的定向排列, 降低了表面张力。在液体体积不变的情况下, 随着电荷电量增加, 表面张力会逐渐减小。当表面张力的大小不足以束缚液体时, 液体便会在表面同性电荷之间的相互排斥作用以及外力引起的液体表面扰动下破碎为细小雾滴。

当液滴与周围的气体之间有一定的相对速度, 则液滴的分裂是由气动压力、表面张力和粘性力控制的。对于粘度较低的液体, 液滴的破碎主要由气动压力和表面张力决定。液膜、液线及大液滴所受的气动压力为 $0.5\rho_g\Delta V^2$, 其中 ρ_g 是气体密度, ΔV 是气液相对速度。然而, 表面张力产生的内聚力将阻碍液体发生变形破碎, 内聚力可以表示为 $4\sigma/D$, σ 是液体固有的表面张力, D 为初始液滴直径。

液滴直径减小时, 内聚力加大, 当内聚力和气动压力造成的拉应力两者平衡时, 液滴保持稳定, 若两者不能互相抵消, 液滴就会变形甚至破碎。根据作用在液滴上的气动力产生的拉应力和表面张力产生的内聚力两者平衡这个原则, 可以得出一个无量纲数:

$$We = \frac{\rho_g \Delta V^2 D}{\sigma} = 8 \quad (7)$$

从而可知当韦伯数大于 8 时, 液滴受力不平衡, 发生变形。另外根据 (7) 可以求出与 ΔV 相对应的最大稳态液滴直径:

$$D_{\max} = \frac{8\sigma}{\Delta V^2 \rho_g} \quad (8)$$

荷电液滴在库仑斥力的作用下, 表面张力变弱, 变弱后的表面张力值为:

$$\sigma' = \sigma - \frac{q^2}{64\pi^2 \epsilon r^3} \quad (9)$$

其中 r 为液滴半径, q 为液滴的荷电量, ϵ 为周围空气介电常数。从式中显然可以看出当带电量 q 增加时, 表面张力就下降, 由此可知液滴表面荷电有助于雾化。

此时荷电液滴的 We 可以表示为:

$$We = \frac{\rho_g \Delta V^2 D}{\sigma - \frac{q^2}{64\pi^2 \epsilon r^3}} = \frac{128\pi^2 \epsilon R^4 \rho_g \Delta V^2}{64\pi^2 \epsilon R^3 \sigma - q^2} \quad (10)$$

由(10)可见, 高速气流中荷电液滴的破碎与气液相对速度、气液物性参数以及充电场有密切的关系。此外, 若液滴在气流中达到稳定状态, 荷上静电以后, We 数增大, 液体表面张力减小, 不足以抵抗气动压力, 液滴将进一步发生变形、破碎, 所以在气液参数相同的情况下, 荷上静电后雾滴粒径更小。这就达到了细化雾滴颗粒的目的, 同时液滴表面相同的电荷, 可以保证液滴的分布更加均匀。

接触式荷电的荷电量计算公式如下:

$$q_t = \frac{12\pi\epsilon_0\epsilon_1^2 E_0}{\epsilon_0 + 2\epsilon} \times \frac{t}{t + \tau} - \frac{q_{\max} t}{t + \tau} \quad (11)$$

其中, q_t 为分裂前大液滴荷电量, ϵ_0 、 ϵ 分别为空气和微量润滑油的介电常数, r_1^2 为分裂前大液滴半径, E_0 为空间电场强度, $q_{\max}$ 为液滴饱和荷电量, τ 为带电时间常数, t 为荷电时间。根据公式 11 可见提高荷电量的有效方法是提高电场强度或增加荷电时间, 微凸体 57 的设置可有效增加荷电时间 t 。微量润滑油经荷电雾化后的索泰尔平均直径 d_{32} 可通过下式计算:

$$d_{32} = \frac{k_1}{|u_i - u_g|} \left(\frac{\sigma}{\rho_l} \right)^{0.5} + \frac{k_2}{\rho_l^{1.12}} \left(\frac{\mu_l}{\sigma^{0.3}} \right)^{0.45} \left(\frac{Q_g}{Q_l} \right)^{1.5} |u_i - u_g| \quad (12)$$

其中, k_1 为与喷嘴结构相关的系数, k_2 为与荷电量 q_t 相关的系数, $|u_i - u_g|$ 为液体与气体的相对速度绝对值, μ_l 为液体的动力粘性系数, σ 为液体表面张力, ρ_l 为液体密度, Q_l 为液体流量, Q_g 为气体流量。从公式 (12) 可见荷电雾化形成的液滴粒径与喷嘴结构, 液体参数, 气体参数直接相关。

从喷嘴喷出的雾滴, 在气动力和电场力的作用下向工件加速运动, 在电场力的作用下定向移动, 使其最大量的覆盖于工件表面。在静电场中存在“静电环抱”效应, 因此当雾滴和纳米粒子向工件运动是更易进入到工件具有一定粗糙度表面的凹陷处, 从而扩大了相对覆盖面积, 能够起到更好的润滑和换热作用。

根据图 14 可以看出, 可调高压直流电源 37 由自激振荡电路、功率放大电路、高频脉冲升压器、倍压整流电路、直流稳压单元 V1 和直流稳压单元 V2 和恒流自动控制电路组成。其工作原理为输入端接交流电源, 直流稳压单元 V1 和直流稳压单元 V2 提供直流电压。直流稳压单元 V1 作为自激振荡电路的工作电压。直流稳压单元 V2 是功率转换的主要能源, 高频脉冲升压器经倍压整流电路整流获得高压静电, 基脉冲信号由自激振荡电路获得, 经功率放大电路放大后, 在高频脉冲升压器的升压下, 最终输出高压信号, 经倍压整流电路从而输出直流高压。

该电源的特点是能产生较高的静电高压, 而供电电流微小, 一般不超过 $500 \mu A$ 。恒流自动控制电路自动对倍压整流电路的静电工作电流取样, 在恒流时, 当工作负载正常加大时, 不会引起工作电流的上升。当外负载超过允许电流时, 自激振荡电路停震, 高压被截止, 这种特性对操作人员的安全是可靠的, 一旦接近或触及高压端, 引起的触电流很微弱, 同时截断高压输出, 所以不会有生命危险。

实施例 6

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统，与实施例 5 中的可控射流微量润滑磨削系统结构不同点在于：静电喷嘴结构不同。

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统包括如图 2、图 3、图 4 以及图 7 (a) 和图 7 (b) 所示的二级复合微织构静电喷嘴。

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统的具体工作过程与实施例 5 的具体工作过程一致，不同点在于：

传统喷嘴内表面较为光滑 r 值较小，本方案在加速室 51 内侧表面设置一系列微凸体 57，微凸体 57 为二级复合结构由一级微凸体 65 和二级微凸体 66 构成，相比于单独的微凸体结构复合微凸体无疑会更大增加 r 值使 r 远大于 1，从而大大增加了加速室 51 内表面的亲油性能。方案所用一级微凸体 65 和二级微凸体 66 构成的直径分别为 d_1 和 d_2 ，高分别为 h 和 h' ，一级微凸体 65 数量 n_1 和二级微凸体 66 数量 n_2 ，若加速室 51 内表面总面积为 S ，则粗糙度因子 r 可计算如下：

$$r = \frac{S + n_1 \pi d_1 h + n_2 \pi d_2 h'}{S} \quad (13)$$

根据公式 (13) 可以看出通过设置一级微凸体 65 个数 n_1 直径 d_1 高度 h ，二级微凸体 66 个数 n_2 直径 d_2 高度 h' ，可实现粗糙度因子 r 的主动设计。

实施例 7

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统，与实施例 5 中的可控射流微量润滑磨削系统结构不同点在于：静电喷嘴结构不同。

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统包括如图 2、图 3、图 4 以及图 8 (a) 和图 8 (b) 所示的降噪增阻静电喷嘴。

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统的具体工作过程与实施例 5 的具体工作过程一致，不同点在于：

Wenzel 模型表明，粗糙表面的存在使得实际上固液的接触面积要大于表观接触面积，于是在几何上增强了疏液性或亲液性。当 $\theta < 90^\circ$ 时， θ_r 随着表面粗糙度的增加而降低，表面变得更亲液。当 $\theta > 90^\circ$ 时， θ_r 随着表面粗糙度的增加而变大，表面变得更疏液。本方案所采用的喷嘴芯 45 为金属导电材质通常为紫铜或不锈钢，这些材料表面为亲油类表面即当 $\theta < 90^\circ$ 。传统喷嘴内表面较为光滑 r 值较小，本方案在加速室 51 内侧表面设置一系列微凸体 57，这无疑会大大增加 r 值使 r 远大于 1，即大大增加了加速室 51 内表面的亲油性能。本实施例所用锥条状微凸体 57 均匀分布在加速室内表面上，上边长为 a ，下边长为 b ，高为 h ，可根据 η 和加速室内表面面积确定，此时单位面积上的粗糙度因子 r 可计算如下：

$$r = \frac{\frac{L}{a} \left(\frac{L-L'}{2 \cos \beta} + H \right) \cdot h + (L+L') \cdot H}{(L+L') \cdot H} \quad (14)$$

根据公式 (14) 可以看出通过设置微凸体 57 的个数 n ，上边长 a 和高度 h 可实现粗糙度因子 r 的主动设计。

加速室 51 内表面的亲油性能可有效的吸附从混合室 50 内流出的微量润滑液，提高了微量润滑液的运动阻力，并在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜，大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度，进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀，其运动路径也更加可控。加速室 51 内侧表面设置的一系列微凸体 57 也极大的增加了喷嘴芯 45 与微量润滑液的接触面积，由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间，因此具有更为理想的荷电性能。同时，锥条状微凸体之间形成的锥条凹槽能够有效的降低噪音，降低了对操作人员听觉健康的危害。

实施例 8

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统，与实施例 5 中的可控射流微量润滑磨削系统结构不同点在于：静电喷嘴结构不同。

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统包括如图 2、图 3、图 4、图 9 (a)、图 9 (b) 和图 10 所示的渐变微凸体接触式静电喷嘴。

本实施例的可控射流微量润滑磨削系统的具体工作过程与实施例 5 的具体工作过程一致，不同点在于：

Wenzel 模型表明，粗糙表面的存在使得实际上固液的接触面积要大于表观接触面积，于是在几何上增强了疏液性或亲液性。当 $\theta < 90^\circ$ 时， θ_r 随着表面粗糙度的增加而降低，表面变得更亲液。当 $\theta > 90^\circ$ 时， θ_r 随着表面粗糙度的增加而变大，表面变得更疏液。本方案所采用的喷嘴芯 45 为金属导电材质通常为紫铜或不锈钢，这些材料表面为亲油类表面即当 $\theta < 90^\circ$ 。传统喷嘴内表面较为光滑 r 值较小，本方案在加速室 51 内侧表面设置一系列过渡式微凸体 57，这无疑会大大增加 r 值使 r 远大于 1，即大大增加了加速室 51 内表面的亲油性能。方案所用六棱柱微凸体均匀分布在单位面积为 L^2 的表面上，六棱柱微凸体边长为 c ，最小高为 h ，高度差为 Δh ，面积占有率为 η ，竖直中心距为 b ，微凸体 57 上表面与加速室 51 内表面夹角为 β ，此时单位面积上的粗糙度因子 r 可计算如下：

$$r = \frac{\frac{2L^2\eta}{3\sqrt{3}c^2} \left[6c \left(2h + \frac{\Delta h L}{b} \right) + \frac{3\sqrt{3}c^2}{2} \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right) \right]}{L^2} \quad (15)$$

根据公式 (15) 可以看出通过设置微凸体的面积占有率 η ，边长 c ，高度 h ，高度差 Δh ，竖直中心距 b ，可实现粗糙度因子 r 的主动设计。

加速室 51 内表面的亲油性能可有效的吸附从混合室 50 内流出的微量润滑液，提高了微量润滑液的运动阻力。采用过渡式微凸体结构能够使微量润滑液在加速室 51 内的运动阻力从大至小分布，有助于在压缩空气的拉扯作用下形成均匀油膜，同时大大降低了射流的扰动提高了液膜液线的均匀度，进而使得最终形成的液滴分布也更为均匀，其运动路径也更加可控。加速室 51 内侧表面设置的一系列过渡式微凸体 57 也极大的增加了喷嘴芯 45 与微量润滑液的接触面积，由于其更好的亲油性也大大增加了微量润滑液与其接触的时间，因此具有更为理想的荷电性能。

上述虽然结合附图对本公开的具体实施方式进行了描述，但并非对本公开保护范围的限制，所属领域技术人员应该明白，在本公开的技术方案的基础上，本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本公开的保护范围以内。

权 利 要 求 书

1、一种微织构静电喷嘴，其特征在于，包括：喷嘴芯，所述喷嘴芯的上方连接有上喷嘴体；所述上喷嘴体与喷嘴芯之间形成空闲空间，用来储存压缩空气和减压；所述喷嘴芯的下方连接在下喷嘴体；喷嘴芯内部从上至下依次设置有气液混合室、加速室和喷嘴出口；所述加速室内壁上均匀排布有微凸体。

2、一种二级复合微织构静电喷嘴，其特征在于，包括：喷嘴芯，所述喷嘴芯的上方连接有上喷嘴体；所述上喷嘴体与喷嘴芯之间形成空闲空间，用来储存压缩空气和减压；所述喷嘴芯的下方连接在下喷嘴体；喷嘴芯内部从上至下依次设置有气液混合室、加速室和喷嘴出口；所述加速室内壁上均匀排布有微凸体，所述微凸体由一级微凸体和二级微凸体组成，二级微凸体设置在一级微凸体上。

3、一种降噪增阻静电喷嘴，其特征在于，包括：喷嘴芯，所述喷嘴芯的上方连接有上喷嘴体；所述上喷嘴体与喷嘴芯之间形成空闲空间，用来储存压缩空气和减压；所述喷嘴芯的下方连接在下喷嘴体；喷嘴芯内部从上至下依次设置有气液混合室、加速室和喷嘴出口；所述加速室内壁上均匀排布有微凸体，所述微凸体为锥条状，任意两个锥条状微凸体之间形成锥条凹槽。

4、一种渐变微凸体接触式静电喷嘴，其特征在于，包括：喷嘴芯，所述喷嘴芯的上方连接有上喷嘴体；所述上喷嘴体与喷嘴芯之间形成空闲空间，用来储存压缩空气和减压；所述喷嘴芯的下方连接在下喷嘴体；喷嘴芯内部从上至下依次设置有气液混合室、加速室和喷嘴出口；所述加速室内壁上均匀排布有微凸体，所述微凸体采用过渡式非等高结构，即微凸体高度沿射流运动方向逐渐减小。

5、一种可控射流微量润滑磨削系统，其特征在于，包括：

如权利要求 1 所述的微织构静电喷嘴；

或

如权利要求 2 所述的二级复合微织构静电喷嘴；

或

如权利要求 3 所述的降噪增阻静电喷嘴；

或

如权利要求 4 所述的渐变微凸体接触式静电喷嘴。

6、如权利要求 5 所述的可控射流微量润滑磨削系统，其特征在于，还包括：

磨床部分工作台，所述磨床部分工作台上设置砂轮机，所述砂轮机外侧设置砂轮机罩；工件设置于所述磨床部分工作台与砂轮机之间；所述砂轮机罩上固定有微量润滑液输送管，所述

微量润滑液输送管的一端与静电喷嘴相连通，另一端与微量润滑装置相连通；

所述静电喷嘴还与可调高压直流电源电连接，所述可调高压直流电源还与工件加电装置电连接；所述工件加电装置吸附于工件的非加工表面，工件与可调高压直流电源的正极连接，从而使静电喷嘴为负极性，工件表面为正极性，静电喷嘴与工件之间形成电场，为微量润滑液滴的可控输运提供条件。

7、如权利要求5所述的可控射流微量润滑磨削系统，其特征在于，所述加速室收缩角 α 在 $5-20^\circ$ 之间；喷嘴出口的直径为B，喷嘴出口的长度为L，L/B取值在2-6之间；

或/和

喷嘴芯上方设置有止逆圈安置槽，环状止逆圈固定粘接在止逆圈安置槽内；

或/和

喷嘴芯上方设置有止逆圈安置槽，环状止逆圈固定粘接在止逆圈安置槽内，在环状止逆圈上阵列排布有若干 V_2O_5 纳米纤维片材，所述 V_2O_5 纳米纤维片材沿环状止逆圈粘贴一周将环形中心孔遮住；

或/和

喷嘴芯上设置有旋向气孔，旋向气孔是沿气液混合室外壁阵列排布，入口轴线与气液混合室内腔壁面相切，压缩空气流经旋向气孔以切向速度进入到气液混合室；

或/和

喷嘴芯上设置有高压电线接口，下喷嘴体上设置有高压电线接出通孔，直流高压电线可穿过高压电线接出通孔与高压电线接口相连接，从而为喷嘴芯供电；

或/和

微量润滑液输送管最外侧为绝缘龙蛇管，内部设置有绝缘油管，绝缘龙蛇管与绝缘油管之间形成气体输送腔，用于雾化空气输送；绝缘油管内部涂覆有疏水疏油碳纳米涂层，同时在内部形成液体输送腔；雾化空气与微量润滑液采用同轴的形式供应至静电喷嘴；

或/和

所述可调高压直流电源包括交流电源单元，所述交流电源单元与第一直流稳压单元和第二直流稳压单元分别相连，所述第一直流稳压单元依次与功率放大电路和高频脉冲升压器相连，所述高频脉冲升压器与倍压整流电路相连，所述倍压整流电路与恒流自动控制电路相连，所述恒流自动控制电路与第二直流稳压单元相连；

或/和

所述工件加电装置包括绝缘壳体，绝缘壳体内设置有永磁铁，压铁下部穿过绝缘壳体的

中心位置，压铁与绝缘壳体之间设置有压紧弹簧，当工件加电装置靠近工件非加工表面时，永磁铁会与工件产生吸引力压缩压紧弹簧，同时压紧弹簧提供反作用力，保证压铁与工件紧密相连；

或/和

所述工件加电装置包括绝缘壳体，绝缘壳体内设置有永磁铁，压铁下部穿过绝缘壳体的中心位置，压铁与绝缘壳体之间设置有压紧弹簧，当工件加电装置靠近工件非加工表面时，永磁铁会与工件产生吸引力压缩压紧弹簧，同时压紧弹簧提供反作用力，保证压铁与工件紧密相连；所述压铁尾部设置有开口销插槽，所述开口销插槽用于插入开口销，以保证工件加电装置未与工件吸附时，以防压铁和压紧弹簧从绝缘壳体中脱落；

或/和

所述工件加电装置包括绝缘壳体，绝缘壳体内设置有永磁铁，压铁下部穿过绝缘壳体的中心位置，压铁与绝缘壳体之间设置有压紧弹簧，当工件加电装置靠近工件非加工表面时，永磁铁会与工件产生吸引力压缩压紧弹簧，同时压紧弹簧提供反作用力，保证压铁与工件紧密相连；所述压铁尾部设置有开口销插槽，所述开口销插槽用于插入开口销，以保证工件加电装置未与工件吸附时，以防压铁和压紧弹簧从绝缘壳体中脱落；所述压铁尾部设置有接线环，所述接线环通过直流高压电线与可调高压直流电源正极接线柱相连接。

8、如权利要求 5 所述的可控射流微量润滑磨削系统，其特征在于，所述微量润滑装置，包括：

精密微量润滑泵，所述精密微量润滑泵上设置有精密微量润滑泵进液孔，所述精密微量润滑泵进液孔连通绝缘油杯，所述绝缘油杯用于为精密微量润滑泵供液；所述精密微量润滑泵上还连通有吸液气路和雾化气路，所述吸液气路和雾化气路均与压缩空气气源相连通；所述吸液气路用于控制精密微量润滑泵吸入绝缘油杯中的微量润滑液；所述雾化气路用于输送雾化微量润滑液。

9、如权利要求 8 所述的可控射流微量润滑磨削系统，其特征在于，所述雾化气路的一端与润滑泵第一进入接口相连，另一端与三通阀门的第一接口相连；所述吸液气路的一端与润滑泵第二进入接口相连，另一端与三通阀门的第二接口相连；三通阀门的第三接口通过管道与压缩空气气源相连；

或/和

所述雾化气路的一端与润滑泵第一进入接口相连，另一端与三通阀门的第一接口相连；所述吸液气路的一端与润滑泵第二进入接口相连，另一端与三通阀门的第二接口相连；三通

阀门的第三接口通过管道与压缩空气气源相连；所述三通阀门的第三接口与压缩空气气源之间的管道上还设置有过滤调压阀，所述过滤调压阀与电磁阀相连，电磁阀与脉冲控制器相连，脉冲控制器用于控制电磁阀的通断频率以控制压缩空气的出气频率，进而控制精密微量润滑泵吸入润滑液的频率；

或和

精密微量润滑泵上设置有气流量调节旋钮和液流量调节旋钮，气流量调节旋钮用于调节雾化气路压缩空气的流量，液流量调节旋钮用于调节精密微量润滑泵每个脉冲内的吸液量。

10、如权利要求 8 所述的可控射流微量润滑磨削系统，其特征在于，所述磨床部分工作台上覆设有绝缘板材；

或和

所述砂轮罩的侧面吸附有磁力吸盘，微量润滑液输送管固定在磁力吸盘上；

或和

精密微量润滑泵的数量为两组，两组精密微量润滑泵上下并列布置。

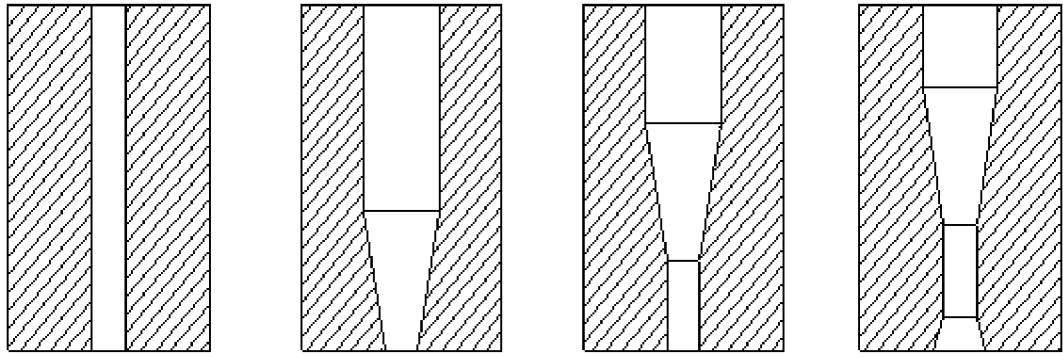


图 1 (a)

图 1 (b)

图 1 (c)

图 1 (d)

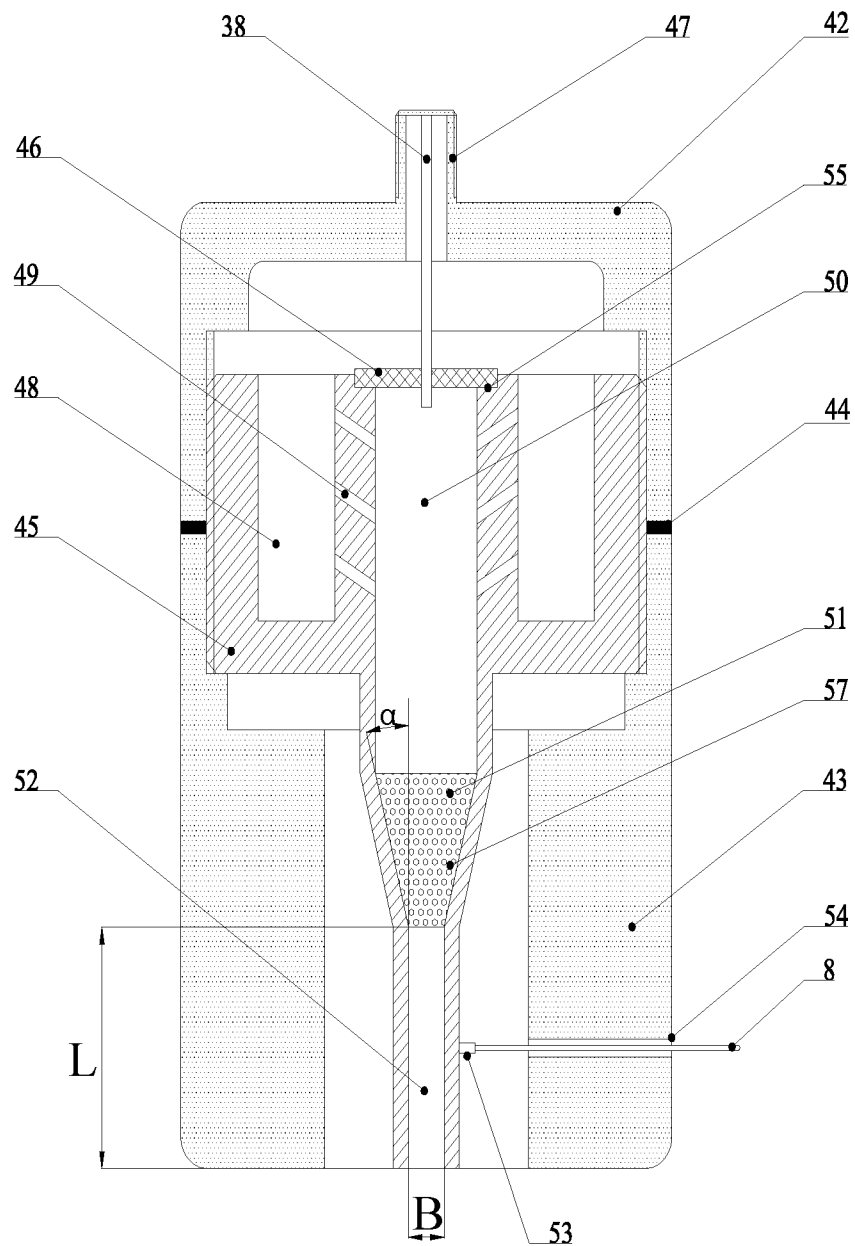


图 2

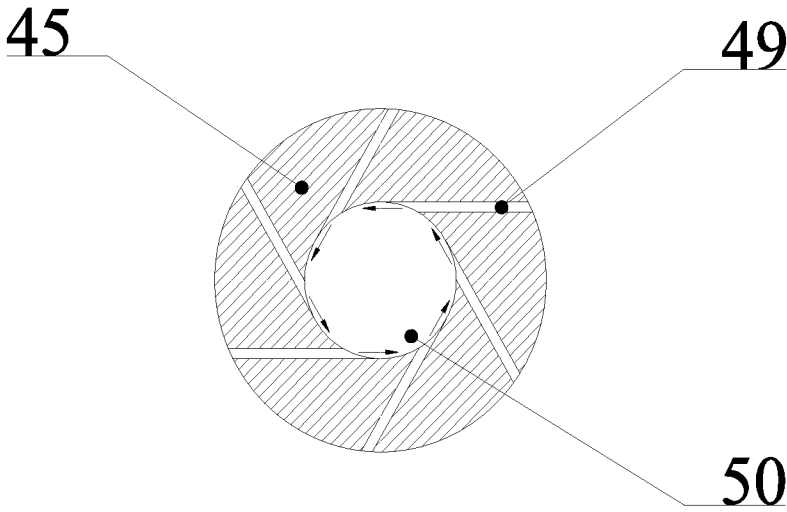


图 3

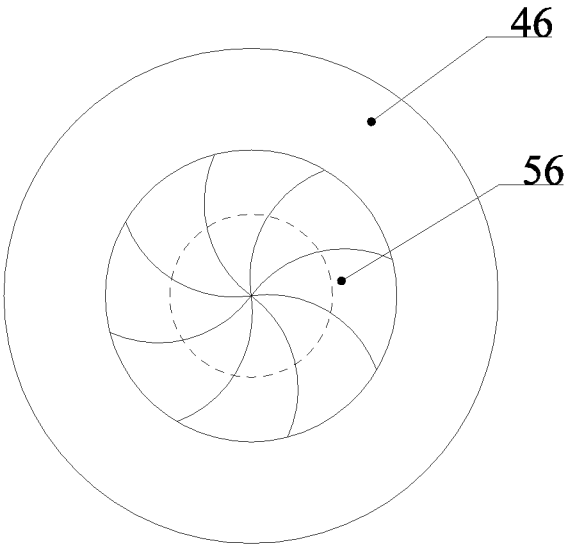


图 4

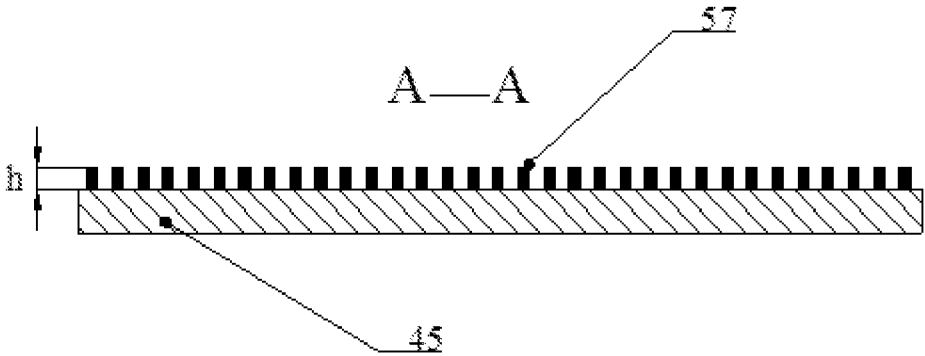


图 5 (a)

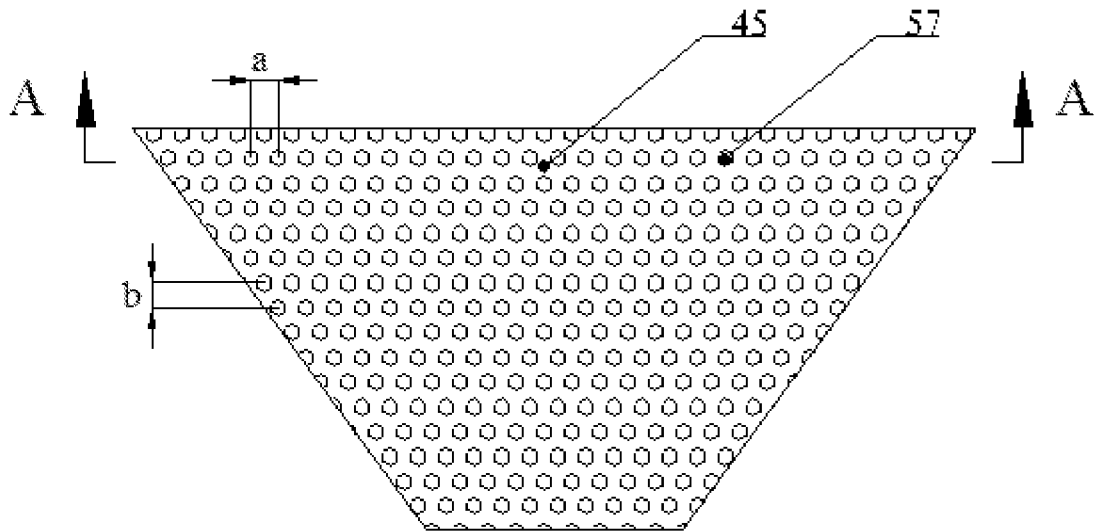


图 5 (b)

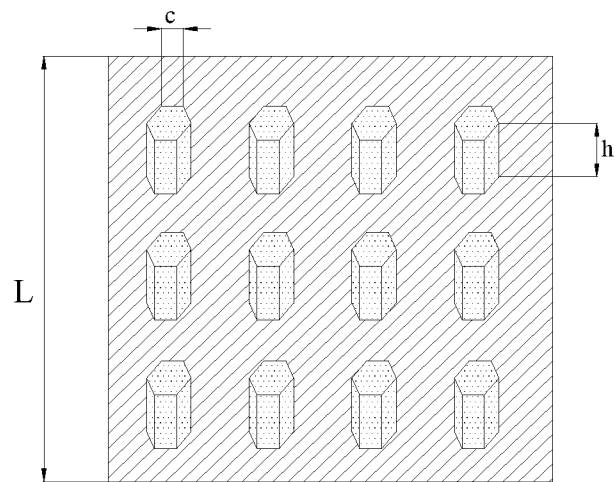


图 6

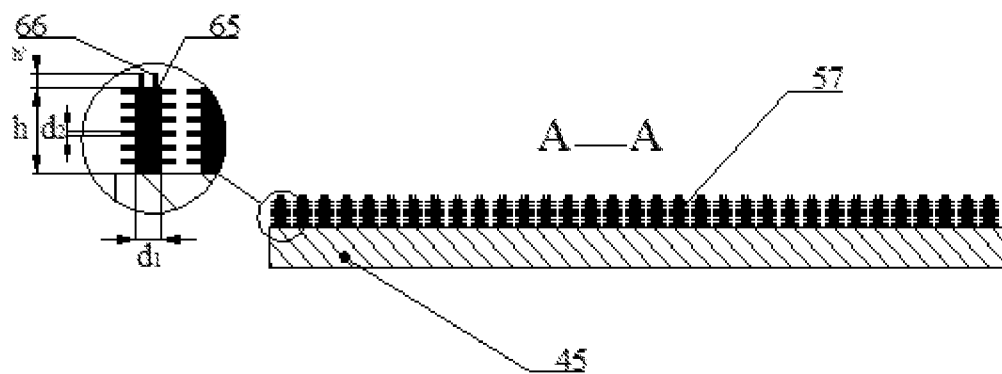


图 7 (a)

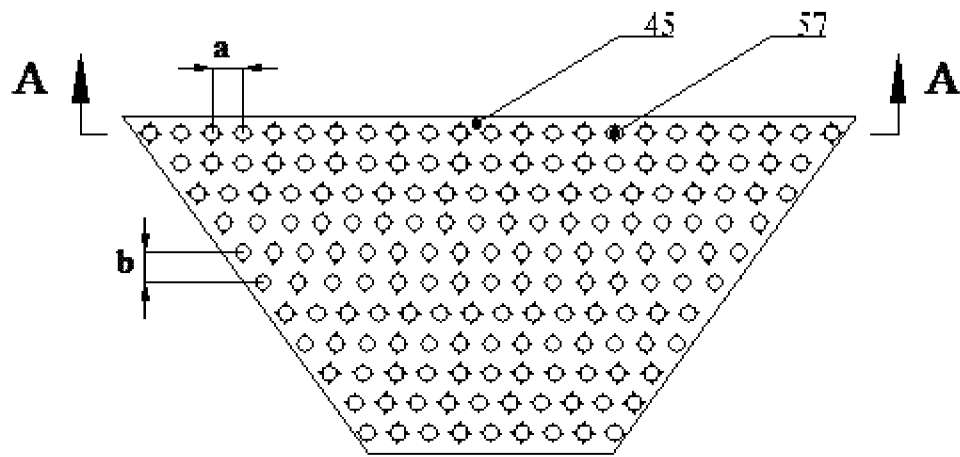


图 7 (b)

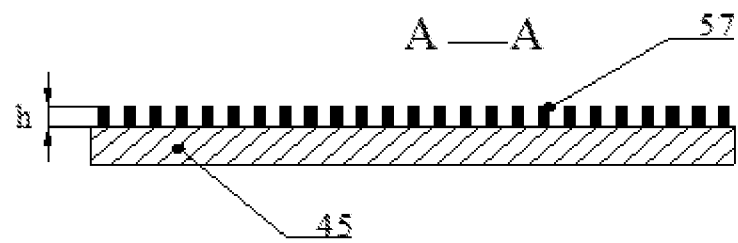


图 8 (a)

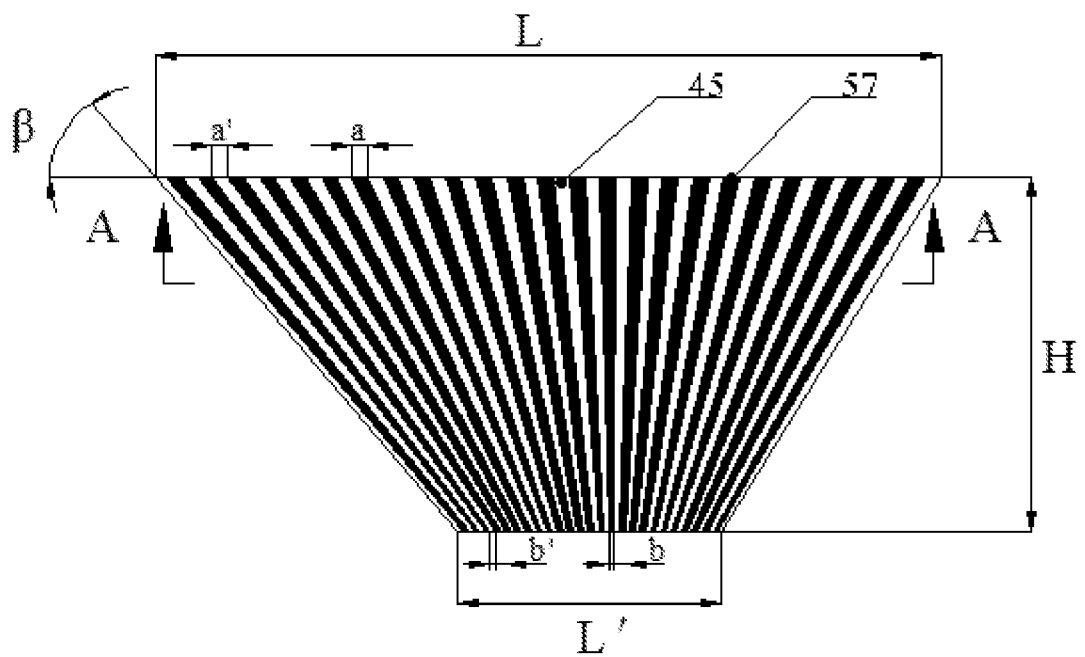


图 8 (b)

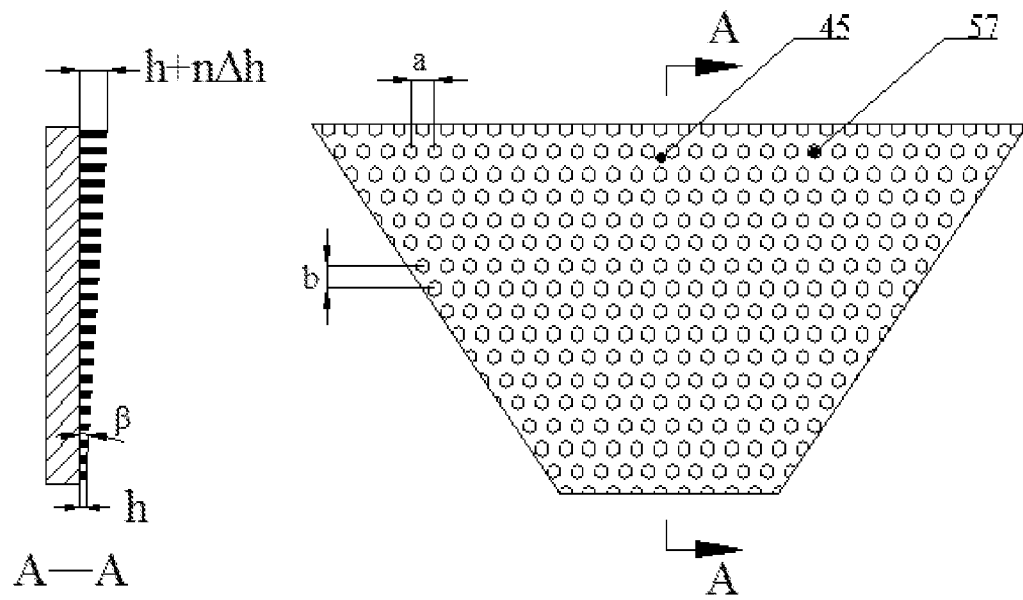


图 9 (a)

图 9 (b)

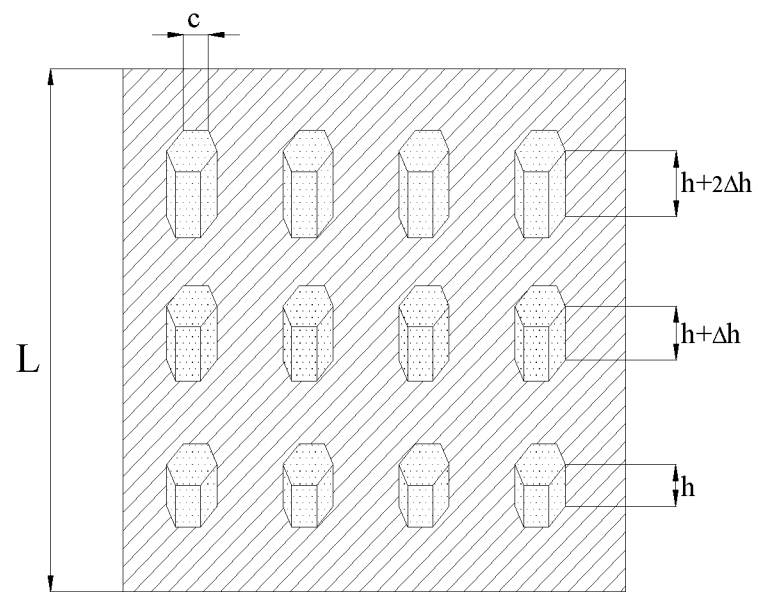


图 10

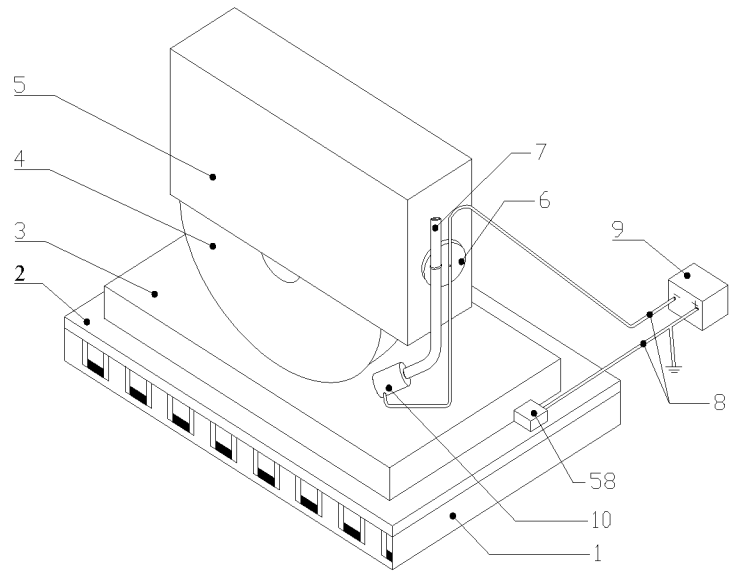


图 11

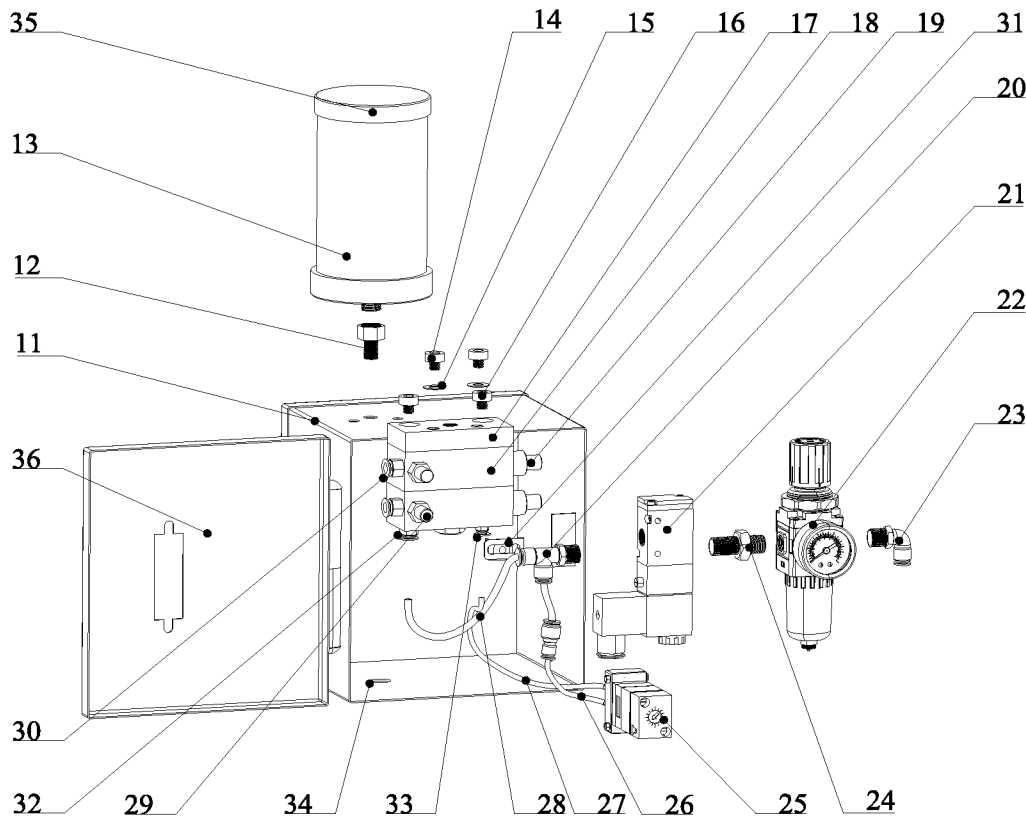


图 12

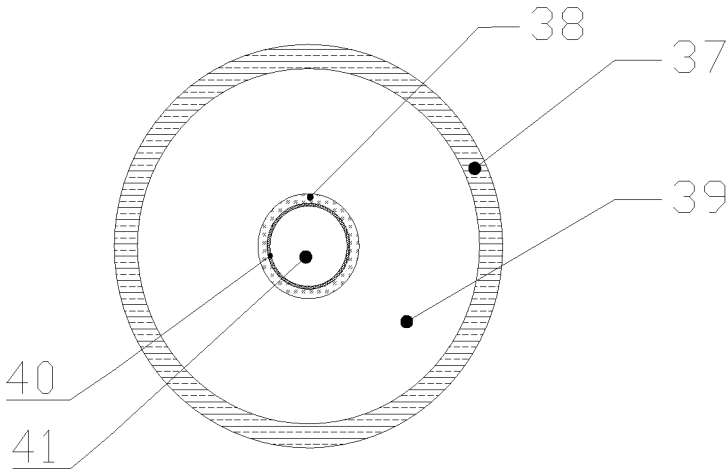


图 13

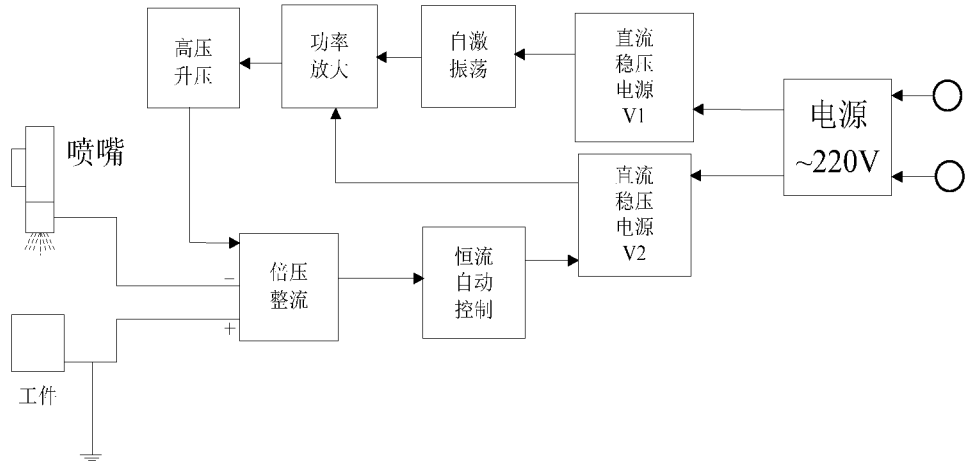


图 14

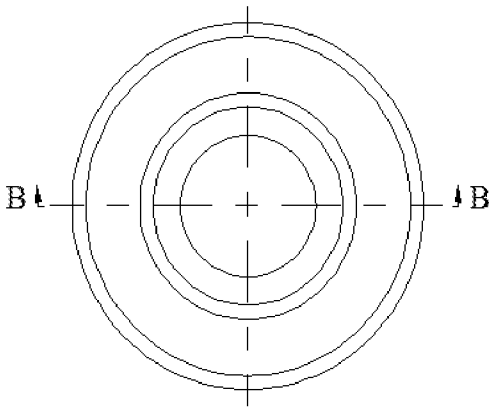


图 15 (a)

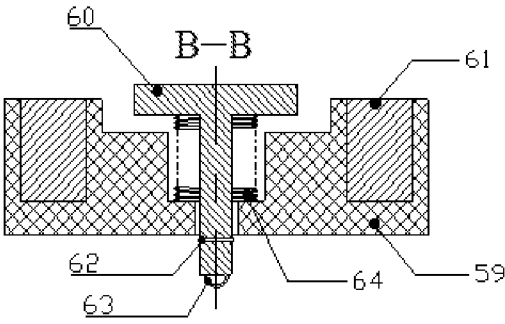


图 15 (b)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/074386

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23Q 11/10(2006.01)i; B24B 57/02(2006.01)i; B05B 5/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23Q; B24B; B05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN, CNABS, CNKI: 凸起, 静电, 喷嘴, 凸体, 李长河, 射流, 微量, 润滑, electrostatic, projection, nozzle, spayer

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109759958 A (QINGDAO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY et al.) 17 May 2019 (2019-05-17) claims 1-10, description, paragraphs 33-164, and figures 1(a)-15(b)	1-10
PX	CN 209615205 U (QINGDAO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY et al.) 12 November 2019 (2019-11-12) claims 1-10, description, paragraphs 58-164, and figures 1(a)-15(b)	1-10
A	CN 103072084 A (QINGDAO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 01 May 2013 (2013-05-01) description, paragraphs 43-105, and figures 1-10	1-10
A	CN 108214090 A (ZHEJIANG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 29 June 2018 (2018-06-29) see entire document	1-10
A	CN 108161750 A (QINGDAO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 15 June 2018 (2018-06-15) see entire document	1-10
A	CN 105479254 A (FANUC CORPORATION) 13 April 2016 (2016-04-13) see entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 April 2020

Date of mailing of the international search report

12 May 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/074386

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105451889 A (SAMES TECHNOLOGIES) 30 March 2016 (2016-03-30) see entire document	1-10
A	WO 2017179972 A1 (VAN LANGH HOLDING B.V.) 19 October 2017 (2017-10-19) see entire document	1-10
A	US 5176321 A (ILLINOIS TOOL WORKS INC.) 05 January 1993 (1993-01-05) see entire document	1-10
A	US 3556255 A (SPERRY RAND CORPORATION) 19 January 1971 (1971-01-19) see entire document	1-10
A	FR 2950545 B1 (CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE et al.) 30 November 2012 (2012-11-30) see entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/074386

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109759958	A	17 May 2019	None			
CN	209615205	U	12 November 2019	None			
CN	103072084	A	01 May 2013	CN	103072084	B	09 September 2015
CN	108214090	A	29 June 2018	None			
CN	108161750	A	15 June 2018	None			
CN	105479254	A	13 April 2016	CN	105479254	B	24 August 2018
				JP	2016074047	A	12 May 2016
				JP	6151674	B2	21 June 2017
				US	9770803	B2	26 September 2017
				US	2016096187	A1	07 April 2016
				DE	102015116205	B4	18 April 2019
				DE	102015116205	A1	07 April 2016
CN	105451889	A	30 March 2016	JP	2016532551	A	20 October 2016
				CN	105451889	B	19 March 2019
				EP	3033179	B1	11 April 2018
				FR	3009687	B1	12 May 2017
				US	2016184844	A1	30 June 2016
				KR	20160041926	A	18 April 2016
				WO	2015022330	A1	19 February 2015
				EP	3033179	A1	22 June 2016
				FR	3009687	A1	20 February 2015
				JP	6445009	B2	26 December 2018
WO	2017179972	A1	19 October 2017	EP	3442743	A1	20 February 2019
				JP	2019513571	A	30 May 2019
				US	2019126421	A1	02 May 2019
				NL	2016590	B1	01 November 2017
US	5176321	A	05 January 1993	None			
US	3556255	A	19 January 1971	None			
FR	2950545	B1	30 November 2012	US	9188332	B2	17 November 2015
				FR	2950545	A1	01 April 2011
				EP	2482990	A1	08 August 2012
				WO	2011039695	A1	07 April 2011
				JP	5800819	B2	28 October 2015
				US	2012228410	A1	13 September 2012
				EP	2482990	B1	29 August 2018
				JP	2013506114	A	21 February 2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/074386

A. 主题的分类 B23Q 11/10(2006.01)i; B24B 57/02(2006.01)i; B05B 5/00(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																													
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) B23Q; B24B; B05B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) VEN, CNABS, CNKI:凸起, 静电, 喷嘴, 凸体, 李长河, 射流, 微量, 润滑, electrostatic, projection, nozzle, spayer																													
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109759958 A (青岛理工大学等) 2019年 5月 17日 (2019 - 05 - 17) 权利要求1-10, 说明书第33-164段, 图1(a)-15(b)</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 209615205 U (青岛理工大学等) 2019年 11月 12日 (2019 - 11 - 12) 权利要求1-10, 说明书第58-164段, 图1(a)-15(b)</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103072084 A (青岛理工大学) 2013年 5月 1日 (2013 - 05 - 01) 说明书第43-105段, 图1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108214090 A (浙江工业大学) 2018年 6月 29日 (2018 - 06 - 29) 参见全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108161750 A (青岛理工大学) 2018年 6月 15日 (2018 - 06 - 15) 参见全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105479254 A (发那科株式会社) 2016年 4月 13日 (2016 - 04 - 13) 参见全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105451889 A (萨姆斯技术公司) 2016年 3月 30日 (2016 - 03 - 30) 参见全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2017179972 A1 (VAN LANGH HOLDING B V) 2017年 10月 19日 (2017 - 10 - 19) 参见全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 109759958 A (青岛理工大学等) 2019年 5月 17日 (2019 - 05 - 17) 权利要求1-10, 说明书第33-164段, 图1(a)-15(b)	1-10	PX	CN 209615205 U (青岛理工大学等) 2019年 11月 12日 (2019 - 11 - 12) 权利要求1-10, 说明书第58-164段, 图1(a)-15(b)	1-10	A	CN 103072084 A (青岛理工大学) 2013年 5月 1日 (2013 - 05 - 01) 说明书第43-105段, 图1-10	1-10	A	CN 108214090 A (浙江工业大学) 2018年 6月 29日 (2018 - 06 - 29) 参见全文	1-10	A	CN 108161750 A (青岛理工大学) 2018年 6月 15日 (2018 - 06 - 15) 参见全文	1-10	A	CN 105479254 A (发那科株式会社) 2016年 4月 13日 (2016 - 04 - 13) 参见全文	1-10	A	CN 105451889 A (萨姆斯技术公司) 2016年 3月 30日 (2016 - 03 - 30) 参见全文	1-10	A	WO 2017179972 A1 (VAN LANGH HOLDING B V) 2017年 10月 19日 (2017 - 10 - 19) 参见全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																											
PX	CN 109759958 A (青岛理工大学等) 2019年 5月 17日 (2019 - 05 - 17) 权利要求1-10, 说明书第33-164段, 图1(a)-15(b)	1-10																											
PX	CN 209615205 U (青岛理工大学等) 2019年 11月 12日 (2019 - 11 - 12) 权利要求1-10, 说明书第58-164段, 图1(a)-15(b)	1-10																											
A	CN 103072084 A (青岛理工大学) 2013年 5月 1日 (2013 - 05 - 01) 说明书第43-105段, 图1-10	1-10																											
A	CN 108214090 A (浙江工业大学) 2018年 6月 29日 (2018 - 06 - 29) 参见全文	1-10																											
A	CN 108161750 A (青岛理工大学) 2018年 6月 15日 (2018 - 06 - 15) 参见全文	1-10																											
A	CN 105479254 A (发那科株式会社) 2016年 4月 13日 (2016 - 04 - 13) 参见全文	1-10																											
A	CN 105451889 A (萨姆斯技术公司) 2016年 3月 30日 (2016 - 03 - 30) 参见全文	1-10																											
A	WO 2017179972 A1 (VAN LANGH HOLDING B V) 2017年 10月 19日 (2017 - 10 - 19) 参见全文	1-10																											
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																													
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																									
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																												
国际检索实际完成的日期 2020年 4月 16日		国际检索报告邮寄日期 2020年 5月 12日																											
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 李晋珩 电话号码 62085601																											

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 5176321 A (ILLINOIS TOOL WORKS) 1993年 1月 5日 (1993 - 01 - 05) 参见全文	1-10
A	US 3556255 A (SPERRY RAND CORP) 1971年 1月 19日 (1971 - 01 - 19) 参见全文	1-10
A	FR 2950545 B1 (CNRS CENT NAT RECH SCI等) 2012年 11月 30日 (2012 - 11 - 30) 参见全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/074386

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109759958	A	2019年 5月 17日	无	
CN	209615205	U	2019年 11月 12日	无	
CN	103072084	A	2013年 5月 1日	CN 103072084	B 2015年 9月 9日
CN	108214090	A	2018年 6月 29日	无	
CN	108161750	A	2018年 6月 15日	无	
CN	105479254	A	2016年 4月 13日	CN 105479254	B 2018年 8月 24日
				JP 2016074047	A 2016年 5月 12日
				JP 6151674	B2 2017年 6月 21日
				US 9770803	B2 2017年 9月 26日
				US 2016096187	A1 2016年 4月 7日
				DE 102015116205	B4 2019年 4月 18日
				DE 102015116205	A1 2016年 4月 7日
CN	105451889	A	2016年 3月 30日	JP 2016532551	A 2016年 10月 20日
				CN 105451889	B 2019年 3月 19日
				EP 3033179	B1 2018年 4月 11日
				FR 3009687	B1 2017年 5月 12日
				US 2016184844	A1 2016年 6月 30日
				KR 20160041926	A 2016年 4月 18日
				WO 2015022330	A1 2015年 2月 19日
				EP 3033179	A1 2016年 6月 22日
				FR 3009687	A1 2015年 2月 20日
				JP 6445009	B2 2018年 12月 26日
WO	2017179972	A1	2017年 10月 19日	EP 3442743	A1 2019年 2月 20日
				JP 2019513571	A 2019年 5月 30日
				US 2019126421	A1 2019年 5月 2日
				NL 2016590	B1 2017年 11月 1日
US	5176321	A	1993年 1月 5日	无	
US	3556255	A	1971年 1月 19日	无	
FR	2950545	B1	2012年 11月 30日	US 9188332	B2 2015年 11月 17日
				FR 2950545	A1 2011年 4月 1日
				EP 2482990	A1 2012年 8月 8日
				WO 2011039695	A1 2011年 4月 7日
				JP 5800819	B2 2015年 10月 28日
				US 2012228410	A1 2012年 9月 13日
				EP 2482990	B1 2018年 8月 29日
				JP 2013506114	A 2013年 2月 21日