



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118164650 B

(45) 授权公告日 2024.08.13

(21) 申请号 202410585427.6

(22) 申请日 2024.05.13

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118164650 A

(43) 申请公布日 2024.06.11

(73) 专利权人 四川省地质环境调查研究中心

地址 610081 四川省成都市金牛区一环路
北二段3号

(72) 发明人 刘馨泽 张志鹏 高文皓 孙东

李强 张伟 覃亮 李大猛

董建兴 刘树圃

(74) 专利代理机构 青岛海盈智专利代理事务所

(普通合伙) 37432

专利代理师 杨金凤

(51) Int.Cl.

C02F 9/00 (2023.01)

C02F 1/02 (2023.01)

C02F 1/20 (2023.01)

C02F 1/36 (2023.01)

C02F 1/30 (2023.01)

C02F 3/32 (2023.01)

C02F 101/10 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 219839519 U, 2023.10.17

郭小娟. “钙华沉积的水化学控制因素分析及天津王四井钙华形成的模拟研究”.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 基础科学辑》.2011, 第2011年卷(第8期), 第A012-6页.

审查员 易小莹

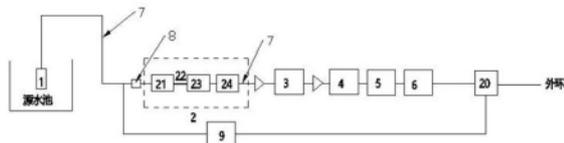
权利要求书1页 说明书8页 附图20页

(54) 发明名称

一种钙华沉积源水强化装置

(57) 摘要

本发明涉及自然景观修复技术领域,尤其涉及一种钙华沉积源水强化装置,包括至少一个水泵,水泵设置在源水区域,抽取源水区域的水;高流速强化单元,和水泵连接,对水泵抽取的水进行流速强化,使水流内的碳酸钙微粒密度、粒径增加,为初步强化;温度强化单元,对经过高流速强化单元强化的水流进行加温脱气,使水流中的二氧化碳气体从水中逸出,SIc指数增加,为核心强化。本发明提供的钙华沉积源水强化装置通过对源水进行流速强化、温度强化、超声强化、喷溅脱气强化、光照强化、硅藻强化方式等多级强化方式提高了源水中碳酸钙微粒密度、粒径、有利藻类密度,提升SIc指数,进而使得钙华得到有效、科学、自然的修复。



1. 一种钙华沉积源水强化装置,其特征在于:包括至少一个水泵一(1),水泵一(1)设置在源水区域,抽取源水区域的水;高流速强化单元(2),和水泵一(1)连接,对水泵一(1)抽取的水进行流速强化,使水流内的碳酸钙微粒密度、粒径增加,为初步强化;温度强化单元(3),对经过高流速强化单元(2)强化的水流进行加温脱气,使水流中的二氧化碳气体从水中逸出,SIc指数增加,为核心强化;超声强化单元(4),对经过温度强化单元(3)加温脱气的水流进行超声强化,增加水流中碳酸钙颗粒的密度,SIc指数增加,为补充强化;喷溅脱气强化单元(5),对经过超声强化单元(4)强化的水流进行喷溅脱气,提升水中碳酸钙微粒密度、粒径、SIc指数,为核心强化;光照强化单元(6),对经过喷溅脱气强化单元(5)处理的水流表面聚焦加温,提升水流的SIc指数,为补充强化;所述高流速强化单元(2)包括分流箱(21),分流箱(21)的其中一侧和水泵一(1)连接,另一侧连接有多个分流管(22),各个分流管(22)对应连接有收缩管(23)。
2. 根据权利要求1所述的钙华沉积源水强化装置,其特征在于:所述收缩管(23)为粗细渐变的直线管、盘形管、M蛇形弯管中任意一种或者几种。
3. 根据权利要求1所述的钙华沉积源水强化装置,其特征在于:所述温度强化单元(3)包括至少一个加温棒(31),加温棒(31)外部罩设支撑管(32),支撑管(32)上开设有多个透水孔(33),支撑管(32)外部罩设透气管(34),透气管(34)上安装有气泵一(35)。
4. 根据权利要求3所述的钙华沉积源水强化装置,其特征在于:所述支撑管(32)为采用UPVC材料,所述透气管(34)采用膨体聚四氟乙烯材料。
5. 根据权利要求1所述的钙华沉积源水强化装置,其特征在于:所述超声强化单元(4)包括超声处理箱(41),超声处理箱(41)为透气结构,其内部从上至下依次设有至少两层超声波震动板(42),超声波震动板(42)上设有超声波发生器,超声处理箱(41)由外到内依次为内壳体(411)、透气壳体(412)以及外壳体(413),内壳体(411)上开设有多个条形孔,外壳体(413)上开设有多个圆形孔。
6. 根据权利要求1所述的钙华沉积源水强化装置,其特征在于:所述喷溅脱气强化单元(5)包括开放式喷溅脱气池(51),开放式喷溅脱气池(51)中竖向设置有多个喷射管(52),喷射管(52)的下端设有水泵二(53),上端设有拦水帽(54),拦水帽(54)上开设有倾斜孔(55),倾斜孔(55)中线和竖直方向的夹角大小为 $120^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 。
7. 根据权利要求1所述的钙华沉积源水强化装置,其特征在于:所述光照强化单元(6)包括流水槽(61),流水槽(61)中设有多个升降支架(62),升降支架(62)上设有聚光透镜(63)。
8. 根据权利要求1所述的钙华沉积源水强化装置,其特征在于:所述水泵一(1)还连接有硅藻强化单元(9),硅藻强化单元(9)和光照强化单元(6)同时并入合流槽(20),硅藻强化单元(9)包括强化槽(91),强化槽(91)中设有孔板(92),孔板(92)将强化槽(91)的其中一侧分隔为缓冲槽(93),将另一侧分隔为培养取样槽(94),强化槽(91)的上方设有盖板(95),盖板(95)和强化槽(91)之间具有间隙。

一种钙华沉积源水强化装置

技术领域

[0001] 本发明涉及环境修复技术领域,尤其为一种钙华沉积源水强化装置。

背景技术

[0002] 钙华是富含钙、二氧化碳的地下水接近和出露于地表时,因二氧化碳大量逸出而形成碳酸钙的化学沉淀物。钙华矿物成分主要为方解石和文石;质硬,致密,细晶质,块状,空心或实心球状,厚板或薄层,具纤维或同心圆状结构。钙华体形态异离多变,常见钙华锥、丘、扇、钟乳石等。中国有很多钙华形成的罕见景观,例如中国青藏高原东缘分布有世界罕见的钙华景观带,主要包含黄龙、神仙池、牟尼沟、康定泉华滩、黑水卡龙沟等,其中世界自然遗产地黄龙景区作为代表,以亚洲唯一、绝美的钙华彩池、滩流和瀑布闻名于世。

[0003] 近十几年来,黄龙景区出现了钙华强渗漏、黑化、沙化、藻类滋生等一系列普遍性的非震损钙华演进退化问题,并有不断强化的趋势,对自然遗产地核心价值构成了不利影响,临近的牟尼沟、神仙池也出现规模巨大的普遍性退化,景观品质下降。如何科学有效对非震损退化钙华进行科学有效的复原、修复和保育,保障景观资源永续利用服务人民,已成为持续性社会热点。此类钙华景观退化为非结构性损毁,原位进行自然修复保育尚无先例。遵循不影响景观天然属性、自然恢复的基本原则,科学、安全、快速、有效地形成新生天然钙华,对遏制钙华景观退化和常态化保育具有重大的理论和应用意义。形成质量良好的景观源水,用以促进胶结、致密、形态良好的钙华快速形成,对非震损退化钙华原位修复保育具有重大的支持作用。

发明内容

[0004] 本发明针对上述现有技术存在的问题,提供一种钙华沉积源水强化装置。

[0005] 为实现以上目的,本发明通过以下技术方案予以实现:

[0006] 一种钙华沉积源水强化装置,包括至少一个水泵一,水泵设置在源水区域,抽取源水区域的水;

[0007] 高流速强化单元,和水泵一连接,对水泵一抽取的水进行流速强化,使水流内的碳酸钙微粒密度、粒径增加,为初步强化;

[0008] 温度强化单元,对经过高流速强化单元强化的水流进行加温脱气,使水流中的二氧化碳气体从水中逸出,SIc指数增加,为核心强化;

[0009] 超声强化单元,对经过温度强化单元加温脱气的水流进行超声强化,增加水流中碳酸钙颗粒的浓度,SIc指数增加,为补充强化;

[0010] 喷溅脱气强化单元,对经过超声强化单元强化的水流进行喷溅脱气,提升水中碳酸钙微粒密度、粒径、SIc指数,为核心强化;

[0011] 光照强化单元,对经过喷溅脱气强化单元处理的水流表面聚焦加温,提升水流的SIc指数,为补充强化。

[0012] 进一步地,所述高流速强化单元包括分流箱,分流箱的其中一侧和水泵一连接,另

一侧连接有多个分流管,各个分流管对应连接有收缩管。

[0013] 进一步地,所述收缩管为粗细渐变的直线管、盘形管、M蛇形弯管中任意一种或者几种。

[0014] 进一步地,所述温度强化单元包括至少一个加温棒,加温棒外部罩设支撑管,支撑管上开设有多个透水孔,支撑管外部罩设透气管,透气管上安装有气泵一。

[0015] 进一步地,所述支撑管为采用UPVC材料,所述透气管采用膨体聚四氟乙烯材料。

[0016] 进一步地,所述超声强化单元包括超声处理箱,超声处理箱为透气结构,其内部从上至下依次设有至少两层超声波震动板,超声处理箱包括由外到内依次为内壳体、透气壳体以及外壳体,内壳体上开设有多个条形孔,外壳体上开设有多个圆形孔。

[0017] 进一步地,所述喷溅脱气强化单元包括开放式喷溅脱气池,开放式喷溅脱气池中竖向设置有多个喷射管,喷射管的下端设有水泵二,上端设有拦水帽,拦水帽上开设有倾斜出水孔,倾斜孔中线和竖直方向的夹角大小为 $120^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 。

[0018] 进一步地,所述光照强化单元包括流水槽,流水槽中设有多个升降支架,升降支架上设有聚光透镜。

[0019] 进一步地,所述水泵一还连接有硅藻强化单元,硅藻强化单元和光照强化单元同时并入合流槽,硅藻强化单元包括强化槽,强化槽中设有孔板,孔板将强化槽的其中一侧分隔为缓冲槽,将另一侧分隔为培养取样槽,强化槽的上方设有盖板,盖板和强化槽之间具有间隙。

[0020] 本发明的有益效果:

[0021] 本发明提供的钙华沉积源水强化装置通过对源水进行流速强化、温度强化、超声强化、喷气脱溅、光照强化、硅藻强化方式逐级提高了源水中碳酸钙微粒密度、碳酸钙微粒的粒径,提升SIc指数、提升有益硅藻在钙华沉积中的参与作用,形成具有极强钙华修复能力的源水,进而使得钙华得到有效、科学、自然的修复,对遏制钙华景观退化和常态化保育具有重大的理论和应用意义。

附图说明

[0022] 图1为本发明钙华沉积源水强化装置的结构示意图;

[0023] 图2为本发明高流速强化单元的结构示意图;

[0024] 图3为本发明收缩管的亚型二的结构示意图;

[0025] 图4为本发明收缩管的亚型三的结构示意图;

[0026] 图5为本发明流速为0.5m/s时水体中碳酸钙颗粒SEM照片;

[0027] 图6为本发明流速为1.0m/s时水体中碳酸钙颗粒SEM照片;

[0028] 图7为本发明流速为1.5m/s时水体中碳酸钙颗粒SEM照片;

[0029] 图8为本发明流速为2.0m/s时水体中碳酸钙颗粒SEM照片;

[0030] 图9为本发明温度强化单元的结构示意图;

[0031] 图10为本发明温度对SIc的影响;

[0032] 图11为本发明温度对 Ca^{2+} 的影响;

[0033] 图12为本发明温度对源水碳酸钙颗粒粒径的影响;

[0034] 图13为本发明温度对源水碳酸钙颗粒物面密度的影响;

- [0035] 图14为本发明超声强化单元的结构示意图；
- [0036] 图15为本发明超声前后CO₂总量变化图；
- [0037] 图16为本发明超声前后SIc变化图；
- [0038] 图17为本发明水体五彩池(G1)处超声前碳酸钙微粒密度变化；
- [0039] 图18为本发明水体五彩池(G1)处超声后碳酸钙微粒密度变化；
- [0040] 图19为本发明水体五彩池(G2)处超声后碳酸钙微粒密度变化；
- [0041] 图20为本发明水体五彩池(G2)处超声后碳酸钙微粒密度变化；
- [0042] 图21为本发明喷溅脱气强化单元的结构示意图；
- [0043] 图22为本发明不同喷射管径的二氧化碳脱气效果一；
- [0044] 图23为本发明不同喷射管径的二氧化碳脱气效果二；
- [0045] 图24为本发明光照强化单元的结构示意图；
- [0046] 图25为本发明硅藻强化单元结构示意图；
- [0047] 图26硅藻强化前水中碳酸钙微粒形貌变化；
- [0048] 图27硅藻强化后水中碳酸钙微粒形貌变化；
- [0049] 图28黄龙映月彩池原位藻类共生强化形成的胶结新钙华图一；
- [0050] 图29黄龙映月彩池原位藻类共生强化形成的胶结新钙华图二；
- [0051] 图30黄龙映月彩池原位藻类共生强化形成的胶结新钙华图三；
- [0052] 图31黄龙映月彩池原位藻类共生强化形成的胶结新钙华图四；
- [0053] 图32为本发明经过强化后水中钙华颗粒物微观照片一；
- [0054] 图33为本发明经过强化后水中钙华颗粒物微观照片二；
- [0055] 图34为本发明经过强化后水中钙华颗粒物微观照片三；
- [0056] 图35为本发明经过强化后水中钙华颗粒物微观照片四；
- [0057] 图36为本发明神仙池莲花台试验区修复前效果图一；
- [0058] 图37为本发明神仙池莲花台试验区修复后效果图一；
- [0059] 图38为本发明神仙池莲花台试验区修复前效果图一；
- [0060] 图39为本发明神仙池莲花台试验区修复后效果图二。
- [0061] 图中：1-水泵一，2-高流速强化单元，21-分流箱，22-分流管，23-收缩管，24-集水箱，3-温度强化单元，31-加温棒，32-支撑管，33-透水孔，34-透气管，35-气泵一，36-高速气流层，4-超声强化单元，41-超声处理箱，411-内壳体，412-透气壳体，413-外壳体，414-气泵二，42-超声波震动板，5-喷溅脱气强化单元，51-开放式喷溅脱气池，52-喷射管，53-水泵二，54-拦水帽，55-倾斜孔，6-光照强化单元，61-流水槽，62-升降支架，63-聚光透镜，7-水管，8-电磁流量计，20-合流槽，9-硅藻强化单元，91-强化槽，92-孔板，93-缓冲槽，94-培养取样槽，95-盖板。

具体实施方式

[0062] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。

[0063] 在本申请的描述中，需要说明的是，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了

便于描述本申请和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本申请的限制。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0064] 除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

[0065] 据研究发现, $SIc < 1$ 时,宏观钙华沉积慢,当 $SIc > 1.1 \sim 1.2$ 时候,新生钙华沉积明显,为显著沉积界线,可为 SIc 指数控制提供参考。 $SIc = 1.2$ 在黄龙五彩池、黄龙映月彩池均有统一的控制作用,一般为高品质钙华景观的起点, $SIc > 1.4$,钙华呈极强烈沉积,在黄龙五彩池下游池群可见。

[0066] 当水中碳酸钙微粒密度、粒径处于较低水平时,钙华天然沉积速率较低,钙华沉积能力差,当用于控制新生钙华快速形成时,需要对源水进行原位强化处理。

[0067] 据黄龙景区现场开展的原位试验成果,明确了温度、流速、流态、超声、硅藻等对钙华源水质量提升均有较好的效果,作为本发明申请的技术基础。

[0068] 本实施例以四川省黄龙景区及神仙池景区钙华修复研究项目案例为例,黄龙景区由于钙华黑化、沙化、强渗漏等突出退化问题,导致部分的钙华景观呈现较为明显的品质下降现象。钙华黑化是由于失水引起,并因风化作用导致严重的次生问题,形成结构松散钙华,钙华沉积不良为 SIc 指数过低、流态不良($Fr < 1$ 形成次临界流)、水中碳酸钙微粒浓度过低等导致钙华沉积胶结能力极差,强渗漏是由于灌丛根系破坏钙华结构引起,藻类滋生主要由叶片淋溶、低 SIc 指数、强脱气区活动等激发藻类增殖引起。

[0069] 为服务修复四川省黄龙景区退化钙华景观,本申请提供一种钙华沉积源水强化的装置和方法,能够遵循不影响景观天然属性、自然恢复的基本原则,通过原位改造形成具有极高钙华沉积能力的源水,用以科学、安全、快速、有效地形成新生天然钙华。

[0070] 请参考图1,为本发明提供的一种钙华沉积源水强化装置,包括至少一个水泵—1,水泵—1设置在源水区域,抽取源水区域的水,设置的位置根据黄龙景区的源水位置区域决定,一般设置至地势较高的位置处。水泵—1的数量以及型号也根据实际的水量等需要进行决定。

[0071] 水泵—1通过水管7和高流速强化单元2连接,水管7采用耐磨损的钢丝软管,水管7上还设有电磁流量计8。水泵—1将原水池的水抽入高流速强化单元2中,高流速强化单元2设置在位于水泵—1设置的下游位置处,用于对水流进行限制,强化水流流速,进而使水流内的碳酸钙微粒密度、粒径增加,为初步强化。

[0072] 请参考图2-4,高流速强化单元2包括分流箱21,分流箱21为一封闭式箱体,采用透明亚克力板制作,分流箱21的其中一侧开设有入水口,水泵—1通过水管7和分流箱21的入水口连接,水泵—1将源水池中的水抽入分流箱21中。分流箱21的另一侧开设有多个出水口,各个出水口上都对接有分流管22,分流管22的数量和口径根据实际需要调整,以使得水流中碳酸钙粒径、密度显著增加为标准。分流箱21中的水进入到分流管22内,实现分流。分流管22的出水口处连接有收缩管23,收缩管23用于提高水流速度,增强收缩管23的口径根据实际需要进行设定,同样以水流中碳酸钙粒径、密度显著增加为标准。

[0073] 收缩管23有三种类型,为粗细渐变的直线管、盘形管、M蛇形弯管,使用时,可以根据需要选择其中任意一种,或者选择其中几种结合使用。盘形管、M蛇形弯管形状的收缩管23一般应用于自然流水下新生钙华生长极慢的水体中。收缩管23的出水口连接有集水箱24,集水箱24将经过流速强化的水流收集至其内部。

[0074] 高流速强化单元2对水流进行限制,使水流速在收缩管23中迅速加快,随着流速的增加,水中碳酸钙颗粒平均粒径与密度均表现出协同增减的特点,在流速0.5-2.0m/s范围内,水中颗粒的平均粒径与密度同时出现升高趋势。为了进一步扩大修复范围,可以根据需要设置多个高流速强化单元2。

[0075] 请参考图5-8,对不同流速的水中碳酸钙颗粒SEM照片进行粒径统计后得知,流速各梯度实验结果特征表现一致,其水中颗粒物粒径分布均符合Gauss分布特征。

[0076] 其中,图5为流速0.5m/s时,水中碳酸钙粒径均小于 $2\mu\text{m}$,平均粒径 $1.07\mu\text{m}$,图6为流速1.0m/s时,水中碳酸钙粒径98.0%小于 $3.5\mu\text{m}$,平均粒径 $1.2\mu\text{m}$,图7为流速1.5m/s时,水中碳酸钙粒径96.9%小于 $4\mu\text{m}$,平均粒径 $2.45\mu\text{m}$,图8为流速2.0m/s时,水中碳酸钙粒径96.6%小于 $4\mu\text{m}$,平均粒径 $2.23\mu\text{m}$ 。

[0077] 由此可以验证,随着流速的增加,水中碳酸钙颗粒平均粒径与含量均表现出协同增减的特点,在流速0.5~2.0m/s范围内,水中颗粒的平均粒径与含量同时出现先升高后降低,并在LS-3(1.5m/s)出现最大值,也是沉积能力(SIc)的最大值,即在一定范围流速增大,会提升钙华水体的沉积能力,增加水中颗粒物含量,增大水中颗粒物粒径。

[0078] 温度强化单元3设置在高流速强化单元2的下游,并通过水管7和集水箱24连接,经过高流速强化的水流含有大量的碳酸钙颗粒,进入到温度强化单元3中,温度强化单元3对水流进行温度强化,使得钙华水体实现 CO_2 强脱气,源水中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度快速下降,pH、SIc迅速上升,水中碳酸钙颗粒密度和粒径进一步提升。

[0079] 请参考图9,温度强化单元3包括至少一个加温棒31,加温棒31的数量可以根据实际需要进行调整,本实施例采用三个加温棒31为例。

[0080] 加温棒31的外部罩设有支撑管32,支撑管32为采用UPVC材料制作,其表面开设有多个透水孔33,水流持续从支撑管32的入口端进入其内部后从出口端流出,在此过程中,加温棒31对支撑管32内部的水流进行加温,使水中二氧化碳逸出,并从支撑管32表面开设的透水孔33透出。支撑管32内还设有pH检测仪、温度探头、TDS探头以及温度控制器。

[0081] 支撑管32外部罩设有透气管34,透气管34采用透气不透水的材料,例如膨体聚四氟乙烯材料。加温脱气过程中,二氧化碳气体穿越膨体聚四氟乙烯材料逸散至外层,气泵一35和透气管34连通,通过气泵一35形成高速气流层36,高速气流层36袭夺逸出的二氧化碳气体,并携带到空气中释放,实现二氧化碳脱气,水中钙离子浓度下降,碳酸钙微粒增加,SIc指数增加。

[0082] 请参考图10和图11,升高温度可以增加水体SIc指数,钙离子浓度下降,水中碳酸钙微粒增加。当温度大于 30°C ,水体中二氧化碳脱气基本完成,SIc达到最大值并基本稳定。考虑到青藏高原东缘一带钙华景观区水温一般不超过 20°C ,温度强化单元温度上限设置为 20°C ,典型温度为 $10\sim 15^\circ\text{C}$ 。

[0083] 请参考图12和图13,升高温度可以增加水体中新生碳酸钙颗粒物的含量、粒径和促进形成良好形态。浓度较低水体在低温时($10\sim 30^\circ\text{C}$)水中碳酸钙微粒粒径可以快速达到

最大值,含量持续增加,高钙浓度水体(如源泉水)在超过50°C粒径仍在增加,粒径在低温(10~30°C)时达到最大。

[0084] 随着温度升高(0~50°C),五彩池(G1)水中颗粒物平均粒径呈上升趋势,在50°C达到最大2.87 μm 。沟水(G2)水中颗粒物平均粒径呈先上升再下降规律在10°C达到最大3.28 μm 。映月彩池(G3)水中颗粒物平均粒径呈先上升再下降规律在10°C达到最大3.26 μm 。

[0085] 随着温度升高(0~50°C),五彩池(G1)水中颗粒物面密度呈上升后下降规律,在10°C达到最大4079个/ mm^2 。沟水(G2)水中颗粒物面密度呈上升后下降规律,30°C达到最大952个/ mm^2 。映月彩池(G3)水中颗粒物面密度呈上升规律,在50°C达到最大1170/ mm^2 。五彩池(G1)当温度达到30°C和50°C时,出现大量白色碳酸钙颗粒沉淀,遂导致其水中颗粒物面密度下降。

[0086] 请参考图1和图14,超声强化单元4包括超声处理箱41,超声处理箱41和温度强化单元3连接,超声处理箱41具有三层结构,包括由外到内依次设置的内壳体411、透气壳体412以及外壳体413,内壳体411采用不锈钢材质,其上开设有多个条形孔。外壳体413采用亚克力板,其上开设有多个圆形孔。透气壳体412采用膨体聚四氟乙烯材料。超声处理箱41在维持结构稳定的前提下,及时将超声过程中水中产生的二氧化碳逸散到大气中,避免压力过高。超声处理箱41内部从上至下依次设有至少两层超声波震动板42,超声波震动板42上设置超声波发生器,超声波发生器发出超声波,使得超声波震动板42震动,对水体进行处理,增加水中碳酸钙微粒密度。气泵二414与透气壳体412和外壳体413连接,抽取位于透气壳体412和外壳体413的 CO_2 气体,使 CO_2 在超声处理箱外部形成混合气流层。超声处理箱外接监测箱,内置pH探测器、温度探测器、TDS探头,连接监测调控仪显示SIc值和调节超声波震动板42频率、功率。

[0087] 请参考图15、图16、表1,源水经过额定功率120w,时长30min的超声处理强化后,水中方解石饱和指数(SIc)出现了明显的上升,温度出现较大幅度的上升, Ca^{2+} 、 HCO_3^- 、 TCO_2 出现不同程度的下降,其结果导致方解石饱和指数(SIc)出现了明显的上升。五彩池(G1)水SIc由1.01升至1.49,沟水(G2)SIc由-0.03升至0.54,映月彩池(G3)水SIc由0.71升至1.24,提升幅度为0.48~0.57。当处于大流量流动水环境下,提升幅度有所下降。超声后,水体 TCO_2 下降,说明水中碳酸钙微粒增加,二氧化碳逸散至大气中。

表1 源水超声水化学指标对比

样品编号	pH	T (°C)	TDS (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	HCO_3^- (mg/L)	P_{CO_2} (Pa)	TCO_2 (mg/L)	SIc
G1 超声前	7.54	6	675	249.44	847.9	1802	0.66	1.01
[0088] G2 超声前	7.26	6	266	91.2	305.0	1305	0.25	-0.03
G3 超声前	7.92	8	292	104.0	335.5	306	0.25	0.71
G1 超声后	7.65	35	695	241.0	829.6	1931	0.61	1.49
G2 超声后	7.45	35	295	89.9	286.7	1163	0.22	0.54
G3 超声后	8.09	35	300	99.2	325.7	286	0.23	1.24

[0089] 请参考图17为五彩池(G1)处超声前碳酸钙微粒密度变化图,图18为五彩池(G1)处超声后碳酸钙微粒密度变化图。图19为五彩池(G2)处超声前碳酸钙微粒密度变化图,图20

为五彩池(G2)处超声后碳酸钙微粒密度变化图。由图可知,超声处理后的水体碳酸钙颗粒物数量明显增加。

[0090] 经统计发现,五彩池(G1)水碳酸钙颗粒物密度由238个/ mm^2 升至2687个/ mm^2 ,沟水(G2)碳酸钙颗粒物密度由162个/ mm^2 升至646个/ mm^2 ,映月彩池(G3)水碳酸钙颗粒物密度由196个/ mm^2 升至842个/ mm^2 。超声对三处水体中颗粒物密度的提升率关系为:五彩池水(G1) > 映月彩池水(G3) > 沟水(G2),提升率分别为1028%,330%,300%,这对钙华修复的指示意义超声可以快速提升水体的沉积能力和沉积效率,对源水钙浓度更高的水体效果更明显。

[0091] 请参考图1和图21,喷溅脱气强化单元5包括开放式喷溅脱气池51,开放式喷溅脱气池51的其中一端和超声处理箱41连通,开放式喷溅脱气池51中竖向设置有多个喷射管52,喷射管52的下端设有水泵二53,上端设有拦水帽54,拦水帽54上开设有多个倾斜孔55,倾斜孔55的数量根据实际需要进行开设。倾斜孔55中线和竖直方向的夹角大小为 $120^\circ \sim 150^\circ$ 。喷射管52中设有pH检测仪、温度检测仪、TDS探头,接入监测调控仪,及时调整泵组功率。

[0092] 请参考图22和图23,开放式喷溅脱气池51利用水泵二53驱动水流,创建喷泉溅水环境形成高速薄层水雾,增加水气接触面积和时间,进行二氧化碳强烈脱气,提升SIc指数。如九寨沟县神仙池莲花台景观水体,选择20mm、32mm、40mm共计3种口径喷射管进行试验,在流量 $1260\text{m}^3/\text{d}$ 条件,三种喷水管(20mm、32mm、40mm)对脱气均有明显的促进作用,对比脱气前效率提升分别为:61.9%、62.8%、56.3%,SIc提升了43~50%。以典型32mm管计,脱气前后进入修复区的水质钙华沉积能力提升明显,SIc由1.14升至1.54,提升了35.1%, P_{CO_2} 降低明显,脱气效率为63.7%。

[0093] 请参考图1和图24,光照强化单元6和喷溅脱气强化单元5连接,对经过喷溅脱气强化单元5处理的水流表面聚焦加温,提升水流的SIc指数,为补充强化。

[0094] 光照强化单元6包括流水槽61,流水槽61采用不锈钢材料制作,其一端和喷溅脱气强化单元5连接。流水槽61中设有多个升降支架62,升降支架62为丝杆支撑座,聚光透镜63设置在丝杆支撑座上。水流进入流水槽61中,并在流水槽61底部形成薄层水流,薄层水流的厚度小于等于1cm。聚光透镜63为菲涅尔透镜,调节镜片角度和高度,聚焦至水流表面,进行加温,起到提升SIc指数作用。流水槽61接入普通水槽,普通水槽旁接测样筒,内置pH、温度、TDS探头,接入监控仪,实时显示SIc。

[0095] 简而言之,光照单元利用的是升温强化水体脱气过程,核心为菲涅尔透镜单元,当阳光穿过菲涅尔透镜时,光线会被积聚,形成能量密度非常高的小区域(称为焦点),在焦点处可以加温流动水体。

[0096] 请参考图1和图25,水泵一1还连接有硅藻强化单元9,硅藻强化单元9和光照强化单元6同时并入合流槽20。硅藻强化单元9包括强化槽91,强化槽91中设有孔板92,孔板92为板体开孔的分隔板,孔板92将强化槽91的其中一侧分隔为缓冲槽93,另一侧分隔为培养取样槽94,强化槽91的上方设有盖板95,盖板95和强化槽91之间具有间隙,间隙的高度为2~3cm,间隙留作通气。

[0097] 水泵一1分接出低流量水流,依次缓冲槽93和培养取样槽94,水流经过缓冲槽93降低流速,减少冲击力,之后进入培养取样槽94中,藻类植物在培养取样槽94中培养长大。强化槽91、孔板92、盖板95均采用透明1cm厚亚克力板组装,孔板92的孔径为20mm。黄龙景观水中一般含一定量的硅藻藻体,不必特别投放,以桥弯藻、舟型藻、针杆藻为主,在强日照条件

下,硅藻藻体大规模自然增长,例如黄龙映月彩池,通过藻类强化7~10天左右便可形成富硅藻水,水中颗粒为数十微米的碳酸钙团聚体,肉眼基本可见,粒径相对天然水中(1~5 μm),提升十数倍乃至数十倍,并于强化箱内壁形成硅藻席,厚度在2~5mm左右,应用场景为修复保育场地流速普遍为0.3~0.5m/s的条件。

[0098] 请参考图26-31,硅藻强化前后水中碳酸钙微粒形貌变化可知,强化后的碳酸钙颗粒数量增多,体积增大,并且相互之间的粘结性增强。以黄龙映月彩池原位强化试验结果,试验条件为流速0.34~0.51m/s,平均0.43m/s,均为超临界水流,Fr>1.2,试验期60d。在低流速环境下,因硅藻参与,钙华沉积速率仍维持在较高水平(6mm/a左右),甚至强于典型高流速(1~2m/s)环境(4~5mm/a)。硅藻胞外分泌物促进了钙华大颗粒形成和胶结,进一步提升了钙华沉积速率。

[0099] 工作原理:

[0100] 使用时,水泵—1抽取源水区域的水,并将源水区的水分别送入硅藻强化单元9和高流速强化单元2,水流从高流速强化单元2进入并依次经过温度强化单元3、超声强化单元4、喷溅脱气强化单元5、光照强化单元6进行强化后汇入合流槽20,硅藻强化单元9对源水进行强化后汇入合流槽20。经过强化的源水提升了升水中碳酸钙微粒密度、粒径、SIc指数,能够实现钙华的快速修复。请参考图32-35,在完成调配高SIc水质后,水体中CaCO₃颗粒出现了多种经典较为密集的方解石,形态为立方体、纺锤状、钟乳状等,平均直径为5 μm 左右。请参考图36-39,神仙池莲花台试验区修复效果对比图,对比可知,修复效果十分明显。

[0101] 需要说明的是,本发明的应用场景如下:

[0102] 一般场景:应用于黑化、强渗漏钙华、沉积不良修复用源水调控,通常不开启藻类强化单元,一般修复源水SIc>1.2,强修复源水SIc>1.4,根据源水入口水质(钙浓度、SIc指数)、流量,综合配置各强化单元,逐级开启,当SIc值达到预设目标值,下级单元不开启。

[0103] 特殊场景:沙化钙华修复用源水,开启流速强化及硅藻强化单元,形成低流量高硅藻源水,形成薄层(不超过1cm)滩流,以碳酸钙大颗粒和硅藻胞外分泌物快速胶结松散钙华。

[0104] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替换,都应当视为属于本发明的保护范围。

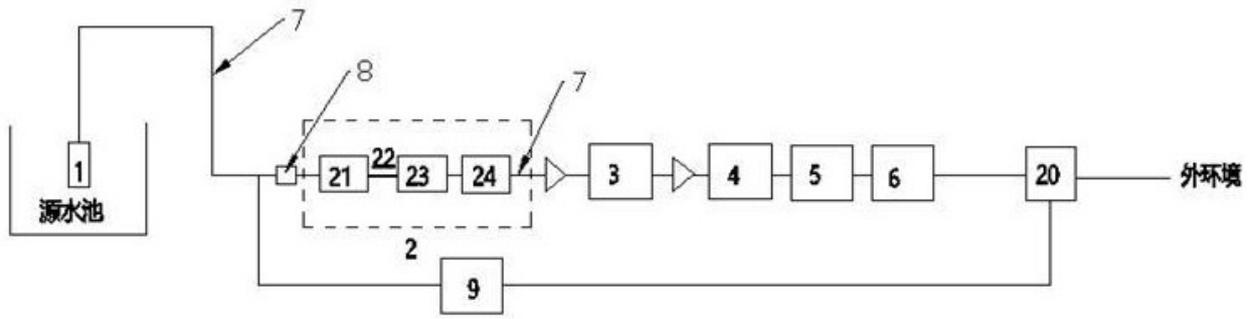


图 1

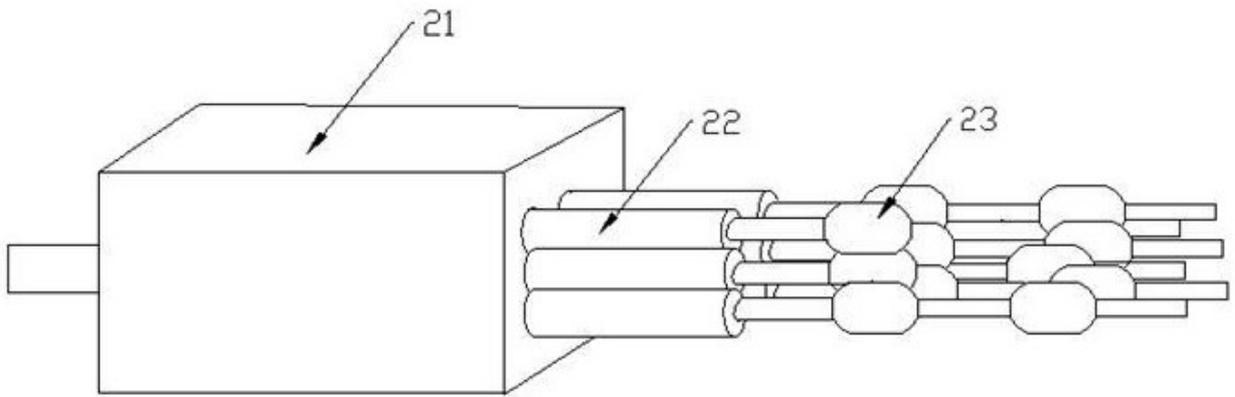


图 2

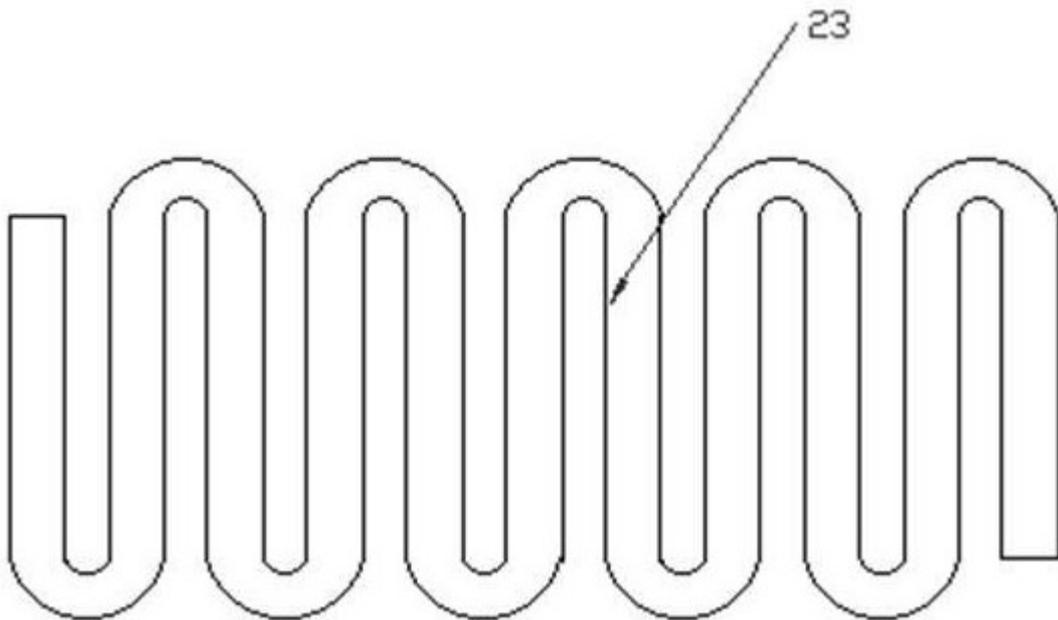


图 3

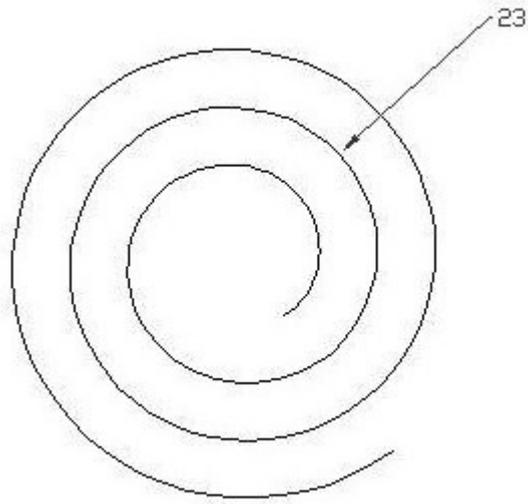


图 4

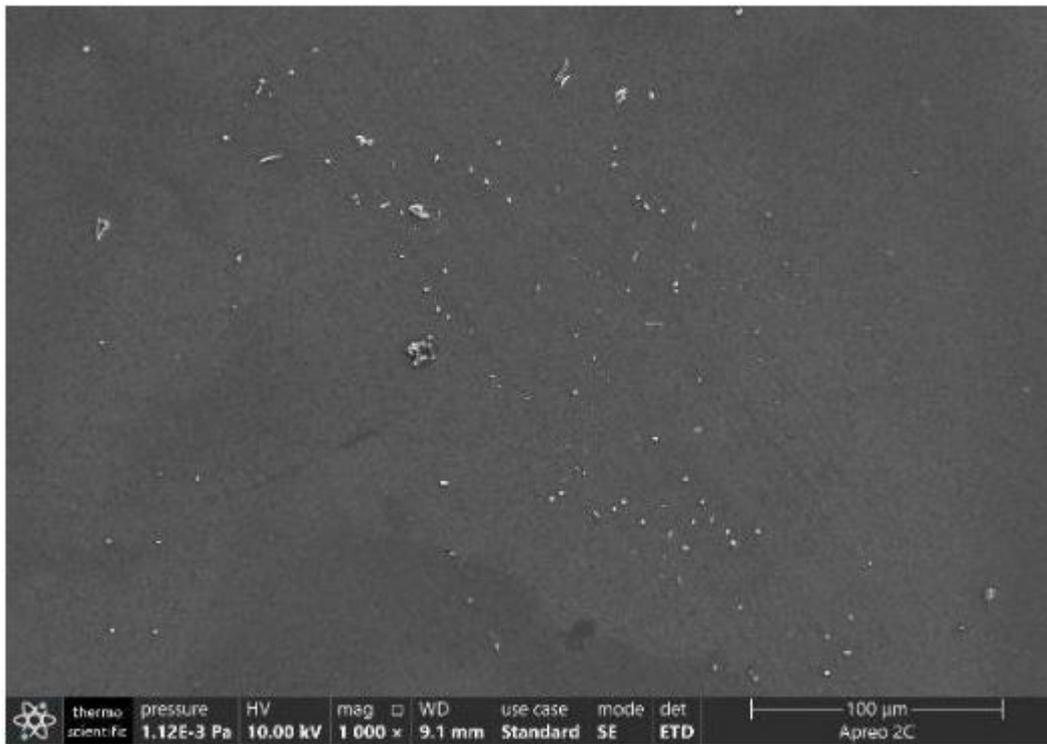


图 5

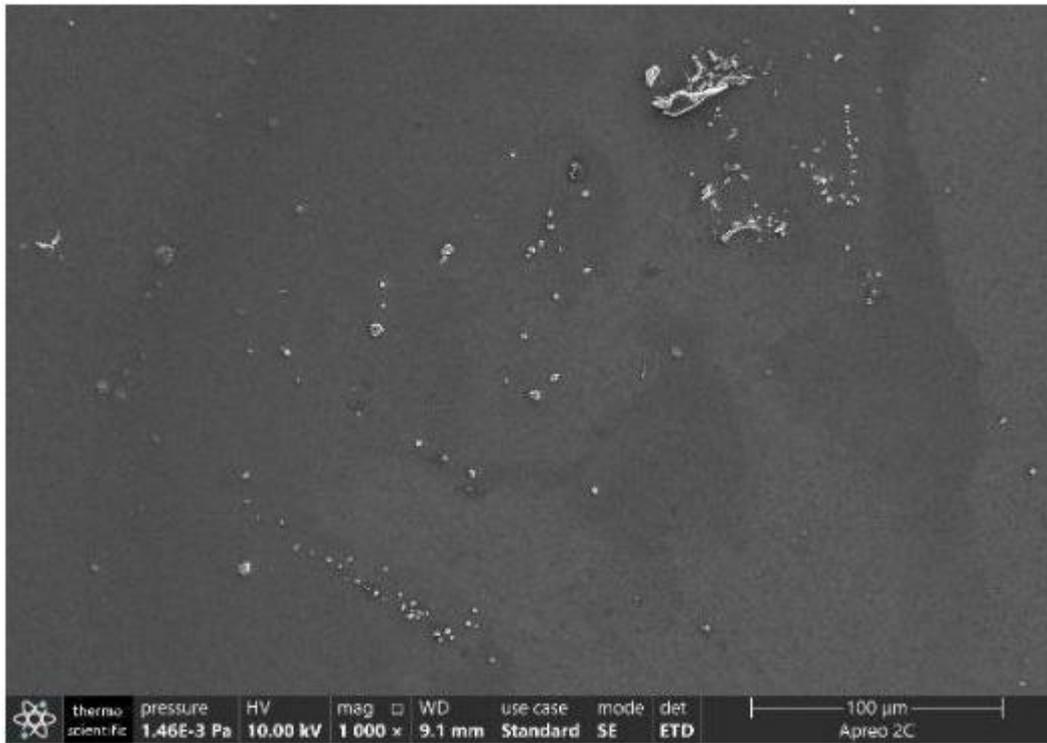


图 6

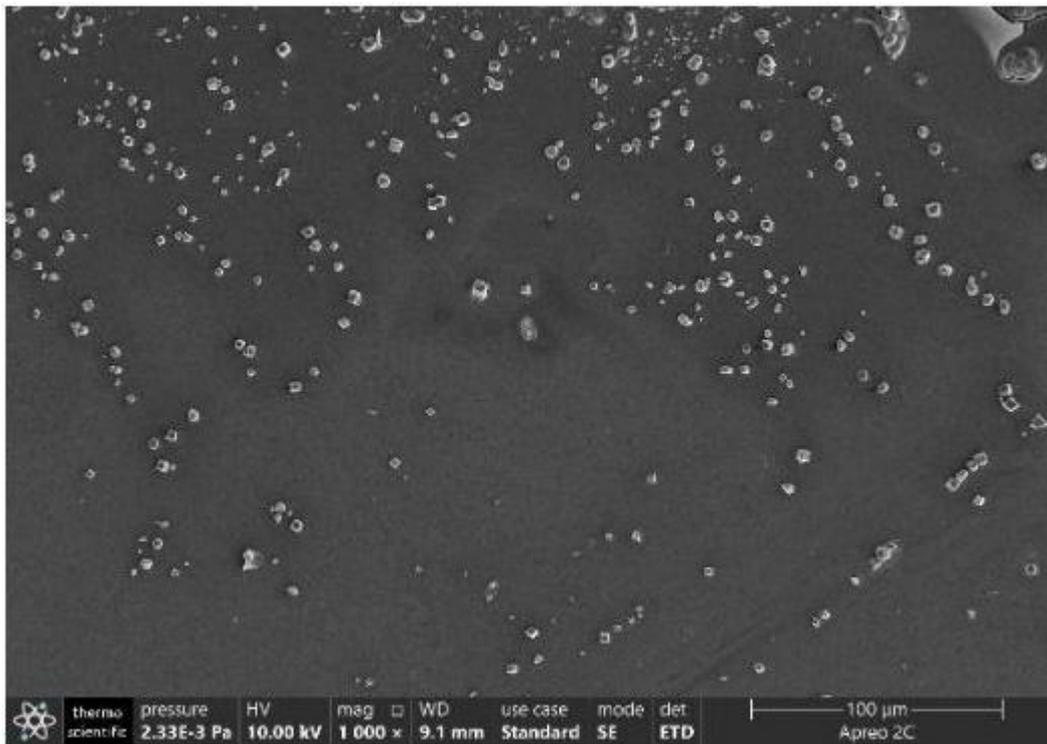


图 7

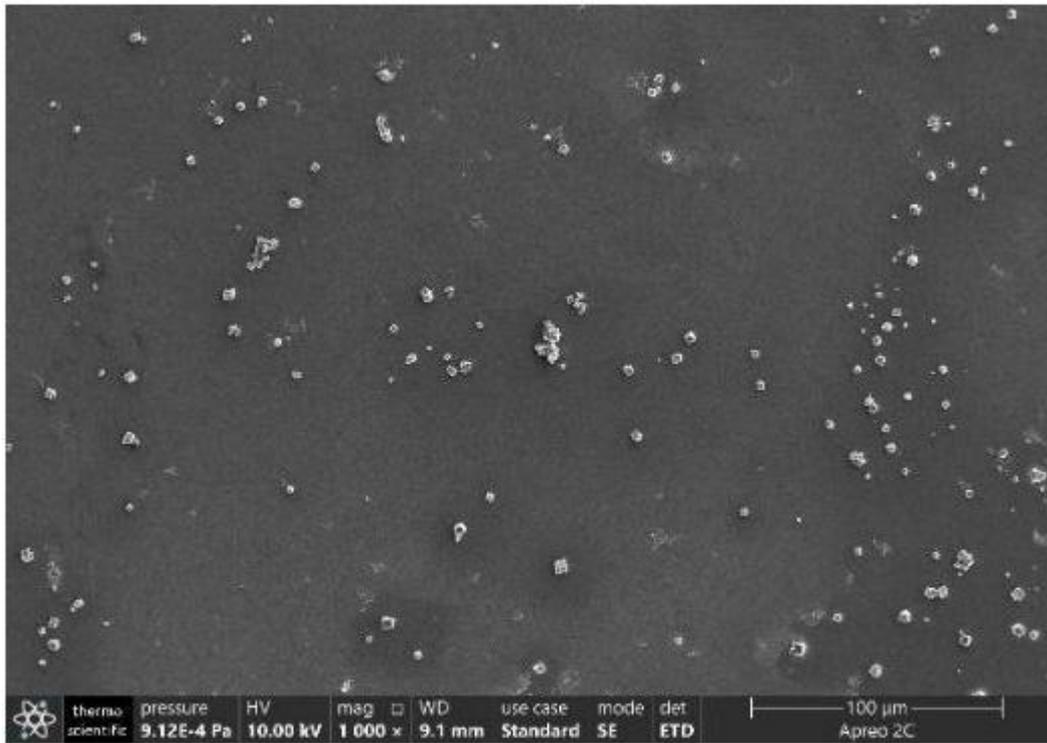


图 8

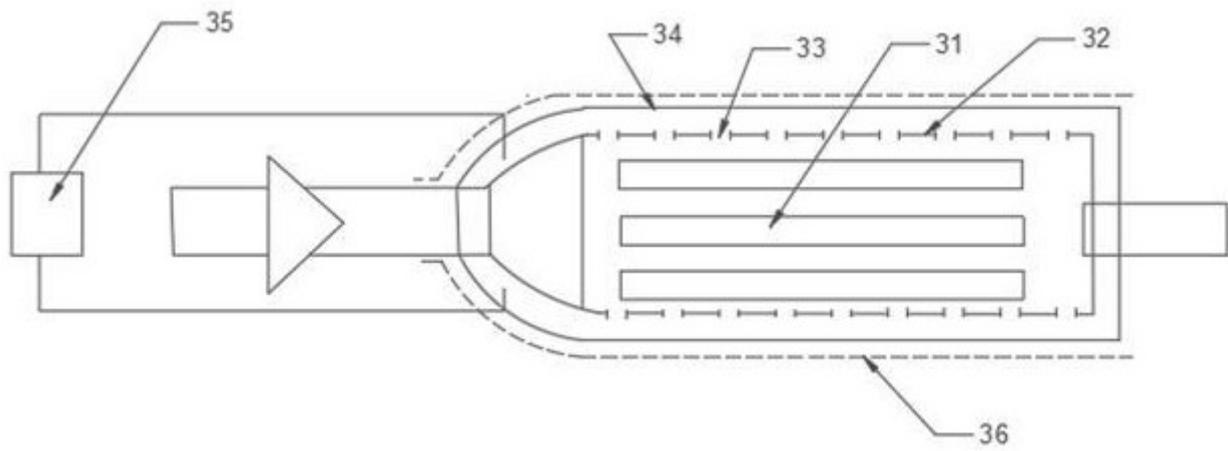


图 9

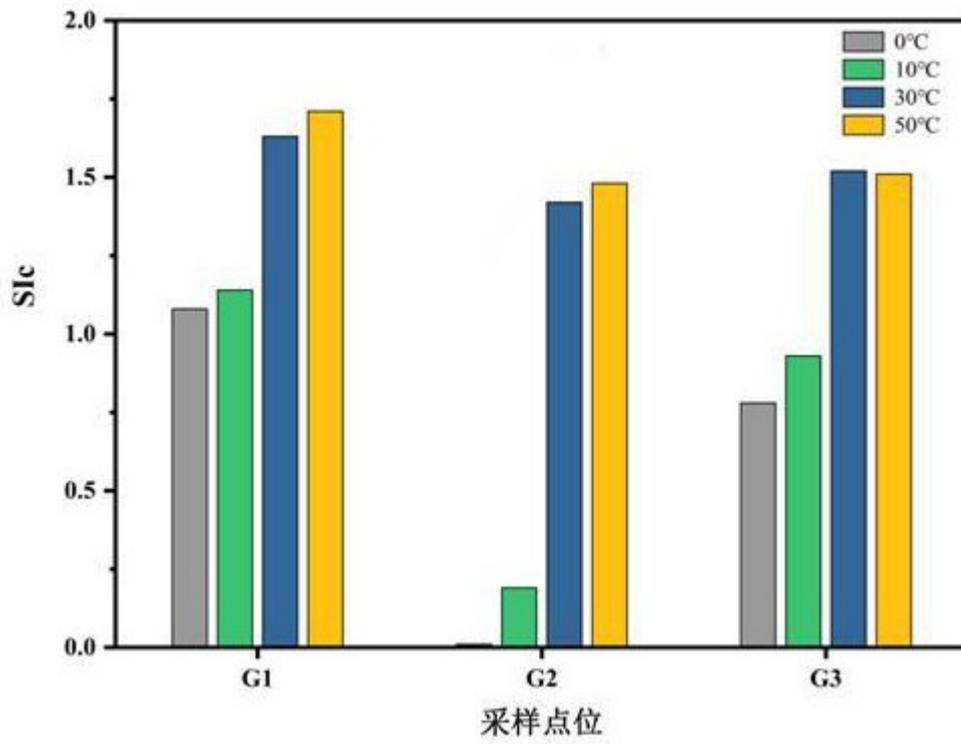


图 10

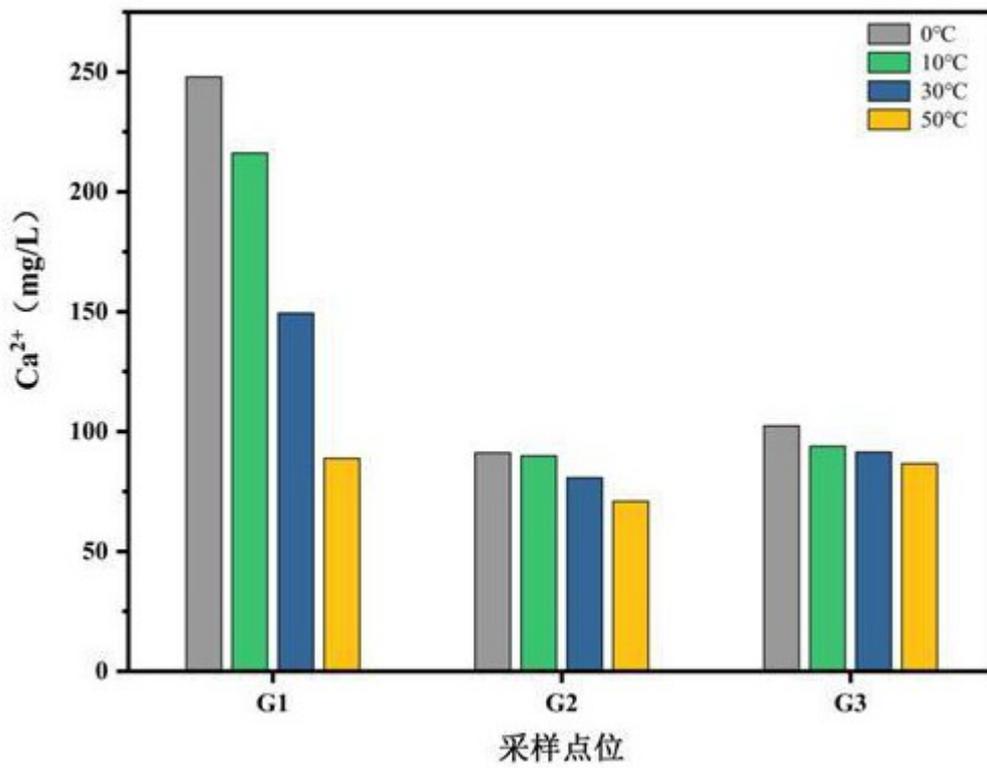


图 11

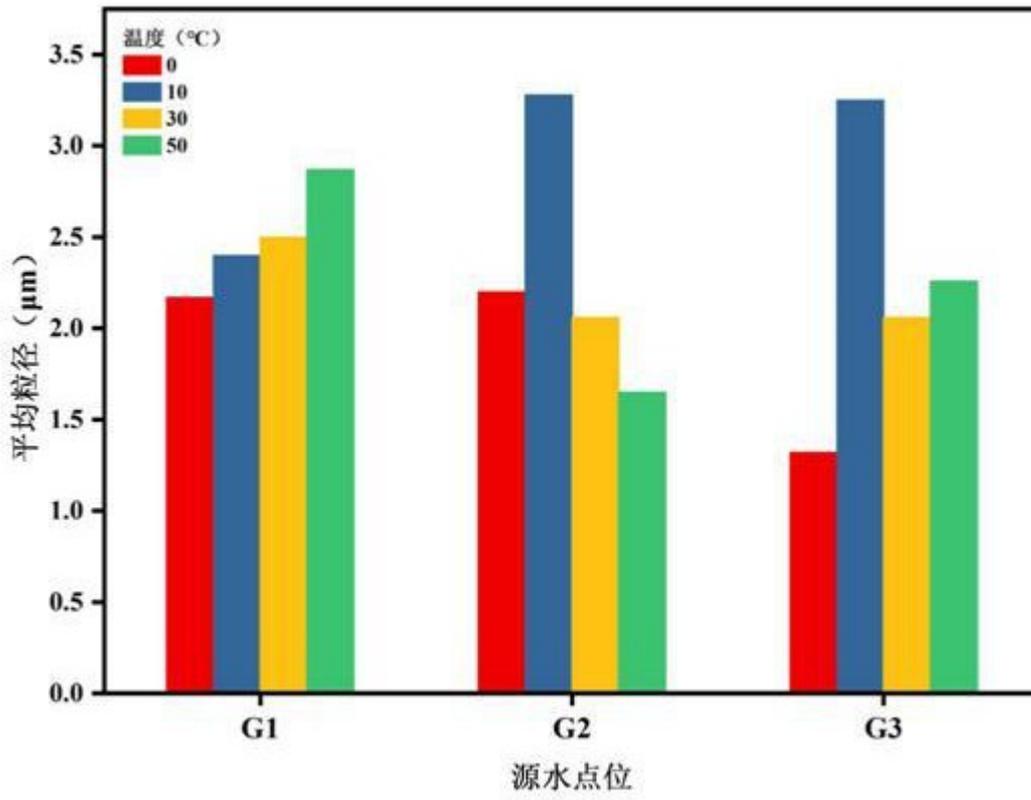


图 12

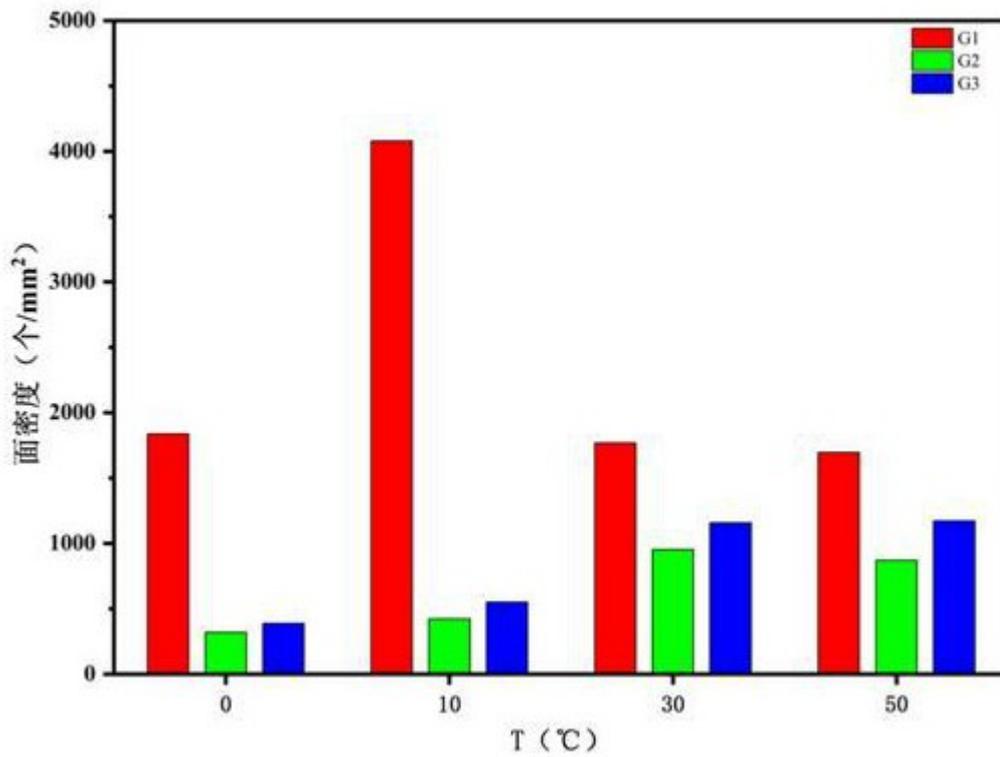


图 13

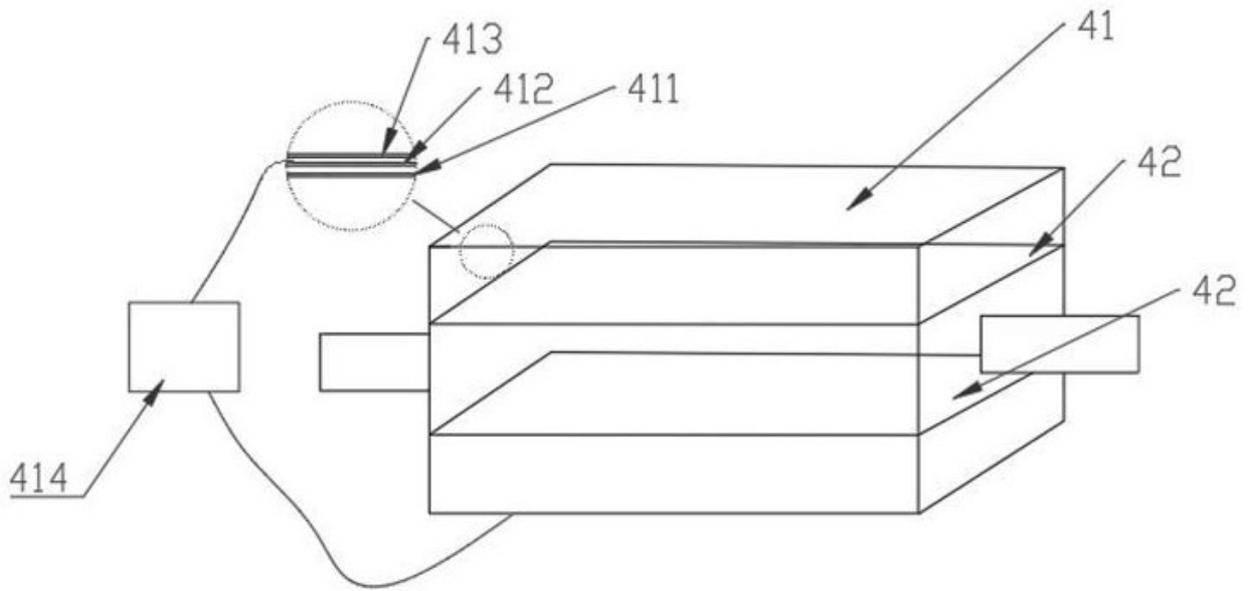


图 14

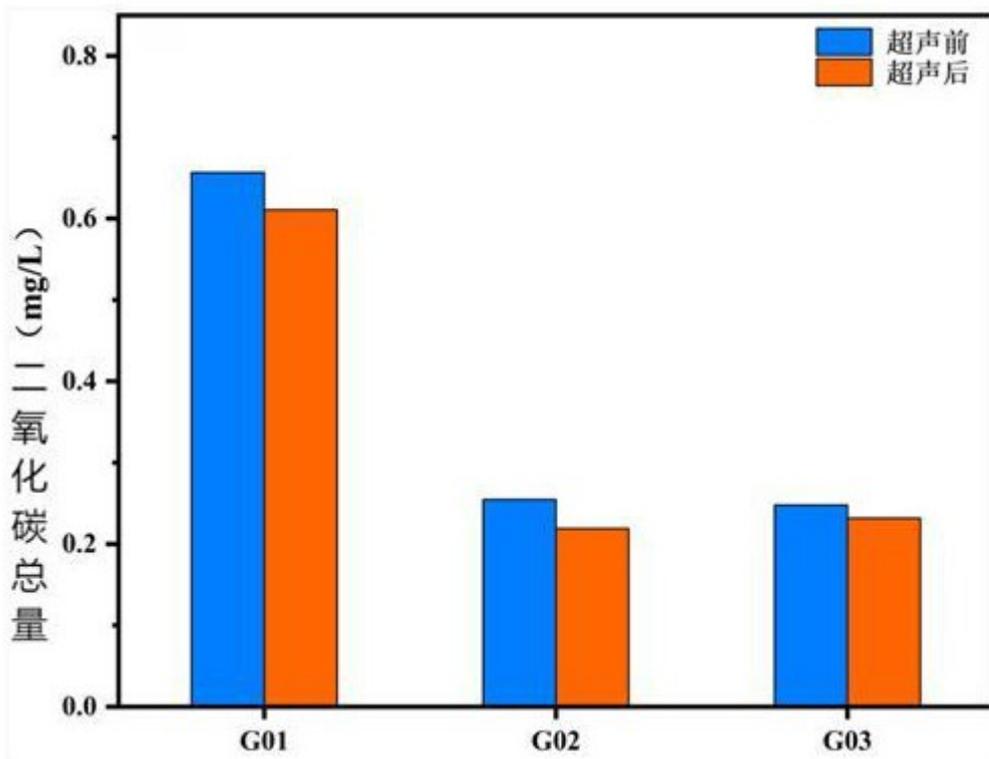


图 15

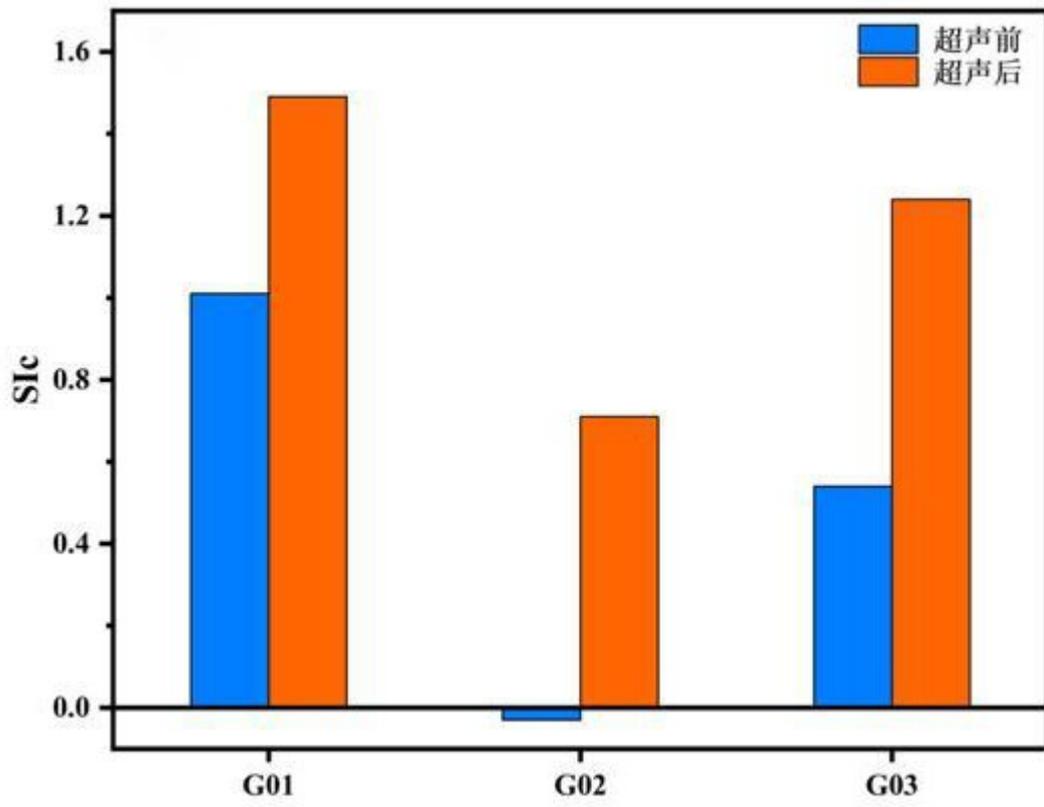


图 16

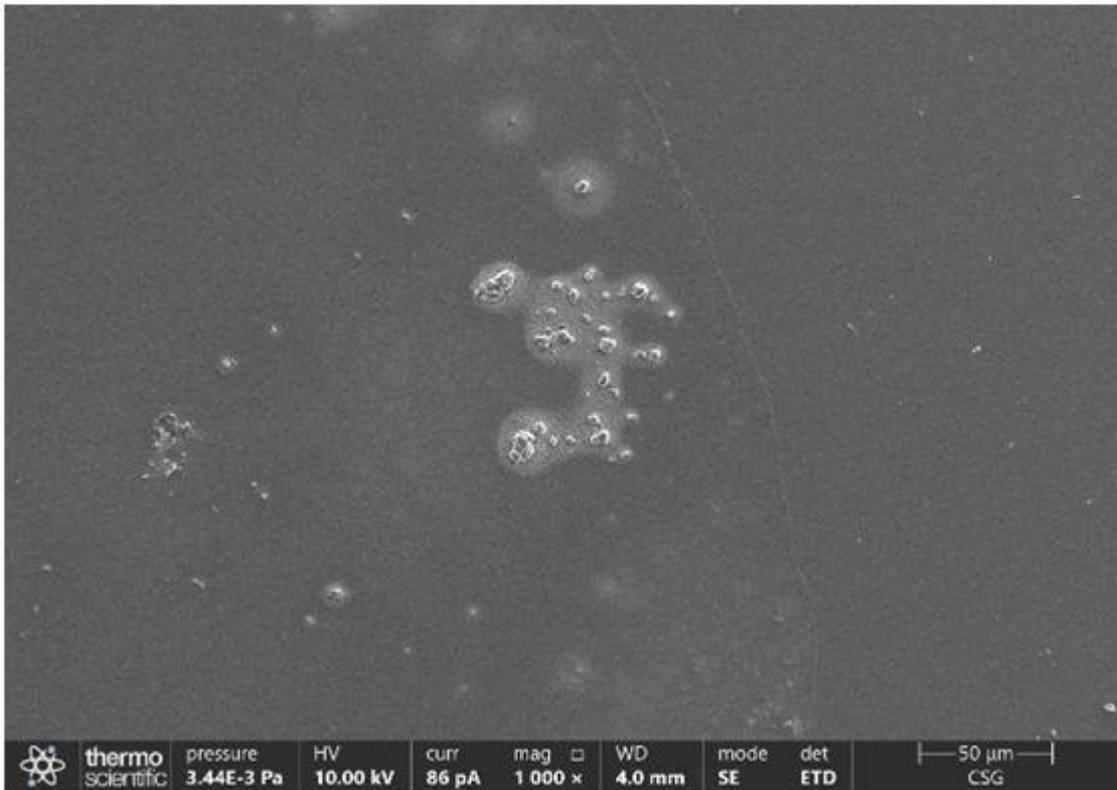


图 17

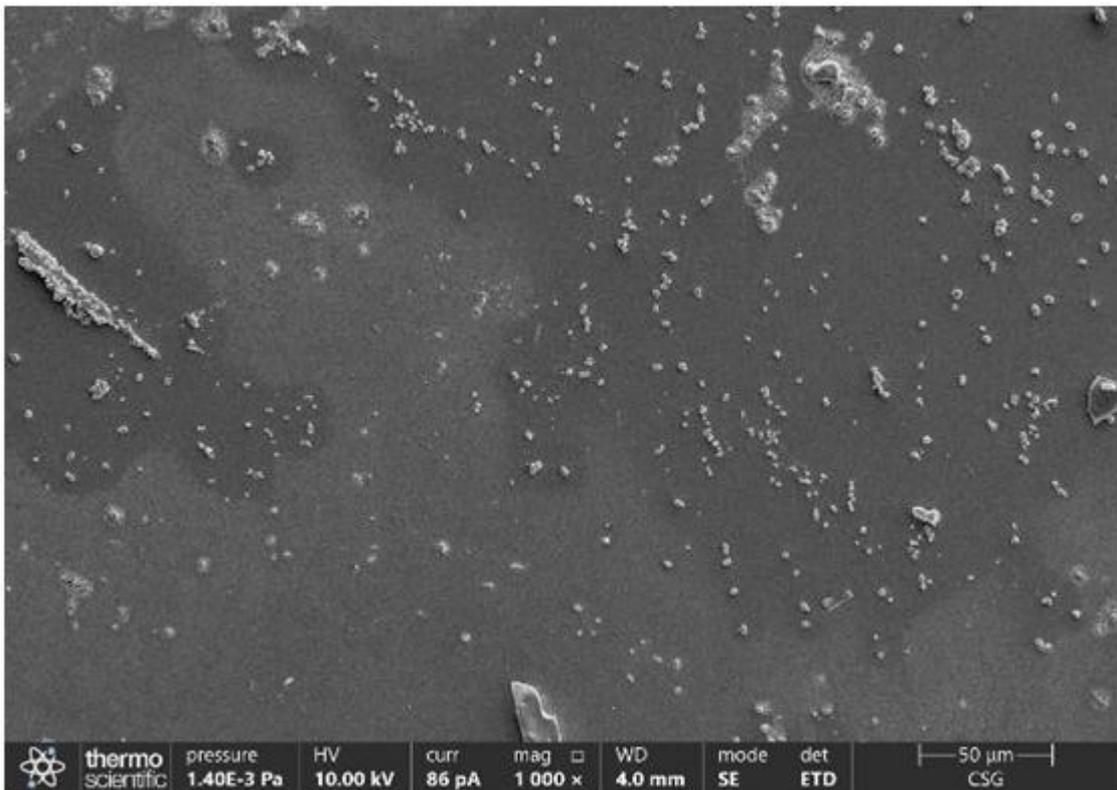


图 18

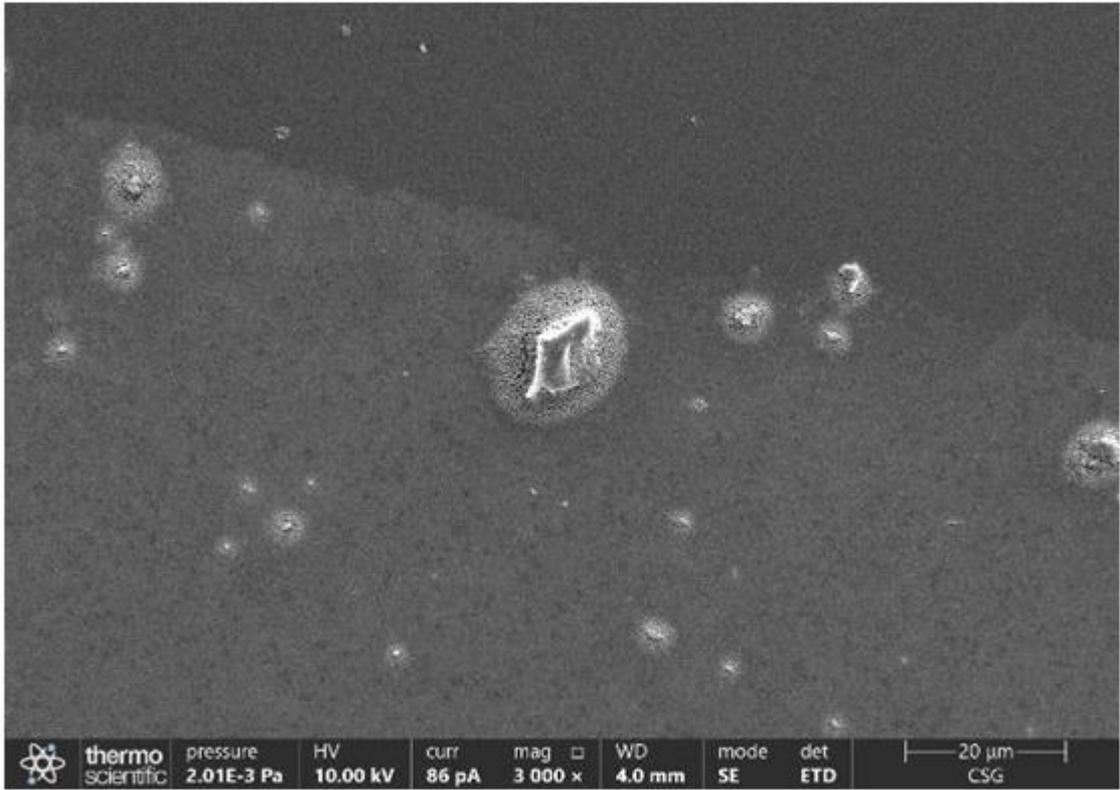


图 19

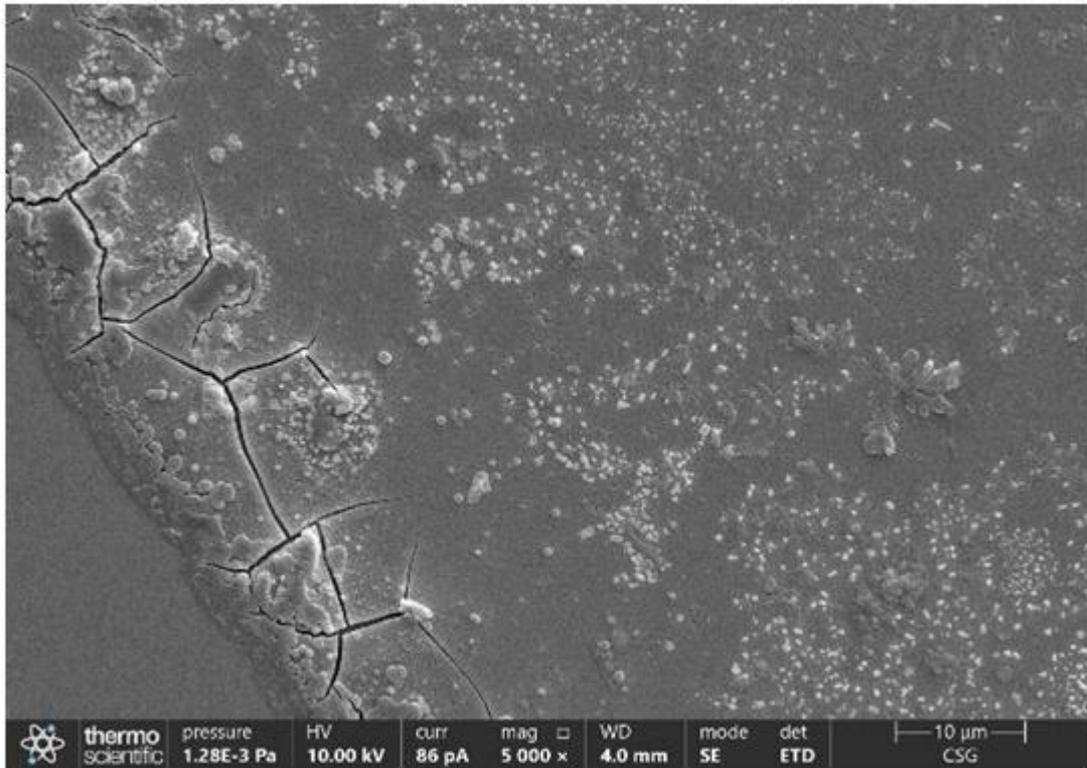


图 20

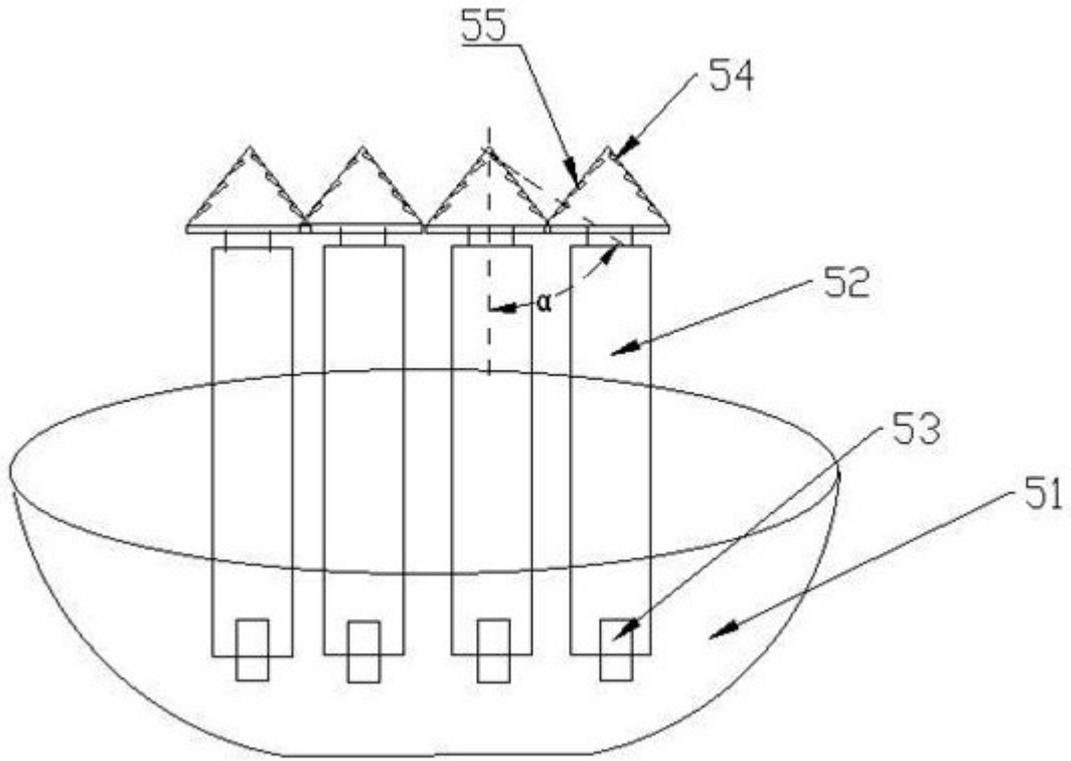


图 21

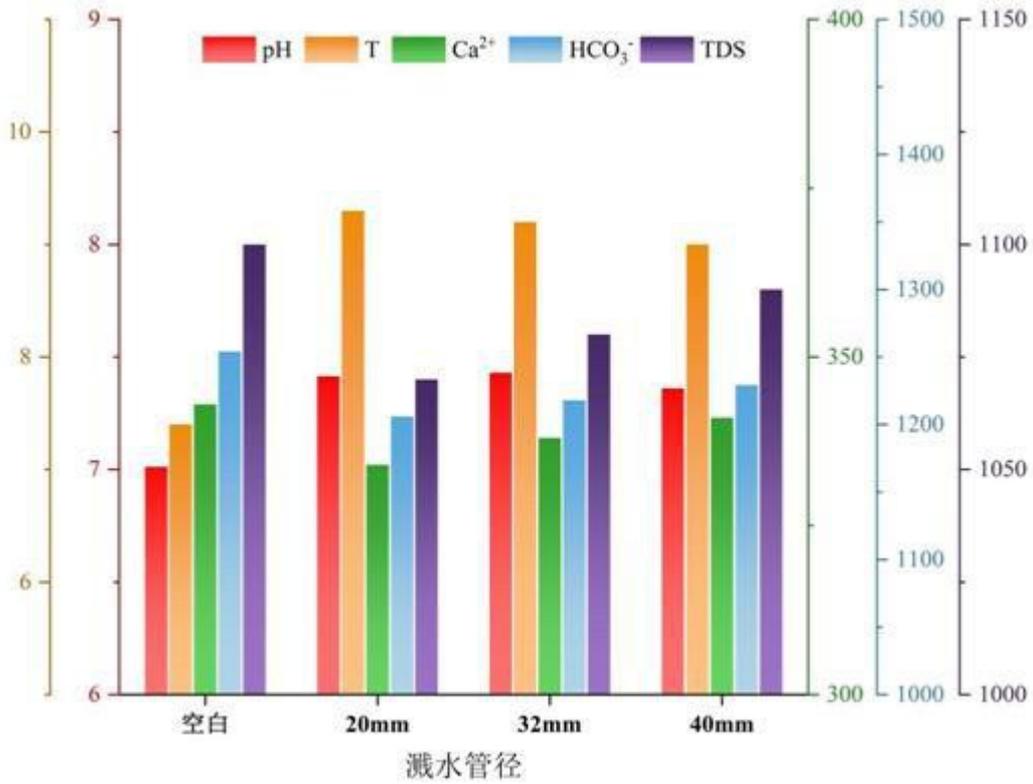


图 22

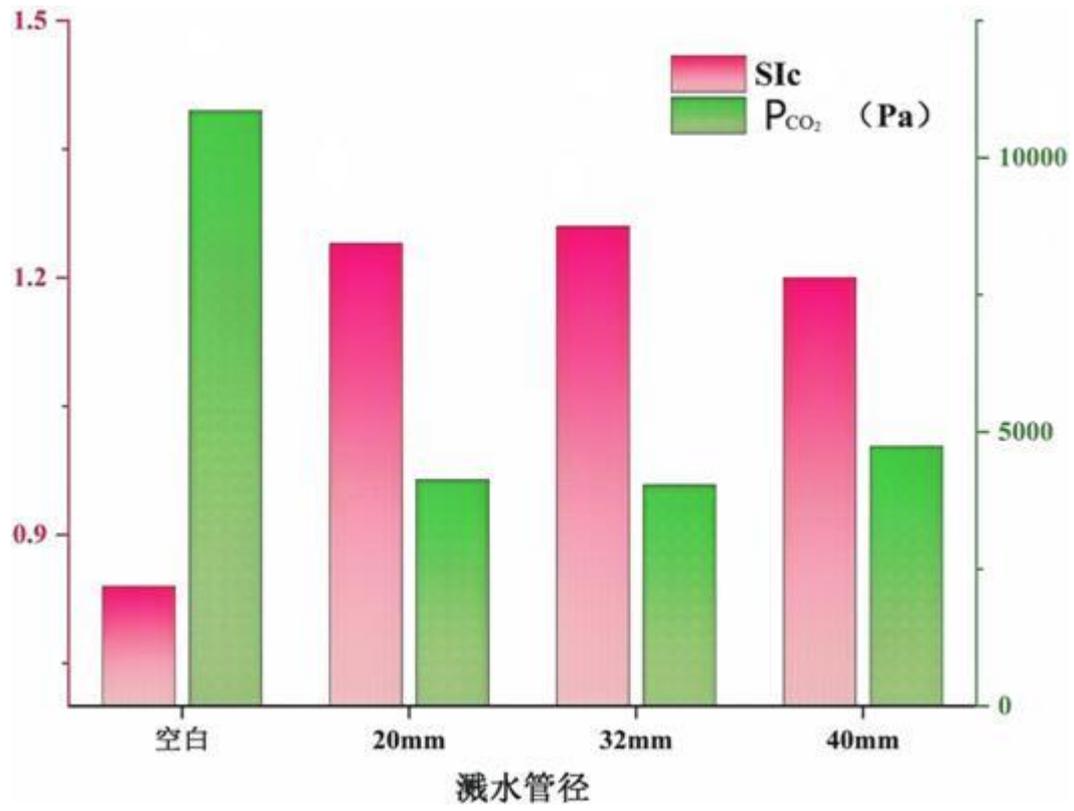


图 23

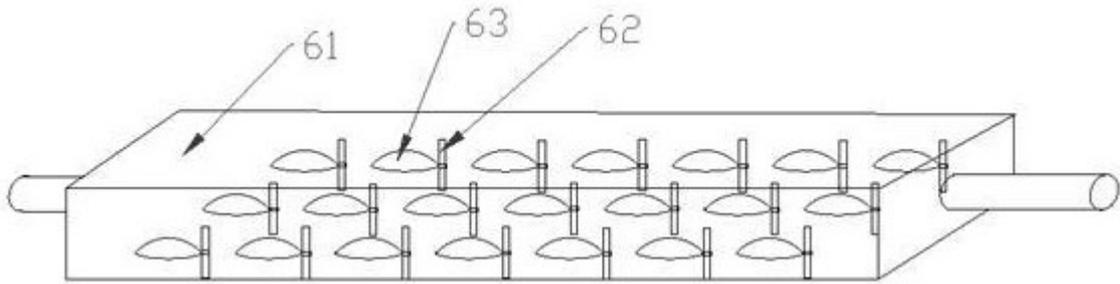


图 24

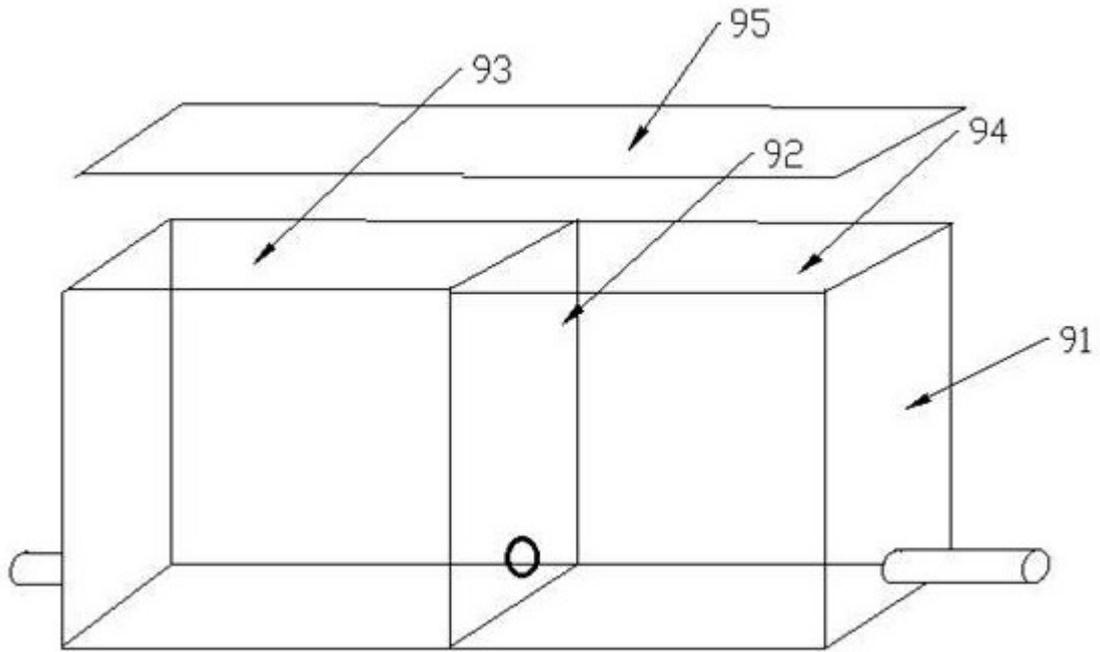


图 25

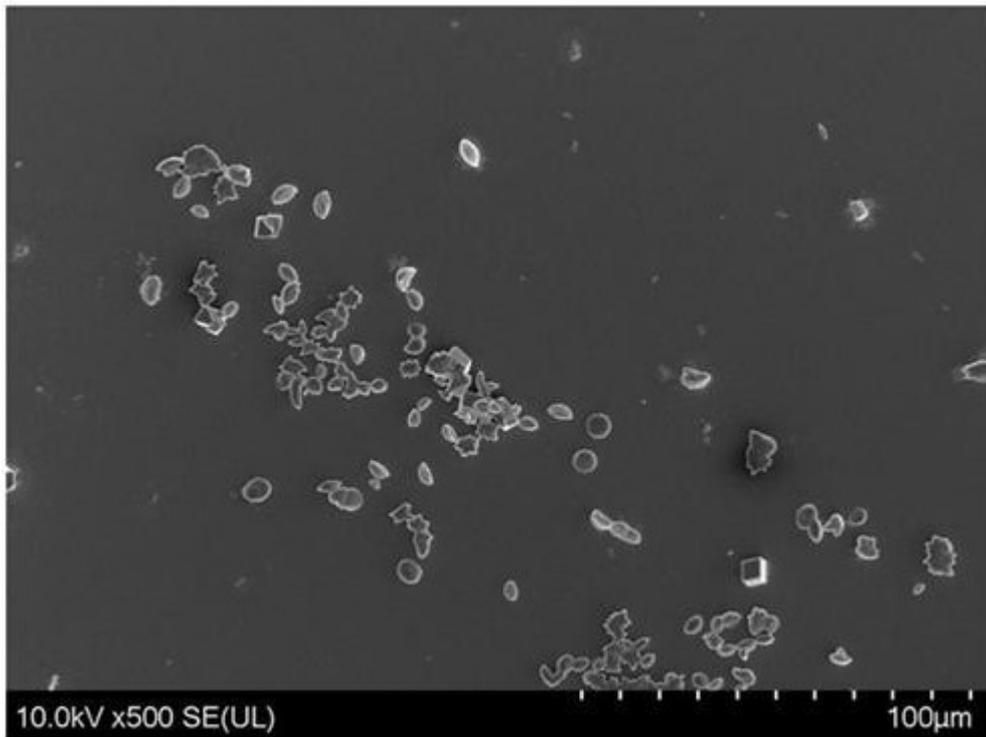


图 26

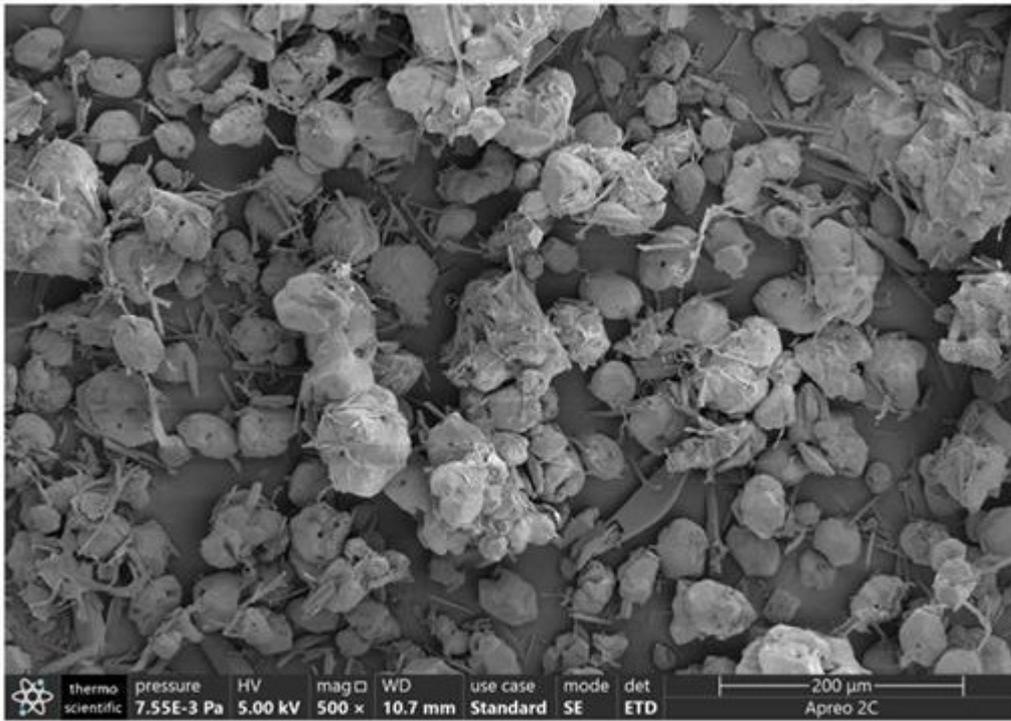


图 27

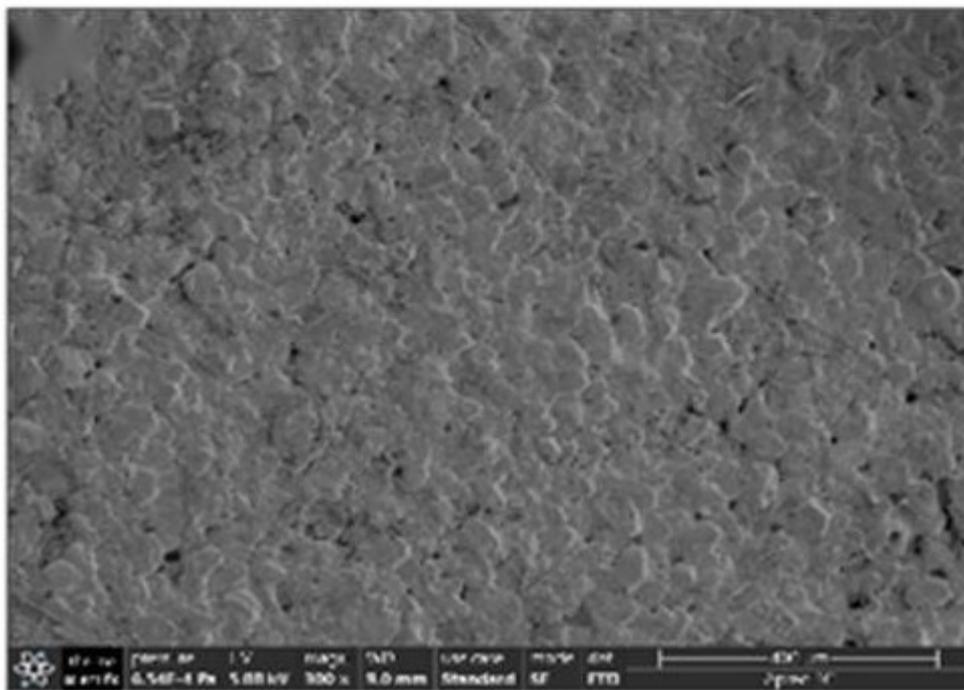


图 28

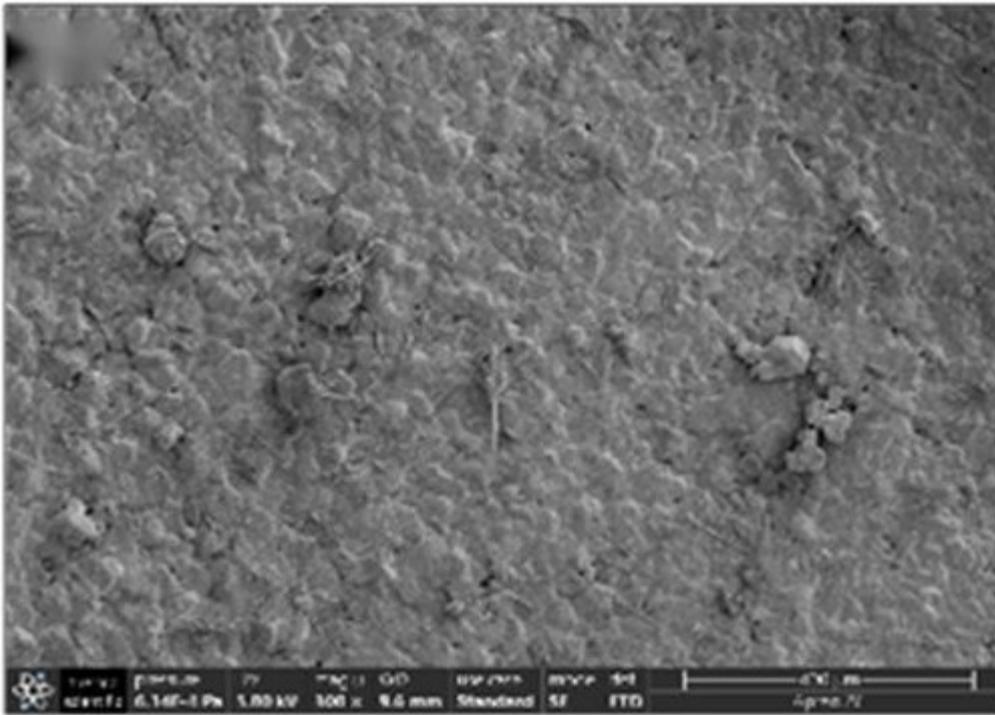


图 29

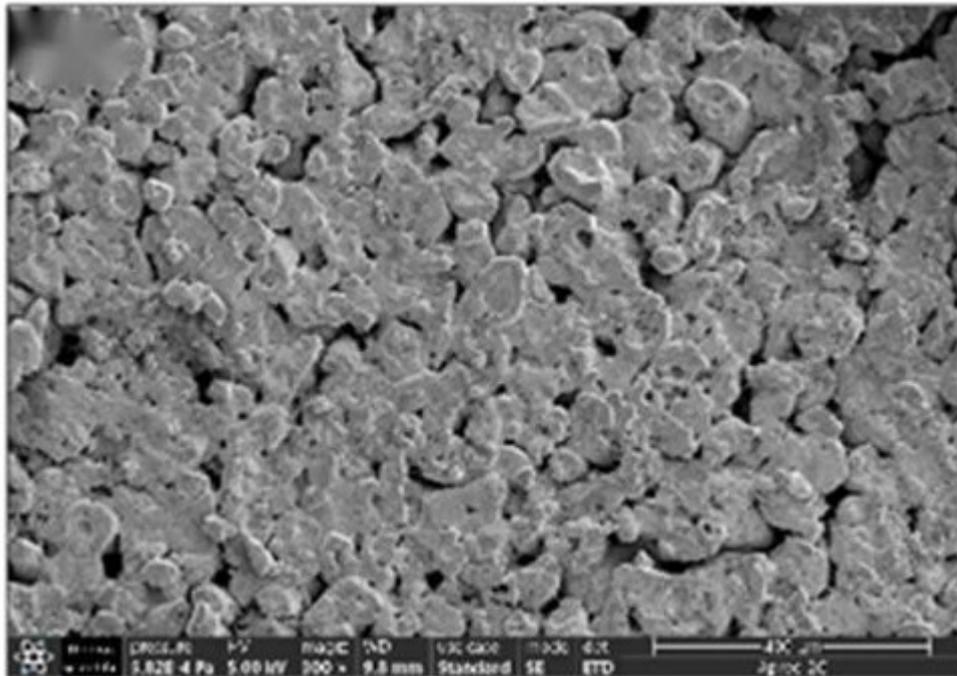


图 30

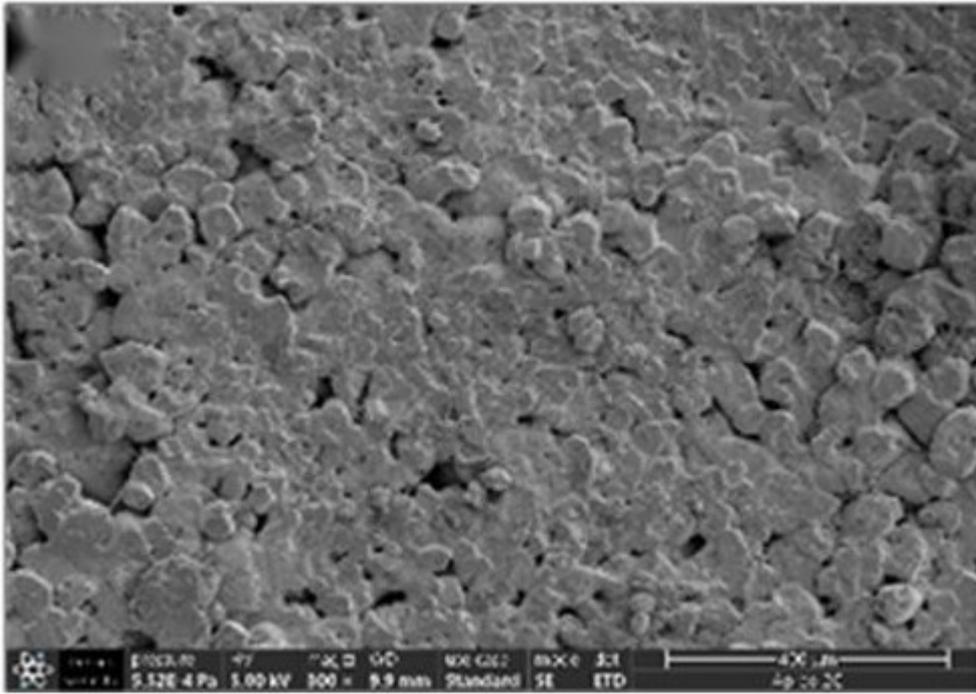


图 31

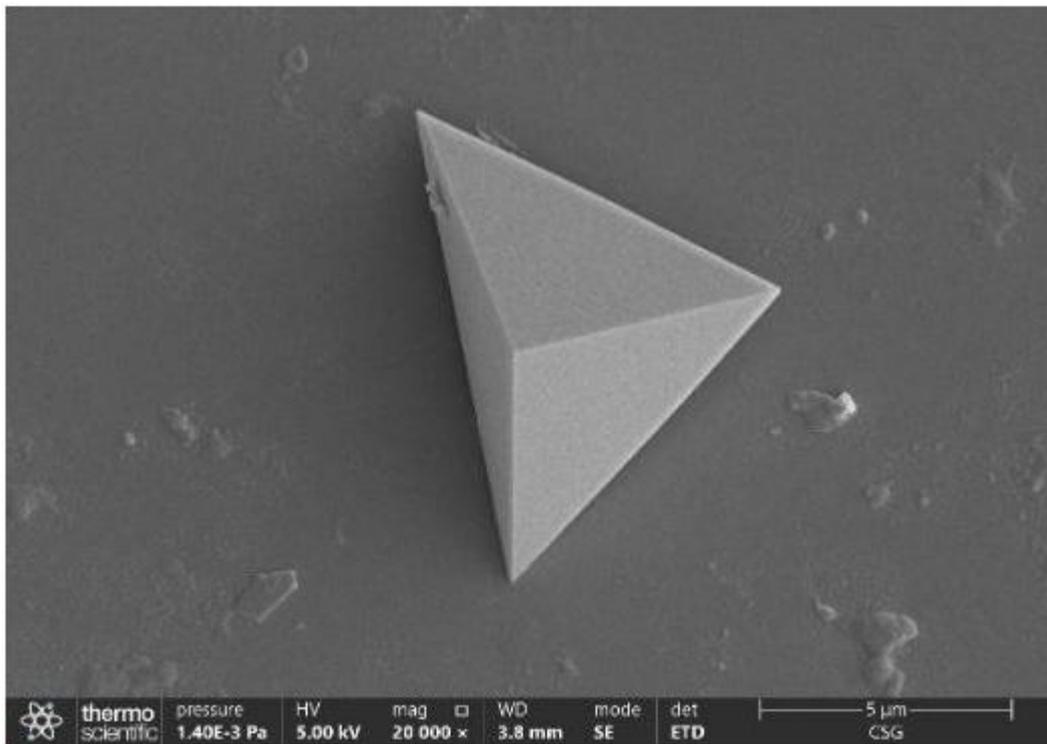


图 32

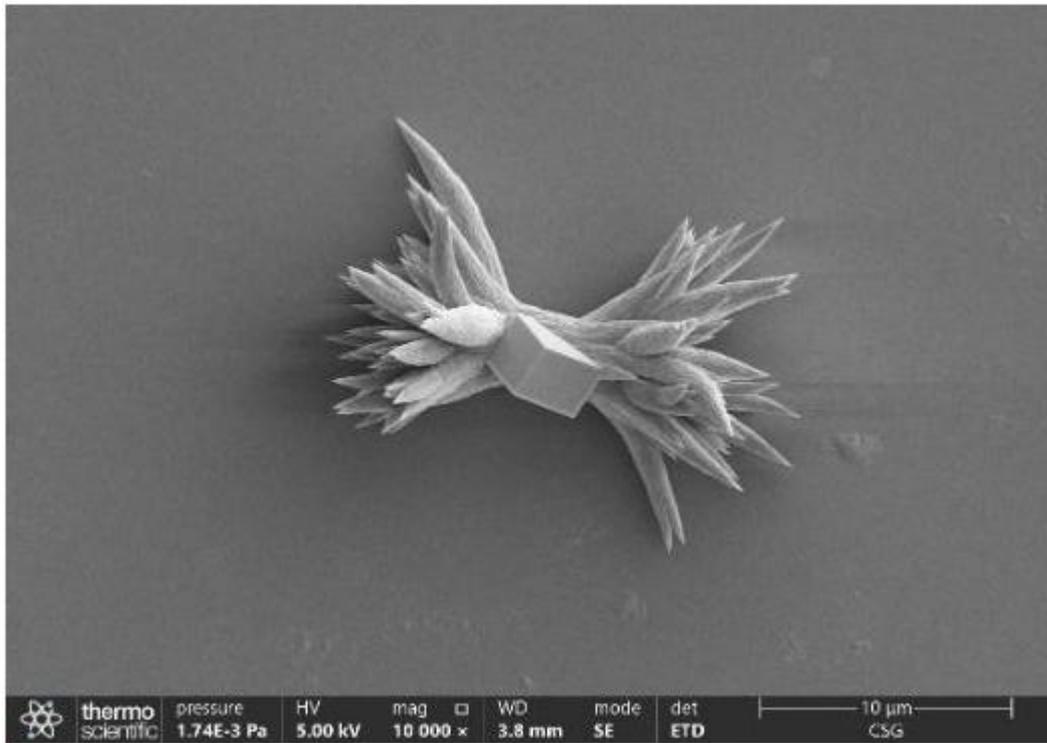


图 33

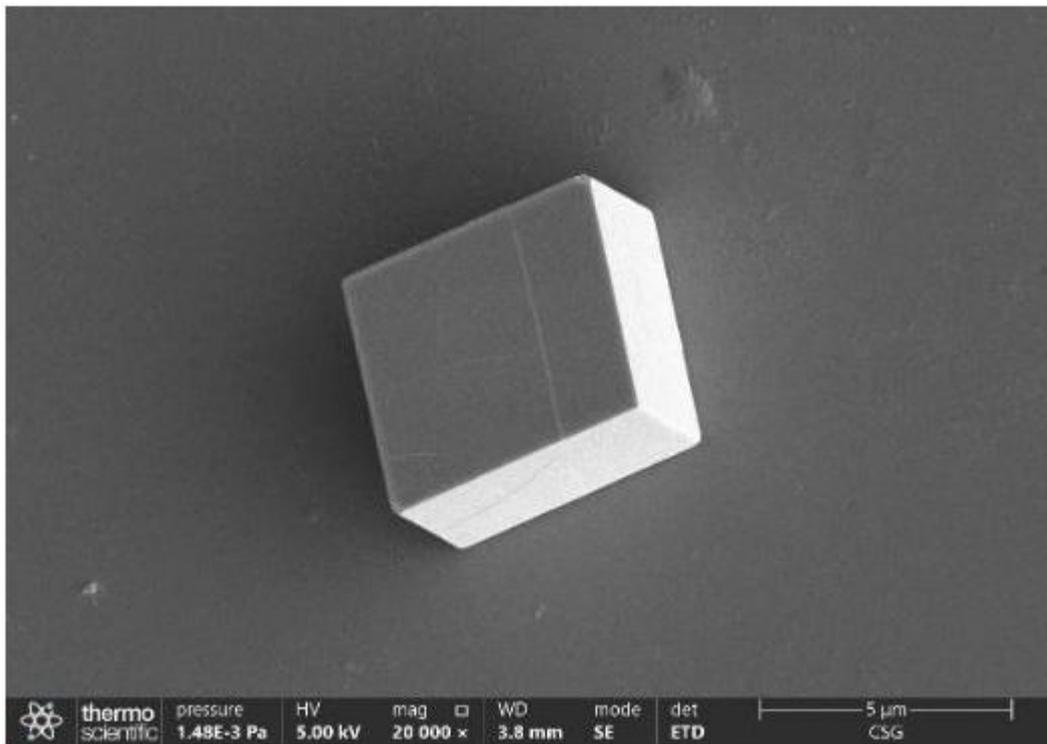


图 34

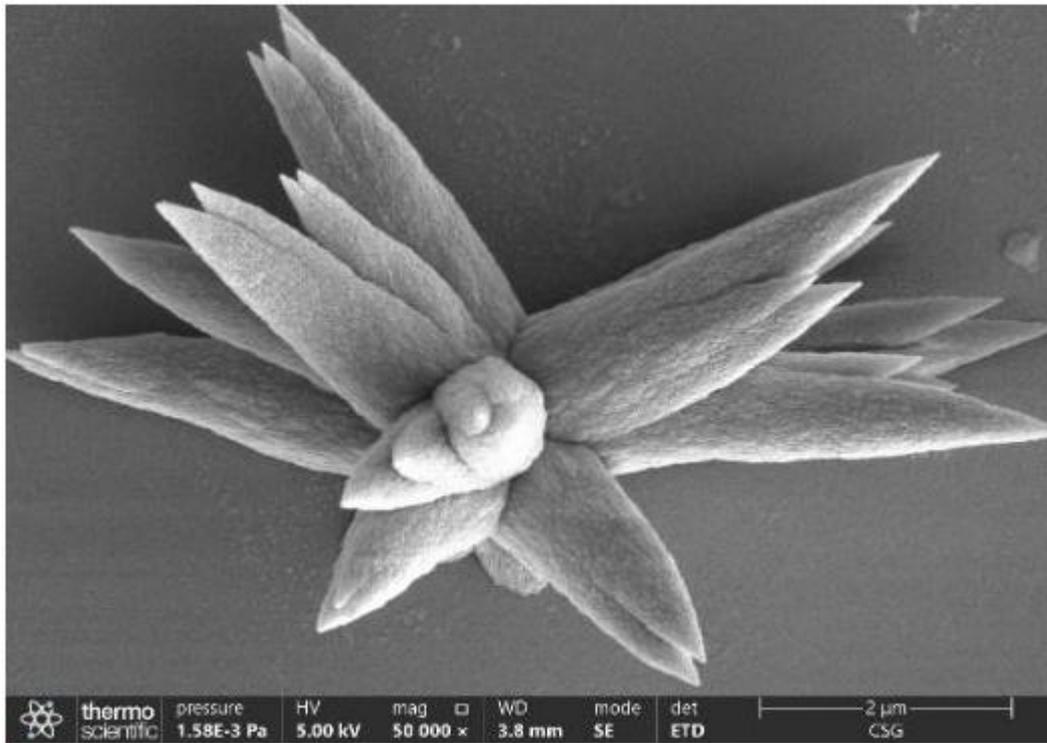


图 35



图 36



图 37



图 38



图 39