

3D 打印技术入门讲义

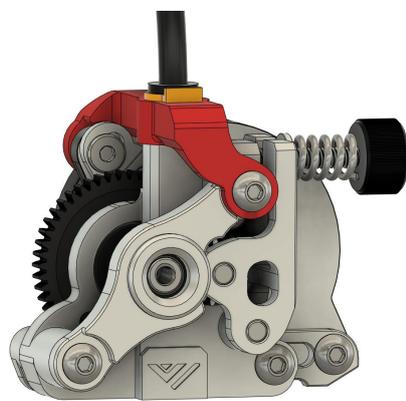
(2023 年 3 月 俞熹)

前言：

3D 打印是快速成型技术的一种，又称增材制造，它是一种利用计算机辅助设计软件来创建三维模型，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。3D 打印技术的优点包括可以快速制造原型和小批量产品，可以实现高度个性化的生产和设计，可以在不同材料之间进行转换，并且可以减少废料和减少生产成本。

常用的 3D 打印材料包括塑料、树脂、金属、陶瓷等，而 3D 打印应用领域广泛，包括汽车制造、医疗器械、建筑设计、航空航天等等。1986 年出现了第一台 3D 打印机，如今 3D 打印机已经相当普及，走进了千家万户。

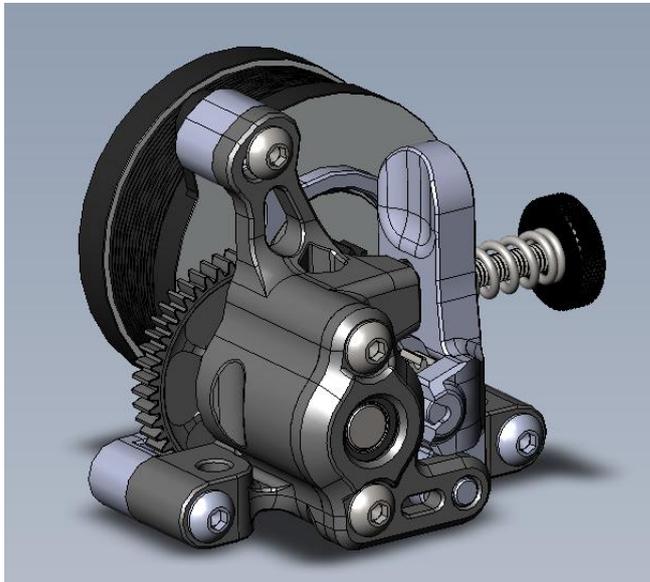
对我们来说，学习 3D 打印和 3D 打印机的基本原理、基本结构和组装过程一方面能帮助我们理解单片机的工作机制以及步进电机等器件使用方法，2D，3D 平台空间定位的知识等等。除此之外，掌握 3D 打印技术可以快速地设计和制作常见的实验零件和结构件，能够通过快速迭代完成原型设备的制造。



铝合金 CNC 制 挤出机



3D 打印制 挤出机



I. 3D 打印技术简介

A. 什么是 3D 打印技术

3D 打印技术是一种通过将数字模型转换为物理对象的技术，也被称为添加制造技术。该技术利用计算机辅助设计软件（CAD）或扫描仪来创建数字模型，并通过将材料层层堆积或固化来制造物理对象。这种技术可以用于制造各种形状和大小的对象，并已广泛应用于多个领域。

B. 3D 打印技术的发展历史

3D 打印技术最初是在 20 世纪 80 年代由 Chuck Hull 发明的，他是一位美国发明家和工程师。最初的 3D 打印机采用的是光敏树脂和激光照射来构建物理对象的方法。之后，许多其他技术被引入到 3D 打印中，包括熔融沉积成型、选择性激光烧结和喷墨打印等技术。这些技术的发展极大地提高了 3D 打印的效率和精度，并使其成为现代制造业的一种重要工具。

C. 3D 打印技术的应用领域

3D 打印技术的应用领域非常广泛，其中一些最重要的应用领域包括：

制造业：3D 打印技术可以用于快速制造原型，从而大大加快产品开发过程。它也可以用于制造定制件，减少库存和成本。

医疗领域：3D 打印技术可以用于制造医疗器械、义肢、人工器官等医疗产品。这些产品可以根据患者的特定需求进行定制，从而提高治疗效果。

教育领域：3D 打印技术可以用于学校和大学中的教学实验室，学生可以使用 3D 打印机制造模型和原型，并将其用于教学项目和研究。

艺术和文化：3D 打印技术可以用于制造艺术品和文物的复制品，保护和维护文化遗产。

航空航天：3D 打印技术可以用于制造航空航天零件，减少重量并提高航空航天设备的性能。

D. 3D 打印技术的特点

3D 打印技术的特点可以总结为以下几点：

- 制造的灵活性：**可以根据不同的需求制造出各种形状、大小、颜色、材质的物品，而且制造过程可以实现个性化定制，可批量生产也可单件生产。
- 制造的精度和精细度：**可以实现毫米级、亚毫米级的精度，可以制造出复杂的结构和形状，实现高精细度制造。
- 制造的速度和效率：**可以在短时间内完成设计、制作和打印的全过程，相比传统制造方式可以大幅提高生产效率和速度。

4. 可持续性和环保性：制造过程不需要大量的原材料和能源消耗，而且可以减少浪费和污染，符合可持续性和环保性要求。
5. 制造的多功能性：可以制造各种类型的物品，包括机械零件、生物医学产品、家居用品、玩具等多种类型，具有广泛的应用范围和市场需求。
6. 制造的创新性：可以实现自由设计和制造，可以创造出以前无法想象的形状和结构，具有创新性和发明性。
7. 制造的可重复性：可以精确地重复制造同样的物品，确保制造品质和一致性，有利于生产质量的稳定和提高。

E. 3D 打印技术的优缺点对比

优点：

- ◆ 可以制造复杂的几何形状，难以使用传统制造工艺实现的部件
- ◆ 可以快速生产定制化的产品
- ◆ 减少了材料的浪费，具有环保意义
- ◆ 降低了生产成本，提高了生产效率
- ◆ 便于在设计阶段验证产品的可行性和性能

缺点：

- ◆ 目前 3D 打印仍然存在生产速度较慢、制造尺寸有限等问题
- ◆ 打印出来的产品表面光滑度较低，需要后续处理
- ◆ 精度和强度仍有提高空间
- ◆ 需要使用特殊的材料和设备，成本较高

II. 3D 打印技术的基本原理

我们以**熔融沉积成型（FDM）**打印机为例，下图就是其工作流程简图，我们通过数字模型，切片软件和打印机的协同作用，可以实现快速、准确、精细的制造过程，同时还可以避免传统制造过程中的许多限制，如减材制造中原材料浪费、制造周期长等问题。

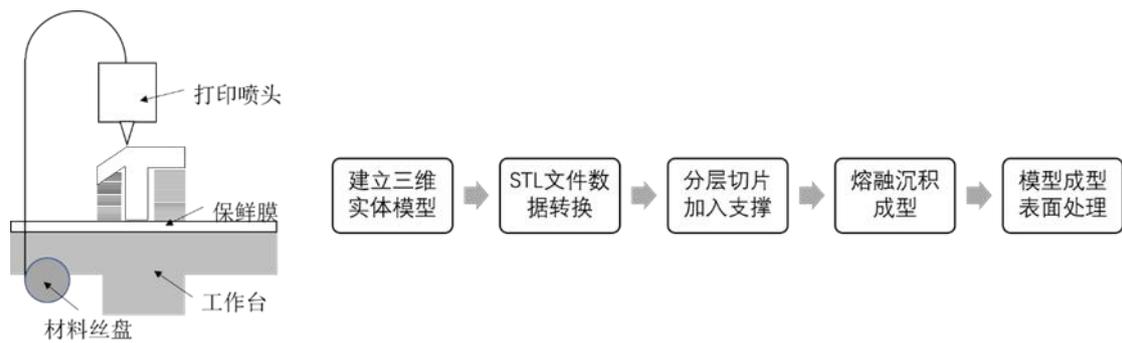
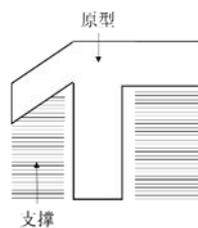


图 1 FDM 打印机结构与工作流程示意图

A. 增材制造

3D 打印技术采用的是增材制造（Additive Manufacturing）的方法，与传统的减材制造（Subtractive Manufacturing）方法不同，减材制造需要先把原料制成相应的形状，然后再通过加工去除不需要的部分，而增材制造则是将原料通过一层一层的叠加方式构建出所需的形状。下文中我们主要基于 FDM（熔融沉积建模）技术的打印机做进一步的说明。

熔融沉积成型过程具体为：将低熔点丝状材料通过加热器的挤压头熔化成液体，使熔化的热塑材料丝通过喷头挤出，挤压头沿零件的每一截面的轮廓准确运动，挤出半流动的热塑材料沉积固化成精确的实际部件薄层，覆盖于已建造的零件之上，并在内迅速凝固，每完成一层成型，x 轴滑台升高，喷头再进行下一层截面的扫描喷丝，如此反复逐层沉积，直到最后一层，这样逐层由底到顶地堆积成一个实体模型或零件。



FDM 成形中，每一个层片都是在上一层上堆积而成，上一层对当前层起到定位和支撑的作用。随着高度的增加，层片轮廓的面积和形状都会发生变化，当形状发生较大的变化时，上层轮廓就不能给当前层提供充分的定位和支撑作用，这就需要设计一些辅助结构 - “支撑”，如图 2 所示。本实验中的支撑和原型使用的 PLA 耗材是同一种，只是在打印的疏密不同。有的 3D 打印机使用两种特性不同的材料分别来打印支撑和原型，这种情况下去除支撑更容易。

FDM 的构造和操作简单，维护成本低，系统运行安全。而且可以成型任意复杂程度的

图 2 原型与支撑

零件，常用于成型具有很复杂的内腔、孔等零件。除此之外，原材料 PLA 在成型过程中无化学变化，制件的翘曲变形小，利用率高，且材料寿命长。但是，FDM 打印出的原型表面有较明显的条纹，与截面垂直的方向强度小，需要设计和制作支撑结构，成型速度相对较慢，不适合构建大型零件。

B. 3D 数字模型

3D 打印的第一步其实是制作数字模型，这是通过计算机辅助设计（CAD）软件(课程会介绍 Solidworks 软件的使用入门)或扫描现有的物体来完成的。数字模型是一系列离散的坐标点，这些点共同构成了一个三维几何体。数字模型可以以多种格式保存，但其中最常见的是 STL（STereoLithography）格式。

STL 格式之所以成为 3D 打印领域的标准格式，是因为它是一种简单且易于生成的格式。它的基本原理是将三维模型表面分解成许多小三角形，并将这些三角形表面的法线方向定义为模型的表面方向。STL 文件可以由几乎任何 CAD 软件生成，因此它成为了各种 3D 打印软件之间交换数据的标准格式。

在打印之前，数字模型必须经过准备处理。准备处理通常包括对模型进行修补、平滑和切片等操作，以确保模型可以被 3D 打印机正确处理并生成准确的模型。

ps: Solidworks 软件简介:

Solidworks 是一款常用的三维计算机辅助设计软件，其主要功能是帮助用户进行三维实体建模、表面建模、装配体设计和绘制工程图等操作，可以方便地将用户的设计转化为数字模型。

使用 Solidworks，用户可以创建各种形状的三维模型，例如机械零件、建筑模型、车身设计等。该软件的界面设计简洁直观，易于学习和使用，同时提供了丰富的工具和功能，支持用户进行快速的模型编辑和设计。用户在完成数字模型的设计和优化后，可以将其转化为可供 3D 打印机打印的 STL 文件格式，进而实现快速、精准的打印过程。

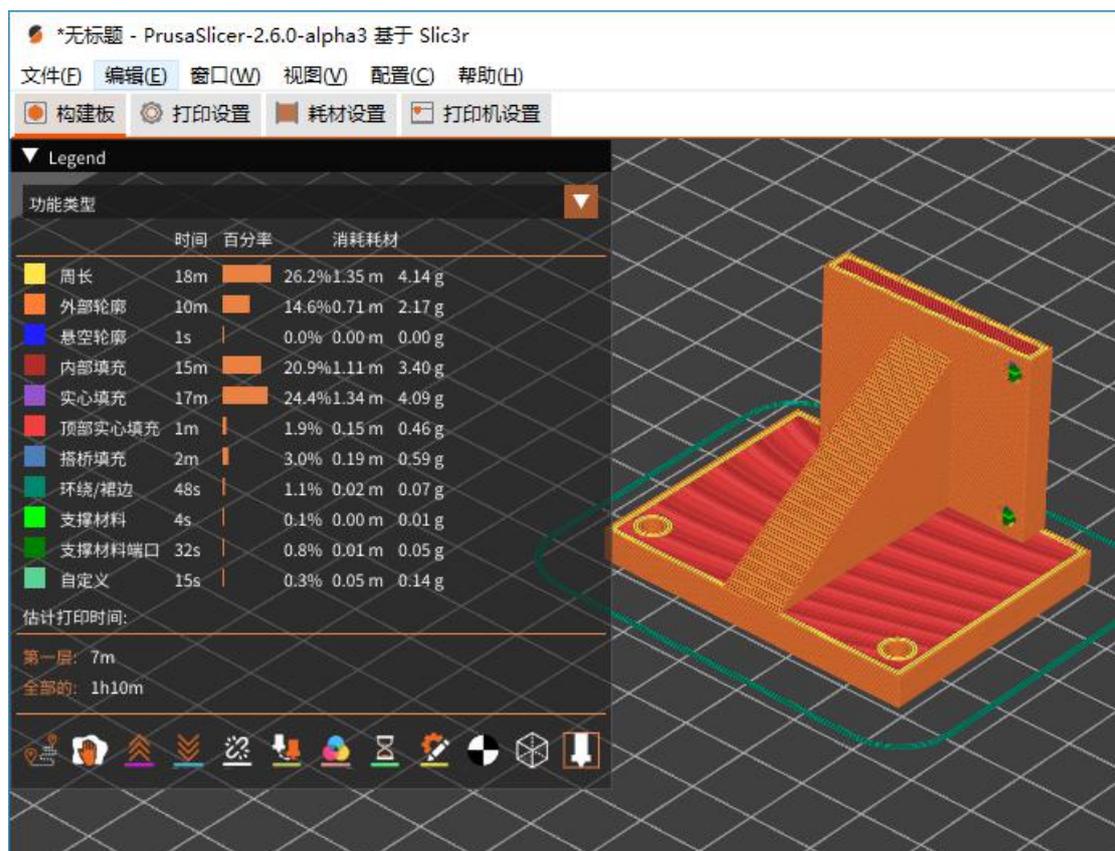
C. 切片软件

数字模型需要经过切片软件的处理，将其分解成逐层打印的指令，每一层都会指定打印头的轨迹和温度等参数。切片过程也包括对支撑结构的生成，以确保打印过程中物体不会变形

或倾斜。

常用的切片软件有 Cura、Slic3r、PrusaSlicer 等。

我主要推荐使用的 PrusaSlicer 是一个免费的开源切片软件，广泛应用于 3D 打印领域。它支持多种 3D 打印机型，并且具有很强的自定义功能。用户可以根据自己的需求对打印参数进行调整，如层厚、打印速度、填充密度等。PrusaSlicer 还支持生成支撑结构，以保证打印成功率。除此之外，PrusaSlicer 还提供了一些高级功能，如变形补偿、镜像打印等，方便用户进行复杂打印。后面我将专门展开说明该软件的使用方法。



D. 打印

经过切片软件处理完成的文件(一般是 gcode)会被传输到 3D 打印机上，打印机会根据指令逐层制作物体。打印过程中，原材料会被加热融化，并通过打印头喷出，依照指定的轨迹逐层堆叠，形成所需的物体。完成后需要去除支撑结构和打磨等后处理。

以上就是 3D 打印技术的基本原理。



III 3D 打印技术的常见分类。

A. 按材料分类

3D 打印材料种类繁多，以下是常见的几类材料：

1. 塑料类材料：最常用的 3D 打印材料之一。常见的塑料材料有 ABS、PLA、PETG 等，具有低成本、易加工和可塑性强等特点。这类材料适用于打印模型、工具和零部件等应用。
2. 金属类材料：金属类材料主要用于打印高强度、高温、高压力和高精度零部件，常见的金属材料有钛合金、铝合金、不锈钢等。
3. 生物材料：生物材料包括生物陶瓷、生物金属、生物聚合物等，主要用于医学、牙科和人工器官等领域，具有生物相容性好、可降解、生物功能等特点。
4. 纤维类材料：纤维类材料主要用于打印纤维增强材料、复合材料和纤维素等。这类材料的打印品具有高强度、高刚性和低重量等特点，适用于航空、汽车和建筑等领域。

5. **陶瓷类材料:** 陶瓷类材料主要用于打印陶瓷制品和复杂结构的陶瓷零件等, 具有高温耐性、抗腐蚀等特点。

以上是常见的几类材料, 随着 3D 打印技术的不断发展和应用, 新的材料也在不断涌现。

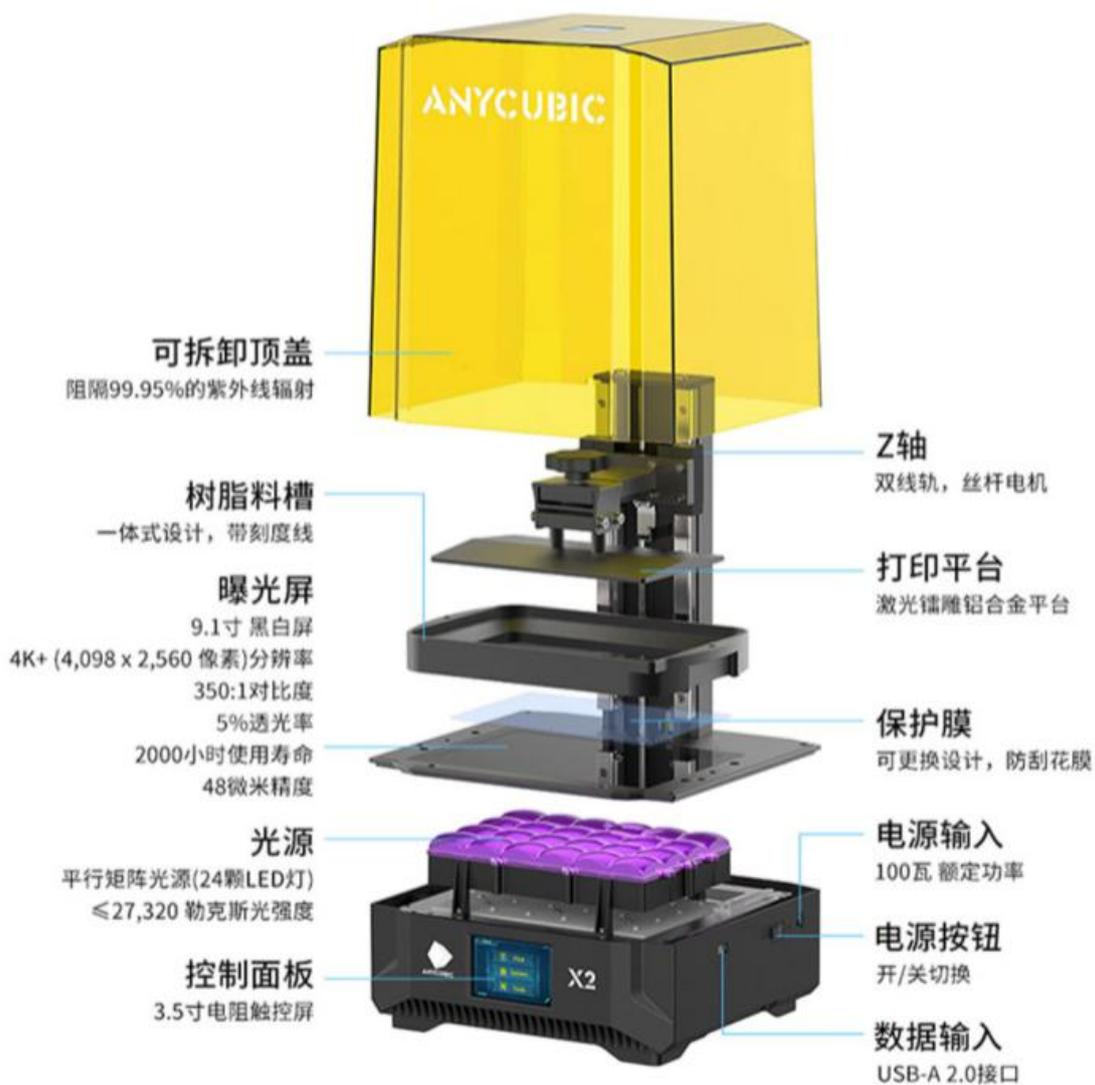
B. 按打印技术分类

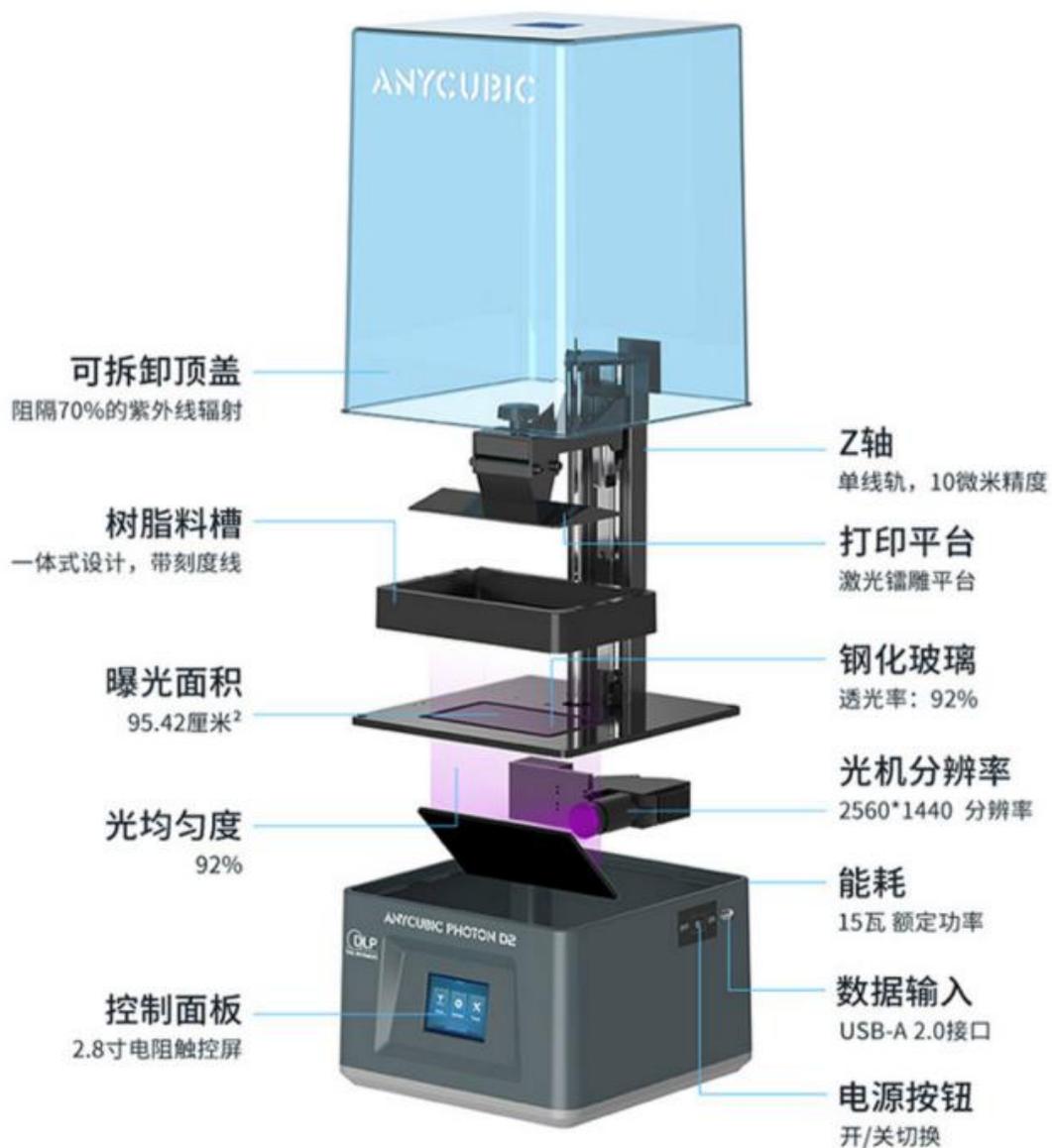
根据打印技术的不同, 3D 打印可以分为以下几种类型:

1. **熔融沉积成型 (FDM):** 这种技术最常见, 也是最易于理解的一种。它使用热塑性材料, 在 3D 打印机的打印头中熔化, 并将材料层层堆叠, 最终形成所需的物体。本次教程我们主要关注这一技术领域, 所以在这里就不赘述了。
2. **光固化成型 (SLA), 数字光处理 (DLP):** 这两种技术都是使用激光或紫外线光束, 将液态光敏聚合物逐层固化成为固态物体。这也是目前相当常见的技术, 所以我们展开说一下: 它们都属于光固化类别的打印技术, 使用光敏材料进行打印。它们的不同点主要在于光源和投影方式。

SLA 技术是一种使用激光或 LED 光源进行打印的 3D 打印技术。打印时, 光源通过液晶屏后, 呈现相应的该层图案后, 到达液体树脂材料的表面, 使其逐层固化。固化后的层会附着在打印平台上, 随着打印平台的向上移动, 新的液体材料会被注入下方料槽打印区域, 再次固化。这个过程会一直重复, 直到整个模型被打印出来。

DLP 技术则是使用数字光处理技术取代了液晶屏, 直接形成每层的图案进行打印。





3. **粉末烧结成型 (SLS):** 使用高功率激光器将粉末材料烧结成型。这种技术可以使用多种材料，包括聚合物、金属和陶瓷。
4. **电子束熔化成型 (EBM):** 类似于 SLS，但使用电子束熔化金属粉末。
5. **选择性激光熔化成型 (SLM):** 类似于 EBM，但使用激光器来熔化金属粉末。

C. 按应用领域分类

根据应用领域的不同，3D 打印技术也可以被分为以下几种类型：

1. **医疗保健**：可以用于制造假肢、牙齿、人体器官等，现在常见的牙齿纠正技术。

这里对于现在的牙齿纠正技术中，牙套的制造已经都是使用 3D 打印技术完成了。在传统的牙套制造中，需要牙医为患者进行多次现场调整和拍摄，然后将拍摄的资料发送给制牙技师，制作出适合患者的牙套。而使用 3D 打印技术，制牙技师可以根据患者口腔的 3D 扫描数据，直接在计算机上设计并制造出符合患者口腔形态的定制牙套，大大缩短了制作周期，提高了生产效率，降低了成本。

此外，3D 打印技术还可以实现不同种类的牙套，如隐形牙套、矫正牙套、保持牙套等的生产制造。相比传统制作工艺，3D 打印技术制造出的牙套可以更加符合患者的口腔形态和需求，减少对患者口腔的刺激和损伤，提高了患者的矫正效果和使用舒适度。因此，3D 打印技术在牙科领域的应用前景非常广阔。

2. **航空航天**：3D 打印技术可以用于制造航空航天部件，这些部件可以更轻、更强，从而提高飞行器的性能。
3. **工业制造**：3D 打印技术可以用于制造模型、工具、零件等，提高生产效率和降低成本。
4. **建筑**：3D 打印技术可以用于建筑原型、模型和建筑构件，使建筑过程更快捷、更经

IV.3D 打印技术的未来发展趋势

A. 材料创新

随着 3D 打印技术的不断发展，越来越多的新材料被引入到 3D 打印中，如陶瓷、金属、陶瓷、生物可降解材料等。这些材料的引入为 3D 打印应用提供了更广泛的可能性，为许多行业和领域的创新带来了机遇。

其中，金属 3D 打印技术的发展尤为引人注目。传统的金属加工通常需要雕刻、铸造和机

加工等复杂的工序，但金属 3D 打印技术可以直接将金属粉末加热成型，可大大减少成本和时间，同时能够制造出更为复杂的金属零部件。这一技术在航空、汽车、医疗和军事等领域具有广泛的应用前景。

另外，3D 打印材料的研究还面临着许多挑战，如打印精度、强度和可持续性等。未来的研究方向包括开发更加高性能的材料、提高打印精度和速度、降低成本以及推动可持续发展的材料。

B. 智能化制造

随着 3D 打印技术的不断发展，智能化制造成为了未来的重要趋势。智能化制造可以将生产过程中的自动化、数字化、网络化等技术进行有机结合，实现生产过程的高效、智能化管理。

一方面，智能化制造可以将 3D 打印技术与人工智能技术结合，实现智能设计、智能制造、智能检测和智能维护。例如，3D 打印技术可以实现高精度的生产，而人工智能技术可以实现自动化的生产控制，使得生产效率和质量得到了进一步提高。此外，智能化制造还可以利用互联网、物联网等技术，实现生产过程的实时监测、远程控制、预警预测等功能，提高生产过程的效率和可靠性。

另一方面，智能化制造还可以实现个性化定制，为消费者提供更加个性化、多样化的产品。通过结合 3D 打印技术和大数据技术，可以实现对消费者需求的深入分析，从而实现量身定制的生产，满足不同消费者的个性化需求。

总之，智能化制造是未来 3D 打印技术发展的重要趋势，可以进一步提高生产效率和产品质量，同时也可以为消费者提供更加个性化、多样化的产品。

C. 大规模定制

传统制造业生产方式是批量生产，这意味着需要制造大量相同的产品来实现经济效益，而 3D 打印技术则提供了大规模定制的可能性。3D 打印技术能够基于数字模型，通过对模型

进行定制化的修改，快速地生产出符合个性化需求的产品。

例如，在医疗领域，利用 3D 打印技术可以制造符合患者个性化需求的医疗器械和假体，这种技术已经被广泛应用于手术前的虚拟手术模拟、手术计划以及术中手术指导等方面，为医生提供了更好的手术准备和治疗效果。

在消费品领域，3D 打印技术可以制造出符合消费者个性化需求的定制产品，例如，定制化的首饰、鞋子、眼镜等等。这种定制化的生产模式将打破传统制造业的批量生产模式，向着大规模定制化方向发展。

未来，随着 3D 打印技术的不断发展和普及，大规模定制化将成为一种重要的生产模式，越来越多的企业和消费者将采用这种方式来生产和获取符合个性化需求的产品。

D. 3D 打印技术与人工智能、物联网等技术的融合

随着人工智能和物联网技术的不断发展，3D 打印技术也在逐渐与这些技术进行融合，实现更高效、更智能的制造过程。一方面，人工智能可以应用于 3D 打印的各个环节，例如优化设计、自动化切片、打印参数优化和质量控制等。通过使用机器学习和数据分析技术，人工智能可以更好地理解 3D 打印过程中的复杂变量，并为打印过程提供更精确的控制和监测，从而提高打印效率和质量。

另一方面，物联网技术也可以与 3D 打印技术进行集成，实现制造过程的智能化。通过将各种传感器和控制设备连接到互联网上，制造商可以实时监测 3D 打印设备的运行状态、温度、湿度等环境参数，并对其进行远程控制和管理。这有助于提高设备的可靠性和效率，并能够更快地响应可能出现的问题和故障。

总之，人工智能和物联网技术与 3D 打印技术的融合将为制造业带来更多的机会和挑战。通过利用这些技术的优势，制造商可以更好地应对市场需求和产品定制的挑战，实现更高效、更智能和更可持续的制造过程。

E. 生态可持续性

随着环保意识的不断提高，3D 打印技术的生态可持续性也越来越受到关注。目前，有些公司已经开始探索可持续的 3D 打印解决方案，例如利用可降解的生物基材料来制作耗材，以减少对环境的影响。此外，还有一些研究致力于将废旧塑料或者其他废弃材料转化为 3D 打印材料，以实现资源的再利用。

另外，一些新的 3D 打印技术也在不断涌现，例如微型 3D 打印、多材料 3D 打印、快速 3D 打印等，这些技术的应用将有望进一步推动 3D 打印技术的发展和生态可持续性的提高。

总之，未来的 3D 打印技术将不仅关注产品的质量和效率，同时也会更加注重环保和可持续发展。

V. 总结和展望

总的来说，3D 打印技术的出现和发展为制造业带来了巨大的变革和机遇，它使得定制化、快速生产、低成本制造等变得更加容易，同时也为设计、医疗、建筑等领域提供了更多可能性。

在未来，随着材料的不断创新、智能化制造的推广、大规模定制的普及以及生态可持续性的追求，3D 打印技术将会越来越广泛地应用于各个领域。与人工智能、物联网等技术的融合将进一步加速 3D 打印技术的发展，使其更加高效、智能、可持续。

然而，3D 打印技术也面临一些挑战，例如成本、速度、精度、安全等方面的问题，需要不断地进行技术创新和优化。同时，法律、知识产权等方面的问题也需要得到更好的解决。

综上所述，3D 打印技术是一个充满活力和潜力的领域，我们期待着它在未来能够不断创新和发展，为人类带来更多的创新和惊喜。我们也将在今后的课程中持续继续前进，领略 3D 打印技术的魅力！