

绪 论

世界环发大会提出了可持续发展的战略，中国工业持续发展要建立在资源的可持续利用和良好生态环境基础上，而控制环境污染、进行废物处理与资源回收，都离不开环保装备。目前我国在环境污染控制的工艺技术研究、开发方面做了不少工作，取得了令人瞩目的成绩；但污染控制除了必须具有先进的工艺技术，同时还必须有高效、节能、廉价、耐用、易操作使用的处理设备。因此，促进中国环保装备制造的发展与加强管理能力建设，是实现中国可持续发展战略的主要组成部分和重要保证。

环保产业是当今世界四大支柱产业之一，是今后世界产业发展的热点和重点。它为环境保护提供主要物质基础和技术支撑，是国民经济中愈来愈重要的组成部分。环保产业要依靠环保装备的支撑，没有先进的环保装备这个物质基础，环保产业就没有根基。鉴于此，有关专家指出，环保机械工业正面临着前所未有的发展机遇。中国把环保产业列入优先发展领域，提出了“积极扶植、调整结构、依靠科技、提高质量、面向市场、优质服务”的指导思想，在投资、价格、税收等方面给予优惠政策，鼓励环保产业的发展。

经过 1970 年代的初创和 1980 年代的摸索，我国环保机械工业在 1990 年代有了高速发展。我国环保产业的年产值从 1993 年的 312 亿元增长到了 2000 年的 1080 亿元，年均增长率在 15% 以上，超过了同期国民经济增长的速度。“十五”期间，我国环保产业总产值年均增长率仍将保持在 15% 左右。预计到 2005 年，我国环保产业总产值将达到 2000 亿元，约占同期 GDP 的 1.4%，其中环保设备（产品）生产 550 亿元，占 27.5%；资源综合利用产值 950 亿元，占 47.5%；环境服务产值 500 亿元，占 25%；到 2010 年，其产值将超过 2500 亿元，约占当年 GDP 的 2%，规模将达到中等发达国家水平。

有关专家预言，环保机械与设备作为一个新兴产业，有望从一个幼稚行业成长为一个具有一定规模、在机械工业中占有较大比重、服务领域较为宽广、投入产出比较高、对国民经济发展有较大影响的机械工业支柱产业。目前正在实施的可持续发展战略，使环保机械工业义不容辞地承担起了为“生态环境的良性循环和自然资源的永续利用”提供技术装备的任务。

我国环保产业目前已发展到一个相当的规模和水平，某些环保产品和技术已达到甚至超过国际先进水平。但由于起步较晚，并受相关产业技术水平的制约，总的来说还是一个很不成熟的产业。随着我国加入 WTO，潜力巨大的国际环保市场需求也给我国的环保产业提供了良好的发展机遇。利用我国的后发优势，环保产业将成为国民经济新的增长点。

一、环保机械与设备的定义

关于环保机械与设备的定义，到目前为止尚未见确切报道。“机械”一词是机构

(mechanism) 和机器 (machine) 的总称；而“设备”是“由工业和建筑安装部门制造和建造出来的，能够在社会生产和生活中发挥物质手段的物质资料。”因此，从环境污染控制的角度，我们可以把环保机械与设备定义为用于防治环境污染和改善环境质量的机械产品、设备、构筑物及其系统；然而，从可持续发展理念的角度，我们应当把环保机械与设备定义为用于资源与能源的循环利用、用于控制污染的清洁生产工艺过程和改善环境质量的机械产品、设备、构筑物及其系统。因此，环保机械与设备从属于环保产业体系，是环保产业体系的重要组成部分。

二、环保机械与设备的分类

(一) 按功能分类

环保机械与设备按其功能可分为资源循环利用设备、节能设备、环境流体输送机械与设备、混合与分离等基本单元设备、污染治理专用设备、环境监测及分析设备、清洁生产工艺设备以及附属设备（如电机等）、管件等。上述分类又可细分为若干小类，如污染治理专用设备又可分为水污染控制设备、大气污染控制设备、固体废弃物处理设备、噪声控制设备等。

(二) 按构成分类

按设备的构成，可将环保机械与设备分为以下三类：

1. 单体设备

指独立设置且具有一种或多种功能的主体设备，如各种除尘器、单体水处理设备等。单体设备可为机械加工件，也可为混凝土或其他材料（如玻璃钢等）建造的构筑物。

2. 成套设备

指以单体设备为主，含各种附属设备（如泵、风机等）组成的整体装置。

3. 生产线

指由一台或多台单体设备、各种附属设备及其管线所构成的整体，如固体废弃物处理生产线等。

(三) 按设备的性质分类

按设备的性质，可将环保设备分为以下三类：

1. 机械设备

指各种用于治理环境污染和改善环境质量的机械加工产品，如除尘器、机械风机、机械式水处理设备、机械式固体废弃物处理设备等等。机械设备是目前环保设备中种类最广、型号最多、应用最普遍、使用最方便的环保设备。

2. 仪器设备

指各种用于环境监测及环境工程实验的仪器，如各种电化学分析、光学分析、色谱分析仪器，各种采样器，各种自动监测仪器等。

3. 构筑物

构筑物一般是指钢筋混凝土构件，如各种沉淀池、塔滤等等，但也有玻璃钢、钢结构或其他材料建造的构筑物。

三、环保机械与设备的发展现状与存在的问题

我国环保装备制造业经过 20 年的发展，现已初具规模。但是，从总体上看，中国环保装备的开发与生产还处于发展初期阶段，基础比较薄弱，存在一系列亟待解决的问题。

中国现有环保装备年产值仅约 5 亿美元，生产企业 1 800 余家，绝大多数为小型企业，县办企业和乡镇企业占 80% 以上，工艺装备落后，规模效益差，产品成套化、系列化程度低。

目前，缺乏全国统一的环保装备发展规划与切实可行的实施方案，环保装备的质量保证体系尚未建立，也未能按标准化、专业化组织生产，很多产品质量差。据调查，目前我国污染治理设备和设施只有 1/3 能正常运转，1/3 不能运转，还有 1/3 时停时开，除管理不善的问题以外，产品质量不过关是其中的重要原因。

我国环保机械与设备业发展中存在的问题：

1. 高技术企业附加值低，缺乏关联带动效应。我国环保高技术企业的发展主要依靠引进国外先进技术和生产能力，使相当大的一部分产品始终停留在对进口零部件进行组装或劳动密集型加工的阶段，导致我国高技术环保企业附加值明显偏低。同时，对引进技术的消化、吸收工作严重滞后，以及开发和创新能力不足，也使得高技术产业无法向其他产业进行技术扩散。

2. 在一些我国自主开发、拥有知识产权的高新技术企业，技术水平相对落后，对高技术产品的配套能力弱，尚未形成为企业提供配套服务的制造技术平台。更为严重的是，设计与制造能力不相配套问题的存在，极大削弱了高新技术企业对其他企业的关联带动作用，同时也影响了高新技术企业本身的积累和发展能力。

3. 由于我国高新技术企业发展刚刚起步，规模较小，不能充分提供对传统产业进行改造的技术，高新技术企业的发展与现有传统老企业改造之间相互依存、相互促进的良性循环关系还未形成。同时，政策和体制方面的限制也影响了高新技术对老企业的改造。

在污水处理设备领域，从现有的技术基础看，我国已经基本具备污水处理成套设备的生产能力，产品的质量水平也有大幅度的提高。目前，一批立足于国产设备的中小型污水处理厂已经投入运行或正在建设之中。

但是国产污水处理设备整体质量水平并不高，大部分设备尚处于“可用”阶段，距“好用”仍有相当差距。目前主要问题依然在缺乏技术集成和市场机制不规范两个方面：

(1) 工艺研究设计与设备开发制造严重脱节。缺乏成龙配套、具有二者综合优势的成套技术。设计院负责工艺设计，业主以自己的好恶选择设备，没有技术单位对二者的有机结合负责，埋下质量隐患。

(2) 在利益的驱动下，目前仍盛行单机采购，缺乏设备成套和系统集成技术支持。设备连动和自动化控制极为困难，整体质量水平较低。

(3) 恶性竞争，低价中标。高技术、高质量的设备难以获得应用。

(4) 地方保护作祟，低水平重复严重。城市领导普遍忽视污水处理设备的技术含量，一味强调“本地化”。这一倾向已经严重影响设备国产化事业向高水平、规模化方向发展。

针对上述问题，我国有关部门正从技术和机制两方面进行综合研究及探索，力求引导环保机械与设备行业向工程化、产业化、规模化、高水平方向发展。

有关专家预言，环保机械与设备作为一个新兴产业，有望从一个幼稚行业成长为一个具有一定规模、在机械工业中占有较大比重、服务领域较为宽广、投入产出较高、对国民经济发展有较大影响的机械工业支柱产业。

四、国内外环保机械与设备的发展趋

美国、日本等发达国家的环保工业起步较早，特别是经过近 20 年的发展，环保工业已发展成为门类相当齐全的热门行业，并形成集团化竞争势头，产品的发展趋势已从以用户的适应性为主，逐步转向系列化、标准化和向高技术、高质量方向发展。在国际市场上，1992 年全球环保市场规模为 2 500 亿美元，1994 年为 4 000 亿美元，目前已达到 5 000 亿美元的规模，预计到 2010 年可达到 18 000 亿美元。我国环保产业产值只占全球的 1% 左右。在发达国家，环保产业已发展到一个相对成熟的阶段，预计年平均增长率在 10% 以下。

近年来，外国厂商已占领我国相当数量的市场，特别是高技术大型项目的附属环保设备，几乎都是成套引进。目前，我国环保产业界奋起直追，力争尽快缩短我国与发达国家的差距，建立有中国特色的环保工业及环保机械与设备制造业体系，显示了如下发展趋势：

1. 管理体系统一化

目前我国环保工业主要以自发形式为主，并且分属于不同的行政管理部门，至今没有形成有组织、协调发展的独立的工业体系。近年来，国务院环委会采取了一系列指导措施，各地区环保工业行业组织和管理部门也制定了切实可行的发展计划。一个旨在与国际接轨、参与国际大市场竞争的协调、统一的环保工业体系的形成已是必然趋势。通过进一步健全行业管理体系，优化企业生产结构，规范产品质量标准，提高企业竞争力。

2. 专业技术高新化

环境科学的迅速发展，不断给环境工程、环保机械与设备研制注入新鲜血液。环保机械与设备业必须以高新技术武装才会有强大的生命力，专业技术高新化是必由之路。国家科委在江苏宜兴市建设的环保科技园是一个率先崛起的环保设备高新技术科技园。

专家建议，我国应抓住时机，着力推进科研单位与生产企业的密切结合，着眼于市场需要，加快企业技术中心建设，开展技术创新，促进产品的升级换代。通过自主开发能力的提高和适当引进国外先进技术，作好消化吸收和创新，加速科技成果的商品化、产业化，扭转产品技术落后的状况。

拿城市生活垃圾处理来说，我国城市生活垃圾日产生量为 28.6 万 t，且以 7% 左右的速度增加。据统计，全国历年的垃圾存量已达 60 多亿 t，侵占土地面积 5 亿 m²，但当前垃圾处理机械化作业水平低、效率低，急需大量技术含量高的垃圾处理设备。

3. 设备产品标准化、系列化、通用化、成套化及工程化

环保设备业与世界经济接轨，首要条件之一就是要建立和完善产品的标准体系，并尽可能采用国际通用标准，逐步减少和淘汰目前众多的非标产品和非定型产品。由于产品种类繁多，领域广阔，建立这样一个统一的标准体系难度很大，但毕竟已是必然趋势。许多环保技术与设备的科研成果仅停留在科学研究阶段，难于用于工程实践，造成人力、物力的极大浪费。目前应该充分发挥行业协会或学会的作用，着手探讨该标准体系框架，在此基础上，根据产品不同等级系列或成熟程度，制定包括国家标准、部颁标准和地方标准的三级标准体系，以及建立相应的质量检测机构，推进标准化和标准监督体系的形成，引导与推进环保设备的产品标准化、系列化、通用化、成套化及工程化及产品、加药设备、絮凝反应设备和高效固液分离装置，具有很广泛的工程应用前景。

我国对环保设备制造业制定的总目标：为我国现有环保设备制造业建立有效的行业

管理体系和信息服务系统；为环境示范工程提供可靠的技术装备；发展高效低耗环保设备，限制淘汰落后产品：通过市场机制促进环保设备的开发与生产。

深入到环境治理的各个领域，环保机械与设备的发展趋势如下：

(1) 大气污染防治领域

我国是煤炭产销大国，煤炭在全国一次能源生产和消费中占 70% 以上，每年向大气中排放大量的 SO_2 ，严重地污染了空气，并导致巨额的经济损失。为降低污染、改善空气质量，我国环保产业“十五”规划中确定的首要发展领域就是烟气脱硫，我国政府提出到 2005 年“两控区” SO_2 排放量要比 2003 年减少 20%。据预测，我国每年大约需要 60 亿元对工业锅炉进行脱硫改造，大型脱硫设备几乎占大气污染防治设备市场的 50%，这一市场前景十分诱人。我国的脱硫除尘行业还需加快技术设备的改进以满足燃煤电厂对脱硫除尘设备的需求，研究开发适用于我国燃煤电厂锅炉、工业锅炉等设备的经济、可靠的脱硫工艺技术和成套设备成为当前环保设备发展的一大方向。

另外，随着人们生活水平的提高和对身体健康的关注，粉尘污染控制设备也将成为一个大市场，很多领域引进国外先进设备成本太高，但在我国机械制造产业中却还是空白，这其中都蕴含着巨大的商机。

(2) 水污染防治领域

目前我国水的供需矛盾尖锐，水资源利用效率低下且城市污水处理率不足 30%。今后 5 年，我国将投资 10 000 亿元，用于城市供水、节水与水污染防治等基础设施建设。所有的城市必须建设污水处理设施，城市污水处理率将达到 45%，重点发展日处理能力 20 万 t 以上城市污水处理技术和成套设备。其中，中央和地方政府大约投入 2 000 亿~3 000 亿元，其余资金需要通过外资、贷款、市场融资等方式筹集解决，这为我国从事污水处理设施建设和运营的企业提供了更好的发展前景和广阔的市场空间。

目前我国急需解决的难题有城市污水一级强化处理成套技术开发和工程化、城市污水二级和二级强化处理成套技术开发和工程化、污泥处理及处置成套技术开发和工程化。因此污水处理设备开发趋势为：

污水处理工艺创新和专用设备开发一体化

以活性污泥法为主体的城市污水处理工艺技术已有近百年的发展历史，为满足日益严格的环境要求，并力求降低运行成本，污水处理工艺的创新技术层出不穷。从国外发展趋势看，一种新型处理工艺的问世总伴随着一批专用技术设备投向市场。例如，三沟式氧化沟工艺推出了曝气转刷和自动调节出水堰门；卡鲁赛尔氧化沟工艺推出了垂直表曝机；奥贝尔型氧化沟工艺推出了转碟曝气机；SBR 工艺推出了滗水器；A/O 和 A_2/O 工艺推出了潜水搅拌机等。工艺技术的先进性提供了专用设备的竞争力，提供了市场保障，专用设备所获得的利润又部分投入到工艺技术的研究开发。如此良性循环，不断推动工艺创新和设备开发的同步发展。

自主开发和引进技术并重

以科技为先导，加大长期科研投入，注重科研成果向产品转化，形成独立自主的开发体系，这无疑是设备产业的技术进步之路。但是，在科技高度发展的时代，国际分工合作已成为主导发展趋势。西方发达国家的一些知名公司为我国污水处理厂所提供的成套设备，通常也含有 20%~40% 的国际合作成分。我国企业更应注重技术引进和国际合作。

消化吸收国外技术，不能只停留在简单的测绘、仿制的水平上，应鼓励企业以合资、合作等方式，系统引进国际知名专业公司的设计、制造技术和质量管理机制，尽快形成高层次、高质量的产品群，满足迫在眉睫的市场需求。由此兴起的我国污水处理设备产业，将会超越一个发展时代，迅速接近或达到国际先进水平。

如中国宜兴市华都绿色工程集团和德国琥珀公司合资，组建宜兴华都琥珀环保机械有限公司，专业从事生产组装和销售 RO 系列固液分离机（细格栅）、阶梯格栅、砂水分离器以及 ROS 浓缩、脱水机等新型设备，产品具有结构新颖、技术先进、节能高效、运行费用低等特点，在我国城市污水处理工程中广泛采用，得到用户的好评。

以设备成套供货为主体的工程总承包

在大规模污水处理厂的建设中，传统的单机采购方式由于技术和经济上的诸多弊端，已逐步被摒弃。越来越多的用户趋向选择国际通用的设备总包——即所谓设备“交钥匙”工程。为满足这一要求，中国的许多工程公司已经应运而生，它由工程设计、设备成套、生产制造等多方面人才组成，为业主提供包括二次设计、设备选型、成套供货、安装调试、运行维护等一条龙服务，以增强市场竞争力。这是国际体系的供货方式，以此为主要业务的工程公司在国外和香港已成为一个重要行业。近年来，国际工程公司大量进入国内市场，并在城市供水和污水处理项目中频频得手，我国的设备生产厂家一般缺乏这种综合能力，不得已而处于分包供货地位，获利微薄。国内的一些机械设备成套公司也开始进入这一市场，具体做法：有的以市政工程设计院和机械进出口公司联合组成工程公司，再以机械总公司下属生产企业为主，形成半紧密型的生产、制造联合体，两者结合起来组成水工业总承包公司；也有的由国内成套设备公司和国外承包公司组成联合体，一起参加城市污水处理厂设备的投标工作。通过这些渠道为我国城市污水处理厂技术设备和建设招标、投标工作闯出一条新路。

污水处理领域环保机械与设备开发重点和质量改进目标为：

风机

开发新型高速离心风机，采用先进的三元流叶轮，可调节进风、出风口导叶，具有高效节能、流量可调节范围大、结构较紧凑、噪声偏低、可靠性高的特点。

水泵

开发大流量、低扬程潜水泵，开发隐藏叶片式污泥离心泵，现有产品应提高效率、制造水平和平均无故障运行时间指标，改善水泵调试的性能。

阀门

开发大口径薄型闸板阀，开发液压和电动控制速闭阀，实现一阀多用和自动控制。现有产品应改进铸造工艺、减轻重量、改善密封、提高精度。

堰门

开发氧化沟自动调节排水堰门，开发与 SBR 工艺配套的滗水器。现有产品应提高可控性和加工精度。

拦污设备

开发逆流式格栅除污机、不锈钢鼓形螺旋细格栅机、不锈钢材质的阶梯格栅和活塞式栅渣脱水设备。现有产品应降低故障率、提高可靠性、延长使用寿命。

⑥ 除砂设备

开发旋流式除砂设备、螺旋式脱砂脱水设备、往复式脱水设备，填补脱砂脱水设备国内空白。

⑦ 排泥设备

开发矩形和圆形沉淀池非金属链条传动刮泥设备，开发大直径中心驱动排泥设备。现有设备需降低材料耗，提高排（吸）泥浓度。

⑧ 机械曝气设备

开发水下混合曝气机（OKI）；改善现有垂直表面曝气机的水力特征，以提高可靠性和效率；转碟曝气机提高机电效率，改善转动性能，减少维护量。

⑨ 液下搅拌机

开发活性污泥法厌氧、缺氧液下搅拌机。

⑩ 污泥脱水

开发卧螺式离心脱水机、浓缩脱水一体化带式压滤机、浓缩脱水一体化卧螺式离心脱水机。现有带式压滤机应提高可靠性、延长滤带寿命。

⑪ 污泥消化及沼气利用设备

开发沼气水环式压缩机、沼气机械搅拌装置、沼气驱动机、沼气发动机和沼气自动点火火炬装置。

@膜技术和设备

污水回用及污水处理中采用膜技术越来越多，要开发膜生产技术和设备。

⑬ 自动化设备

针对污水处理工艺特点，研究优化控制机理，开发与主导工艺相适应的污水处理厂集散自动化控制系统。

⑭ 污水处理仪表

开发在线连续测量的 COD 仪、BOD 仪、TOC 仪、氨氮仪、污泥浓度仪、沼气流量计，改善溶解氧仪、pH 计、水位仪在污水环境中的运行性能。

(3) 城市固体垃圾处理领域

目前，我国城市固体垃圾的处理能力还很有限，资源化程度比较低。虽然现在已经开发出很多新技术用以垃圾的无害化、资源化处理，但处理量一般比较小，远远低于垃圾的产生量。北京市“十五”计划提出，到 2005 年垃圾无害化处理率要达到 98%。这些目标促使技术研究者加大研究开发的力度，生产者加快研究结果的产业化进程。城市垃圾的增长速度在加快，处理技术改进与创新的速度也在不断提高，随着处理技术的逐渐成熟、产业化规模的扩大，垃圾变宝将成为可能，并且会产生巨大的经济效益。

总之，环保机械与设备行业机遇与挑战并存。

1 流体输送机械与设备

1.1 泵

1.1.1 泵的基本术语及定义

液体输送是生产上最常见的操作之一。泵是输送液体并提高液体压力的机器，在工农业生产中得到广泛的应用，尤其在化工生产中，其原料、中间产品和最终产品许多都是液体，必须用泵来进料、出料，以实现工艺流程的要求，例如硫酸厂的酸液要用泵输送、石油化工厂的原油及产品也要用泵输送。至于冷却水泵、润滑油泵等，许多工厂都会用到。此外，废水处理、农田的供排水、城市的自来水等也都要用泵。因此，泵作为一种通用机器，在生产中起着重要的作用。

在废水处理及废水排放过程中，由于所输送的液体往往夹带有杂质，并具有腐蚀性，容易造成泵的堵塞及磨损。因此环境工程用泵在泵的类型、结构型式以及泵的制造材料等方面又有它自己的特点。

泵的主要参数是流量、扬程和效率，现分别叙述如下：

(1) 流量(Q)：单位时间内由泵的排出液口排出的液量，其通常用的单位是 m^3/s 、 L/s 或 m^3/h 。

(2) 理论流量(Q_T)：单位时间内流入泵部件里的液量。由于一般泵在工作时难免有内部或外部泄漏，因此泵的理论流量 Q_T 与泵的实际流量间的关系如下：

$$Q_T = Q + \sum q, \text{ m}^3/\text{s} \quad (1-1)$$

式中， $\sum q$ —— 单位时间内泵的泄漏量，单位与 Q 相同。

它既包括所有不经排液管而漏到泵体外面的外部泄漏，也包括从泵做功部件出来后漏回泵吸液处的内部泄漏。

(3) 容积效率(η_v)：衡量泵泄漏量大小也即密封情况好坏的指标，其定义式为：

$$\eta_v = Q/Q_T \quad (1-2)$$

(4) 扬程(压头)(H)：单位重量液体流过泵后的能量增值，其单位为 $\text{N}\cdot\text{m}/\text{N}$ 。在工程单位制中，扬程的单位通常为 m （被输送液体的液柱）表示。虽然泵的扬程单位与高度单位在工程单位制中是一样的，但不应把泵的扬程单位简单的理解为液体能够排送到的高度，因为只要被输送的液体还在流动（即 $Q \neq 0$ ），则泵的扬程不仅要用来使液体提

高位头，而且还要用来克服液体在输送过程中的阻力头。在一般情况下，泵的扬程还要用来提高输送液体的静压头和速度头，因此应把泵的扬程按照它本来的意义（即单位重量液体流过泵后的能量增值）来理解。

(5) 理论扬程 (H_T)：泵做功部件给单位重量液体的能量。它与泵扬程 H 的关系为：

$$H_T = H + \sum h_{\text{hyd}}, \text{ N}\cdot\text{m}/\text{N} \quad (1-3)$$

式中， $\sum h_{\text{hyd}}$ ——单位重量液体流经泵的阻力损失能头。

(6) 水力效率 (η_{hyd})：衡量液体流经泵的阻力损失大小的指标。其定义可用下式表示：

$$\eta_{\text{hyd}} = H/H_T \quad (1-4)$$

(7) 有效功率 (N_{eff})：单位时间里，泵排液口流出的液体从泵中取得的能量。其值可按下式计算：

$$N_{\text{eff}} = \gamma HQ/102, \text{ kW} \quad (1-5)$$

(8) 水力功率（内功功率）(N_i)：单位时间里，泵做功部件所给出的能量。其值可按下式计算：

$$N_i = \gamma H_T Q_T/102, \text{ kW} \quad (1-6)$$

有效功率 N_{eff} 与水力功率 N_i 的关系是：

$$N_{\text{eff}}/N_i = \eta_{\text{hyd}} \eta_v \quad (1-7)$$

式中， η_v ——容积效率， $\eta_v = Q/Q_T$ 。

(9) 泵的功率 (N)（轴功率）：单位时间里由原动机传递到泵主轴上的功。由于泵在工作时，其运动部件间难免要产生相对摩擦而消耗一定的机械损耗功率 N_{Mec} ，故原动机传到泵轴上的功率 N 应是 N_i 与 N_{Mec} 之和，即：

$$N = N_i + N_{\text{Mec}}, \text{ kW} \quad (1-8)$$

(10) 机械效率 (η_{Mec})：衡量泵运动部件间机械摩擦损失大小的指标。其定义为：

$$\eta_{\text{Mec}} = N_i/N \quad (1-9)$$

(11) 泵的效率（总效率）(η)：衡量泵工作时是否经济的指标。其定义为：

$$\eta = \eta_{\text{hyd}} \eta_v \eta_{\text{Mec}} \quad (1-10)$$

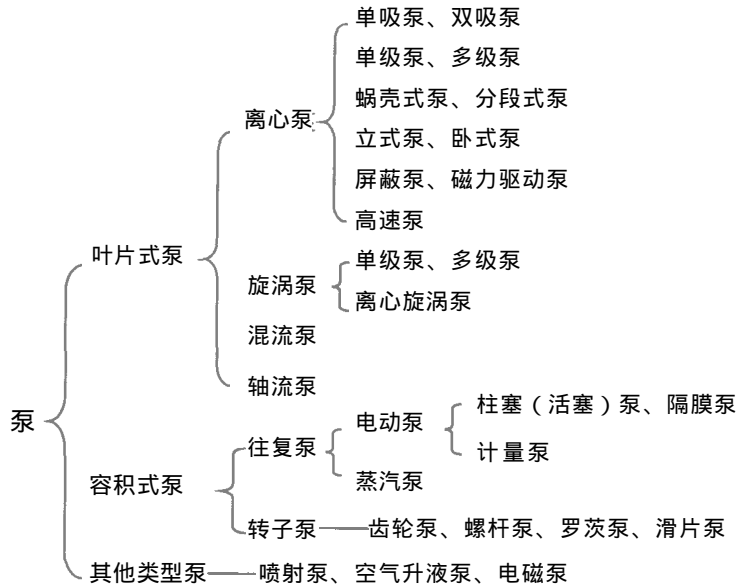
因此，泵的功率又可用下式来计算：

$$N = N_{\text{eff}}/\eta = \gamma HQ/102 \eta, \text{ kW} \quad (1-11)$$

1.1.2 泵的类型及特性

1.1.2.1 泵的类型

根据泵的工作原理和结构，泵的类型有以下几种：



1.1.2.2 泵的特性

常用泵的特性见表 1-1。

表 1-1 泵的特性

特性	叶片泵			容积式泵		
	离心泵	轴流泵	混流泵	往复泵	转子泵	
流量	均匀性	均匀			不均匀	比较均匀
	稳定性	不恒定，随管路情况变化而变化			恒定	
	范围/(m ³ /h)	1.6~30 000	150~245 000	0.4~10	0~600	1~600
扬程	特点	对一定流量，只能达到一定的扬程			对应一定流量可达到不同的扬程，由管路系统确定	
	范围	10~2 600 m	2~20 m	8~150 m	0.2~100 MPa	0.2~60 MPa
效率	特点	在设计点最高，偏离愈远，效率愈低			扬程高时，效率降低较小	扬程高时，效率降低较大
	范围 (最高点)	0.5~0.8	0.7~0.9	0.25~0.5	0.7~0.85	0.6~0.8
结构特性	结构简单，造价低，体积小，重量轻，安装检修方便			结构复杂，振动大，体积大，造价高		

1.1.2.3 泵的适用范围

各种类型的泵都有其适用范围，在实际使用中，可根据所需流量及扬程的大小，以及所输液流的性质等因素来合理的选用。图 1-1 表示几种基本类型的泵的适用范围，可作泵类型选用时的参考。由图 1-1 可见，一般往复泵适用于小流量、高扬程；而离心式泵则适用于大流量、压头不十分大的场合。

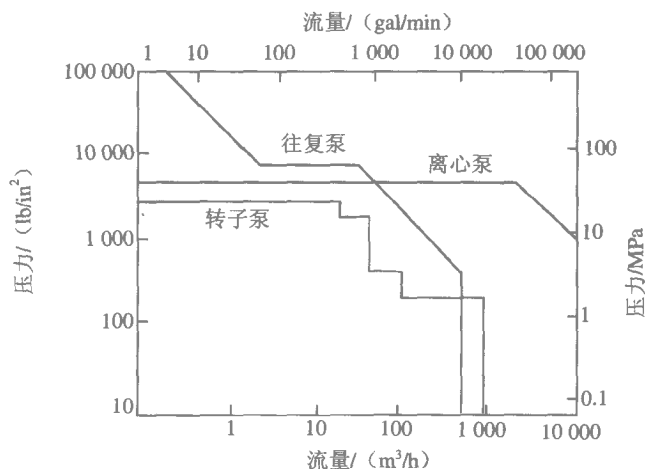


图 1-1 泵的适用范围

1.1.3 泵的结构及工作原理

1.1.3.1 离心泵

离心泵具有性能范围广泛、流量均匀、结构简单、运转可靠和维修方便等诸多优点，因此离心泵在工业生产中应用最为广泛，除了在高压、小流量或计量时常用往复泵，液体含气时常用旋涡泵和容积式泵，高粘度介质常用转子泵外，其余场合，绝大多数使用离心泵。

据统计 在化工生产 包括石油化工 装置中 离心泵的使用量占泵总量的 70%~80%。

(1) 离心泵的工作原理。

离心泵主要由叶轮、轴、泵壳、轴封及密封环等组成。一般离心泵启动前泵壳内要灌满液体，当原动机带动泵轴和叶轮旋转时，液体一方面随叶轮作圆周运动，一方面在离心力的作用下自叶轮中心向外周抛出，液体从叶轮获得了压力能和速度能。当液体流经蜗壳到排液口时，部分速度能转变为静压力能。在液体自叶轮抛出时，叶轮中心部分造成低压区，与吸入液面的压力形成压力差，于是液体不断地被吸入，并以一定的压力排出。泵工作原理简图见图 1-2。

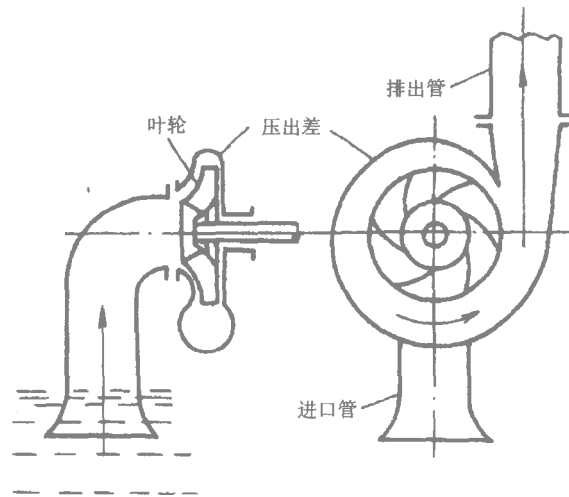


图 1-2 离心泵工作原理

(2) 离心泵的主要零部件。离心泵的主要零部件的形状、结构见图 1-3。

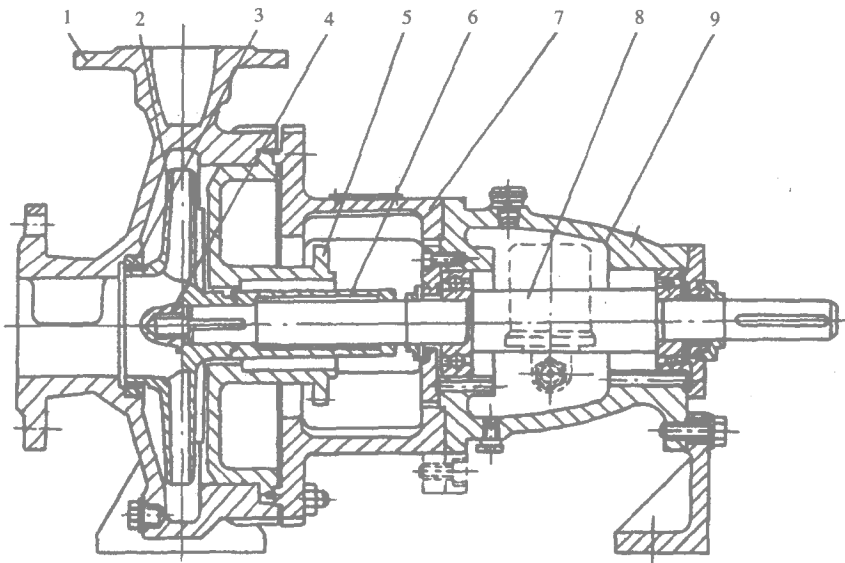


图 1-3 离心泵结构剖图

1—泵壳；2—叶轮；3—密封环；4—叶轮螺母；5—泵盖；
6—密封部件；7—中间支承；8—轴；9—悬架部件

泵壳。泵壳有轴向剖分式和径向剖分式两种。大多数单级泵的壳体都是蜗壳式的，多级泵径向部分壳体一般为环形壳体或圆形壳体。一般蜗壳式泵壳内腔呈螺旋型液道，用以收集从叶轮中甩出的液体，并引向扩散管至泵出口。泵壳承受全部的工作压力和液

体的热负荷。

叶轮。叶轮是唯一的做功部件，泵通过叶轮对液体做功。叶轮型式有闭式、开式、半开式三种。

闭式叶轮由叶片、前盖板、后盖板组成。半开式叶轮由叶片和后盖板组成。开式叶轮只有叶片，无前后盖板。闭式叶轮效率较高，开式叶轮效率较低。

密封环。密封环的作用是防止泵的内泄漏和外泄漏，由耐磨材料制成的密封环，镶于叶轮前后盖板和泵壳上，磨损后可以更换。

轴和轴承。泵轴一端固定叶轮，一端装联轴器。根据泵的大小，轴承可选用滚动轴承和滑动轴承。

轴封。轴封一般有机械密封和填料密封两种。一般泵均设计成既能装填料密封，又能装机械密封。

(3) 离心泵的特性曲线。

离心泵的特性曲线反映泵在恒定转速下的各项性能参数。

国内泵厂提供的典型的特性曲线如图 1-4，一般包括 $H-Q$ 线、 $N-Q$ 线、 $\eta-Q$ 线和 $NPSHr-Q$ 线。它是选择和使用水泵的依据。其中 $Q-H$ 叫扬程曲线， $Q-P$ 叫功率曲线， $\eta-Q$ 叫效率曲线， $NPSHr-Q$ 叫必需气蚀余量曲线。

从功率曲线可见当 $Q=0$ 时 P 最小，所以离心泵都是在闭阀 ($Q=0$) 下起动，待起动正常后再开阀门放水。

$Q-\eta$ 曲线的最高点是最高效率点，或称最佳工况点。水泵、铭牌上标明的特征值是在最高效率下的流量 Q 、扬程 H 、轴功率 N 和允许吸上真空度 H_s 。

一般水泵运行中的工作范围必须保证在最高效率点的 $5\% \sim 8\%$ 范围内。

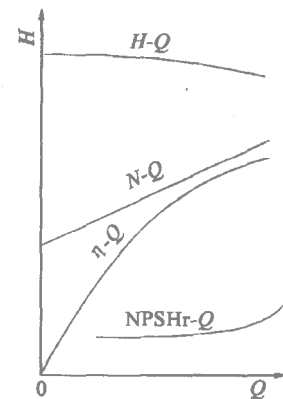


图 1-4 离心泵的特性曲线

1.1.3.2 轴流泵和混流泵

(1) 轴流泵。

轴流泵的工作原理与结构。

轴流泵是流量大、扬程低、比转数高的叶片式泵，轴流泵的液流沿转轴方向流动，但其设计的基本原理与离心泵基本相同。

轴流泵的结构见图 1-5。过流部件由进水管、叶轮、导叶、出水管和泵轴等组成，叶轮为螺旋桨式。

轴流泵的分类。

根据叶轮的叶片是否可调，轴流泵可分为：固定叶片式轴流泵（叶片不可调），半调节叶片式轴流泵（停机拆下叶轮后可调节叶片安装角）和全调节叶片式轴流泵（有一套调节机构使泵在运转中可以调节叶片安装角）等。

轴流泵的特点。

- ◆ 轴流泵适用于大流量、低扬程；
- ◆ 轴流泵的 $H-V$ 特性曲线很陡，关死扬程（流量 $Q=0$ 时）是额定值的 $1.5 \sim 2$ 倍；

- ◆ 与离心泵不同，轴流泵流量愈小，轴功率愈大；
- ◆ 高效操作区范围很小，在额定点两侧效率急剧下降；
- ◆ 轴流泵的叶轮一般浸没在液体中，因此不需考虑汽蚀，启动时也不需灌泵。轴流泵的特性曲线见图 1-6。

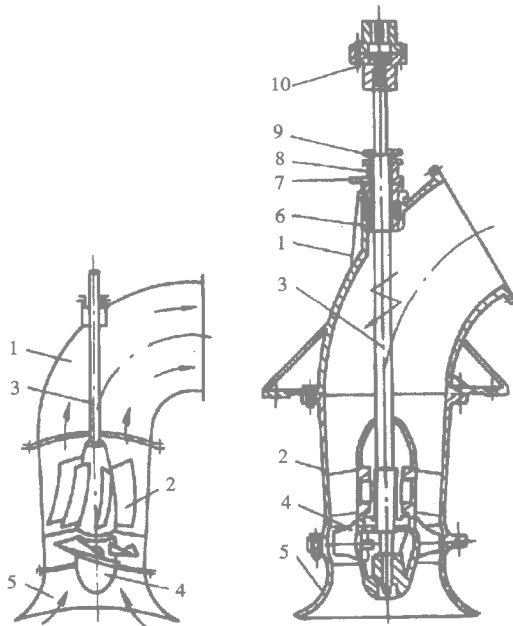


图 1-5 轴流泵的结构

1—出水弯管；2—导叶；3—泵轴；4—叶轮；5—进水管；
6—轴承；7—填料盒；8—填料；9—填料压盖；10—联轴器

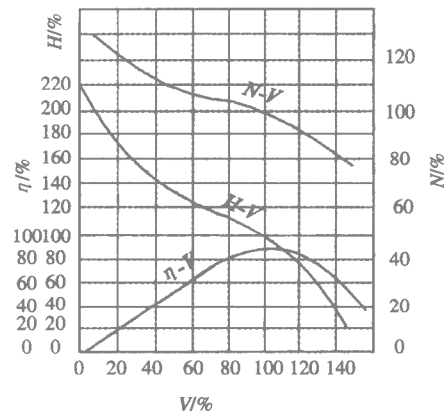


图 1-6 轴流泵的特性曲线

流量调节。

轴流泵一般不采用出口阀调节流量，常用改变叶轮转速，或改变叶片安装角度的方法调节流量。

(2) 混流泵。

混流泵内液体的流动介于离心泵与轴流泵之间，液体斜向流出叶轮，即液体的流动方向相对叶轮而言既有径向速度，也有轴向速度。其特性也介于离心泵与轴流泵之间。

1.1.3.3 旋涡泵

(1) 旋涡泵的结构。

旋涡泵的结构见图 1-7，过流部件主要由叶轮和具有环形流道的泵壳组成。

旋涡泵叶轮有开式和闭式两种，通常采用闭式叶轮。叶片由铣出的径向凹槽制成。泵的吸入口和排出口开在泵壳的上部，用隔舌分开。

(2) 旋涡泵的工作原理。

旋涡泵（也称涡流泵）属于叶片式泵。

旋涡泵通过旋转的叶轮叶片对流道内液体进行三维流动的动量交换而输送液体。

泵内的液体可分为两部分：叶片间的液体和流道内的液体。当叶轮旋转时，叶轮内的液体受到的离心力大，而流道内液体受到的离心力小，使液体产生旋转运动 [图 1-7 (b)]。又由于液体跟着叶轮前进，使液体产生旋转运动 [图 1-7 (a)]。这两种旋转运动合成的结果，就使液体产生与叶轮转向相同的“纵向旋涡” [图 1-7 (c)]。此纵向旋涡使流道中的液体多次返回叶轮内，再度受到离心力作用，而每经过一次离心力的作用，扬程就增加一次。因此，旋涡泵具有其他叶片泵所不能达到的高扬程。

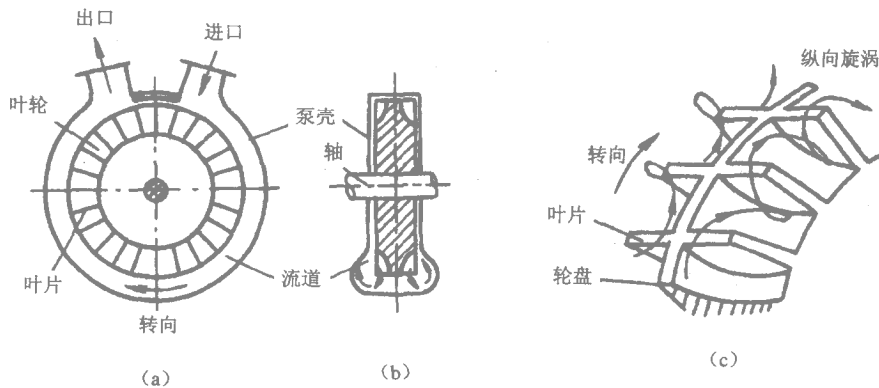


图 1-7 旋涡泵结构示意图

(3) 旋涡泵的特点。

因液体在旋涡泵流道内的冲击损失较大，因此效率较低，一般不超过 45%，通常为 36%~38%。

旋涡泵结构简单，工作可靠，具有自吸能力，但汽蚀性能较离心泵差。

旋涡泵可输送含气量大于 5% 的介质，不适用于输送粘度 $> 115 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 的介质（否则会使泵的扬程和效率大幅下降）和含固体颗粒的介质。

旋涡泵不能采用出口阀调节流量，只能采用旁路调节。

旋涡泵一般具有自吸能力（有的需外加自吸装置），启动时不需灌泵，应开阀启动。

(4) 应用范围。

旋涡泵常用于输送易挥发的介质（如汽油、酒精等）以及流量小，扬程要求高，但对汽蚀性能要求不高或要求工作可靠和有自吸能力的场合等（如移动式消防泵等）。

1.1.3.4 往复泵

往复泵包括活塞泵和柱塞泵，适用于输送流量较小、压力较高的各种介质。当流量小于 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 、排出压力大于 10 MPa 时，有较高的效率和良好的运行性能。

(1) 往复泵的工作原理和结构。

往复泵的结构。

往复泵由液力端和动力端组成。液力端直接输送液体，把机械能转换成液体的压力能；动力端将原动机的能量传给液力端。

动力端由曲轴、连杆、十字头、轴承和机架等组成。液力端由液缸、活塞（或柱塞）、吸入阀和排出阀、填料函和缸盖等组成。

往复泵的工作原理。

如图 1-8 所示，当曲柄以角速度 ω 逆时针旋转时，活塞向右移动，液缸的容积增大，压力降低，被输送的液体在压力差的作用下克服吸入管路和吸入阀等的阻力损失进入到液缸。当曲柄转过 180° 以后活塞向左移动，液体被挤压，液缸内液体压力急剧增加，在这一压力作用下，吸入阀关闭而排出阀被打开，液缸内液体在压力差的作用下被排送到排出管路中去。当往复泵的曲柄以角速度 ω 不停地旋转时，往复泵就不断地吸入和排出液体。

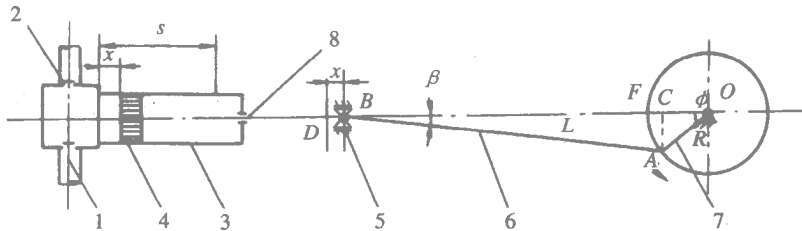


图 1-8 单作用往复泵

1—吸入阀；2—排出阀；3—液缸；4—活塞；5—十字头；6—连杆；7—曲轴；8—填料函

(2) 往复泵的分类。

根据液力端特点分类。

按工作机构可分为活塞泵、柱塞泵和隔膜泵；按作用特点可分为单作用泵、双作用泵和差动泵；按缸数可分为单缸泵、双缸泵和多缸泵。

根据动力端特点可分为曲柄连杆机构、直轴偏心轮机构等。

(3) 根据驱动特点可分为电动往复泵、蒸汽往复泵和手动泵等。

(4) 根据排出压力大小可分为低压泵 ($p \leq 4 \text{ MPa}$)、中压泵 ($4 \text{ MPa} < p < 32 \text{ MPa}$)、高压泵 ($32 \text{ MPa} \leq p < 100 \text{ MPa}$) 和超高压泵 ($p \geq 100 \text{ MPa}$)。

(5) 根据活塞（或柱塞）每分钟往复次数 n 可分为低速泵 ($n \leq 80 \text{ r/min}$)、中速泵 ($80 \text{ r/min} < n < 250 \text{ r/min}$)、高速泵 ($250 \text{ r/min} \leq n < 550 \text{ r/min}$) 和超高速泵 ($n \geq 550 \text{ r/min}$)。

1.1.3.5 螺旋泵

螺旋泵被广泛用于农业灌溉、排涝、提升污水及污泥等方面，尤其是提升污水处理厂的污泥，具有其独特的优越性。

(1) 螺旋泵的结构组成及工作原理。

图 1-9 为螺旋泵的结构组成和安装方式。泵壳为一圆筒，亦可用圆底型斜槽代替泵壳。叶片缠绕在泵轴上，呈螺旋状，叶片断面一般呈矩形。泵轴主体为一圆管，下端有轴承，上端接减速器。减速器用传动轮接电动机，构成泵组。泵组用倾斜的构件承托，如图示 1-9。泵的下端浸没在水中。

螺旋泵在工作时，电机带动泵轴及叶轮转动，叶轮给流体一种沿轴向的推力作用，使流体源源不断地沿轴向流动。

(2) 螺旋泵的工作特性。

螺旋泵的特点是扬程低，转速低，流量范围较大，效率稳定，适合于农业排水、城市排涝，尤其适用于污水厂提升回流活性污泥。

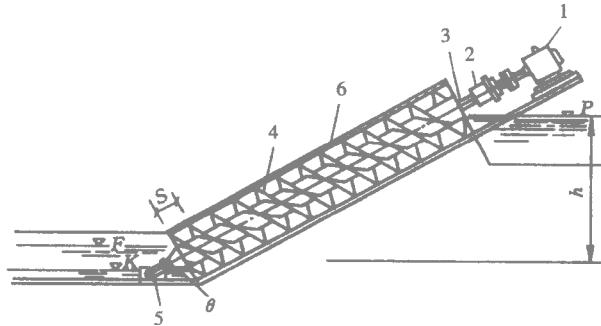


图 1-9 螺旋泵示意图

1—电动机；2—变速装置；3—泵轴；4—叶片；5—轴承座；6—泵壳：
F—最佳进水位；K—最低进水位；P—出水位；h—扬程； θ —倾角；S—螺距

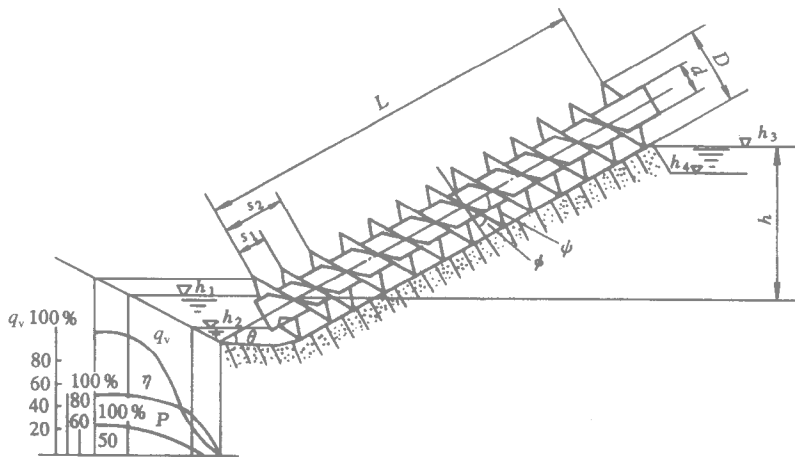


图 1-10 螺旋泵的设计参数和特性曲线

L —螺旋叶片长 (m)； h —提升水头 (m)； q_v —提升流量 (m³/h)； η —效率 (%)；
 P —电动机功率 (kW)； h_1 —最佳进水位 (m)； h_2 —最低进水位 (m)； h_3 —出水位 (m)；
 h_4 —出水槽底高程 (m)； S_2 —螺旋叶片导程 (m)； S_1 —螺旋叶片 (m)； θ —安装角 (°)；
 ψ —导程角 (°)； ϕ —螺旋角 (°)； D —螺旋叶片外径 (mm)； d —轴心管外径 (mm)

螺旋泵特性曲线见图 1-10。当进水水位达到泵轴心管边缘螺旋叶片处时，提升水量 q_v 达到最大值。若进水水位继续上升，螺旋泵的提升水量不再增大，而泵的轴功率上升，导致泵的效率下降，故称水位 h_1 为最佳进水位。当提升水量减少到 30% 时，效率仅下降 10% 左右。因此，在螺旋泵提升范围内，当进水量变化较大时，螺旋泵仍能高效率运行。

在实际使用中，进水水位的合理选择十分重要。当进水水位变化很大（进水量变化很大而引起的）时，可采用多台不同提升水量和不同提升水头的螺旋泵并列布置的方式