离心分离技术综述及旋转流分离技术的应用发展

苏 阳　　胡大鹏
大连理工大学 （116012）
suyang_624@eyou.com

摘 要: 离心力场的创立和运用是科学和技术的成就之一，运用离心力场进行非均相物系的分离是非常有效的。旋转流分离是离心力场在分离科技方面的重要应用之一，旋流分离器（或称水力旋流器）是旋转流分离方面的代表性设备。其中轴向水力旋流器区别于传统的切向入口水力旋流器，它内部的自旋运动是由涡流发生器引起的。本文综述了离心分离技术，详述了旋转流分离技术的应用发展包括轴向水力旋流器的特点及结构改进。

关键词: 离心分离技术；旋转流分离技术；轴向水力旋流器；应用发展

1. 引 言

离心力场的创立和运用是科学和技术的成就之一，运用离心力场进行非均相物系的分离是非常有效的。它是许多新的工业过程的基础，离心分离装备按有无旋转部件可以分为机身固定的旋转流分离设备和机身旋转的离心分离设备（亦称离心机）。前者如旋流分离器（亦称旋流器），流体在固定的机身内旋转而产生离心力场；后者如各种沉降离心机或过滤离心机，由旋转的机身带动内部流体作回旋运动而产生离心力场。旋转流分离是离心力场在分离科技方面的重要应用之一。旋流分离器（或称水力旋流器）是旋转流分离方面的代表性设备，是一种用途十分广泛的液体非均相混和物的分离设备。水力旋流器是利用离心力场分离不同粒度（或密）混合物的高效分离设备。它具有结构简单、操作方、生产能力大、无转动部件、运行可靠、占地面积小、用范围广泛和易于实现自动控制等优点，不仅大量用于矿物工程领域，而且在化工、石油、轻工、环保、矿、食品、医药、纺织与染料业、生物工程及建材等众多领域也已经或正在获得富有成效的实际应用[1]。在科学技术日新月异的今天，随着基础理论研究测试技术的不断进步和完善，对旋流器的研究也在不断取得可喜的进展。水力旋流器设计上的新进展是基于迪克兹维克（Dirkzwager）在轴流式旋流器上的工作，该旋流器内的自旋运动不是由切向物流引起的，而是由轴向带叶片的旋转件引起的。这种旋流器的性能预测是基于计算和大量的模拟实验，其最终目标是开发一种比传统水力旋流器体积相对较小、处理量大、高效且压降较低的旋流器[2]。轴向水力旋流器区别于传统的切向入口水力旋流器，它内部的自旋运动是由涡流发生器引起的。目前，涡流发生器普遍采用的是导叶式结构，本文提出了区别于导叶式结构的一种条形旋流进料装置。根据内部流体流动情况，，轴向水力旋流器可分为直流式和回流式两种。两种形式各有特点，应用场合也不同，

尤其是直流式具有良好开发前景。本文综述了离心分离技术并详细论述了它的重要应用之一旋转流分离技术的应用发展。

2. 离心分离技术及装备

2.1 离心分离技术

离心力场的创立和运用是科学和技术的成就之一，运用离心力场进行非均相物系的分离是非常有效的。它是许多新的工业过程的基础，离心分离装备按有无旋转部件可以分为机身固定的旋转流分离设备和机身旋转的离心分离设备（亦称离心机）。前者如旋流分离器（亦称旋流器），流体在固定的机身内旋转而产生离心力场；后者如各种沉降离心机或过滤离心机，由旋转的机身带动内部流体作回旋运动而产生离心力场。由于前者无运动部件，具有结构设备小巧、操作方便、生产能力大、无转动部件、性能稳定可靠、、设备成本低，应用范围广泛和易于实现自动控制等优点，受到日益广泛的关注[3]。 后者可以相当精确地，同时迅速的分离极不易分离的非均相液态物系，如原油聚氯乙烯树脂悬浮液等等[4]。

2.2 离心分离装备

旋转流分离是离心力场在分离科技方面的重要应用之一。旋流分离器（或称水力旋流器）是旋转流分离方面的代表性设备，是一种用途十分广泛的液体非均相混和物的分离设备。它具有结构设备小巧、操作方便、生产能力大、无转动部件、性能稳定可靠、设备成本低，应用范围广泛和易于实现自动控制等优点。可用于完成液体澄清、料浆浓缩、固相颗粒洗涤、液相除气与除砂、固相颗粒分级与分类，以及两种非互溶液体的分离等多种过程作业， 迄今已经在矿物加工、石油、化工、轻工、环保、食品、医药、纺织与染料、采矿、冶金、机械、材料及煤炭等众多工业部门获得了广泛的应用，而且由于旋流分离器结构及形式的日趋多样化，其应用的领域仍在不断拓展。

通常，水力旋流器是一种中空的分离设备，只有利用其设备的外部结构尺寸使流体产生旋转、进而产生分离作用来使两相不相溶的液-液、固-液或是气-液达到分离的目的，一般，通过调节水力旋流器的一些结构尺寸可以改变其分离性能，但是在某些特殊物料以及特殊需求的情况下，单纯通过改变结构尺寸来满足其分离要求需要付出很大的代价，这时可通过很多的其他方式实现目的，其中之一就是在旋流器内设置各种形式的内件。例如，带导向装置的旋流器、圆柱段带螺旋导向叶片结构的旋流器、带涡流发生器的轴向旋流器、带挡板的旋流器、中心带固棒的旋流器、溢流管外带旋转叶轮的旋流器、内带空气导管的旋流器、内部具有小旋流器的旋流器、带弹簧振子的旋流器、内部增加卸料螺旋的水力旋流器等。轴向旋流器与传统的旋流器相比，分离效率比较低，但流体受到的扰动很小，所以通过旋流器的压

降也就比较低。对于比较容易分离的料也，可选用这种旋流器进行液-液、固-液、或气-液两相分离[5]。

离心机是离心分离方面的代表性设备，根据分离原理，分为过滤式离心机、沉降式离心机的和组合式离心机。过滤离心机可供在要求滤渣深度脱水和高度洗涤时分离悬浮液用，以及供压滤其孔隙完全或部分为液体所填充的非流动物料用；沉降离心机即可用于分离易于过滤的悬浮液，又可用于分离不宜过滤的悬浮液。离心机的结构特征是：轴的配置、轴的支座装置、卸渣方法、密封程度和防爆等级[4]。

2.2.1 水力旋流器

旋流分离器是一种用途广泛的通用设备，近期随着旋流分离器应用领域的不断扩展，人们对旋流器的兴趣越来越浓[6]。

基本流程原理如图 1 所示，进料流体中的颗粒随流体从切向进料口进入旋流器后，在一定的向下倾角作用和受器壁的约束而迅速旋转向下变为高速的外螺旋运动。由于往下器壁为圆锥面，比流体密度较大的颗粒借助这一运动产生的惯性离心力向外运动抛向器壁，被迫与器壁碰撞降速而分离，再沿锥面落至底流管排出，同时经分离后的流体变更运动方向，产生向心的径向运动，沿中心线转而由下向上作内螺旋运动，通过上流管流出，其旋转方向与外螺旋转向相同[7]。

同重力沉降设备相比，旋流器突出的优点有：分离效率高，处理能力大；结构简单，成本低廉，使用方便，运行可靠，几乎不需要维护和附属设备；可广泛用于固气分离，固液分离，完成液体澄清、料浆浓缩、固体颗粒分级、分类与洗涤、液体除气与除渣以及非互溶液体的分离等[6]。

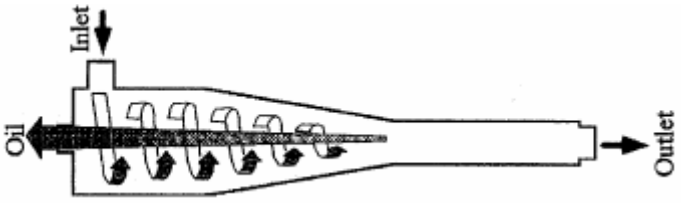


图 1　水力旋流器工作原理图

2.2.2 沉降式离心机[8]

2.2.2.1 螺旋卸料沉降离心机

螺旋卸料沉降离心机结构原理见图 2。高速旋转的无孔转鼓内有同心安装的输料螺旋，转鼓与输料螺旋同向旋转，但两者之间有一定的转速差，该转速差由差速传动系统产生。悬浮液经中心的加料管进入转鼓，悬浮液中大部分固体颗粒在离心力作用下沉降到转鼓内壁并被输料螺旋推送而从小端排出转鼓，澄清后的液体从转鼓另一端的溢流口排除。

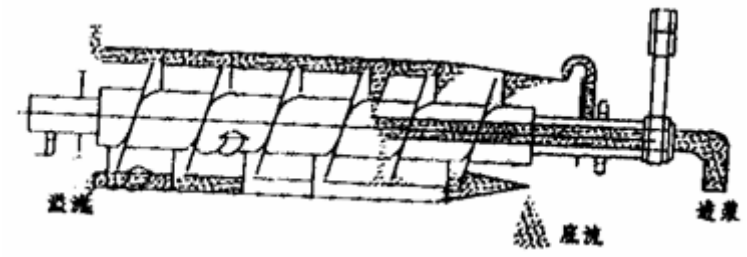


图 2 离心机工作原理图

螺旋卸料沉降离心机的主要操作参数为：转鼓转数，转鼓与输料螺旋间的转速差，溢流口位置和进料速度；主要结构参数为：转鼓大端内直径 D，转鼓长度 L，转鼓长径比 L/D，转鼓半锥角α，以及输料螺旋的螺旋头数和螺距。

螺旋卸料沉降离心机的主要优点：自动连续操作，不需用滤布，能长期连续运行，维护简便；应用范围广，可用于固体脱液，液体澄清，固体颗粒按粒度分级；对物料的适应性好，能分离的固体粒度的范围 0.005mm-2mm，悬浮液的体积浓度范围 2%-40%。浓度波动对分离效果的影响不大；结构紧凑，容易实现结构上密闭，密闭式机器可在一定的正压下操作；单机生产能力大（大型机可达 190m^3/h），操作费用低，占地面积小。

螺旋卸料沉降离心机的缺点是：沉渣的含液量一般较高；虽能对沉渣进行洗涤，但洗涤效果不好；结构较复杂，机器造价较高。

2.2.2.2 碟式分离机

分离机是沉降式离心分离中的一种类型，用于分离难分离的物料。分离机中的碟式分离机是应用最广泛的沉降式离心机。可以完成分离和澄清两种操作。

碟式分离机的原理和结构见图 3。碟式分离机是立式离心机，转鼓装在立轴上端，通过传动装置由电动机驱动而高速旋转。转鼓内有一组互相套叠在一起的碟形零件——碟片，碟片与碟片之间留有很小的间隙。悬浮液（或乳浊液）由位于转鼓中心的进料管加入转鼓。当悬浮液（或乳浊液）流过碟片之间的间隙时，固体颗粒（或液滴）在离心力作用下沉降到碟片上形成沉（或液层）。沉渣沿碟片表面滑动而脱离碟片并积聚在转鼓内直径最大的部位，分离后的液体从出液口排出转鼓。积聚在转鼓内的固体在分离机停车后拆开转鼓由人工清除，或通过排渣机构在不停车的情况下从转鼓中排出。

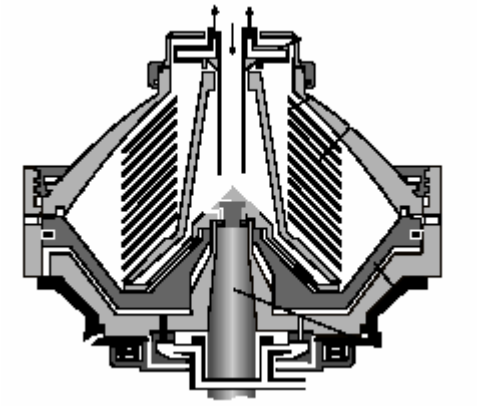


图 3　碟式分离机

碟式分离机主要的操作参数为：转鼓转数，轻液转速，轻液与重液分界面的位置，加料速度等；叠式分离机的主要结构参数为：转鼓内直径，当量沉降面积，碟片的尺寸与碟片总片数，排渣方式及排渣机构。

叠式离心机结构紧凑，占地面积小，生产能力大，适于液固，也适于液液分离，因而在化工、医药、轻工、食品、生物工程以及交通运输部门都获得广泛应用。叠式分离机的缺点是结构复杂，转速高，因而操作和维修保养的要求比较高，另外清洗较麻烦。

3 离心分离装备的比较及新进展

3.1 三种离心分离装备的比较

目前原油除砂、原油脱水把焦点主要集中在三种分离工艺上:板式分离器(碟式分离器)、离心机和水力旋流器。Wim M.G.T.van den Broek和Mark J.van der zande[2]等人给出了有关分离效率、分离器几何结构、分离器体积和油滴临界粒径的典型数据，然后从三个方面进行比较：油滴临界粒径、流量和分离器体积。并通过比较，得到如下结论：

所测试的板式分离器和离心机除油效率与理论预测吻合很好；从处理量/分离器体积之比和油滴临界粒径的角度考虑，所探讨的三种分离器的优劣排序为：离心机、水力旋流器、板式分离器；通过设计以提高三种分离器的性能是可能的；当可用空间有限（如海上采油）或极其有限（井眼分离），不应或不能采用板式分离器，出于经济原因，所选择的分离器类型通常是水力旋流器；探求更紧凑的分离器仍是大势所趋，水力旋流器和离心机在这方面都有发展潜力；当要分离的油滴粒径极小，如在 5μm时，这只能用离心机来实现。但这种分离设备的主要缺陷是成本高。

3.2 离心分离装备新进展

3.2.1 离心机

Alfa Laval 制造的盘栈式离心机，分离段由一套同心圆盘组成，盘与盘之间的距离一

般保持数量级为 1mm。只在出口部分发生分离，此处的离心力最大。

Plat 设计开发了一套垂直的板取代盘栈。该型离心机构造可使临界分离粒达到 2μm。但远低于该值是不切实际的，因为要实现这一极低值必然对应着极低流量，这会使分离工艺毫无价值。

我国生产离心机已有 20 余年的历史，开始大多是立式离心机和其他形式的推料或过滤离心机，而卧螺旋离心机则是近几年开始研制和生产的机型。目前，国内卧螺旋离心机技术一部分主要来源于直接与国外离心机公司的技术合作、引进以及生产，另有一部主要源于自主开发或对国外技术引进、消化和吸收，但仍有一部分停留在模仿国外公司技术的水平上。主要技术特点基本相同，但在技术细节上存在较大的差异[9]。

3.2.2 水力旋流器

水力旋流器设计上的新进展是基于迪克兹维克(Dirkzwager)在轴流式旋流器上的工作，该旋流器内的自旋运动不是由切向物流引起的，而是由轴向带叶片的旋转件引起的。这种旋流器的性能预测是基于计算和大量的模拟实验，其最终目标是开发一种比传统水力旋流器体积相对较小、处理量大、高效且压降较低的旋流器。水力旋流器在原油脱气、脱水、除砂以及脱气、原油和污水净化等方面都存在着技术上的可行性、经济上的必要性和工程应用上的广阔前景。它作为重力分离的一项替代技术，成为 21 世纪国际油田地面工程中的主体技术和重要装备。

另外，为了更好地利用水力旋流器进行分级、分离和分选以及从根本上克服普通水力旋流器所具有的某些缺陷，人们提出来的用力的叠加法增加旋流器中的竞争力系，使旋流器中的固相颗粒不再纯粹依靠其自身的密度和力度大小进行分级和分离，从而提出了一类复合力场性水力旋流器。在这类复合力场性的水力旋流器中，某些固相颗粒在分级分离过程中除受到取决于自身密度和力度大小的质量力和体积力外，还受到某些特殊的附加外力的作用[1]。而且，还有的旋流器则针对具体的物料性质采用与常规水力旋流器不同的结构形式。将电场、磁场理论应用到旋流器上，开发出一种电或磁分离与旋转流分离相结合的一种新型设备是水力旋流器的又一新进展[10]。设计出特殊形式的水力旋流器包括磁力水力旋流器、磁流体水力旋流器、电化学水力旋流器、充气水力旋流器、气液水力旋流器等。

此外，当水力旋流器中的离心分离被用来处理某些特殊的物料是，比如颗粒力度分散性较大的物料、易碎颗粒物料、进口料液分散相浓度较高而要求出口清液中分散相物料含量较低的场合等，则往往需要多个相同或不同的水力旋流器用一定的工艺管线联结，或者在必要时与其它类型的分离设备联用，构成水力旋流器网络系统，才能满足生产的需求。在生产工艺上令人关注的进展，通过对旋流器的并联或串联可以提高处理能力、提高分离效率[11]。

4 轴向水力旋流器的特点及结构改进

4.1 轴向水力旋流器的特点

用于固-液分离的轴向水力旋流器基本结构及工作原理见图 4。

轴向旋流器的结构特点是流体混合物从长筒形的一段轴向进入旋流器，然后被分离的两种流股又从旋流器的另一端离开旋流器。在这种旋流器中，由于流体轴向进、轴向出，所以要想使得流体产生旋转必须附加额外的结构，如图 4 左图所示的单向流动的轴向旋流器。其中的涡流发生器就是通过具有合适角度的旋转叶片实现的。这种旋流器与传统的旋流器相比，分离效率比较低，但流体受到的扰动很小，所以通过旋流器的压降也就比较小。对于比较容易分离的料液，可选用这种旋流器进行液-液、固-液、或气-液两相分离。对于轴向旋流器而言，图一所示的单向流旋流器（左图）要比回流旋流器（右图）扰动小。[12]

基本流程原理如图 4 左图所示，流体混合液从圆柱段的一段轴向进入旋流器后，通过具有合适角度的螺旋导向叶片的作用，使流体产生旋转，促使不同密度的两部分流体分别形成内旋流与外旋流，被分开的两种流股分别从旋流器底部排出。右图所示，流体混合液从圆柱段的一段轴向进入旋流器后，通过导向叶片，使流体产生旋转，密度较大的流体在离心力的作用下靠向器壁，沿器壁下流至底端底流口排出，同时密度较小的流体变更运动方向，产生向心的径向运动，沿中心线转而由下向上作内螺旋运动，通过溢流管流出，其旋转方向与外螺旋转向相同。

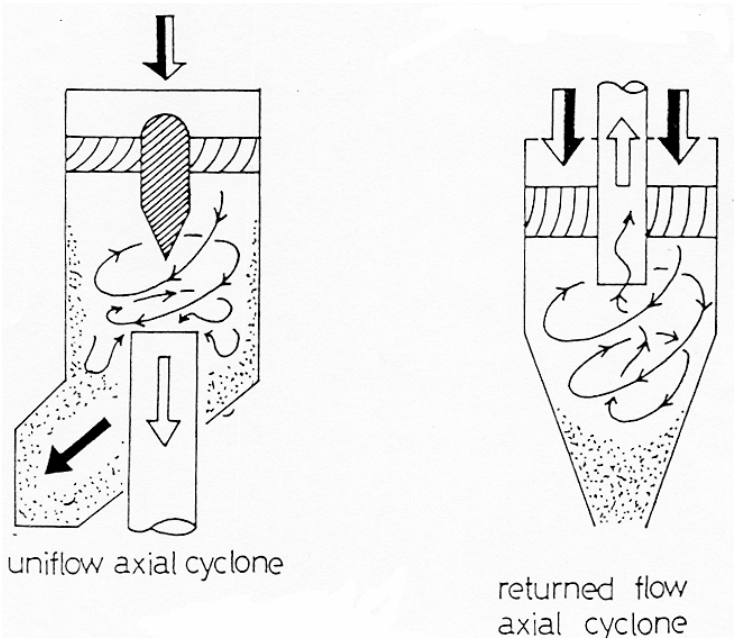


图 4 轴向水力旋流器基本结构及工作原理示意图[13]

同常规水力旋流器相比，轴向水力旋流器突出的优点有：处理量大，对给定的工艺可以降低旋流器的规格或减少旋流器的台数。轴向水力旋流器甚至在较低的给料浓度下，也可以获得较粗的分离粒度，而在分离粒度相同时，切向给料旋流器则需要较高的料液浓度[14]。另

外，给料压力对轴向给料旋流器的处理量和分离粒度有重要影响，可以通过压力的调整对轴向给料旋流器方便地进行监测和控制。压力降较低是轴向水力旋流器显著优点之一。

4.2 轴向旋流分离器结构上的新构想

目前，国内外已经在轴向旋流器方面展开研究，但涡流发生器绝大多数是采用导叶式结构，而且分离段多为直筒型结构，诸如直筒型导叶式旋风分离器等用来进行气-液-固、气-液、气-固分离。随着现代工业的发展，很多行业对轴向旋流分离器有了一定的采用并且提出更高的要求。本文通过对已有轴向旋流分离器特点的研究，在此基础上大胆构想，改进结构，设计出一种用于油田油-砂分离的新型轴向水力旋流器见图 5。

与回流式轴向水力旋流器相比，直流式有处理量大、压降低、受扰动小和分离效率相对较低的特点。在以分离效率作为最主要衡量指标时，一般选用回流式轴向水力旋流器，这是回流式轴向水力旋流器比直流式在以前应用更广泛的原因。随着对轴向水力旋流器低能耗提出更高的要求，本文在保证一定的分离效率的基础上采用直流式结构可减小扰动，大大降低阻力损失。针对目前国内外存在的直流式直筒型及反流式圆锥筒型轴向水力旋流器，提出直流式圆锥筒型结构。由于这种水力旋流器结构的主要优势体现在压力降小，所以锥口底部的设计显得尤为重要。通过涡流发生器的流体在向下运动过程中加速旋转，轴向速度也在不断加大，导致锥底压力降最大。所以，通过渐扩装置缓解轴向速度，降低压力降。该轴向水力旋流器的主要部件涡流发生器采用一种条形旋流进料装置（图 6）代替导叶式结构，这种装置能产生更好的旋流效果。本文中轴向油砂分离旋流器的重要部件涡流发生器为可拆可调结构，其中的构想来自于设计的旋流器材料为有机玻璃，而涡流发生器部件为钢性材料，装配起来不能采用焊接手段。

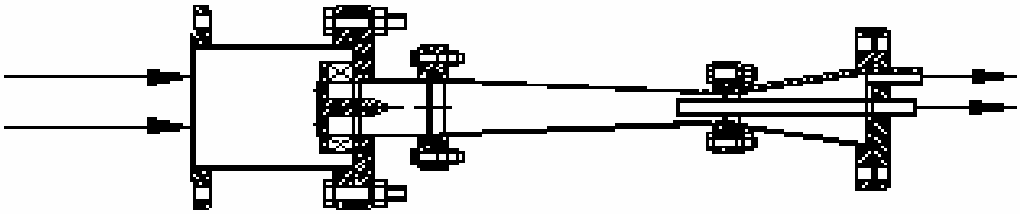


图 5 新型轴向水力旋流器结构图



图 6 条形旋流进料装置

5 水力旋流器的应用发展

5.1 水力旋流器的应用范围

水力旋流器作为一种用途十分广泛的湿式机械分离分级设备，即可应用于处理量较大且连续操作的情况，也可应用于处理量比较小的情况，其应用范围遍布许多不同的技术领域。例如：澄清、浓缩、颗粒分级、颗粒分选、液-液分离、气-液分离、三相同时分离等。水力旋流器在工业中的应用主要体现在造纸工业、煤炭工业、选矿工业、非金属矿加工和超细粉体技术中的应用、食品工业、石油工业、化学工业、陶瓷工业。在工业生产中，水力旋流器往往是与其他分离设备或过程装备联用组成一个分离系统[15]。此时，对旋流器结构与性能的考虑必须从工艺流程的角度出发作综合分析。例如，旋流器的排口比（底流口与溢流口直径之比）对分离性能有重要影响，它同时也对底流和溢流之间的流量的分配有直接影响，若流量分配必须符合工艺流程的平衡要求是，则应该根据各方面的要求来全面考虑、抉择。例如：水力旋流器与水平带式过滤机联用系统、水力旋流器与曲筛或振动筛联用的分选系统、水力旋流器在选矿厂闭路磨矿回路中与粉碎机（如球磨机）联合使用等。

5.2 旋流器的串并联

在许多的分离操作中，使用单级旋流器便可以获得满意的效果，但是当水力旋流器中的离心分离被用来处理某些特殊物料是，比如颗粒粒度分散性较大的物料、易碎的颗粒无聊、进口料液分散相浓度较高而要求出口清液中分散相物料含量较低的场合等，则往往需要多个相同或不同的水力旋流器用一定的工艺管线联结起来，或者在必要时与其它类型的分离设备联用，构成水力旋流器网络系统，才能满足生产的需求。水力旋流器并联的目的是在不改变单个水力旋流器分离性能的基础上加大其处理能力，而串联的目的是提高水力旋流器的处理

深度，即提高水力旋流器的分离效率。

水力旋流器的分离效率和生产能力与对旋流器的尺寸要求是相互矛盾的。在同样的操作压力条件下，尺寸较小的旋流器具有较高的分离效率和较小的分离粒度，但相应的生产能力也较小。因此在要求满足分离要求，同时又要求保证生产能力的场合，采用多台旋流器并联方式是最适合也是必需的。

水力旋流器的并联并不改变分离效率，主要是扩大处理能力。

并联工作的主要要求是尽量保证每个水力旋流器的入口流量与压力相等。具体方法有两种：

1.布置合理的工艺管线，是各个旋流器的入口和出口压力、流量一致；2.将若干个旋流器组成一个整体，有共同的入口和出口，成为组合式旋流器。

第一种方式一般适用于直径较大的水力旋流器，选用大直径的进料、溢流和底流总管，采用相同直径、长度的支管将总管与各个旋流器联结起来，使得总管与旋流器之间的压降尽可能相等。

第二种组合方式在国内外应用已经相当普遍。采用多台小直径旋流器，根据不同的生产能力要求，并联旋流器的台数可从数台至数百台，在淀粉洗涤、非金属矿超细分级等应用中目前已有多达千台旋流器组并联操作的装置。因此，采用合理的结构布置，对保证分离要求和节能都是很有必要的。

1、 水力旋流器组并联方式水平线形布置

2、 水力旋流器组并联方式垂直线形布置

3、 集管式旋流器组

4、 水力旋流器组并联方式圆周排列

5、 水力旋流器组并联方式辐射式

单台水力旋流器的分离过程为不完全分离，若希望在清液出口中得到纯净的清液，则分散相物料富集的出口中就会含有较多的连续相液体；同样若希望在分散相物料排出口获得高浓度的分散相物料，必然有较多的分散相物料随清液在清液出口排出。换句话说，从其中一个出口中不管是要得到比较纯净的连续向液体或分散相物料，其代价是这种物料必然在另一个出口也具有较高的含量。例如，若需要同时完成呈请液浓缩两种操作，那就需要两台或多台水力旋流器串联或串并联混合使用，其中至少一台旋流器用作浓缩器而另一台作为澄清器。在旋流器的操作中，欲实现低浓度物料的浓缩，也需要旋流器串联联接。

6 结语

水力旋流器作为一种通用的分离设备，广泛应用于澄清、脱泥、浓缩、磨矿分级、固体

回收、颗粒分选、逆流洗涤等。探索其在不同领域、不同工矿运行的最佳结构参数及操作参数，向技术规格两极化、结构形式多样化、应用范围扩大化、工艺计算程序化、结构材质耐磨化、技术控制自动化的方向发展[16]。

参考文献

1 水力旋流器分离技术 赵庆国，张明贤 化学工业出版社 2003.8

2 Comparison of Plate Separator, Centrifuge and Hydrocyclone By Wim M.G.T.et al. Society of Petroleum Engineers 1998

3 褚良银，陈文梅等. 旋转流分离理论. 北京:冶金工业出版社，2002

4 姜泰临，孙启才，陈文梅等译. 离心分离理论及设备. 北京:机械工业出版社，1976

5 Nieuwstandt F T M and Dirkzwwager M. A fluid mechanics model for an axial cyclone separator. Industrial Engineering &Chemistry Research, 1995,34:3399-3404

6 钟灵.旋流器分离机理探讨.过滤与分离，2001，11(1):21-24

7 Hydrocyclone for oil-from-water separation . Filtration & separation，1996，4:291-292

8 章棣.分离机械选型与使用手册.北京:机械工业出版社，1998

9 曹志伟. 国产与进口卧螺离心机的技术差异分析.化工设备与防腐，2003，2

10 钱付平，张吉光，张竹茜等. 静电旋风分离器的研究现状与进展.过滤与分离，2003，13(1):22-25

11 褚良银等.水力旋流器.北京:化学工业出版社，1998

12 Cyclone Separators By Team 4:Jill Winkler, Eric Miller, Ryan Lee, Jonathon Majula, Don Olson.1996

13 Wim M.G.T.et al.Comparison of Plate separator，centrifuge and Hydrocyclone. SPE，2000，48870:391-398

14 轴向给料旋流器在选矿中的应用 T 雅尔森等 国外金属矿选矿 2004.11

15 Svarovsky L. Hydrocyclones. Holt. Rinehart and Winston Ltd. 1984

16 水力旋流器的发展特点 庞学诗 国外金属矿选矿 1996.5

Centrifuging Technology Summarization and Swirling Flow Separation Technology's Application Developments

Su yang Hu Dapeng

(Dalian University of Technology)

Abstract: Centrifugal force field's institution and application are one of achievements on science and technology. It's very effective to separate multiphase using centrifugal force field. Swirling flow separation is one of the important applications of centrifugal force field on centrifugal science and technology aspects. Cyclone separator (or say hydrocyclone) is the representative equipment on swirling flow separation aspects. Thereinto, axial hydrocyclone is different from tangential inlet hydrocyclone, its inner spin movement is caused by vortex finder. This paper expatiates swirling flow separation technology's application development including the axial hydrocyclone's traits and structure betterments.

Keywords: centrifugal separation technology; swirling flow separation technology; axial hydrocyclone; application development