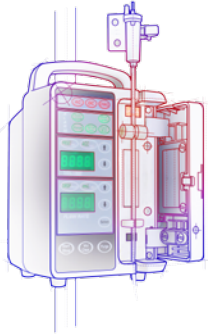


白皮书

精确滴液：精心设计电机，优化家用和便携式输液泵

Brandon Steinberg 提供



医院输液泵

为降低总体护理成本，医疗服务提供商越来越倾向于使用家用和便携式输液泵，以使患者可以离开医院。这些小型的电池驱动泵可节省数千美元的病房和护理费用。患者可以一边治疗，一边在舒适的家中过上正常的生活或外出旅行。即使在医院，患者和护士也可从这些小型泵所提供的机动性中获益匪浅。

家用和便携式输液泵设计师面临的挑战是创造出可提供流动性和患者感觉舒适的泵，同时不会影响任何护理质量。此外，行业面临巨大的成本压力，特别是保险报销水平较低或没有的家用市场。

设计挑战

机动性

传统的医院床位泵不能移动，通常使用较大的低效混合式步进电机。混合步进电机足以应付这类应用需求，具备经济性，也能输出所需的高扭矩。此外，由于这类泵不需要移动，且主要由220V市电供电，所以对电机的尺寸和功率也没有限制。相比之下，家用和移动式输液泵需要携带在患者身上或轮杆上，因此通常使用功率密度及效率更高的空心杯直流有刷电机。尺寸更小的电机和电池使得泵体更轻，更紧凑，充电后使用时间更长。这两点对于解放患者至关重要，从而使他们能够恢复正常生活。



便携式/家用输液泵



图 1：微型电机技术尺寸对比

将电机定制集成到泵壳中也可以大大减少泵的尺寸。例如，如果电机和泵体同轴，电机出轴可定制成两倍轴长，取代泵轴，从而减少机械部件，降低成本和复杂性。定制连接器和安装座也可以帮助电机更加无缝地与泵匹配，节省宝贵的空间。

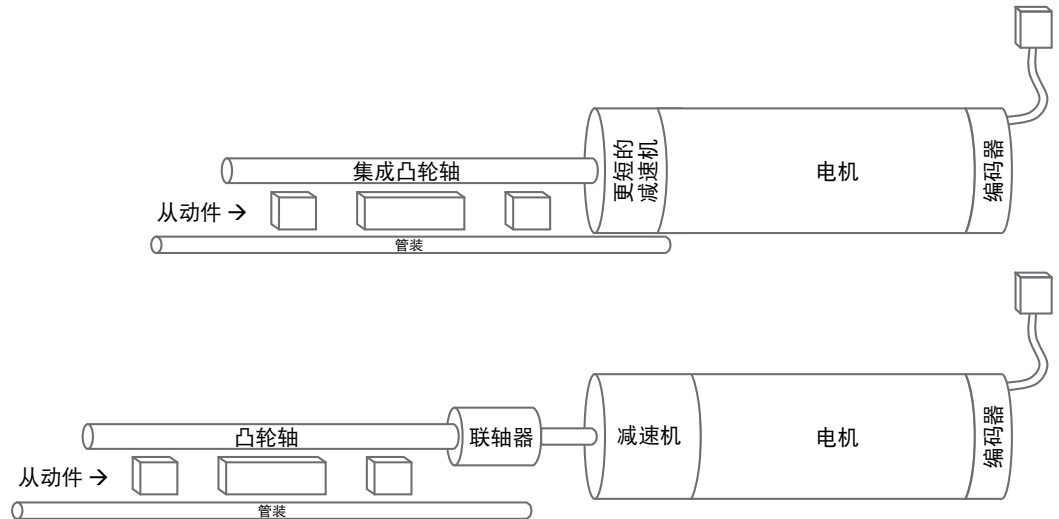


图 2: 定制电机集成示例

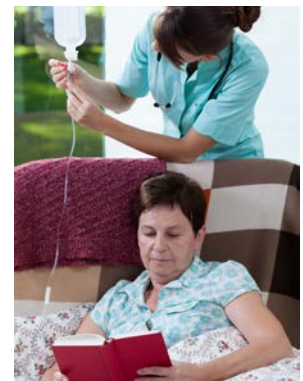
患者舒适性

在家中而不是医院或诊所接受治疗能大幅改善患者的生活质量。然而，在低噪音的家庭环境中维持患者的舒适性是泵设计师的另一个挑战。轻微的噪声在熙熙攘攘和警钟轰鸣的医院中可能微不足道，但在安静的家中就变得极具破坏性，特别是当患者睡觉时。此外，为谨慎起见，在公共场所进行药物治疗时，拥有较低的噪音也是关键。

选择合适的电机和减速机技术是控制噪音的第一步。因轮齿之间的接触点较少，直齿减速机比行星减速机自然更安静。如需进一步降低噪音，可以选择塑料或陶瓷作为齿轮材料，或者可以使用斜齿轮。最后，合理选择电机和减速比可确保减速机的输入速度尽可能低，这对减速电机的噪音有显著的效果。



固定式医院输液泵



家用输液泵

成本压力

由于严格的性能要求, 电机通常是家用输液泵设计中最昂贵的部分。幸运的是, 电机制造商已通过改变材料、工艺和制造地点等方法, 在保证高性能质量的同时, 提高空心杯直流电机的经济性。此外, 资源丰富的电机设计人员还可以采用多种办法降低泵的整体成本, 如通过集成来消除冗余组件, 加入可以优化装配时间的设计, 以及内置低分辨率反馈系统来替代昂贵的编码器。为了顺利实施这些节省成本的策略, 客户务必要在考虑所有选项的概念开发早期即与电机设计师通力合作。

在家中而不是医院或诊所接受治疗, 能大幅改善患者的生活质量。

优化家用输液泵微型电机

采用线性蠕动泵结构的家用输液泵设计, 能充分说明设计人员在优化这些设计标准时面临的挑战。我们在此仔细看看电机选择、噪音和反馈。

定义规格:

泵规格		蠕动机构规格	
最大流量	1,200 mL/hr	每毫升转数	10 rev/mL
反馈分辨率	100 脉冲/mL	最大流量时扭矩	40 mNm
效率	25%	效率	50%
最大噪音水平	40 dB	最大噪音水平	30 dB
尺寸	55 x 20 x 100 mm	尺寸	30 x 16 x 25 mm

表 1: 泵要求示例

其他细节:

- 泵壳是塑料, 没有密封, 可抑制部分噪音。
- 减速电机通过前端面的螺丝安装孔固定, 但电机外部和泵壳之间有一层薄薄的空气。
- 泵需要工作 4 年, 一次通常需要提供 2 小时的治疗, 平均每周 4 次, 电机总运行时间共需 1664 小时。

电机选择:

由于泵的尺寸限制, 直线排列方案没有足够的长度可用, 因此电机必须与线性蠕动机构平行, 通过 180 度的传动件将电机轴与泵轴相连 (此种典型传动方式的效率可能有所不同, 传动比可以根据泵设计人员的需要进行调整。在此例中, 我们假定 90% 的效率和 1:1 的传动比)。

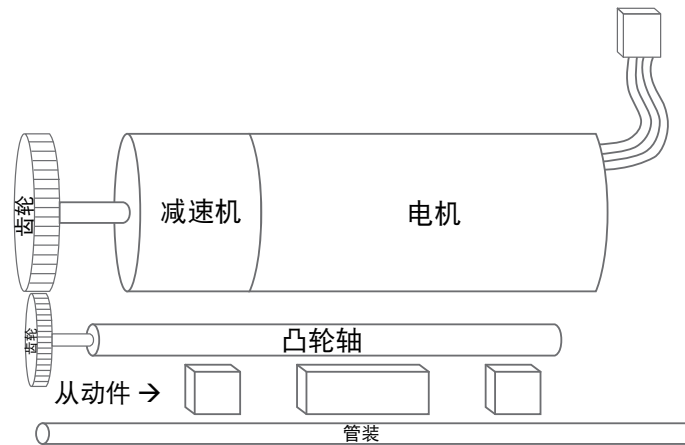


图 3: 基于泵尺寸推荐的电机/泵机构布局

要获得最高 1200 mL/hr 的流量，泵轴必须能够以 200 rpm 的速度运行：

- ◆ 最大泵流量 x 每毫升转数 ÷ 60 min/hr = 最大泵轴转速
- ◆ 1200 mL/hr x 10 rev/mL ÷ 60 min/hr = 200 rpm

直流空心杯电机的合理运行速度为 5500 rpm，因此使用 27:1 的传动比可使减速机出轴达到所需的最大速度：

- ◆ 电机速度 ÷ 传动比 = 减速电机速度
- ◆ 5500 rpm ÷ 27 = 203 rpm

为确保有刷直流是理想的选择，不妨考虑使用无刷直流减速电机作为替代方案。但无刷直流电机在高得多的速度（10000 rpm 以上）下效率最高，并且需要较高的传动比来匹配应用的目标速度。较高的传动比会产生更多轮齿接触点，从而增加噪音并降低效率。

无刷电机能以较低的速度运行。但无刷电机在低速时的铁损比有刷电机大得多，效率可降低 20% 至 40%。在低速情况下，无刷直流电机还需要霍尔传感器和更复杂及成本更高的驱动，因为其换向原理为电子换向（而直流有刷电机采用机械换向）。然而由于没有电刷磨损，无刷直流电机确实具有寿命更长的优势。由于此应用的使用寿命要求不是很高，因此无刷电机的缺点与好处来比则较为明显。

客户务必在考虑所有选项的概念开发早期即与电机设计师通力合作。

可降低 20% 至 40%。在低速情况下，无刷直流电机还需要霍尔传感器和更复杂及成本更高的驱动，因为其换向原理为电子换向（而直流有刷电机采用机械换向）。然而由于没有电刷磨损，无刷直流电机确实具有寿命更长的优势。

另一种值得考虑的电机是步进电机。使用全步或半步技术可达到 200 rpm 的转速，并且扭矩在 NEMA 11 混合式步进电机的能力范围内。电机有足够的扭矩，不需要减速机。然而，混合式步进电机的效率约为 40%，考虑到其他泵组件的效率，总效率太低而无法实现 25% 的泵效率目标。

- ◆ 电机效率 x 传动效率 x 泵效率 = 总效率
- ◆ 40% x 90% x 50% = 18%

泵电池必须做得更大方可适应效率更低的电机，从而增加尺寸和重量。混合电机本身也比直流空心杯更大更重，可能会在某些频率下产生噪音共振。因此，它不适合此种便携式应用。

	空心杯有刷直流减速电机	无刷直流减速电机	步进电机直接驱动
效率	+++	++	+
紧凑程度	+++	++	+
寿命	++	+++	+++
静音程度	++	+	++
可靠性	+++	+++	++

表 2: 微型电机技术比较

通过审查这些因素得知，最好的解决方案是直流空心杯减速电机，因为它最高效，操控简单并可满足寿命要求。快速选型确认，配有 27:1 减速机的 16mm 直流有刷电机可以提供所需的扭矩输出，因为转换到电机本身的扭矩要求远低于该电机的 6mNm 最大连续扭矩。

- ◆ 扭矩要求 ÷ 传动比 ÷ (减速机效率x 传动效率) = 电机扭矩
- ◆ $40 \text{ mNm} \div 27 \div (73\% \times 90\%) = 2.25 \text{ mNm}$

此款电机和减速机组合的效率可超过 60%，这对于泵机构总体上要求 25% 的效率来说绰绰有余。

- ◆ 减速机效率x 泵效率x 传动效率= 总效率
- ◆ $60\% \times 50\% \times 90\% = 27\%$

Portescap 的 Athlonix™ 16DCT 或 16DCP 直流空心杯电机搭配 27:1 B16 直齿减速机，是符合此种特例要求的两个减速电机方案。16DCT 可提供更高的扭矩能力，因此在运行时电流更低，可延长充电后的使用时间。16DCP 使用铝镍钴磁铁，拥有更低的成本结构，同时仍能满足应用的需求。两者都非常适合家用输液泵应用。

在概念开发的最初阶段务必要仔细考虑所需使用的电机。

噪音:

噪音不能累加，因此不能有效地计算总噪音，噪音在很大程度上取决于电机和泵机构的安装方式，并受泵壳绝缘层的影响。泵设计人员将考虑这些因素，并在设计期间对泵进行测试，以确定达到的噪音水平。

反馈:

在泵轴或减速机出轴安装一个 10 线反馈系统即可实现 100 个脉冲/mL 的所需反馈:

$$\diamond 100 \text{ 个脉冲/mL} \div \text{减速机 } 10 \text{ 转/mL} = 10 \text{ 个脉冲/减速机转数}$$

或者可以在电机后出轴安装单线编码器。这种方式可以利用传动比获得 150 个脉冲/mL, 该指标超过了要求, 可获得更好的流量控制:

$$\diamond 1 \text{ 个脉冲/电机每转} \times \text{电机 } 27 \text{ 转/减速机每转} \times \text{减速机 } 10 \text{ 转/mL} = 270 \text{ 个脉冲/电机转数每转}$$

未密封泵壳意味着来自家用环境的灰尘 (不像医院那样干净) 会进入反馈系统, 因此封闭式磁性编码器比开放式光学传感器更好。为获得更多安全性, 减速机轴或泵轴上的冗余低分辨率传感器可用于验证轴是否在转动和药物是否在输送给患者。

结论

从上述介绍的例子可以清楚地看出, 许多设计选择都高度相关。例如, 泵壳材料等看似与电机设计无关的一项决定可能会最终限制电机的性能, 进而影响泵的最终设计。因此, 在概念开发的最初阶段务必要仔细考虑所需使用的电机。一家经验丰富和热情合作的专业电机供应商可以在产品开发过程中发挥超乎想象的作用, 将泵的性能推到极致。**P**

Brandon Steinberg

输液系统核心市场业务发展部经理

Portescap

若需了解更多信息, 请联系:

110 Westtown Road
West Chester, PA 19382
电话: +1 610 235 5499
传真: +1 610 696 4598
sales.america@portescap.com
www.portescap.com

联系一位工程师:

www.portescap.com/contact-portescap