

从模块电源技术发展角度，看模块电源的统型与选型

【前言】

模块电源（BMP）因其高效、安全、可靠、系统升级容易等特点，广泛的应用于工业自动化、继电保护、配网自动化、轨道交通、汽车电子、航空航天等高可靠性高性能的领域。正确合理地选用 DC/DC 模块电源，可以省却电源设计、调试方面的麻烦，将主要精力集中在自己专业的领域，这样不仅可以提高整体系统的可靠性和设计水平，而且更重要的是缩短了整个产品的研发周期。

本文结合笔者 20 多年从事模块电源的设计、应用和市场的经验，从模块电源技术发展趋势的角度，系统地介绍模块电源统型思路和选型。希望帮助客户在规格系统供电方案和模块电源的选型提供帮助，提高系统的可靠性、安全性及产品的迭代和扩容性。

【选型的困惑和苦恼】

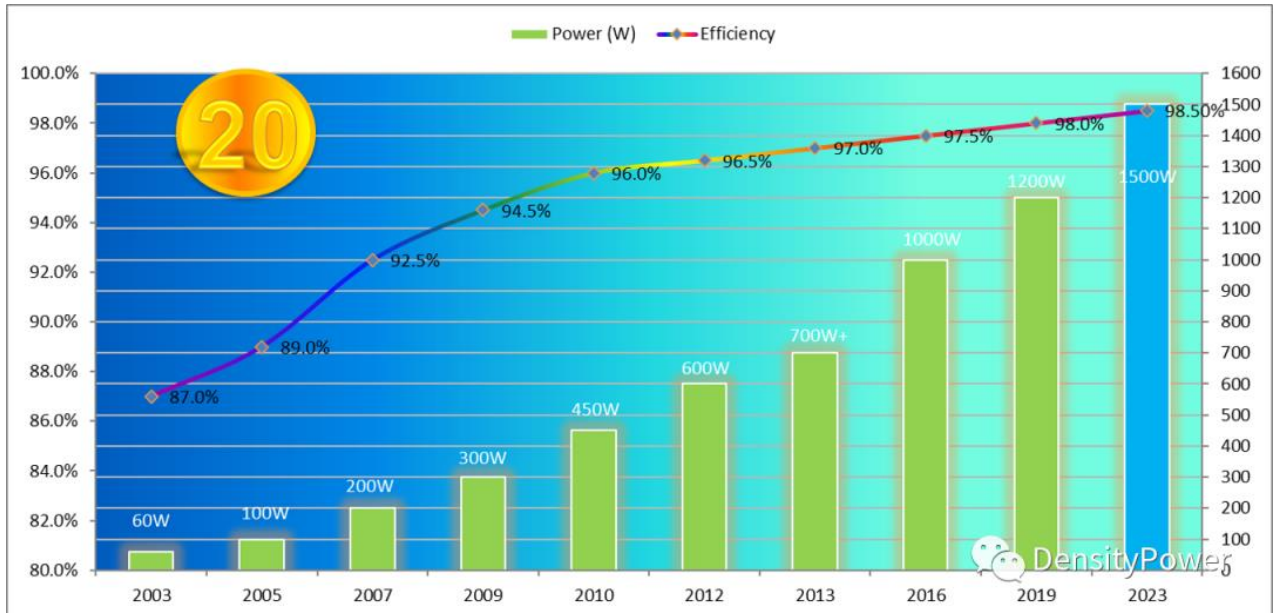
Case1: 笔者最近与一家行业龙头客户沟通，发现其电源模块的种类有 300 多种，同样的 10W 功率，24V 输入、5V 输出的产品型号多达 10 多种，有 DIP24 引脚封装的，有 1”x1”引脚封装的，2”x1”引脚封装的，有 18~36V 输入的，有 9~36V 输入的，有带和不带 Enable 使能引脚的，也有带 Trim 功能和无 Trim 功能的，分散到具体的每个型号的需求量不大。采购、计划和仓库为此甚是苦恼。

Case2: 最近接到一家客户的寻源需求，因为原来选用的模块厂商型号停产而要寻求替代，原型号是一个主流非通用的引脚封装方式，市面上很难找得到 Pin-Pin 兼容的直接替代。客户的系统价值 100 多万，系统产品生命周期长，因项目初期电源模块的选型和规划问题，而需要修改系统 PCB 升级改版，导致不必要的投入、资源浪费和改版的风险等。

【模块电源技术发展趋势】

为满足市场对电源性能不断提高的要求，DC/DC 模块电源一直向高效率、高功率密度、高频化、数字化、宽输入电压范围、低压大电流、低噪声、小型化、高可靠性、小型化和标准化的方向发展。

自 1996 年朗讯 (Lucent) 推出半砖电源模块，模块电源在近 20 年得到了高速的发展。笔者从 2003 年开始从事模块电源的工作，目睹了模块电源的高速发展过程。以 1/4 砖通信用模块电源为例，从笔者第一次 2003 年接触开模块电源开发，1/4 砖模块的效率为 87%，功率为 60W，到 2020 年，1/4 砖模块电源的效率达到效率 98%，功率达到 1200W。效率提升了 11%，功率密度提升 20 倍。



高效率：随着半导体技术、工艺的发展，低导通阻抗、低开关损耗的新型功率器件不断涌现，以及软开关技术的成熟和应用，促进了模块电源的效率的进一步提高；

高功率密度、小型化：随着平面变压器、平面电感技术、多层厚铜 PCB 工艺和技术、和宽禁带半导体材料（GaN）的发展与成熟，促进了模块电源的高频化、小型化发展。尤其是 GaN 功率器件的发展，因其良好的高频开关和低损耗的优点，将进一步显著的推动模块电源功率密度和小型化。同时，得益于有源器件的集成化，磁集成、埋阻、埋容等无源器件的集成技术，3D 集成封装技术及散热技术的发展，模块电源的高功率密度和小型化将进一步持续发展；

智能化：随着数字电源管理芯片的成熟和发展，推动了模块电源的数字化发展，数字控制电源因其灵活的控制方式、结构化模块化设计，精确的精度控制和调节，出色的动态响应性能及强大的故障响应和侦测等特点，模块电源的数字化控制和智能化通信监控将是必然的趋势。特别是在中高功率的模块电源和动态中间母线供电架构系统中将会得到广泛的应用；

高可靠性：目前市场上的模块电源主要应用在通讯、电力、轨道交通、航空航天及军工等领域，相关领域对模块电源的可靠性和稳定性提出了极高的要求。随着有源和无源器件的集成度提高，数字控制芯片的成熟，减少了模块电源的器件数量，同时随着效率的提升和散热技术的发展，以及模块电源生产和组装工艺的进步，将大大促进了模块电源的可靠性提升。

【直流电源系统供电架构】

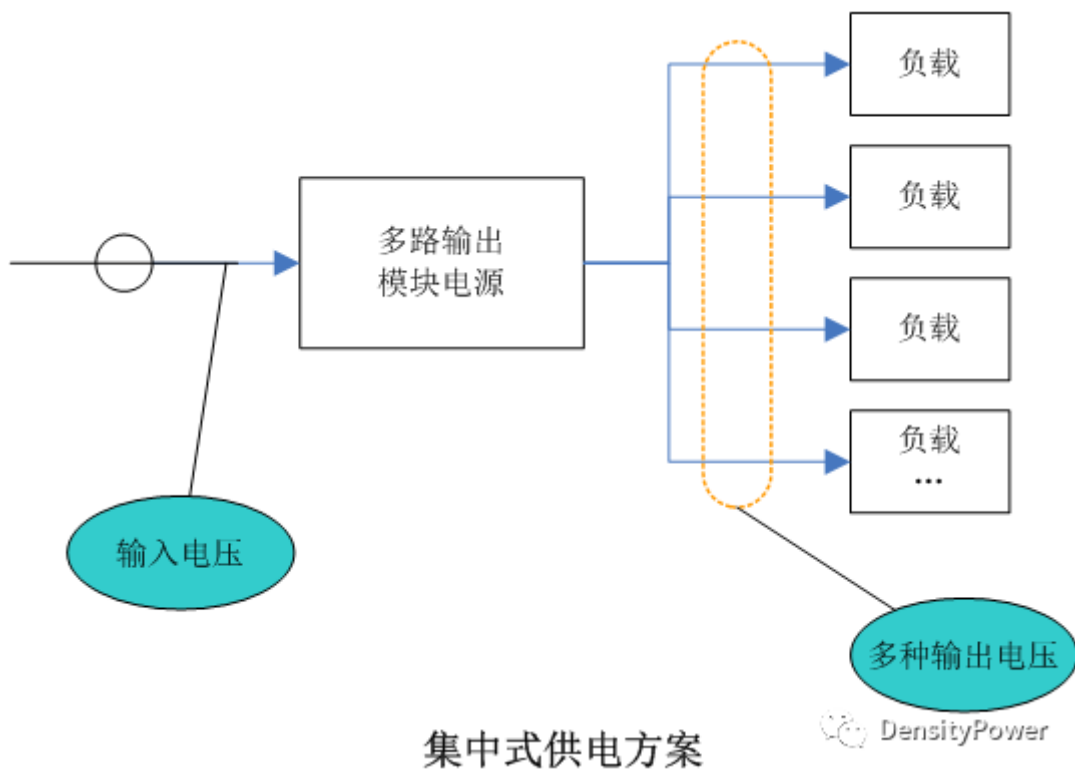
随着通信、计算机网络等信息技术的飞速发展，各种大规模、超大规模集成电路在电子设备中的应用也越多，对 DC 供电系统的要求也越来越高，要求电源多种不同的供电电压、更快的动态响应，高可靠性，高效率等。这些复杂、严格的要求，必须从系统及的角度上对供电架构进行优化改进，并结合模块电源本身的技术发展，从而在整体上提升系统设备供电的系统性、高效率、高可靠性达到满足要求的供电方案。

直流供电架构:

直流供电架构主要分为集中式供电架构、分布式供电架构和中间母线式供电架构。

- **集中式供电架构:**

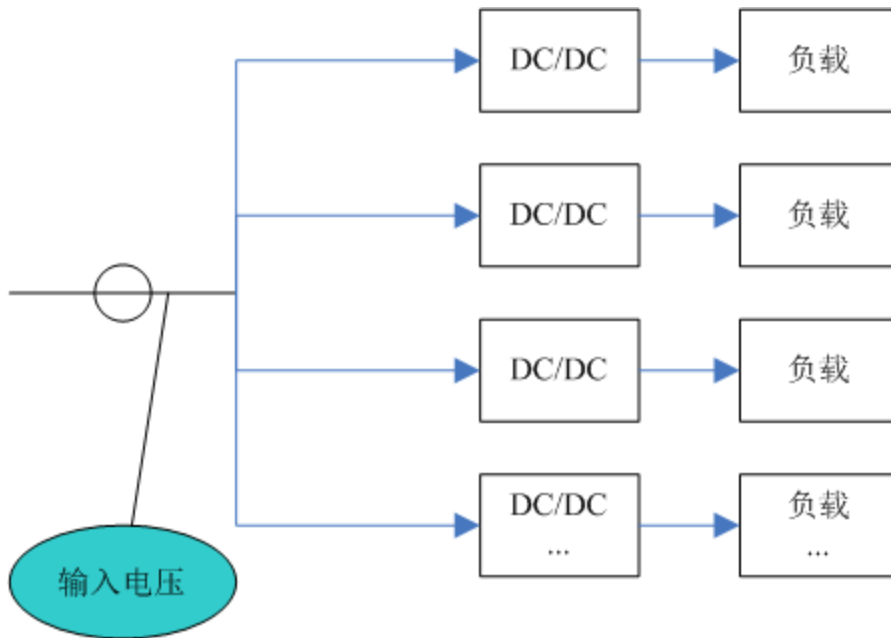
集中式供电架构 (Centralized Power Architecture) 与早先的线性电源相比, 体积小、重量轻、成本低、散热及电磁兼容容易集中处理, 不占用系统其它电路板的空间等优点。但在供电可靠性、扩展性等方面有很大的局限性。



集中供电的适应场合: 系统涉及的功能较单一, 故障后对单一或少数用户影响, 对实时维修要求不高, 产品成熟, 一般不需要备份, 系统对各路电压间相互影响不是很敏感, 供电到负载损失的功率较小。

- **分布式供电架构:**

分布式供电架构（Distributed Power Architecture）是指系统由前端变换器提供指定的母线电压，再根据负载的不同，由相应的 DC/DC 模块电源将母线电压转换成负载所需的电压。



分布式供电方案 DensityPower

与传统的集中式供电相比，分布式供电架构提高了供电的可靠性。当某一 DC/DC 模块出现故障时，只影响对应的设备供电，其他设备可连续工作。如果是按冗余设计，这在单一 DC/DC 模块故障时，由其他模块电源供电。同时，每个 DC/DC 模块的电源功率较小，发热降低，散热设计比集中式供电更容易，可靠性更高。

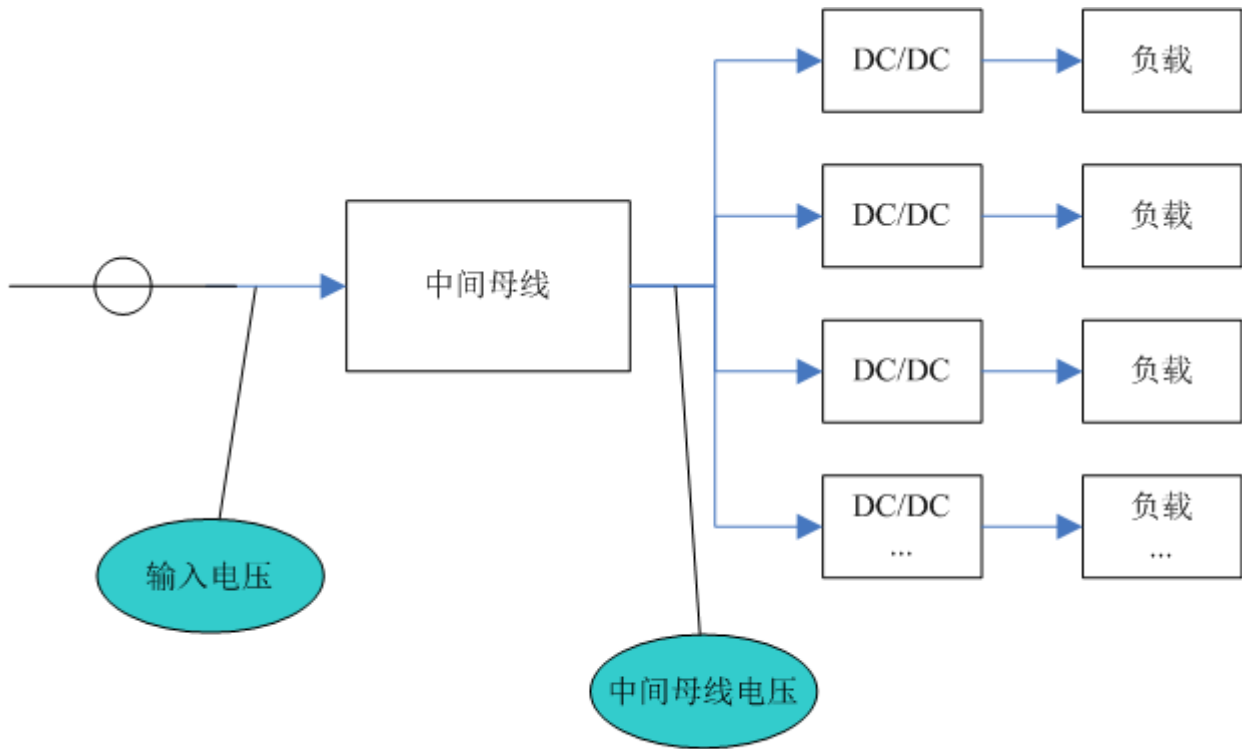
分布式供电更具开放性，相对于集中式供电方案，分布式供电方案的方便系统升级和扩容。

但是，分布式架构的成本较高，每个负载供电都要进行隔离，稳压，电压转换、EMI 滤波及输入保护等，大大的增加了系统的体积和成本，同时降低了功率密度和整体效率。

分布式供电的适应场合：不适合集中供电的场合以及对电源动态响应要求严格的场合。

- **中间母线供电架构：**

中间母线供电架构 (Intermediate Bus Architecture) 是在分布式供电架构基础上，提出的一种改进型的供电架构。中间母线供电电压由低成本的中間母线 DC/DC 转换提供并实现隔离功能。非隔离负载点电源 (Point of Load) 将中间母线电压转为系统负载所需的电压并实现电压的稳定。



中间母线供电方案



中间母线供电方式，也是一种分布式架构，具备分布式的可靠性高、扩容性好等优点，同时中间母线供电架构减少了分布式架构中的重复功能，提高了系统的整体效率，大大地减小了体积、降低成本。负载点电源布置灵活，可以尽可能地靠近负载，到达很高的动态响应性能，并同时提高了电压精度、降低损耗。

近些年来，中间母线架构在数据通信领域得到广泛的应用。

总体上，直流供电架构以满足输出多样化、瞬态响应快、高效率、高可靠性为根本目的，供电架构的选择根据具体的应用条件、负载特性、系统的可靠性等为依据，同时电子设备对电源的要求多种多样，笔者相信在相当长的时间内会多种架构并存、同一电源系统中多种供电架构混和应用。

【模块电源分类】

模块电源经过多年快速的发展，市场上的模块电源种类繁多。从大类来分，主要按输入电压范围、隔离与非隔离、封装引脚分类。

输入电压范围：主流应用的模块电源输入电压范围分为定电压输入、标准 2:1 输入、4:1 宽电压输入和超宽范围输入等。

模块电源又分为隔离和非隔离模块电源。

封装引脚：市场上模块电源的封装引脚方式多样化，自从 2003 年成立的 POLA 联盟和 2004 年成立的 DOSA 联盟，除个别厂家外，主流模块电源厂家从封装引脚方式逐步统一到 POLA 和 DOSA 的标准，越来越趋向标准化引脚封装。

模块电源的具体分类，笔者根据经验和市场上主流的产品，归纳总结模块电源的分类如下图：



【模块电源统型思路】

从笔者在文章开始介绍的 2 个案例可以看出，模块电源选型时的统型规划非常重要，在新产品开发设计时，系统的筹划模块电源的统型，对将来的模块电源长期稳定供应、采购成本、计划管理和库存管理都有着重要的意义。

从封装和结构方面考虑统型：

从模块电源的分类可以看出，模块电源的封装和结构存在多样化。在选型时，一定要用发展的眼光，长远考虑。尽量减少系统结构和工艺设计带来的多样性。

以工业标准封装模块电源为例，10 多年前 1"x1"的模块电源只有 5-10W 的功率，同时 2"x1"的模块电源只有 10-20W 的功率，而现在，1"x1"的模块电源功率达到 40W，2"x1"的模块电源功率达到 80W，在未来 2-3 年里，笔者预计 1"x1"的模块功率有望提

高到 50-60W，2"x1"的模块功率提高到 100 多 W。在系统设计时，考虑未来的模块电源发展和系统升级扩容需求，在系统方案选择和布板时，同时兼容 1"x1"和 2"x1"的引脚封装，将为后续系统的升级扩容和替代预留方案、做好准备。

另外，模块电源有带 Enable，Trim 功能和不带 Enable 和 Trim 功能的，两者在价格上没有明显的差异，尽量选择带 Enable 和 Trim 功能。

同样，以 1-3W SIP 的微功率隔离定电压电源模块为例，有 SIP4，SIP6，SIP7，实际上三种封装类型的模块电源在成本差异很小。选型时，尽量统一到 SIP7 的封装，可以兼顾高隔离耐压的应用和扩展。

随着模块电源技术的发展，早期的 2"x2"，2"x1.6"封装引脚的模块电源将逐步成为非主流而淘汰，选型的时候建议尽量不要选用该类型的引脚封装的模块电源。

- **从电气性能考虑选型：**

模块电源按照输入电压、输出电压、功率进行排列组合，型号种类非常多。以输入电压为例，有 5V，9V，12V，15V，24V，28V，36V，48V，72V，96V，110V，270V，300V，500V 等等。在系统设计和选择模块电源时，需要考虑是否可以集中到几种典型的供电电压？同时选择宽输入电压范围的模块电源替代窄输入范围的电源模块。

以轨道交通应用模块电源为例，如选择 34~160V 输入的，可以兼容 110V，96V，72V，48V 多种输入母线电压，尽量避免选择 66 ~ 154 V 输入电压的模块电源；

如 [DensityPower](#) 推出的 34~160 1"x1"20W 超宽输入范围的轨道交通模块电源，优化效率设计，从 30%~100%的负载范围效率 > 90%，输入范围可以兼容

110V, 96V, 72V 和 48V。在兼顾效率和性能的前提下, 大大提输入电压范围的兼容性, 为客户统型提供方便。

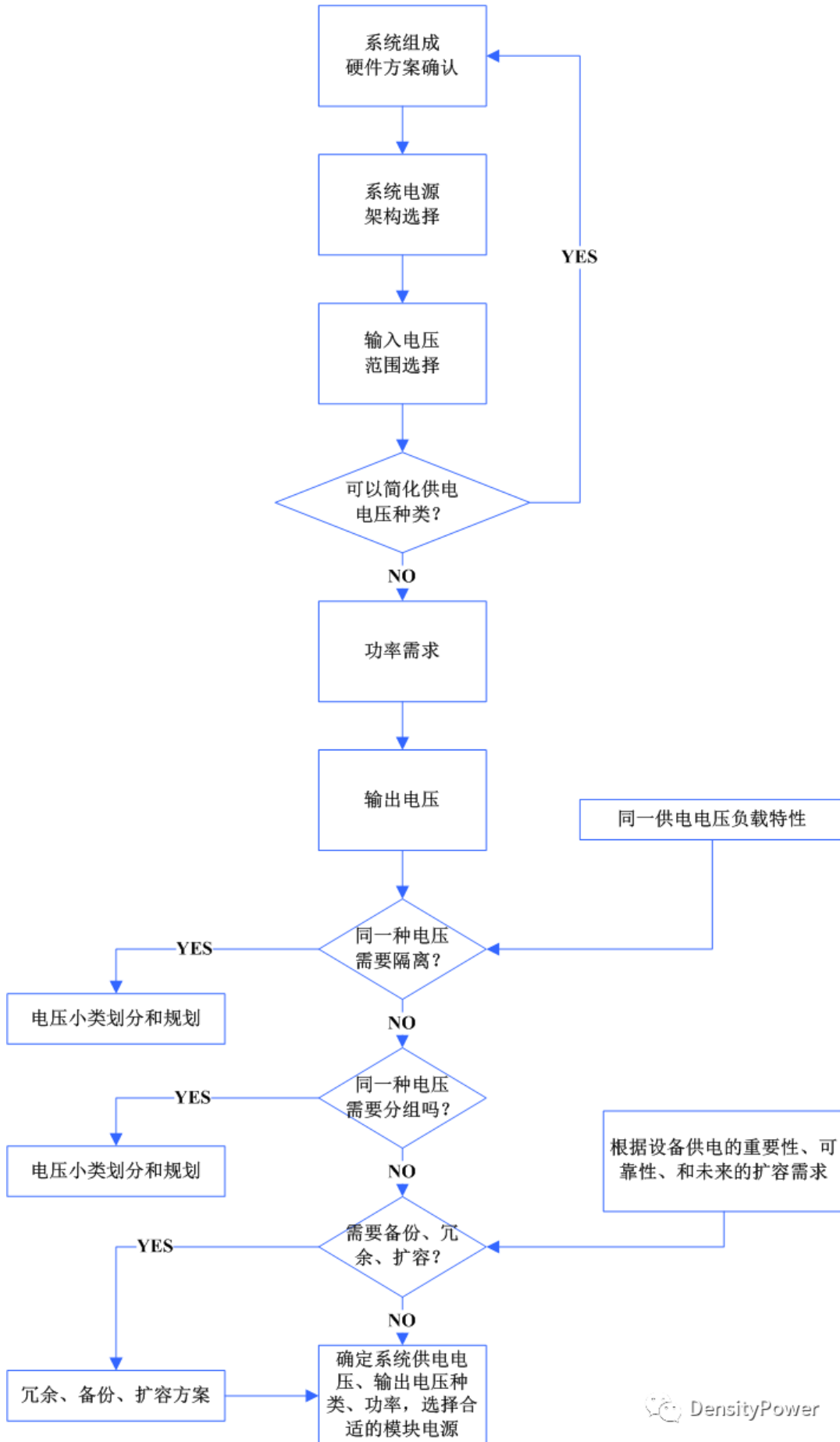
- **标准化:**

经过多年的发展, 模块电源的标准化程度越来越高, 选型时尽量选择主流的标准化模块电源。根据笔者了解, 国内轨道交通和军工领域, 早年比较多选择一家国外非标准主流的模块电源, 近年来随着国产化的要求和趋势, 遇到主流电源厂家的模块电源不能兼容的问题, 对国产化的进程造成一定程度的影响。

【模块电源选型建议】

模块电源选型步骤:

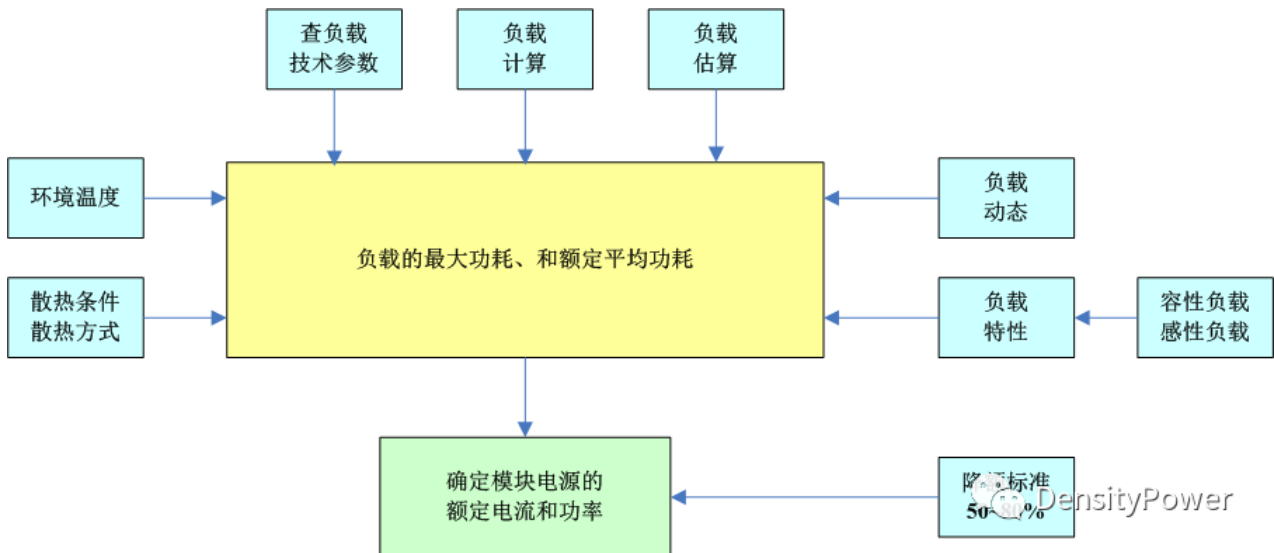
用户在选择模块电源时, 应从系统电源供电架构着手分析, 详细分析每个负载的特性和要求, 尽可能的系统规划, 合理选型, 并充分考虑系统的扩展和升级扩容的可能性。具体请参考下图:



模块电源选型主要指标：

▪ 额定功率：

一般建议实际使用功率是模块电源额定功率的 50 ~ 75%为宜，这个功率范围内模块电源各方面性能发挥都比较充分而且稳定可靠。负载太轻造成资源浪费，太重则对温升、可靠性等不利。另外，每个厂家对额定功率的定义也有所差别，在选择时一定要考虑额定功率所对应的温度和风速。比如一个标称 200W 功率模块电源，有的是在 25°C，400LFM 风速下模块能输出的功率，而有的是 55°C，200LFM 风速下模块能输出的功率。很明显，后者的温度特性明显优于前者。



▪ 封装形式：

模块电源的封装形式多种多样，符合国际标准的也有，非标准的也有，就同一公司产品而言，相同功率产品有不同封装，相同封装有不同功率，那么怎么选择封装形式呢？主要有三个方面：

- A) 一定功率条件下体积要尽量小，这样才能给系统其他部分更多空间更多功能；
- B) 尽量选择符合国际标准封装的产品，保证后续的兼容性；

C) 应具有可扩展性，便于系统扩容和升级。比如引脚功能：尽量选择带 Enable 控制和 Trim 控制的模块，即时暂时不需要 Enable 或 Trim 功能，也要为今后或其他系统的应用预留功能。

- **温度范围与降额使用：**

一般模块电源都有几个温度范围产品可供选用：商品级、工业级、军用级等，在选择模块电源时一定要考虑实际需要的工作温度范围，因为温度等级不同材料和制造工艺不同价格就相差很大，选择不当还会影响使用，因此不得不慎重考虑。模块内部器件的工作温度的高低直接影响模块电源的寿命，器件温度越低模块寿命越长。选择模块电源时，特别要注意模块电源的热降额特性，确保电源的热降额特性满足实际的工作温度范围内的功率要求的同时，并保证一定的功率裕量。不同厂家的热降额测试和定义各有差别，影响热降额的因素也很多，建议在选择时确认模块电源的热降额特性及相应的测试条件。

- **隔离电压：**

一般场合使用对模块电源隔离电压要求不是很高，但是更高的隔离电压可以保证模块电源具有更小的漏电流，更高的安全性和可靠性，并且 EMC 特性也更好一些，因此目前业界普遍的隔离电压水平为 1500VDC 以上。选择隔离电压等级时，需要综合考虑相关的安规标准要求并结合实际的应用环境，比如海拔高度。同时，随着技术的发展，微功率模块电源，3000V 的隔离耐压产品与 1500V 或 1000V 隔离耐压的产品，实际成本差异微乎其微，建议尽量选择高隔离耐压的模块电源。

- **故障保护功能：**

有关统计数据表明，模块电源在预期有效时间内失效的主要原因是外部故障条件下损坏。因此延长模块电源使用寿命、提高系统可靠性的重要一环是选择保护功能完善的产品，即在模块电源外部电路出现故障时模块电源能够自动进入保护状态而不至于永久失效，外部故障消失后应能自动恢复正常。模块电源的保护功能应至少包括输入过压、欠压、软启动保护；输出过压、过流、短路保护，及过温保护等。

- **功耗和效率：**

在输出功率一定条件下，模块损耗越小，则效率越高，温升低，寿命更长。除了满载正常损耗外，还有两个损耗值得注意：空载损耗和输出短路损耗，这两个损耗越小，表明模块效率越高，特别是短路未能及时采取措施的情况下，可能持续较长时间，短路损耗越小则因此失效的机率也大大减小。同时，考虑到实际应用时降额使用，选择实际使用功率对应优化效率点将有效地提高系统的效率和可靠性，也就是说，实际使用功率的效率比满载的效率更加重要。最小负载要求，有些模块电源有最小负载要求，最小负载要求会导致用户在实际轻载使用时损耗增加，效率降低，这是由电源设计的电路拓扑选择决定的。

- **EMC 性能：**

EMC 性能是电子系统正常、安全工作的重要保证，目前电子行业对产品的 EMC 性能都提出了很高的要求，因此优良的 EMC 特性是电源模块核心竞争力之一。

【结语】

随着电力电子器件和模块电源技术的发展，模块电源朝着高效率、高功率密度、高可靠性、小型化和标准化方向发展。准则及时地了解 and 把握模块电源的发展方向和趋

势，将有助于用户在产品开发立项时，系统的筹划设备供电方案、模块电源的选择和统型，从而提高系统的可靠性、兼容性、升级扩容性的同时，有效地降低整体成本。

登钛电子技术（上海）有限公司致力于“高效、安全、可靠”的模块电源研究并提供电源整体解决方案和服务。为客户提供电源产品的同时，提供增值的服务和支持。若您在电源选型时遇到困难，请与我司专业的技术支持联系。



扫一扫关注我们，
更多精彩内容等着您！