

# 电机的“十万个为什么”，你不懂的全在这里。

## ★什么叫电机？

---

答：电机是将电池电能转换成机械能，驱动电动车车轮旋转的部件。

## ★什么叫绕组？

答：电枢绕组是直流电机的核心部分，是铜质漆包线绕制的线圈。当电枢绕组在电机的磁场中旋转都会产生电动势。

## ★什么叫磁场？

答：在永磁体或电流周围所发生的力场及凡是磁力所能达到的空间或磁力作用的范围。

## ★什么叫磁场强度？

答：定义载有 1 安培电流的无限长导线在距离导线 1/2 米远处的磁场强度为 1A/m（安培 / 米，国际单位制 SI）；在 CGS 单位制（厘米 - 克 - 秒）中，为纪念奥斯特对电磁学的贡献，定义载有 1 安培电流的无限长导线在距离导线 0.2 厘米远处的磁场强度为 10e（奥斯特）， $10e=1/4.103/m$ ，磁场强度通常用 H 表示。

## ★什么叫安培定则？

答：用右手握住导线，让伸直的大拇指的方向跟电流方向一致，那么弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向。

## ★什么叫磁通？

答：磁通又叫磁通量：设在匀强磁场中有一个与磁场方向垂直的平面，磁场的磁感应强度为 B，平面的面积为 S，我们定义磁感应强度 B 与面积 S 的乘积，叫做穿过这个面的磁通量。

## ★什么是定子？

答：有刷或无刷电机工作时不转的部分。轮毂式有刷或无刷无齿电机的电机轴叫做定子，此种电机可以叫做内定子电机。

★什么是转子？

答：有刷或无刷电机工作时转动的部分。轮毂式有刷或无刷无齿电机的外壳叫做转子，此种电机可以叫外转子电机。

★什么叫碳刷？

答：有刷电机里面顶在换相器表面，电机转动的时候，将电能通过转相器输送给线圈，由于其主要的成分是碳，称为碳刷，它是易磨损的。应定期维护更换，并清理积碳。

★什么是刷握？

答：在有刷电机里面盛装并保持碳刷位置的机械导槽。

★什么是换相器？

答：有刷电机里面，具有相互绝缘的条状金属表面，随电机转子转动时，条状金属交替接触电刷的正负极，实现电机线圈电流方向的正负交替变化，完成有刷电机线圈的换相。

★什么是相序？

答：无刷电机线圈的排列顺序。

★什么是磁钢？

答：一般用于称呼高磁场强度的磁性材料，电动车电机都采用钕铁硼稀土磁钢。

★什么叫电动势？

答：由电机的转子切割磁力线而产生，其方向与外加电源相反，故称为反电动势。

★什么是有刷电机？

答：电机工作时，线圈和换向器旋转，磁钢和碳刷不转，线圈电流方向的交替变化是靠随电机转动的换向器和电刷来完成的。在电动车行业有刷电机分为高速有刷电机和低速有刷电机。有刷电机和无刷电机有很多区别，从字上可以看出有刷电机有碳刷，无刷电机没有碳刷。

★什么是低速有刷电机？有何特点？

答：在电动车行业中，低速有刷电机是指轮毂式低速大转矩无齿轮传动有刷直流电动机，电机定转子相对转速就是车轮的转速。定子上的磁钢为 5~7 对，转子

电枢的槽数为 39~57 个。由于电枢绕组固定在轮子外壳内，借助转动的外壳，热量容易散发。转动的外壳又编织着 36 根辐条，更有利热的传导。

**★有刷有齿电机的特点？**

答：有刷电机中因为有电刷，其主要隐患就是“电刷磨损”，用户应该注意到有刷电机又分为有齿和无齿两种。目前许多厂家选用有刷有齿电机，它是一种高速电机，所谓“有齿”就是通过齿轮减速机构，将电机转速调低（因国标规定电动车时速不得超过 20 公里，故电机转速应在 170 转 / 分钟左右）。由于是高速电机通过齿轮减速，其特点是启动时骑行者感觉动力强劲，而且爬坡能力较强。但是电动轮毂是封闭的，只是在出厂前加注了润滑剂，用户很难进行日常保养，而且齿轮本身也有机械磨损，一年左右因润滑不足导致齿轮磨损加剧，噪音增大，使用时电流也增大，影响电机和电池寿命。

**★什么是无刷电机？**

由于控制器提供不同电流方向的直流电，来达到电机里面线圈电流方向的交替变化。无刷电机的转子和定子之间没有电刷和换向器。

**★电机如何实现换相？**

答：无刷或有刷电机在转动时，电机里面线圈的通电方向需要交替变换，从而达到电机能连续转动。有刷电机的换相靠换相器和电刷共同完成，无刷电机靠控制器来完成。

**★什么是缺相？**

答：无刷电机或无刷控制器的三相电路中，有一相不能工作。缺相分主相位缺相和霍尔缺相。表现为电机抖动不能工作，或转动无力且噪音大。控制器在缺相状态下工作是很容易烧毁的。

**★电机常见的种类有哪几种？**

答：常见的电机有：有刷有齿轮毂电机、有刷无齿轮毂电机、无刷有齿轮毂电机、无刷无齿轮毂电机、侧挂电机等。

**★从电机的种类上怎么区分是高低速电机？**

答： A 有刷有齿轮毂电机、无刷有齿轮毂电机属于高速电机；  
B 有刷无齿轮毂电机、无刷无齿轮毂电机属于低速电机。

★电机的功率是怎么定义的？

答：电机的功率是指电机所输出的机械能与电源所提供的电能之比。

★为什么要选择电机的功率？选择电机功率的意义何在？

答：电机额定功率的选择是一个很重要很复杂的问题。负载时，如果电机额定功率过大，电机就经常处于轻载运行，电机本身的容量得不到充分的发挥，变成“大马拉小车”，同时电机运行效率低、性能不好，都会增加运行费用。反过来，电机额定功率要求得小，那便是“小马拉大车”，电机电流超过额定电流，电机内耗损加大，效率低时小事，重要的是影响电机的寿命，即使过载不多，电机的寿命也会减少较多；过载较多，会破坏电机绝缘材料的绝缘性能甚至烧毁。当然，电机额定功率小，可能根本就拖动不了负载，会使电机长时间处于启动状态而过热损坏。所以应该严格按照电动车运行情况选定电机的额定功率。

★一般直流无刷电机为什么要有三个霍尔？

答：简要的说，直流无刷电机为了能转动，必须使定子线圈的磁场和转子永久磁体的磁场之间始终存在一定的角度。转子转动的过程也就是转子磁场方向改变的过程，为了使二者磁场存在角度，到一定的程度后，定子线圈的磁场方向必须改变。那么怎么知道要改变定子磁场的方向了呢？那就靠那三个霍尔了。可以认为那三个霍尔肩负着告诉控制器何时改变电流方向的任务。

★无刷电机霍尔的耗电量大致范围是多少？

答：无刷电机霍尔的耗电量大致范围是 6m A-20m A 不等。

★一般电机在多大的温度下能够正常工作？电机最多能够承受多高的温度？

答：如果测量电机盖的温度超过环境温度 25 度以上时，表明电机的温升已经超出了正常的范围，一般电机温升应该在 20 度以下。一般电机线圈是由漆包线绕而成，而漆包线在温度高于 150 度左右时其漆膜会因为温度过高而脱落，造成线圈短路。当线圈温度在 150 度以上时电机外壳所表现出的温度在 100 度左右，所以如果以其外壳温度为依据则电机所承受的最高温度为 100 度。

★电机的温度应在 20 摄氏度以下，即电机端盖的温度超过环境温度应小于 20 摄氏度，但电机发热超过 20 摄氏度的原因是什么？

答：电机发热的直接原因是由于电流大引起的。一般可能是线圈短路或开路、磁钢退磁或电机效率低等造成，正常情况则是电机长时间大电流运转。

★什么原因导致电机会发热？这是一个怎样的过程？

答：电机负载运行时电机内有功率损耗，最终都将变成热能，这就会使电机温度升高，超过了周围环境温度。电机温度比环境温度高出的值称为升温。一旦有了升温，电机就要向周围散热；温度越高、散热越快。当电机单位时间发出的热量等于散出的热量时，电机温度不再增加，而保持着一个稳定不变的温度，即处于发热与散热平衡的状态。

★一般点击允许温升是多少？电机的温升对电机中的哪个部分影响最大？是怎么定义的？

答：电机负载运行时，从尽量发挥它的作用出发，所带负载即输出功率越大越好（若不考虑机械强度）。但是输出功率越大、损耗功率越大，温度越高。我们知道，电机内耐温最薄弱的东西是绝缘材料，如漆包线。绝缘材料耐温有个限度，在这个限度内，绝缘材料的物理、化学、机械、电气等各方面性能都很稳定，其工作寿命一般约为 20 年。超过这个限度，绝缘材料的寿命就急剧缩短，甚至会烧毁。这个温度限度，称为绝缘材料的允许温度。绝缘材料的允许温度，就是电机的允许温度；绝缘材料的寿命，一般就是电机的寿命。

环境温度随时间、地点而异，设计电机时规定取 40 摄氏度为我国标准环境温度。因此绝缘材料或电机的允许温度减去 40 摄氏度即为允许温升，不同绝缘材料的允许温度是不一样的，按照允许温度的高低，电机常用的绝缘材料为 A 、 E 、 B 、 F 、 H 五种。按环境温度为 40 摄氏度计算，这五种绝缘材料及其允许温度和允许温升如下表所示：

★怎样测量无刷电机的相角？

答：接通控制器电源，由控制器给霍尔元件供电，就可以检测到无刷电机的相角了。方法如下：用万能表的 +20V 直流电压档，并将红表笔接 +5V 线，黑笔分别测量三个引线的高低电压，按 60 度及 120 度电机的换相表对照即可。

★为什么任意一台直流无刷控制器和直流无刷电机不能随意接上就能正常转动起来？为什么直流无刷会有倒相序之说？

答：一般来说直流无刷电机在实际运动中是这样一个过程：电机转动 ---- 转子磁场方向改变 ---- 当定子磁场方向和转子磁场方向的夹角到 60 度电角度时 ---- 霍尔信号改变 ---- 相线电流方向改变 ---- 定子磁场向前跨越 60 度电角度 ---- 定子磁场方向和转子磁场方向夹角为 120 度电角度 ---- 电机继续转动。这样我们就明白了，霍尔有六种正确的状态。当特定的霍尔告诉控制器时，

控制器就有特定的相线输出状态。所以倒相序就是要完成这样的一个任务，就是使定子的电角度始终按一个方向以 60 度电角度步进。

★如果 60 度的无刷控制器用在 120 度的无刷电机上会有什么状况？反之又如何？

答：都会倒至缺相现象，不能正常转动；但捷能所采用的控制器是一种智能型无刷控制器能够自动识别 60 度电机或 120 度电机，从而可以兼容适配二种电机，使得维修更换更加方便。

★直流无刷控制器和直流无刷电机怎样能倒出正确的相序？

答：第一步要保证霍尔线的电源线和地线与控制器上相对应的线插好，而三个电机霍尔线与三个电机线对控制器的接法共有 36 种，最简单而笨的方法是每种状态逐一试验。换接时可以不断电进行，但一定要仔细，也要有一定的次序。要注意每次拧转不要太大，如果电机转动不顺利，则这种状态就是不对的，转把拧的太大就有损控制器，如果出现反转的情况，在知道控制器的相序的情况下就是把控制器霍尔线 a 、 c 互换，点击线 A 相与 B 相互换，即可倒为正转。最后验证接得正确方法是大电流运转时正常。

★如何用 120 度无刷控制器控制 60 度电机？

答：在无刷电机霍尔信号线 b 相与控制器采样信号线之间加方向线路即可。

★有刷高速电机和有刷低速电机有什么直观上的区别？

答：A. 高速电机有超越离合器，往一个方向转轻松，往另一个方向转费尽；低速电机双向转斗一样轻松。

B. 高速电机的车转动时噪音较大，低速电机转动噪音较小。有经验的人很容易凭耳朵识别。

★什么是电机的额定运行状态？

答：在电机运行时，若各个物理量都与它的额定值一样，就称为额定运行状态，在额定运行状态下工作，电机能可靠的运行，并具有最好的综合性能。

★电机的额定转矩是怎么计算出来的？

答：点击轴上输出的额定转矩可以用  $T_{2n}$  表示，其大小是输出的机械功率额定值除以转交速度的额定值，即  $T_{2n}=P_n$  其中  $P_n$  的单位为 W 、  $N_n$  的单位为 r/min 、  $T_{2n}$  单位是 N.M, 如果 PNM 单位用 KN ，系数 9.55 改为 9550 。

故可以得出如果在电机额定功率相等的条件下，电机的转速低其转矩越大。

★电机的启动电流是怎么定义的？

答：一般要求电机的启动电流不能超过其额定电流的 2~5 倍，这也是为什么在对控制器上作限流保护的一个重要原因。

★市场上销售的电机转速为什么越来越高？及有何影响？

答：供应商方面提速可以降低成本，同样是低速点击，速度高了线圈匝数就少了，也省了硅钢片，磁钢数目也少了，购买者认为高速就好。

额定速度工作时，其功率不变，但在低速区时效率明显低了，也就是启动无力。

效率低，需要用大电流启动，骑行时电流也大，对控制器的限流要求大，对电池也不好。

★出现电机异常发热情况怎么维修？

答：维修处理的方法一般为更换电机，或进行维修保。

★电机的空载电流大于参考表极限数据时表明电机出现了故障，产生的原因有哪些？怎么维修

答：点击内部机械摩擦大；线圈局部短路；磁钢退磁；直流电机换相器积碳。维修处理的方法一般那为更换电机，或更换碳刷，清理积碳。

★各种电机的无故障最大极限空载电流是多少？

电机形式 额定电压 24V 时 额定电压 36V 时

侧挂电机 2.2A 1.8A

高速有刷电机 1.7A 1.0A

低速有刷电机 1.0A 0.6A

高速无刷电机 1.7A 1.0A

低速无刷电机 1.0A 0.6A

★电机空转电流如何测量？

答：将万用表置于 20A 档位，将红黑表笔串连接在控制器的电源输入端。打开电源，再电机不转的情况下，记录下此时万用表的最大电流 A1。转动转把，使



电机高速空载转动 10s 以上，等待电机转速稳定后，开始观察并记录此时万用表的最大数值 A2 。电机空载电流  $=A2-A1$  。

★电动车常用电机的比较：

★如何识别电机的好坏？关键看哪些参数？

答：主要是空载电流和骑行电流的大小，与正常值对比，及电机效率和扭矩的高低，以及电机的噪声、振动和发热量，最好的方法是用测功机测试效率曲线。

★ 180W 和 250W 电机有何区别？对控制器有何要求？

答： 250W 的骑行电流大，对控制器的功率余量及可靠性要求较高。

★为什么在标准环境下，电动车的骑行电流会因电机的额定不同而不同？

答：众所周知，标准条件下，以额定负载 160W 来计算，在 250W 的直流电机上骑行电流为 4 — 5A 左右，而在 350W 直流电机上骑行电流略高一些。举个例子：如果电池电压为 48V ，两个电机 250W 和 350W ，其额定效率点都为 80% ，则 250W 电机的额定工作电流为 6.5A 左右，而 350W 电机的额定工作电流为 9A 左右。而一般电机的效率点是工作电流偏离额定工作电流越远，其值越小，同在 4 — 5A 的负载情况下，在 250W 的电机效率为 70% ， 350W 的电机效率为 60% ，则在 5A 的负载下，

250W 的输出功率为  $48V \times 5A \times 70\% = 168W$

350W 的输出功率为  $48V \times 5A \times 60\% = 144W$

而 350W 电机为了使输出功率满足骑行要求即达到 168W （差不多是额定负载），则只有使电源增加，从而使效率点增高。

★为什么在同样的环境下，350W 的电机要比 250W 的电机的电动车的续行里程短？

答：由于同样的环境下，350W 电机的电动车骑行电流大所以在电池一样的情况下，其续行里程会短。

★对于电动助力车厂家应该怎么去选择电机？根据什么去选择电机？

答：对于电动车来说其电机选择的最关键因素是电机额定功率的选择。



电机额定功率选择一般分为三个步骤：

第一步，计算负载功率  $P$ 。

第二步，根据负载功率，预选电机的额定功率及其他。

第三步，校核预选电机。一般先校核发热温升，再校核过载能力，必要时校核启动能力。都通过了，预选的电机便选定了；通不过从第二步重新进行，直到通过为止。

切忌在满足负载的要求下，电机的额定功率越小越经济。

第二步做好后，要根据环境温度的不同进行温度校正，额定功率是在国家标准环境温度为 40 摄氏度前提下进行的。若环境温度常年都较低或都比较高，未来充分利用电机的容量，应对电机的额定功率进行修正。例如常年温度偏低，电机世纪额定功率应比标准规定  $P_n$  高，相反，常年温度偏高的，应降低额定功率使用。

总体来说，在环境温度确定的情况下，选择电动车的电机应根据电动车的骑行状态来定，电动车的骑行状态越能使电机接近额定工作状态越好，而电动车的骑行状态一般是根据路况而定的。如天津市路面平整，则小功率电机足够；如果要用较大功率的电机，则会造成能源的浪费，造成续行里程短。如果在重庆山路多，则适宜用功率较大的电机。

★ 60 度直流无刷电机比 120 度直流无刷电机更有劲，对吗？为什么？

答：从市场发现在和很多客户沟通的时候，普遍存在着这样一个谬误！认为 60 度电机比 120 度有劲。我们认为这大概是生产 60 度无刷电机厂家的一种宣传。从无刷电机的原理上以及事实证明，其实 60 度电机也好，120 度电机也罢！所谓度数只是用来告诉无刷控制器什么时候该让惦记的哪两根相线导通而已。根本没有谁比谁更有劲之说！240 度和 300 度也是一样，没有谁比谁更有劲之说。