

ATP 合成酶

December 2005 Molecule of the Month by David Goodsell

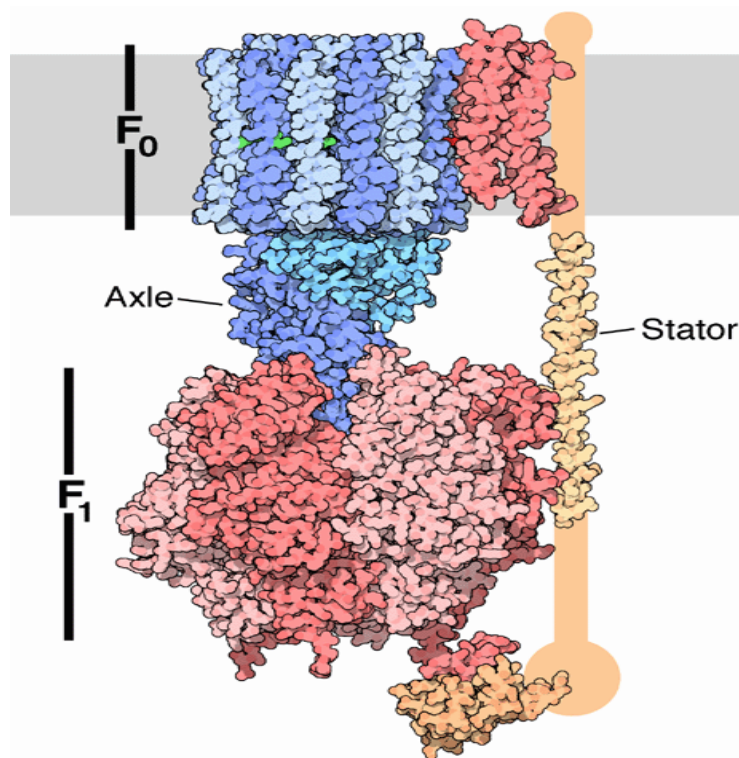
翻者：秦兴虎（中国农科院植保所）

朱晓东（中国农科院油料所）

关键词：合成酶的活性，旋转机制，ATP 合成过程，氢离子跨膜转运的活性，质子运输，ATP 合成偶联质子运输，分子马达蛋白

引言

ATP 合酶是分子世界的奇迹之一。ATP 合酶是一种酶，分子马达，离子泵，而另一个分子马达都被包裹在一个惊奇的纳米机器上。它在我们的细胞中起着不可或缺的作用，构建大部分 ATP 为我们的细胞进程提供能量。它执行此任务的机制是一个真正的奇迹。



旋转马达

ATP 的合成酶是由两个旋转马达组成，每个马达由不同的燃料驱动。一个电动马达在顶部，称为 F₀。它被嵌入在一张膜中（按照图示灰色条纹），并且由氢离子穿过膜的流动提供动力。由于质子流过马达，他们推动了一个圆形的转子（显示为蓝色）。该转子被连接到所述第二马达，称为 F₁。F₁ 的马达是一种化学电动机，动力由 ATP 驱动。两个马达由定子（stator，在右侧所示）连接在一起，这样，当 F₀ 转动时，F₁ 也转动。

马达发电机

那么为什么有两台马达连在一起呢？诀窍（原因）在于，一个电机可以驱动的其他电机转动，并以这种方式，电动机变成发电机。这就是在我们的细胞中发生的事情：F₀ 的发动机利用了由质子梯度驱动的力量推动 F₁ 马达产生 ATP。在我们的细胞里，食物被分解，并用来通过线粒体膜（酶）泵出氢离子。ATP 合酶的 F₀ 部分允许这些离子流回，在此过程中推动转子转动。当转子转动时，它的转动轴和 F₁ 马达成为发电机，因此，当它转动时产生了 ATP。

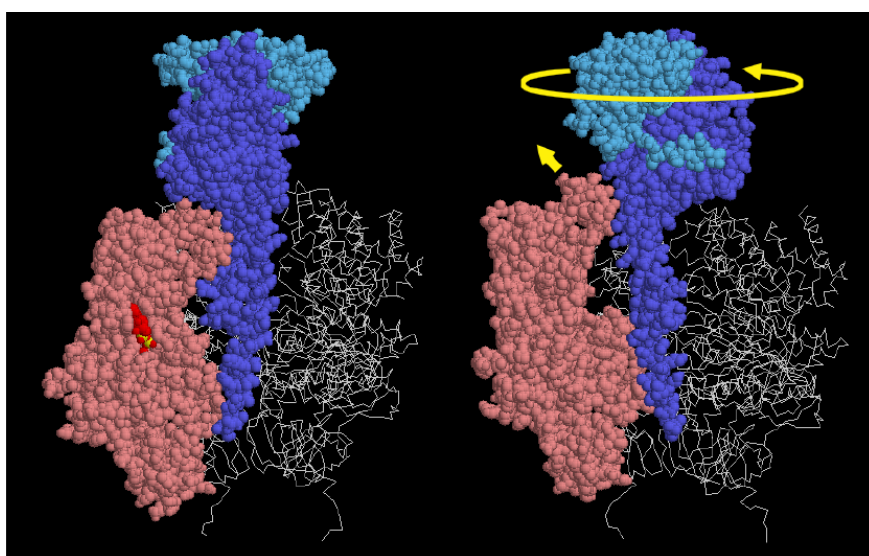
构件信息列表

像 ATP 合酶这样大型、复杂的分子机器给结构科学家们带来了难题。所以这些机器的结构通常分成几部分来确定。这里展示的图象是由四个不同的结构复合而成，组合结构是由 X-射线晶体学和核磁共振谱法来测定的。F₀ 的马达在 PDB 文件 1c17 中收录。F₁ 的马达和连接两个轴都列入在 PDB 文件 1e79。定子已被证明是最难以捉摸的一部分-在这里示出的两片是从 PDB 文件 2a7u 和 1l2p 中获得的。

如果想从基因组学角度获得 ATP 合成酶的更多信息，请看看在欧洲生物信息学研究所的蛋白质月（**Protein of the Month**）。

探索 F₁ 的结构

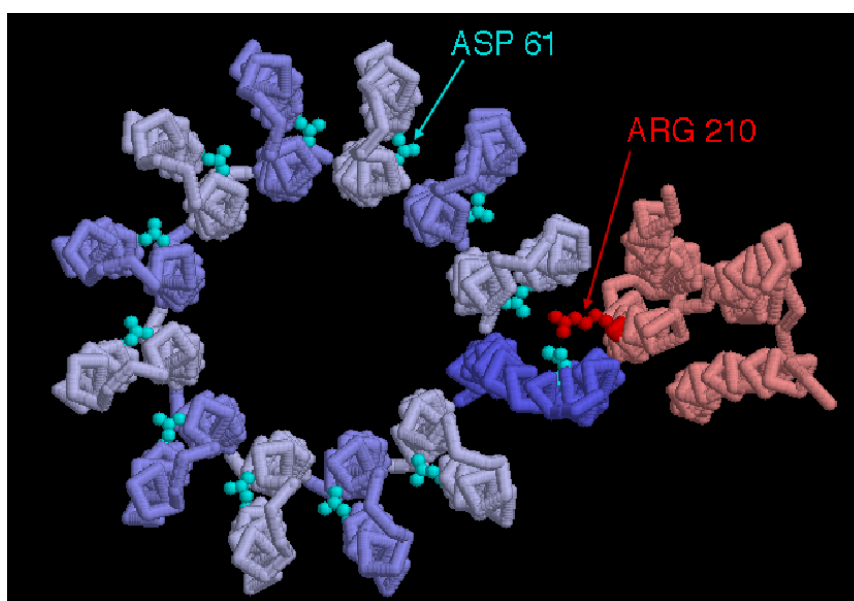
PDB 数据库中的 1e79 文件含有 ATP 合酶的 F₁ 马达条目。当它作为发电机工作时，它使用了旋转运动的力量来产生 ATP，当作为电动机（马达）工作时，它消耗 ATP 推动转轴反方向转动。ATP 的合成需要多个过程，包括 ADP 和磷酸的结合，新的磷酸 - 磷酸键的形成，和 ATP 的释放。当转轴转动时，它驱动马达变成三个不同的构象，以便帮助这些困难的过程。这里图片显示了马达的两种不同的状态。左边的图像显示了协助 ADP 与磷酸结合的构象，右边图像显示了被迫打开并释放 ATP 的构象。请注意奇怪形状的转轴如何驱动构象的变化。



你可以自己通过点击登录码和选择点击视图结构下的一个选项来查看这个结构。在这个文件中，中心轴是由链 G, H 和 I 组成。在文件中的三个亚基，链 D, E 和 F 在图中都被显示出来了，ATP 的产生部位 - 亚基 E-在左边的图片以红色显示-和亚基 D 在右侧的图片显示。亚基 A, B 和 C 是相似的，但起到维持结构稳定的作用。在这些图片，我已移除两个最接近的两个亚基，以便使结构交互更清晰。

探索 F₀ 结构

PDB 数据条目 1c17 中包含有 F₀ 电动马达的信息。在这张图中，我们从上面往下看旋转轴，就像我们在第一页图片的最上方往下看。转子是由 12 个相同的蛋白质链组成的，此图中为蓝色，但离子泵是一个单链，此图中为红色。该泵具有一个精氨酸氨基酸放开氢离子到转子上的天门冬氨酸。天门冬氨酸的氨基酸通常具有负电荷，但由于转子是由膜脂质所包围，这将是非常不利的。因此，只有天冬氨酸连接有氢时转子转动，中和其电荷。氢离子经过迂回路径通过 F₀ 马达，在此过程中推动转子转动。它们是由泵中的一条氨基酸链收集，并转移到精氨酸。精氨酸把氢传递到转子，这样就把所有的的路径扭转。然后泵上的其它氨基酸将氢卸载，并最终传递到膜的另一侧。目前氢离子穿过泵的精确定路径研究仍然是一个热点问题。



这些照片是用的 RasMol 创建。您可以通过在这里[点击加入代码](#)和选择视图结构下的一个选项创建类似的图片。

ATP 合成酶的其他信息

- P. D. Boyer (1997) The ATP Synthase--A Splendid Molecular Machine. Annual Review of Biochemistry 66, 717-749.
- G. Oster and H. Wang (1999) ATP Synthase: Two Motors, Two Fuels. Structure 7, R67- R72.
- G. Oster and H. Wang (2003) Rotary Protein Motors. Trends in Cell Biology 13, 114- 121