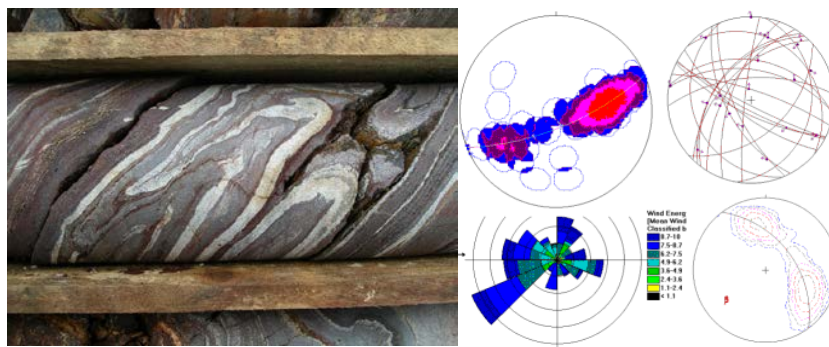


定向钻：测量与计算过程——针对构造地质与勘探地质人员



目录

- 定向钻类型
- 定向钻测量过程
- 几何关系
- 应用 **GeoCalculator** 解决几何学
- 手动立体绘图过程
- 统计数据偏差
- **QA/QC**: 误差检测与控制
- 勘探中使用分类的和数字的立体投影图
- **HCO** 公司包裹岩心的 β 角测量刻度板介绍

这份手册与模板来源于 HolcombeCoughlinOliver。该手册可免费下载、使用和发送，包括保留的 HCO 标志和扉页。模板可单独使用，亦保留有标志等信息。点击网页：[HTTP://www.holcombecoughlinoliver.com/HCO_downloads](http://www.holcombecoughlinoliver.com/HCO_downloads) 可下载最新更新。

定向钻类型

非定向钻

岩心钻进过程中，每个回次从套管中提取岩心(一般 3m)。岩心提取过程中，岩心任意方向旋转，当岩心从套管中出来放至岩心箱时，原始的方位已无法确定，尽管岩心轴的方位角通常是已知的。各种沿钻孔钻进方向(down-hole)测量技术可用于此，3-D 建模软件也普遍用于此，使得钻孔通常可获得很好的测量。



定向钻

多种方法(力学方法、光学方法等)可用于确定每个回次岩心的方位。通常要确定本回次的最低点，即下一回次的顶面位置。许多方法根据重力找出最低点，因此仅适用于非垂直钻孔(往往 $<70^\circ$)。定向标记，可使岩心在空间上确定其唯一方位。

“定向”岩心有定向标记(‘OM’)，沿岩心的最低点或最高点连线标记斜钻(分别称为“底部标记”‘BM’或“顶部标记”)。

定向岩心中构造的方位可由两种方法确定：

1. 使用砂桶或力学钻模同地表露头测量构造，确定岩心方位 (by reorienting the core using either a bucket of sand or a mechanical jig and measuring the structures as you would in outcrop);
2. 测量岩心上的几组关键角度，应用软件或立体投影图计算真正的地质方位角。本文档的主体包括测量的类型和投图方法。



岩心上的定向线。箭头指钻孔钻进(down-hole) — 远离井口方向，尽管钻孔在坑道中可能指向上

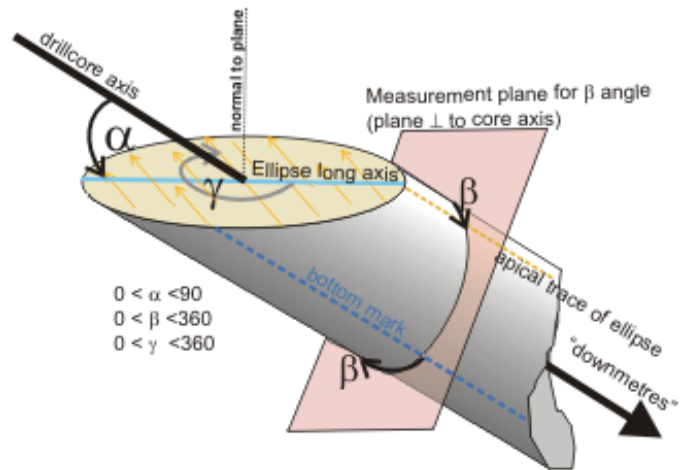
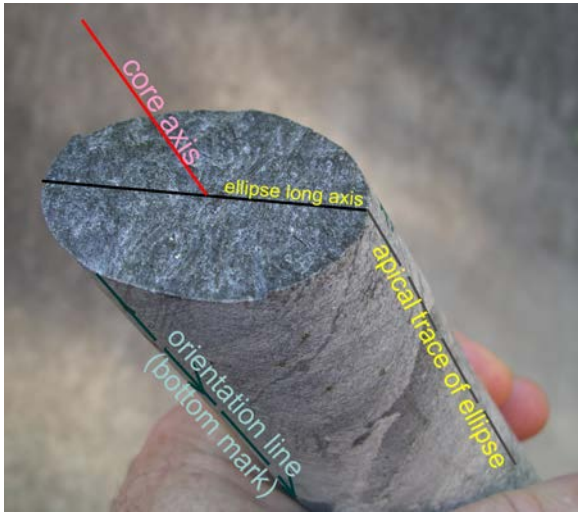
半定向钻

如果在不知道任何方位的情况下要确定非定向钻中层理面(举例)的方位，将需要三个不同方位的钻孔才能确定层理面的方位以解决几何问题。若知道平面的一些信息，如平面的倾向或走向，就只需两个钻孔。但若确定这些方向中的一个或另外一个，可能就只需要一个钻孔即可解决方位问题。

“半定向钻”是通过一个已知方位的参照面(层理、解理等)来确定其方位。只要知道参照面方位的部分信息(如倾向/走向，或局部褶皱轴方向)，即可解决未知平面的定向。

钻孔角度的规定(conventions)

多种规定用于定向钻或半定向钻角度的参考。



软件，如 GeoCalculator(<http://www.holcombe.net.au/software/>) 可用于将测量的岩心角度转换成地质构造可读的角度。

所有与钻孔相交的平面在岩心上呈一椭圆。椭圆的“顶端痕迹”(‘apical trace’)是椭圆长轴一端沿钻孔钻进方向的线条，由平面相交形成，包括椭圆的长轴、标准椭圆和岩心轴。同样地，线的“顶端痕迹”由平面中心相交界定，包括岩心轴和该线的平行线(如通过岩心的中心轴)。

讨论和量角器刻度板使用中的测量规定如下：

- **α角**：岩心轴与椭圆长轴之间的锐角(0-90°)。
(α角也可指岩心轴与通过岩心中心的线之间的角度)。
- **β角**：沿钻孔钻进方向的参照线与椭圆顶端痕迹之间逆时针方向测得的角度(0-360°)。

定向钻中，参照线指定向标记或底部标记，椭圆顶端痕迹的β角由该线逆时针方向测得。半定向钻中，参照线指参照平面椭圆的顶端痕迹，β角指该顶端痕迹与未知平面或线的顶端痕迹之间的交角。

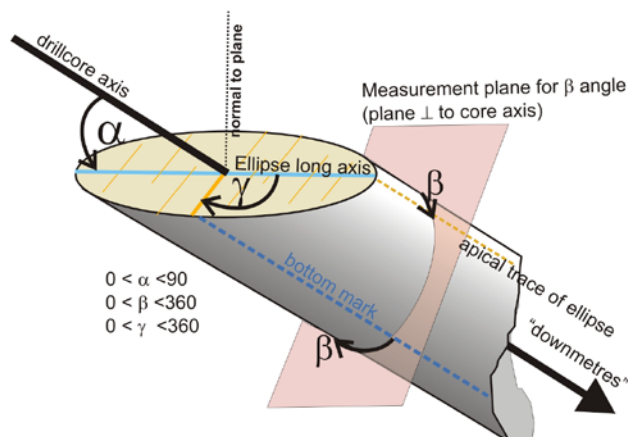
- 平面内一条线的**γ角**：平面内测得的位于椭圆长轴与线之间的角度。使用中有不同的规定(360°逆时针方向，±180°)
- **岩心轴倾角(plunge)和倾角方向**：本手册中的plunge指钻孔的倾角。这是指任何线性特征(如钻孔)倾斜的正确构造术语。但是，由于定向软件中早期引入的命名法失误，术语dip，在平面物体中保留使用，使其在矿产工业领域已成为plunge的同义词。

希腊字母的命名惯例在钻孔数据中普遍使用，但与实际字母与用法不一致。这里的α-β字母是目前的普遍用法(尽管Δ-α用法在文学中优先使用)。

定向岩心的测量过程

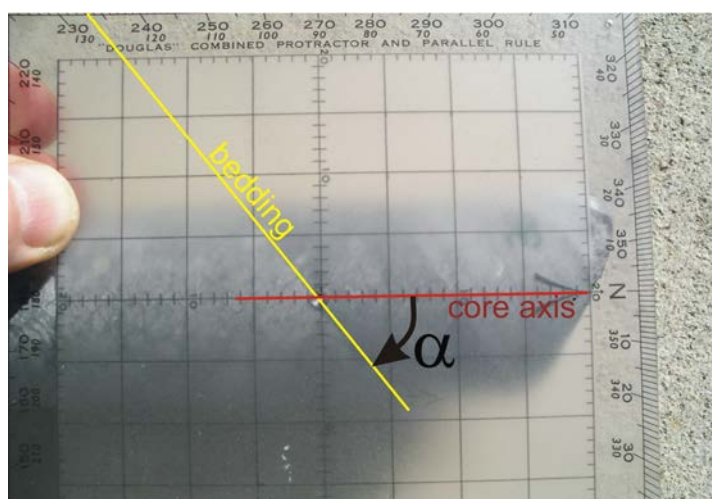
获得岩心中构造地质方位的两种普通技术：

- 用砂子或力学钻模中重新对岩心定向，使用野外露头的方法直接测量构造。该方法简单易懂，不再详述。
- α - β - γ 测量法：(i) α 角指平面与岩心轴之间的锐角；(ii) β 角指定向从定向线按逆时针方向至椭圆顶端轨迹；(iii) γ 角指从椭圆长轴至椭圆平面内一条线的交角。



α 角的测量

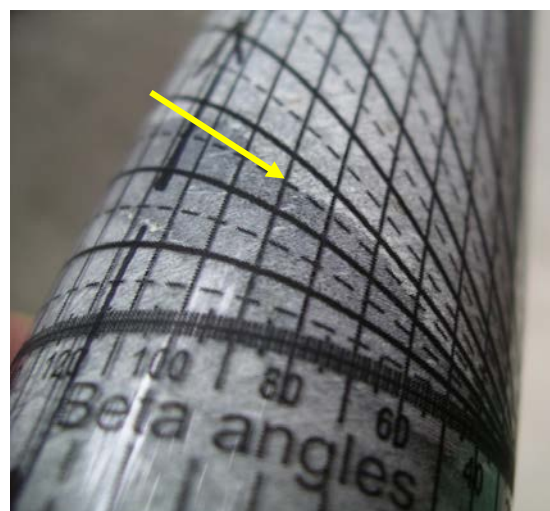
1. 直接测量可通过旋转岩心直到表面测到与岩心轴的最大交角，这是最简单的方法。



2. 用可包裹岩心的量角器刻度板上的 α 角线，包括本手册中印有条线的透明膜。

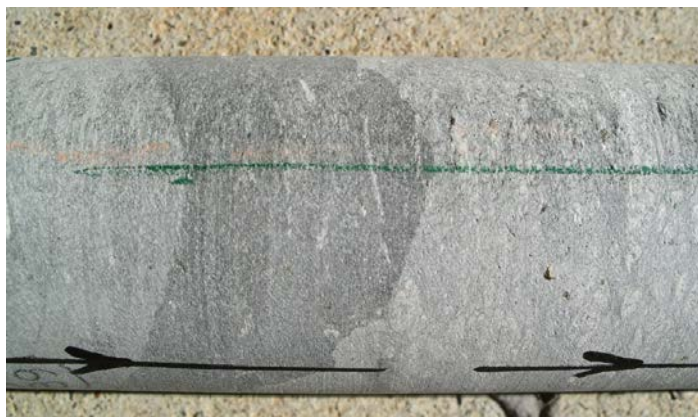
α 角曲线量角器与层状椭圆的结合。

从平行 α 曲线的层理痕迹读取的 65° α 角

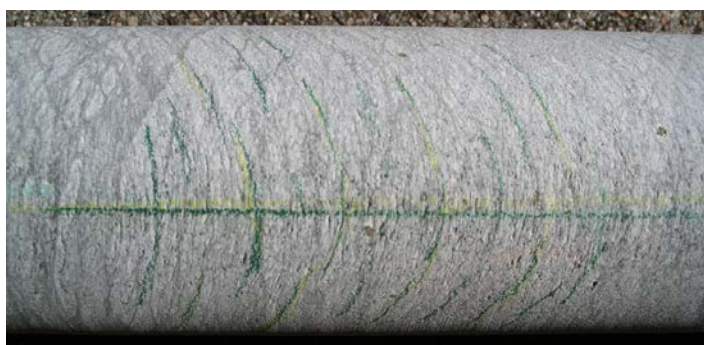


β角的测量

1. 沿岩心钻进方向标记椭圆平面的顶端痕迹。有两种方法：椭圆沿钻孔钻进方向的终端，或(较少使用)椭圆沿钻孔向上的终端。如果使用椭圆底部，应确保该线与岩心平面曲线最低点相交。



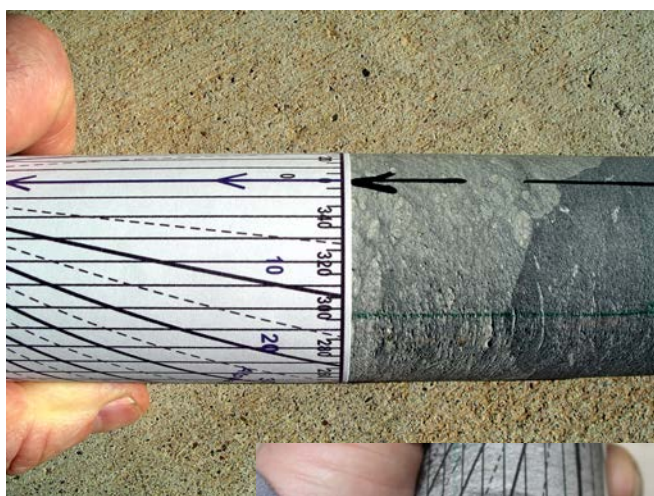
若测量表面发育细劈理，极易标记岩心上的劈理痕迹，可确定该组构与岩心轴垂直的点。



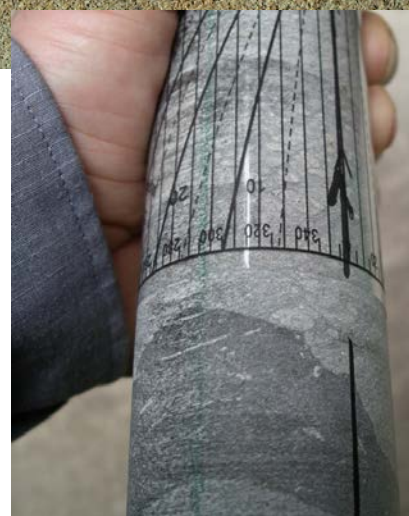
2. 将岩心按钻进方向在下握住。β角即定向标记和平面顶端痕迹之间逆时针方向的角度。β角的准确测量可使用专门的建筑圆形量角器，或更多地使用可弯曲包裹岩心印有量角器的纸或厚的透明膜，如本文档中提供的(透明膜是最好的)。量角器的 0° 线与定向标记重合，箭头指向岩心钻进方向(Down-hole)。

例如，(右图)黑色定向线(带指示钻进方向的箭头)与层理顶端线(绿色)之间的β角为 295°。

钻进方向(**Down-hole**)指远离岩心起点(井口)的方向，不考虑地理上是向上或向下，有时亦可称为‘down-metres’方向。



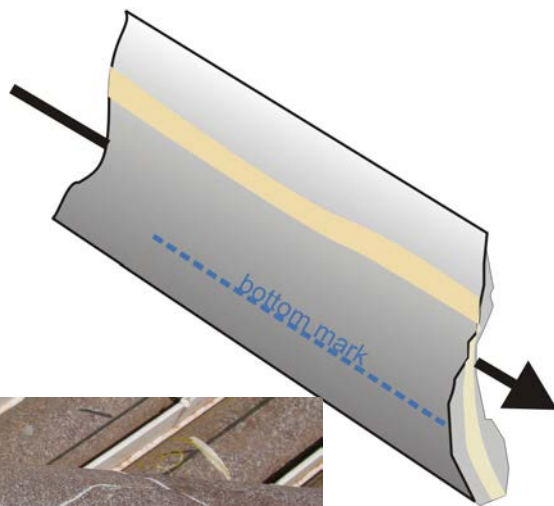
使用印有量角器的透明膜更易看到岩心上画的线。



平行岩心的表面测量

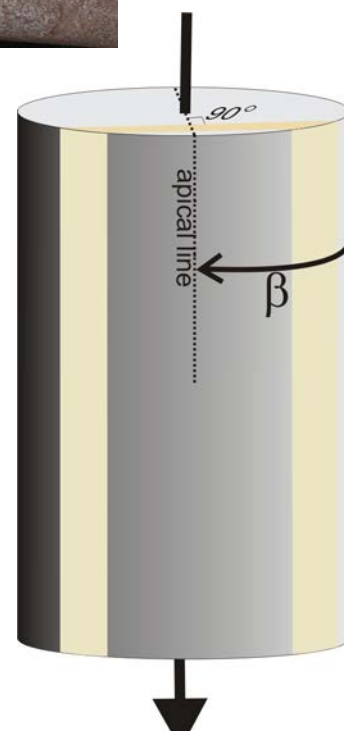
下一部分中将描述，为避免测量平行岩心轴的平面，往往会产生偏差。可能原因如因为无界定好的椭圆漏过测量。

若表面完全平行岩心轴， α 角为零。以下例子中，尽管层理有稍微的起伏，小断层对其造成错动，其仍平行于岩心轴。



为测量 β 角，推测顶端线：

1. 确定垂直岩心轴表面内线的方位
2. 让该线方位通过岩心轴
3. 通过岩心轴的线与岩心表面相交，获得平行于岩心轴的线。
岩心两侧可能各有一条相交线。
 - 若表面真正地平行岩心轴，平行岩心轴的两条线均可作为测量 β 角的顶端线(α 角为零度，角为 90° 或 270°)。
 - 若表面稍倾斜(α 角不是零度)，选择平行轴的线投影可与见到的椭圆底线相交，估计 α 角(通常为 $0\sim 3^\circ$)。



最简单的情况是当所测表面在岩心断面末端可见，该末端(end break)与岩心轴垂直(见右图所示)。

这比不能获得末端断面的情况稍复杂些：

- 确定岩心表面上的两点，可连成与岩心轴垂直的线。
- 使用 β 角量角器，测量岩心圆周方向两点之间的夹角绝对值。
- 确定圆周方向两点夹角平分的点，画一条通过该点的平行岩心轴的线条。该线可能是两条顶端线的其中之一。另一条线位于直径相反方向。如上所述，如果 α 角为零，选择其中之一即可。若 α 角不是零度，选择与椭圆底部相交的那条线作为顶端线。





平分平面上相反点之间的角。测量 β 角使用了可分开的刻度板(Subdividing the angle between opposite points on the plane)。

标记顶端线



测量 β 角

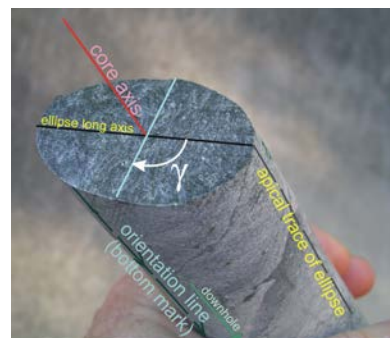
岩心中线的测量

定向钻中线的测量可使用两种方法：

1. 将线作为椭圆的长轴，测量其 α 和 β 角。倾向线通过岩心中心，沿钻孔倾向线(subtended line)终端标记顶端线。与平面相同测量其 α 和 β 角。
2. 测量平面内线的 γ 角。确保使用的规定与确定椭圆长轴终端的相同。即沿钻孔钻进方向测量 β 角的终端作为测量 γ 角的椭圆终端。

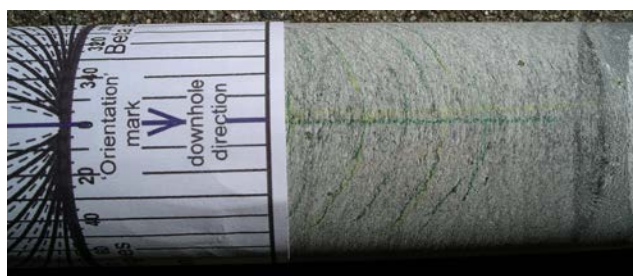
γ 角测量中使用的两种规定：

1. 椭圆长轴两侧方向与线的夹角，逆时针方向为正，相反为负角(0-180)；
2. 360° 逆时针方向表示(偏向于用单一的明确数字表示)



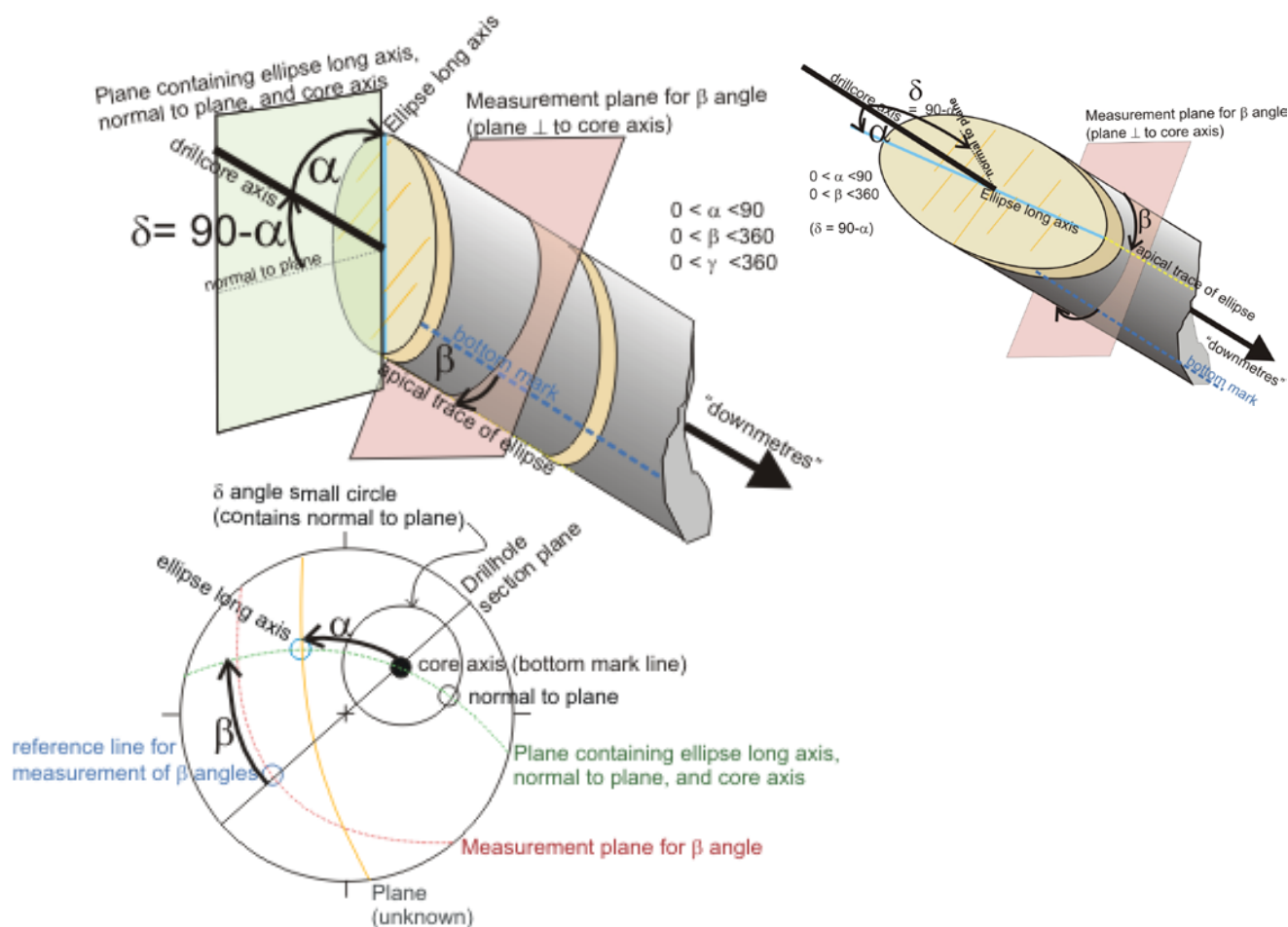
半定向钻的测量

半定向钻中定向标记为已知或部分已知方位的参照平面的顶端痕迹。与定向钻中方位测定的唯一不同是使用参照面顶端痕迹来测量其他平面的 β 角。



尽管可用参照平面的准确方位来计算，更可靠的方法是记录参照面椭圆的 α 角，且只使用倾向方向来限定。利用倾向方向计算倾角，再加上其他未知平面和线的方位。

定向钻的几何关系



立体图显示了用于解决钻孔方位问题的几何关系。注意平面法线(normal to the plane)形成的椭圆沿一个小的圆分布,以 $90-\alpha$ 角表示(= δ 角,见上图)。关键关系是平面含椭圆长轴和岩心轴,同时含椭圆平面的法线。多数定向钻计算的关键解决方法是找到该法线。立体投影方法在本手册的后半部分阐述,但通常由展开的纸(spreadsheets)或电脑程序包如GeoCalculator (<http://www.holcombe.net.au/software/>)解决。

一个重要的建筑平面是测量平面,岩心轴的法线。因为 β 角和 γ 角一般使用 360° 逆时针方向读数的规定,手动计算时应注意保留线或椭圆轴向上或向下的方向。尽管下文有介绍直接立体投图方法,直观地保留线条方向性的方法是构建垂直轴的平面,旋转轴,确定真正的方位。

半定向钻的几何关系

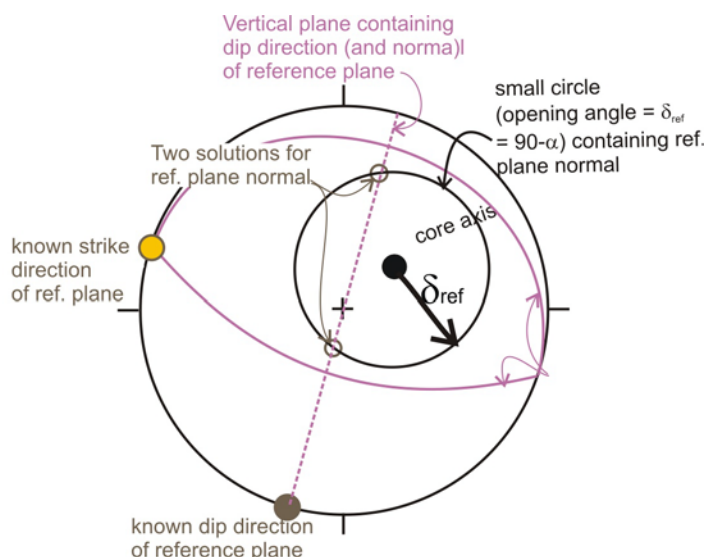
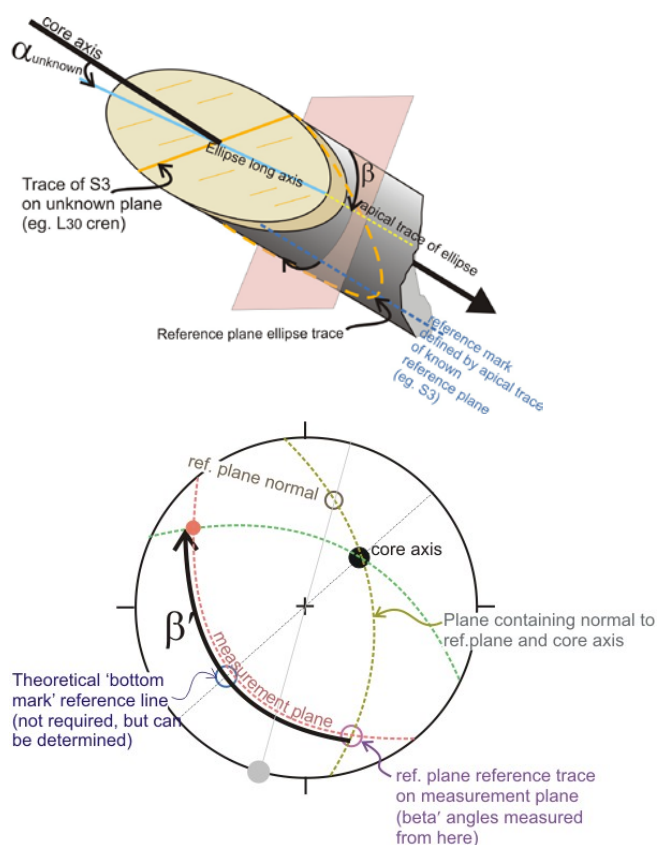
半定向钻中使用的技术通常在构造文献很少涉及，但这些技术其实可提供重要的方法解开旧的非定向钻中的构造，或可从定向钻中的非定向部分利用定向部分中确定的方位提取构造信息。关键因素是通过岩心确定具体的相对平面的(planar)构造组构。称为参照平面，椭圆顶端痕迹在测量 β 角时作为“定向标记”。

解决半定向钻的算法相当于利用参照平面的已知方位反计算理论“底端标记”在岩心上的位置，相对于参照平面椭圆长轴的顶端痕迹。然后，任一未知平面的方位可由上述定向钻方法计算获得。

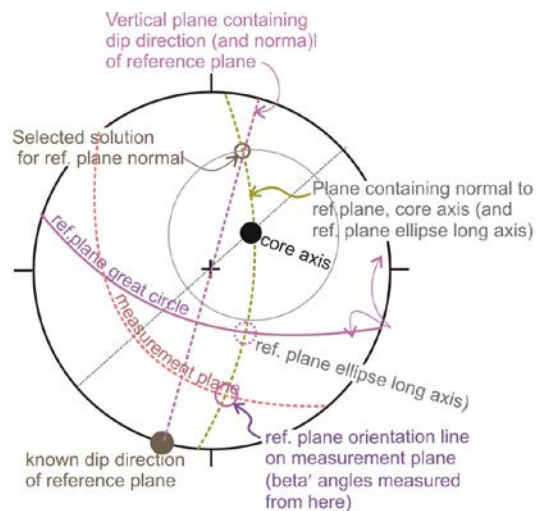
半定向钻技术计算获得的结果的准确度和可信度主要取决于参照平面方位的已知程度。参照平面法线相对岩心轴呈高角度时精度最好(即参照平面椭圆的 α 角最大)，但是高 α 角时很难确定椭圆长轴。

利用参照平面的真倾角一般可更好地限制走向或倾向。或者柱状(直的)褶皱轴的方位可更好地被限制，尽管参照平面的方位很多变。绝大多数例子中，可计算参照面的全方位，同时亦可测得参照平面的 α 角。缺点是，部分例子中，参照平面的方位可测得两组答案，需选择一组正确的。

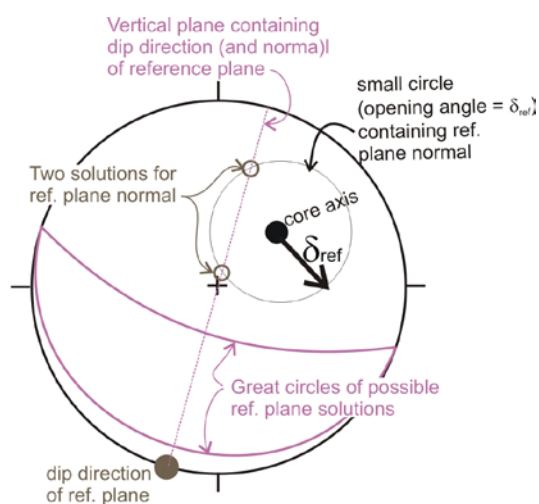
右图总结了用于确定仅已知倾向的参照平面全方位的几何关系。已知参照平面法线位于 $90-\alpha$ 角(即 δ 角)形成的小圆内。关键点是找到投影含有法线的另外一条线。一个是含倾向的垂直平面(即含走向法线的平面)。



另一个在这未显示，是柱状褶皱轴的 π 环带(pi-girdle)平面法线。注意，除了切线的情况，法线均有两组答案，为了选择正确的答案，必须知道参照平面方位的一些信息。最简单的情况是利用倾向方向。例如，右图中唯一正确的答案是向南倾的大圆。定向钻中其他几何关系的计算详见下文描述。

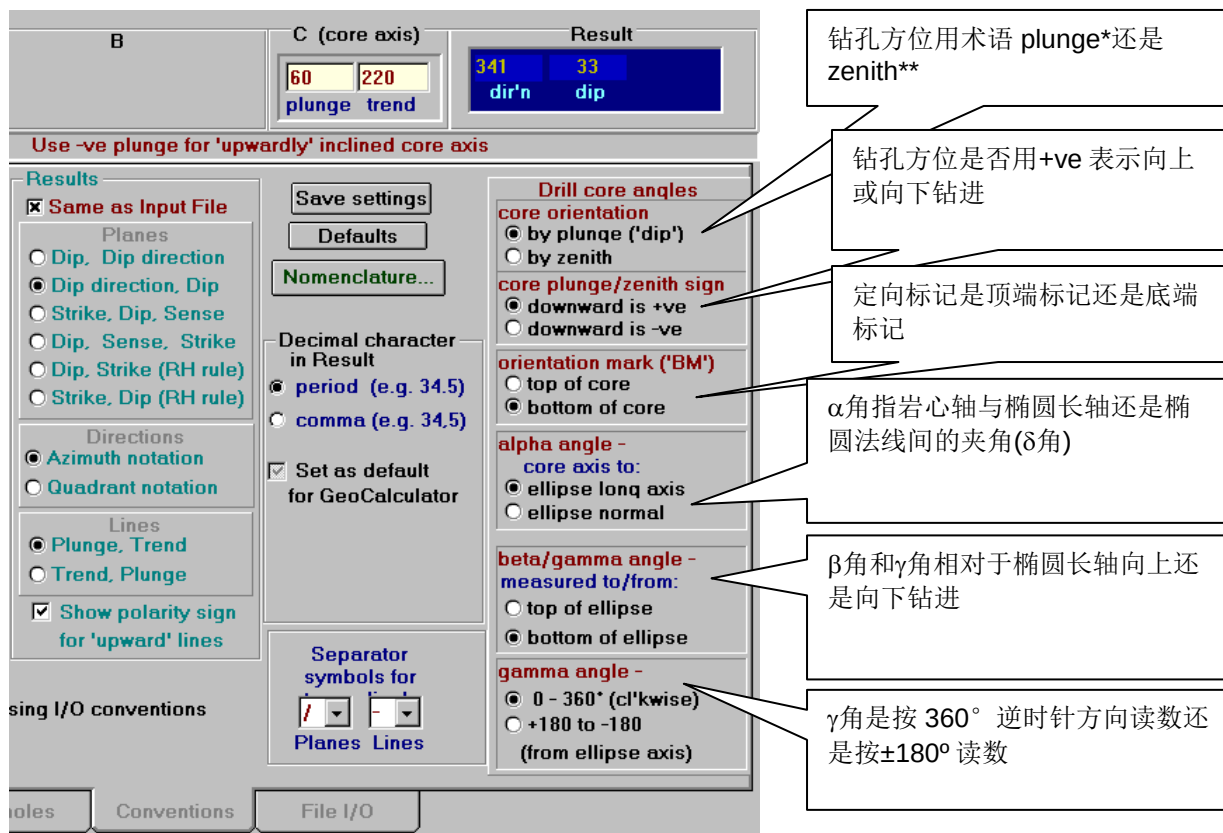


可能有两组答案(右图)，尤其是当小圆很小时(即 α 角很大时)。这时需要知道更多参照平面的信息(如倾向陡倾或平缓?)。部分情况下，两组答案非常接近，以至于很难选择正确的。因此，软件计算时需极其注意检查两组答案。我们的程序包，GeoCalculator，将生成最合适的解作为原始答案，但之后需手动检查参照平面的另一组答案。



利用 GEOCALCULATOR 处理钻孔数据

(GeoCalculator 下载地址: <http://www.holcombe.net.au/software/>)



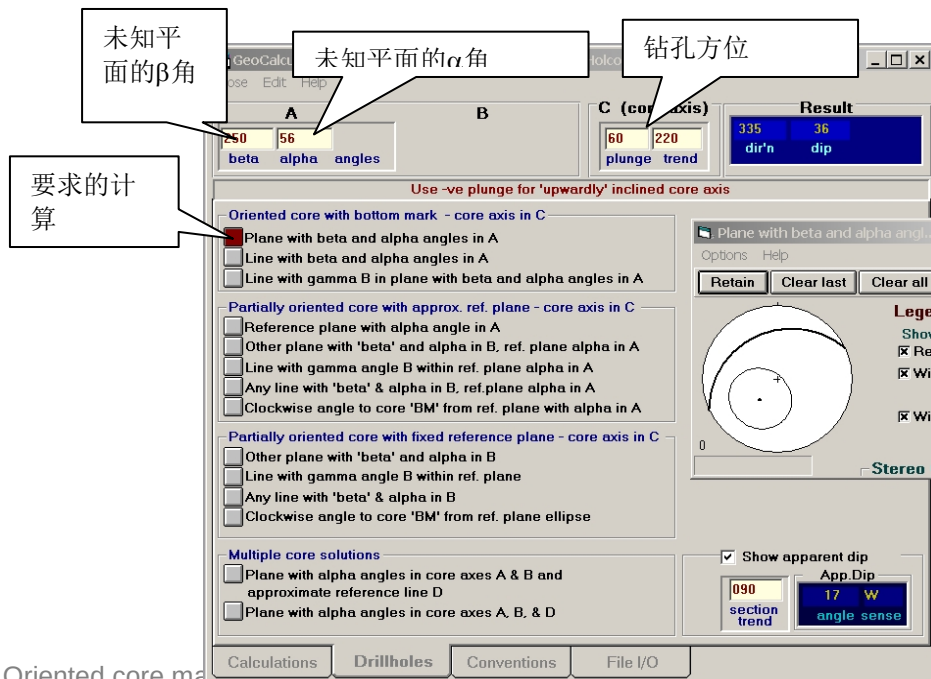
1. 设定测量规定:

* **Plunge** 是线性倾斜角度的正确术语, 如钻孔。 **Dip** 指采矿工业中确定的指倾角的术语(因为早期定向软件包中使用的失误)。

** **Zenith** 天顶角是对倾角 **plunge** 的补充, 是垂向上钻孔的角度, 是部分测斜仪生产商使用的少有术语 (it is the angle of the hole from the vertical. It is an unusual convention used by some inclinometer manufacturers)。

定向钻中 GeoCalculator 的使用

2. 选择计算类型并输入数值:

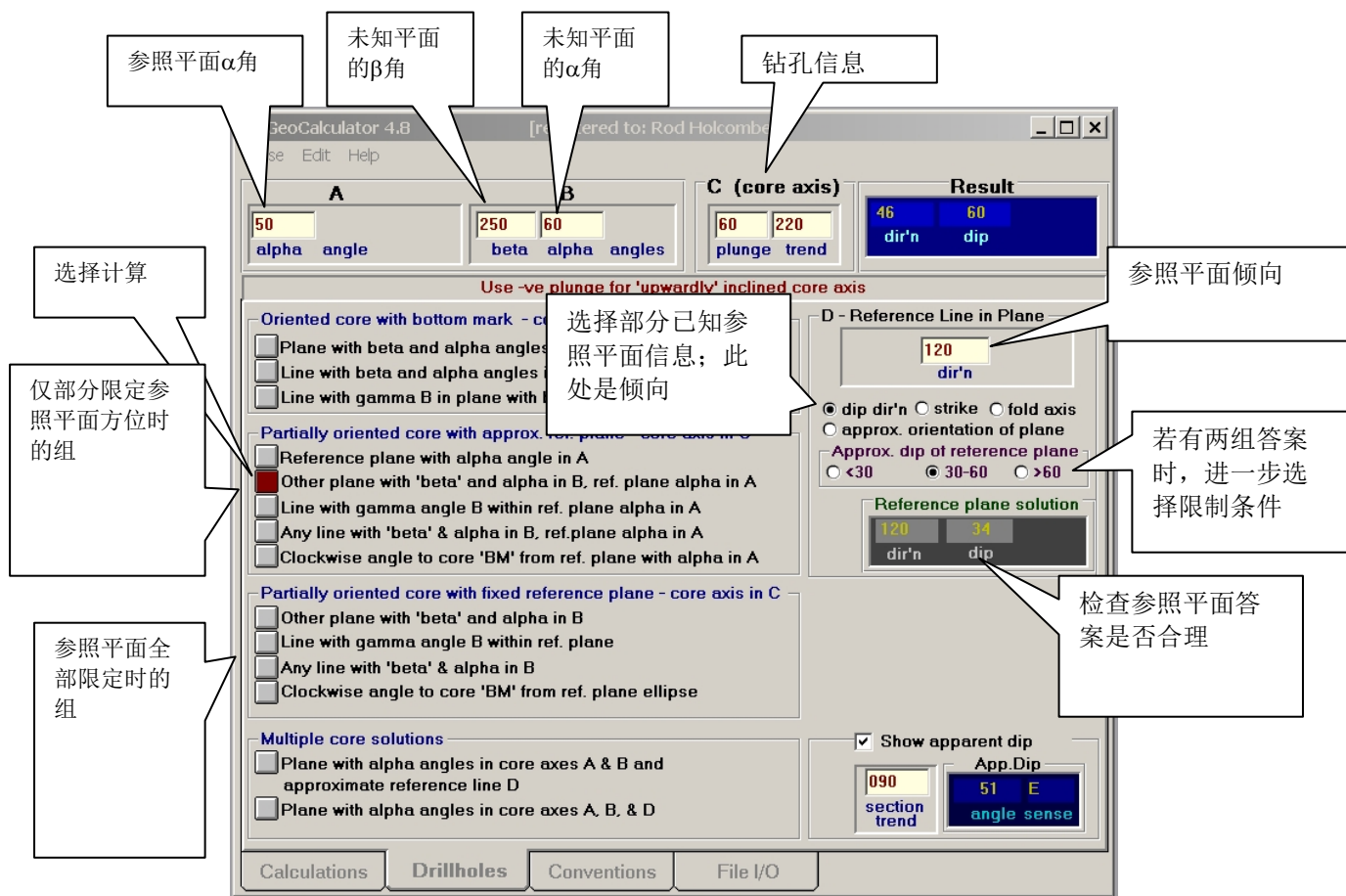


Oriented core ma

ughlinOliver 2011

半定向钻中 GeoCalculator 的使用

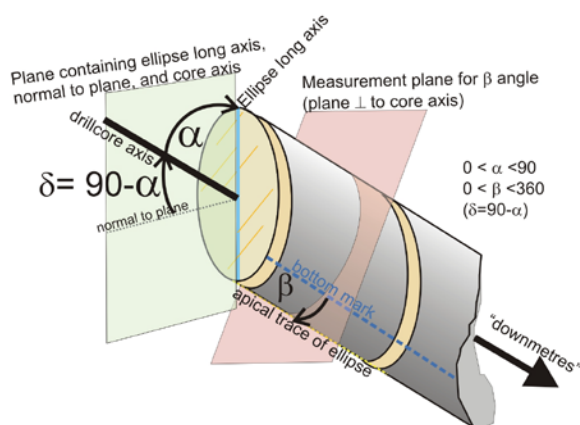
例子：已知参照组构平面的倾向和岩心 α 角计算未知平面的方位：



若第二个答案存在，可检查第二个参照平面是否没有比第一个选择更好的答案了。



定向钻手动立体绘图



以下描述设定的规定：

- α 角-岩心轴与椭圆长轴之间的锐角
- β 角-从“底端标记”至椭圆底部逆时针方向的夹角(朝岩心钻进方向 looking 'downmetres').

本页的图与描述为 β 角($<90^\circ$)较小的平面。如何处理 β 角大的平面见下页。

步骤：

步骤 1: 绘制岩心轴(平行底端标记)。该轴是测量平面大圆的顶点(法线)。

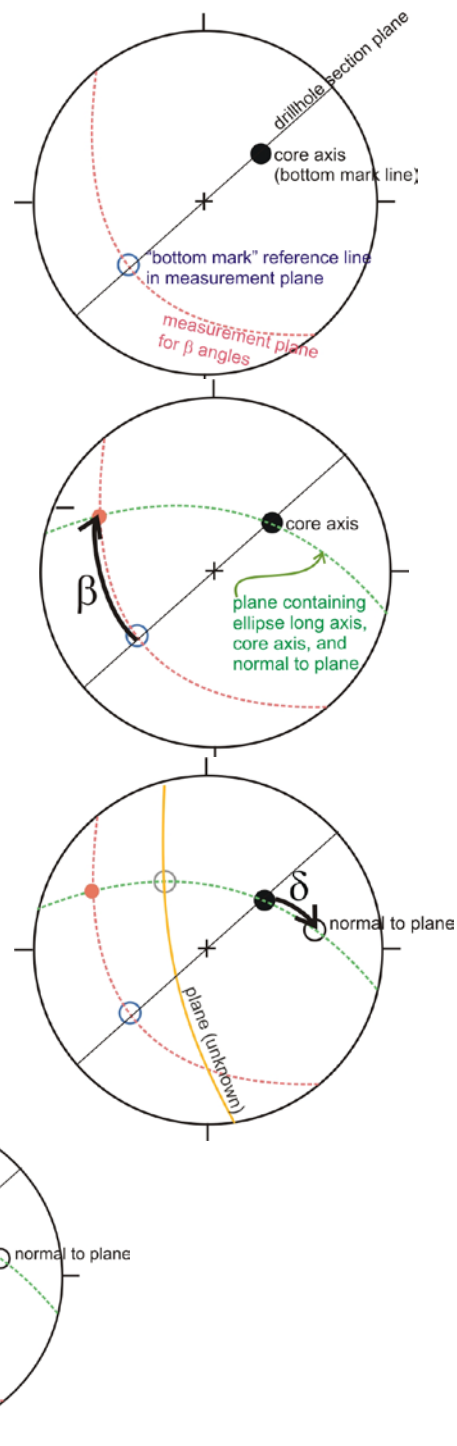
绘制测量平面的大圆，标记倾向线。该线是测量 β 角时的底端标记参照线(规定使用的是岩心底端的标记，不是顶端的)。

步骤 2: 从底端标记参照线逆时针方向沿测量平面大圆计算 β 角。

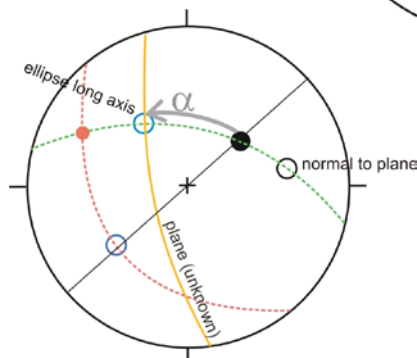
绘制通过改点和岩心轴的大圆。该平面包含椭圆(未知平面)法线。(注意保留 β 角线的方向-见下页)

步骤 3: 计算 $\delta(90-\alpha)$ 角。应用下页中的规则，通过沿计算得到的大圆计算 δ 角找到椭圆(未知平面)法线(应用下页中的规则确定 δ 角是远离还是靠近 β 线?)。

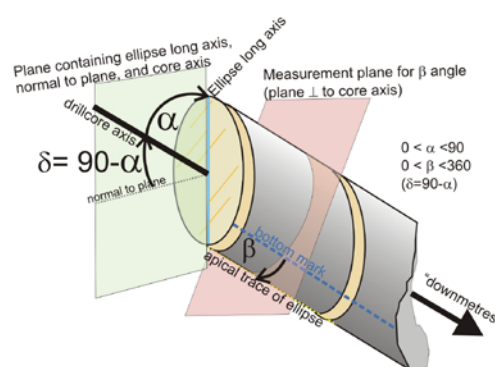
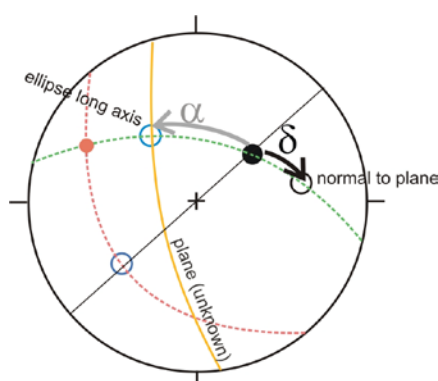
绘制未知平面。(法线是该平面的顶点)。



注意未直接使用 α 角。尽管我们可以找到椭圆长轴利用 α 角，但不足以确定平面的唯一解。



步骤 2 和 3 的详细描述：保存 β 角方向和计算 δ 角的方向



设定的规定中， β 角指到岩心椭圆长轴底端的角。注意找到测量平面 β 角线时，记住其倾角在测量平面上是向下还是向上，因为 δ 角计算时的方向。上页描述的计算中， β 角小于 90 度(~ 70)，因此 β 线倾角的方向是向下的(立体图中向 NW)，所有我们用充填的圆绘制。这表示椭圆长轴一定也倾向同一象限。因此，从远离 β 线的岩心轴计算 δ 角是为了找到法线。

现在考虑 β 角 $>90^\circ$ 和 $<270^\circ$ (例子中为 $\sim 240^\circ$)的情况:

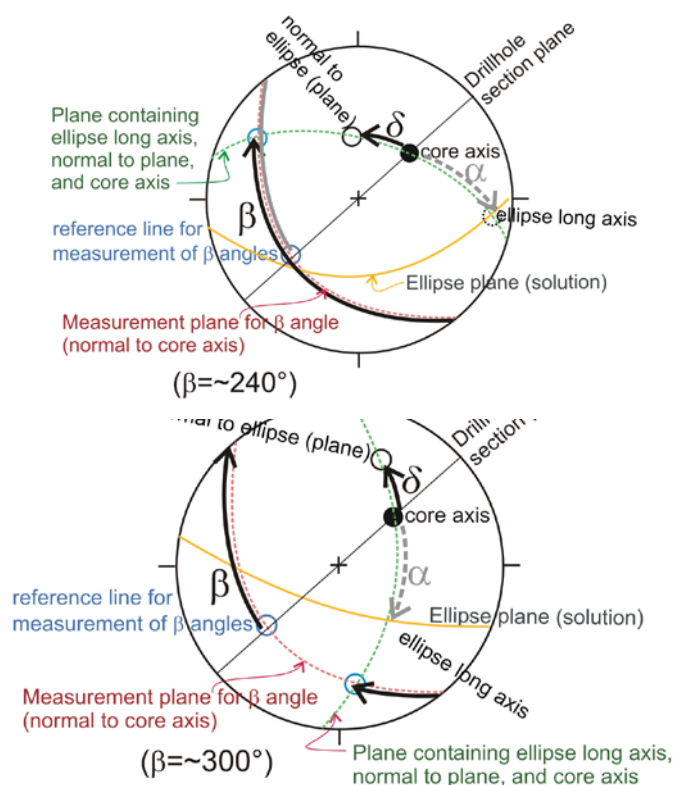
例子中代表 β 线的点位于立体图中 β 角 $=70^\circ$ 例子中的相同位置。它仍倾向NW，但测量平面的方向向上(所以我们绘制开放的圆)。这表示椭圆长轴倾向远离底端标记，所以从岩心轴至 β 线计算 δ 角可找到法线。

β 角 $>270^\circ$ 的规则同 β 角 $<90^\circ$ 的情况(如图中显示的 β 角 $\sim 300^\circ$)。从岩心轴远离 β 线计算 δ 角。

规则简化后为:

β 角为 $90 \sim 270^\circ$ 时, 从岩心轴至测量平面内计算的 β 相交线, 计算 δ 角;

β 角为其他值时, 从岩心轴远离测量平面内计算的 β 相交线, 计算 δ 角。



QA/QC:误差检测与控制

定向钻获得的构造测量数据存在一系列潜在的误差来源，在任何一个大比例尺长期的钻探项目中必须不断地监控和最小化误差。

定向和测量过程的每个阶段都可能产生误差：

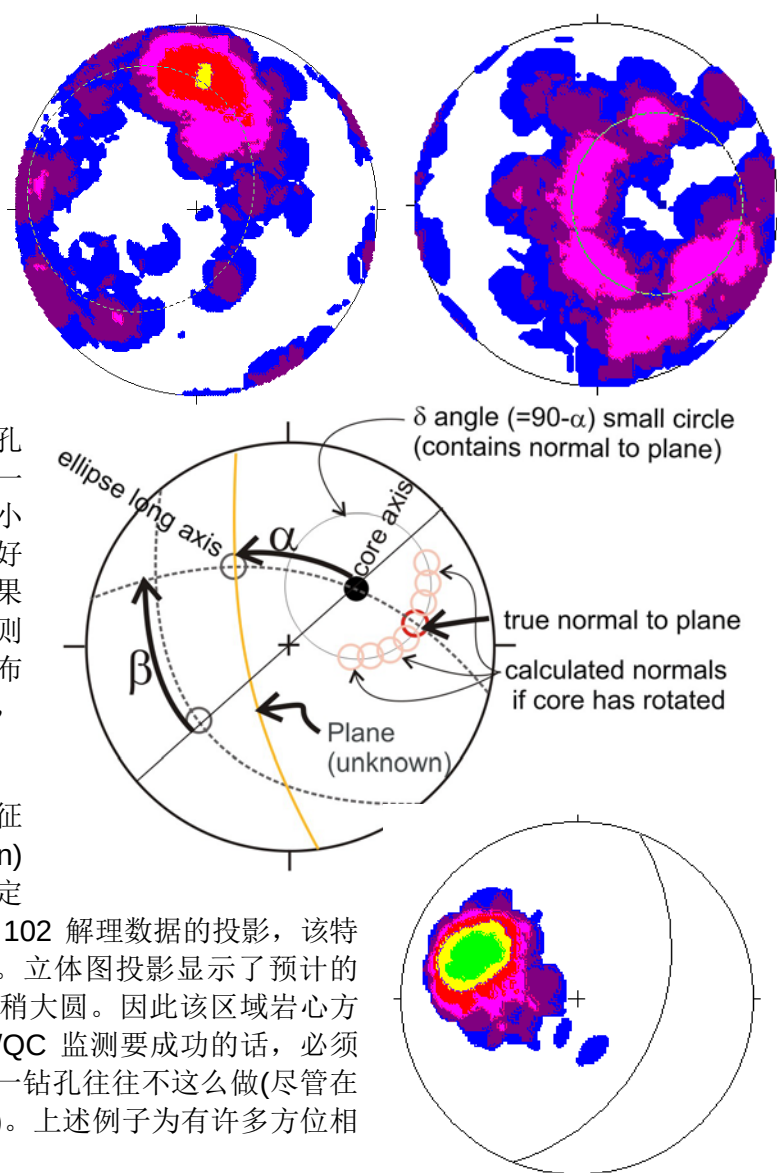
1. 定向标记可能不准确或不正确。这是钻机人员的技术与专业知识问题。例如，梭镖(spear)工具的使用，其顶端应接近本回次的上部，再缓慢向下，防止其从钻孔底部弹起。现场地质人员应监督定向过程，使钻机人员牢记精度(For example with a 'spear' tool the tip of the tool should just touch the top of the core run and be lowered slowly, so as not to bounce the spear off the bottom of the hole. The on-site geologists need to monitor the orientation process and impress on the driller the need for precision).
2. 编录的地质人员或技术人员可能在岩心上标记的定向标记不准确。当沿钻孔连接底端标记时，碎裂岩心的断面可能未准确无误地连接。
3. 椭圆长轴的不准确确定或 α 角和 β 角未正确测量可是误差增加。
4. 选择测量哪些特征的偏差，或甚至从相对于感兴趣的特征未合理定向的钻孔均可使统计误差增加。

如果顶点对平面的立体图投影显示以钻孔方位为中心的小圆分布，应注意误差。当钻孔与倾角中等程度一致的特征体(如层理、页理或席状脉)相交，会出现上述情况，但在标记定向线过程中，岩心遭受了不同程度的任意旋转(注意小圆的分布可自然地出现，但是罕见的，应该显示与钻孔方位无关)。

以上两个投影图由方位角 60° 钻孔中收集的数据绘制。尽管数据包括一个强的最密区(strong maximum)，小圆的分布主要反映了钻孔的方位(好的数据计算不会出现的特征)。如果这种情况设定点最密区是正确的，则须丢掉其他所有数据。任何小圆分布的出现都是可疑定向数据的指示，除非找到其原因并消除

对打钻岩石的任何已知恒量平面特征(如一个弱细褶皱 weak crenulation)进行监控都是值得的，可检验钻孔定

向的可靠性。右图例子为定向钻中 102 解理数据的投影，该特征普遍恒定(moderately constant)。立体图投影显示了预计的单向最密区和反映解理扇形分布的稍大圆。因此该区域岩心方位认为是较准确的。这种类型 QA/QC 监测要成功的话，必须有足够多的测量数据可供选择。单一钻孔往往不这么做(尽管在褶皱发育地区进行数据监测很关键)。上述例子为有许多方位相同的钻孔分布的一个远景区。



误差来源和最小化

市场上所有可行的岩心定向系统中，最简单、最便宜、最快和最常用的是梭镖(spear)。定向梭镖是一个长的圆锥形杆，末端有孔眼，可放置削尖的带颜色蜡笔。这只在斜钻中可用。该工具放在岩心套管中直到在下一回次岩心顶面上做上标记。因为钻孔倾斜，杆沿套管底端向下，蜡笔标记的点理想状态下接近岩心的最低点。



注意岩心直径越小，误差可能越大。因为梭镖杆的厚度接近岩心直径，NQ 岩心尤其易于产生与岩心中心极其接近的定向标记点，难以确定准确“底端”线。



钻探阶段的潜在误差：

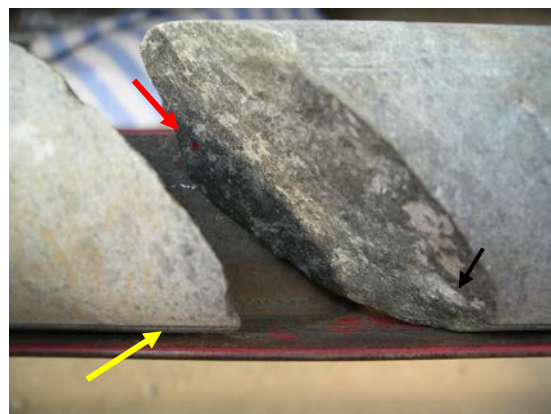
- ◆ 梭镖杆的弯曲或变形。负责指导的地质人员和钻机人员在任何新钻孔开钻前应检查梭镖杆。在平面上转动杆检查其是否变形。
- ◆ 梭镖往下放至岩石的速度太快，如梭镖会弹到套管壁上，或速度太快撞在岩石上形成多个撞击标记。理想状态是梭镖刚好接触岩石，然后就收回。没有撞击标记。(例如，右上方照片中的蜡笔点是钻孔中每 10m 就标记的定向点。岩心中没有任何梭镖撞击标记，全部只有蜡笔的定向点标记，反应了钻机人员的小心仔细。)

右侧照片为梭镖下放速度过快造成的撞击，撞断了蜡笔，弹起形成了撞击和震动(chatter)标记。一些例子中，右侧照片中的撞击足以引起贯穿整个岩心面的震动(chatter)标记，或者使岩心边缘破碎，破坏蜡笔的标记(In some instances, such as the photo at right, the impact is enough to cause chatter marks across the entire core face, or to even chip the edge of the core and destroy the crayon mark)。



钻探合同应包括对定向过程不满意的处罚条款。最主要的因素是钻机人员想缩短定向过程要求的梭镖下放时间。与其赶时间完成并造成高代价的地质误差，不如钻探合同合理地解释所需时间。

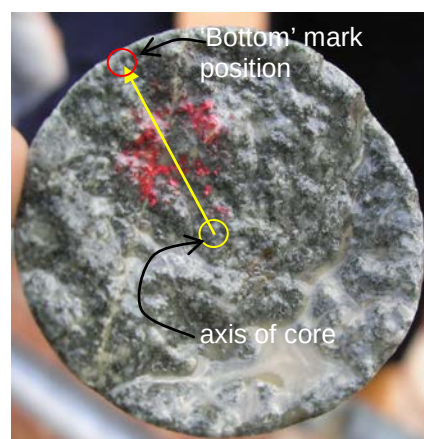
- ◆ 手动插入定向标记。尽管明显缺乏钻探实践，偶尔根据明显现象可手动插入定向标记。例如，右侧岩心中用红色箭头表示的定向点。岩心对面(黑色箭头)有明显的梭镖撞击特征(无蜡笔标记)。当岩心与相邻回次岩心对接时发现撞击标记，不是蜡笔标记，与相邻回次岩心投影的底端线(黄色箭头)一致。这种情况下，岩心由夜班机组提取，手动蜡笔标记的人可能没看到撞击标记。主要的长期地质人员有相似的经历。



对于该类昂贵的地质破坏一种可能的方法是让钻机人员直接参与地质工作，展示钻探不理想的最最终结果。我一开始做一个钻探项目时就向钻机人员展示上述好的与不好的蜡笔定向标记照片，再展示好的与不好的结果的立体投影例子。(当然，不用详细解释投影图中的细节，重在显示好的与不好的模式例子)。

标记阶段(mark-up stage)的潜在误差:

有定向标记(点)的岩心提取后，下一步即画岩心的底端线。该线条一般带箭头，表示岩心钻进方向，且需用不同颜色的线表示岩心劈心的线(注意劈心取样分析时，标有定向线的岩心必须留在岩心箱中)。线条尽量沿岩心钻进方向连续表示，连接破碎的岩心块。每个岩心块上必须至少有一个表示钻进方向的箭头。如果岩心不能确定方位，就不要在岩心上画定向线。没有信息也比错误的信息好。



连接岩心碎块画定向线时，误差增加。注意这一阶段极易产生小的旋转误差，影响 β 角的测量。因此，这一部分最好在可控制的条件下完成。岩心摆放在足够长的架子上，至少三或四个完整回次的岩心。不仅岩心每个回次的底端线要一致，尽可能与相邻回次相连。岩心架最好是三角铁架，其框架的边缘刚好到岩心的一半高度。岩心的底端线刚好位于铁架子边缘对齐摆放。如果岩心一长段的底端线已对齐，铁架的边缘刚好方便于画直线。其他架子由钻杆焊接起来制成，但往往不能像三角铁架那样提供经常用到的直边。至少有利于(也是最常用的)在岩心箱中直接画岩心的定向线。

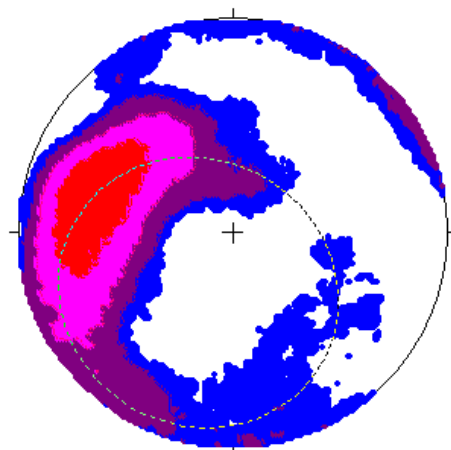


从上至下：

- ◆ 岩心上用蓝色线表示底端线，红色线表示劈心线
- ◆ 一次可同时摆放多个回次岩心的铁架子上画岩心的定向框架
- ◆ 由钻杆一起约束岩心定向框架
- ◆ 相邻回次的连接。下一回次顶面的红色点标记位于右侧回次的顶面。注意利用三角铁架提供的直边。

定向置信度得分

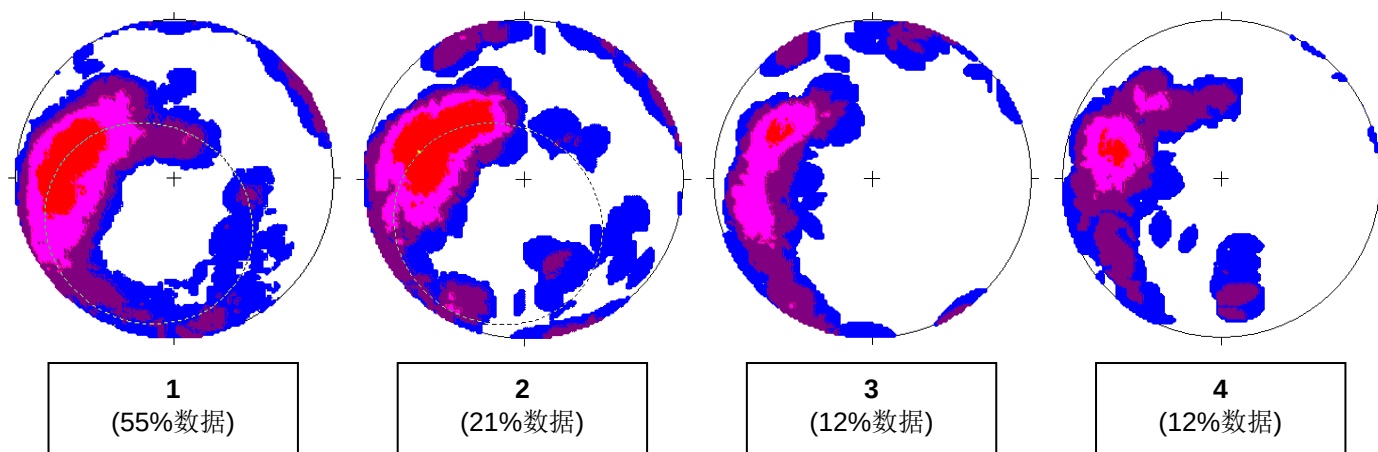
分配定向标记准确度的置信度水平可作为质量控制的一个要素。我使用的一个相对客观体系是分配置信度数字代表定向标记可连接的连续岩心回次的数字。右图显示的是 750 组真实数据形成的明显小圆分布(指示严重的定向问题)。以下投影图为相同的数据根据上述规定的置信度投图，但将数据分为几组(从左到右)连续的置信度级别 1、2、3、4 甚至更高级(更高的数字表示更高的置信度)。注意只有 3 个连续回次以上，数据才相对稳定并出现置信度模式。换言之，该钻探项目中，76%的数据是不可靠的，除非使用置信度分配，不可能所有的数据都是可靠的！



一个系统的标记过程

以下提纲列出的是最小化和量化岩心标记准确度的系统过程。它基于一系列我见过的最好实例与涉及的统计判断原理结合，至少部分已由地质人员检验过。

- 采用上述的步骤，连接(dock)连续的岩心回次，尽可能达到任意设定的界限(如 10)。



- 当正常出现不可连接(non-dockable)的间断或超出了你设定的界限时停止。
- 第一回次在钻机人员标记的岩心底端开始，沿连续(docked)岩心剩余(rest)部分用铅笔初步地画一条 BOH 线。
- 在钻机人员随后的每个钻孔底端标记中记录初始铅笔线和岩心底端标记之间的不匹配(mismatch)，用 mm 表示(我称其为旋转('spin'))。初始 BOH 线的左或右用 mm 记录旋转(spin，即 mismatch)(朝钻孔钻进方向看)。
 - o 不匹配代表的旋转角度取决于岩心直径。如 HQ 岩心，5.5mm 代表从先前的标记旋转 10°。
 - o 容许的旋转角度取决于伴生类型(company protocols for the type)和矿床的复杂性(The amount of spin that can be tolerated depends on and complexity of the deposit)。
 - o 复杂地体中应小于~10-15°。
 - o 指定初始线左侧为-ve 值；右侧为+ve 值(朝钻孔钻进方向)。

Mark	Right	initial	Left
1		0	
2			-2
3	3		

Range: 5

Mode: 0

Mean: 0.3

No. excluded: 0

BOH score: 3

- 检查记录的旋转('spins')数组，寻找自然分布的形态并估计模式。模式是聚集分布的中心点。这里只是大概达到目的即可。若没有明显的模式(因为梭镖点是任意分布的或是双峰式分布的)，就标记为无模式。
- 确定异常值(outlier)(以下计算中排除的数据)。远离中心的点其旋转角度 $>10^{\circ}$ (例如)。部分情况下，初始 BOH 标记为零值可能为远离中心的点。如果没有明显的模式，只排除非常明显的异常值(outlier)(如下面中间的例子)。
- 计算不是异常值(outliers)的所有数据的平均值。该平均值为初始 BOH 线左侧(-ve)mm 数值或右侧(+ve)mm 数值。
- 指定 ORI 置信度得分为 1-5
 - o 如果没有清楚的单一模式(以下左边的例子)，ORI 置信度得分为 1
 - o 否则计算岩心所有连续(docked)回次的数字，最高分为 5，然后每个异常值(outlier)减去 1(上页右下角的例子)
 - o 岩心单一回次不能与相邻回次自动连续(docked)的得分为 1
- 所有构造数据在得分范围内分配相应的置信度得分。

(岩心旋转的幅度应作为 QA/QC 数据质量精度/质量控制处理的一部分反馈给钻机人员)

Mark	Right	zero	Left
1		0	
2			-12
3	3		
4			-4
5	2		
6			-11

Range: 15
Mode: none
Mean: -3.5
No. excluded: 0
BOH score: 1

Mark	Right	zero	Left
1		0	
2			-12
3	15		
4	3		
5			-4
6	2		
7			-11

Range: 27
Mode: none
Mean: -3.5
No. excluded: 1
BOH score: 1

Mark	Right	zero	Left
1		0	
2			-2
3			-6
4	8		
5			-7
6			-5

Range: 15
Mode: ~-6
Mean: -4
No. excluded: 1
BOH score: 4

以上列出的过程可精简，因此技术人员可高效完成，尤其是数字化输入与计算。但是，估计模式和排除异常值(outliers)的过程应至少由地质人员检查。

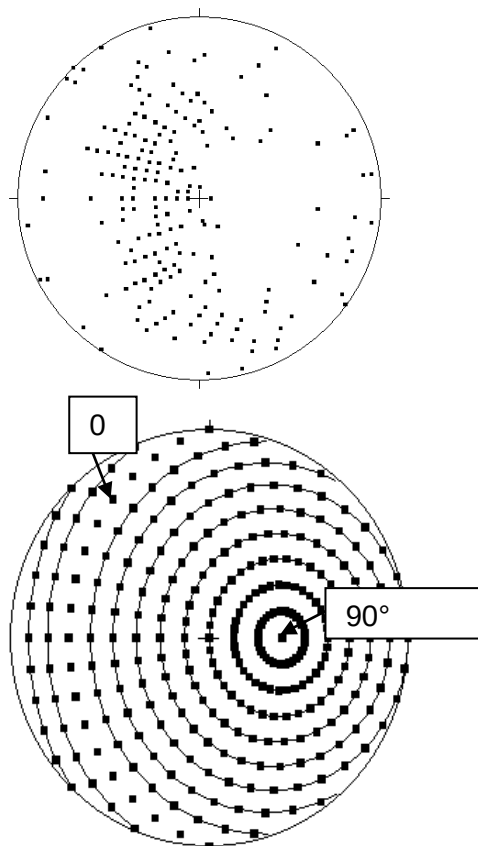
测量阶段的误差

◆ 精度误差

测量不精确引起的误差通过角度测量精确到 1° 可避免误差(尽管测量过程可能精度要求 $>1^\circ$)。任何情况下四舍五入(round off)地质角度和方向至 5° 或 10° ，实际操作性很低(It is very poor practice in any circumstance to round off geological angles and directions to the nearest 5 or 10 degrees)。结果是这样的数据在立体投影中形成“海星型”模式(右图)，

这些模型使等值线变形并掩盖局部的密度累计。整数化(rounding) α 角和 β 角精度至 5° 或 10° 的影响取决于 α 角。右图投影显示 α 角的平面顶点变化于 0° 到 90° 之间，每个 α 角对应的 β 角变化于 0° 到 360° 之间。投影图显示 α 角的误差在结果中产生相同的误差，但是 β 角的误差在结果中产生的误差小于 β 角的误差。(如 0° 的 α 角中，误差与 β 角中的误差相同； 90° 的 α 角中，误差减小至 0°)。这一结果反映了平面垂直岩心时，误差与 β 角是无关的。

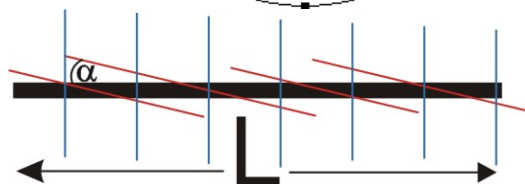
- ◆ 测量的误差不可避免且很大程度上不具检测性。唯一的解决方法是建立重视体系，确保测量人员在测量时知道准确度的重要性。



数据偏差

不同空间分布的平面构造，如断层、节理组和脉，存在潜在的统计频率偏差，由钻孔的线性特征引起。与岩心轴方向越近的特征，相交的可能越小。

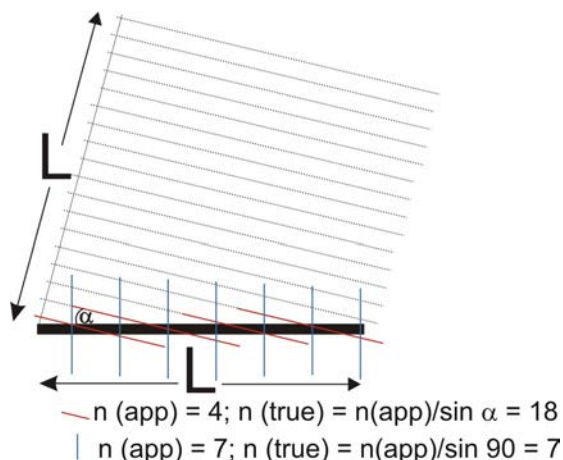
右图中红色平面与给定的岩心长度(L)相交 4 次，蓝色的与岩心相交 7 次。但是，很明显，红色平面之间空间上更接近，较蓝色平面有更大真实频率。(The closer such features are oriented to the core axis the less likely it is that they will be intersected. In the diagram at right, the red set of planes is intersected four times in a given length (L) of core; the blue set seven times. However it is clear that the red surfaces are closer spaced, and thus have a greater true frequency, than the blue set.)



右图中红色平面与给定的岩心长度(L)相交 4 次，蓝色的与岩心相交 7 次。但是，很明显，红色平面之间空间上更接近，较蓝色平面有更大真实频率。(The closer such features are oriented to the core axis the less likely it is that they will be intersected. In the diagram at right, the red set of planes is intersected four times in a given length (L) of core; the blue set seven times. However it is clear that the red surfaces are closer spaced, and thus have a greater true frequency, than the blue set.)

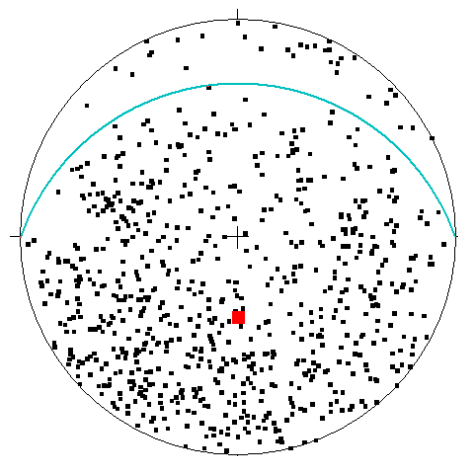
该偏差可由视频率校正因子(已知的有 Terzaghi 偏差校正因子)在统计上部分克服。校正因子为 $1/\sin\alpha$ ，重新计算若测量线垂直平面时的频率。 α 角是平面特征(planar feature)与岩心轴之间的夹角，与岩心定向过程中的 α 角相同。

该校正过程不适用于 α 角小于 10° 的平面，因为 $\sin\alpha$ 值快速增加，校正因子趋于无穷大。因此，可能要保留岩心轴交角 $10-15^\circ$ 的区域，大体上是低估了间隔数据(spaced data)的真实频率。



小角度 α 角的低估在测量平面顶点的立体投影图中会产生岩心轴法线大圆的空位，并导致定向模式的错误解释。这种空位(void)不要与下一部分中讨论的定向误差产生的小圆模式相混淆。

上述偏差过程只对间隔数据(spaced data)有效，间隔大于岩心宽度的数据适用。构造组构如层状层理或页理，贯穿岩心宽度范围的不适用此方法，假设同一间隔高角度表面和低角度表面测量时的采用相同的步骤 (Structural fabrics such as bedding lamination or foliation, which are penetrative (i.e. pervasive) at the core width scale, should **not** be corrected in this way, provided that steps are taken to ensure that the low angle surfaces are measured at the same interval as the higher angle surfaces.)。但是我通常看到由避免测量 α 角接近 0 时的组构(如，组构与岩心轴接近平行时)引起的偏差。椭圆与岩心相交规定的缺乏是个理解问题。避免测量偏差可通过注意这一问题，并采取积极的措施不要遗漏这些数据。可能需要估计椭圆顶端痕迹，为了确定 β 角(如前面描述的)，但是估计误差应尽量小。

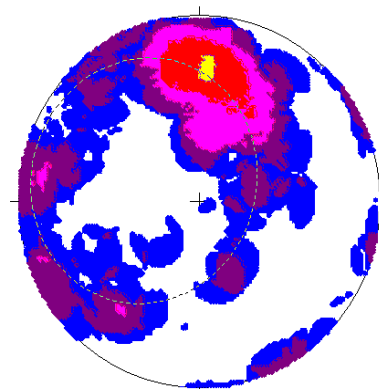


钻孔倾角 60° 南(红色方块)岩心中测得的随机 762 组定向微断层立体投影图
注意大圆空位代表位于岩心轴两侧 15° 区域内的平面

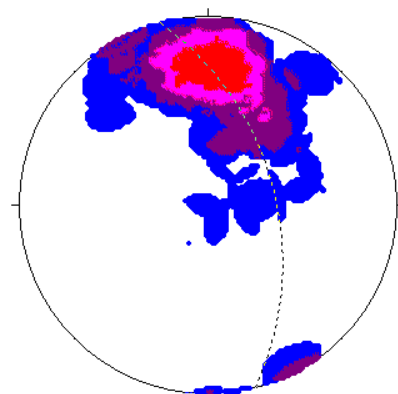
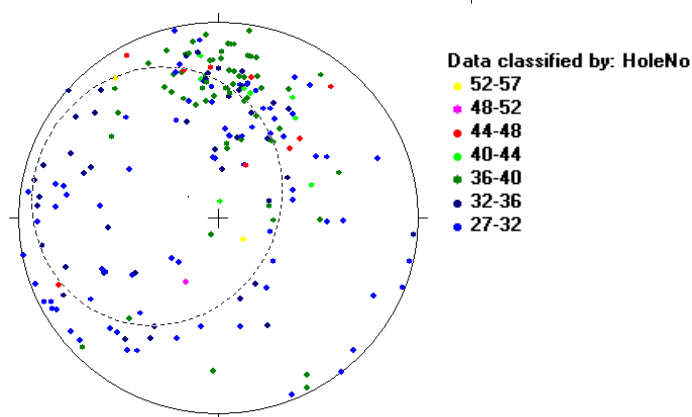
定向数据分析使用分类的和数字投影

定向钻在地体和远景区的变化区域需要。含有中等至强烈褶皱，或方向变化的断层组或剪切带，或方向变化的矿化脉系统的远景区，评估 3D 几何关系时定向钻非常关键。定向钻对地质工程评估分析裂隙类型非常重要，对统计分析脉的类型也非常有用。

为使数据有用，测得的定向数据需足以进行数据统计分析，并同时足以提供剖面定向控制。频率分析的例子由 GEOrient©* 软件获得的立体投影图显示。这些图是通过复制直接从钻孔电子表格(spreadsheets)和数据库表中处理过的定向数据的倾角和倾向柱，再粘贴至 GEOrient 中获得的。



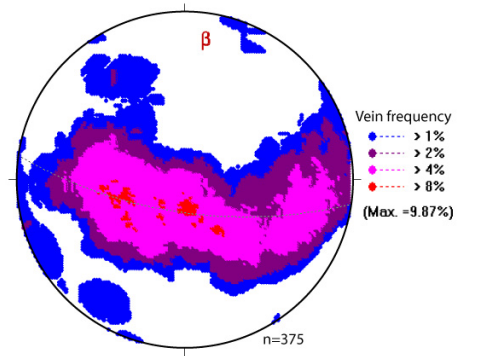
除了普通的数据频率立体图，GEOrient 还包括分类的立体图，根据其他附属的数值或信息用颜色代码表示顶点投图。我使用这种投图确定对可疑定向数据有贡献的钻孔，或确定错误定向(misorientation)是否是随机的。例如右图，等值线图中 213 组页理数据重新投图，根据构造数据来源的钻孔用颜色代码表示(即分类)。注意蓝色顶点(DDH27-36)不适当地有助于小圆分布，明显暗示了数据可疑 (Note that it is clear that the blue-coloured poles (DDH27-36) contribute unduly to the small circle distribution indicating suspect data)，但浅绿色与深绿色顶点(DDH37-44)显示单向分布，代表了可靠的数据。有少量其他钻孔(DDH45-57)中的页理数据，但这些钻孔的方位同样显示为可疑。因此这种情况下，非常具体的钻孔(very specific sequence of drillholes)(27-36)显然方位数据可疑-只有 26%钻孔含有可靠数据。当只使用“好的”钻孔页理数投图(右图)时，小圆分布消失，数据很好解译。



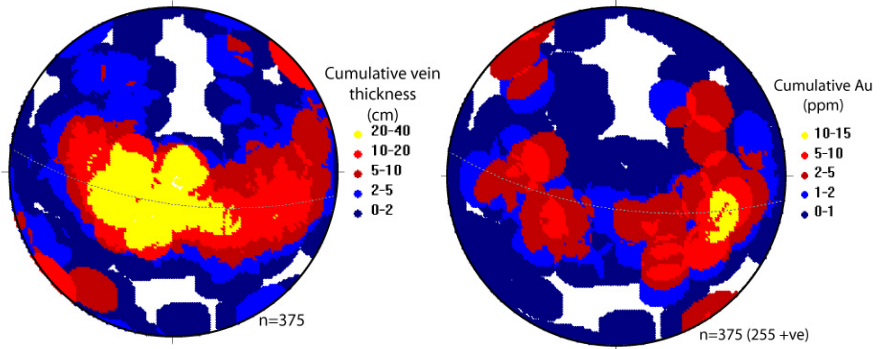
我在 GEOrient*中扩展的分类立体投影的一个强大功能是数字立体投影(Numeric stereographic projections)。这些图中，代替方向密度网格化和做等值线，定向数据相关的数值进行网格化和做等值线。这些图可显示平均值方向分布或数字数据累计和的等值线。例如，我发现矿化脉成矿潜力分析中，这类投图尤其有用，投图的数值为矿脉厚度和分析值。

*available from: <http://www.holcombe.net.au/software/>

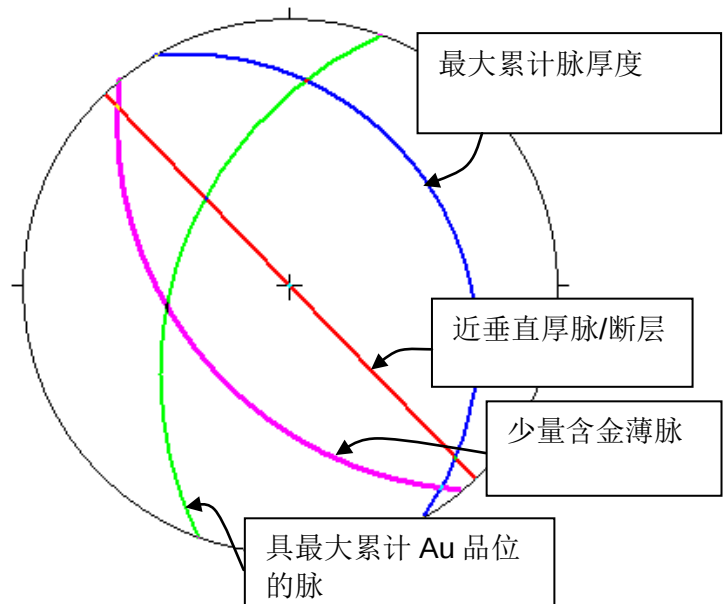
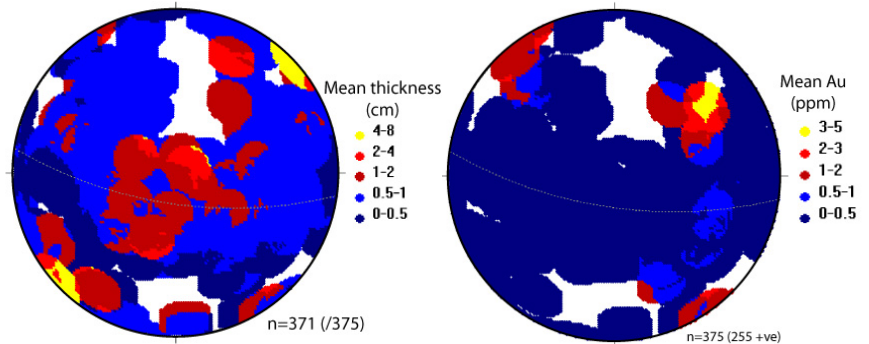
例如，右侧典型频率图显示了来自定向钻数据中席状脉的法线(顶点)方位分布。围绕的大圆反映了脉一致扇形分布的特点(β 符号与扇形的轴平行)。



以下图为数字立体投图，代表了相同数据的累计脉厚度(左上)和累计金品位(右上)。注意脉厚度的最大聚集位置与金的最大聚集位置不一致对应。显然，这不是单一相同脉的扇形，而是方位上叠加的两种不同脉的系统。因此，钻探中应区分相交的含金矿脉。



当考虑平均值的投影图(右图)时，可获得更多与矿脉系统相关的信息。例如，脉的平均厚度基本为单向分布，除了近水平和走向北东的法线数据。该方向与非常低频率的数据对应(从上面频率图获得)，因此异常高的厚度值一定与最多一条或两条脉对应。金平均值很低，除了北东象限内的高值。注意，金平均最大值距离平均最厚值 35° ，指示了金最可能与张性断层有关的薄脉伴生，现在已被厚脉充填。(Notably, the mean gold maximum is about 35° to the mean thickness maximum, suggesting that the gold is most likely associated with thin extensional veins related to a fault that is now occupied by a thick vein (or veins).)



测量定向钻的可包裹岩心的刻度板(WRAP-AROUND PROTRACTORS FOR ORIENTED DRILLCORE MEASUREMENTS)

用软件绘图包设计一个可测量定向钻中 β 角可包裹岩心的量角器是件相对简单的事。步骤是测量岩心的周长，将其分割成 360 份可计算每 1° β 角的间隔。用方便使用的间隔(如 10°)画一组平行线。

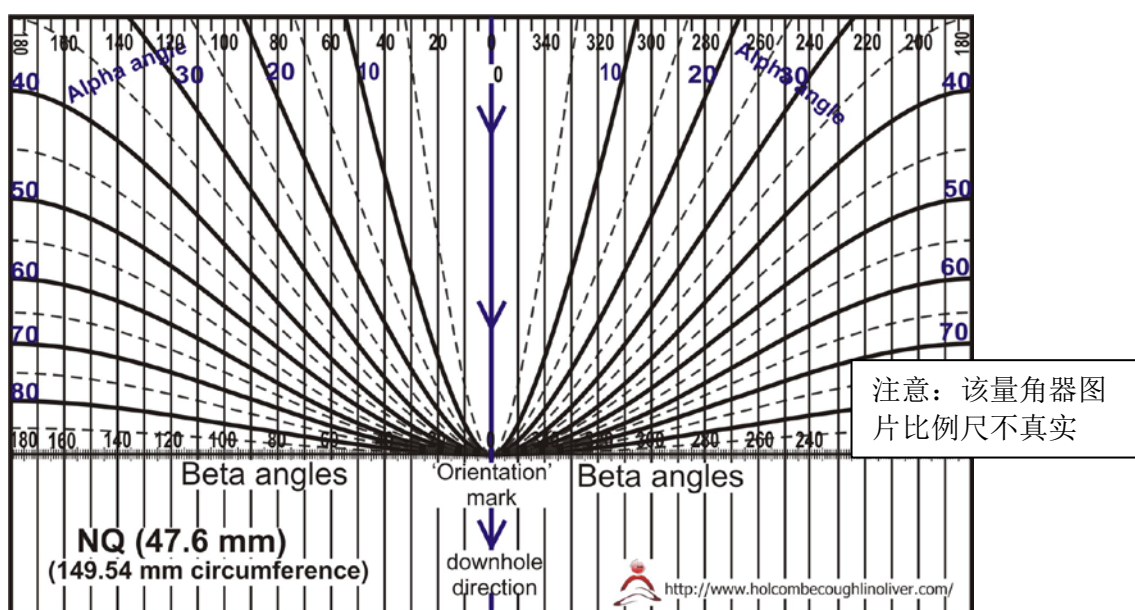
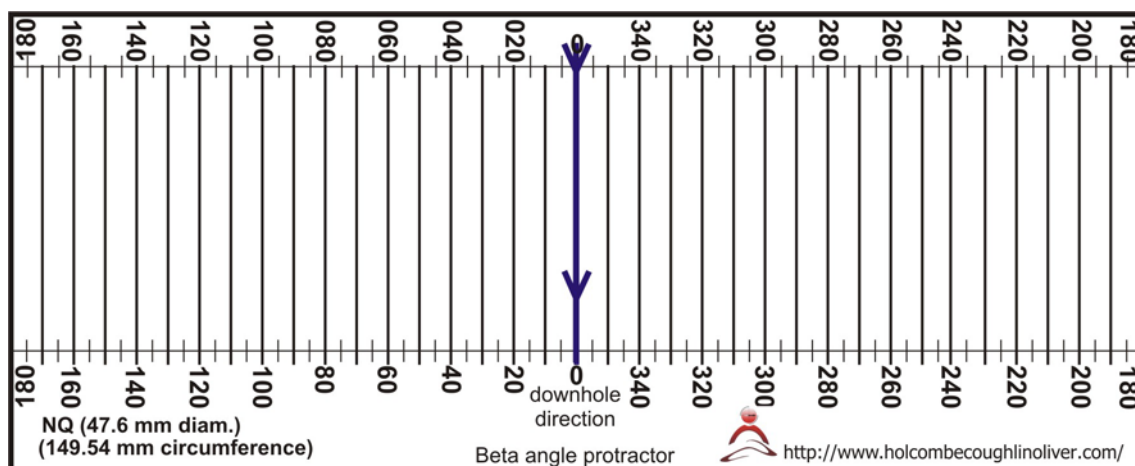
以下显示的是 NQ 岩心长 47.6mm 的一个量角器。(注意不同的岩心口径，如 NQ-3 岩心直径不同)。用激光打印机在硬的塑料薄膜上打印设计好的刻度板(激光打印机比大多的喷墨打印机打印的线条更耐用)。我使用的薄膜是 HiClear™ Crystal Clear 200 micron PVC Report Cover。

一个可下载的配套小册子：‘HCO 定向钻刻度板’可在公司网页上下载：

http://www.holcombecoughlinoliver.com/HCO_downloads.htm，还包括可打印的量角器，适用于普通大小的岩心。确保打印机不要重新调整打印比例(设置打印页面至 NONE in Print manager)。

可用的两类量角器：

- 简单的可包裹岩心的测 β 角的量角器(见下图)。用普通的量角器测量 α 角；
- 测 α - β 角可包裹岩心的组合量角器。尽管这种刻度板对大岩心很有用，但线条有点太密，不易读数；为显示 α 角曲线，量角器的宽度较大，使用时不是很方便。



关于我们:

Holcombe Coughlin Oliver 是三个独立国际地质顾问组建的公司(以欧洲和澳大利亚为主), 针对现代构造地质学和热液流体地球化学在全球资源工业领域的应用。

Contact Rod: holcombecoughlinoliver.com

PO Box 593, Kenmore, Qld 4069, Australia:



Ph +61 7 33786326

Contact Tim: tim@holcombecoughlinoliver.com

Contact Nick: nick@holcombecoughlinoliver.com

PO Box 3533, Hermit Park, Qld 4812, Australia:



Ph +61 417764880



Rod Holcombe (PhD) 从事造山系统的构造分析经历 40 年以上, 是教育/研究学者, 同时也是矿产勘查工业的顾问。他是澳大利亚、新西兰、美国、加拿大、巴西、阿根廷、秘鲁、乌拉圭、泰国、老挝、东非和西非、Balkans、芬兰、西伯利亚等地前寒武纪和显生宙复杂变质地质体和剪切带构造分析方面的专家, 在专业地质人员构造和填图短期培训方面也具有丰富的经验。

Rod 开发的适用于构造地质和勘探地质人员的电脑应用、手册和其他产品可在以下网址找到:

<http://www.holcombe.net.au/software/>

Tim Coughlin (MSc, PhD), 构造地质师, 尤其是在新兴国家和发展中国家未开发地区找矿和风险分析方面有专门经验。

Tim 从事矿产和石油勘探工作 25 年以上, 在安第斯中部和北部、Balkans 和 Caucasus 地区的西特提斯、Papuan 褶皱带、中国北部、西伯利亚、俄罗斯远东地区和澳大利亚东部, 开展了目标找矿和矿床规模问题方面的工作。为资源工业广泛的客户做过顾问, 在知名的大中型公司任过高级职务, 成功地领导过一家国际勘探公司从建立到稳步经营。

Nick Oliver (PhD) 是矿化热液系统, 尤其是在强烈构造环境方便的专家。涉及的矿床类型包括 IOCG, U 和 Mo (Mount Isa region), 沉积和火山容矿的贱金属(Century Zn, Mount Isa Cu-Pb-Zn, Chillagoe skarn Cu-Zn-Au, Finland Zn-Cu), 绿岩-BIF- 和黑色板岩-容矿的脉状金矿床 (Yilgarn, Brazil, Siberia), 超大型铁矿床(Pilbara, Transvaal), 和低温热液型金矿床 (New Zealand, Australia)。Nick 提供实用方法用于处理复杂的蚀变系统, 重建地球化学 datasets and strategies, 确定复杂变形岩石中的流体运移轨迹。他从事工业为主的研究和短期培训 20 年以上, 任 Economic Geology 的教授和 James Cook University 的 Economic Geology Research Unit 主任 13 年。