

太好了，你这张图就是“体数据可视化全家桶”的典型界面。下面我把每一种方式按你要的结构（原理 / 算法·实现 / 常用类 / 特点 / 应用 / 注意）系统展开，最后给一张对比表。

1) 体绘制 Volume Rendering (3D)

原理

对每个屏幕像素发一条射线，沿射线在体素里采样，把标量值经颜色/不透明度传输函数映射成 RGBA，再做前向或后向合成得到像素颜色。`vtkSmartVolumeMapper` 会自动在 GPU/CPU 实现之间选择，也可强制“RayCast(软件)”或“GPU 模式”。若请求了不被支持的模式则不会渲染（常见于强制 GPU 但硬件/参数不支持）。

算法·实现要点

- 传输函数：`vtkColorTransferFunction`（颜色）、`vtkPiecewiseFunction`（不透明度），挂到 `vtkVolumeProperty`。
- Mapper：`vtkSmartVolumeMapper`（自适应）、或直接 `vtkGPUVolumeRayCastMapper` / `vtkFixedPointVolumeRayCastMapper`。
- 可用 `FinalColorWindow/FinalColorLevel` 做末端窗宽窗位调整（对生成的颜色做线性调节）。

常用类

`vtkSmartVolumeMapper`、`vtkVolume`、`vtkVolumeProperty`、`vtkColorTransferFunction`、`vtkPiecewiseFunction`。渲染模式选择见上面文档段落。

特点

- 能直观显示体内部结构，真实感强。
- 依赖传输函数，参数好坏直接决定效果。
- 计算量相对大；GPU 模式实时性更好。

应用

医学 CT/MRI、工业 CT 内部缺陷可视化。

注意

- 管线要把数据接到 mapper：`mapper->SetInputData(image)` 或 `SetInputConnection(reader->GetOutputPort())`。`SetInputData()` 会在内部创建一个 `TrivialProducer` 以把数据插入管线（这就是为什么能“脱管线”使用）。
 - GPU 模式需确认硬件/数据形态支持；否则会“请求成功但不渲染”。
-

2) MIP / MinIP / AIP (投影家族，2D 结果)

原理

沿射线把多层体素压缩成一个值：MIP 取最大、MinIP 取最小、AIP 取平均。它们是体绘制的“无透明度/简化积分”版本。

算法·实现要点

`vtkSmartVolumeMapper` 直接切换 BlendMode 即可（MIP/MinIP/AverageIntensity）；其它配置同体绘制（仍可用同一套传输函数）。

常用类

同体绘制（主要改 mapper 的 blend mode）。

特点

- MIP 突出亮结构（血管、金属），MinIP 突出暗结构（气腔），AIP 像厚层平均。
- 结果是投影图，深度信息被压缩。

应用

血管显影、缺陷初筛、厚层快速浏览。

注意

- 因为是投影，极值容易“穿透”伪影；必要时配合裁剪或 ROI 限制厚度。
-

3) 等值面 Isosurface (3D)

原理

在体素格上求某阈值的等值面（Marching Cubes 等），输出显式三角网格（`vtkPolyData`），再走常规表面渲染。

算法·实现要点

`vtkContourFilter` 设定阈值，接 `vtkPolyDataMapper` + `vtkActor`。

常用类

`vtkContourFilter`、`vtkPolyDataMapper`、`vtkActor`。

特点

- 网格轻、转动流畅，适合外形展示与测量。
- 仅显示“壳”，内部信息丢失；阈值对结果敏感。

应用

骨/器官表面、零件边界、CAD 比对。

注意

- 数据要有合适的物理尺度 (spacing/origin) 以便测量；这些属性由 `vtkImageData` 维护 (Origin/Spacing/Direction)。

4) 正交切片 Orthogonal Slices (2D)

原理

固定 i/j/k 之一，直接取二维切片 (Axial/Coronal/Sagittal)。是体素数组的真值切片。

算法·实现要点

- 快速显示用 `vtkImageSliceMapper + vtkImageSlice` (把切片当纹理贴到平面)。
- 窗宽窗位用 `vtkImageMapToWindowLevelColors`，你的 demo 里就这么干的 (先重采样/再做窗宽窗位/再 `ImageActor` 显示)。

常用类

`vtkImageSliceMapper`、`vtkImageSlice`、(可选) `vtkImageMapToWindowLevelColors`。

特点

- 值真实、速度快、适合测量与诊断。
- 只能看一层，缺少体感。

应用

医学/工业 CT 的三视图浏览。

注意

- 正确理解体素 → 世界坐标：`vtkImageData` 保存原点、体素间距、方向矩阵，以及 `index↔physical` 的 4×4 变换，可用于定位与测量。

5) 任意角度切片 MPR (2D)

原理

在任意方向的平面上对 3D 体素做插值重采样，得到 2D 切片 (Multi-Planar Reformatting)。

算法·实现要点

`vtkImageReslice`：

- 设输出分辨率、范围、原点；
- 设置切片坐标系 (ResliceAxes)；
- 执行 `Update`。你的示例完整演示了设 `OutputSpacing/Extent`、`ResliceAxes`、`Update` 再显示/保存 PNG 的流程。

常用类

`vtkImageReslice`、`vtkImageActor` (或把结果接回 2D pipeline)。

特点

- 方向自由，能沿结构主轴查看。
- 有插值误差；开销高于正交切片。

应用

临床 MPR、工业 CT 沿焊缝/孔轴对齐查看。

注意

- 输出范围/分辨率要覆盖被切体的最大对角线 (你的代码通过包围盒对角线 `diag` 估算)。

6) 厚层切片 / 投影 (2D)

原理

在某个厚度 (slab) 上把多层切片 MIP/平均成一张图，相当于“局部 MIP/AIP”。

算法·实现要点

`vtkImageSlabReslice` (与 `ImageReslice` 类似但支持 slab 聚合)；或自己沿法向堆叠后用 `ImageReslice + 聚合`。

常用类

`vtkImageSlabReslice` (或 `ImageReslice + 自定义聚合`)。

特点

- 突出细结构 (如血管、裂纹)。
- 厚度太大可能遮蔽。

应用

血管显影、缺陷跟踪、厚层工况记录。

注意

- slab 厚度与步长要和体素 spacing 匹配，否则会拉花。

7) 裁剪 / ROI (2D/3D)

原理

选取体数据的子体素块 (VOI) 或用交互盒/平面把 3D 渲染裁掉。

算法·实现要点

- 数据级： vtkExtractVOI (子范围)，送去做体绘/等值面。
- 视图级：体绘支持裁剪平面；也可用 vtkBoxWidget 交互出裁剪框（与体绘配合效果直观）。

常用类

vtkExtractVOI、vtkBoxWidget（配合体绘/表面）。

特点

- 把注意力集中到局部，提高渲染效率。
- 仅改变显示范围，不改变数据值。

应用

肿瘤/缺陷局部放大、去除床板/夹具。

注意

- ROI 与 MIP/MinIP 合用时能显著减小“穿透假象”。

8) 直方图 / 灰度统计 (辅助)

原理

统计体素值分布，辅助选择窗宽窗位、阈值/传输函数。

算法·实现要点

vtkImageAccumulate 计算直方图，结果用于设定 Window/Level 或传输函数控制点。

常用类

vtkImageAccumulate、(与体绘/切片联动的) vtkImageMapToWindowLevelColors。

特点

- 快速、直观地反映材料分布。
- 只能提供统计，不直接渲染 3D。

应用

自动窗宽窗位、等值面初始阈值、材质分析。

注意

- 多分量数据需先做派生（如幅值/通道选择）再统计。

9) 分割结果可视化 (2D/3D)

原理

对体素先做阈值/连通域/机器学习分割得到 mask，然后：

- 作为体绘的不透明度 (mask → 高 α) 叠加；
- 或 vtkContourFilter 把掩膜边界转成表面。

算法·实现要点

vtkImageThreshold (或你自己的分割) → (体绘/等值面/着色)。

常用类

vtkImageThreshold、vtkContourFilter、vtkVolume。

特点

- 将“目标”显著高亮或单独成模。
- 质量依赖分割算法。

应用

器官/肿瘤/焊点缺陷可视化与量测。

注意

- 保持 Origin/Spacing/Direction 的一致性，确保量测可靠（vtkImageData 提供完整的空间信息与 index/physical 变换）。

总结对比表

类别	方法	原理	典型 VTK 类	结果维度	优点	局限/注意
3D 体渲染	体绘制	射线积分（传输函数）	vtkSmartVolumeMapper + vtkVolume等	内部结构清晰、真实感强	依赖传输函数；GPU/模式支持需匹配	
	MIP/MinIP/AIP	射线 max/min/平均		2D 投影	突出极值/厚层感	深度丢失，易穿透伪影
表面重建	等值面	Marching Cubes → 网格	vtkContourFilter	3D	网格轻、交互好	只见外壳，阈值敏感
2D 切片	正交切片	固定 i/j/k 取一层	vtkImageSliceMapper	2D	值真实、快、可测量	仅一层，体感弱
	任意角度 MPR	平面重采样插值	vtkImageReslice	2D	任意方向观察	有插值误差，参数要算好输出范围
厚层	Slab-MIP/AIP	在厚度内投影	vtkImageSlabReslice	2D	突出细结构	厚度太大易遮蔽
裁剪	ROI/Box	子块/视图裁剪	vtkExtractVOI / BoxWidget	2D/3D	聚焦目标、提速	仅改范围
统计	直方图	值频率统计	vtkImageAccumulate	统计	调窗宽/阈值依据	不是渲染
分割可视化	Mask 高亮/建模	分割→体绘/等值面	vtkImageThreshold / vtk2D/3DmFilter	目标清晰	结果依赖分割质量	

如果你愿意，我可以把这些方法做成可选模式的 Demo（就像你现在的控件：体绘/MIP/MinIP/AIP/等值面/正交切片/MPR/厚层），并把每个模式的关键参数（传输函数、阈值、slab 厚度、MPR 法向等）做成侧栏可交互的 UI。这样就能“一键对比”。