

AS472550

AutoCAD Plant 3D 在大型复杂工艺设施的应用

赵路阳
中国科学院高能物理研究所

Learning Objectives

- 特点--大型复杂工艺设施
- 定位--AutoCAD Plant 3D 在项目实施过程的角色
- 难点—AutoCAD Plant 3D 在参与过程中，与其它的困难之处
建议—项目实施过程中的解决方案

Description

AutoCAD Plant 3D 的初衷或许是以管道和设备为主的工厂设计，如石化、水处理行业等。在这些领域中，AutoCAD Plant 3D 是无可争议的“主角”，不用过多考虑建筑、结构及其他机电专业的限制。

但在大型复杂工艺设施中（以近年若干国家大科学装置为例），管道的设计与布置要避让大型主工艺设备，还要与建筑结构充分配合，是服务于主工艺设备的“配角”。在软件层面，则要面对主工艺设备、建筑设计软件等采用其他三维参数化设计软件的“干扰”。

本次课程主要探讨的内容，即是 AutoCAD Plant 3D 在大型复杂设施中，以怎样的角色参与？需要做出哪些让步？又要坚持哪些原则？

Speaker

中国科学院高能物理研究所高级工程师，热能工程专业硕士，工作经验超过 10 年。
2009 年~2018 年参建大科学装置“中国散裂中子源”（CSNS, China Spallation Neutron Source），任空调及压缩空气系统负责人，该项目 2018 年通过国家验收；
2018 年至今参建大科学装置北京高能同步辐射光源（HEPS, High Energy Photon Source），负责压缩空气及冷却风系统；
2019 年至今任南方光源研究测试平台（SAPS-TP）公用设施分平台主任，负责建筑及公用设施的全过程协调与管理。
对大型公用设施完整的设计、集成、安装、调试的全过程有着深入的工作经历，在进度把控、风险管理、多专业协调等方面有丰富的经验。

特点--大型复杂工艺设施的特殊之处

大型复杂工艺设施是 AutoCAD Plant 3D 面对的挑战方向之一，即兼具“大型”和“复杂”的特点。我以较为熟悉的大型加速器相关领域为利，与大家介绍一下大型复杂工艺设施的特点。

特点 1—规模大

体现在体量、管理体系和参建人员规模等方面。

大体量的工艺设施

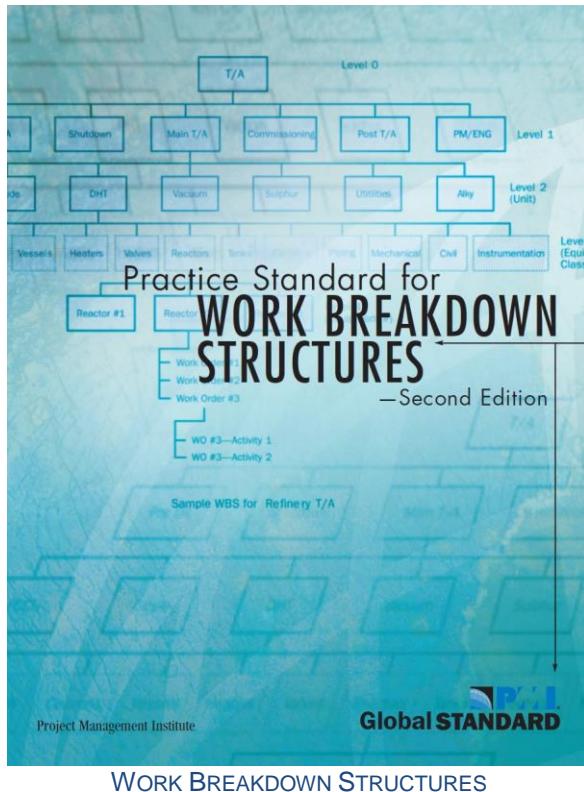
高能物理或是加速器及配套探测设施的一个建设方向是大规模设施。其中有两个典型的方向，一个是有较强应用前景的第四代光源，其周长通常在 1km 左右，如目前正在北京怀柔建设的高能同步辐射光源，其储存环周长接近 1.4m。另一个方向是探索新粒子特性的大型高能加速器，隧道长度数十公里到上百公里。曾发现被誉为“上帝粒子—希格斯粒子”的大型强子对撞机，其周长达到了 27km，更为庞大的 FCC 周长将达到 100km。如此庞大的工艺设施，其设施的规划、设计、配合、建造和调试运行的全过程，对数据平台的要求极高，也对相应的管理人员提出了很大的调站。



已建成的 LHC (27km) 同规划中的 FCC (100km)

复杂的管理层级

大体量的工艺设施对工程管理的要求极高，无论是设备材料、资产、进度、经费等方面都造成了极大的困难，很难用常规自动化的管理系统执行，通常会有较为专业的管理团队，并有相关的兼职人员充分配合，才能使项目在磕磕绊绊中向前推进。按照 WBS 理论体系来进行划分的话，大型复杂工艺设施的管理层级通常不小于 7 级。



参建人员规模大

参建大型工艺设施的人员众多，层级繁杂，造成最大的问题是沟通和调整的耗时较长。随着项目的深入设计，每一个小的调整都需要花费更多的时间以及与更多的人员沟通。

特点 2—精细度高

体现在安装精度、配管精度、空间利用率。

设备安装精度高

大型加速器虽然长达数十公里，但设备紧凑型高，且绝大多数为刚性连接，使总体设施的安装精度极高，通常单台单组设备安装精度为微米级，而总体安装精度也需要达到毫米级。

配管安装精度高

环形加速器中，配套的各类管道需要与束流线完全平行，需要大量手工煨制与之相对应的弧形管道，对现场安装工艺要求极高，同时也对 AutoCAD Plant 3D 造成了很大的困难（后文讲）

空间利用率高

通常加速器需要放置在隧道内，而由于辐射防护、隧道成本等方面考虑，大多加速器装置的人员维护空间极小，这要求设计人员需要非常充分的考虑到后期维护保养的便利，需要大量设计非标定制的支架吊架等，确保设备、管线的维护保养可行。



LHC 内的维护工作

特点 2—配合度高

主工艺之间的配合

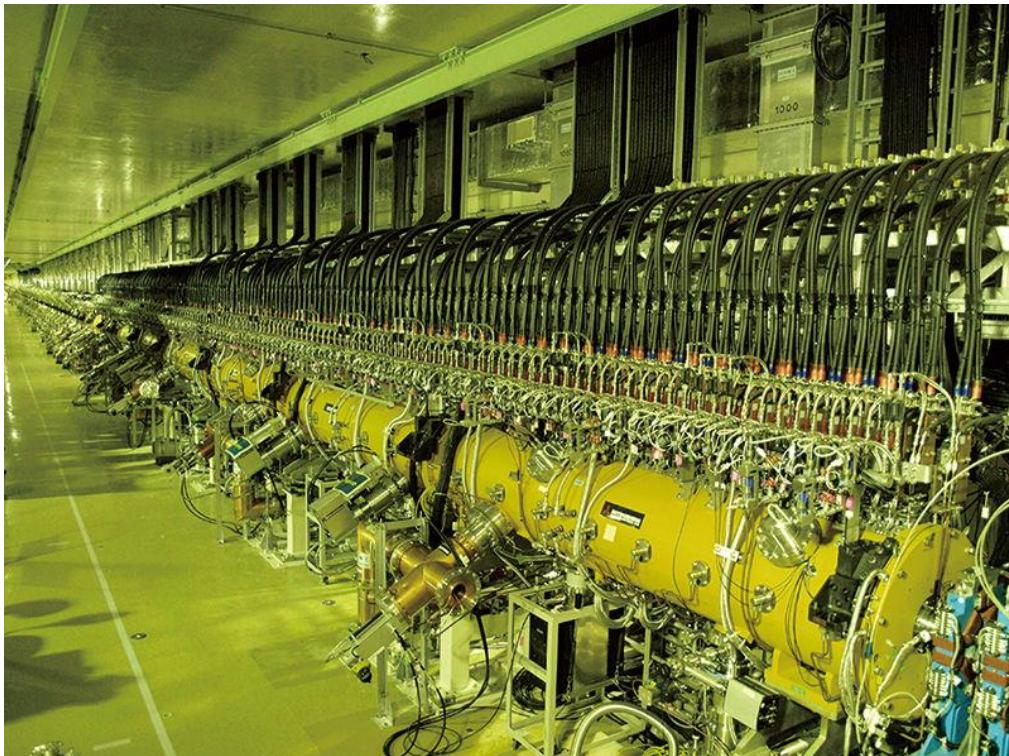
大型加速器的部件之间异常紧凑，在单体设计过程中即要求在空间占用方面要自我约束，仍难免在装配模拟发生干涉，需要有高效的干涉协调机制处理。对于个别复杂部位，还需要进行多个方案的比对，确保最有效的空间利用和后期高效的维护。



J-PARC 的加速器磁铁配合

主工艺与配套管线及建筑之间的配合

加速器的主工艺设备通常配有大量的水冷、压缩空气和工艺电缆等，往往在接口处的管线密集，其工作量远大于常规工艺设备的配管。此外出于屏蔽考虑，加速器建筑往往也会与主工艺设备及管线发生干涉，使设计和安装过程更加复杂。



J-PARC 的加速器 DTL 段

定位—AutoCAD Plant 3D 在项目实施过程中的角色

在大型复杂工艺设施的设计过程中，通常会有三方设计团队，及主工艺设备设计、园区建设设计以及通用设施设计。在目前条件下，很难统一各方平台。在三位参数化设计过程中需要相互配合时，通常以.stp 格式相互参照。考虑到管线设计需要与建筑设计充分配合，AutoCAD Plant 3D 是兼容性可靠的优先选择。

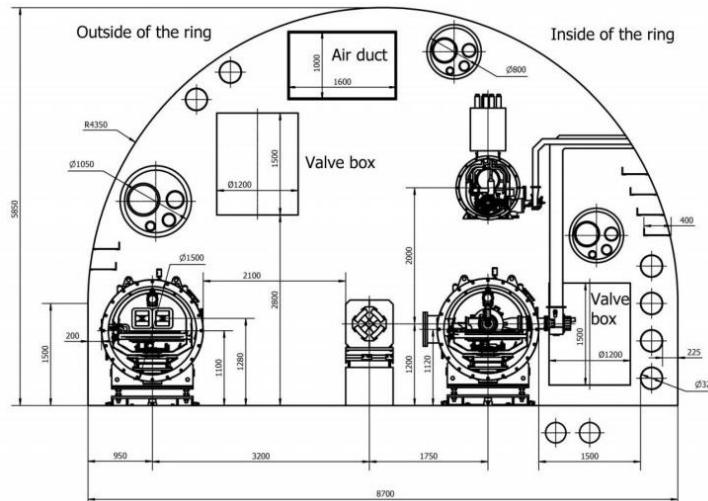


由于大型加速器设计过程中，设备、管线和建筑的相互配合与干涉较多，因此 AutoCAD Plant 3D 在设计中很难通过自动布管等方式设施，通常需要精准的依据设备和建筑定位，在狭小的区域进行精细化设计。

难点一—AutoCAD Plant 3D 在实际操作时，困难之处

难点 1：无法绘制传统管道专业以外构件

在大型加速器设施中，圆管并非是管道工程中的全部，大量的风管、软管、桥架、多层管等与主工艺设备配合紧密，这虽然可通过参照等方式相互配合，但实施过程较为影响效率，建议采购专用插件或请欧特克关方开发类似产品，毕竟在加速器领域，即便是最初的概念设计，都会有风管和桥架的规划和配置。



CEPC 概念设计的规划隧道截面

难点 2：自建元件库

由于管线、阀门等设计精度要求高，因此需要自建大量的 catalog，从设计方角度考虑，即便 catalog 可以外包，但为提高整个 catalog 的使用可靠性，通常需要设计责任主体对 catalog 有充分的了解。

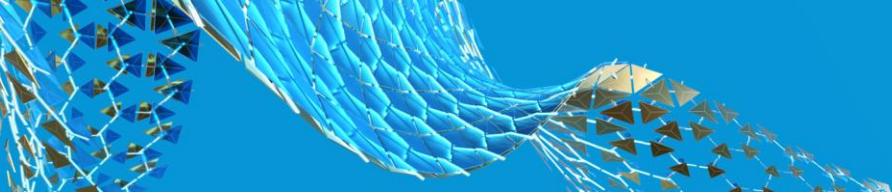
难点 3：自建特殊元件

针对工艺要求的特殊阀门及管件（波纹管、卡套接头、卡箍街头、橡胶软接头、特殊仪器仪表等），不仅要三维建模，还要设置理想的 ISO 及 SKEY。

难点 4：弧形

弧形带来的困扰目前暂无解决方案，主要体现在 ISO 图中，管道角度过于复杂，在 ORTHO 图中，弧形管道对成图有很大干扰，以及实际上无法通过弧形管道与三通直接连接，即弧形管道无法接出三通管件。

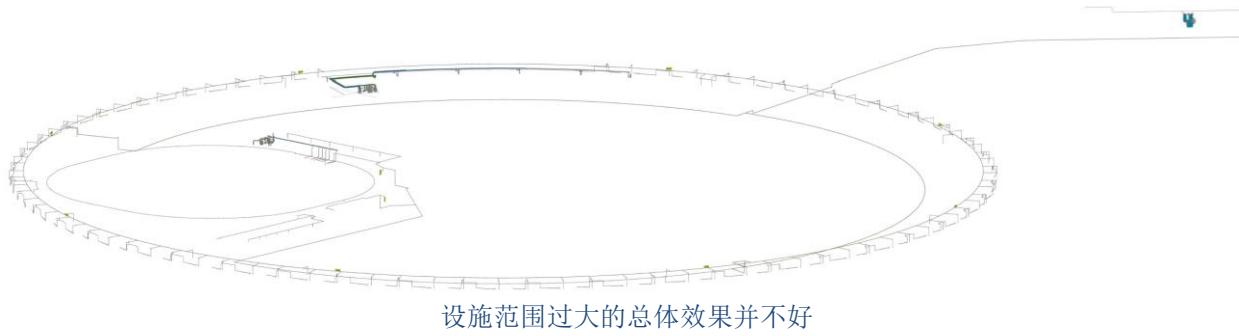
关于弧形的问题暂无可行的解决办法，目前暂用多个直线管代替弧形管道。



建议一大型复杂工艺设施实施过程的合理化建议

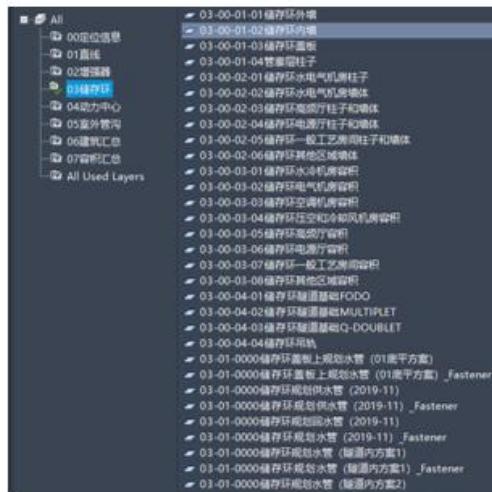
分区设计，不要试图总揽全局（参考 DCS 分散控制策略）

应适当对工艺设施进行分区设计，避免将大型设施布置在同一个文件中，除了可能造成卡顿以外，也会造成其它文件错误。此外范围过大，总体的显示效果可能较差。



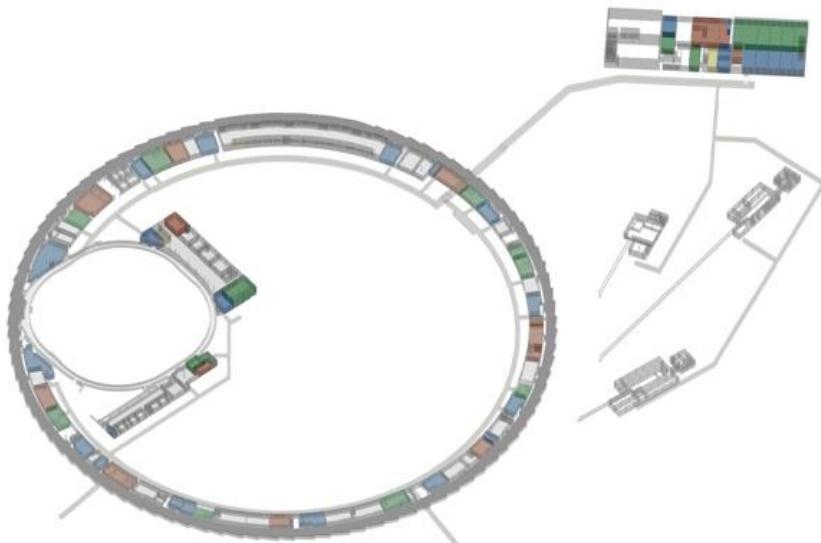
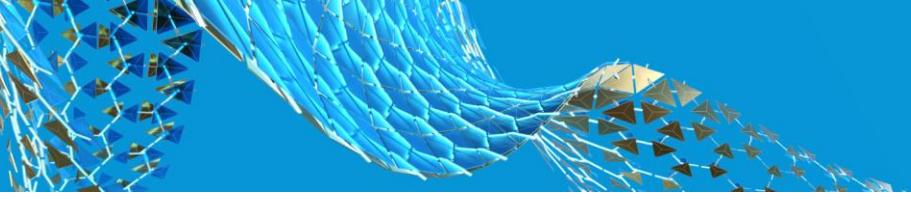
提前规划文件系统和工程系统，标准化管理（特别是命名）

一个好的项目文件体系一定要有规范的标准化管理要求，前期投入一定精力进行规则制定和落实，后期的效率将呈几何级数增长。



适当提前自建建筑模型，提前规划三维设计

三维管线设计的灵魂是前期优化，而按照目前国内的设计工序，当拿到精准的 Revit 模型时，通常建筑设计单位已经完成了施工图设计，此时管线设计已几乎无任何优化的可能。因此建议管线设计人员应提前自建与管线相关的建筑模型，提前进行三维设计和优化讨论，使三维参数化设计发挥最大功效。



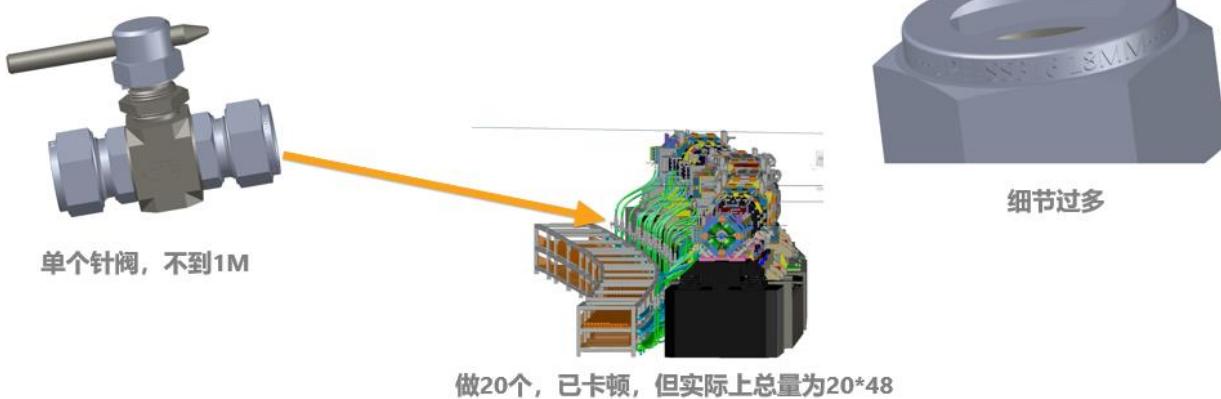
外环总长: 约1364m
内环总长: 约454m
文件大小: < 4m
人力成本: 2个人工日

关于 catalog: 先组织小团队自建, 后请专业公司深化+维护

从专业性和可靠性考虑, Catalog 应由专业的公司进行分包处理。但仍建议设计团队应先组织小团队进行自建典型 catalog, 使团队成员了解过程, 明确需求, 且便于后期的紧急维护。当团队成员对 catalog 有了一定的了解和操作后, 再与专业公司对接, 是一个较为高效可行的办法。

简化模型—避免细节过多的模型

不要以为模型占用容量小就没问题。当一个小型模型有足够的细节时, 几十个小模型就可以使整个项目卡顿, 如下图:



避免非标准模型

- 在欧特克关方提供的 GB 国标库中, 有部分模型由 inventor 导入, 显示效果不一致, 且与其关联的常规法兰容易缺失显示 (甚至会带着设备同时不显示)。此问题在欧特克技术支持处可以复现, 但暂无解决措施。

This content pack also contains the following compatible GB standards which are imported from Autodesk Inventor:

- GB/T 4622.2 - Spiral wound gaskets for pipe flanges
- GB/T 9115.1 - Steel pipe welding neck flanges with flat face or raised face
- GB/T 9116.1 - Hubbed slip-on-welding steel pipe flanges with flat face or raised face
- GB/T 9117.1 - Hubbed socket welding steel pipe flanges with raised face
- GB/T 9119 - Slip-on-welding plate steel pipe flanges with flat face or raised face
- GB/T 9122 - Loose plate steel pipe flanges with lapped end
- GB/T 9126 - Dimensions of Non-metallic flat gaskets for pipe flanges
- GB/T 12459 - Steel butt-welding seamless pipe fittings
- GB/T 13402 - Large-diameter carbon steel pipe flanges
- GB/T 13403 - Gaskets for large-diameter carbon steel pipe flanges
- GB/T 13404 - Polytetrafluoroethylene envelope gaskets for pipe flanges
- GB/T 14383 - Forged steel socket welding pipe fittings

WCS/UCS 建议

避免管道与 WCS 非平行或垂直状态，即在 UCS 进行管道绘制时，可能会出现部分管道和阀门仍参考 WCS 体系，降低绘图效率，此问题经用户反馈，但目前仍未有合理的解决方案。

总结—AutoCAD Plant 3D 在大型复杂工艺设施的应用

行业趋势，应及早由二维设计转型到三位参数化设计

考虑到建筑总体设计仍以二维图纸设计为主，当工艺管道设计在项目中必须要与建筑专业深度互动时，利用 AutoCAD Plant 3D 作为管道设计工具是优选的方案之一。

按照项目体量和精细程度做好资源规划

应分析好团队的人力因素、时间因素，考虑是否需要外协以及外协的分工。大型项目必须要有专业设计分包，核心成员集中精力办大事。团队核心成员应对 AutoCAD Plant 3D 有相当程度的了解。

从小项目做起（或大型项目的小系统），提前发现困难，避免半途而废

理想的 AutoCAD Plant 3D 项目，应完全甩开二维设计，否则浪费人力、时间和经费成本，甚至可能耽误总体进度。小而典型的项目，适合项目核心团队探路，反复寻找可能影响进度的重大问题。