三维管网与数字孪生

基于 BIM/GIS 的城市地下管网三维可视化技术白皮书

BIM　GIS　地下管网　三维可视化　3D Tiles　数字孪生　CIM

版本	发布日期	适用产品
1.0	2026-10-27	管网测绘、3dtiles-converter、GIS 一张图平台、地下管网监测与管理系统

摘要

本文系统说明如何把管网普查成果、BIM 模型、倾斜摄影与在线监测数据融合到同一个三维场景中，实现城市地下管网「看得见、量得准、分析得了、联动得上」。内容覆盖总体架构、数据基础、坐标与高程统一、管线参数化建模、BIM 与 GIS 融合、3D Tiles 切片发布、地下模式可视化、空间分析、监测数据融合以及实施路线。

核心要点

1. 三维管网项目失败最常见的原因不是渲染而是坐标与高程没有统一：平面要统一到 CGCS2000，高程要处理 1985 国家高程基准（正常高）与椭球高之间的差值
2. 管线模型应由普查属性参数化生成：用管底高程加半个管径得到三维中心线，再沿中心线生成圆管或方沟并在节点生成连接件
3. BIM 模型进入 GIS 场景前需要简化构件、保留 GlobalId 与关键属性，并通过控制点配准落位，不宜依赖 IFC 文件自带的经纬度
4. 发布统一采用 OGC 3D Tiles；瓦片只携带要素 ID，属性走后端接口查询，便于数据更新而不必重新切片
5. 地下浏览建议组合使用地表半透明、按范围开挖和剖切面三种手段，避免整体隐藏地表后失去空间参照
6. 断面与净距分析应基于管线中心线和高程计算，而不是在三维网格上量测

目录

一、背景：为什么地下管网需要三维 …… 1

二、总体架构 …… 1

三、数据基础与质量要求 …… 2

四、坐标与高程统一：最容易出问题的一步 …… 3

五、管线三维参数化建模 …… 4

六、BIM 与 GIS 融合 …… 5

七、三维瓦片切片与发布 …… 5

八、地下模式与可视化交互 …… 6

九、空间分析 …… 7

十、在线监测数据融合 …… 7

十一、部署、安全与国产化 …… 7

十二、实施路线与交付物 …… 8

十三、与本公司产品的对应关系 …… 8

常见问题 …… 8

参考资料 …… 9

关于我们 …… 9

一、背景：为什么地下管网需要三维

城市地下管线种类多（给水、排水、燃气、热力、电力、通信等）、权属分散、埋设年代跨度大。传统的二维管线图能表达平面走向，却很难回答这些问题：

- 两条管线在路口是**上下交叉**还是**平面相交**？竖向净距够不够？
- 新建管线的设计高程会不会和现状管线**碰撞**？
- 某个检查井液位超限，**上下游**是哪些管段？影响到哪些路段？
- 开挖施工前，作业面下方到底埋了几层管线、各在什么深度？

这些问题的共同点是**都和「竖向关系」有关**。三维可视化的目标不是做一个好看的大屏，而是让地下空间可以**被看见、被量测、被分析、被联动**。

要做到这一点，需要把四类数据放进同一个坐标基准、同一个场景里：

1. **管网普查成果**：管点、管线及其属性（管径、管材、埋深、管底高程等）；
2. **BIM 模型**：综合管廊、泵站、调蓄池、建筑等精细模型；
3. **实景三维**：倾斜摄影、地形等地表现状；
4. **在线监测数据**：液位、流量、压力、气体浓度等实时数据。

二、总体架构



基于 BIM / GIS 的地下管网三维可视化总体架构

总体架构分四层：数据源层汇集管网普查成果（Shapefile / DXF）、BIM 模型（IFC）、倾斜摄影（OSGB）与物联网监测数据；数据处理层完成坐标与高程统一、字段映射、管线参数化建模和 LOD 切片；服务层以 OGC 3D Tiles、矢量 / 影像瓦片和时序数据接口对外提供服务；应用层在同一场景中实现三维一张图、地表透明与开挖剖切、横纵断面分析和监测告警联动。

总体上分为四层，每一层的职责要清晰，避免把建模、切片、业务逻辑揉在前端里：

层次	主要职责	关键产出
数据源层	汇集普查成果、BIM、倾斜摄影、地形与监测数据	原始数据与数据清单
数据处理层	坐标与高程统一、字段映射与质检、参数化建模、LOD 切片	统一基准的三维模型与瓦片

层次	主要职责	关键产出
服务层	发布三维瓦片、二维底图、属性与拓扑查询、时序数据接口	标准化服务接口
应用层	三维一张图、地下浏览、断面与净距分析、告警联动	面向业务的可视化应用

一个重要的设计原则是**「几何走瓦片，属性走接口」**：三维瓦片里只保留要素 ID 和少量显示用属性，完整属性、拓扑关系和监测数据通过后端接口按 ID 查询。这样管线属性更新时不必重新切片，权限控制也可以在接口层统一处理。

三、数据基础与质量要求

3.1 管网普查数据

管网数据通常以「管点表 + 管线表」组织，外业探测与建库可参照 CJJ 61《城市地下管线探测技术规程》和 CJJ/T 269《城市综合地下管线信息系统技术规范》。三维建模至少需要以下字段：

对象	三维建模必需字段	说明
管点	编号、X / Y 坐标、地面高程、井底高程或井深、附属物类型	决定检查井、阀门等设施的位置与高度
管线	起止管点编号、起止管底（或管顶）高程、管径或断面尺寸、断面形状、管材、管线类别	决定管线的三维走向、粗细与外观

普查成果常见问题及处理：

- **字段命名不统一**：同一个「管径」可能叫 GJ、D、DIAMETER，建模前先建立字段映射表，并保存为可复用的方案；
- **单位混用**：管径毫米与米混用、高程与埋深混用，需在映射时统一换算；
- **高程缺失**：只有埋深没有管底高程时，用「地面高程 − 埋深」推算，并在质检报告中标注为推算值；
- **方沟与管块**：断面用「宽 × 高」表示，需要单独的断面类型字段。

3.2 BIM 模型

BIM 主要用于综合管廊、泵站、调蓄池、厂站与重要建筑。交付通常遵循 GB/T 51212 与 GB/T 51301 等标准，交换格式以 IFC（ISO 16739）为主。进入 GIS 场景前需要关注：

- 模型精细度与用途匹配：城市级场景只需外观与主要构件，设备级细节应按需加载；
- 构件分类与编码清晰：IFC 中的管段、管件、阀门等构件类型要保留，便于点选查询；
- 原点与单位明确：BIM 多为项目局部坐标，需要提供至少 3 个可识别的控制点用于配准。

3.3 实景三维与地形

倾斜摄影（OSGB 等格式）提供地表现状，是判断管线与道路、建筑相对位置的重要参照。需要确认其坐标系、高程基准与 metadata 中的原点信息；地形（DEM）用于计算地面高程和地下浏览时的参照面。

3.4 监测数据

监测点位要和管点编号**一一绑定**，而不是只记录经纬度。这样告警发生时可以直接定位到具体检查井，并沿拓扑追踪上下游。

四、坐标与高程统一：最容易出问题的一步

在大量三维管网项目中，「模型飘在空中、埋进地下几十米、整体偏移几十米」是最常见的问题，原因几乎都是坐标或高程基准不一致。

4.1 平面坐标

- 国内项目一般统一到 **2000 国家大地坐标系（CGCS2000）**，按项目区域选择 3 度带或 6 度带投影；
- 地方独立坐标系、城建坐标系需要通过转换参数（四参数、七参数）或控制点仿射校准转换；
- BIM 与通用三维模型的局部坐标，通过控制点求解平移、旋转与缩放后落位。

4.2 高程基准

这是最容易被忽略的一点：

- 普查与测绘成果通常采用 **1985 国家高程基准**，属于正常高；
- 主流三维 GIS 引擎内部使用的是 **椭球高**；
- 两者之间相差一个高程异常值，各地数值不同，在部分地区可达数十米。

如果不做转换，整套管网会整体抬高或沉入地下。处理方式是使用项目所在地区的似大地水准面模型或控制点求取高程异常改正，在建模阶段统一换算，并在成果说明中写明采用的高程基准。

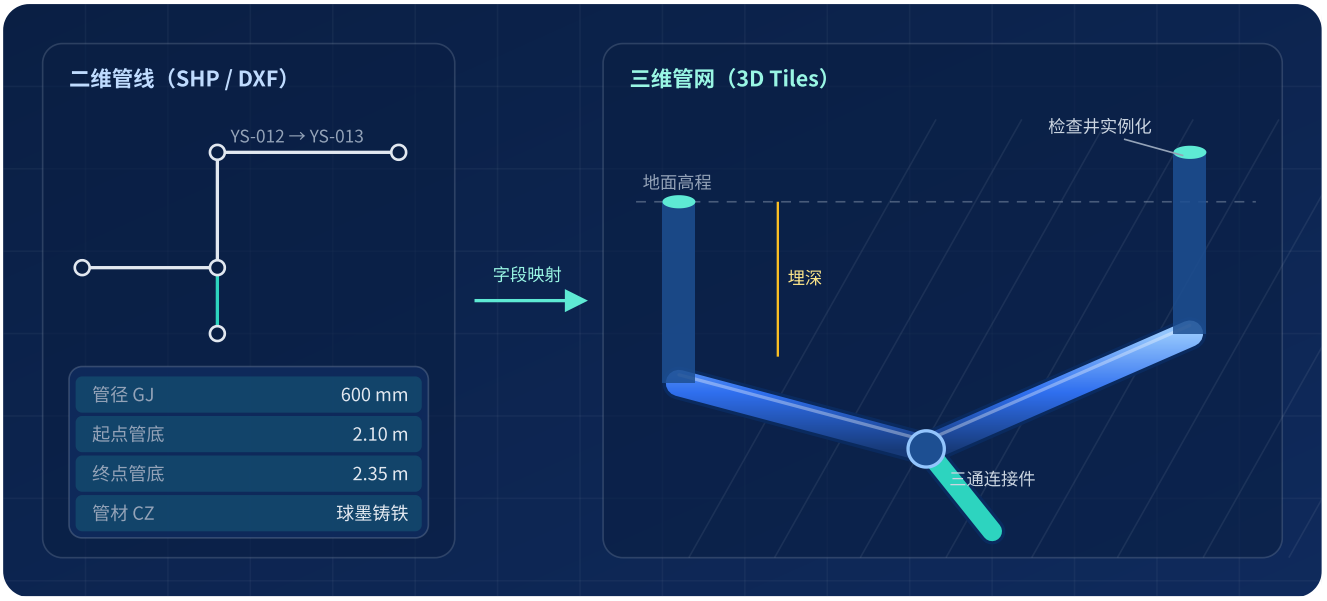
4.3 局部坐标与地心坐标

三维瓦片最终以地心坐标系组织。工程上通常把每个片区的模型建在一个**局部东北天（ENU）坐标系**中，再通过瓦片根节点的变换矩阵放到地心坐标下。这样做可以避免大坐标值带来的浮点精度抖动，模型在近距离浏览时不会出现闪烁和错位。

4.4 落位检查清单

检查项	方法	典型异常
平面位置	叠加道路中心线、井盖实测点	整体平移、旋转
高程	检查井口顶面与地形 / 倾斜摄影地面比较	整体抬高或下沉
比例	量测已知管径、道路宽度	毫米与米单位错误导致放大 1000 倍
朝向	对照指北方向与路网	坐标轴顺序（X / Y）互换

五、管线三维参数化建模



二维管线 → 三维管网的参数化建模

参数化建模过程：读取二维管线（Shapefile / DXF）的几何与属性，把管径、起止管底高程、管材、断面形状等字段映射为建模参数；按「地面高程 − 埋深」或直接用管底高程计算三维中心线，沿中心线生成圆管或方沟，在节点处生成弯头、三通等连接件；检查井、阀门等附属设施按模型库实例化；最后做拓扑与高程一致性检查并切片输出 3D Tiles。

管线模型不建议手工建模，而应由普查属性**参数化生成**。这样数据更新时可以自动重建，模型与属性始终一致。

5.1 计算三维中心线

对每条管段：

1. 取起止管点的平面坐标；
2. 确定起止点的**管中心高程**：已知管底高程时，管中心高程 = 管底高程 + 管径 / 2（需要区分内径与外径时再加壁厚）；已知管顶高程时相应减去；只有埋深时先用地面高程减去埋深；
3. 起止点连线即为三维中心线；有折点的管线按折点逐段处理。

5.2 生成断面几何

- **圆管**：沿中心线生成圆柱面，分段数随管径和观察距离调整，小管径远距离可以降低分段数；
- **方沟 / 箱涵**：按宽、高生成矩形断面；
- **管块 / 排管**：按行列数生成多孔断面或用包络体表示。

5.3 节点连接件

管段在管点处直接相接会出现缝隙或穿插，需要按连接关系生成连接件：

- 两条管段夹角较大时生成**弯头**；
- 三条、四条管段汇合时生成**三通、四通**；
- 管径变化处生成**变径**；
- 管段接入检查井时，管端截止于井壁，不穿入井室。

5.4 附属设施

检查井、阀门、消火栓、雨水口等附属设施数量大、形态重复，适合**模型库 + 实例化**：同一类设施只存一份几何，按位置、朝向、尺寸（如井深）实例化，既减小数据量也便于替换为真实模型。检查井高度按「地面高程 − 井底高程」确定。

5.5 拓扑与高程检查

建模前后都要做拓扑检查，并把问题逐条定位输出：

- 悬挂线、断点、重复管线；
- 管线起止点找不到对应管点；
- **倒坡**：重力流管线下游管底高程高于上游；
- 上游管径大于下游管径；
- 不同类别管线互相连接（如雨污混接）。

这些检查本身就是普查数据质检的一部分，三维化之后问题会更直观地暴露出来。

5.6 外观与配色

管线按类别着色，可参照管线探测规程与地方标准中的管线类别配色习惯，同一项目保持一致；材质纹理用于区分管材，但城市级场景应以清晰可辨为先，避免复杂纹理拖慢加载。

六、BIM 与 GIS 融合

BIM 与 GIS 的融合，本质上是**把「建筑级精度」的模型放进「城市级尺度」的场景**，需要在精度、性能和信息完整性之间取舍。

1. **模型轻量化**：去除不可见的内部构件、合并相同材质、简化曲面细分；对管廊、泵站等以外观和关键设备为主；
2. **属性保留**：保留构件的 GlobalId、类型、名称与关键属性，转换为瓦片中的要素 ID，点击构件即可查询属性；
3. **坐标落位**：IFC 文件里的场地经纬度往往不准确或缺失，建议以控制点配准为准；
4. **层级加载**：城市级只显示外壳，靠近后再加载内部构件与设备；
5. **与管网衔接**：管廊内的管线与外部管网通过管点编号衔接，保证拓扑连续，上下游追踪可以穿过管廊。

七、三维瓦片切片与发布

7.1 为什么选择 3D Tiles

OGC 3D Tiles 是开放标准，主流三维 GIS 引擎与数字孪生平台都支持，可以流式加载海量三维数据。1.1 版本可以直接使用 glTF 作为瓦片内容，并提供结构化元数据能力；如果目标平台只支持 1.0，则输出 b3dm、i3dm 等传统格式。

7.2 瓦片树与 LOD 策略

- **空间划分**：按片区或四叉树 / 八叉树划分，单个瓦片控制在合适大小，避免一次下载过多数据；
- **几何误差**：每个节点的几何误差（geometricError）决定何时细化，过小会导致过早加载高精度瓦片，过大则近距离仍显示粗糙模型；
- **按管径分级**：远距离只显示主干管和重要设施，靠近后再加载支管与附属设施，这比单纯简化三角网更符合业务直觉；
- **细化方式**：管线类数据常用「叠加」方式逐级补充细节，倾斜摄影常用「替换」方式。

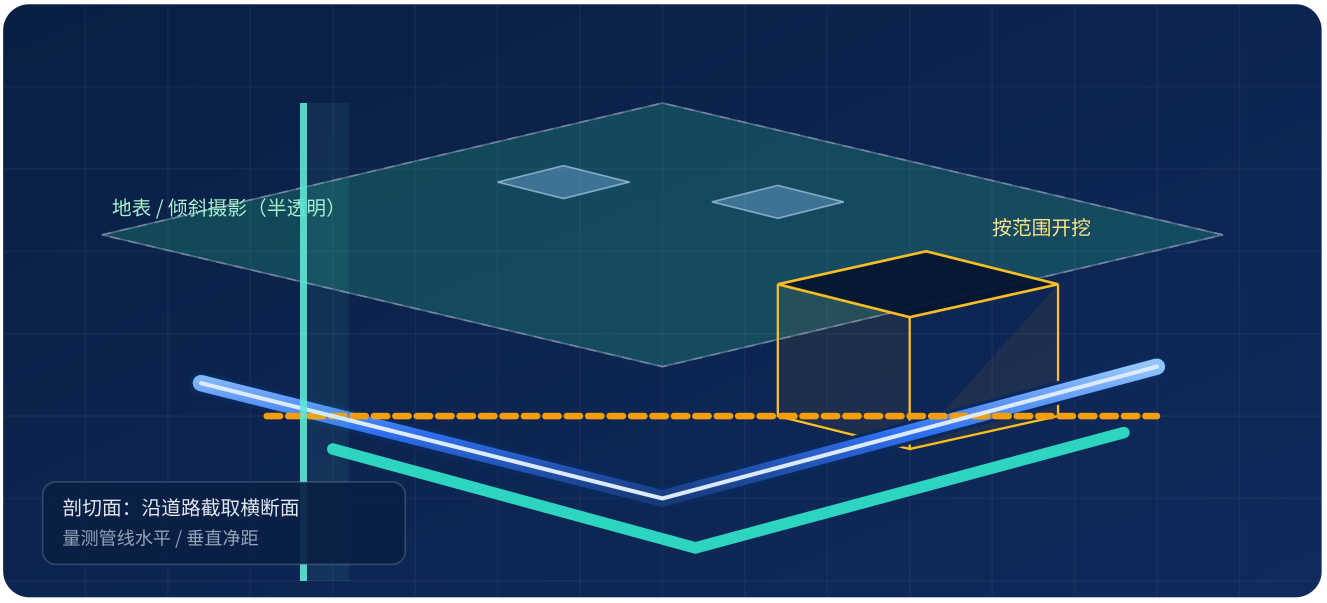
7.3 压缩与传输

几何可采用 Draco 或 meshopt 压缩，纹理可采用 KTX2（Basis Universal）压缩；同时开启 HTTP 压缩与缓存。压缩率需要在解码开销和传输体积之间平衡，并以目标终端（办公电脑、大屏、移动端）实测为准。

7.4 增量更新

管网数据会持续变化，应按片区记录数据版本，只对发生变化的片区重新建模与切片，避免每次全量重建。

八、地下模式与可视化交互



地下模式：地表透明、开挖与剖切

地下管网三维浏览的三种常用手段：地表与倾斜摄影半透明，让地下管线透出来；按多边形范围开挖，只把开挖区域的地表挖空，周边场景保持完整；用剖切面沿道路截取横断面，直接量测管线之间的水平与垂直净距。三种方式可组合使用，避免整体隐藏地表后失去空间参照。

地下管网可视化的核心矛盾是：**既要看清地下，又不能丢掉地表参照**。实践中常组合三种手段：

1. **地表半透明**：把地形与倾斜摄影设置为半透明，相机可以进入地下，管线从地表下透出来；
2. **按范围开挖**：用多边形裁剪地表，只把开挖区域挖空，坑壁贴上土层纹理，周边场景保持完整，适合施工交底；
3. **剖切面**：沿道路方向设置剖切面截取横断面，直接查看并量测管线之间的位置关系。

其他交互要点：

- **拾取与查询**：点击管线、检查井或 BIM 构件，按要素 ID 查询完整属性；
- **标注策略**：按距离和重要性控制标注密度，避免文字堆叠；
- **性能控制**：合理设置屏幕空间误差阈值与内存上限，大场景下按视野按需加载。

九、空间分析

三维场景的价值最终体现在分析上。需要强调的是，**断面、净距等量测类分析应基于管线中心线和高程数据计算**，而不是在三维网格上取点，这样结果才可复核、可追溯。

分析	计算依据	典型用途
横断面分析	剖切线与各管线中心线求交，结合管径与高程	道路断面管线排布、施工交底
纵断面分析	沿管线路径取管底高程与地面高程	坡度检查、倒坡与埋深不足识别
净距分析	管线间水平与垂直最小距离，对照 GB 50289 等规范要求	新建管线设计复核
碰撞检测	设计管线与现状管线、构筑物的空间相交	设计阶段冲突排查
连通性与上下游追踪	管网拓扑图遍历	溯源排查、影响范围评估
爆管关阀分析	拓扑 + 阀门位置	给水、燃气事故应急

十、在线监测数据融合

当液位、流量、压力等监测数据接入后，三维管网从「静态档案」变成「运行状态」：

- 监测点按管点编号绑定，在三维场景中以状态颜色和图标显示；
- 告警发生时，场景自动定位到对应检查井，高亮上下游管段；
- 点击监测点查看实时曲线与历史回放；
- 告警联动工单流程，处置结果回写，形成闭环。

窨井液位等监测点位的建设方法，可参见本站《城市排水防涝窨井液位物联网监测系统建设白皮书》。

十一、部署、安全与国产化

- **私有化部署**：三维瓦片是静态文件，可部署在内网 Web 服务器或对象存储上；底图采用离线瓦片在内网发布；
- **权限控制**：瓦片只含几何与 ID，属性与敏感信息通过接口按角色授权访问；
- **国产化适配**：服务端可适配国产操作系统与数据库，前端运行在浏览器中，按项目选型确认图形能力；
- **数据安全**：涉及敏感地理信息的数据，应按保密与数据安全要求管理存储、传输和使用范围。

十二、实施路线与交付物

阶段	主要工作	交付物
1. 数据评估	盘点普查成果、BIM、倾斜摄影与监测数据，确认坐标与高程基准	数据评估报告、字段映射表
2. 试点片区	选取典型片区完成建模、切片与落位验证	试点三维场景、落位检查记录
3. 全域建模	按片区批量建模与质检，建立增量更新机制	全域 3D Tiles 成果、质检报告
4. 平台应用	地下浏览、断面与净距分析、监测融合与告警联动	三维一张图应用、操作手册
5. 运维更新	竣工测量数据持续入库与增量切片	数据更新流程与版本记录

试点先行非常重要：先用一个包含主干管、交叉口、检查井和 BIM 构筑物的典型片区跑通全流程，确认坐标、高程、性能和交互都满足要求，再全面铺开。

十三、与本公司产品的对应关系

环节	对应产品
管网普查成果导入、字段映射、坐标校准、参数化建模、拓扑与高程检查、输出 3D Tiles	星火管网智绘平台
倾斜摄影 OSGB、BIM 与通用三维模型批量转换为 3D Tiles，坐标配准	星火 3D Tiles 模型转换工具
空间数据建库、地图服务发布、一张图查询与专题分析	GIS 应用与「一张图」平台
在线监测接入、多级告警、巡检养护与工单闭环	地下管网监测与管理系统

不同项目的数据条件、平台环境和交付范围差别很大，实际方案以数据评估和试点结论为准。

常见问题

只有二维 CAD 管线图，能做三维管网吗？

可以，但需要补齐管径、管底高程（或埋深）等属性，并确认坐标系。CAD 图中只有线没有属性的部分，需要通过普查或设计资料补充，否则只能按默认值建模，竖向关系不可信。

三维管网模型整体高了或低了几十米，是什么原因？

最常见的原因是高程基准没有统一：测绘成果采用 1985 国家高程基准（正常高），而三维引擎使用椭球高，两者之间存在高程异常差值。需要用当地似大地水准面模型或控制点做高程改正。

BIM 模型和 GIS 场景融合时最需要注意什么？

一是轻量化，城市级场景只保留外观与关键构件；二是保留构件 ID 与属性，便于点选查询；三是用控制点配准落位，不依赖 IFC 文件中可能不准确的场地经纬度。

为什么断面和净距分析不直接在三维模型上量？

三维网格是由中心线和管径生成的近似几何，在网格上取点会引入误差且难以复核。基于中心线、管径和高程直接计算，结果与原始普查数据一致，可以追溯。

管网数据更新后需要全部重新切片吗？

不需要。按片区记录数据版本，只对发生变化的片区重新建模与切片；属性变化如果不影响几何，通过属性接口更新即可，不必重新切片。

参考资料

1. CJJ 61-2017《城市地下管线探测技术规程》
2. CJJ/T 269-2017《城市综合地下管线信息系统技术规范》
3. GB 50289-2016《城市工程管线综合规划规范》
4. GB/T 51212-2016《建筑信息模型应用统一标准》
5. GB/T 51301-2018《建筑信息模型设计交付标准》
6. ISO 16739-1:2018 Industry Foundation Classes (IFC)
7. OGC 3D Tiles Specification 1.1
8. ISO/IEC 12113:2022 glTF 2.0
9. OGC CityGML 3.0 Conceptual Model

关于我们

东营昕睿信息科技有限公司专注城市地下管网、排水防涝与智慧园区领域的软件平台与物联网终端研发，提供窨井液位雷达监测终端、地下管网监测与管理系统、GIS 一张图与智慧园区综合管理平台，以及按项目需求的商业定制开发。

在线阅读本白皮书与更多技术资料：https://www.xinruixinxi.com/whitepapers/bim-gis-underground-pipeline-3d

引用本文

东营昕睿信息科技有限公司．基于 BIM/GIS 的城市地下管网三维可视化技术白皮书（1.0 版）[R]．2026．
https://www.xinruixinxi.com/whitepapers/bim-gis-underground-pipeline-3d

本白皮书内容仅供技术交流与方案参考，不构成任何承诺或保证；涉及的标准规范以其现行有效版本为准，具体方案以项目实际调研与合同约定为准。

东营昕睿信息科技有限公司

www.xinruixinxi.com

专注 GIS 开发、智慧园区、地下管网与窨井液位雷达等嵌入式开发，软硬件一体交付空间信息与物联网解决方案。

微信扫码咨询

在线阅读：www.xinruixinxi.com/whitepapers/bim-gis-underground-pipeline-3d

更多白皮书：www.xinruixinxi.com/whitepapers

方案咨询与样机试点：www.xinruixinxi.com/contact