引文格式：张瑞卫. 上海轨道交通空间数字底座建设探索[J]. 地理空间信息, 2024, 22(2): 97-101. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.02.024

上海轨道交通空间数字底座建设探索

张瑞卫[1]
（1. 上海市测绘院，上海 200063）

摘　要：上海轨道交通已经成为全世界线路总长度最长的城市轨道交通系统。全面数字化转型的目标要求下，智慧轨道交通迅速发展，对空间信息能力建设提出了更高要求。为厘清轨道交通规划、建设、运营等多方需求，提出上海轨道交通空间数字底座建设的目标是要建立一个集成融合、开放共享、精准权威的空间数字底座，依托上海市地理信息时空大数据基础，开展了底座建设的架构设计，并对其中关键技术开展了研究和实践，实现轨道交通空间数字底座建设的初步探索。

关键词：数字化转型；轨道交通；空间数字底座；可视化
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）02-0097-05

Exploration on Construction of Shanghai Rail Transit Space Digital Base

ZHANG Ruiwei[1]
(1. Shanghai Surveying and Mapping Institute, Shanghai 200063, China)

Abstract: Shanghai rail transit has become the longest urban rail transit system in the world with a total length of lines. Under the goal of comprehensive digital transformation, the rapid development of smart rail transit has put forward higher requirements for the construction of spatial information capabilities. Based on clarifying the needs of various aspects such as rail transit planning, construction and operation, we proposed that the goal of Shanghai rail transit spatial digital base construction is to establish an integrated, open, shared and precise authoritative spatial digital base. Relying on the Shanghai geographical information spatio-temporal big data platform, we carried out the architecture design of base construction, and studied and practiced key technologies, achieving preliminary exploration of rail transit space digital base construction.

Key words: digital transformation, rail transit, spatial digital base, visualization

上海全面推进数字化转型工作[1]，城市交通的数字化转型是近年来智慧城市发展的热点之一。北京、上海、广州、深圳等城市分别推出了关于城市轨道交通企业数字化转型的意见[2-3]和促进数字化转型若干的政策措施，以及相应的实施方案。上海市在城市工作中也提出要进一步加强交通数字化转型工作。

1　底座目标研究与框架设计

1.1　需求分析

目前，上海轨道交通运营线路共 20 条线路、500 多座车站，总里程 800 多 km[4]。根据 2035 上海城市总体规划，未来线路也会增加很多，总里程将超过 1 000 km。超大城市的轨道交通发展对空间信息的支撑能力提出了更高要求。同时，轨道交通内部多头管理，已有远程监控、土地房屋管理、监护等多个运营系统，各系统基本为独立建设，缺乏统一的空间底板，智慧交通的发展要求更多的条块协同作业，对基础空间信息的服务能力也提出需求[5]。因此，面对上海城市轨道交通的快速发展，急需建立一个集成融合、开放共享、精准权威的空间数字底座[6]，实现技术、业务和应用多层面协同合作。

1.2　目标分析与研究

经过多方走访调研，梳理形成轨道交通空间数字底座系统项目的建设目标：建成轨道交通线路覆盖“规划-建设-管理-运营”的“全空间、全周期、全要素”空间数字管理模式，实现“一套时空数据云、一条数据共享生态链、一系列应用场景服务”的核心效益。其中，“全空间、全周期、全要素”的上海地铁空间数据，将作为空间信息共享的最核心数据层，为轨道交通全生命管理提供空间基础信息支撑。一套时空数据云是要建设覆盖既有线路、在建线路和十四五期间规划线路的时空数据，制定统一的空间数据标准体系，充分发挥空间数据要素在地铁数字化转型发展中的作用；一个数据共享生态链是厘清集团各部门共

收稿日期：2022-11-11。
作者简介：张瑞卫（1966—），高级工程师，主要从事重大工程测绘、地理信息系统工作，E-mail：13916729111@139.com。

享现状困难（如集团大数据中心、资产管理部、建设集团、监护公司等），通过研制标准服务接口，构建安全可靠、灵活高效的数据智慧共享生态链，实现空间数据的智慧共享；一系列应用场景服务是为集团实现一个空间底板服务、多个应用场景管理提供集团空间数据的前置服务能力，使得规划远景能预见，运营施工能明确。

通过项目成果优化和转化，科学化、精准化、智慧化的数据服务能力将有效提升数据在线、数据决策能力，实现数据不遗失、功能日常化、效果可视化、统计便捷化，为上海轨道交通的数字化转型提供坚实的空间数据服务，为上海建立面向全球卓越城市的上海智慧交通脉络提供决策支撑。

1.3 底座框架设计

底座框架设计是以空间信息为核心，建设可开放共享的轨道交通空间数字底座，解决相对独立相对隔离而无法达到信息自由交换的问题，提高信息辅助决策作用。平台架构如图1所示。

1）基础平台层。基础平台层主要包括服务、存储、网络等及其他设备，还包括平台、系统等。

2）数据资源层。数据资源层包括基础地理信息数据资源；轨道交通专题数据，如立项投资、规划设计、竣工运营等业务数据；轨交相关数据，如建筑物、地下管线、地质环境等与轨道交通相关的其他空间数据。

3）感知层[7]。感知层主要包括与轨道交通相关的具备实时传输功能的智能感知设备，如轨交车站的视频监控、隧道区间的自动化监测设备、智慧工地建设、消防、危化品运输等相关设备，可通过实时传输获取。

4）服务支撑层[8]。服务支撑层系统设计将以WEB服务为中心、以分布式数据库为基础、以XML为桥梁来搭建，实现有效处理信息的互操作和共享问题，体现分布和集中相结合的特点，同时可以作为系统功能拓展延伸的基础。

5）应用系统层。应用系统是实现业务应用的功能模块或定制化系统。包括元数据管理，用户管理系统，基础地理信息数据管理，二三维一体地理信息支撑平台，地理信息服务管理平台等，可根据轨交具体业务再进行划分，如管线投资控制系统、施工全过程安全管理等。

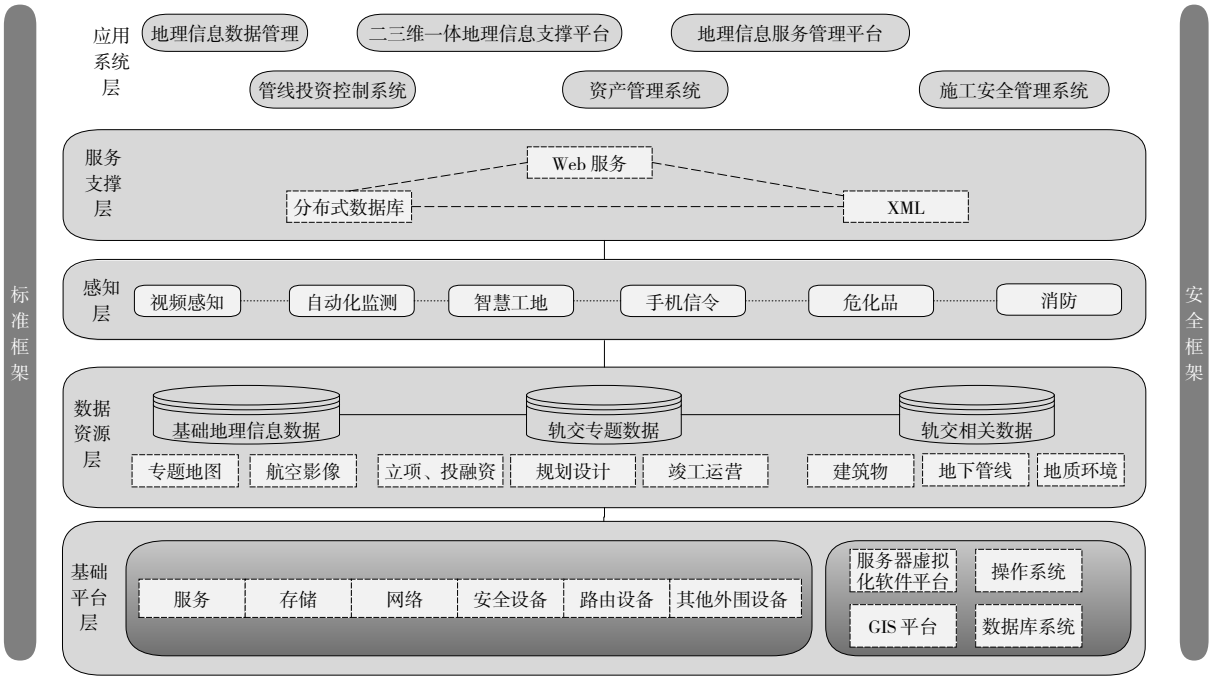


图1 总体框架图

2 底座建设关键技术研究与实践

2.1 空间地理信息服务

以空间地理为基准，建设统一开放的轨道交通空间基础地理信息服务。依托上海市地理信息时空大数据平台，在全市统一的GIS地图基础上，将轨道交通各类与空间位置有关的信息整合进来。研制标准地理信息服务接口，具备为其他信息系统提供空间服务的能力，为轨道交通各类应用场景提供标准统一、开放共享的空间地理数据服务。

2.1.1 建设内容

空间基础地理信息服务由专业地理信息服务部门

维护和更新，一般包括以下部分：

1）全市基础地理信息服务。全市基础地理信息服务一般包括地图、影像、地名地址、行政区域等服务，提供基础定位、地图查询等功能。

2）轨道交通线路周边地理信息服务。①大比例尺带状地形：线路沿线两侧各200 m宽度范围的带状地形，地形图比例尺一般应大于1∶2 000，制作带状图切片，提供分级切片服务。②高清正射影像：线路沿线高清正射影像，一般应优于3 cm，用于线路两侧巡查使用。③数字高程模型（DEM）：线路沿线数字高程模型，用于三维空间要素融合使用。④三维城市模型：轨道交通线路沿线建筑物三维模型，可用于轨道交通建设前期拆迁及后期运营管理使用。

3）其他相关空间基础地理信息服务。空间服务管理控制可实现空间服务的注册、管理、申请、用户权限管理及资源统计。

2.1.2　空间分析与服务

空间基础地理信息服务采用ArcGIS Server发布成Web服务，考虑到基础地理信息的数据安全，将Web服务共享至独立ArcGIS Server站点，部署在专用服务器上。在内网环境设置管理权限，提供开放性服务。各GIS系统可以根据具体业务需求，按图层类型调用服务。空间基础地理信息服务，既可以提供给不同的GIS平台服务，给项目管理人员直接使用，又可以作为数据基础，给专业技术人员进行空间计算和分析使用。

以高清正射影像服务为例，可用于轨道交通安全保护区范围巡查工作。以往轨交安全保护区巡查主要采用人工巡查的方式，人工工作量大、效率低、难以覆盖全域，存在较多巡查遗漏等问题。高清正射影像服务，通过密集匹配生成数字表面模型（DSM），利用DSM差分技术自动发现高程有变化的区域。将其与正射影像图结合使用，可以快速、清晰地掌握轨道沿线的施工情况。如图2，通过影像识别发现新建5 m×6 m的临时建筑。如图3，采用DSM技术自动分析，发现堆土和新建建筑物。



图2　临时建筑

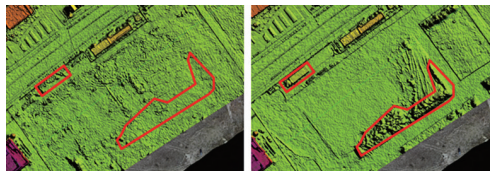


图3　堆土和新建建筑物

2.2　二三维轨道交通专题数据库

2.2.1　数据库设计

轨道交通专题数据覆盖轨道交通规划、建设、管理、运营等全过程服务，具备数据交换能力。研究设计包括轨道交通全流程管理数据、线路矢量数据和车站三维实景数据等3类数据，分别形成数据字典。空间数据可采用shp或gdb等标准GIS服务数据格式，相关表单数据可建立oracle数据库进行管理，既可以与底座的感知层相关联，又可以支撑应用系统层使用。

1）全流程管理数据。研究轨道交通全流程管理，形成包括有立项及前期批复资料、投融资资料、规划设计资料、用地资料、特殊情况处置资料、规划土地验收及不动产登记资料、属地化及移交接管资料、运营相关批复资料和项目竣工资料等9大类21小类相关管理数据。

①立项及前期批复资料：建设规划文件、批复文件、工可、初步设计等相关文件。

②投融资资料：投资分工框架协议、前期工作委托协议、结建协议、土地转让协议、线路商业接入等书面协议等。

③规划设计资料：方案报审资料、建设工程规划许可证等相关许可资料。

④用地资料：房屋土地权属调查报告、国有土地划拨决定书、建设项目用地批文、建设用地规划许可证、借地协议等征借地资料。

⑤特殊情况处置资料：土地协调及相关矛盾协调处置等。

⑥规划土地验收及不动产登记资料：建设工程“多测合一”成果报告书、规划验收合格证、土地核验合格证、地产权证、房屋产权证等。

⑦属地化及移交接管资料：属地化协议、实物资产移交协议、土地资产移交资料、项目资产价值量（清册）编制移交等。

⑧运营相关批复资料：试运营批复、正式运营批复。

⑨项目竣工资料：审计报告、国家验收资料、项目综合验收备案资料等。

2）线路矢量数据。线路矢量数据主要包括以下7类要素：车站主体结构轮廓；车站出入口和风井；

盾构区间；敞开段、地面及高架区间；地铁车辆的停车场；主变电站；停车场开发有关的地块。制作轨道交通线路矢量数据，将全市轨道交通站点的线路、站点、土地范围和在建线路、借地等信息展现在地图上。建立7类要素的数据字典，以盾构区间为例，存放连接2个车站的地下盾构路线，属性表字段设计如表1所示，其中“Status2”字段记录项目的状态，包括竣工、开工、未开工；“Status”字段记录详细开工状态，包括未推进、推进、贯通等。

表1 盾构区间字段设置

字段	类型	说明	字段	类型	说明
FID	OID	主键	Level	Small Integer	风险等级
线路	String	线路名称	Important	String	重点关注工程
区间名	String	区间名	Status	String	详细开工状态
图层	String	所属图层	Status2	String	开工状态
车站1	String	前序车站	连接	String	用于表连接
车站2	String	后序车站			

3）车站三维实景模型。数字化背景下，对轨道交通车站数据提出了更高的要求，车站实景三维数据可与底座的其他二三维数据无缝集成，为感知层和应用层提供更精准、更高效的实景数据。

车站主要结构有外部的车站顶棚、独立出入口等，内部主要是站台层和站厅层中的开放区域、房间、手扶电梯，无障碍电梯和设备等。研究将移动激光实景技术应用到轨道交通数据获取和信息管理中，根据现场条件选择手持式扫描仪或测站式扫描仪以及2种结合的方式，获取全空间的高精度三维点云数据。将扫描后的车站室内外三维点云数据进行拼接，优化去噪后，采用计算机识别提取建构筑物的结构特征线，可制作车站的三维结构。结合实景照片制作高分辨率三维实景模型。

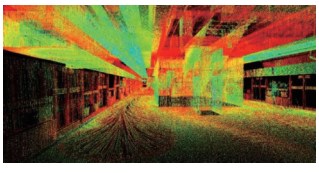


图4 三维点云数据

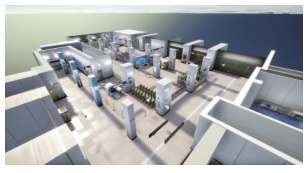


图5 车站三维模型

研究设计统一编码的车站结构，设计图式符号，以站厅层为例，设计结构要素如表2所示。

2.2.2 云大数据管理

采用“云GIS”技术，构建由元数据、基础地理信息数据、轨道交通线路专题数据等组成的私有数据云。打造独立的数据管理功能，将对这些多源多尺度数据的加工、处理和管理作为一种服务融入到空间数字底座系统中，形成了数据与软件的一体化，使来自

表2 站厅层结构要素

结构要素	特征编码	图层
空间底板	661000	Ocean_A
门	424100	Road_Edge_Regular_L
墩柱、封闭空间（实线）	238100	Pole_A
楼梯、自动扶梯	373100	Basement_Entrance_A
无障碍箱式电梯	359300	Device_Other_A
设备区（电器箱体）等	329100	Device_Industry_A
服务台	456410	BusStop_A
治安岗亭	362000	Device_Building_Sigt_A
自动贩卖机	376200	Device_Building_Indst_A
自动售票机	362700	Device_Building_Relig_A
安检机器	341400	Device_Building_OS_A
展台商铺	355200	Device_Service_A
闸机	225000	Basement_A
固定式围栏、栏杆	245000	Wall_L
广告宣传栏	345000	Device_Service_L

于桌面端、移动端、Web端的各种应用系统合理高效使用地理信息资源，最大化资源的利用率，改变了传统的GIS应用方法和建设模式。

2.3 部分应用场景实践

2.3.1 可视化大屏系统

开发可视化大屏系统，整体实现轨道交通空间数字底座可视化。系统界面一般分为3大版块。左侧的为总体概况以及线路选择区域。中间为基于二三维一体化地图的数据区域，默认为暗色专题地图，具有形象、直观等特点，适用于大屏展示以及汇集分析等。此外，也可以将地图切换成素色专题地图，具有现势、权威等特点，适用于在此底图上叠加各类专业应用，可以作为各种专题信息的空间定位基准。右侧为指标版块，对关键指标、环节进行专题统计分析。

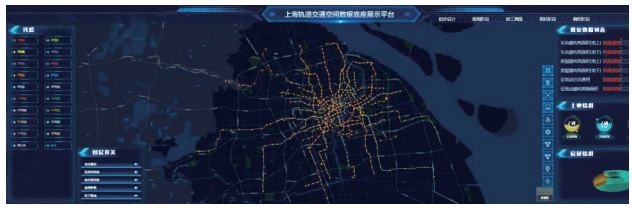


图6 可视化大屏

1）基础功能：①二三维一体化浏览：提供地上地下浏览模式、图层管理、视点管理等三维浏览等工具，辅助用户灵活方便地了解地下管线三维空间分布的详细状况；②地上浏览：用户可以从地面上方浏览三维场景，当进行透明度设置后，可以看到地面及地面下的地下管线模型等；③地下浏览：用户可以从地面下方浏览三维场景，当进行透明度设置后，可以看到地面及地面上的建筑模型等；④视点管理：观察者

所处的位置定义为一点，叫视点，在三维系统中，视点不同，所看到的三维场景也不同。

2）搜索引擎。搜索引擎是根据门牌号、某小区或者商场等兴趣点、道路、道路交叉口和轨道交通等搜索条件，实现地址在地图上的定位服务。用户可以查询定位自己感兴趣的目标点信息。

3）统计功能。一键掌握宏观统计信息。以空间数据库为基础，设计轨道交通线路管理的指标看板，一览轨道交通重要指标。指标看板与线路建设阶段相关联，从宏观到微观统计展示项目的投资金额、建设情况、资产情况和土地情况等。

2.3.2　业务系统

1）土地管理子系统。按照轨交线路记录土地批准和移交情况，详细记录轨交线路的用地信息及土地利用的各类批文信息，形成详细的土地资源台账和移交履历。土地范围按权属调查报告精确落图。土地移交履历可查询导出。

通过系统可以在土地利用前全方位了解地块的原始地貌、地质情况、周边道路、房屋建筑、地下管线情况，对土地利用成本进行估算，合理预估风险成本；用地过程中，对征借地手续进行梳理归类，征借地严格遵守合同周期，减少额外的项目动态成本；对各类用地性质的地块做限额设计，控制项目整体的用地成本。

2）车站三维实景子系统。轨道交通车站的三维空间数字化管理，可以为日常运营和管理提供权威、准确、直观的决策依据。通过室外实景，清晰查看车站出入口分布和安全保护区范围内相关建筑物情况。同时结合遥感影像资源，对保护区内房屋拆除、房屋搭建、堆土施工等可能影响线路安全的施工过程进行及时监测。室内实景，可通过分层平面图明确权属和分布状况，摸清现状和经营属性，详细记录集团房屋建筑等资产的线路信息、使用单位、用房性质、租借期限、租借费用等信息，支持轨道交通车站的三维数字资产管理。此外，还可接入车站实时视频，动态掌握车站客流信息，为应急安全保障提供支撑。



图7　车站三维空间管理系统

3）风险分析子系统。依托空间地理信息服务，摸清轨道交通车站及线路周边一定范围的现状信息，包括土壤地质情况、建筑物、地下空间、桩基、建设施工、管线等情况，继而建立风险评估与预警模型，对轨道交通车站及线路的安全情况进行评估，同时对可能存在的风险隐患进行预测预警，为轨道交通的安全健康运行提供支持。

4）视频监控子系统。平台通过接入轨道交通车站的多级视频监控接口形成无缝集成，将所有的摄像头的空间位置和监控方向与三维实景模型聚合，实现视频实时监控，做到立体可视化，监控无盲区。

根据视频系统获得的视频内容进行自动分析和事件报警，如发现轨道交通线路或车站周边有违法建设施工等情况，系统自动报警，这能有效辅助管理员监测地铁内部或周边的安全。

4　结　语

本文主要对底座需求进行分析，设计了总体架构，对基础空间地理服务、轨道交通专题数据和基于数字孪生的应用场景进行了研究与实践，其中，基础平台层技术和条件相对成熟，感知层涉及各专业内容较多，本文对这两部分不进行阐述。全面数字化转型的目标要求下，轨道交通空间数字底座建设能够整合覆盖规划、建设、运营和各专业管理的全面需求，有效促进各独立专业系统的融合，能够支撑实现上海轨道交通规划建设一张图、运营管理一盘棋的管理要求。

参考文献

[1] 沈波. 上海全面推进城市数字化转型的总体思路与发展路径[J]. 科学发展,2022(9):5-17

[2] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要[R]. 北京:中国城市轨道交通协会,2020

[3] 李国勇. “十四五”城市轨道交通的发展与安全[J]. 城市轨道交通,2021(7):17-20

[4] 徐首峰. 上海地铁车站智慧视觉系统建设方案研究[J]. 交通科技与管理,2023,4(15):15-17

[5] 俞光耀. 上海地铁运营维护保障数字化转型实践与思考[J]. 城市轨道交通研究,2021,24(5):1-5

[6] 赵峰,王伟,刘一宁. 城市“空间数字底座”发展趋势及上海的建设思路[J]. 科学发展,2023(8):5-13

[7] 彭文祥. 城市轨道交通智慧监护的数字底座构建与应用[J]. 上海国土资源,2023,44(2):126-133

[8] 王聪,孙延青,吴张峰. 浦东新区地理信息时空云平台建设与应用思考[J]. 地理空间信息,2020,18(5):33-35