



中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

浙江省轨道交通工程数字化
关键技术研究
总报告

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司
浙江省轨道交通建设与管理协会

2023年3月

目录

1	项目研究的背景和必要性	3
1.1	项目背景	3
1.1.1	浙江省轨道交通快速发展	3
1.1.2	城市轨道交通发展痛点	4
1.1.3	城市轨道交通数字化管理需求	5
1.2	轨道交通 BIM 技术研究及应用现状	7
1.2.1	国内外城市轨道交通 BIM 研究现状	7
1.2.2	国内外城市轨道交通 BIM 应用现状	10
2	研究内容	13
2.1	基于 BIM 的轨道交通可视化协同设计的应用研究	13
2.1.1	协同设计效率工具集扩展应用研究	13
2.2	基于 BIM+IoT 技术的建设管理平台应用研究	14
2.2.1	轨道交通建设管理平台架构研究	14
2.2.2	进度管理研究	15
2.2.3	质量管理研究	17
2.2.4	安全管理研究	18
3	关键技术 1: 可视化协同设计与 VR 应用	20
3.1	技术路线	20
3.2	技术亮点	21
3.3	协同设计	21
3.3.1	协同设计平台	21
3.3.2	协同设计平台角色	26
3.3.3	协同数据备份管理	27
3.3.4	协同 BIM 数据交互	27
3.4	协同设计与 VR 应用成果	31
3.4.1	BIM 信息整合校审	31
3.4.2	车站设备区空间布局的方案优化	31
3.4.3	安全教育	31
3.4.4	VR 施工过程还原	36
3.4.5	车站公共区装修方案的优化	37
3.4.6	VR 项目完成运营模拟	38
4	关键技术 2: 基于 BIM+IoT 技术的智慧工地建设	40
4.1	人员管理	40
4.1.1	实现路线	40
4.1.2	技术亮点	42
4.1.3	应用成果	44
4.2	机械设备管理	45
4.2.1	实现路线	45
4.2.2	技术亮点	46
4.2.3	应用成果	47
4.3	物料监测管理	47

4.3.1	实现路线	47
4.3.2	技术亮点	49
4.3.3	应用成果	49
4.4	环境监测管理	49
4.4.1	实现路线	49
4.4.2	技术亮点	50
4.4.3	应用成果	51
4.5	安全管理	51
4.5.1	技术路线	51
4.5.2	技术亮点	54
4.5.3	应用成果	54
4.6	质量管理	54
4.6.1	技术路线	54
4.6.2	技术亮点	55
4.6.3	应用成果	55
4.7	进度管理	55
4.7.1	技术路线	55
4.7.2	技术亮点	56
4.7.3	应用成果	56
5	关键技术3: 档案数字化与模型轻量化	57
5.1	档案数字化	57
5.1.1	技术路线	57
5.1.2	技术亮点	59
5.1.3	应用成果	61
5.2	模型轻量化	64
5.2.1	技术路线	64
5.2.2	技术亮点	65
5.2.3	轻量化技术要点	65
5.2.4	轻量化系统配置	70
5.2.5	轻量化技术应用	71
6	主要成果	74
6.1	轨道交通 BIM 建设管理应用	74
6.2	轨道交通 BIM 全生命周期管理平台成果	76
6.2.1	轨道交通建设管理平台架构研究	76
6.2.2	轨道交通设计管理平台架构研究	79
7	结论与效益展望	81
7.1	结论	81
7.2	经济效益	81
7.3	社会效益	83
8	参考文献	85

1 项目研究的背景和必要性

1.1 项目背景

1.1.1 浙江省轨道交通快速发展

当前,我国经济的迅速发展,城市规模日益增大,城市化水平也在不断提升,许多大城市的发展发生了较大的变化,城市地区道路也越来越拥挤,交通事故频繁发生,道路交通排放量也在不断增加,为了满足我国经济建设与居民生活实际需求,必须积极发展城市公共交通事业。其中,城市轨道交通作为城市交通的主力,与地面道路交通方式相比,完成相同运量,前者占用土地面积仅为后者的 $1/8\sim 1/3$,而且采用电机驱动的地铁或轻轨可以完全不占用地上空间,可以显著地改变土地的使用性质,城市轨道交通是世界公认的低能耗、少污染的“绿色交通”,是解决“城市病”的一把金钥匙,对于实现城市的可持续发展具有非常重要的意义。城市轨道交通的建设也可以带动地产、旅游、娱乐、教育、文化、设备制造等一系列产业的发展,其中地铁已成为城市经济发展的脊梁,为城市发展带来巨大的经济和社会效益。

城市轨道交通的建设得到国家产业政策的大力支持。如2019年11月,国家发改委发布《产业结构调整目录(2019年本)》^[1],其中涉及铁路的鼓励条目有18条,鼓励铁路线网建设和铁路自动化等方面发展;2019年9月,国家发改委等五部门联合印发《关于加快推进铁路专用线建设的指导意见》,要求有关企业提出铁路专用线接轨需求时,接轨站所属铁路企业应无条件受理,严禁设置门槛或拒绝受理,接轨站应按照顺畅衔接的原则进行适应性改造;2018年6月,国务院办公厅发布《关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》,修订了原有城市轨道交通建设基本条件,并新增地方政府债务、城市轨道交通企业负债率、责任主体等要求,提高人口、地区生产总值、一般公共预算收入等要求。同样大力支持城市轨道交通产业发展的还有2017年发布的《城市轨道交通装备认证实施意见》、《关于促进交通运输与旅游融合发展的若干意见》、《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》、《关于加强城市轨道交通人才建设的指导意见》等。

近年来,浙江省城市轨道交通建设在国家产业政策的大力支持下,取得显著成效。截至2022年12月31日,我省有7个城市投运轨道交通线路达到999.96

公里。其中地铁 727.19 公里，占比 72.7%。城际（市域）铁路 258.96 公里，有轨电车 13.81 公里。

2022 年我省新增运营线路 344.95 公里，其中杭州新增 174.44 公里，位列全国年度新增线路第一位。在新投运的 344.95 公里线路中，其中地铁 204.14 公里，占比 59.2%，城际（市域）铁路 137.6 公里，占比 39.9%，有轨电车 3.21 公里，占比 0.9%。且在 2022 年当年，杭州新一轮城市轨道交通建设规划获国家发改委批复，新增线路长度 152.9 公里，新增项目投资额约 1387.91 亿元，该规划首个项目杭州地铁 3-2-1 标段，已于 12 月 30 日开工。

1.1.2 城市轨道交通发展痛点

轨道交通工程作为城市大型基础设施，其建设与发展速度的正确决策，会对城市社会、经济和交通的持续发展产生重要影响。轨道交通工程本身是一个巨大的综合性复杂系统。它具有如下特点：

（1）生产效率低

轨道交通工程涉及的专业多，包括线网规划、管线改迁、建筑、结构、轨道、供电、设备、通风空调、给排水、动力、通信、信号、接触网等。对于设计而言，传统的方式是以 CAD 技术作为应用平台，基于二维平面进行图纸设计，在设计过程中，各参与方都是独立绘制本专业的图纸，图纸之间容易发生冲突，并且在各专业图纸审核过程不容易被发现，造成大量的设计变更。由于传统的二维设计平台限制，无法有效地整合所有建设项目信息，无法让有效的信息进行传递协同。

对于建设方，轨道交通工程项目存在投资大、周期长、涉及广、管理难等问题。在整个项目建设过程中会涉及到许多参与建设的企业和单位，利用传统的技术和方法，各方在进行建设项目的信息沟通和交流时，会产生工作人员之间理解困难等问题，同时由于工程量大，涉及的数据和信息量非常多，容易导致各方在信息共享、工程交接、工作协调等事项上出现问题，从而导致整个轨道交通工程项目的建设效率降低。

（2）城市轨道交通施工难度大

城市轨道交通工程大多是深基坑和地下工程，车站埋深大、工作空间狭小，当多个不同专业同时进行施工时，就容易因工作空间不足而出现配合失误等问题，

进而影响工程进度和质量。城市轨道交通站点一般设置在人流密集区域，周围环境复杂。因此，在工程建设过程中不仅要考虑自身结构的安全，同时要保证周围建筑物、市政管线、交通设施不受影响。这使得工程施工难度大大增加。随着城市的快速发展，工程建设密度越来越高，城市轨道交通的修建空间不断被压缩，施工环境越来越苛刻，工程建设面临一些新的问题，例如，超深地铁基坑的降水问题、在既有车站的基础上增加换乘站等问题。这对城市轨道交通的施工工艺、设备、施工状态监测与控制等提出了巨大挑战。

（3）城市轨道交通施工安全问题严峻

由于城市轨道交通工程建设难度大，影响因素多，缺乏熟练的技术人员和管理人员，施工安全问题和运营安全问题时有显现，安全事故发生率居高不下。例如，我国多个城市轨道交通施工中遇到过塌陷、渗水、爆炸、火灾等事故，地铁运营线上出现了列车追尾、供电系统跳闸断电、信号错误、火灾等事故。这些事故的发生说明我国城市轨道交通发展还面临着诸多的工程技术难题。

（4）管理难度大

浙江省城市轨道交通建设管理具有较大的难度，具体体现在以下几个方面：

第一、相比于国外及国内超一线城市，浙江省城市轨道交通建设起步较晚，而各市级轨道公司成立的时间又不相统一，导致了各单位的管理和运营存在较大的差异化，这种差异化极大地制约了城市轨道交通建设项目管理优化。第二、城市轨道交通项目建设涉及较多因素，参与的单位多，进而导致在协调管理方面一度出现问题弊端。第三、相关不确定因素较多，城市轨道交通项目建设存在较大的变化性与突发性。第四、工期存在一定的约束性。城市轨道交通项目建设通常为指定工期完成，这种约束性为其项目建设质量与进度造成制约。第五、缺乏相关管理人才，这直接导致了城市轨道交通项目建设的盲从性与弊端性。第六、项目建设管理模式与方法传统滞后，缺乏现代化管理理念。

鉴于此，本研究报告提出运用 BIM 技术进行轨道交通工程项目建设的全生命周期数字化管理，打通从工可到竣工交付的全过程设计管理，实现 BIM 协同设计与工程项目管理一体化。

1.1.3 城市轨道交通数字化管理需求

工程数字化是在计算机、互联网计算基础上，形成的一个新型图形技术、计

算技术、网络技术和工程技术的结合，作为我国数字经济规划与建设工作的重要组成部分，必将促进工程项目投资、施工建设和运行维护的全方位产业生态变革，具有十分重要的现实价值和长远的历史意义。

国家和地方频繁出台工程建设领域推动产业转型升级的相关政策，以数字化、智慧化为方向的包括 BIM、CIM、GIS、VR、AR、装配式、机器人、云计算、大数据、物联网、新一代移动互联网、人工智能、区块链等在内的工程建造新技术、新应用不断发展，工程数字化发展将以无纸化、数据化、区域化的工程管理与社会化监管为重要节点并不断发展，为国家和社会带来“无法预测的”新型产业集群。工程技术集成创新与应用水平不断提高，绿色建筑实现规模化高效发展，5G 通信网络、物联网、信息技术与城乡建设领域的交叉融合，以“新基建”、智慧技术和绿色技术对工程领域生产和生活方式带来革命性影响。

经过多年的实践积累，工程数字化应用与管理的产业发展趋势越来越清晰、行业企业的投入势头迅猛、取得了不菲的成果和业绩，随着中国 5G 时代的到来，这一发展趋势必将进一步提速。工程数字化已经迎来全新的发展阶段。从工程数字化在设计、建设阶段的应用，到工程全生命周期管理，智慧城市、数字孪生概念的提出；从单项目、项目集群的数字化应用，到数字城市、智慧城市的建设实践，工程数字化的指导思想、理念、应用场景及要求，均发生了改变。全面推动新能源、新材料、先进制造、信息技术、人工智能、虚拟仿真等新技术在城市规划和城市设计、工程建造和质量控制、城市韧性和管理等领域应用，必将引发城市建设、管理和服务方式的变革。

在城市轨道交通领域，在过去十几年里，信息技术已经带动轨道交通整体技术迅猛发展，实践证明，数字化是轨道交通发展的战略制高点和现代化的主要标志。当前，中国铁路和城市轨道交通已进入实现跨越式发展的新阶段，大规模线网建设、运营管理实施、运营安全保障等，均要求加快推进轨道交通数字化。BIM 技术作为工程数字化的主要抓手，已经广泛应用在轨道交通行业，其可以融合三维建模、可视化、仿真、数据交换等技术，自始至终贯穿建设的全过程，作为工程数字基础支撑建设过程的各个阶段，实现全生命周期的信息化、智能化协同模式，助推轨道交通行业新一轮的数字化发展。

目前，国家发改委、住建部、交通部等机构纷纷出台了相关 BIM 政策，作为

重要的市政基础设施，轨道交通行业的 BIM 应用发展也被多次着重强调。住建部于 2018 年 5 月专门出台《城市轨道交通工程 BIM 应用指南》，规范国内各城市轨道交通工程 BIM 应用。BIM 技术作为建筑行业数字化的有力抓手，大力推动轨道交通工程 BIM 应用，已成为轨道交通工程数字化发展的必然趋势。

1.2 轨道交通 BIM 技术研究及应用现状

1.2.1 国内外城市轨道交通 BIM 研究现状

国外，特别是欧美发达国家，BIM 技术逐步成为城市轨道交通工程领域内一项必备的技术手段，渐渐应用于 3D 设计、施工管理、物资信息管理、模拟分析等各个方面。

Salman Azhar 等对建筑业应用 BIM 的效益、潜在风险和未来面临挑战进行了全面系统的讨论。Chan-Sik Parka 等[5]将 BIM 应用于缺陷管理，建立缺陷信息管理框架，控制缺陷信息流动，实现了缺陷管理由事后控制向事前控制的转变，可以显著降低建设工程缺陷发生比率。Adam Pękala 对美国国家 BIM 标准和 ISO 系列 BIM 标准进行了深入详细的介绍，推动 BIM 在更广泛的领域内应用。Mounir EI Asmar 博士等[7]对整合项目交付方式（IPD）与传统项目交付方式（如设计-招标-建设模式、设计-施工模式）的效果进行比较研究，证实 IPD 模式在不显著增加费用的前提下可以获得更高的质量效益。Crossrail 项目通过增强现实（AR）使 BIM 模型和遥感软件在移动设备领域得以实现，运营维护人员可以手持智能终端在隧道、车站连接到竣工模型，了解隐蔽设施的耗能情况和运行状况，节约成本达 12 亿美元。

此外，美国总务管理局 GSA 于 2003 年通过其公共建筑服务部门推出了 3D—4D BIM 计划及系列 BIM 指南，提升了美国整个工程建设行业的 BIM 应用。探讨了包括空间规划验证、4D 模拟、激光扫描、能耗和可持续发展模拟、安全验证等项目全生命周期中 BIM 技术的应用，对规范 BIM 在实际项目中的应用起到了重要作用。

此外，法国的 TGV，德国的 Emsch+Berger GmbH，荷兰的 Arcadis Infra 等城市轨道交通项目，均较为广泛地运用 BIM 技术进行规划、设计、建造与运维阶段中的全生命周期管理[3]。

软件方面，北欧国家挪威、瑞典、芬兰和丹麦，是主要的建筑业信息技术的

软件厂商，如 Tekla、Progman 和 Solibri 等企业所在地，其在整个建筑产业链内，已基本实现了规划、设计、制造、施工等过程中的信息共享，具有较高的协同设计水平。日本 BIM 软件商在国际协同联盟日本分会的支持下，以福井计算机株式会社为主导成立了日本国产 BIM 软件联盟，其软件产品涵盖了规划、设计、施工等各个阶段，拥有一套接口成熟的、较为完善的 BIM 软件。澳大利亚政府也十分注重 BIM 技术，鼓励本国企业积极开展 BIM 应用，于 2010 年发布了面向建筑行业所有参与方的 BIM 实施指南（National Guidelines for Digital Modeling）。

近年来，国内也已经有许多学者、企业等也已经对 BIM 的概念、应用及标准化发展展开了研究、讨论与实践。

张人友等在广泛梳理国内为权威 BIM 概念（或解释）的基础上，总结出 BIM 的内涵意义，认为 BIM 是过程也是结果，是技术层面、思维层面的全新工作模式。哈尔滨工业大学崔晓[建立了 BIM 应用成熟度模型，通过该模型管理者可以对建设工程项目 BIM 应用情况进行评价，识别出薄弱环节，为改进 BIM 应用提供指导。张建平[11]建立了面向施工的 IFC 扩展模型，并编制了相应数据描述标准。贺灵童、何清华等[12]从 BIM 应用水平、标准、法规几个方面对全球 BIM 应用发达国家的现状进行描述，为我国 BIM 推广提供参考。张建平、葛清、罗能钧等描述了公家体育场、青岛海湾大桥、昆明新机场设备安装、北京“中国尊”、上海中心大厦等重点项目中 BIM 的实际应用情况，对 BIM 应用过程、方式、效果进行经验总结。大连理工大学方后春从建设工程不同阶段、不同视角、不同维度全面分析了 BIM 在全过程造价的意义和价值。西安建筑科技大学师征[16]建立了适合我国国情的基于 BIM 的工程项目管理的组织结构和管理流程。徐友全教授[17]对扁平化组织结构和 BIM 技术结合问题进行研究，得出二者能够相互促进，加快我国数字化项目管理推广的结论。

我国轨道交通行业的 BIM 技术应用处于蓬勃发展的阶段。短短几年内，北京、上海、广州、深圳、宁波、武汉、无锡、长沙、南宁、厦门、石家庄、南京、西安、杭州、苏州、沈阳、大连等地的轨道交通项目中均在一定程度地应用 BIM 技术。

随着 BIM 理念的逐步深入，部分城市，如上海、北京、广州、厦门、南宁、

宁波、成都等地轨道交通项目的 BIM 技术应用突破点式的基础应用，开始探索 BIM 全生命周期应用目标，通过 4D、5D 模型模拟施工，合理配置资源，进行约束理论下的进度控制与成本控制，实现了精益建造和运营维护管理，以达到项目全生命周期效益最大化。

北京市地铁在 2012 年的 10 号线二期项目中，开始运用 BIM 进行全生命周期的管理，BIM 应用点主要集中在管线综合出图、碰撞检查、工程量统计、施工模拟、信息管理等。

上海市地铁 9 号线延伸线、12 号线、13 号线、14 号线、17 号线等项目都采用了 BIM 技术来辅助项目的设计和施工，应用点包括 3D 设计、性能化分析、管线综合、4D 模拟、5D 算量、动态筹划与资源管理、记录模型以及基于 BIM 的运营维护系统开发等，总体围绕项目全生命周期 BIM 应用的目标。2014 年，上海申通地铁集团有限公司发起建立“上海市轨道交通 BIM 技术联盟”，旨在城市轨道交通行业开展 BIM 技术研究、应用、推广等活动，整合上海城市轨道交通行业内有关科研院所、设计咨询机构等创新资源，搭建城市轨道交通 BIM 技术发展平台，构建创新、和谐的城市轨道交通 BIM 技术发展环境，促进城市轨道交通行业信息化发展。

广州地铁集团为实现设施设备全生命周期的管理目标，保证 BIM 信息在设计→建设→验交→运营各阶段有效传递，制定了包括建模与交付标准、基于 BIM 应用的编码规范、设计阶段和施工阶段 BIM 系列技术应用规程等一系列标准，而由广州地铁集团牵头主编的广东省城市轨道交通行业 BIM 应用标准也即将发布出台。广州地铁通过一系列研究、实践和探索，已较系统完整地梳理和提炼出立足于城市轨道交通企业业主的、以全生命周期管理为目标的 BIM 价值应用点、BIM 应用定位、实施策略和解决方案，为国内城市轨道交通企业推广应用 BIM 技术指明了方向，树立了示范和标杆作用。

厦门市地铁 1 号线 2013 年启动 BIM 实施计划，并采用“业主主导-专业咨询-各方实施”模式进行全生命周期 BIM 应用，目前其 BIM 应用主要体现在渲染表现、漫游模拟、施工模拟、碰撞检查、设计方案的效果检验等几个方面。

南宁市地铁 2014 年初进行了 BIM 顾问招标，中铁一局所施工的机电安装 V 标段（南湖站、金湖广场站、会展中心站、万象城站、东盟商务区站）将作为南

宁地铁集团引入 BIM 技术的重点标段之一。该标段目标通过 BIM 技术建立 5D 关联数据库，实现准确计算工程量，为施工企业制定精确资源计划提供有效支撑，减少资源、物流和仓储环节的浪费，实现限额领料、消耗控制[20]。

宁波市于 2014 年开始把运用 BIM 全生命周期管理理念引入该市轨道交通项目中。为使整个轨道交通建设工程设计和施工更快速、更智能、更具成本效益，测绘设计研究院与宁波市轨道交通工程建设指挥部依托 BIM 技术提出了轨道交通信息模型的全生命周期管理(Rail transit Information modeling lifecycle Management, 简称 RIM), 并构建了综合信息管理平台以进行地铁管网协同设计、现场安装及时调整、运维信息快速更新及查询, 实现协同设计、维管线综合设计、三维施工检测、碰撞分析、站点运营管理等功能。

为全面推进中国高铁“走出去”的国家战略，加快铁路 BIM 的系统化应用，由中国铁路总公司牵头，中国中铁、中国铁建、中国交建等国内几大建筑企业成立了铁路 BIM 联盟，积极推进 BIM 技术的应用。各大企业负责各模块数据的传输与集成，中国铁道科学研究院牵头全面实施 BIM 应用，并负责中国铁路 BIM 标准的研发、制定与推动，如中国中铁于 2016 年暂行的中国中铁 BIM 应用实施指南。中铁四局、十四局、十七局成立了局级的 BIM 中心，但其核心的建模和功能需委托广联达等外围公司，并无专业化成套体系的 BIM 系统。

1.2.2 国内外城市轨道交通 BIM 应用现状

综合国内外轨道交通 BIM 研究现状，可以看出，在“智慧地球”、“智慧城市”、“智慧交通”背景下，轨道交通 BIM 技术得到越来越广泛的重视与应用。然而总体来看，我国轨道交通行业的 BIM 技术应用和研究仍处于起步阶段。受限于我国 BIM 发展的大环境，即使是在已经实施 BIM 战略的北京、上海和广州等城市轨道交通行业，系统化思维不足的缺陷仍然凸显，突出表现在以下方面：

(1) 缺少轨道交通工程 BIM 技术标准

国外方面，英国 Crossrail 公司通过实施的伦敦地铁项目，编写了较为完善的轨道交通 BIM 标准。

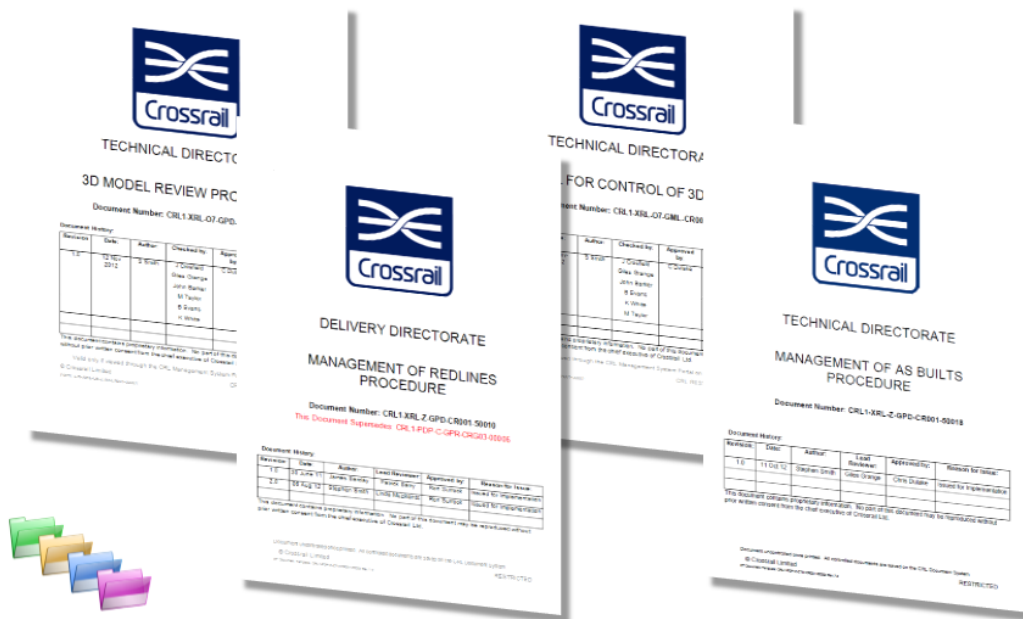


图 1.2.2-1 Crossrail 公司编制的 BIM 相关标准

国内方面，轨道交通 BIM 设计起步较晚，标准相对较少，除一些地方标准（上海市《城市轨道交通 BIM 应用技术标准》、深圳市《政府公共工程 BIM 应用实施纲要、BIM 实施管理标准》、厦门市《轨道交通工程建设阶段 BIM 模型交付标准》等）、行业标准（《铁路工程信息模型分类与编码标准》、《铁路工程实体结构分解指南》等）、企业标准（《中国中铁 BIM 应用实施指南》等）外，无统一的国家级轨道交通 BIM 标准，且缺乏针对轨道交通工程成熟的应用层次标准，无系统的行业标准规范体系。

（2）缺乏轨道交通协同设计平台

三维协同设计技术是新一代数字化、虚拟化和智能化设计平台的基础，它是建立在平面和二维设计的基础上，让设计目标更加立体化、形象化的一种新兴设计方法，其在机械、电子、航空、航天以及建筑等部门已经得到广泛的应用，并在实践中证明是提高设计质量和工作效率的有效手段。然而，在轨道交通领域尚无完整与广泛的应用，需开发轨道交通工程三维数字化协同设计平台以满足轨道交通智慧化发展需求。

（3）轨道交通设计施工一体化（建设管理）研究不成熟

目前国内轨道交通行业基于 BIM 技术开展设计施工一体化应用研究的案例不多，如广州地铁应用 BIM 进行的机电设备安装模拟与管线施工前进行的碰撞检查与管线布置调整。上海市地下空间设计研究总院有限公司承担的“厦门市轨道

交通 1 号线一期工程 BIM 技术研究”是国内第一个采用业主主导、BIM 咨询单位统筹管理和设计、施工、监理、运维等各方参与实施的 BIM 模式，主要工作为：制定实施方案、模型的交付标准、实施标准；开发参数化构建库、出图模板；搭建协同管理平台；进行过程管理与成果审核。无锡地铁 2 号线首次运用 BIM 创新技术，有效解决了地下管线错综复杂、布局不合理等诸多问题。乌鲁木齐轨道交通 1 号线 04 标段运用 BIM 技术辅助施工决策，解决地铁施工组织、风险控制等疑难施工技术问题。然而，这些应用大部分处于前期试验性探索阶段，尚无完善的轨道交通设计-施工一体化技术（建管）平台。

（4）缺乏轨道交通运营管理技术

轨道交通运营维护通常包括监控、通信、通风、照明和电梯等系统，上述设备和管线的运行情况，极大决定了项目的运维成本和安全运行。运用 BIM 技术，快速准确掌握设备运营情况、资产状态，对周边环境进行有效管控，及时处理，从而减少不必要的损失，并且能对突发事件进行快速应变和处理。当前国内外已经对 BIM 智能运维进行了一些有益的探索。

然而由于运维阶段周期长，涉及参与方复杂，整体市场没有相应的指导性规范，缺乏完善的轨道交通智能运维管理技术。

（5）尚未打通轨道交通全生命周期

由以上分析可知，我国轨道交通 BIM 应用还比较局限，有的仅局限于建模阶段，尚无打通全生命周期的应用案例。因此，重视 BIM 技术应用点的突破、完善 BIM 技术实施体系、加强 BIM 组织环境的建设、打通轨道交通全寿命周期是十分必要且应长期坚持的一项任务。

2 研究内容

2.1 基于 BIM 的轨道交通可视化协同设计的应用研究

2.1.1 协同设计效率工具集扩展应用研究

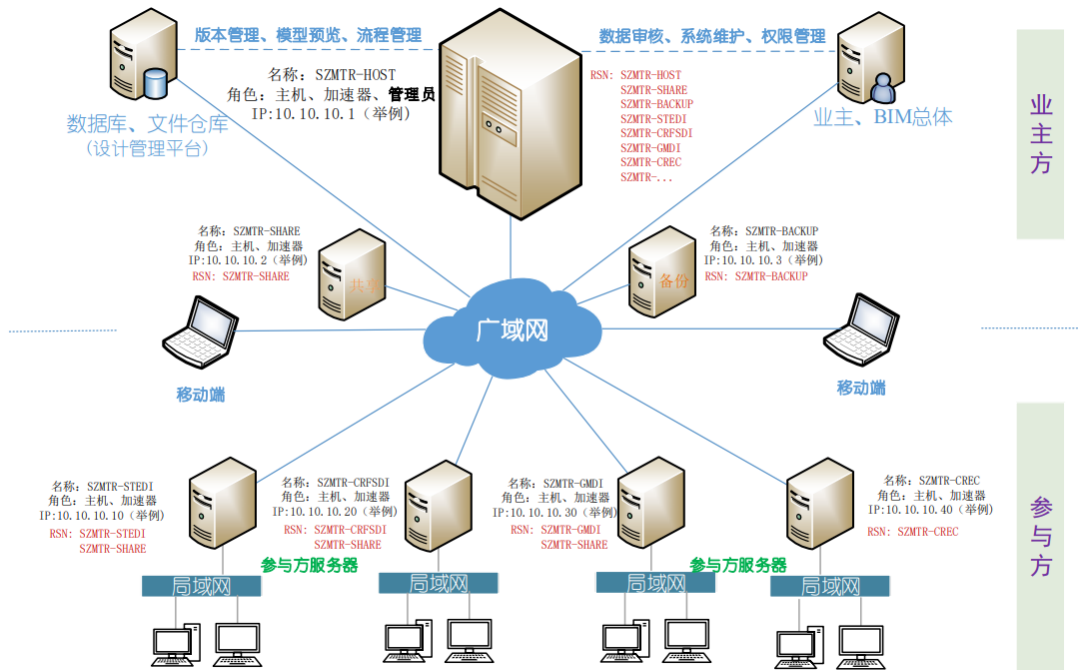


图 2.1.1-1 系统逻辑架构

华东院轨道交通三维协同设计平台 Revit server 是基于“一个平台、一个模型、一个数据架构”的原则建设，以 Revit server 为纽带，以 Revit server 通用三维协同设计平台作为轨道交通工程基础建模平台，结合 Revit 系列专业建模软件及我方自主二次开发的专业性定制建模工具软件，该平台作为领先的轨道交通工程数字化设计整体解决方案，满足包括测绘、地质、管网、车站、区间、路桥、房屋建筑在内的全部模型的设计工作，并提供了统一的 BIM 三维模型集成、总装、模型协作的图形和数据平台，可承载来自参建各方的提交的各种主流 BIM 数据。

目前面临一个严峻的问题，开展 BIM 数字化正向协同设计全面改革了传统二维绘图和“翻模”设计的工作方式，虽是时代趋势，但要推动真正意义上的轨道交通 BIM 正向设计要注重新型生产工具的生产效率问题，因此轨道交通三维协同设计平台的建设目标不能仅限于“完成”设计工作，而应该定位于能“高效完成”设计工作，才能确保 BIM 数字化正向协同设计推行的顺利。对此开展针对

Revit server 协同设计平台的设计效率工具功能扩展研究主要为提升正向设计与相关应用的效率，涵盖车站建筑结构、区间路桥隧、机电系统的正向设计功能扩展，以及施工深化设计功能扩展。

2.2 基于 BIM+IoT 技术的建设管理平台应用研究

2.2.1 轨道交通建设管理平台架构研究

系统自下而上由“计算机网络及资源”、“数据中心”、“后台机制”、“后台服务”、“前端系统”和“应用终端”6层构成，其中，“计算机网络及资源”层是本系统的硬件基础；“数据中心”层设计并实现了数据存取的抽象逻辑，提供了数据交互的接口，支持分布式存储；“后台机制”提炼了一系列构建后台功能模块的抽象逻辑，为后台服务的构建奠定基础；“后台服务”层按照微服务架构设计和实现了业务逻辑，并通过 API Gateway 以合理的方式将后台服务分发出去，支持负载均衡；“前端系统”按照前后端分离的理念，直接基于前端技术构建业务系统，并通过“应用终端”访问。系统逻辑架构如图 3.1-1 所示：

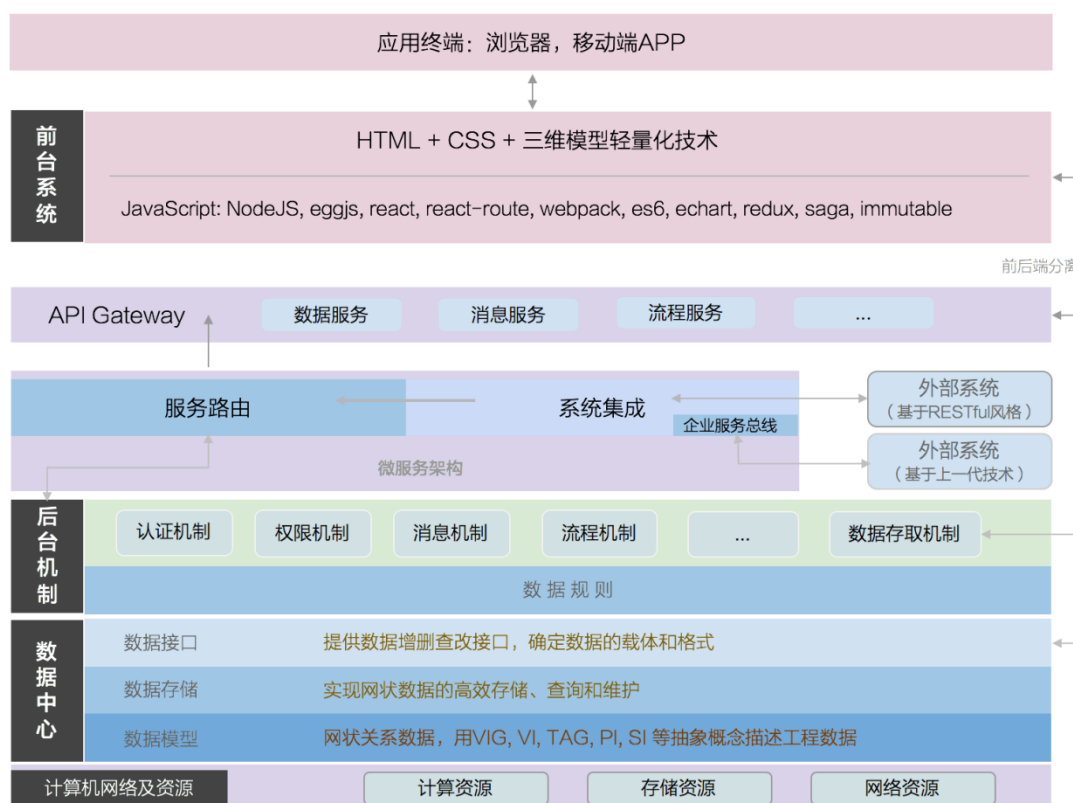


图 2.2.1-1 系统逻辑架构

系统后台服务采用微服务架构，内部由多个微服务构成，不同的微服务面向

不同的业务，每个微服务均是独立的、业务完整的，服务间是松耦合的。各数据微服务均结合自身业务，将数据切割为原子级的业务数据单元（即数据中心的资源），提供资源最基本的 CRUD（创建、读取、更新和删除）操作。

基于微服务架构，资源平台内部的每个数据微服务，都可以独立开发实现，彼此间的依赖性低，使工程数据中心易于扩展，稳定性高。微服务架构风格的接口以 RESTful API 的形式提供，以满足各平台、各终端上的各种业务系统对资源的使用，即以任何技术实现的业务系统，均可以无缝使用数据工程中心的数据，支持桌面端业务系统、web 端业务系统和移动端业务系统的集成。

2.2.2 进度管理研究

通过对城市轨道交通项目进度管理现状的研究与分析，针对项目实施过程中因各方面原因导致施工延期以及进度管理现存的问题，分析 BIM 技术在进度管理层面的应用场景，开展轨道交通工程进度管理系统的研发与应用研究，主要内容包括进度可视化报审、形象进度实时查询与追溯、进度偏差预警与分析。

2.2.2.1 进度计划清单导入与 BIM 模型关联

在平台上对整个项目进度计划清单进行上传、编制工作，可精细到针对每项检验批的任务单元，在平台上编制的进度计划清单可直接导出打印存档，也可在平台上用于报审等，减少施工单位将线下计划上传到平台的多余动作。同时解决现今市场上同类软件对进度计划编制上的各种不便问题，比如任务单元施工先后关系等。与此同时，可优先设置计算规则，实现后续计划报审、进度填报过程中，进度计划清单中互相关联条目的自动计算。

进度计划清单导入且编制完成后，为解决现今行业内进度数据与三维模型难关联的共同痛点问题，利用清单与 BIM 模型关联的过程将 BIM 模型的细分构件跟进度计划任务单元进行关联，审批模型可用于进度仿真和后续的进度可视化报审。

2.2.2.2 进度可视化报审

进度可视化报审包含进度维护和进度数据报审三部分，即利用进度管理系统进行该部分线下相关的工作，解决线下进度报审流程周期较长，审批时间不及时等实际问题，具体研究内容包含：

(1) 进度维护

主要针对性解决施工过程中实际进度报审的流程问题,施工过程中由施工方根据现场完成情况上传到平台中,进行实际实施进度维护,同时平台自动编制实际进度月度、季度和年度报表,可用于施工方发起审批使用,另外对比实际进度跟进度计划,预计施工进度延期时则突出提醒并推送相关人员。

(2) 进度数据报审

对施工过程中关于进度计划的流程进行发起申报,包括计划进度报审和实际进度报审,解决线下流程行进过程中周期时间较长,审批时间不确定问题,利用碎片化时间办公方式解决流程审批过程,即通过平台发起审批流程后推送到相关审批人进行停下,审批人可利用自己碎片时间进行审批操作。

2.2.2.3 形象进度实时查询与追溯

针对传统进度管理不直观和施工过程不能实时形象展示的问题,研究基于BIM模型的实时施工现场形象进度表达方式,开发可视化的形象进度管理系统,实现形象进度的实时查询与追溯,包含进度对比仿真、进度报表输出等。

(1) 进度对比仿真

利用报审过的模型进行仿真,同时展示进度计划和实际进度属性,解决行业内进度管理不直观和施工过程不能实时形象展示的问题。总仿真模型中可以直接获取进度计划的各阶段完成状态。

(2) 进度报表输出

研究基于模型的工程量与产值的统计方法,将形象进度用工程量产值的完成情况来表示,将工程量产值完成情况自动写入进度报表并输出,实现形象进度的实时查询与追溯。

2.2.2.4 进度偏差预警与分析

进度预警包含对进度计划和实际进度对比结果的分析、对进度计划关键路径的控制和进度延期的提醒功能,主要解决线下进度管理对比工作繁琐复杂不直观、关键路径难以把控和施工延期难以判断问题。

(1) 计划与实际对比分析

对进度维护中实际进度和计划进度所对比得到的结果进行分析,分析实际进

度跟进度计划的偏差、对工程工期的影响以及偏差时的因素等。

(2) 关键路径控制

建立关键路径分析模型，重点监控关键路径上的任务单元进度完成情况，实时追踪并预警关键路径的转移情况，设置关键路径强化展示与提醒功能，辅助施工管理人员及时纠偏把控进度。

(3) 进度延期提醒

通过对比分析的结论和关键路径分析，将分析结果推送到相关个人，提醒其进行进度的计划调整控制，同时将可能导致延期的原因通过大数据查询功能推送到管理人员手中，并及时做好预防措施。另外支持手动推送进度紧急预警机制，即对于突发的会导致延期的紧急情况，可以手动添加相关信息比选择推送到相关人员并提醒。

2.2.3 质量管理研究

以实现工程建设质量在线验评、流程监管及验评信息三维可视化为目的，开展轨道交通工程质量管理系统的研发与应用研究，主要内容包括检验批划分、质量巡检、质量验评、质量可视化查询、质量统计分析。

2.2.3.1 检验批划分

对应工程实况，建立相对应的单位工程-分部分项体系；针对质量管理流程与信息调用的需要，制定合理、实用的单位工程-分部分项-检验批编码规则。

2.2.3.2 质量巡检

针对线下工程巡查及整改流程繁琐，沟通效率低下的问题。根据实际质量巡检流程，规范并优化后，建立线上质检员、施工员、监理工程师、项目经理巡检整改体系，实现质量巡检的在线可视化发起、整改、审核、通过、退回、废弃功能，实现对项目质量巡检的动态跟踪，提高工程质量巡检整体效率。

2.2.3.3 质量验评

针对线下工程验收流程繁琐，沟通效率低下的问题。根据实际报审流程，规范并优化后，建立线上检验批、分部分项、单位工程报审体系，实现质量验评的在线可视化发起、通过、委托、退回、废弃功能，动态跟踪项目整体验收情况，

提高工程验收整体效率。

2.2.3.4 质量可视化查询

针对线下验收记录翻找不便，验收流程难以查询的问题，建立数据库用于集成、储存及查询验收流程信息，满足各参与方对数据的不同需求；针对检验批验收情况在数据表端无法直接联系至实际工程的情况，基于 BIM 模型构件级的信息粒度，研究验评信息与构件属性的融合方式，实现通过 BIM 施工模型直观反映工程部位的验评情况。

2.2.4 安全管理研究

结合 BIM 的可视化特点以及强大的数据整合能力，可以将传统的纸上谈兵式的二维安全管理模式引入到三维动态管控领域，开展轨道交通工程安全管理系统的研发与应用研究，主要内容包括风险源可视化、施工场地规划、盾构掘进监控、可视化应急预案与事故处理、工程质量安全的协同管理等。

2.2.4.1 风险源可视化

利用 BIM 模型预先识别安全风险源，将隐蔽工程隐患和风险源信息提前加载到 BIM 模型中，施工过程中实时跟踪其监测数据变化，研究其对施工安全的动态影响，实现风险源可视化，以及风险源影响可视化。同时制定相关的安全措施，进行相关的过程控制。

2.2.4.2 施工场地规划

轨道交通工程项目施工工艺复杂，立体交叉作业多。利用 BIM 技术可以模拟现场环境需要，结合施工方案和施工计划，对施工现场主体工程位置、交通路线图、材料堆放和加工棚位置、施工机械停放和行进路线图进行提前布局，实景模拟。保证施工过程中施工机械运行、材料运输和工人作业的安全。并通过模拟，提前发现施工过程中场地规划的问题与不足，提前纠正和改进，最大程度地减小因施工场地规划带来的各参建方之间的冲突。

2.2.4.3 盾构掘进监控

建立盾构区间的 BIM 三维地质模型，模型汇总地质土层状态、承载力信息、

盾构机行进路线、周边风险源、盾构机及管片参数、掘进进度等信息，将盾构机实时反馈数据收集入库，并自动输出日、周报表。实现对盾构掘进的动态跟踪控制，保证盾构掘进过程中的施工质量和质量安全。

2.2.4.4 工程质量、安全的协同管理

利用 BIM 移动终端对施工现场照片和监测值采集，将可能存在的质量缺陷和安全隐患以数据形式传输至 BIM 中，关联 BIM 模型，实现精确定位，同时可根据相关标准及规范设置不同测项预警规则及等级，实现不同测项监测数据上传后准确提前预警，并可根据要求自动生成监测日、周、月报表及阶段性报告，有效地保障施工安全、提高施工效率。

3 关键技术 1：可视化协同设计与 VR 应用

BIM 技术的特点是以模型为依托，兼具可视化与信息属性的特点，而 VR 技术的最大特点是沉浸式体验方式。BIM 技术的理想目标之一即是一个核心 BIM 模型可以最大化反复应用到工程建设各个阶段各个专业，即模型的重复利用，那么如何将 BIM 技术或者说 BIM 系统下的既有模型与 VR 技术紧密结合，优势互补，就变得越来越受行业关注。BIM 技术与 VR 技术结合，通过一定的技术手段，将 BIM 模型及相关信息与 VR 虚拟设备相连接，利用 VR 的沉浸式特点对工程 BIM 模型进行较为直观的体验、互动与分析。

目前在轨道交通行业 BIM 和 VR 结合，展示效果的案例多，但是提高设计质量、综合协调沟通的少。在本示范工程中基于 BIM 和 VR 技术结合，探索符合国内轨道交通管理模式的可视化协同设计技术和方案，通过明确业务需求和应用阶段，制定统一的标准，结合实际工程进行实践，大幅降低项目风险、保证工作时效性、促进多专业协同工作、提高设计工作效率，创造综合效益。本项目拟开展的 BIM+VR 创新应用如下：

3.1 技术路线

1) BIM 协同+VR 系统架构

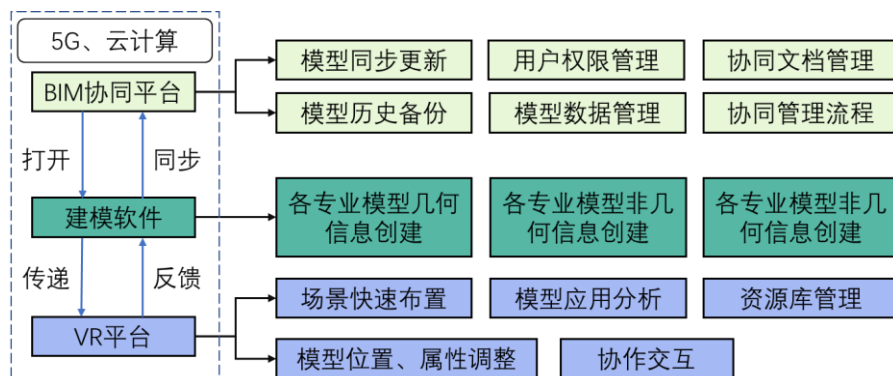


图 3.1-1 BIM 协同+VR 系统功能架构图

2) BIM 协同+VR 设计技术路线

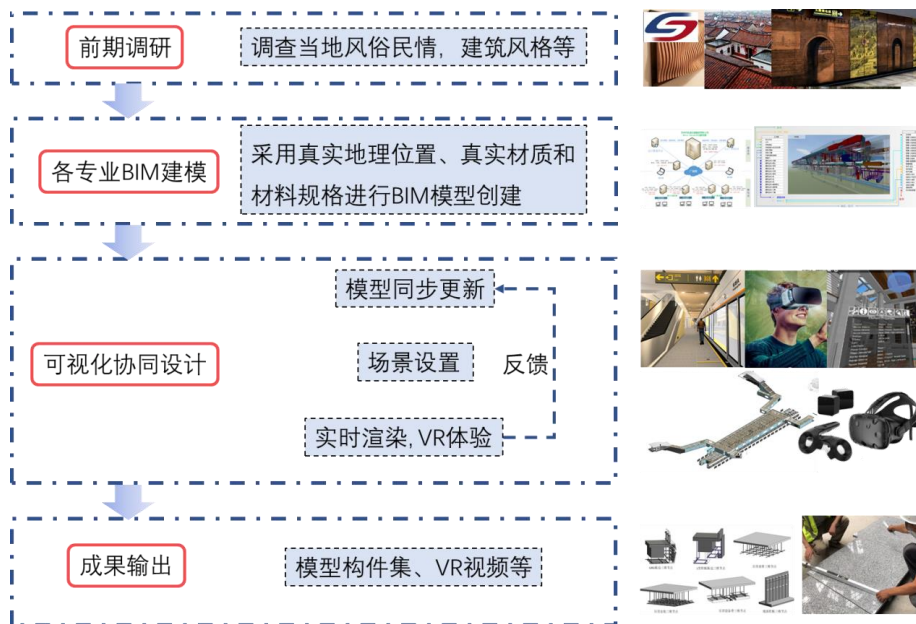


图 3.1-2 BIM 协同+VR 设计技术路线

3.2 技术亮点

1) 以真实的材料和尺寸规格进行模型创建，积累轨道交通行业的构件和材质库，确保展示效果和最终实际的一致性；

2) 通过 BIM+VR 装修样板替代传统装修样板，既减少了现场实际样板所浪费的人工跟材料，又能全方位展示各站点各区域的实际装饰效果，符合绿色施工的理念；

3) 建立典型的 VR 样板，提升后续工程的设计效率和质量。建立标准构件模块、标准构件单元的 VR 样板，帮助各设计总包在设计阶段正确使用标准构件模块、标准构件单元进行设计、建模，提升模型标准化；

4) 改变传统设计模式，使车站设计自动化程度增强，设计成果的可视化展示手段更丰富，专业之间协同化工作效率得到显著提升。

5) VR 观感提升，解决闪烁，远距离不清晰，波纹状画面等影响观感的问题，效果能做到 VR 游戏级渲染精度，材质附着真实，灯光照度与亮度与实际一致；可以实现标高测量，门扇开闭，属性查看，一键切换不同装修方案等；可以接入多人，通过多副 VR 设备，同时进行方案的查看。

3.3 协同设计

3.3.1 协同设计平台

利用 BIM 技术，依托苏州轨道交通 GIS 模型、倾斜摄影模型和各专业 BIM 模型为基础，开展 BIM+VR 协同创新应用，旨在让项目决策者身临其境地在车站中

任意漫游，去感受车站设计过程中的空间结构和属性信息，并及时将建议反馈给工程师，方便设计过程中对模型进一步的修改，提升了 BIM 设计的灵活性，同时汇总轨道交通专用的构件、材质、灯光、特效库等基础资源，提升后续车站的设计质量和效率。

设计行业目前最大的痛点在于“所见非所得”和“工程控制难”，难点在于统筹规划、资源整合、具象化联系和平台构建。

VR 技术可以让决策者在虚拟现实中漫游体验，实现实时的人机互动，加强了可视性和具象性。基于 BIM 模型的 VR 技术，从人的真实感受作为设计的出发点，将协同设计的方式作为整个设计过程的核心，在基于 BIM 信息模型的基础上，实现多方在建筑全生命周期中的设计参与，提高设计效率，最大程度地使建筑师的设计意图得以表达，减少实际建筑效果与用户预期的偏差。系统化 BIM 平台将设计过程信息化、三维化，同时加强项目管理能力。在设计初期，就可以实现设计师与业主、公众的协同交流，将业主、公众纳入到建筑模型的设计过程中来，达到项目的优化设计，并通过项目实施积累建立典型的 VR 样板，提升后续工程的设计效率和质量。

某市轨道交通工程参建部门、单位众多，不仅包括建设单位各部门，还包括各大设计院、施工总承包单位、监理咨询单位、设备厂商以及 BIM 咨询单位等，同时涉及专业众多、各工程之间关联性强，在项目设计、施工、安装、竣工验收过程中都需要多专业密切配合，项目标段划分多，专业复杂，各类内外部的因素导致变更频繁，协调管理工作量很大。传统的项目协同方式往往采用点对点沟通方式，项目管理成本高，也无法保证沟通信息内容的及时性和准确性。

为解决项目参与人员在局域网和跨广域网(WAN)进行协作时的问题，项目采用 Revit Server 作为协同建模平台，Revit Server 提供了一种基于服务器的工作共享机制，使得在不同地理位置的 Revit 项目设计工程师通过广域网、使用工作共享方式一起工作在相同的 Revit 模型上。Revit Server 是与 Autodesk Revit 配合使用的服务器应用程序，它为 Revit 项目实现基于服务器的工作共享奠定了基础。通过基于服务器的工作共享，多个 Revit Server 实例可安装在不同地点并配置为执行特定角色，这些 Revit Server 实例一起组成服务网络，从而在广域网(WAN)中实现项目最佳协作，提供各阶段各专业模型的组织管理，实现模型

的集中存储与访问，提高各参与方模型协同工作的效率。

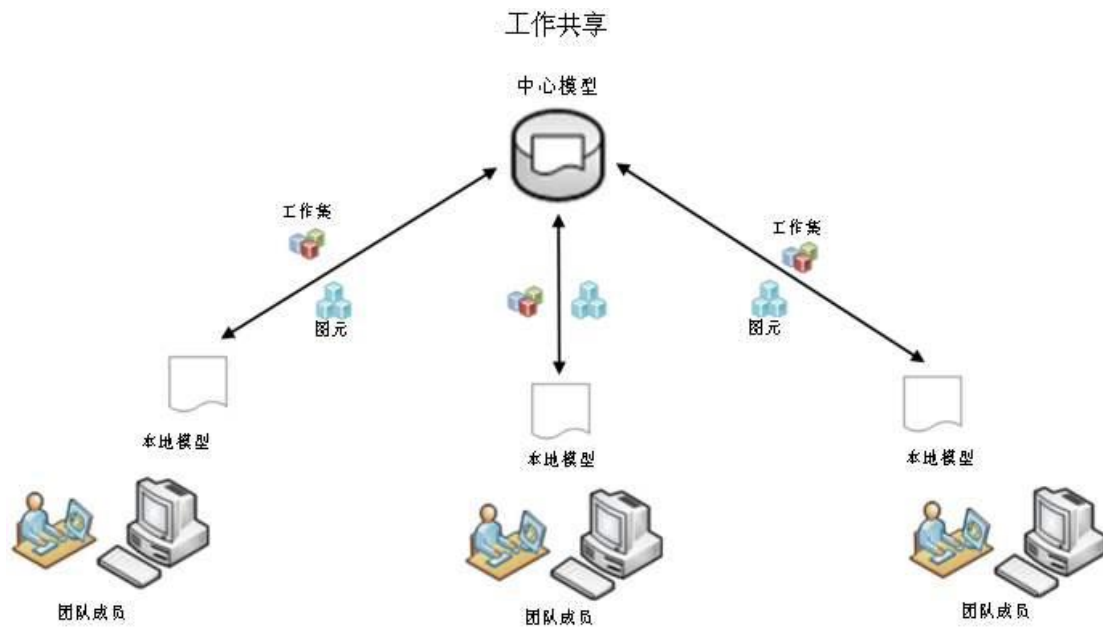


图 3.3.1-1 BIM 设计软件异地协同

在 Revit 中通过在本地模型文件进行建筑、结构、机电等专业的模型创建，可通过与中心文件同步的方式与中心模型文件进行协同，保证所有设计人员在同一模型上进行设计，相关模型权限通过工作集权限设置进行管理。当需要进行跨区域或者跨企业进行协同设计时，则通过将设计模型上传至业主 Revit Server 服务器进行存储和管理，相关的设计方通过业主 Revit Server 服务器进行模型文件的参考和引用，实现三维协同设计，同时通过业主 Revit Server 服务器实行设计文件的权限管理。

全线所有工点通过 Revit Server 管理平台进行地质、线路、区间隧道等专业协同设计，同时以某工点为样板开展正向设计试点，参建各方人员在统一平台环境下开展三维协同设计及设计施工一体化应用，实现集团级、项目级、工点级、专业级等多层级标准管控，保障成果规范统一。

Revit Server 可以全面动态的管理模型文件内容和关系，能够保证所有模型版本的唯一性，并且能够保存历史版本以及再度激活历史版本。

Revit Server 协同建模平台解决方案功能特点包括以下：

- 集成化：所有的内容集中存放
- 标准化：按照标准的模式管理
- 完整性：包括项目所有阶段、各专业模型

- 一致性：项目成员获取同样的信息
- 实时性：保证获取最新的信息
- 安全性：管理权限控制/SSL 安全传输
- 易用性：与 Revit 软件集成

采用 Revit Server 作为常州市轨道交通工程的协同建模平台可满足《用户需求书》涉及的所有 BIM 模型的标准化协同管理，并更具优势。

(1) 广域网图元级协作

相比 Vault、ProjectWise，Revit Server 可实现模型图元级的协同工作，而 BIM360 服务器在国外，不适应国内项目建设需求，红瓦科技的协同大师费用高，支持协同数量少不满足需求。

不同协同方式对比

管理模式	文件级协同（非真协同）	图元级协同（真协同）
权限管理	协同设计平台 Vault, ProjectWise...	BIM 360、协同大师 Revit Server+自主研发插件
相互信任	提资、会签、送审... U 盘, 网盘, 邮件...	广域网: Revit Server 局域网: 文件夹共享

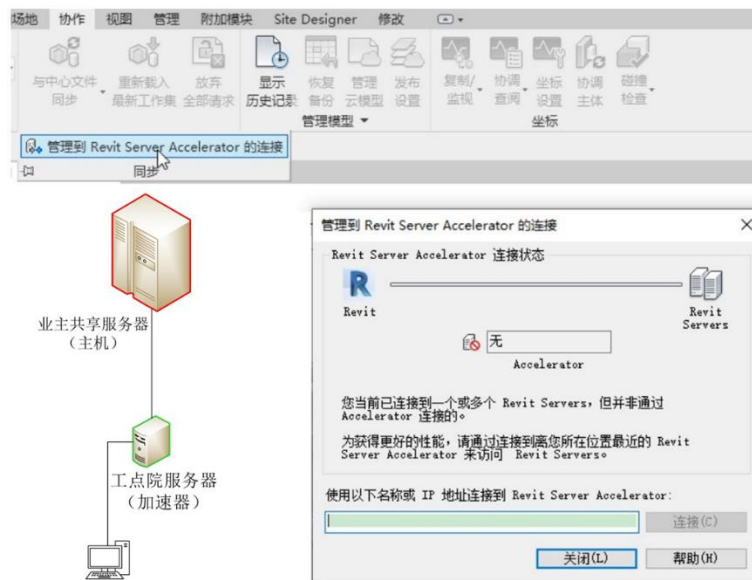


图 3.3.1-2 广域网协作方式

(2) GUID 控制

模型存放在业主服务器中，会自动生成 GUID 信息，且 GUID 不提供给最终用

户查看,在任何情况下均不能编辑修改 GUID,模型可通过唯一的 GUID 进行识别,在中心服务器上移动模型位置,用户参考的链接模型或者协同的模型都不会受到影响,保证了模型的唯一性,针对模型异常情况也可以通过 GUID 进行问题判断和分析,快速解决相关问题。

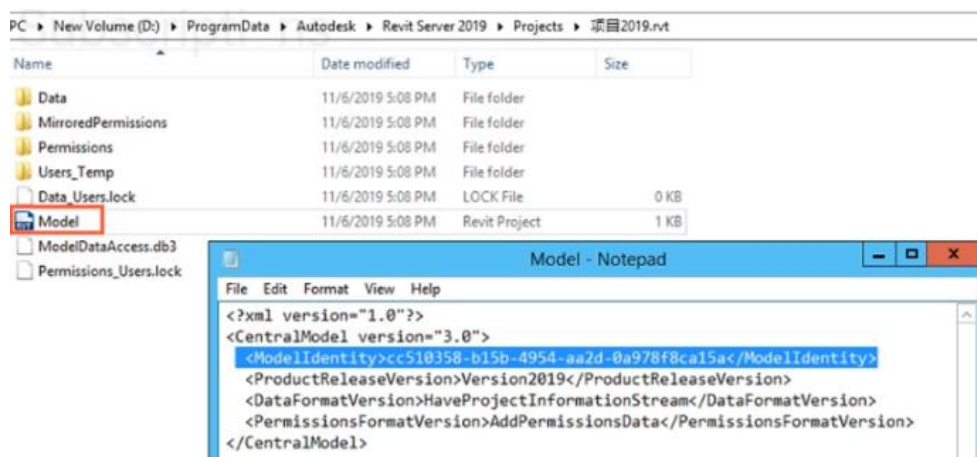


图 3.3.1-3 模型 GUID 示意

(3) 模型文件组织管理

Revit Server 支持文件夹组织的新建、删除、剪切、复制、粘贴、锁定等功能,可进行模型历史更新记录的查看、模型移动、模型版本恢复,满足项目管理需要。

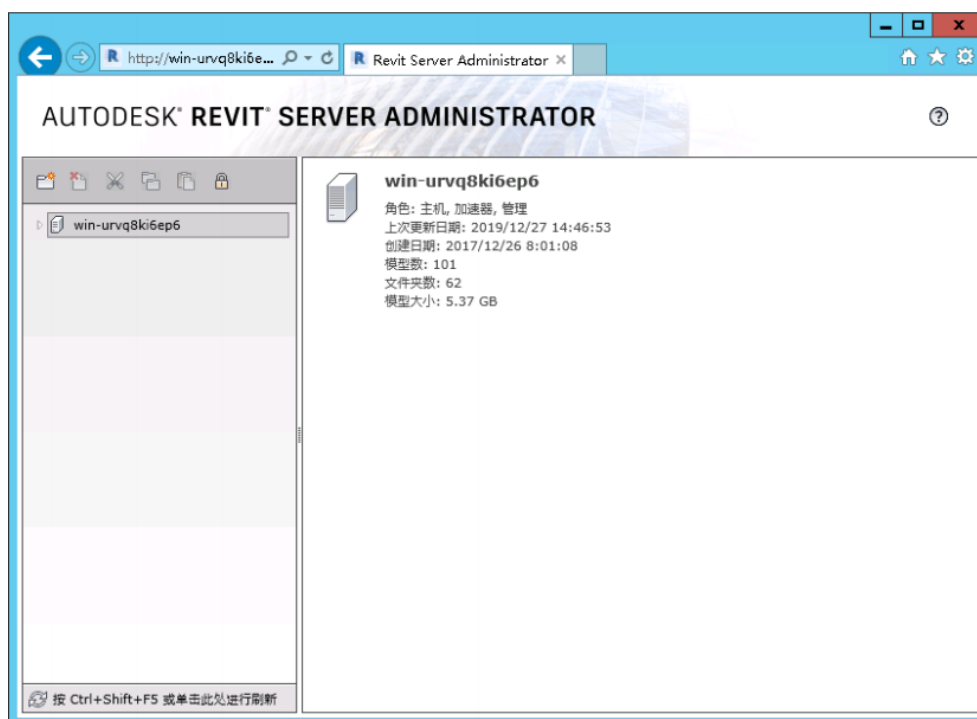


图 3.3.1-4 模型组织管理

3.3.2 协同设计平台角色

基于某市轨道交通工程 BIM 技术应用的需求,我方进行了 BIM 协同建模平台架构规划,采用业主方集成服务器为主体,数据库与文件存储服务器为支撑,参建方加速服务为辅助的 BIM 协同建模平台服务体系,基本系统架构如下图所示。

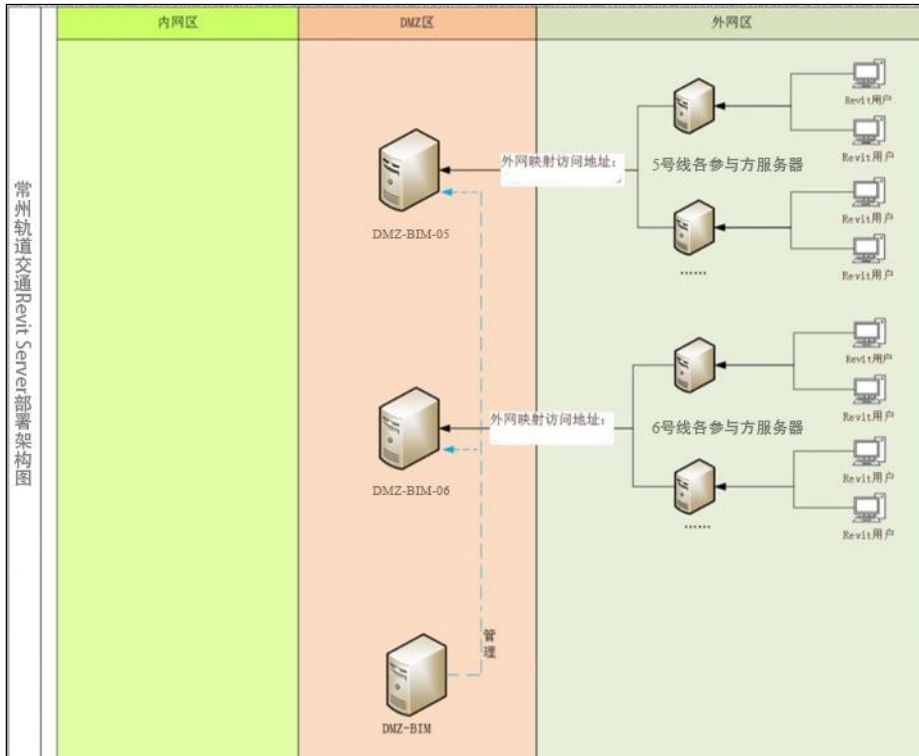


图 3.3.2-1 Revit Server 部署架构图

本方案在建设单位总部使用集成服务器,统一管理本项目模型与文件数据,BIM 总体单位、设计单位、施工单位、监理单位等项目参建方根据自身需要配置并使用加速服务器。参建各方均使用 Revit 标准客户端访问建设单位总部服务器或本单位的缓存服务器开展 BIM 协同管理与应用工作。

Revit Server 有多种功能角色,可供用户进行选择使用,配置方案中:

对于建设单位总部使用一台物理服务器来安装 Revit Server,角色配置为主体和管理员,可将本项目所有的数据集中存储,满足常州市轨道交通建设项目安全策略的要求。对于建设单位内部的用户使用就可以充分利用局域网的资源,快速、便捷地访问项目数据。无论是建设单位还是其他参建单位,都会将数据提交并同步到 Revit Server 集成服务器进行存储,保证了常州市轨道交通工程项目所有工程数据的唯一及可控性。

而对于项目参与方,由于项目中的所有模型文件都存储在 Revit Server 集

成服务器上，可通过网络专线访问总部服务器中的项目数据，或采用部署加速服务器的方式。加速服务器可满足分布式文件存储的需求，通过 IP 地址可直接实时同步总部服务器的项目数据，确保两方的数据能够被及时有效共享。对于项目参与方而言，采用在各自办公地点部署加速服务器方式可提高对项目文件访问的性能和速度。

Revit Server 角色配置

角色名称	角色说明
主机	作为项目服务端，用于存放模型，常为中心服务器
加速器	用于加速同步模型的速度，常为本地服务器，用于局域网加速；
管理员	用于管理存放的模型，常用于中心服务器

3.3.3 协同数据备份管理

在本项目 BIM 技术应用过程中，无论是过程数据还是最终的归档数据，对于建设单位来说都是至关重要的，关乎企业的核心资产、知识产权。项目过程数据只有很少的一部分会归入档案管理系统中，更多的数据需要在协同建模平台 Revit Server 中进行备份与维护。我们建议的项目协同建模数据备份方案为全数据备份方案：

- ①每天 0:00 点增量备份系统数据
- ②数据库增量备份（SQL Server 或 Oracle）
- ③文件存储增量备份（利用 Windows 或专业备份工具）
- ④保持两者的增量备份时间一致
- ⑤每周六 0:00 点完全备份系统数据
- ⑥数据库完全备份（SQL Server 或 Oracle）
- ⑦文件存储完全备份（利用 Windows 或专业备份工具）
- ⑧保持两者的完全备份时间一致

3.3.4 协同 BIM 数据交互

建筑信息模型是一种基于智能三维模型流程，能够为本项目提供丰富的决策信息，从而更快速、更经济地创建和管理项目。BIM 技术应用有着大量而不同的需求，BIM 的实现需要多种软件工具相辅相成，是所有工具相互配合与依托的结果，而不是单打独斗的产物。

BIM 系统软件涵盖了不同专业用户，并贯穿了设计、可视化、仿真分析、图

纸文档、项目建造等工作流程，除了各软件在自身所在的单项应用外，各产品之间同样需具备了良好的数据交互性，它们之间通过直接接口程序或间接的中间格式，保证正确的信息能够被正确地传递给正确的使用者，形成了基于智能模型的数据信息交互流程。

项目充分了解轨道交通行业所需要的 BIM 综合解决方案的复杂性，没有任何一家商业软件公司能够提供满足所有工程应用的全部产品。以下展示的是各软件之间的数据交互方式，该方式已经在很多行业用户的企业/项目级别的实践中得到应用。本解决方案支持的数据流程，帮助不同专业在不同的设计阶段能够进行兼容性更好和更灵活的工作流程。

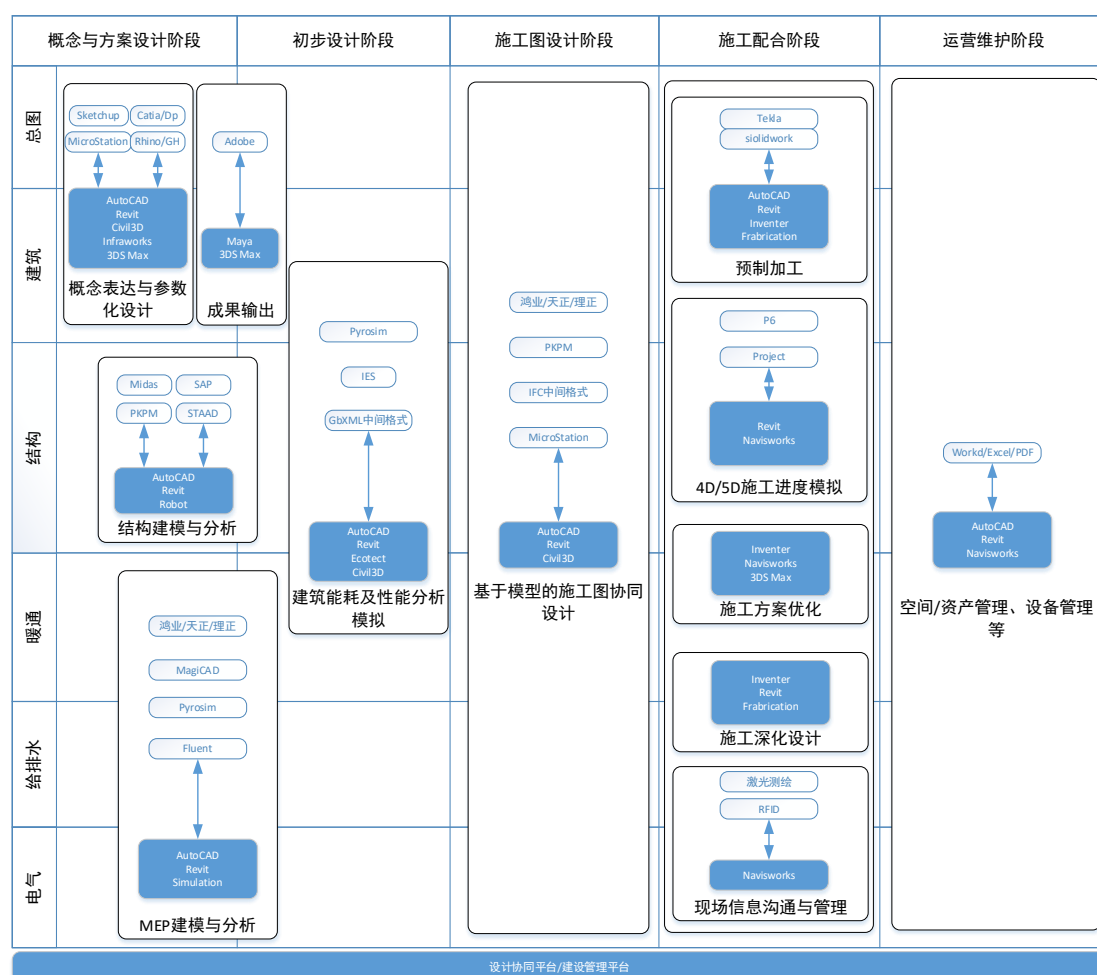


图 3.3.4-1 软件的数据交互

根据某市轨道交通工程 BIM 应用目标和工程进度情况，主要软件应用将涉及 BIM 核心建模软件、BIM 模型计算分析软件、施工管理软件和动画模拟软件，为保证各类软件进行高效的数据交换，对文件格式的存储和交换原则作出以下规定。

序号	软件名称	用途及文件格式
1	AutodeskCAD	用于保存设计图纸、施工用图纸文件均使用“*. dwg”格式。
2	Autodesk Infraworks 2016	用于全线模型与地理地形整合文件，使用 “*.sqlite” 格式。
3	Autodesk Revit 2016	项目文件使用“*. rvt”格式，项目样板文件使用“*. rte”格式，族构件文件使用“*. rfa”格式。
4	Navisworks Manage 2016	单一项目文件提交“*. nwc”格式，整体项目文件提交“*. nwd”格式。
5	Magicaad for Revit	提交文件格式为“*. rvt”
6	Autodesk CFD 2016	提交文件格式为“*. cfdst”及相关计算文件。
7	Autodesk Inventor	提交的零件模型格式为“*. ipt”，装配部件文件为“*. iam”，工程图纸格式为“*. dwg”。
8	Autodesk 3DMax 2016	提交模型文件格式为“*. max”
9	Lumin3D	提交模型文件格式为“*. svr”
10	GeoStation	提交模型文件格式为“*. dgn”
11	ContextCapture	提交模型文件格式为“*. osgb”及中间格式“*. obj”
12	Recap	提交模型文件格式为“*. rcp”或“*. rcs”
13	Fuzor	工程文件格式为“*. che”，提交成果为“*. exe”
14	Fabrication	“*. MAJ”，添加预制服务，内容包
15	PKPM	提交模型文件格式为“*. JWS”
16	Tekla	提交模型文件格式为“*. IFC”
17	PathFinder	提交模型文件格式为“*. pth”
18	PyroSim	提交模型文件格式为“*. psm”

该项目 BIM 模型文件之间的信息交换原则应遵循下表所述：

BIM 模型文件数据交换

软件	交换中转格式	用途	规则
Civil3D	*.XML 文件/数	协同设计，软件版本切换，	导出 LandXML 文件，根据

与 Civil3D	据快捷方式	实现数据共享	需要筛选需要的数据信息
Civil3D 与 Infra works	*.IMX 文件 /*.SDF 文件	1、Civil3D 数据导入 Infracworks, 进行方案规划和分析; 2、Infracworks 数据导入 Civil3D, 进行场地、道路、管道详细设计, 满足施工图要求	根据需要正确设置, 注意坐标系设置, 导入前需设置相关材质信息
Civil3D 与 Revit	*.CSV/*.dwg 文件	1、场地地形导入, 模型整合 2、设计好的区间线路导入, 在 Revit 中进行区间详细建模	根据需要正确设置, 根据需要筛选需要的数据信息
CAD 与 Revit	*.dwg 文件	1、CAD 图纸导入 Revit 模型用于平面定位参照; 2、Revit 模型导出二维施工用平面图纸。	1、CAD 图纸导入 Revit 模型应保证单位一致; 2、Revit 模型导出 CAD 图纸时应保证各类别构件导出设置符合图纸要求。
Revit 与 Tekla	*.IFC	将 Tekla 钢结构模型导入 Revit 模型中进行模型整合。	1、输出 IFC 模型时属性设置选择正确的输出类别。 2、数据信息与构件属性相对应。
Revit 与 PKPM	*.JWS	将 PKPM 模型导入 Revit 实现结构模型互用, 进行受力分析	通过探索者软件中的数据中心将 PKPM 模型转换为 Revit 结构模型
Revit 与 PyroSim	*.DXF	将 Revit 模型导入应急疏散软件 PyroSim 中进行烟气流动模拟	Revit 建立的模型属性信息保存到 DXF 数据格式的文件中, 然后 Pyrosim 从 DXF 文件读取需要的数据。 使用者需采取合理手段对模型移植后出现的不兼容现象加以调整和优化, 以保证模拟能够顺利进行。
Revit 与 PathFinder	*.DWG/ *.DXF	将 Revit 模型导入应急疏散软件 Pathfinder 中进行疏散模拟。	可使用提取地板等工具实现快速创建房间、门以及楼梯等, 使建模更加快捷准确。
Revit 与 Navisworks	*.nwc 文件	Revit 模型导出*.nwc格式文件在 Navisworks 中进行模型综合、碰撞检查、虚拟漫游、施工模拟等;	Revit 模型导出*.nwc格式时应根据需要进行正确的设置
Revit 与 Autodesk CFD	*.cfdst 文件	Revit 模型导入 CFD 软件生成有限元分析模型用于流体运动模拟	应对模型各个空间的完整性、正确性进行检查

Revit 与 3Dmax	*.max 文件	Revit 模型导入 3Dmax 动画模拟和效果渲染	通过 suite 工作流转化模型
---------------	----------	----------------------------	------------------

3.4 协同设计与 VR 应用成果

3.4.1 BIM 信息整合校审

轨道交通工程设计涉及专业多,在进行工程设计审核时,需要对各专业设计成果进行集成,虚拟现实技术能够集成设计成果,通过三维立体的方式建立虚拟环境,方便设计人员在虚拟真实环境中对工程设计成果进行审核,通过浏览的方式找出模型内不合理的部分,特别是对于复杂性、隐蔽性、预留预埋构件的施工图校对。然后逆向找出图纸的出错点,最后将漫游后审核得到的结果交于设计方并更正图纸,可及时发现专业间协调问题,提高各专业间的设计质量。

3.4.2 车站设备区空间布局的方案优化

在 VR 场景中针对重要设备房间进行设施设备的布局优化和净高净空分析,针对重要房间可设计多套布置方案进行综合对比,对设备维修空间进行重点分析,整体优化房间空间划分和布局,例如在车控室进行窗口视点分析,并明确房间内机柜、墙面箱柜、开关面板、工作桌柜、工作椅等的优化布置。

3.4.3 安全教育

利用三维扫描技术,将项目中易发生安全事故的施工段场景进行实景扫描,通过 BIM 技术生成三维模型,实现实景复制。结合 VR 技术,可支持安全管理人员在虚拟世界中实现对危险场景的实景漫游、管控,提升管理效率。同时可将此场景运用到项目现场人员的安全教育培训中,被培训人员身临其境体验高空坠落等危险场景,达到安全教育的警戒意义。

1) 安全闸机体验

体验者处于标准化建筑工地的一个标准入口处,入口处放置有安全帽、安全带等安全设施及施工标志图等。入口处安装标准化闸机,进入现场必须通过标准化闸机。

体验者通过手柄选择自己的职能身份,如钢筋工或模板工、塔吊指挥员等,若想通过闸机进入施工现场,必须佩带好安全帽以及其他符合自己职能的安全措施,如果佩带不完全,则在通过闸机时会被禁止进入且弹出提示告知该人员需要佩带的物品等信息。

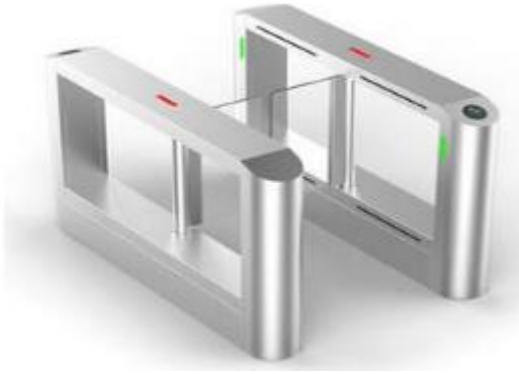


图 3.4.3-1 闸机样式

2) 材料标准堆放体验

体验者进入标准化施工现场的施工区域，项目为在建房建项目（可根据甲方要求进行调整）。在已平整硬化的路面旁标准摆放着钢筋、模板、卷材、钢管等常见材料，体验者可以通过在场景中漫游来查看各种角度的材料摆放状况。

在场景中，体验者可以在各处已硬化路面进行漫游，通过手柄的射线选中指定材料，会弹出该材料的名称、规格、用途、摆放要求等相应信息。

3) 高处坠落体验

体验者切换到高处坠落 VR 体验场景，初始定位在 30-50m 高处的主体结构混凝土梁或者板上。高处坠落体验场景分别设计在无防护的水平结构梁和楼板、外脚手架（有安全带和无安全带两种模式）和正在进行管道安装的室内。



图 3.4.3-2 VR 场景中坠落前



图 3.4.3-3 VR 场景中坠落前

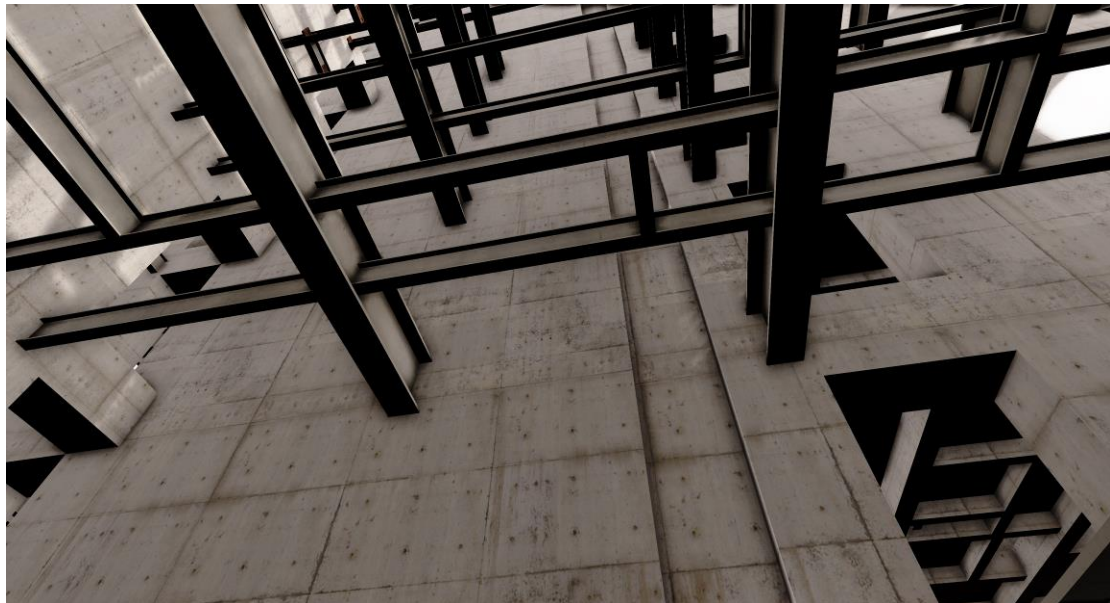


图 3.4.3-4 VR 场景中坠落后

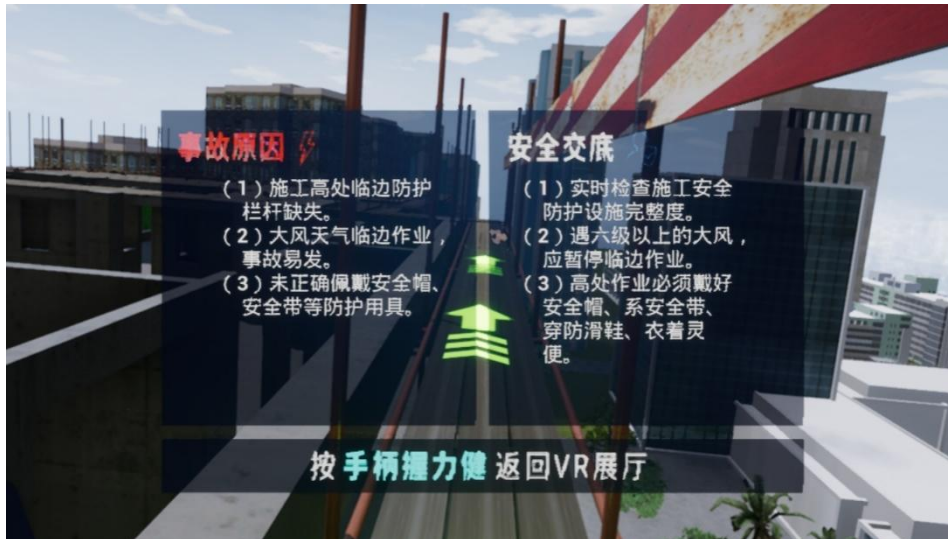


图 3.4.3-5 VR 场景中坠落后的事故原因及安全交底

4) 高处坠落体验 VR 交互设计

主要表现临边及洞口无防护造成坠落的体验场景。体验者漫游的主通道为有安全防护栏杆及安全网的通道及楼梯。人为设置漫游路线中的一段临边和洞口上没有任何防护措施，在无安全带模式下体验者若移动范围超过水平支撑的边缘，则会触发坠落体验，以重力加速度下落到地面施工区域，落地后出现血腥画面及死亡后的灰度画面，随后出现事故原因总结画面。随后自动切换到外架施工坠落体验区。

主要表现为由于不规范操作造成坠落的场景。体验者在 100m 高空清理物料时，把物料堆放在大横杆上，导致固定大横杆脱落，触发高空坠落。在无安全带模式下，体验者以重力加速度下落到地面施工区域，落地后出现血腥画面及死亡后的灰度画面，随后出现事故原因总结画面，2s 后重生，返回初始位置。在有安全带模式下，体验者会被悬挂在半空，随后出现事故原因总结画面，2s 后切换到室内管线施工坠落体验区。

5) 物体打击体验

虚拟场景中，体验者进入到地面施工区域后，可见地面有随机移动的施工工人，施工设置两座塔吊，塔吊在缓慢移动，吊取钢筋、脚手板、钢模板等施工用品，楼顶有工人正在进行施工作业。



图 3.4.3-6 VR 场景物体打击



图 3.4.3-7 VR 打击

6) 物体打击体验 VR 交互设计

主要表现为工人在高空临边施工时，不小心碰撞到未安装的电缆，导致电缆从高空坠落，砸中体验者，出现血腥画面及死亡后的灰度画面，而后出现事故总结画面。

物体打击的交互通过控制坠落物品的随机坠落，体验者及时躲避，以此来表现时刻保持躲避物体打击的警惕性以及佩戴安全防护用具。体验流程包括垂直方向塔吊作业物体打击、水平方向吊物拖拽伤人、塔吊倾覆伤人等。具体交互表现为：

①初始进入场景，体验者选择是否佩戴安全防护用具。选择完毕后，体验开

始。

②施工现场的塔吊都在工作，同时和平动（滑车在塔吊臂上来回移动）和转动（绕塔吊柱子来回转动）。塔吊在加工棚区域上空的一个区域内来回转动，在加工棚区域上空的一个区域内来回移动。

③1#塔吊吊有钢管，在工作的状态下，钢管每 4s 掉落一根下来，砸到地面、堆码的物品、加工棚或者人物上面，对应的物体出现相应的受力反应和声音。砸到地面、堆码的物品、加工棚顶部后，钢管有砸到的撞击声和反弹，施工棚被砸垮塌。砸到模型人物后，人物被击倒和叫声、钢管落地声等。

④2#塔吊吊有模板，模板每隔 4s 掉落一块下来，砸到基坑地面、堆码的物品或者人物上面，对应的物品出现相应的受力反应和声音。

⑤角色人物可通过射线位移来移动，躲避坠落物，一旦被砸到即画面晃动，倒地，溅血，并提示死亡，随后出现死亡灰度画面，事故结束后出现总结画面，随后切换到高空临边材料坠落体验区。

3.4.4 VR 施工过程还原

通过 VR 进行施工过程的还原，便于施工方给相关工作人员进行培训交底，不仅能够身临施工现场场景，快速参与并完成整个项目的施工过程，并能够通过交互参与施工，加深记忆。

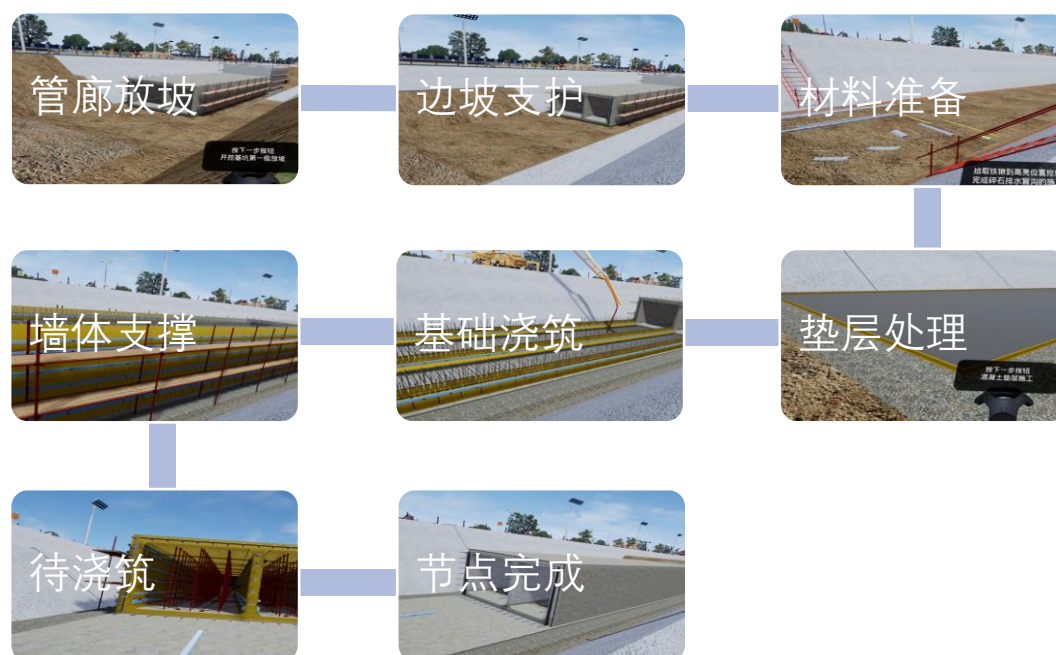


图 3.4.4-1 某综合管廊工程施工过程参考

3.4.5 车站公共区装修方案的优化

通过 BIM+VR 技术，代替传统公共区装修样板，加快装修方案的评审速度。对主要装饰内容（地面花岗岩石材、墙面干挂陶瓷板（玻化砖）、柱面干挂搪瓷钢板、顶面铝合金平板天花、铝合金垂片等）和主要机电安装内容（通风系统的管道及支吊架安装、设备安装；给排水系统的给排水及消防管道安装；动照系统的桥架安装、电气配管、线缆敷设、灯具安装；弱电系统的桥架、配管、线缆敷设）进行模拟仿真和工艺展示。以工程创优为目标，确定样板工程，推行“样板工程引路制度”，在各工序开工前，统一工艺和质量标准，做出示范样板再全面推广，实现开工必优，工程创优的目标。

在虚拟环境中分析楼梯洞口的关系，闸机与楼梯口的距离，并对异性曲面进行直观表达。在 BIM 模型中增加导向标识，清晰展示地铁导向标识系统的设计效果，优化标识的布置、版面信息、比例尺度及环境照明等设计要点，通过软件虚拟漫游功能，模拟人流路线，修正个别位置车站装饰或柱子对导向标识的遮挡，保证标识清晰持续，减少客流动线的冲突，完善设计方案以真实的材料规格和材质属性进行 BIM 模型创建，提升模型与实际装修效果的吻合度和真实性，以此为基础通过切换不同装饰构件的样式、材质参数等内容，快速展现不同车站配色、不同吊顶样式、不同墙面风格、不同地面分割样式组合下的车站装修方案效果，使决策者能快速做出正确的决定。

整个设计过程在同一个环境中协同工作，进行远程对话，设计师根据意见及时修改模型。在确定方案之后，可利用 BIM 模型的特性，继续在决策方案的基础上进行深化设计；将模型延续到工程施工阶段，利用深化后的成果直观、形象的展示各细部做法要求及预期达到的施工效果，使现场管理人员对样板段中各项工程做法及要求有了直观的认识，大大提高施工作业人员对交底的掌握程度，通过管理者意见进行不断修改，最终选出管理者最为满意的方案，并以此作为施工中的依据，指导施工人员进行现场作业，避免因效果不理想达不到业主期望而造成不断拆改及返工，达到传统的实体样板段展示效果，并大大节约成本。

多方案比选极大发挥协作优势，建筑先行，全专业共同参与，可视直观减少专业间技术壁垒，让设计人员之间更容易理解和沟通，优化设计，协作也更为高效。



图. 4. 5-1 不同吊顶样式及墙面材质效果的装修样板对比图

3. 4. 6 VR 项目完成运营模拟

通过 VR 进行项目完成后的场景的搭建，设备设施的搭建，以及人员、物品的搭建，模拟项目完成后的运行状态，桥梁项目包括车辆运行通行展示等，体验者通过参与到场景中，体验工程的实际功能。

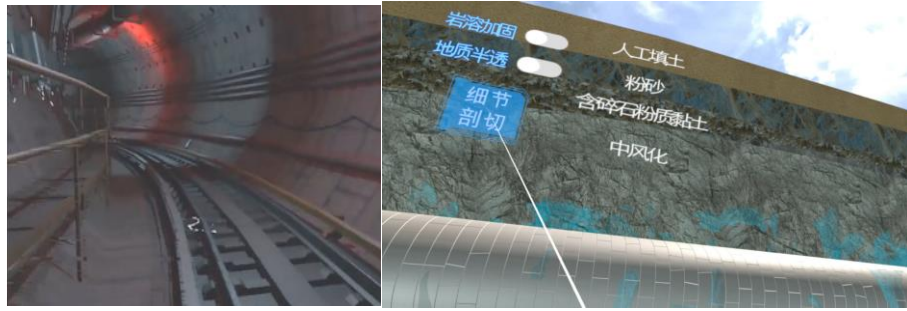


图 3.4.6-1 区间完成

4 关键技术 2：基于 BIM+IoT 技术的智慧工地建设

城市轨道交通工程具有点多、面广、难度高、系统复杂的特点，轨道交通建设是城市工程建设的标杆。同时，轨道交通建设过程中存在很多潜在的隐患，监管体制机制不健全、工程建设组织方式落后、建筑设计水平有待提高、质量安全事故时有发生、市场违法违规行为较多、企业核心竞争力不强、工人技能素质偏低等问题较为突出，这些问题严重制约影响了建筑业的健康持续发展。

在这矛盾冲突日益显著的轨道交通建设过程中，如何提升现场管理水平，排除事故隐患，健全监管机制等成为轨道交通建设亟待解决的问题。基于 BIM 技术的智慧工地在这种背景下应运而生，智慧工地切合当前城市轨道交通建设管理的需求，运用信息化手段，通过三维设计平台对工程项目进行精确设计和施工模拟，围绕施工过程管理，建立互联协同、智能生产、科学管理的施工项目信息化生态圈，以提高工程管理信息化水平，从而逐步实现绿色建造和生态建造。现从人、机、料、法、环、安全、质量、进度等方面进行具体分析。

BIM+智慧工地平台精细化管理思路：以全专业模型为基础、以技术、进度、成本、质量、安全为核心，实现 BIM 技术+智慧工平台在项目的应用，全面实现品质升级，实现“提升管理效率，降低实际成本”的目的

4.1 人员管理

4.1.1 实现路线

每个主要施工通道口均采用海康威视的闸机+人脸识别，满足低于 2S/人的识别速度要求；实现人员实名制进出管理，进出数据传递至云端服务器，通过人工智能运算可实现工人考勤、工人工时自动统计、协作队累计工时自动统计、人员信息异常等功能；可以工地值班室（设置于员工实名进出通道）、项目部大屏、项目管理人员手机上查看工地内人员实时进出的详情、工地内实时总人数、当日人员累计进出人数等信息。通过前端硬件设备获取基础数据，后端数据库进行采集、下发、分析、归集等；实现实名制认证、实名制档案、实名制进出、劳务管理、人员工资、人员考核、人员培训管理等应用功能模块。

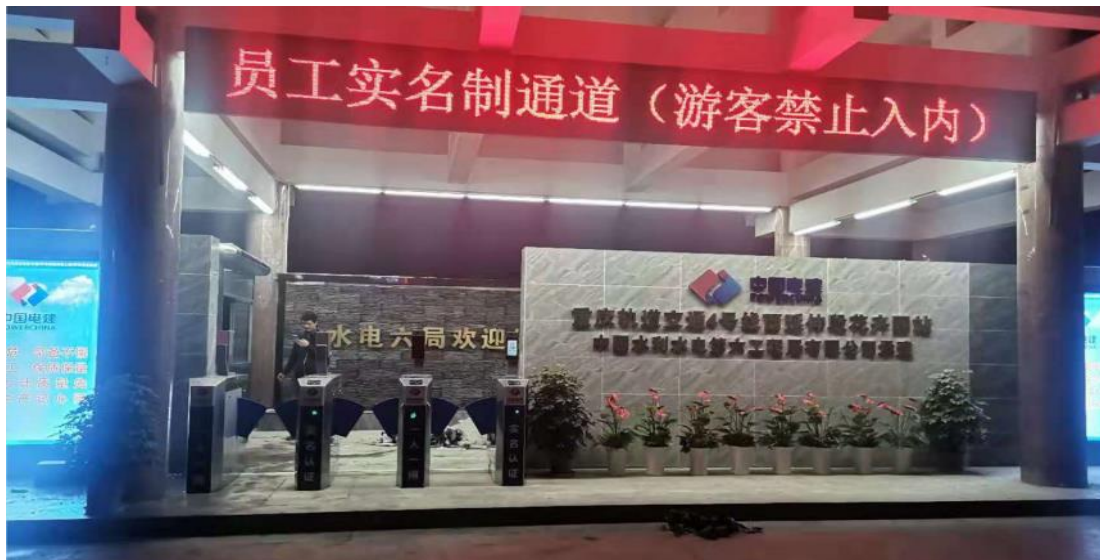


图 4. 1. 1-1 三通道翼闸实名制通道

使用移动端便捷登记劳务人员及项目人员基本资料、照片、身份证等重要信息，将个人信息纳入到实名制系统进行管理，形成实名制档案，并通过审批下发到对应施工现场的门禁闸机上，提供人脸实名制进出依据；通过施工现场的门禁闸机，实现实名制人员进出状态，并对进出数据进行采集，实现进出场数据判定，生成人员在场列表，并未后续考勤提供数据支撑；通过对各劳务队人员出勤数据核算，提供各劳务队工资结算依据及考勤报表。

同时还能将本线路各施工场地与业主方管理后台进行网络互连互通，与业主方劳务人员名单库相关联，自动识别作业黑名单人员，对其进行记录、拒绝放行并报警。闸机应当集成 IC 卡、指纹、人脸识别等多种进出场方式，并且能识别内置于安全帽内佩戴人员的基本信息，进行多信息比对，对信息不一致的入场人员进行记录并报警。



图 4. 1. 1-2 实名制管理解决方案及主要功能

闸机还应配备安全帽及口罩 AI 智能识别功能，对未佩戴安全帽、未戴口罩的人员进行记录并报警，安全帽及口罩佩戴整齐后方可重新识别入场。此外，闸机还应具有红外线温度测量功能，对体温异常人员进行预警，由门卫进行现场体温复测，无异常方可入场作业。作业现场多区域应进行 AI 摄像头布点，做到全方位，多角度覆盖。在现场作业危险区、材料堆放区、隐患集中区的增设 AI 摄像头，其与安全帽内芯片轨迹定位进行关联，做好人员定位监测，实时识别进入此区域的人员，形成轨迹记录。对该人员进行提醒并推送现场安全管理人员及业主方后台。整套人员管理系统应做到事前预警，事后追溯，且该系统应具有可升级性。

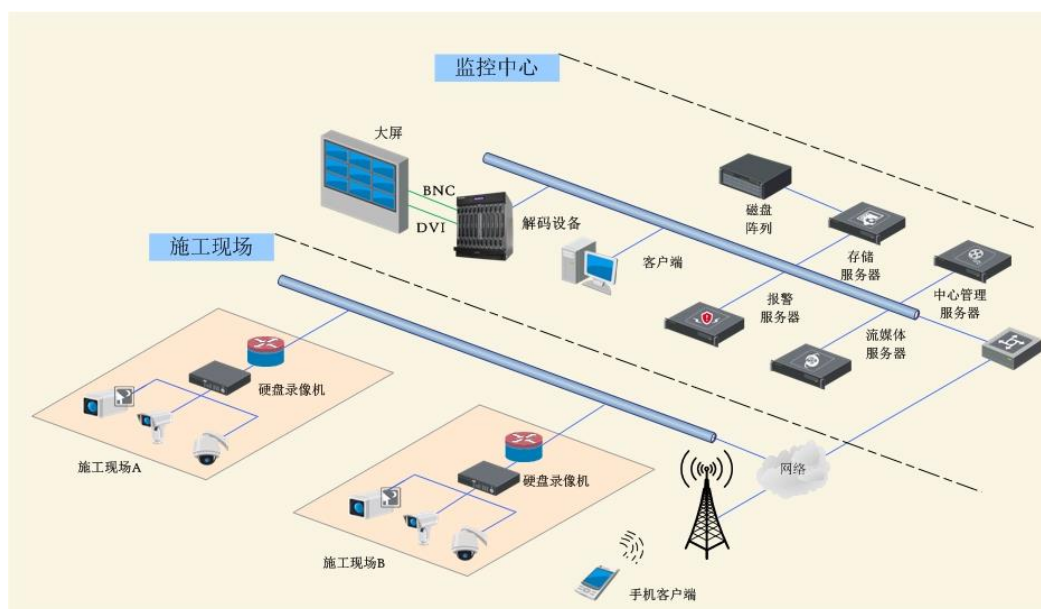


图 4.1.1-3 人员管理系统架构图

4.1.2 技术亮点

通过闸机装配人脸识别红外测温一体机，在防疫情况下实时监测进入施工现场作业人员，实现无接触人脸识别、红外测温、口罩检测、安全帽监测、体温异常、访客报警、未戴口罩以及未佩戴安全帽报警等功能，无需摘下防护用具也能进行防疫监测，有效降低疫情传播风险；施工现场内关键区域摄像头均布置为 AI 智能摄像头，可有效检测无关人员随意进出料库、危险区域。

不同于传统施工工地的人员进出场管理，运用信息化手段的智慧工地，在人员进出场管理的方式上，更为科学有效。人员进出场的方式多样，通过多种手段绑定人员、公司、工种以及进出场时间等基本信息，将人员基本信息与安全帽绑

定，实行人、帽一致，闸机方可放行。将闸机与后台控制系统相连，可以对人员进行实名制考勤，实时查看劳务用工期情况；且人员实名制应集合轨道集团劳务作业人员管理系统，针对黑名单人员自动识别，拒绝入场。同时将闸机系统与 AI 摄像头系统连接，自动识别劳务作业人员与访客；针对访客闯入主动报警，阻止访客随意进出施工现场，在登记取得权限后方可进入。

此外，对人员管理进出场保障安全作业方面，配备相关的酒测设备以及智能安全帽。

4.1.2.1 酒测设备

在车站的门卫室，设置测量酒精含量等智能体检设备；支持对进出人员体检判定，采用智能体检仪对进出人员进行身体健康状况检测。酒精监测满足《车辆驾驶人员血液、呼气酒精含量阈值与检验》GE/T 19 522 的规定，对酒精含量阈值 20(mg/100mL)进行提示预警；酒精含量阈值 80 (mg/100mL)进行报警,并禁止进入工地现场的智能功能。



图 4.1.2.1-1 酒测仪

智能体检模块满足以下建设要求：

- ① 酒精测量满足对进入工地现场作业人员体内酒精含量测量，检测仪器精度应满足《车辆、机械操作人员血液、呼气酒精含量阈值与检验》GE/T19522 的规定，对酒精含量阈值 ≥ 20 (mg/100mL)进行提示预警；
- ② 酒精含量阈值 ≥ 80 (mg/100mL)进行报警,并禁止进入工地现场的智能功能。

4.1.2.2 智能安全帽

主要使用北斗 GPS 技术，人员佩戴北斗 GPS 的智能安全帽，通过北斗定位系统自动实现人员位置的确定，并通过定位模块自带的网络信号，将位置信息发送到系统中，实现定位功能；室外定位广泛适用于房建等开阔场地。在采用智能安全帽的方式来实现室外人员定位，同时实现视频、语音、电话通话等多功能应用。



图 4.1.2.2-1 智能安全帽



图 4.1.2.2-2 智能安全帽管理系统

4.1.3 应用成果

实名制认证：主要针对劳务人员及项目人员登记，将个人信息纳入到实名制系统进行管理，登记基本资料、照片、身份证等重要信息，并通过审批下发到对应施工现场的门禁闸机上，提供人脸实名制进出依据；

实名制档案：针对人员登记信息，系统后端自动对人员信息建档。后续人员的出勤、工资、考核、培训等详细记录的查询管理，并支持人员二维码，扫码查看人员档案。

实名制进出管理：通过施工现场的门禁闸机，实现实名制人员进出状态，并

对进出数据进行采集，实现进出场数据判定，生成人员在场列表，并未后续考勤提供数据支撑。

劳务管理：对劳务单位、班组、劳务人员的信息进行管理。并通过对各劳务队人员出勤数据核算，提供各劳务队工资结算依据及考勤报表。

工资管理：支持对人员工资表上报，并自动判断人员工资表与考勤数据的差异；同时产生对应预警信息。

人员考核及培训管理：针对安全培训教育模块，对人员进行培训教育的记录查看功能，或录入线下培训考核数据的功能；支持查看人员培训考核记录。

4.2 机械设备管理

4.2.1 实现路线

利用 IOT 将大型吊装设备上多个传感器、限位器等模块与业主方管理后台连接，机械自进场始需进行备案，并与业主方管理后台互联互通。通过管理平台与前端信息采集设备的联动，实现对大型吊装设备的司机、超载、起升高度、下降高度、大小行车运行行程、风速等数据以及对起升制动器、夹轨器、锚定、防风拉索等的运行状态智能监管；同时运用 A 智能摄像头能够将驾驶舱盲区的画面实时传输到驾驶舱操作人员，并且可对机械安全半径进行检测，避免危险发生。进入施工现场的加工机械等也应该进行备案管理，使用前的申请与使用后的归还均应进行登记，并做好维护保养记录，上传至云端，实时提醒下一次维保时间；此外在大型设备启动使用前，专业操作人员应该在 VR 设备上进行机械拟操作，合格后方可使用正式机械作业；作业前操作人员应进行 AI 智能识别，保证人、证、拟操作成绩统一方可正式启动机械，开始作业。



图 4.2.2-1 机械设备管理设备

4.2.2 技术亮点

对施工现场的特种作业机械设备的进出场进行管理，建立设备台账，进行状态跟踪。首先通过入场管理，通过入场流程，填报设备必要数据及相关检测资料进行审批后，设备正常入场。登记相关责任人进行管理，支持设备二维码，可扫码查看设备状态。设备入场后每次使用，需要进行设备使用登记，登记后方可进行使用，使用完成后需要解除设备占用。同时设备离场时，需要进行设备离场登记，确认设备离开工地。在设备在项目部存续期间，需要对设备进行维保管理，维保的设备不能使用，处于维保状态。维保人员需要填写设备维保记录。

充分利用智慧工地大数据化、互联互通的特点，集合 IOT、AI 与 VR 技术，杜绝吊装人员的视觉盲点，加强操作人员的技术能力；同时，运用 AI 摄像头智能识别，可以大量减少人员监测的盲区，发现危险及时提醒相关人员，大大降低了危险事故的发生概率。运用 AI 智能识别车辆整洁程度，自动启停车辆冲刷装置，可以有效节约用水，减少车辆等待时间，节约人力成本。

同时，对于轨道交通建设特种机械设备作业，对驾驶特种机械设备的司机进行实名制认证上岗。包含内容：

身份识别：系统具有人脸识别功能，跟进识别权限自动配置当前人员可操作功能；

远程通信：系统具备远程通信功能，能进行实时数据上报、远程配置、远程升级等功能，并跟进重庆市建委要求对相关数据进行接入；

自诊断：系统具备 BIT 功能，能实现自身（及电控系统）故障监测，并提供故障告警。



图 4.2.2-1 门式起重机司机认证



图 4.2.2-2 门式起重机监控系统

司机认证上岗满足以下建设要求：

- ① 采用人脸识别技术的智能化应用；
- ② 对操作人员身份进行识别和显示，并具备对非授权人员进入、操作行为进行报警和提示功能。

4.2.3 应用成果

- a. 大型吊装设备监控，驾驶员视觉辅助，安全半径安全检测；
- b. 运用 VR 进行机械上岗前操作考核；
- c. 施工作业机械备案管理，使用归还申请、登记；
- d. 作业现场防护措施备案管理，将检修、维保记录上传至云端，及时提醒下一次维保时间，避免隐患；

4.3 物料监测管理

4.3.1 实现路线

运输工具进出场时，通过在场内现场安装地磅设置，并通过信息化手段，将地磅集成为智能化地磅系统，实现进出车辆的自动称重，同车牌号进出称重的自动核算，生成针对不同车牌号车辆的运输货物量清单。后端通过对车辆、车辆运输货物、车辆运输公司的注册和管理，实现对多个运输及供货单位运输货物量的

快速核算，降低人工管理成本。



图 4.3.1-1 智能地磅系统配套设备



图 4.3.1-2 智能地磅移动端应用

材料装卸至施工现场时，运用大数据结合 BIM 模型，根据模型分割匹配到料情况，生成二维码对到场材料进行登记张贴。材料用前申请，余料返还，用材可追溯；根据工期计划与材料计划将进行关联，对比实际用料情况，联网查阅每工日用料情况，确定材料是否消耗过量。通过在现场料库区安装 AI 摄像头，实现现场料库的智能盘库。在每工日结束时对现场剩余材料进行盘点，比对施工进度计划。AI 摄像头自动将下阶段耗材缺量信息发送后台，经人工审核后及时补充

所需材料，避免现场窝工，造成工期延误。

4.3.2 技术亮点

充分利用 AI 智能摄像头对现场耗材情况进行实施更新，对比模型计算出所需材，大大减少了人工盘库的时间，增加了材料复核的频率，减少了材料的浪费。将 BIM 模型与现场工期进行关联，实时查询现场材料用量情况，对比现场进度降低损耗率。

4.3.3 应用成果

- a. 入场材料登记贴码，可追溯；
- b. 材料用量关联工期，用料申请、登记，可联网查阅每工日用料情况；
- c. AI 智能盘库

4.4 环境监测管理

4.4.1 实现路线

利用智慧工地大数据与IOT技术，将环境自动化监测终端与施工现场管理端、业主方后台互通互连，可以实时监测施工现场噪音、扬尘等污染源指数的变化，超标自动提醒并推送现场管理员；同时根据不同污染源的超标指数，自动进行污染消除措施，可以在无人看管的情况下，针对不同作业面的环境进行主动整治，达标。同时在站内封闭空间安装空气指数监测装置，根据所采集的空气数据，通过AI技术实时进行分析决定是否启停压力通风系统。



图 4.4.1-1 环境监测设备后端联动



图 4.4.1-2 移动端显示及控制

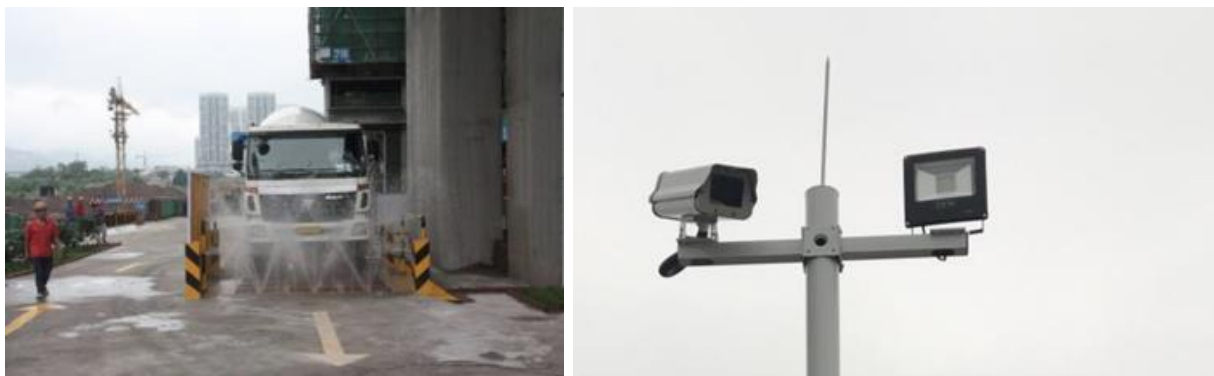


图 4.4.1-3 车辆冲洗监测系统

本系统主要分为监控及处置两个方面内容。其中监控主要为数据采集端，通过各类传感器采集多种环境数据，并对各类监控数据设置阈值，到达阈值后产生预警或报警，并联动语音系统进行语音广播，同时将预警信息同步到处理系统中，启动对应的雾炮喷淋系统及降噪系统，及时消除施工场地环境的负面影响。大型车辆进出场方面，对进出工地的渣土车冲洗进行监控，配置车辆冲洗系统对离开工地的渣土车进行冲洗，防止渣土车带泥上路，带尘上路等。

4.4.2 技术亮点

智慧工地赋能轨道交通建设环境管理，利用 IOT 技术，自动化监测现场污染指数，通过 AI 智能处理，决策如何进行污染超标处理，达到万物互联，智慧建设的效果。环境监测模块系统实现了建筑工地扬尘、噪声等污染在线监测、管理一体化，提升了科学管理的效率和能力。该模块对掌握现场作业环境现状的真实状况，以及采取相应环境治理措施的效果具有权威性。在绿色工地创建和文明施

工测评中，该功能可用量化的数据反映工地现场扬尘污染治理的水平，是各地“清洁空气计划”的重要组成部分，也有望成为建设智慧环保的有效抓手，为施工作业环境治理作出贡献。

4.4.3 应用成果

日常环境监控：扬尘、噪音、温度、湿度、风速、风向、空气质量、TSP、光照等气象参数进行实时监控的系统，同时结合项目部自身情况建设喷淋雾炮处理机制、降噪处理机制等降低施工项目对周边环境带来的影响。

车辆进出监控：进出场车辆，车牌抓拍，AI 智能识别车辆整洁程度，启停出入口车辆冲洗装置；在大型运输设备进出现场时，AI 摄像头应自动识别车辆整洁程度，在车辆驶出工地围挡出口时根据车辆整洁程度，自动控制车辆冲洗装置的启停。

4.5 安全管理

4.5.1 技术路线

针对安全隐患排查治理，采用人人巡检、人人为眼的方式进行安全隐患排查治理治理工作，采用手机拍照+文字/语音提报隐患，发现隐患确认得微信红包或积分奖励，确定隐患后使用安全问题治理的统一方式进行问题解决及闭环关闭。建立社交激励式安全管理体系，人人都是安全“眼”，安全管理体系优化。积累企业隐患库数据资产，加强项目安质人员工作效能得以有效评估和利用。



图 4.5.1-1 隐患排查界面

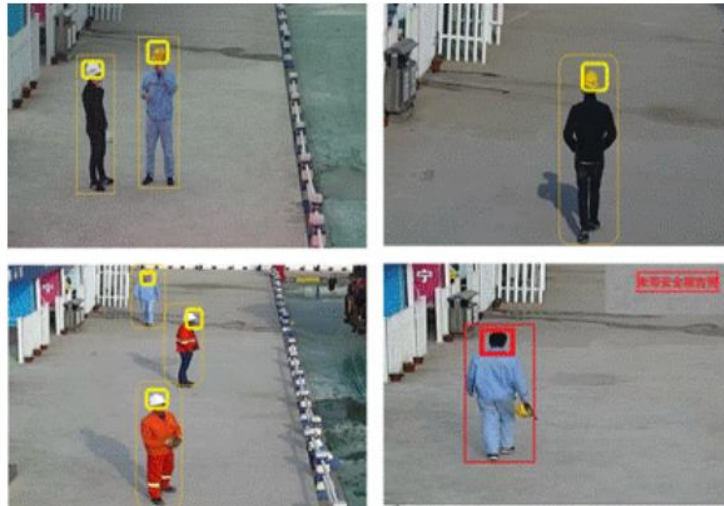


图 4.5.1-2 智能识别违规行为

同时，考虑现场安全监控智能化的应用，通过布置于现场的 AI 摄像头与业主方后台互联，达到后台远程监控作业现场的效果。利用 AI 智能摄像头，自动学习烟、火识别，并监测现场烟火源，实时预警并推送至现场安全管理人员端。同样运用 AI 摄像头，监控施工现场洞口、危险边界等区域，同时结合 BIM 模型与 IOT 技术，将模型与现场临边围挡一一对应，并在栏杆上加设位移传感器。如传感器预警并且 AI 摄像头甄别有作业人员侵入危险区，则在现场进行预警并推送至现场安全管理人员端。

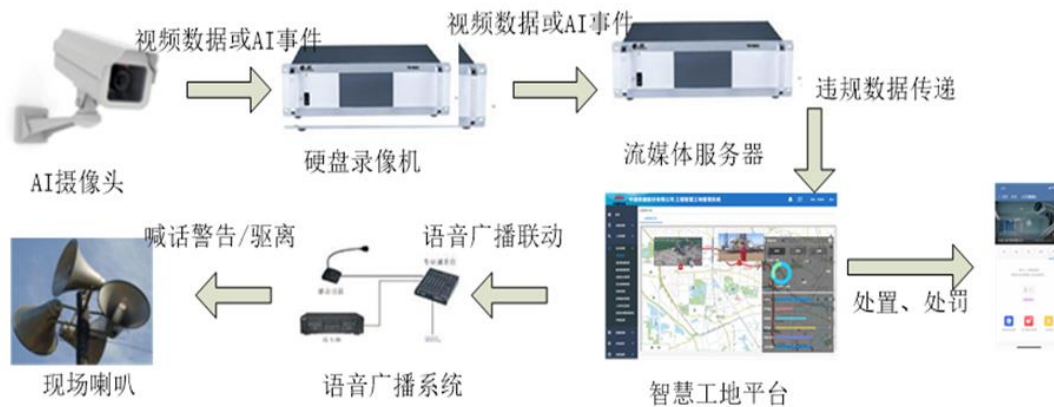


图 4.5.1-3 安全监控系统处置流程



图 4.5.1-4 信号无线连接

在轨道交通建设过程中，现场材料的运输吊装往往需要搭设卸料平台。对卸料平台与 IOT 技术相结合，在卸料平台上安装超载预警系统，实时显示主钢丝绳受力值、超载报警，实时远程报警等功能。结合驾驶员视觉辅助系统，确保吊装作业的安全，卸料平台的稳定，有效解决卸料平台安全管理盲区。

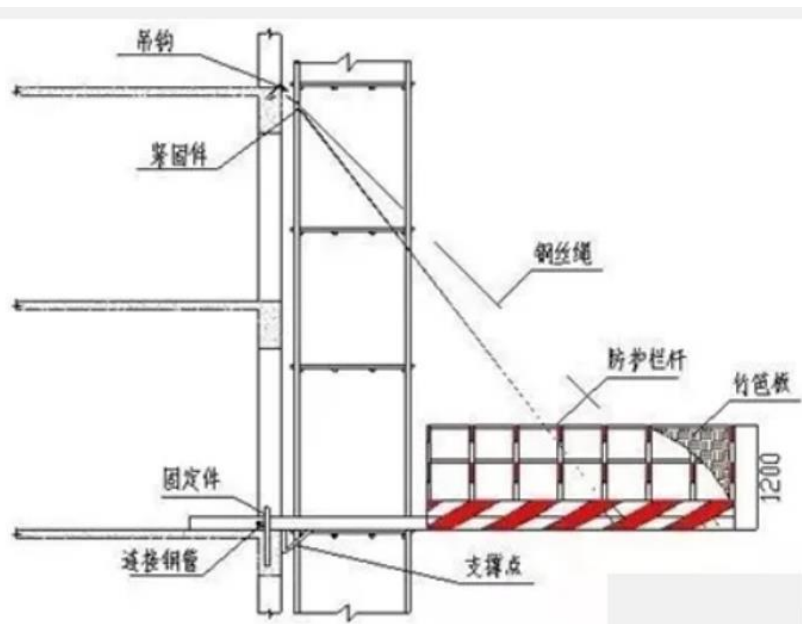


图 4.5.1-5 卸料平台

将 AI 眼镜与后端平台监视器通过互联网进行连接，在 AI 摄像头识别出现场危险隐患并推送现场管理人员端的情况下，现场管理人员通过 AI 眼镜将隐患区域实时传送至管理后台，通过后台审核人员对隐患区域进行再次审核并作出取消报警或隐患治理建议，通过后台监控整改过程，消除安全隐患。同时，针对施工过程的日常巡检，根据施工进度，设置多个不同的巡检关键点，确保日常巡检到

位。利用 AI 眼镜，自动识别现场作业人员基本信息，作业内容及工种，保证工作安全有效进行。

4.5.2 技术亮点

全方位运用 AI 摄像头、AI 眼镜、IOT 技术及 BIM 模型，做到施工现场安全管理全覆盖，卸料平台、临边周界等管理盲区有效监控，同时运用 AI 远程监控，大大减少了人力资源的投入，降低了施工现场的安全事故。

4.5.3 应用成果

- a. 互联网+远程监控；
- b. 烟、火探测预警；
- c. 临边周界防护系统；
- d. 卸料平台监控系统；
- e. AI 便携巡检系统，随时随地识别现场人员；

4.6 质量管理

4.6.1 技术路线

运用 AI 摄像头与业主方管理后台互联互通，对作业现场施工工序以及工艺标准进行远程监控。通过 AI 摄像头拾取的现场作业工序及工艺标准，比对轨道公司要求的技术标准进行比对，自动预警不符合工艺的施工作业，并将相关信息推送至现场技术管理人员端。现场管理人员通过 AI 眼镜将预警的施工作业实时传输至后台审核端，由后台审核人员进行审核确认，提出现场整改意见，由现场管理人员将现场整改过程通过 AI 眼镜实时传输至后台，由后台确认整改成果，消除质量预警；同样，AI 眼镜也能将现场施工节点影像传输至后台，通过关联 BIM 模型，对照片进行抓取，自动识别对应位置的 BIM 模型，截取模型图片，传输至眼镜屏幕，以供现场管理人员指导施工作业。在此过程中，对违反工序、工艺作业流程的操作进行拍照，存档，整改后拍照上传自动形成整改对比照片，形成轨道交通建设周期内的数字档案，做到有源可溯。



图 4.6.1-1 现场视频监控

4.6.2 技术亮点

运用 AI 智能识别现场作业工序及工艺，将质量不达标的作业自动拍照识别，并与整改后的照片进行自动对比，有利于形成工程数字档案，有源可溯。

4.6.3 应用成果

- a. 远程监控作业工序、工艺标准；
- b. 违反工序、工艺作业进行拍照。

4.7 进度管理

4.7.1 技术路线

智慧工地系统平台集成进度任务，运用 BIM 模型关联任务进度计划。通过现场安装 AI 摄像头，自动识别现场工作进度，并通过互联网反馈后台进行虚拟建模，实时对比 BIM 模型。根据实际工作完成情况，对比工期是否符合计划安排；对不符合计划预期的作业进行预警，通过合理调节工序或人力资源配置，保证工作合理有序进行，工期按预期推进。



图 4.7.1-1 进度管理

4.7.2 技术亮点

通过互联网关联 BIM 模型、AI 摄像头、自动建模引擎等将现场实际作业进度与计划进度相比对，提前预警滞后工作，提前采取优化工期措施，避免工期延误。

4.7.3 应用成果

AI 智能对比现场与模型进度，自动分析进度情况，并对与进度计划不符的作业进行预警。

5 关键技术 3：档案数字化与模型轻量化

5.1 档案数字化

5.1.1 技术路线

1) 数字化档案管理主要业务流程：

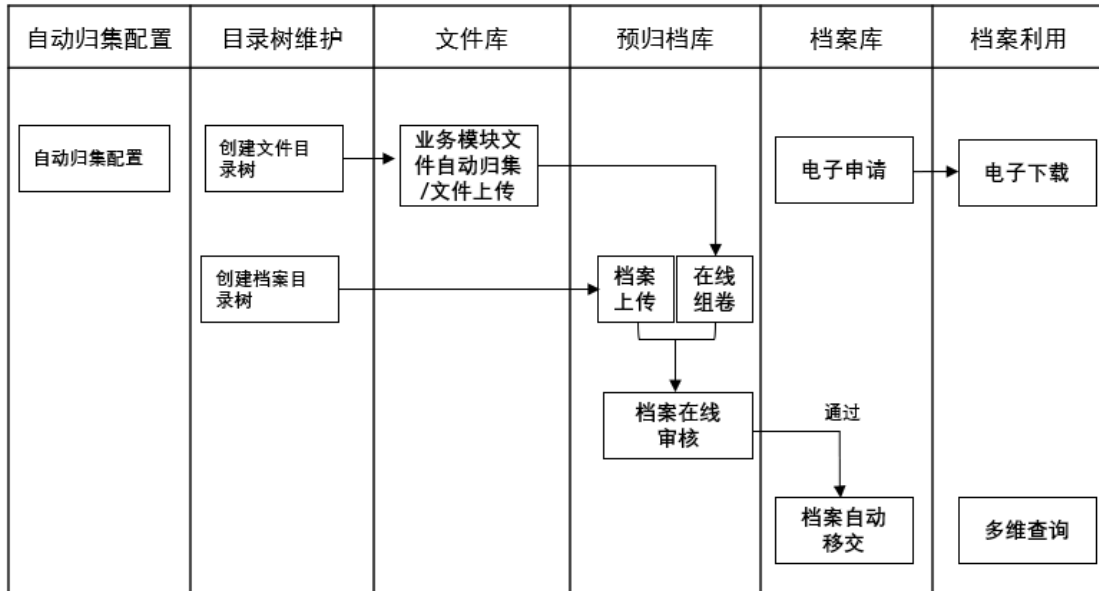


图 5.1.1-1 数字化档案管理主要业务流程图

通过将轨道交通设计、施工及运维阶段档案与三维数字化模型相关联，并集成传统的档案管理系统，实现运营期数字化档案的储存及调用。

2) 建筑竣工信息模型单元类型为建造类单元。建筑竣工信息模型所包含的模型单元分级建立,采用嵌套设置。

模型单元分级	模型单元用途
项目级模型单元	承载项目、子项目或局部建筑信息
功能级模型单元	承载完整功能的模块或空间信息
构件级模型单元	承载单一的构件成产品信息
零件级模型单元	承载从属于构配件成产品的组成零件或安装零件信息

图 5.1.1-2 模型单元的分级

3) 建筑竣工信息模型架构包含的最小模型单元应由模型细度等级衡量,模型细度基本等级划分符合下表规定。

规划阶段	设计模型名称	等级代号	包含的最小模型单元
设计方案审查	方案设计模型	LOD100	项目级模型单元
申请规划许可证	初步设计模型	LOD200	功能级模型单元
规划竣工验收	施工图设计模型	LOD300	构件级模型单元

图 5.1.1-3 最小模型单元等级划分

4) 竣工验收交付物采用 BIM+档案系统规定的的数据格式进行交付。交付的格式采用通用数据格式, 以及经过格式转换的电子数据, 同步提交该数据的原生文件格式的版本。电子数据成果的表达方式宜包括三维数字化信息模型、三维数据、文本、图像、声音、视频等。

交付成果	交付类型	交付格式
模型数据	三维数字化信息模型	.RVT、.NWD、.IFC、.FBX 等
	三维数据	.3DS、.MAX、.DXF、.OBJ 等
工程图纸	图纸	PDF、DWG 等
其他文件	文本	.TXT、.PDF、.DOC、.WPS 等
	图像	.PNG、.JPG、.GIF、.BMP、.TIF 等
	声音	.MP3、.WAV 等
	视频	.MP4、.AVI、.RMVB 等

图 5.1.1-4 三维数字化交付内容

5) 项目命名

建筑竣工信息模型及其交付物的命名应简明且易于辨识, 电子文件夹的命名宜由项目简称、分区或系统、设计阶段、文件夹类型和描述依次组成。

层级	名称
一级目录	工程(项目)名称
二级目录	子项或分区名称
三级目录	阶段名称
四级目录	专业目录
五级目录	自定义(日期、序号等)

图 5.1.1-5 文件夹目录层级关系表

6) 建筑竣工信息模型文件命名

建筑竣工信息模型文件名称宜由项目名称、所处阶段、专业属性、日期和文件扩展名组成。

项目名称	子项或区域名称	阶段	专业	日期	文件拓展名
XX 博物馆	主体结构	方案阶段	建筑	20180301

图 5.1.1-6 建筑竣工信息模型文件命名

5.1.2 技术亮点

1) 将文件或档案关联至 BIM 模型中，可对文件或档案进行可视化管理，直观的从模型构件查询档案；



图 5.1.2-1 数字档案查询

2) 集成建设期及运营期所有数字化档案，档案信息完整，可实现多维度信息查询，且可追溯；



图 5.1.2-2 查看设备数字档案

3) 在自动归集管理中配置需要流转的表单去向，在表单完成流程审批后自动生成相关文件进入文件管理中，供档案归档使用。

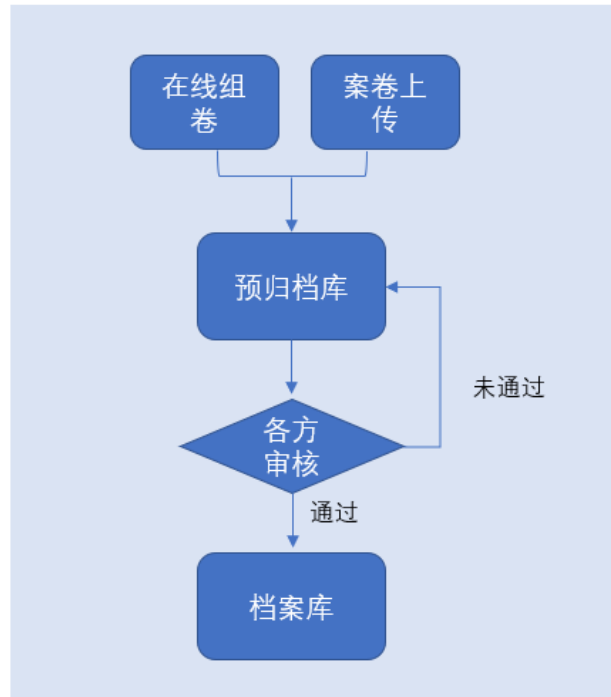


图 5.1.2-3 归档流程

4) 运用现代信息技术对数字档案信息进行采集、加工、存储、管理，并通过各种网络平台提供公共档案信息服务和集成管理系统。

5) 智慧档案馆:根据现实中档案馆 1:1 还原布局,并可视化的对档案进行搜索。无缝集成电子政务平台的数据,实现政务信息的快速归档。同时,本体与虚拟档案馆之间数据流双向流通,具备互操作性,有效反映库房各种业务过程。



数据同步

本地文件与云端自动同步，云端数据可实时备份到本地电脑使用。



文件在线浏览

不需要安装任何专业软件即可通过平台进行几十种专业格式在线浏览。



模型集成浏览

可以将支持多专业模型在线集成浏览，可自由查看构建信息、简单漫游等。



移动化办公

与云端数据同步，可随时随地通过手机端进行流程处理和文档查看



文档、模型标注

在线直接对文档和模型任意部位添加标注，实现可视化交流，方便内容讨论。



文件版本管理

更新图纸模型文件后，自动与上一版本对比，提高审核效率。

图 5.1.2-4 平台主要功能

5.1.3 应用成果

5.1.3.1 数字化文档管理

数字化文档管理技术主要研究了数字化文档的静态文件存储服务、版本控制、流程控制与记录、三维模型轻量化发布等基础服务和技术，实现数字化档案的多维度档案查询、文档在线浏览、文件操作、文件审核等内容。

在建设项目档案的生态环境下，电子文件作为基本的传输单位，可以实现档案信息资源在建设项目全过程的快速流动和格式转换。以计算机技术和系统的应用作为辅助，促进了建设项目业务流程与档案流程一体化管理信息系统的普及和运用。对建设项目在立项审批、设计施工、监理监管、竣工验收及使用管理等建设过程中形成的、具有保存价值的文字资料、图表、声像文件、电子文件等不同载体形式的原始历史记录等在档案工作在建设活动过程中直接形成的原始业务数据进行数字化管理。建设以数据资源、电子文件为依托，通过各种类型的检索、集成和整合，可以系统、科学地管理整个工程建设项目各个阶段基础数据的建设项目文件管理系统，直接反映了建设项目档案管理工作的完整、准确、规范、系统的管理水平。

5.1.3.2 文档多维度查询管理

数字化文档基于轨道交通编码技术标准，结合全信息三维模型，通过轻量化发布技术，实现数字化文档多维度查询的功能。

根据工程数据中心创建的文档与对象编码的关系类型，存储了文档与全信息三维模型的关联关系，实现文档与系统对象、位置对象、功能型号、规格型号、资产对象的关联。系统使用人员通过系统树或者三维对象的拾取，进行数字化文档的关联搜索，实现文档的多入口、可视化的搜索和查询功能，详细获知对象的三维外观和技术属性描述等内容。同时文档也建立与相关对象的相互关系，通过文档与对象的关系可反向查询三维模型。

统一检索模块接收用户通过用户终端输入的检索请求，并根据检索请求在档案管理数据库中查找与检索请求相匹配的目标档案文件，检索请求包括检索关键字；文件服务模块在用户终端、档案管理模块、档案管理云平台 and 档案管理数据库之间实现数据的交互和传递；检索服务模块根据用户操作对档案管理数据库中全部档案文件进行包括索引维护在内的管理；应用配置服务模块根据用户操作对档案管理服务器配置进行管理。

5.1.3.3 文档在线预览管理

数字化文档管理不仅能够通过网页端进行文档搜索，同时也开发支持在网页端的在线预览的功能。本功能考虑采用基于最新的 HTML 5.0 以及相关技术，开发支持各类基本文档类型的实时在线预览功能，实现用户快速浏览。

在线文档预览支持格式包括：office 系列的 doc、docx、xls、xlsx、ppt、pptx，Adobe 的 pdf，AutoCAD 的 dwg，以及文本 txt 和多媒体的 jpg、mp3、mp4 等格式。该功能模块在当下流行的基本硬件配置条件下具备强大的并发能力，能够支持 5 万的用户量访问，百万级的日浏览量，以及 150 个文档/秒的上传并发和 1200 个文档/秒的预览并发，每个文档转换到预览模式平均只需 2 秒。

5.1.3.4 文档在线操作管理

数字化文档操作管理主要实现文件上传与下载功能，首要考虑的是定义文档类型，在轨道交通领域中，文档类型众多。本项目主要考虑以下几种类型：

1)制度规范：制度规范包括了政策法规、国家标准、行业标准、地方标准、企业规则制度、项目规则制度；

2)工程文档：工程文档包括了前期文件、设计文件、监理文件、施工文件、竣工文件，声像文件；

3)运维手册：运维手册主要包括了操作手册、维保手册、维修规程以及作业指导书等。

5)文档在线审核管理

数字化文档在线审核管理主要实现的功能是能够高效筛选和保留可用文档，对文档系统的管理有着重要作用。首要考虑的是审核流程的设置和相关角色权限的设定。通过角色权限的不同，角色所能查阅的文档也将不同。

数字化档案管理云平台在进行档案管理中，档案管理服务器支撑整个档案管理系统运行。档案管理模块可以进行档案管理的服务，用于接收待处理文档。在接收到待处理文档后可以根据预设基准将待处理文档转换成指定标准格式的档案文件。例如，在这个整理过程中，可以增加缺少的信息，删除无用的信息，补充一些不规范的元数据值，按照档案管理的规定，生成一些组合信息、流水号、挂接电子文件等。平台通过各电子模块单元的组合设计，实现了用户终端通过预设接口访问档案管理数据库查找相应的档案文件，而第三方信息平台可以通过预设接口访问档案管理数据库，从而对库中的档案信息进行整理和更新，使得档案管理服务器和档案管理数据库可以连接终端用户及第三方产生管理信息系统，完成互联互通、资源共享的任务。

5.1.3.5 文档在线操作管理

在数字化档案管理云平台上，通过数据库对档案文件进行存储，而第三方信息平台可以通过档案服务管理器访问档案管理数据库，并对数据库中所存储的档案文件进行更新。当某个用户终端想要访问档案管理系统中的档案文件，对档案文件调取和利用时，可以通过档案管理服务器对数据库中的档案文件进行访问，并调取和利用。

第三方信息平台，通过档案管理服务器登录访问档案管理数据库，对数据库中所存储的档案文件进行更新。而某个员工需要对档案进行调取时，可以通过用户终端，如自己的手机通过档案管理服务器登录访问数据库，查看自己所需要的

档案文件。另外可以通过 API 接口或 UI 接口，实现数据的交互。API：应用程序接口（API:Application ProgramInterface），应用程序接口是一组定义、程序及协议的集合，通过 API 接口实现计算机软件之间的相互通信。API 的一个主要功能是提供通用功能集。程序员通过调用 API 函数对应用程序进行开发，可以减轻编程任务。API 同时也是一种中间件，可以为各种不同平台提供数据共享。

5.2 模型轻量化

一直以来，在应用 BIM 技术的过程中，查看、审阅等操作必须通过专业人员，专业软件来实现，使 BIM 成为“重量级”应用技术。在 BIM 总发包项目，BIM 作为统筹施工管理的工具，“重量级”会极大地增加硬件设施成本、人力资源成本，严重影响沟通效率，所以 BIM 的“轻量化”与易用性变得尤为重要。

利用轻量化程序转换“重量级”模型，用户通过网页和移动端即可轻松查看，无须使用专业软件，无须增加学习成本，提高了 BIM 的易用性；通过二维码传输信息，用户扫码便可以随时登录进入平台，增加 BIM 使用的便捷性。

5.2.1 技术路线

随着 BIM 轻量化技术的不断进步，处理方法逐渐成熟，综合来看主要分为几何算法优化、文件格式优化、数据优化、渲染优化 4 种优化方向。

（1）几何算法优化主要有边折叠算法及其变种方法，通过优化三角面片数与顶点数，减小数据体量的同时减轻渲染压力，达到轻量化的目的。

（2）文件格式优化包括数据剔重、数据分组、空间索引等，数据剔重即将重复出现在文件格式中的数据进行分类处理，结合数据分组操作，方便数据在各个组内的压缩和解压缩。

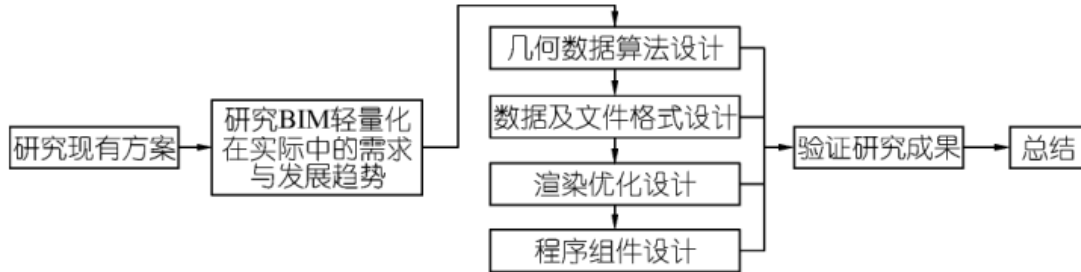
（3）数据优化常见的方法有数据压缩、数据分解等。数据压缩需要有相应的压缩及解压缩算法支撑，

部分厂商在压缩过程中还会对数据进行加密操作。数据分解关键在于对数据进行细节层次（LOD）处理。

（4）渲染优化主要思路即为遮挡剔除和批次绘制，当视图中一些构件物体距离视点较远，其像素投射在屏幕上的数量小于一个阈值时，将其从内存中剔除，同时视野外的物体数据也不会出现在内存中，以确保流畅的渲染。此外，在 BIM 模型中，并非每个参数都参与到项目当前需求之中，可以根据项目需求剔除系统

不需要的参数，只加载项目需要的数据，使 BIM 模型缩减到流畅渲染的程度。

目前 BIM 专业模型轻量化的方法多种多样，如何快捷有效地将大规模的 BIM 模型数据可视化地导入与展示仍有待深入研究，在现有的研究上转化为可以推动 BIM 实际应用的成果是本次研究的主要目的。具体的成果方案设计思路如图所示。



5.2.1-1 研究路线

5.2.2 技术亮点

(1) 几何简化的轻量化方法在各模型的应用中优化稳定，不会因模型专业、数据量大小不同改变优化效率；

(2) 渲染优化的轻量化方法对不同模型在平台上的显示效果均有提升，其中不同专业模型中相同渲染属性的构件数量越多，渲染优化提升效率越高；

(3) 文件格式及数据结构设计支持打开多源异构的不同专业模型，大体量模型内相同纹理数据的压缩，实现了减少资源传输量，提高了模型加载效率。

5.2.3 轻量化技术要点

5.2.3.1 分页细节层次技术

方法的选择需要从多源异构的数据汇聚与模型整合的项目需求出发，将多种来源的不同格式模型数据、不同专业的工程模型通过 IFC 解析整合到统一格式文件中；同时将岩土、钢结构、混凝土等工程相关计算模型经过解析重构，整合至平台文件中。因此，在轻量化方法的选择中，需要有多方面的考量。

根据平台需求，对模型文件格式进行设计，使其适用于多源异构的模型数据汇聚。将海量的数据整合至文件中后对文件轻量化，而文件的轻量化方法虽然实现了文件大小及文件内数据的轻量化，使模型文件加载速度更快、传输及存储效率更高，但并不能解决大体量模型在审阅时遇到的显示帧数较低的问题。此时图形相关算法设计尤为重要，将大体量模型加入至平台中进行操作时，渲染优化可以使平台操作时保持较高的帧数，有更好的操作体验。

渲染中，剔除操作对于减少渲染绘制图元数量有很大作用，同时 BIM 模型十分适用于批次绘制方法，原因在于 BIM 模型往往有大量渲染信息相同的图元，能够同时提交用于渲染。一般两个步骤并不能同时进行，正常的流程必须为先进行剔除，后将剔除后的图元提交至绘制操作，在实际应用中该流程对显示帧率有较大影响。因此本文从实际出发，考虑到 BIM 模型对实时动态渲染最新数据的需求不高，针对性地设计了剔除与绘制多线程方法，显著优化了显示帧数。

BIM 模型通过几何简化的轻量化方法，可得到一个三角面片数量远小于原始模型的新模型，面片数据量得到极大的缩减，渲染速度得到很大的提升，但新模型比原始模型精细程度有所降低，有时会出现几何特征发生改变的情况。

分页细节层次 (pagedlod) 用于将场景中的物体创建为多个显示层次，可根据观察视点与物体的距离选择应显示的图像节点或根据模型节点占据像素大小控制节点显示，达到减少渲染压力提高显示帧率的效果。其优点在于不显示的节点小于一定像素后对模型的审阅造成的影响并不明显，相比于对渲染效率的提升，pagedlod 技术可以视为一个轻量化方法中一个很好的选择。分页细节层次 (pagedlod) 方法与几何简化方法各有优劣。本文根据使用条件设计了两者结合的轻量化方法。思路为：当视点距离模型较远时，使用几何简化后的新模型，视觉上与原始模型并无差距；当模型构件占据的像素增多时，使用未经几何简化的原模型，使模型原有细节全面展现，此时因视口范围内面片数较少，渲染效率依然能得到保证。

5.2.3.2 针对几何数据的算法设计

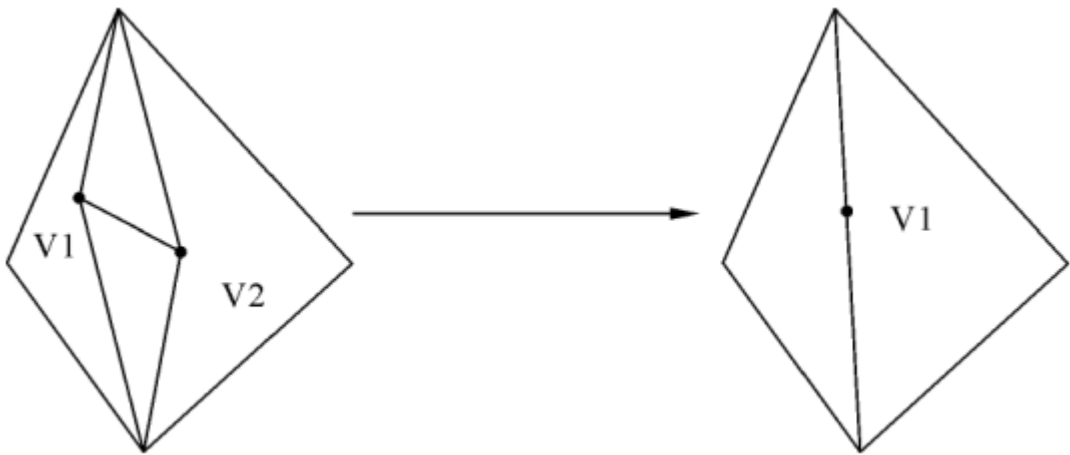
何数据转换的方法一般基于参数化几何描述和三角化几何描述两种处理方法。前者使用多个数学参数描述一个几何体，如圆柱体可以使用底面坐标、底面半径加上圆柱高度 3 个参数，能够将单个物体做到最优简化；后者则是使用多个三角面片描述一个几何体，平面与曲面均可以被有限个三角面片拟合，模型的精度随着三角面片的数量增多而增加，随着三角面片数量增加模型的体量也会有明显增加。根据数据结构设计，文件中不保存参数化信息，因此几何优化算法主要针对于三角化几何描述的情形进行优化。

三角化几何描述可以通过尽量不改变模型外观的情况下尽量减少三角面片数的思路进行优化。常使用的方法有边折叠算法，每次简化可以减少模型的两个

面片和一条边,可以生成连续的细节层次,并且有着相应的处理纹理数据的算法。具体的算法设计为对模型的每一条边计算得出一个固定的损失值,在算法流程中通过不断地迭代,每一次将模型中损失值最小的边移除并折叠后,重新计算现有各个边新的损失值,迭代至达到给定的简化程度为止。几何简化算法设计需满足如下要求:

- (1) BIM 模型数据经过优化后,不影响模型信息的审阅。
- (2) BIM 模型在经过简化后不会丢失重要的几何特征。
- (3) 平台可根据模型大小及渲染效率判断是否需要几何数据进行优化。

基于该平台对 BIM 模型数据的要求,通过对采样率和最大误差等参数进行调试,对不同体量和精细程度的模型采用不同程度的简化,优化误差算法,使用改进的边折叠算法,尽量避免简化过程中的几何特征丢失情况。



5.2.3.2-1 边折叠算法

5.2.3.3 文件格式数据结构及设计

根据该平台需要,文件格式设计应满足以下需求:

- (1) 文件数据应尽量不冗余,删除重复的几何及属性数据。
- (2) 文件具有可扩展性,允许增加新的异构数据来源。
- (3) 文件的索引管理清晰,便于查询多源异构数据的文件信息。
- (4) 文件格式的读取与写入性能应考虑可视化性能,方便导入、打开与保存。

文件格式的设计依托于数据库机制,使用数据库作为数据的存储方式,能够实现多源异构模型文件的节点、模型、属性及材质等数据信息的索引管理,并且

能兼容 json 文件，存储项目信息、工程配置、过程记录等信息。利用数据库机制，文件具有很强的可扩展性，方便多源异构数据的导入与导出。数据结构的设计依托于不同的模型数据要求，多源异构的数据信息要求数据结构支持多样化。

数据结构的设计分为以下 3 点：

(1) 逻辑结构设计。继承 BIM 模型数据的逻辑结构设计，以树结构为主要逻辑结构，建立以构件 id 为索引的多个数据表，包含空间位置数据表、纹理信息数据表、属性数据表等，从而清晰存储管理多源异构模型数据。纹理数据以哈希值为索引，相同的纹理只存储一次，将纹理数据量显著压缩，实现了文件数据量的缩小。

(2) 物理结构设计。物理数据结构设计主要利用已确定的逻辑数据结构，以及在实际使用中对数据的使用要求选择合适的存储方式。BIM 数据文件作为可传输的集中存储方式，便于对 BIM 数据在软件中的读取，选择的存储结构为顺序存储结构，方便对数据进行检索遍历。

(3) 数据结构与程序关联设计。根据软件需求，设定各类信息对应增删改查功能权限，从而保护数据安全性。

平台设计的数据结构具备存储管理“时间+空间+属性+符号”信息，继承 BIM 数据的体系结构、几何、参数、材质、颜色、编码及属性信息，支持存储多个虚拟维度的空间属性数据，支持自定义调整属性层级、多个属性组织维度。

5.2.3.4 渲染优化设计

渲染优化的目标是能够流畅地实时绘制 BIM 模型，使之能达到绘制帧率不低于 30 帧 / s，但由于 BIM 数据体量一般都较大，模型三角面片数量动辄上千万，若不对渲染方式进行优化，解决渲染过程中的内存开销过大问题，则正常电脑很难满足实时绘制要求。本文采用 pagedlod 技术完成对渲染优化设计。

LOD 其算法步骤如下：

(1) 设定的像素模式（计算包围球在屏幕上占有的像素大小）。

(2) 比较范围列表（保存所有子节点的范围）的尺寸与子节点数量，如果小于子节点数量就让子节点数量与范围列表的数量相等。

(3) 遍历所有子节点，在范围内的就显示，不显示的节点将不会被渲染。

pagedlod 继承了 LOD，其遍历器比 LOD 复杂得多，其算法步骤如下：

(1) 如果遍历器类型是剔除遍历, 则把该遍历器上一帧遍历完成后的帧数记录下来。

(2) 对于每一个子节点计算其像素, 跟 LOD 的相同。

(3) 循环范围列表 (该列表保存了所有子节点的范围), 判断刚才计算到的像素是否在某个范围列表里面, 如果范围链的尺寸没有超过当前子节点的数量就显示。

(4) 加载之前消失的节点。

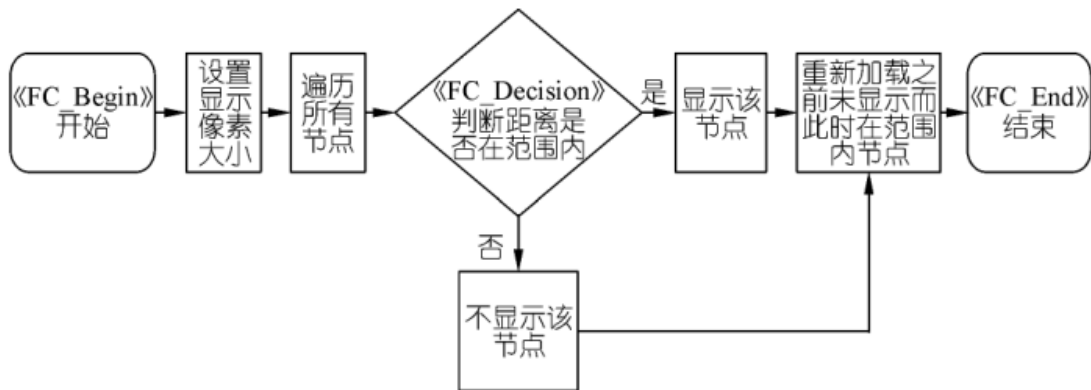


图 5.2.3.4-1 PageLod 设计流程

此外, 当模型数据体量巨大, 如果所有的构件都被绘制会浪费大量的系统资源, 例如建筑物内部的机电设备等, 运用遮挡剔除和批次绘制技术, 可以大幅度提升整体渲染效率。遮挡剔除技术可以剔除场景当前视口中被遮挡的物体, 用八叉树算法对所绘制的图元进行空间索引, 计算当前视口下所要剔除的图元, 以此做到只绘制最外层的物体, 从而提升渲染效率。

批量绘制技术即当一个物体绘制到屏幕上时便需要发起一次绘制命令, 需要耗费大量的 CPU 资源来调用渲染管线。通过将模型物体合并到一次的绘制中, 可以减少大量的绘制命令调用次数, 能够节省 CPU 资源, 从而提升渲染流畅度。批量绘制技术往往会涉及到静态批量合并或者动态批量合并两种策略, 前者是通过预先的处理以达到合并目的, 后者则是在每一帧的过程中进行动态合并, 两者可以分开单独使用, 也可以两种方法结合使用。

基于双线程的剔除与渲染

根据渲染的需求, 提出并设计了双线程剔除绘制渲染方法。在渲染一帧的步骤中, 将剔除操作与绘制操作分别在不同线程中完成, 剔除操作完成后, 会将剔

除后的绘制数据存放在后缓存中，绘制操作

线程则会从前缓存中提取数据进行绘制。在下一次剔除操作完成后，将新的剔除后绘制数据存放在后缓存中，后缓存中的数据则会转移至前缓存中供绘制线程调用。至此，剔除操作与绘制操作分开，剔除操作所耗费的时间在渲染一帧的过程中为零，渲染效率只依赖于绘制操作线程所耗费的时间。

动态预处理后续批次渲染数据设计

在剔除操作完成后，需要将渲染数据提交给渲染管线进行绘制操作，数据未经处理时，每一个物体均需要进行一次绘制操作，场景完成一帧的显示需要重复每一个物体的绘制操作。

因此剔除操作完成后的数据可以进行批次合并操作，将数据中拥有相同渲染状态的物体进行合并，处理

后的数据会存入缓存中供绘制操作线程调用。该操作通过减少绘制命令调用次数，显著减少了渲染一帧时绘制操作线程所耗费的时间，以此提升渲染效率。该方法根据 BIM 模型中信息，对场景图元中渲染状态数据相同的图元三角网格数据进行批量合并并传递给显卡。

5.2.3.5 程序组件设计

(1) 以各类文件类型为基础的插件扩展，将文件类型写为 osgDB 所兼容格式并加载文件到自定义工程

文件中。①工程文件通过实现 osg-DB: Archive 接口，将平台自主设计的工程文件信息写为 osgDB 所兼容格式，并能够读写原文件材质、节点、高程、贴图、渲染、描述等多种信息。②多源异构文件类型通过实现 osg-DB: Read Writer 接口，实现对各种类型文件的读取至场景中的功能。

(2) 自定义插件。自主设计 Base File Plugin 文件读取插件基类，各类文件读取通过实现该基类完成对多源异构数据文件的读取支持。

5.2.4 轻量化系统配置

5.2.4.1 部署服务器系统

IIS 是一种 Web 服务组件，本工法采用轻量化引擎与 BIM 系统安装在同一服务器的模式，服务器操作系统为 Windows Server 2012。SQL 为结构化查询语

言，为了将数据库中的数据容易发布到 Web 页面，安装 Microsoft 的关系数据库管理系统 SQL Server，增加对 Web 技术的支持。

5.2.4.2 安装轻量化处理程序

首先，安装引擎运行环境，包括 ASP.NETMVC4 与 VC 运行库 vcredist_x64.exe、vcredist_x86.exe。其次安装轻量化引擎工具包，本工法使用的是 WebGL 轻量化 BIM 引擎，解压 ModelAirToolInit.rar，运行 Setup.Bat。然后设置 BIM 应用系统，轻量化 BIM 引擎基于多家 BIM 软件开发，使用不同格式的模型，需要安装相应的 BIM 软件。

5.2.4.3 发布网络站点

通过 IIS 管理器添加 Demo 程序站点，将轻量化引擎 Demo 发布成可访问的站点，名称与端口可自定义，物理路径为“Net Bim Engine Demo”所在路径。将所获取的 BIM 轻量化引擎授权文件替换 Demo 程序中原有的授权文件，使 Demo 程序定制为本系统所用，确保程序能够正常进行轻量化 BIM 模型操作。

5.2.5 轻量化技术应用

下述案例在自主研发的 BIM 仿真系统平台上完成对多种专业的 BIM 模型进行测试，使用多种不同施工专业的 BIM 模型于平台中进行轻量化展示，并与同个模型不进行轻量化处理的结果进行对比验证。案例中所用于验证的模型分别涉及地质专业、机电专业、土建专业及电气专业，测试结果如表所列。

BIM 各专业模型轻量化前后数据对比

BIM 模型	文件大小 / MB	模型面片数 / 个	优化后三角面片数 / 个	优化前显示帧率 / 帧	优化后帧率 / 帧	优化前模型加载速度 / s	优化后模型加载速度 / s
地质专业模型	133	1621578	565154	80	104	0.1	0.1
机电专业模型	400	5054135	1605245	21	76	154	21
土建专业模型	340	6206545	2002412	23	80	120	25
电气专业模型	2400	29541248	9512434	12	60	240	12

(1) 地质模型轻量化前后对比验证。地质专业模型体量较小，模型的三角面片数经过几何简化后至原有面片数 1/3 左右，帧率显示与加载速度优化不明显，原因在于原模型数据量较小，渲染与加载效率主要受限于硬件。

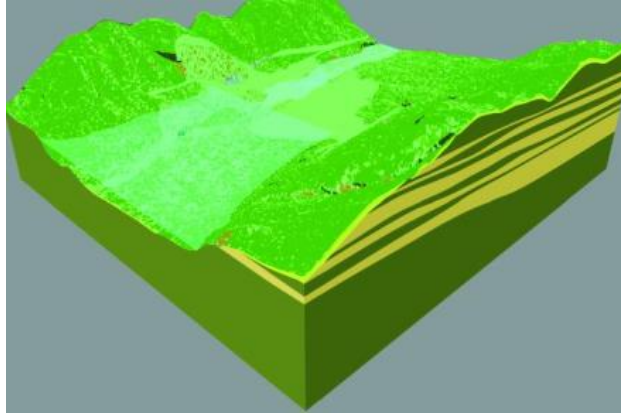


图 5.2.5-1 模型在平台中展示

(2) 机电专业与土建专业模型轻量化前后对比验证。机电专业使用某站机电总装模型，土建专业使用某站总装模型，两者数据体量类似，轻量化后显示效率效果相近，三角面片优化至 1/3 左右时，加载速度均有 4 倍以上提升，模型展示帧率提升幅度较大。

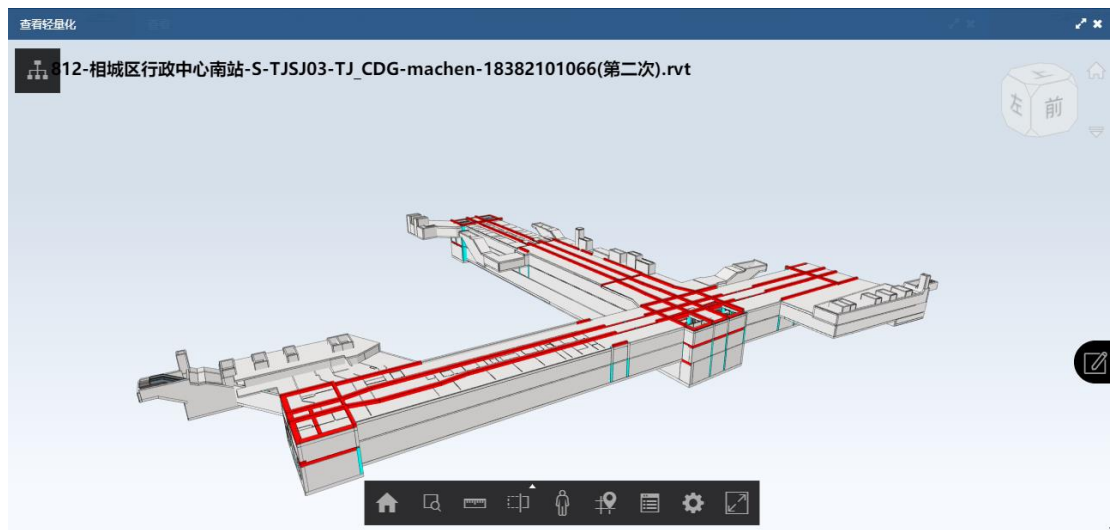


图 5.2.5-2 车站结构轻量化模型

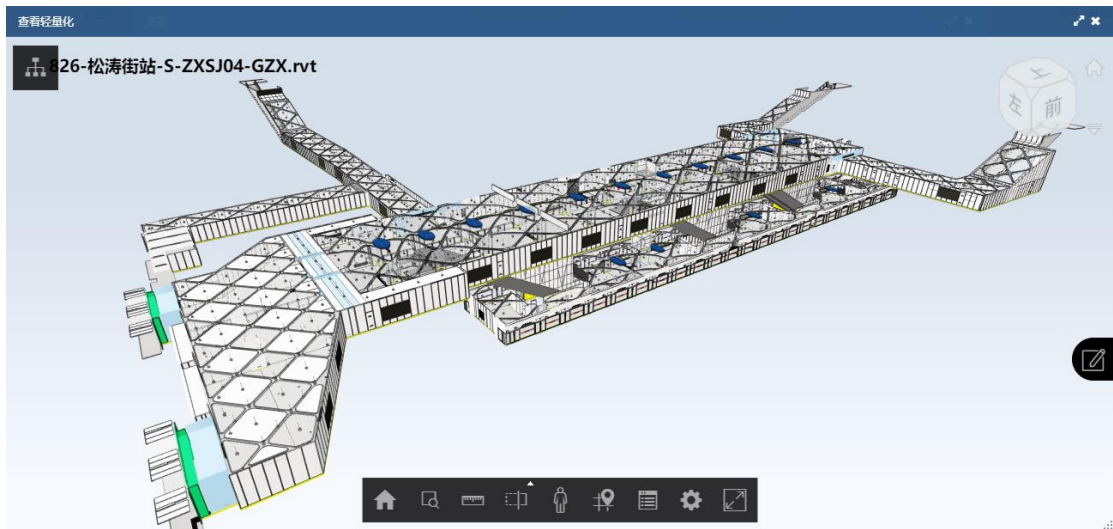


图 5.2.5-3 车站装修轻量化模型

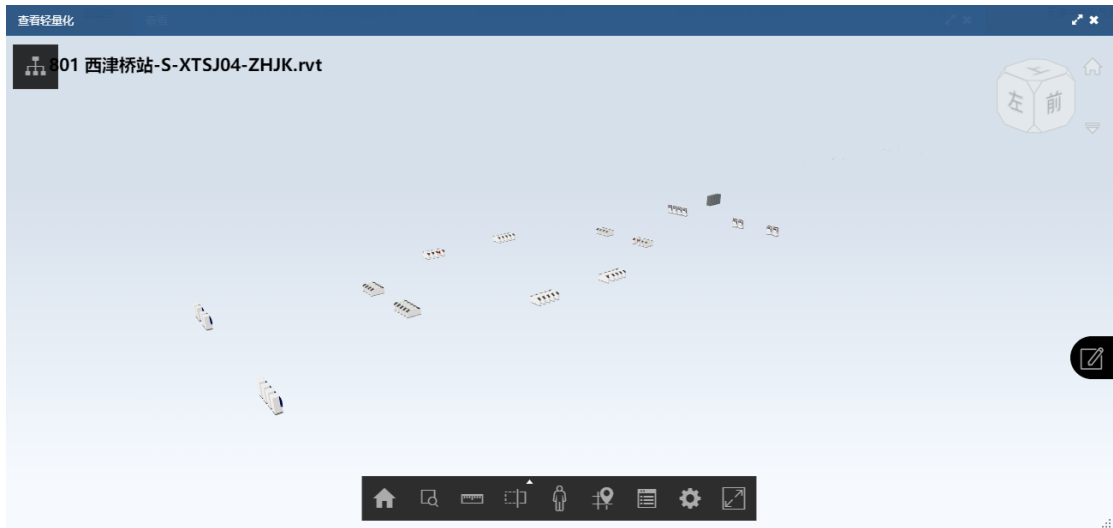


图 5.2.5-4 车站 FAS/BAS 专业轻量化模型

电气专业模型轻量化前后对比验证。电气专业使用 110kV 变电站模型，数据体量远远大于其余模型，经优化后的显示帧率与机电专业、土建专业模型显示帧率差距较小，因电气专业模型中拥有更多相同渲染属性的模型构件，动态预处理过程中将相同渲染属性数据合并提交，提高了显示帧率；加载速度较之于机电专业、土建专业模型加载速度更快，因为其文件数据在保存时，纹理数据存在大量相同数据，相同的纹理只存储一次，文件加载数据量压缩，加载时资源传输量减少。

6 主要成果

6.1 轨道交通 BIM 建设管理应用



图 6.1-1 轨道交通 BIM 全生命周期管理平台架构

(1) 硬件层

包括工程数据存储设备及配套备份容灾设备、网络传输设备、安全防火墙设备等，硬件层实现了以对数字模型及现场工程数据的统一存储管理功能。

(2) 数字化技术标准体系

涵盖数字化应用组织实施管理、数字模型成果、模型编码、数据交付等内容，是三大平台、工程数据中心甚至数字化应用实施的技术依据及保障。

(3) 工程数据中心

工程数据中心是实现三大平台数据存储、共享和流转的基石，用于管理、存储和控制项目相关的信息，为三大平台提供统一的工程信息服务。工程数据中心由主数据库、业务数据库及模型与文档库（ProjectWise）组成。业务数据库负责存储与维护与工程建设管理业务相关的结构化数据；模型库与文档库负责存储、维护与工程建设管理业务相关的非结构化数据（数字模型、图纸、档案报告、图

片、视频等)；主数据库则负责对工程业务数据(结构化和非结构化)的网状逻辑关系的管理与维护。工程数据中心采用国际先进的 RESTful 风格的架构技术编写系统数据服务层,可直接被运行在不同硬件终端的客户端(网页端、移动 APP)访问。

(4) 数字化协同管理平台

我方采用 Revit server 为核心的数字化协同管理平台,提供了项目异地分布式存储、资料版本变更追踪与管理、图纸/模型参考应用关系管理、安全访问控制等功能,为项目各个参与方提供了统一的协同工作平台上,改变传统的分散的交流模式,实现信息的集中存储与访问,从而缩短项目信息交流周期时间,增强了信息的准确性和及时性,提高了各参与方协同工作的效率。

(5) 数字化协同设计平台

以协同平台 Revit server 为纽带,基于“一个平台、一个模型、一个数据架构”的原则,采用 Revit server 通用三维协同设计平台作为某市 6 号线工程的基础设计平台,结合 Revit 系列专业建模软件及我方自主二次开发的专业性定制建模工具软件,形成一整套完善的轨道交通工程数字化设计整体解决方案。本方案满足包括测绘、地质、管网、车站、区间、路桥、房屋建筑在内的全部模型设计工作,全专业模型成果格式统一,无需任何转化即可集成总装,并可接收来自其他主流平台(如 Bentley、SketchUp 等)模型数据,开展多层次的数字化技术一体化应用。

(6) 数字化建设管理平台

数字化建设管理平台内容涵盖数字化门户网站、综合展示、综合管理、设计管理、手持式移动端 APP 等 16 个功能模块,这些功能模块通过数字化门户网站为参建各方提供统一的访问界面。

数字化建设管理平台一方面承接从工程数据中心提供的工程信息服务,例如:经数字化协同设计平台生成的数字模型数据;另一方面,基于数字化建设管理平台的功能模块开展的一系列数字化应用也将实现工程建设关键控制性业务数据(质量、进度、安全、造价等)的采集。平台提供的 RESTful API 标准接口支持跨平台通信,可灵活集成其他信息系统模块,进行功能拓展。而目前市面上其他“数字化平台”提供传统的 API 通常存在编程语言、动态库版本相关性等,

不利于系统集成，从而形成信息孤岛问题。

数字化建设管理平台联同数字化协同建模平台、数字化协同管理平台将为该市城市轨道交通 6 号线工程提供一种全新的“线上”集群项目协同管理模式，它与当前轨道交通工程建设“线下”管理模式相结合，共同解决工程建设过程中各参建方信息沟通不畅、“信息孤岛”问题。

(7) 客户端

本项目数字化建设管理平台支持跨操作系统、多终端类型，实现对数据的展示、管理、分析。

(8) 第三方系统集成

系统预留接口与第三方 OA、ERP、运维系统等进行集成，打通数据通道，避免信息孤岛，提升数据应用价值。

6.2 轨道交通 BIM 全生命周期管理平台成果

6.2.1 轨道交通建设管理平台架构研究

轨道交通数字化建设管理是现场参建各方 BIM 应用协作、数据共享、流程管控、BIM 数据移交、BIM 模型展示、施工信息展示的大型综合 BIM 应用。建管平台的建设综合考虑某市城市轨道交通工程建设需要、轨道集团与建设指挥部各项管理需求，充分借助大数据、物联网、云计算、VR、GIS 等先进技术，开发施工建造核心业务系统模块，充分响应轨道集团建设管理需求。平台支持跨终端访问，包括桌面程序、浏览器、移动终端（IPAD 和手机），利用便携终端等设备，该市城市轨道交通工程各参建方可以随时随地开展基于 BIM 技术的项目管理，及时获取项目现场信息迅速做出决策响应，包括移动式现场信息采集、成果信息发布、审批流程管理等各类移动办公，实现全线项目建设全过程的精细化管控和动态管理、有效控制建设风险、提高工程建设期数字化管控水平和管理能力。

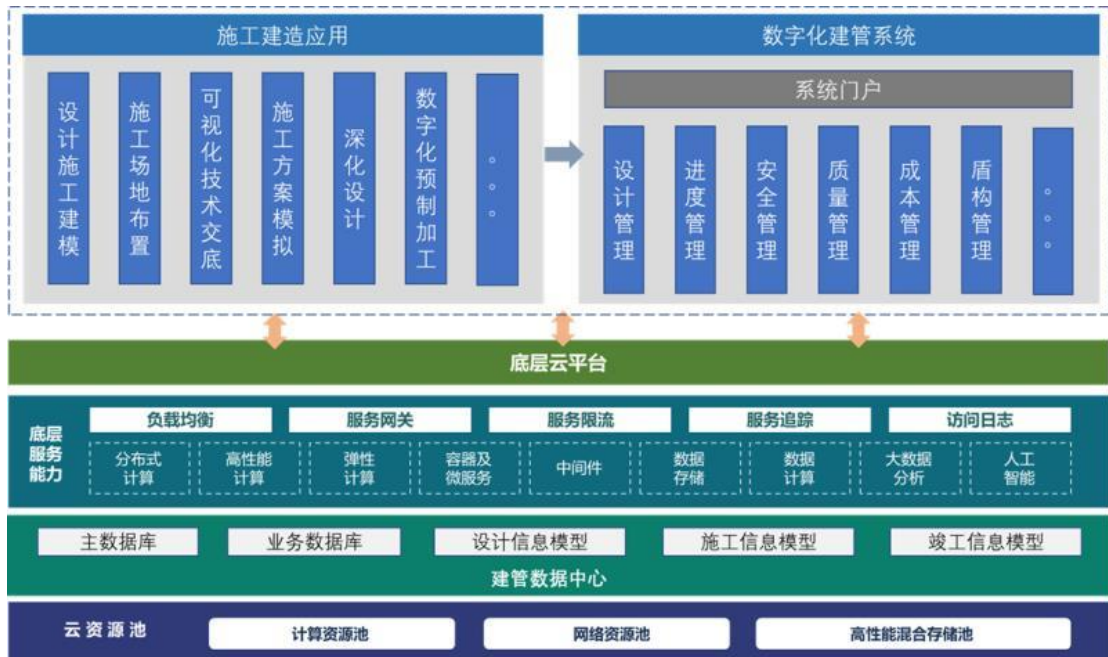


图 6.2.1-1 研究成果总体架构

6.2.1.1 GIS 地图

地铁工程是带状工程，涉及面广，边界条件复杂，项目建设具有区域协调性和系统性，涵盖城市交通、城市规划、道路、结构、桥梁、市政管线等多个专业，工程区的整体外部环境分析对项目的建设的全过程有着重要意义。建设协同管理平台提供二维 GIS 地图、电子沙盘综合展示不同维度的信息浏览方式和建设管理入口，将工程的内部结构与外部环境进行结合，兼顾工程项目的系统性和区域性，帮助工程项目管理人员更准确地把握工程建设管理关键信息。用户可通过 B/S 交互及目录树定位选择方式，对工程管理最小颗粒度（单元工程级），进行交互式访问。

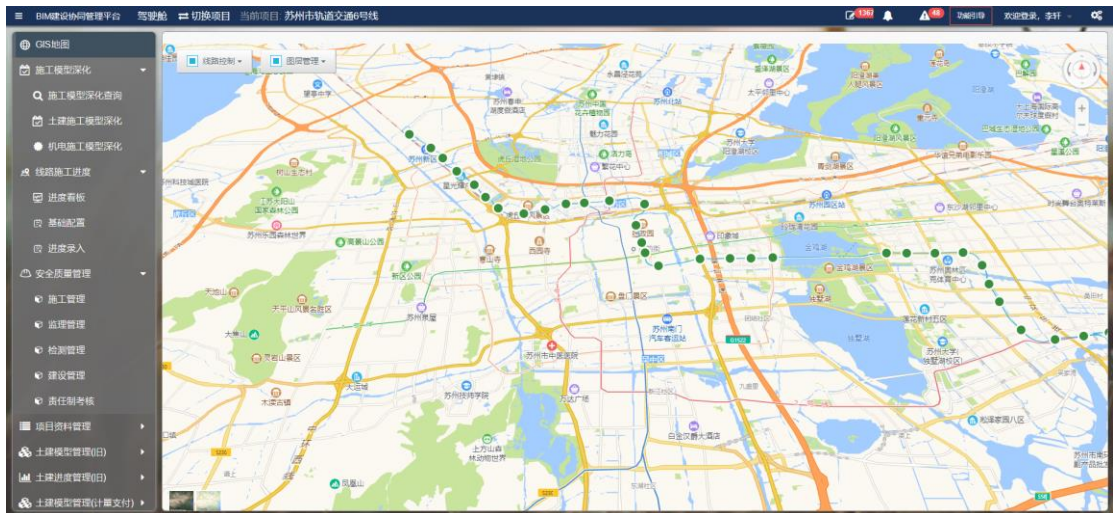


图 6.2.1.1-1 建设管理平台 GIS 地图面板

6.2.1.2 施工模型管理

相对传统二维施工方案制定，基于 BIM 的可视化模型模拟施工建造过程，更好地展示施工方案，优化工期，降低施工难度。同时实现可视化协同管理，实现施工质量，成本及进度同步。施工模型管理主要包括施工模型深化查询、土建施工模型深化、机电施工模型深化三个子模块，子模块协同作用，可有效实现建筑、结构、通风、管线综合等专业的信息互通并碰撞检查。

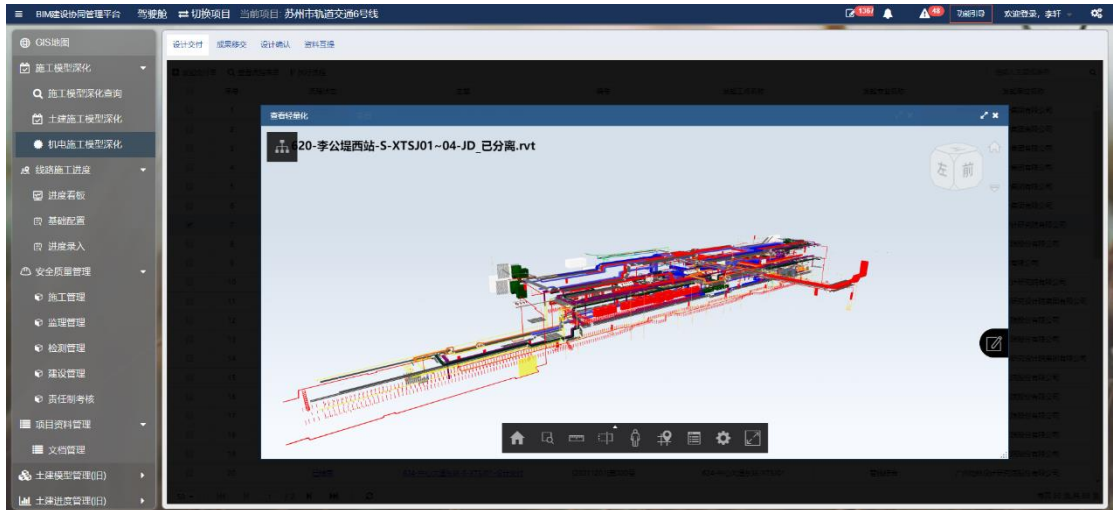


图 6.2.1.2-1 管线综合轻量化模型

6.2.1.3 安全质量管理

(1) 质量管理

质量管理系统是基于质量管理体系,通过信息化与数字化手段规范事前质量巡检、事中过程控制、事后质量验评工作,实现质量闭环管理,并以分部分项编码为纽带,将全过程质量文档自动关联至 BIM 模型,建立工程质量资料管理库,支持构件级别的质量过程追溯。

(2) 安全管理

安全管理是落实“防风险,除隐患,遏事故”的关键,坚持“安全第一、预防为主”的方针,对建设期一切人、物、环境的状态管理与控制,以监控、监测、巡检数据为基础,通过统一入口、多维度展示和多样化输入等手段,保证工程建设活动严格受到监管,避免潜在安全隐患的扩大化与意外事故的发生。

6.2.1.4 线路进度管理模块

进度管理模块通过将施工信息模型与工程计划进度及实际施工进度相结合,形象对比分析工程建设的计划进度和实际进度之间的差异性,通过 BIM 模型、进度数据、形象图纸等多种方式展示工程建设的形象进度,全面提升轨道交通工程施工进度管理的精确程度和可视化能力,为工程进度管理决策的智能化、科学化提供依据。

6.2.1.5 现场问题管理

安全管理主要包括“安全隐患配置→安全隐患定位→安全隐患整改”三个流程,用于在工程建设全过程中,对安全因素进行持续、规范化管理,实现精细化安全管控,最大程度上降低事故风险,保障施工安全。

6.2.1.6 项目资料管理

资料管理系统是一款集文档数字化和文档多维度查询为一体的文档管理系统。提供资料智能检索查询、资料手动入库、各业务系统文档资料的自动入库、资料预归档与归档功能。通过规范各类用户对资料的操作权限和管理流程,有效提升了资料管理效率。

6.2.2 轨道交通设计管理平台架构研究

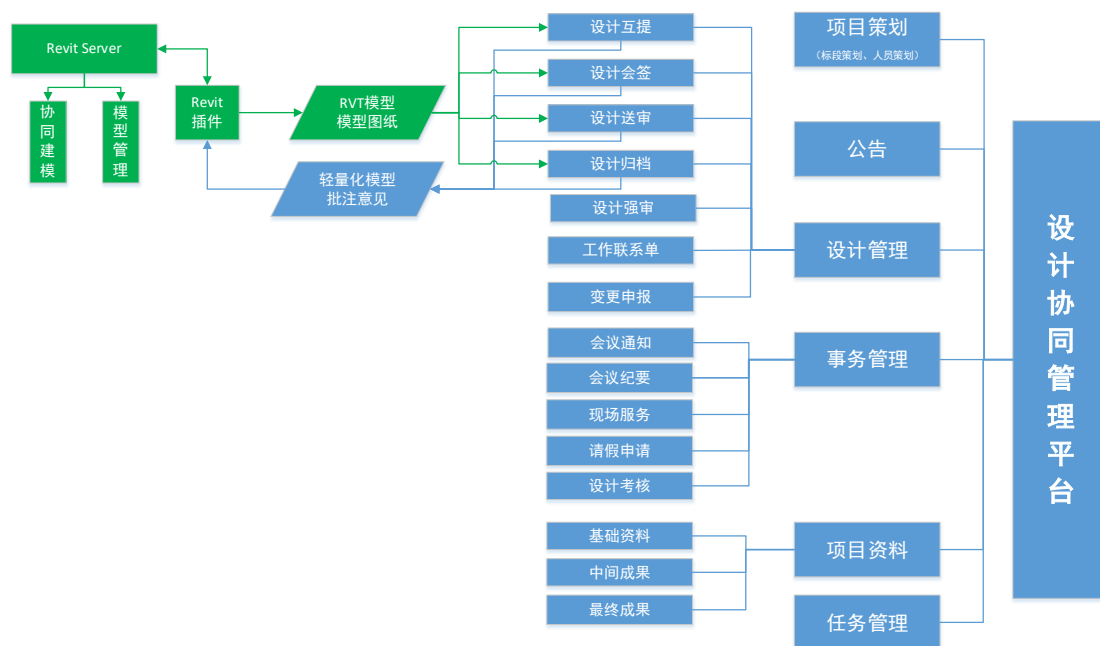


图 6.2.2-1 设计管理协同平台功能架构

6.2.2.1 设计管理

设计管理包括设计互提、设计会签、设计送审、设计归档四个模块，通过 BIM 技术及协同设计管理平台，可实现各专业信息互通、各单位信息互通、线上备案等功能，提升工作效率，优化责任划分。

6.2.2.2 资料管理

资料管理系统是一款集文档数字化和文档多维度查询为一体的文档管理系统。提供资料智能检索查询、资料手动入库、各业务系统文档资料的自动入库、资料预归档与归档功能。通过规范各类用户对资料的操作权限和管理流程，有效提升了资料管理效率。

6.2.2.3 事务管理

事务管理细分为进度申报、会议纪要、请假申请、会议通知、现场服务、设计考核 6 个子模块。实现设计进度申报、会议通知审批和分发确认、会议纪要审核及分发、设计人员现场提交服务表单、设计人员请假申请发起及批准、对设计单位考核等功能信息化、流程标准化。

7 结论与效益展望

7.1 结论

本研究针对浙江省城市轨道交通发展快、体量大、难管理的特点，以 BIM 为核心展开，对“可视化协调设计与 VR 研究、基于 BIM+IoT 技术的智慧工地建设、档案数字化与模型轻量化”三大核心技术进行深入探讨，设计研发轨道交通设计协同平台、轨道交通建设管理协同平台，并投入使用。基于上述工作，得出以下结论：

(1) 基于 BIM+VR 技术，并结合档案数字化及模型轻量化技术，实现设计阶段各专业信息互通，并通过可视化三维模型进行各专业碰撞检查，极大提高设计工作效率；

(2) 以 BIM+物联网技术作为数字化信息手段，对地铁工程施工现场进行监督管理，做到“事前质量巡检”、“事中过程控制”、“事后质量验评”，实现安全质量管理闭环，对施工现场秩序及安全管理手段带来极大提升；

(3) 数字化文档基于轨道交通编码技术标准，结合全信息三维模型，通过轻量化发布技术，实现数字化文档多维度查询的功能，极大提高设计、施工阶段信息交互的效率，并为后续运维阶段“一设备一编码”的管理模式奠定基础；

(4) 基于 3 个主要关键技术，研发设计协同平台及建设管理协同平台，并实现 N 个数字化功能，并结合 GIS 地理信息技术，绘制 GIS 电子地图，在云平台的研发及应用领域取得突破。

7.2 经济效益

(1) 产品层面效益

轨道交通工程 BIM 全生命周期集成管理系统的研究与应用所带来的产品层面的效益主要表现在工期、质量与安全性方面。

① 工期效益

轨道交通工程 BIM 全生命周期集成管理系统的研究与应用可减少工程冲突，减少施工、设计变更，提高工作效率，有效控制项目进度，节约工期，带来良好的工期效益。

② 产品质量效益

轨道交通工程 BIM 全生命周期集成管理系统的研究与应用能避免传统的二维图纸设计中人为的失误。通过三维模型冲突检测,排除设计图纸中的空间碰撞,优化设计图纸及管线排布方案,进而提升整体项目质量与工程质量,为电建集团申报优质工程等奖项带来较大经济效益。

③ 安全性效益

轨道交通工程 BIM 全生命周期集成管理系统的研究与应用可以通过教育交底的可视化使现场人员快速了解现场情况,可以通过资产管理实时掌握安全防护设置与物资信息,可以模拟应急逃生与疏散通道,进而降低安全事故率与伤亡人数,提升安全效益。

(2) 组织层面效益

轨道交通工程 BIM 全生命周期集成管理系统的研究与应用可以为不同层级、不同程度的管理人员提供工程管理工具,支持科学决策。可视化、易理解的三维模型更有利于各项目参与方之间方案的交流与审核,促进项目理解以及各方共识的达成,进而提高轨道交通项目的组织与决策效率。

此外,BIM 技术的应用,可以提升项目人力使用效率,信息流通而带来的沟通合作效率的提升,进而提升项目组织架构。

(3) 管理层面效益

管理层面的效益主要表现为生产效率的提高和项目风险的降低。

生产效率效益

①轨道交通工程 BIM 全生命周期集成管理系统的研究与应用可以通过三维模型的自主检测,排除设计图纸中人为失误,优化设计方案,从而避免工程施工过程中产生的变更与返工,通过返工比例的降低、劳动力的节省、变更次数的降低以及变更成本的节约,提升项目生产效率。

② 项目风险改善效益

轨道交通工程 BIM 全生命周期集成管理系统的研究与应用,可以有效地降低项目实施中的某些不确定性,通过降低项目实施的技术风险、安全风险及资金风险,对项目的风险控制有较明显的改善。

(4) 工程造价层面的效益

轨道交通工程 BIM 全生命周期集成管理系统的研究与应用,在产品层面、组

织层面、管理层面均带来建设成本的缩减。再通过造价层面的应用，可准确对成本进行控制，提高利润空间。

① 工程建设成本预测

可在设计过程中实现量价协同管理，实时进行成本预测，准确判断造价指标。为招投标提供参考依据，掌握利润与风险关系。

② 施工项目管理

在 BIM 5D 模型中，项目实施过程的进度信息与成本信息能同步变化与表现，对于统计成本信息、进度款审核、变更价款审核、工程结算的效率有较大的提升，进而强加轨道交通全过程成本控制，降低工程造价并提升工程造价管理水平。

7.3 社会效益

(1) 企业战略层面的效益

轨道交通工程 BIM 全生命周期应用的研究，可以促进方案合理性、提高工作效率、优化施工目标（成本、进度、质量）控制、提升运维水平、降低轨道交通的建设和运维成本、提高资金利用率，可全面提升电建集团轨道交通板块系统内设计单位、施工单位、投资公司等单位的技术能力、企业管理水平，对全面提升电建集团在轨道交通行业的影响力，形成电建集团轨道交通三维数字化品牌，开拓国内外业务，增强企业竞争力，力争达到国内领先水平，具有重要意义与价值。

(2) 政府监管决策层面的效益

轨道交通 BIM 技术作为一种提升工程管理效率，降低成本的有效手段，可以为政府业主提供全过程、可视化的工程动态，有益于轨道交通的运营、管理与维护，有益于领导层更充分的调配资源，为政府部门进行相关决策创造良好外部输入条件，为充分发挥轨道交通经济性、可靠性，保障地铁公司监管的便捷性、安全性，对提升政府决策的合理性、时效性具有十分重要的意义。

(3) 行业发展层面的效益

轨道交通工程的建设从规划、设计、建设、到运营，是一个庞大、复杂、多行业、多专业的系统工程，专业覆盖多、关系复杂、技术难度大，建设规模大、工期长、参建单位多、施工工艺难等特点也使得工程项目管理的难度较大。本研究成果，基于 BIM 技术，可对轨道交通设计全过程进行专业化的管理和审查，减少变更和返工，确保设计进度及质量；可通过全信息模型整合项目相关的各种信

息，在项目全生命周期过程中进行共享和传递，使工程管理人员对项目信息作出正确理解和高效应对，为参建各方提供协同工作的基础；可以在提高生产效率、节约成本、缩短工期等方面发挥重要作用，进而助力推动轨道交通工程设计、建设、运营项目管理水平的提升，引领轨道交通行业走向高效化、安全化、信息化、便捷化、绿色化与智慧化。

(4) 可持续发展层面的效益

轨道交通工程 BIM 技术的应用，结合各类专业分析模型与工具，可以对轨道交通噪声、通风、照度、遮阳、舒适度、可视度、能耗等进行分析，可结合相关规范，有效保证轨道交通的可持续性。此外在施工阶段，采用基于 BIM 技术的低碳管理模式，建立低碳技术方案的比选方法，可以为不同技术方案的选取提供依据，满足绿色建造的要求，进而满足轨道交通的低碳化、绿色化，保障轨道交通和相关联自然环境的可持续性发展。

(5) 社会发展层面的效益

在“智慧地球”、“智慧城市”、“智慧交通”背景下，BIM 技术与物联网、大数据、云计算、人工智能相结合并应用于轨道交通建设过程中，可对海量轨道交通信息的梳理、过滤、挖掘和利用，即为“智慧轨道交通”。作为“智慧城市”、“智慧轨道交通”基础之一的“智慧型”信息技术，BIM 在其中发挥着至关重要的作用。基于此，轨道交通工程领域 BIM 全生命周期管理系统的研发与应用，可推动轨道交通行业走向“智能化”、“智慧化”，是对“智慧轨道交通”科学技术的研发与应用，是对“智慧决策”、“智慧服务”、“智慧运行”架构的探究与实践，是对以人为本、可持续、综合交通模式的探索与发展，是“智慧交通”与“智慧城市”战略的关键一环，是推动社会向“信息化”、“智慧化”迈进的助力器。

8 参考文献

- [1] GB/T 51212-2016, 建筑信息模型应用统一标准[S].
- [2] GB/T 51269-2017, 建筑信息模型分类和编码标准[S].
- [3] GB/T 51301-2018, 建筑信息模型设计交付标准[S].
- [4] 住房和城乡建设部, 城市轨道交通工程 BIM 应用指南.
- [5] GB 50157-2013, 地铁设计规范[S].
- [6] GB 50490-2009, 城市轨道交通技术规范[S].
- [7] GB/T 51234-2017, 城市轨道交通桥梁设计规范[S].
- [8] GB 50057-2010, 建筑物防雷设计规范[S].
- [9] CECS 31-2006, 钢制电缆桥架工程设计规范[S].
- [10] JIS C3653-1994, 埋入地下的电力电缆敷设方法[S].
- [11] SDJ 26-1989, 发电厂、变电所电缆选择与敷设设计规程[S].
- [12] GB50861-2013, 城市轨道交通工程量计算规范[S].
- [13] GB50856-2013, 通用安装工程工程量计算规范[S].
- [14] GB50854-2013, 房屋建筑与装饰工程量计算规范[S].
- [15] GB50500-2013, 建设工程工程量清单计价规范[S].
- [16] GB 50300-2013, 建筑工程施工质量验收统一标准[S].
- [17] 杨秀仁等著. 城市轨道交通工程 BIM 设计实施基础标准研究.
- [18] 赵顺耐著, AECOSim Building Designer 协同设计管理指南.
- [19] GB50003-2011, 砌体结构设计规范[S].
- [20] GB50011-2010, 建筑抗震设计规范[S].
- [21] GB50203-2011, 砌体结构工程施工质量验收规范[S].
- [22] CECS 420: 2015, 抗震支吊架安装及验收规程[S].
- [23] 03SR417-2, 装配式管道吊挂支架安装图[S].
- [24] GB50981-2014, 建筑机电工程抗震设计规范[S].
- [25] CJT 476-2015, 建筑机电设备抗震支吊架通用技术条件[S].
- [26] 08K132(GJBT-1078), 金属、非金属风管支吊架[S].
- [27] 05R417-1, 室内管道支吊架[S].
- [28] 03S402, 室内管道支架及吊架[S].
- [29] GBT-5135.18-2010, 自动喷水灭火系统-第 18 部分: 消防管道支吊架[S].
- [30] GB 50021-2001 (2009 年版), 岩土工程勘察规范[S].
- [31] GB 50307-2012, 城市轨道交通岩土工程勘察规范[S].
- [32] DB 33/T 1126-2016, 城市轨道交通岩土工程勘察规范[S].
- [33] GB 50909-2014, 城市轨道交通结构抗震设计规范[S].
- [34] GB50104-2010, 建筑制图统一标准[S].
- [35] GBT50001-2010, 房屋建筑制图统一标准[S].
- [36] 16G101-3, 混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图(独立基础、条形基础、筏形基础、桩基础)[S].
- [37] 16G101-1, 混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图(现浇混凝土框架、剪力墙、梁、板)[S].
- [38] GB/T 51235-2017, 建筑信息模型施工应用标准[S].
- [39] JGJ/T 448-2018, 建筑工程设计信息模型制图标准[S].
- [40] GB50116-2013, 火灾自动报警系统设计规范[S].

- [41] 14X505-1, 火灾自动报警系统设计规范[S].
- [42] GB0168, 电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范[S].
- [43] GB50166, 火灾自动报警系统施工及验收规范[S].
- [44] GB50601-2010 建筑物防雷工程施工与质量验收规范.

论文汇总表

序号	论文题目	作者	期刊
1	轨道交通 BIM 技术总体咨询服务模式分析	胡贤国, 郑利龙	建筑技术开发
2	轨道交通中心化协同设计管理系统研究与应用分析	龚铖	运输经理世界
3	基于数字化的城市轨道交通设计管理系统设计与应用	陈嘉升	数字化用户

轨道交通BIM技术总体咨询服务模式分析

胡贤国^{1, 2}, 郑利龙¹

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 杭州 310014;

2. 浙江省智慧轨道交通工程技术研究中心, 杭州 311122)

[摘要] 结合国内城市轨道交通工程 BIM 技术应用现状, 对 BIM 技术应用目前存在的问题进行了分析, 总结了轨道交通 BIM 技术总体服务模式, 并对轨道交通 BIM 技术总体咨询模式内容进行阐述, 希望能为今后类似项目提供借鉴和依据。

[关键词] 轨道交通; BIM 技术; 总体咨询

[中图分类号] U 239.5

[文献标志码] A

[文章编号] 1001-523X (2021) 17-0069-02

Analysis on overall consulting service mode of rail transit BIM Technology

Hu Xian-guo, Zheng Li-long

[Abstract] Combined with application status of BIM technology in domestic urban rail transit engineering, the problems existing in the application of BIM are analyzed, and the overall service mode of BIM in rail transit is summarized, and the content of the overall consultation mode of BIM in rail transit is expounded, hoping to provide reference and basis for similar projects in the future.

[Keywords] rail transit; BIM technology; general consultation

1 国外轨道交通BIM技术应用现状

近年来, 随着各国 BIM 技术政策及标准体系不断完善, BIM 技术应用价值越来越明显, 多个发达国家已将 BIM 技术应用列为工程建设的强制性要求。英国女王地铁线于 2009 年启动, 线路总长 118km。项目建设过程中各专业通过 BIM 技术模型进行协同设计, 减少了各接口之间、各参与方之间的信息遗漏。美国洛杉矶 Westside 地铁延长线长 9km, 新建 7 个地铁站, 工程采用 DB 交付模式, 建设单位将 BIM 技术应用条款纳入承包方合约, 要求以 BIM 技术为核心规划管理整个建造过程。新加坡裕廊线总投资全线 24km, 工程采用 DB 交付模式, BIM 技术应用模式与美国洛杉矶 Westside 地铁模式类似。此外, 法国、德国、荷兰等国家的城市轨道交通项目均较为广泛地将 BIM 技术应用于规划、设计、建造与运维阶段的轨道交通全生命周期管理。

2 国内轨道交通BIM技术应用现状

2.1 国内特点

我国 BIM 技术已经能够显著提升协同效率、减少返工, 但其更多地针对地上大型建筑项目, 在地铁项目中仍不成熟。

(1) 建设周期。相对于国外, 国内工程建设周期普遍偏短。英国女王线计划建设工期 8 年, 新加坡裕廊线计划建设工期 6 年。而国内地铁项目计划建设工期多在 4 年半左右。(2) 资金投入。随着建设单位越来越意识到 BIM 技术的重要性, 由以往的设计施工单位自行投入资金应用 BIM 技术, 到建设单位在招投标中有计划地在整条线各阶段中要求引入 BIM 技术并单列资金, 且不少城市招标单独引入 BIM 技术咨询单位。(3) 建设单位也开始期望逐渐走出认识误区。刚推广时多数建设单位认为 BIM 技术可以解决项目管理中的所有问题; 然而事实并非如此, 目前大多数建设单位均能认识到 BIM 技术仍处于发展过程中, 且意识到 BIM 技术作为工具其作用发挥与项目管理融合 BIM 技术的深度有关。

2.2 应用现状

我国 BIM 技术在轨道交通领域的应用最早出现在港台地区, 其 BIM 技术应用主要在设计阶段建模; 大陆地区如上海、北京、成都等均在不同方面进行不同程度的 BIM 技术应用, 如管线碰撞检测、三维管综设计等。国内轨道交通 BIM 技术应用发展分为 3 个阶段。

(1) 初期 (2013 年之前) 以规划设计应用为主, 工程设计行业从二维走向三维, 但此时 BIM 技术多应用于三维功能性展示。(2) 至 2013 年, 施工企业开始考虑采用 BIM 技术辅助项目建造与施工管理, 但与设计和运维环节的联动较弱。(3) 至 2018 年, 建设单位开始探索 BIM 技术在设计、施工、运维的全过程应用融合。

目前, 国内轨道交通 BIM 技术应用范围覆盖设计、施工、运维全产业链条。建设单位应用 BIM 技术进行工程管理成为趋势, 普遍认可基于 BIM 技术的“管理前置、协调同步、模式统一”协同作用, 把大量问题前置解决, 从而使整个建设过程管理提质增效。

2.3 存在问题

国内轨道交通 BIM 技术应用正在飞速发展, 行业整体在推进 BIM 技术应用过程中表现出明显的正向趋势, 但推进过程中仍存在较多问题。

(1) 标准体系未统一。目前, 国家层面尚未出台轨道交通行业的 BIM 技术统一标准, 各省市轨道交通行业各自出台相应的应用标准, 尚未统一。(2) BIM 技术软件成熟度不高。相较于工民建行业成熟的软件体系, 轨道交通领域缺乏具备行业特色的软件产品。现有 BIM 技术软件功能及效率需大量定制开发才能适应具有中国特色项目管理需求。(3) BIM 技术人才匮乏。由于行业迅速发展, 对 BIM 技术人才的需求不断加大。但由于 BIM 技术人才培养方式匮乏、认证体系不健全等导致目前大部分 BIM 技术人员能力与工作要求不匹配。(4) BIM 技术应用与项目管理脱节。一方面是项目管理中 BIM 技术的投入产出比不易量化; 另一方面则是工期进度压力等导致 BIM 技术应用和项目管理脱节, 从而导致“后 BIM 技术”, 失去了“前 BIM 技术”的意义。

3 轨道交通BIM技术总体服务模式

鉴于轨道交通行业 BIM 技术应用的发展现状, 参建各方 BIM 技术能力参差不齐, 为了在项目实施过程中统一标准、统一要求, BIM 技术总体的角色应运而生。目前轨道交通 BIM 技术总体服务模式主要包括以下 3 种。

(1) BIM 技术总体咨询。BIM 技术咨询方从设计、施工阶段切入, 编制项目 BIM 技术标准体系, 搭建 BIM 技术建管平台, 指导各参建方开展设计、施工一体化技术应用, 以实现建造阶段的 BIM 技术应用统一标准、统一要求、统一管理并最终移交数字资产。如绍兴 1 号线、苏州 6-8 号线和深圳 4 期轨道项目等。(2) BIM 技术应用总包。BIM 技术咨询方承担项目的 BIM 技术设计、施工一体化应用, 包括设计阶段模

收稿日期: 2021-06-17

作者简介: 胡贤国 (1984—), 男, 安徽肥东人, 高级工程师, 主要研究方向为隧道与地下工程设计以及 BIM 技术研究与应用。



轨道交通中心化协同设计管理系统研究与应用分析

文/龚铖

摘要:为了使传统轨道交通设计总包管理模式与数字化技术相结合,通过立足实际,深入分析轨道交通中心设计,开发建立了基于云平台的覆盖全参与方、全流程的轨道交通工程设计管理系统,实现了轨道交通工程设计提资、会签、报审、交底、移交等全过程数字化,为提升轨道交通工程设计质量,解决设计协同难度大、设计周期长问题提供了新的方法。

关键词:数字化;城市轨道交通;设计管理;系统平台

中图分类号:U264.0 **文献标识码:**A

1 前言

近年来,国家、地方对轨道交通工程高质量发展提出了越来越高的要求。与此同时,国际形势、产业革命、新型城镇化对轨道工程交通发展也提出了新要求和新需求;可持续发展的新举措和智慧轨道交通建设的全面铺开将开创轨道交通工程发展的新局面。

2020年4月住房和城乡建设部工程质量安全监管司印发《住房和城乡建设部工程质量安全监管司2020年工作要点》的通知,指出创新监管方式,采用“互联网+监管”手段,推广施工图数字化审查,试点推进BIM审图模式,提高信息化监管能力和审查效率。

技术智能化是轨道交通工程技术发展的主方向。以新一代信息技术与轨道交通工程深度融合为主线,推进轨道交通工程信息化,发展智能系统,建设智慧轨道交通是实现轨道交通工程高质量发展的技术推动力。在此背景下,将传统轨道交通工程设计总包管理模式与数字化技术相结合,提出了总体设计、工点设计、系统设计全参与的分布式协同一体化设计管理模式,开发建立了覆盖全参与方、全流程的轨道交通工程设计管理系统,实现设计管理流程的高效审批、管理留痕。

2 系统目标与定位

2.1 系统目标

轨道交通工程数字化设计管理系统,旨在为轨道交通工程建设单位及设计企业提供工程建设全过程数字化设计管理解决方案,以模型数据校验、图模二维联动以及电子签名与数字档案为技术基础,Web端和移动端同步应用,立足多源数据融合、多方线上协同、多场景集成应用,以高效、便捷、友好的用户体验为根本出发点,以为轨道交通建设企业数字化设计管理提质增效为根本目标,打造综合设计管理系统^[1]。

2.2 系统定位

本系统主要面向轨道交通工程建设方、设计包

方、设计工点方和设计系统方在设计阶段提供有效的数字化管控手段。本系统采用统一的数据管理体系和业务逻辑设计,针对不同角色用户提供不同登录门户和模块功能,实现设计管理业务流程的发起、审批、流转、展示以及各参建方在统一系统的协同办公。通过线上协同模式实现轨道交通工程数字化管控,提供设计资料管理、设计进度管理、报审管理、设计变更管理、施工配合管理、设计档案管理等核心业务管理能力,辅助以模型管理、综合管理、系统管理等通用功能模块,通过平台的业务交流与数据互通机制,实现跨企业跨专业的设计管理协同^[2]。

3 系统功能

轨道交通工程数字化设计管理系统的功能包括设计资料管理、设计进度管理、报审管理、设计变更管理、施工配合管理、设计档案管理、报建管理以及综合办公。建设单位、设计单位在同一界面登录,通过权限管理对用户分配不同的功能模块。轨道交通工程数字化设计管理系统功能架构如图1所示,轨道交通工程数字化设计管理系统功能介绍如表1所示。



图1 轨道交通工程数字化设计管理系统功能架构

基于数字化的城市轨道交通设计管理系统设计与应用

陈嘉升

(中国电建集团华东勘察设计研究院有限公司 浙江 杭州 311122)

【摘要】城市轨道交通项目建设规模大、建设周期长、参建单位多、涉及专业杂,为有效提升设计管理效率,利用数据库和软件开发等数字化手段,搭建城市轨道交通设计管理系统,优化完善系统功能,降低系统使用的学习成本,为参建各方提供一个“一站式工程信息门户”,提升设计协同效率。详细阐述数字化城市轨道交通设计管理系统的模块设计,为解决设计管理痛点提供思路和方法。

【关键词】数字化;城市轨道交通;设计管理;系统平台

引言

城市轨道交通设计是一项系统性工程,涉及诸多专业和设计单位,由业主委托总体总包单位,对各工点、系统等单项设计单位的设计工作实施管理^[1]。目前,业主、总体总包、系统、工点设计单位相互之间以及单位内部之间的协同普遍采用线下或者线上QQ、微信、邮箱等方式沟通协调。由于各平台文件留存性较差,且不具备有效性,大大降低了各单位以及单位内部的设计协同效率^[2]。

城市轨道交通设计管理系统旨在深入研究传统设计总体总包管理模式的数字化改造需求,建立BIM模式下轨道交通工程设计管理体系,开发面向轨道交通建设企业和设计企业的数字化设计管理系统,搭建数字化平台内部业务交流与数据互通机制,为城轨工程设计提供数字化转型、智能升级的创新实践。

一、数字化设计管理系统总体设计

(一) 系统目标

根据传统城市轨道交通设计管理模式,借助工程数字化信息化技术,打造城市轨道交通数字化设计管理系统,为城轨建设单位及设计单位提供工程建设全过程数字化设计管理解决方案。以“BIM+GIS”技术为底层基础,web端和移动端同步应用,立足多源数据融合+多方线上协同+多场景集成应用,以高效、便捷、友好的用户体验为根本出发点,打造综合设计管理系统。

(二) 总体架构

针对系统的用户人群、使用场景、功能需求,系统总体架构如图1所示,包含IaaS层、数据层、服务层、网关层、应用层5层。

IaaS层(基础设施层)建立云平台基础上,以虚拟化、云计算、容器平台等技术,提供各系统按需获取、按需调度的计算资源、存储资源及网络资

源。数据层负责数据存储,包括轨道交通工程元数据、工程业务数据、模型文件、GIS数据、文档文件、物联网数据等。服务层包含基础服务和应用服务,其中基础服务层通过多种服务组合,实现轨道交通工程所需基础服务支撑需求。网关层能够将内部或外部客户端的请求分发至对应服务。应用层支持多设备终端,包含桌面端、浏览器、移动端,并可以为第三方系统提供标准的RESTful API,满足业主方、设计方、生产方、施工方、监理方等项目参建单位通过PC端、移动端、大屏展示以及平板电脑等多种方式达到与系统业务功能交互的目的,提供了一个高效便捷的协同工作环境,提高了项目的整体工作效率、经济效益以及工程安全管控,实现工程项目高性能、高整合、高智能的信息化管理。

二、数字化设计管理系统模块设计

依托我院遍布全国的轨道交通设计业务,通过调研与实践,摸清业主需求,结合设计总体总包管理模式,开展数字化设计管理系统模块设计,主要包含设计总览、配置管理、资料管理、报审管理、进度管理、施工配合、报建管理、变更管理八大功能模块。

(一) 设计总览

针对业主的设计管理可视化需求,将设计总览模块放在首位,借助UI界面设计,一目了然地展现设计任务完成情况。通过设计总览模块,可按月份、工点、专业等分类,实时查看该类目的设计任务完成情况,帮助业主及各参建单位及时了解设计开展情况。

(二) 配置管理

数字化城市轨道交通设计管理系统底层数据支撑离不开设计图册与设计专业。针对各具体项目的实际设计内容,在设计管理伊始,需由总包单位开