

浅谈质子医院机电施工 BIM 解决方案及技术措施

张曾水, 陈豪, 卢亮, 张昌波, 邹发涛
中国建筑第八工程局有限公司, 上海 200122

摘要 : 质子放疗是目前国际尖端前沿的癌症放疗技术, 具有精度高, 效果好, 副作用极小的优点, 是未来癌症放疗的主要趋势之一^[1]。质子医院是提供质子放疗的专业性医院, 在我国处于刚起步状态, 其建设过程与常规医院相比具有特殊的复杂性, 机电及工艺配套系统多, 作业面不规则且空间紧张, 同时需要在大体积屏蔽混凝土中预埋大量的机电管线, 同时须满足防辐射泄漏和精准定位的要求。BIM (Building Information Modeling) 技术由于其成熟的可视化及模拟性等技术优点, 是非常方便和高效的技术工具, 同时现场也需要配合其它辅助技术措施才能使这些施工难点能够顺利解决。本文依托合肥离子医学中心项目, 针对机电安装工程难点的 BIM 解决方案及相关技术措施进行归纳和总结, 为类似医院项目的建设提供参考和借鉴。

关键词 : BIM; 质子医院; 机电施工

A Brief Discussion on BIM Solutions and Technical Measures for Mechanical and Electrical Construction in Proton Therapy Hospitals

Zhang Zengshui, Chen Hao, Lu Liang, Zhang Changbo, Zou Fatao
China Construction Eighth Engineering Division Corp., Ltd. Shanghai 200122

Abstract: Proton radiotherapy is currently the cutting-edge cancer radiotherapy technology in the world, with advantages of high precision, good efficacy, and minimal side effects. It is one of the main trends in cancer radiotherapy in the future^[1]. Proton hospitals are specialized hospitals that provide proton radiotherapy, and they are just emerging in China. Compared with conventional hospitals, their construction process has special complexities, with many mechanical, electrical, and process supporting systems, irregular work surfaces, and tight spaces. At the same time, it is necessary to embed a large number of mechanical and electrical pipelines in large-volume shielded concrete, while meeting the requirements of radiation leakage prevention and precise positioning. BIM (Building Information Modeling) technology, due to its mature technical advantages such as visualization and simulation, is a very convenient and efficient technical tool. However, on-site construction also requires other auxiliary technical measures to smoothly solve these construction difficulties. This article relies on the Hefei Ion Medical Center project to summarize BIM solutions and related technical measures for the difficulties of mechanical and electrical installation engineering, providing reference and lessons for the construction of similar hospital projects.

Keywords: BIM; proton therapy hospital; mechanical and electrical construction

一、项目简介

合肥离子医学中心是合肥综合性国家科学中心七大创新平台之一, 项目引进美国瓦里安先进成熟的 ProBeam 质子治疗系统配套诊疗系统, 建成后每年能够治愈超 2000 名癌症患者。中心总建筑面积约 3.3 万平方米, 主体结构分为非质子区和质子区。非质子区主要包含辅助治疗区, 病房, 公用站房, 办公区等。质子区为放射治疗区, 是本项目的核心区, 主要包含回旋加速器舱室, 治疗舱室以及束流沟等区域。质子区内部的质子设备是医院最重要的核心医疗设备。质子设备的运行需要大量的电气、暖通、气体、消防等外围机电及工艺辅助系统, 这些机电系统的管线需要质子区变化多样和紧张的空间内排布, 同时进入舱室内部时要穿越大体积屏蔽混凝土。为保证这些管线能够合理排布和精准预埋, 本项目采用 BIM 技术进行全方位模拟和优化, 从深化设计、

空间排布、模拟施工安排到模块化安装等给出相应的解决方案, 同时采取了模块化安装、EBIM 云管理技术、三维激光扫描技术和管线成品保护等措施, 保障了整个质子区机电施工顺利实施与推进。

二、系统深化设计

质子区涉及的机电及工艺管线包含: 暖通风管、空调冷热水管、消防管、给排水管、强弱电桥架、技术气体管、医用气体管、气体采样管、电气线管等。其中部分图纸为国外设计机构设计, 需要进行详细审查, 以满足国内规范和使用要求, 例如国外设计中技术氢气管和技术氧气管的间距小于 250mm, 不满足国内规范《氢气安全使用规程》GB4962-2008 的要求^[2], 需要进行调整; 国外设计没有设置技术气体的备用管道, 而实际使用方提出

为了今后检修方便需要增加备用管；国外设计中预埋 JDG 电气线管按照常规管径选择，结合预埋的长度及弯头数量，现场各方提出需要将管径增大以增加穿线通过率等。

三、BIM 空间优化

系统和方案深化设计完成后就需要用 BIM 工具进行空间布局调整和优化。优化的区域主要分为三块，分别是公共走道和各个辅房，舱室内部，大体积混凝土内部的管线预埋。

在公共走道和辅助房间区域高度变化多，形状不规则，需要考虑不同区域的净高要求，以满足净高和设备搬运的需求以及方便各个专业施工队伍的搭接和后期检修。管线排布的原则是，电气桥架走最上方，其次水管，气体管，再下面风管，特殊情况下也可以调整次序或者混合排布，但是水管不能放在桥架上方。有压管道让无压管道，小管让大管，尽量考虑综合支吊架排布等。确定好方案后由 BIM 软件导出施工平面图，并按由上至下的施工顺序安排施工班组进场施工。舱室内部的管线较少，空间较大，主要考虑管线排布的整齐美观，方便操作和维修即可。大体积混凝土内部管线的排布需要满足防辐射要求，即管道在防护用混凝土中不得出现直接穿透，必须拐弯进行，以“U”或“Z”字迷路形式穿越屏蔽体，弯曲次数为 2~3 次，不能超过 4 次。同时管道排布时还需要考虑与钢筋网架的碰撞，需要避开钢筋网的型钢立柱和横梁，尽量少破坏主筋，如的确避不开主筋则需确定加固方案后才能实施。所以这个区域的深化要综合机电各个专业和土建钢筋网架的 BIM 模型，同时结合各方需求进行全方位协调和优化，在满足要求的前提下解决所有碰撞后才能出图并实施。

四、BIM 模拟及施工安排

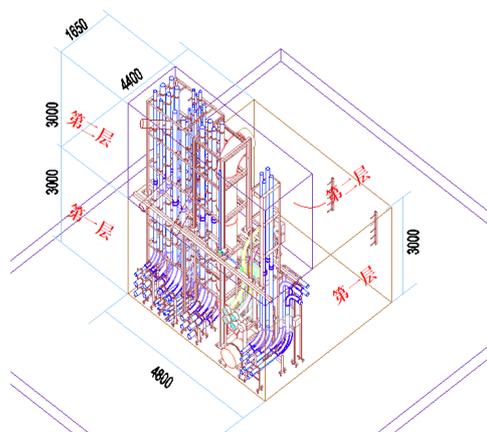
质子区的施工是一个复杂工程，涉及到庞大的钢筋网架设、管线预埋，模板施工、大体积混凝土长时间连续浇筑，精装修施工和明敷管线的安装等。现场采取各个专业相互搭接的流水作业方式。具体要点如下：在质子区垫层完成浇筑后进行大底板的钢筋绑扎，此时在地板上层主筋安装前需要完成预埋机电排水管等的施工。土建地板浇筑完成后开始架设上层钢筋骨架，此时安装队伍应尽快完成模块化吊装作业，并将作业面交给土建作业队伍，其它散装的管线根据钢筋网架的进度和混凝土的分层浇筑方案进行穿插施工，不能超前也不能滞后，钢筋网和机电管线安装好一层就浇筑一层，层层递推依次向上直至完成整个质子区的主体工程。在这个阶段中采用 BIM 4D 模拟施工技术可以很好地辅助现场施工，具体来说就是利用 BIM 技术详细分解空间各个层面的施工作业任务和施工节点要求和关键作业点，以动画和讲解形式展示整个施工过程和施工计划，并对各个施工队伍进行可视化交底，从而让各个作业队伍准确理解施工进度节点、各个阶段的工程量和不同队伍之间的配合施工顺序及要点。同时施工管理团队每天根据 BIM 的模拟划分对现场作业情况进行实时跟踪，对作业队伍的人员，材料和进度实施精细化管理，出现偏差和问题及时

纠偏和协调解决，保证整个进度按计划进行。主体工程完工后就进入机电管线明敷和装饰装修及二次结构相互配合的施工阶段，这个阶段机电安装要配合二次结构的留孔和预埋等，同时需要协调好机电及工艺各个专业队伍之间的搭接，要做到作业面分配合理，进场有序，相互成品保护措施可靠。机电管线的室内布局和装饰装修之间要配合好，以确保机电终端定位准确，相互搭接施工及时等。

五、技术措施

（一）BIM 模块化安装和样板试块制度

大体积混凝土内的机电管线除了要满足防辐射要求外，其管线定位精度必须在位正负误差 10mm 以内，以满足质子设备的高精度安装要求。考虑到钢筋网的柔性和在钢筋中施工的不便性，现场对集中密集的机电管线采取了场外预制，模块化安装的施工方案。首先利用 BIM 技术进行模块化拆分，将机电管线密集的区域拆分成若干个模块出图（如图 1 所示），然后在场外放线，将同一模块内的机电管线安装在同一型钢架体内，并保证标高和相对之间的安装精度，架体的型钢除了强度需满足机电管线的荷载外还需有一定的稳定性，保证整体不会歪斜扭曲和变形，架体底部需要焊接钢板，并在钢板上预留地脚螺栓孔。模块预制完成后，利用吊车进行整体吊装，并在现场放线将模块的位置调整到位，所有模块安装完毕并复测达到精度要求后模块间用角钢或者槽钢相互间焊接固定，模块底脚用螺栓和地面固定，从而保证整个模块在后续钢筋、模板和混凝土浇筑过程中的稳定性和安全性。



> 图 1 预埋管线模块化出图

为保证施工质量和施工方案的可靠性，本项目中质子区管线密集处的施工采用样板试块的方式。在场外样板区按照 1:1 复制现场的模块安装区。由现场参建单位各方进行检查和提议并进行优化，如管道的固定点的选择、架体的强度和刚度的保证，钢筋穿插施工的方式等。试块浇筑和养护完后对混凝土的质量和机电管线进行全方位检查，以核定各项指标是否满足设计和使用要求。为保证施工过程的可追溯性和质量问题原因的查找，现场每个管口均贴有二维码，其链接的网站里面记录了各个管道的代号、功能、品牌、规格、材质、安装技术参数，模型定位以及施工过程照片等^[4]。如果施工质量有不合格的地方可以通过扫描二

维码查找原因,并制定可靠的措施后再应用于现场施工,同时为将来使用方的管理和维修提供了非常方便的工具,样板试块如图2所示。



>图2 样板试块

(二) 三维激光扫描技术

为了保证预埋机电管线的安装精度,项目采用三维激光扫描技术进行复核。三维激光扫描是一种高清晰三维实景复制技术和测量工具,它是利用三维扫描仪配合球形坐标标靶和棱镜进行现场扫描,通过物体表面对激光的反射作用,快速自动获取的空间点云数据并建立现场实景的三维可视化数字模型,同时可以获得现场任何实景物体的距离、面积及体积的精确数据,其效率和精度远远超过传统的单点式采集方式。通过将三维扫描建立的模型与原 BIM 模型进行分析软件对比,可以得出每个预埋管口的施工偏差方位及数据,为现场的调整提供了可视化和精准的参照依据(如图3所示),从而保证了现场精预埋、精定位的施工能够快速、准确、高效的完成。



>图3 三维扫描及偏差分析结果

(三) EBIM 云平台技术

为了有效利用 BIM 技术来指导和管理施工,现场采用 EBIM 云平台技术,施工管理人员可以通过手机上或者平板电脑上的 EBIM 终端软件登录项目的服务器并获取最新的 BIM 模型。在 EBIM 软件上可以对模型进行细节显示和测量等操作,同时 EBIM 软件融合了 BIM 4D 技术,可以展示施工的模拟动画与节点要求,通过与施工现场比对可以容易地发现安装偏差和施工进度问题,克服了传统管理方式容易产生的滞后性。此外,EBIM 软件还支持实时上传现场照片与问题记录,施工人员可以通过平台进行反馈,技术人员远程提供解决方案,实现了远程与现场的无缝衔接。EBIM 实时可以对不同的问题的严重程度设置不同的解决时限

要求并知会相关方领导,从而使现场施工管理人员可以快速有效地进行管理和协调,大大提高了工作效率。同时,平台还可以生成各类报表和统计数据,帮助管理者更好地进行决策分析。它还支持跨部门的协同工作,使得沟通更加顺畅,减少了信息传递中的滞后和误差。这样一来,不仅提高了施工的精准度,还进一步优化了整体项目管理流程^[5]。

(四) 施工过程中的保护

大体积混凝土的浇筑量大,浇筑点多,施工过程对预埋机电管线的扰动大,并且出了问题现场很难及时修复处理,因此做好浇筑过程中的成品保护尤为重要。现场主要通过两个措施来确保机电管线的安全。首先是优化混凝土下料口的位置,在浇筑以前通过和土建技术团队的内部协商,优化混凝土的下口位置,使其避开下方的机电管线,并且尽量远离机电管线密集处,以减小混凝土出料时对预埋管线的冲击。其次在预埋机电管线上方的钢筋网上沿管线走向图上油漆标记,并给土建施工班组交底严禁在标记处进行混凝土振捣作业,浇筑时要派专人在现场监管,防止工人误操作损伤机电预埋管线,另外漏出混凝土的管口要用木盒保护,贴上禁止踩踏的标记,以保护管口在混凝土浇筑过程中不被污染和破坏。

六、结语

质子医院作为国内新兴的建筑安装工程领域,其质子区配套的机电及工艺系统有特殊的复杂性,施工安装质量要求高,难度大,不同专业之间的流水搭接和穿插作业紧密。项目利用 BIM 技术进行深化设计、三维建模、模拟施工,同时配合模块化安装、EBIM 云管理、三维激光扫描技术和管线成品保护等技术措施进行辅助,确保了机电安装工程的顺利实施和推进,为工程最终目标的顺利实现打下了坚实的基础。

参考文献

- [1] 蔡伟明,穆向魁.质子治疗肿瘤:国内外进展现状及其前景.实用肿瘤杂志,2007,22(6):475-478.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.国家标准化委员会,氢气安全使用规程:GB4962-2008.中国标准出版社,2009.
- [3] 陈文伟,黄新颖,程思.BIM技术在大型医院项目机电安装施工中的应用[J].建设科技,2023(1):28-30.
- [4] 吴启明.大型公建及综合性医院机电安装施工技术分析[J].中国设备工程,2023,(09):220-222.
- [5] 王竞千,陈艳超,周大伟,彭琳,蒋建云.BIM技术在上海莱佛士国际医院机电系统施工中的应用[J].建筑机械化,2022,43(03):59-61.