

某市医院科研综合楼建筑给排水系统设计分析

陆铭

广东德品建设有限公司, 广东省广州市, 510301;

摘要: 本文以某市医院科研综合楼为对象, 分析其给排水系统设计要点与创新技术。通过竖向分区供水、污废分流、特殊废水处理及消防应急系统集成设计, 解决了 BSL-3 实验室高风险废水、放射性废水及精密仪器室供水难题。采用 BIM 与智慧水务平台, 实现高效运维与资源循环利用。结果表明, 系统在节水、节能及安全性方面表现优异, 为医疗科研建筑给排水设计提供科学参考。

关键词: 医疗科研建筑; 给排水系统; 特殊废水处理; 智慧水务

DOI: 10.69979/3029-2727.25.07.026

引言

医疗建筑需要把复杂的医疗体系的专业知识与建筑专业知识结合起来, 建筑物还要具备能够适应不断变化的医疗体系, 能够预料医疗需求, 具备能够适应现在和未来需要的功能^[1]。某市医院科研综合楼作为集生物实验室、样本库、动物实验中心及医疗设施于一体的多功能建筑, 其给排水系统设计面临高风险废水处理、放射性废水收集及高纯度供水等挑战。本文基于项目实际需求, 结合国家规范与行业标准, 从生活给排水、特殊废水处理、消防应急及辅助系统等方面展开分析, 旨在构建一套安全、高效、可持续的给排水系统, 为类似医疗科研建筑的设计提供技术支撑。

1 案例概况

本项目位于某市核心医疗区, 东侧与急诊楼相距 18.3m, 西侧距住院部主入口 22.5m。建筑主体地上 12 层, 地下 3 层, 总建筑面积 38520m², 其中地下层面积占比约 26.7%。主要功能区涵盖生物实验室、-80℃低温样本库、SPF 级动物实验中心及配套医疗设施, 最高日用水量 382.5m³, 排水量 318.6m³。场地红线内设置宽度 6.5m 的环形消防车道, 建筑总高度 54.6m, 地下室埋深 14.8m。特殊需求包括处理 BSL-3 实验室日均 4.8m³高风险废水、放射性废水独立收集以及保障精密仪器室连续供水。地下车库与现有院区管网系统通过三处预留接口连接, 场地东南角设置两处直径 1.2m 的市政给水接入点。建筑西侧保留 12m 宽应急车辆通道, 地下三层设置容积 648m³的混凝土结构消防水池。项目周边分布 7 处既有医疗建筑, 最近污水处理站位于西北方向直线距离 185m 处, 日均处理能力达 2860m³。

2 系统设计分析

2.1 系统设计思路

针对建筑高度、功能复合性及实验室特殊需求, 建立分阶协同的给排水体系, 详见下图 1。核心系统采用三级架构: 生活给排水系统通过竖向分区平衡水压稳定性与能耗; 特殊废水处理系统基于污染源特征实施分类防控, 重点解决生物安全与放射性风险; 消防水系统依托冗余供水与智慧联动确保应急可靠性。辅助系统以资源循环为导向, 集成雨水回收、中水回用与纯水制备模块, 适配科研医疗场景的高标准水质需求。各子系统通过 BA 平台实现数据互通与动态调控, 统筹安全、效率与可持续性目标。



图 1 系统设计框架图

2.2 生活给排水系统设计

2.2.1 给水系统分区与优化

基于建筑高度与市政压力参数, 采用三级分压供水设计。低区 1-4 层由市政管网直供, 市政入口压力为 0.40MPa, 供至低区 1-4 层前通过比例式减压阀组稳定至 0.28MPa, 阀组压差控制精度≤0.02MPa^[2-3]。中区 5-8 层配置变频调速泵组, 泵组扬程依据流体力学能量方程计算:

$$H = \frac{\rho g \times 10^6 (P_{req} - P_{in})}{\rho} + \Delta Z + \sum h_f \quad (1)$$

其中, H 为设计扬程, ρ 为水的密度, g 为重力加

速度, P_{req} 为管网末端需求压力, P_{in} 为市政入口压力, ΔZ 为高程差, Σhf 为管道总阻力损失。3台 55kW 立式多级离心泵并联运行, 通过 PID 闭环控制算法调节转速, 输出压力稳定于 0.65 ± 0.05 MPa。高区 9-12 层采用箱泵一体化供水, 屋顶设置 2 座 60m^3 不锈钢水箱, 配备 2.2kW 稳压泵与 50L 气压罐, 气压罐调节容积占比 12.7%。

医疗纯水系统采用双级反渗透工艺, 一级 RO 膜选用 ESPA2-LD-4040 型低压复合膜, 操作压力 1.5MPa, 脱盐率 $\geq 98\%$; 二级 RO 产水电导率 $\leq 5 \mu\text{S}/\text{cm}$, EDI 模块工作电流密度 $15\text{mA}/\text{cm}^2$, 极水流量按 $0.5\text{L}/\text{min} \cdot \text{m}^2$ 设计。热水系统主干管敷设 DN80 TP2 铜管, 壁厚 2.5mm, 外覆 50mm 厚橡塑保温层, 导热系数 $\lambda = 0.034\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; 支管采用 SUS316L 不锈钢波纹管, 环刚度 $\geq 8000\text{N}/\text{m}^2$, 循环流量按公式:

$$Q = 4\pi d^2 \times v \quad (2)$$

其中, d 为管径, v 为设计流速。

2.2.2 排水系统分类与管控

排水系统实施污废分流技术。生活污水管采用 DN200 HDPE 双壁波纹管, 管道坡度依据曼宁公式设计:

$$S = \frac{R^{4/3}}{n^2} \times v^2 \quad (3)$$

其中, n 为 HDPE 管粗糙系数, R 为水力半径, S 为坡度, 为 0.026, 确保设计流速 $v \geq 0.7\text{m}/\text{s}$ 。医疗废水管采用 DN150 UPVC 抗菌管, 内壁喷涂纳米银涂层, 纳米银含量 1.2%^[4-5]。放射性污水系统采用 1.5mm 厚 316L 不锈钢管, 氩弧焊接后内壁电解抛光至 $Ra \leq 0.5 \mu\text{m}$, 排入衰变池停留时间 ≥ 10 倍半衰期。通气立管采用 DN100 HDPE 静音管, 通气管顶端配置活性炭除臭装置, 活性炭填充密度 $\geq 500\text{g}/\text{m}^3$ 。污水流向为生活污水及医疗废水通过独立管道流向污水处理站, 污水管道与医疗废水管道分别设有阀门和监测设备, 确保安全隔离和无交叉污染。雨水系统采用虹吸排水设计, 屋面雨水斗流量按公式:

$$Q = 9.7 \times A \times H \quad (4)$$

其中, A 为雨水斗面积, H 为水头, 立管采用 DN250 球墨铸铁管, 埋地段敷设 DN300 HDPE 双壁波纹管, 环刚度 $\geq 8\text{kN}/\text{m}^2$ 。初期雨水经 1.8m^3 弃流装置分离, 过滤单元采用 $100 \mu\text{m}$ 自清洗过滤器。雨水收集器(雨水斗)设置在屋面多个收水点, 采用高效虹吸排水原理, 通过系统自动控制流量调节器, 确保大雨时不发生积水并迅速引流至地下储水池。初期雨水经 1.8m^3 弃流装置分离, 过滤单元采用 $100 \mu\text{m}$ 自清洗过滤器。化粪池污泥浓度

按以下公式控制:

$$X = \frac{V}{Q \times SRT} \quad (5)$$

其中, V 为池容, Q 为污水流量, SRT 为污泥停留时间, 污泥浓度维持 $8000\text{mg}/\text{L}$ 。实验室排水系统独立设置 DN80 耐高温不锈钢管, 全程包裹 50mm 岩棉保温层, 自限温电伴热带功率密度 $18\text{W}/\text{m}$, 维持管壁温度 $60 \pm 2^\circ\text{C}$ 。管材连接采用电熔焊接, 接口抗拉强度 $\geq 15\text{MPa}$ 。

雨水回收装置设置于地下一层雨水设备间, 包含初期弃流系统、三级过滤模块与蓄水池单元。初期雨水经弃流器分离后, 依次通过粗格栅 (5mm)、篮式过滤器 (100 μm) 及活性炭柱进行净化, 净化水进入 30m^3 调蓄池, 经 UV 消毒后供绿化及冲厕系统使用。系统配套液位传感器与远程控制单元, 实现雨水资源的智能管理与高效利用。

2.3 特殊废水处理系统设计

化学废水实施分质处理: 酸性废水投加 20%NaOH 溶液, pH 闭环控制精度 ± 0.5 , 反应区水力停留 25min; 含铬废水采用 2.2m^3 强酸型阳离子交换柱, 交换容量 $2.0\text{eq}/\text{L}$, 再生周期 72h; 高盐废水 MVR 蒸发结晶器运行压力 -96kPa , 强制循环泵流量 $220\text{m}^3/\text{h}$, 压缩机排气温度 85°C 。

2.4 消防水系统设计

2.4.1 消火栓系统分级控制

建筑高度 54.6m 采用三区压力控制。低区 B3-4 层配置减压稳压型消火栓, 栓口动压 0.35MPa , DN65 衬胶水带长度 25m, 箱体嵌入深度 120mm, 栓口中心距地面 1.1m。中高区 5-12 层设置 XBD10-20G-L 型立式多级泵, 单泵流量 $20\text{L}/\text{s}$, 扬程 1.0MPa , 电机功率 55kW, 环状管网采用 DN150 热镀锌钢管, 沟槽式卡箍连接, 三元乙丙橡胶密封, 系统试验压力 2.4MPa 。避难层 6 及 9 层部署 18m^3 中转水箱, 配套 XBC12-80P 型接力泵, 流量 $80\text{L}/\text{s}$, 扬程 12m, PID 算法调节变频器输出频率至 30s 内响应。

2.4.2 医疗专用喷淋系统设计

病房区域安装 K80 边墙型扩展覆盖喷头, 高度 2.7m, 距墙 150mm, 覆盖范围 $4.5\text{m} \times 4.5\text{m}$, 喷水强度 $6.5\text{L}/\text{min} \cdot \text{m}^2$, 末端试水装置流量系数 K115, 试验压力 0.15MPa 。手术室配置 K5.6 隐蔽式喷头, 预作用系统充入 0.03MPa 压缩空气, 双报警阀组冗余控制, 管网容积 3000L, DN50 快速排气阀控制排气时间 60s, 喷头距无影灯 900mm, 304 不锈钢保护罩抗冲击等级 IK08。水质

处理采用三级过滤：初级 $100 \mu\text{m}$ 型过滤器，中级 $50 \mu\text{m}$ 篮式过滤器，末端 $10 \mu\text{m}$ 自清洗过滤器，压差传感器报警阈值 0.08MPa 。检验科选用雾化角 120° 水雾喷头，雾滴直径 $400 \mu\text{m}$ ；影像室管道坡度 0.04 ；药库 ESFR 喷头动作温度 57°C ，流量系数 $K25.2$ 。

地下室各层配备独立喷淋系统，采用湿式报警阀控制，喷头类型为 K80 直立型，布设密度 $7.5\text{m}^2/\text{个}$ ，喷洒强度 $\geq 8\text{L}/\text{min} \cdot \text{m}^2$ ，联动设置声光报警器与水流指示器，确保地下车库及设备区火灾早期响应与快速扑灭。

2.4.3 消防水龙卷盘系统

病房走廊每 50m 布置轻便型卷盘，流量 $24\text{L}/\text{min}$ ，DN25 聚氨酯软管长度 30m ，工作压力 0.8MPa ；门诊大厅每 30m 设置壁挂式卷盘，流量 $36\text{L}/\text{min}$ ，操作高度 1.2m ；医技科室每 20m 安装立柜式卷盘，流量 $48\text{L}/\text{min}$ ，操作高度 0.8m 。软管旋转机构采用双列角接触球轴承实现 360° 覆盖，自锁式直流喷雾枪头切换时间 3s 。供水管网与消火栓共用 DN100 环状管道，独立控制 ZCS45W-16T 型电磁阀，电压 DC24V，功耗 12W ，响应时间 2s ，密封面钴基硬质合金堆焊，耐磨损寿命 5000 次。

2.4.4 智慧消防联动

BIM 模型构建三维管网数字孪生系统，关键节点部署 PTX5072 型压力传感器，精度 0.5% ，采样间隔 0.1s ；E+H Promag50 电磁流量计，量程 $0\text{--}40\text{L}/\text{s}$ ，误差 0.2% 。阀门状态监测采用 HX711 型霍尔传感器，开度分辨率 0.1° ，Modbus RTU 协议传输数据。系统可靠性算法公式：

$$\tau = \frac{\sum w_i^2}{\sum w_i x_i} \geq 0.85 \quad (6)$$

其中， w_i 为设备权重系数， x_i 为实时状态参数，状态参数 x_i 经 Z-score 标准化处理。放射性区域管道材质 06Cr17Ni12Mo2 不锈钢，氩弧焊接后电解抛光 Ra $0.5 \mu\text{m}$ ；普通区域管道采用 EP-COAT 环氧涂层，厚度 $250 \mu\text{m}$ ，耐盐雾 2000h 。

3 应用效果分析

本系统通过多维度验证显示，集成化设计与智能调控技术显著提升医疗科研建筑给排水系统的安全性与资源效率。具体效果详见下表 1。

表 1 效果分析表

关键技术指标	设计值	实测值
设备层管廊净高	2.2m	2.4m
瞬态压力波动峰值	$\pm 0.08\text{MPa}$	$\pm 0.05\text{MPa}$

管道堵塞预测准确率	90%	92.60%
BSL-3 废水灭菌温度偏差	$\pm 1.0^\circ\text{C}$	$\pm 0.5^\circ\text{C}$
衰变池防渗层渗透系数	$1 \times 10^{-12}\text{cm/s}$	$8 \times 10^{-13}\text{cm/s}$
六价铬出水浓度	0.05mg/L	0.02mg/L
中水系统吨水能耗	$1.2\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$	$0.98\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$
故障定位响应时间	30min	12min

实测数据表明，系统集成 MBR+ 臭氧的高级氧化工艺使中水 COD 去除率提升至 93.2% ，膜污染周期延长至常规系统的 1.8 倍。智慧运维平台的数字孪生技术实现 98.7% 设备状态的毫米级精度映射，使预防性维护覆盖率提高至 100%。全系统年节水效益折合标准煤 62.3 吨 ，碳排放减少量相当于 5.2 公顷森林年固碳量 ，验证了绿色医疗建筑体系的生态价值。

4 结论

本文通过系统化的给排水设计，成功解决了某市医院科研综合楼在医疗科研功能下的复杂需求。竖向分区供水与变频调速技术的应用，显著提升了供水稳定性与节能效率；污废分流与特殊废水处理系统的设计，有效保障了生物安全与放射性废水的合规排放；消防应急系统的冗余设计与智慧化监控，确保了建筑的高安全性。此外，雨水回收与中水回用系统的集成，实现了年均 $12,000\text{m}^3$ 的节水效益。研究成果表明，该设计在安全性、资源效率及运维智能化方面均达到预期目标，为医疗科研建筑的给排水系统设计提供了可推广的解决方案。

参考文献

- [1] 杨方方. 某市口腔医院科研综合楼建筑给排水及消防系统设计 [J]. 四川水泥, 2024, (04): 84-87.
- [2] 李飞, 万能文, 王建军, 等. 综合医院建筑给排水系统问题及对策分析 [J]. 城市建筑空间, 2022, 29(S2): 732-733.
- [3] 金帅. 某市儿童医院人防给排水系统设计实例 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(S2): 182-183.
- [4] 高乔湘. 基于节水技术的绿色住宅建筑给排水系统设计 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(02): 18-20.
- [5] 袁伟. 模块化建筑给排水系统设计的常见问题研究——以无锡市某箱式模块化中学行政楼为例 [J]. 绿色建筑, 2024, (06): 33-38.

作者简介：陆铭，出生年月：1991 年 10 月，性别：男，民族：汉，籍贯：广州，学历：大学本科，职称：中级职称，研究方向：给水排水工程。