

# 超高层建筑给水系统压力分区及节能节水研究

文 / 黄锦良 深圳市柏涛蓝森国际建筑设计有限公司

**摘要：**超高层建筑给水系统压力分区及节能节水是保障供水安全、优化能耗的关键技术。本文通过理论分析与工程案例结合，探讨了压力分区及节能节水的核心问题，包括分区方法、设备选型、节能策略及优化模型。为超高层建筑给水及节能节水设计提供了理论支持与实践参考。

**关键词：**超高层建筑；给水系统；压力分区；节能节水；优化模型；智能化控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.078

## 引言

随着城市化进程的加速，超高层建筑（高度 > 100m）已成为现代城市发展的重要标志。这些建筑以其独特的功能性和地标性，在城市空间中占据着重要地位。然而，超高层建筑给水系统面临着诸多挑战，其中竖向高差导致的压力失衡问题尤为突出。压力分区技术作为解决这一问题的核心手段，通过合理划分供水区域，能够平衡管道承压与能耗，确保给水系统的安全稳定运行。

传统的压力分区方法在实际应用中暴露出能耗高、设备冗余等问题。随着建筑智能化技术的发展，以及对绿色节能建筑的要求日益提高，亟需结合智能技术与优化算法对超高层建筑给水系统压力分区进行深入研究，以提升系统效率，降低运行成本。

## 一、压力分区基础理论

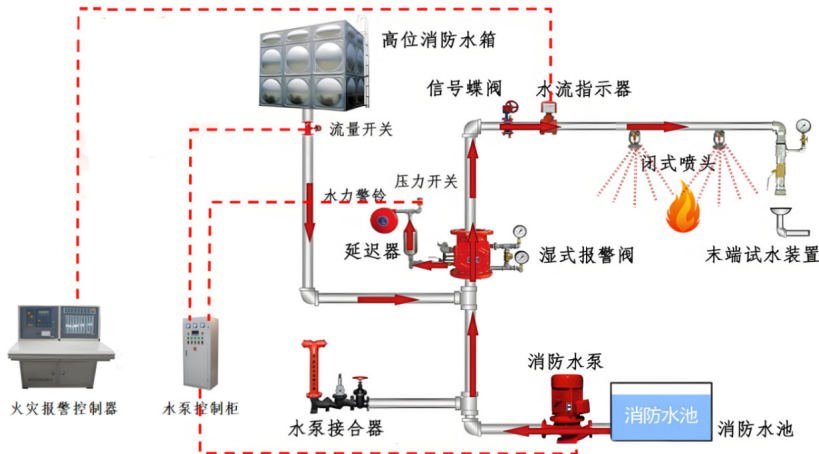
### （一）分区原则

根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）及《消防给水及消火栓系统技术规范》（GB50974-2014），超高层建筑给水系统压力分区需遵循严格的规范要求：

卫生器具配水点静水压：为避免过高压力对卫生器具造成损害，同时保障用户使用安全和舒适，卫生器具配水点静水压应 ≤ 0.45MPa。

消防给水系统应分区供水：

- 1) 系统工作压力大于 2.40MPa；
- 2) 消火栓栓口处静压大于 1.0MPa；
- 3) 自动水灭火系统报警阀处的工作压力大于 1.60MPa 或喷头处的工作压力大于 1.20MPa。<sup>[1]</sup>



图一 自动喷水灭火系统

### （二）影响因素

超高层建筑给水系统压力分区受到多种因素的综合影响：

**建筑高度：**高度每增加 100m，静水压力相应增加 1.0MPa。这使得随着建筑高度的攀升，管道所承受的压力急剧增大，对管材的耐压性能和分区方案提出了更高要求。

**用水量：**超高层建筑人员密集，用水需求大且高峰期流量波动明显。不同时间段的用水量差异会影响设备选型和分区设计，需要充分考虑用水峰值和低谷情况，以确保供水的稳定性和可靠性。

**管材性能：**不同管材的耐压极限不同，例如 DN200 无缝钢管，其耐压能力通常可达到 2.5MPa。在压力分区

设计中，必须根据分区压力选择合适的管材，以保证管道系统的安全性和耐久性。

**节能要求：**采用变频泵组等节能设备，可有效降低能耗。在追求绿色建筑的背景下，节能要求成为压力分区设计中不可忽视的重要因素，需要综合考虑设备选型和运行策略来实现节能目标<sup>[2]</sup>。

## 二、压力分区方法对比

### （一）串联分区

**原理：**串联分区通过转输水箱接力供水，将整个供水系统分为多个区域，每个区域通过转输水箱将水输送到下一个区域，实现从低区到高区的供水。

**案例：**仁恒世纪大厦（196m）生活给水采用串联分区的供水方式，共设置 6 个分区，采用“水池 - 水泵 -

水箱”联合供水模式。这种供水模式在实际运行中，有效地解决了竖向高差带来的压力问题，确保了各楼层的稳定供水。

优势：串联分区系统稳定性高，管材承压相对较低。由于通过转输水箱接力供水，每个分区的压力可以得到有效控制，减少了对管材耐压性能的要求，降低了管道破裂的风险。

不足：该分区方式设备投资增加20%-30%。转输水箱、水泵等设备的大量使用，使得设备采购、安装和维护成本显著增加，提高了项目的初期投资和长期运营成本。

### （二）并联分区

原理：并联分区的特点是各区独立加压，每个分区都有独立的供水设备，直接从水源获取水并进行加压，向本区域供水。

案例：燕翰西城别院（145.85m）在生活给水系统中采用并联分区方式，根据不同区域用水需求，灵活调整供水压力和流量，确保生活给水系统的可靠性。这种分区方式维护方便、运行灵活，每个分区独立运行，某分区故障不影响其他分区，便于维护检修，还可根据实际用水需求调整各分区运行状态。

优势：并联分区维护方便，运行灵活。由于每个分区独立运行，当某个分区出现故障时，不会影响其他分区的正常运行，便于进行维护和检修。同时，可根据实际用水需求，灵活调整各分区的运行状态。

不足：高区管材成本增加40%。由于高区需要承受更大的压力，对管材的耐压性能要求更高，导致高区管材的采购成本大幅增加，同时高区管材承压较高，容易出现渗漏情况。

### （三）减压阀分区

原理：减压阀分区是通过减压阀降低高区压力，将高区的水压调节到合适的范围，以满足卫生器具和用水设备的要求。

案例：鸿基禧悦大厦（119.150m）在生活给水系统设计中，采用减压阀与变频给水设备结合的方式进行压力分区。这种组合方式充分发挥了减压阀和变频给水设备的优势，既有效降低了高区压力，又提高了供水效率。

优势：减压阀分区简化了系统结构，初期投资降低15%。该数据通过对比同类项目中减压阀分区与其他分区方式（如串联分区需转输水箱、泵组等设备）的设备采购、安装成本等得出，因减少部分设备及安装工序，经测算初期投资降低约15%。

不足：减压阀故障率较高，年维护成本高。减压阀长期运行中，受水质、水压波动等因素影响，减压阀需定期检修、更换易损部件，综合市场维护价格、人工费用及故障频率等均较无减压阀给水系统高<sup>[3]</sup>。

## 三、关键设备选型

### （一）水泵

变频泵组：变频泵组能够根据用水量的变化自动调节水泵转速，从而改变供水流量和压力。与传统水泵相比，其效率提升25%，特别适用于流量波动大的区域，如超高层建筑的公共区域和办公区域。通过变频调节，可有效降低能耗，提高水泵的运行效率和使用寿命。

多级离心泵：多级离心泵具有较高的扬程，可达200m，适用于超高层高区的供水。其通过多个叶轮逐级对水进行加压，能够满足高区对水压的要求，确保高区用户的正常用水。

### （二）减压阀

比例式减压阀：比例式减压阀的减压比 $\leq 3:1$ ，适用于流量稳定的区域。它通过阀芯的比例调节，实现对压力的稳定控制，结构简单，维护方便。

先导式减压阀：先导式减压阀的精度可达 $\pm 5\%$ ，适用于对压力敏感的区域，如医院、实验室等场所。其通过先导阀对主阀进行控制，能够实现精确的压力调节，保证供水压力的稳定性<sup>[4]</sup>。

### （三）智能控制系统

压力传感器：压力传感器的精度达到0.5级，能够实时、准确地监测管网压力。通过将压力数据传输到控制系统，为系统的调节和控制提供依据，确保管网压力稳定在合理范围内。

物联网平台：物联网平台的应用实现了对给水系统的远程调控和故障预警。当系统出现故障时，故障预警响应时间 $< 10s$ ，能够及时通知维护人员进行处理，提高了系统的可靠性和维护效率。

## 四、优化模型与算法

### （一）遗传算法（GA）

目标函数：遗传算法以最小化能耗与设备投资之和为目标函数，通过模拟生物进化过程中的遗传、变异和选择等操作，在解空间中搜索最优解，以实现系统的节能和成本优化。

约束条件：在给水分区优化过程中，遗传算法需满足压力 $\leq 0.45MPa$ ，管材承压 $\leq 1.6MPa$ 等约束条件，确保优化方案的可行性和安全性。

在某300m超高层建筑的分区优化案例中，具体核算过程如下：

变量：以分区方案（如分区数量、每个分区对应的楼层范围）和设备选型（如水泵型号、减压阀规格）作为变量。这些变量的不同组合会直接影响系统的能耗与投资成本。

定量：建筑高度（300m）、设计用水量（根据建筑功能与规范确定的固定值）、管材承压能力（如满足规范要求的耐压极限）等作为定量，这些是既定的约束条件。

核算方式：

建立目标函数，以系统能耗与设备投资总和最小化为目标。其中，能耗根据水泵运行功率（与分区压力、供水流量相关）、加压次数等计算；设备投资包含水泵、减压阀等采购及安装费用。

设置约束条件，如满足《建筑给水排水设计标准》中卫生器具配水点静水压 $\leq 0.45MPa$ 、《消防给水及消火栓系统技术规范》中系统工作压力 $\leq 2.40MPa$ 、消火栓系统分区静水压 $\leq 1.0MPa$ 及自动水灭火系统报警阀处的工作压力 $\leq 1.60MPa$ 或喷头处的工作压力 $\leq 1.20MPa$ 等规范要求。

通过遗传算法的选择（保留优解）、交叉（组合不同方案的变量）、变异（随机调整变量）操作，对大量

变量组合进行迭代评估。例如，初始生成多种分区方案与设备组合，计算每种组合的能耗与投资，筛选较优组合进行后续操作，最终通过优化分区方案和设备选型，实现能耗降低 18%，有效提升了系统经济性。

### （二）粒子群优化（PSO）

参数设置：粒子群优化算法在应用中，惯性权重设置为 0.8，学习因子设置为 1.5。这些参数的合理设置能够平衡算法的全局搜索能力和局部搜索能力，提高算法的收敛速度和优化效果。

优化效果：粒子群优化算法在压力分区优化中，分区界限误差 < 2%，设备冗余减少 10%。通过对分区界限和设备配置的优化，提高了系统的合理性和经济性<sup>[5]</sup>。

### （三）混合模型（GA-PSO）

混合模型（GA-PSO）将遗传算法（GA）的全局搜索能力与粒子群优化（PSO）算法的局部优化能力深度融合。遗传算法通过选择、交叉、变异操作在大解空间中探索潜在解，粒子群优化算法则通过粒子对个体历史最优位置和群体全局最优位置的跟踪进行局部精细搜索，二者交替迭代，显著提升算法在复杂解空间中搜寻最优解的性能与效率。

优势：混合模型（GA-PSO）结合了遗传算法的全局搜索能力和粒子群优化算法的局部优化能力，能够在复杂的解空间中快速找到最优解，提高了优化算法的性能和效率。

应用：上海某大厦在给水管网压力分区设计中采用该混合模型，系统综合效率显著提升。通过对分区方案、设备选型和运行策略的优化，实现了系统综合性能的显著提升。

在粒子群优化算法中，惯性权重设为 0.8，该值平衡了算法的全局搜索与局部搜索能力——数值较大时侧重全局搜索，较小时侧重局部搜索，0.8 可避免算法过早陷入局部最优或搜索进程过慢。学习因子设为 1.5，其中包含向个体历史最优学习的因子与向群体历史最优学习的因子，共同引导粒子更新位置，促使粒子在搜索中更好地利用个体与群体经验，加速向最优解收敛。

深圳某大厦空调余热回收节电说明：在采用水源热泵回收空调余热前，大厦生活热水加热等环节依赖电加热设备，能耗较高。改造后，回收的空调余热用于预热生活用水，大幅减少了电加热设备的使用频率。经测算，相较于未改造状态，年节约电费约 30 万元，实现了建筑能源的高效循环利用，有效降低运行成本。同时，系统压力波动 < 5%，配合合理的设备选型，使管材寿命延长至 20 年，显著提高了系统的可靠性与耐久性。

## 五、新技术与新材料在压力分区中的应用探索

### （一）纳米涂层管材的应用

随着材料科学的发展，纳米涂层管材逐渐应用于超高层建筑给水系统。该类管材通过传统金属或塑料管材表面涂覆纳米级涂层，可显著提升管材的耐腐蚀性、抗结垢性能和承压能力。例如，采用纳米二氧化钛涂层的不锈钢管，其耐腐蚀性能较普通不锈钢管提升 3-5 倍，在高湿度、高水质硬度的超高层建筑环境中，能有效延长管材使用寿命，减少因管道腐蚀导致的漏水、压力失衡等问题，降低维护成本。同时，纳米涂层的光滑表面可降低水流阻力，提高水流效率，间接优化压力分区系统的运行能耗。

### （二）智能水务管理平台的深度融合

智能水务管理平台集成大数据分析、人工智能和云计算技术，为超高层建筑给水系统压力分区提供了更高效的管理手段。该平台可实时收集压力传感器、流量计、水质监测仪等设备的数据，通过机器学习算法对数据进行深度分析，预测用水需求变化趋势，提前调整水泵运行参数和压力分区方案。例如，通过分析历史用水数据，平台可在工作日和节假日自动切换不同的供水模式，在满足用水需求的同时实现能耗最小化。此外，智能水务管理平台还能与建筑的其它智能系统（如消防系统、空调系统）联动，实现资源共享和协同运行，提升建筑整体的智能化水平。

### 结语

分区方法适用性：串联分区适用于超高层，能够有效解决竖向高差带来的压力问题；并联分区适用于功能复杂建筑，便于维护和灵活运行；减压阀分区适用于对系统简化和初期投资要求较高的项目，但需注意减压阀的维护问题。

优化模型效果：GA-PSO 混合模型在压力分区优化中表现出色，可提升系统效率 15%-20%，为超高层建筑给水系统设计提供了有效的优化手段。

智能控制优势：智能控制系统能够实时监测和调控系统运行状态，有效降低故障率，提高了系统的稳定性和可靠性。

雨水、中水回用：在超高层建筑中推广雨水、中水回用系统，将雨水、生活废水经处理后（如采用膜生物反应器等技术），用于绿化灌溉、道路冲洗、冲厕等非饮用水场景，可使建筑节水率提升，大幅降低新鲜水资源消耗。例如某超高层写字楼通过中水回用系统，年节约用水量达 2.5 万立方米。

智能化节水：深化智能水务管理平台应用，不仅实时监测调控系统运行，还可通过智能水表精准采集各区域用水数据，分析用水习惯，优化用水策略。如在用水低谷期降低供水压力，减少管网漏损；对办公区域、公共区域等不同功能区定制供水方案，实现精细化节水，预计可降低 10%-15% 的无效益水消耗。

节水技术与器具：全面应用高效节水技术及器具，如安装感应式水龙头、节水型马桶、恒流节水花洒等，可使生活用水器具节水率达 20%-30%。同时，在空调冷却系统中采用高效冷却塔和循环水系统，结合水质稳定处理技术，减少冷却水耗水量，提升水资源利用效率。

### 参考文献

- [1] 陈利. 建筑给排水设计中的若干问题的探讨 [J]. 建材发展导向, 2022, 20(08): 190-192.
- [2] 戴卫, 袁峻. 给排水设计中节能技术的运用探究 [J]. 中华建设, 2019, (11): 76-77.
- [3] 苏荣德. 某企业总部大厦给排水设计 [J]. 建材与装饰, 2016, (08): 74-76.
- [4] 田媛. 高层建筑给排水设计研究 [J]. 湖南农机, 2014, 41(07): 169+171.
- [5] 曹会丽. 第九湾项目给排水设计及施工问题 [J]. 河南科技, 2013, (03): 138.

作者简介：黄锦良，1986 年 11 月 20 日，男，广东深圳，本科，中级工程师，研究方向：建筑给水研究。