

# 城市管道负压系统运行理想条件及其发展应用的研究

王 秦

(西安绿环林业技术服务公司, 陕西 西安 710000)

**摘 要** 城市管道负压系统 (Urban Pipeline Negative Pressure System, 简称 UPNPS), 是《城市排水系统在大气污染防治方面应用可行性的探讨》中提出的一种用于治理城市大气污染并可以削弱热岛效应强度的城市空气净化系统, 但该论文提出的设计方案普适性不足。故本文设想通过提出 UPNPS 理想方案的方式来解决普适性的问题, 并提出 UPNPS 在大跨建筑结构中的应用。

**关键词** UPNPS 管道负压系统 大跨建筑结构

中图分类号: TU996

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)08-0001-03

## 1 UPNPS 运行影响因素及其运行理想条件的推定

充分考虑影响 UPNPS 运行的各种因素, 推定系统运行理想条件, 是 UPNPS 通过自我调整以适应各种实际状况的理论基础。

### 1.1 内因

影响 UPNPS 运行的主要内因有管长、管径、管道材质以及管道构件等。

管长、管径、管道材质等主要造成沿程损失。

管道构件主要造成局部损失, 其主要包括管道构筑物 and 管件两个部分。构筑物主要为排污井, 管件包括排污阀、活接管 (活接头)、弯管、变径管、滤水器 (滤水网) 等。

### 1.2 外因

外因主要包括城市周边大气质量、大气活动强度和用水水质。

除城市周边存在工业区的情况, 城市周边大气质量普遍较好。不同城市的大气活动强度不同, 以西安市为例: 李琛等在《气压对西安市城区空气质量的影响》<sup>[1]</sup> 中提出, 在只考虑风对城市空气质量的影响时, 西安市空气质量发生明显变化的风力等级为 III --- V 级, III 级开始西安市的空气质量开始转良, V 级时可保证在短时间内改善空气质量, 即对于西安市, UPNPS 的工作条件为 V 级风力以下。

城市废水杂质含量高, 易阻塞管道, 影响 UPNPS 运行。

### 1.3 UPNPS 运行理想条件的设定

总结前文, UPNPS 运行理想条件为:

1. 城市外部大气环境无人为干扰。
2. 利用给排水管材独立设计、建造 UPNPS 管网, 管网应同时满足覆盖范围最广、有效长度最短的要求, 合理布置空气入口, 且不再考虑入户的情况。
3. 系统产生的污水由污水处理厂处理, 故管网可依据污水处理厂责任片区划片。城市范围过大时, 在片区内沿

道路设置沿程风机 (处理厂、站、点) 作为管道增压的节点或独立处理节点。

4. 管网采用自流管, 结合加药装置, 设置喷淋系统处理管道中积累的淤泥和提高大气排放物吸收效率。

5. 尽量减少管道构件种类、数量, 确保管道内壁尽量光滑。

## 2 UPNPS 的系统组成

UPNPS 由动力系统和管网系统两部分组成 (如图 1 所示)。

## 3 UPNPS 运行理想公式的推导

本文以单个片区作为 UPNPS 理想公式推导的基本单位。

参照《城市排水系统在大气污染防治方面应用可行性的探讨》中对城市排水系统管道的等级划分, 因不考虑入户情况, 将管道等级从四个调整为三个: 片区排水总管为干管 (通常沿各干道布设), 一级支管为城市中各个街区的排水总管 (通常沿各辅路布设), 二级支管为小区的排水总管 (通常为小区总排水管道), 上下级管道之间为串联关系, 同级管道之间为并联关系, 并假设:

管中风速为  $v$ , 空气与水面的相对流速为  $v_1$ , 与管壁的相对流速为  $v_2$ 。将管径发生变化或两个下级支管之间的一段称之为一个管段;

对于干管, 管道上空气入口数  $n_1$ , 弯头数  $c_1$ , 活接管 (活接头) 数  $d_1$ , 三通数  $e_1$ , 管道长  $L_1$ , 直径中位数  $D_1$ ;

对于一级支管, 压损最大的一条管道上空气入口数  $n_2$ , 弯头数  $c_2$ , 活接管 (活接头) 数  $d_2$ , 三通数  $e_2$ , 管道长  $L_2$ , 管道直径中位数  $D_2$ ;

对于二级支管, 压损最大的一条管道上空气入口数  $n_3$ , 弯头数  $c_3$ , 活接管 (活接头) 数  $d_3$ , 三通数  $e_3$ , 管道长  $L_3$ , 管道直径中位数  $D_3$ 。

则在不代入常数的情况下管道中总压损为:

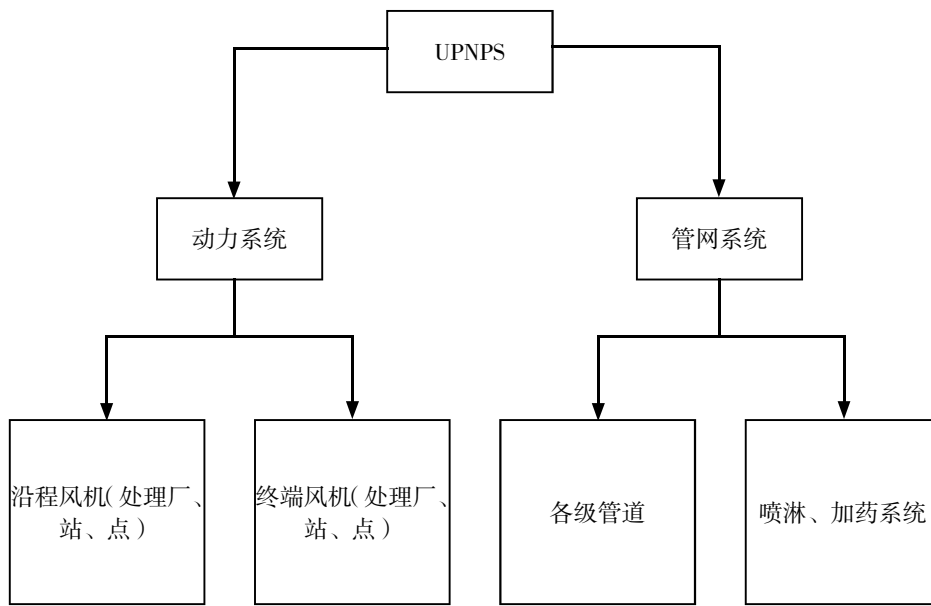


图 1 UPNPS 系统组成

$$\begin{aligned} \Delta P_W &= \Delta P_F + \Delta P_J \\ &= (\lambda_1 + \lambda_2) (L_1/D_1 + L_2/D_2 + L_3/D_3) [(v_1^2 + v_2^2) / 2g] Y_0 [273 / (273 + t)] (P_1/P_2) + [\zeta_1 (c_1 + c_2 + c_3) + \zeta_2 (e_1 + e_2 + e_3) + \zeta_3 (d_1 + d_2 + d_3)] v^2 Y_0 [273 / (273 + t)] (P_1/P_2) / 2g \\ &= \left\{ \begin{aligned} &(\lambda_1 + \lambda_2) (L_1/D_1 + L_2/D_2 + L_3/D_3) (v_1^2 + v_2^2) \\ &+ v^2 [\zeta_1 (c_1 + c_2 + c_3) + \zeta_2 (e_1 + e_2 + e_3) + \zeta_3 (d_1 + d_2 + d_3)] \end{aligned} \right\} Y_0 [273 / (273 + t)] (P_1/P_2) / 2g \end{aligned} \quad (1)$$

通过对常量进行整理, 可将公式 (1) 简化为:

$$\begin{aligned} \Delta P_W &= \Delta P_F + \Delta P_J \\ &= 546 [\lambda K V + v^2 (\zeta_1 C + \zeta_2 E + \zeta_3 D)] Y_0 P_1 g / [(273 + t) \times P_2] \end{aligned} \quad (2)$$

式中:

- λ --- 管壁摩擦系数;
- ζ<sub>1</sub> --- 弯头局部阻力系数;
- ζ<sub>2</sub> --- 三通局部阻力系数;
- ζ<sub>3</sub> --- 活接管 (活接头) 局部阻力系数;
- L<sub>n</sub> --- 等效管长 (m) --- 各级管道等效长度中位数;
- D<sub>n</sub> --- 等效管径 (m) --- 各级管道空气流通部分等效管径中位数;

C、D、E --- 各级管道弯头、三通、活接管 (活接头) 数量之和;

- K --- 各级管道长径比之和, 即 L<sub>1</sub>/D<sub>1</sub> + L<sub>2</sub>/D<sub>2</sub> + L<sub>3</sub>/D<sub>3</sub>;
- v --- 管道设计风速 (m/s);
- V --- v<sub>1</sub> 和 v<sub>2</sub> 的平方和, 理想状态下 v<sub>2</sub> 与 v 值相等;
- g --- 重力加速度;
- Y<sub>0</sub> --- 标准大气压下零摄氏度空气比重, 数值为 1.2931 (kgf/m<sup>3</sup>);

- P<sub>1</sub> --- 当地大气压 (kPa);
- P<sub>2</sub> --- 管道入口气压 (kPa);

t --- 管年内平均温度 (°C, 系统运行后管内空气与外界充分交换, 故采用当地年或季度平均气温)。

整合相同算法的部分, 假设有 n 种管道构件, 其局部阻力系数分别为 ζ<sub>n</sub>, 数量分别为 C<sub>n</sub>, 将公式 (2) 进一步简化:

$$\begin{aligned} \Delta P_W &= \Delta P_F + \Delta P_J \\ &= 546 [\lambda K V + v^2 (\zeta_1 C_1 + \zeta_2 C_2 + \zeta_3 C_3 + \dots + \zeta_n C_n)] Y_0 P_1 g / [(273 + t) \times P_2] \\ &= 546 \left[ \lambda K V + v^2 \sum_{k=1}^n \zeta_k C_k \right] Y_0 P_1 g / [(273 + t) \times P_2] \end{aligned} \quad (3)$$

#### 4 UPNPS 的发展应用

UPNPS 的运行促进了城市空气循环, 使城市小气候更易受到城市周边大气环境的影响, 根据这一特点, 本文提出城市小气候稳定指数和 UPNPS 在大跨建筑结构中的应用。

##### 4.1 城市小气候稳定指数

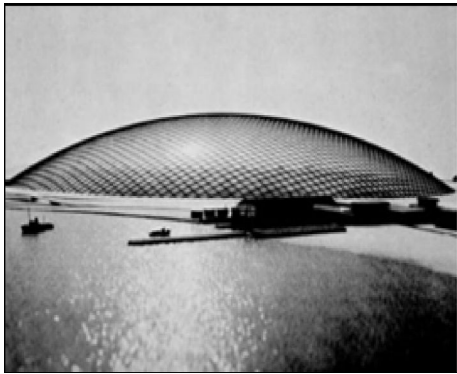
城市小气候稳定指数 (Stability Index of Urban Microclimate, 简称 SIUM), 是指城市小气候受城市周边环境影响后与城市周边环境的一致程度, 是调节 UPNPS 运行强度的重要参数。

影响城市小气候的主要因子有: 气压、气温、湿度、风速、降水、日照等<sup>[2]</sup>。因为同一区域的日照强度基本一致, 且城市范围相对较小, 故忽略该因子的影响。

须要注意的是, 部分因子变化范围较大, 采用指数函数的形式缩小指数值变化范围; 在计算过程中需要体现各因子在城市内外数值上的对比; 各因子之间共同作用于城市, 但作为指数函数中的幂, 须防止个别数值为零导致的零次幂, 故有:

$$SIUM = \frac{a^{T_1 + RH_1 + P_1 + V_1 + P_1}}{b^{T_0 + RH_0 + P_0 + V_0 + P_0}} \quad (4)$$

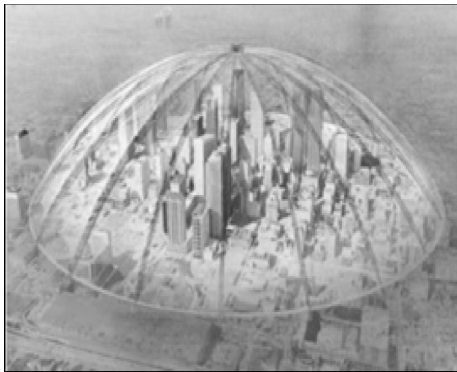
式中:



短程线 (直径 3200 米)



充气结构 (直径 2000 米)



ETFE 气枕膜结构 (跨度 1600 米)

图 2 千米级超大跨城市穹顶方案

a、b--- 非 1 和 0 的常数；  
 Ti--- 开尔文温度 (K)；  
 RH<sub>i</sub>--- 相对湿度 (g/kg)；  
 P<sub>i</sub>--- 气压 (kPa)；  
 V<sub>i</sub>--- 风速 (m/s)；  
 pi--- 降水量 (mm)；

下标 1 和 0 分别代表城市内、外的监测数据。

为方便判读计算结果，可将公式 (4) 中 a、b 两个常数均设定为 10，相同因素内部的变化用  $\Delta X$  的绝对值表示，则有：

$$SIUM = 10^{|\Delta T| + |\Delta RH| + |\Delta P| + |\Delta V| + |\Delta p|} \quad (5)$$

当 SIUM 值为 1 时，城市内外气象条件一致，达到 UPNPS 运行理想目标。

#### 4.2 UPNPS 在大跨建筑结构中大气调节方面的应用

近现代以来，建筑材料、结构体系以及计算理论水平的巨大进步和新工艺、新技术的发展，空间结构的跨越能力达到了一个新的飞跃，大跨结构的跨度开始向千米量级进军，发达国家和地区已经对千米级超大跨度穹顶方案开展了相关研究<sup>[1]</sup>，如图 2 所示。

这些方案中最大设计跨度达到了 3200m，本文所指的大跨建筑结构均特指该类大型球壳结构。

大跨建筑结构为城市提供了相对独立和稳定的大气环境，但也阻碍了结构内外大气之间的自然交换，因此结构

内部大气排放物浓度提升速率高于自然状况，在发生火灾和有害物质泄漏的情况下，有害物质的影响也更大，且温度、湿度的积累对城市生态系统的影响也须要注意。

故要求大跨建筑结构具有一定的大气环境调节能力，而 UPNPS 在应对这种状况时有着相当的优势：

1. 节约空间：管网分布于城市地下，且新增设施设备依托已有基建（道路绿化带、污水处理厂等）设置。

2. 适应性强：可根据需求调整系统运行强度，也可通过调整药剂种类、浓度或同时使用多种药剂，达到吸收有毒大气排放物、调节空气微生物含量的效果。

3. 拓展性强：可以增设气体喷嘴以调节空气成分，也可以在沿程或终端处理厂、站、点增设温度、湿度调节装置。

大跨建筑结构中 UPNPS 运行环境基本不变，主要变化为系统作用空间从开放式变为封闭式，且通过合理设计系统增设的各设施、设备，并不会改变管网的基本结构，对管网造成的影响很小。

#### 参考文献：

- [1] 李琛, 刘瑾, 王彦民. 气压对西安市城区空气质量的影响 [J]. 环境工程, 2017(03):101-105.
- [2] 张盛. 基于模糊粗糙集的森林火灾与气象因子的相关性研究 [D]. 中南林业科技大学, 2015.
- [3] 李苗凡. 800 米超大跨双层网壳结构稳定性研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2016.