

三维管网水力计算模型的研究与探索

Research and exploration of 3d pipe net hydraulic calculation model

中广核工程设计有限公司 田立成

[摘要:] 本文提出了“三维水力计算模型”的概念，并重点论述了三维水力计算模型区别于普通水力计算的优势特点，探索三维水力计算的未来发展方向。

[关键字:] 水力计算 三维水力计算模型 节点 水头 自动化

[Abstract:] This paper puts forward a concept “3d hydraulic calculation model”, gives emphasis to discuss the advantage of 3d hydraulic calculation model in comparison with normal hydraulic calculation and explores the direction of 3d hydraulic calculation development in future.

[Keyword:] Hydraulic calculation, 3d hydraulic calculation model, Node, Head, Automatism

1. 引言

自中国加入 WTO 以来，国内各建筑企业、单位及个人都在不断地感受着来自国外的先进设计技术手段和先进管理模式的冲击，“三维工厂设计”、“模块化施工”已成为广大工程人员的热门话题。在降低成本、提高质量、缩短工期的呼声中，人们开始认识到，在技术上，能够采取的切实可行的措施，只有一个：即引进三维设计机制，凭借近于零误差设计的三维体系，来提高设计质量、施工质量、缩短工期，从而达到降低成本的目的。

然而，三维设计在国内起步较晚，还存在很多问题需要完善和解决；而水力计算如何得以在三维模式下更好的应用和体现，必将这一领域所面临的共同课题。

2. 三维水力计算模型

三维水力计算与二维水力计算相比，其共同点都是通过对管网进行水力计算分析，校核管网设计并得到最终符合设计要求的计算报告；其不同点就象三维与二维、模型与线形的区别一样，三维水力计算要有模型的特点，管网相关的水力数据在三维模型上要有所体现，也就是说，在对三维管网进行水力计算时，须构建三维水力计算模型。

为此，在三维工厂设计软件 PDMS (PLANT DESIGN MANAGEMENT SYSTEM) “工厂设计管理系统”平台基础上，利用二次开发工具 (PML 语言) 开发三维管网水力计算内嵌功能应用模块 COWS (Calculation of Water hydraulics System)，COWS 的核心功能就是构建三维水力计算模型，使计算模型能够充分利用并体现三维的优越性，提高水力计算的自动化程度。

构建三维水力计算模型的难点是在管网模型中自动搜索所有计算管路，并须能够高亮显示所选计算管路，这不仅需要水力计算知识，还应能够熟练运用 PML 语言，熟悉 PDMS 工作环境，再经过执行程序对管网的反复分析，才能列出所有计算管路，并定义管路名称，实现高亮显示任选某一计算管路的的功能。

2. 1 水力计算原则

三维水力计算原则与普通水力计算原则相同，目前，在 COWS 系统中，定义了两条针对枝状管网的计算原则：

- 1) 根据经济流速要求计算水头损失及校核管径。
- 2) 根据最不利管线计算管网所需流量和扬程。

2. 2 水力计算公式

以自动喷淋系统为例，其水力计算公式为：

1) 喷头流量 q ： $q = (BH)^{0.5}$ ，其中 B 为喷头特性系数， H 为喷头处水压。[1]

2) 流速 v ： $v = 4q / \pi d^2$ ，其中 d 为计算管径。

3) 比阻 a ：当 $v \geq 1.2 \text{ m/s}$ 时， $a = 0.001736 / d^{5.3}$ [2]

当 $v < 1.2 \text{ m/s}$ 时， $a = k (0.001736 / d^{5.3})$ ，其中 $k = 0.852(1 + 0.867 / v)^{0.3}$

4) 沿程水头损失 H_y ： $H_y = aLq^2$ ，其中， L 为管段长度。 [1]

2. 3 三维水力计算模型结构

三维水力计算模型是在原有三维管网模型的基础上，再增加三个对象构成，分别为：

1) 计算管路

是指从管网入口开始，沿着流向延伸到任意一个尽端出水口止，其间所经过的管路为一个计算管路。

2) 计算节点

是指计算管路中的所有进水点和出水点，也就是管路中可能有流量变化的点，在管网模型中，节点位于计算管路起止点及三通、四通等分流元件所在的点。节点具有编号、位置、节点流量及节点水头四个属性。

3) 计算管段

计算管路中两个节点间的管段，称为计算管段，它具有编号、管长及管径三个属性。

2. 4 三维水力计算模型特点

三维水力计算模型与普通水力计算相比，具有如下特点：

- 1) 对计算管网自动搜索相关物理属性（管径、管长、管件、位置等），可减少人工输入用于计算的已知数据。
- 2) 对计算管网自动计算相关逻辑对象（节点位置、计算管路、最不利计算管路等），不需要人工进行节点编号及判断最不利计算管路。
- 3) 计算后，可在计算模型中查询节点属性，了解节点出流量、节点水头等水力情况。
- 4) 如计算结果不满足要求，可自动修改管径，并自动修改和完善三维管网模型，使之满足水力计算原则。

2.5 三维水力计算模型应用

利用 COWS 模块，设计人员只需根据经验，建立初始三维管网模型，然后转化为三维管网水力计算模型，高亮显示计算管线、节点编号，通过对管网进行计算校核来完善模型，并将节点信息附加到模型，最终输出计算图表。

2.5.1 三维水力计算流程

普通水力计算程序的流程是首先设计人员要绘制二维管网计算示意图，然后进行节点编号、管段编号，输入节点流量、节点高程等计算参数，最后输出计算表。而三维管网水力计算在流程上有些不同，如图 1 所示：

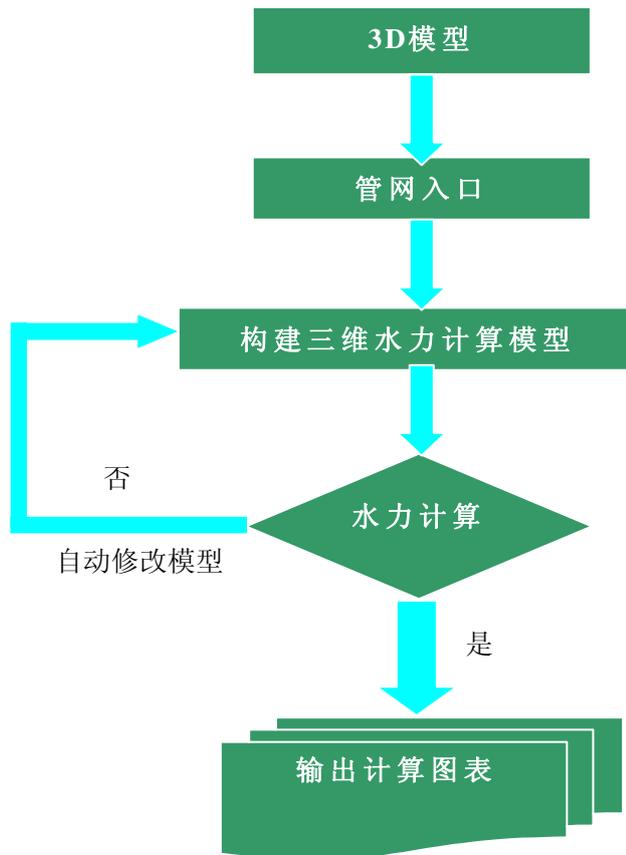


图 1. 三维水力计算流程图

2.5.2 三维水力计算步骤

现有一管网模型，假设为某三层建筑设计的自动喷淋系统，见图 3 所示。对该管网进行三维水力计算，步骤如下：

- 1) 在 PDMS 的设计模块，将要计算的管网入口管段设置为当前层次，打开 COWS 应用界面，点击“CE”按钮，入口管段名称将自动被输入计算模块，如图 2 所示。
- 2) 点击“查询管路”，搜索管网中所有计算管路，然后点击“计算管路”，进行初步水力分析，找出最不利计算管线 Router 2（见图 2 所示），利用显示节点功能，自动搜寻所有计算节点并统一编号，初步构建三维水力计算模型（见图 4 所示）。



图 2. COWS 界面窗体

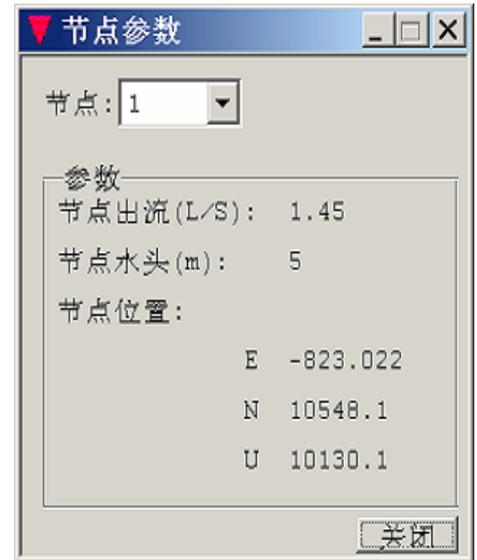


图 3. 节点属性

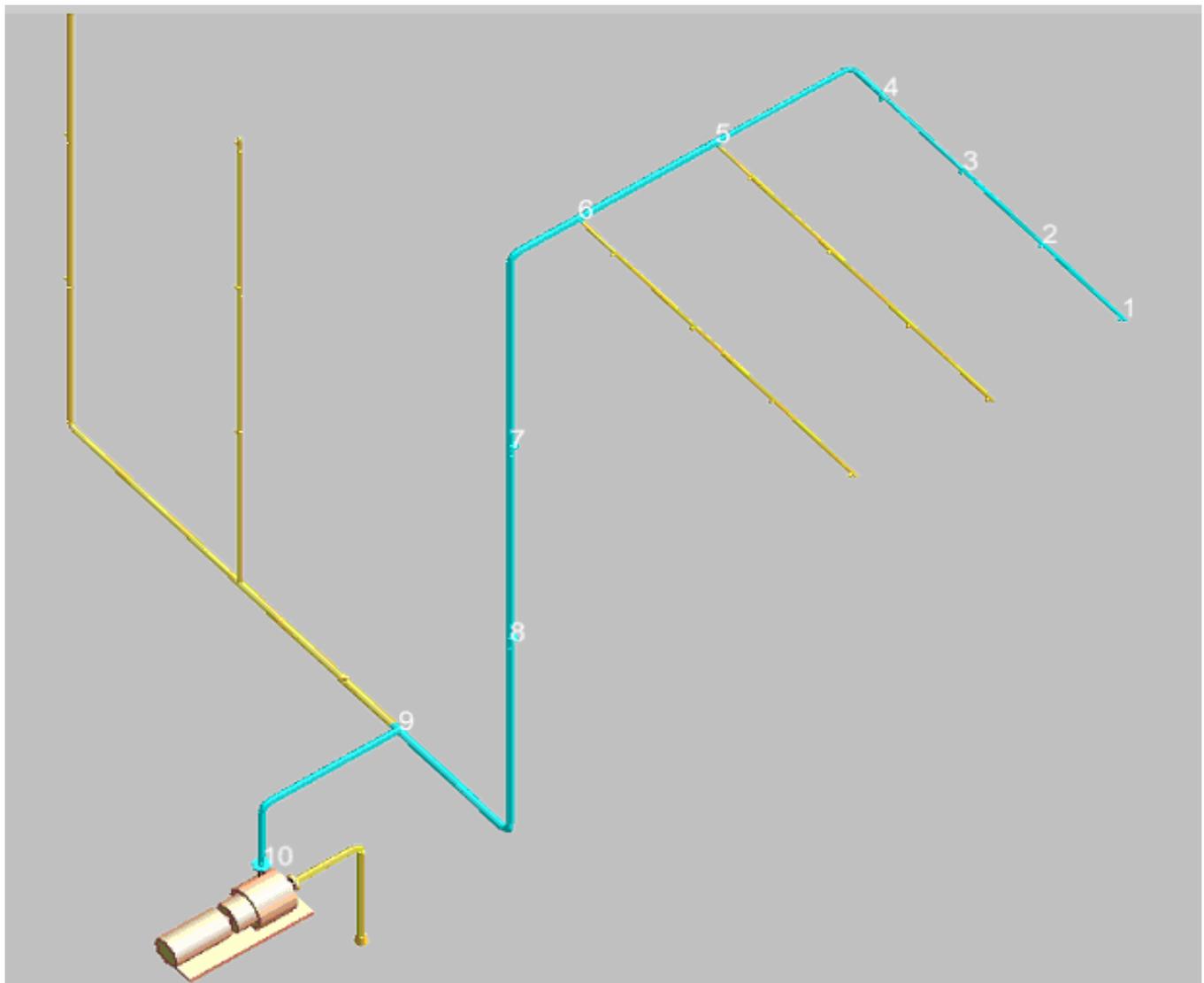


图 4. 某三层建筑物的自动喷淋系统模型（附有节点编号的管路为最不利计算管路）

注：略去了一二层（即节点 7、8 位置）管网模型

3) 在“选项”菜单中，确定节点流量计算规则和流量分配关系，输入“0、1、2”等即可，其中“0”表示采用公式计算流量，“1”以上数字表示为前一流量的倍数。在本例中，假设发生火灾时，同时有八个喷头喷水，则计算流量需输入数据为节点1至4为“0”，节点5为“2”，节点6至10为“1”。输入最不利点流出水头及经济流速，缺省值为：

流出水头：5米 经济流速：2.5米/秒。

4) 选择“文件>输出计算表到屏幕”菜单，进一步进行水力计算，输出计算结果（见图5所示），同时会弹出一个消息窗，提示不满足要求的管段编号为4-5（默认经济流速为2.5m/s）。

5) 如需要修改模型，选择“修改>不满足要求的管段”菜单即可，系统会自动修改该管段（见图6所示），如认为可以不修改，再选择“修改>撤消”菜单即可。此时，三维水力计算模型也得到了进一步的完善，在模型中，用户可以随时查询节点属性，如节点流量、节点水头等（见图3所示）。

6) 最后可自动打印输出二维计算节点图、计算表，完成此管网的三维水力计算。

The screenshot shows a software window titled "Head loss calculate table sheet" with a "Control" panel. The panel contains a table with the following columns: 节点N (Node N), 管段s (Pipe Segment s), 流量Qs (L/s) (Flow Qs), 流速V (m/s) (Velocity V), 管长L (m) (Length L), N.D. (mm) (Nominal Diameter), 比阻σ E-6 (Resistance Coefficient), 水头损失Hy (m) (Head Loss), and 节点水头 (m) (Node Head). The table lists data for 10 nodes and their connecting pipe segments. Below the table, there is a summary section with the following text:

总沿程水头损失 3.12 m
 估算局部水头损失为沿程水头损失的0.2倍，则该管路的总水头损失为：
 $H_z = H_c + 1.2H_y = 13.23 + 1.2 \times 3.12 = 16.97 \text{ m}$
 计算管网入口水头为：21.97 m.

图 5. 水头损失计算表

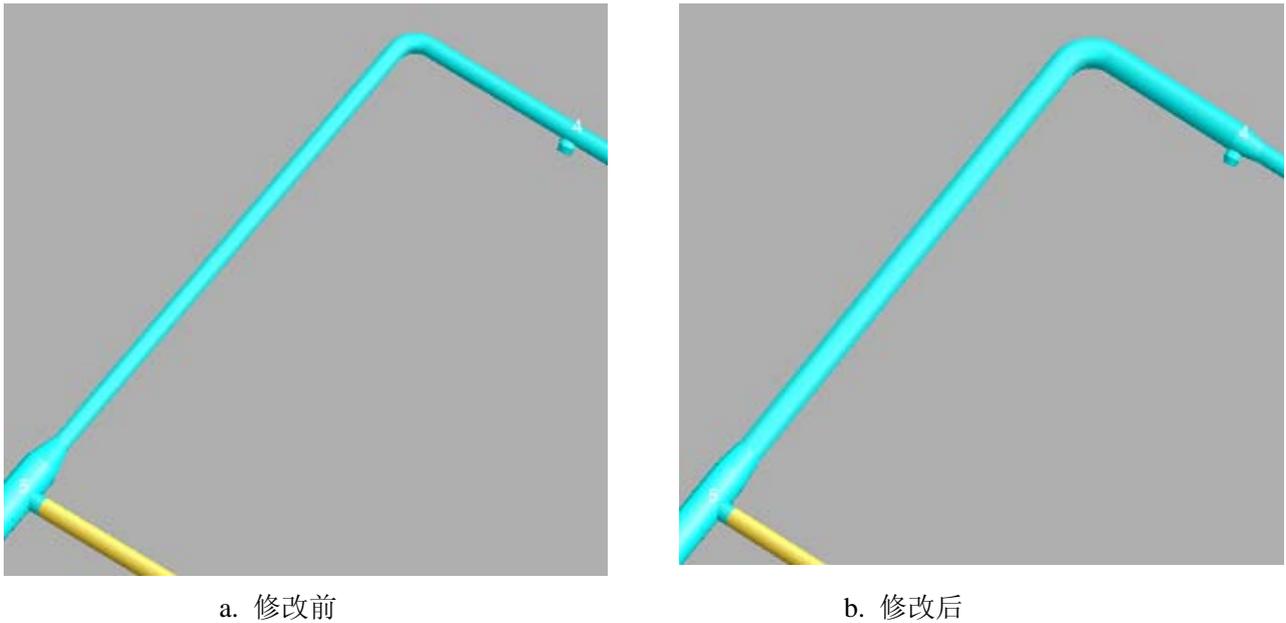


图 6. 4-5 管段模型修改前后

3. 存在不足

目前，COWS 三维水力计算系统还不够完善，还存在以下几点不足：

- 1) 计算公式方面，COWS 当前采用的是单一功能（如给水系统、喷淋系统等）枝状管网的相应计算公式，而不是通用的计算公式。
- 2) 计算方法方面，采用挑选最不利计算管线方法，而不是对枝状和环状管网都通用的有限元计算方法。

4. 发展方向

如何实现水力计算与三维模型的更好结合，是三维水力计算模型的未来发展方向，完善现存的不足，开发使其在模型上更加突出三维的特点，在计算上更加具有通用性，更加方便灵活。随着三维设计的普及，相信会有更多的人着手这方面的研究，也会有更多的新观点、新方法、新概念不断地涌现出来，使水力计算领域步入一个新的时代。

参考文献：

- [1] 严煦世、范瑾初主编，给水工程. 北京：中国建筑工业出版社，1995，42
- [2] 陈耀宗等主编，建筑给水排水设计手册. 北京：中国建筑工业出版社，1992，130