

二次供水节能技术专家系统的研发及推广

王 峰

华南理工大学建筑设计研究院
2019. 11

王峰

- 当代中国杰出工程师
- 华南理工大学建筑设计研究院副总工程师、研究员、硕士生导师
- 中国城镇供排水协会设备材料工作委员会副主任
- 住建部建筑给水排水标准化技术委员会副秘书长
- 全国城镇给水排水标准化技术委员会委员
- 中国建筑学会给排水研究分会常务理事
- 中国勘察设计协会高校分会给排水专业委员会主任
- 中国金属结构协会水景喷泉专家委员会副主任
- 广东省土木建筑学会给排水专业委员会副主任委员兼秘书长
- 广东省消防协会常务理事
- 《建筑给水排水设计手册》（第二版）（第三版）主编
- 《给水排水》编委
- 《建筑给水排水》编委
- 广州市建设科技委设备专业委员会副主任

目录

- 1、二次供水行业的机遇与市场
- 2、二次供水系统需要解决的问题
- 3、我国二次供水耗能现状及节能潜力
- 4、二次供水节能技术及专家系统的研发
- 5、全流量高效变频技术与全变频技术的比较
- 6、二次供水节能技术推广路径
- 7、建筑给水行业的前景及展望

1、二次供水行业的机遇与市场

住建部、国家发改委、公安部、国家卫计委联合发文《关于加强和改进城镇居民二次供水设施建设与管理确保水质安全的通知》（建城【2015】31号）就加强和改进我国城镇居民二次供水设施建设和管理工作作出全面布置。

该《通知》将二次供水安全提升到改善民生和国家反恐战略的高度，与广大人民群众生活的幸福感和获得感息息相关。

通知要求创新运营机制，**多渠道解决资金**，落实监管责任，形成权责明晰、管理专业、监督到位的建设与管理新局面，解决城镇供水的“最后一公里”

一引自赵锂《二次供水工程技术规程》CJJ140-2010修订报批稿要点。

各个城市管理部门及水务部门纷纷出台相关文件并安排资金推进二次供水建设及改造工程。

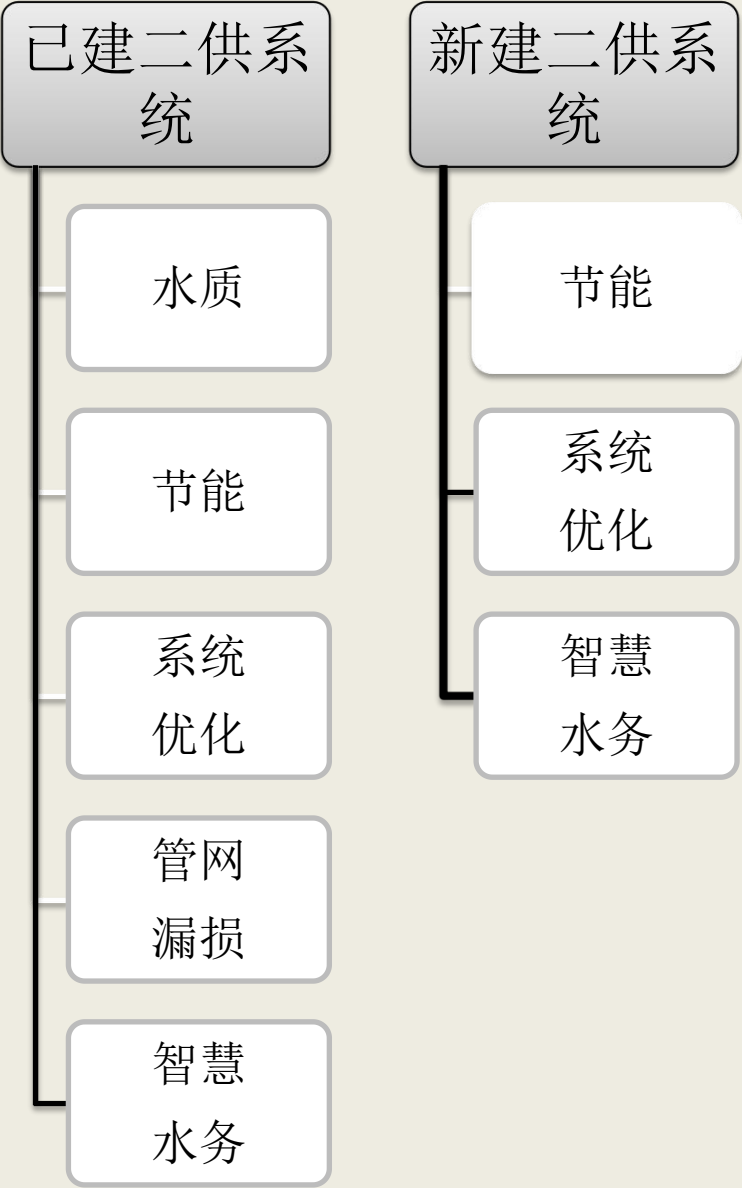
二次供水行业的两个市场

(1) 已建二次供水系统的改造

(2) 新建建筑的二次供水系统

涉及的市值每年约1000亿元，10年以内可达1万亿元，二次供水行业的春天来到了！

2、二次供水系统需要解决的问题



3、我国二次供水系统耗能现状及节能潜力

3.1 如何判断给水系统的能耗水平

本人在《给水排水》2011年第5期发表论文：
给水系统节能设计的判断方法——系统效率系数 η_s 的提出

η_s 的定义：给水系统中，有用功（实得功：流量与扬程的乘积）折合的电量与实际用电量的比值。

公式：

$$\eta_s = \eta_E \cdot \eta_{pi} \quad (1)$$

$$\eta_s = \frac{N_A}{N_R} \times 100\% \quad (2)$$

$$N_A = (q_1 h_1 + q_2 h_2 + \cdots q_n h_n) / 367.2 \quad (3)$$

$$N_A \approx Q \left(\frac{H}{2} + h_f \right) / 367.2 \quad (4)$$

$$\eta_s = \eta_E \cdot \eta_{Pi} \quad (1)$$

η_s ——系统效率系数

η_E ——给水设备效率系数（对于二次给水系统提高该系数尤为重要）

η_{Pi} ——给水管网效率系数（市政给水管网提高此系数较二次给水系统重要）

此公式表明：

给水系统节能设计，既要提高设备效率系数，又要提高管网效率系数，指明了节能设计的的路径。

$$\eta_s = \frac{N_A}{N_R} \times 100\%$$

N_A ——给水系统中的实得功（流量与扬程的乘积）折合的电量（千瓦•时）

N_R ——给水系统中与 N_A 相应的实际耗电量

该公式把给水系统耗能直接用电度表读数表示，更直观、简洁、明了。

$$N_A = (q_1 h_1 + q_2 h_2 + \dots q_n h_n) / 367.2 = \sum_{i=1}^{j=n} q_i h_j / 367.2$$

q_i ——各用水点流量

h_i ——各用水点的扬程

该公式为 $N = \frac{rQH}{102\eta}$ 的换算简化版

1千瓦=102公斤·米/秒

1公斤米=2.724×10⁻⁶千瓦·小时

1千瓦时=102×3600公斤米
=367.2m³/m(吨·米)

公式（3）为公式（2）的细化及补充

$$N_A = Q (H/2 + h_f) / 367.2 \quad (4)$$

Q——额定流量

H——几何高度

h_f ——最不利点自由水头

在有标准层（各层用水点相同）的建筑，公式（3）可简化为公式（4）。

3. 2、能耗现状及节能潜力

- 举例：

例1 计算80DL×2泵的系统效率系数 η_s

解：换算关系：

$$1\text{kW}=102\text{公斤}\cdot\text{米}/\text{秒}$$

$$1\text{公斤米}=2.724\times 10^{-6}\text{千瓦}\cdot\text{小时}$$

$$N = \frac{rQH}{102\eta}$$

$$\begin{aligned} 1\text{kW}\cdot\text{小时} &= 102\times 3600\text{公斤米} \\ &= 367.2\text{m}^3/\text{m}(\text{吨}\cdot\text{米}) \end{aligned}$$

水泵参数 $Q = 50.4 m^3/h$

$H=40m$ $\eta=70\%$

轴功率7.84kw

电机功率11kw

设管道水头损失为3米，则有：

$$N_A = \frac{50.4 \times (40 - 3)}{367.2} = 5.078 \text{度}$$

$$\eta_s = \frac{N_A}{N_R} \times 100\% = \frac{5.078}{11} \times 100\% = 46.16\%$$

$$\text{其管网效率系数为 } \eta_{pi} = \frac{0.37}{0.40} \times 100\% = 92.5\%$$

$$\text{其设备效率系数为 } \eta_E = \frac{\eta_s}{\eta_{pi}} \times 100\% = \frac{46.16}{92.5} \times 100\% = 49.90\%$$

例2 某高层住宅，供水设备泵轴线-4m，最高用水点98m，用水点自由水头按10m计，物业公司每m³水按1度电收费，试计算该楼盘的给水系统效率系数

解：供水高度加自由水头为 $\frac{98+4}{2} + 10 = 61m$

$$\eta_s = \frac{N_A}{N_R} \times 100\% = \frac{Q \left(\frac{H}{2} + h_f \right)}{N_R} \times 100\% = \frac{1 \times 61}{367.2} \times 100\% = 16.61\%$$

由以上两个例子的计算，二次给水系统效率系数：

$$\eta_s = (0.4616 + 0.1661) / 2 \approx 0.3$$

一次给水系统效率系数：

若二泵房水泵（或设备）效率系数为85%，水泵出口水压为0.5Mpa, 供至用户水压为0.3Mpa, 则其效率系数为：

$$\eta_s = \eta_E \cdot \eta_{Pi} = 0.85 \times 0.6 = 0.51$$

系统效率系数 η_s 提出的意义在于：

- 对给水系统的优化及节能设计给出了量化的判别方法
- 可对已经使用和正在研发的建筑给水系统及设备进行节能方面的定量评估。
- 根据本公式提出的判别标准发现，部分建筑给水设备效率系数较低（0.15~0.40），优化空间很大，将催生建筑给水节能设备高端企业的建立及发展，同时对提高建筑给水系统节能设计水平提出新的要求。

- 可以此理论为基础，开展如下科研项目：
建筑给水设备及相关系统的测试及评价；
我国建筑给水能耗的现状调查、评价及对策；
建筑给水节能系列设备的研发及批量生产；
管道经济流速的重新界定及相关研究；
与建筑给水节能设计相关的规范、设计手册及标准图的编制及调整等。

长安大学副教授王彤对二次给水系统耗能的研究与本人殊途同归，我认为理想状态下，1度电可使1吨水提高到367.2m，他认为吨水百米扬程耗电量为0.27度。其实是一个意思的不同说法。他对西安市8个住宅小区给水系统耗电量进行了实测，结果如下表：

序号	小区名称	吨水百米耗 电量	综合效率 系数 (%)	流量 (m^3/h)	备注
1	公园北路	0.56	48.21	24	
2	矿山路	0.78	34.62	121	
3	照明电器	1.16	23.28	40	
4	长兴路	1.42	19.01	31	
5	西影路	1.5	18.00	39	
6	外贸小区	2.77	9.75	24	
7	市容局	3.67	7.36	39.5	
8	爱学路	7.67	3.52	16	
总计		1.108	0.2436	334.5	

上述两个方面的研究，我们可以大体上认定，二次供水系统效率系数为25%左右。

2017年我国城市供水总量为593.7591亿 m^3 。

若按二次供水为总供水量的50%，平均扬程为50m系统效率为25%计，则二次供水年耗电量为161.699亿千瓦时。

若将系统效率系数提高至35-40%，则年耗电量为115.499~98.17千瓦时，可节电46.2~63.429亿千瓦时。

采用叠压（无负压）供水方式，若市政水压可利用0.25Mpa, 则年节电量为80.577亿千瓦时。

综上，我国二次供水节能潜力为144亿千瓦时左右，相当于装机容量164.4万KW的大型发电厂，按10000元/kw计，可节省基建投资164.4亿元。

4. 二次供水节能技术及专家系统

——两项国家发明专利及其工程应用（4项工程）的介绍

4.1 国内外二次给水设备现状及存在问题

4.1.1 国内外现状

（1）国外

国外二次供水成套设备企业一般从水泵行业衍生：
如日本荏原（成套设备生产历史较长）
丹麦格兰富，德国KSB、里茨、ITT、威乐等
其集成水平和国内差距不大，没有形成行业影响。

（2）国内

- 已有企业形成行业影响，如青岛三利、北京威派格、上海熊猫、杜科、上世纪90年代：昌宁集团。
- 多数没有形成规模，不具备全国影响。
- 水泵企业派生
- 每年1000亿元左右的市场

(1) 二次供水系统存在的问题

A 安全卫生方面

屋顶水箱污染

地下水池污染

管网污染

原因：供水系统非密闭，过期管网没有及时更换

B 能源浪费

目前国内城市二次供水的系统效率系数为0.15~0.40。即供水用电只有15~40%转换成有用功，可见能源浪费非常严重。

原因：供水设备配置不合理

市政水压没有充分利用

(2) 二次供水成套设备特点及存在问题

A 变频调速给水设备

优点：供水安全卫生（取消屋顶水箱）

缺点：不节能（大部分时间水泵在低效段工作，不能充分利用市政水压）

B 无负压(叠压)供水设备

优点：供水安全卫生，充分利用市政水压，节能，占地少

缺点：几乎没有储水量，导致城市整体供水可靠度降低，遭到水务部门的抵制。

市政供水必须满足用水建筑瞬时最大流量要求，对市政管网要求较高，日高峰用水时，出现断流及停止工作，争夺水源。

市政供水管网发生故障时即刻停水。

C 无负压增压水箱

优点： 部分利用市政水压，较变频调速给水设备节能

因设置水箱，供水可靠度较无负压供水设备高。

缺点： 因切换时间不确定，水箱产生新的污染，供水难说安全卫生，不如无负压供水设备节能。

4.1.2 存在的问题及原因

原因——两个脱节

市政给水与建筑给水的脱节

（设备开发没有顾及对市政给水的影响；市政给水对二次给水设备不合理的限制性要求）

自控系统与给水系统的脱节

（厂家优化目标不明，不熟悉用水变化对设备及水泵的工况影响）

总体思路——两个整合

- 市政给水和建筑二次给水的整合
- 系统特点（水专业）与智能化（电控）的整合

4.2.1 国家发明专利：全流量高效变频调速给水方法

专 利 号：ZL200610057595.X

授权公告日：2008年9月17日



发明专利证书

Certificate of Invention Patent

中华人民共和国国家知识产权局

STATE INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

证书号第428969号



发明专利证书

发明名称：全流量高效变频调速给水方法

发明人：王峰

专利号：ZL 2006 1 0057595.X

专利申请日：2006年3月16日

专利权人：王峰

授权公告日：2008年9月17日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。缴纳本专利年费的期限是每年03月16日前一个半月内。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长

田力普



2008年9月17日

第1页(共1页)

(1) 特点：通过配泵及限制频率下降，达到水泵24小时内均在高效段工作，较市售变频设备节能25~40%。

(2) 功能:

A、 配套水泵工况点均在高效段。

B、 较一般变频调速给水设备节能40%

(3) 创新点:

A、 提出了“全流量高效变频调速供水”的概念。

B、 按流量段配泵，变频只在流量段之间进行，即变频为微调。

C、提出了两种不同建筑的配泵公式：

$$\text{第一种} \begin{cases} Q = (N_L - 1)Q_L \\ Q_L = AN_s Q_s \end{cases}$$

$$\text{第二种} \begin{cases} Q = (N_L - 1)Q_L \\ Q_L = A(N_m Q_m + N_s Q_s) \\ Q_m = AN_s Q_s \end{cases}$$

D、提出了“高效频率下限值的概念”

E、用水量增加或减少采用不同的控制方法

(4) 意义:

提高 η_E (设备效率系数)

若推广, 全国每年可节能超过46.2~63.429亿

kW·h

4.2.2 国家发明专利：二次给水前置设备 及其控制方法

专 利 号： ZL200810306080.8

授权公告日： 2010年1月27日



发明专利证书

Certificate of Invention Patent

中华人民共和国国家知识产权局

STATE INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

证书号第595628号



发明专利证书

发明名称：二次给水前置设备及其控制方法

发明人：王峰

专利号：ZL 2008 1 0306080.8

专利申请日：2008年12月10日

专利权人：王峰

授权公告日：2010年1月27日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年12月10日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长

田力普



2010年1月27日

第1页(共1页)

(1) 特点及功能:

- A 较无负压设备有一定贮水量，保证城市供水安全。
- B 高峰用水或市政供水故障时即时切换至事故状态供水。
- C 系统密闭杜绝二次污染，防止人为破坏。
- D 充分利用市政水压，节能。
- E 占地面积和建地下水池相当。
- F 一年内节电可回收设备投资增加部分。

(2) 创新点:

- A** 克服及弥补了无负压给水设备无贮水量而降低城市供水保证率的缺点
- B** 较无负压供水更可靠
- C** 较无负压增压水箱系统安全卫生及节能

(3) 意义

若推广，全国每年可节省电80.577亿千瓦时。

4.2.3 社会效益

两个发明联合使用，可一揽子解决现有二次给水系统的安全卫生及节能问题。

工程实例：

(1) 广州中石化大厦（深圳佳兆业公司管理）日用水量 3000m^3 ，同时采用两项发明专利技术，每天可节电 $1096\text{kW}\cdot\text{h}$ ，全年节电40万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

本工程2007年6月投入使用，2012年6月，使用5年多后，物业管理方对生活给水系统使用的评价有5个字——节能、免维护。



二次给水前置设备



二次给水前置设备承压罐



(2) 河南南阳市新闻中心 (2015年)

(3) 佛山科技馆及青少年活动中心 (2016年)

(4) 广州市规划展览馆 (2017年)

4.3 建筑给水配水管网设计的优化方法

4.3.1 优化目标：提高管网效率系数 η_{Pi} ，即减少系统水头损失（包括减少管网水头损失及自由水头损失）。

4.3.2 方法:

- (1) 量化研究不同管材不同管径的经济流速并制作计算表格。（结合管材价格，使用年限的总输水量，不同流速下的单位长度内的水损失折合的电量）。

(2) 研究同一供水对象，同一供水设备时不同供水方式的管网效率系数。

如：串、并联供水系统的差异；

水泵、水箱联合供水与变频调速供水的差异；

高层、超高层建筑竖向分区及供水方式对 η_{Pi} 的影响等。

(3) 通过上述研究，给出不同供水对象的建筑给水配水管网设计的指导性方案。

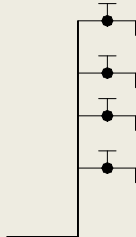
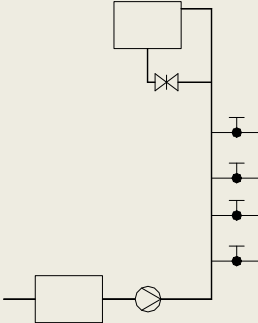
4.4 常见的几种供水设备及系统定性评价

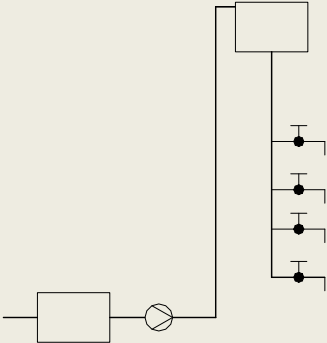
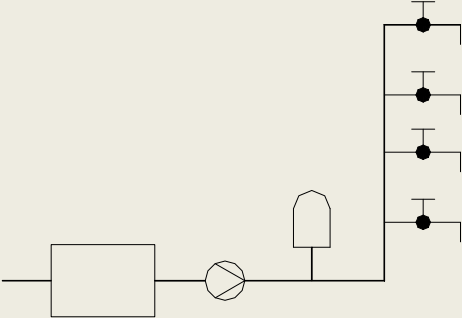
供水方式有很多种，本文列出以供水设备种类划分的几种方式，并予以定性评价。

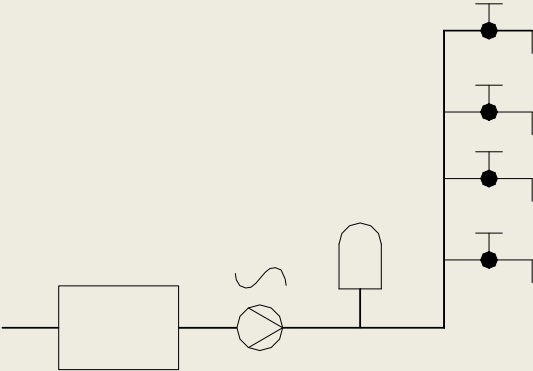
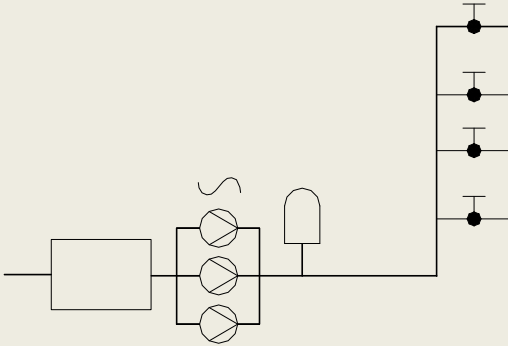
评价方法：

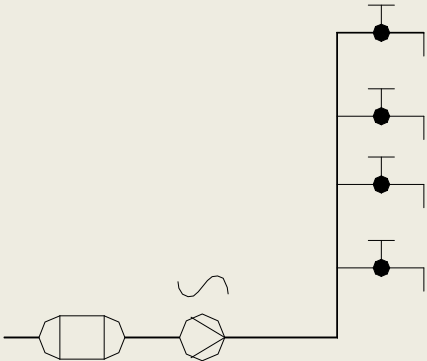
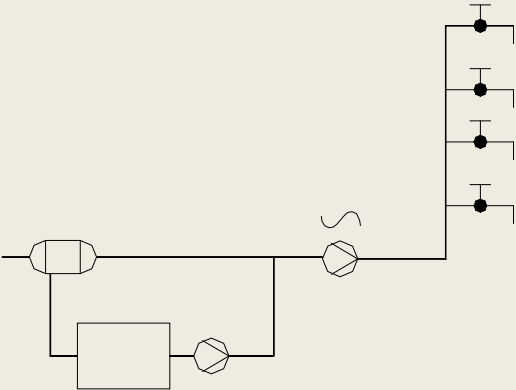
- 将供水可靠安全卫生、节能、系统组成（节材节地）三个要素按10分制评价。
- 定性评价不一定完全准确，只是给出一个评价轮廓。

常见的几种供水设备及系统定性评价表

序号	系统名称	简图	评价得分				备注
			可靠、安全卫生	节能	系统组成 (节材、节地)	总分	
1	市政直供		10	10	10	30	
2	水池→水泵→用水点→水箱		1	8	8	17	

3	水池→水泵→ 水箱→用水点		2	7	8	17	
4	水池→水泵气压罐		8	4	6	18	

5	水池→变频气压罐		8	6	5	19	
6	水池→全流量高效变频设备（带气压罐）		8	8	4	20	

7	无负压供水设备		6	8	8	22	
8	无负压增压水箱		5	7	6	18	

9	二次供水前置设备加 全流量高效变频调速 给水		10	10	6	26	
---	------------------------------	--	----	----	---	----	--

4.5 二次供水专家系统简介

4.5.1 专家系统定义：

专家系统是一个智能计算机程序系统，其内部含有大量的某个领域专家水平的知识与经验，能够利用人类专家的知识 and 解决问题的方法来处理该领域问题。也就是说，专家系统是一个具有大量的专门知识与经验的程序系统，它应用人工智能技术和计算机技术，根据某领域一个或多个专家提供的知识和经验，进行推理和判断，模拟人类专家的决策过程，以便解决那些需要人类专家处理的复杂问题，简而言之，专家系统是一种模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统。

关键词：智能计算机程序系统，含有大量的某个领域专家水平的知识与经验，利用专家的知识 and 解决问题的方法处理该领域问题。

二次供水专家系统：

利用建筑给水专家的知识 and 经验，解决二次供水领域相关问题的计算机程序系统。

关键词：系统工程及优化，工程经验的积累，相关问题的深入研究，点对点的解决方案。

4.5.2 专家与一般工程师设计的差异

- (1) 系统优化目标更明确
- (2) 基于本领域前沿的科学实验及专题研究成果
- (3) 对规范执行把握得更好
- (4) 更多的工程经验，更多的解决问题的办法及优化手段
- (5) 解决方案代表目前专业进步水平

5.3 技术路线

(1) 建筑给水科研项目立项及实施

提出待解决的问题

基础理论的验证

基础数据的收集及研究

建筑给水现状的研究及描述

解决问题方案的研究及现状

(2) 专家系统的研发

A 基于各类建筑不同流量不同扬程的矩阵式解决方案——点对点精确供水。

B 编程及智能化系统

(3) 推广的两个领域

A 新建建筑

提供系统优化方案——设备及系统优化设置、泵房布置、结构荷载及电气负荷提资（给水系统与其他专业的接口），必要时提供系统设计。

B 既有建筑

评估其给水系统现状，研究优化的必要性及可行性，提出具体优化方案。

(4) 专家系统的工程实施——交钥匙或BOT

A 与配套生产厂商的合作，加工及制作

B 与机电安装公司的合作，组装及调试，试运行

C 与业主的合作，商务及利益划分

5、全流量高效变频调速技术与全变频调速技术的比较

序号	全流量高效	全变频
1	节能目标明确的发明专利	每台水泵都加变频器的一种技术改进
2	较一般市售变频设备节能25~40%	较单变频节能5~12%
3	分流量段配泵，并采用高效频率下限值及压力控制对应用户流量变化，实现点对点精准供水，无高效运行死角。	控制手段单一，存在大量高效段死角
4	早发技术、蛰伏，无推广	企业资本力量，介入行业写入“二供规程”
5	仅4套设备运行	已运行多套

6、二次供水节能技术推广路径

- 1、二次供水节能技术生产及商业化运营企业创建。
- 2、技术服务型（技术指导及咨询）高技术咨询顾问公司建立。
- 3、开展科研项目，从学术高端，技术源头解决问题，整合国内科研及学术力量，开展系统性研究。

7. 建筑给水行业的前景及展望

7.1 系统效率系数 η_s 及其相关理论将写入教科书， 丰富和发展给水理论。

7.2 建筑给水的科研项目将相继展开

如：建筑给水设备及相关系统的测试及评价

全流量高效变频调速给水设备系列产品的研发

建筑给水现状调查、评价及对策

二次给水前置设备系列产品的研发

两项发明专利的相关技术标准的制订

经济流速的重新界定及相关研究

《建筑给水排水设计标准》中相关条文作相应调整，设计手册和标准图将跟进

7.3 研发型建筑给水设备企业将诞生，并逐步主导国内外建筑给水设备市场，一批传统给水设备厂商将被淘汰。

7.4 将由城乡建设部相关部门发布推荐推广两项发明专利的相关节能产品

7.5 学术界及设计界将积极引领并参与建筑给水系统的设计优化及节能产品推广。

7.6 我国建筑给水系统的设计，建筑给水设备的研发及生产将达到国际领先水平，在占领中国市场的同时，逐步走出国门。

7.7 将催生国内每年1000亿元以上的建筑给水设备市场规模。

7.8 展望

建筑给水大有可为，建筑给水节能设备市场前景广阔，我们的建筑给水领域将有一个美好的未来。

Thank You!