洗衣机的节水程序设计

陆辉广　贺　前　李建学
(兰州铁道学院，兰州 730070)
指导教师：白利华

编者按　本文思路清晰，在问题的分析中反映出作者迅速抓住问题本质的能力，在实施建模和求解中能步步推进，直到得出有价值的结果，表现出一定的探索精神，在参赛论文中是比较突出的．论文的缺点也是绝大多数参赛论文所共有的：文中假设了（或隐含地假设）“污物全溶解，全脱除（除了衣服上残余污水中的污物不能脱除外）”．这个假设至少是比较勉强的．

摘　要　本文针对洗衣机的节水问题进行了定量分析．抓住主要 0 响总用水量的因素（衣物重量及衣料质地属性），在满足一定洗涤效果的情况下，针对某类被洗衣物在模型 1 中建立了动态规划模型，得到了节约用水的两个准则：

1. 每轮清洗时注入水量相等；
2. 每次注水尽可能少．

在模型 II 中采用非线性规划实现用水管理，设计了较为详细地洗衣机运行程序，进而选用较为合理的数据对模型进行了具体计算，得到了相应的洗涤轮次和总用水量，与日常的洗衣机运行情况相比较具有良好的吻合性．最后对模型的优缺点及推广作了讨论．

一、模型的假设及其说明

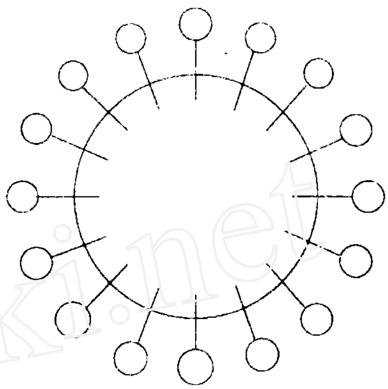
1. 洗衣机洗涤衣物的运行过程为：“加水 — 漂洗 — 脱水”周期循环．
2. 不考虑洗涤过程中的二次利用．
3. 洗衣机在洗衣过程中，不会发生意外故障．如漏水、外溢、蒸发等造成的水量减少．
4. 洗涤剂的用量按被洗衣物的重量、污物度等因素确定，保证达到最佳去污效果．
5. 洗涤用水的水温保持恒定，且为最佳洗涤水温．
6. 只考虑一次洗涤．

二、问题的分析

洗衣机洗涤衣物是依靠物理与化学的作用来达到洗除衣物上的污垢为目的．首先，将洗涤剂加入有一定量的水的洗衣缸内，待洗涤剂充分地溶解于水后，将衣物投入洗衣缸内，让衣物经过一段时间的浸润、渗透，然后进行洗涤，当洗涤过程完成后，进行脱水，此时洗涤过程结束．第二步是漂洗，经过若干轮的“加水 — 漂洗 — 脱水”后就完成了整个过程．

1. 洗涤剂的功能

洗涤剂成分较复杂，大多的洗涤剂均含有 C 类的一些表面活性物质．通常是含有 8 个碳原子以上的有机物质，我们称之为"表面活性剂"．这类表面活性剂溶于水中后，适量时能使其表面张力急剧下降，随着浓度的增大，表面张力又几乎保持稳定．一般表面活性剂分子是由亲水基（或称极性基）与憎水基（非极性基）量部分组成．而憎水基（或称亲油基）与油等污垢接触时，具有相互吸引现象，但它和油一样具有憎水性．亲水基则容易水化的极性原子团．当活性剂分子与衣物上的污垢接触时，憎水基与污垢分子（或称颗粒）充分结合，亲水基则方向向外（见图 1）．这样将污垢分子团团包围，从衣物上脱落下来溶于水中．



至于洗涤剂的用量问题，主要与被洗衣物的重量、污染程度、注水量的多少以及洗涤剂的洗涤性能为参考指标，我们的原则是以洗涤剂加入水中后，达到最大洗涤效果的表面活性剂的临界胶团浓度为标准．过少会直接影响洗涤效果，过多将会使活性剂结合为胶团，造成浪费和洗涤效果的不良．

2．洗衣机洗涤的过程的机理分析

将衣物投入含量有洗涤剂的水溶液里，经浸润、渗透等物理作用，再经活性剂的化学作用后，将衣物上的污垢分离为分子或颗粒状态的个体，然后通过电机带动波轮的旋转，进而产生衣物的折曲、揉搓摩擦及衣物对桶壁、波轮的摩擦等物理作用，使污垢均匀地混合于水中使之成为浑浊液．另外，洗涤时间的长短受衣物重量、污染度、布质及洗涤剂的效能等因素的影响．

3．洗衣机的脱水过程及污垢的残留量

洗涤过程结束后，将开始脱水过程，大致可分为排水和甩干两个过程．排水过程，水中的污垢随水一起被排走，此时洗衣缸内的衣物呈吸水饱和状态；然后进行甩干操作，将衣物中的水脱去．考虑到衣物的脱水率，甩干结束后仍有一定量的水残留在衣物上，其所含的污垢的重量称之为残留量，每次洗涤或漂洗结束时的残留量的大小直接影响着洗涤的轮次．因此，残留量的量化分析是至关重要的．

4．被洗衣物分类处理的必要性

通过对液体的浑浊度，每次的注水量、洗涤剂的用量以及残留量的分析，我们认为与被洗衣物的面料性质、吸水率、脱谁率及衣物的污染度有较大的关系．所以，为了节省用水、用料和省时，首先将被洗衣物进行分类处理，针对不同类型的衣物进行分批洗涤（详见附录一）．

5．有关用水量的分析

对某一洗涤的整个过程而言，其总的用水量应包括洗涤过程的注水量与若干轮次的漂洗过程的注水量．洗衣机的洗衣缸一般呈柱状形，为了简单起见，我们可以按圆柱体来对待，这样每次注水量的多少可以用洗衣缸的注水高度去刻划．

6．关系洗涤效果的分析

在洗涤过程中，衣物中的各类污垢，并不是全部被脱离掉，这主要是洗涤剂的去污能力所限度．这样该因素造成了人力无法克服的现象．而对于漂洗过程来说，洗涤效果由漂洗时被清水除掉的可去污垢质量（或残留量）的多少来刻划，这是我们最为关注的问题．

三、符号及说明

W_0：　洗涤过程的注水量;

W_i：　第 i 次漂水的注水量;

N_0：　洗涤并脱干后，残留于衣物上的可去污垢的质量;

N_i：　第 i 次漂洗脱干后，残留于衣物上的可去污垢的质量;

H：　洗衣机的注水最大高度;

h：　满足最佳洗涤要求的注水最小高度;

m：　被洗涤的衣物重量;

k：　单位重量衣物上所含污垢的质量;

q：　衣物饱和吸水率，即每公斤衣物饱和吸水质量;

p：　衣物脱干后的保水率，即每公斤衣物的保水质量;

γ：　衣物饱和吸水后的比重;

b：　洗涤剂效能，即清洗每单位重量的污垢所需洗涤剂质量;

n：　漂洗运行轮数;

Q^*：　洗涤标准的浓度阈值;

α^*：　洗涤效果满意度;

四、建立模型与程序设计

模型 I

通过模型分析可知，我们需对以下几部分进行分析

1. 洗涤用水量 W_0

在洗涤时为使洗涤达到最大效果，则加水量必须达到一定量 $W_{\min}$，因此在首次加水时则必须考虑 $W_{\min}$，使 $W_0 \geq W_{\min}$.

2. 洗涤液的浓度

当洗涤注水量达到一定值时，能够被洗涤下的污垢重量 $N_{\max}$ 达到恒定．再增加注水量， $N_{\max}$ 也不会再发生变化，而仅影响浓度．洗涤液的浓度

$$Q_0 = \frac{N_{\max}}{W_0}$$

3. 洗涤过程后残留在衣物中的污垢重量 $N_0 = Q_0 \cdot mp$.

4. 经过第 i 次漂洗溶液的浓度 Q_i

由于在本模型中只考虑了水溶剂中含量有的污垢，由此可得：

$$Q_i = \frac{mp}{mp + W_i} \cdot Q_{i-1}$$

而我们要解决的问题是在达到一定的洗涤效果条件下，使总的用水量最小．在这里，可首先将一定洗涤效果转化为：

$$\frac{Q_n}{Q_0} \leq \alpha^*$$

而要求的是在满足上述条件下，使得 $(W_0+\sum_{i=1}^{n}W_i)$ 最小.

5. 对于漂洗过程，应满足以下两个准则：

准则 1 每次漂洗加水量相同.

可以通过下面两个过程来证明：

i) 通过 n 次漂洗，使溶液浓度为 Q_n，且在这 n 次加水量中 W_i 不完全相同.

ii) 经过 n 次漂洗，使溶液浓度为 Q'_n，且在这 n 次加水量中 W_i 均为 $\frac{W_1+W_2+\cdots+W_n}{n}$ (这里 $W_1,W_2,\cdots,W_n$ 为 i) 中的加水量). 在此只需证 $Q'_n<Q_n$ 就可以证明准则 1.

现采用反证法，证明如下：

假设 $Q'_n>Q_n$，由 $Q_i=\frac{mp}{W_i+mp}\cdot Q_{i-1}$ 与 $Q'_n>Q_n$ 得

$$\left(\frac{mp}{W'+mp}\right)^n\cdot Q_0>\frac{(mp)^n}{(W_1+mp)(W_2+mp)\cdots(W_n+mp)}\cdot Q_0$$
$$\Longrightarrow(W'+mp)^n<(W_1+mp)(W_2+mp)\cdots(W_n+mp)$$
$$\Longrightarrow\frac{W_1+W_2+\cdots+W_n}{n}+mp<(W_1+mp)(W_2+mp)\cdots(W_n+mp)$$

设 $W_1+mp=x_1,W_2+mp=x_2,\cdots,W_n+mp=x_n$，可得

$$\frac{x_1+x_2+\cdots+x_n}{n}<\sqrt{x_1\cdot x_2\cdot\cdots\cdot x_n}$$

这与重要不等式 $(\frac{x_1+x_2+\cdots+x_n}{n})\geq\sqrt[n]{x_1\cdot x_2\cdot\cdots\cdot x_n}$ (式中 $x_1,x_2,\cdots,x_n$ 均为非负数) 相矛盾，即可得本模型对准则 1 适合.

通过对准则 1 的证明可知，可将 Q_i 表示为 $Q_i=(\frac{mp}{W+mp})Q_{i-1}$，且 Q_i 为一等比数列，其公比为 $\frac{mp}{W+mp}$，这样 $Q_i=(\frac{mp}{W+mp})^i\cdot Q_0$.

准则 2 "少量多次"

在用水量一定的情况下，用 $(n+k)$ 次漂洗的效果要比只用 n 次漂洗的效果好，即 $Q_{n+k}<Q_n$ (n,k 为正整数). 由 $Q_n=(\frac{mp}{W+mp})^n\cdot Q_0$ 可知当总用水量为定值，进行 n 次漂洗的溶液浓度为

$$Q_n=\left(\frac{mp}{\frac{s}{n}+mp}\right)^n,\qquad s\text{为总用水量}$$

我们首先将 n 看作连续量，则

$$\frac{dQ_n}{dn}=n\left(\frac{mp}{\frac{s}{n}+mp}\right)^{n-1}\cdot\frac{\left(\frac{s}{n}\right)\cdot mp}{\left(\frac{s}{n}+mp\right)^2}\cdot\left(-\frac{s}{n^2}\right)<0$$

则 Q_i 是关于 n 的一个递减函数，且 n 的取值范围为 $(-\infty,+\infty)$，所以对 n 取离散量，Q_n 仍然是关于 n 的减函数.

由 $n+k>n$ 得 $p_{n+k}<p_n$，即说明本模型的漂洗过程对准则 2 适合.

根据上述推证，得模型：约束方程

$$W=\frac{mp}{\sqrt[n]{\frac{Q_0}{Q_n}}}-mp,\qquad(W_{\min}<W<W_{\max})$$

$$\frac{Q_n}{Q_0}\leq\alpha^*$$

决策方程

$$\min(W_0 + nW)$$

模型 II

模型 I 有以下四个地方需改进：

一、洗涤及清洗用水的浓度应考虑洗涤剂的使用，洗涤剂在清洗阶段中也应被视为一种多余物；

二、衣物纤维作为一种固体，其体积较小，表面积很大，对乳浊液也有一定的吸附力；

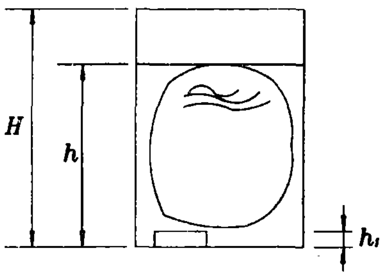
三、洗涤用水量 W_0 对清洗用水量 $\sum_{i=1}^{n} W_i$ 有影响；

四、进一步讨论总用水与衣物的哪些因素有关，给出一种较易操作的程序，使总用水量最少.

针对以上问题，我们建立模型 II.

1. 对最小注水量的讨论

为洗净衣物，并使它的磨损较少，就必须要求每次注入洗衣缸中的水能适当地悬浮并浸没该衣物. 同时，该水量能充分溶解洗涤剂，使洗涤剂的效果充分发挥.



设洗衣桶截面积为 A, 衣物吸水饱和后质量为 $m_1 = m(1+q)$, 体积 $V_1 = m_1/\gamma$ 对于某一型号洗衣机，波轮平面以上体积与 V_1 之比应为一常数 a (在最佳洗涤状态前提下), 即 $a = \frac{(h-h_1)A}{V_1}$ 由此可得

$$h = h_1 + \frac{aV_1}{A} \tag{2.1}$$

2. 对污垢残留量的讨论

由文献 [1] 中的弗兰德里胥式，可知衣物纤维对水中的乳浊液的吸附质量为 $N_i' = mk' \cdot Q_i^{\frac{1}{z}}$ (k'— 与衣物质料有关的参数， $\frac{1}{z} = 0.1 \sim 0.5$) (注：乳浊液滴指洗涤剂活性分子包裹污垢而形成的微团).

为使模型得到简化，并突出主要矛盾，并指导洗涤运行过程，可将上式在 (Q^*, Q_0) 之间残性拟合，得到下述近似值

$$N_i' = m(\alpha Q_i + \beta)$$

则残存于衣物上的乳浊液滴总量为

$$N_i = m\alpha Q_i + m\beta + mpQ_i = mQ_i(\alpha + p) + m\beta$$

3. 对洗涤用水的乳浊液浓度的讨论

$$Q_0 = \frac{mkb + mk - [mQ_i(\alpha + p) + m\beta]}{W_0} \tag{2.2}$$

上式简化后得

$$Q_0=\frac{mk(1+b)-\beta}{W_0+m(\alpha+p)},$$

令 $m(\alpha+p)=M$ 则

$$Q_0=\frac{mk(1+b)-\beta}{W_0+M} \tag{2.2)'}$$

4. 对每次漂洗时水的浓度的讨论

第 i 次注水并清洗时，乳浊液浓度表达如下：

$$Q_i=\frac{(N_{i-1}-N_i)}{W_i}$$

$$Q_i=\frac{mQ_{i-1}(\alpha+p)+m\beta-mQ_i(\alpha+p)-m\beta}{W_i}=\frac{m(\alpha+p)(Q_{i-1}-Q_i)}{W_i}$$

上式简化后得

$$Q_i=\frac{m(\alpha+p)\cdot Q_{i-1}}{W_i+m(\alpha+p)}=\frac{M\cdot Q_{i-1}}{W_i+M} \tag{2.3}$$

此结果形式与模型 I 中所得结果相似，仅 M 项略有不同，故由模型 I 得到的准则完全适用于模型 II.

5. 对漂洗次数及每次注水量的讨论

整个洗衣过程按时间分成若干段，每一阶段都需要做出决策，以便在整个过程的最终阶段得到最佳结局 — 满足一定洗涤效果并使总用水量最小.

根据 (2.3) 式，有下列递推式成立.

$$Q_1=\frac{MQ_0}{M+W_1}\Longrightarrow Q_2=\frac{M^2Q_0}{(W_1+M)(W_2+M)}$$
$$\Longrightarrow Q_n=\frac{M^n\cdot Q_0}{\prod_{i=1}^{n}(W_i+M)} \tag{2.4}$$

约束条件： $W_{\min}\le W_0\le W_{\max}$，$Q_n\le Q^*,Q_{n-1}>Q^*$.

如 Q_n,Q_0 为已知，则 (2.4) 式是动态规划的目标函数 $\min W_z'=\sum_{i=1}^{n}W_i$ 的条件方程可用拉格朗日条件极值解决动态规划问题.

求解：设某衣物清洗了 n 次

目标函数： $f(W_1,W_2,\cdots,W_n)=\sum_{i=1}^{n}W_i$

条件方程： $\dfrac{\prod_{i=1}^{n}(W_i+M)Q_n}{M^n\cdot Q_0}-1=0$

构造拉格朗日条件方程组：

$$
\begin{cases}
1+\lambda\dfrac{Q^*}{Q_0M^n}(W_2+M)(W_3+M)\cdots(W_n+M)=0\\
1+\lambda\dfrac{Q^*}{Q_0M^n}(W_1+M)(W_3+M)\cdots(W_n+M)=0\\
\quad\vdots\\
1+\lambda\dfrac{Q^*}{QM^n}(W_1+M)(W_2+M)\cdots(W_{n-1}+M)=0\\
\dfrac{Q^*}{Q_0M^n}(W_1+M)(W_2+M)\cdots(W_n+M)-1=0
\end{cases}
\tag{2.5}
$$

以上方程组为 n 元非线性方程组，有 n 组解，可以求得有 n 组相同解，参见文 [2].

$$
\begin{cases}
W_i=M\sqrt[n]{\dfrac{Q_0}{Q^*}}-M, \quad i=1,2,\cdots,n\\
\lambda=-M\sqrt[n]{\dfrac{Q_0}{Q^*}}
\end{cases}
\tag{2.6}
$$

结果与模型 I 中所得结果相吻合，则有

$$W_z'=nW_i=nM\left[\sqrt[n]{\frac{Q_0}{Q^*}}-1\right] \tag{2.7}$$

当 n 确定下来，则相应漂洗 n 次的最小漂洗用水量 W_z' 就可用 (2.7) 式计算.

6. W_0 对用水量的影响 (已知漂洗轮数), 总用水量

$$
\begin{aligned}
W_z&=W_z'+W_0=nM\left(\sqrt[n]{\frac{Q_0}{Q^*}}-1\right)+W_0\\
&=nM\left(\sqrt[n]{\frac{mk(1+b)-m\beta}{(W_0+M)\cdot Q^*}}-1\right)+W_0
\end{aligned}
\tag{2.8}
$$

设 $mk(1+b)-m\beta=s$, 则

$$W_z=nM\left(\sqrt[n]{\frac{S}{(W_0+M)\cdot Q^*}}-1\right)+W_0 \tag{2.8'}$$

$$
\begin{aligned}
\frac{dW_z}{dW_0}&=nM\left(-\frac{1}{n}\right)\sqrt[n]{\frac{S}{Q^*}}\cdot(W_0+M)^{-\frac{n+1}{n}}+1\\
&=1-M\sqrt[n]{\frac{S}{Q^*}}\cdot(W_0+M)^{\frac{n+1}{n}}
\end{aligned}
$$

令 $\frac{dW_z}{dW_0}=0$, 则

$$\sqrt[n+1]{\left(M\cdot\sqrt[n]{\frac{S}{Q^*}}\right)^n}=(W_0+M)^{n+1}$$

$$W_0+M=\sqrt[n+1]{\left(M\sqrt[n]{\frac{S}{Q^*}}\right)^n}=\sqrt[n+1]{\frac{M^nS}{Q^*}}$$

则

$$W_0=\sqrt[n+1]{\frac{M^nS}{Q^*}}-M \tag{2.9}$$

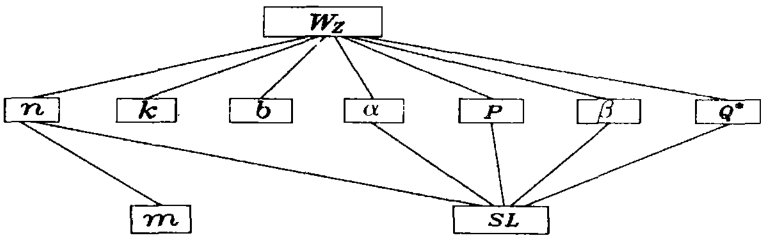
上式代入 (2.8)' 式，得 (令 $s=mk(1+b)-m\beta$)

$$W_z=nM\left(\frac{\sqrt[n]{\frac{mk(1+b)-m\beta}{Q^*}}}{\sqrt[n+1]{M\sqrt{\frac{mk(1+b)-m\beta}{Q^*}}}}-1\right)+\sqrt[n+1]{\frac{M^n\cdot S}{Q^*}}-M \tag{2.10}$$

由 (2.10) 式知，当洗涤次数 n 确定时

$$W_z=f_1(m,\alpha,p,k,b,\beta,Q^*)$$

其中 α,p,β,Q^* 均由衣物属性确定，统称为属性变量 SL. 各变量对总用水量的影响见下图：



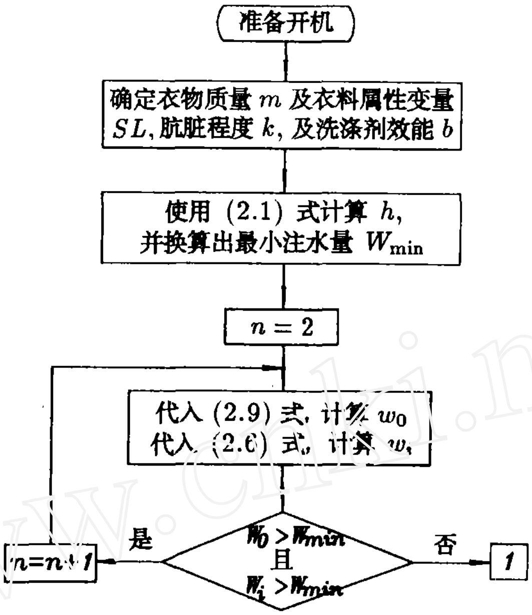
7. 实现最小用水量的非线性整数规划模型

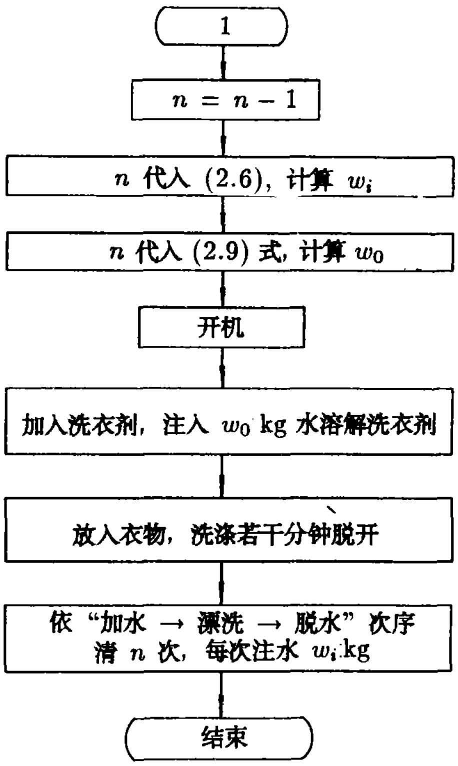
根据准则 I 、II, 为了实现最小用水量，可用下述规模型实现

$$\begin{cases}\max=n\\ W_i=M\left(\sqrt[n]{\frac{Q_0}{Q^*}}-1\right)>W_{\min}\\ W_0=\sqrt[n+1]{\frac{M^n(mk(1+b)-m\beta]}{Q^*}}-M\end{cases} \tag{2.11}$$

($W_{\min}$ 由 h 及衣物属性确定).

8. 程序实现对最小用水量的控制


准备开机
确定衣物质量 m 及衣料属性变量 SL,肮脏程度 k, 及洗涤剂效能 b
使用 (2.1) 式计算 h, 并换算出最小注水量 $W_{\min}$
$n = 2$
代入 (2.9) 式, 计算 w_0
代入 (2.6) 式, 计算 w_i
$W_0 > W_{min}$ 且 $W_i > W_{min}$
是
$n=n+1$
否
1


1
$n = n - 1$
n 代入 (2.6), 计算 w_i
n 代入 (2.9) 式, 计算 w_0
开机
加入洗衣剂，注入 w_0 kg 水溶解洗衣剂
放入衣物，洗涤若干分钟脱开
依“加水 → 漂洗 → 脱水”次序清 n 次，每次注水 w_i kg
结束

六、适用合理的数据进行计算

我们搜集以下三种数据，如下表

	m	p		m	p		m	p
毛料	4kg	1	纯棉 1	4kg	2.3	纯棉 2	2kg	2.3

通过本模型计算得 (当 Q^* 取 0.01 时) 结果如下表

	W (kg)	n (轮次)		W (kg)	n (轮次)		W (kg)	n (轮次)
毛料	74	2	纯棉 1	108	3	纯棉 3	84	2

注 本结果都是附录二 C 程序计算得到．（附录二略）

我们对大容量双桶洗衣机 XPB45-85，用我们所选的三种布料进行了测试，得到以下结果

	W (kg)	n (轮次)		W (kg)	n (轮次)		W (kg)	n (轮次)
毛料	78	2	纯棉 1	84	2	纯棉 2	84	2

与计算所得结果相吻合．

七、模型的优缺点及改进方向

本文采用两个模型，对问题的讨论由浅入深，在引用了一定的符号系统后，进行了严格的数学分析与推导．使模型建立在坚实的数学基础上．模型的建立采用了常用的动态规划思想，算法上容易实现；尽管用水量的表达式过于庞杂，但能在洗衣机的实际设计或操作时，抓住主要矛盾．最后本模型给出了一个洗衣机最佳节水运行程序框图．

本模型可在以下几方面进行改进：

一、考虑洗衣过程中“中水”(已用过的水) 的利用；

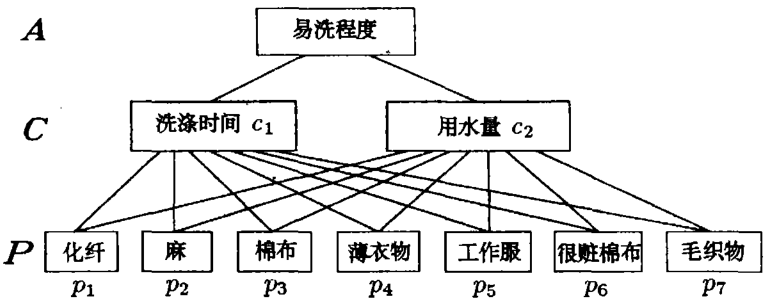
二、如何在衣物分类时采用本模型的成果；

三、结合考虑能源、水和时间的节约．

附录一

衣物的分类

人们洗衣时从综合因素考虑，主要从衣服洗涤的难易程度上来把衣服分类，而衣服洗涤的难易程度主要与洗涤时间用水量有关．得递阶层结构为：



构造相互反矩阵

(1) 判别矩阵 $A-C$

A	C_1	C_2
C_1	1	1/2
C_2	2	1

$$\lambda_{max}=2, \qquad CR=0<0.1$$

(2) 判别矩阵 $C_1 - P$

C_1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1	1	1/4	1/5	1	1/7	1/9	1/3
P_2	4	1	1/2	3	1/2	1/3	2
P_3	5	2	1	4	1/2	1/3	2
P_4	1	1/3	1/4	1	1/5	1/7	1/2
P_5	7	2	2	5	1	1	5
P_6	9	3	3	7	1	1	7
P_7	3	1/2	1/2	2	1/5	1/7	1

得 $\lambda_{max} = 7.128, CR = 0.017 < 0.1$

(3) 判别矩阵 $C_2 - P$

C_2	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1	1	1/2	1/3	1	1/5	1/7	1/2
P_2	2	1	1/2	2	1/2	1/3	1
P_3	3	2	1	3	1/2	1/2	4
P_4	1	1/2	1/3	1	1/3	1/5	1
P_5	5	2	2	3	1	1/2	2
P_6	7	3	2	5	2	1	4
P_7	2	1	1/4	1	1/2	1/4	1

$$\lambda_{\max} = 7.119, \qquad CR = 0.015 < 0.1$$

最后得程序总排序计算结果如下：

排序为： $P_6, P_5, P_3, P_2, P_7, P_4, P_1$

对应权向量为： 0.337, 0.25, 0.154, 0.107, 0.067, 0.046, 0.037

然后根据权向量对衣物进行分类如下：

很赃棉布、工作服、棉布分为一类；

毛织物、麻分为一类；

化纤、薄衣物分为一类.

注 本层次分析法中的所有计算都是通过实用 AHP 软件实现.

科学家谈数学

··· the low levels of support for mathematics research can only flow from a totally inadequate appreciation of the benefits it confers. Apparently, too few people recognize that the "high technology" that is so celebrated today is essentially mathematical technology.

E.E.David Jr., Notices of American Mathematical Society, 1984, 31(2), p142.

英译中： 对数学研究的低水平的资助只能来自对于数学研究带来的好处的完全不妥的评价，显然，很少有人认识到被如此称颂的高技术本质上是一种数学技术.

(叶其孝试译)