

还要“同流合污”吗？

摘要

本文主要针对深圳市特殊的水文环境以及历史遗留下的一些问题，建立了深圳的治水提质工程，重点放在排水管网的建设以及污水处理厂的扩建上。并针对这些方案，给出了其未来几年内费用的预测以及实施清源或截排的判定指标。然后我们选择茅洲河流域作为我们选定的区域，然后给出了污水治理建议方案，并且最终根据一、三、五、八年规划进行了合理性的评估。

由于深圳原特区已经基本建成排水管网系统，故只需要考虑剩下六个区，但是其中四个新区是后来从宝安区、龙岗区分划出来的，数据量不够多，从而将六个区按原龙岗区、原宝安区划分。

首先，基于排水管网的建设以及污水处理厂的扩建两个方面建立了初步的费用模型。无论污水管网还是雨水管网的费用均是与其直径和修建长度所决定。其中污水管网的长度由各区的规模以上企业工业增长值的比例决定；雨水管网的长度由各区内涝点的个数比决定。由于污水处理厂扩建的费用难以估计，从而将其转换为每天多处理一万吨污水所需费用进行计算。

然后我们量化分析雨污“分流”与“混流”收集机制对污水处理系统以及海绵城市建设的影响，影响程度取决于相关性，相关性大则说明影响大，这里我们使用了距离相关性进行比较。然后，我们通过建立多元线性回归模型，根据其回归拟合系数，来确定分流、混流对污水处理机制与海绵城市建设的影响大小与正负相关性，同时再与前面的距离相关性的结果进行比较，进行综合分析。

其次，在花费最小的问题中，考虑实行雨污分流时，随着雨水管道的完善，污水处理厂的扩建规模在逐渐减小，从而二者费用之和存在极小值点，这也是实行分流与混流的判定条件即费用最少。我们在进行“清源”与“截排”的判断时，固定住未来的一、三、五、八年后，分别以分流覆盖率为因变量，以污水厂扩建花费与雨水管道铺设花费之和作为判断标准，来决定是否要实行“清源”，如果要需要实行，那么“清源”与“截排”覆盖率之比达到多少时，花费最少。

针对模型的预测，基于时间序列 $ARIMA(p,d,q)$ 模型对城市中两个区域（原龙岗区和原宝安区）进行了未来八年的污水排放总量进行预测，并且检验后发现效果较为令人满意。

最后我们选择了深圳市污染最严重的宝安区的茅洲河流域进行水质模型的建立。通过建立污染指数与雨水污水管道，污水处理厂建设之间的多元回归模型，预测未来的 1,3,5,8 年的水质综合污染指数，并且进行分析，看能否达到政府规定的 1,3,5,8 年计划。

得出结论：完成“一、三”计划有些困难，但基本可以完成“五、八计划”。并且从长远来看，模型的规划——实现“清源”的全面覆盖较为符合当今社会可持续发展的战略目标，更加有利于社会的发展，顺应时代的潮流。

关键词：时间序列 排水管网覆盖率 排水管网—污水处理厂模型 多元线性回归
Logistic 回归

目录

1 背景介绍	3
2 符号说明	3
3 模型假设	4
4 模型建立与求解	4
4.1 排水管网—污水处理厂模型.....	4
4.1.1 模型的建立.....	4
4.1.1.1 修建污水管网的工程费.....	4
4.1.1.2 雨水管网建设的花费.....	5
4.1.1.3 污水处理厂扩建的费用.....	6
4.1.2 模型的求解	7
4.1.2.1 修建污水管网的花费.....	7
4.1.2.2 雨水管网建设的花费.....	8
4.1.2.3 污水处理厂扩建的费用.....	9
4.2 基于时间序列的污水量预测模型	10
4.2.1 模型的建立	10
4.2.2 模型的求解	11
4.2.3 模型的检验	12
5 雨污混流与分流机制的影响	13
5.1 量化分析雨污混流和雨污分流对污水处理系统的影响.....	13
5.2 雨污混流和分流综合量化线性模型.....	13
5.3 雨污混流和雨污分流对海绵城市建设的影响.....	15
6 治理方案与合理性分析	16
6.1 治理方案.....	16
6.1.1 污水处理厂建设.....	16
6.1.2 排水管网建设.....	16
6.1.3 河流综合整治.....	17
6.1.4 整治污染企业，严查违建现象.....	17
6.1.5 建设海绵城市.....	17
6.1.6 洪涝应急措施.....	17
6.1.7 饮用水源的水质保护.....	18
6.1.8 健全水环境监测网络.....	18
6.2 合理性分析	18
6.2.1 针对原宝安区的合理性分析.....	18
6.2.2 针对茅洲河流域的合理性分析.....	20
7 模型的优缺点	21
7.1 模型的优点.....	21
7.2 模型的缺点.....	21
8 参考文献	22

一、 背景介绍

深圳是一个降雨时空分布极为不均的沿海城市，在常年缺水的同时，洪涝灾害常有发生。因此我们建立了一个排水管网—污水处理厂模型，将重点放在改善深圳排水管网上，对雨污分流以及混流机制进行分析。由于深圳原特区内排水管网的建设已经基本完善，我们主要考虑深圳市的其他六个区，但四个新区数据较少，为了使接下来的预测更为精准，我们选择原宝安区和原龙岗区来进行分析并给出污水治理建议。通过对模型的求解，我们得出短时期内该区域最经济合理的方案，但从长远的角度来看，深圳市全面实施清源措施是势在必行的。

二、 符号说明

总费用	S	各区年降水总量(m^3)	p_i
污水管工程费	S_1	深圳市年降水总量(m^3)	p
雨水管工程费	S_2	现在污水厂处理量(吨)	D_i
污水处理厂扩建的工程费用	S_3	污水处理厂每处理一吨污水的扩建费用(元)	H
污水管道总长度(m)	L_w	污水净化能力比	α
不同区污水管道总长度(m)	L_{wi}	深圳市不同区的土地面积(平方米)	M_i
不同区污水管道直径(m)	d_{wi}	时间	$t \geq 0, t = 0$ 表示现在
雨水管道的总长度(m)	L	t年后各区污水排放量(吨)	E_{it}
不同区雨水管道总长度(m)	L_i	t年后各区污水量(吨)	U_{it}
不同区雨水管道直径(m)	d_i	t年后各区雨水排放量(吨)	e_{it}
雨水在管道中的流速(米/秒)	v_r	t年后污水处理能力(吨)	D_t
各区污水排放量(吨)	E_i	各区污水量(吨)	U_i
污水处理厂现在处理规模(吨/天)	$U_{现}$		

i 取 1, 2 分别表示原龙岗区（包括龙岗区、坪山新区、大鹏新区）、原宝安区（包括宝安区、光明新区、龙华新区）。

三、 模型假设

1. 污水处理厂有地方可以扩建，并且在文中提及的新建均指在原厂址扩建，扩建的工厂视为新建的。
2. 由于每个区内管道粗细不一致，设计直径为平均直径。
3. 假设污水管网与雨水管网的覆盖率随年份呈线性增长。
4. 假设原特区（福田区、罗湖区、南山区、盐田区）已经实现雨污分流，从而本文针对原龙岗区和原宝安区。
5. 假设雨水在管道中的流速 $v_r = 1.5m/s$
6. 由于每年的降雨量随机性比较强，故以后每年的降雨量均取前些年的平均值。
7. 由于污水总量较难确定，在查阅相关资料后，用水量减去用水消耗量作为污水量较为合理。
8. 各个区内的降雨量平均分配。
9. 污水管网、雨水管网在每个区内的分布是均匀的。
10. 时间 $t \leq 9$

四、 模型的建立与求解

4.1 排水管网—污水处理厂模型

4.1.1 模型的建立

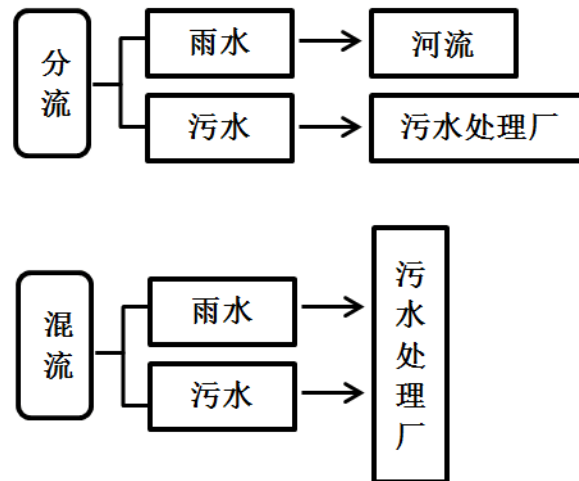


图 4.1.1

（注：图中雨水和污水均指流经管道的雨水和污水。）
总花费为：

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

（1）修建污水管网的工程费

由于现在污水管网暂不完善，城市的污水并不能全部送往污水处理厂。原特

区已经基本完善污水管网的建设，则假设之后污水管网只在原龙岗区、原宝安区内建设。

现在深圳已建设污水管网的长度 L_0 ，由规划知，到 2025 年再建设六千公里的污水管网全市基本可以完善污水管网，即 $L_w = 5.938 \times 10^6 m$ ，从而可知如今污水管网的覆盖率 $v_0 = 42.3047\%$

由于新建的污水管网主要解决的是工厂污水送往污水处理厂的问题，从而每个特区新建污水管网的长度按其规模以上工业企业增长值的比例进行分配。经过数据查找和计算可得出大致比例 $\mu_i (i=1,2)$ ，从而每个区需要新建污水管道的总长度为：

$$L_{wi} = L_w \cdot \mu_i, i=1,2$$

假设每年污水管网的建设比率呈线性增长，则 t 年后每个区的污水管网覆盖率均为

$$v_t = v_0 + \frac{1-v_0}{9} \cdot t$$

t 年后每个区污水管网的长度为：

$$L_{wit} = v_t \cdot L_{wi}, i=1,2$$

由以上的分析可知，修建污水管网的总长度为 L_w 。假设每个区新修建的污水管网的直径均为 d_w ，则 t 年后修建污水管网的花费为：

$$S_1(t) = \sum_{i=1}^2 (g(d_w, L_{wit}))$$

(2) 雨水管网建设的花费

假设现在原特区雨水管网覆盖率为 100%，原宝安区和原龙岗区现在的雨水管网覆盖率为 $\sigma_{i,0} (i=1,2)$ ，现已建设总长度为 L_0 的雨水管网，其中原特区内雨水管网的长度为 L_y 。假设各个区需要建设雨水管网的总长度由内涝点的比例决定，将每个区建设的比例设为 $\tau_i (i=1,2)$ 。

每个区建设的雨水管网的总长度为：

$$L_i = L \cdot \tau_i, (i=1,2)$$

假设雨水管网的覆盖率为 σ_{it} ，关于时间的函数

$$\sigma_{it} = \sigma_{i,0} + \theta_i(t), i=1,2$$

t 年后每个区的雨水管道长度为:

$$L_{it} = L_i \cdot \theta_i(t), i=1,2$$

t 年后雨水管的造价为:

$$S_2(t) = \sum_{i=1}^2 f(d_i, L_{it})$$

其中, 管道的直径 d 是由降雨量的大小来决定的。具体决定方法如下:

水在水管中流速在 1-3 米/秒, 我们取雨水在管中流速 v_r 为 1.5 米/秒。

随着海绵城市的建设, 进入地下管道的雨水越来越少。假设进入管道的雨水即雨水排放量 e_{it} 以每年 η 的速度减小, 并且根据查阅的资料可知, 如今大概有 $\eta_0=70\%$ 的雨水流入管道, 则 t 年后雨水排放量为:

$$e_{it} = p_i \cdot \eta_0 \cdot (1-\eta)^t, i=1,2$$

其中, 我们最终期望达到的目标是在 t 年后, $\eta_0 \cdot (1-\eta)^t \leq 30\%$, 即小于 30% 的雨水流入地下。

每个区总管道的最小直径可以由以下不等式决定:

$$v_r \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_i}{2}\right)^2 \cdot t \geq \max(e_{it} \cdot M_i), i=1,2,$$

即在某一段时间内, 某一区的降雨总体积小于在这一时间内管道内可以通过的水量, 此时管道就不会发生堵塞, 该直径较为合理。

虽然在雨水流经水管的过程中会有淤泥沉积, 但是目前广泛采用的方法是用水冲洗淤泥。我们认为以后依旧可以采用这种方法。

(3) 污水处理厂扩建的费用

关于污水处理厂的扩建问题, 要先判断是否需要扩建。判断的标准就是: 在一段时间内污水排放总量与存在的污水处理厂可以处理的污水量进行比较, 定义污水处理能力 α 这一指标:

$$\alpha = \frac{\text{污水处理能力}}{\text{城市污水排放量}} = \frac{D_t}{E_t}$$

其中当 $\alpha > 1$, 则表示城市现有污水处理厂已能满足如今的污水处理, $\alpha < 1$ 则表示如今污水处理厂不能完全处理全部污水, 需要新建新的污水处理厂。查阅资料知现在的 $\alpha = 96.22\%$, 所以现在需要进行污水处理厂的扩建。

在需要扩建污水处理厂的情况下, 扩建的费用由每处理一吨污水的费用以及 t 年后各区污水排放量决定。

下面确定污水处理厂的扩建规模:

首先确定 t 年后城市污水的排放量, 其既包括生活等污水的排放, 也考虑进去由于雨污混流而运输到处理厂的雨水:

$$E_{it} = U_{it} \cdot v_t + [1-\theta_i(t)] \cdot e_{it}$$

由于雨水管网的建设, 送往污水处理厂的雨水减少, 从而污水处理厂的扩建规模减小, 即雨水管网修建的费用增加的同时可以减少扩建污水处理厂的费用, 所以二者的费用和存在极小值。同时, 为了环保, 污水管网的修建是必须的, 其费用也是必须的, 所以在考虑总费用的极小值的时候只需考虑雨水管网修建的费用与扩建污水厂的费用之和的极小值即可。

t 年后, 污水处理厂比上一年多处理的污水:

$$\Delta E_{it} = E_{it} - D_t, i=1,2$$

从而, 每年扩建污水处理厂的总花费为:

$$S_3(t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^2 (H \cdot \Delta E_{it}), \Delta E_{it} > 0 \\ 0, \Delta E_{it} \leq 0 \end{cases}$$

根据以上分析, 最终总费用表达式为:

$$S(t) = \sum_{i=1}^2 (f(d_i, L_{it})) + \sum_{i=1}^2 (H \cdot \Delta E_{it}) + \sum_{i=1}^2 (g(d_w, L_{wit}))$$

4.1.2 模型的求解

数据我们全部都是通过上网查找资料, 附件 2 内的数据以及建立合理的模型预测进行确定, 所以, 求解出来的结论有一定合理性。

4.1.2.1. 建设污水管网的花费

已建设污水管网的长度 $L_0 = 4.354 \times 10^6 m$, $\mu_1 : \mu_2 = 0.447614 : 0.552386$

从而求得 $L_{w1} = 2.658 \times 10^6 m$, $L_{w2} = 3.28 \times 10^6 m$, 如今污水管网的覆盖率 $\nu_0 = 42.3047\%$,

$\nu_t = \nu_0 + \frac{1-\nu_0}{9} \cdot t$, 9 年后实现污水管网全覆盖, 所以 $t \leq 9$, 代入数据解得:

$$\nu_t = 0.423047 + 0.064106 \cdot t$$

所以 t 年后每个区污水管网的长度为:

$$L_{w1t} = (1.1244 + 0.1704 \cdot t) \times 10^6 m$$

$$L_{w2t} = (1.3453 + 0.2039 \cdot t) \times 10^6 m$$

使用 DN500 污水管道, 内径 500mm, 其工程费为 4700 元/m, 得到两个区以及全市 t 年后修建污水管网的花费为:

$$S_{11}(t) = (5.2847 + 0.8009 \cdot t) \times 10^9 \text{ 元}$$

$$S_{12}(t) = (6.3229 + 0.9583 \cdot t) \times 10^9 \text{ 元}$$

$$S_1(t) = (1.1608 + 0.1759 \cdot t) \times 10^{10} \text{ 元}$$

4.1.2.2 建设雨水管网的花费:

假设各个区需要建设雨水管网的总长度由内涝点的比例决定

查阅有关数据可知,原特区雨水管道长度、原宝安区雨水管道长度、原龙岗区雨水管道长度比例大致为 1:0.60942:0.49951。

根据附件二,如今全市的雨水管道总长度 $L_{\text{现}} = 7280\text{km}$,而原特区我们假设已经基本实现清源,所以雨水管道覆盖率为 100%,从而原特区现在雨水管道的长度 $L_y = 3451.9875\text{km}$,此时原特区内的雨水管道认为已经完善。

现在原龙岗区雨水管道覆盖率 $\sigma_{1,0} = 23.7\%$,已修建的雨水管道长为 1725.36 公里。

现在原宝安区雨水管道覆盖率 $\sigma_{2,0} = 28.9\%$,已修建的雨水管道长为 2103.92 公里。

查阅数据知,原特区的内涝点、原龙岗区的内涝点、原宝安区的内涝点的比例为 77:167:202。

故原龙岗区、原宝安区雨水管道达到完善总共需要的雨水管道的长度为:

$$L_{1z} = 7486.778\text{km}, L_{2z} = 9055.863\text{km}$$

$$\text{从而 } L_1 = 5761.42\text{km}, L_2 = 6951.94\text{km}$$

$$t \text{ 年后每个区的雨水管道长度为: } L_{it} = L_i \cdot \sigma_{it}, i = 1, 2$$

又有:

$$S_2(t) = \sum_{i=1}^2 f(d_i, L_{it})$$

$$d_1 = 1000\text{mm}, d_2 = 800\text{mm},$$

两种管道价格分别为 6000 元/m, 5000 元/m, 由于原龙岗区降水量多于原宝安区降水量,所以我们针对原龙岗区将采用直径为 $d_1 = 1000\text{mm}$ 的管道,针对原宝安区采用直径为 $d_2 = 800\text{mm}$ 的雨水管道(这里管道直径的计算我们采用的是平均意义下的计算)。

所以得到两个区以及全市 t 年后修建雨水管网的花费为:

$$S_{21}(t) = 3.4569 \times 10^{10} \cdot \theta_1(t) \text{ 元}$$

$$S_{22}(t) = 3.476 \times 10^{10} \cdot \theta_2(t) \text{ 元}$$

$$S_2(t) = 3.4569 \times 10^{10} \cdot \theta_1(t) + 3.476 \times 10^{10} \cdot \theta_2(t) \text{ 元}$$

4.1.2.3 扩建污水处理厂的花费:

随着海绵城市的建设,进入地下管道的雨水越来越少。假设进入管道的雨水即雨水排放量 e_{it} 以每年 η 的速度减小,根据查阅的资料可知, $\eta=5\%$,且如今大概有 $\eta_0=70\%$ 的雨水流入管道,则 t 年后雨水排放量为:

$$e_{it} = p_i \cdot \eta_0 \cdot (1-\eta)^t, i=1,2$$

降水量我们假设是不变化的,所以取平均,原龙岗区年降水总量为 15.66 亿立方米(1.566×10^9 吨),原宝安区年降水总量为 12.41 亿立方米(1.241×10^9 吨)

$$e_1(t) = (1.566 \times 10^9) \cdot 0.7 \cdot (1-0.05)^t = (1.0962 \cdot 0.95^t) \times 10^9 \text{ 吨}$$

$$e_2(t) = (1.241 \times 10^9) \cdot 0.7 \cdot (1-0.05)^t = (0.8687 \cdot 0.95^t) \times 10^9 \text{ 吨}$$

首先确定 t 年后城市污水的排放量,其既包括生活等污水的排放,也考虑进去由于雨污混流而运输到处理厂的雨水:

$$E_{it} = U_{it} \cdot v_t + [1 - \theta_i(t)] \cdot e_{it}, \text{ 其中 } v_t = v_0 + \frac{1-v_0}{9} \cdot t$$

$$E_{1t} = U_{1t} \cdot (0.4230 + 0.0641 \cdot t) + [1 - \theta_1(t)] \cdot e_{1t}$$

$$E_{2t} = U_{2t} \cdot (0.4230 + 0.0641 \cdot t) + [1 - \theta_2(t)] \cdot e_{2t}$$

$$E_t = \sum_{i=1}^2 E_{it}$$

$$S_{31}(t) = H \cdot (E_{t1} - D_1), \quad S_{32}(t) = H \cdot (E_{t2} - D_2)$$

$$S_3(t) = \sum_{i=1}^2 S_{3i}(t)$$

现在全市污水处理厂的规模是 448.50 万吨/日,但我们假设各个区分别处理各自的污水,所以针对我们的模型,原龙岗区的污水年处理规模是 207.00 万吨/日,则年处理量 D_1 为 7.55550 亿吨;原宝安区的污水年处理规模是 112.50 万吨/日,则年处理量 D_2 为 4.10625 亿吨。 H 在查阅相关资料后定为 7000 元/吨

根据上述的求解结果,我们先进行在既能达到治污要求,又能尽量节省开支的原则下,区域治污时实施“清源”、“截排”措施的判定。

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$S_1 \text{ 无论如何都要增加}$$

$$S_2 \uparrow \Leftrightarrow S_3 \downarrow$$

$$S_2 + S_3 \text{ 存在极小值点}$$

图 4.1.2.3.1 判定条件

由于必须达到治污要求，投入到污水管道建设的费用在未来数年内是必须的，所以在节省开支的原则下，只考虑在处理完城市所有污水的前提下，雨水管道的建设的费用以及使污水处理厂扩建的费用达到最优即可，记为 W 有如下公式：

$$W_i(t) = S_{2i}(t) + S_{3i}(t), i = 1, 2$$

要使 W_i 分别达到最小即可， W_i 分别随时间与覆盖率的图像如下所示：

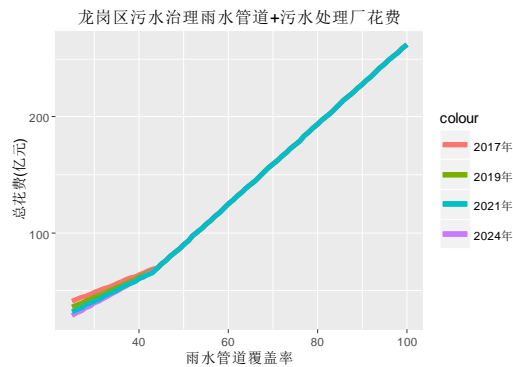


图 4.1.2.3.2

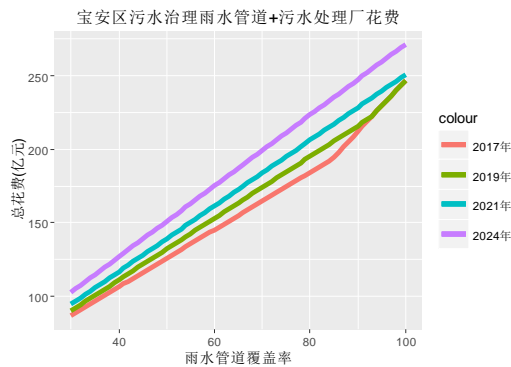


图 4.1.2.3.3

由图知，原龙岗区与原宝安区随着雨水管道覆盖率的增加，总花费在不断地上升，所以在既能达到治污要求，又能尽量节省开支的原则下，宝安区与龙岗区不进行“清源”，继续维持原本的“截排”，然后进行污水处理厂的扩建，即可达到费用的最优。

4.2 基于时间序列的污水量预测模型

4.2.1 模型的建立

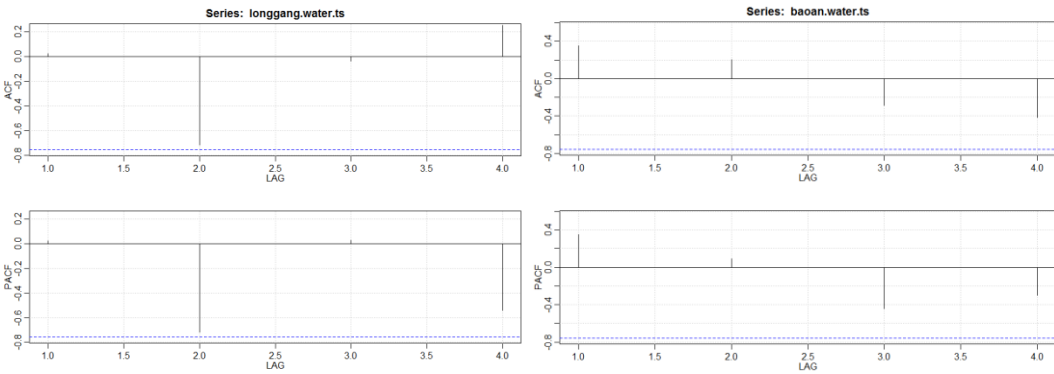
建立关于原龙岗区以及原宝安区未来八年内变化情况时间序列模型，先建立 ARMA(p,q)模型：

$$\sum_{i=0}^p \phi_i^{(k)} \cdot X_{t-i}^{(k)} = \sum_{j=0}^q \theta_j^{(k)} \cdot W_{t-j}^{(k)}$$

其中 $\phi_0^{(k)} = \theta_0^{(k)} = 1$, $W_t^{(k)} \sim N(0, \sigma_w^2)$, $k=1$ 表示原龙岗区, $k=2$ 表示原宝安区。

4.2.2 模型的求解

首先我们先对模型进行平稳性分析, 对此我们先观察两个区时间序列的 ACF 和 PACF 图。



原龙岗区 ACF PACF 图 4.2.2.1

原宝安区 ACF PACF 图 4.2.2.2

观察 ACF 图, 发现不需要差分, 就已经比较平稳, 所以两者的差分次数 d 都取 0 次。

然后分别运用 AIC 准则进行 p 和 q 的选取, 判定结果如下:

原龙岗区	原宝安区
$p=0 \ q=0 \ AIC=124.0376$	$p=0 \ q=0 \ AIC=135.5762$
$p=0 \ q=1 \ AIC=124.1469$	$p=0 \ q=1 \ AIC=136.8978$
$p=0 \ q=2 \ AIC=122.6589$	$p=0 \ q=2 \ AIC=136.9928$
$p=1 \ q=0 \ AIC=126.0335$	$p=1 \ q=0 \ AIC=136.4754$
$p=1 \ q=1 \ AIC=125.7705$	$p=1 \ q=1 \ AIC=138.406$
$p=1 \ q=2 \ AIC=124.6298$	$p=1 \ q=2 \ AIC=138.9711$
$p=2 \ q=0 \ AIC=121.8155$	$p=2 \ q=0 \ AIC=138.2518$
$p=2 \ q=1 \ AIC=122.55$	$p=2 \ q=1 \ AIC=139.955$
$p=2 \ q=2 \ AIC=124.3768$	$p=2 \ q=2 \ AIC=139.2554$

表格 4.2.2.3

针对原龙岗区, 我们发现 $p=2, q=0$ 是 AIC 最小, 所以原龙岗区的时间序列模型我们最终确定为: ARIMA(2,0,0)

针对原宝安区, 我们发现 $p=0, q=0$ 是 AIC 最小, 这相当于是个白噪声模型, 无法进行预测, 所以我们选取第二小的 AIC, $p=0, q=1$, 所以原宝安区的时间序列模型我们最终确定为: ARIMA(0,0,1)

下面进行参数的求解:

$$\phi_1^{(1)} = 0.1092, \quad \phi_2^{(1)} = -0.7659, \quad \theta_1^{(1)} = 0.4060$$

4. 2. 3 模型的检验：

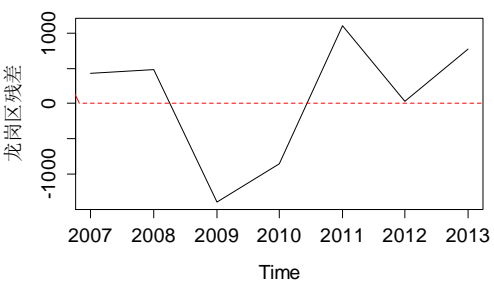


图 4.2.3.1

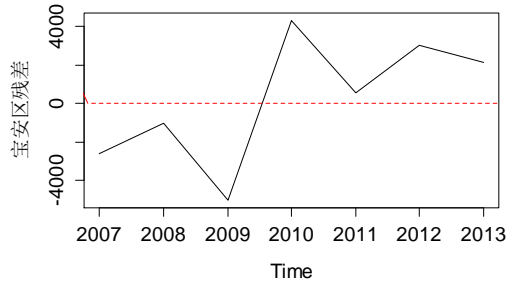


图 4.2.3.2

由于数据的年份较少，我们只能推测出残差波动较为稳定，由下面的 Q-Q 图我们也能得出同样的结论。

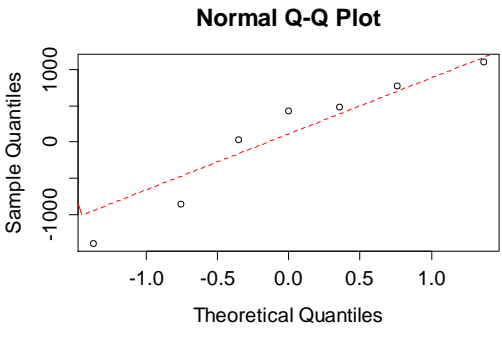


图 4.2.3.3 原龙岗区

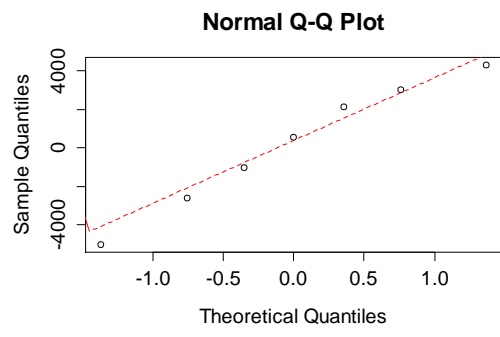


图 4.2.3.4 原宝安区

	2014 年实际值	2014 年预测值	绝对误差
原龙岗区污水量	36933.30	35253.68	4.55%
原宝安区污水量	61850.16	59487.89	3.82%

表格 4.2.3.5

结合上表发现两个区的预测效果较好，下面进行预测两个区的总污水量的预测。变化趋势与与预测值分别如下图和下表所示：

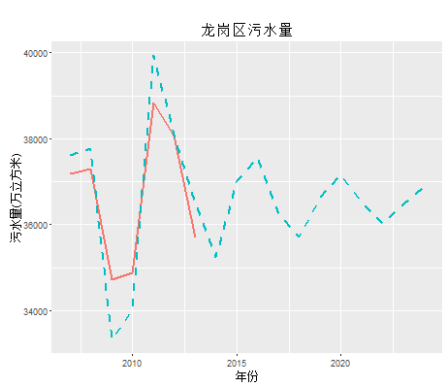


图 4.2.3.6

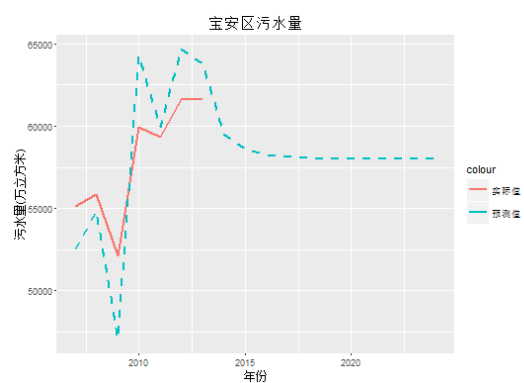


图 4.2.3.7

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
原龙岗区 污水量(万 立方米)	36259. 92	35709. 10	36639. 08	37162. 54	36507. 47	36034. 99	36485. 09	36896. 12
原宝安区 污水量(万 立方米)	58119. 70	58061. 41	58037. 75	58028. 14	58024. 24	58022. 65	58022. 01	58021. 75

表格 4.2.3.8

五、雨污混流与分流机制的影响

5.1 量化分析雨污混流和雨污分流对污水处理系统的影响：

分别讨论现在假设在混流和分流情况下，对污水处理厂处理压力的影响。

假设这两个区均为混流，并且假设污水管网已经完善，则可以基于以上的模型计算出送往污水处理厂的水总量（包括污水和雨水），与污水处理厂可以处理污水的能力进行比较，可以得出每年有 18.9 亿吨的污水不能被处理而被直接排放至河流中造成污染。同时，在暴雨天气时，由于雨水也被送往污水处理厂，从而将有更多的污水不能被污水处理厂处理而污染环境。

假设全部实现了分流，则送去污水处理厂的水量只是用水量，比较其与污水处理厂的污水处理能力，可以得出实行分流之后原龙岗区污水处理厂可以处理污水，原宝安区每年有 2.01 亿的污水不能被处理。在暴雨天气时，这些雨水并不会流向污水处理厂，从而不会增加污水处理厂的处理压力。

2014 年	原宝安区	原龙岗区
设计处理规模（万立方米/年）	41062.5	75555
流经管道的雨水（万立方米/年）	88240	117600
污水量（万立方米/年）	61850.16	36933.30
混流情况下流经管道的污水（万立方米/年）	150090.16	154533.30

表格 5.1.1

5.2 雨污混流和分流综合量化线性模型：

假设分流和混流是独立的，单独看雨水管道长度对不能处理污水量的依赖性（相关性），依赖性大的证明影响性大。

为简化模型，我们使用雨水管道长度来表示“分流”收集机制；污水管道长度来表示“混流”收集机制。响应变量为蓄水池蓄水量。

我们认为：蓄水池蓄水可以表现海绵城市建设情况，海绵城市建设越好，污水处理系统也越先进，蓄水池就可以蓄水越多。同时，城市绿化覆盖面积同样可以表示海绵城市建设情况。

我们将变量标准化（消除量纲）后，建立多元线性模型：

$$\text{模型一：} Y_1 = \beta_{20} + \beta_{21} \cdot X_1 + \beta_{22} \cdot X_2$$

$$\text{模型二：} Y_2 = \beta_{30} + \beta_{31} \cdot X_1 + \beta_{32} \cdot X_2$$

其中， Y_1 表示绿化覆盖面积的差分（例如 2006 年绿化覆盖面积 - 2005 年绿

化覆盖面积，记为 2006 年绿化增加)，Y₂表示蓄水池蓄水量，X₁表示雨水管道长度，X₂表示污水管道长度。

年份	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
蓄水	17795.11	22699.97	22759	19500	21560	21038	22996	18670	23536
绿化	-170	-965	-95	17	6	44	-17	-17	-3
雨水	4960.21	4883.92	4638.18	NA	NA	5351.26	NA	4563.22	4313.22
污水	4354.28	4267.78	3954.73	NA	NA	3552.09	NA	2245.02	2045.02

表格 5.3.1

其中 NA 表示数据缺失。

模型结果如下所示：

模型一：Y₁ = -0.0432 - 0.4434 · X₁ + 0.1501 · X₂

模型二：Y₂ = -0.2124 + 0.4180 · X₁ - 0.8911 · X₂

模型结果表明X₁对Y₁的影响比较大，即雨水管网长度对绿化面积变化量影响较大，因为X₁前面的系数比较大。并且从符号可以看出，雨水管网越短，污水管网越长，绿化量的年均变化面积就越大。

X₂对Y₂的影响比较大，即污水管网长度对蓄水量影响较大，因为X₂前面的系数比较大。并且从符号可以看出，雨水管网越长，污水管网越短，蓄水池蓄水量就越大。

得出的结论不是一致的，所以我们对模型进行检验(对系数进行 Wald 检验，对总体进行 F 检验)：

模型一：

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.04324	0.57018	-0.076	0.944
x1	-0.44336	0.80197	-0.553	0.619
x2	0.15012	0.80197	0.187	0.863

Residual standard error: 1.397 on 3 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1038, Adjusted R-squared: -0.4936

F-statistic: 0.1738 on 2 and 3 DF, p-value: 0.8484

模型二：

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.2124	0.5096	-0.417	0.705
x1	0.418	0.7168	0.583	0.601
x2	-0.8911	0.7168	-1.243	0.302

Residual standard error: 1.248 on 3 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.3491, Adjusted R-squared: -0.08476

F-statistic: 0.8047 on 2 and 3 DF, p-value: 0.5251

表格 5.3.2

两个模型的检验结果中， X_1 与 X_2 的系数的 Wald 检验的 p 值都远大于 0.05，表明这两个变量对 Y 的影响都不大。并且两个模型的 F 检验的 p 值也都远大于 0.05，说明模型整体的拟合效果也不好。

一个原因可能是真的拟合效果不好，还有另一个原因是数据量比较少。

所以我们针对这个问题，使用距离相关性（参考文献：Energy statistics: A class of statistics based on distances，Gábor J. Székely, Maria L. Rizzo，2013）来看相关关系。使用距离统计量的原因是因为，它不依赖于数据的分布，适用范围比较广。

结果如下：

距离相关性	X_1	X_2
Y_1	0.5213327	0.3894218
Y_2	0.5213487	0.6065021

表格 5.3.3

得出的结论和前面的多元线性模型得出的结论相似，雨水管网长度对绿化面积变化量影响较大，污水管网长度对蓄水量影响较大。

5.3 雨污混流和雨污分流对海绵城市建设的影响：

深圳降雨时空分布极为不均，导致其一方面常年缺水，另一方面却时常发生暴雨洪涝灾害。我们将通过打造“渗、滞、蓄、净、用、排”有机结合的水系统实现海绵城市建设，缓解城市内涝，同时也可以将雨水回收利用，可持续发展城市水资源。具体措施如下：

渗：提高城市绿化覆盖率，从源头收集雨水。

滞：建设滞洪沟、滞洪景观湖等降低雨水汇集速度，不仅保护和改善了水生态环境，而且在一定程度上降低了洪涝灾害风险。

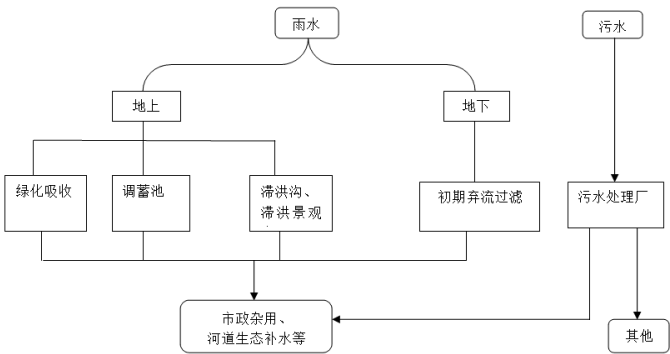
蓄：通过在内涝地区建设调蓄池低峰值流量，调节时空分布，为雨水利用创造条件。

净：初期雨水中溶解了空气中的大量酸性气体、汽车尾气、工厂废气等污染性气体以及因冲刷屋面、路面而含有大量污染物质，其污染程度较高。这些雨水若经雨水管道直接排入河道，会给水环境造成一定程度的污染，所以我们需要建设初期弃流过滤装置，减少雨水污染，改善城市水环境。

用：我们可以将收集的雨水净化后利用于河道生态补水或者市政杂用。

排：完善城市排水管网，将排水防涝设施与河道相结合，地面排水与地下雨水管道相结合的方式来实现一般排放和超标雨水的排放，避免内涝等灾害。

下面我们来具体分析雨污分流与混流对海绵城市建设的影响：我们如果不实行雨污分流机制，则无法实行“蓄”，因为雨水无法单独流向调蓄池从而无法缓解内涝地区暴雨时期的排洪压力。但如果雨污混流，我们则不需要建设初期弃流过滤装置，这降低了成本但同时增大了污水处理厂的压力。由于雨污分流提高了水处理的针对性，我们可以更快地直接将净化后的雨水利用于河道生态补水或者市政杂用，而不需要用污水处理厂净化的雨污混流水，这不仅节约了时间，提高了效率，而且降低了成本，因为我们不需要将雨水运输至污水处理厂处理。



图表 5.2.1

六、治理方案与合理性分析

6.1 治理方案

根据深圳市地图以及深圳水系分布图，我们认为原宝安区内的主要流域有：茅洲河流域、观澜河流域、珠江口水系；原龙岗区内的主要流域有：龙岗河流域、坪山河流域、大亚湾水系。

根据表格 5.1.1，我们可以发现原宝安区的污水量远远大于其污水处理厂所设计的处理规模，而且作为深圳第一大河的污染严重的茅洲河就在其境内，所以我们选择原宝安区（先对宝安区，再针对茅洲河流域）来给出我们的污水治理建议方案：

（1）污水处理厂建设

在污水管网完备的情况下，即使原宝安区完全实现清源，其现有的污水处理厂也远远不能够处理现有的污水，所以污水处理厂的扩建势在必行。但由于深圳

土地资源稀缺，地价昂贵，所以一味地扩建污水处理厂不是长远之策，技术革新才是未来发展之势。

（2）排水管网建设

污水管网：由于污水管网建设严重滞后、历史欠账多，很多需处理的污水直接排放，造成严重污染。针对这些问题，不仅要加快污水管道建设的进度，而且要保证其质量。分片区进行施工，在不扰民的情况下，可以多个工程同时进行。小区内污水管网的建设应提前与小区物业沟通并取得居民的支持与配合；工厂内污水管网的建设应实行强制措施，若工厂不配合，则勒令其停止作业。合理设计污水管道的材质与直径以及管网分布，避免出现错接以及因设计不合理而导致短期内返工的现象。

根据资料显示，茅洲河流域的地下排污管几乎为零，生活污水和工业污水都是直接排入茅洲河，且其周围不仅生活居民密集而且工厂数量庞大，可见茅洲河污染之严重。所以该区域的污水管网急待重新规划建设，而后接入箱涵，将污水统一排往污水处理厂，只有这样才可以阻止污水流入茅洲河，从源头上治理流域。当然，这也是在污水处理厂处理能力足够的前提下才能实现的。

雨水管网：清源是城市未来发展的大方向，雨污分流更加有利于水的再利用，虽然成本高，但有利于可持续发展而且可以大大减缓污水处理厂的压力。原宝安区可在条件允许的情况下逐步推进雨水管网的建设。

排水管网的建设标准还有待提高，作为一个国内经济发展领先的发达城市，在排水管网的建设也应起到带头作用。

（3）河流综合整治

实行“一河一策”。

针对茅洲河流域，重点治理其黑臭现象，主要措施有截污、清淤、引水。在截污方面，通过截污纳管工程使得河道两侧的污染单位将河道中的污水截流纳入污水收集系统并送入污水处理厂处理；在清淤方面，由于管道淤泥的积累降低了管道输送污水的效率，造成污水堵塞，导致在用水高峰期，排放的污水直接排放到路面上，散发恶臭从而影响居民生活。为提高区内防积排水能力，定期保养管道的同时，清淤技术也有待革新。在引水方面，充分利用地势条件，引水、活水。当然，不仅需要进行河道保洁工作，而且应加强绿化林带建设，确保河岸整洁美观，呈现出水清流畅、岸绿景美的河道新格局。

为有效预防茅洲河流域的洪涝灾害，在茅洲河低洼地段应修建河道堤防工程，对河道干流进行清淤，加强滞洪区的建设。整治过程中，对于影响河道行洪能力的违章建筑，要实行强制措施进行拆除，也要注意当地生态环境的保护。

对于跨区域的河流，各区应成立相应流域的治理小组，小组之间积极协调配合、统一标准，共同致力于河道治理。不仅是各区之间的配合，市内各个部门的配合也是至关重要的，明确各部门工作，避免出现审批时间长、有问题却没有相关部门解决的现象。

（4）整治污染企业，严查违建现象

在国内，乱排放问题屡见不鲜。究其原因，主要有三点：第一，企业工厂等为节省成本选择偷排污水，缺乏环保意识；第二，关于乱排废水的相应法律措施不完善；第三，政府监管力度不够。第四，污水管网的不完善导致某些企业污水不能送到污水处理厂。所以，在建设污水管网的同时，完善相关法律亟不可待，同时加强执法力度，严厉打击这类企业工厂。当然，环保教育也是必不可少的。政府也可以加快推进产业结构的调整，将环保元素融入每个企业工厂中。

违建设施缺乏配套的排水设施，其不仅威胁到城市安全，而且是整个城市水环境的毒瘤，所以我们应从根源上杜绝违建现象的发生，不要在“事后”弥补违建设施排水管网的缺口。

（5）建设海绵城市

光明新区近年来积极推进建设海绵城市起到了一个很好的带头作用，海绵城市的建设可以有效地减少流入管道中的雨水量，控制内涝灾害。原宝安区应紧贴“渗、滞、蓄、净、用、排”六字方针，借鉴光明新区的经验，推进大型水利设施的建设。

（6）洪涝应急措施

深圳市降水的季节性很强，易引起宝安区的局部洪水、暴雨、暴潮及内涝灾害发生。同时，随着宝安区经济的快速发展，城市地域面积不断扩大，地表硬化面积不断增加，导致雨水径流系数的增大，区内水利基础设施不足，排水管网建设滞后等引发的排水不畅导致局部地区尤其是旧村内涝和受淹等问题日显突出。并且由于缺乏立法支持，排水设施和维护滞后，市政工程建设影响。内涝点排水除涝、在建工程度汛、水库安全度汛、山洪地质灾害防御是我市防汛工作的薄弱环节，也是防灾工作的重点。

具体措施如下：

引进美国的城市雨洪控制新概念——低影响开发模式（LID），这一新型的雨洪控制理念是从源头进行降雨径流的控制和管理，其基本原理是通过分散的，小规模源头控制机制来达到对暴雨所产生的径流和污染物的控制，并综合采用入渗、过滤、蒸发和蓄流等措施，达到减少暴雨径流峰值、控制径流污染的目的。

而日本的多功能调蓄措施也可以成为比较好的解决途径。利用地下隧洞，地下室等大面积空间设置调蓄措施。暴雨袭来时，城市排水系统无法负担的时候，多功能调蓄设施可作为大型“蓄洪池”进行利用，提升整个地区的抗涝强度。

除此以外，将“以排为主”逐渐转变为“排蓄结合”。新建水库用来集雨，在洪涝灾害严重的地区多建雨水管道，将之引入河流。同时由于深圳市宝安区低处低纬度滨海台风频繁登陆地区，受海岸地貌带影响，易受锋面雨、台风天气的影响，继续完善海堤的建设，预防高潮水位与风暴。继续新建排涝泵站。将开发新区建在高地势位置，将造成老市区水深的增加和浸水历时的延长，而开发新区洪水风险较小。在城市化的同时应重视河道行洪条件及城市排水设施的改善。

应急方案：制定城市排涝应急预案，定期开展应急演练，落实应急措施。

充分发挥区内GIS系统的作用，当洪水到达预定值时，通过警报器及时向居民示警。

（7）饮用水源的水质保护

饮用水关系到人民身体健康和经济建设发展，所以必须保护好饮用水水源，具体措施如下：

多植树，涵养水源，减少水源的流失，从而才能使得饮用水源不会枯竭。

对于地表引用水源，按照不同的水质标准和防护要求分级划分饮用水水源保护区，使保护区尽量远离污染源，并且设立明显的标识，使无关人员远离保护区。同时，定期进行水质的检测，及时表明引用水源的保质期。将检测数据公布于众，进而从侧面提醒公众保护水资源。除此之外，还可以建立湿地生态系统，将饮用水源附近打造成为自然生态乐园，更有利于水源的保护。

对于地下饮用水源，防止排水管网的泄漏，远离油田等会对水源产生污染的地区。严厉打击擅自在地下饮用水源的地表进行污染性垃圾等的倾倒，保证在地下饮用水源的地表，环境优良。

对于污染饮用水源的行为，进行调查以及严厉处罚。

（8）健全水环境监测网络

首先，设置不同的检测地点，化大为小，化整为零，使得每个重要的水源附近均有监测站。每天定时监测数据并及时进行汇总统计。一旦河流等超过其安全值，即可立即采取应急预案。各区之间的监测数据要实现互联共网。

其次，全民参与到水环境监测中，鼓励居民积极举报污染水资源的行为，同时也鼓励其为水资源的保护与改善建言献策。

加强对产生污染物较多的工厂、单位等的监测，防止其发生排放的水污染物含量超标。对于这些企业，勒令其停业整顿。

学习别的区域的监测网络的构建，宝安区可同其他几个区，尤其是原特区进行经验的交流，从而完善自身的水环境监测网络。

6.2 合理性分析

6.2.1 针对宝安区的合理性分析

基于政府治污的“一、三、五、八年目标”，对宝安区的污水治理方案的合理性（包括可操作性方面）评估。

前面在节省开支且只考虑在处理完城市所有污水的前提下，我们的选择是只进行污水处理厂的扩建，而不进行雨污分流管道的实施。这样做的前提是污水处理厂每年可以无限制的扩建。这样做虽然开支在目前来说是最省的，但是结合长远的发展规划，可持续发展的战略目标，以及经济等因素，每年只能扩建一定的规模。

假设每年扩建的规模为当年污水处理厂规模的 5%，则 t 年后污水处理厂的处理规模为

$$U_{\text{现}} \cdot (1 + 5\%)^t$$

将数据代入，进行计算得到我们的方案：

年份		2017 年	2019 年	2021 年	2024 年
原 宝 安 区	污水厂从今年到 t 年后相差规模(万吨/日)	6.20	13.35	14.72	24.95
	污水管网修建总长度(米)	1549200	1957000	2364800	2976500

表格 6.2.1

政府计划：

年份		2017 年	2019 年	2021 年	2024 年
原 宝 安 区	污水厂扩建规模(万吨/日)	0	44	77.5	
	污水管网修建总长度(米)	184700	895800	1434200	

表格 6.2.2

注：其中政府计划为附件 2 中属于原宝安区的各个流域计划相加。

我们假定污水处理厂的建设速度为每年增加 5%，并且查阅数据后得到 2014 年宝安区污水处理厂的污水处理总量为 112.5 万立方米/日，根据我们求得的每年的数据，再进行相应的作差，与政府的计划相比，发现除了第一年的计划由于政府规定的是 0，完不成，但后面的“三、五、八年”计划都能完成。

接着对比污水管网修建计划。一年计划相差接近 10 倍，实现不了。但 3 年计划于 5 年计划就开始渐渐接近，政府的规划。同样，我们计算出的政府规划是将属于原宝安区流域的计划简单相加。而污水管在远离流域的地方，同样也分布了很多。而且政府的规划在逐年增长，虽然没有第八年的政府规划，但根据政府规划逐年的上升趋势，我们能推测出政府在第八年污水管网修建总长度会更多，修建效率会更高。所以八年计划能够完成。

所以，基于上述合理性分析，虽然我们的模型在近期很难满足政府的规划，但是从长远来看，我们的计划能满足政府的要求。

6.2.2 针对茅洲河流域的合理性分析

年份	2015	2014	2013	2012	2011	2010
茅洲河流域污染指数	1.333	1.587	1.414	1.797	2.455	2.236

表格 6.2.2.1

我们根据数据，建立 logistic 模型：

$$\text{污染指数} = \frac{\theta_1}{1 + e^{-\theta_2 - \theta_3 * \text{年份}}}$$

运用最小二乘法进行模型的拟合，解得：

$$\theta_1 = 8.476, \quad \theta_2 = 2003.846, \quad \theta_3 = -6.503$$

进行后面 1,3,5,8 年预测：

年份	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
茅洲河流域污染指数	1.136	0.993	0.866	0.753	0.654	0.567	0.491	0.424	0.367

表格 6.2.2.2

茅洲河流域污染指数预测图

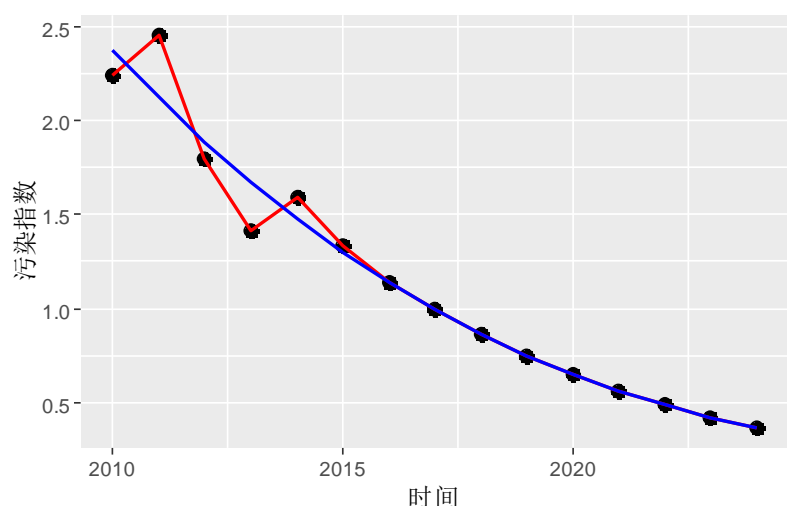


图 6.2.2.3

水质综合污染指数对照表

综合污染指数 P 值范围	水质状况	分级依据
≤ 0.20	好	多数项目未检出，个别项目检出但在标准内
$0.21 \sim 0.40$	较好	检出值在标准内，个别项目接近或超标
$0.41 \sim 0.70$	轻度污染	个别项目检出且超标
$0.71 \sim 1.00$	中度污染	有两项检出值超标
$1.01 \sim 2.00$	重污染	相当部分检出值超标
≥ 2.0	严重污染	相当部分检出值超标数倍或几十倍

表格 6.2.2.4

结合上表与上图可以发现，一年与三年之后，水质可变为中度污染；五年后，茅洲河流域将变为轻度污染；八年后水质状况将会有明显的改观，已经基本可以实现清澈见底的目标，也就是说政府的 1,3,5,8 计划可以实现。

七、模型的优缺点

7.1 模型的优点

(1) 模型从最基础的管道建设以及管道花费一步一步网上算，并且每一步区与区之间比例的分配以及数据的确认都是在查阅大量资料后进行估计，所以模型的计算结果有不错的准确性。

(2) 在模型建立的过程中，我们考虑了大量的因素，将其融入我们的模型，使得模型更加合理。

7.2 模型的缺点

(1) 模型对深圳特区内污水管道全覆盖的假设过强,默认管道及其配套设施全部建设完成,可能会对模型的结果造成一定的影响,增大误差。

(2) 对比政府“一、三、五、八计划”时,我们采用了属于那片区域流域的简单求和,虽然使简化了模型,但也增加了我们的评估误差,只能用推测来进行评估。

(3) 模型未考虑雨污混流管道的情况,仅仅从单纯的雨水管道和污水管道进行考虑,未考虑雨污混流管道。

(4) 在降水量对管道的影响因素的建模中,我们未考虑夏季降雨量会高于平均值的情况,可能管道会过窄而造成洪涝的出现,而采用了年降雨总量进行管道的规划设计。

(5) 模型中的几个工程建设为了简化,而将之设置成线性,对模型的可操作性会有一定的影响。

八、参考文献

[1] 1992 年,深圳市辖宝安、龙岗、南山、福田、罗湖五区,其中罗湖、福田、南山为经济特区,龙岗、宝安为非特区。1998 年 3 月,设盐田区。2007 年 5 月 31 日,光明新区成立。2009 年 6 月 30 日,坪山新区。2011 年 12 月 30 日,设立“龙华新区”和“大鹏新区”

(http://baike.baidu.com/link?url=iOot92j3ltKWKjef8NqK_WD4k3WOA_35w2UB44GOkq4HJdq53iqyxkbzh0hURF5hX2KkGn5yqNjin_Z1xfkZo3lm1m_5NEvONDXYqYlFrw73ioDO7CJe_eolkTeP17XtA6ijVkjUzk2dToxUxim3Wc-bkev5u4zoX714wSyNfim)

[2] 《ARIMA 模型在深圳 GDP 预测中的应用》 龚国勇

[3] 《Time Series Analysis and Its Applications》 Robert H. Shumway David S. Stoffer

[4] <http://www.tianqi.com/baike/nianjiangshuiliang.html>

[5] <http://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/sjbg/201501/P020150120408733936366.pdf>

[6] http://www.sznews.com/news/content/2012-07/23/content_6973002.htm

[7] 《深圳市某区内涝调研及对策研究》 冷越 2013

[8] 《深圳市的城市化及城市洪涝灾害》 仇劲卫 陈浩 刘树坤 1998

[9] 污水处理厂数据:

http://www.gdep.gov.cn/zwxx_1/xxgk/hjzz/201409/t20140930_195557.html

[10] 初期雨水:

http://baike.baidu.com/link?url=47St15odHsNFkmXBIMHso8KYBp6BhAbgX23ehhb6C1Q7-k_CnwM1R87fBD5BOJvp0E36b6F7McQoG3d5VUVnUa

[11] 龙岗区规模以上工业企业增长值:

<http://www.lg.gov.cn/lgzx/zwtjfx/201603/8a7bcb8838af4c17a697885c97c2d78f.shtml>

[12] 宝安区规模以上工业企业增长值:

http://www.baoan.gov.cn/xxgk/tjsj/tjgb/201604/t20160429_850947.html

[13] 大鹏新区规模以上工业企业增长值:

<http://www.dpxq.gov.cn/zfgzbg/8446.htm>

[14] 坪山新区规模以上工业企业增长值:

http://www.psxq.gov.cn/main/a/2016/b04/a43970_77434.shtml

[15] 龙华新区规模以上工业企业增长值:

<http://www.szlhq.gov.cn/fzhcj/tjzl/tjxx70/1155819/index.html>

[16] 光明新区规模以上工业企业增长值:

<http://csh.szgm.gov.cn/szgm/132100/xwdt17/135188/151121/462326/index.html>