

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtj.2021.0019

马可可,王祺,周律,等. 标准化水厂建设工程造价模型[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2021, 19(1): 191-197. MA K K, WANG Q, ZHOU L, et al. Standardized construction cost estimation models for drinking water treatment plant[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2021, 19(1): 191-197. (in Chinese)

# 标准化水厂建设工程造价模型

马可可<sup>1</sup>, 王祺<sup>1</sup>, 周律<sup>1</sup>, 孙博<sup>1</sup>, 陈宇敏<sup>2</sup>, 徐艺星<sup>2</sup>, 黄新丽<sup>2</sup>

(1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 成都环境投资集团有限公司, 成都 610041)

**摘要:** 基于回归分析法构建标准化的自来水厂工程造价模型, 包括单元构筑物建筑工程费用模型和自来水厂设备购置费用模型。同时结合自来水厂取水头部、其他类型建筑物及总平面布置费用造价分析, 工程建设其他费用及预备费估算水厂造价。根据实际工程, 对获得的模型进行校验。单元构筑物各自的建筑工程费用估算误差均控制在30%以内, 符合项目建议书阶段的精度控制要求; 自来水厂工程部分, 实际设备购置费用估算误差为-11.30%; 自来水厂造价整体造价估算误差率为4.03%。基于回归分析构建的自来水厂造价模型, 能够应用于自来水厂的快速造价估算, 并保证较好的估算精度。

**关键词:** 自来水厂; 工程造价; 回归分析法; 设备购置; 造价模型

中图分类号: TU71 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



我国是人均水资源极度匮乏国家, 在气候变化以及城镇化进程加快的背景下, 城市水资源使用矛盾不断加剧, 城市供水不足已严重制约了经济的发展<sup>[1-5]</sup>。随着城镇供水需求的增加, 以及水源水水质的变化和供水水质要求的提高, 在今后的一段时间内新建或改扩建自来水厂建设项目日益被提上日程<sup>[6]</sup>。水厂建设为民生项目, 如何有效控制水厂建设的工程造价非常重要, 工程造价直接影响自来水厂的经济效益、社会效益是否能够达到预期目标<sup>[7-9]</sup>。进行自来水厂工程造价的快速估算与控制就是水务企业提高自身竞争力的一个重要方面, 合理成本的控制关系到供水服务的保障以及供水企业的可持续发展<sup>[10-13]</sup>。水厂投资估算是项目建设前期用于项目决策的关键环节, 通过对投入和产出进行预测, 可以避免决策失误<sup>[14-16]</sup>。建立适用于项目建议书和可研阶段的标准化的造价估算方法, 快速估算水厂工程造价, 不仅减轻项目管理单位的工作量, 还可有利于对整个水厂建设项目造价和投资成

本的控制, 节约大量金钱和时间成本, 提高市场竞争力<sup>[17-19]</sup>。

结合前期广泛的工程积累和当前新的技术规范和造价管理规定, 本文基于回归分析法构建标准化的我国水厂建设工程造价模型, 包括单元构筑物建筑工程费用模型和自来水厂设备购置费用模型, 并根据实际工程, 对构建的模型进行校验。

## 1 研究方法

根据我国的相关规定<sup>[20]</sup>, 将自来水厂工程造价分为: 建筑工程费用、设备购置费用安装工程费用及工程建设其他费用和预备费用。其中建筑工程费用、设备购置费用为造价估算的难点。利用回归分析法, 对自来水厂建筑工程费用和设备购置费用分别构建造价模型。

### 1.1 单元构筑物建筑工程费用造价模型

自来水厂建设项目的工程造价与自来水厂净水工艺的选择直接相关。自来水工艺的选择将决定厂

收稿日期: 2020-05-19 修回日期: 2020-08-18 网络出版时间: 2020-09-10

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.tv.20200909.1056.004.html>

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFC0408700)

作者简介: 马可可(1990—), 男, 山东滕州人, 博士研究生, 主要从事水处理技术的研究。E-mail: mkk17@mails.tsinghua.edu.cn

通信作者: 周律(1963—), 男, 浙江东阳人, 副教授, 博士, 主要从事水污染控制技术的研究。E-mail: zhoulu@tsinghua.edu.cn

内不同构筑物的类型,即可影响自来水厂工程造价中的建筑工程费;同时不同构筑物的类型也影响了其适用设备的选择,即可影响自来水厂工程造价中的设备购置费用。在具体水处理工艺技术选择时,自来水厂需要根据水源水质的实际状况来进行确定<sup>[21]</sup>。对于以地表水为水源的常规水质,需要去除水中的悬浮、胶体物质和病原微生物等杂质,通常选用“混凝-沉淀-澄清-过滤-消毒”的常规净水工艺,该工艺可以完成对浊度、色度、细菌、病毒及致病微生物的去除,使处理过的水源水能够满足饮用水的水质要求<sup>[22-24]</sup>。

以配水井、斜管沉淀池、平流式沉淀池、V 型滤池、清水池、回收水池/污泥调节池、污泥浓缩池,作为选定的自来水厂典型单元构筑物。根据工程建设经验,V 型滤池建筑工程费用的估算指标确定为过滤面积,其他自来水厂单元构筑物的估算指标均为构筑物容积。通过实地调研、专家咨询等各类渠道,收集汇总自来水厂的概预算造价文件,并筛选出符合编制规范、造价项目完整的文件作为分析样本。选取国家统计局发布的“建材类工业生产者购进价格指数”,以 2018 年为基准年对不同自来水厂的建筑工程费用进行调整,尽可能减小由于通货膨胀带来的影响。根据样本数据,以不同单元构筑物的建筑工程费用为模型目标值,以构筑物的容积(或 V 型滤池过滤面积)作为估算指标(变量),进行不同函数的回归分析,根据回归分析结果选择最佳的造价估算模型。

## 1.2 自来水厂设备购置费用模型

将自来水厂按照类型的不同分为常规净水工艺(混凝-沉淀-过滤-消毒)和预处理-常规净水工艺,针对不同类型的自来水厂,分别构建设备购置费用的造价模型。设备购置费用估算方法中,0.6 乘方法是一种对于成套设备较为适用的设备费用估算方法<sup>[25]</sup>。在获知某种生产能力下设备费用的条件时,可以推算其他生产能力下同类设备的费用,推算公式为

$$T_2 = T_1 (Q_2 / Q_1)^a \quad (1)$$

式中: $T_1$  为成套设备 B 的费用; $T_2$  为成套设备 A 的费用; $Q_1$  为成套设备 A 的生产能力; $Q_2$  为成套设备 B 的生产能力; $a$  为指数系数。

从 0.6 乘方法的特点可以看出,它更适用于同种类型设备间的费用估算,自来水厂设备费用为厂内全部设备的总费用包含的设备类型种类繁多,因此近似将采用同种净水工艺路线的自来水厂看作同种类型设备。首先将自来水厂按照类型的不同分为常规净水工艺(混凝-沉淀-过滤-消毒)和预处理-常规

净水工艺,针对不同类型的自来水厂,分别构建设备购置费用的造价模型。为了对已采集的样本数据进行回归分析,对式(1)进行对数变换,得

$$\lg(T_2 / T_1) = a \times \lg(Q_2 / Q_1) \quad (2)$$

按照上述将收集的水厂造价数据分为两类后,对不同年份的设备购置费用,使用“设备工器具购置指数”进行调整,取 2018 年为基准年。调整后,取每一类型下的样本数据中设计处理规模  $Q$  的中位数作为  $Q_1$ 。对于两个类型的自来水厂样本数据,分别绘制  $\lg(T/T_1) - \lg(Q/Q_1)$  曲线,并对数据进行线性拟合,获得的斜率即为乘方法的系数  $a$ ,即可通过反对数处理获得自来水厂设备购置费用模型。

## 1.3 自来水厂取水头部、其他类型建筑物及总平面布置费用造价分析

除构筑物建筑工程费用和设备购置费用外,完整的自来水厂工程造价中还包括取水设施工程造价,以及变电间、粉末活性炭投加间及加药加氯间、机修间、仓库、综合楼等其他类型建筑物,该类建筑物的建设费用不能直接构造出某种线性或非线性相关关系,通常采用面积指标估算法。结合对我国西南地区的实地调研、专家咨询等工作,对于当地的该类型建筑物的估算经验值进行了总结见表 1。

## 1.4 工程建设其他费用及预备费

按照住建部发布的文件,并结合主要研究地区分析,工程建设其他费用包含项目及其估算方法见表 2,可根据相关编制要求进行编制。其中征地及拆迁补偿费视不同地区而定。预备费包含基本预备费和价差预备费,当地一般不考虑价差预备费。基本预备费的计算方法为:将工程费用和工程建设其他费用加和,再乘以基本预备费率,当地一般取基本预备费率 8%。

## 2 造价模型构建及分析

### 2.1 自来水厂单元构筑物建筑工程费用造价模型

通过收集 28 个不同规模不同地区水厂的相关数据,利用回归分析法构建拟合模型,并采用 SPSS 软件对其显著性进行检验,结果见表 3。经过分析拟合,模型的  $P$  值均  $< 0.001$ ,证明此回归分析具有统计学意义。同时可以认为,对于 8 种典型单元构筑物,基于回归分析构建的建筑工程费用造价模型是合理的,同时从  $R^2$  值可以看出,使用线性模型可以对样本数据完成较高度数的拟合。

表 1 自来水厂非生产性建筑物及总平面布置费用经验值

Tab. 1 Experience value of non productive buildings and general floor plan costs of water plant

项 目	估算经验值
取水头部	根据取水头部类型,造价变化差异较大。西南地区取水头部类型单一、构造简单,为拦水闸式取水头部。对于中小型自来水厂,工程造价按 2000 万~ 3000 万元估算
污泥脱水间	在中小型自来水厂中,一般造价费用为 2800 元/m <sup>2</sup>
粉末活性炭加间或加氯加药间	在中小型自来水厂中,其建设规模通常在 200~ 400 m <sup>2</sup> ,其建筑规模取决于加药设施大小以及投药间隔时间,一般造价费用约为 2500 元/m <sup>2</sup>
厂区其他类型建筑物	
变配电间	在中小型自来水厂中,建设规模为 180~ 300 m <sup>2</sup> ,一般造价费用约为 2200 元/m <sup>2</sup>
机修间、仓库	在中小型自来水厂中,建设规模为 200~ 500 m <sup>2</sup> ,一般造价费用约为 1800 元/m <sup>2</sup>
综合楼	在中小型自来水厂中,建设规模为 1000~ 1500 m <sup>2</sup> ,一般造价费用约为 2600 元/m <sup>2</sup>
总平面布置(厂区道路、绿化等费用)	在中小型自来水厂中,一般造价费用约为 300 元/m <sup>2</sup>
厂区电气工程	电气工程费用通常随规模的扩大成倍增加,在 2.5 万~ 20 万 m <sup>3</sup> /d 设计处理规模内,费用范围为 400 万~ 2000 万元
厂区自控仪表工程	自控仪表工程费用通常随规模的扩大成倍增加,在 2.5 万~ 20 万 m <sup>3</sup> /d 设计处理规模内,费用为 160 万~ 1600 万元
厂区安防监控	安防监控工程费用通常随规模的扩大成倍增加,在小型自来水厂中,费用约为 100 万元
厂区土石方平衡	不同自来水管的土石方平衡随施工条件和地质条件变化较大,需根据实际条件估算,一般为 200 万~ 400 万元
运输车辆	小型自来水管的运输车辆费用一般约 80 万元,中型一般约 150 万元
化验设备	不同规模自来水管的化验设备费用变化较大,可在 50 万~ 500 万元取值
机修设备	一般为 50 万~ 80 万元
地基处理	不同地区的基础处理费用差别较大,需根据地质条件分地区估算。小型自来水管的地基处理费用一般可取 300 万元,中型或大型自来水管的地基处理费用一般为 600 万~ 800 万元

表 2 工程建设其他费用所含项目及其估算方法

Tab. 2 Other construction costs and their estimation methods

工程建设其他费用	计算方法或依据文件	工程建设其他费用	计算方法或依据文件
建设用地费及其他补偿费	土地征用及各项迁移补偿费	场地准备及临时设施费	工程费用×1.25%
建设管理费	建设单位管理费:财建[2016]504 号文 建设工程监理费:发改价格[2015]299 号文	工程保险费	工程费用×0.45%
建设项目前期工作咨询费	发改价格[2015]299 号文	生产准备及开办费	设计定员×60%×人均培训费
勘察设计费	工程费用×0.8%	联合试运转费	设备费总值×1%
环境影响咨询服务费	发改价格[2015]299 号文	招标代理服务费等	发改价格[2015]299 号文
劳动安全卫生评审费	工程费用×0.1%	施工图审查费	按投资额 0.16% 计

表 3 自来水厂单元构筑物建筑工程费用造价模型

Tab. 3 Construction cost model of unit structure of water plant

单元构筑物类型(估算指标)	建筑工程费用估算公式	R <sup>2</sup> 值	P 值(双尾显著性检验)
配水井(容积)	C= 0.084 4V+ 17.577	0.919 0	< 0.001
斜管沉淀池(容积)	C= 0.052V+ 137.47	0.978 1	< 0.001
平流沉淀池(容积)	C= 0.042V+ 294.52	0.975 7	< 0.001
V 型滤池(过滤面积)	C= 0.939 3A+ 85.008	0.979 6	< 0.001
清水池(容积)	C= 0.050 4V+ 104.84	0.990 8	< 0.001
回收水池/污泥调节池(容积)	C= 0.071 8V+ 32.676	0.851 8	< 0.001
污泥浓缩池(容积)	C= 0.044 8V+ 37.213	0.946 8	< 0.001

注:公式中,C 为费用,万元;V 为容积,m<sup>3</sup>;A 为面积,m<sup>2</sup>。

## 2.2 自来水厂设备购置费用模型

从表 4 可以看出,在进行工艺分类的情况下,两组进行回归分析的数据的显著性结果均较好,即采用 0.6 乘方法进行回归分析构建模型的设想是合理的。同时本节也对不进行工艺区分的情况进行了模型构建及显著性分析,即不考虑自来水厂的工艺差异,对全部不同工艺类型的自来水厂样本

数据进行回归分析,从结果可以看出,尽管回归得到的  $R^2$  值较高,但其显著性明显变差。在两种条件下的结果均表明,使用 0.6 乘方法构建设备购置费用估算模型时,需要对自来水厂按照工艺类型的不同对样本数据进行区分,才可获得更合理的结果。同时也印证了 0.6 乘方法更适用于同类设备的估算这一前提。

表 4 设备购置费用估算模型的显著性分析

Tab. 4 Significance analysis of equipment purchase cost estimation model

自来水厂净水工艺类型	设备购置费用估算模型	$T_0/(万 t \cdot d^{-1})$	$Q_0/万元$	$R^2$ 值	P 值(双尾显著性检验)
常规净水工艺	$T = T_0(Q/Q_0)^{0.7812}$	5	1 288.17	0.930	< 0.001
预处理 常规净水工艺	$T = T_0(Q/Q_0)^{0.8282}$	40	10 536.56	0.958	0.004
不进行工艺区分时	$T = T_0(Q/Q_0)^{0.866}$	10	2 966.24	0.919	0.031

## 3 造价模型校验

采用实际自来水厂工程案例作为检验样本,采用上述自来水厂单元构筑物建筑工程费用造价模型、自来水厂设备购置费用模型,完成对样本项目中工程造价费用的造价估算,并校验所得自来水厂工程造价估算费用的精确度。

以 2014 年国内西南地区某规模为 60 000  $m^3/d$  新建自来水厂为样本进行校验。自来水厂净水厂工程部分的基础信息及工艺信息如下:厂区平面面积 51 336  $m^2$ 。构筑物包括:配水井 1 座,容积 500  $m^3$ ; 网格反应斜管预沉池、斜管沉淀池各 1 座,总容积 8 845.19  $m^3$ ; V 型滤池 1 座,过滤面积 370.72  $m^2$ ; 清水池 1 座,容积 9 408.06  $m^3$ ; 加氯间、加药间各 1 间,总平面面积 719.6  $m^2$ ; 污泥调节池 1 座,容积 2 351.53  $m^3$ ; 污泥浓缩池 1 座,容积 1 138.22  $m^3$ ; 污泥脱水间 1 座,平面面积 530.62  $m^2$ ; 综合楼 1 座,平面面积 1 099.48  $m^2$ 。

### 3.1 单元构筑物建筑工程费用估算

根据自来水厂中单元构筑物的种类及其设计参数(容积/面积),利用表 3 中建筑工程费用造价模型进行估算。由于模型以 2018 年价格指数为基准,因此还需使用 2014 年的价格指数对估算费用进行调整,方可与实际的建筑工程费用进行比较,并进行估算误差的计算。

从表 5 可以看出:6 种单元构筑物各自的建筑工程费用估算误差均控制于 30% 以内,符合项目建议书阶段的精度控制要求;累计后的建筑工程费用误差仅为 -11.71%,低于可行性研究报告的精度控制要求。仅从该部分的造价估算分析,可以认为单元构筑物建筑工程费用模型的估算结果良好。

### 3.2 设备购置费用估算

对于“预处理-常规净水工艺”类型的自来水厂,利用 0.6 乘方法并基于回归分析确定了式(3)所示的设备购置费用估算模型

$$T = T_0(Q/Q_0)^{0.8282} \quad (3)$$

式中:  $Q_0 = 40$  万  $t/d$ ;  $T_0 = 10 536.56$  万元。

表 5 单元构筑物建筑工程费用造价模型的检验

Tab. 5 Inspection of cost model of unit structure construction project

单元构筑物	总容积 $m^3$ 或面积 $m^2$	估算费用/万元	价格指数调整后的估算费用/万元	实际建筑工程费用/万元	估算误差/%
配水井	500.00	59.78	53.46	67.14	-20.37
斜管沉淀池	8 845.19	597.42	534.31	735.44	-27.35
V 型滤池	370.72	433.23	387.46	368.06	5.27
清水池	9 408.06	579.01	517.84	547.36	-5.39
污泥调节池	2 361.53	202.23	180.87	227.81	-20.60
污泥浓缩池	1 138.22	88.21	78.89	85.47	-7.70
合计		1 959.88	1 752.83	2 031.28	

案例检验选择的自来水厂,设计处理规模为 6 万  $m^3/d$ ,净水工艺路线为“预处理-常规净水工艺”。将自来水厂的信息代入式(3),计算得到设备

购置费用  $T_1 = 2 189.46$  万元,并采用 2014 年的“设备工器具购置指数”对估算费用进行调整后,得到  $T_2 = 2 216.12$  万元。自来水厂净水厂工程部分,实

际设备购置费用为  $T = 2\,493.70$  万元,估算误差等于  $-11.30\%$ ,估算精度良好。

### 3.3 非生产性建筑物及总平面布置费用估算

作为校验的自来水厂案例,其非生产性构筑物包含:变配电间 1 座,建设面积  $215.46\text{ m}^2$ ;机修间 1 间,建设面积  $243.00\text{ m}^2$ ;综合楼 1 座,建设面积  $1\,099.48\text{ m}^2$ 。此外,自来水厂还包含:污泥脱水间 1 座,建设面积  $530.62\text{ m}^2$ ;加氯间、加药间各 1 间,总平面面积  $719.6\text{ m}^2$ 。对于自来水厂该部分的造价费用,采用 1.3 节中列出的各类经验值进行估算,结果见表 6。

表 6 非生产性建筑物及总平面布置费用估算

非生产性建筑物及总平面布置	经验值估算费用/万元
取水头部	2 100.00
其他类型建筑物	
污泥脱水间	148.57
加药加氯间	179.90
变配电间	47.40
机修间、仓库	43.74
综合楼	285.86
污泥脱水间	148.57
总平面布置	1 540.08
厂区电气工程	700.00
厂区自控仪表工程	450.00
厂区安防监控	100.00
厂区土石方平衡	300.00
运输车辆	80.00
化验设备	200.00
机修设备	80.00
地基处理	300.00
总费用	6 704.12

同时由自来水厂工程造价组成可知,自来水厂工程造价中的工程费用包含建筑工程费用、设备购置费用以及安装工程费用。结合前 3 部分的费用估算,整理并计算出自来水厂工程费用的估算值,见表 7,其中安装工程费用按设备购置费用的  $45\%$  估算。估算自来水厂工程费用总计  $11\,670.35$  万元,实际工程费用  $10\,970.71$  万元,估算误差  $6.38\%$ 。

表 7 自来水厂工程费用估算结果

自来水厂工程费用组成	估算费用/万元	实际工程费用/万元	估算误差/%
建筑工程费用	8 456.97	7 343.45	15.16
设备购置费用	2 216.12	2 493.70	- 11.13
安装工程费用	997.26	1 133.56	- 12.02
总计	11 670.35	10 970.71	6.38

### 3.4 工程建设其他费用及预备费

在自来水厂净水厂工程造价中,工程建设其他费用将按照住建部发布的文件,具体计算方法如表 4 所示,需根据相关编制要求进行编制。预备费此处仅考虑基本预备费,取基本预备费率为  $8\%$ 。工程建设其他费用及预备费估算合计  $3\,792.30$  万元。基本预备费 = (工程费用 + 工程建设其他费用)  $\times 8\% = 1\,032.17$  万元。结合上述估算过程及结果,对于选择的自来水厂案例,其工程造价估算费用及实际工程费用校验结果见表 8。

表 8 自来水厂案例工程造价估算结果

费用名称	估算费用/万元	实际工程费用/万元	估算误差/%
第一部分工程费用	11 670.35	11 147.98	4.69
第二部分工程建设其他费用	3 792.30	3 715.72	2.06
基本预备费	1 237.01	1 189.10	4.03
总计	16 699.66	16 052.80	4.03

## 4 结论

水厂投资估算是项目建设前期用于项目决策的关键环节。利用回归分析法分别构建了自来水厂单元构筑物建筑工程费用造价模型、自来水厂设备购置费用模型,同时结合自来水厂取水头部、其他类型建筑物及总平面布置费用造价分析以及工程建设其他费用及预备费估算水厂造价。根据实际工程,对获得的模型进行校验。基于回归分析构建的自来水厂造价模型,可以将估算误差控制在  $10\%$  以内,满足建设工程中项目建议书阶段与可行性研究阶段允许估算误差的要求。通过实际案例的检验,构建的基于回归分析的自来水厂造价模型,能够应用于自来水厂的快速造价估算,并保证较好的估算精度。

### 参考文献(References):

- [1] 李玲玲,徐琳瑜.特大城市水资源承载力政策响应的动态模拟[J].中国环境科学,2017,37(11):4388-4393. (LI L L, XU L Y. Dynamic simulation of policy implications for the water resources carrying capacity of megacities [J]. China Environmental Science, 2017, 37 (11): 4388-4393. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-6923.2017.11.045.
- [2] 刘佳骏,董锁成,李泽红.中国水资源承载力综合评价研究[J].自然资源学报,2011,26(2):258-269. (LIU J

- J, DONG S C, LI Z H. Comprehensive evaluation of China's water resources carrying capacity [J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(2): 258-269. (in Chinese) DOI: 10.11849/zrzyxb.2011.02.009.
- [3] 步青云, 曹娜, 曹晓红, 等. 我国水资源开发利用中的环境管理问题及对策探讨[J]. *环境保护*, 2019, 47(9): 61-63. (BU Q Y, CAO N, CAO X H, et al. Discussion on environmental management problems and countermeasures in water resources development and utilization in China[J]. *Environmental Protection*, 2019, 47(9): 61-63. (in Chinese)) DOI: 10.14026/j.cnki.0253-9705.2019.09.013.
- [4] FANG Q X, MA L, GREEN T R, et al. Water resources and water use efficiency in the north China plain: Current status and agronomic management options [J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(8): 1116. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121410.
- [5] 俞雅乖, 刘玲燕. 中国水资源效率的区域差异及影响因素分析[J]. *经济地理*, 2017, 37(7): 12-19. (YU Y G, LIU L Y. Regional differences and influence factors of water resource efficiency in China[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(7): 12-19. (in Chinese)) DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2017.07.002.
- [6] 中华人民共和国水利部. 2018 年中国水资源公报[R/OL]. (2019-07-12) [2020-05-19]. [http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/201907/t20190712\\_1349118.html](http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/201907/t20190712_1349118.html). (The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China water resources bulletin in 2018[R/OL]. (2019-07-12) [2020-05-19]. [http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/201907/t20190712\\_1349118.html](http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/201907/t20190712_1349118.html). (in Chinese))
- [7] 张桂芹, 张惠玲. 国内外工程造价估算模型研究综述[J]. *施工技术*, 2007, S2(36): 396-399. (ZHANG G Q, ZHANG H L. Literature review of project cost estimating models domestic and overseas[J]. *Construction technology*, 2007, S2(36): 396-399. (in Chinese))
- [8] 韩超, 张伟广, 孙晓琳. 城市供水产业民营化改革的竞争效应[J]. *浙江社会科学*, 2017(9): 33-42, 156-157. (HAN C, ZHANG W G, SUN X L. The competitive effect of privatization reform of urban water supply industry[J]. *Zhejiang social sciences*, 2017(9): 33-42, 156-157. (in Chinese)) DOI: 10.14167/j.zjss.2017.09.023.
- [9] 雒占福, 朱立祥, 常飞, 等. 中国城市供水效率时空差异及其变化特征[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(2): 307-314, 322. (LUO Z F, ZHU L X, CHANG F, et al. Spatiotemporal differences and change characteristics of urban water supply efficiency in China[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2020, 27(2): 307-314, 322. (in Chinese))
- [10] 倪红珍, 张春玲, 陈根发, 等. 我国城市现状供水成本与价格的问题与改革建议[J]. *水利水电技术*, 2019, 50(8): 209-215. (NI H Z, ZHANG C L, CHEN G F, et al. Current problems and reform suggestions on the cost and price of urban water supply in China[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2019, 50(8): 209-215. (in Chinese)) DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2019.08.026.
- [11] 李微. 建筑工程造价预测的多元结构整体线性回归模型[J]. *建筑技术*, 2015, 549(9): 77-80. (LI W. A model of building project cost estimation based on multiple structure integral linear regression[J]. *Architecture Technology*, 2015, 549(9): 77-80. (in Chinese))
- [12] 何元春, 刘文斌. 城市自来水价格机制现状、问题与改革思考[J]. *城镇供水*, 2019(5): 93-97. (HE Y C, LIU W C. The current situation, problems and reform of urban tap water price mechanism[J]. *City and Urban Water Supply*, 2019(5): 93-97. (in Chinese)) DOI: 10.14143/j.cnki.czgs.2019.05.019.
- [13] MARLOW D R. Sustainability based asset management in the water sector: definitions, concepts and scope of engineering asset management[M]. Springer London, 2010: 261-275. DOI: 10.1007/978-1-84996-178-3\_13.
- [14] 高颖艳, 张弢, 艾菁菁, 等. 净水厂及污水处理厂投资估算阶段的风险控制[J]. *中国给水排水*, 2019(10): 31-35. (GAO Y Y, ZHANG T, AI Q Q, et al. Risk control for investment estimation in waterworks and sewage treatment plant projects[J]. *China Water & Wastewater*, 2019(10): 31-35. (in Chinese))
- [15] 汤明, 裴劲松, 吕海军. 建筑企业 BT、BOT 项目投资管理及案例分析[M]. 北京: 北京交通大学出版社, 2015. (TANG M, PEI J S, LYU H J. BT, BOT project investment management and case analysis for construction enterprise[M]. Beijing: Beijing Jiaotong University Press, 2015. (in Chinese))
- [16] 柯永建, 王守清. 特许经营项目融资(PPP): 风险分担管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011. (KE Y J, WANG S Q. Risk distribution management in PPP project[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011. (in Chinese))
- [17] 刘晓颖, 胡文博, 赵军. 工程造价领域中快速估算的方法与研究[J]. *建筑经济*, 2011(S1): 136-138. (LIU X Y, HU W B, ZHAO J. Method and research of rapid estimation in the field of engineering cost[J]. *Construction Economics*, 2011(S1): 136-138. (in Chinese)) DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.2011.s1.078.
- [18] CHAN S L, PARK M. Project cost estimation using principal component regression [J]. *Construction Management and Economics*, 2005, 23(3): 295-304. DOI: 10.1080/01446190500039812.
- [19] SHARMA J R, NAJAFI M, QASIM S R. Preliminary cost estimation models for construction, operation, and maintenance of water treatment plants[J]. *Journal of Infrastructure Systems*, 2013, 19(4): 45-464. DOI:

10. 1061/( asce) is. 194355x. 0000155.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 市政工程投资估算编制办法[R/OL]. (2020-06-27) [2020-05-19]. <https://wenku.baidu.com/view/d05b905c25c52cc58bd6be5e.html>. (Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China. Preparation method for investment estimation of municipal engineering[R/OL]. (2020-06-27) [2020-05-19]. <https://wenku.baidu.com/view/d05b905c25c52cc58bd6be5e.html>. (in Chinese))
- [21] 韩珀, 高红涛, 刘春霞, 等. 南水北调水源对水厂现状工艺的适应性研究[J]. 供水技术, 2015, 9(3): 48-52. (HAN P, GAO H T, LIU C X, et al. Adaptability of water source from the South to North Water Diversion Project on present process in waterworks[J]. Water Technology, 2015, 9(3): 48-52. (in Chinese))
- [22] 上海市市政工程设计研究院. 给水排水设计手册: 第三册城镇给水[M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017. (Shanghai Municipal Engineering Design Institute. Water supply and drainage design manual urban: water supply[M]. 3rd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017. (in Chinese))
- [23] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市给水工程规划规范: GB 50282—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. (Ministry of housing and urban rural development of the people's Republic of China. Code for urban water supply engineering planning: GB 50282—2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2017. (in Chinese))
- [24] 邵迎, 姚峻嵘. 混凝除藻在常规工艺自来水厂中的应用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(21): 47-49. (SHAO Y, YAO J R. Application of coagulation for algae removal in waterworks using conventional treatment process[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(21): 47-49. (in Chinese))
- [25] 周律. 给水排水工程技术经济与造价管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003. (ZHOU L. Technical economy cost management of water and wastewater engineering[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003. (in Chinese))

### Standardized construction cost estimation models for drinking water treatment plant

MA Keke<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>1</sup>, ZHOU Lyu<sup>1</sup>, SUN Fu<sup>1</sup>, CHEN Yumin<sup>2</sup>, XU Yixing<sup>2</sup>, HUANG Xinli<sup>2</sup>

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Chengdu Environment Group Co., Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Standardized construction cost estimation models based on the regression analysis method were established, including the unit structure cost model and the water plant equipment purchase cost model, and combined with the water plant water intake head, other types of buildings and general floor layout cost analysis and engineering construction and other expenses and reserve costs were estimated for the cost of the water plant. According to the actual project, the obtained model was verified. The estimated errors of the construction cost of the unit structure were all controlled within 30%, which meet the accuracy of control requirements of the project proposal stage, the actual equipment purchase cost was -11.30% of the estimated error, the overall cost estimation error rate of the water plant cost was only 4.03%. The cost model of the water plant based on regression analysis can be applied to estimate the cost of a water plant rapidly and ensure good estimation accuracy.

**Key words:** water plant; project cost; regression analysis; equipment purchase; cost estimation model

(上接第157页)

### River regime evolution of the wandering channel in the lower Yellow River based on long sequence

XU Linjuan<sup>1</sup>, WANG Yuanjian<sup>1</sup>, LI Junhua<sup>1</sup>, ZHAO Wanjie<sup>1,2</sup>, DONG Weijun<sup>3</sup>

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou 450003, China; 2. Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

**Abstract:** The temporal and spatial evolution law of the wandering river regime in the lower Yellow River was analyzed to provide theoretical support and practical value for further understanding the evolution characteristics of the lower Yellow River channel. Based on the systematic collection of river regime observation data of typical sections of the wandering channel in the lower Yellow River from 1960 to 2015, with the Mann-Kendall trend test and Fisher breakpoint test method, the average river width and the migration rate of the mainline of the wandering channel in the lower Yellow River from 1960 to 2015 were analyzed. The results show that: in the past 60 years, the wandering channel in the lower Yellow River showed a clear manifestation, that was, they were distributed in the shape of a lotus on the plane, while the temporal and spatial distribution of the mainline adjustment rate was not significant; the cross section of the lower Yellow River was the key node of the plane lotus shaped distribution, and the whole river channel was divided into three sections (the first reach, Tiexie Yudian section, with the average river width of 1627 m; the second reach, Yudian Chanfang section, with the average river width of 1477 m; the third reach, Chanfang Gaocun section, with the average river width of 1074 m, respectively).

**Key words:** average river width; mainstream line migration rate; Mann-Kendall trend analysis; Fisher breakpoint detection; wandering channel; river regime evolution