

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.03.011

茅洲河流域再生水的综合优化配置

刘耀成¹,马晓明¹,李 杨¹,王海群²

(1. 北京大学深圳研究生院环境与能源学院城市人居环境科学与技术重点实验室,广东 深圳 518055;2. 深圳市水务局,广东 深圳 518036)

摘要 对深圳市茅洲河流域工业生产、农业灌溉、城市绿地浇灌、道路广场浇洒以及居民冲厕等方面的再生水需求进行分析,建立包括 4 个再生水厂、35 个再生水用水片区的再生水优化配置模型,并运用 LINGO 求解其全局最优解。结果表明 ①茅洲河流域再生水厂的生产能力为 59.4 万 m³/d,仅能满足该流域污水处理需求的 51.7%;②农业灌溉、工业回用、城市绿地浇灌、道路广场浇洒、居民冲厕等行业使用再生水的边际收益分别为 3.7 元/m³、21.6 元/m³、4.1 元/m³、2.1 元/m³、1.3 元/m³。

关键词 再生水;优化配置;全局最优解;深圳市

中图分类号:TV213.9 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2011)03-0045-04

Study on integrated optimal allocation of reclaimed water in Maozhou River Basin

LIU Yao-cheng¹, MA Xiao-ming¹, LI Yang¹, WANG Hai-qun²

(1. Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Science and Technology, School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China; 2. Shenzhen Water Authorities Bureau, Shenzhen 518036, China))

Abstract: The potential demand of reclaimed water of industrial production, agricultural irrigation, urban green field watering, roads and squares sprinkle, and residents flushing was examined in the Maozhou River Basin of Shenzhen. The allocation optimization model of reclaimed water including four water recycling plants, 35 reclaimed water supply areas was established. The global optimal solution by using LINGO software was solved. The results indicated that the scale of water reclaimed plant of the Maozhou River Basin was 594000m³/d, which was 51.7% of the size of sewage treatment. The marginal revenue of using reclaimed water in agricultural irrigation, industrial recycling, urban green field watering, roads and squares sprinkle and residents flushing were 3.7 RMB/m³, 21.6 RMB/m³, 4.1 RMB/m³, 2.1 RMB/m³ and 1.3 RMB/m³, respectively.

Key words: reclaimed water; optimal allocation; global optimal solution; Shenzhen City

现代社会中,再生水是水资源系统必要的组成部分,但我国水资源的可持续管理体系不健全,城市水资源规划中对再生水规划重视不够,城市建设和城市设施更新中缺少相应的再生水设施部分,影响了再生水利用的推广。深圳市是我国 7 个严重缺水城市之一,人均水资源占有量只有全国平均水平的 1/4、广东省平均水平的 1/5。2008 年为深圳市丰水

年,深圳市全部供水企业供水 15.70 亿 m³,其中境外引水达 13.37 亿 m³,对境外水资源依赖度高达 85.16%。按照深圳市 2005~2020 年规划,深圳市茅洲河流域 2020 年水资源缺口达 1.57 亿 m³。无论从提高水资源自给能力考虑,还是从解决水资源缺口出发,深圳市都要大幅增加非常规水资源的使用量。非常规水资源利用包括海水淡化、雨水利用、污水再

生等,但由于技术瓶颈和土地资源的限制,海水淡化和雨水利用难以大规模推广,而污水水量充足且稳定,污水处理和再生技术成熟,再生水价格低廉,因而使用再生水最为现实^[1]。随着茅洲河流域水环境综合整治工程的完工,流域旱季的污水收集和处理率将达到100%,除了满足河流生态补水要求外,污水再生后将用于工业、农业、市政等,这就要求从整体效益最大化出发配置再生水,以促进再生水利用的健康发展。

再生水配置研究中,从费用效益分析出发研究再生水优化配置的较多,主要利用线性规划、非线性规划、整数规划、不确定规划构建再生水优化配置模型进行求解^[2-4]。部分研究者^[4-5]对再生水与天然水水资源进行统一规划,建立多目标线性规划优化配置模型。还有研究者^[5-6]在宏观层面研究水资源优化配置问题时考虑了再生水的使用,但把再生水利用固定为较小比例和指定用途,忽略了对再生水进行潜力分析和多用途优化配置。Yang Hong等^[7]以再生水回用量最大为目标函数建立了线性模型,分析了不同再生水价格下北京市的再生水需求潜力。Nave^[8]以再生水用于农业灌溉净效益最大为目标函数,研究了利用再生水进行灌溉的环境损害和节约水处理费之间的平衡问题。本文将再生水用户净效益最大为目标函数,建立单目标、多变量、多约束的优化模型,研究再生水厂的适宜规模及各用水点的再生水水量配置。

1 再生水配置模型

1.1 研究区域

茅洲河发源于深圳市宝安区的最高峰羊台山,流经石岩、公明、光明、松岗4镇,在沙井镇注入珠江口伶仃洋。在松岗镇西北部,茅洲河是深圳市和东莞市的界河,又称东宝河。茅洲河全长42.6 km,是深圳市境内最长的河流。深圳市茅洲河流域面积313 km²,这是本文的研究范围。

1.2 建立模型

根据《茅洲河流域水环境综合整治规划》^[9]设计方案,深圳市将在茅洲河沿线建设4座污水处理厂,分别为燕川、沙井、公明、光明污水处理厂,同时预留再生水厂建设用地,故本研究在4座污水处理厂位置将设置同名再生水厂。茅洲河流域共设置了35个收集污水的小片区,由于污水片区的设置充分考虑了地形、行政片区等因素,而地形、行政片区等因素也是再生水配置设置分区的主要因素,故本研究采取相同的片区设置。本研究将再生水配置过程进行了简化,即将再生水厂与各用水片区间的管线简

化为直线管道,再生水厂向各用水片区进行集中供水。

茅洲河流域4个污水处理厂中的3个污水处理厂排放的污水达到一级A标准,1个达到一级B标准,再生水厂将部分污水深度处理后进行回用。本文要研究的是再生水厂规模,再生水厂向用水片区的再生水供应量,以及用水片区在工业回用、农业灌溉、道路广场浇洒、城市绿地浇灌、居民冲厕方面的再生水需求量。

1.2.1 再生水需求潜力分析

a. 居民冲厕再生水需求潜力。居民冲厕再生水用量可占到居民生活用水总量的1/3,故居民冲厕再生水需求量计算公式为

$$Q_{Fj} = N_j q k \quad (1)$$

式中: Q_{Fj} 为j片区居民冲厕再生水需求量, m³/d; N_j 为j片区居民人口总数,人; q 为j片区居民平均生活用水量,人均用水定额240 L/d; k 为j片区居民冲厕再生水占居民生活用水总量的比值,这里取平均水平,即1/3。

b. 道路广场浇洒再生水需求潜力。道路广场浇洒再生水用量跟道路保洁质量要求相关,一般情况下,一二级道路保洁要求相近,三四级道路保洁要求相近。道路广场浇洒日均再生水需求量计算公式为

$$Q_{Tj} = q(S_j n_1 d_1 + S_j n_2 d_2)/365 \quad (2)$$

式中: Q_{Tj} 为j片区道路广场浇洒再生水需求量, m³/d; q 为道路广场浇洒年用水定额, m³/hm²; S_j 为j片区道路广场面积, hm²; n_1 为夏秋每日浇洒次数; d_1 是夏秋天数,d; n_2 是冬春每日浇洒次数; d_2 是冬春天数,d。深圳市道路广场车流量、人流量大,故不区分道路等级,保洁要求采取同一标准。深圳市春秋降雨量大、冬春降雨量小,夏秋浇洒次数和天数较少,故只考虑150 d旱季时间里的道路广场浇洒用水量。这样,道路广场浇洒再生水需求量计算公式修正为

$$Q_{Tj} = q_1 S_j / 150 \quad (3)$$

c. 工业再生水需求潜力。工业用水水质水量差异较大,故根据总产值与工业用水量关系计算工业用水总量,再确定再生水需求量占工业用水总量的比例。工业再生水需求量计算公式为

$$Q_{1j} = P_{1j} q_1 K_1 \quad (4)$$

式中: Q_{1j} 为j片区工业再生水需求量, m³/d; P_{1j} 为j片区工业增加值,万元; q_1 为j片区万元工业增加值用水量, m³/万元; K_1 为j片区工业再生水需求量占工业用水总量的比例,本文取40%。

d. 农业再生水需求潜力。农业再生水用量跟土地类型相关,不同类型用地的灌溉用水定额不同。本文只考虑旱季 150 天的农业再生水需求量,其计算公式为

$$Q_{A\ j} = (S_{j1}q_1 + S_{j2}q_2 + S_{j3}q_3)/150 \quad (5)$$

式中: $Q_{A\ j}$ 为 j 片区农业再生水需求量, m^3/d ; S_{j1} 为 j 片区水浇地面积, hm^2 ; q_1 为 j 片区水浇地年用水定额, m^3/hm^2 ; S_{j2} 为 j 片区菜地面积, hm^2 ; q_2 为 j 片区菜地年用水定额, m^3/hm^2 ; S_{j3} 为 j 片区园地面积, hm^2 ; q_3 为 j 片区园地年用水定额, m^3/hm^2 。

e. 城市绿地浇灌再生水需求潜力。可按照城市绿地浇灌用水定额计算其再生水需求量,但由于用水定额为年用水量,而用再生水浇灌城市绿地只需考虑旱季用水,故城市绿地浇灌再生水需求量计算公式为

$$Q_{G\ j} = 150S_{G\ j}q_G/365 \quad (6)$$

式中: $Q_{G\ j}$ 为 j 片区城市绿地浇灌再生水需求量, m^3/d ; $S_{G\ j}$ 为 j 片区城市绿地浇灌面积, hm^2 ; q_G 为 j 片区城市绿地浇灌年用水定额, m^3/hm^2 。

1.2.2 再生水工程成本

再生水工程成本包括再生水处理设施、输送管道、储存设施、压力设施等的成本。由于集中供应再生水时,再生水输送管道成本占再生水工程成本的大部分,故本文用再生水输送管道成本代替再生水工程成本进行计算。本文用深圳市给水管道成本数据(表 1)来计算再生水输送管道成本。

表 1 深圳市给水管单位长度成本

给水管 管径/mm	单价/ (元·m ⁻¹)	给水管 管径/mm	单价/ (元·m ⁻¹)
400	240	1000	540
500	300	1200	660
600	330	1350	840
700	390	1400	840
800	450	1600	960
900	480	2000	1560

再生水输送管道的管径由供水量确定,计算公式为

$$D_{ij} = \sqrt{\frac{4Q_{ij}}{\pi\nu}} \quad (7)$$

式中: D_{ij} 为第 i 个再生水厂到第 j 个用水片区的再生水输送管道的管径, mm ; Q_{ij} 为第 i 个再生水厂向第 j 个用水片区的再生水供应量, m^3/d ; ν 为管道设计流速,一般为 $1.0 \sim 1.5 \text{ m/s}$,本文取 1.2 m/s 。

深圳市给排水设施运营年限设计为 50 年,本研究设定在 50 年内以固定比率回收投资。本文研究对象为集中式再生水厂处理系统,根据深圳市已有

再生水设施的投资和运营费用数据^[9],取折算的单位再生水年均投资和运营费用为 $0.8 \text{ 元}/\text{m}^3$,则再生水工程成本计算公式为

$$F_{\text{再}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (a + bD_{ij}^\alpha) L_{ij} 0.02 + \sum_{i=1}^n 0.8 Q_{WZ\ j} \quad (8)$$

式中: $F_{\text{再}}$ 为再生水工程成本,元; n 为再生水厂个数,这里取 4; m 为用水片区个数,这里取 35; a 、 b 、 α 为再生水输送管道费用参数,笔者根据深圳市给水管道路成本拟合求得: $a = 2160$, $b = 3140$, $\alpha = 2.08$; L_{ij} 为第 i 个再生水厂到第 j 个用水片区集中供水点的距离, m ; $Q_{WZ\ j}$ 为 j 片区再生水厂规模, m^3/d 。

1.2.3 用户使用再生水的收益

用户使用再生水的收益指用户使用再生水带来的经济效益,本文采用分摊系数法计算用户使用再生水的收益。根据分摊系数法,求得深圳市工业、农业、第三产业等用水部门的水经济价值。由于绿地浇灌、道路广场浇洒、居民冲厕用水的经济价值难以直接计算,本研究中分别以公共设施管理、交通运输、居民服务等行业的水经济价值代替。用户使用再生水的收益计算公式为

$$F_{\text{用}} = \sum_{j=1}^m (Q_{Z1\ j} C_1 + Q_{ZA\ j} C_A + Q_{ZG\ j} C_G + Q_{ZT\ j} C_T + Q_{ZF\ j} C_F) \quad (9)$$

式中: $F_{\text{用}}$ 为用户使用再生水的收益,元; m 为用水片区个数,本文取 35; $Q_{Z1\ j}$ 、 $Q_{ZA\ j}$ 、 $Q_{ZG\ j}$ 、 $Q_{ZT\ j}$ 、 $Q_{ZF\ j}$ 分别为第 j 个用水片区工业、农业灌溉、城市绿地浇灌、道路广场浇洒、居民冲厕的再生水供应量, m^3/d ; $C_1 = 22.1$ 、 $C_A = 4.2$ 、 $C_G = 4.6$ 、 $C_T = 2.6$ 、 $C_F = 1.8$,分别为深圳市工业、农业灌溉、城市绿地浇灌、道路广场浇洒、居民冲厕等用水部门的水经济价值,元/ m^3 。

1.2.4 综合效益

使用再生水将带来巨大的经济效益、社会效益和环境效益。社会效益指增加了全社会可供使用的水资源量,提高了供水安全等对社会发展的支持和促进作用。环境效益主要指减少了直接进入水体的污染物数量。由于茅洲河污染严重,茅洲河流域用水主要依靠外部引水,那么使用再生水将给茅洲河流域带来巨大的社会效益和环境效益。由于社会效益和环境效益难以量化,本文将用户使用再生水的收益与再生水工程成本的差额作为使用再生水的综合效益 f :

$$\max f = F_{\text{用}} - F_{\text{再}} \quad (10)$$

1.2.5 约束条件

由于茅洲河是雨源性河流,完善污水收集系统后,旱季流域内污水收集率将达到 100%。茅洲河

在旱季将干涸,为保证茅洲河基本生态功能,必须对河流进行生态补水。根据计算,茅洲河生态补水量约为 j 片区污水厂处理规模 Q_{Wj} 的 4.7% ~ 89.6% ,所以限定 j 片区再生水厂规模 $Q_{WZ,j}$ 为

$$0.10Q_{Wj} \geq Q_{WZ,j} \geq 0.90Q_{Wj} \quad (11)$$

随着 L_{ij} 值的增大,再生水输送管道的成本将急剧升高,长距离输送再生水将比建立分散再生水处理设施成本高,这时长距离输送再生水不经济。本文研究范围中的绝大部分用水片区都有两个 10 km 范围内的再生水厂,故本文将限定再生水厂只给 $L_{ij} < 10$ km 以内的用水片区输送再生水,即当 $L_{ij} \geq 10$ km 时, $Q_{ij} = 0$ 。

当输送水量过小时,输送再生水就不具备规模效应。对再生水处理费用的相关研究显示,再生水分散处理设施的规模应大于 150 m³/d,才能降低再生水工程成本^[1,10],本文研究再生水集中处理供水,故限定片区用水规模为 $Q_{ij} \geq 200$ m³/d。

再生水厂对周围再生水用水点供应再生水,其生产的再生水水量(即再生水厂规模)与总的再生水供应量 $\sum_{j=1}^m Q_{ij}$ 必须保持平衡,即

$$\sum_{j=1}^m Q_{ij} = Q_{WZ,j} \quad (12)$$

各用水点再生水供应量 Q_{ij} 必须等于各类型再生水供应量之和,即

$$Q_{ij} = Q_{ZA,j} + Q_{ZT,j} + Q_{ZF,j} + Q_{ZG,j} + Q_{ZI,j} \quad (13)$$

再生水的需求潜力约束为

$$\begin{cases} Q_{A,j} \geq Q_{ZA,j} \geq 0 & Q_{I,j} \geq Q_{ZI,j} \geq 0 \\ Q_{G,j} \geq Q_{ZG,j} \geq 0 & Q_{T,j} \geq Q_{ZT,j} \geq 0 \\ Q_{F,j} \geq Q_{ZF,j} \geq 0 \end{cases} \quad (14)$$

再生水供应量的非负约束为

$$Q_{ij} \geq 0 \quad (15)$$

2 LINGO 软件求解及结果

LINGO 软件是美国 LINDO System 公司开发的最优化软件,该软件在线性优化、整数规划以及非线性优化上功能卓越,在各领域得到广泛应用。本文的茅洲河流域再生水配置优化模型包含 392 个变量、393 个约束条件,使用 LINGO 软件可快速求解,同时 LINGO 与 EXCEL 软件具有良好接口,适合结构化编程,因此本文采用 LINGO 软件求解模型。

由于模型决策变量多,约束条件多,故在求解茅洲河流域再生水配置的 LINGO 时,将软件参数调整为 Global solver。经过计算,求得茅洲河流域再生水配置的全局最优解。限于篇幅,本文只列出再生水

厂向用水片区配送的水量,见表 2。以再生水使用综合效益最大为目标的茅洲河流域再生水配置优化结果显示:①茅洲河流域再生水厂总体最优规模为 59.4 万 m³/d,由于部分再生水只在旱季使用,折算年用水量为 1.40 亿 m³,加上其他非常规水资源,可解决茅洲河流域水资源缺口;②燕川再生水厂、沙井再生水厂、公明再生水厂、光明再生水厂的再生水处理规模分别为污水处理规模的 80.5%、41.0%、41.8%、42.4%。③再生水厂向用水区域配水,要综合考虑距离和水量因素,二者都对成本和效益有影响。现有模型解显示,再生水厂供应范围以燕川再生水厂最大,沙井和燕川两个再生水厂则占据供应水量的大部分,这说明再生水厂具有规模效应。④各用水区对用水行业的水量进行分配,考虑了不同行业新鲜用水价格不同对再生水分配的影响,结果显示农业灌溉、工业回用、城市绿地、道路广场浇洒、居民冲厕等行业使用再生水的边际收益分别为 3.7 元/m³、21.6 元/m³、4.1 元/m³、2.1 元/m³、1.3 元/m³。

表 2 各再生水厂向用水片区配送的水量 m³/d

代码	水量	代码	水量	代码	水量
Q(1,2)	26997.52	Q(13,2)	1943.95	Q(25,2)	2399.92
Q(2,2)	8286.05	Q(14,2)	15228.61	Q(26,2)	19891.69
Q(3,2)	6048.53	Q(15,3)	27767.55	Q(27,1)	5401.32
Q(4,2)	1409.27	Q(16,1)	22083.28	Q(28,2)	7157.95
Q(5,2)	22324.36	Q(17,2)	2015.62	Q(29,3)	9714.14
Q(6,2)	11809.75	Q(18,2)	25419.05	Q(30,1)	72781.08
Q(7,2)	7815.71	Q(19,3)	11703.54	Q(31,3)	36505.5
Q(8,2)	7412.1	Q(20,2)	19358.73	Q(32,2)	22704.51
Q(9,1)	9975.23	Q(21,1)	8320.74	Q(33,3)	13271.15
Q(10,2)	2371.13	Q(22,1)	65855.08	Q(34,3)	5622.9
Q(11,2)	3704.93	Q(23,2)	13726.24	Q(35,4)	63629.57
Q(12,2)	5787.77	Q(24,2)	7653.9	合计	594098.4

3 结 语

本文建立了茅洲河流域再生水优化配置模型,以再生水厂规模、再生水厂配送水量、用户水量分配为决策变量,以再生水使用综合效益最大为目标,考虑了输送距离、使用规模和河流补水需求等约束。为方便模型求解,将非线性约束都转化为线性约束,将模型转化为 LINGO 语言模型,求得全局最优解。

随着城市经济发展和人口增长,水资源短缺问题将日益凸显,使用再生水成为城市的战略选择。

参考文献:

[1] 邬扬善,屈燕.北京市中水设施的成本效益分析[J].给水排水,1996,22(4):31-33.
[2] 傅涛,郑兴灿,陈吉宁.再生水的战略思考与定位[J].中国给水排水,2007,22(18):5-9. (下转第 53 页)

表 3 群决策博弈模型分配结果

分类	淡溪镇	虹桥镇	石帆镇	蒲岐镇	四都乡	天成乡	合计
分配量/t	776.35	2028.15	637.18	782.95	420.92	441.17	5086.71
所占比重/%	0.1526	0.3987	0.1253	0.1539	0.0827	0.0867	1.0000

3 结 论

a. 根据获得数据,设计了基于环境、自然资源、经济和社会因素的 AHP 法进行污染物总量群决策分配,同时采用不同方法确定准则层和子准则层中评价指标权重,形成分配权重准则策略集,避免了单一权重确定方法引起的不公平性。通过乐清湾虹桥水系乡镇 COD 总量分配实例应用,证实了该分配方法的可行性。

b. 采用群决策博弈模型,无须在分配权重准则策略集中筛选出最优权重准则,提高了污染物总量控制工作的效率,避免了筛选方案设计多样性而导致的最优方案的不确定性。同时群决策博弈过程将政府决策和公众参与相结合,通过群体决策得到最终结果,因此既保证了分配准则的合理性,又保证了分配过程的公平性。

c. 由于乐清湾调查资料不完善,因此对于评价指标的选择有限,指标体系有待丰富和完善,使其更具有代表性。此外,评价指标权重的确定方法有待进一步补充,从而使分配准则策略集更加丰富。

参考文献:

[1] 李如忠,钱家忠,汪家权.水污染物允许排放总量分配方法[J].水利学报,2003(5):112-115.
[2] 范平,吴纯德,张帆,等.南方某城市水污染物总量控制

分配研究[J].水资源保护,2009,25(4):20-23.
[3] 汪俊启,张颖.总量控制中水污染物允许排放量公平分配研究[J].安庆师范学院学报,2000,4(3):37-38.
[4] 林巍,傅国伟,刘春华.基于公理体系的排污总量公平分配模型[J].环境科学,1996,17(3):35-38.
[5] 范英宏,杨志峰,杨晓华,等.基于层次分析的方差赋权法的理论及其应用[J].环境科学与技术,2008,31(6):135-137.
[6] 王丽琼.基于公平性的水污染总量分配基尼系数分析[J].生态环境,2008,17(5):1796-1801.
[7] 崔正国.环渤海 13 城市主要化学污染物排海总量控制方案研究[D].青岛:中国海洋大学,2008:77-89.
[8] 胡明甫.AHP 层次分析法及 MATLAB 的应用研究[J].钢铁技术,2004(2):43-46.
[9] XU X. A note on the subjective and objective integrated approach to determine attribute weights[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 156: 530-532.
[10] WANG Ying-ming, LUO Ying. Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2010, 51: 8.
[11] WU Z, CHEN Y. The maximizing deviation method for group multiple attribute decision making under linguistic environment[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2007, 158(14):1608-1617.
[12] 林高松,李适宇,李娟.基于群决策的河流允许排污公平分配博弈模型[J].环境科学学报,2009,29(9):2011-2016.

(收稿日期 2010-04-04 编辑:高渭文)

(上接第 48 页)

[3] 褚俊英,陈吉宁,王灿,等.我国污水再生利用潜力的优化分析[J].中国给水排水,2004(8):1-4.
[4] 马伟芳,赵新华,王洪云.再生水与天然水资源农田灌溉的模糊优化配置[J].农业环境科学学报,2004(4):770-773
[5] 马伟芳,赵新华,王洪云,等.再生水与自来水资源的优化配置研究[J].中国给水排水,2005(1):41-44.
[6] 黄曼丽,张健,丁大发,等.基于遗传算法的区域水资源优化配置研究[J].人民长江,2008(6):29-32.
[7] YANG H, ABBASPOUR K C. Analysis of wastewater reuse potential in Beijing[J]. Desalination, 2007, 212(1-3): 238-250.
[8] NAVE H. Wastewater reuse-regional and economic consideration[J]. Resources Conservation and Recycling, 1998, 22(1-2): 57-66.
[9] 深圳市水务规划院.茅洲河流域水环境综合整治规划[R].深圳:深圳市水务规划院,2010:5-6.

[10] 徐森,李梅.中水处理技术费用的数学模型[J].工业用水与废水,2002,33(3):8-9.

(收稿日期 2010-04-02 编辑:彭桃英)

