

# 滇中地区地下水监测站网分析

李芸, 李宝芬, 杨秋萍

(云南省水文水资源局, 云南 昆明 650106)

**摘要:**滇中地区是云南省经济核心区,也是用水需求量最大的区域,通过分析区内现有地下水监测站网的密度、功能和布局,结合区域地下水功能区划、地下水开发利用状况、地下水超采情况和浅层地下水脆弱性,找出现有地下水监测站网存在的问题,提出合理化建议,为该区域地下水监测站网的调整规划提供技术依据。

**关键词:**地下水;监测站网;分析;滇中地区

**中图分类号:** P641.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0852(2017)05-0079-05

滇中地区是云南省的中心腹地,在这块国土面积仅为全省国土面积四分之一的区域里,集中了约二分之一的人口、三分之二强的省内生产总值、五分之四强的工业总产值、近一半的农业总产值。然而,由于地理位置和自然条件限制,区内多年平均年降水量仅为963.0mm,低于全省(多年平均降水量1278.8mm)平均水平;拥有的自产水资源总量 $277.3 \times 10^8 \text{m}^3$ ,为全省水资源量的12.5%;人均水资源量( $1623 \text{m}^3$ )仅为全省人均水资源量的13.7%。加之区内河川径流年内分配不均,致使该区域水资源严重不足,与经济社会发展不匹配,水资源供需矛盾日益凸显,一些人口较多、厂矿聚集的地方,为弥补地表水资源的不足,地下水成为了重要的供水水源<sup>[1]</sup>。

地下水是水资源的重要组成部分,在弥补地表水供水不足的同时,还是维系良好生态环境的重要要素,当极端气候条件发生时,地下水还是重要的储备水源。建立一个合理、经济、高效的地下水监测网络,收集到系统、完整、准确、科学的监测资料,可为区域地下水资源合理开发和高效利用提供重要技术依据。通过分析滇中地区地下水监测网络现状,结合地下水功能区划、地下水开发利用状况、地下水超采区分布情况以及浅层地下水脆弱性,找出现有监测站网存在问题,提出合理化建议,对合理开发利用滇中地区地下水资源、保护生态环境、实行最严格水资源管理具有重要意义。

## 1 分析区概况

### 1.1 自然地理

滇中地区地处云南中部,位于东经 $99^{\circ}29' \sim 106^{\circ}13'$ 、北纬 $23^{\circ}01' \sim 27^{\circ}07'$ 之间,总面积 $9.96 \times 10^4 \text{km}^2$ ,约占全省面积的1/4,涉及昆明、玉溪、楚雄、大理、曲靖、红河及丽江等七个州(市)中的49个县(市、区)。

区内地形相对比较平缓,相对全省而言,有84.0%的坝区县、65.6%的半山区坝区县集中在滇中地区,为云南高原中北部的滇中高原与横断山脉交接地带。地势总的趋势为西北高、东南低,主要山脉呈近南北向或西北东南向展布,与主要构造线方向基本一致,分属两大地貌区:红河大裂谷以西的横断山系切割山地峡谷区和以东的滇中盆地山原区。横断山系切割山地峡谷区内峰峦重叠,横断峭壁,坡陡谷深;滇中盆地山原区的西部为滇中红色高原亚区,东部为岩溶高原湖盆亚区。

由于受低纬度、高海拔地理条件及季风气候的影响,区内呈现四季温差小、干湿季分明、水平分布复杂、垂直变化显著的气候特点。制约于纬度、地形和气候,整个滇中地区普遍干旱缺水。南北走向的山脉地形孕育了四大江河水系,即长江、珠江、红河和澜沧江,均注入太平洋。全区共有人口2713.6万,占全省人口总数的57.6%。

### 1.2 地下水功能区划

滇中地区地下水功能区划分为34个一级功能区

和 124 个二级功能区。一级功能区包括保护区、开发区和保留区,从划分面积占总面积百分比统计,保护区占 85.4%,开发区占 9.5%,保留区占 5.1%。二级功能区包括 20 个集中式供水水源区、29 个分散式开发利用区、13 个生态脆弱区、3 个地质灾害易发区、45 个地下水水源涵养区、12 个储备区和 2 个应急水源区<sup>[3]</sup>。

### 1.3 地下水开发利用情况

2015 年,全区共有地下水取水井 690 137 眼,占全省地下水取水井数<sup>[4]</sup>(910 920 眼)75.8%。按取用地下水类型统计:354 730 眼取岩溶水,占总数 51.4%;161 492 眼取裂隙水,占总数 23.4%;173 915 眼取孔隙水,占总数 25.2%。按取用地下水埋藏条件统计:285 027 眼取潜水,占总数 41.3%;405 110 眼取承压水,占总数 58.7%。所取地下水主要用于工业用水、农业用水和生活用水,其中,用于生活用水的有 660 238 眼,占总数 95.7%;用于农业用水的有 29 423 眼,占总数 4.26%;用于工业用水的有 476 眼,占总数 0.04%。

取水井最多的是大理州所辖区域,共 268 339 眼井,占总数 38.88%;其次是红河州所辖区域,共 170 287 眼井,占总数 24.67%;最少的是楚雄州所辖区域,仅有 26 139 眼井,占总数 3.79%。表 1 为滇中地区地级行政区辖区内地下水取水井数统计表。

2015 年,全区地下水取水井供水量为  $21\,783.84 \times 10^4 \text{m}^3$ ,占全省地下水供水总量<sup>[4]</sup>( $29\,622.8 \times 10^4 \text{m}^3$ )的 73.5%,其中生活用水供水量为  $12\,011.50 \times 10^4 \text{m}^3$ ,占全区供水总量的 55.17%;工业用水供水量为  $2\,458.56 \times 10^4 \text{m}^3$ ,占全区供水总量的 11.29%;农业用水供水量为  $7\,313.78 \times 10^4 \text{m}^3$ ,占全区供水总量的 33.57%。大理州所辖区域地下水供水最大,为  $6\,436.85 \times 10^4 \text{m}^3$ ,占全区供水总量的 29.55%;其次是昆明市所辖区域,为  $4\,741.25 \times 10^4 \text{m}^3$ ,占全区供水总量的 21.76%;最少的是丽江市所辖区域,仅为  $532.79 \times 10^4 \text{m}^3$ ,占全区供水总量的 2.45%。表 2 为滇中地区地级行政区辖区内地下水供水量统计表。

区内各县(市、区)的地下水取水井供水量在

表1 滇中地区各州市辖区内地下水取水井数统计

Table1 The statistics of the groundwater wells in the central Yunnan province

地级行政区	生活用水		工业用水		农业用水		合计	
	井数/眼	占该区域总井数比例/%	井数/眼	占该区域总井数比例/%	井数/眼	占该区域总井数比例/%	井数/眼	占全区总井数比例/%
昆明市	57 058	89.61	169	0.27	6 446	10.12	63 673	9.23
曲靖市	53 538	99.41	107	0.20	210	0.39	53 855	7.80
玉溪市	75 678	99.64	45	0.06	228	0.30	75 951	11.01
楚雄州	25 594	97.91	32	0.12	513	1.96	26 139	3.79
红河州	169 867	99.75	94	0.06	326	0.19	170 287	24.67
大理州	246 836	91.99	24	0.01	21 479	8.00	268 339	38.88
丽江市	31 667	99.29	5	0.02	221	0.69	31 893	4.62
总计	660 238	95.67	476	0.07	29 423	4.26	690 137	100

表2 滇中地区各州市辖区内地下水供水结构

Table2 The groundwater supply distribution in the central Yunnan province

地级行政区	生活用水		工业用水		农业用水		合计	
	供水量/ $10^4 \text{m}^3$	占该区域总供水量比例/%	供水量/ $10^4 \text{m}^3$	占该区域总供水量比例/%	供水量/ $10^4 \text{m}^3$	占该区域总供水量比例/%	供水量/ $10^4 \text{m}^3$	占全区域总供水量比例/%
昆明市	30 93.84	65.25	1 141.27	24.07	506.15	10.68	4 741.25	21.76
曲靖市	1 620.63	78.51	298.35	14.45	145.32	7.04	2 064.30	9.48
玉溪市	1 915.07	87.96	139.05	6.39	123.11	5.65	2 177.24	9.99
楚雄市	648.70	30.22	269.99	12.58	1 227.73	57.20	2 146.43	9.85
红河州	2 436.53	66.12	516.20	14.01	732.25	19.87	3 684.98	16.92
大理州	2 017.25	31.34	83.62	1.30	4 335.99	67.36	6 436.85	29.55
丽江市	279.49	52.46	10.08	1.89	243.22	45.65	532.79	2.45
总计	12 011.50	55.14	2 458.56	11.29	7 313.78	33.57	21 783.84	100

(26.6~2 194.41)×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> 之间。供水量最大的是大理州的宾川县,为 2 194.41×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>;供水量在(1 500~2 000)×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> 之间的有昆明主城区、红河州的建水县、大理州的祥云县、弥渡县,供水量在(1 000~1 500)×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> 之间的有昆明市的安宁市、曲靖市的陆良县、楚雄州的元谋县,其余县市区供水量均在 1 000×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> 以下。

1.4 超采区状况

滇中地区共有 3 个区域出现地下水超采的现象,超采区主要分布在昆明、玉溪、红河的城市建成区内,表 3 为滇中地区地下水超采区基本情况表<sup>[5]</sup>。

表3 滇中地区地下水超采区基本情况

Table3 The groundwater overdraft situation in the central Yunnan province

序号	超采区名称	分布区域	主要地下水类型	超采程度
1	云南省昆明中型岩溶隐伏型地下水超采区	昆明市主城区	岩溶水	一般超采区
2	云南省玉溪市中型裂隙隐伏型地下水超采区	红塔区	裂隙水	一般超采区
3	云南省红河州小型岩溶隐伏型地下水超采区	开远市	岩溶水	一般超采区

1.5 浅层地下水脆弱性

采用美国环境保护局 (USEPA) 和美国水井协会 (NWWA) 于 1985 年合作开发的 DRASTIC 模型对滇中地区浅层地下水脆弱性 (地下水遭受破坏的趋向和可能性)进行评价,滇中地区浅层地下水脆弱性低区域面积占总面积 1.14%,较低占 24.31%,中等占 31%,较高占 20.8%,高占 22.75%,各州市浅层地下水脆弱性评价分级见表 4<sup>[6]</sup>。

表4 滇中地区各州市所辖区域浅层地下水脆弱性评价分级

Table4 The classification assessment of the shallow groundwater vulnerability in the central Yunnan province

州(市)	浅层地下水脆弱性评价分级(面积百分比)/%				
	低	较低	中等	较高	高
昆明	3.51	15.9	32.0	22.2	26.4
玉溪	0.38	22.9	32.3	18.2	25.7
楚雄	0.58	37.1	37.5	23.6	1.28
大理	2.09	37.5	36.0	16.3	8.07
曲靖	0.36	12.7	23.0	18.5	45.4
红河	0.16	18.2	30.2	19.3	32.1
丽江	0.90	25.9	25.6	27.5	20.2

以县(市、区)为单元统计,区内 49 个县(市、区)中,红河州的蒙自市浅层地下水脆弱性高的面积百分比最高,达到 63.9%,昆明市的石林县和红河州的个旧市浅层地下水脆弱性高的面积百分比超出 60%,玉溪市的通海县和红河州的开远市、弥勒县、建水县浅层地下水脆弱性高的面积百分比在 50%~60%之间,昆明市的西山区和五华区、玉溪市的澄江县和江川县浅层地下水脆弱性高的面积百分比在 30%~50%之间,其余县(市、区)浅层地下水脆弱性高的面积百分比均在 30%以下。

2 地下水监测现状

2.1 站网密度

截止 2015 年,滇中地区共有地下水监测井 224 眼,主要分布在一些地下水开发利用程度较高的盆地。全部监测井均由云南省国土资源部门于 20 世纪 60 年代设立,观测方式为人工观测,部分监测井还采用委托观测的方式收集资料。按所监测的地下水埋藏条件统计:70 眼监测潜水,占总数的 31.3%,154 眼监测承压水,占总数的 69.7%;按地下水类型统计:62 眼监测孔隙水,占总数的 27.7%,39 眼监测裂隙水,占总数的 17.4%,123 眼监测岩溶水,占总数的 54.9%;按监测项目统计,124 眼监测水位,占总数的 55.4%;73 眼监测水质,占总数 32.6%;34 眼监测水温,占总数的 15.2%;3 眼同时监测水位和水温,占总数的 1.3%。

从行政区看,昆明市辖区内布设监测井最多,为 139 眼,占总数 61.0%,丽江市辖区内还无监测井。表 5 为滇中地区地下水监测站井统计表。

全区地下水水位监测站网密度为 1.24 眼/10<sup>3</sup>km<sup>2</sup>,和《地下水监测工程技术规范》(GB/T51040-2014)中密度标准<sup>[2]</sup>(基本类型区水位监测站布设密度标准 2~3 眼/10<sup>3</sup>km<sup>2</sup>)相比,还未达到标准下限;6 个州市中,仅昆明市所辖区域达到标准上限要求,其余州市所辖区域均小于标准下限。

2.2 站网布局

滇中地区现有的 224 眼地下水监测井均由云南省国土资源部门于 21 世纪五六十年代布设于当时地下水开发利用程度较高的盆地内,且大部分位于州(市)政府所在地:除昆明市 119 眼布设于昆明市主城区和 20 眼布设于安宁市外,其余曲靖市、玉溪市、楚雄州、红河州和大理州的监测井分别布设于麒麟区、红塔区、楚雄市、开远市和大理市。

表5 滇中地区各州市辖区内现有地下水监测井

Table5 The current groundwater monitoring wells in the prefectural districts of the states in Yunnan province

州市	监测井 / 眼	监测项目分类						监测层位分类/眼		监测地下水类型分类/眼		
		水位		水温	水质	水位、水温	流量	潜水	承压水	孔隙水	裂隙水	岩溶水
		井数 / 眼	站网密度 / 眼·(10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	/ 眼	/ 眼	/ 眼	/ 眼					
昆明市	139	77	3.89	19	48	0	14	48	91	42	12	85
曲靖市	15	8	0.98	2	5	0	2	4	11	4	2	9
玉溪市	17	9	1.45	3	5	0	3	5	12	5	8	4
楚雄州	17	11	0.56	2	5	2	1	5	12	5	7	5
红河州	20	10	0.53	5	5	0	5	7	13	5	0	15
大理州	16	9	0.41	3	5	1	2	1	15	1	10	5
丽江市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合计	224	124	1.24	34	73	3	27	70	154	62	39	123

表6 滇中地区各州市辖区内地下水功能区监测井分布情况

Table6 The distribution of the monitoring wells in the groundwater function areas of the central Yunnana province

州市	地下水二级功能区													
	集中式供水水源区		分散式开发利用区		生态脆弱区		地质灾害易发区		储备区		水源涵养区		应急水源区	
	数量 / 个	监测井 / 眼												
昆明	4	98	7	21	6	10	1	10	0	0	10	0	0	0
曲靖	3	5	1	0	0	0	1	10	2	0	4	0	0	0
玉溪	4	0	0	0	4	0	0	0	1	17	6	0	1	0
丽江	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
楚雄	2	8	9	0	0	0	1	9	3	0	7	0	0	0
红河	4	16	6	4	1	0	0	0	1	0	7	0	1	0
大理	3		5	9	1	7	0	0	4	0	10	0	0	0
合计	20	127	29	34	13	17	3	29	12	17	45	0	2	0

对照地下水功能区,127眼监测井布设于20个集中式供水水源区,34眼监测井布设于29个分散式开发利用区,17眼监测井布设于13个生态脆弱区,29眼监测井布设于3个地质灾害区,17眼监测井布设于12个储备区,应急水源区和水源涵养区内无监测井。表6是滇中地区各州市所辖区域地下水功能区监测井分布情况统计表。

结合各县(市、区)地下水取水井供水量,现有的监测井中,119眼监测井布设于供水量为1 505.90×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>的昆明主城区,20眼监测井布设于供水量为1 207.50×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>的安宁市,15眼监测井布设于供水量为248.48×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>的麒麟区,17眼监测井布设于供水量为631.69×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>的红塔区,17眼监测井布设于供水量为100.16×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>的楚雄市,20眼监测井布设于供水量为516.46×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>

的开远市,16眼监测井布设于供水量为298.37×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>的大理市。其余区县(市、区)至今还无地下水监测井。

全区224眼监测井中,46眼布设于超采区内,其中38眼布设于昆明市中大型岩溶隐伏型地下水超采区,2眼布设于玉溪市中型裂隙隐伏型地下水超采区,6眼布设于红河州小型岩溶隐伏型地下水超采区。

全区73眼地下水水质监测井,48眼布设于昆明市主城区,麒麟区、红塔区、楚雄市、开远市和大理市分别布设5眼地下水水质监测井。其余区县(市)无地下水水质监测井。

### 3 问题和建议

依据上述分析,目前滇中地区地下水监测站网存在以下问题:

(1) 水位站网密度偏小。滇中地区地下水水位站网密度为  $1.24/10^3\text{km}^2$ , 和《地下水监测工程技术规范》中要求的地下水水位站网密度标准 ( $2\sim 3$  眼 /  $10^3\text{km}^2$ ) 相比, 还未达到标准下限, 7 个州市中, 仅昆明市达到标准要求。有限的地下水水位监测站, 难于全面反映区域地下水水位变化情况, 无法为最严格水资源管理提供技术支持。

(2) 站网布局和社会经济发展不相适应。现有的地下水监测井大部分均由国土资源部门于 20 世纪 60 年代设立, 分布于当时地下水开发利用程度相对较高的一些盆地, 但随着经济社会的发展, 地下水开发利用布局随之发生了变化, 一些原本地下水开采量不大的地方, 因经济发展需求, 开采量逐年增加, 甚至出现超采现象; 而一些取水井过度集中或出现地下水问题的区域, 由于各级政府部门高度重视, 加大地下水治理力度, 存在问题得到一定的解决, 如 2010 年昆明市政府为加强地下水资源的管理, 对昆明市主城区地下水取水井进行清理整顿, 共封停取水井 300 余眼, 出现超采的区域地下水位下降趋势有所遏制; 2010 年, 水利部门对滇中地区进行了地下水功能区划, 对地下水监测站网提出了新要求。现有的地下水监测站网布局急需调整。

(3) 站网功能亟待加强。滇中地区 95.67% 的地下水取水井用于生活用水, 供水量占地下水供水总量 55.14%, 地下水水质状况事关用水户的用水安全, 同时也将影响区域生态环境。对照现有的地下水监测网络, 目前大部分水质监测井分布于昆明盆地, 而浅层地下水脆弱性高的州市 (曲靖市和红河州) 监测站点有限, 尤其是一些浅层地下水脆弱性高的县 (市区) 至今仍为地下水水质监测空白区。

(4) 监测手段落后、信息传输滞后。现有的地下水监测站监测方式为人工监测, 且部分监测站采用委托观测的方式收集资料, 监测方式不能满足现代化管理要求; 信息传输靠人工报送, 从时效性看, 目前的传输方式与现在的信息化管理要求尚存在一定的差距。

针对以上问题, 提出建议如下:

(1) 整体提高滇中地区地下水监测站网密度。主要加强地下水功能区监测, 在一些地下水集中式开发利用区、地质灾害易发区增设地下水监测井。

(2) 调整地下水超采区内监测井布局。对于一些因近年来开展地下水治理工作, 使得超采现象得到遏制或消失的区域, 如昆明市主城区内的超采区, 可适当减少地下水监测井数量; 增加现有监测井较少的超采区

的地下水监测井, 如分布于红河州和玉溪市境内的超采区。

(3) 填补地下水功能区监测空白。在目前还处于地下水监测空白的功能区中增设地下水监测井, 如: 玉溪市和红河州所辖区域内的生态脆弱区和应急水源区、丽江市所辖区域内的生态脆弱区以及除玉溪市以外各州市所辖区域内的储备区。

(4) 加强地下水取水量较大区域的地下水监测。由于社会发展引起地下水开采布局变化, 一些地下水取水量较大区域, 至今还无监测井, 应及时加强这些区域的地下水监测, 如大理州的宾川县、祥云县和弥渡县, 红河州的建水县, 曲靖市的陆良县, 楚雄州的元谋县。

(5) 提升地下水水质监测能力。根据滇中地区浅层地下水脆弱性, 加强对浅层地下水脆弱性较高县 (市、区) 地下水水质监测, 如红河州的蒙自市、个旧市、开远市、弥勒县和建水县, 昆明市的石林县, 玉溪市的通海县。

#### 参考文献:

- [1] 伍立群, 顾世祥, 谢波, 等. 滇中水资源研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2005: 28-41. (WU Liqun, GU Shixiong, XIE Bo, et al. Research on Water Resources in Central Yunnan Province [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2005: 28-41. (in Chinese))
- [2] GB/T 51040-2014, 地下水监测工程技术规范 [S]. (GB/T 51040-2014, Technical Code for Groundwater Monitoring [S]. (in Chinese))
- [3] 伍立群, 王红鹰, 周友荣, 等. 云南省地下水功能区划[R]. 云南省水利厅, 2008: 69-85. (WU Liqun, WANG Hongying, ZHOU Yourong, et al. Division of Groundwater Functional Districts in Yunnan Province [R]. Department of Water Resources of Yunnan Province, 2008: 69-85. (in Chinese))
- [4] 李芸, 张楠, 张坤. 云南省地下水监测及开发利用浅析[J]. 人民珠江, 2016, (8): 44-47. (LI Yun, ZHANG Nan, ZHANG Kun. Monitoring, development and utilization of groundwater in Yunnan Province [J]. Pearl River, 2016, (8): 44-47. (in Chinese))
- [5] 李芸, 段琪彩, 朱玲, 等. 云南省地下水禁采区限采区划定报告[R]. 云南省水利厅, 2011: 57-78. (LI Yun, DUAN Qicai, ZHU Ling, et al. Groundwater mining limit area designated reports [R]. Department of Water Resources of Yunnan Province, 2011: 57-78. (in Chinese))
- [6] 肖振国, 蔡文静, 李芸, 等. 云南省浅层地下水脆弱性评价[R]. 云南省水利厅, 2014: 70-76. (XIAO Zhengguo, CAI Wengjing, LI Yun, et al. Vulnerability evaluation of shallow groundwater in Yunnan province [R]. Department of Water Resources of Yunnan Province, 2014: 70-76. (in Chinese))

(下转第 7 页)

[8] 谢崇宝,袁宏源,郭元裕. P-型理论频率曲线参数估计—模糊极值法[J].水文,1997,(1):1-7.(XIE Chongbao, YUAN Hongyuan, GUO Yuanyu. A new estimation way of Pearson type- distribution parameter of frequency curve-fuzzy maximum value method[J]. Journal of China Hydrology, 1997,(1):1-7. (in Chinese))

[9] 邓育仁,丁晶,韦雪艳.水文计算中的模糊优化适线法[J].水电站设计, 1995,11(4):43-47.(DENG Yuren, DING Jing, WEI Xueyan. Fuzzy optimal curve fitting method in frequency analysis [J]. Design of Hydroelectric Power Station, 1995, 11(4):43-47. (in Chinese))

[10] 金光炎,费永法.Γ分布保证修正值系数 B 的确定[J].水文,1991,11(6):1-3.(JIN Guangyan, FEI Yongfa. The determination of Γ distribution to ensure the revised coefficient B[J].Journal of China Hydrology,1991,11(6):1-3. (in Chinese))

[11] Cuevas E, Cienfuegos M, Zaldivar D, et al. A swarm optimization algorithm inspired in the behavior of the social-spider [J]. Expert Systems with Applications, 2013,40(16):6374-6384.

[12] 王文川,雷冠军,刘惠敏,等. 基于群居蜘蛛优化算法的自适应数值积分皮尔逊-型曲线参数估计[J]. 应用基础与工程科学学报, 2015,S1:122-133.(WANG Wenchuan, LEI Guanjun, LIU Huimin, et al.The Adaptive numerical integral pearson- curve parameters estimation based on SSO[J].Journal of Basic Science And Engineering, 2015,S1:122-133. (in Chinese))

[13] 王文川,雷冠军,刘灿灿,等.群居蜘蛛优化算法在水文频率分析中的应用[J].水文, 2016,36(3):34-39.(WANG Wenchuan, LEI Guanjun, LIU Cancan, et al. Hydrologic frequency analysis using SSO algorithm[J]. Journal of China Hydrology,2016,36(3):34-39. (in Chinese))

[14] 王文川,邱林,徐冬梅,等. 工程水文学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013. (WANG Wenchuan, QI U Lin,XU Dongmei, et al. Hydrology Engineering [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2013. (in Chinese))

[15] 宋孝玉,马细霞. 工程水文学 [M]. 河南: 黄河水利出版社,2009. (SONG Xiaoyu, MA Xixia.Hydrology Engineering [M]. Henan: Yellow River Water Conservancy Press,2009. (in Chinese))

### Improvement and Statistical Performance of Fuzzy Weighted Optimum Curve-fitting Method

WANG Wenchuan<sup>1</sup>, LEI Guanjun<sup>2</sup>, LIU Kuan<sup>1</sup>

(1. School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China;

2. Water Resources Research Institute, IWHR, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Hydrological sequence length is limited, so that frequency curve parameter estimate of sampling exists error which can be effectively reduced by weighted optimum line method. Normograph length of weighted fuzzy optimization optimal line method is limited, and the membership function is not on the base of the infinite sample. The fuzzy weighted optimization optimal line method was improved by proposing half normal distribution of membership functions and using large sample statistical test method for extension of normograph. The ideal data, Monte Carlo random number and the practical sequence were used to test with unbiasedness and efficiency as evaluation index by using the method of grading method and the percentage of statistic analysis for the evaluation. The result shows that the improved fuzzy weighted optimization optimal line has good statistical properties, high precision of optimum line. And the improved method can promote the fuzzy weighted optimization optimal line method to be applied in practical engineering.

**Key words:** fuzzy weighting; value of B nomogram; membership function; statistical analysis



(上接第 83 页)

### Analysis of Groundwater Monitoring Station Network in Dianzhong Area

LI Yun, LI Baofen, YANG Qiuping

(Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Kunming 650106, China)

**Abstract:** Dianzhong is the core economic area in Yunnan Province, and is also one of the biggest water demand areas. This paper made analysis of the density, function and layout of the existing groundwater monitoring station network, and found out the problems and put forward the rationalization suggestions according to the groundwater function zoning, condition of groundwater development and utilization, status of groundwater overdraft, and vulnerability of shallow groundwater, so as to provide technical basis for the regional groundwater monitoring station network planning.

**Key words:** groundwater; monitoring station network; analysis; Dianzhong Area