

昆明南市区地下热水环境质量评价

尹牡丹¹, 李峰¹, 薛传东^{1,2}

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 中国科学院 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 昆明市地热田的开发利用已有 20 多年历史, 部分地段长期过量开采诱发的环境地质问题日趋突出. 本文用 TOPSIS 法和综合指数法对昆明市南市区近 10 年来地下热水水质演变过程及现状作分析评价, 结果表明昆明市地下热水已遭受到不同程度的污染, 并且有恶化的趋势.

关键词: 地下热水; 环境质量评价; TOPSIS 法; 昆明市

中图分类号: P641.69 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2003)05-0005-05

Environment Quality Evaluation of Thermal Water in the South of Kunming

YIN Mu-dan¹, LI Feng¹, XUE Chuan-dong^{1,2}

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Institute of Soil Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China)

Abstract: The development and application have a history of more than 20 years in Kunming geothermal field, and the environmental problems in Geology gradually come out because of the excessive exploitation in some parts over a long period. Nearly ten years the quality evolution and the present condition of thermal water has been analyzed and evaluated in the south of Kunming via TOPSIS and the method of integrated index. The results show that the underground hot water in Kunming city has already suffered different degree of contamination and tends to be worse.

Key words: thermal water; environmental quality evaluation; TOPSIS; Kunming City

0 引言

20 世纪 80 年代以来, 随着国民经济的高速发展及旅游业的蓬勃兴起, 昆明地热田的开发突飞猛进. 到 2001 年, 地下热水开采井达 130 余眼, 开采密度极大, 且主要集中于人口稠密的城中心区和南市区. 过量集中开采热水改变了地热田的水文地质条件, 热储层地下热水流量减小, 水位持续下降, 很多地段平均下降速率已超过 2 m/年.

受地热田水文地质条件的脆弱性和人为开采活动的影响, 上覆浅层岩溶冷水、污水沿断裂、井壁向热水层渗透, 已出现热储层逐渐冷却、热水资源过速消减、各种水体相互污染等一系列程度不一的环境效应. 为科学合理开采地下热水资源, 本文在分析近 10 年来水质监测资料的基础上, 探讨了地下热水质量演变过程.

1 昆明地热田概况

1.1 热储结构

经物探和钻孔揭露, 昆明盆地地下热水的热储层主要有 Z_2dn 及 ϵ_{1l+c} 二层, 分别为上、下热储层. 热储结构较简单, 垂向结构层可分为 $Q-N_2$ 松散堆积盖层、 $P_{2\beta} \sim \epsilon_{1q}$ 砂页岩、碳酸盐岩盖层 ($P_{1m} \sim D_{3z}$ 和 $\epsilon_{1l} \sim \epsilon_{1c}$ 为碳酸盐岩冷水含水系统, 局部 $\epsilon_{1l} \sim \epsilon_{1c}$ 含低温热水)、 Z_2dn 碳酸盐岩热储层及 $Z_2d \sim Pt_2k$ 碎屑岩、浅变质岩基底层等四层. 其中, 灯影组 (Z_2dn) 中-厚层状硅质白云质、白云岩是主要热储

收稿日期: 2003-01-03; 基金项目: 云南省自然科学基金项目(项目编号: 99D006Q).

第一作者简介: 尹牡丹(1979-), 女, 硕士研究生; 主要研究方向: 环境水文地质. E-mail: yinmudan@hotmail.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

层,其间一套分布较稳定的紫红、灰绿色泥页岩夹石英砂岩层将该热储层一分为二;沧浪铺组(ϵ_{1c})中厚层状石英砂岩夹泥页岩和龙王庙组(ϵ_{1l})中厚层状泥质白云岩夹页岩是该区的次要热储层,温度多低于 50°C ,分布范围有限.上热储层上覆地层均属盖层,盖层中碎屑岩层、玄武岩,尤其是松散地层为良好隔热、隔水层,而碳酸盐岩地层则均为冷水含水层.

1. 地热田边界条件及块段划分

地热田边界由多因素综合决定.考虑热储层温度与构造及埋藏深度的关系、埋深与开发利用条件的关系为主要因素,可将盆地的自然边界作为热田的边界.西部边界大致为普渡河-西山断裂;南部边界大体以东北向断裂束的太平关断裂、大渔村断裂为界;东部的白邑-横冲断裂为一压扭性断裂,具一定阻水作用,可作为东部边界;北部以莲花池断裂为界^[1].

受基底及第四纪断裂的切割,整个地热田内热储层被 F_9 、 F_{13} 、 F_{14} 及 F_{28} 等断裂分割成I、II、III、IV、V五个块段(图1),各块段的热储层温度、水化学类型、水位等均有差异,为相对独立的地下热水系统.

1.3 热水补给来源及地下水流场特征

盆地边缘山区裸露的岩溶含水层接受大气降水的补给后,部分沿断裂垂向下渗进入热储层,被半封闭于 Z_{2dn} 含水层中,不断吸收沿几条深大断裂及变质岩基底从地壳深部向上传输的热流,形成了地热田.

地下水流场具有以下特点:

1) 地下热水的补给条件决定了热田的补给运移途径长、渗透运移速度缓慢,储集时间较长,与热储层及围岩的关系密切,尤其是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 含量丰富,水化学成分较常温水复杂.

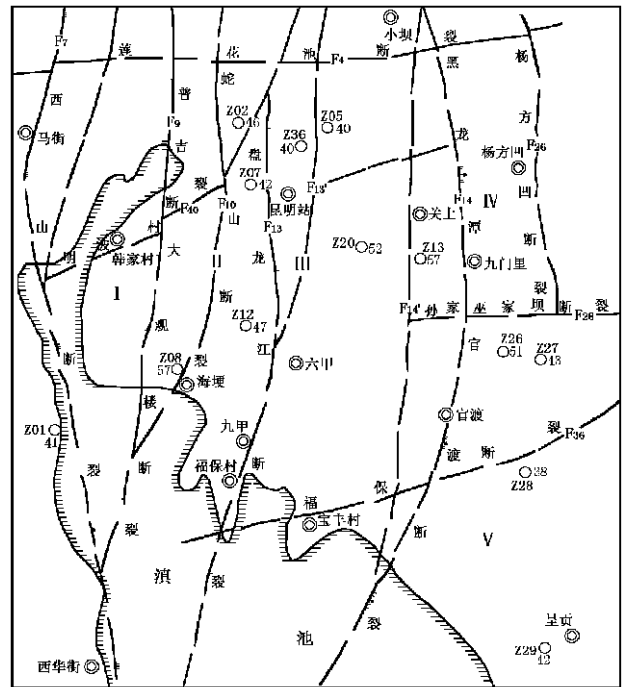
2) 从热储层的产出特点分析,昆明盆地天然状态下热储层流场极为平缓,水力坡度小,热储封闭条件极好,除抽水点外无明显的压力突降点,亦无明显通过断层向浅部岩溶含水层排泄的去路,但人为开采引起的水压力差可驱使热田边缘地下水向开采集区流动^[1].例如I、II块段,由于昆明南部地下水开采孔较集中,热储层地下水流场具有从盆地边缘向昆明南部和盆地中心流动的总趋势,水力坡度也仅 $3\text{‰}\sim 5\text{‰}$ ^[11];III、IV块段地下水总体由北向南径流,水力坡度更平缓,仅 $1\text{‰}\sim 2\text{‰}$;V块段地下水由东部盆地边缘山麓地带向西部盆地中心方向运移,水力坡度与I、II块段相近.

由此可见,昆明盆地地下热水水文地质条件较脆弱、自净能力有限.一方面,地下水流场易受人为开采活动的影响,开采条件下地下水下降速度较快.另一方面,如果补给区及开采井周围有污染源,地下热水受污染的可能性就很大,地下热水一旦污染,恢复的周期将很长或难以恢复.

地下热水环境质量评价

1 评价区域和监测孔分布

本文评价的范围为呈贡以北的昆明市南市区.由于昆明盆地地下热水长观资料较少,作者在研究中选取了分布在5个块段的13个热水孔(图1)1991年以来枯水期和丰水期的监测数据,1991~1999年数据主要来源于云南省地质环境监测总站,2000~2001年数据主要源于本文.所有测试由云南省地质工程勘察



1. 压扭性断裂; 2. 张扭性断裂; 3. 正断裂; 4. 断裂编号; 5. 地热块段编号; 6. 热水孔编号及成井温度

图1 昆明地热田基底构造及热水孔分布图

(据徐世光2000资料等修编)

院完成(按国家标准进行)。

评价指标及标准的选择

据昆明市热水孔已有长期监测资料, 确定评价因子为: NH_4^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、Fe、Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、Mn、 Cr^{6+} 、As、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 F^- 、总硬度。鉴于目前国家尚未颁布地下水水质评价标准, 本次评价依照国家技术监督局最新发布的“地下水质量标准”(GB/T 14848—93)^[5]。

3 评价方法

目前用于地下水环境质量评价的方法很多, 且各有其优缺点。较常用的有综合指数法、模糊数学综合评判法、灰色聚类法、物元分析法、人工神经网络法、多目标决策TOPSIS法等^[2]。近年来, 随着计算机技术的发展, 遥感及基于GIS的环境质量评价法逐渐成熟。

TOPSIS法的全称是逼近于理想解的排序方法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), 它是有限方案多目标决策分析中常用的一种科学方法。其基本思路是定义决策问题的理想解(设想的最好方案)和负理想解(假定的最坏方案), 在可行方案中找一个方案, 使其距理想解的距离最近, 而距负理想解的距离最远。TOPSIS法对数据分布及样本量、指标多少无严格限制, 数学计算亦不复杂, 既适用少样本资料, 也适用于多样本的大系统; 评价对象既可以是空间的, 也可以是时间的。其应用范围广, 具有直观的几何意义, 对原始数据的利用比较充分, 信息损失比较少^[3, 4]。

鉴于以上TOPSIS法的优点, 并结合实际情况, 我们采用TOPSIS法评价昆明盆地地下热水环境质量。

3 评价结果及分析

经编程计算(过程略), 研究区用TOPSIS法求出的最佳满意可行解相对于理想解的接近度 C_i^* 值的分级标准见表1。各孔各年度计算出的 $C_i^* \geq 0.99393$ 时, 水质为I类水; $0.97881 \leq C_i^* < 0.99393$ 时, 水质为II类水; $0.94005 \leq C_i^* < 0.97881$ 时, 水质为III类水; $0.85563 \leq C_i^* < 0.94005$ 时, 水质为IV类水; $C_i^* < 0.85563$ 时, 水质为V类水。13个热水孔枯水期和丰水期各年的 C_i^* 值和级别见表2。

1) 从空间上看, 目前各个块段的水质级别类型不一。I、

表1 C_i^* 值的分级标准

	I	II	III	IV
C_i^*	0.99393	0.97881	0.94005	0.85563

III、IV块段的水质相对较好, 基本为II类水; II块段因开采强度较大导致各孔的水质波动范围较大, 以2001年枯水期为例, Z02孔为III类水, Z07孔为V类水, Z08孔为III类水; V块段的水质

最差, 基本为V类水, 远远达不到国家饮用水标准, 应与V块段处于盆地边缘, Z_{2dn} 含水层裸露于地表, 受人为污染物的影响较大有关。

2) 昆明地热田主要热储含水层有 Z_{2dn} 、 $\text{C}_{1d} + c$ 、 $\text{C}_{1d} - \text{C}_{2w}$ 含水层部分在深埋区有热水。从表2上看, $\text{C}_{1d} - \text{C}_{2w}$ 含水层的水质最好, $\text{C}_{1d} + c$ 含水层的水质次之, Z_{2dn} 含水层的水质最差。其原因主要有: ① Z_{2dn} 含水层大部分是岩溶水, 而 $\text{C}_{1d} + c$ 大部分是裂隙水。一般情况下岩溶含水层裂隙发育程度比裂隙含水层要高, 所以岩溶含水层封闭条件比裂隙含水层要差, 受外界干扰的程度要大些; ② Z_{2dn} 是昆明盆地的主要地下热水储层, 其开采强度远远大于其它热储层, 受人为活动影响较大, 所以 Z_{2dn} 含水层的水质比其它含水层差。

3) 从时间上看, 昆明市地下热水近年来均受到了不同程度的污染, 各块段水质总体上较20世纪90年代初有恶化趋势。I块段水质在1996、1997年从I类水向II类水转变; II块段水质在演变过程中虽有波动, 但大致上可以看出在20世纪90年代中期以后III类水比20世纪90年代初要多, 水质有逐渐变差的趋势; III块段Z20孔在1996、1997、1998年出现了IV、II类水; IV块段水质一直保持II类水; V块段水质从20世纪90年代初就很差, 但各年度V类水的 C_i^* 值有总体逐渐减小之势, 说明V块段水质也还在进一步恶化。总体上, 水质的变化与昆明地热田的开采井数及开采量(见表3)有关, 20世纪90年代中期开采井数剧增, 尤其是1998年开采量达到了 $20254 \text{ m}^3/\text{d}$, 超量开采地下热水加速了水质的恶化。

表2 13个热水孔TOPSIS法评价结果 C_i^* 值及水质类别

		年份		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001			
I 块 段	Z01	ϵ_{1l}	枯水期	C_i^* 值	0.99467	0.99475	0.99476	0.99464	0.99484	0.99494	0.99164	0.99211	0.99226	0.99198	0.99022		
			级别	I	I	I	I	I	I	II	II	II	II	II	II		
		丰水期	C_i^* 值	0.99480	0.99486	0.99267	0.99495	0.99541	0.99141	0.99466	0.99488	0.99231	0.99201	0.99157	0.99157		
			级别	I	I	II	I	I	II	I	I	II	II	II	II		
		II 块 段	Z02	Z_{2dn}	枯水期	C_i^* 值		0.98564	0.99444	0.99178		0.99402	0.99103	0.99488	0.99100	0.98997	0.95134
					级别		II	I	II		I	II	I	II	II	III	
丰水期	C_i^* 值			0.99383	0.99421	0.99226	0.99398	0.96589	0.99113	0.99194	0.99416	0.99208	0.99154	0.99195			
	级别			II	I	II	I	III	II	II	I	II	II	II			
Z07	Z_{2dn}			枯水期	C_i^* 值	0.98856	0.99341	0.99331	0.95460	0.99009	0.99360	0.97056	0.99205	0.98896	0.95951	0.84113	
				级别	II	II	II	III	II	II	III	II	II	III	V		
丰水期	C_i^* 值	0.99105	0.99460	0.98896	0.97999	0.99440	0.97998	0.99114	0.96909	0.98868	0.98126	0.98531					
	级别	II	I	II	II	I	II	II	III	II	II	II					
Z08	Z_{2dn}	枯水期	C_i^* 值	0.98473				0.97946		0.98012	0.96827	0.98545		0.96489			
			级别	II				II		II	III	II		III			
		丰水期	C_i^* 值	0.98640				0.98313		0.96801	0.96091	0.98556	0.95584	0.96678			
			级别	II				II		III	III	II	III	III			
		Z36	C_{1d} $-C_{2w}$	枯水期	C_i^* 值	0.99446		0.99399		0.98205	0.99532	0.98370	0.99523	0.99226	0.99209		
				级别	I		I		II	I	II	I	II	II			
丰水期	C_i^* 值	0.99442	0.99527					0.99505	0.99487	0.99225							
	级别	I	I					I	I	II							
Z12	ϵ_{1c}	枯水期	C_i^* 值	0.99040	0.99495	0.99457	0.99516	0.99443	0.99201		0.99421	0.99145					
			级别	II	I	I	I	I	II		I	II					
		丰水期	C_i^* 值	0.99437	0.99461	0.97898	0.99246	0.99473	0.99096	0.99466	0.99404						
			级别	I	I	II	II	I	II	I	I						
		III 块 段	Z13	Z_{2dn}	枯水期	C_i^* 值	0.99150	0.99267		0.99133	0.99297	0.98966	0.98951	0.99095	0.98788	0.99001	
					级别	II	II		II	II	II	II	II	II	II	II	
丰水期	C_i^* 值			0.99188	0.98950	0.93420	0.99362	0.98466	0.98980	0.99281	0.99127	0.98841					
	级别			II	II	IV	II	II	II	II	II	II					
Z05	Z_{2dn}			枯水期	C_i^* 值		0.99425	0.99402	0.99064	0.99365	0.99246	0.98705	0.99417	0.99187	0.98569	0.99198	
				级别		I	I	II	II	II	II	I	II	II	II		
丰水期	C_i^* 值	0.99429	0.99446	0.99187	0.99328	0.98874	0.99065	0.99164	0.99212	0.99222	0.99086	0.99257					
	级别	I	I	II	II	II	II	II	II	II	II	II					
Z20	ϵ_{1c}	枯水期	C_i^* 值						0.98177	0.87414	0.95856	0.99018	0.99032				
			级别						II	IV	III	II	II				
		丰水期	C_i^* 值						0.87395	0.94848	0.97793	0.98509					
			级别						IV	III	III	II					
		Z26	ϵ_{1c}	枯水期	C_i^* 值						0.98205	0.98944	0.99207	0.98999	0.98812		
				级别						II	II	II	II	II			
丰水期	C_i^* 值								0.98653	0.99289	0.99321	0.98974					
	级别								II	II	II	II					
Z27	ϵ_{1c}	枯水期	C_i^* 值	0.99252	0.99218	0.98988	0.99154	0.99294	0.99235		0.99222	0.99037					
			级别	II	II	II	II	II	II		II	II					
		丰水期	C_i^* 值	0.99172	0.99212	0.99144	0.99131	0.99302	0.98833	0.99327	0.99216						
			级别	II	II	II	II	II	II	II	II						
		V 块 段	Z28	Z_{2dn}	枯水期	C_i^* 值	0.99012	0.99035	0.80329	0.78619	0.73989	0.84048	0.79733		0.79081	0.76722	
					级别	II	II	V	V	V	V	V		V	V		
丰水期	C_i^* 值			0.79345	0.81659	0.24399	0.80842	0.79879	0.77544	0.92433		0.68090	0.78389	0.78243			
	级别			V	V	V	V	V	V	IV		V	V	V			
Z29	Z_{2dn}			枯水期	C_i^* 值	0.90100	0.72041	0.90777	0.93452	0.89917	0.87454	0.97602	0.94467	0.74030			
				级别	IV	V	IV	IV	IV	IV	III	III	V				
丰水期	C_i^* 值	0.90784	0.89732	0.67925	0.87600	0.90303	0.95828	0.91307	0.95024								
	级别	IV	IV	V	IV	IV	III	IV	III								

注: 空格者为无数据。

表 3 昆明地热田城区- 关上- 跑马山- 海埂地段地下热水历年开采井数及开采量统计表

年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
统计热水开采井数	60	61	66	71		89	114	118	122	126	134
热水开采量/ $m^3 \cdot d^{-1}$	6 907	17 039	19 048	14 197	11 846	10 880	13 684	20 254	21 408	22 103	

注: 据本次实际调查和云南省环境监测总站资料(1998)统计; 统计开采量偏小; 空格者为无数据。

4) 通过对评价因子的具体分析对比, 确定研究区地下热水中超标的单项组分主要有 NH_4^+ 、 NO_2^- 、Hg、 F^- 、Mn、 SO_4^{2-} 、总硬度等。其中 NH_4^+ 、 NO_2^- 可能的人为污染源主要有化肥、农家肥(动物废物)、城市生活污水和生活垃圾; Hg 可能的人为污染源主要是盆地边缘用汞的化学工业, 如玻璃、颜料、炼油、电池及农药厂等; F^- 含量高是地下热水特有标志, 一般 0.40~ 3.50 mg/L, 有的大于 5.40 mg/L, 它主要来自于地壳深部; 矿化度一般比地下冷水高, 是地下热水与围岩反应的结果。

为增强 TOPSIS 法的可比性和实用性, 我们还采用了常用的综合指数法^[5]对 I、V 块段进行水质评价, 结果见表 4。从表 2、表 4 可看出, 用两种方法评价的结果大同小异, I 块段的水质较好, V 块段水质较差, 总体上有恶化的趋势。此外对 II、III、IV 块段也进行了综合指数法评价, 虽与用 TOPSIS 法评价的结果稍有出入, 但总趋势相似。从两种评价方法结果对比看, 综合指数法评价结果使水质相对偏差, 原因是该方法单项组分各类别间的取值差别较大, 特别提高了超标单项组分的分值, 体现了“一票否决制”原则。而 TOPSIS 方法在一定程度上弱化了这一原则, 强化了综合性, 在水质评价中有独到的优势, 是有效方法之一。

表 4 I、V 块段综合指数法评价结果 F 值及水质级别

年 份			1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001		
I 块 段	Z01	枯水期	F 值	2.17	2.16	2.16	4.29	4.30	2.18	2.22	2.18	2.20	2.21	2.18	
			级别	良好	良好	良好	较差	较差	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好
		丰水期	F 值	2.15	2.16	2.17	2.15	2.14	2.22	2.16	2.15	2.20	2.20	2.18	
			级别	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好
V 块 段	Z28	枯水期	F 值	7.24	4.37	7.29	4.41	7.21	7.26	7.29			7.19	7.30	
			级别	极差	较差	极差	较差	极差	极差	极差				较差	极差
		丰水期	F 值	4.36	7.32	7.28	7.26	7.17	7.31	7.20			7.26	7.28	7.30
			级别	较差	极差	极差	极差	较差	极差	较差			极差	极差	极差
	Z29	枯水期	F 值	4.30	7.12	2.15	7.10	7.13	4.30	4.34	7.17	2.24			
			级别	较差	较差	良好	较差	较差	较差	较差	较差	良好			
		丰水期	F 值	2.14	4.27	7.12	7.10	7.14	7.16	7.11	7.13				
			级别	良好	较差	较差	较差	较差	较差	较差	较差				

注: 空格者为无数据。

TOPSIS 法虽然可以用来解决带有时间因素的多对象多指标综合评判, 但有时会因为权重、距离公式的选择影响评价结果的合理性。因此对深层地下热水进行水质评价时, 必须充分考虑毒性元素的浓度, 将 TOPSIS 法和综合指数法的评价结果综合考虑。

参考文献:

[1] 徐世光, 陈连竹. 昆明低温地热田及其开发利用[J]. 水文地质工程地质, 2000, 27(3): 22~ 24.
 [2] 祝绯飞, 李秀央. 环境质量评价的研究与进展[J]. 中国公共卫生, 2001, 17(6): 567~ 568.
 [3] 汤光华. 对 TOPSIS 法的评价与扩展[J]. 浙江统计, 1998, (2): 12~ 14.
 [4] 李春晖, 李爱贞. TOPSIS 法在环境质量评价中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 1999, 10(2): 9~ 13.
 [5] 地下水质量标准(GB/T 14848-93)[S]. 国家技术监督局 1993- 12- 30 批准, 1994- 10- 01 实施。