

(1975)。

[2] 李岳生,齐东旭著,样条函数方法,二章 18 页,五章,科学出版社,1979 年。

[3] 蒋尔雄,高坤敏,吴景琨编,线性代数,167 页,人民

教育出版社,1978 年。

(收稿日期: 1988 年 11 月 7 日)

宝山矿的开拓与桂阳城环境水文地质评价

左 平 怡

(中国有色金属工业总公司湖南地质勘探二四七队)

摘要 本文通过不同时期地下水流场的演变,以实际资料划分水文地质单元,分析宝山矿各采区之间、中东部区与桂阳城之间特殊的水文地质条件与现象,论证其水力联系状况,作出西部矿可进行开拓,中部矿可在 250 中段以上开拓,东部矿可维持现状的结论,既能满足宝山矿二期扩建的需要,又能保护桂阳城水源地。

一、桂阳城地下水与宝山矿的开拓

湖南桂阳县城有人口 3 万余,附近没有较大的河流,多年来供水依靠泉井水量,在城区 2.74 平方公里范围内,有泉 20 眼、老井 32 眼、机械井 23 眼,共 75 处取水点,布满了大街小巷,有“小泉城”之称。来自石炭系梓门桥灰岩与壶天灰岩的地下水,涌水量 8700—15000 米³/日,清澈透明,矿化度适中,为良好的饮用水源。

宝山矿紧邻桂阳城的西部,是一个多金属矿床,由三大块矿体所组成,即东部铅锌矿、中部铜钼矿和西部铅锌银矿,属于经济效益好的大型矿床,开拓分为两个建设期。第一期建成了中部铜钼矿(露采)与东部铅锌矿。中部矿为大型露天开采,采场直径 600 米,自标高 475 米剥离,每 10 米高一个台阶,已完成 11 个台阶,采掘标高已下降到 365 米,最低极限开采标高为 315 米,预计 1994 年结束露采。

东部矿紧靠桂阳城,采用斜井开拓,坑口标高 363 米,拟开拓 290、250、210、170 标高 4 个中段,目前开采在 250 中段以上。

另外,桂阳县为开采西部矿边部,于 1981 年从标高 315 米开拓了平窿,称为“315 坑”,对揭露查明环境水文地质问题产生过重大影

响。

第二期建设中部铜钼矿(井下)与西部铅锌银矿(预计 1990 年完成)。

中部矿露天开采的接替部分转入井下开采,中段标高与东部矿保持一致并贯通,先期工程在 250 米中段以上。

西部矿是 80 年代初新发现并单独构成的大型矿床,埋藏深度较大,主要矿体在标高 150 米以下,自中部矿的 250 中段用盲斜井向西部掘进,先开拓 130、90、50 米标高三个中段。

宝山矿环境水文地质问题长期以来引起了城区居民、各级政府、环境保护部门的严重关注。自 1977 年开拓东部矿后,随着井下排水,矿区地下水位有相当大的降低,尤其是宝山矿需进行二期扩建,必然会引伸出两个环境水文地质问题:

1. 城区井水位、泉流量是否会降低或减少? 因为泉井出露的地层与矿山排水疏干的含水层是同一层位,且连在一起,为岩溶水。

2. 桂阳城处在洪积层上,若城区水位降至一定程度后,将引起地面变形,由此而波及建筑物的稳定性,危及居民的安全。

所以,宝山矿的环境评价,最关键、最重要的部分是环境水文地质,即能否保护好桂

阳城水源地是决定矿山前途的问题。

二、地下水流动的形成和演变

矿区褶皱构造由一系列倒转背斜、向斜相间组成,呈北北东向紧密排列。出露地层有石炭系中上统壶天群灰岩、白云岩,下统梓门桥组白云岩、测水组砂页岩、石碇子组灰岩。西部矿赋存于梓门桥组内,中、东部矿赋存于石碇子组内,其中含水层为:壶天群白云岩(C_{2+3h}),总厚180—230米;梓门桥组白云岩(C_{1z}),厚度150米,两层连在一起,分布面积7.5平方公里,岩溶率为0.65%,属于中等,富水性中一强,是主要含水层。石碇子灰岩(C_{1s}),总厚460米,含泥炭质成分较高,且有炭质页岩夹层,不利于岩溶和含水层发育,在西部矿表现为隔水层,但局部地段有中等富水性,岩溶率为0.45%,为次要含水层。隔水层为测水组砂页岩(C_{1c})由石英砂岩、炭质页岩、砂质页岩、泥灰岩组成,厚40米。

宝山区地下水流动经历了4个演变阶段,从演变中揭示宝山-桂阳区内存在着三个水文地质单元。

(一) 天然流场

地下水天然流场明显地受地形控制,形成以宝岭为中心的、统一的反向大漏斗形(图1),等水位线呈同心圆状,地下水以泉的形式分别流向周围的排泄区。等水位线有着明显的阶梯,可以辨认出西、中东、桂阳区分别处在375、350、290米标高上。在东部矿与桂阳城之间,还存在着局部的、南北向的分水岭,分开了地下水流向。

(二) 363 坑道开拓后的流场

开拓363坑道后,已有4个中段,地下水位逐渐向下移,形成降落漏斗(称东漏斗),中心水位从350米降至280米标高左右。疏干了290中段,坑内涌水主要来自170中段西侧一端的水平探矿孔。因此,漏斗中心位于中部矿,坑内正常涌水量约120米³/时,梓、石两含水层涌水量大体上各占一半,漏斗主

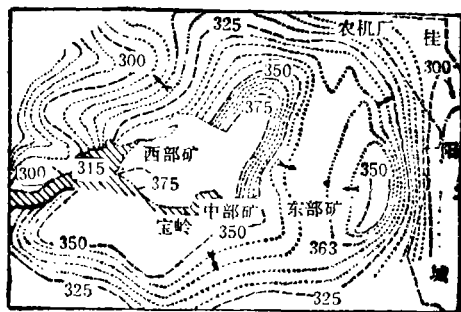


图1 天然状态等水位线图

要向北、西南方向扩展,面积1.1平方公里。东部岩层富水性弱,漏斗扩展缓慢,分水岭轴线稍向东移动。东漏斗形成后,西采区水位未受到影响,仍保持在370米以上标高,初步显示出西采区、中东采区、桂阳城三个水文地质单元。

(三) 315 坑道开拓后的流场

1982年5月29日,315坑道平巷遇梓门桥层溶洞大突水,初始涌水量达1900升/秒,58天后减至稳定水量22.2升/秒,总出水量45.6万吨,其中静储量34.4万吨,水位自378米下移至318米标高,从而改变了西区地下水流动,形成降落漏斗(称西漏斗)。因受四周隔水层(体)的作用,漏斗未能向外扩展,自成一单元,面积较小,只有0.3平方公里。西漏斗水位的巨大下降并不波及东漏斗区。诚然,东漏斗区内水位也在按照自身的规律继续下降,至抽水试验前夕的1984年12月,降至243米标高。

(四) K23 孔抽水试验后的流场

1984年12月22日至1985年2月14日,在西部矿K23孔进行大型抽水试验,观测孔29个,泉、坑点7个,控制面积4.6平方公里。历时55天,抽取梓层水21.1万吨(其中静储量13.6万吨),水位降低55.5米,继续使西漏斗水位降低到267.4米标高,总降低达110米,低于桂阳城水位22米,但漏斗未向外扩展,仍保持抽水前的范围。东漏斗地下水流动场水位除动态变化外,基本未受影响,其形态

表 1 西采区与北、西、南区钻孔水位对照表

区	代表性钻孔	距 K22 中心孔 (m)	抽水期水位标高 (m)			正常期水位标高 (m)		
			抽水前 84 年 12 月 22 日	抽水后 85 年 2 月 14 日	水位差	83 年 12 月 22 日	84 年 2 月 14 日	水位动态差
西采区	K22	0	322.95	267.45	55.50			
周围区	北	K20	298.78	298.28	0.50			
		157/9	304.10	303.70	0.40	304.65	304.20	0.45
	西	K21	317.24	317.24	0			
		K6	355.34	352.61	2.73	355.77	353.27	2.50
	南	K4	271.00	270.15	0.85	274.41	272.55	1.86
		K3	271.54	270.66	0.88	274.36	272.51	1.85

与抽水前相同。

三、西采区与周围区地下水联系的分析

由地下水流场演变而形成的西、东两漏斗，恰与西采区、中东采区相一致，从而为评价地下水联系提供了有利条件。各项资料说明，西漏斗是一个封闭型漏斗，与周围各区无水力联系，论证如下：

(一) 西采区(西部矿)为中心与周围的北、西、南三区。

通过突水与抽水试验，西采区的天然流场被破坏，与周围区出现了巨大的水位差。

位于西采区以北的 K20 孔与以西的 K21 孔，原始水位标高分别为 305.23 米、292.23 米，315 坑突水后，西采区水位降低 60 米，经扫孔再测两孔水位标高为 302.37 米与 314.51 米，未被触动。

K23 孔抽水试验中，西采区水位大幅度降低，周围各区水位仍保持前一年度的标高，剔除动态变化后未有降低，见表 1。

东漏斗形成后，西采区与南区的水位相差巨大，抽水试验前夕，K22 孔与 K4 孔水位差达 51.95 米。

上述各点说明西采区与北西南三区无水力联系，究其原因，在于各区之间有着可靠的隔水边界，如西采区与北区间有 360 米巨厚

的石磴子灰岩隔水层(钻孔单位吸水量均小于 0.002 升/秒·米)；西采区与西区、南区间的岩脉、隔水断层、岩层起着良好的隔水作用。

(二) 西采区与中东采区(中部矿、东部矿)。

两采区间即两漏斗之间也因西漏斗成孤立状而没有水力联系。

1. 不同时期两漏斗水位变化的独立性

第一时期，西、东两漏斗尚未形成，天然水位梯度大，两漏斗水位相差 28 米(表 2)。第二时期，东漏斗形成后，水位有相当大的降低，西采区仍为天然水位，未受影响，水位差扩大到 98 米。第三时期，315 坑道突水后，西漏斗形成，水位有巨大降低，东漏斗水位仍按自身的规律下降。两漏斗形成后，接触部位的水位进一步拉大，4/22 孔和 K18 孔分别属于西、东漏斗的边缘接触地带，相距仅

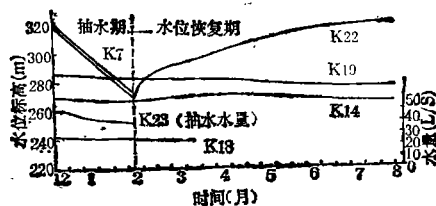


图 2 K23 孔抽水试验涌水量、水位简图

表 2 西、东降落漏斗中心不同时期水位对照表

区	降落漏斗	水位点	不同时期水位标高 (m)			
			天然状态 (1977年)	363 坑开拓后 (1982 年 4 月)	315 坑突水后 (1984 年 12 月)	K23 孔抽水后 (1985 年 2 月)
西采区	西	157/8 孔	378	378	318	267
东采区	东	363 斜井	350	280	243	240
水位差			28	98	75	27

表 3 两降落漏斗钻孔水位对照表

降落漏斗	部 位	孔 号	抽水期水位标高 (m)			正常期水位标高 (m)		
			试验前 84 年 12 月 22 日	试验后 85 年 2 月 14 日	水位差	83 年 12 月 22 日	84 年 2 月 14 日	水位动态差
西	中 心	K22	322.95	267.45	55.50			
	内 圈	K7	323.09	271.34	51.74			
东	中 圈	K8	309.12	305.99	3.13	307.35	307.50	-0.15
		K18	242.95	240.07	2.88			
		K19	285.64	282.44	3.20			
		K17	264.61	262.68	1.93			
		197/7	303.38	300.41	2.97	307.41	303.80	3.61
	外 圈	K1	285.60	284.82	0.78	289.81	288.55	1.26
		K2	275.94	275.27	0.67	278.94	277.17	1.77
		K3	271.54	270.66	0.88	274.36	272.51	1.85
		K4	271.00	270.15	0.85	274.41	272.55	1.86
		K10	310.75	311.11	-0.36	312.19	311.78	0.41
		K11	289.83	289.08	0.75	290.10	289.74	0.36
		K12	291.94	290.78	1.16	294.06	293.85	0.21
		K13	282.66	281.97	0.69	285.17	284.67	0.50
		K14	268.35	267.16	1.19			
		K15	301.56	299.70	1.86			
		0/11	298.39	297.00	1.39	296.69	297.03	-0.34
		197/3	310.11	309.59	0.52	310.45	309.78	0.67
		213/1	307.16	305.58	1.58	307.53	306.00	1.53
		桂 阳 城		K101	287.18	287.09	0.09	

175 米, K23 孔抽水前夕, 水位标高分别为 323.67 米与 242.95 米, 相差 80.72 米, 形成巨大的陡坎水位状。第四时期, K23 孔抽水后, 西漏斗水位又大幅度降低, 东漏斗水位按其正常速度有少许下降。

从以上不同时期水位的演变, 说明两漏斗属于互不影响的独立的水文地质单元。

2. K23 孔抽水试验时两漏斗区内的水位

(1) 西漏斗涌水量、水位降低曲线类型

从试验开始至结束, 涌水量呈略有减少的趋势, 减少幅度为 20.37%, 平均每天为 0.377%, 是不大的。水位呈典型的同步等幅降低, 且日降幅度也大体相等, 介于 0.9—1.1 米之间 (图 2)。水位降低与时间成线性关

表 4 东漏斗钻孔同期水位对比表

孔号	水位 标高 (m)	年月日	1984			1985		
			2月14日	8月10日	水位差	2月14日	8月10日	水位差
K1			288.55	298.99	10.44	284.82	299.11	14.29
K2			277.17	280.99	2.82	275.27	279.16	3.89
K3			272.51	275.41	2.90	270.66	273.83	3.17
K4			272.55	274.30	1.75	270.15	272.97	2.82
K8			307.50	310.02	2.52	305.99	306.65	0.66
K10			311.78	317.58	5.80	311.11	315.42	4.31
K11			289.74	293.56	3.82	289.08	290.90	1.82
K12			293.85	301.10	7.25	290.78	298.46	7.68
0/11			297.03	297.99	0.96	297.00	297.99	0.99
197/3			309.78	313.52	3.74	309.59	311.87	2.28
213/1			306.00	312.35	6.35	305.58	310.65	5.07
平均			293.31	297.80	4.39	291.82	296.09	4.27

系,这种曲线类型是十分典型的,必然归结为如下解释: a. 所抽出的水大部分消耗静储量(13.6万吨),动流量是次要的(7.4万吨); b. 静储量应储存于四周封闭的含水层内; c. 其储水空间的形态应为罐状,上部容积大,往下有所收敛。因此,试验曲线说明地下水储存容积是呈封闭状且不与外界有侧向水力联系的一种类型。

(2) 东漏斗水位呈正常动态变化

抽水试验中,东漏斗区内水位无明显降低(表 3),经与前一年同期能够对比的 13 个钻孔水位分析,这种降低应属于动态变化的范畴,而不应是抽水试验的影响。 a. 同期内的水位变化一致,呈降低型居多; b. 水位下降幅度基本相等,表 3 “正常期”平均为 1.14 米,“抽水期”为 0.99 米; c. 由于东漏斗水位没有显著的降低,抽水前后等水位线图几乎是相同的(图 3)。

相对来说, K19、K8 一带局部范围内水位降低稍大,达 3.13—3.20 米,剔除动态因素 0.99 米后,实际影响为 2.14—2.21 米,相当于主孔水位降低的 4.0%,有着微弱的联系。但是,该区梓门桥含水层发育于 280 米标高以

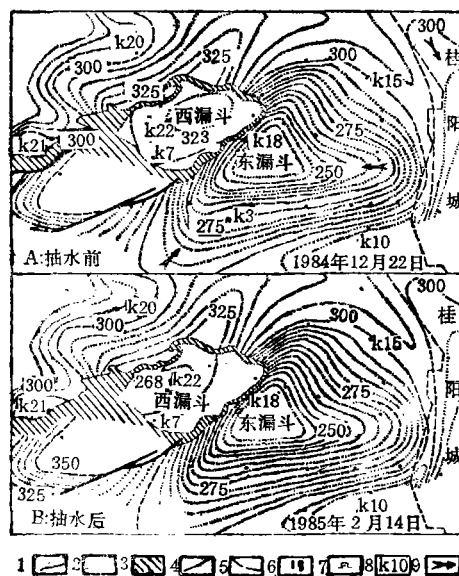


图 3 抽水前后等水位线图

1. 等水位线, 2. 隔水体界线, 3. 隔水体, 4. 断层, 5. 桂阳城边界线, 6. 泉, 7. 坑口, 8. 水位观测孔, 9. 地下水流向。

上,以下无含水层,水位降至 280 米标高便呈疏干状态,成为隔水体,故西漏斗不会再扩展。

(3) 西漏斗水位恢复曲线类型

抽水试验结束后,经历 177 天,主孔水位

大体恢复到抽水前水位,从恢复曲线可以看出:恢复期正处于雨季,补给来源充沛,恢复速率通常应当是比较快的,实际是一个缓慢的过程,这与接受补给的面积、漏斗分布范围狭小相一致。水位恢复初期的头 10 天,平均上升速度为 1.58 米/天,10—20 天内为 0.58 米/天,以后每天为 0.26—0.31 米,且保持均匀上升的势头,而不呈递减趋势。这些特征说明补给方向不是侧向式的,而依赖于垂向渗入的有限补给。

在此期间,东漏斗各钻孔水位按照自身的规律在演变,表 4 所列恢复期内钻孔水位,并对比前一年的同期水位,分别上升 4.39 米和 4.27 米,几乎相等,表明不受西漏斗水位恢复的影响。

3. 泉 1 的补给源

泉 1 位于西采区 315 坑口东 200 米,标高 370.26 米,流量 2.34—17.64 升/秒。东漏斗形成后,地下水位大幅度降低,但泉 1 流量始终未受影响,说明补给源与东采区是隔离的。315 坑道突水后,泉流量随水位迅速下降而消失,也是东西两漏斗互不联系的重要证据。

根据以上多方论述,得出两漏斗间无水力联系的结论,因为东漏斗介于桂阳城与西采区之间,由此得出西采区与桂阳城之间无水力联系的结论是十分自然的。

四、中东采区与桂阳城水力联系的分析

(一) 有一定的水力联系及影响

1. 东漏斗扩展的影响

东漏斗形成后,地下分水岭轴线缓慢东移,因此漏斗边界扩展到更靠近桂阳城,由于矿井排水,漏斗中心水位降至 240 米标高,接近城区边界的 K14 孔水位已降至 267 米标高,分别低于城区井水位 290 米标高 50 米和 23 米,这对于形成反补给构成潜在的威胁。

1980 年 8 月 21 日,363 坑 250 中段石磴子层突水,据当地反映,突水三天后,北东方向位于梓门桥含水层的泉 2 水量减小(流量

2.4—6.4 升/秒),次年三月全部干枯,现水位已降至 310 米标高,大大低于泉 2 标高 330 米,漏斗主要向北方扩展并已接近农机厂是确实的,将影响桂阳城西北外围泉井水位的降低。

2. 补给源的影响

在保持天然水位时,宝山区降雨渗入地下之后,根据流向,有少部分补给城区,测算年补给量约为 18 万吨。但是,由于改变了地下水流向,这部分水量已被截断,不再流向城区,全部转入矿井而排出,减少了桂阳城一部分补给水源,虽然其水量是有限的。

据调查反映,城内靠近七里街南部一带井水位,与以往年代的同期相比,有降低 1—2 米的状况,是一个值得分析的迹象。

(二) 水力联系程度和影响尚不显著

一方面,中东采区和桂阳城之间有着一定程度水力联系的迹象,但是,在全面分析其联系程度时,又必须承认既不强烈、也不显著。

1. 城区与东采区之间存在地下分水岭

东漏斗形成后,与桂阳城之间的南北向地下分水岭仍然存在,它与桂阳城的走向、若有水力联系之过水断面走向一致,分水岭宽度 60—120 米,长度 1600 米,最高点水位约 310 米标高。尽管分水岭高度较小,却明显地分隔了东西向地下水流向,似一道有形的“堵水墙”,阻挡城区地下水反补给流向矿井,这对保护城区地下水位起着很大作用。

分水岭的存在而不消失是由于岩层的富水性微弱、地下水位不易降低的结果。经水文地质钻探控制,靠近分水岭且与之平行的过水断面长度 1695 米,除局部地段外,富水性普遍微弱,或接近于隔水,钻孔均未遇溶洞、岩心完整、不破碎,单位吸水量多数小于 0.01(表 5)。363 坑道的涌水点主要集中于 170 中段的西巷道挡头一带,靠近城区的东巷道无水,也说明城矿之间确实存在着近乎不含水的隔水体,因此这一断面是不能过水

表 5 南—北断面钻孔单位吸水量表

孔 号	试验层位	水位标高 (m)	试验段标高 (m)			单位吸水量 (L/s·m)
			起	止	长度	
K10	$C_{1z} + C_{1m} + F$	318.93	173.29	9.55	163.74	0.003
	$C_{1z} + C_{1c} + C_{1s}$	334.80	279.98	201.86	78.12	0.001
K1	$C_{2+3}h$	313.23	318.66	253.15	65.51	0.962
	$C_{2+3}h + C_{1z}$	313.74	249.66	143.38	106.18	0.908
	$C_{1z} + C_{1c}$	314.45	138.20	108.58	29.62	0.010
K14	$C_{2+3}h + F_3 + C_{1s}$	332.48	374.69	222.73	151.96	0.004
	$F_3 + C_{1s} + C_{1c} + C_{1z}$	271.90	260.58	90.57	170.01	0.087
K11	$C_{2+3}h$	335.04	369.71	255.73	113.97	0.053
	$C_{2+3}h$	314.05	248.11	227.98	20.13	0.001
	$C_{2+3}h + C_{1z}$	311.81	248.11	47.74	200.37	0.081
K15	$C_{2+3}h$	296.50	342.18	126.10	216.08	0.004
213/1	C_{1z}	316.34	306.78	-64.40	371.18	0.039
213/4	$C_{2+3}h + C_{1z} + C_{1c}$	284.65	284.94	63.48	221.46	0.022

的。同时,漏斗中心位置不在斜井部位,向西偏移至中采区,这样,漏斗中心距城区由 570 米增大到 1210 米,也缓和了因矿井排水对城区水位降低的影响。

目前,东漏斗水位的巨大下降,中心部位低于城区已达 50 米之多,在正常状态下应该早已形成反补给的地下水流场,但是,正是得利于含水微弱的过水断面及地下分水岭,使似乎应当出现的局面而未能出现。

2. 东西向断层的含水性及导水性

连接东漏斗与城区的东西向断裂属于压扭性质,它不起水力联系和导水作用,论证如下: F147、F130 位于矿区的南面,主要发育于隔水层中,且一直保持高水位(310 米标高以上)。F103、K1、K12、K13 三孔紧靠断层,但未揭露到,说明断层为高倾角。以上断裂均位于未开拓区内,坑道不揭露,不能对矿坑充水产生影响。F₃ 富水性不均一。K14 孔于深度 130.70—142.97 米揭露,采取率 75%,注水试验单位吸水量仅 0.004 (表 5),说明在

弱含水体内断层也不含水,不起地下水通道的作用。但 F₃ 断层的西部由于东漏斗向北面扩展,又是含水和导水的。

3. 城区地下水的补给来源

桂阳含水单元在地貌上为一溶蚀盆地,溶盆的东北及北部为中山区,可溶岩呈半裸露状,覆盖层结构疏松,能接受大部分降水的渗入补给,年量大于 250 万立方米,加上其他区总补给量可达 400 万立方米。地下水自各方汇集,以泉形式在桂阳城区排出。在天然状态下,城区泉井接受来自宝山矿区的补给量只占总量的 4.5%,不是主要的补给源,即使截断这部分水,也不会危及城区地下水位的降低,这符合当前的状况。大多数泉井流量仍保持着原样,局部地段井水位有降低 1—2 米的状况,其原因应是城区机井日渐增多,每天取水量达 6700 立方米以上,距离近,或直接在泉井中抽水,影响更为直接,是造成水位有所降低的主要原因。但目前阶段,补给源还比较充分,尚能满足供需平衡,地下水

降幅亦不显著。

4. 东漏斗形成后的验证

自 1977 年开拓了 363 坑道系统后,经过多年矿坑排水而形成的东漏斗,水位有大幅度降低。中心带水位总降低达 110 米,相当于一次大型的、长时间的群孔抽水试验,并未发现与桂阳城有明显的水力联系。经过实践检验证明了桂阳城与东漏斗之间的含水弱带及地下分水岭的存在,起着重要的隔水作用。因此,东采区的开拓是说明两者之间无明显水力联系的最直接证据。

五、环境水文地质评价结论及建议

以上分析了各采区间与桂阳城间地下水联系状况,现将各矿体开拓的结论归纳如下:

西部铅锌银矿:西漏斗为一孤立水文地质单元,与周围各区无水力联系,在 0 米标高以上可进行开拓,将不会引起桂阳城区地下水位的降低,但是必须保证边界条件完整,使西、东漏斗间不因边界条件破坏而发生水力联系。

中部铜钼矿:在由露天转井下的开拓中,正处于东漏斗中心地带,K18 孔水位已

降至 240 米标高,所以开拓 250 中段以上是安全的,满足二期扩建前期开拓的需要,不会导致桂阳城水位下降,但以不揭露梓门桥含水层为原则。

东部铅锌矿:由于东漏斗水位仍呈下降趋势,并向北区发展,影响桂阳城西北外围水位的降低。东边界地下分水岭两侧水位差不断扩大,故 210、170 中段尚不具开拓条件,以维持目前开采状况为宜,要防止开发更多的涌水点,以避免地下水流程的恶化。

在作出上述结论时,为确保桂阳城安全,控制住地下水位这个关键,故提出如下建议:

1. 各采区应严格遵循安全防范措施,坚持打超前探水钻孔,设立关水装置等,避免大的突水,防止地下水位骤然降低。

2. 所保留的各个长期观测钻孔,必须加以保护并继续定期观测,以监控地下水位。

3. 桂阳城内应控制住机井数量与取水量的增长,保护水源不枯竭,使地下水位不再降低。维护自然状态下的供需平衡,同时有必要确定机井抽水对城下水位的影响程度。

(收稿日期:1988 年 10 月 10 日)

• 环境信息 •

燃煤发动机污染少

美国能源部确认,烧柴油的发动机改为烧煤,这在经济上和技术上都行得通。能源部官员相信燃煤发动机造成的污染将少于现有的柴油机。柴油机制造厂的试验表明,燃煤发动机产生的氮氧化物(NO_x)比柴油机少一半以上。 NO_x 是传统的柴油机排放的主要污染物之一。

能源部的控制二氧化硫计划要研制发动机烧煤或煤水混合浆。该系统包括一个涡轮发动机、充电机、热交换装置。最重要的是控制排放 NO_x 、 SO_2 和煤燃烧时产生的烟炭颗粒物。一旦用煤代替柴油,一台发动机产生的 NO_x 数量将大为减少,而 SO_2 较难控制。能源部的一个解决办法就是把一种钙化合物喷射到热蒸气中去以吸收煤里的硫化物。过滤和结晶技术可使钙化合物自行除去。但是,还存在另

一个问题,来自燃料的热微粒不但污染空气,而且破坏涡轮推动的充电机和热交换装置。能源部的研究人员正在研制多种形式的过滤器。

美国一些公司准备开发那些与燃煤相配套的装置以控制排放以及其他为燃煤所需要的设备以革新现有的柴油发动机。

1988 年在多伦多举行的北美化学会上科学家宣布,到 1993 年合营的目标是生产环境可接受的交通用燃煤发动机,这种新型发动机可用于卡车、火车和工厂。

柴志范 祝建国摘译自 *New Scientist*,

119(1627/1628),45(1988)。