

# 湘西岩溶石山地区地下水均衡分析

许胜保,罗子立,贺友锋

(湖南省水文地质二队,湖南 长沙 410000)

**摘要:**通过对湘西岩溶地区水均衡分析,构筑均衡模型,并进行分析、计算,依据均衡区的分析结果,可认为工作区的报告提交补给量具有一定的保证程度,允许开采量具有较高的保证程度。

**关键词:**水库渗漏;水量平衡;均衡地下水;岩溶地区

一个地区的水均衡研究,实质就是应用质量守恒定律去分析参与水循环的各要素的数量关系。地下水均衡是以地下水为对象的均衡研究。目的在于阐明某个地区在某一段时间内,地下水水量收入与支出的数量关系。

开展湘西岩溶地区地下水分析的工作是系统查明岩溶地质条件、岩溶发育特征及规律、岩溶水开发利用条件和石漠化特征及控制因素,评价岩溶流域的水资源潜力,提出开发利用方式和工程方案建议。

## 1 均衡模型

### 1.1 均衡要素

经综合分析,均衡区内均衡要素计有 12 项。补给项主要有大气降水入渗量( $Q_{dqr}$ )、稻田水入渗量( $Q_{dtr}$ )及水库水入渗量( $Q_{shr}$ )。排泄项主要有泉与地下河排泄量( $Q_{qnp}$ )和井孔排泄量( $Q_{jnp}$ );按照常规,泉与地下河排泄量( $Q_{qnp}$ )用与枯季值相对应的年值表示。

调节量( $Q$ )有枯季储存量调节量( $Q_{kjc}$ )与季节变动带调节量( $Q_{jib}$ )之分。考虑到均衡区内河谷深切,均衡体中含水体一般位于当地侵蚀基准面以上,枯季储存量调节量( $Q_{kjc}$ )可视为零。季节变动带调节量( $Q_{jib}$ )指均衡体内平均枯季水位以上的水量。

图斑文件、线状地物、零星地物文件添至工程中,视为某个县级数据库进行数据预处理,再通过台账报表的输出,可查询到更为详细的资源分布状态。统计出的数据结果还可通过制成表格的形式反映到土地整理现状图中,直观的表达出土地现状状况,如耕地、建设用地、水域未利用地等各种地类所占总面积的比例及整个项目区的土地总面积。

## 3 结束语

生产实际表明,巧妙利用 MAPGIS 平台和已建成的土地利用数据库,有如下几方面的优越性:

(1)效率高。按传统的管理模式,需要先将土地管理范围内的土地利用图及变更资料进行手工矢量化,再根据手工绘制出的土地利用现状图进行手工量算面积,需投入的人力多、工期长。通过充分利用已建成的土地利用数据成果,使得专题图件的形成、数据的统计、汇总在较短时间内完成,比没有数据库系统支持情况下的工作量至少减少了 70%。

(2)结果精确。在绘图方面计算机的精度和效果是手工无法比拟的。有了计算机软、硬件的支持,能按照经纬度坐标或平面直角坐标原始图的变形进行误差校正,消除了图纸变形带来的影

各均衡项特征详见表 1。

表 1 均衡要素表

|              | 名称       | 代号        | 运移方向 | 分布特征 | 量级级别 | 处理 |
|--------------|----------|-----------|------|------|------|----|
| 补给量<br>$Q_b$ | 大气降水入渗量  | $Q_{dqr}$ | 垂向   | 普遍性  | 很大   | 引用 |
|              | 稻田水入渗量   | $Q_{dtr}$ | 垂向   | 区域性  | 较大   | 计算 |
|              | 水库水入渗量   | $Q_{shr}$ | 垂向   | 局部性  | 较小   | 计算 |
|              | 山塘水入渗量   | $Q_{str}$ | 垂向   | 星散性  | 很小   | 忽略 |
|              | 侧向流入量    | $Q_{cqr}$ | 侧向   | 偶见性  | 微略   | 忽略 |
| 排泄量<br>$Q_p$ | 泉与地下河排泄量 | $Q_{qnp}$ | 垂向   | 区域性  | 很大   | 引用 |
|              | 井孔排泄量    | $Q_{jnp}$ | 垂向   | 星散性  | 很小   | 引用 |
|              | 矿山排泄量    | $Q_{knf}$ | 垂向   | 偶见性  | 很小   | 忽略 |
|              | 潜水排泄量    | $Q_{qsz}$ | 垂向   | 偶见性  | 微略   | 忽略 |
|              | 侧向流出量    | $Q_{cxc}$ | 侧向   | 偶见性  | 微略   | 忽略 |
| 调节量<br>$Q_r$ | 枯季储存量调节量 | $Q_{kjc}$ |      | 普遍性  | 微略   | 忽略 |
|              | 季节变动带调节量 | $Q_{jib}$ |      | 普遍性  | 很大   | 计算 |

注:①运移方向的判定,作用于地表为垂向,作用于排补边界为侧向。

②调节量,相当于孔隙水均衡研究中的“地下水量变化量”。

响,同时点、线、面三类实体的组合,即点与点、点与线、点与面、线与线、线与面、面与面之间的相邻性、闭合性、一致性有了正确的拓朴关系,实现了传统的地学科学与现代的计算机空间分析技术的完美结合。在数据统计时,有了土地利用数据库的支持使得图元编码具有惟一性、属性与图元有一一对应关系,属性数据具有完整、准确性,使数据结果能获得更高精度且错误率低,为管理者提供了一套准确的地类资料,有利于管理者作出科学化的决策。

(3)成果应用方便。由于把空间图形及其属性的数字化信息集成在一起,通过 MAPGIS 平台功能在查找、检索、统计、生成专题图和专题信息时节约了大量的时间和精力,而且把基础地形数据与土地利用数据集成在了一起,可同步查看浏览空间图形要素及其属性,同时实现了土地资源信息的定位、定量、定性相结合。

(4)有效利用现代化手段来管理土地资源。以前图表文件保存费时费力,资料在使用过程中容易损坏和丢失,而信息的数字化为信息管理带来极大的方便。一个土地整理项目的全部资源信息用一张光盘就可存储下来,且保存安全、时间长,特长是 Internet 的飞速发展,为信息的共享提供了更有利的条件。

## 1.2 均衡方程

将定性分析中量级属于很小的均衡要素项忽略不计, 可将均衡区数学模型概化为如下均衡方程:

$$\text{补给量}(Q_b) - \text{排泄量}(Q_p) = \text{调节量}(Q_t) \quad (1)$$

式中: 补给量( $Q_b$ ) = 大气降水入渗量( $Q_{dtr}$ ) + 稻田水入渗量( $Q_{dtr}$ ) + 水库水入渗量( $Q_{shr}$ )

排泄量( $Q_p$ ) = 泉与地下河排泄量( $Q_{qnp}$ ) + 井孔排泄量( $Q_{jnp}$ )

根据收支平衡原理, 可建均衡开采量( $Q_{jnk}$ )的计算公式如下:

$$Q_{jnk} = Q_{dtr} + Q_{dtr} + Q_{shr} \quad (2)$$

$$Q_{jnk} = Q_{qnp} + Q_{jnp} + Q_t \quad (3)$$

## 2 均衡量计算方法

(1) 稻田水入渗量( $Q_{dtr}$ )

$$Q_{dtr} = 0.0001 \times (Q_{dtn} \times T_{jin}) \times F_{dao} \quad (4)$$

式中:  $Q_{dtr}$ ——稻田水入渗量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;

0.0001——单位换算系数;

$Q_{dtn}$ ——稻田水入渗模数,  $1073 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{km}^2$ ; 引用澧县境内的常德灌溉试验站资料;

$T_{jin}$ ——稻田浸水时间(101d); 据慈利县等县《农业区划报告》统计;

$F_{dao}$ ——稻田面积,  $\text{km}^2$ ; 用稻田率与均衡区面积之乘积算得; 稻田率据石门县等县《统计年鉴》中县域面积与稻田面积统计; 当均衡域有多个县市时, 稻田率取面积加权平均值。

(2) 水库水入渗量( $Q_{shr}$ )

$$Q_{shr} = 10000 \times (V \times n) \quad (5)$$

式中:  $Q_{shr}$ ——水库水入渗补给量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;

10000——单位换算系数;

$V$ ——水库蓄水量,  $10^8 \text{ m}^3$ ; 据慈利县等县“水利设施年报”等统计;

$n$ ——渗漏率(无因次), 引用邵阳市邵阳县小型水库试验值(1.5%)。

(3) 调节量( $Q_t$ )

$$Q_t = 0.1 \times H_{iao} \times F \quad (6)$$

式中:  $Q_t$ ——调节量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;

0.1——单位换算系数;

$F$ ——岩溶水分布面积,  $\text{km}^2$ 。

$H_{iao}$ ——引用调节系数,  $\text{mm}/\text{a} \cdot \text{km}^2$ ; 根据用长观资料计算的调节系数( $H_{iao}$ )统计的计算公式确定。

① 引用调节系数( $H_{iao}$ )计算公式:

$$H_{iao} = -15356 + 7894 \times Q_m \quad (7)$$

$$R = 0.9726$$

式中:  $H_{iao}$ ——引用调节系数,  $\text{mm}/\text{a} \cdot \text{km}^2$ ;

$Q_m$ ——均衡区岩溶水自流模数,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;

$R$ ——各子均衡区岩溶水自流模数( $Q_m$ )集合与长观点调节系数( $H_{iao}$ )集合的线性相关系数。

② 调节系数( $H_{iao}$ )计算公式:

$$H_{iao} = 0.0864 \times (\sum(Q_{pjk} - Q_{ku}) \times T_{jk}) / F_d \quad (8)$$

式中: 0.0864——单位换算系数;

$Q_{pjk}$ ——平水期或丰水期某次波段的平均流量,  $\text{L}/\text{s}$ ;

$Q_{ku}$ ——枯水期平均流量,  $\text{L}/\text{s}$ ;

$T_{jk}$ ——平水期或丰水期某次波段的时长,  $\text{d}$ ;

$F_d$ ——点域面积,  $\text{km}^2$ ;

$F$ ——岩溶水分布面积,  $\text{km}^2$ 。

## 3 计算结果与均衡分析

### 3.1 计算结果

均衡区内均衡补给量为  $145214 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 均衡排泄量为  $29998 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 均衡调节量为  $100101 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。详见表 2。

均衡开采量( $Q_{jnk}$ )计算结果根据公式(2), 均衡区内均衡开采量( $Q_{jnk}$ ) = 补给量( $Q_b$ ) =  $145214 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ; 根据公式(3), 均衡开采量( $Q_{jnk}$ ) = 排泄量( $Q_p$ ) + 调节量( $Q_t$ ) =  $130099 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ; 二者相差  $15115 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 相对误差为 10.41%。考虑到补给量( $Q_b$ )的保证率  $P = 50.0\%$ , 均衡调节量的保证率  $P = 87.4\%$ , 可认为两个均衡开采量( $Q_{jnk}$ )计算结果相当且可靠。

从供水水文地质角度出发, 均衡区内均衡开采量( $Q_{jnk}$ )确定为  $130099 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

表 2 均衡量计算表

| 子均衡<br>区序号 | 补给量                             |                                 |                                 | 排泄量                             |                                 | 调节量                             | 允许开采量                           |
|------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|            | $Q_{dtr}$                       | $Q_{dtr}$                       | $Q_{shr}$                       | $Q_{qnp}$                       | $Q_{jnp}$                       | $Q_t$                           | $Q_{jnk}$                       |
|            | ( $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ) | ( $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ) | ( $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ) | ( $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ) | ( $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ) | ( $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ) | ( $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ) |
| 1          | 7303                            | 77                              | /                               | 3089                            | 0                               | 5571                            | 3089                            |
| 2          | 6121                            | 126                             | 11                              | 1275                            | 8                               | 4408                            | 1284                            |
| 3          | 12570                           | 86                              | 0                               | 900                             | 0                               | 8818                            | 0                               |
| 4          | 7442                            | 143                             | 4                               | 1114                            | 0                               | 5235                            | 1114                            |
| 5          | 18380                           | 203                             | 34                              | 2315                            | 0                               | 13765                           | 2315                            |
| 6          | 6915                            | 126                             | 0                               | 888                             | 0                               | 5180                            | 888                             |
| 7          | 14790                           | 135                             | 22                              | 3027                            | 2                               | 10006                           | 18                              |
| 8          | 7066                            | 167                             | /                               | 824                             | 69                              | 3881                            | 893                             |
| 9          | 5777                            | 58                              | 0                               | 3532                            | 1                               | 18851                           | 3533                            |
| 10         | 27279                           | 152                             | /                               | 5094                            | 9                               | 4309                            | 1656                            |
| 11         | 6342                            | 556                             | /                               | 3691                            | 0                               | 10260                           | 3691                            |
| 12         | 16226                           | 78                              | /                               | 2716                            | 6                               | 5361                            | 2721                            |
| 13         | 7030                            | 67                              | 0                               | 1436                            | 0                               | 3881                            | 1467                            |
| 合计         | 143345                          | 1974                            | 71                              | 29903                           | 95                              | 100101                          | 22670                           |
|            | 145390                          |                                 |                                 | 130099                          |                                 |                                 |                                 |

注: ① 对于有资料的子均衡区, 水库水入渗模数为  $0.03177 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ; 经换算, 均衡区水库水入渗量为  $134.747 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;

② 经计算, 稻田区的大气降水入渗量与稻田水入渗量之差为  $522.361 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;

③ 除去稻田水入渗量, 均衡区降水入渗量为  $8927.15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

### 3.2 均衡分析

(1) 报告提交补给量保证程度分析

均衡区内均衡补给量主要由大气降水入渗量构成, 稻田水入渗量亦占有一定比重。详见表 2。

① 报告提交补给量计算方法可行性分析: 均衡区内报告提交补给量计算, 忽略了参数难以准确的补给项。其计算结果与均衡补给量相比, 准确度达 99.54%。据此可认为报告提交补给量计算方法切实可行。

② 报告提交补给量保证程度: 均衡区内均衡补给量为  $145214 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 比报告提交补给( $143240 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ )大 1.4%。故认为报告提交补给量具有一定的保证程度。

(2) 允许开采量保证程度分析

(下转第 86 页)

三等水准测量要求施测。采后观测始于地表开始移动(地表下沉达10mm)后。边长丈量采用往返测,互差 $<2\text{mm}$ ,并辅助激光测距仪检验;高程以四等水准测量要求观测,每次高程闭合差均 $<10\text{mm}$ 。1211(3)煤层开采影响中,共进行10次全面观测、30次水准观测。表3为1211(3)开采至铁路线正下方时观测结果,其下沉值包括先前工作面开采引起的最大下沉值;

所有测量的内外业各项指标均符合规程中的要求。

表3 铁路线观测结果

| 点号 | 下沉<br>(mm) | 倾斜<br>(mm/m) | 曲率<br>( $10^{-3}/\text{m}$ ) | 水平移动<br>(mm) | 水平变形<br>(mm/m) |
|----|------------|--------------|------------------------------|--------------|----------------|
| 1  | 0          | 0            | 0                            | 0            | 0              |
| 2  | 0          | 0            | 0                            | 1            | 0              |
| 3  | 2          | 0.1          | 0                            | 4            | 0.1            |
| 4  | 7          | 0.2          | 0.01                         | 17.5         | 0.5            |
| 5  | 26         | 0.7          | 0.02                         | 56.2         | 1.4            |
| 6  | 78         | 1.9          | 0.04                         | 146.7        | 3              |
| 7  | 189        | 4            | 0.07                         | 310.5        | 5.4            |
| 8  | 423        | 7.5          | 0.1                          | 583.8        | 7.8            |
| 9  | 764        | 11.3         | 0.1                          | 889.3        | 8.6            |
| 10 | 1331       | 15           | 0.07                         | 1210         | 6.2            |
| 11 | 125        | 2.8          | 0.05                         | 216.8        | 4.1            |
| 12 | 2565       | 12.8         | -0.11                        | 1165         | -6.8           |
| 13 | 2893       | 7.1          | -0.16                        | 789.7        | -10.8          |
| 14 | 2990       | 0.9          | -0.15                        | 347.2        | -10.9          |
| 15 | 2809       | -4.6         | -0.08                        | -64.2        | -6.4           |
| 16 | 2595       | -6.3         | -0.03                        | -207         | -2.5           |
| 17 | 2350       | -7.4         | 0.02                         | -307         | 0.9            |
| 18 | 2094       | -5.1         | 0.02                         | -144         | 1.8            |
| 19 | 1896       | -3.9         | 0.01                         | -10.7        | 2              |
| 20 | 1794       | 1.5          | 0.03                         | 478.8        | 2.8            |
| 21 | 1902       | 3.2          | 0                            | 593.2        | 0              |
| 22 | 2049       | 3.1          | -0.05                        | 548.4        | -4.4           |
| 23 | 2133       | 0.8          | -0.09                        | 332.5        | -7.9           |
| 24 | 2093       | -3.1         | -0.1                         | -30.6        | -9.3           |
| 25 | 1880       | -6.8         | -0.08                        | -378         | -7.6           |
| 26 | 1543       | -9.3         | -0.04                        | -627         | -4             |
| 27 | 1171       | -9.8         | 0.01                         | -701         | -0.1           |
| 28 | 740        | -8.4         | 0.05                         | -628         | 3.1            |
| 29 | 409        | -5.8         | 0.06                         | -448         | 4.1            |
| 30 | 201        | -3.5         | 0.05                         | -271         | 3.6            |
| 31 | 106        | -2.1         | 0.03                         | -163         | 2.6            |
| 32 | 44         | -1           | 0.02                         | -78.2        | 1.5            |
| 33 | 15         | -0.4         | 0.01                         | -30          | 0.7            |

影响铁路线的主要开采工作面有:1221(3)、1211(3)、1201(3)、11228、12418和12518。目前,整个铁路线处于拉伸状态,向北倾斜;1211(3)开采后铁路线由拉伸转为压缩,由向北倾斜转为向南倾斜;1201(3)开采后铁路线由压缩转为拉伸,由向南倾斜转为向北倾斜;12418开采后铁路线水平变形由拉伸转为压缩,并继续向北倾斜,但倾斜量有所减小;全部工作面结束后,铁路线的变形值基本消除。整个过程可以较好地控制变形值的大小,但铁路线要经受反复的拉、压交替变化。

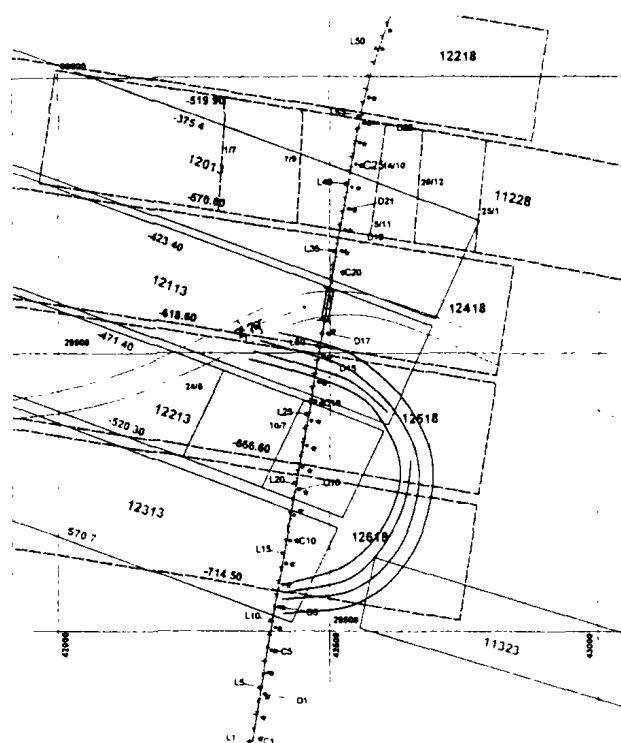


图1 工作面分布和铁路线测点布置图

#### 4 结论

谢桥矿的地表移动属于厚含水松散层下地表移动研究范围,通过对地表移动实测资料的分析,对该矿进行了地表移动分析,并结合其移动规律对铁路线进行了观测和分析。对正确指导矿区安全生产和运输,合理开展“三下”采煤,具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 袁文华,方良成,张成,等. 谢桥煤矿煤系上覆第四纪底砾层隔水性评价[J]. 安徽理工大学学报,2003,23(3).
- [2] 陈祥恩,李德海,勾攀峰. 巨厚松散层下开采及地表移动[M]. 中国矿业大学出版社,2001.
- [3] H. 克拉茨,马伟民,王金庄,王绍林. 采动损害及其防护[M],煤炭工业出版社,1984.

(上接第84页)

均衡区内均衡补给量( $145390 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ )与允许开采量( $22670 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ )之比为6.4倍,且枯水期天然排泄量有 $29903 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ,故认为允许开采量保证程度较高。

#### 4 结论

均衡区与工作区的面积比虽然只有15.26%,但是,均衡区的岩溶区面积比(63.18%)跟工作区的岩溶区面积比(55.63%)相接近,岩溶区面积比的误差仅13.58%,依据均衡区的分析结果,可认为工作区的报告提交补给量具有一定的保证程度,允许开采量具有较高的保证程度。