

大足县宝顶山石刻区岩体渗流模型研究

10
48-52

王桂林 汪东云 张赞勋

(重庆建筑大学建筑工程学院 400045)

TU463

摘要 根据建模的一般原理,由石刻区岩体含水性及水力特性概化出石刻岩体渗流的概念模型,即石刻岩体上部渗流和下部渗流,并建立了相应的数学模型。经数值模拟,证明所建模型是正确的。

关键词 石刻区;岩体渗流;概念模型;数学模型

宝顶山

中图分类号 TU463

重庆市大足县宝顶山石刻开凿于南宋,历经八百多年的风化剥蚀,产生了不同程度的风化破坏,其中石刻区的岩体渗流作用成为加速石刻岩体风化破坏的主要外营力,造像损害与渗水病害有最直接关系^[1]。

对于岩体渗流来说,岩土-水这个体系处于不停的变动状态,物质和能量不断地转换、转移,它涉及到物理变化的许多并发过程。在现代科学中,模拟作为一种科学认识客观现实世界的方法,在物理学、化学、生物学、水力学、动力学等许多不同领域中得到应用。而模型是模拟的形式和手段^[2]。因此,要认识石刻区的渗流问题,必须借住于模型这一手段和形式。

岩体渗流模型的建立是一个复杂的、在许多方面是一个创造性的过程。文献[2]提出了建立水文地质模型的基本原理。据此本文采用了下面的程序:

1) 收集和分析有关岩体渗流的资料

这里的有关资料指的是研究区的水文地质和工程地质环境等有关资料及数据。

2) 建立岩体渗流的概念模型

根据研究区水文地质工程地质环境(主要是岩体含水性及水力特性)概化出本区的岩体渗流概念(概化)模型。

3) 根据岩体渗流概念模型及边界条件,建立岩体渗流的数学模型

为验证和校正模型,采用数值方法进行计算机数值模拟分析。

1 石刻区岩体渗流概念(概化)模型

1.1 石刻区岩体含水性类型

根据石刻区的水文地质工程地质环境特征,石刻区岩体的含水性,可分为:

1) 风化裂隙含水岩体,此含水岩体分布于石刻区第二层泥岩底部和第二层砂岩顶部接触带处,平均厚度约为 5 米,该处成岩裂隙发育,后期风化裂隙也发育,构成互相连通较均质的网状裂隙系统,成为地下水贮存和渗流的空间。

2) 砂岩裂隙含水岩体,石刻区第二层砂岩因发育构造裂隙和层面裂隙等各类裂隙,而构成另一地下含水层。

3) 裂隙不发育的砂岩可视为相对隔水体。

收稿日期:1999-03-10

王桂林,男,1970年生,博士生

1.2 石刻区各含水岩体的水力特性

1) 石刻岩体上部含水体(风化裂隙含水岩体): 据调查, 圣寿寺 B2 井和招待所 B3 井均揭露于此含水体。B2 井位于卧佛东南约 900 m 的台坪上, 水位埋深 3.52 m, 井深 5.69 m, 井壁为砂岩顶部的泥岩, 储水部位为构造裂隙(两条平行走向 NE 60°近直立的裂隙切割井壁)和砂泥岩交界面成岩裂隙及砂岩顶部风化裂隙。B3 井位于大佛湾东台坪, 距卧佛 1 450 m, 水位埋深 2.02 m, 井深达 20 m, 穿过 6 m 泥岩进入砂岩, 储水部位仍位于砂、泥岩接触带及风化裂隙带, 因水位浅, 井口低, 四周又有居民点, 且生活污水任意排放渗入地下, 造成井水污染, 矿化度为 0.73 g/l, Cl⁻ 含量高达 90.22~90.65 mg/l。B2 井水位 503.38 m, B3 井水位 504.68 m, 两井相距 90 余米, 具有统一的地下水面。位于卧佛顶部的 B7 井是由于该含水体在边坡转折处被切割而形成, 排泄部位高程为 497 m。

2) 石刻岩体含水体(砂岩裂隙含水体): 该含水体赋存裂隙层间水, 由于相对隔水的泥夹层的存在, 使之构成多层状无压层间水。石刻区内文管所 B1 井、岩体立壁牧牛图 B11 井泉和卧佛 B10 泉均属于此含水体中的地下水。B1 井位于卧佛西南约 1 000 m 的陡崖上, 井深 19.9 m, 水位埋深 13.61 米, 井周围污染源, 水质良好, 矿化度 0.31~0.44 mg/l, Cl⁻ 含量 8.53~9.40 mg/l。B11 泉点位于大佛湾南侧壁牧牛图处, 泉点出露高程 488.04 m, 其西侧泉点出露高程 487.70 米, 两泉均终年不干, 系地下水沿两组构造裂隙(一组走向 NE 20°直立, 一组为 NW 350°∠77°出露。根据裂隙延伸方向, 此泉位于 B1 井下游, 水位相差 1.59 m。由于受浇花木渗水影响, 泉 Cl⁻ 含量为 51.04~52.20 mg/l。B10 泉位于卧佛脚下, 终年不干, 泉点出露高程 486.15 m, 系地下水沿构造裂隙与层面裂隙交接部位被切割而出露, 构造裂隙产状 NE 250°NW∠70°, 宽达 0.25 m, 延伸方向将通过卧佛东侧岩体直达圣迹水池西南角, 倾向卧佛。崖壁下部软弱泥质岩层附近层面隙宽达 0.18~0.28 m, 经构造裂隙渗入地下水沿崖壁底部转向层面裂隙呈大片浸水渗出。泉水矿化度 0.61~0.70 mg/l, Cl⁻ 含量较高, 48.72~54.50 mg/l, 这是受崖壁顶部地表水及污水渗入混合作用的影响。以上分析表明, 这一含水体的地下水明显具有裂隙水的特点, 与石刻岩体上部含水体的地下水相比, 分布不均匀, 水力联系不统一连续。

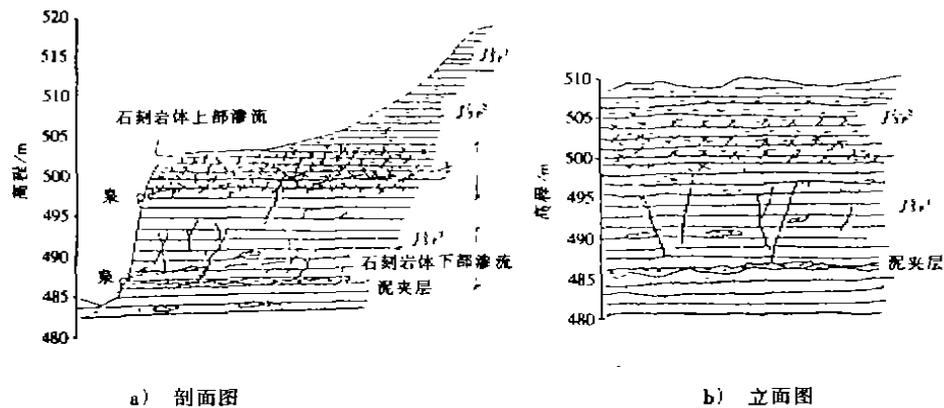


图 1 石刻区岩体渗流概念(概化)模型

1.3 石刻区岩体渗流概念(概化)模型

从各含水体的水力特性及水力联系上看, 石刻区岩体可概化成两层(图 1)。第一层为石刻岩体上部石刻砂岩顶板与泥岩底部接触带风化裂隙含水层。平面上看, 分布于区域内第二层泥岩展布区。含水层平均厚度约 5 m, 其下砂岩裂隙不发育处为相对隔水体, 第二层泥岩第二层砂岩接触带在平面上尖灭处或揭露处为出水边界。第二层含水体系为石刻岩体中部, 裂隙发育段。石刻岩体下部不甚连续但分布相对稳定的泥夹层为其隔水底板。由于两层水均接受大气降水的补给, 从水动态特征上分析表明, 两者的水力特性均为潜水, 只是风化裂隙含水层埋藏更浅, 底板隔水层也因构

造裂隙的贯穿而不十分完整连续,故呈现有上层滞水的特性,石刻岩体裂隙含水体的埋藏比上部含水体的深,且其内部有不连续泥夹层分布,适宜部位也呈现局部承压,但从整体上看,两层含水体的地下水应是无压水。为叙述方便,第一层渗流称为石刻岩体上部渗流,第二层渗流称为石刻岩体下部渗流。

石刻岩体上部渗流模型与石刻岩体下部渗流模型的分析应是不同的。石刻岩体上部含水体的风化裂隙在成岩裂隙、构造裂隙的基础上进一步发育,形成了密集均匀、相互连通的裂隙网络。从其水力特性上看,单一裂隙对渗流的控制作用不甚明显,在宏观上类似于多孔介质,具有统一的地下水面,因此其渗流介质模型可视为类似于多孔介质的连续介质渗流模型,其分析方法是经典连续分析方法。石刻岩体下部含水体的,由前人资料可知,砂岩、泥岩岩石渗透性很低,这部分的地下水渗流可忽略岩石本身的渗透性,视其为裂隙介质渗流。研究裂隙介质渗流有两种方法,一种是按不连续介质研究裂隙地下水流,即离散介质渗流模型的分析方法,另一种是采用等效连续介质方法进行研究。尽管目前对等效介质方法有不同的看法,但运用它分析渗流,对于初步了解渗流场的大致规律的有效性,为普遍研究者所认同。

2 石刻区岩体渗流数学模型

2.1 石刻岩体上部渗流数学模型

石刻岩体上部渗流介质是类似于各向同性均质的多孔介质,在石刻区内其边界条件有两类,即定水头边界和定流量边界。排水处定水头边界以B7泉水头(497 m)为代表沿大佛湾砂岩(J_3^2)顶部与泥岩(J_3^3)接触带分布。裂隙不发育的砂岩(J_3^2)为其隔水底板,属于第二类边界,因区域内地层倾角甚小,可视为水平,大致高程为496 m。由于该含水层受大气降水控制,所以沿地表水在地面的分水岭可为地下水的分水边界。这样一来,其数学模型可以写成如下形式:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{\mu}{k(h-B)} \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\varepsilon_1}{k(h-B)} \\ h(x, y, z, t) \Big|_{t=0} = h_0(x, y, z, t) \\ h(x, y, z, t) \Big|_{s_1} = h_1(x, y, z, t) \\ \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{s_2} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

(1)式中, h —水位标高; B —隔水底板标高; k —渗透系数; μ —给水度; ε_1 —降雨入渗量。

2.2 石刻岩体下部渗流数学模型

前已述及,该层含水层为非均质各向异性,渗透系数是空间坐标的函数。一般用渗透张量表示。此层含水体的边界条件也有两类,亦即定水头边界以大佛湾排泄边界的泉点平均出露高程485.5 m为参考,隔水底板视为连续分布的泥夹层(高程486 m)为隔水边界。其分水岭同上部含水层分水岭边界大致一样。则其数学模型为:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x (h-B) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y (h-B) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z (h-B) \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \varepsilon_2 = \mu \frac{\partial h}{\partial t} \\ h(x, y, z, t) \Big|_{t=0} = h_0(x, y, z, t) \\ h(x, y, z, t) \Big|_{s_1} = h_1(x, y, z, t) \\ \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{s_2} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

(2)式中, k_x 、 k_y 、 k_z — x 、 y 、 z 方向的渗透系数。

(1)、(2)式中的 ε_1 和 ε_2 分别是对应各含水体的降雨入渗量,两者之和是总的降雨入渗量,即:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

3 数值模拟分析

对于石刻岩体上部渗流,考虑含 B2 井与 B3 井的 $x-y$ 平面,进行了稳定流二维有限元数值模拟。对于石刻岩体下部渗流,则考虑含 B1 井与 B11 井的 $y-z$ 平面,进行了稳定流二维有限元数值模拟。计算结果如表 1 所示。

表 1 石刻岩体上、下部渗流数值模拟结果

石刻岩体上部渗流				石刻岩体下部渗流			
井孔计算水头值(m)		井孔实测水头值(m)		井孔计算水头值(m)		井孔实测水头值(m)	
B2井	B3井	B2井	B3井	B1井	B11井	B1井	B11井
502.85	503.83	503.38	504.68	489.639 4	488.039 8	489.63	488.04

由表 1 的模拟结果可知,井孔计算水头值与实测水头值接近,本文所建立的石刻岩体渗流模型与实际相符。

4 结 语

1) 根据石刻区的水文地质工程地质环境特征,石刻区岩体的含水性可分为风化裂隙含水岩体、砂岩裂隙含水岩体和裂隙不发育的砂岩相对隔水体三类。

2) 从各含水体的水力特性及水力联系上看,石刻区岩体存在双层渗流。第一层为石刻岩体上部石刻砂岩顶板与泥岩底部接触带风化裂隙水渗流。第二层为石刻岩体中部的构造裂隙水渗流。

3) 根据石刻岩体渗流的概念(概化)模型及边界条件可以建立其相应的数学模型,通过有限元数值方法模拟,证明本文所建模型是正确的,可以反映宝顶山石刻岩体的渗流实际情况,这对石刻区渗水病害的防治有着重要意义。

参 考 文 献

- 汪东云,张赞勋等. 四川省大足石刻保护—水污染防治论文集. 重庆建筑大学, 1994
- [苏]N·K·加维奇. 水文地质学中应用模拟的理论与实践. 杨守廉译. 地质出版社, 1987
- 潘别桐等. 四川省大足县宝顶山石刻区渗水病害及防治对策研究. 北京:中国地质大学, 1990
- 王桂林. 大足县宝顶山石刻区岩体渗流模型及水力参数研究:[硕士学位论文]. 重庆:重庆建筑大学, 1997

Study on Seepage Model of Rock Mass in Baodingshan Grotto Area of Dazu County

Wang Guilin Wang Dongyun Zhang Zanxun

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045, Chongqing)

Abstract Based on the analysis of hydrogeological condition, and hydraulic characteristics and hydraulic relation in rock mass, the seepage of rock mass in carved stone area has been generalized and its mathematics models established. By numerical simulating, correctness of Seepage models of rock mass have been proved.

Key Words carved stone area; seepage of rock mass; generalized model; mathematics model