

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20230620

# 有自由面三维稳定渗流的等效管网模型

陈玉婷<sup>1</sup>, 李三奇<sup>2</sup>, 袁乾峰<sup>2</sup>

(1. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010; 2. 武汉科技大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430081)

**摘要:** 岩土工程普遍涉及有自由面三维稳定渗流问题, 传统求解自由面的数值方法以连续介质假定为基础, 将孔隙流动平均到包含固体颗粒的整个区域。事实上, 水体仅能沿多孔介质空隙发生流动。通过将多孔介质的孔隙结构概化为三维正交管网, 基于水头和流量等效原则, 推导了管网模型的等效渗流速度、连续性方程及边界条件。基于局部坐标系、连续型罚 Heaviside 函数及变分原理, 建立了等效管网模型的有自由面三维稳定渗流分析方法, 从而将三维渗流问题简化为一维形式求解, 大大减小了有自由面三维稳定渗流问题的求解难度。通过均质直角梯形坝的三维自由面渗流分析, 验证了等效管网模型的有效性。开展卡基娃水电站左岸坝肩边坡三维稳定渗流分析, 通过与变分不等式方法的对比分析, 等效管网模型很好地反映了卡基娃水电站左岸坝肩边坡渗流场特征, 对三维复杂工程渗流问题具有较强的适用性和较高的计算效率。

**关键词:** 自由面; 稳定渗流; 等效管网模型; 卡基娃水电站

**中图分类号:** TV222

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)09-0120-05

## 1 引言

有自由面三维稳定渗流问题与诸多工程安全性密切相关, 如库坝区渗漏、边坡渗透稳定性、隧道涌水和油气开采等<sup>[1]</sup>。由于自由面和溢出点事先未知, 导致有自由面渗流问题非线性程度和求解难度增大。目前, 求解自由面渗流问题的数值分析方法主要以连续介质模型为主, 通过消除干区渗流量或将自由面和溢出边界转化为自然边界条件, 增强自由面求解的稳定性, 主要方法包括有限单元法、有限差分法、复合单元法及数值流形元法等。不同于传统的连续介质渗流分析方法, 等效管网法将连续介质等效为管网, 将平面单元流动转化为管单元流动, 建立管单元的等效渗透系数、控制方程及边界条件, 将二维多孔介质渗流问题简化为一维形式进行数值求解, 从而降低渗流求解难度和提升计算效率。其中, XU Z 等<sup>[2]</sup>将三角形单元平面流动等效至三角形边长即管单元, 给出了管单元等效渗透系数的数学公式及几何意义, 建立了图论管网法并验证了有压渗流分析的可靠性。REN F 等<sup>[3]</sup>进一步将图论管网法

推广至裂隙介质无压渗流问题, 通过 BIM 方法对自由面附近三角形单元进行自适应划分实现自由面迭代求解。YE Z 等<sup>[4]</sup>基于多孔介质细观孔隙模型, 提出了各向异性介质的等效线单元模型, 通过有自由面的稳定和非稳定渗流分析验证了该方法的准确性。但上述研究主要以二维渗流问题为主, 难以描述有自由面三维稳定渗流场的空间分布特征, 对于分析三维渗流问题的可行性需深入探讨。为解决有自由面的三维稳定渗流分析问题, 基于等效管单元模型, 将孔隙空间结构概化为三维正交管网, 推求管网模型的等效渗流速度、连续性方程及边界条件, 将三维渗流问题简化为一维问题, 建立等效管网模型的有自由面三维稳定渗流数值算法, 从而减小了自由面数值求解难度; 再分别采用梯形坝及卡基娃水电站左岸坝肩边坡渗流分析, 论证等效管网模型的有效性和对复杂工程渗流问题求解的可行性。

## 2 有自由面三维稳定渗流问题

如图 1 所示, 三维均质土坝处于无压稳定渗流状态, 自由面将整个渗流场分为干区和湿区, 地

**收稿日期:** 2023-03-18, **修回日期:** 2023-04-26

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(42077243)

**作者简介:** 陈玉婷(1991-), 女, 硕士、工程师, 研究方向为水利水电工程设计与规划, E-mail: chenyingting@cjwsjy.

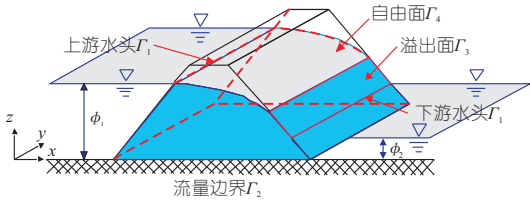


图 1 三维均质土坝的自由面渗流示意图

Fig. 1 Schematic diagram of free surface seepage in 3D homogeneous earth dam

下水仅在湿区流动且满足连续性方程:

$$\partial v_x / \partial x + \partial v_y / \partial y + \partial v_z / \partial z = 0 \quad (1)$$

式中,  $v_x, v_y, v_z$  分别为  $x, y, z$  方向渗流速度。

根据 Darcy 定理, 渗流速度可表示为:

$$\begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} k_x & & \\ & k_y & \\ & & k_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \partial \phi / \partial x \\ \partial \phi / \partial y \\ \partial \phi / \partial z \end{Bmatrix} \quad (2)$$

其中

$$\phi = p + z$$

式中,  $k_x, k_y, k_z$  分别为  $x, y, z$  方向的主渗透系数;  $\phi$  为总水头;  $p$  为压力水头;  $z$  为位置水头。

为求解连续性方程式(1), 水在岩土介质中的流动应满足以下边界条件: ①水头边界条件  $\Gamma_1$ :

$$\phi = \bar{\phi} \quad (3)$$

式中,  $\bar{\phi}$  为水头边界的给定水头。②流量边界条件  $\Gamma_2$ :

$$q_n = -(v_x n_x + v_y n_y + v_z n_z) = \bar{q} \quad (4)$$

式中,  $q_n$  为边界流量;  $\bar{q}$  为流量边界上的给定流量, 流量以流入为正、流出为负, 对于不透水边界取值为 0,  $n_x, n_y, n_z$  分别为边界上单位外法线向量余弦。③溢出面边界条件  $\Gamma_3$ :

$$\phi = z, q \leq 0 \quad (5)$$

④自由面边界条件  $\Gamma_4$ :

$$\phi = z, q = 0 \quad (6)$$

### 3 等效管网模型

多孔介质由大量固体颗粒和孔隙构成, 连通的孔隙网络可为地下水提供传输通道。传统的渗流分析方法中孔隙流速被平均到整个单元控制体, 在 REV 尺度范围将多孔介质简化为均质的连续介质, 从而建立三维岩土介质的渗流控制方程和数值求解方法。反之, 均质的连续介质也可等效为规则排列的固体颗粒和孔隙。图 2(a)、(b)以理想化的立方体球体颗粒排列为例, 水体仅沿着  $x, y, z$  三个方向的正交孔隙发生流动。为此, 三维正交孔隙可进一步概化为正交管网见图 2(c)。

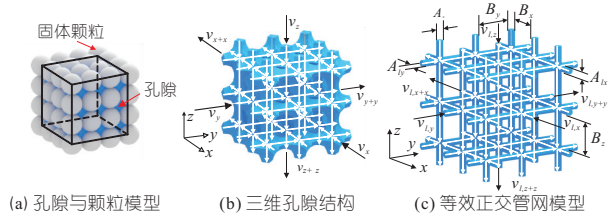


图 2 三维多孔介质的等效管网模型

Fig. 2 Equivalent pipe network model of 3D porous media

#### 3.1 等效渗流速度

根据圆管层流理论的 Hagen-Poiseuille 公式, 三维正交管网  $x, y, z$  三个方向渗流速度  $v_{l,x}, v_{l,y}, v_{l,z}$  可表示为:

$$v_{l,x} = k_{l,x} \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{gr_x^2}{8\nu} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (7)$$

$$v_{l,y} = k_{l,y} \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{gr_y^2}{8\nu} \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (8)$$

$$v_{l,z} = k_{l,z} \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{gr_z^2}{8\nu} \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (9)$$

式中,  $k_{l,x}, k_{l,y}, k_{l,z}$  分别为  $x, y, z$  三个方向的渗透系数, 分别等于  $gr_x^2/(8\nu), gr_y^2/(8\nu), gr_z^2/(8\nu)$ ;  $r_x, r_y, r_z$  分别为  $x, y, z$  三个方向的等效水力半径;  $\nu$  为运动粘滞系数。

#### 3.2 等效水力半径

在同等水力梯度作用下, 不论是均质连续介质模型或等效管网模型, 各方向进出流量必须保持相等。因此, 基于流量等效原理, 均质连续介质模型和等效管网模型在  $x$  方向上的流入总流量可表示为:

$$q_x = v_x \Delta y \Delta z = k_x \Delta y \Delta z \partial \phi / \partial x \quad (10)$$

$$q_x = v_{l,x} A_{l,x} N_y N_z = \frac{\pi gr_x^4}{8\nu} \frac{\partial \phi}{\partial x} N_y N_z \quad (11)$$

其中

$$N_y = \Delta y / B_y \quad (12)$$

$$N_z = \Delta z / B_z \quad (13)$$

式中,  $\Delta y, \Delta z$  分别为单元控制体  $y, z$  方向的长度;  $A_{l,x}$  为  $x$  方向的管道截面面积;  $N_y, N_z$  分别为控制体内  $x$  方向管道的行数和列数。

将式(12)、(13)代入式(10)、(11)可知:

$$r_x = \left( \frac{8\nu}{\pi g} B_y B_z k_x \right)^{1/4} \quad (14)$$

同理:

$$r_y = \left( \frac{8\nu}{\pi g} B_x B_z k_y \right)^{1/4} \quad (15)$$

$$r_z = \left( \frac{8\nu}{\pi g} B_x B_y k_z \right)^{1/4} \quad (16)$$

式中,  $B_x, B_y, B_z$  分别为  $x, y, z$  方向两根相邻管道之间的间距;  $A_{l,y}, A_{l,z}$  分别为  $y, z$  方向的管道截面面积。

### 3.3 等效连续性方程

对于  $x$  方向管道,垂直管道壁面方向流速为 0,即  $v_{l,y}=0, v_{l,z}=0$ ,代入式(1)可得:

$$\partial v_{l,x} / \partial x = 0 \quad (17)$$

对于  $y$  方向管道,垂直管道壁面方向流速为 0,即  $v_{l,x}=0, v_{l,z}=0$ ,代入式(1)可得:

$$\partial v_{l,y} / \partial y = 0 \quad (18)$$

对于  $z$  方向管道,垂直管道壁面方向流速为 0,即  $v_{l,x}=0, v_{l,y}=0$ ,代入式(1)可得:

$$\partial v_{l,z} / \partial z = 0 \quad (19)$$

### 3.4 等效管网模型的一维形式

如图 3 所示,对任意管单元  $ij$  建立局部坐标

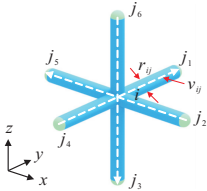


图 3 局部坐标系下的管单元

Fig. 3 Tube element in local coordinate system

系  $l, i, j$  为管单元的两个端点,结合式(7)~(9)管单元  $ij$  的流速可统一写成:

$$v_{ij} = k_{ij} \frac{\partial \phi}{\partial l} = \frac{gr_{ij}^2}{8\nu} \frac{\partial \phi}{\partial l} \quad (20)$$

式中,  $v_{ij}$  为管单元  $ij$  中水的流速;  $k_{ij}$  为水在管单元  $ij$  中的渗透率。

管单元  $ij$  中水的流动应满足连续性方程:

$$\partial v_{ij} / \partial l = 0 \quad (21)$$

由于管单元节点  $i$  本身不具备储水能力,根据质量守恒定律,节点  $i$  的总流量的代数和为 0,即:

$$\sum_{j=1}^m A_{ij} v_{ij} = 0 \quad (22)$$

管网模型的边界条件则表示为:①水头边界条件:

$$\phi_i = \bar{\phi} \quad (23)$$

式中,  $\phi_i$  为节点  $i$  的总水头。②流量边界条件:

$$q_n = A_{ij} v_{ij} = \bar{q} \quad (24)$$

③溢出面边界条件:

$$\phi_i = z_i, q_{ij} \leq 0 \quad (25)$$

④自由面边界条件:

$$\phi_i = z_i, q_{ij} = 0 \quad (26)$$

## 4 有限元数值求解格式

基于等效管网模型,有自由面三维稳定渗流分析的有限元数值求解格式可表述为:求解一个满足控制方程的函数  $\phi$  的自由面渗流问题转变成

求泛函  $I(\phi)$  的极值问题,即处理下列方程的解:

$$\frac{\partial I}{\partial \phi_i} = \sum_{\Omega} \int_{l_{ij}} H_{\lambda}(\phi - Z) \frac{\pi gr_{ij}^4}{8\nu} \frac{\partial \phi}{\partial l} \frac{\partial}{\partial \phi_i} \left( \frac{\partial \phi}{\partial l} \right) dl + \sum_{i \in \Gamma} q_{ij} \frac{\partial \phi}{\partial \phi_i} = 0 \quad (27)$$

写成矩阵形式为:

$$\mathbf{K} \phi^{\eta+1} = q^{\eta} \quad (28)$$

其中

$$\mathbf{K} = \sum_{\Omega} \int_{l_{ij}} \mathbf{B}^T \frac{\pi gr_{ij}^4}{8\nu} \mathbf{B} dl \quad (29)$$

$$q^{\eta} = \mathbf{K}_{\lambda} \phi^{\eta} \quad (30)$$

$$\mathbf{K}_{\lambda} = \sum_{\Omega} \mathbf{K}_{\lambda}^e \quad (31)$$

$$\mathbf{K}_{\lambda}^e = \int_{l_{ij}} [1 - H_{\lambda}(\phi^{\eta} - Z)] \mathbf{B}^T \frac{\pi gr_{ij}^4}{8\nu} \mathbf{B} dl \quad (32)$$

$$\phi = \{ \phi_1 \ \phi_2 \ \dots \ \phi_N \} \quad (33)$$

式中,  $\eta, \eta+1$  为迭代步数;  $N$  为整个区域的节点总数;  $\mathbf{K}$  为整体水力传导系数矩阵;  $\mathbf{K}_{\lambda}, \mathbf{K}_{\lambda}^e$  分别为局部单元矩阵和整体惩罚水力传导系数矩阵。

由此可知,  $\mathbf{K}$  与罚参数无关,但  $\mathbf{K}_{\lambda}$  与罚参数有关。

采用 ZHENG H 等<sup>[5,6]</sup> 提出的互补算法来消除溢出点的奇异性,将自由面边界转化为自然边界,保证自由面在迭代过程中获得较好的收敛性。收敛准则为:

$$\| \phi^{n+1} - \phi^n \| \leq \delta \| \phi^n \| \quad (34)$$

式中,  $\delta$  为收敛精度,取  $\delta = 10^{-3}$ 。

## 5 算例验证与分析

### 5.1 均质直角梯形坝

图 4 均质直角梯形坝高 5 m,下底为 7 m,上底为 2 m,宽为 1 m,坡脚为 45°。上、下游水位分别为 5.1 m,坝底边界不透水,渗透系数为 1 m/d。

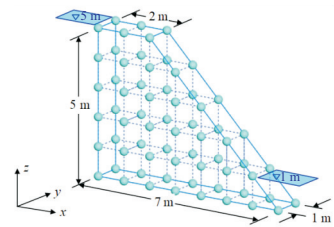


图 4 均质直角梯形坝的等效管网模型

Fig. 4 Equivalent pipe network model of homogeneous rectangular trapezoidal dam

图 5 给出了等效管网模型  $B_x = B_y = B_z = 0.1 \text{ m}, \lambda = 0.1$  的自由面分布,对比表明,等效管网模型的自由面分布与 LACY S J 等<sup>[7,8]</sup> 的预测结果基本一致。计算结果在 6 步内得到收敛。

为进一步探讨管网间距对自由面形态影响,采用三种管网间距 ( $B_x = B_y = B_z = 0.1, 0.2,$

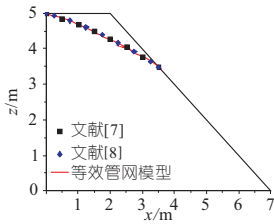


图 5 均质直角梯形坝的自由面分布

Fig. 5 Free surface distribution of homogeneous rectangular trapezoidal dam

0.25 m), 其对应的等效水力半径为  $r_x = r_y = r_z = 4.2 \times 10^{-4}, 5.9 \times 10^{-4}, 6.6 \times 10^{-4}$  m。图 6 中三种管网间距的自由面整体趋势基本一致, 表明管网间距对自由面形态的敏感性较弱。

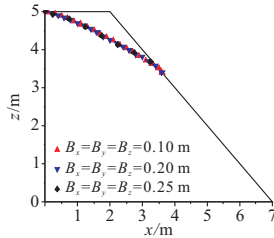


图 6 不同管网间距的自由面对比

Fig. 6 Free face ratio of different pipe network spacing

### 5.2 卡基娃水电站左岸坝肩边坡

卡基娃水电站位于四川省凉山州木里县境内的木里河上游, 坝址距木里县城约 178 km, 距西昌约 424 km。坝址处控制流域面积 6 598 km<sup>2</sup>, 多年平均流量 101 m<sup>3</sup>/s。正常蓄水位 2 850 m, 总库容 3.745 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 调节库容 2.806 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 装机容量 452.4 MW。拦河大坝采用混凝土面板堆石坝, 坝顶高程为 2 885 m, 最大坝高 171 m。

河谷呈深切略微不对称“V”型峡谷地貌, 两岸基岩裸露, 局部为陡崖地形。左岸岸坡类型为折线型, 高程 2 710~2 830 m 地形坡度 50°左右, 该段仅坡脚堆积少量崩坡积物, 其余地段基岩裸露, 以奥陶系下统人公组(O<sub>1</sub><sup>3</sup>)的第三段(O<sub>1</sub><sup>3</sup>)的板岩、千枚化板岩夹砂岩和第四段(O<sub>1</sub><sup>4</sup>)变质石英砂岩、板岩夹炭质板岩、千枚化板岩为主; 高程 2 830~2 970 m 地形坡度 30°左右, 坡面被大面积残坡积物所覆盖; 而高程 2 970 m 以上坡体出现多级宽缓台地, 坡度 10°~15°, 覆盖层较厚, 主要分布有冰水堆积(Q<sub>3</sub><sup>igl</sup>)、残坡积物(Q<sub>4</sub><sup>el+dl</sup>)、崩坡积物(Q<sub>4</sub><sup>col+dl</sup>)、洪积物(Q<sub>4</sub><sup>pl</sup>)等。

左岸坝肩边坡与 #1 泄洪洞进口、放空洞进口上方及左坝肩等重要水工建筑物临近, 其稳定性对电站施工及永久运行安全有重要影响。为验证管单元法求解左岸坝肩边坡渗流场的可行性, 对左岸坝肩及以上边坡建立了三维实体模型和等效

管网模型, 见图 7。模型的坐标系原点位于地质剖面 1-1 上最高高程的西北方向的地下 230 m 处。x 轴正方向为横河向, y 轴正方向为顺河向, z 轴正方向为垂直向上的。模型的计算范围为垂直方向取 260 m (高程为 2 876~3 025 m), 顺河向取 290 m, 横河向取 368.7 m。根据查阅地质资料和现场试验的结果, 左岸坝肩及以上边坡主要包含覆盖层、基岩两种材料, 对应的渗透系数为  $k_1 = 6.43 \times 10^{-6}$  m/s,  $k_2 = 1.5 \times 10^{-10}$  m/s。

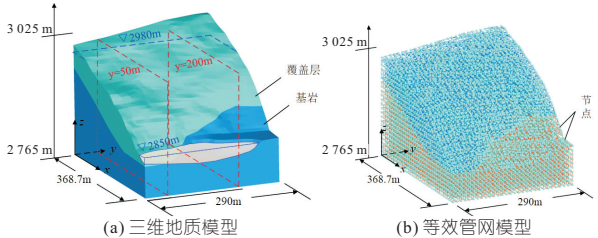


图 7 卡基娃水电站左岸坝肩边坡模型

Fig. 7 Model of abutment slope on the left bank of Kajiwa Hydropower Station

三维渗流分析的边界条件为: 边坡上游水头约为 2 980 m, 河道水头为 2 850 m, 假设两侧边界和底部边界均为不透水边界, 边坡坡面为潜在溢出边界。

为验证等效管网模型的准确性, 根据连续介质渗流模型, 基于 ZHENG H 等<sup>[5,6]</sup> 提出的 Signorini 型变分不等式方法求解稳态渗流场, 采用四面体单元对左岸边坡模型进行有限元离散, 共划分单元 22 504 个, 节点 4 981 个。

图 8 分别给出了典型剖面 y = 50、200 m 的压力水头云图。由图 8 可知, 等效管网模型与连续介质模型的数值结果基本一致。图 9 为 y = 50、200 m 剖面的自由面分布。由图 9 可看出, 等效管网模型的计算自由面与连续介质模型吻合较

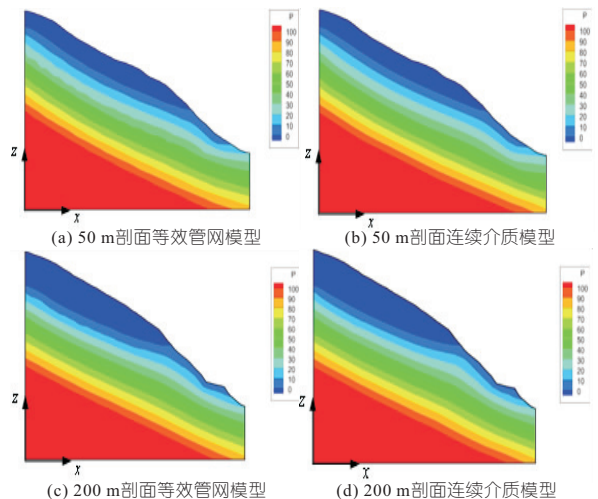


图 8 y = 50、200 m 剖面的压力水头分布对比图  
Fig. 8 Comparison of pressure head distribution in y = 50 m and 200 m profile

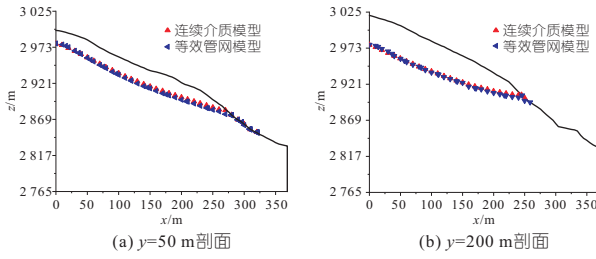


图 9 典型剖面的自由面分布

Fig. 9 Free surface distribution of a typical section

好。由于  $y=200\text{ m}$  剖面底部基岩裸露，基岩渗透性较弱不利于坡体排水， $y=200\text{ m}$  剖面溢出点高程相对较高。需要指出的是，变分不等式方法的收敛迭代步数仅为 6，而等效管网模型的收敛迭代步数仅为 3，说明等效管网模型对复杂渗流问题求解具有较高的计算效率。

## 6 结论

a. 通过将多孔介质的孔隙结构等效为三维正交管网，基于水头和流量等效原则，推导了管网模型的等效渗流速度、连续性方程及边界条件。结合局部坐标系、连续型罚 Heaviside 函数及变分原理，建立了有自由面三维稳定渗流的等效管网模型，将三维渗流问题简化成一维问题，从而大大减小了自由面求解难度。

b. 对均质直角梯形坝进行稳定渗流分析，计算结果与其他研究结果基本吻合，验证了等效管网模型的有效性。等效管网模型在不同网格间距条件下均可获得准确的自由面分布，揭示了等效管网模型对网格间距的依赖性较低。

c. 通过开展卡基娃水电站左岸坝肩边坡的

稳定渗流分析，与连续介质模型的计算结果对比分析，等效管网模型很好地反映了卡基娃水电站左岸坝肩边坡渗流场特征，对于三维复杂工程渗流问题具有较强的适用性较高的计算效率。

### 参考文献：

- [1] 许强,张登项,郑光. 锦屏 I 级水电站左岸坝肩边坡施工期破坏模式及稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(6): 1183-1192.
- [2] XU Z, MA G, LI S. A graph-theoretic pipe network method for water flow simulation in a porous medium: GPNM[J]. Int. J. Heat Fluid Fl., 2014, 45: 81-97.
- [3] REN F, MA G, WANG Y, et al. Pipe network model for unconfined seepage analysis in fractured rock masses [J]. Int. J. Rock Mech. Min., 2016, 88: 183-196.
- [4] YE Z, QIN H, CHEN Y, et al. An equivalent pipe network model for free surface flow in porous media [J]. Applied mathematical modelling, 2020, 87. Doi: 10.1016/j.apm.2020.06.017.
- [5] ZHENG H, LIU D, LEE C F, et al. A new formulation of Signorini's type for seepage problems with free surfaces [J]. Int. J. Numer. Meth. Eng., 2005, 64: 1-16.
- [6] 陈益峰, 卢礼顺, 周创兵, 等. Signorini 型变分不等式方法在实际工程渗流问题中的应用 [J]. 岩土力学, 2007, 28(增刊 1): 178-182.
- [7] LACY S J, PREVOST J H. Flow through porous media: a procedure for locating the free surface [J]. International journal for numerical and analytical methods in geomechanics, 1987, 11(6): 585-601.
- [8] ZHENG H, DAI H, LIU D. A variational inequality formulation for unconfined seepage problems in porous media [J]. Appl. Math. Model, 2009, 33: 437-450.

## An Equivalent Pipe Network Model for Three-Dimensional Steady Seepage with Free Surface

CHEN Yu-ting<sup>1</sup>, LI San-qi<sup>2</sup>, YUAN Qian-feng<sup>2</sup>

(1. Changjiang Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan 430010, China; 2. School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** Geotechnical engineering generally involves three-dimensional steady seepage problem with free surface. Traditional numerical methods for solving free surface are based on the assumption of continuum, and the pore flow is averaged over the whole area containing solid particles. In fact, water flow can only occur along the pores of porous media. Based on the equivalent principle of head and flow, the equivalent seepage velocity, continuity equation and boundary conditions of the pipe network model were derived by simplifying the pore structure of porous media into a three-dimensional orthogonal pipe network. Based on the local coordinate system, continuous penalty Heaviside function and variational principle, a three-dimensional steady seepage analysis method with free surface was established for equivalent pipe network model. Thus, the three-dimensional seepage problem was simplified to a one-dimensional form, which greatly reduces the difficulty of solving the three-dimensional steady seepage problem with free surface. The effectiveness of the equivalent pipe network model was verified by the three-dimensional free surface seepage analysis of homogeneous right-angle trapezoidal dam. The three-dimensional steady seepage analysis of the left abutment slope of Kajiwa Hydropower Station was carried out. By comparing with the variational inequality method, the equivalent pipe network model can well reflect the seepage field characteristics of the left abutment slope of Kajiwa Hydropower Station, and has strong applicability and high computational efficiency for the seepage problem of 3D complex engineering.

**Key words:** free surface; steady seepage; equivalent pipe network; Kajiwa Hydropower Station