岩体渗流影响因素分析

朱益军 杜时贵
（浙江工业大学，杭州，310014）

提 要 工程岩体的赋存环境诸如地应力、温度、渗流条件之间存在着相互作用与影响．本文对岩体渗流主要影响因素进行了概括分析。

一 概 述

近几年来，随着水利、交通、市政、建筑工程等领域大型工程的广泛兴起，结合隧道工程、水库工程、矿坑排水、核废料埋藏等课题的研究，使裂隙渗流研究进展很快。大量的工程实践表明，工程岩体的渗透性与岩体稳定性的评价和处理方案密切相关,岩体渗流影响因素的分析是建立岩体裂隙渗流模型的前提和基础。结构面作为工程岩体的基本组成部分，它是长期的地质历史发展过程中，在岩体中形成的具有一定方向、规模、形态和特性的面、缝、层和带状的地质界面[1]。岩体渗流本质上就是结构面及其网络的渗流。

二 影响渗流的基本因素

1．岩性对岩体的渗流影响

岩体是由岩块和结构面组成的地质体，是一种具颗粒间孔隙和岩块间裂隙通道的介质，也是一种具有双重孔隙性的水文地质介质。鉴于孔隙渗透性与裂隙渗透性的比较，构成岩体的岩块可分为可渗介质与不可渗介质，并将岩体系统分成裂隙网络系统(忽略岩块中的渗流，仅在裂隙网络中发生渗流)、狭义双重介质和广义双重介质[2]。狭义双重介质把岩体看作是由非连续的裂隙网络和具各向同性的孔隙岩块组成的介质；而广义双重介质则把岩体看作由非连续的裂隙网络和具各向异性的等效裂隙岩块组成。一些常见风化岩体和岩石的渗透系数见表 1。

2. 岩体结构对渗流的影响

岩体渗流本质上是不连续面及其网络的渗流，岩体渗透性问题实质就是裂隙水力学问题。岩体结构面产状、分布频率、结构面贯通性与持续性、节理的粗糙度和张开度等对岩体裂隙的渗流具有极其重要的影响。目前实践中广泛应用的是,利用概率。

表1 各种岩石及岩体的渗透系数

岩石类别	渗透系数(cm/s)	岩体类别	渗透系数（现场实测）(cm/s)
砂岩（白垩纪理层）	10^{-8}~10^{-10}	Glenrose砂岩	1.5×10^{-3}~1.3×10^{-4}
粉砂岩	10^{-4}~10^{-8}	蚀变花岗岩	0.6~1.5×10^{-5}
花岗岩	5×10^{-11}~2×10^{-10}	脉状花岗岩	3.3×10^{-3}
板岩	7×10^{-8}~1.6×10^{-10}	绿泥石化花岗岩	0.7×10^{-2}
角砾岩	4.6×10^{-10}	片麻岩	1.9×10^{-5}~1.2×10^{-3}
方解石	7×10^{-10}~9.3×10^{-8}	伟晶花岗岩	0.6×10^{-2}
缅状灰岩	1.3×10^{-6}	褐煤层	1.7×10^{-2}~23.9×10^{-2}
Bradfor砂岩	2.2×10^{-5}~6×10^{-7}	砂岩	10^{-2}

统计的方法，建立裂隙各参数的概率模型，然后利用蒙脱卡洛模拟原理，得出裂隙参数概率模型的岩体裂隙网络图，并在此基础上进行裂隙连通性分析，得出岩体裂隙的连通网络图，以此作为估算岩体渗透性的依据。本文这里侧重介绍张开度、节理频率和结构面连通性对渗流的影响：

(1)张开度节:理张开度又称隙宽，是指一个张开的节理两相邻岩间的垂直距离，主要由空气和水充填。张开度的数值差异很大，一般可达几个数量级。而且，节理张开度与节理的规模和力学成因密切相关。节理规模越大，张开度越宽；张性或张剪性节理张开度较大，而压性或压剪性节理张开度较小[3]。节理张开度的大小及其分布形式，影响和控制着节理的摩擦因素，内聚力和渗透特征，并实质上反映出节理的力学属性和所受应力状态及其岩石强度。

研究发现，节理的张开度与岩体渗透性存在着重要的内在联系，其对裂隙的导水系数起着决定性的作用，Snow[4] (1969)认为：

$$K=K_0+[R_n(2t)^2/S](P-P_0) \tag{1}$$

式中 K_0 在初始应力 P_0 下的渗透系数

S 节理间距

R_n 节理法向法度

t 节理实际张开度

P、P_0 节理法向应力及节理初始法向应力

(2)结构面间距:结构面间距和密度是表示岩体中结构面发育的密集程度的指标。实践证明，裂隙的发育程度对岩体渗透性研究具有举足轻重的作用。对裂缝发育、岩体破碎或岩块透水性强的岩体而言，常沿用传流的各向可渗的连续介质方法来研究岩体的透水性；对岩块透水性低，节理裂隙不发育的岩体而言，应采用非各向可渗的离散介质方法来研究其透水性。Maini 认为，若岩体中节理间距与构筑物尺寸之比大于 1/20，则用离散介质法，反之用连续介质法。Wilson 则认为，如果岩体中最大节理间距与构筑物的尺之比大于 1/50，采用离散介质法，否则用连续介质法。

(3)结构面连通性: 结构面连通性是指结构面与含水体或地表相连通或不同结构面组组

合交切而形成通道的特性，可分为非连通性和连通性两种情况。由于连贯通性结构面一般不含水或无法构成渗流通道，或者即使含水也不参与渗流、循环和交替，所以在渗流计算中一般不予考虑。由此可见，连通性结构面才是渗流分析的关键性影响因素，这类结构面与地表或浅部的含水体相通，是岩体内渗流的主要通道。

3. 应力条件对渗流的影响

近几年来，从岩体稳定性的观点出发,研究工程荷载作用下岩体渗透性的变化越来越受人们所重视。工程开挖后，由于围岩应力重新分布引起的岩体渗透系数变化一般可以从三方面因素来考虑：(1)天然应力和重分布应力的作用，使致密岩石裂隙化；(2)开挖引起作用于围岩中的天然应力改变，使已有的裂隙张开或闭合；(3)开挖引起的卸荷导致原生晶面松弛。

研究表明，在应力条件改变时，岩体的渗透性变化很大(图 1)：水库蓄水后，随水库蓄水水位的增高，岩体的渗透系数可增大 1~2 个数量级,并随着岩体埋深的增加进而降低；对于隧道围岩来说，围岩压力增大，裂隙数目和隙宽都会相应减小，进而岩体的渗透性降低。另外， 裂隙也可以随着循环荷载作用次数增加而趋于闭合，渗透性降低(图 2)。

4. 温度对渗流的影响

岩体中地下水渗流场分布是指围岩体中地下水渗流运动状态(地下水水头)的瞬时总和。而通常又把人类工程活动涉及的岩体内的温度分布和热状态称为岩体温度场。一般情况下，岩体中地下水渗流场与岩体中的温度场处于一种稳定分布状态，且二者之间的相互影响作用构成一种动态平衡体系。大量的生产实践和理论研究表明，

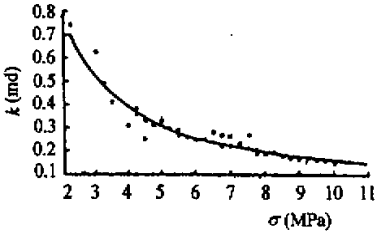


图 1 渗透系数与等效法向应力关系

工程岩体内温度场与渗流场之间在一定程度上存在耦合作用[5]，主要表现为以下两个方面：

(1)当岩体中有渗流发生时，地下水的渗流运动促成了岩体内热能以对流的方式发生转移，促进岩体内温度场的重分布。

(2)岩体内温度场的变化，由于温差导致热应力的分布，并通过力学作用和力学性质改变岩体的结构特征，从而影响了岩体的渗透性能和地下水的渗流特性。

最后，当结构面内有充填物时，其渗透系数应取决于充填物渗透性。一般而言，充填物渗透性远比围岩岩石渗透性高。

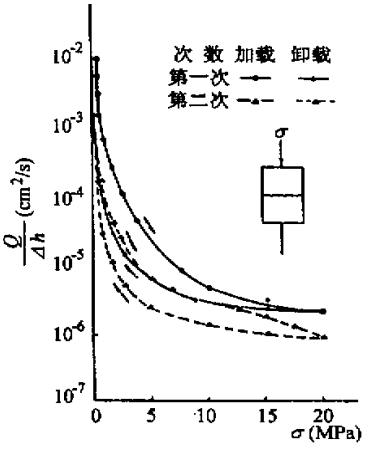


图 2 渗透系数与循环荷载间关系图

三 结论及建议

(1)影响岩体渗流的因素是多方面的。岩体的岩性对渗流具有一定的影响，岩块中孔隙结构和裂隙渗流特点的差异比较是对岩体系统进行分类的重要依据。在岩体渗流的研究中，岩体系统可以分成裂隙网络系统、狭义双重介质和广义双重介质。

(2)在岩体渗流的分析中，岩体结构和结构面上的正应力状态是关键的控制因素，是建立岩体裂隙模型的重要前提和基础。岩体的结构面特征直接控制和影响着工程岩体渗流的特征，应力对工程岩体渗流的影响则要通过对岩体结构特征的改变而体现出来。

(3)目前，工程岩体渗透性的研究均基于各种假设的基础之上，并取得了一定的成果。然而，由于实际工程岩体所赋存地质环境的复杂性和其所诱发地质灾害的多变性，从而有必要对工程岩体渗流进行整体系统分析。

(4)实践中遇到的渗流由于岩体裂隙的不连续性，交叉点的偏流效应，裂隙的连通性和充填物等因素的影响，所得结果与实际情况总有所出入。因此，工程岩体赋存地质环境中各个因素之间相互影响作用分析还将有待于得到进一步的探索与研究。

参考文献

[1] 孙广忠：《岩体结构力学》，科学出版社，1988。

[2] 仵彦卿：《岩体水力学基础（五）》，见《水文地质工程地质》，1997，5，41~45。

[3] 徐光黎：《节理张开度水力学分析》，见《勘察科学技术》，1993，(2)，3~7。

[4] Snow, D.T., Anisotropic permeability of fractured media, Water Resour, Rer., 1969, 6.

[5] 黄涛、杨立忠等：《工程岩体地下水渗流-应力-温度耦合作用数学模型的研究》，见《西南交通大学学报》，1999，2，11~15。