

西南交通大学

硕士学位论文

齐岳山隧道涌水量预测的研究

姓名： 邬强

申请学位级别： 硕士

专业： 建筑与土木工程

指导教师： 郑黎明;杜兴国

20060401

摘 要

涌水灾害是隧道建设中倍受关注的问题之一，随着隧道设计水平、施工技术 & 机械的更新提高，大量隧道乃至特长大埋深越岭隧道设计方案的运用而生，使这一问题变得日益突出和迫切需要解决。

本文结合宜万铁路齐岳山隧道的工程地质情况，深入研究了岩溶隧道涌水的条件及影响因素，提出含水围岩能量的储存和释放性能、水动力性能和围岩稳定性能等是隧道涌水发生的必要条件，同时它们也决定了涌水的规模和强度。在此理论分析基础之上，较全面的分析了隧道涌水量预测的理论和方法，研究和比较了各种方法的优缺点及适用范围。

针对齐岳山隧道隧址区岩溶发育特征、岩溶水的运动规律，本文选用了水均衡法、水文地质比拟法、水文分析法和灰色关联度分析和灰色虚拟变量多元回归法对该隧道涌水量的进行了预测。与此同时，结合现场情况，对于公式中的相关参数进行修正，确保了涌水量预测的准确性和可靠性。最后，通过所选用预测方法的预测结果比较，选择出了恰当的预测涌水量，并提出了相应的整治措施和方案。

本论文研究结果对于齐岳山隧道以及其他岩溶隧道的涌水量预测具有一定的参考意义。

关键词 齐岳山隧道 岩溶 涌水量预测 水均衡法 水文地质比拟法
灰色关联度分析

Abstract

Water-gushing is one of most attentive problems in tunnel construction. With the development of tunnel's design, construction technology and mechanism, many design schemes for long distance and deep buried tunnels are made, which will cause this problem more and more prominent and imminently to be solved.

In this paper, combined with the geological condition of Qiyueshan tunnel in Yi-Wan Railway, the qualification and influencing factors of occurrence of water-gushing in karst tunnel are deeply studied. It presents that the capability of energy stockpile and release in water-bearing surrounding rock, hydrodynamic capability, and the stabilization of surrounding rock and so on are all the necessary conditions of occurrence of water-gushing in tunnel, and they also decide the scale and intensity of water-gushing. Based on this theoretically analyzing, the theory and method of estimation of water-gushing are studied comprehensively. At the same time, the advantage, disadvantage and applying rang of variety forecasting methods are studied and compared.

Aimed at the karst developing character and the karst water moving rule in the area of Qiyueshan tunnel, method of infiltration coefficient of precipitation, modulus method of groundwater runoff, method of hydrogeological analogy and method of grey incident degree analysis and grey dummy variable multiple regression analysis are adopted to calculate and forecast the water-gushing amount. Incorporated with location condition, correlation parameters have been corrected to ensure the forecast accuracy and reliability. At last, comparing with the four methods forecasting results, the estimation of appropriate water-gushing amount has been adopted, and corresponding solutions have been advised.

The studied result has referenced effect on the estimation of water-gushing amount of Qiyueshan tunnel and other tunnels.

Key Words: Qiyueshan tunnel, karst, estimation of water-gushing amount, method of hydrogeological analogy, method of grey incident degree analysis

第 1 章 绪论

1.1 研究意义

隧道是交通线上重要的组成部分。所谓隧道,是指一种修建在地层中的地下工程建筑物。它被广泛地应用于公路、铁路、矿山、水利、市政和国防等方面。涌水灾害是隧道建设中倍受关注的问题之一,随着隧道设计水平、施工技术 & 机械的更新提高,大量隧道乃至特长大埋深越岭隧道设计方案的运用而生,使这一问题变得日益突出和迫切需要解决。

隧道涌水是隧道工程施工中,围岩含水层的地下水在水头压力和其它压力的综合作用下,克服了隔水层、断层、裂隙带等的阻力,以突然的方式涌入隧道的现象,因而又称之为突水。如果地下水携带有大量泥砂,或饱水的泥砂突然涌入隧道,则称之为突泥。突泥可以看成为突水的伴生现象。因此,突泥的关键仍是涌水,没有地下水作为动力和载体,突泥是不可能发生的^[10]。

由于涌水突泥的发生常在施工的意料之外,往往造成施工人员措手不及。特别是隧道中施工场地空间有限,使涌水突泥的处理难上加难。因此,涌水突泥给隧道施工,甚至运营带来了极大的危害。轻则掩埋、淹没设备、堵塞坑道,重则造成人身伤亡,影响施工进展,使铁路、公路等工程建设蒙受巨大损失^{[13][27]}。如在建的圆梁山隧道中段发生涌水突泥,淹没了坑道及设备,造成了人员伤亡,严重影响了隧道施工^[27]。又如日本青涵海底隧道涌水,使正洞被淹数十米,掌子面塌方体 1000 方左右,经过数月才掘进通过涌水段^[15]。涌水的存在,不仅堵塞坑道、淹埋设备,给隧道施工带来了巨大的困难,严重者还会造成人员伤亡。若施工时对隧道涌水认识不足,防排和处理措施不当,还会不同程度地影响隧道建成后的正常运营。因此,加强隧道涌水突泥的研究,对保障隧道和施工、施工地质超前预报、拟定有效的整治措施以及隧道的安全运营,均有非常重要的意义^[8]。

国内外对隧道水文地质条件的研究历来较重视。一般情况下,隧道水文地

质研究首先应查明隧道所在水文地质单元内地下水补给、径流、排泄规律,确定隧道水文地质类型和主要充水来源、充水途径,进而计算隧道涌水量,为隧道施工过程中疏干排水方案设计提供科学依据。其中,隧道涌水量计算及预测是隧道水文地质研究的重要内容^[7]。

正是由于涌水灾害的危害性和突然性,使得隧道施工设计对这类地质灾害加大了研究和防治力度。隧道涌水量预测,是一个复杂的水文、工程地质问题,它关系到隧道方案的工程设计、施工条件、工程造价、养护条件和运营安全。当长、特长隧道必须通过岩溶发育地带,即为岩溶隧道时,则有可能发生严重的涌突水问题。对岩溶隧道涌突水灾害的评价,主要涉及到涌突水量的预测预报^[35]。

1.2 国内外研究现状存在问题

隧道地下水涌水的预测是从定性分析开始的。最早的预测只是通过查明隧道含水围岩中地下水的分布及赋存规律,分析隧道开挖区的水文地质及工程地质条件,依据钻探、物探、水化学及同位素分析、水温测定等手段,确定地下水的富集带或富集区,以及断裂构造带、裂隙密集带等可能的地下水涌水通道,并且用均衡法估计隧道涌水量的大小。随着技术水平和施工要求的提高,基于定性分析的隧道涌水预测研究发展成为隧道涌水的定量评价和计算。主要体现在隧道涌水位置的确定和涌水量预测这两个方面^{[5][12]}。

在隧道涌水位置的确定方面,人们通过对隧道围岩水文地质及工程地质条件的定性分析,发展了随机数学方法和模糊数学方法。在涌水量预测问题上,人们根据隧道环境地下水所处地质体的不同性质、水文地质条件的不同复杂程度、施工的不同方式及生产的不同要求等因素,提出了隧道涌水量预测计算的确定性数学模型和随机性数学模型两大类方法。其中确定性数学模型方法包括水文地质类比法(比拟法、径流模数法)、水均衡法、解析法和数值模拟法等。

在二十世纪六十年代中期以前,水文地质类比法、水均衡法、解析法比较常用。解析法是运用地下水动力学原理,以数学分析的方法,对一定边界条件和初始条件下的地下水流动问题建立定解公式,然后,应用这些公式预测隧道涌水量。Muskat (1937)首次利用解析法解出了地下水流问题的一系列解析解,

后来由 Hantush 及 Jacob (1955)扩展了解析法的概念用来处理从弱透水层越流补给入含水层的水量^[17]；再后来 Polubarinova-Kochina (1962)及 Hantush (1964)等人也分别在自己的著作中论述了该方法。Carslaw 及 Jaeger(1959)的著作中收编了大量用于热流的表达式，这些方法可以在大多数情况下直接应用于求解隧道涌水量^[42]。

在此之后，由于解析法等难以描述非均质含水层中和复杂条件下的地下水运动规律，并且随着快速大容量电子计算机的出现和广泛使用，数值算法(主要有有限差分法和有限单元法)在地下水计算中得到推广，解决了非稳定流解析法计算中难以解决的复杂条件下的水文地质计算问题。1965 年由斯托尔曼(1956)将数值方法引入地下水水文学，并提出了一种用对承压水进行数值分析以确定含水层渗透系数的方法^[18]；Klute (1965)等人用一种迭代数值方法以解非线性水流方程；Liakopoulos (1965)把隐式交替方向法用于同时通过孔隙介质的水和空气一维流问题，并假定与流体压强和含水量相关的函数以及渗透系数和压强相关的函数是已经确定的，使问题大大简化^[19]；鲁宾(1968)将迭代交替方向法用于水平入渗及渠道渗漏研究中的非稳定状态不饱和水流；Fiering(1964)首次利用数值法计算地下水含水层对抽水的反应，他采用了迭代隐式方法及从质量平衡推导出来的有限差分近似方程组^[20]。Eshett 及 Lonffenbaugh (1965)采用高斯消去法来解一个均质各向同性含水层中水流的基本二维非线性二阶偏微分方程的有限差分近似解。该模型可以用来处理具有不透水侧向边界或者诸如河流式的定水头边界的潜水含水层；比廷杰等人(1967)简要地描述了数值模型的数学原理以及用来解产生的代数方程的各种计算方式，并描述了可能遇到的各种边界条件。Meiri(1985)基于地下水非稳定流理论，运用有限单元法，提出地下水自由流动的计算模型^[16]。美国 Heuer(1995)根据钻孔水压力试验结果，运用半经验方法预测隧道涌水量^[14]。

二十世纪 80 年代初，我国出版了几本有关地下水流动问题数值方法的专著，它们对推广数值方法在水文地质中的应用起到了积极的作用，在应用中发展很快，但是主要采用一维或二维流(平面流)地下水运动原理^[40]。

到了 90 年代初期，在国内出现地下水三维流原理和模型报道，一些水文地质学界专家和学者对此作了一些初步的研究和探索，如长春科技大学宿青山教授在大庆市和哈尔滨市小范围内应用地下水三维模拟和优化管理模型，并取

得了良好的成效。目前国内许多高校和科研单位, 广泛开展了地下水三维流理论和应用的研究。

在国外, 地下水流三维模拟和优化管理模型理论和三维有限差数值求解方法发展迅速, 在实际应用方面, 也开发研制出功能强大的相应专业系统软件, 如 REMAX 管理系统软件。地下水管理软件(REMAX)包括: 地下水三维模拟软件(Modflow)、模拟模块(Simulation)、预优化模块(Pre-optimization)、优化模块(Optimization)、分析模块(Analysis)五部分, 可以根据研究区具体的水文地质特征, 确定模型区范围和剖分计算单元, 选择利用 Modflow 软件系统中的软件包, 按照固定格式和要求输入数据文件。首先利用 Modflow 软件来进行模型识别和验证, 直到模型拟合较好, 再根据具体的管理方案来确定管理目标和约束条件, 输入相应的控制文件和参数, 逐步运行 REMAX 软件四大模块, 就会得到满意的结果^[41]。

在确定性模型中, 为了能够求解, 方程式中的变量不能考虑太多, 常常人为地把某些因素加以删减或简化。有时由于认识上的错误, 还会把主要因素遗漏掉, 这必然会给确定性模型的应用带来一定的局限性。特别在一些研究程度较低、地质、水文地质条件尚未全面了解的隧址区, 要建立预报隧道涌水量确定性模型非常困难^[39]。在这种情况下, 可以运用概率统计方法来分析隧道涌水量的影响因素, 以区别主要影响因素与非主要影响因素, 由此建立的随机模型比勉强建立的确定性模型更切合实际情况。这类方法主要包括“黑箱(Black Box)”理论法、灰色系统理论法、时间序列分析法和频谱分析法等^[29]。

布鲁克斯(Brooks, 1961) 和辛(Singly 1969)推导出特定非线性问题的解析解, Cooper 与 Rorabaugh(1963), Glover(1967), Venetis(1971), Hall 与 Moench(1972) 通过对方程式的线性化求得随机模型的确定性解具有代表性方法; Singh(1969); Horberger 等(1970)在他们的著作中论述了几种非线性裘布依方程的数值解法。然而在某些情况下, 含水层性质的空间变化在含水层对各种输入的响应方面具有重要影响。布耶维奇等人(Buyevich, et al •, 1969)分析了多孔介质中的渗流与随机变化的孔隙度的关系问题; 埃里克逊(1970)和杰克逊等人(Jackson, et al •, 1973)将谱分析用于地下水水位、降水量和温度等时间序列的定性解释方面。随机模型经过国内外学者近二、三十年的发展, 取得了很大的成果。白从 G. E. P. Box 和 G. M. Jenkin 于 1970 年写了《Time series Analysis: Forecasting and Control》

一书后, 时间序列分析就逐渐应用于电信、水电、气象、水文等系统, 以后 Hipel, Meleod, Sala, Akikew 等人对模型识别、参数估计、诊断检验等方面的研究进一步完善了时间序列分析^[24]。由中国学者邓聚龙在 1982 年首创的灰色系统理论, 在科学上有较大突破, 受到国内外许多权威学者的重视。灰色系统理论是指部分信息清楚、部分信息不清楚的系统, 相对于黑色和白色系统而言, 它更加真实地更为广泛地反映了自然和人类社会的现象, 已在工程控制域取得了可喜的成就。在水文地质界内有人把灰色系统理论在隧道涌水量预报方面的应用作了一些尝试, 并且取得了令人满意的成果^{[30][31]}。

隧道涌水量的预测计算是水文地质学科中的一个重要的理论问题, 同时也是隧道防排水设计和施工中一个亟待解决的实际问题, 迄今为止尚无成熟的理论和公认的准确计算方法。由于岩溶隧道所处的特殊岩溶地质环境、水文地质条件的高度复杂性及受深部勘探的经济技术、施工工期等因素的限制, 用传统的隧道涌水量预测预报方法预测的隧道涌水量与实际涌水量的差异一直较大, 不尽人意。南昆铁路 98 座岩溶隧道, 勘测阶段预测的隧道涌水量与实际涌水量相差悬殊者占多数, 这些隧道发生的涌突水灾害都曾造成严重的经济损失和工期的延误^[27]。

预测的隧道涌水量与实际涌水量发生差异的主要原因是: 传统的隧道涌水量计算和预测方法多采用水均衡法、地下水动力学法(解析法)、水文地质比拟法等方法, 这些方法对客观地质和水文地质条件简化较多, 而岩溶地区水文地质条件远较基岩及第四系含水层复杂, 岩溶含水层为非均质、岩溶水径流特征为管道流或管道裂隙流, 大部分隧道, 特别是越岭隧道多数情况是位于岩溶发育的不同的水动力剖面分带或岩溶蓄水构造类型内, 决非地下水动力学法(解析法)要求的均质、层流、各向同性等条件, 边界条件的过分简化和计算时简单地套用解析法公式, 致使隧道涌水量计算结果的可靠性和准确性较低。

1.3 本论文主要研究内容

宜万铁路(原称枝(城)万(州)铁路)地处鄂西南构造侵蚀中高山区, 沟谷深切, 群峰高耸。区内广泛分布震旦系~三叠系碳酸盐岩类, 岩溶发育, 降雨丰沛, 但地面干旱缺水, 地下暗河却异常发育。宜万铁路通过岩溶地区的长、特长隧道

计 14 座，隧道涌水量超过 $10000 \text{ m}^3/\text{d}$ 的有 8 座。其中控制性岩溶隧道工程如：岩子口隧道，全长 10675 米，预测隧道正常涌水量为 $1.08 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ；花椒坪隧道，全长 10338 米，预测隧道正常涌水量为 $6.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ；齐岳山隧道，全长 10482 米，预测隧道正常涌水量为 $1.57 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，最大涌水量为 $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ；别岩槽隧道，全长 4132 米，预测隧道正常涌水量为 $1.61 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，最大涌水量为 $1.96 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 等。上述岩溶隧道涌水量的预测和计算均采用适用于初测阶段宏观估算的简易水均衡法。宜万铁路即将进入施工阶段，迫切需要研究、解决可靠度较高的岩溶隧道涌水量的预测和计算技术。

针对上述情况，本文以齐岳山岩溶隧道的涌水量预测为研究对象，主要研究了该地区岩溶发育特征、岩溶水的运动规律，在此基础上，选用了合理的方法进行了隧道涌水量的预测，为验证预测的合理性，利用了多种方法进行对比，保证了涌水量预测的合理性和科学性。

第 2 章 隧道涌水条件及影响因素

2.1 隧道地下水赋存的基本特征

据隧道区水文地质勘探,可知隧道穿越富水区段主要为岩溶水和基岩裂隙水,这两类地下水有着不同的赋存特征。

2.1.1 岩溶水的赋存特征

由于岩溶介质的控制,岩溶水赋存的最大特点是在空间和时间上的极不均匀。

在空间上,岩溶水赋存沿剖面上一般分为四个水动力带^[1]: I.垂直入渗带。位于地下水最高水位以上的包气带,主要赋存垂直下渗暂时性水流,岩溶以垂直形态的溶隙、落水洞等为主。II.垂直水平交替带。位于地下水最高水位与最低水位之间的季节变动带,主要赋存垂直下渗和水平流动的暂时性水流,枯水期以前者为主,丰水期以后者为主。岩溶以垂直和水平形态兼有,常形成间歇性地下暗河。III.水平循环带。位于地下水最低水位以下的饱水带,赋存的地下水流向当地最低侵蚀基准面。岩溶以水平发育的溶洞、暗河为主。IV.深循环带。位于局部侵蚀基准面以下的深部,地下水在水头压力作用下向远处的区域性基准面缓慢流动。岩溶以细小的溶隙和溶孔为主。另外,在剖面上,可溶与非可溶岩、或可溶性强与可溶性弱的岩层交界面附近,以及地下水面附近,岩溶水赋存较丰富。岩溶水赋存在平面上一般可分为三个区: I.垂直入渗区。位于远离河谷的分水岭地区,多发育漏斗、落水洞等垂直岩溶,降水入渗后作垂直运动,地下水水位埋深较大。II.水平运移区。位于河流中游地区,赋存的地下水水流分散,无统一的水位,因此岩溶发育成水平管道,连通性较差。III.集中排泄区。位于河流下游及河谷地区,以水平岩溶为主,溶蚀作用强烈,岩溶含水介质的渗透具有较强的非均质性和各向异性,赋存的地下水水流集中,形成统一介质的渗透具有较强的非均质性和各向异性,赋存的地下水水流集中,形成统一

一的水位，以及集中排泄的岩溶大泉。另外，在平面上断裂构造发育带、背斜轴部以及地表水体或岩溶大泉排泄区等岩溶水赋存很丰富。

在时间上，特别是在我国南方，岩溶水的水位、水量变化幅度大，变化频率高，动态响应快。这反映出赋存的岩溶水的水位、水量在时间上具有明显的不均匀性，雨季水位较高，流量很大，而枯季水位较低，流量很小。

综上所述，岩溶水的主要赋存特点是空间和时间上的不均匀性，渗透的非均质性和各向异性，以及降水灌水式的补给，管道、暗河式的径流，地下河系式的集中排泄。因此，岩溶地区隧道涌水成为一个危害很大，并且研究困难的问题^{[2][4][25]}。

2.1.2 基岩裂隙水的赋存特征

按裂隙介质的成因，基岩裂隙水可分为构造裂隙水、成岩裂隙水和风化裂隙水^[3]。构造裂隙水储存和运移在构造裂隙中，由于构造裂隙极强的方向性，并由定向展布的裂隙组构成了不均一的裂隙网络。因此，构造裂隙水的显著特征是含水介质的渗透性具有较强的各向异性和非均质性，特别在断层带中，这种特征更加显著。成岩裂隙水是储存和运移在成岩裂隙中的地下水，由于成岩裂隙是由于岩石固结和收缩而成，因此，成岩裂隙水渗透的各向异性和非均质性较构造裂隙水差，且多受到一定层位和岩性的限制。风化裂隙中储存和运移的地下水称为风化裂隙水，由于风化裂隙是构造裂隙和成岩裂隙经过多次物理、化学和生物风化作用而成，因此，后期改造使裂隙的方向性和不均一性大大减弱，所以，风化裂隙水的基本特征是含水介质的渗透性各向异性和非均质性很弱，近似于孔隙介质^[26]。

2.2 隧道涌水灾害的发生条件

在隧道掘进过程中，必然破坏含水或潜在含水围岩，揭露部分地下导水通道，使地下水或与之有水力联系的其它水体(地表水、地下暗河及溶洞等)突然涌入隧道，发生涌水突水灾害。隧道涌水是由于隧道的掘进破坏了含水层结构，使水动力条件和围岩力学平衡状态发生急剧改变，以致地下水体所储存的能量

以流体(有时有固体物质伴随)高速运移形式瞬间释放而产生的一种动力破坏现象。当涌水中有大量的固体物质(尤其是泥质物)时,称为隧道的突泥。隧道涌水突泥是否发生,需满足一定的条件,即含水围岩的能量储存性能、释放性能、水动力性能和围岩稳定性能等^[9]

2.2.1 含水围岩的能量储存条件

隧道涌(突)水(泥)发生的储能条件指能够形成大量地下水及泥砂的地质条件。岩溶、岩体中的各种破碎带(断层破碎带、节理密集带和岩性接触带)以及向斜构造盆地等部位,具有良好的富水和储水性能,常可形成水量大、水压高的地下水体。这些部位往往也是丰富的松散固体物质的来源,或本身含有大量的松散固体物质,如溶洞中的泥砂、节理裂隙中的充填物、断层破碎带中的断层岩(断层泥、断层角砾岩和糜棱岩等)等;或与之有水力联系的其它水体(地表河、湖等)中含有大量的泥、砂或碎块,发生涌水时,也会随水流一并涌入隧道。同时,这些部位也是地下水的良好运移通道,在条件具备时,其中的地下水或与之有水力联系的其它地下水体,将通过这些通道涌入隧道内。

除岩体中储存的大量地下水体具有较高静水压力外,其它应力的综合作用也会使岩体储存较大的能量。包括:①岩体的结构体(骨架)在静水压力、构造应力和重力等作用下产生的应变能;②静水压力等对地下水体压缩产生的应变能;③在高水头压力作用下,地下水产生的运动势能。一旦能量达到一定程度在隧道开挖过程中,必然发生释放,引起地下水向隧道高速涌出而形成涌(突)水(泥)。

以断层破碎带为例,不同断层带,其断层岩的结构特征和物理力学性能不同,具有不同的富水性。对于压性断层(裂),破碎带较宽,次级结构面延伸较远,岩体破碎,断层岩(砾岩、碎裂岩和断层泥等)发育,上盘岩体较下盘更为破碎,破碎带范围更大,因而具有良好的储水条件。压性断层破碎带中常含有一定规模的透水性极弱的断层泥和糜棱岩,两侧为两个独立的水文地质单元。上盘破碎岩体中含水量相对较丰富且水位相对较高,由此产生的水压全部由其下伏透水性较弱的断层泥或糜棱岩承担,一旦施工从下盘开挖至该不透水层时,由于该层被开挖破坏或由于水压使其破坏,携带大量泥砂的水体将从破坏

处涌入隧道，发生涌水突泥，大瑶山隧道因 F9 断层而发生的涌水突泥灾害即属此类。扭性断层，在其两侧常发育多组平行的张性和扭性的次级断层或节理，且其主错动面上也常有相对不透水的断层泥发育，因而与压性断层破碎带相似，其富水性较好，两侧亦为两个不同的水文地质单元。张性断层，上盘岩体较为破碎，节理裂隙较为发育，下盘岩体完整性较好，故上盘岩体富水性较好，易造成涌水现象，而下盘发生涌水的可能性相对小得多。

2.2.2 地下水动力条件与含水围岩的能量释放条件

虽然含水围岩中储存了大量能量，但隧道涌突水能否发生，尚取决于隧道能量释放条件，即控制隧道涌突水的主要条件为其能量释放条件，包括水压及相对隔水层的厚度，其中最主要的是地下水的动力性能。根据对一些矿井巷道发生涌(突)水时的水压与隔水层厚度的统计，有

$$D=P/a+b$$

式中：D 为相对隔水层厚度；P 为含水层的水压；a 为相对突水的临界值；b 为隔水层保护作用的厚度。

若定义突水系数(T_s)为水压与有效保护层厚度之比，即

$$T_s=P/D_e=P/(D-D_p)$$

式中： T_s 为突水系数； D_e 为有效保护层厚度； D_p 为施工掘进时破坏的厚度。

当 $T_s > a$ 时，容易发生突水。

不同岩体结构和岩性条件的岩体，物理力学性质存在较大差异，隔水层厚度也不尽相同。因此，不同类型围岩被涌水突破所需的最小突水量差别较大，见表 2-1。单位厚度岩体承受的水压也随岩体种类不同而异，如砂岩为 0.1MPa、砂质页岩为 0.07MPa、粘土质页岩为 0.05MPa、断层角砾岩约为 0.035MPa。厚层且完整的岩体往往能承受较大水压力，如数米厚的砂岩和灰岩能承受数十米高水头压力，甚至页岩和泥岩等在有保护作用下也能承受一定水压，阻止涌水突水的发生；而薄层岩体和破碎岩体所能承受的水压力相对要小得多，抗涌水和突水的能力较低。

以断层破碎带为例，由于极其破碎，力学强度低，围岩稳定性差，开挖中

对其破坏程度远大于完整岩体，涌水突泥灾害时常发生。尤其当断层带或其附近岩体中存在承压含水层时，地下水可沿上覆相对隔水层的薄弱带上升一定高度，产生潜在高水头，施工中隔水层的有效保护层厚度小于其临界值时，极易导致涌水突水。

表 2-1 围岩被冲溃所需的最小突水量 m^3/h

围岩类别	喀斯特化石灰岩	碎屑岩	变质岩	粘土岩
最小突水量	100~200	125~300	150~200	10~40

2.2.3 含水围岩的稳定性

隧道开挖直接影响到含水围岩的稳定性，造成隧道的涌水突泥。如果直接开挖掉相对隔水层，将揭露出地下水体并产生突发性灾害(涌水甚至突泥)。即使掌子面处存在一定厚度的隔水层，但由于施工爆破，或者隧道开挖引起的围岩松弛和围岩应力集中，围岩发生变形破坏，也会使相对隔水层的有效保护层厚度相应减小，从而增加了隧道涌水的可能性。

在断层带上，由于剪切变形的发生和裂隙的扩展，地下水不断地沿裂隙渗入，产生相应的动水压力、静水压力和劈裂作用，加剧了断层带的变形和地下水的进一步运动，一旦破裂带的扩展使地下水的渗流速度达到或超过某些细小颗粒发生管涌的临界流速时，处于液限的泥质物将发生机械潜蚀。管涌的发生，使断层渗透特性发生质的变化，导致管涌进一步加剧，并最终形成突水通道而发生涌水甚至突泥。因此，隧道围岩稳定性的降低，将使地下水沿某些薄弱部位发生管涌甚至涌水突泥的可能性显著增加。

2.3 隧道涌水的动态变化特征

隧道涌水量由静储量和动储量两部分组成。前者为隧道围岩内空隙中所赋存的地下水，其大小取决于含水围岩的规模、储水能力和给水能力；后者以地下径流形式出现于含水围岩中，它与地表水体或其它地下水体有直接的水力联

系,其大小取决于含水围岩的规模、补给条件、径流条件和排泄条件。

当隧道涌水量以静储量为主时,初期涌水量很大,表现为突水,随着时间的推移,涌水量不断衰减,最后仅为滴水或渗水,贯通性裂隙含水围岩和孤立溶洞中的围岩涌水多属此类。由于这类涌水衰减快速,对隧道施工影响很大,对运营影响相对较小。以动储量为主的含水围岩,发生隧道涌水时,涌水量往往由小到大地变化,然后趋于与动储量相当的稳定值,即隧道的涌水量等于补给量。这类隧道涌水包括岩溶水,因充填裂隙的地下水力梯度增加或冲刷加剧而逐渐贯通,并与其它水体(地表水或地下水)发生水力联系时的涌水,以及与地表水有水力联系的断层破碎带的涌水。

2.4 影响隧道涌水量的一些基本因素

隧道及地下工程涌水突泥的形成是一个较复杂的问题,其形成机理简单概括为隧道或地下工程中含水层所赋存的地下水水头压力,超过了阻挡它渗流的隔水保护层的力学强度,因此,地下水突破阻挡,涌入隧道或地下工程,同时携带了大量的泥砂。由隧道涌水突泥的发生条件和动态变化特征,不难看出它不但与施工条件和隧道特征有关,更主要是受水文地质条件的制约,而水文地质条件又受控于地形地貌条件、地层岩性和地质构造等地质条件。一般而言,隧道的涌水突泥形成因素大致可归纳为如下几点:

2.4.1 地形地貌条件

统计资料表明,隧道涌水与隧道穿过区地形地貌条件密切相关。按隧道与地形地貌的关系,在横断面上,分为平坦型(T_1)、凸型(T_2)、山谷正下方平行型(T_3)、山谷侧下平行型(T_4)和单斜面型(T_5);在纵断面上,分为平坦型(L_1)、凸型(L_2)、横贯河流型(L_3)、盆状(L_4)和平凸型(L_5)。在横断面地形类别中,以 T_3 和 T_4 两类隧道的比涌水量(单位长度涌水量)较大,其次为 T_1 和 T_5 型, T_2 型最小;从纵剖面来看, T_5 , T_4 和 T_3 三类隧道的比涌水量最大, T_1 和 T_2 类较小。从其组合来看, T_1L_5 , T_3L_3 , T_3L_5 及 T_4L_3 的比涌水量较大,其次为 T_5L_3 和 T_1L_4 组合, T_2L_2 , T_1L_1 , T_5L_2 和 T_2L_3 组合时的比涌水量最小。隧道涌水量随地形地貌条件及隧道位置的

变化而变化。上述的变化特征为深埋长大隧道的布局、前期地质调查、隧道施工涌水突水预测和超前预报以及隧道的防排水措施的制定提供了依据。

2.4.2 地层岩性

隧道涌水量与地层岩性也有较密切的关系。灰岩、白云岩等可溶岩类围岩, 隧道涌水量大水量高, 比涌水量一般为 $0.35\sim 3.47\text{m}^3/(\text{min}\cdot\text{km})$, 丰水期和枯水期涌水量之比(即不稳定系数)达 $2.5\sim 4.0$ 。国内外大于 $10000\text{m}^3/\text{d}$ 的隧道涌水, 几乎均发生在这些围岩中, 如我国的梅花山隧道($55490\text{m}^3/\text{d}$)、平关隧道($108060\text{m}^3/\text{d}$)和大巴山隧道($205518\text{m}^3/\text{d}$), 意大利格兰萨索隧道($388800\text{m}^3/\text{d}$)等, 火山岩、火山碎屑岩等洞段, 隧道涌水量较可溶岩段小, 比涌水量为 $0.35\sim 1.39\text{m}^3/(\text{min}\cdot\text{km})$, 不稳定系数 $1.5\sim 2.5$, 如日本青函隧道($100800\text{m}^3/\text{d}$)和大清水隧道($120384\text{m}^3/\text{d}$)等。花岗岩等深成岩的比涌水量一般为 $0.208\sim 0.694\text{m}^3/(\text{min}\cdot\text{km})$, 不稳定系数为 $1.5\sim 2.0$, 如日本的六甲隧道($25920\text{m}^3/\text{d}$)和新清水隧道($66960\text{m}^3/\text{d}$)等。泥质岩及砂岩类围岩隧道涌水量相对较小, 但当其受断裂带的影响时, 也往往会发生较大的涌水量, 如成昆线上的许多隧道。

砂土、卵石土、粘性土等组成的岩层, 其岩性特征表现为质地松散, 在地下水的浸泡下抗剪强度大大降低。在地下水静、动压力作用下, 易产生液化、塑流和悬浮等流动, 因此一旦隧道或地下工程开挖揭露了这些岩性特征的地层, 易形成涌水突泥。对于已固结或成岩的地层, 不同岩性的岩层因强度不同, 承受的地下水极限压力差异较大, 经测试, 每米厚度岩石承受的突水压力, 石灰岩大于 0.1MPa , 砂岩为 0.1MPa , 砂质页岩为 0.07MPa , 铝土页岩为 0.05MPa 。

2.4.3 构造因素

从隧道围岩的结构特征来看, 不论何种围岩, 当其各种破碎带较为发育时, 隧道常会发生大规模、高水压的涌水, 并且往往伴有突泥灾害。破碎带可以是断层(裂)破碎带和节理密集带, 也可以是各种岩性接触带, 如可溶岩与不可溶岩接触带、岩浆接触挤压带和变质接触带等。其中, 在大断裂带和区域性断层(尤其是张性断层)附近, 隧道涌水量更为严重。事实上, 隧道大规模的涌(突)水均与

断层破碎带有关。这种涌水虽也有一般涌水的特征,但其涌水量更大、水压高、突发性强,且通常有突泥相伴,灾害性更为严重;涌水的动态变化主要取决于围岩的地质构造特征。

隧道及地下工程的涌水突泥发生的位置常受到地质构造控制。在断层带、断层交汇处、尖灭处、节理密集处、背斜轴部等,由于岩石破碎、松散降低了岩层的力学强度,不仅为地下水的储存和运移提供了空间和通道,而且成为地下水突发性涌入的薄弱部位。据测试,每米厚度的断层角砾岩承受的突水压力为 0.0035MPa,仅为完整砂岩的 1/3。特别当地下工程开挖施工时,在断裂带造成的破坏深度约为正常完整岩层中破坏深度的 2 倍,这样很容易形成地下涌水。由于上述原因,在断裂带中,承压含水层的地下水由于水头压力的驱动,沿这些薄弱部位或断裂带上升到上覆隔水保护层中,并达到一定高度,这一高度称为潜越高度,一般可达 8~10m。如果隧道或地下工程的位置,或者由于施工造成隔水有效保护层厚度小于潜越高度时,则易发生涌水。同时,断裂带还提供大量固体物质,如断层泥、砂、砾等,被地下水带入隧道或地下工程,形成了涌水突泥现象。如日本海下采矿坑道统计,内部矿坑发生涌水 80 次,其中 61 次是由于断层引起;不丹丘长电站在黑云花岗片麻岩中开挖引水隧洞,当开挖到含水较多的粘土组成的断裂剪切带(厚度 0.8m)时,便发生涌水突泥,并大量坍塌。

2.4.4 隧道的长度及埋深

隧道延伸越长,经过的水文地质单元就越多,汇水面积及补给范围越大,其单位涌水量就越大。但不同的隧道,经过的地质单元及水文地质单元有较大的差异,故其比涌水量与隧道长度的关系并不十分明显,也即隧道的比涌水量主要受控于地形地貌、地层岩性和地质构造特征。当长大隧道埋藏较深时,地下水补给较为充足,隧道总涌水量和比涌水量均有随着上覆岩体厚度增加而增大的特征。

第 3 章 隧道涌水量预测基本理论和方法

隧道地下水涌水的预测最早是从定性分析开始的。最早的预测只是通过查明隧道含水围岩中地下水分布及赋存规律,分析隧道开挖区的水文地质及工程地质条件,依据钻探、物探、水化学及同位素分析,水温测定等,确定地下水的富集带或富集区,以及断裂构造带、裂隙发育带等的地下水涌水通道,并且运用均衡法估计隧道涌水量的大小。随着技术水平和施工要求的提高,隧道涌水量的定性分析逐渐发展为定量评价和计算,解决了隧道涌水为主的预测和隧道涌水量的预测这两个重要而又基本的问题。隧道涌水位置的定量预测方法多采用随机数学方法和模糊数学方法。预测隧道涌水量的方法,我国学者、水文地质工作者近 20 年来,在引进、消化、吸收国外涌水量预测方法的基础上,不断探索隧道涌水量的计算预测方法,并取得一定的进展。传统计算中主要运用比拟值,目前已经发展了很多新方法,但归纳起来不外乎两大类,即确定性数学模型方法和随机性数学模型方法^[39]。

3.1 隧道涌水量预测确定性数学模型方法

隧道涌水量预测的确定性数学模型方法是利用水力学、地下水动力学等方面的理论,通过数学演绎,推导出隧道涌水量与环境地下水位、围岩渗透性、地下水补给范围、补给时间等因素的定量关系,得出一系列理论或经验解析公式,以预测计算隧道的涌水量。其最初仅是简单的水文地质类比法,后来运用地下水动力学原理,又产生了解析法,随着电子计算机的发展,近年发展成数值法。

3.1.1 水文地质类比法

这种方法通过对已知水文地质条件的地区与隧道所在的未知区对比、估算出隧道涌水量。该方法常用的有两种:

①比拟法, 当隧道所在的地区水文地质条件变化不大, 含水层比较均匀时, 涌水量计算可以采用以下系列公式:

$$Q=q_0 F \cdot S$$
$$q_0=Q_0/(F_0 \cdot S)$$

式中: Q ——隧道的涌水量;

Q_0 ——导坑或已开挖的隧道中的涌水量;

F ——正洞过水断面面积(即洞断面周长乘以洞长)

F_0 ——导坑的过水断面面积;

S ——正洞的地下水水位降低值;

S_0 ——导坑的地下水水位降低值。

②径流模数法

山区河流的枯水期流量, 可认为是地下水的补给量, 因此枯水期的地表径流模数近似等于地下径流模数, 隧道的涌水量则可以用下式计算:

$$Q=h Q_c \cdot L/l$$

式中 Q_c ——地表水枯水期流量;

L ——隧道通过该汇水面积长度;

l ——地表水干流长度;

h ——干流系数(一般为 0.5~0.6)

其他符号同前。

3.1.2 解析法

解析法是利用地下水动力学原理演绎成各种公式, 计算隧道的涌水量。按照地下水运动特点, 解析法可以分为稳定流方法和非稳定流方法。

①稳定流方法, 利用稳定流方法计算隧道涌水量的公式很多, 详见表 3-1

表 3-1 隧道涌水量稳定流计算方法表

顺序	条 件	公 式	说明
1	正交进入为陡倾隔水层阻隔的潜水非完整隧道，两侧边墙及掌子面进水	$q = \frac{2aKH_g}{\ln R - \ln r} \quad a = \frac{\pi}{2} + \frac{H_g}{R}$	q 两侧隧道单位长度涌水量
2	平行陡倾隔水层的潜水非完整隧道，单侧边墙及掌子面进水	$q = \frac{2aKH_g}{\ln R - \ln r}$	H_g, h_s, h_g 隧道以及潜水位高度
3	进入为陡倾隔水层两墙阻隔的潜水非完整隧道，两侧边墙及掌子面进水	$q = \frac{K}{2} \left(\frac{h_s^2}{R_s} + \frac{R_g^2}{R^2} \right) + \frac{\pi K s}{\ln \left[\frac{4(R_s + R_g)}{\pi b} \cos \frac{\pi(R_s - R_g)}{(R_s + R_g)} \right]}$	R, R_s, R_g 影响半径 H 隧道顶板至河水面高度
4	正交进入受地表水渗透影响的潜水非完整隧道，完整隧道，两侧边墙及掌子面进水	$q = K(H - h) / A$ $A = 0.37 \lg \left[\lg \left(\frac{\pi}{g} \frac{4(h - d)}{T} \right) \cot \left(\frac{\pi}{g} - \frac{d}{T} \right) \right]$ 当 T、h 很大时， $A = 0.37 \lg \left(\frac{4h}{d} - 1 \right)$ 当 T=h 时(完整井) $A = 0.37 \lg \cot \left(\frac{\pi}{g} - \frac{d}{T} \right)$	K 渗透系数 h 隧道底板以上岩层厚度 s 水位降深 T 岩层厚度 R,d 隧道引
5	承压或潜水含水层无限深掌子面涌水量(平面)	$Q = 4Krs$	用半径或半宽
6	承压或潜水含水层无限深时掌子面涌水量(半圆形)	$Q = 2\pi Krs$	b 隧道引用直径或宽度
7	承压含水层有限降深(15~20m)时掌子面涌水量(平面)	$Q = \frac{4\pi KMs}{\pi \left(\frac{M}{r} - 1 \right) + 2 \ln \left(\frac{3}{2} \frac{R}{M} \right)}$	Q 涌水量 M 含水层厚度

8	承压含水层有限降深 (15~20m)时掌子面涌水量 (半圆形)	$Q = \frac{2\pi K M s r}{M + r \left[\ln \left(\frac{3}{2} \frac{R}{M} - 1 \right) \right]}$	
9	承压或潜水含水层隧道两 侧边墙单位长度进水	$q = \frac{K H_s^2 L}{R}$	

②非稳定流方法

隧道涌水时，地下水运动的非稳定流方程及定解条件为：

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left(M K_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(M K_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) + q = S \frac{\partial H}{\partial t} \\ H|_{\Gamma_1} = H_1(t)0 \\ \left. M K_n \frac{\partial H}{\partial n} \right|_{\Gamma_2} = Q(t)0 \\ H|_{\Gamma_3} = z(t)0 \\ H|_{\Gamma_4} = H_2(r, z) \in \Omega \end{cases} \quad (*)$$

式中 S ——弹性储水系数；

H ——地下水水位；

M ——含水层厚度，对于潜水层用 H 代替；

$K_x K_z$ —— x, z 轴方向的含水层渗透系数；

q ——大气降水入渗量；

Ω ——渗流区域；

K_n ——法向渗透系数；

Q ——地下水侧面补给量；

$\frac{\partial H}{\partial n}$ —— H 的外法线方向导数；

H_0 ——地下水初始水位值；

H_1 —— Γ_1 边界上固定水位。

用积分变换法可以得到定解问题(*)的解析解，一般常用的地下水非稳定流运动时隧道涌水量计算的解析公式为：

隧道掌子面非稳定涌水量计算式(雅可布)

$$Q_t = \frac{4\pi T(\xi - P/W)}{\ln \frac{2.25Tt}{r^2 S}}$$

式中 Q_t ——隧道掌子面非稳定流涌水量;
 T ——导水系数;
 r ——距开挖面的距离;
 ξ ——(r 处)水位降深;
 P ——开挖面上水的自喷压力;
 W ——水的比重;
 S ——储水系数;
 t ——涌水经历的时间。

随时间变化的隧道涌水量计算式(大岛洋志)

$$q_t = q_0 \left\{ 1 - \frac{2R}{\sqrt{R^2 + 4H^2} - R} \left[1 - \frac{\sqrt{R^2 + 4H^2}}{R^2 + \left(2H \frac{K}{\lambda} t \right)^2} \right] \right\}$$

$$q_0 = K\Omega_f l / n_e$$

式中 q ——隧道开挖时初始涌水量;
 q_t ——隧道第 t 时的涌水量;
 R ——地下水降深影响半径;
 H ——隧道半高;
 K ——渗透系数;
 λ ——岩层空隙率;
 n_f, n_e ——流线等势线切割的网格数;
 l ——隧道高度。

3.1.3 数值法

在工程实践和理论研究中,对一些复杂水文地质条件下隧道和地下工程涌水

量的计算,运用解析法无法解决,但随着电子计算机的广泛使用,水文地质数值模拟法使这些问题的解决成为现实。水文地质模拟法的基本原理是,把地下水渗流微分方程的定解问题转化成以系列线性方程组的求解问题。利用计算机进行反演计算,求水文地质参数(渗透系数 K 和弹性储水系数 S),然后进行正演计算,预测突水量、水头压力和涌水时间等。

按数值计算方法,水文地质数值模拟可分为有限差分法、有限单元法和边界元法。

3.2 隧道涌水量预测非确定性数学模型方法

在隧道及地下工程涌水量预测中,由于地质和水文地质条件的复杂性和不确定性,也由于施工方式的多样性,因此在运用确定性数学模型时,往往因为水文地质条件的一些基本要素(如含水层的非均质性、地下水径流特征、排补关系等)难以详尽研究,使定解条件的概化失准,从而影响了计算的精度。但是如果把隧道和地下工程的含水围岩视为一个集中参数系统,用系统理论和信息理论的方法,只要考虑该集中参数系数的输入信息(如具有补给关系的降雨量,具有水力联系的河流水位,系统外的地下水补给量等)以及输出信息(如隧道涌水量,泉流量,地下水位等),或考虑输出信息(如隧道涌水量,泉流量等)的变化,利用“黑箱”理论,灰色系统理论,时间序列分析、频谱分析等方法,便可建立隧道中涌水量某种定量关系式,从而预测其涌水量。

3.2.1 “黑箱”理论

“黑箱”理论方法主要是利用涌水系统中输入信息(降雨量、河水位等)与输出信息(涌水量、地下水位等)之间的相应关系来预测隧道中的涌水量和地下水位(水压)。其理论公式为:

$$\{y_1, y_2, \dots, y_n\} = \{K\}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

式中 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ -输入信息集合;

(x_1, x_2, \dots, x_n) -输出信息集合;

$\{K\}$ -变换集合。

3.2.2 灰色系统理论方法

灰色系统理论方法基本原理就是首先根据灰色关联度理论确定对隧道涌水的主要影响因素，以明确地表水文地质调查的主要内容和重点工作；然后根据调查结果对照由数量化判别方法计算出来的评判标准进行评分，即可判别涌水严重程度等级；最后，对于等级严重的水害隧道，可根据由灰色虚拟变量多元回归方法计算出来的评判标准预测可能涌水量大小。这套方法的特点是：既方便快捷又能定量，不需要繁杂的勘探、试验，只需地表调查就可以定量预测。

3.2.3 时间序列分析方法

时间序列分析方法是把隧道的含水围岩视为集中参数系统，其涌水量 $Q(t)$ 是水文地质条件、施工条件等随机因素影响下的一个随机变量，而 $Q(t)$ 的整个过程是一个随机过程，可对此过程进行建模，并且对模型进行预测。

3.3 隧道涌水量预测方法分类

隧道涌水量计算方法的分类，有三种：

(1)铁道第一勘察设计院《铁路工程水文地质勘察规程》编写组(2000 年)“铁路工程水文地质勘察规程”分类(表 3-2)^[25]。

表 3-2 铁路工程水文地质勘察规程分类

序号	类 型	方 法 名 称
1	地下水动力学法 (解析法)	稳定流法
		非稳定流法
		半理论半经验法
2	简易水均衡法	地下径流深度法
		地下径流模数法
		降水入渗法
3	其它方法	水文地质比拟法
		同位素氡法

(2) 西南交通大学刘丹分类法(表 3-3)。

表 3-3 西南交通大学 刘 丹分类

序号	类 型	方 法 名 称			
1	非确定性统计模型	地质比拟法 相关分析法 水理统计法 渗入系数法			
2	确定性数学模型	渗流型	解析法	稳定流公 式	理论解析法
				经验解析法	
			非稳定流公式		
		数值法	有限元法		
			有限差分法		
		非渗流型	水均衡法		
3	随机性数学模型	经典型	时间序列分析法		
			频谱分析法		
		非经典型	灰色系统理论法		
			模糊数学法		

(3) 铁科院西南分院和西南交通大学科研报告《既有隧道环境地下水变化规律以及对环境生态平衡影响的评估》提出的分类法及应用条件(表 3-4)。

表 3-4 铁科院西南分院和西南交通大学分类

序号	类型	方法名称	应用条件	适用范围
1	确定性 数学模 型法	比拟法	研究区与已知区的水文地质条件相似，且较简单。	初测阶段隧道涌水量计算
		径流模数法	水文地质条件较简单的山区隧道，具有较完整的水文观测资料。	初测阶段隧道涌水量计算
		水均衡法	独立的地表水流域内或水文地质单元内，有较丰富的水文及水文地质资料。	初测、定测及施工阶段隧道涌水量的宏观计算。其它计算的基础。
		解析法	水文地质条件不复杂，含水介质较均质的研究区。	定测及施工阶段隧道涌水量的计算和预测。
		数值法	水文地质条件复杂，含水介质具非均质各向异性的研究区。具有较明确的边界。	定测、施工及运营阶段隧道涌水量的计算和预测。
		渗透张量法	非均质各向异性的裂隙含水介质研究区，基岩裂隙测绘方便。	定测及施工阶段隧道涌水量预测所需的水文地质参数计算。
2	随机性 数学模 型法	“黑箱”理论法	水文地质条件复杂，特别是岩溶水地区。水文地质资料欠缺，但降水、地表水、泉水等资料丰富。	初测、定测及运营阶段隧道总涌水量预测及计算。
		灰色关联度分析和灰色虚拟变量多元回归法	水文地质条件较复杂的研究区，具有一定的地质、水文地质、隧道地质测绘、气象等综合资料。	一般类型隧道初测、定测、施工、运营阶段，复杂类型隧道初测阶段的涌水量预测。
		时间序列分析及频谱分析法	水文地质条件复杂的研究区，特别是岩溶水地区。地下水有集中排泄特点，有较长时间的地下水动态观测资料。	施工及运营阶段隧道总涌水量预测。

此外，矿井涌(突)水的预测新方法尚有：我国煤炭部门在华北二叠系岩溶煤田矿井应用人工神经网络技术(ANN)、地理信息系统(GIS)预测煤矿(矿区)底板

突水(奥陶系灰岩岩溶水)方法。

3.4 隧道涌水量预测方法比较

水文地质类比法要求研究区与已知区的水文地质条件相似，且较简单，两者越相似，预测精度就越高。

水均衡法是将隧道所在的水文地质单元作为一个均衡区，其关键在于确定地下水补给量与消耗量之间的数量对比关系。在补给和消耗的动平衡发展过程中，任一时间的补给量与消耗量之差，恒等于含水层(组)中水体积的变化量。这就是水均衡法的基本原理。把隧道涌水量也作为一种消耗量考虑进去，则可建立水量均衡方程式，从而求得隧道的总涌水量。无论地质及水文地质条件简单的、还是复杂的隧道，包括岩溶隧道在内，其总涌水量计算和预测用水均衡法均适宜。水均衡法的关键是均衡式的建立即均衡要素的测定。但是在解决这个问题时遇到了一个困难。就是天然条件下的水均衡关系在隧道的施工过程中常常遭受强烈的破坏。如强烈的降压疏干使地下水运动的速度和水力坡降增大等等。水均衡法虽然有种种不足，但它有一个最大的特点，就是能在查明有保证的根本补给来源的情况下，确定隧道的极限涌水量值。因此在补给源有限时，它可以作为核对其他方法计算结果的一种补充性计算方法。

确定型数学模型法中的解析法在隧道涌水量计算中应用较为普遍，常用稳定流或非稳定流理论的裘布依公式、泰斯公式等计算水文地质参数，再以水平集水建筑物的水量计算公式结合隧道的边界条件、含水层特征等选用认为适合于隧道涌水量计算的公式。裘布依、泰斯公式是在相当理想的特定条件：均质、层流、各向同性情况下推导得出的。而岩溶水的基本特点是：水量丰富而分布不均一，在不均一之中又有一些相对均一的地段；含水层内具有统一的自由水面，同时也存在着相对隔离的孤立水源，反映出各个方向的水力联系有很大的差异性；其径流特点是水平垂直运动，有压流无压流，渗流管流，层流紊流同时存在，又时常变换。特别是在季节变动带最明显，往下乃逐渐减弱。所以，位于地下水垂直循环带和季节变动带内的岩溶隧道涌水量计算和预测用地下水动力学法(解析法)则不理想。

水文地质数值计算法的基本原理是把地下水渗流运动的微分方程的定解问

题转化为一系列线型方程组的求解问题,对隧道围岩含水介质为裂隙型或岩溶裂隙型渗流场非均质各向异性的研究,即用基于视裂隙含水介质为离散模型或统计模型的渗透张量法取得水文地质参数(渗透系数 K 和弹性释水系数 S),进行正演计算,预测涌水量。该方法适用性强,只要建立的定解问题真实地描述了客观地质及水文地质体,往往能取得较好结果,但对勘探试验的要求高,因而成本也高。计算工作量大,且必须电算,不甚方便。

随机性数学模型法适用于因水文地质条件的复杂性和不确定性致使一些基本要素(如含水层的非均质性、地下水径流特征、补排关系等)难以搞清,定解条件不易准确概化的隧道。所需数据一般较易获取,方便、快捷,可以大致定量预测涌水量的大小。岩溶隧道的初、定测阶段可用之。

第 4 章 齐岳山隧道地区工程地质和水文地质条件

4.1 齐岳山隧道地区基本地质条件

4.1.1 工程概况

齐岳山隧道地处湖北省利川市城外西偏北 23km 处，东起野茶乡乐园沟，向北西垂直穿越齐岳山及荆竹园等台地，在百丈沟下真咀出口，进口里程 DK361+257，路肩标高 1126.09m，出口里程 DK371+720，路肩标高 975.82m，全长 10463m，洞身最大埋深 670m，全洞单面排水。

4.1.2 自然地理

4.1.2.1 地形地貌

隧道穿越区可分为中山区(进口~DK364+900)、中山谷地(DK364+900~DK365+150)、低中山区(DK365+150~出口)，分别对应了东部齐岳山(海拔高度 1100~1830m)构造溶蚀地貌、中部得胜场溶蚀槽谷地貌、西部碎屑岩剥蚀地貌。

区内发育多层夷平面，归纳为四级，见表 4-1。

表 4—1 隧道区夷平面按地文期划分表

级序	标高 (m)	区内分布	地文期		定型时代	挽近构造运动	特征
			期	亚期			
I	1800 ~ 1700	齐岳山顶一带	鄂西期	上亚期	白垩纪 早第三纪	燕山运动末期	溶丘、洼地相间，竖井等垂直岩溶管道发育。
II	1600 ~ 1500	齐岳山东侧山腰		下亚期			深切洼地套生漏斗，竖井等垂直或陡斜岩溶管道发育。
III	1300 ~ 1200	茅草乡槽谷、测区西部荆竹园等碎屑岩台地	山原期	上亚期	早第三纪末 晚第三纪	喜山运动一幕	形成溶蚀槽谷，溶洞、地下河等大型水平岩溶管道发育，沿途漏斗、落水洞、天窗等陡斜岩溶形态发育。碎屑岩区为宽缓台地。
IV	1100 ~900	进口端的乐园沟，西部的百丈沟等深沟		下亚期			形成溶蚀槽谷，溶洞、地下河等大型水平岩溶管道发育，陡斜岩溶形态几乎不发育。碎屑岩区为深切沟谷。

4.1.2.2 河流水系

以齐岳山为区域分水岭，地表水系以东有清江水系，以西有磨刀溪水系，荆竹园沟谷是其支流百丈沟的又一支，两者均属长江水系；地下水系以东有大鱼泉暗河，是清江水系源头之一；以西有得胜场暗河，向东北径流数十公里汇入长江。

4.1.2.3 气象

隧道区地处亚热带湿润气候区，属高寒山地气候，降水充沛，气候垂直分带明显。恩施地区气象变化规律，地面标高每上升 100m，年平均气温递减 0.61℃，年平均降水量增加 33.3mm。利川气象局提供的气象统计资料：多年平均降水量 1280.1mm(1959~2001 年),多年最大年降水量 1701.9mm(1982 年),多年最小年降水量 861.0mm(1966 年)。降水量主要集中在 5~9 月，约占全年降水量的 70%。日最大降水量为 166.9mm(1975 年 6 月 25 日)。最大降水强度 51.0mm/h，

10 分钟最大降水量 19.7mm。

4.1.2.4 交通

隧道进口、齐岳山顶、得胜场槽谷及出口均有乡级公路，新、老 318 国道与这些乡级公路均相互连通，作为区域性交通干道，东可往利川，西可到建南，北可达万州，交通便利。

4.1.3 地层岩性

隧道穿越了中、下侏罗统上、下沙溪庙组、新田沟组、自流井组、珍珠冲组和三叠系须家河组、巴东组、嘉陵江组、大冶组以及二叠系长兴组、吴家坪组、茅口组等地层。其中可溶岩围岩长约 4.7km，占隧道长度的 45%。相应地层、岩性的主要特征及接触关系按时代顺序由老到新分述如下：

(一)、二叠系(P)

碎屑岩、碳酸盐岩混杂的滨海沼泽——泻湖相沉积地层。本系地层在测区内出露不全，仅出露了上统吴家坪组、长兴组及少量茅口组地层。

1、茅口组(P_{1m})

上部为灰色厚层生物屑灰岩、有机质生物屑灰岩；中部为含燧石结核或条带灰岩；下部为深灰色—灰黑色厚层瘤状生物屑灰岩，含泥质微晶生物屑灰岩。本隧道洞身只穿越了茅口组上部地层(据石洞子煤矿隧道未见茅口组地层)。

2、吴家坪组(P_{2w})

可分为两个岩性段：上灰岩段为含少量燧石结核及白云质团块灰岩、深灰色硅质灰岩；下煤系段上部为黑板状含硅质炭质页岩、含炭质硅质页岩，水平层理发育，中部炭质页岩、煤层夹层凝灰岩，底部为杂色粘土岩。

本组地层组成齐岳山背斜的核部，也是该地区的主要煤系地层，厚度比区域性地层厚度大，地表仅出露了上部灰岩段地层和少量炭质页岩、硅质页岩地层。

3、长兴组(P_{2c})

上部灰色、浅灰色厚层状含燧石结核或白云质团块团块状灰岩，中部生物

屑灰岩夹硅质灰岩，底部为深灰色含燧石条带灰岩。作为背斜核部地层，厚度比区域性地层厚度大。

(二)、三叠系(T)

以碳酸盐岩为主的浅海——泻湖相沉积地层。它在测区内出露齐全，是岩溶主要发育地层。

1、大冶组(T_1d)

本组地层自下而上可分为四段:第一段(T_1d^1)为灰黄色页岩上部夹薄层泥灰岩，为相对隔水层；第二段(T_1d^2)为灰、浅灰色薄~中厚层灰岩、泥灰岩；第三段(T_1d^3)为青灰色薄~中层灰岩，底部为紫红、灰黄色页岩，该层厚度不稳定，可作为该段的标志层；第四段(T_1d^4)为灰、浅灰白色薄~中厚层灰岩，顶部灰岩层薄，上部见砂屑灰岩、生物屑核形石鲕粒灰岩，可作为该段的标志层。

2、嘉陵江组(T_1j)

本组地层自下而上可分为四段:第一段(T_1j^1)为灰黄色薄层状灰质、泥质白云岩，刀砍纹发育；第二段(T_1j^2)为灰色薄层~中厚层灰岩；第三段(T_1j^3)为浅灰色泥质灰岩、灰质白云岩、角砾状白云质灰岩、灰岩，底部为蠕虫状泥质灰岩，本段泥质含量较大；第四段(T_1j^4)上部为白云岩、白云质灰岩、白云岩角砾岩，中部为膏溶角砾灰岩，胶结较好；下部为灰、浅灰黄色中厚层白云岩、灰质白云岩。本段地层膏岩含量大，是导致岩溶发育的主要原因。

3、巴东组(T_2b)

本组地层可分为四段，但缺失第四段，与上覆地层呈假整合接触。其下三段自下而上依次为:第一段(T_2b^1)为灰黄色、灰绿色泥岩、钙质泥岩夹薄层泥灰岩；第二段(T_2b^2)为浅灰绿色薄~中厚层细砂岩，紫红色夹灰黄色粉砂岩、粉砂质泥岩、泥质页岩；第三段(T_2b^3)灰~浅灰色薄层泥灰岩、钙质页岩互层，下部中厚层生物屑灰岩(一层海百合茎礁灰岩)与薄层灰岩互层。

4、须家河组(T_3xj)

中上部为浅灰白色厚~巨厚层岩屑长石石英砂岩、含石英岩屑长石砂岩，中粗粒结构，分选性差，夹碳质页岩或煤线；下部为灰黄色中厚层状中细粒长石砂岩与深灰色粉砂质页岩(泥岩)不等厚互层。以粉砂质页岩为主夹煤线；底部以深灰色泥岩与下伏巴东组地层分界。

(三)、侏罗系(J)

碎屑岩为主的内陆湖相沉积地层。测区内出露了上、下沙溪庙组、新田沟组、自流井组、珍珠冲组等部分地层。

1、珍珠冲组(J₁z)

以黄绿色泥岩、粉砂质页岩、粉砂质泥岩为主夹中厚层长石细砂岩。其中，顶部灰黄绿色粉砂质细砂岩与泥岩互层，上部夹紫红色粉砂质泥岩，中部粉砂质页岩、泥岩中含大量介壳类生物化石，作为本组地层的标志层，下部的泥质页岩中含锰铁矿结核，底部夹数层煤线。

2、自流井组(J₁₋₂z)

以深灰色页岩为主，顶部为紫红色泥岩，中下部夹中厚层状生物屑灰岩，底部页岩层面含大量介壳类生物化石，作为与下伏地层的分界标志。

3、新田沟组(J₂x)

上部为中厚层灰绿色细砂岩粉砂岩(中夹中厚层状泥灰岩透镜体)夹灰绿色、灰黄色页岩；下部为深灰色页岩、薄~中厚层状灰绿色岩屑长石细砂岩；底部为中厚层灰绿色细砂岩、薄~中层状细砂岩夹少量黄绿色页岩。

4、下沙溪庙组(J₂xs)

按岩性组合可划分上、下两段：上段(砂岩段)(J₂xs²)为灰绿色厚~巨厚层细粒岩屑长石砂岩、岩屑石英砂岩夹紫红色泥岩，本段以底部的一层厚砂岩作为与下段的分界标志；下段(泥岩段)(J₂xs¹)为紫红色泥岩、粉砂质泥岩夹灰绿色厚~巨厚层细中粒岩屑长石砂岩。本段以底部首次出现的紫红色泥岩作为与下伏地层的分界标志。

5、上沙溪庙组(J₂s)

按岩性组合可划分上、中、下三段：上段(J₂s₃)以砂岩为主夹泥岩，中段(泥岩段)(J₂s₂)测区内仅残留了下部，主要为紫红色泥岩夹中厚~巨厚层岩屑长石砂岩；下段(砂岩段)(J₂s₁)为灰绿色厚~巨厚层岩屑长石砂岩夹紫红色泥岩、粉砂质泥岩。顶部以一层岩屑砂岩层与上覆地层分界，上部基本为砂岩，易成陡崖，下部二者呈不等厚互层(以泥岩为主)，底部以一层灰绿色厚~巨厚层砂岩即“嘉祥寨砂岩层”为标志层与下伏地层分界。

(四)、第四系(Q)

土黄色、棕褐色砂粘土、粘砂土夹岩石碎块。与下伏诸地层单元均呈角度不整合接触。本系地层在隧道范围内只零星出露，厚度约 0~8 米。

4.1.4 地质构造

4.1.4.1 褶皱

1、齐岳山背斜

属北北东构造体系，为一束状高背斜，大致呈北东—南西向展布，在区内延伸长度达 226km，是北北东构造体系中规模最大的褶皱。隧道穿越背斜“南西段”的郑家垭口至高坎部分。背斜在隧道区走向北 36°东，北西翼倾角 40°~55°，局部 70°；南东翼倾角 70°~85°，局部直立、倒转，背斜轴部为上二叠统吴家坪组薄层灰岩、页岩及煤系地层，背斜两翼为三叠系地层。

2、箭竹溪向斜

属弧形构造体系，是紧靠齐岳山背斜发育的马头场向斜南东翼的次级褶皱。它北起双河口，南至观音寺，延伸长度达 32 公里，其轴向北 40°~50°东，北西翼倾向 135°~155°，倾角 2°~15°，南东翼倾向 320°~318°，倾角 4°~40°，由于承接了齐岳山背斜的北西翼，呈现出南东翼陡而北西翼缓的宽缓屈形。核部地层为侏罗系上沙溪庙组红色砂岩、泥岩等碎屑岩地层。

4.1.4.2 断层

通过航片解译、现场实测、部分钻探、物探，确定的影响线路的较大规模的断层有 15 条，各断层特征如下：

1. 乐园沟逆冲断层(F1)

位于齐岳山隧道进口东侧，断层走向 NE30°~40°，隧道洞口断层产状 125°∠70°，破碎带宽度 60~100m，发育于 T1j4 和 T2b1 的角砾状灰岩、页岩中，形成断层角砾岩、碎裂岩、断层泥等，为一逆冲断层。受其挤压，造成隧道进口产状近似直立，节理发育，岩体破碎，影响隧道进口工程地质条件和围岩等级。

2. 大鱼泉逆断层(F2)

距 DK361+270 右侧约 200m，断层产状 210°∠80°，延伸 200~300m，断层

带发育角砾岩,角砾具圆化现象,为一逆冲断层,是导致大鱼泉暗河出露的构造因素,断层不与线路相交,对隧道无影响。

3. 二台正断层(F3)

地表出露在 DK361+700,与隧道垂直相交,断层破碎带发育于 T1j3 的灰岩中,断层呈舒缓波状,实测走向为 NE30°~40°,产状为 130°∠76°,破碎带宽 21m,形成明显的负地形,以断层角砾岩、碎裂岩等,角砾岩呈棱角状,为一正断层。沿断层岩溶洼地和漏斗发育,消水快速,成为大、小鱼泉地下河承接地表水的入渗通道,当遇降雨时,尤其暴雨时将影响隧道峰值突水。

4. 石槽门正断层(F4)

与线路近垂直相交在里程 DK362+120,发育在 T1d4 的灰岩与 T1j1 的白云质灰岩分界面附近,实测断层走向为 NE30°,断层产状为 125°∠75°,破碎带宽 7m,发育有碎裂岩,为一近于顺层滑动的正断层。影响隧道围岩分级和涌水。

5. 齐岳山断裂(F5, 即马落池逆冲断层)

是区域主断裂,与隧道近垂直相交,出露在 DK362+700,长 70km,断裂带宽 20~80m,其展布方向与背斜轴基本一致,断层倾向 SE,倾角 75°~88°,局部近直立,为高倾角压性断裂。断层上盘为下二叠统茅口组、下盘为下三叠统大冶组,断层断距大于 200m,断层的两侧同向的压性结构面(主要表现为节理面及劈理面)及与其垂直的张性裂隙面均十分发育。破碎带中发育碎裂岩、断层角砾岩等,显示压性特征,并使断层两侧的地层产生揉皱、产状混乱和局部破碎现象。在线路附近,断层南东盘地层为 P2c,北西盘地层为 T1d1,由于断层的断距达 200m 多,造成线路左侧的 P2w 大部分被推升到地表。EH-4 显示该断层形成低阻“黑洞”,电阻率极低,下部倾向 NE,近直立。

该断层向右延伸至 3km 附近,在 1137.95m 的石洞子煤矿主平洞内,出露在距洞口 660m 的位置,收集资料显示该处无较大的突水和崩塌。该断层在线路附近发育有多条次级断层,这会加强该断层的破坏性,对隧道开挖形成较大的影响。

6. 大花尖逆冲断层(F6)

与线路近垂直相交,出露在 DK362+770,发育于齐岳山背斜核部东侧,与齐岳山断层平行,相距不足 100m,为同期次一级构造,为一逆冲断层。该断层走向 NE 45°,倾向北西,倾角 70~85°,横切线路中心后在背斜倾伏段被后期断

层错断后, 尖灭于 T1d 地层中, 断层破碎带宽 10~15m, 发育碎裂岩、断层角砾岩等, 断层 SE 盘地层为 T1d 地层, NE 盘地层为 P2c 地层。

该断层向东北延伸, 在标高 1137.95m 石洞子煤矿的主平洞内, 距洞口 1520m 的位置出露。据石洞子煤矿钻探资料显示, 在线路附近地层的 SE 盘落差约 200m, 向北增至 300m, 其次级断层发育, 并受后期断层破坏, 破碎强度增加, 对隧道会有较大的影响。

7. 潭家槽逆冲断层(F7)

出露在 DK363+000, 发育于齐岳山背斜核部西侧, 主要特征为: 断层走向 NE40°, 倾向南东, 倾角 50°~65°, 破碎带宽约 20m, 造成其附近的岩层破碎、错移和产状紊乱, 并使 P2w 下部煤系地层抬升后出露于地表, 成为当地的小型采煤点。该地层产状较缓, 推测向下延伸与大花尖逆冲断层相交, 属分支断层, 切割深度有限, 不会对隧道造成直接影响。

8. 漏斗正断层(F8)

在 DK364+153 出露, 与线路近直交, 发育于齐岳山背斜西翼 T1j3 的灰岩中, 断层倾向为 290°∠60°, 沿倾向发育有线状排列的漏斗、洼地和泉水。断层破碎带宽度 3~5m, 由断层角砾岩构成, 角砾成份为灰岩, 大小混杂, 呈棱角状, 胶结程度中等, 为一正断层。东盘发育三条小型纵向正断层, 该断层规模较小。

9. F9 正断层

在 DK364+360 出露, 与线路近直交, 发育于齐岳山背斜西翼 T1j3 的灰岩中, 现场局部见断层角砾, 沿线有小型洼地, 推测为正断层, 产状 290°∠40°。

10. 小型斜向逆断层(李家大院子 F10)

位于李家大院子附近, 在 DK364+888 斜切过线路, 发育于 T1j4 中, 破碎带宽 2~3m, 可见碎裂岩及构造角砾岩、构造片理化带, 揉皱发育, 断层倾向 330°, 物探确定倾角 81°, 为一逆冲断层。是得胜场主断层的分支断层, 对隧道突水存在潜在影响。

11. 得胜场逆断层(F11)

垂直切割线路, 断裂带出露在 DK365+030~+145, 走向 NE35~45°, 倾角 50~70°, 物探确定倾角 67°, 该断层破碎带宽 60~100m, 局部可达 150m 左右, 发育在 T1j4 灰岩、角砾状灰岩与 T2b1 页岩、泥灰岩分界面附近。断层带由断层角砾岩、碎裂岩、断层泥等构成, 局部可见角砾的圆化相象, 并在角砾状灰

岩的角砾上可见擦痕,胶结物以钙泥质为主,易被溶蚀。该断层显示有多期活动性,规模较大,发育多条次级分支断层。沿断层岩溶洼地、漏斗、泉水等十分发育。断层破碎带及其附近张裂隙是控制岩溶水管道发育,甚至导致隧道施工中与管道流贯通的关键因素。

12. F12 断层

垂直切割线路,出露位置 DK366+320,物探显示电阻率等值线错断,并体现出逆断层性质,发育于 J1z 页岩地层,产状 $310^{\circ}\angle 78^{\circ}$ 。

13. 枫竹小学逆断层(F13)

垂直切割线路,出露在 DK368+700,发育于 J2s3 粉砂岩、细砂岩地层,航片影像为负地形,实测为一凹地,松散体覆盖,物探显示低阻异常,产状 $310^{\circ}\angle 65^{\circ}$ 。

14. 枫竹小学逆断层(F14)

垂直切割线路,出露在 DK368+850,发育于 J2s3 粉砂岩地层,物探显示低阻异常,实测该断层出露在台地边缘一陡坎上(见 Gc-III02-1055-1),宽度约 20m,由断层角砾及岩粉胶结而成,角砾成份基本为岩屑长石砂岩,暗褐色~褐黄色,次圆状,大小不一,一般 0.03~0.2m,个别可达 1m,面密度为 50~80 个/米²,胶结物颗粒细如粉砂,相对松散,显示出碾磨特征,综合判定为逆断层,产状特征为:走向 NW320°,倾向 NE,倾角约 70°。断层两侧节理发育,共有 5 组,产状分别为: $10^{\circ}\angle 75^{\circ}$, $40^{\circ}\angle 50^{\circ}$, $130^{\circ}\angle 56^{\circ}$, $250^{\circ}\angle 34^{\circ}$, $340^{\circ}\angle 35^{\circ}$,均闭合,节理面平直,延伸长度 1~3m。在断层上盘靠近断裂带附近岩层出现揉皱现象,为受积压向上爬升所致,与断层走向基本一致的 $130^{\circ}\angle 56^{\circ}$ 节理组,在这里表现出张性特征,并且倾角变陡,甚至达 80°。

15.逆断层 F15

该断层由 EH-4 揭露,呈逆断层特征,地貌上沿沟发育,被谷地残坡积层所覆盖,断层发育在 J2s 地层,推测产状为 $180^{\circ}\angle 75^{\circ}$ 。

4.1.4.3 节理

区内岩层节理发育,对隧道影响最大的主要有两组:一组平行隧道走向的横张节理,走向 SE,另一组垂直或大角度相交隧道的纵张节理,走向 NE,多

陡倾，一般规模较大，在航片上形成线状小陡坎等地貌，往往形成溶蚀裂隙，部分落水洞、溶洞也沿此发育。

4.1.4.4 地震与新构造运动

近期无关于区域性断裂活动或引起地震的报道。

根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001)，隧道区动峰值加速度为 0.05g，动反应谱特征周期 0.35s。

4.2 齐岳山隧道地区岩溶发育特征

4.2.1 岩溶地貌类型

本区岩溶地貌大体上分为三大区：高原岩溶地貌、斜坡岩溶地貌、槽谷岩溶地貌。其中，高原岩溶地貌主要以溶丘垄脊槽谷与溶丘台地、洼地为主，斜坡岩溶地貌主要以斜坡沟谷为主，槽谷岩溶地貌主要以溶丘槽谷、溶蚀洼地为主。具体地貌类型按成因可以分为两类、七种形态组合类型，详见表 4—2。

表 4—2 岩溶地貌类型划分与分布

成因	形态组合类型	分布位置
以岩溶作用为主	溶丘垄脊槽谷、台地	齐岳山背斜轴部及西侧
	溶丘谷地	天阴桥以南
	溶丘洼地	洛丘槽谷中
	溶丘槽谷	观音寺—得胜场
	峰丛洼地	五同庙—得胜场—陶家大院
以溶蚀—侵蚀作用为主	斜坡沟谷	齐岳山两侧斜坡地带
	岩溶丘陵	朝阳洞以北

4.1.2 地表岩溶形态

区内地表岩溶形态主要有溶隙、溶槽、石芽、消水洞(落水洞)、竖井、岩溶洼地、岩溶槽谷、溶丘与孤峰、岩溶塌陷等。

1. 溶蚀裂隙、溶槽

为构造裂隙经地表水、地下水的溶蚀作用而成，易形成溶沟、溶槽，部分被土壤充填。根据本次调查，本区溶蚀裂隙走向一般为 $110^{\circ}\sim 130^{\circ}$ 。

2. 消水洞

多数发育在岩溶槽谷、台地的洼地或斜坡中下段峰丛洼地、溶丘洼地及溶丘谷地区，为地下岩溶管道和地下河发育的水流补给主要通道，也是地表追踪地下河的重要标志，如天阴桥、唐家坝、朝阳洞等消水洞已成为地下河伏流口。

3. 岩溶塌陷

为地下河或岩溶管道流溶蚀—真空吸蚀所致，是揭示与了解地下河和岩溶管道发育特征的表征性岩溶形态，也是追踪地下河的又一标志。

4. 石芽

发育于裸露和浅覆盖岩溶区的地表岩溶现象，质纯中厚层碳酸盐岩形成的石芽较高，且尖挺；薄层或不纯碳酸盐岩发育的石芽则低矮平缓。

5. 岩溶洼地

主要分布在齐岳山背斜垄脊槽谷、台地、岩溶槽谷中，以嘉陵江组四段最为发育。洼地底部起伏不平，多有消水洞。

6. 溶洞

溶洞一般为地下河遗弃管道或正在发育的地下河管道。主要分布在岩溶槽谷边缘或岩溶槽谷中，本区溶洞分布具有多层性，以嘉陵江组中比较发育，其次为大冶组。溶洞规模不等，形态多样，以近水平廊道为主。洞口形态多样，洞常有分岔，其发育方向受层面裂隙及构造裂隙控制，如团坝子太平洞。大多数洞穴都有碎石、粘土充填，并常见到石钟乳、石笋等沉积物。

4.1.3 测区岩溶发育规律

岩溶的发育受到地形、气候、地质条件等多种因素的影响,其中地层岩性是基础,地质构造是主导,而水动力条件是决定性的因素^{[32][33]}。

1、岩溶顺层发育

根据岩溶水文地质野外调查、洞穴探测及石洞子隧道岩溶调查,岩溶沿层面裂隙发育是齐岳山隧道区碳酸盐岩地层岩溶发育的最主要特点。沿层面裂隙发育的岩溶形态有:溶洞、消水洞、竖井、地下河管道等,如大鱼泉地下河管道、得胜场地下河管道等。

2、岩溶沿构造裂隙发育

根据本次调查,岩溶除沿层面裂隙发育外,沿控制性裂隙(齐岳山北西横张裂隙、裂隙走向 $110^{\circ}\sim 145^{\circ}$)发育,也是本区岩溶发育的主要特征,如太平洞、五同庙地下河系统。

3、岩溶沿断层发育

分布于齐岳山背斜核部的齐岳山断裂,因其核部基本为吴家坪组非碳酸盐岩,沿断层岩溶现象较少。从岩溶层组特征可知,嘉陵江组第四段上部为中等岩溶发育,溶洞、消水洞分布较少,但因断层作用,可形成地下河,沿断层多形成消水洞、塌陷等岩溶现象,如玉皇庙一带,为中厚层灰质白云岩、云质灰岩,地表岩溶现象较少,但因断层的出现,沿断层形成多个消水洞、塌陷等;又如因断层出现,沿断层形成一系列岩溶泉或沿断层形成地表水伏流口。

4、溶崩角砾岩岩溶较不发育

本区普遍存在的嘉陵江组四段(T1j4)中部溶崩角砾岩,巨厚层状,宏观上无成层性,发育厚度数十米不等,由棱角或次棱角状灰岩、白云岩组成,方解石胶结紧密(胶结物中局部见小晶洞,相互间连通性差),就岩组本身而言岩溶化作用弱,但在断裂构造的影响下,随着裂隙发育的增强,岩溶作用将增强。

在齐岳山山体地区,由于晚近期地壳强烈上升,水力坡度大,水交替强烈,水流溶蚀和侵蚀性能均较强烈,从而形成岩溶槽谷及深度较大的竖井或岩溶洞穴系统。地下水垂向径流转为水平径流后,受巴东组非碳酸盐岩阻隔,从而在与非碳酸盐岩接触地带形成岩溶槽谷(如得胜场岩溶槽谷)或发育地下河系统(如得胜场地下河、大鱼泉地下河系统)。

4.3 齐岳山隧道地区岩溶水文特征

4.3.1 地下水类型和含水岩组的划分

隧道穿越了一系列不同时代的地层,存在多种地下水类型。据地下水的赋存条件、水理性质和水力特征,隧道区的地下水类型可划分为三类:

(1)、松散岩类孔隙潜水

赋存于隧道进口乐园沟谷地和隧道中部槽谷中的第四系冲洪积、残坡积层中,基本为不透水层。该类地下水分布面积小,富水性差,水量贫乏,对隧道工程无影响,可不予考虑。

(2)、碎屑岩类裂隙孔隙水

分布于中下侏罗统上、下沙溪庙组、新田沟组、自流井组、珍珠冲组以及上三叠统须家河组等含水岩组中。砂岩含水层稳定,据明显的自流斜地特征,这在谋道镇磁厂附近表现的最为典型,如发育在须家河组地层中的一下降泉,泉流量稳定,测时流量约 0.002 升/秒。总体富水性弱,隧道区泉点较不发育,对隧道工程影响较小。

(3)、碳酸盐岩类裂隙溶洞水

赋存于以齐岳山背斜为主体的上二叠统吴家坪组、长兴组、中上三叠统大冶组、嘉陵江组、巴东组等含水岩组中。富水性以泉、暗河流量分为三个等级,分别为:泉、暗河流量 100—1000 升/秒——水量丰富;泉、暗河流量 10—100 升/秒——水量中等;泉、暗河流量小于 10 升/秒——水量贫乏。根据其岩溶发育特点及富水程度(表 4—3)又划分为:水量丰富的纯碳酸盐岩连续型裂隙溶洞亚含水岩组(由 T1j2、T1j4、T1d2、T1d3、T1j1 等地层组成)、水量中等的纯碳酸盐岩夹不纯碳酸盐岩连续型溶洞裂隙亚含水岩组(由 T1d4、T1j3、P2c 等地层组成)、水量贫乏的不纯碳酸盐岩裂隙岩溶亚含水岩组(由 P2w、T1d1 等地层组成)。

表 4-3 岩溶泉、地下河流量调查一览表

编号	位 置	标高 (m)	实测流量 (L/s)	出露条件		调查日期 (年.月.日)
				层位	岩 性	
S01	王家坝地下河出口	1300	80.00	T _{ij} ⁴	中厚层微晶云质灰岩	2002.4.16
S12	阳家大湾泉	1285	10.00	T _{ij} ⁴	基岩为溶崩角砾岩	2002.4.16
S20	范家湾泉	1360	333.50	T _{ij} ⁴	厚层云质灰岩	2002.4.17
S08	田坝地下河出口	1350	21.00	T _{ij} ⁴	厚层灰岩, 薄层泥灰岩	2002.4.19
S14	得胜场地下河出口 (响水洞)	900	1381.00	T _{ij} ⁴	薄层白云岩, 溶崩角砾岩	2002.4.20
S15	得胜场地下河出口 (洞溪口)	890	98.25	T _{ij} ⁴	中薄层云质灰岩	2002.4.20
S16	洞溪口地下河出口	840	86.39	T _{ij} ⁴	薄层云质灰岩	2002.4.20
S03	李家大院泉	1335	0.85	T _{ij} ⁴	云质灰岩、泥质灰岩夹白云岩	2002.4.18
K50	石洞子煤矿隧道 800m 突水点	1138	41.70	T _{ij} ²	中薄层灰岩	2002.4.19
S06	大鱼泉地下河	1115	3230.60	T _{ij} ⁴	中厚层云质灰岩	2002.4.24
S09	小鱼泉地下河	1112	2380.00	T _{ij} ⁴	中厚层云质灰岩	2002.4.25
S21	山王庙泉	1380	18.00	T _{ij} ⁴	中厚层云质灰岩	2002.4.26
S22	风洞埡口地下河出口	1440	15.00	T _{ij} ²	中厚层云质灰岩	2002.4.29

4.3.2 地下水补给、径流和排泄条件

测区内松散岩类孔隙水、碎屑岩裂隙水的补、径、排较为单一, 且对隧道影响小, 下面主要就碳酸盐岩岩溶水展开论述。

(1)测区内补给区主要在 I 级夷平面的垄脊台地区和 II 级夷平面的槽谷台地区, 标高多在 1500m 以上。

(2)测区内径流区主要在最高和最低夷平面之间的斜坡地带, 以水力坡度较大的裂隙流为主。

(3)测区内的排泄区在 IV 级夷平面的岩溶沟谷或深切河沟地带, 隧道进口的排泄区为乐园沟, 标高在 1110m 左右, 隧道中部槽谷的排泄区在远离隧道 13km 外的塘坊, 标高在 850~900m。

受背斜和断层控制, 测区内形成背斜垄脊分流排水, 纵向槽谷管道流集中排水的岩溶水运移模式。

根据岩溶水补给、径流、排泄特征,隧道区岩溶水系统可划分为得胜场地下河系统与大鱼泉、小鱼泉地下河系统,各系统特征如下:

1. 得胜场地下河系统

(1)暗河发育特征

该暗河系统沿得胜场槽谷延伸,主管道发育在三叠系中统嘉陵江组第四段中部浅色薄层白云质灰岩、灰质白云岩、溶崩角砾岩地层,受得胜场断裂和 T_{1j}^4 所含石膏岩影响发育而成,走向北东,进口在谋道东南天阴桥(2002 年 4 月 17 日~4 月 28 日实测入口流量为 168.0~2581.4L/s),途径玉皇庙、观音寺、李家院子、五同庙、得胜场、陶家新房子,在齐岳山脚下塘坊附近出口,全程约 25km,是齐岳山隧道岩溶区最大地下河系统。

其所控制的岩溶水系统主要由嘉陵江组及大冶组碳酸盐岩组成,平面分布呈条带状,东南边界以吴家坪组页岩、煤层构成(即齐岳山背斜轴),西北部则以三叠系中统巴东组为界(汇集部分非碳酸盐岩区地表产流),西南部为地表水分水岭,即为系统的南西边界。

岩溶水补给除接受碳酸盐岩区降水入渗补给外,还接受西部非碳酸盐岩区降水产流汇流补给。岩溶槽谷相当于一个集水廊道,周边地区的地下水均向此汇流后向北东方向径流。系统控制面积 95.52km^2 ,其中非碳酸盐岩补给区 18.95km^2 。

该暗河形态复杂,沿途除发育许多消水洞(主要消非碳酸盐岩区汇流水),在张家湾、唐家坝、王家坝、阳家大湾等地发现多处地表水伏流口,另外在其南东侧还有齐岳山背斜西翼的北西向岩溶管道支流汇入。

补充调查中对岩溶的调查作了部分校正和补充,有较大意义的有三个,均发育在 T_{1j} 与 T_{2b} 的交界面附近:1、响水洞暗河口实际出水标高在 1008m 左右,出水位置在 N3370650E36572840,因被岩堆体覆盖只有大雨才可溢出岩堆体表面,平时所见在岩堆体下缘,标高 900m 处,实测流量 1381L/s(2002 年 4 月 20 日),最大流量 4592.1L/s,推断为得胜场暗河出口;2、洞溪口暗河出口标高为 930m,位置在 N3373310E36575270,流量 105L/s(2003 年 4 月 2 日),与进出口明确的大鱼泉暗河相比,推测与之相匹配的该段管道流较短,应未追溯到隧道附近地段;3、另外还有一间歇岩溶管道流,流量更小,与之相匹配的应是上方附近的阴河槽地带的地下水。

本次调查，得胜场地下河系统天阴桥(进口标高 1345m)—五同庙段(地下河水位标高 1290m)，地下水平均水力坡度为 4.316‰；五同庙—响水洞段，地下水平均水力坡度为 36.036‰,此段水力坡度较大，原因是陶家大院至塘坊响水洞段因断层出现，沟谷深切，地下水水力坡度大，故垂向岩溶发育强烈，地下河发育深度亦较大，为岩溶管道发育裂点。

根据得胜场地下河系统响水洞、洞溪口地下河出口及大鱼泉地下河出口流量监测(2002 年 4 月 17 日~2002 年 4 月 28 日)，各地下河系统地下径流模数见表 4-4。

表 4-4 齐岳山隧道区地下河系统地下径流模数

地下河系统名称	2002 年 4 月 17 日~5 月 11 日		
	最大	最小	平均
得胜场地下河系统	4153.65	359.64	1448.05
大鱼泉地下河系统	15977.3	2433.5	/

(2)、得胜场槽谷地下水的垂直分带性

对应着得胜场槽谷岩溶的垂向分带性，岩溶水也呈较为明显的垂向分带性：

①深 0~60m 岩溶强烈发育带中，实测地下水的稳定水位埋深在 25.47~36.7m，为岩溶发育的季节变动带，在其附近或以下往往发育大型的岩溶水管道，本处对应发育了得胜场暗河及其次一级裂隙通道，处在这一分带中的地下水以岩溶管道水为主，最为活跃，不但进行快速的平面上的径流排泄，同时接受上下层位的地下水补给，基本不承压；稳定水位之上为岩溶发育的垂直入渗带，对应消水洞、漏斗等竖向岩溶发育，这一分带中的岩溶体除有经常性的表水流入的消水洞外，平时是干涸的，只有雨季才能充水。

②深 60~100m 的岩溶中等发育带中，以溶蚀裂隙水为主，较发育，对应的裂隙渗透性较强，以齐岳山背斜北翼层间裂隙为富存、运移通道，水文试验显示具承压性，以较为缓慢的向上部管道流补给，削弱了其水平径流带的特征。

③深 100 以下至洞身的岩溶弱发育带，仍以溶蚀裂隙水为主，弱发育，对应的裂隙渗透性较弱，以层间承压裂隙水形式更为缓慢的向上部管道流补给，体现了深部循环带的特征。但是在这一分带中不排除因构造等原因局部出现较大的溶蚀裂隙或溶洞的可能，并且弹性波 CT、EH—4 也显示了这种可能，应该

引起注意。

以上是一个大体分带,各分带地下水的发育程度、活跃程度是相对的,要充分考虑在得胜场槽谷地段集中发育的多条断裂构造的影响以及层间溶蚀裂隙的影响,它们提供了各垂直分带间竖向水力联系的通道,一旦隧道开挖后,水平径流带和深部循环带的水将通过这些竖向的通道活跃起来,但是只要是裂隙通道的宽度和密度(即发育率)有限,这种活跃程度将受到限制,隧道涌水也就不会因与上部管道流的连通而不堪设想。不过施工仍需加强预报预测,以探测是否有这种可能。

2. 大鱼泉地下河系统

大鱼泉为地下河出口,位于利川齐岳山脚下野茶坝西侧鱼泉沟,洞口标高为 1115m,洞宽 25m,高 8m,长 35m。在洞末端的东侧,发育一隙宽为 0.5m 溶隙,呈槽状,水从其中流出,然后沿洞底东侧的一条水沟流出洞口,泄入地面沟谷中,成为清江源头北部分支之源。据 2002 年 4 月 24 日~4 月 30 日实测,流量为 492.4~3230.6L/s。溶洞发育于三叠系中统嘉陵江组浅色薄层灰岩中,顺层岩溶比较发育,溶洞及地下河发育均受此控制,其水化学特征见表 7-3。

2002 年 5 月 11 日~5 月 14 日,在石洞子煤矿隧道口消水洞——小鱼泉段进行了示踪连通试验。2002 年 5 月 11 日 11:15 在石洞子煤矿隧道口消水洞投放 2000kg 工业盐示踪剂,2002 年 5 月 12 日 0:00 在大鱼泉出口接收到示踪剂,而小鱼泉地下河出口一直未收到示踪剂,反映大鱼泉地下河系统与小鱼泉地下河系统不属同一系统。

在大鱼泉北约 5km 处,发育大型溶洞——朝阳洞。此洞洞口标高 1143m,可测段长达 350m。洞体发育条件与大鱼泉地下河基本相同。洞内 60m 处为一走向近 250°的地下河,据 2002 年 4 月 30 日~2002 年 5 月 4 日实测流量为 103.39~333.6L/s。

调查表明,该暗河系统所控制的含水岩组主要由嘉陵江组及大冶组碳酸盐岩组成,西部边界以吴家坪组页岩、煤层构成,东部则以三叠系中统巴东组为界,南、北各有小型横向分水岭与相邻大型的岩溶泉及小鱼泉暗河分界。

系统控制面积约 17.47km²,其中非碳酸盐岩补给区 3.75km²。

表 4-5 得胜场、大鱼泉、小鱼泉地下河系统地下河出口水化学特征对比表 单位: mg/L

地下河系 系统名称	位置	采样日期	水温 (℃)	pH 值	K ⁺ + Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
得胜场	得胜场响水洞	2002-04-20	12.50	8.28	0.51	46.09	5.31	4.34	17.68	128.32
	得胜场洞溪口	2002-04-20	13.70	8.24	1.84	56.23	11.18	4.34	18.78	180.66
小鱼泉	小鱼泉	2002-04-25	12.20	7.91	0.34	44.25	2.24	2.61	11.05	128.32
	小鱼泉	2002-05-04	8.40	8.01	4.44	44.25	1.68	3.48	16.57	128.32
大鱼泉	朝阳洞	2002-04-30	12.60	7.92	2.37	49.78	3.35	3.48	13.26	151.96
	大鱼泉	2002-04-30	12.20	8.00	1.84	46.55	3.35	3.48	17.68	135.07
	大鱼泉	2002-04-25	12.30	7.98	2.99	46.09	3.35	3.48	17.68	136.76
	大鱼泉	2002-05-04	8.30	8.09	4.39	46.55	3.91	4.34	23.20	136.76
	朝阳洞	2002-05-04	10.50	7.85	3.43	53.01	2.24	4.34	16.57	153.65
	石洞子隧道 620m	2002-05-04	10.90	8.22	3.61	32.73	1.12	3.48	8.84	94.55
	石洞子隧道 1520m	2002-05-04	10.90	8.28	4.69	79.74	6.99	3.48	92.79	162.09

地下河系 系统名称	位置	采样日期	CO ₃ ²⁻	固定 CO ₂	游离 CO ₂	侵蚀 CO ₂	可溶性 总固体	总硬 度
得胜场	得胜场响水洞	2002-04-20	4.98	49.92	0.00	0.00	140.58	136.97
	得胜场洞溪口	2002-04-20	9.96	72.45	0.00	0.00	187.68	186.47
小鱼泉	小鱼泉	2002-04-25	0.00	46.27	2.69	0.00	124.65	119.71
	小鱼泉	2002-05-04	0.00	46.27	2.69	0.00	134.58	117.41
大鱼泉	朝阳洞	2002-04-30	0.00	54.78	2.69	0.00	148.22	138.12
	大鱼泉	2002-04-30	0.00	48.71	1.34	0.00	140.43	130.07
	大鱼泉	2002-04-25	0.00	49.30	1.34	0.00	141.97	128.92
	大鱼泉	2002-05-04	0.00	49.30	1.34	0.00	150.77	132.37
	朝阳洞	2002-05-04	0.00	55.40	4.03	0.00	156.42	141.58
	石洞子煤矿 800m 处	2002-05-04	1.66	35.29	0.00	0.00	97.89	86.33
	石洞子煤矿 1500m 处	2002-05-04	3.32	60.87	0.00	0.00	270.40	227.90

注：洞溪口有地表水加入；2002 月 5 月 4 日，朝阳洞、小鱼泉取样时正在降雨，分析结果受一定影响。

大鱼泉岩溶水补给主要接受碳酸盐岩区降水入渗补给，东部非碳酸盐岩区降水主要通过朝阳洞伏流口补给地下河，流量为 3.0L/s(2002 年 4 月 30 日)。地

下水主要通过南东向溶蚀裂隙或管道、地下河由西部向地下河管道汇流、排泄。根据本次调查，地下河分布标高为：大鱼泉—石洞子消水洞—朝阳洞地下河段分布标高为 1115~1140m，水力坡度为 5.60‰。据示踪试验计算石洞子煤矿洞口消水洞——大鱼泉段(长 1988.42m)，地下河水视流速为 2545.01m/d，可见此段地下河水流速较快，且岩溶管道比较单一。

3. 小鱼泉地下河系统

小鱼泉位于大鱼泉 SW 向 1.92km 处，出口标高为 1112m。据 2002 年 4 月 24 日、4 月 30 日、5 月 11 日实测，其流量分别为 2380.0L/s、1427.0L/s、405.55L/s。地下河发育于三叠系大冶组、嘉陵江组，具有两条地下河管道支流，具虹吸现象。西部边界以吴家坪组页岩、煤层构成；东部以巴东组为界；北部与大鱼泉存在分水岭；南部为深切沟谷，其泉域与深切沟谷之间存在地下河分水岭，即系统南边界。排泄口在小鱼泉，具上升泉特征。其水化学特征见表 4—5。

地下水补给径流排泄有两个特点：一是其西侧岩溶水通过南东向岩溶裂隙或岩溶管道向小鱼泉排泄；二是南侧岩溶水顺层向北东方向径流向小鱼泉排泄。考虑到小鱼泉具有虹吸现象，因此认为地下河分布标高应在其出口标高 1112m 之下。系统控制面积约 9.45km²。

4.3.3 岩溶水动态特征

据 2002 年 4 月 17~5 月 4 对各地下河系统补给区及地下河出口流量动态监测，各系统地下河出口流量动态变化较大，完全受大气降水控制，地下河的流量动态对降水反映极为灵敏，降雨引起地下河出口流量变幅为 6~12 倍(表 4-6)

表 4-6 各地下河系统流量特征值

岩溶水系统	名称	最大流量 (L/s)	最小流量 (L/s)	平均流量 (L/s)	流量变幅 (倍)	观测时段 (月.日)
得胜场地下河系统	天阴桥伏流口	2581.4	168.0	709.2	15.4	4.17~4.28
	响水洞地下河出口	4592.1	397.6	1600.9	11.6	4.20~4.28
大鱼泉地下河系统	朝阳洞	385.1	103.4	/	3.7	4.30~5.4
	大鱼泉	3230.6	492.4	/	6.6	4.24~5.4
小鱼泉地下河系统	小鱼泉	2380.0	405.55	/	5.9	4.24~5.11

动态类型主要表现为降雨骤变型，流量动态滞后场雨时间一般为 0.5~1 天 (图 4—1，23 日降水量 61mm)。

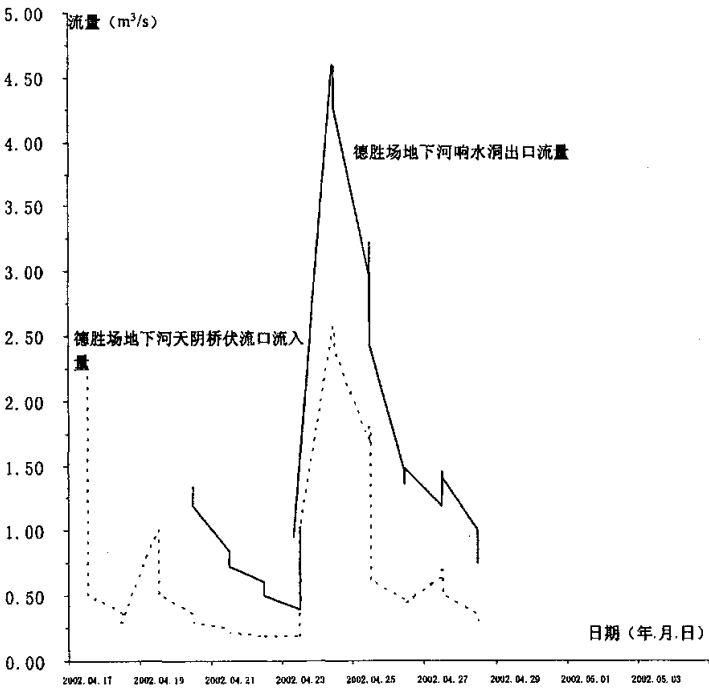


图 4—1 德胜场地下河伏流口与响水洞出口流量动态特征图

第 5 章 齐岳山隧道涌水量预测

5.1 隧道涌水段基本分布情况

综合地质钻探及其他调查资料，可确定该隧道涌水段分布如表 5-1。

表 5—1 隧道涌水量预测分段基本情况表

涌水量预测分段[中桩里程(m)]	构造部位与岩溶地貌部位	含水层	岩溶发育特征与含水层富水性	所属岩溶水系统	汇水面积(km ²)
DK361+257~DK362+035	齐岳山背斜南东翼斜坡	T_{ij}^4 T_{ij}^3 T_{ij}^2	强岩溶发育， T_{ij}^4 发育大鱼泉、小鱼泉地下河，富水性强。溶洞、地下河多沿层面、南东向溶隙发育。	大鱼泉—小鱼	4.0806
DK362+035~DK362+550	齐岳山背斜南东翼岩溶槽谷、台地	T_{ij}^1 T_{id}^4 T_{id}^3 T_{id}^2 T_{id}^1 P_{2c} P_{2w}	此段两侧为弱含水层，岩溶不发育；中部强岩溶发育、富水性强，岩溶多层面发育，竖井、消水洞较多。	泉地下河系统	3.075
DK362+550~DK363+550	齐岳山背斜西北翼岩溶垄脊槽谷	T_{ij}^1 T_{id}^4 T_{id}^3 T_{id}^2 T_{id}^1 P_{2c}	此段两侧为弱含水层，岩溶不发育；中部岩溶发育、富水性强，岩溶多沿顺层、南东向溶隙发育，竖井、消水洞、塌陷、洼地分布较多。	得胜场地下河系统	3.83
DK363+550~DK364+800	齐岳山背斜西北翼斜坡	T_{ij}^2 T_{ij}^3	中等至强岩溶发育，发育南东向岩溶管道，富水性强。顺层溶洞发育。		4.66
DK364+800~DK365+250	齐岳山背斜西北翼岩溶槽谷	T_{ij}^4	强岩溶发育， T_{ij}^4 发育得胜场地下河，富水性强。消水洞、洼地、塌陷极为发育，消水洞、溶洞、地下河多沿层面及南东向溶隙发育。		6.87

5.2 隧道涌水量预测方法选择

隧道涌水量具有季节性变化, 因此预测隧道涌水量时, 应分别计算正常涌水量与雨季最大涌水量值。涌水量预测准确性, 主要取决于对隧道充水条件的正确分析及计算参数和计算方法的合理选用。根据目前所取得的资料及对隧道区岩溶水文地质条件的了解, 拟选取如下四种方法。

5.2.1 降水入渗系数法(水均衡法)

计算方法如下:

$$Q_y = \eta Q_a$$

其中: $Q_a = 1000 a A F$

式中: a ——入渗系数;

η ——涌水系数;

A ——所取日降水量(mm);

F ——各区段汇水面积(km²);

Q_a ——采用大气降水渗入法计算的渗入补给量(m³/d);

Q_y ——采用大气降水渗入法计算的隧道涌水量(m³/d)。

5.2.2 工程比拟法(水文地质比拟法)

根据已生产隧道的排水资料预测水文地质条件与其相似的新建或扩建隧道涌水量。对于廊道式隧道, 计算方法如下:

$$Q = (Q_l / (L_l * R_l)) * L * R$$

式中: Q_l ——生产隧道涌水量(m³/d);

L_l ——生产隧道长度(m);

R_l ——生产隧道半宽(m);

Q ——新建隧道涌水量(m³/d);

L ——新建隧道长度(m);

R ——新建隧道半宽(m)。

5.2.3 地下径流模数法(水文分析法)

根据已确定的间接测流及已确定的地下河流域补给范围, 确定地下径流模数。通过类比全流域, 即可求出通过该流域的隧道的地下水涌水量。或参考 1: 200000 《区域水文地质普查报告》的地下径流模数, 利用平水期地下径流模数与丰水期地下径流模数进行涌水量预测。

计算方法如下:

$$M=Q_i/F_i$$

式中: M —地下径流模数 ($\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{km}^2$);

Q_i —地下河出口实测流量(m^3/d);

F_i —地下河系统汇水面积(km^2)。

涌水量预测计算方法:

$$Q=MA$$

式中: Q —隧道通过含水体地段的正常涌水量(m^3/d);

A —隧道通过含水体地段的集水面积(km^2)。

5.2.4 灰色关联度分析和灰色虚拟变量多元回归法

首先利用灰色关联度分析方法分析评价各种水文地质条件与隧道涌水灾害严重性的关联程度。根据全国 186 座隧道调查资料计算结果可知, 隧道地质构造的类型及发育程度、是否采取防水措施这两项因素与涌水灾害的关联度很大, 其次为隧道长度、纵向汇水长度及隧道地表环境特征。

表 5-2 隧道涌水灾害影响因素灰色关联度分析表

因素	纵向汇水长度	隧道类型(傍山、越岭)	地表环境特征	岩性	地质构造
关联度	0.71	0.639	0.729	0.644	0.800
因素	最大埋深	围岩类别	防护措施	气候特征	隧道长度
关联度	0.695	0.668	0.774	0.708	0.740

根据全国 156 座隧道调查资料，建立了涌水灾害严重程度等级的判别方程式，将结果用评分表的形式表达，如表 5-3：

表 5-3 隧道涌水灾害严重等级判别评分表

判别条件	评分标准				
地表环境特征	沟谷汇水、岩溶形态发育、集水建筑物			旱地、荒地	
	0.7			0	
岩石性质	硬岩		软岩		
	0.21		0		
地质构造	裂隙不发育 裂隙紧闭	裂隙发育、裂隙张开	断层破碎带	岩溶裂隙发育	岩溶破碎带
	0	1.34	1.70	1.71	1.90
防水措施	无	灌浆防水			已衬砌
	0	-0.3			-0.45
气候条件	少雨区	多雨区			丰雨区
	0	1.15			1.30
埋深(最大)	$3.8H \times 10^{-4}$ (H 为隧道最大埋深)				
隧道长度	$0.05L$ (L 为隧道长度 km)				
判据	D 级	C 级	B 级		A 级
	<2.48	2.48~3.30	3.30~3.91		>3.91

隧道涌水灾害评估等级 A、B、C、D 四等：

- A：隧道严重涌水，中断施工或运营，地表塌陷，表水枯竭。
- B：隧道内涌水较严重，长年有水，破坏道床、衬砌结构。

- C：隧道内有涌漏水，已影响工务维修和施工。
- D：基本无水，对施工运营无影响或甚微。

建立涌水量的统计关系，原则上可采用多元回归方法，但是传统的多元回归要求自变量是定量的，而许多水文地质条件却是定性的，因此，采用了虚拟变量多元回归方法。另一方面，目前全国范围内有涌水量记载的隧道非常少，即样本数很少，采用多元回归的方法虽然可以算，但结果离散性大，难以找到准确的统计规律。而灰色系统理论则可以克服样本少带来的麻烦，将灰色理论与虚拟变量多元回归方法有机结合起来，产生了一种新的预测方法，即灰色虚拟变量多元回归方法。

根据全国 35 座有涌水量记录的隧道调查资料，采用灰色虚拟变量多元回归方法，得涌水量预测评分表。

表 5—4 隧道涌水量概略预测评分表

基本量	地表环境特征			隧道类型		岩石形性质							
	沟谷汇水或纵向 长度到达 1km		旱地	越岭	沿河	灰岩	硬岩	软硬互层	软岩				
2900	188		0	0	820	4095	2730	0	—1724				
裂隙不 发育	裂隙 发育	断层带	岩溶裂 隙发育	岩溶断层		岩溶暗河		多水区	丰水区				
—1180	500	3140	3060	4480		28338		0	3860				
防水措施			隧道最大埋深										
无防护	灌浆后开挖已衬 砌		100m 以下	100~400m		400~700m		大于 700m					
0	—3948		5	23		45		578					
隧道长度(km)													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	≥14
0	780	1108	1607	2000	2800	4280	5760	7250	8732	11214	12690	14180	16110

5.3 齐岳山隧道涌水量预测参数的选择

5.3.1 大气降水渗入法

根据所划分涌水量预测区段的地形地貌特征及岩层出露条件，确定各预测段的降水入渗系数，本次入渗系数参照国土资源部地调项目成果《洛塔岩溶及其水资源评价与利用的研究》P₁₈₃ 页表 7-1 取值。分段涌水量预测计算，以最长连续降雨日期的日降雨量为正常涌水量降雨量参数，以大雨期加权平均日降雨量为最大涌水量降雨量参数，计算结果见表 5—5。

表 5—5 隧道分段涌水量预测结果表(大气降水渗入法)

涌水量预测分段	DK361+257~ DK362+035	DK362+035~D K362+550	DK362+550~ DK363+550	DK363+550~ DK364+800	DK364+800~ DK365+250
补给区面积(km ²)	4.0806	3.075	3.83	4.66	6.87
降水入渗系数(a)	0.286	0.562	0.562	0.286	0.679
正常涌水量降雨量参 数(mm)	18.39				
最大涌水量降雨量参 数(mm)	35.45				
涌水系数(η)	0.3	0.2	0.3	0.2	0.35
正常涌水量(m ³ /d)	6439	6356	19792	4902	30025
最大涌水量(m ³ /d)	12414	12253	38152	9449	57878

5.3.2 工程比拟法

针对齐岳山隧道涌水量预测，对距隧道线北约 2.8km 的石洞子煤矿隧道进行了涌水量调查与资料收集，有关情况见表 5—6。

表 5-6 隧道线北 2.8km 石洞子煤矿隧道 1989~2000 年涌水量统计一览表

性质	监测数据			统计特征值				
距隧道口	620m	1200m 左主洞	1200m 右洞	0~620m	620~ 1200m	1200~ 1758m	620~ 1758m	备注
主要突 水点位 置	测流断 面 A1+ 生活生 产用水 (突水 点接 出)	测流断 面 A2	测流断 面 B1	无、局 部渗水	660m 小断 层、溶 洞	1520m 断 层、溶洞		
主要岩 溶 含水层				T_{1j}^A, T_{1j}	T_{1j}^A	$T_{1j}d^3, T_{1j}d^2, P_{2c}$		
岩溶 发育情 况				强岩溶 发育	中等岩 溶发育	弱岩溶 发 育		
涌水特 征	Q(L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	q (L/s·m)	q (L/s·m)	q (L/s·m)	q (L/s·m)	
最大值	830.29	11.78	16.8		0.0329	1.4776	0.7296	
最小值	13.34	1.10	2.04		0.006	0.002	0.0052	
平均值	37.08	7.102	5.56		0.0171	0.06199	0.0297	

齐岳山隧道 DK361+257~DK362+710 段标高(1123m)与石洞子煤矿相距 2.8km, 标高(1137m)也比较接近, 均接近饱水带位置(大鱼泉地下河管道在此标高下), 二者地形、地貌均与齐岳山背斜南东翼, 地质、水文地质条件极为类似, 基本属同一地质构造单元, 因而可根据石洞子煤矿隧道涌水特征对齐岳山隧道 DK361+257~CK362+710 段进行涌水预测。据统计石洞子煤矿实测流量, 列出了 100 年内所出现不同频率的流量值, 见表 5-7。

表 5-7 石洞子煤矿实测流量频率统计

频率	1	2	3	5	10	20	25	30	40	50
流量(m ³ /d)	92918	76500	66563	54466	38048	22710	18174	13854	8021	3485

推荐相当于三年一遇的煤矿涌水量值 13854 m³/d 为石洞子煤矿正常涌水量值, 接近于 50 年一遇的历史最大涌水量值 71737m³/d 为最大涌水量值(对应 90 年 5 月 13~15 的一次降雨, 降雨量为 92.1mm, 830.29 L/s), 来预测对应隧道 DK361+257~DK362+550 的涌水量。调查石洞子煤矿巷道半宽为 4m, 与隧道半宽相近, 预测结果见表 5-8。

表 5—8 隧道分段涌水量预测结果表(水文地质比拟法)

	石洞子煤矿 涌水量	煤矿涌水巷道长 度(1758-620)	DK361+257~DK362+550 隧道涌水段长度	隧道涌水量预 测
正常涌水量	13854	1138	1163	14158
最大涌水量(相当 于暴雨时)	71737	1138	1163	73313

5.3.3 地下径流模数法

据 1：20 万《区域水文地质普查报告》(忠县幅)，将灰岩地段归纳为岩溶垄脊槽谷、槽谷区及岩溶斜坡区，其平水期及枯水期的径流模数及相应降雨量参数见表 5—9。

表 5—9 地下径流模数法参数表

水文参数	枯水期	平水期		丰水期	
	径流模数	模比系数	径流模数	模比系数	径流模数
岩溶垄脊槽谷、槽谷区	617.77	2.14	1323	6.61	4082
岩溶斜坡区	206.50	2.14	442	6.61	1365

按径流模数法分段计算涌水量，见表 5—10。

表 5-10 齐岳山隧道分段涌水量预测结果表(地下径流模数法)

涌水量预测分段	DK361+257~ DK362+035	DK362+035~ DK362+550	DK362+550~ DK363+550	DK363+550~ DK364+800	DK364+800~ DK365+250
补给区面积(km ²)	4.0806	3.075	3.83	4.66	6.87
地下径流模数 (M)(m ³ /d·km ²)	平水期	442	442	1323	442
	丰水期	1365	1365	4082	1365
分段涌水量 (m ³ /d)	正常	1804	1359	5067	2060
	最大	5570	4197	15634	6361
					28043

5.3.4 灰色关联度分析和灰色虚拟变量多元回归法

首先评判齐岳山隧道涌水量等级, 根据表 5-4, 地表沟谷发育, 岩溶发育 0.7; 岩石性质为硬岩 0.21; 岩溶裂隙发育 1.71; 气候条件为多雨区 1.15; 埋深 670m, $3.8 \times 670 \times 10^{-4} = 0.25$; 隧道长度 10.463Km, $0.05 \times 10.463 = 0.52$, 总得分 4.54, 属于 A 级, 即隧道严重涌水, 中断施工或运营, 地表塌陷, 表水枯竭。

再利用灰色虚拟变量多元回归法预测其涌水量, 基本涌水量 2900, 地表沟谷汇水 188, 越岭隧道 0 分, 岩石性质为灰岩 4095, 处于断层破碎带 3140, 溶洞暗河发育 28338, 齐岳山地区为丰水区 3840, 隧道最大埋深 670m, 得分 45, 隧道长 10463m, 得分 11214, 总计 53760, 即隧道预测涌水量为 $53760 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

5.4 得胜场暗河地段的涌水量的研究

得胜场暗河作为悬浮在隧道上的常年性管道流, 始终通过一定的途径对隧道开挖后的涌水产生影响, 因此无论采用哪一种方法预测, 都应考虑这部分水量, 根据前述隧道所处的岩溶、岩溶水垂直分带认为, 隧道附近以较小的溶蚀、构造裂隙发育为主, 得胜场暗河也首先通过既有通道对隧道进行涌水, 其次还要考虑是否存在由于构造破碎带的坍塌变松产生新的通道的可能, 暂时考虑以既有的裂隙通道对隧道进行涌水的情况。现采用地下水动力学法, 以洞身垂直穿越常年性河流的下方含水层, 且假设含水层均质(裂隙均匀发育)无限厚($T=0$), 由此建立了垂直经过水底隧道的非完整式的地下水动力学法的涌水量计算模式:

$$q_0 = 2\pi \cdot K(H-h_0)/\ln(2h/r_0-1)。$$

假设暗河主管道及两侧次一级的裂隙通道的宽度为 100m, 含水层渗透系数取抽水试验所得渗透系数的最大值 0.53 m/d , 洞身横断面等价圆半径 $r_0 = 5.92$, 地下水水面至洞身横断面等价圆顶部的距离 $H = 248.16 \text{ m}$, 自地下河底部至洞底距离 $h = 250 \text{ m}$, 洞内排水沟假设水深 $h_0 = 1.0 \text{ m}$, 计算得单位长度涌水量为 $186 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$, 暗河对相应隧道段的涌水量为 $18600 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

因缺乏隧道涌水峰值对于降雨峰值的滞后期(t), 较可靠的涌水系数难以确定($\eta = 1/t$), 涌水系数难以确定, 又因缺乏系统的长期观测获得“平水期暗河流量”

和“丰水期暗河流量”，难以用降雨入渗法进行计算比较，暂且按一种方法参与本段涌水量的预测。

5.5 隧道涌水量预测结果

根据四种方法计算结果比较，不同预测方法，其涌水量预测结果有一定的差别。综合分析，各段最大涌水量预测结果如表 5—11。

表 5—11 隧道涌水量预测结果表

预测方法	涌水量 预测分 段	DK361+257~ DK362+035	DK362+035~ DK362+550	DK362+550~ DK363+550	DK363+550~ DK364+800	DK364+800~ DK365+265	隧道区 段涌水 量合计	
地下径流 模数法涌 水量(m ³ /d)	平水期	1804	1359	5067	2060	46289	56579	
	丰水期	5570	4197	15634	6361	65243	97006	
大气降水 渗入法涌 水量 (m ³ /d)	正常	6439	6356	19792	4902	48625	104713	
	最大	12412	12253	38152	9449	76478	167344	
水文地质 比拟法涌 水量(m ³ /d)	正常	14158						
	最大	73313						
灰色关联度分析 和灰色虚拟变量 多元回归法		53760						
正常涌水量预测 取值(m ³ /d)		6439	6356	19792		6361	48625	86113
				15834	3956			
最大涌水量预测 取值(m ³ /d)		12412	12253	30522	7630	9449	76478	148743
对应隧道段长(m)		713	580	830	950	570	365	
单位长度最大涌 水量 q ₀ m ³ /d·m		17.4	21.1	36.8	8.0	16.6	209.5	

注：DK362+550~DK363+550 集水地段对应隧道洞身 DK362+550~DK364+330，其中绝大多数集水(按 80%比率考虑，19792*80%=15834)集中在 DK362+550~DK363+380 断层、背斜核部的裂隙集中发育段。

其中大气降雨入渗法偏于安全, 并且其正常涌水量略大于地下径流模数法的丰水期涌水量, 建议采用该方法的预测值, 局部正常涌水量小于地下径流模数法的丰水期涌水量时, 取地下径流模数法的丰水期涌水量值作为正常涌水量值。

5.6 隧道涌水分段评价

根据隧道区段的岩溶发育特征、地下河管道分布、岩溶含水层的富水性及分段涌水量预测结果, 现将隧道齐岳山岩溶区段的水文地质条件评价如下:

1、DK361+257~DK362+035 段(对应隧道洞身 DK361+257~DK361+970 段)

此段地貌上属齐岳山背斜南东翼斜坡地带, 地表局部分布有洼地(局部为深洼地)、消水洞、溶洞, 地下发育层间岩溶管道, 局部有小型断层, 出露嘉陵江组一至四段(T1j1~4)碳酸盐岩, 发育有大鱼泉层间岩溶管道流, 隧道路肩线标高高于大鱼泉地下水标高 10m, 该段隧道预测正常涌水量值为 $6439\text{m}^3/\text{d}$, 最大涌水量 $12412\text{m}^3/\text{d}$, 单位长度最大涌水量 $17.4\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$, 属强富水段。

与距隧道北约 2km 石洞子煤矿隧道比拟, 其隧道涌水量较少, 但此段层间溶洞、岩溶管道比较发育, 受雨季影响大, 显示垂直渗入带—季节变动带特征。EH-4 显示 2#低阻异常(见纵断面), 注意季节涌水。

2、DK362+035~DK362+550 段(对应隧道洞身 DK361+970~DK362+550 段)

此段位于齐岳山背斜南东翼岩溶台地、槽谷区, 地表局部发育洼地(局部为深洼地)、消水洞、竖井, 地下主要以层间溶洞及溶蚀裂隙为主, 隧道穿越大冶组(T1d1~4)、长兴组(P2c)、吴家坪组(P2w)上部的碳酸盐岩与页岩夹层, 该段隧道预测正常涌水量值为 $6356\text{m}^3/\text{d}$, 最大涌水量 $12253\text{m}^3/\text{d}$, 单位长度最大涌水量 $21.1\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$, 属强富水段。

与距隧道北约 2km 石洞子煤矿隧道比拟, 其隧道最大涌水量相对较大(根据调查涌水多为溶洞瞬间突水, 延时性短), 主要涌水点位于大冶组二、三段层间岩溶管道及四段顶部—即大冶组与嘉陵江组接触带和长兴组(P2c)底部—即长兴组与吴家坪组接触带, 涌水特征主要是集中涌水, 特别是雨季可能产生较大的涌水、突泥, 对隧道具有较大的影响。显示季节变动带特征。EH-4 显示 4#、5#低阻异常(见纵断面), 注意瞬时涌水。

以上两段的涌水、渗漏点可根据对石洞子煤矿调查(2002 年 4 月 19 日)的涌水点及涌水特征(见表 5-12)进行预测, 煤矿涌水点特征表显示了较大的突水点一般出现在断层构造附近, 且受降雨影响较大, 其余地段多为渗水。据此推断隧道开挖时, 在相应的 F3、F4 两断层附近是最有可能突水的位置。

表 5-12 隧道线北约 2km 石洞子煤矿隧道涌水点、涌水特征一览表

涌水点位置 (距隧道口距离 (m))	涌水特征	涌水量 (L/s)	涌水段 (距隧道口距离 (m))	涌水量 (L/s)	单位涌水量 (L/s·m)
35	消水	50.0	0~600	0.20	0.0003
120	渗水	0.15			
150	渗水				
300	渗水		850~1500	2.41	0.0032
400	渗水				
450	渗水				
500	渗水	22.01	1500~1758	5.06	0.0196
660	涌水, 年变化 较大				
1000	渗水		1758~1900	2.3	0.0020
1100	渗水		(加 1000m 煤洞)		
1120	渗水		>1900		
1400~1410	渗水				
1520	流量, 年变化 不大	0.85	0~1900	32.57	0.01714

3、DK362+550~DK363+550 段(对应隧道洞身 DK362+550~DK364+330 段)

此段地貌上属齐岳山顶部岩溶垄槽谷地形, 地表竖井、洼地、消水洞、塌陷在背斜核部集中带状发育, 规模较大, 隧道穿越大冶组(T1d1~4)、长兴组(P2c)、吴家坪组(P2w)、茅口组(P1m)碳酸盐岩、页岩夹层、煤系地层, 其中绝大多数集水(按 80%比率考虑)集中在 DK362+550~DK363+380 段属 F5、F6 断层及背斜核部裂隙密集发育段, 隧道预测正常涌水量值为 15834m³/d, 最大涌水量 30522 m³/d, 单位长度最大涌水量 36.8m³/d·m, 属强富水段; 剩余集水则分配到 DK363+380~DK364+330 段, 隧道预测正常涌水量值为 3958m³/d, 最大涌水量 7930 m³/d, 单位长度最大涌水量 8.0m³/d·m, 属强富水段。EH-4 显示 6#、7-1#、8#低阻异常(见纵断面), 注意其瞬时涌水。注意断层 F5、F6 破碎带连续突水, 尤其是 F5 断层水。

4、DK363+550~DK364+800 段(对应隧道洞身 DK364+330~DK364+900 段)

地貌上属齐岳山背斜西北翼斜坡地带,地表局部分布竖井、溶洞,深部以洞穴系统、层间溶隙管道发育,隧道穿越嘉陵江组(T₁j₁~3)碳酸盐岩地层,隧道预测正常涌水量值为 6361m³/d,最大涌水量 9449m³/d,单位长度最大涌水量 16.6m³/d·m,属强富水段。

5、DK364+800~DK365+250 段(对应隧道洞身 DK364+900~DK365+265 段)

得胜场槽谷地段,如前面所述,该段隧道处在岩溶的弱发育带和岩溶水的深部循环带,综合勘探成果显示总体上对隧道开挖有利,但由于岩性间的层间裂隙和大规模的得胜场断裂及其次级构造的影响,深部裂隙水承压性表明其与上部地下水具有水力联系,该段隧道不能避免遭受除常规的大气降雨入渗补给外的上部得胜场暗河管道流的补给,是齐岳山隧道受水威胁最严重的地段,并且到目前为止也不能排除隧道开挖后,构造、溶蚀裂隙尤其是断层破碎带较宽、导水性较好的 F₁₁ 断层逐渐畅通而与管道流间接贯通的可能,因此特别强调施工中加强预报预测的重要性。

在隧道施工未出现通过较大裂隙与得胜场暗河直接贯通而是通过既有的小型裂隙对隧道产生涌水的情况下,隧道预测正常涌水量值为 48625m³/d,最大涌水量 76478m³/d,单位长度最大涌水量 209.5m³/d·m,属强富水段。注意断层 F₉、F₁₀ 破碎带突水,尤其是 F₁₀ 破碎带的持续渐强大型突水。

5.7 隧道区段地下水疏干、岩溶塌陷、地表岩溶泉枯竭问题

根据隧道穿越区段的水文地质条件,隧道施工后,可能产生的水文地质环境问题如:隧道区段地下水疏干、岩溶塌陷、地表岩溶泉枯竭问题。齐岳山岩溶区段,隧道标高位于 1080~1123m 之间,根据隧道所处区段的岩溶发育深度、地下水埋深与隧道线标高对比,不同隧道区段所产生的环境水文地质问题有所不同:

1. DK361+257~DK361+750 段

位于齐岳山背斜南东翼,其隧道标高约为 1105~1123m,略高于大鱼泉地下河出口标高(1115m)与小鱼泉地下河出口标高(1112m),处于季节变动带之间。由于此段处于大鱼泉地下河系统与小鱼泉地下河系统之间分水岭地带,地下水补

给范围有限,隧道施工后,分水岭地带地下水位有所下降,但对大鱼泉、小鱼泉地下河出口流量影响不大,不会产生不良的环境水文地质问题。

2. DK362+600~DK363+200 段

位于齐岳山背斜核部垄脊洼地地带,地表带状发育大型的岩溶塌陷、漏斗、落水洞等,均表明了下部岩溶管道的畅通和规模,若不加强岩溶隧道施工,将伴随隧道施工中地下水的不断疏导,将加剧岩溶管道的疏通,致使地下水位进一步下降,地表岩溶形态进一步扩展,恶化自然环境破坏土壤和植被。因无地表泉点,不存在泉水疏干问题。

3. DK364+800~DK365+250 段

此地段处于得胜场岩溶槽谷下约 200~250m,得胜场地下河从隧道上方通过,隧道施工中,应加强超前预报,对地下水应以堵为原则,否则随着地下水位的降低,将造成地表泉水的疏干、形成新的塌陷及岩溶水管道,将进一步加速地表水的渗漏,影响隧道区段人们的生活用水与农灌用水。一旦出现与暗河管道串通的情况,后果将更加严重。

在隧道线路施工时,设计采用分段施工,工区为脆弱生态环境——岩溶山区,废渣的排放,将对堆放场地的生态环境产生明显影响。为减少其对生态环境的影响,要尽量选择深度大的洼地作为堆放场地,同时作出复耕设计,当废渣堆放达到洼地垭口高度时,平整复耕,恢复植被覆盖和可利用土地面积。

第 6 章 结论及建议

通过以上论述和分析,可以得到以下几点结论,并针对齐岳山隧道隧址区的水文地质条件,提出相关的防治意见。

6.1 结论

1. 研究了岩溶隧道涌水的条件及影响因素,含水围岩能量的储存和释放性能、水动力性能和围岩稳定性能等是隧道涌水发生的必要条件,同时它们也决定了涌水的规模和强度;地形地貌、地层岩性、岩体结构及地应力状态等,决定了隧道含水围岩的水文地质条件,影响或制约着隧道涌水;隧道长度和埋深等工程因素,通过改变围岩的岩体结构和应力状态,改变围岩的水文地质条件,对隧道涌水也有一定的影响。

2. 较全面的分析了隧道涌水量预测的理论和方法,研究和比较各种方法的优缺点及适用范围,对齐岳山隧道以及其他岩溶隧道的涌水量预测具有一定的参考意义。

3. 分析了齐岳山隧址区的工程地质和水文地质条件,主要研究了该地区岩溶发育特征,该地区的岩溶顺层发育,沿构造裂隙、断层发育,溶崩角砾岩岩溶较不发育;根据地下水补给、径流和排泄特征,隧道区岩溶水系统可划分为得胜场地下河系统与大鱼泉、小鱼泉地下河系统;岩溶水动态特征动态类型主要表现为降雨骤变型,流量动态滞后场雨时间一般为 0.5~1 天。

4. 运用降水入渗系数法、工程比拟法、水文分析法、灰色关联度分析和灰色虚拟变量多元回归法四种方法对隧道的涌水量作了预测。DK361+257~DK362+035 段正常涌水量和最大涌水分别取 $6439\text{m}^3/\text{d}$ 和 $12412\text{m}^3/\text{d}$; DK362+035~DK362+550 段正常涌水量和最大涌水分别取 $6356\text{m}^3/\text{d}$ 和 $12253\text{m}^3/\text{d}$; DK362+550~DK363+550 段正常涌水量和最大涌水分别取 $19792\text{m}^3/\text{d}$ 和 $38152\text{m}^3/\text{d}$; DK363+550~DK364+800 段正常涌水量和最大涌水分别取 $6361\text{m}^3/\text{d}$ 和 $9449\text{m}^3/\text{d}$; DK364+800~DK365+265 段正常涌水量和最大涌水

分别取 $48625\text{m}^3/\text{d}$ 和 $76478\text{m}^3/\text{d}$ 。

5. 分别分析了各段水文地质条件, 并指出了各段可能产生的水文地质环境问题如: 隧道区段地下水疏干、岩溶塌陷、地表岩溶泉枯竭问题。

6.2 水文地质灾害防治意见

齐岳山隧道存在岩溶、岩溶水、突水突泥、岩溶塌陷问题, 煤系地层及黑色页岩地层的煤气瓦斯、区域存在的天然气问题, T1j4 地层石膏层及煤系地层中地下水硫酸根离子对混凝土侵蚀性问题; 深埋隧道可能存在的硬岩岩爆, 软岩塑性变形等地质灾害问题, 隧道在勘测设计施工中应加强地质灾害的预防。

1、隧道勘测应加强对工程地质、水文地质的勘探工作, 进一步加强专项地质工作, 进一步认识隧道工程地质、水文地质问题, 为设计施工提供更准确的依据。

2、设计应采用新技术、新材料、新工艺, 加强处理和防范措施, 特别对岩溶、岩溶水遵循以“封堵”为原则, 隧道穿越岩溶、暗河发育区时, 预备隧道相对岩溶、暗河不同位置的预设计方案, 特别是做好排水方案的比选;

3、施工中加强岩溶、岩溶水、断裂破碎带等的超前预报工作, 对煤系地层及黑色页岩地层及时加强通风和煤气瓦斯检测工作, 对石膏层及煤系地层及黑色页岩地层中的地下水硫酸根离子对混凝土侵蚀性及时化验, 隧道应加强对天然气的监测。对深埋地段应加强硬岩岩爆, 软岩塑性变形的超前预报。

4、开展动态设计, 及时针对隧道施工超前预报, 有关监测结果及时开展动态设计, 变更施工方案。

致 谢

本篇论文的编写是结合铁道部第四勘察设计院的宜万铁路重点工程齐岳山隧道的勘察设计的全过程进行的。在编写过程中，导师郑黎明教授和杜兴国教授级高工给予了精心的指导，他们严谨的治学态度和平易近人的工作作风使笔者受益颇深，为今后的工作和学习树立了一个典范。在此，笔者对两位教授的辛勤指导和帮助表示深深的感谢，同时也要感谢在整个过程中给予我帮助的其他参与项目的勘察、设计和科研工作的其他同志。由于笔者水平有限，论文中难免有不妥之处，还望各位老师及同行们不吝指教。

参考文献

- [1] 沈照理等编著. 水文地质学. 科学出版社. 1991
- [2] 常士骝等编著. 工程地质手册. 中国建筑工业出版社. 1995
- [3] 铁一院主编. 铁路工程地质手册. 中国铁道出版社. 1999
- [4] 铁二院编著. 岩溶工程地质. 中国铁道出版社. 1984
- [5] 刘丹. 铁路隧道涌水研究的发展趋势. 铁道工程学报 1998 增刊
- [6] 王俊生. 鄂西南岩溶地貌. 中国地质学会第二届岩溶学术会议论文集
- [7] 王建秀等. 隧道涌水量的预测及其工程运用. 岩石力学与工程学报. 2004.4
- [8] 铁四院总编写组. 大瑶山隧道设计总结. 1992
- [9] 刘高等. 深埋长大隧道涌(突)水条件及影响因素分析. 天津城市建设学院学报. 2002.9;8(3); 160~164.
- [10] 徐济川. 大瑶山隧道的突泥涌水机制. 世界隧道. 1998.6
- [11] 吴治生. 南岭隧道涌水量预测及评价. 铁道工程学报. 1992.2
- [12] 徐则民, 杨立中. 深埋隧道围岩渗透性的预测研究——现状与进展. 铁道工程学报. 1999.3
- [13] 唐承石. 我国铁路隧道水害概况. 隧道工程. 1984.4
- [14] Heuer, Ronald E. Estimating rock tunnel water inflow. Proceedings - Rapid Excavation and Tunneling Conference, 1995, p41-60.
- [15] Ohshima, Hiroshi. Hydrogeological study of water inflow and associated changes of water balance caused by tunnel excavation. Quarterly Reports - Railway Technical Research Institute (Japan), v25, n1, 1984, p25-32.
- [16] Meiri, David. Unconfined groundwater flow calculation into a tunnel. Journal of Hydrology, v82, n1-2, Nov30, 1985, p69-75.
- [17] Anon. Recommendations for the treatment of water inflows and outflows in operated underground structures. Tunneling and Underground Space Technology, v4, n3, 1989, p343-407
- [18] Renard, Philippe. Approximate discharge for constant head test with recharging boundary.

- Ground Water, v43, n3, May/June, 2005, p439-442
- [19] Shamma, John. Tempelis, Daniel. Duke, Steven. Fordham, Eric. Freeman, Tom. Arrowhead tunnels: Assessing groundwater control measures in a fractured hard rock medium. Proceedings - Rapid Excavation and Tunneling Conference, 2003, p296-305.
- [20] Molinero, Jorge. Samper, Javier. Juanes, Ruben. Numerical modeling of the transient hydrogeological response produced by tunnel construction in fractured bedrocks. Engineering Geology, v 64, n 4, June, 2002, p 369-386
- [21] Miyashiro, H. Yoda, H. An analysis of hydraulic transient in tunnels with concurrent open-channel and pressurized flow. Numerical Methods for Fluid Transient Analysis. Applied Mechanics, Bioengineering, and Fluids Engineering Conference, 1983, p73-5.
- [22] Kimball, B.A. Runkel, R.L. Gerner, L.J. Quantification of mine-drainage inflows to Little Cottonwood Creek, Utah, using a tracer-injection and synoptic-sampling study. Environmental Geology, v 40, n 11-12, 2001, p1390-1404.
- [23] Vincent, Sean D. Williams, Roy E. Bloomsburg, George L. Groundwater flow patterns in the vicinity of underground openings in unsaturated rock. Journal of Hydrology, v 127, n 1-4, Oct, 1991, p1-21.
- [24] L·W·基尔哈等著, 李俊, 李俊亭译. 地下水系统的随机模拟. 地质出版社, 1984
- [25] 铁道部第一勘察设计院. 铁路工程水文地质勘测规则. 1992.9
- [26] 杨忠耀. 环境水文地质学. 原子能出版社. 1990.12
- [27] 何发亮, 陈成宗, 牟瑞芳. 岩溶地区铁路长隧道涌水涌泥沙及地表塌陷灾害规律的研究. 第三届全国工程地质学术研讨会论文集. 1995.8
- [28] 马国英. 运营铁路隧道病害探讨. 中国土木工程学会隧道及地下工程学会第八届年会论文集. 1994.10
- [29] 郑黎明. 隧道涌水灾害预测的随机性数学模型方法. 西南交通大学学报. 1998.6;33(3); 273~278.
- [30] 邓聚龙. 灰色系统理论. 武汉灰色系统咨询部函授普及班教材. 1986
- [31] 邓聚龙. 灰色预测与决策. 华中工学院出版社. 1985
- [32] 沈继方, 李焰云, 徐瑞春等. 清江流域岩溶研究. 地质出版社. 1995
- [33] 李新民, 何百根, 于锦乾等. 清江流域水资源特征及其开发利用. 华中师范大学学报. 1994.4

-
- [34] 水文地质勘察. 水利电力出版社. 1989
- [35] 蒙彦, 雷明堂. 岩溶区隧道涌水研究现状及建议. 中国岩溶. 2003.12
- [36] 朱大力, 李秋枫. 用降水入渗系数经验值预测隧道涌水量. 铁道工程学报. 1995.3
- [37] 毛建安等. 秦岭隧道水文地质的综合勘察与涌水量的预测计算. 世界隧道. 1998.2
- [38] 付开隆. 渝遂高速公路中梁山隧道岩溶塌陷及涌水量分析. 水文地质工程地质. 2005.2
- [39] 朱大力, 李秋枫. 预测隧道涌水量的方法. 工程勘察. 2000.4
- [40] 姬永红, 项彦勇. 水底隧道涌水量预测方法的应用分析. 水文地质工程地质. 2005.4
- [41] 张新光, 邓伟, 李取生. 地下水管理软件(REMAX)与国内三维流广义地下水管理模型殊途同归. 2001.20(1)
- [42] 张宏仁等编译. 地下水水力学的发展. 地质出版社. 1992
- [43] Ё·К·加维奇著, 杨守廉译. 水文地质学中应用模拟的理论与实践. 地质出版社. 1987
-

作者简历

基本资料

姓名： 邬 强

性别： 男

出生日期： 1970 年 11 月

籍贯： 江西省进贤县

民族： 汉

政治面貌： 党员

婚姻状况： 已婚

教育状况

学历： 大学本科

学制： 四年

毕业院校： 西南交通大学

毕业时间： 1992 年 7 月

外语水平： 国家六级、铁道部出国人员资格考试 C 级

计算机水平： 国家四级并能熟练应用 AUTOCAD、OFFICE 等应用软件。

工作状况：

单位： 铁道第四勘察设计院地路处

专业： 地质勘察与路基设计、岩土工程设计与施工、项目管理

职称： 高级工程师

工作经历：

主要从事铁路工程的地质勘察和路基设计工作；铁路、高速公路、市政工程的岩土工程设计和施工工作；勘察设计和岩土施工的项目管理工作。

先后参加了武衡技改朱亭隧道、广珠铁路、宜万铁路、京沪电化技改等多个项目的勘察和设计工作，曾任京沪铁路电气化改造工程专业负责人、徐州枢纽电化工程改造工程专业负责人，宜万铁路专业负责人。

主持完成了武汉市建华大厦、武汉分局新世纪酒店、湖北邮电大楼、武汉丝宝大厦、蓝天乐园等十余项深基坑封水及支护的勘察设计任务。并担任了其

中 6 个项目的施工项目经理。在担任项目经理期间，由于其较强的业务能力和技术水平，多次解决施工中的突发技术难题，受到建设单位好评

参与并完成了铁道部《路基手册》(第六章崩塌与落石篇)和院《勘测细则》(地质篇)的修编工作。目前正在参加部《铁路长大深埋岩溶隧道的物探方法的研究》、《陇海铁路郑州至徐州段提速到 160km/h 以上既有路基基床加固观测试验研究》和处《岩溶桥墩勘探层析成像方法研究》的科研工作。在各级刊物上发表专业论文多篇。

能力与特长:

有较强的业务能力和技术水平，能够独立解决关键技术问题，在勘察设计、科研业建和岩土工程等工作中多次担任专业技术负责人、项目经理等职，并取得了较好成绩，多次获得各级奖励和好评。

有较强的组织和管理能力。

具有建设部施工项目经理证书、铁道部出国人员外语资格证书。

发表论文:

郭强. 对抗震设计中动力放大系数计算方法的粗浅看法. 铁路地质与路基. 2003.2

郭强. 音频大地电磁(EH-4)探测法在宜万线隧道综合勘探中的应用. 铁路地质与路基. 2003.3

附图

齐岳山隧道工程地质纵断面图

作者: [邬强](#)
学位授予单位: [西南交通大学](#)

参考文献(44条)

1. [参考文献](#)
2. [沈照理](#) [水文地质学](#) 1991
3. [常士骝](#) [工程地质手册](#) 1995
4. [铁一院](#) [铁路工程地质手册](#) 1999
5. [铁二院](#) [岩溶工程地质](#) 1984
6. [刘丹](#) [铁路隧道涌水研究的发展趋势](#) 1998(zk)
7. [王俊生](#) [鄂西南岩溶地貌](#)
8. [王建秀](#), [朱合华](#), [叶为民](#) [隧道涌水量的预测及其工程应用](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2004(7)
9. [铁四院总编写组](#) [大瑶山隧道设计总结](#) 1992
10. [刘高](#), [杨重存](#), [谌文武](#), [梁收运](#), [韩文峰](#), [宋畅](#) [深埋长大隧道涌\(突\)水条件及影响因素分析](#)[期刊论文]-[天津城市建设学院学报](#) 2002(3)
11. [徐济川](#) [大瑶山隧道的突泥涌水机制](#) 1998(06)
12. [吴治生](#) [南岭隧道涌水量预测及评价](#) 1992(02)
13. [徐则民](#), [杨立中](#) [深埋隧道围岩渗透性的预测研究——现状与进展](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 1999(3)
14. [唐承石](#) [我国铁路隧道水害概况](#) 1984(04)
15. [Heuer Ronald E](#) [Estimating rock tunnel water inflow](#) 1995
16. [Ohshima Hiroshi](#) [Hydrogeological study of water inflow and associated changes of water balance caused by tunnel excavation](#) 1984(01)
17. [Meiri David](#) [Unconfined groundwater flow calculation into a tunnel](#) 1985(1-2)
18. [Anon](#) [Recommendations for the treatment of water inflows and outflows in operated underground structures](#) 1989(03)
19. [Renard Philippe](#) [Approximate discharge for constant head test with recharging boundary](#) 2005(03)
20. [Shamma John](#), [Tempelis Daniel](#), [Duke Steven](#), [Fordham, Eric](#), [Freeman, Tom](#) [Arrowhead tunnels:Assessing groundwater control measures in a fractured hard rock medium](#) 2003
21. [Molinero Jorge](#), [Samper Javier](#), [Juanes Ruben](#) [Numerical modeling of the transient hydrogeological response produced by tunnel construction in fractured bedrocks](#) 2002(04)
22. [Miyashiro H](#), [Yoda H](#) [An analysis of hydraulic transient in tunnels with concurrent open-channel and pressurized flow](#) 1983
23. [Kimball B A](#), [Runkel R L](#), [Gerner L J](#) [Quantification of mine-drainage inflows to Little Cottonwood Creek, Utah, using a tracer-injection and synoptic-sampling study](#) 2001(11-12)
24. [Vincent Sean D](#), [Williams Roy E](#), [Bloomsburg George L](#) [Groundwater flow patterns in the vicinity of underground openings in unsaturated rock](#) 1991(1-4)
25. [L·W·基尔哈](#), [李俊](#), [李俊亭](#) [地下水系统的随机模拟](#) 1984
26. [铁道部第一勘察设计院](#) [铁路工程水文地质勘测规则](#) 1992

27. [杨忠耀](#) [环境水文地质学](#) 1990

28. [何发亮](#), [陈成宗](#), [牟瑞芳](#) [岩溶地区铁路长隧道涌水涌泥沙及地表塌陷灾害规律的研究](#) 1995

29. [马国英](#) [运营铁路隧道病害探讨](#) 1994

30. [郑黎明](#) [隧道涌水灾害预测的随机性数学模型方法](#) 1998(03)

31. [邓聚龙](#) [灰色系统理论](#) 1986

32. [邓聚龙](#) [灰色预测与决策](#) 1985

33. [沈继方](#), [李焰云](#), [徐瑞春](#) [清江流域岩溶研究](#) 1995

34. [李新民](#), [何百根](#), [于锦乾](#) [清江流域水资源特征及其开发利用](#) 1994(04)

35. [水文地质勘察](#) 1989

36. [蒙彦](#), [雷明堂](#) [岩溶区隧道涌水研究现状及建议](#)[期刊论文]-[中国岩溶](#) 2003(4)

37. [朱大力](#), [李秋枫](#) [用降水入渗系数经验值预测隧道涌水量](#) 1995(03)

38. [毛建安](#) [秦岭隧道水文地质的综合勘察与涌水量的预测计算](#) 1998(02)

39. [付开隆](#) [渝遂高速公路中梁山隧道岩溶塌陷及涌水量分析](#)[期刊论文]-[水文地质工程地质](#) 2005(2)

40. [朱大力](#), [李秋枫](#) [预测隧道涌水量的方法](#)[期刊论文]-[工程勘察](#) 2000(4)

41. [姬永红](#), [项彦勇](#) [海底隧道涌水量预测方法的应用分析](#)[期刊论文]-[水文地质工程地质](#) 2005(4)

42. [张新光](#), [邓伟](#), [李取生](#) [地下水管理软件\(REMAX\)与国内三维流广义地下水管理模型殊途同归](#) 2001(01)

43. [张宏仁](#) [地下水水力学的发展](#) 1992

44. [И·К·加维奇](#), [杨守廉](#) [水文地质学中应用模拟的理论与实践](#) 1987

相似文献(10条)

1. 会议论文 [林国进](#), [李玉文](#) [垫江~邻水高速公路岩溶隧道设计](#) 2004
本文介绍了沪蓉国道主干线支线垫江~邻水高速公路明月山和铜锣山特长隧道穿越岩溶发育段的工程地质与水文地质条件,提出了岩溶隧道设计的基本思路。

2. 期刊论文 [吴治生](#), [WU Zhi-sheng](#) [岩溶长隧道设计、施工方案的论证及实施](#) -[铁道工程学报](#)2006,“(2)
研究目的:岩溶长隧道对地下水的整治仍延用排放为传统的模式,因此造成隧道周边环境破坏、地质灾害产生、可持续发展受到严重影响。为扭转人们认识上的误区,以达到观念的转变。研究方法:本文试图论证在岩溶和地下水同等发育条件下,技术可行、经济指标、施工工期等方面的比较,用数据说话。研究结果:围绕保护环境,坚持以预防为主方针,提出应采用全封闭方案施工的地区,具体的措施、施工方法及注意问题,岩溶地区长隧道地下水防排应遵循的原则和初步标准及超前预注浆的方法。研究结论:地质复杂的岩溶长隧道当地质灾害威胁施工安全和运营安全,地质环境恶化影响地区可持续发展的时候,隧道应坚持全封闭的原则,只要方案正确,措施得当,就会施工顺利,且工程不留后患。

3. 期刊论文 [张俊峰](#), [卿三惠](#) [岩溶隧道涌水涌砂及地表塌陷灾害防治](#) -[路基工程](#)2004,“(5)
岩溶隧道涌水涌砂及地表塌陷,是山区铁路、公路常见的地质灾害,对工程的危害极大。结合贵州水柏铁路何家寨隧道岩溶涌水涌砂及地表塌陷灾害整治实践,就有关隧道设计技术问题进行总结与探讨。

4. 学位论文 [徐伟](#) [岩溶地区隧道涌水量的评价方法——以宜万铁路马鹿箐隧道为例](#) 2008
涌水灾害是隧道建设中倍受关注的问题之一,随着隧道设计水平、施工技术及机械的更新提高,大量隧道乃至特长大埋深越岭隧道设计方案的运用而生,使这一问题变得日益突出。
岩溶隧道发生大规模涌水,主要取决于隧道洞身的水文地质条件。国内外对隧道水文地质条件的研究历来较重视。一般情况下,隧道水文地质研究首先应查明隧道所在水文地质单元内地下水补给、径流、排泄规律,确定隧道水文地质类型和主要充水来源、充水途径,进而计算隧道涌水量,为隧道施工过程中疏干排水方案设计提供科学依据。其中,隧道涌水量计算及预测是隧道水文地质研究的重要内容。
本文在充分收集和在前人工作成果的基础上,对马鹿箐隧道区域内地层岩性、地质构造、岩溶裂隙进行调查和统计测量,查明研究区岩溶含水介质类型、分布范围、地下水赋存和运移条件、地下暗河的空间分布、流量及其与隧道的关系;结合地下水示踪试验的成果,对隧道突水区水文地质条件进行了系统的分析。
在对隧道涌水分析过程中,先对马鹿箐隧道涌水模式进行分析。岩溶隧道发生大规模涌水,主要取决于隧道洞身的下列水文地质条件:(一)隧道围岩揭露的岩溶层;(二)围岩岩溶含水介质;(三)隧道与岩溶水动力剖面分带的关系;(四)围岩岩溶发育强度及与地质构造的关系。在分析隧道围岩岩溶含水介质时,则是通过分析与该隧道密切相关的地下河流量衰减分析来进行。通过对动态信息(如流量)的深入分析,可以有效地说明系统的有关特性一岩溶水系统的含水介质类型。最终确定马鹿箐隧道施工过程中出现的涌突水模式为地下河、岩溶管道集中突水型。
隧道涌水量的计算方法主要有水文地质比拟法、降水入渗法、地下径流模数法、解析法、数值模拟法等。而岩溶隧道由于其特殊的水文地质条件,选择合适的方式对岩溶隧道涌水量进行评价显得尤为重要。
根据前文对隧道涌水模式的分析,我们知道岩溶隧道围岩岩溶含水介质的特征是决定岩溶涌水特征的关键因素。不同的岩溶含水介质类型,具有不同的地下水赋存、运移特征,具有不同的水文地质条件,因而具有不同使用的隧道涌水量预测方法。如溶隙含水为主的岩溶含水层,地下水大体上作渗流运动,基于渗流运动的一套水文地质勘探方法和评价方法基本上适用;而暗河管道为主的岩溶含水层,地下水具管渠水运动性质,不服从渗流规律。因此,用传统的勘探方法及评价方法、抽水试验判别富水性及用水动力学方法预测隧道涌水量一般就不适用了。所以必须根据不同的岩溶含水介质类型选择合适的预测方法。
考虑到马鹿箐隧道的水文地质特征以及获得的资料,结合对马鹿箐隧道涌水模式的分析,并参照目前国内在解决岩溶隧道涌水量评价计算问题上的正确途径,采用了均衡分析的方法对马鹿箐隧道涌水进行预测,同时结合地下径流模数法和灰色系统分析的方法进行分析比较,得到最终的预测结果

5. 期刊论文 吴治生, WU Zhi-sheng 岩溶隧道的环境地质问题 -铁道工程学报2006, "" (1)

研究目的:目前我国岩溶长隧道的现行设计和施工仍遵循固有的“以排为主”的原则,由于岩溶地层的独有特征,不仅在施工及运营过程中隧道出现严重地质灾害,同时水资源、土地资源遭受破坏,生态环境、地质环境日趋恶化,直接影响隧道范围的可持续发展。本文意在修建岩溶长隧道时对其环境地质问题引起足够的重视,扭转岩溶地区长隧道设计和施工观念,使设计、施工更符合当前基本国策,坚持可持续发展战略。研究方法:通过分析现行设计原则对水资源、土地资源的影响,论证了地质灾害形成和环境恶化与它的直接关系。研究结论:提出在关键地段采用全封闭的设计方案。即在隧道地质灾害未出现之前,和超前地质探测结合,对前方地质复杂的突水涌泥地段进行预加固措施,以保证铁路交通繁荣的同时,环境地质不会恶化。

6. 期刊论文 苗德海, Miao Dehai 宜万铁路岩溶隧道灾害及防治对策 -铁道标准设计2007, "" (7)

结合在建宜万铁路隧道设计及施工过程中遇到的岩溶地质问题,根据岩溶的形成过程划分岩溶类型,进而对岩溶隧道灾害危险等级进行评价,提出岩溶隧道设计与施工过程应遵循的一般原则和防治对策。

7. 期刊论文 龚彦峰, Gong Yanfeng 岩溶隧道灾害整治技术 -铁道标准设计2009, "" (5)

岩溶灾害是隧道施工中对安全影响最大、最常见的风险。在岩溶发育地区修建隧道工程,各种岩溶问题会给设计施工带来一系列困难,灾害处理不当也会给运营留下隐患。结合宜万铁路岩溶隧道设计、施工及科研情况,对岩溶隧道各种灾害的处理技术等进行深入的研究,提出经济合理的整治措施。

8. 期刊论文 吴治生, WU Zhi-sheng 不同地质边界条件岩溶隧道涌水量预测及展望 -铁道工程学报2007, "" (11)

研究目的:我国目前岩溶隧道涌水量有许多计算方法,虽然方法众多,但对隧道设计要求的正常涌水量及最大涌水量还不能完全满足,仍存在较大误差,有必要深入研究,寻求新的途径。研究方法:根据浅埋岩溶长隧道 - 南岭隧道涌水量及地表泉的长期观测资料,利用反演推导出新的方法。研究结果:通过研究得出大泉流量预测法、隧道涌水曲线反演分析法(新均衡法),同时根据长期观测资料得出隧道影响半径(集水范围)、枯水期涌水量、枯水期单位长度富水量、降雨入渗系数等重要水文地质参数及不同季节隧道涌水量比值。研究结论:建议在水文地质参数和涌水量取值方面,转变设计、施工观念:岩溶隧道的修建应贯彻科学发展观进行全面评估。

9. 会议论文 邓宣明, 汪继锋 八字岭隧道牛鼻子暗河示踪试验成果分析 2007

宜万铁路八字岭隧道为一深埋岩溶隧道,穿过三叠系灰岩组成的向斜核部,岩溶、地下水非常发育,沿向斜核部发育的牛鼻子暗河严重影响隧道的施工安全。通过示踪试验成果,分析牛鼻子暗河的空间分布特征及地下水补、径、排特点,评价该暗河对八字岭隧道的影晌程度,为隧道设计施工提供依据。

10. 期刊论文 雷宗勇, 杨胜文 崇遵高速公路夏家店岩溶隧道坍方处理 -中外公路2004, 24 (3)

介绍了崇遵高速公路夏家店隧道左线K122+375~K122+435段填充溶洞坍方情况,并进行了原因分析,通过方案调研对比及后期观测,效果较好,为今后复杂地质条件下的公路隧道设计、施工提供参考。

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y884620.aspx

授权使用: 中南大学(zndx), 授权号: 86f6798c-6702-4a3f-b766-9da5014f36a5, 下载时间: 2010年6月30日