

安巴隧道水文地质条件分析与评价

马永红

甘肃中冶岩土工程有限公司

摘要：安巴隧道是G318拉萨至日喀则和平机场新改建工程中的一条特长深埋隧道，本文结合对该隧道的工程地质勘察成果，分析说明了该隧道的工程地质特征，地下水的赋存条件、类型及地下水补给、径流、排泄条件，通过水文地质测试，预测了隧道涌水量，综合评价了该隧道的水文地质条件。

关键词：安巴隧道；水文地质条件；分析与评价

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.03.084

导言：在工程施工前，应调查水文地质，水文地质条件将影响整个工程的质量，特别是隧道；施工过程中隧道涌水、突水对工程施工会造成很大影响，因此，工程前的水文地质条件分析与评价对设计与施工具有重要的现实意义。

一、地形地貌

安巴隧道位于西藏自治区日喀则市仁布县境内，雅鲁藏布江南岸，进口位于拉日铁路达嘎山隧道进口西南约0.6km，仁布县康雄乡安巴村西约1.2km处，出口位于仁布县康雄乡东约1km处。所处地貌为高山区峡谷，沟梁相间，坡面陡峻，地形起伏很大，地面高程3800~4404m，相对高差604m。隧道里程范围K91+240~K94+386，中心里程K92+813，全长约3146m。隧道最大埋深约597m，属深埋特长隧道。该隧道上部冲沟发育，交通极为不便。

植被主要为高寒区草本植物，覆盖率一般；隧道出口，表层覆盖薄层第四系洪坡积土层，植被覆盖率一般。进口地形较为平缓，自然坡降约35°，局部陡峭，近直立；出口地形较为平缓，自然坡度约45°。隧道洞顶冲沟有一处常年性流水沟，其余为季节性流水沟，除了在较大降雨时有地表流水外，平时干枯无水。

二、工程地质特征

(1) 地层岩性

隧道地层主要为：第四系全新统洪坡积粉土、砂土、角砾土及碎石土，喜山期、燕山期花岗岩。其特征详述如下：

①粉土 (Q_4^{pl+dl})：分布于隧道进口至小里程坡体上，厚度约2~10m，稍湿，稍密，干强度中等，韧性一般，表层含植物根系及虫孔，局部含角砾及砂土，

②砂土 (Q_4^{pl+dl})：根据地调资料分析，区域内主要为细砂，分布于隧道小里程方向坡体上，厚度约2~5m，与隧道基本无影响。稍湿，松散~稍密，主要

成分为石英、长石及云母，砂质不纯，分选较好，局部含角砾，粉黏粒含量较高。

③角砾 (Q_4^{pl+dl})：除隧道山顶部分，其他沿线均有分布，厚度约1~15m，进出口处围岩级别较差。稍湿，稍密~中密，大于2mm的颗粒质量约占总质量的55~60%，一般粒径5-15mm，细砂及粉土充填，局部含黏粒。

④碎石 (Q_4^{pl+dl})：分布于隧道山顶部分冲沟中及隧道出口段，厚度约2~15m，出口处围岩级别较差。稍湿，稍密~中密，大于20mm的颗粒质量约占总质量的60~70%，一般粒径约20~80mm，角砾土及细砂充填。

⑤花岗岩 (γ_{5-6})：下伏于第四系之下。浅灰色、灰白色，成份以石英、黑云母、长石等为主，中细-中粗粒结构，块状构造。岩质坚硬，节理裂隙较发育。根据物探资料强风化层厚约30m，IV级软石。

岩体节理裂隙发育主要由泥质、钙质充填。

(2) 地质构造

从勘察线路走廊带填图成果来看，主要发育由新特提斯洋向北俯冲形成的东西向一个沿雅江为主的走滑断裂和与其相应的多组东西向断裂，以及后期整体隆升背景上所产生的多组北西、北东以及近南北向断裂构造。在调查过程中，多数断层特征保留较完整，可见明显的断层滑动面、断面擦痕、阶步特征明显少数被后期破坏或被第四系覆盖，特征不是很明显，但地貌上多表现为垭口或断崖，不良地质现象发育。

根据地调资料及物探成果，安巴隧道范围内存在一处推测断层F2-W2及几处破碎带。现对几处破碎带及断层描述如下：

F2-W2：根据物探高密度初步成果，该推测断层通过隧道出口及部分洞身，北西向小角度斜切推荐线路及比较线路，由于高密度电法仅在出口布设两条线，宽20m，断层延伸长度未知，暂以出口向大里程方向延伸50m估算，该断层宽约20m，倾向北，倾角36°~54°。隧址范围内断层上下盘均为燕山期、喜山期花岗岩，下盘局部为燕山期、喜山期闪长岩，推测断层带主要由断层泥砾及碎裂岩组成，在雅江南岸陈村沟左侧钻孔中可见断层泥。

破碎带：根据物探EH4初步成果，隧址范围内存在6处破碎带，从EH4成果来看，电阻率在破碎带处急剧减小，且大小宽度不一，形状各异，多倾向小里程方向，影响范围约100~280m，倾角约75°~90°，上部覆盖

薄层第四系，第四系下为15~30m厚的强风化层，破碎范围内主要为构造及节理影响形成的碎裂岩。

三、水文地质特征

(1) 地表水

本区属高原温带亚干旱气候区，气候干燥，降雨量较少（年最大降水量534.9mm）、蒸发量很大（年平均蒸发量2261mm）；隧道洞顶冲沟为季节性流水沟，多呈“V”字型沟谷，沟深、坡陡，植被覆盖一般，除了在较大降雨时有地表流水外，平时大多干枯无水，里程4ZK92+100处冲沟内有常年性流水，水量随季节变化较大。隧道进口外约150m有雅鲁藏布江流过，四季水位变化较大，隧道进口高出雅鲁藏布江水流平面约100m。

(2) 地下水赋存的条件

隧道地下水主要赋存于基岩裂隙和第四系松散层孔隙中。基岩裂隙主要有构造裂隙和风化裂隙。构造裂隙是指基岩在其形成和发育过程中受不同时期地壳构造运动的影响，而产生的一系列裂隙和错位；构造裂隙发育部位往往是良好的储水及导水部位。风化裂隙是指基岩在经受物理、化学风化作用后，在岩石风化层中的裂隙。该区风化层较厚，风化裂隙发育，连通性较好，容易形成较好的储水层，但风化裂隙的发育程度随深度而减弱。

该区为雅鲁藏布江缝合带使得本区仍存在整体抬升、斜掀和差异性的上升运动。河流强烈下切，构成高山峡谷地貌，主要断裂为雅鲁藏布江深大断裂带，该地区发育了数量众多的断裂构造、节理构造，并在漫长的地质年代中形成了较厚的风化层，成为地下水良好的储水部位。

松散岩类孔隙水广泛赋存于主要分布于雅鲁藏布江沿江漫滩、阶地，及其支沟河谷及支沟沟口冲洪积扇，缓坡。其富水性随降雨的变化而改变，丰水期富水性丰富，枯水期富水性贫乏。

(3) 地下水类型

隧道洞身穿越地层主要为燕山期、喜山期花岗岩、构造碎裂岩、断层带及第四系覆盖层。地下水类型主要为松散层孔隙潜水及基岩裂隙水。

①松散层孔隙潜水：在隧道区主要为第四系洪坡积角砾土及碎石土层孔隙潜水，水位随季节变化较大，施工期间进出口处应注意降雨期地下水的影响。

②基岩裂隙水：隧道区主要分布地层为花岗岩，局部有闪长岩脉穿插，受区域性构造影响断层较发育，地表水不发育，地下水位一般埋藏较深，岩体富水性贫乏。断层及部分破碎带内中等富水。

(4) 地下水补给、径流、排泄条件

该区属高原温带亚干旱气候区，冬寒夏凉、昼夜温差大、日照充足丰富、区内降雨量较少，蒸发量大，地

下水的补给来源，主要依靠大气降水、高山雪水的补给，该地区降水主要集中于夏季，地表径流条件较好，大部分通过地表排泄而少量渗入的方式汇入风化裂隙及构造裂隙中，同时风化裂隙中的水又对构造裂隙进行补充，使得地下水主要储存在构造裂隙中。仅小部分降水在低洼处通过岩浆岩风化裂隙带、构造裂隙带以间歇性的下降泉方式排泄于地表。钻孔内岩芯上的流水侵蚀较为明显，初步分析雅江为深切沟谷，进入基岩的裂隙水在通过裂缝、破碎带又快速下渗至雅鲁藏布江河谷排泄，因此推测该隧道地下水位埋深较深。隧道通过一处推测断层F2-W1及几处岩芯破碎带，受构造影响岩体节理、裂隙发育一极发育，十分有利于地下水的补给。地下水径流主要受地形条件的控制，就整个隧道区而言地下水流向自南向北，其排泄形式在冲沟内多为季节性下降泉排泄，雅江河床为该区地下水排泄的基准面。

(5) 水文地质试验

安巴隧道CSZK007钻孔深度275.2~279.0m进行了水文试验，试验段岩性为花岗岩；该钻孔孔内未见稳定地下水，钻孔CSZK007孔底标高3796.2m，距离最低侵蚀面（雅鲁藏布江）最近垂直距离约90m，根据钻孔揭露该区地下水埋深较深情况以及孔内未见地下水，同时结合野外实际情况优先选用钻孔注水试验测定岩层渗透性系数（K），当地下水位埋藏在孔底以下较深时，试段位于地下水位以上，且 $50 < H/\gamma < 200$ 、 $H \leq l$ 时可采用下式计算渗透系数K：

$$K = \frac{7.05 Q}{lH} \lg \frac{2l}{r}$$

K-试验岩土层的渗透系数，cm/s；

Q-注入流量，L/min，286.7L/min；

H-试验水头，cm；等于试验水位与地下水位之差，380cm；

γ -钻孔内半径，cm，75cm

l-试验长度，380cm；

以上参数计算渗透系数（K）为0.0141cm/s；

四、隧道涌水量预测

安巴隧道采用以下两种方法对隧道涌水量进行预测；

(1) 降水入渗法： $Q=2.74a \times W \times A$ $A=L \times B$

Q-采用大气降水渗入法计算的隧道涌水量（m³/d）；

α -入渗系数选用0.2。（TB0049-2004铁路工程水文地质勘察规程）表8.5.2；

W-年降雨量（mm）。多年平均降雨量为341.1mm；

A-隧道通过含水体地段的集水面积（km²）；

L-隧道通过含水体的长度 (km), 取值3.215km;

B-隧道涌水地段长度内对两侧的影响宽度 (km), 取值1.5km;

以上参数计算隧道正常涌水量为901.44m³/d。

(2) 地下径流模数法

$$Q=M \cdot A \quad A=L \cdot B$$

Q-为隧道通过含水体地段的经常涌水量 (m³/d);

M-枯期径流模数 (m³/d·km²), 172.8 m³/d·km²;

A-为隧道通过含水体的地下集水面积 (km²);

L-为隧道通过含水体地段的长度 (km), 3.215km;

B-为L长度内对隧道两侧的影响宽度 (km), 1.5km;

以上参数计算隧道正常涌水量为833.32m³/d。

从预测结果地下径流模数法偏小, 建议采用大气降水渗入法计算值, 所以安巴隧道正常涌水量为901.44m³/d。隧道最大涌水量按正常涌水量的3倍考虑, 因此可能出现的最大涌水量为2704.32m³/d。

五、隧道水文地质条件分析与评价

根据隧道区水文地质调查, 可知隧道穿越富水段主要为基岩裂隙水控制, 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。构造裂隙水的储存和水力联系发生在构造裂隙中, 由于构造裂隙具有极强的方向性, 会形成由定向裂隙组构成的不均匀水力通道脉; 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。

由于隧道所处地理位置较高, 自然地理及水文地质条件均不利于地下水的聚集, 隧道进出口及洞身底板标高均高出当地最低侵蚀基准面以上, 加之本区远居内陆, 气候干寒, 降水不丰沛, 构造断裂、节理裂隙虽发育, 但充水条件不充分, 加以地势突出, 比高大, 地下水可进行强烈的自然排泄, 降水多为地表迳流流失, 因此构造裂隙、节理裂隙充水条件较差。

受传统水文地质勘察手段、项目成本和工期等因素的限制, 人们对隧道水文地质条件的了解和掌握常常是不够全面的, 即使能够比较全面正确地掌握隧道的地质

和水文地质条件, 但由于对计算公式使用条件理解的不准确或方法选择不恰当, 也会使计算出来的涌水量和实际涌水量的结果出入较大。正确的工作方法是, 在进行涌水量具体计算之前, 应全面详实地掌握和理解隧道通过地段的具体地质及水文地质条件, 弄清楚影响计算公式使用条件的各种水文地质要素, 针对具体情况, 选择适当的计算方法和公式进行估算预测。所以查清隧道通过地段的地质及水文地质条件和富水状况, 是估算和预测涌水量的基础和前提。

正确预测隧道涌水量主要取决于对隧道的充水、边界条件的分析, 以及计算模型和参数的合理选用, 由于目前并没有这方面专门的计算公式, 且充水及边界条件准确分析难度大, 因此采用目前常用隧道开挖涌水量计算方法进行试算, 因各种计算方法均有各自的适用性, 计算结果必定存在差异, 选择较适用本工程隧道涌水量计算的模型, 线路区隧道预算采用方法分别是降雨入渗法、地下径流模数法计算隧道涌水量。

隧道区位于雅鲁藏布江窄谷区, 总体上山势陡峻, 局部埋深较大 (最大埋深597m), 且为傍山隧道, 覆盖层厚度一般, 大多为基岩及构造岩, 围岩含水体有限, 仅上覆第四系、断层及部分破碎带内含水。隧道所通过区域上方地表支沟内仅里程K92+100处冲沟内有常年性流水, 水量随季节变化较大, 其余支沟无常年流水, 结合区域资料、地调资料及物探资料综合分析, 围岩的富水程度为弱富水区。隧道可能出现突水地段主要位于断层破碎带周围、花岗岩中的次级断层破碎带或节理、裂隙密集带, 构造带内应隧道的正常涌水量为901.44m³/d, 最大涌水量为2704.32m³/d。

结束语

综上所述, 只有充分掌握隧道水文地质条件, 才能采用有效的设计方案进行岩土工程施工。这可以有效地降低工程难度, 提高工程质量。深埋隧道因受区域地应力的影响隧道施工隧址区局部地应力重新分布会促使水文地质条件略有变化, 施工过程中应密切监视, 以完善水文地质条件的分析评价成果。

参考文献

[1] 中华人民共和国铁道部. 铁路工程水文地质勘察规程 (TB0049-2004) [S].

[2] 张衍. 岩土工程勘察设计和施工过程中的水文地质问题分析 [J]. 工程建设与设计, 2018, 17 (20): 87-88+125.

作者简介: 马永红 (1975.12-), 男, 汉族, 甘肃庄浪人, 大学学历, 甘肃中冶岩土工程有限公司副总工程师, 专业方向: 岩土工程。