

中条山隧道水文地质勘察及防排水技术研究

薛晓辉

(山西省交通科学研究院 黄土地区公路建设与养护技术交通行业重点实验室, 山西 太原 030006)

摘要: 我国隧道工程的渗漏水问题较为严重,隧道防排水问题一直是工程界难题。为解决中条山隧道的防排水问题,运用水文地质综合勘察方法,对其水文地质情况进行详细的勘察,在此基础上,利用地下水动力学方法进行了涌水量估算,提出了两种防排水结构类型。经工程实践证明,涌水量估计值基本符合实际情况,防排水结构型式基本满足防排水要求。该结论对于类似隧道工程的防排水设计及施工具有一定借鉴意义。

关键词: 中条山隧道;水文地质;综合勘察;涌水量估算;防排水结构型式

中图分类号: U45

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2013)04—0056—04

Study on Hydrogeological Investigation and Water Preventing and Draining Technology of Zhongtiaoshan Tunnel

XUE Xiao-hui

(Key Laboratory of Transportation Trade for Highway Construction and Maintenance Technology in Loess Region, Shanxi Transportation Research Institute, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

Abstract: At present, the problem of tunnel water leakage is more serious in China, and the problem of the tunnel water preventing and draining is always the difficult problem in engineering. For solving the problem of Zhongtiaoshan Tunnel's water preventing and draining, its hydrogeological conditions are surveyed by using the comprehensive investigation method. On this basis, the groundwater dynamics is used to forecast the water-gushed yield, and two structure types of water preventing and draining are put forward. It is proved by engineering practices that the estimated value is coincident with the engineering practice, and the structure type of water preventing and draining could meet the practical requirements. The conclusion as mentioned above has some significance for the design and construction of similar tunnel's water preventing and draining projects.

Keywords: Zhongtiaoshan Tunnel; hydrogeology; comprehensive investigation; forecasting for water-gushed yield; structure type of water preventing and draining

0 前言

目前我国绝大部分公路隧道都存在不同程度的渗漏水现象,可以说是“十隧九漏”,有些隧道的渗漏水情况较严重,已严重影响其行车安全^[1]。隧道及地下工程的防水问题一直是工程界一大难题。公路隧道防水是一项复杂而重要的系统工程,它与隧道工程地质、水文地质勘察、防水设计方案等有密切关系^[2]。

在黄土地区,由于其地形地貌、地层岩性复杂多

变,其地下水的补给、运移、赋存、排泄规律差异较大。黄土地区地下水分布不均匀,水量不大,但在局部地层中含水量较大。有些隧道施工过程中基本无水,若干年后却出现渗漏水现象^[3]。因此应在隧道水文地质勘察的基础上,正确判断隧道涌水量,制定慎密而适当的防排水系统,才能使隧道满足其防排水的要求^[4]。本文对中条山隧道水文地质勘察及防排水技术进行了详细探讨,以期对类似工程提供借鉴意义。

1 工程概况

中条山隧道进口位于运城市盐湖区解州镇,出口位于芮城县陌南镇,隧道设计时速 80 km/h,分离式隧道。隧道建筑限界为:行车道宽度 7.5 m,左侧向宽度 0.5 m,右侧向宽度 0.75 m,检修道宽度各 0.75 m。右线起讫桩号为 YK5 + 679 ~ YK15 + 350,左线起讫桩号为 ZK5 + 676 ~ ZK15 + 347,左右线长度均为 9.761 km。隧道最大埋深为 681 m,属深埋特长公路隧道。该隧道起点位于中条山北麓,紧邻运城盆地,地貌单元为山麓相洪积扇,地形平缓,海拔 360 m ~ 400 m;终点位于中条山南麓,为黄土台地,主要地层为中更新统洪积层,海拔 400 m ~ 800 m,沟壑纵横,沟谷多为南北向“V”型和“U”型。隧道区地貌为带状侵蚀-剥蚀起伏中山区,最高山峰海拔 1 328.83 m。中条山北坡山势陡峻,地形切割剧烈,沟深坡陡,基岩大多裸露,覆盖层较少,而南坡较缓。

隧址区内发育的地貌单元主要有山麓相盆缘倾斜平原洪积扇区、侵蚀剥蚀大起伏中山、山前高黄土台塬区、低黄土台塬区。

2 水文地质综合勘察

2.1 水文地质综合勘察方法简述

目前常用的水文地质勘察方法主要有遥感判释、地面调查、物探、钻探、水化学分析等技术。这些方法各有利弊,只有综合利用、相互配合,才能全面而详尽的得到水文地质情况^[5]。

遥感判释首先利用卫星影像图进行宏观判释,再用 1/10000 的黑白航空像片与红外航空像片从微观角度判释,可以掌握隧址区的断裂构造格局布置、水系分布、地形地貌等,并有效指导了地面调查及后续勘探工作。

地面调查主要为结合遥感判释结果进行河流、地貌、植被、居民点等的调查,并绘制断裂构造分布图、水系分布图和地貌图。

物探方法主要运用直流电法、高密度电法、氦异常值测量法等定性分析隧址区的控水构造、岩性及破碎带储水能力及其发展变化情况。

钻探试验主要利用钻孔进行抽压水试验,可以得到涌水量 Q 、渗透系数 K 、影响半径 R 等水文地质参数,从而定量评价破碎带、断裂构造、富水带等的水文地质情况。

水化学分析法是利用化学方法,对地表水及地

下水取样分析,研究隧址区内水中各离子含量、矿化度、酸碱度等,从而分析地下水的循环规律及其对钢筋混凝土的腐蚀作用^[6]。

2.2 水文地质综合勘察结果

通过综合运用上述方法,对中条山隧道的水文地质情况进行了全面的勘察,所得结果概况如下:

2.2.1 隧址区地表水系

地表水有寺沟溪流、五龙峪溪流、大白峪口溪流、后柳坡溪流等。寺沟溪流发源于寺沟,地表调查时共发现 3 个泉水点,流量分别为 0.5 L/S、0.12 L/S、0.13 L/S;五龙峪溪流发源于水泉凹,有四个泉水点,流量分别为 0.13 L/S、0.1 L/S、0.04 L/S、0.1 L/S;大白峪口溪流和后柳坡溪流的流量分别为 12.9 L/S、11.1 L/S。南坡由于汇水面积较小,雨季洪流相对较小,寺沟、五龙峪洪峰最高涨幅为 1.0 m,一般为 0.3 m ~ 0.8 m;而北坡汇水面积大,洪流相对较大,大白峪口和后柳坡洪峰最高涨幅均为 1.5 m,一般在 0.5 m ~ 1.2 m。

2.2.2 隧址区主要含水岩组及富水性

隧址区主要的含水岩组有三组:(1) 碳酸盐岩类含水岩组,主要由可溶性岩构成。隧道区中条山北坡出露大范围白云岩,富含岩溶裂隙水,寒武系上中统岩组下部有页岩作为隔水层,造成上部地下水积聚的良好条件,岩溶裂隙发育,被地表水系切割时有泉水出露。蓟县系龙家园组岩溶不太发育,地层南倾,在隧道南部形成局部承压含水层。(2) 下元古界土地庙组大理岩含水岩系,其中条期构造的拉伸作用下产生固态流变,又遭受挤压褶皱变形,层间剪切带、节理非常发育,为地表水的下渗和侧向补给创造了条件,此含水层富含裂隙水。(3) 太古界涑水群表壳岩组合含水岩系,主要由片麻岩、片麻状二长花岗岩,此类岩石在地质历史上经历过多次构造运动的影响,节理裂隙较发育,富含裂隙水,在地面调查中发现该处有 4 处泉水,该段隧道存在裂隙承压水。

2.2.3 隧址区地下水

地下水类型主要为基岩裂隙水,地下水赋存于基岩风化裂隙中,为风化裂隙潜水。地下水的埋深、分布和富水性受地质构造、地形地貌、岩性及裂隙发育程度控制。由于基岩裂隙发育,裂隙水径流条件良好,储水条件较差,一般都以渗流、泉水形式排泄于沟谷内,但流量受季节性变化影响较大,地下水位深浅不一。

隧址区内降水贫乏,年平均降雨量 518 mm ~

570 mm, 补给来源主要是大气降水, 径流条件受地形、构造控制, 各含水层各自受降水补给, 相互间水力联系甚弱, 无统一地下水面。

3 典型隧道段涌水量估算

选取水文地质比较典型的隧道段, 对其进行涌水量估算。中条山隧道中 K9+540~K10+350 段为穿过潜水含水层隧道段, K13+400~K13+800 段穿过承压含水层的隧道段。

3.1 隧道段 K9+540~K10+350 的涌水量估算

由于该隧道段通过潜水含水层, 且该含水层底板基本水平。故将隧道视为一个集水廊道, 地下水从隧道两侧边沟处不断流入, 潜水含水层中的水位也由于水不断流入隧道而相应降低, 其下降幅度随远离隧道两侧而逐渐减少, 水面形成对称隧道两侧边沟处的下降漏斗状, 即水面降落曲线(其水力坡度为 I_0), 达到以影响半径 R 为范围的稳定渗流状态。具体情况如图 1 所示。

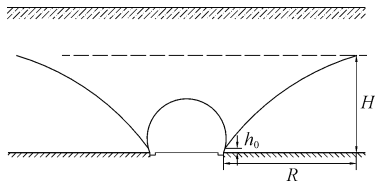


图 1 隧道通过潜水含水层示意图

根据达西定律, 从一侧流入隧道的单宽单位长度涌水量为:

$$q = K \frac{H^2 - h_0^2}{2R}$$

两侧流入隧道的总涌水量为:

$$Q = 2qB = K \cdot B \cdot \frac{H^2 - h_0^2}{R}$$

式中: K 为渗透系数(m/h); H 为含水层厚度(m); B 为隧道长度(m); h_0 为隧道边沟处潜水含水层厚度(m); R 为影响半径(m); I_0 为水面降落曲线平均水力坡度, $I_0 = \frac{H - h_0}{R}$ 。

对于该段隧道, K 值可取 0.45 m/d, $R = 10\sqrt{K(H - h_0)} = 69.43$ m, 将其他参数代入, 可得到该段隧道总涌水量 $Q_1 = 1\,348.51$ m³/d。

3.2 隧道段 K13+400~K13+800 的涌水量估算

根据水文地质勘察结果, 该段隧道穿过承压含水层, 且该含水层的隔水层底板基本水平。因此在隧道底部水平线(即图 2 中 ab 线) 以上部分, 可认为和潜水含水层情况相同, ab 线以下部分视为承压水,

可以认为其仅从隧道底部流入, 所以把进入隧道的涌水量视为侧向和底部涌水量之和, 即

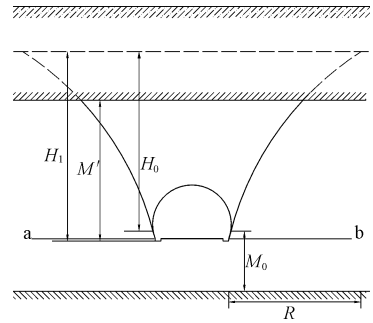


图 2 隧道通过承压含水层示意图

$$q = q_1 + q_2$$

$$q_1 = K \frac{M'(2H_1 - M') - h_0^2}{2R}$$

$$q_2 = K \cdot H_0 \cdot q_r$$

从两侧及底部流入隧道的总涌水量为:

$$Q = 2KB \left[\frac{M'(2H_1 - M') - h_0^2}{2R} + H_0 q_r \right]$$

式中: K 为渗透系数; R 为影响半径; B 为隧道长度; H_0 为水位降低值(m), $H_0 = H_1 - h_0$; H_1 为静水位至隧道底部的深度(m); M' 为隧道底部以上的承压含水层厚度(m); M_0 为边沟内水位至下部隔水层厚度(m); q_r 为由隧道底部流入的流量。

q_r 的值由 $q_r = \frac{q_r'}{(\beta - 3)q_r' + 1}$ 确定, 其中 $\alpha = \frac{T}{T + \frac{1}{3}r}$, $\beta = \frac{R}{T}$, $r = \frac{1}{2}W$, T 为隧道底至隔水板底的距离, $q_r' = f(\alpha)$ 由图 3 确定。

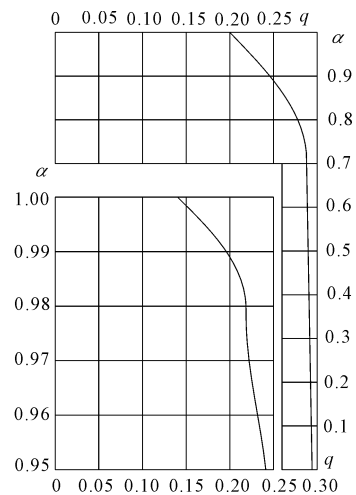


图 3 $q_r' = f(\alpha)$ 关系曲线图

根据该段隧道的水文地质、岩土性质等情况综

合考虑,确定渗透系数 K 取值为 0.45,隧道宽度近似取 12 m,将其他参数代入,可得到该段隧道总涌水量 $Q_2 = 147.31 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

4 典型隧道段防排水结构型式

4.1 隧道防排水结构型式

隧道防排水结构型式分为防渗滴涌水型、防淋滴涌水型和防股流涌水型三种。影响隧道段防排水结构设计的主要因素有气温、冻深、地层岩性、地质构造、涌水量、涌水类型、施工方法与衬砌结构等^[7]。因此应该综合分析各因素,选择合理的隧道防排水结构型式。

根据 K9 + 540 ~ K10 + 350 隧道段涌水量的估算结果可知,其涌水量较大,且在施工开挖过程中发现有断层股水流出。根据隧道涌水类型划分标准,在未注浆堵水时,隧道最大涌水为大股状涌水,而在注浆后隧道最大涌水可划分为小股状涌水^[8]。该段隧道围岩属于Ⅳ级软弱围岩,采用上半断面超前短台阶施工方法,衬砌结构采用钢拱架喷锚支护加模筑混凝土衬砌。经综合考虑,决定采用防股流涌水型防排水结构型式。如图 4 所示。

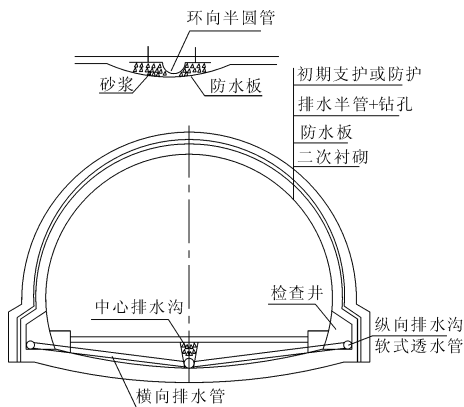


图 4 防股流涌水型结构

该结构的衬砌排水构造应该采用岩面钻孔排水,根据股水流出位置、流出范围,确定钻孔数量、钻孔方向、钻孔深度^[9]。对于单点股水出流,沿出流方向钻浅孔 ($0.5 \text{ m} < H < 1.0 \text{ m}$);对于单缝股流,在其缝下端钻中深孔 ($1.0 \text{ m} < H < 3.0 \text{ m}$),再向上依次钻孔;对于多条缝出水,在出水范围中下位置钻深孔 ($H > 3.0 \text{ m}$);插入导排管,将股水集中,用速凝砂浆封堵管周,安装导水软管使水流入纵向集水盲管。导水软管顺岩壁固定后,用砂浆涂抹 2 cm 厚保护层,敷挂复合防水板及模筑衬砌。

K13 + 400 ~ K13 + 800 隧道段涌水量相对较小,

施工开挖过程中发现在掌子面有水流渗出。该段属Ⅲ级围岩,围岩稳定性相对较好,渗透性相对较小。因此应该采用防淋滴涌水型防排水结构。如图 5 所示。

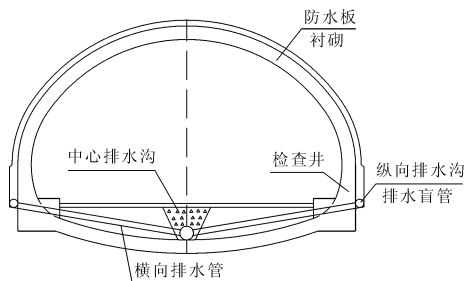


图 5 防淋滴涌水型结构

该结构的衬砌防水构造采用了复合衬砌加防水板的形式,二衬环向施工缝应施做橡胶止水带。由于该段隧道围岩属于页岩、泥岩互层,因此在进行一次喷锚支护施工时,在岩面采用排水半管或排水板覆盖出水裂隙,然后喷射混凝土,待其凝固后,铺挂复合防水板。

4.2 隧道防排水效果评价

针对中条山隧道中涌水类型不同的各隧道段,整个隧道采用分段防排水技术方案。上述两典型隧道段防排水系统施工完成一年后洞身基本无渗漏水;二衬、仰拱未见明显环形和纵向裂缝;中心排水沟排水效果良好,无堵塞现象。根据出水量监测结果显示,其在夏季强降雨期达到峰值,分别为 $1\ 506 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $237 \text{ m}^3/\text{d}$,与涌水量估算值差距不大,排水沟的排水能力满足其排水要求。总体来说其防排水系统基本合理。

5 结论

(1) 将各种水文地质勘察方法综合利用起来,才能全面而详尽的得到水文地质情况。在中条山隧道水文地质勘察过程中,综合运用了遥感判释、地面调查、物探、钻探、水化学分析等技术,从而获取地下水的补给、运移、赋存、排泄规律等水文地质情况。

(2) 对于长、大且水文地质情况复杂的隧道,其防排水系统应该进行分段设计,从而提高防排水系统的使用性能。本文选取的两隧道段分别穿过承压含水层及潜水含水层,经计算其涌水量差异较大,因此采用两种防排水结构型式。

(3) 隧道涌水量估算对于其防排水结构型式的设计施工具有极大的指导意义。

(下转第 80 页)