

Groundwater impact assessment and measures of No.3 tunnel in Laodian, Qiaojia County

Quan Qian

143 Coalfield Geological Exploration Team, Qujing, Yunnan, 655000, China

Abstract

The Lao Dian No.3 Tunnel in Qiaojia County, part of the Ludian-Qiaojia Expressway, is a separated ultra-long tunnel located in Lao Dian Town. To mitigate groundwater impacts on tunnel construction, this study conducted comprehensive analysis of groundwater distribution, discharge volume, and hazard levels along the tunnel route using field geological borehole data. Special attention was given to analyzing fissure development, fault zones, and high-head interval fissure water. Drawing on years of hydrogeological expertise, the groundwater impact assessment provides theoretical foundations for implementing advanced geological forecasting, early drainage and pressure reduction, and preconsolidation grouting during construction. This study ensures construction safety and offers practical references for groundwater impact assessment and tunnel construction in similar regional projects.

Keywords

tunnel; groundwater influence; evaluation

巧家县老店3号隧道地下水影响评价分析及措施

钱权

云南省一四三煤田地质勘探队, 中国·云南曲靖 655000

摘要

巧家县老店3号隧道隶属鲁甸至巧家高速公路, 位于巧家县老店镇, 为分离式特长隧道, 为预防地下水对巧家县老店3号隧道施工的影响, 本文通过现场地质钻孔资料对隧道沿线地下水分布、涌水量及危害程度进行了综合分析研究, 特别是对隧道沿线裂隙发育、断层及高水头区间裂隙水进行了重点分析。结合多年来水文地质经验, 对隧址区地下水影响进行了评价, 为后期施工中采取超前地质预报, 提前排水减压, 超前固结灌浆等措施提供理论依据, 保施工安全, 为区域类似的隧道地下水影响评价和施工提供参考。

关键词

隧道; 地下水影响; 评价

1 引言

巧家县老店3号隧道隶属鲁甸至巧家高速公路, 为分离式隧道, 呈直线形展布, 总体轴线方向 245° , 右线隧道全长7490m, 最大埋深约1172.54m; 左线隧道全长7420m, 最大埋深约1170.77m, 属特长隧道, 是连接昭通市昭阳区、鲁甸县和巧家县的最便捷通道, 是云南省滇东北地区构建综合交通运输网络主动融入和服务长江经济带国家发展战略的重要载体, 对推动项目沿线经济社会发展意义重大。

2 隧道穿越地层岩性

隧址区主要地层为第四系坡残积层(Q_4)、二迭系上统峨眉山玄武岩组第四段致密玄武岩段($P_2\beta^4$)、第三段($P_2\beta^3$)上斑状玄武岩段、第二段($P_2\beta^2$)下斑状玄武岩段、二迭系下统栖霞组-茅口组(P_1q-m)、二迭系下统梁山组(P_1l)、泥盆系上统(D_3)、泥盆系中统曲靖组(D_2q)、泥盆系中统红崖坡组(D_2h)、泥盆系中统缩头山组(D_2s)、志留系中统大路寨组(S_2d)、志留系中统嘶风崖组(S_2s)、奥陶系中上统大箐组($O_{2,3}d$)。隧洞从进口至出口分布发育向斜、背斜、向斜、断层, 地质构造较复杂。

3 隧道穿越构造

隧址区构造受新华夏系构造体系、华夏系构造体系控制, 在隧道出口北西侧约80m处河谷内分布有 II_3 罗马口断层, 该断层延伸长度在50km以上, 断层面倾向南东, 倾角 50° 以上, 属压扭性断层。隧道位于 II_3 罗马口断层南端下盘;

【作者简介】钱权(1984-), 男, 中国云南曲靖人, 本科, 工程师, 从事煤田地质、水文地质、工程地质和环境地质研究。

在隧道通过段(k37+300~37+400)间分布有一次级断裂构造,推测断裂倾向北东,倾角在50°以上,受区域和次级断裂构造影响,隧址区岩层褶曲发育,岩体裂隙发育,局部较破碎,岩层产状波状起伏,变化较大。实测得隧道进口段附近岩层产状分别为114°∠40°;中部为135°∠40°,出口端岩层产状为95°∠70°,主要发育2组裂隙节理,节理裂隙产状为140°∠65°、78°∠79°。

隧道K39+830处有一断层,地层产状变化大,断层两盘岩性为白云岩、泥质白云岩,属于脆性断层,透水性强,断层破碎带宽40-60m。

4 隧址区水文地质特征及涌水量预测

隧址区地下水资源丰富,根据含水介质特征,隧址区地下水可分为三大类:松散岩类孔隙水、碎屑岩裂隙水、碳酸盐岩岩溶水。

本隧址区碳酸盐岩、碎屑岩五层裂隙溶洞水广泛分布,富水岩组主要包括下二迭系下统栖霞组-茅口组(P_{1q-m})灰岩夹少量白云质灰岩、泥盆系上统(D₃)白云岩、砂质白云岩夹角砾状白云岩、泥质白云岩;泥盆系中统曲靖组(D_{2q})白云岩、泥质白云岩夹浅紫色白云质泥岩、灰色砂页岩、煤线;泥盆系中统红崖坡组(D_{2h})泥质白云岩夹紫红、灰绿色泥岩、白云质砂岩;志留系中统嘶风崖组(S_{2s})泥岩、页岩夹白云岩、砂岩,具底砾岩;奥陶系中上统大箐组(O_{2-3d})白云岩。

4.1 含水岩组(层)及富水特征

地层的富水性主要受岩性控制,同时也受地层的埋藏状况、断裂影响、地貌因素影响。根据区域水文地质、现场水文地质调查、隧道穿越地层岩性、地下水径流模数等特征,对隧道各段含水层富水性进行评价,对各段地层的富水性和导水性分述如下:

1.K33+250~K35+800段隧道穿玄武岩地层,属基岩裂隙水,地下水径流模数为2.32L/s·km²,泉点流量0.1-0.87L/s,根据大地电磁法成果,该段岩体完整性一般,富水性中等。因此,该段富水性中等,导水性中等。

2.K35+800~K37+970段隧道穿越灰岩夹少量白云质灰岩,少量(P_{1l})石英砂岩,灰色页岩夹灰岩、泥质白云岩、(D_{2q})白云岩、泥质白云岩夹白云质泥岩及砂页岩、煤线。地下水径流模数为7.07L/s·km²属岩溶水;泉点流量10L/s;根据大地电磁法成果,该段岩体破碎,节理裂隙发育。因此,该段富水性较强,导水性较强。

3.K37+970~K39+180段隧道穿越碳酸盐岩溶裂隙夹碎屑岩薄层,地下水径流模数为6.51L/s·km²属岩溶水;泉点流量34L/s;根据大地电磁法成果,该段岩体较破碎,节理裂隙发育;根据钻孔ZK166-1(K38+400左7米)抽水试验结果,试验段白云岩渗透系数16.74m/d。综合分析,该段富水较强,导水性较强。

4.K39+180~K39+530段隧道穿越石英砂岩夹粉砂岩、

页岩,地下水径流模数为0.951L/s·km²属基岩裂隙水;泉点流量0.03-0.81L/s;根据大地电磁法成果,该段岩体较破碎,节理裂隙发育。综合分析,该段富水性中等,导水性中等。

5.K39+530-K40+740段隧道穿越白云岩、泥质白云岩地层为主。地下水径流模数为6.51L/s·km²属裂隙水;泉点流量34L/s;根据大地电磁法成果,该段岩体较破碎,节理裂隙发育;根据钻孔ZK166钻孔注水试验成果,渗透系数达38.33m/d。综合分析,该段富水性较强,导水性较强。

4.2 断裂构造的富水性

通过对隧址区水文地质调查和区域断裂分析,断裂以压扭性断裂为主要特征,表现为断层破碎带不宽,一般均有胶结,较密实,含水性弱。在隧址区及附近,尚未发现断裂带或规模较大的泉、泉群或暗河。区域泉水流量一般在1~20L/s内,最大为50L/s,流量表明断裂含水性弱。隧道K39+830处断层两盘以白云岩为主,属于脆性断层,其导水性和富水性强。

4.3 隧址区岩溶发育特征

隧址区较为广泛地分布碳酸盐岩地层,主要岩性为白云岩、白云质灰岩、泥质白云岩。根据现场调查,结合区域水文地质报告、野外调绘资料,分析岩溶发育规律,隧址及附近地区岩溶发育具有下列基本特征:

4.3.1 岩溶发育的基本特征

隧道区新构造运动强烈,第四纪以来长期处于强烈的抬升运动之中,相对稳定时间很短,加上地势较高,气温较低,地下水循环交替较快,不利于岩溶的发育。在隧道出口西部及进口段西北部岩溶较发育,地表植被覆盖良好,多见溶蚀裂隙及溶洞等,主要地层为栖霞组和茅口组,岩性以白云岩、白云质灰岩为主。调查发现多个岩溶漏斗,均无水,随山脊分布,漏斗规模相对较小,且没有无相对统一的排泄基准面,该区距离隧道约2.5km,岩性主要为白云岩、白云质灰岩、泥质白云岩,岩溶为中等发育。原因是该地段地势相对较低,下伏基岩为碳酸盐岩,地表水系不发育,第四系覆盖,为岩溶发育创造有利条件。

4.3.2 岩溶发育的主要控制因素

岩溶发育与其形成的基本条件密切相关。因此,这些形成条件也就控制了岩溶发育和分布规律。主要形成条件有地形地貌、地质构造、新构造运动、地层岩性及水文地质条件。

4.4 隧道进口老窑积水

隧道K38+700-K39+300段穿过P_{1l}二叠系梁山组含煤地层,在隧道沿线地表煤层露头部位有多个老窑分布。据调查,梁山组含煤一般1~2层,厚度一般在1m以下,属不稳定煤层。各老窑在调查过程中未见积水流出,但老窑口有少量流水痕迹。访问调查,老窑开采过程中,窑中水直接引入溶洞中排出,可以初步判断,该段岩溶发育,并存在隐伏溶洞,对隧道施工和安全运营存在一定的影响。

4.5 水腐蚀性分析

据场地气候特征和含水层的透水性特征,按《公路工程地质勘察规范》(JTGC20-2011)附录K,隧址区场地环境类别为II类。本次勘察在隧道进出口及洞身段共取地表水样4个。水质类型分别为HCO⁻—Na+Ca型、HCO⁻—Ca型和HCO⁻—Ca+Mg型。在B类条件下对混凝土结构具微腐蚀性,在干湿交替条件下对钢筋混凝土结构中钢筋具微腐蚀性。

5 隧道涌突水状况分析与计算

隧道涌水量除受岩溶发育和水文地质条件控制外,具有季节性变化大的特点。根据所取得的资料及对隧道区岩水文地质条件的了解,拟选取大气降水入渗系数法和地下径流系数法及狭长水平坑道的水动力学法“廊道法”对隧道涌水量进行评价。隧道处于分水岭交界处,隧道涌水的主要来源为影响半径内的地下水,在此处假设影响范围内地下水为互相流通,方便计算与分析。根据隧道标高、水文地质单元划分、隧道区域有效补给表面积圈定集水面积。

5.1 涌突水计算与分析

5.1.1 大气降水入渗法

依据上述分析,计算求得各地层的降水入渗系数,降水量取822.7mm,面积为影响范围内各地层面积,采用大气降水入渗法计算如下表:

$$Q_2 = W \times \alpha \times F / 365$$

式中:Q₂—地下水涌水量(m³/d);W—年降水量(m);α—降水入渗系数(表4.2-2);F—影响区域面积(km²)。

降水入渗系数取值参考《铁路工程水文地质勘察规程》(TB10049—2014)表8.5.2。

大气降水入渗法计算涌水量结果见表4.1-1。

此计算涌水量Q是年平均量,实际区域降水存在时间与空间的分布不均,降水主要集中在5~10月份,如果选择雨季施工涌水量比值会更大。老店3号隧道进口段有采煤

历史,可能存在采空区积水。

5.1.2 地下水径流模数法

采用《铁路工程水文地质勘察规程》中计算公式:Q_s=86.4MA

式中:Q_s—预测隧道正常涌水量(m³/d);86.4—换算系数;M—地下径流模数(L/s·km²)(表4.1-3);A—隧道通过含水地段集水面积(km²)。其涌水量计算结果见表4.1-4。

5.1.3 狭长水平坑道的水动力学法

水平坑道可视为平卧的“竖井”,本次采用单侧进水无限补给潜水公式估算。

Q₀涌水量(m³/d),H为水头高度(m),K岩层渗透系数(m/d),R影响半径(m),S坑道水位降深,B为坑道长度(m)。勘察钻孔已施工5孔,ZK166(K40+000左7m,K=38.33m/d,q=1.562L/s.m)注水试验;ZK166-1(K38+400左7m,K=16.74m/d,q=0.032L/s.m)注水试验;ZK165(K34+100左30m),水位埋深为64m,水位标高为2093.97m,再结合参考ZK193(K440+320左7m,K=25.52m/d,q=0.85L/s.m);ZK167(K40+710左7m,未见水位);ZK163(K33+290左5米,未见水位),计算所选参数为试验值结合经验值综合选取。计算结果见表4.1-5。

5.2 计算结果的印证、对比

据前述三种计算方法所得结果,拟建隧道主洞正常涌水量最小值为7475m³/d,最大值为38728m³/d;隧道主洞最大涌水量小值为11213m³/d,最大值为58093m³/d。由于拟建隧道工程水文地质条件,加之隧道穿越煤层,建议狭长水平坑道法计算结果建议作为对比参考值使用。计算所选参数为试验值结合经验值综合选取,故本次隧道涌水量预测依然推荐以狭长水平坑道法计算结果为设计的主要依据,即正常涌水量为38728m³/d,最大涌水量为58093m³/d。

大气降水入渗法计算涌水量表表 4.1-1

序号	隧道分段	长度(Km)	隧道洞身穿越主要岩性	降雨入渗系数	降雨量取值(m/a)	实际面积(km ²)	隧道正常涌水量Q ₂ (m ³ /d)	最大涌水量(m ³ /d)
1	K33+250-K35+800	2.55	玄武岩	0.18	0.8227	14.79	6001	9001
2	K35+800-K37+970	2.17	碳酸盐溶裂隙	0.28	0.8227	3.56	2247	3370
3	K37+970-K39+180	1.21	碳酸盐溶裂隙夹碎屑岩	0.26	0.8227	1.63	955	1433
4	K39+180-K39+530	0.35	石英砂岩、页岩,粉砂岩	0.18	0.8277	1.12	457	686
5	K39+530-K40+740	1.21	碳酸盐溶裂隙	0.28	0.8227	2.36	1489	2234
合计		7.49				22.34	11149	16724

地下水径流模数表 4.1-3

类型	岩类		主要岩性	富水性	地下径流模数 (L/s·km ²)
孔隙水		松散岩	砂、砾石	中等	1.88
			砂、砾石、黏土	弱-中等	0.96
岩溶水	沉积岩	碳酸盐岩	灰岩、白云岩	强	10.4
			灰岩、白云岩	较强	6.45
		碳酸盐岩夹碎屑岩	灰岩、白云岩、砂页岩	较强	7.07
		碎屑岩夹碳酸盐岩	灰岩、砂页岩	中等	5.43
			灰岩、白云岩、砂页岩	中等	4.41
			灰岩、白云岩、砂页岩	较弱	0.70
裂隙水	碎屑岩	页岩、砂岩	中等		
		页岩、砂岩	较弱	0.73	
		页岩、砂岩	弱-较弱	0.95	
	岩浆岩	喷出岩	玄武岩	较强	1.21
			玄武岩	中等	2.32
			玄武岩	较弱-中等	1.68

地下水径流模数法计算涌水量表表 4.1-4

序号	隧道分段	长度(Km)	隧道洞身穿越主要岩性	地下径流模数 (L/s·km ²)	实际面积 (km ²)	隧道正常涌水量 Q ₂ (m ³ /d)	最大涌水量 (m ³ /d)
1	K33+250-K35+800	2.55	玄武岩	2.32	14.79	2965	4447
2	K35+800-K37+970	2.17	碳酸盐溶裂隙	7.07	3.56	2175	3262
3	K37+970-K39+180	1.21	碳酸盐溶裂隙夹碎屑岩	6.51	1.63	917	1375
4	K39+180-K39+530	0.35	石英砂岩、页岩、粉砂岩	0.95	1.12	92	138
5	K39+530-K40+740	1.21	碳酸盐溶裂隙	6.51	2.36	1327	1991
合计		7.49			22.34	7475	11213

结合隧道涌水危害严重等级判别结果和物探资料预测，隧道穿越断层，拟建隧道可能的集中涌水段和突水点为隧道 K37+520-K38+540 段和 K39+830 处，穿越煤层，防治老窑和断层突水。

5.3 隧道工程涌水的危害性评估

隧道涌水灾害严重等级判定根据《铁路工程水文地质勘察规程》(TB10049—2014)附录 B 表 3.3-1 的技术要求，按隧道通过区的地表环境特征、岩石性质、地质构造及气候条件等八项内容进行评分。老店 3 号隧道综合评定结果：隧道涌水灾害严重等级分别为 B 级。

5.4 极端气候条件下隧道涌水的危害性评估

极端天气和气候事件是小概率事件，但对人类环境和

社会经济影响极大，尤其是对于一些工程建设影响极其严重。因此，本次也对隧道涌水量在极端气候条件也做相对于的评估。根据巧家县各月累计日最大降水量数据估算隧道在极端气候条件下的涌水量，对隧道施工做一定的参考，其计算结果见表 4.4-1。

5.5 断裂部位涌水量预测

隧道可溶岩段部位的断裂富水及导水特性构成了涌水突泥灾害发生的根本条件，但对于断裂部位涌突水量的准确预测在工程界一直是难以解决的难题。根据隧道区附近前人的勘测资料，本次采用地下水动力学法预测计算各断层蓄水构造段的涌水量。以断裂破碎带及其影响带作为隧道涌水的渗漏通道，将高倾角断裂带概化为带状潜水含水层，隧道呈正

交方向穿过(如图4.5-1),得到概化后的最大涌水量公式

$$Q_0 = \frac{KB}{R} (H^2 - h_0^2) + \frac{\pi BKS}{\ln(\frac{8R}{\pi d})}$$

式中: Q_0 —隧道通过含水层最大可能涌水量(m^3/d);
 B —断裂处隧道的进水宽度 m (按 $B=$ 断层破碎带的一半宽度 $L_0/2+$ 上盘影响带宽度 L_0); R —隧道影响半径 m ; h_0 —

动水位至洞身横断面等价圆中心的距离(m); S —水位降深 m 。计算结果见表4.5-1。

据前述三种计算方法所得结果,拟建隧道主洞正常涌水量最小值为 $7475m^3/d$,最大值为 $38728m^3/d$;隧道主洞最大涌水量最小值为 $11213m^3/d$,最大值为 $58093m^3/d$ 。由于拟建隧道工程水文地质条件,加之隧道穿越煤层,建议狭长水平坑道法计算结果建议作为对比参考值使用。

狭长水平坑道法涌水量计算结果表表 4.1-5

序号	隧道分段	长度 (Km)	隧道洞身穿越主要岩性	含水层厚度 (m) H	渗透系数 (m/d) K	影响半径 (m) R	水位降深 (m) S	坑道长度 (m) B	隧道涌水量 $Q_s (m^3/d)$	最大涌水量 (m^3/d)
1	K33+250-K35+800	2.55	玄武岩	40	0.036	96	40	2550	1530	2295
2	K35+800-K37+970	2.17	碳酸盐溶裂隙	30	3.93	651	30	2170	11781	17672
3	K37+970-K39+180	1.21	碳酸盐溶裂隙夹碎屑岩	20	16.74	732	20	1210	11070	16605
4	K39+180-K39+530	0.35	石英砂岩、页岩,粉砂岩	20.00	0.036	34	20.00	350	148	223
5	K39+530-K40+740	1.21	碳酸盐溶裂隙	20	27.54	939	20	1210	14199	21298
合计		7.49						7490	38728	58093

极端气候条件下隧道涌水量计算表表 4.4-1

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
各月累计日最大降雨量 (mm)	50	35	134.5	81.9	195.7	327.8	328.7	231.2	256	162.4	80.4	41.6
极端气候条件下涌水量 (m^3/d)	7906	5534	2127	12590	30944	51832	51974	36557	40479	25679	12713	6578

断裂部位最大涌水量预测计算结果表表 4.5-1

序号	断层名称	主要特征	B(m)	h_0 (m)	H(m)	K (m/d)	R (m)	D (m)	Q (m^3/d)
1	K39+830	两盘岩层之间构造不连续,较破碎,断层两盘为白云岩、泥质白云岩,属于脆性断层,透水,破碎带宽 40-60m	50	56	156	4.74	2635.27	6.50	10723

6 地下水影响评价结论

通过水文地质调查和前人资料的基础上,初步查明工作区各类含水岩组的分布、富水性、埋藏条件;地下水类型为 $HCO-Ca+Mg$ 型,地表水质类型为 $HCO+SO_4-Ca+Mg$ 型和 $HCO-Ca+Mg$ 型。

拟建隧道可能的集中涌水段和突水点为隧道 K37+520-K38+540 段和 K39+830 处,穿越煤层,防治断层

和老窑突水。

沿隧道轴线布置钻孔控制,各钻孔均揭穿隧道洞身围岩范围,都进行水文地质测试工作,对隧道水文地质条件可起到较全面的控制,钻孔资料较地面调查结果更能反映隧道埋深部位的实际情况。计算所选参数为试验值结合经验值综合选取,故本次隧道涌水量预测依然推荐以狭长水平坑道法计算结果为设计的主要依据,即正常涌水量为 $38728m^3/d$,

最大涌水量为 58093m³/d。

由地质钻孔得到的水文地质评价,结合涌水量的计算可知,该长输水隧洞沿线地质条件复杂,涌水量大,部分洞段底板处于地下水位以下,段内地下水活动程度较为强烈,施工中极易发生涌水、突泥等地质灾害。因此在施工中不仅要采取排水措施,还要对隧洞进行支护处理,确保围岩地质稳定。岩溶地区隧道施工的核心是控制地下水,需遵循“堵排结合、限量排放、因地制宜”原则,避免过量排水导致地面沉降或突水突泥。

参考文献

- [1] 云南省某高速公路两阶段初步设计报告[R].2021.
- [2] 钱权.云南省某高速公路两阶段初步设计某隧道水文地质勘察专项报告[R].2021.
- [3] 1:20万《区域地质调查报告》(鲁甸幅)
- [4] 1:20万《区域地质调查报告》(米易幅)
- [5] 1:20万《区域水文地质普查报告》(鲁甸幅)
- [6] 1:20万《区域水文地质普查报告》(米易幅)
- [7] 《公路工程地质勘察规范》(JTGC20—2011);
- [8] 《铁路工程水文地质勘察规范》(TB10049-2014);
- [9] 《铁路工程不良地质勘察规范》(TB10027-2012);
- [10] 《水利水电工程水文地质勘察规范》(SL373-2007);
- [11] 《区域水文地质工程地质环境地质综合勘查规范(1:50000)》(GB/T14158-93);
- [12] 《公路隧道设计规范》(JTG3370-2018);
- [13] 《水利水电钻孔抽水试验规程》(SL320-2005);
- [14] 《水电水利工程钻孔压水试验规程》(DL/T5331-2005);
- [15] 程庭.隧道涌水量计算的尴尬困境和研究现状[J].西部探矿工程, 2013, 25(10): 185-188.
- [16] 安文生,李平.复杂地质条件下隧道涌水量预测与结果分析[J].水利科技与经济, 2016, 22(9): 58-61.
- [17] 徐国鑫,姚俊.长大隧洞工程建设中地下水处理的实践及思考[J].水利水电技术, 2017, 48(08).
- [18] 饶胜斌.长大引水隧洞地下水应对措施及处理技术[J].公路, 2017, 62(02): 255-259.
- [19] 王振.高水头地下水对长水工隧洞施工的影响探讨[J].江西建材, 2016(12).
- [20] 吴剑疆.大埋深输水隧洞设计和施工中的关键问题探讨[J].水利规划与设计, 2020(4): 120-125.