

滇中引水工程龙树隧洞出口段开挖 对平诺村岩溶大泉影响评价

陈兴聪

(云南省水利水电勘测设计研究院,昆明 650021)

摘要: 滇中引水工程龙树隧洞出口段西南 1.3 km 平诺村附近,出露岩溶大泉 W614,该泉为云龙山矿泉水厂及平诺村水源,因隧洞穿过 W614 地下水径流补给区,分析隧洞施工对平诺村泉影响具有重要现实意义。通过分析研究地下水补给、径流、排泄特征提出针对性的补救措施,减少地下水环境影响。本文从岩溶水文地质角度出发,分析了 W614 泉的构造成因,并估算出其径流区地下水补给量及隧洞开挖涌水量,通过地下水量平衡分析施工对平诺村泉影响,得出龙树隧洞开挖后平诺村泉(W614)疏干可能性不大,但会造成平诺村泉减流的初步判断。

关键词: 岩溶含水系统;控水构造;地下水环境影响;减流;疏干;补救措施

中图分类号: P642;TV67 **文献标识码:** A

EVALUATION OF THE IMPACT OF LONGSHU TUNNEL EXCAVATION ON PINGNUOCUN KARST SPRING

CHEN Xing-cong

(Yunnan Institute of Water Resources and Hydropower Survey and design, Kunming 650021, China)

Abstract: Near Pingnuo village, 1.3 km southwest of Longshu Tunnel exit section in central Yunnan, there is a Karst Spring W614, which is the water source of Yunlongshan mineral water plant and Pingnuo village, by analyzing the characteristics of groundwater recharge, runoff and discharge, the paper puts forward the corresponding remedial measures to reduce the influence of groundwater environment. In this paper, from the viewpoint of karst hydrogeology, the structural cause of W614 Spring is analyzed, and the groundwater recharge and tunnel excavation discharge in its runoff area are estimated, it is concluded that after Longshu Tunnel excavation, the drainage of Pingnuo village spring (W614) is unlikely, but it will result in the primary judgment of Pingnuo village spring flow reduction.

Key words: Karst water subsystem; water control structure; groundwater environmental impact; drainage; drainage; remedial measures

0 引言

2001年,中国工程院编写的《21世纪中国可持续发展水资源战略研究》报告中明确指出:“经济比较发达的滇中高原地区,因地势较高,缺少水利骨干

工程,建议建设滇中高原的补水工程,是支持本区大开发的重要基础条件”。为缓解滇中地区水资源紧缺及保持可持续性发展,国家水利部于2018年批准建设滇中引水工程。滇中引水工程以隧洞为主,沿线水文地质条件复杂,隧洞开挖存在地下渗水、涌

水,可能造成较大范围的地下水疏干、降落,会对周边地下水环境造成破坏。而地下水环境对现实生产、生活有较大影响,因此研究地下洞室开挖对地下水环境影响具有重要意义^[1]。

1 龙树隧洞出口段地质条件

1.1 地形地貌

龙树隧洞位于滇中引水工程红河段总干渠中段,隧洞总长 12 925 m,设计流量 $20 \text{ m}^3/\text{s}$,洞径 $3.0 \text{ m} \times 3.9 \text{ m}$,出口设计底板高程为 1 518.2 m。其出口段位于云龙山西南麓,属构造侵蚀-溶蚀中山地貌,山体高大雄厚,地形坡度一般 $25^\circ \sim 40^\circ$,山顶高程一般 1 750~1 850 m。

1.2 主要地层、地质构造

龙树隧洞出口段(约 700 m)出露地层以中生界三迭系个旧组(T_2g^1)地层为主,岩性中厚层状灰岩、白云岩,为纯碳酸盐类岩组,岩溶发育程度中等-强,富水性强。隧洞出口段埋深 160~220 m。隧洞出口发育小关-李浩寨大断裂(F38),断层在工程区内走向为东北-南西向,断层走向与洞线呈 75° 相交。该断层性质为逆断层,断层上盘出露为昆阳群

(Pt_1m)板岩,下盘主要为三叠系(T_2g^1)灰岩、白云岩。沿断裂两侧破碎、角砾岩化及擦痕等均极发育。断层物质为断层角砾岩、碎裂岩、断层泥,推测断层宽 30~40 m,为晚更新世活动性断裂^[2]。

1.3 岩溶水文地质

1.3.1 平诺村岩溶含水系统

根据工程区水文地质测绘成果及径流分布特征,初步划分区内水文地质单元,龙树隧洞出口段位于平诺村岩溶含水系统(图 1)。该系统内可溶岩展布与构造线方向一致呈北东-南西向,以云龙山-新寨为轴心,北西部和南东部各分布一个可溶岩条带。其中北西部可溶岩条带长约 5 km,宽 0.5~0.9 km,面积约 4.0 km^2 ;南东部可溶岩条带长约 6 km,宽 0.2~0.6 km,面积约 3.0 km^2 。平诺村岩溶含水系统东南以小关-李浩寨-利民逆大断裂(F38)、北西以大匾山-龙树北山为边界,南至小黑箐-平诺村一线,系统内最低排泄基准面为龙潭水库,高程为 1 463 m。该系统内的可溶岩地层为 T_2g^1 灰岩,岩溶的发育特征受岩性、构造的控制,顺着岩层层面和陡倾节理裂隙面形成了各种规模的溶孔、溶腔、地表洼地,地下水总体由北向南径流^[3]。

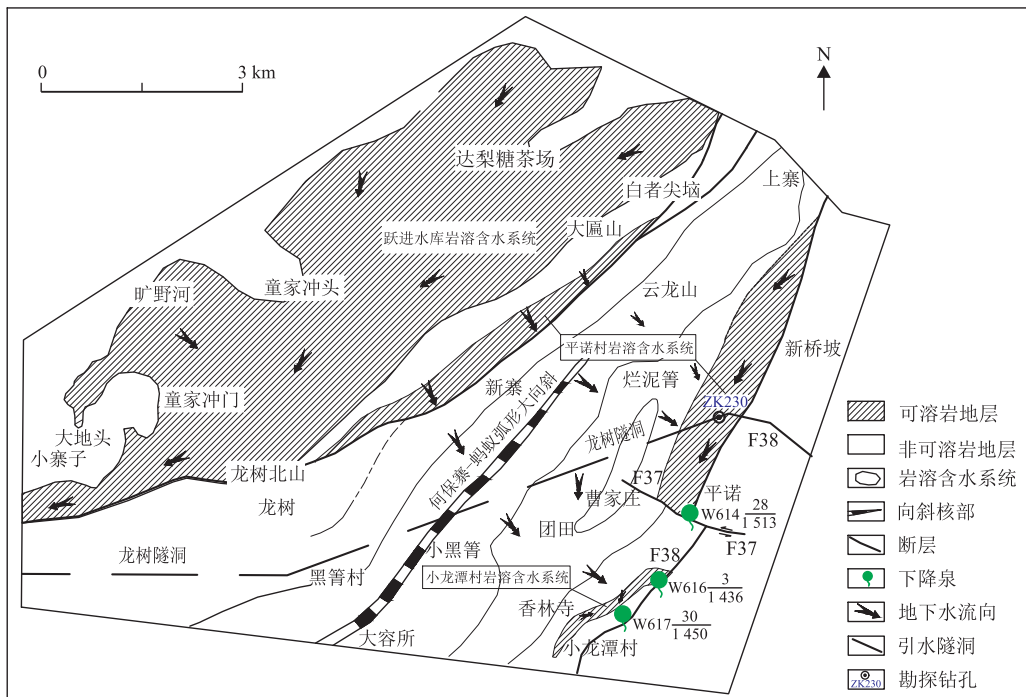


图 1 平诺村岩溶含水系统水文地质图

1.3.2 龙树隧洞出口段岩溶发育特征

龙树隧洞出口段布置 ZK 230 钻孔勘探,孔深 255.14 m,钻孔孔口高程为 1 735.0 m,地下水位高程 1 547.0 m(埋深 188.0 m),隧洞底板高程

1 519.0 m,全孔岩溶发育形态以溶蚀破碎带及小溶洞为主(表 1);其次孔内构造溶蚀裂隙普遍发育,一般张口宽 0.5~2.0 cm,溶蚀裂隙多为泥质或泥钙质充填^[2]。

表 1 龙树隧洞出口段 ZK230 钻孔(T_2g^1 地层)岩溶发育特征表

岩溶发育孔深位置/m	分布高程/m	岩溶发育形态	充填物特征
51.20~51.40	1 683.8~1 683.6	小溶洞,洞径约 0.2 m	红色砂质黏土充填
96.50~98.50	1 638.5~1 636.5	溶洞,洞径约 1.5~2.0 m	褐黄色黏土及灰岩溶蚀角砾充填
98.50~104.00	1 636.5~1 631.0	溶蚀破碎带,宽度 5~6 m	主要为灰岩碎块夹泥,伴有大量小溶孔发育
115.40~115.80	1 619.6~1 619.2	小溶洞,洞径约 0.4 m	溶洞空腔,无充填
120.70~123.20	1 614.3~1 611.8	溶蚀破碎带,宽度 2~3 m	主要为灰岩碎块夹泥
149.20~158.81	1 585.8~1 576.19	溶蚀破碎带,宽度 9~10 m	主要为灰岩碎块夹泥,伴有溶孔及大量溶隙发育
193.20~193.80	1 541.8~1 541.2	溶蚀破碎带,宽度 0.6 m	主要为灰岩碎块夹泥
213.80~214.40	1 521.2~1 520.6	溶蚀破碎带,宽度 0.6 m	主要为方解石碎块夹泥
248.60~248.80	1 486.4~1 486.2	小溶洞,洞径约 0.2~0.3 m	褐黄色砂泥质充填

1.3.3 地下水环境影响

龙树隧洞出口段横穿平诺村岩溶含水系统中部,由于隧洞位于地下水位以下,施工期洞内渗、涌水,将造成隧洞两侧地下水位降低,存在地下水环境影响问题。

龙树隧洞出口周边为山区,地表无长流水溪流发育,但在其西南 1.3 km 平诺村附近,出露岩溶大泉 W614。该泉是由于断层沟谷下切,非可溶岩阻隔而出露的岩溶上升泉,泉流量为 28 l/s,高程为 1 513 m。水样分析表明,地下水化学类型为 Ca-Mg-HCO₃ 型,现为云龙山矿泉水厂及平诺村水源,隧洞开挖可能造成平诺村泉(W614)减流、甚至疏干风险。

2 平诺村岩溶大泉(W614)成因分析

平诺村岩溶大泉(W614)主要受地质构造和地形条件的控制^[6],其成因分析如下。

2.1 远端-向斜型控水构造

远端看,龙树隧洞在云龙山附近斜穿一较大的向斜,该向斜沿大容所-小黑箐-新寨展布,北东走向。其核部为舍资组(T_3s)地层,向斜沟通了北西部和南东部两条个旧组(T_2g^1)岩溶条带中的地下水。因向斜北西部个旧组岩溶条带地势较高,使得北西部中的岩溶地下水,通过向斜构造顺层补给位于南东部个旧组中的平诺村岩溶泉 W614(图 2)。

平诺村岩溶含水系统东南端小龙潭村附近(平诺村南西)也有两个岩溶下降泉点(W616、W617)发育,流量为 3~9 l/s,泉点高程 1 436~1 440 m,低于平诺村泉 W614 高程(1 513 m)。由此判断,该岩溶含水系统北西部岩溶条带通过远端-向斜型控水构造主要补给地势较低的小龙潭村附近泉点 W616、W617,平诺村泉 W614 补给量较少。

2.2 近端-断层型控水构造

近端看,平诺村岩溶含水系统地下水径流过程受断层构造的控制明显,其中小关-李浩寨-利民逆

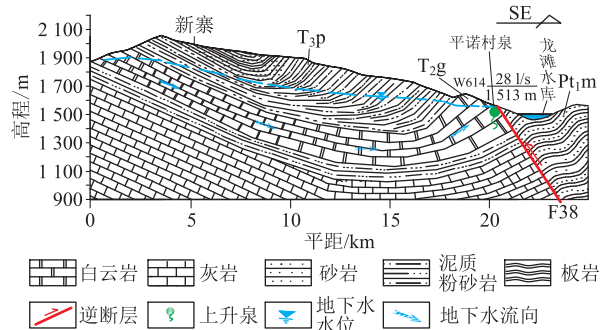


图 2 平诺村泉(W614)向斜构造补水示意图

大断层(F38)、位于平诺村-曹家庄附近的的东西向平移断层(F37)皆具有阻水性质。虽断层带阻水,但断层附近影响带内岩石破碎,更易形成汇集附近岩体中孔隙水、裂隙水、岩溶水的通道^[6]。龙树隧洞出口段个旧组中地下水向南、向东流动过程中在 F38 逆大断层和 F37 平移断层处遇阻,溢流形成平诺村泉(W614),见图 3~图 5。由此可分析得出断层控水构造也是平诺村泉(W614)的成因之一。



图 3 受 F38、F37 断层夹持阻水溢流形成 W614 泉

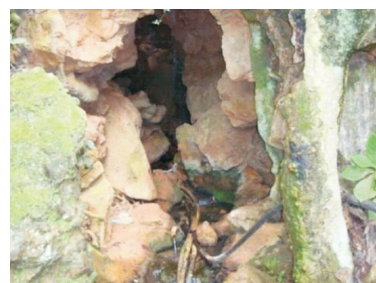


图 4 平诺村 W614 岩溶泉出水口

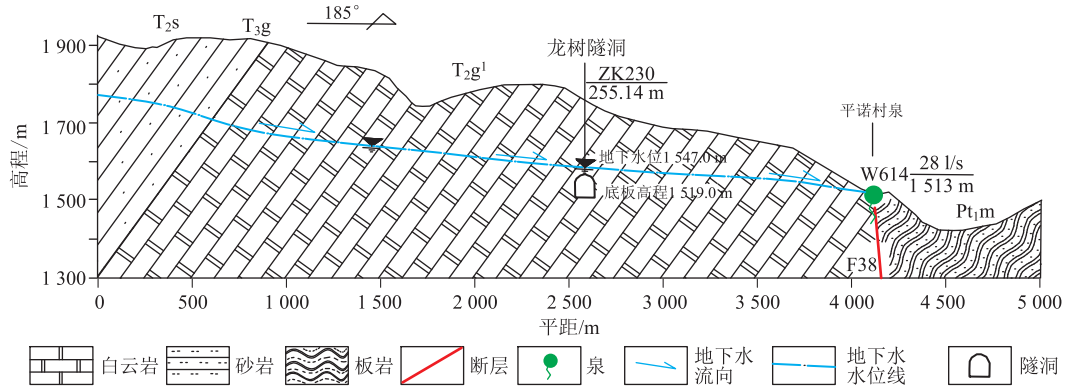


图5 平诺村泉(W614)断层构造补水示意图

3 平诺村岩溶大泉(W614)径流区地下水补给量及隧洞开挖涌水量估算

3.1 W614 泉径流区地下水补给量估算

平诺村泉(W614)径流区地表并无大的地表河流,推断平诺村大泉的地下水补给来源主要接受大气降水补给,采用降雨入渗法估算径流区地下水补给量(公式1)^[1]。

$$Q = 2.74\alpha WA \quad (1)$$

式中, α 为降水入渗系数; W 为年均降水量(mm); A 为泉点径流区的集水面积(km²)。

平诺村泉地下水径流补给区主要是平诺村岩溶含水系统东南部可溶岩条带,其北西部可溶岩条带通过远端-向斜型控水构造补给量较少,暂不列入地下水补给量估算。东南部可溶岩条带面积约3.0 km²,径流补给区降水入渗系数为0.35;中部非可溶岩(碎屑岩)面积约15 km²,降雨入渗系数取0.15,年均降水量为805 mm,平诺村泉(W614)径流区可溶岩及非可溶岩地下水补给量估算结果合计约7 278 m³/d。

3.2 龙树隧洞出口段开挖涌水量估算

采用地下水动力学法估算龙树隧洞出口段开挖涌水量,涌水量按铁路勘察规程经验公式(公式2)计算^[1]。

$$Q = LKH(0.676 - 0.06K) \quad (2)$$

式中, Q 为预测隧洞通过含水层正常涌水量(m³/d); L 为隧洞涌水段长度(700 m); K 为岩体的渗透系数(0.3 m/d); H 为含水层中原始静水位至隧洞底板的距离(28 m)。

可溶岩洞段受溶蚀风化及岩溶发育程度不均匀性影响,溶蚀风化浅、岩溶不发育洞段透水性微弱,而溶蚀破碎带、节理裂隙密集带、断层破碎带及发育岩溶管道洞段透水性较强。龙树隧洞出口段 ZK230

钻孔洞身位置虽然压水试验成果 <5 Lu、透水性弱,但并不能代表隧洞围岩整体透水性,需整体考虑 T₂g¹(灰岩、白云岩)岩体渗透系数取值,综合确定采用 $K=0.3$ m/d 进行该洞段涌水计算,龙树隧洞出口段开挖涌水量估算结果为 3 869 m³/d。

从平诺村泉(W614)径流区地下水补给量及隧洞开挖涌水估算结果可看出,径流区地下水补给量大于龙树隧洞出口段开挖涌水量,且隧洞出口段底板略高于泉点,由此判断平诺村泉(W614)疏干可能性不大,可能造成平诺村泉大幅减流。

4 龙树隧洞出口施工对平诺村岩溶大泉(W614)影响分析评价

为查明龙树隧洞出口段(约700 m)地下水情况,在出口段轴线布置 QMZK230 钻孔作为地下水长期观测孔,枯季实测灰岩地下水水位埋深 188 m,地下水水位高程 1 547.0 m,隧洞底板高程 1 519.0 m。QMZK230 距离平诺村泉 W614 约 1.3 km,泉点高程 1 513.0 m,泉点低于龙树隧洞出口段地下水位及隧洞底板,隧洞出口段与泉点同属平诺村岩溶含水系统。龙树隧洞出口段位于 W614 地下水径流补给区,地下水主要接受大气降雨入渗补给和非可溶岩接触带的侧向补给,通过溶蚀裂隙、溶洞、溶蚀管道等通道介质运移(参见图5)^[4]。隧洞出口段施工期间 W614 可能存在如下3种情况:

(1) 推测龙树隧洞出口段直接穿过平诺村泉 W614 的暗河岩溶管道,造成泉水补给中断, W614 泉点疏干,地下水环境影响较严重,该情况出现的可能性较低。

(2) 龙树隧洞出口段未切穿 W614 的暗河岩溶管道,但横穿 W614 地下水径流补给区,隧洞内出现岩溶渗水、涌水,导致地下水沿隧洞线出现长条状降落漏斗, W614 补给减少。但因隧洞底板高于泉点

出露高程,故不会造成泉点疏干,只会造成 W614 补给减少、泉点减流,地下水环境影响程度中等^[7],该情况可能性较高。

(3) 龙树隧洞出口段未切穿 W614 的暗河岩溶管道,隧洞出口段开挖虽会消耗该片区(东南部可溶岩条带)一定的地下水量,但平诺村岩溶含水系统西北部还有一个可溶岩条带可以通过向斜顺层补给岩溶泉 W614,地下水补给量大于隧洞开挖损失量,对 W614 影响较小,泉流量无明显波动,地下水环境影响程度轻微。

5 缓解地下水环境影响及补救措施

针对上述分析,龙树隧洞出口段施工期建议采取以下缓解、补救措施^[5]:

(1) 如隧洞开挖直接穿过平诺村泉 W614 的暗河岩溶管道,造成岩溶涌突水,初期让涌水自然涌出,启动应急抽排系统抽排出洞,同时做好涌水监测。待掌握隧洞掌子面涌水变化及其围岩性质后,建议扩大开挖断面,通过埋管形式人工引流至下游暗河岩溶管道,恢复 W614 泉流量。

(2) 如隧洞开挖横穿 W614 地下水径流补给区,隧洞内出现岩溶渗水、涌水,可把洞内渗水、涌水

通过施工斜井(或管道)回抽至原地下水排泄区附近排放,待隧洞部位的岩溶渗漏封堵完成并衬砌后(不设排水孔),地下水位会自然慢慢恢复,这样就不会造成较长时间的泉点减流,减少对地下水环境的不良影响。

(3) 如施工期对 W614 影响较小,泉流量无明显波动,建议对隧洞出口段周边地下水进行动态监测,包括对附近地下水排泄点流量(含 W614)和水质进行监测。

(4) 先期与云龙山矿泉水厂按减流、疏干两种方式协商好补偿,并提前做好平诺村替代水源方案及应急性供水措施,如建立水窖、打井、紧急运水水源等,必要时实施,保证村民用水需求。

6 结论

综合分析认为,虽然龙树隧洞开挖两侧地下水影响范围较小,对整个岩溶系统内的地下水补、径、排条件影响有限,但因平诺村岩溶大泉(W614)位于地下径流区下游的特殊水文地质条件,且距离隧洞线较近,势必有一定地下水环境影响,可能会造成 W614 减流,疏干的可能性较小。

龙树隧洞出口段涌水量及 W614 泉流量变化如表 2。

表 2 龙树隧洞出口段涌水量及 W614 泉流量变化一览表

时间	降雨量/mm	隧洞出口段涌水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	W614 泉流量/ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$
施工前	多年平均 805	计算涌水量 3 869	28.0
施工阶段(2020~2023 年)	720~650	2 360~1 200	15.0~6.0
目前(2024 年 1~3 月)	干旱少雨、旱情严重	550	2.5~3.5

说明:①隧洞出口段实际涌水量较计算涌水量小,W614 泉流量减流 50%以上,并有逐年减少趋势;

②受近年降雨量减少影响,涌水量、泉流量有加剧减少态势。

从表 2 可看出隧洞实际施工中出现了分析中的第二种情况,即部分减流,地下水环境影响程度中等,基本符合预判。

参考文献

- [1] 中国地质调查局. 水文地质手册(第二版)[M]. 地质出版社, 2012.
- [2] 陈兴聪,张雄云,张冰泉,等. 滇中引水工程输水总干渠红河段初设工程地质勘察报告(未出版)[R]. 云南省水利水电勘测设计研究院,2017.
- [3] 许模,杨艳娜,陈兴聪,等. 滇中引水工程红河段典型岩溶区岩

溶与水文地质、水环境影响及对策研究(未出版)[R]. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,云南省水利水电勘测设计研究院,2018.

- [4] 庄旭峰,林东. 实例分析隧道建设对岩溶水的影响[J]. 中国岩溶,2016,35(6):681-687.
- [5] 宋词,郑光玉,罗运武,等. 川藏铁路隧道疏排地下水生态风险及保护对策[J]. 地质灾害与环境,2021,32(2):104-108.
- [6] 段天宇,成建梅,段勇,等. 隧洞突涌水指示西南岩溶大泉成因关系及水环境效应分析[J]. 地质科技通报,2023,42(4):183-193.
- [7] 李光伟,杜宇本,陈旭,等. 大瑞铁路保山隧道建设对易罗池岩溶水系统影响研究[J]. 铁道标准设计,2015,59(5):106-111.

作者简介: 陈兴聪(1971—),男,大学本科,高级工程师,从事水利水电工程地质勘察工作。E-mail:948529284@qq.com