

# Analysis of the karst development characteristics of Tongluo Mountain Tunnel and the impact of karst groundwater on the tunnel

Yanbo Bai Chuan Yan

SiChuan Institute of Energetical and Geological Survey, Chengdu, Sichuan, 610072, China

## Abstract

The Tongluo Mountain tunnel cave body section passes through the soluble rock strata of the Leikoupo group and the Jialing River group, and the karst develops. Surface-falling caves, karst buckets, karst ditches, karst caves and underground dark rivers mostly appear in this section. This paper intends to carry out a systematic and in-depth investigation and analysis and demonstration of the karst development characteristics of the Jialing River Group tunnel and the impact of karst groundwater on the tunnel, so as to provide a reliable scientific basis for the optimisation and design of the construction of the Tongluo Mountain Tunnel and other related technical issues.

## Keywords

Karst; Underground water

## 铜锣山隧道岩溶发育特征及岩溶地下水对隧道影响分析

白彦波 闫川

四川省能源地质调查研究所, 中国·四川成都 610072

## 摘要

铜锣山隧道洞身段穿越雷口坡组及嘉陵江组的可溶岩地层, 岩溶发育, 地表落水洞、溶斗、溶沟、溶洞、地下暗河多出现在该段。本论文拟对嘉陵江组隧道岩溶发育特征及岩溶地下水对隧道影响问题开展系统深入的调查与分析论证, 为铜锣山隧道建设优化设计等相关技术问题提供可靠的科学依据。

## 关键词

岩溶; 地下水

## 1 引言

岩溶是可溶岩与地表水、地下水相互作用下的产物, 岩溶发育强度及岩溶裂隙管道地下水均具有典型的不均一性。岩溶的发育严格受可溶岩地层岩性及岩性组合、地质构造、可溶岩与非可溶接触界面特性及地下水循环分带性等诸多因素的控制。

铜锣山隧道横向穿越铜锣山背斜, 主要穿越地层有侏罗系新田沟组、自流井组、珍珠冲组以及三叠系须家河组、雷口坡组、嘉陵江组。其中雷口坡组和嘉陵江组地层为灰岩地层, 为可溶岩, 岩溶发育, 地表落水洞、溶斗、溶沟、溶洞、地下暗河多出现在该段。由于其地下水补给条件好, 地下水丰富、运动活跃, 属强透水、强富水岩溶溶隙溶洞含水层,

构成拟建隧道重要涌水层段, 水文地质条件复杂。

因此, 对铜锣山隧道进行岩溶发育特征及岩溶地下水特征研究分析具有重要的科学意义和学术价值, 通过对铜锣山隧道岩溶发育特征及岩溶地下水发育规律的分析研究, 可以为铜锣山隧道的开挖提供指导性依据, 对于预防隧道涌突水及防止人员伤亡事故具有重大现实意义。

## 2 隧道洞身段穿越的可溶岩地层

根据现场调查, 铜锣山隧道洞身段穿越的可溶岩地层为三叠系中统雷口坡组 ( $T_2l$ ) 和下统嘉陵江组 ( $T_1j$ )。

### 2.1 中统雷口坡组 ( $T_2l$ )

分布于背斜中部隧道洞身段, 为灰色簿至中厚层状灰岩、白云质灰岩、白云岩、泥灰岩、钙质泥岩、盐溶角砾岩及膏盐组成。根据其岩性组合可分为三层段, 即  $T_2l^3$ 、 $T_2l^2$ 、 $T_2l^1$ 。总厚度 380 ~ 390m。

雷口坡组三段 ( $T_2l^3$ ): 厚 0 ~ 189m。上部为灰色簿至中厚层状隐至微晶白云质灰岩及白云岩, 夹薄层钙质泥

【作者简介】白彦波 (1979—), 男, 硕士, 高级工程师。从事水文地质工程地质环境地质、地灾勘查设计、采空区瓦斯调查评价、地灾评估等方面研究。

岩。下部为灰色厚层状含泥灰岩、灰岩，夹薄层白云质泥灰岩，与下伏地层过渡接触。

雷口坡组二段 ( $T_2^2$ )：厚 200 ~ 283m。为黄灰色、灰绿色薄层钙质泥岩、白云质泥岩，夹薄层灰岩、白云质灰岩、白云岩、泥灰岩，中部为灰色中厚层状含泥灰岩、角砾状灰岩、白云岩、泥灰岩夹薄层钙质泥岩。与下伏地层过渡接触。

雷口坡组一段 ( $T_2^1$ )：厚 88 ~ 125m。上部为灰色薄至中厚层状白云质灰岩，白云质泥灰岩夹泥岩、白云质泥岩、白云岩、灰质白云岩等，下部为灰色块状岩溶角砾岩，底部为深灰色泥岩，层中偶见灰绿色水云母粘土岩（绿豆岩）。

### 2.2 下统嘉陵江组 ( $T_1j$ )

出露于背斜轴部隧道洞身段。区域上划分为四段，其中  $T_1j^1$ 、 $T_1j^3$  段主要为石灰岩； $T_1j^2$ 、 $T_1j^4$  段主要为白云岩、盐溶角砾岩。厚度大于 346m。

嘉陵江组四段 ( $T_1j^4$ )：厚 120 ~ 130m。上中部为灰色，浅灰色块状岩溶角砾岩夹灰岩，白云质灰岩等，砾岩呈棱角状，以灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩、少量钙质泥岩等；下部为灰色薄至中厚层状灰质白云岩，白云岩夹岩溶角砾岩薄层，与下伏地层过渡接触。

嘉陵江组三段 ( $T_1j^3$ )：厚 105 ~ 164m。灰色，黄灰色薄至中厚层状含泥质石灰岩，上部、中部局部含白云质，下部夹少量角砾状灰岩。与下伏地层过渡接触。

嘉陵江组二段 ( $T_1j^2$ )：厚 100 ~ 112m。上部为灰色，浅灰色中至厚层状石灰岩与角砾状石灰岩呈不等厚互层，顶部夹白云岩及白云质灰岩，下部为灰色薄至中厚层状含钙质白云岩、白云岩，含白云质泥质石灰岩及泥质灰岩夹钙质泥岩及角砾状灰岩，与下伏地层过渡接触。

嘉陵江组一段 ( $T_1j^1$ )：厚 100 ~ 112m。上部为薄至中厚层状泥质灰岩与含泥质石灰岩互层，顶部为泥灰岩，下部为灰色中厚层状，含泥质灰岩夹泥灰岩及角砾状灰岩，与下伏地层整合接触。

## 3 隧址区地质构造

隧址区地处川东褶皱带中之铜锣山背斜中段，主体构造为铜锣山背斜，区内发育断层 5 条，构造特征主要表现为褶皱及节理裂隙，构造特征述如下：

铜锣山背斜：背斜轴向  $N20^\circ \sim 35^\circ E$ ，枢纽起伏。

隧道处于背斜北段枢纽鞍部，轴部出露最老地层为三叠系飞仙关组，轴部地带地层较陡，倾角  $30 \sim 60^\circ$ ，向两翼分别为三叠系嘉陵江组、雷口坡组、须家河组，侏罗系珍珠冲组至上沙溪庙组地层。北西翼较陡倾角，约  $45 \sim 86^\circ$ ，南东翼倾角较缓，约  $25 \sim 78^\circ$ 。整体背斜形态完整。隧址区内铜锣山背斜为轴面东倾的斜歪背斜，隧道横穿该背斜。

## 4 隧址区含水层特征

根据本次野外调查情况，隧址区内主要岩溶发育段的含水层为三叠系中统雷口坡组 ( $T_2^1$ ) 灰岩地层。

雷口坡组三段为灰岩、白云质灰岩，厚度最厚可达 276m，岩石的可溶性好，岩溶发育，地表落水洞、溶斗、溶沟、溶洞、地下暗河多出现在该段。由于其地下水补给条件好，地下水丰富、运动活跃，属强透水、强富水岩溶溶隙溶洞含水层，构成拟建隧道重要涌水层段，水文地质条件复杂。

雷口坡组二段以钙质泥岩、白云质泥灰岩为主，夹白云岩、白云质灰岩组成，地表岩溶以溶隙为主，溶洞不发育，地下水补给条件较差，地下水受其阻隔作用，在顶部和底部泉水出露，为较弱透水、富水性较弱的溶孔、溶隙裂隙含水层。由于出露面积大，受大气降雨补给范围宽，对隧道充水影响较大。

## 5 隧址区岩溶岩溶发育特征及岩溶地下水特征

### 5.1 岩溶岩溶发育特征

铜锣山背斜核部岩溶较发育，地表主要表现为溶蚀洼地、溶斗、落水洞、泉等，溶斗及落水洞一般呈圆形发育，直径一般 5 ~ 15m，每平方公里约发育有 5 ~ 8 个；泉主要沿断层破碎带发育，洞口呈不规则形态，其流量一般 8 ~ 90L/s，其特征见表 1。

### 5.2 岩溶地下水赋存特征

槽谷区地表岩溶由轴部向两翼发育程度减小，地形坡度增大，补给条件减弱，大气降水沿地表溶隙、溶缝、落水洞、溶斗渗入地下，大气降水为地下水主要补给来源。浅部地下水接受补给后，以垂直运动为主，沿岩溶裂隙、溶缝、溶洞向深部迳流，水力梯度大，迳流速度快。由于可溶岩可溶性、排列组合及岩溶发育特征的差异，地下水迳流、排泄状况存在一定的差异。

表 1 泉点、老窑水统计表

序号	泉点及老窑名称	地层代号	岩性	泉点及老窑水特征			流量 (L/s)	备注
				坐标				
				X	Y	H (m)		
1	黄泥洞 42、43 号	$T_1j^3$	灰岩	3409145.89	440742.87	682.9	24.19	泉群 (3 个)
2	老龙洞 61 号泉	$T_1j^3$	石灰岩	3410030.27	439073.99	592	19.41	动态变化大
3	石桥铺二煤矿老窑	$T_{xy}$	砂岩、泥岩	3409062.22	442885.10	442.1	5.698	动态变化较小
4	水井山煤矿老窑	$T_{xy}$	砂岩、泥岩	3409323.62	442532.20	554.3	0.905	动态变化较小
5	清眼洞 98 号泉	$T_1j^3$	石灰岩	3408456.19	438008.99	591	52.83	动态变化较大
6	邱家坝 99 号泉	$T_1j^3$	泥灰岩	3409346.52	438585.75	641	4.104	动态变化较大

在背斜两翼  $T_2l$ 、 $T_j$ 、 $T_1f$  为石灰岩、钙质泥岩、白云质灰岩、盐溶角砾岩，地形陡，地表岩溶以溶隙为主，地下水补给条件较差，地表无泉水出露，其余灰岩地下水补给条件、迳流条件好，泉水在岩溶发育带及断层带出露，流量较大；钙质泥岩可溶性差，以溶隙为主，地下水受其阻隔作用，在顶部和底部泉水出露，但流量小；白云质灰岩溶隙、溶缝发育，地下水补给条件、迳流条件较好，泉水主要在溶隙发育带出露，数量较少，但流量较大；盐溶角砾岩岩溶不发育，在其上部和下部泉水出露，流量较大。由于不同可溶性可溶岩相间排列，地下水在不同岩性接触带沿溶隙以泉的形式排泄出地表。可溶岩地层及其岩溶发育基本特征见表1。

### 5.3 地下水运动特征

由以上资料结合岩溶发育特征分析，大气降水为浅部岩溶地下水的主要补给水源；根据可溶岩立面投影示意图图1和图2：

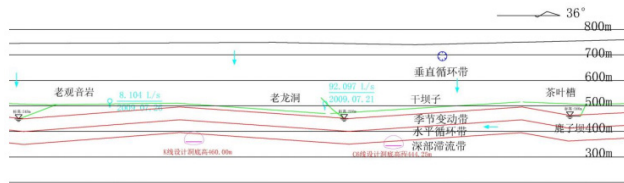


图1 铜锣山西翼岩溶立面投影示意图

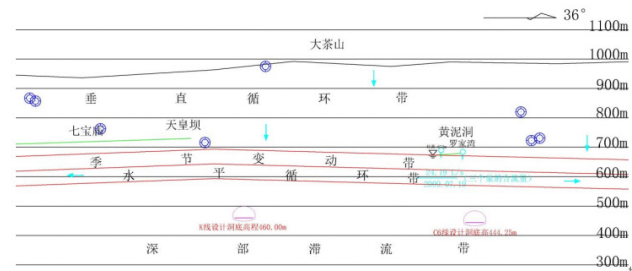


图2 铜锣山东翼岩溶立面投影示意图

西翼地下水水位标高一般 550 ~ 675m；500 ~ 725m 为地下水季节变动带，550m 以上至地表为地下水垂直循环带，500m 以下为地下水水平迳流带（水平循环带）；东翼地下水水位标高一般 600 ~ 675m，550 ~ 695m 为地下水季节变动带，600m 以上至地表为地下水垂直循环带，550m 以下为地下水水平迳流带（水平循环带）。西翼隧道设计标高 444 ~ 460m，处于地下水水平循环带，见图1；东翼隧道设计标高 444 ~ 460m，处于地下水水平循环带内，见图2。隧道标高带岩溶及暗河发育，地下水渗透性中等~强，富水性中等~强；隧址区内地势中部高南北两侧低，加之铜锣山核部为雷口坡组、嘉陵江组及飞仙关组灰岩，且断层发育，故形成了一个呈“葫芦”状的储水空间，一旦隧道揭穿“葫芦”，地下岩溶水、暗河及溶洞水将会瞬间涌水，形成特大突水事故，如已建成的华蓥山隧道就是因为揭穿地下水浅部迳流带岩层而形成超过 100 万方涌水量的突水事故，故本次

铜锣山隧道可溶岩段内开挖过程中也可能遇到超过 100 万立方米每天的突水事故；地表泉水受岩性组合的控制，多出露于不同岩性接触带。

### 5.4 地下水化学特征

本次对隧址区内溪沟水、泉水及老窑水分别进行了取样并进行了水质检测分析，其水质特征如下：

地下水总硬度 187.54 ~ 215.86g/l，永久硬度 7.69mg/l，总碱度 202.34 ~ 245.14mg/l，游离  $CO_2$  4.19 ~ 5.48mg/l，PH 值 7.73 ~ 7.81，属中性水，无腐蚀性  $CO_2$  存在，地下水类型以  $HCO_3^- - Ca^{2+} \cdot Na^+$  型水为主。

水样中  $SO_4^{2-}$  含量 12.18 ~ 129.3mg/L，Na 含量 19.51mg/L ~ 53.92mg/L，二者含量偏高。分析认为与本区泉水有关，区内岩溶地下水流经  $T_2l^1$  和  $T_j^4$  地层时，将该层中的石膏及盐类溶解，造成  $SO_4^{2-}$  和 Na 含量增高。岩溶泉水为沟水的源泉，岩溶泉水通过沟谷排泄，在流经煤系地层时因采煤形成的冒落垮塌裂隙注入采空区，由采空区流入煤矿巷道，再流出或水泵排出，由此使区内泉水、沟水、煤矿水化验指标接近一致。

取样分析的水质对砼无腐蚀性，但据区域资料在隧道洞身段  $T_2l^1$  和  $T_j^4$  存在膏盐及盐溶角砾岩，膏盐及其地下水对砼具有一定的腐蚀性，因此在隧道施工和运营期间，应对该段岩石及其地下水水质进行监测，并采取一定的防护措施。

## 6 结语

(1) 铜锣山隧道洞身穿越雷口坡组和嘉陵江组灰岩地层段属强透水、强富水岩溶溶隙溶洞含水层，构成拟建隧道重要涌水层段，水文地质条件复杂。

(2) 西翼地下水水位标高一般 550 ~ 675m；500 ~ 725m 为地下水季节变动带，550m 以上至地表为地下水垂直循环带，500m 以下为地下水水平迳流带（水平循环带）。

东翼地下水水位标高一般 600 ~ 675m，550 ~ 695m 为地下水季节变动带，600m 以上至地表为地下水垂直循环带，550m 以下为地下水水平迳流带（水平循环带）。

(3) 西翼隧道设计标高 444 ~ 460m，处于地下水水平循环带；东翼隧道设计标高 444 ~ 460m，处于地下水水平循环带内。隧道标高带岩溶及暗河发育，地下水渗透性中等~强，富水性中等~强。

### 参考文献

[1] 王孔伟, 周金龙. 工程地质及水文地质[M], 黄河水利出版社, 2009.8.  
 [2] 刘正峰. 水文地质手册 [M], 银声音像出版社, 2010.  
 [3] 《四川省渠县龙峡子~大峡口普查区煤田地质普查报告》(1969年12月, 四川省煤炭局煤田地质勘探公司普查队)  
 [4] 1: 20万达县幅水文地质图及《区域水文地质普查报告》[R] (1979年, 四川省地质局)