

# 京珠线湖北省南段岩溶地质问题与勘察对策

杨银湖, 黄正发

(湖北省交通规划设计院, 湖北武汉 430051)

**摘要:** 岩溶问题是京珠国道湖北南段主要的工程地质问题. 通过对京珠国道南段岩溶的地质背景、发育因素、发育程度的分析与研究, 采用工程地质测绘、物探和钻探相结合的综合勘察方法, 有效地查明了岩溶的空间分布特征、发育规律和溶洞间的相互关系, 为工程设计提供了准确可靠的依据.

**关键词:** 岩溶; 综合勘探; 分布特征; 设计依据.

中图分类号: P642 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)04-0361-04

**作者简介:** 杨银湖(1966—), 男, 高级工程师, 现从事公路工程地质方面的生产和研究工作.

(北)京—珠(海)国道主干线湖北省南段是我国“一纵一横”中“一纵”的重要组成部分, 它北起武汉市郑店镇, 与京珠线湖北省北段的郑店互通相接, 经咸宁市和赤壁市城西, 南止赤壁市新店镇, 与京珠线湖南省北段相连, 全长 110 km. 路线跨越长江蓄洪区斧头湖和西梁湖、陆水河、新店河, 拟建特大桥梁 9 座. 路线穿越岩溶区的长度占路线全长的 50% 左右, 因此岩溶工程地质问题是这项工程的主要不良地质问题, 它主要表现在地基承载力不足、地基不均匀沉降、地基滑动、地表塌陷等, 给路基和构造物的勘察、设计和施工带来很多困难. 因而很有必要对京珠线湖北省南段岩溶的地质背景、发育因素、发育程度进行分析与研究, 以便作出相应的勘察对策, 更好地查清岩溶的分布特征, 为设计提供可靠的依据.

## 1 地质背景

### 1.1 自然地理条件

(1) 地形地貌. 研究路线位于鄂东南地区, 总体地势是东南高、西北低, 勘察区内最高点为赤壁市的石林山, 海拔高程 259 m (黄海高程), 最低点为咸宁市的斧头湖边, 海拔高程 19 m; 路线经过地区主要为剥蚀堆积垄岗平原区、大陆停滞水堆积湖泊平原区、剥蚀堆积岗地低丘区等 3 个地貌单元.

(2) 水文气候. 路线所经地区, 河流发育, 湖泊众多. 路线西临我国最大的河流—长江(自南向北), 并跨越长江一级支流陆水河与新店河(自东向西), 二级支流较为发育, 呈树枝状或羽毛状分布; 勘察区内主要湖泊与水库有梁子湖、鲁湖、斧头湖、西梁湖、黄盖湖和陆水水库.

勘察区属亚热带季风气候, 雨量充沛, 年降雨量 1 400~2 000 mm, 4~8 月降雨量占年降雨总量的 40%~58%, 年平均蒸发量 1 220 mm.

### 1.2 地层

勘察区地层发育完整, 除缺失下泥盆统外, 自元古宇至新生界皆有出露. 勘察区内可溶岩地层有: (1) 中生界三叠系鸡公山组( $T_3 j$ )、蒲圻组( $T_2 p$ )、陆水河组( $T_2 l$ )、大冶组( $T_1 d$ ); (2) 古生界二叠系大隆组( $P_2 d$ )、龙潭组( $P_2 l$ )、茅口组( $P_1 m$ )、栖霞组( $P_1 q$ ); 石炭系黄龙组( $C_2 hm$ ); 寒武系娄山关组( $\in_3 ls$ ); (3) 元古宇震旦系灯影组( $Zdn$ ).

### 1.3 地质构造

路线位于扬子准地台下扬子台坪大冶台褶带, 自北向南穿越了武汉台褶束、梁子湖凹陷及咸宁台褶束等 3 个四级大地构造单元. 发育的主要断裂构造有北东向灵乡—咸宁—蒲圻断裂和北北东向麻城—团风断裂, 它们均归属于滨太平洋断裂系.

(1) 褶皱构造. ①武汉台褶束: 为一呈北西西向或近东西向的挤压褶皱带, 造成武汉地区古生代及早、中三叠世地层的一系列紧密线状褶皱及其配套

的断裂。路线在 K190(起点)—K196 穿越了猫儿洞背斜的核部和南翼。核部地层为中上志留统( $S_{2-3}$ ), 南翼地层为上泥盆统、中上石炭统、下二叠统, 南翼地层南倾, 倾角  $30^{\circ}\sim 52^{\circ}$ ; ②梁子湖凹陷: 是印支凹褶带之上晚三叠世以来的继承性凹陷, 接受了晚三叠世至早白垩世的陆相与火山岩相沉积。中侏罗世以来在燕山亚旋回的多次构造运动的作用下, 构成了宽缓褶皱, 构造线方向主要为北东向。路线在 K196—K246 大角度或横向穿越朱山背斜、土地堂向斜、马鞍山背斜、向家湾向斜、狮子山背斜、鲁家向斜、山坡背斜和贺家湾向斜等; ③咸宁台褶皱: 为一北东东向挤压带, 震旦系—中三叠统卷入其中。路线在 K246—K300(终点)顺走向或小角度斜切的褶皱有贾家山倒转向斜、孙灃铺倒转背斜(北支)、蒲圻倒转向斜和陆水水库倒转背斜。

(2)断裂构造。路线区域主要分布有北东向灵乡—咸宁—蒲圻断裂和北北东向麻城—团风断裂; 它们均归属于滨太平洋断裂系。其中前者于汀泗桥向西南延伸或与路线重合, 或与路线近距离平行分布。后者推测以带状与前者在汀泗桥—中伙铺间相交。①灵乡—咸宁—蒲圻断裂: 形成于燕山期, 北东走向, 长约百余 km, 由数条次级断裂沿北东向背(向)斜两翼穿过而组成北东向断裂带。断面总体倾向为北西, 属滨太平洋断裂系的北东向共轭断裂; ②麻城—团风北北东向断裂: 本区为麻城断裂的南延部位, 由一系列平行或斜列的断裂组成。此外在猫儿洞背斜南翼, 尚发育有与褶皱同期的一组北西西走向逆断层, 以及斜交的两组压扭断层, 以上断层规模不大, 延伸长度  $1\sim 3$  km, 远离线路东侧 2 km 以上, 故对线路无甚影响。

#### 1.4 水文地质

线路跨越区水文地质条件比较复杂, 地表水系发育, 水资源丰富, 赋存多种类型的地下水。地表水系主要有长江、宝塔河、汀泗河、陆水河、新店河及鲁湖、斧头湖、西梁湖、陆水水库和黄盖湖等; 地下水主要有松散岩孔隙水、碳酸盐岩岩溶水和构造裂隙水等, 特征如下: (1)松散岩类孔隙水主要分布于长江、陆水、新店河等地表水系的河漫滩、心滩或一级阶地前缘等狭长地带, 岩性为第四系全新统至更新统中细砂及松散粘性土, 潜水埋藏深度  $2\sim 4$  m, 水量丰富。该类地下水的主要补给源有 3 个: 大气降水、地表水体补给及河水补给; (2)碳酸盐岩岩溶水主要分布于 K254—K287 范围的地下暗河、溶洞、溶沟、溶

槽, 岩性为中上寒武统至中三叠统碳酸盐岩类(灰岩、白云岩等), 埋藏深度一般  $2\sim 10$  m, 水量丰富, 水质属重碳酸钙型, 其矿化度为  $0.2\sim 0.3$  g/L, 总硬度为  $12\sim 17$ ; (3)构造裂隙水主要分布于低山丘陵区的构造裂隙中, 岩性为白垩至第三系、下侏罗统、上三叠统、上泥盆统至下石炭统、志留系等地层中的碎屑岩, 水量随季节性变化大, 水质属重碳酸钙型, 其矿化度小于  $0.3$  g/L, 总硬度小于 2。

## 2 岩溶发育规律研究

### 2.1 岩溶发育基本条件

岩溶发育的基本条件有: (1)具有可溶性岩石。岩石的可溶性, 既表现在其易溶成分的溶解度上, 又表现在其溶解速度上。碳酸盐岩中的方解石和白云石相比较, 前者的溶解度较小, 但溶解速度比后者大  $3\sim 4$  倍。根据地质背景可知, 路线有自中上寒武统至中三叠统的碳酸盐岩地层产出; (2)具有侵蚀能力(含  $CO_2$ )的水。流动性的水是岩溶发育的必要条件。可溶岩如果不透水或透水性很差, 水与岩层面接触很小, 也不会产生岩溶。据地质背景可知, 勘察区具备此项条件; (3)具有良好的水循环交替条件, 即具有良好的地下水补给、径流和排泄条件。根据地质背景可知, 勘察区也具备此项条件。

### 2.2 岩溶发育基本规律

**2.2.1 岩溶发育与岩性和岩组结构的关系** 岩石成分、岩组结构是岩溶发育的基础条件。厚层、质纯、粒粗的灰岩中岩溶发育强烈, 且洞体规模大; 随岩石组成中杂质(硅铝等)含量增加、层理变薄、结构致密而岩溶发育程度渐弱, 且规模较小。根据岩性的组合和岩溶发育程度将碳酸盐岩分为强岩溶化碳酸盐岩、中等岩溶化碳酸盐岩和弱岩溶化碳酸盐岩 3 个岩组: (1)强岩溶化碳酸盐岩——石炭系厚层黄龙组( $C_2 hm$ )灰岩或白云质灰岩; 二叠系栖霞组( $P_1 q$ )上部的炭质沥青质灰岩、瘤状灰岩及下部的燧石结核和条带灰岩, 其中下部较上部岩溶发育; 二叠系茅口组( $P_1 m$ )上部的巨厚层状纯灰岩、中部的燧石团块灰岩及下部的燧石团块或硅质条带灰岩, 其中中上部较下部岩溶发育; 中下三叠统( $T_2 p, T_2 l, T_1 d$ )灰岩或白云质灰岩(路线上所发现的大型溶洞多分布于此层位中)。 (2)中等岩溶化碳酸盐岩——中上寒武统( $\epsilon_3 ls$ )的白云岩和灰质白云岩; 下奥陶统瘤状灰岩和亮晶含鲕灰岩等。 (3)弱岩溶化

碳酸盐岩——下寒武统的泥质灰岩与碎屑岩岩组;中上奥陶统的瘤状灰岩、泥质灰岩等与页岩或泥岩等碎屑岩成互层或夹层的岩组。

**2.2.2 岩溶发育与地质构造的关系** (1)节理裂隙.水对岩体的侵蚀一般自节理裂隙开始,岩溶本身往往就是裂隙扩大的结果,因此裂隙的发育程度和延伸方向,通常决定岩溶的发育程度和发展方向,在节理裂隙的交叉处或密集带,岩溶最易发育.如曾家月湖大桥、汀泗河大桥、新店河大桥等。(2)断裂构造.断裂构造破坏了岩石的整体性,形成大的破裂面,且造成断层两侧岩层产生大量裂隙,增强了地表水和地下水的循环交替进而加速了岩石的溶蚀.因此,沿断裂带是岩溶显著发育地段,溶洞、落水洞、岩溶泉往往密集成串珠状分布,地表的溶沟、溶槽以及地下暗河、岩溶洞穴的发育延伸方向与断裂方向近一致.一般情况下,正断层、张性及张扭性断裂和裂隙岩溶发育较强,而逆断层处则较差.如马安山大桥、曾家月湖大桥、南溪河大桥、陆水河大桥、新店河大桥等。(3)褶皱.褶皱轴部一般岩溶较发育.在背斜轴部由于张性节理发育,地表水顺节理下渗并向两翼运动,岩溶以垂直形态为主;向斜轴部虽然裂隙闭合,但由背斜下渗的水沿层面多汇集于向斜轴部,岩溶亦较发育.在单斜地层中,岩溶一般顺层面发育,在不对称褶曲中,陡的一翼较缓的一翼岩溶发育,在倒转褶皱中,正常翼比例转翼岩溶发育.在褶皱构造中,岩溶大多沿轴线分布,其延伸和倾斜方向多与岩层走向或倾斜方向一致.如马安山大桥、汀泗河大桥、南溪河大桥、陆水河大桥、白墅港大桥等。(4)岩层产状.产状倾斜或陡倾斜的岩层,一般岩溶发育较强烈,水平或缓倾斜的岩层,上覆或下伏非可溶岩层时,岩溶发育较弱.另外在可溶岩与非可溶岩的接触带或岩层不整合接触面上岩溶也易发育.如马安山大桥、曾家月湖大桥、陆水河大桥等。

**2.2.3 岩溶发育与地貌和新构造运动的关系** (1)地形.地形陡峻、岩石裸露的斜坡上,地表径流大,岩溶多以溶沟、溶槽、石芽等地表形态为主,而在地形平缓处,地表水易下渗,岩溶地表形态和地下形态均较发育,其形态多以漏斗、落水洞、竖井、塌陷洼地、溶洞等为主。(2)新构造运动.地壳强烈上升地区,侵蚀基准面相对下降,下切作用强烈,岩溶以垂直方向发育为主;地壳下降地区,原来水平发育的岩溶处于侵蚀基准面以下,原来垂直发育的岩溶又增加了水平发育,使岩溶更加复杂;地壳相对稳定的地区,岩

表1 桥位区岩溶化程度判别结果

Table 1 Results of degree for the karst

序号	构造物名称	岩溶化程度
1	马安山大桥	中等
2	曾家月湖大桥	强
3	汀泗河大桥	强
4	南溪河大桥	弱
5	陆水河大桥	强
6	白墅港大桥	中等
7	新店河大桥	强

溶以水平发育为主。

### 2.3 岩溶发育程度判别

将影响岩溶化的岩性( $a$ )、富水性( $b$ )与分布地区( $c$ )的3个因素量化.根据量化结果,当量化值 $I \geq 20$ 时,判定为强岩溶化;当 $I = 13 \sim 19$ 时,判定为中等岩溶化;当 $I \leq 13$ 时,判定为弱岩溶化.说明:岩性项要两个数相加,若单一岩性,则同数相加.即 $I = a_i + a_j + b_m + c_n (i = 1 \sim 8, j = 1 \sim 8, m = 1 \sim 3, n = 1 \sim 3)$ .如路线上某构造物地层岩性为二叠系栖霞组( $P_1q$ )的燧石结核灰岩和下三叠统的白云质灰岩,则 $a_1 = 8, a_2 = 7$ ,富水性 $b_2 = 2$ ,地区 $c_2 = 2$ ,则 $I = 8 + 7 + 2 + 2 = 19$ ,该构造物场址属中等岩溶化。

对于地质构造,则是一个复杂的问题,因此不能直接参加量化判别,只是在量化后的基础上作为岩溶化程度提升的依据,对7座大桥桥位区的岩溶化判别结果见表1。

## 3 勘察对策

针对京珠线湖北省南段岩溶地质的特性,笔者采取了工程地质调绘、物探和钻探的综合勘察方法.其中又根据桥址区地球物理条件开展了高密度电法勘探、探地雷达勘探、浅层地震反射波法勘探、井中CT等相结合的综合物探方法.通过综合勘察方法,京珠线湖北省南段岩溶地质勘察取得了较好的效果.同时,也说明了采用单一的勘察方法要查清岩溶这一复杂的工程地质问题是不可能的。

### 3.1 勘察方案的选择

**3.1.1 工程地质调绘** 它是做好岩溶地质勘察的首要手段.地质调绘范围以能满足方案选择和查明勘察区岩溶发育程度为原则.一般地,对于路线为中线两侧各250~300m;对于特大桥、大桥为桥轴线上下游各250~500m,比例尺为1:2000.以上范

围是以有 1:10 000 工程地质填图为基础的. 它可以查清勘察区控制岩溶发育的因素: 地形地貌、地质构造(断裂和褶皱构造)、地层岩性、水文地质条件等. 这些是研究岩溶发育规律的依据.

**3.1.2 工程物探** 工程物探是做好岩溶地质勘察的主要手段. 在研究了岩溶发育规律的基础上, 进行大量的综合物探工作是十分必要和可行的. 原则上在沿着溶洞发育方向上布置 3~5 条纵剖面, 然后根据情况布置不同间距的横剖面. 综合物探方法可以查清岩溶发育规律、岩溶基本形态与规模. 当然, 并不是每个桥址区都需要开展综合物探的每种方法, 这要视桥址区地球物理条件而定. 如: 马安山大桥只开展了高密度电法勘探; 曾家月湖大桥开展了高密度电法勘探、探地雷达勘探、浅层地震反射波法勘探; 汀泗河大桥开展了高密度电法勘探、探地雷达勘探、浅层地震反射波法勘探; 南溪河大桥开展了高密度电法勘探、浅层地震反射波法勘探; 陆水河大桥开展了高密度电法勘探、探地雷达勘探、浅层地震反射波法勘探、井中 CT; 白墅港大桥只开展了高密度电法勘探; 新店河大桥开展了高密度电法勘探、浅层地震反射波法勘探等, 并取得较好效果. 这些是设计方案的基础资料.

**3.1.3 工程地质钻探** 工程地质钻探是做好岩溶地质勘察的重要手段. 在做了大量综合物探的基础上进行工程地质钻探是必不可少的. 原则上在构造物处: 每个墩台布置一个钻孔; 在溶洞发育的墩台,

每桩至少 1 个钻孔. 对于多层溶洞, 钻探上采用多层不同口径的套管. 工程地质钻探主要是对综合物探结果的验证, 查明洞穴填充情况、岩石完整程度. 这些是设计的重要依据.

### 3.2 勘察设备的选择

工程地质钻探的设备可以采用 100 型(液压或手轮式)工程地质钻机; 综合物探的设备可以采用高密度电法仪(如美国 AGI 公司产 Sting-R1 型、中国地质大学(武汉)与湖北省交通规划设计院研制的 GMD-2A 型、重庆奔腾仪器厂产 WDMD-1 型等), 探地雷达(如美国产 SIR-2 型、加拿大产 Pulse EKKO 系列等), 浅层地震仪(美国 Geometrics 公司产 R-24 型等)等.

## 4 结语

京珠线湖北省南段岩溶地质通过综合勘察方法虽然取得了较好的效果, 但是岩溶地质是一个很复杂的工程地质问题, 尤其是它的空间几何形态、溶洞间的相互关系甚为复杂. 因此, 岩溶地质勘察应投入相当大的工作量, 方能为设计提供准确的基础资料.

当然, 即使设计阶段勘察工作量大, 并不排除施工阶段的大量勘察工作, 这是业主所必须注意到的问题.

## KARST GEOLOGICAL PROBLEMS AND THEIR COUNTERMEASURES IN SOUTHERN HUBEI SECTION OF BEIJING-ZHUHAI SPEEDWAY

Yang Yinhu, Huang Zhengfa

(Communication Layout & Design Academy of Hubei Province, Wuhan 430051, China)

**Abstract:** Karst is the main geological problem in southern Hubei section of Beijing-Zhuhai Speedway. This paper has put forward a comprehensive geological method of engineering mapping, engineering geophysics and drilling based on the analysis and the study of the geological background, development factors and degrees. With this method, the spatial distribution characteristics of the karst, and its development regularity and relations to the formation of caves have been so clearly explored that this has provided correct and precise parameters for the design.

**Key words:** karst; comprehensive exploration; distribution character; design parameter.