

文章编号:1006—2106(2004)01—0069—04

水中氡测试在山岭隧道涌水量预测中的应用

杜红梅^{*}

(铁道部第一勘测设计院, 西安 710043)

提 要: 本文简述了山岭隧道水文地质勘测中,应用同位素氡测试法,通过计算地下水生成的相对年龄、帮助了解地下水的垂直分带及判定构造控制地下水水量的水文地质特征,计算地下水垂直渗透速度及预测山岭隧道地下水的补给量。

关键词: 同位素氡; 垂直分离; 速度; 补给量

中图分类号: U45 **文献标识码:** A

1 前言

裂隙岩体是区域构造运动中改造作用的产物,岩体中分布的大量节理裂隙,使其具备不连续介质的特性;但同时是地下水流的主要运移通道,控制地下水渗流的运动规律。地下水循环的强弱是岩体节理、裂隙发育程度的具体反映。通过对地下水年龄测试,可以定量分析岩体中地下水接受补给的强弱、裂隙连通情况及其发育深度。在西安安康线秦岭长隧道勘测中,对隧道钻孔进行的同位素氡取样试验分析,定量分析了长隧道地下水的渗透速度及岩体中裂隙的发育深度,测试结果与地面调查及钻探地质资料相吻合,为长隧道的设计提供了排水水文地质资料依据。

2 氡测试原理及基本公式

氡为氢的重同位素,半衰期为12.26年。地下水的氡来源于大气降水或地表水的补给,地下水氡浓度及其变化与补给来源密切相关,在同一地下水系统,地下水的氡浓度一般随含水层埋深增加而减少。据氡衰变的这一特点,可以计算岩体中地下水的年龄,即地下水渗透运动的时间差。利用这一理论,可以判断地下水的补给来源,地下水体与其他水体之间的关系,从而了解并掌握地下水运动速度及裂隙岩体的水文地质特征。

据秦岭地区大气降水中氡对地下水的补给形式,采用数学物理模型中“活塞流模型”法,即以大气降水作为输入补给源,钻孔水以天然水流为主要排泄形式

计算地下水年龄。

基本公式

$$t = 40.727 \lg \frac{N_0}{N_t} \quad (1)$$

$$u = \frac{L}{365 \cdot t} \quad (2)$$

$$V = u \cdot n \quad (3)$$

$$Q = V \cdot A \quad (4)$$

式中: t ——样品间地下水运移的时间差,即地下水年龄(a);

N_0, N_t ——样品的氡浓度(TR);

u ——地下水实际运动速度(m/d);

L ——样品之间的距离(m);

V ——地下水渗透速度(m/d);

n ——含水介质的给水度;

Q ——隧道地下水补给量(m^3/d);

A ——隧道过水面积(m^2)。

根据上述公式,可以计算地下水的年龄(a)、地下水实际运动速度(u)、地下水渗透速度(V)及地下水补给量(Q)。

3 应用实例

3.1 秦岭特长期隧道氡测试计算及分析

秦岭特长隧道为西安安康线重点控制工程,隧道长18.448 km,最大埋深1 600 m有余。隧道岩体由混合花岗岩、混合片麻岩及次火山岩组成,岩体本身不透

• 收稿日期 2003—08—05 杜红梅 工程师 女 1966年12月出生

水,地下水储存、运移受构造作用所形成的节理、裂隙控制。隧道通过断层 12 条,断带组成物质有糜棱岩、碎裂岩、角砾岩及构造挤压片岩等。本区区域性构造线为 EW 向,次级构造有 NE、NW 及近 SN 向。由于秦岭地块为多期构造作用产物,决定了岩体裂隙发育的不均一性,早期构造作用形成的节理裂隙受后期构造作用的改造十分显著。同时,隧道在岭南有大量岩脉侵入体,这些侵入体在秦岭的多期构造运动作用后,脉体与围岩之间由原来的紧密接触关系而形成一定不规则层间空隙。这些现象都说明了隧道区岩体裂隙具有不均一性、不连续性,给分析隧道区,特别是隧道深部岩体的水文地质特征及地下水的补给、径流、排泄条件带来

较大困难。为了从氡测试角度对隧道洞身处节理裂隙发育程度有更详细的了解,勘测过程中对长隧道布置的 6 个综合测试孔利用分层取水器在不同深度进行了氡的取样及测试工作。同时对相应位置的雨水也进行了同样的工作。

3.2 钻孔取样及计算

表 1 中列出了秦岭特长隧道氡取样情况及测试结果。

根据上述测试成果进行综合分析,并利用公式(1)、(2)进行地下水年龄、地下水实际速度的计算,结果见表 2。

表 1 秦岭特长隧道钻孔及对应雨水氡测试成果表

钻孔编号	隧道位置	取样日期(年)	深度(m)	氡含量 $N_r(\text{TR})$	雨水氡含量 $N_r(\text{TR})$
仙人岔 QDSZ-1	DK 67+565	1993	50	9.13 ± 1.6	22.0
			75	15.0 ± 1.6	
			152	<0.83	
			200	4.15 ± 1.66	
冉家坪 QDSZ-2	DK 69+419	1993~1994	70~72	6.5 ± 1.7	33.6
			120	4.2 ± 2.6	
			220	9.6 ± 2.6	
南木沟 QDSZ-3	DK 70+521	1994~1995	86.4	13.1 ± 2.5	7.6
			190	<2.0	
			300	2.5 ± 2.0	
			400	<2.0	
小羊圈 QDSZ-7	DK 78+507	1995	120	13.4 ± 2.5	13.3 ± 1.6
			350	4 ± 4	
			480	3 ± 4	
			570	4 ± 4	
兴隆沟 QDSZ-8	DK 80+474	1993~1994	80	21.6 ± 1.6	8.6 ± 2.6
			353	19.6 ± 1.8	
水水磨沟 QDSZ-9	DK 81+260	1994	57	16.0 ± 2.6	8.6 ± 2.6
			110	4.4 ± 2.6	
			181	<2.6	

表 2 秦岭长隧道钻孔地下水年龄及实际速度计算表

钻孔编号	取样深度(m)	综合氚含量 (TR)	综合雨水氚含量 (TR)	地下水年龄(a)	地下水实际速度 (m/d)
QDSZ-1	50	10.73	22.0	12.7	0.0108
	75	13.4		8.8	0.0233
	152	<0.83		58.0	0.0072
	200	4.15		29.5	0.0171
QDSZ-2	70~72	6.5	33.6	29.1	0.0067
	120	4.2		36.8	0.0116
	220	7.0		27.8	0.0217
QDSZ-3	86.4	13.1	7.6	异常	/
	190	<2.0		23.6	<0.0221
	300	2.5		19.7	0.0417
	400	<2.0		23.6	<0.0221
QDSZ-7	120	10.9	13.3	3.5	0.0302
	350	<1.0		/	古停滞水
	480	<1.0		/	
	570	<1.0		/	
QDSZ-8	80	21.6	/	1.7(相对)	0.4400
	353	19.6			
QDSZ-9	57	16.0	8.6	异常	/
	110	4.4		11.9	0.0253
	181	<2.6		21.2	<0.0234

从表 2 地下水年龄中可以看出,地下水年龄并不是随钻机深度增加的线性函数关系,其年龄值与钻孔中节理裂隙的发育段落、发育程度及构造发育情况相互对应。由此可见,本次氚测试在长隧道中的应用分析是很有利用价值的。

3.3 裂隙岩体垂直分带水文地质特征

通过对各钻孔地下水年龄计算,每个钻孔中地下

水年龄在一定深度上均出现一个峰值,随深度增加,地下水年龄呈回落趋势。这种情况的出现说明了岩体中裂隙的发育具有一定深度,其峰值附近岩体即是地下水活动的下限界面,这从比较典型的 QDSZ-1、2、9 孔地下水氚年龄随钻孔深度变化曲线可以看出。

图中 I —— 地下水活动强烈,风化裂隙与构造裂隙连通性好;

Ⅱ —— 地下水活动滞缓,岩体裂隙连通性差;

Ⅲ —— 地下水活动较强烈,长大构造带发育。

据众多研究资料表明,秦岭地区比较古老的地下

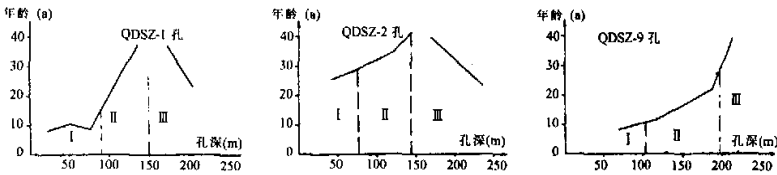


图 1 地下水年龄与取样深度关系图

水年龄与 60 年代核试验有关,地下水年龄一般为 35~40 年。通过上述钻孔地下水年龄与孔深变化的关系曲线图可以看出,地下水年龄规律性较强,隧道地区裂隙岩体 0~100 m 风化裂隙与构造裂隙连通性好,地下水补给来源充分,循环强烈,可以判定隧道通过时可能造成大面积的涌水,涌水持续时间长;100~200 m 为岩体相对完整段,岩体裂隙相互之间连通性较差,为相对隔水岩体,隧道通过时基本不会产生涌水现象;200 m 以下,地下水年龄主要受隧道区断层、岩脉、长大节理带的影响,隧道通过这些地段由于其静水压力大,可能会产生突发性涌水。

如 QDSZ-1 钻孔 100 m 以上风化裂隙、构造裂隙发育,地下水较丰富,100 m 以下地下水活动减弱,参照对该孔进行的抽水试验资料:0~81.7 m 涌水量 Q

$=0.394\text{ L/s}$,100 m 以下涌水量 $Q=0.039\text{ L/s}$,与氡测试分析结果一致。在 184 m 地下水年龄较峰值低,岩芯鉴定 162~207m 为断层破碎带,在断层带处使用井中微流速仪测试,地下水具有明显的承压性,说明地下水受到远距离水的运移补给,与氡含量随运移深度增加而减少一致。QDSZ-2 钻孔,提水试验出水量较小,100 m 以下涌水量 $Q=0.079\text{ L/s}$,100 m 以上涌水量 $Q=0.1\text{ L/s}$,与氡测试年龄普遍偏高相对应,地下水年龄在 30 a 左右。220 m 处取样测试年龄值龄下降,而岩芯鉴定 190 m 以下为断层破碎带,说明与地表水的渗透有一定联系(见图 2)。QDSZ-7 孔 120 m 以下,氡浓度小于 1 TR,为古老的停滞地下水,说明岩体节理裂隙连通性差,对该孔深部进行压水试验,岩体基本不透水。

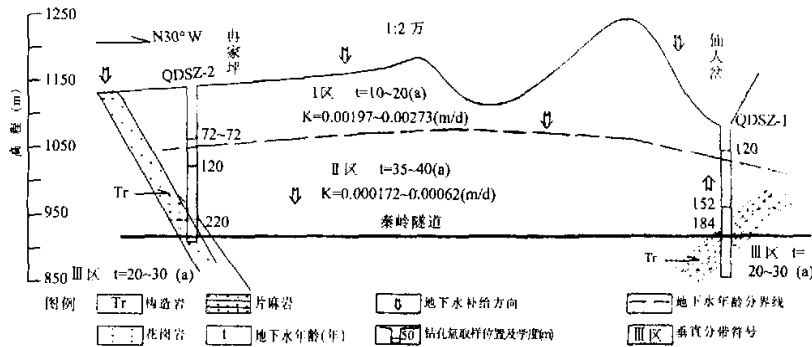


图 2 秦岭隧道仙人岔——冉家坪段地水年龄分布及垂向活动图

通过上述测试分析,秦岭地区风化裂隙水年龄为 10 a 左右,构造活动强烈带地下水年龄在 20~30 a。

同时,测试资料显示,个别点氡浓度值小于 1.0 TR,说明该处地下水年龄相对较老,从地质学角度分析属古停滞水,且多发生在岩脉侵入带,其地下水多受侵入体时期地下水入渗有关,其径流条件差。

3.4 地下水渗透速度与补给量

3.4.1 地下水渗透速度

裂隙岩体作为地下水透水介质具有各向异性。在计算地下水渗透速度时,以垂直方向渗透作为主渗透方向进行计算。据表 2 地下水实际速度值利用公式(3),即可计算地下水的渗透速度,式(3)中给水度取值利用区域资料 $n=0.02$ 。地下水作垂直运动,水力坡度 $I=1$,渗透系数 $K=V/I$,则, $K=V$,即岩体在垂直方向的渗透系数与渗透速度等值。计算结果见表 3。

3.4.2 补给量

根据地下水的渗透速度可以评价隧道地下水补给

表 3 钻孔地下水实际速度、渗透速度及渗透系数计算表

钻孔编号	QDSZ-1	QDSZ-2	QDSZ-3	QDSZ-7	QDSZ-9	平均值
实际速度 U	0.0171	0.0133	0.0417	0.0302	0.0253	0.02552
渗透速度 V	0.00034	0.00027	0.00083	0.00060	0.00051	0.00051
渗透系数 K	0.00034	0.00083	0.00083	0.00060	0.00051	0.00051

注:表中数字单位均为 m/d

量,利用公式(4) $Q=V \cdot A$,其中,隧道过水面积按矩

(下转第 68 页)

Integrating practices of Taohuapu No. 1 Tunnel in Xian-Nanjing railway, the author compared the result of Advance Geological forecast and excavated tunnel, The results shows importance and good practicability in Advance Geological of tunnel.

Key words: GEOMENTTICS R24 advance geological forecast; No. 1 Taohuapu tunnel

(上接第 72 页)

形考虑。隧道长 18 448 m, 影响半径 500 m, 面积为 $1.8448 \times 10^7 \text{ m}^2$, 则补给量 $Q = 9\,408.5 \text{ m}^3/\text{d}$, 即地下水对隧道总的垂直补给量。该补给量就是隧道在开挖后的正常涌水量。目前, 秦岭特长隧道平行导坑已贯通, 实际发生总的正常涌水量为 $7\,978 \text{ m}^3/\text{d}$, 与氡测试法所预测的涌水量基本一致。

4 结束语

氡测试在裂隙岩体中的应用分析, 可以确定地下

水的生成年龄, 定量了解地下水垂直分带的变化规律, 通过计算地下水垂直渗透速度及地下水补给量, 确定地下水与表层裂隙水、地表水体的补给关系, 掌握深部地下水的补给来源, 分析、评价构山岭隧道水水文地质特征提供较可靠的理论依据, 对定量预测计算山岭隧道涌水量具有一定实用价值。

参考文献

- [1] 王衡纯著.《同位素水文地质原理》[M]. 地质出版社, 1989.

THE STUDY ON THE TRITIUM TEST FOR WATER GUSHING CAPACITY FORECAST PUT INTO QINGLING'S FULL-LENGTH TUNNEL OF XI'AN ANKANG RAILWAY

DU Hong-mei

Survey and Design Institute of MOR

Abstract: This paper deals with the essential principle and method of radioisotope (tritium) applied to hydrogeological surveying of railway tunnel, The tritium content is used to calculate the relative age judge vertical zoning of hydrogeological features of groundwater controlled by structure, and then calculation vertical seepage velocity of groundwater, determine the recharge rate of groundwater.

Key words: radioactive tritium; vertical zoning; seepage velocity; recharge rate

作者: [杜红梅](#)
作者单位: [铁道部第一勘测设计院, 西安, 710043](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2004(1)
被引用次数: 5次

参考文献(1条)

1. [王衡纯](#) [同位素水文地质原理](#) 1989

本文读者也读过(10条)

1. [王东](#) [灰色控制理论在隧道涌水预测中的应用探讨](#)[期刊论文]-[铁道勘察](#)2010, 36(2)
2. [张俊峰](#), [卿三惠](#) [岩溶隧道涌水涌砂及地表塌陷灾害防治](#)[期刊论文]-[路基工程](#)2004(5)
3. [李平](#), [Li Ping](#) [杨眉堡隧道岩溶涌泥灾害预报及成因分析](#)[期刊论文]-[路基工程](#)2009(3)
4. [肖志祥](#), [Xiao Zhixiang](#) [利用涌水的公路隧道消防供水系统](#)[期刊论文]-[现代隧道技术](#)2006, 43(2)
5. [刘丹](#), [李启彬](#), [LIU Dan](#), [LI Qi-bin](#) [秦岭特长隧道涌水量的预测研究](#)[期刊论文]-[煤田地质与勘探](#)2005, 33(1)
6. [赖金星](#), [李宁军](#), [谢永利](#), [LAI Jin-xing](#), [LI Ning-jun](#), [XIE Yong-li](#) [黄土软岩公路隧道涌水类型划分](#)[期刊论文]-[西部探矿工程](#)2006, 18(6)
7. [刘俊新](#), [尹洪波](#), [刘育田](#), [LIU Jun-xin](#), [YIN Hong-bo](#), [LIU Yu-tian](#) [雁门关隧道涌水量预测与防护措施研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#)2009(11)
8. [李显伟](#), [张庆珠](#) [论长大越岭隧道地下水涌水预测理论和方法的发展](#)[会议论文]-2007
9. [林传年](#), [李利平](#), [韩行瑞](#) [复杂岩溶地区隧道涌水预测方法研究](#)[会议论文]-2008
10. [许贵](#) [同位素氡在隧道水文地质评价中的应用](#)[期刊论文]-[西部探矿工程](#)2004, 16(11)

引证文献(5条)

1. [吕敦玉](#), [周建伟](#), [周爱国](#), [谢先明](#) [青云山隧道水文地质特征及涌水量预测](#)[期刊论文]-[安全与环境工程](#) 2008(1)
2. [毛德宝](#), [陈博](#), [赵达](#), [吴肖琨](#) [华北北部中生代岩浆作用同位素示踪研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2012(9)
3. [徐子东](#), [成建梅](#), [刘府生](#), [黄玲玲](#) [青云山隧道典型断层带地下水同位素分析及涌水量预测](#)[期刊论文]-[勘察科学技术](#) 2009(3)
4. [王媛](#), [秦峰](#), [李冬田](#) [南水北调西线工程区地下径流模数、岩体透水性及隧洞涌水量预测](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2005(20)
5. [林传年](#), [李利平](#), [韩行瑞](#) [复杂岩溶地区隧道涌水预测方法研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2008(7)

引用本文格式: [杜红梅](#) [水中氡测试在山岭隧道涌水量预测中的应用](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2004(1)