

文章编号:1000-1964(2005)01-0087-04

四道河子地区水文地质特征及隧道涌水量预测

杨子荣¹, 关卫军², 张忠永¹

(1. 辽宁工程技术大学 资源与环境工程学院, 辽宁 阜新 123000;

2. 辽宁水利水电勘测研究院, 辽宁 沈阳 110001)

摘要: 依据地下水含水介质及类型, 将地下水分为松散岩类孔隙潜水、断层破碎带孔隙裂隙水、岩溶裂隙水和裂隙水; 认为地下水主要接受大气降水和地表水补给, 排泄以泉为主。对于隧洞穿越的一般裂隙岩体, 估计其每10 m洞长出水量 $<25\text{ L/min}$; 对于隧洞穿越的大理岩区, 由于洞室埋深较浅和切割六河的 F_{13} 等断层的影响, 地表水与地下洞室之间的水力联系较密切, 依据经验解析法、规范法的涌水量计算, 隧洞内断层破碎带处50 m洞长最大涌水量预计不超过 $160\sim 330\text{ m}^3/\text{h}$ 。

关键词: 地下水; 补给径流排泄; 洞室涌水量

中图分类号: P 641.4 **文献标识码:** A

Tydrogeologic Character of Sidaohezi Area and Prediction of Water-Gush Yield of a Tunnel

YANG Zi-rong¹, GUAN Wei-jun², ZHANG Zhong-yong¹

(1. College of Resource and Environment Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China; 2. Liaoning Exploration and Projection Research Institute of water Conservancy and Hydroelectricity, Shenyang, Liaoning 110001, China)

Abstract: The hydrogeologic characteristics of the area is researched. The groundwater is divided into pore phreatic water in loose rock mass, fault pore-fracture water, karst fracture water and fracture water. The groundwater is recharged mainly by atmospheric water and surface water, and discharged mainly by the spring. For the fractured rock bodies penetrated by tunnel, the water yield is estimated less than 25 L/min per 10 m. For the limestone area penetrated by tunnel, the surface water and tunnel water is well connected hydraulically because of the shallow buried tunnel and the fractured zone of F_{13} fault which cut through Liuhe river. The maximal water gush yield is about $160\sim 330\text{ m}^3/\text{s}$ per 50m calculated by both the experiential analysis method and the normative method.

Key words: groundwater; recharge-flow-discharge; yield of tunnel water

研究区输水工程为一跨流域引水工程, 全长85.4 km, 全部为地下隧洞自流式引水, 洞径8 m, 年输水量达18.6亿 m^3 。该工程已经进行了初步设计阶段的地质测绘, 施工钻孔50余个, 为研究水文地质条件提供了基础。现引水隧洞的支洞已经开工, 主洞涌水量的预计将影响隧洞的设计施工。

1 区域地质概况

1.1 地形地貌及地层

研究区为输水工程地下输水隧道的一段, 地面高程在290~750 m之间。区内西北部为山, 东南部主要为河谷, 六河及牛毛河分别从两河谷流过

收稿日期: 2004-07-11

作者简介: 杨子荣(1951-), 男, 吉林省农安县人, 教授, 从事地质工程方面的研究。

(图 1),河谷平坦开阔.本区岩性较单一,为下元古界辽河群大石桥组(Pt_{ld})白色方解石大理岩、白云质大理岩,盖县组(Pt_{lgx})黑云斜长变粒岩、浅粒岩夹大理岩^[1].河谷区为第四系冲洪积砂质黏土、砂土及卵砾石层.

1.2 地质构造

褶皱构造 本区与输水洞线相关的褶皱构造为三道河子复式向斜,褶皱轴面走向 $75^{\circ}\sim 80^{\circ}$,倾向 SE,倾角 $\pm 65^{\circ}$.两翼倾角变化较大,轴部见直立

岩层.褶皱的核部为盖县组,两翼为大石桥组.发育一系列次级复式背、向斜,宽缓型与紧闭型共存.晚期核部伴随着酸性脉岩侵入.

断裂构造 本区由于受庄河—桓仁断裂的控制,使之总体断裂构造比较发育,主要断层有 F_{11} , F_{12} , F_{12-1} , F_{13} , F_{13-1} , F_{13-2} , F_{14} (图 1)^[2],断层多为压扭性,破碎带由断层泥、构造片岩、构造角砾岩、碎裂岩等组成.断层物质胶结较差,岩石破碎程度较高^[3].

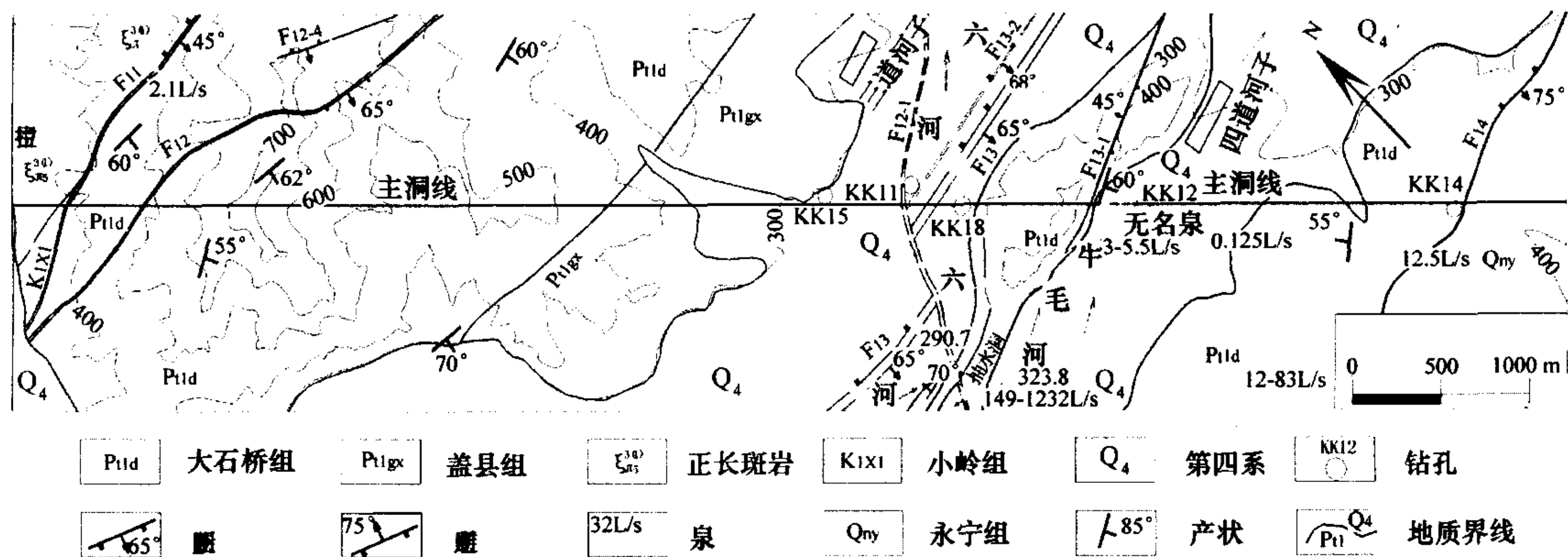


图 1 输水工程 I 洞线三道河子——拉古甲地区地质略图

Fig. 1 The geologic outline of water conveyance engineering tunnel-I in the area of Sidaohezi-lagujia

2 水文地质特征

区内的水文地质特征受气象、地形地貌、岩性及构造控制.本区气候属大陆性季候风气候带,雨季为 7~8 月份,年平均降雨量为 900 mm.大气降水对地下水的丰枯程度及动态变化起控制作用.

2.1 含水介质与地下水类型

本区由于经历多次构造运动,岩体断裂与裂隙发育,裂隙节理风化带厚,据钻探及压水试验成果,对于一般岩体而言,浅部岩体结构面受风化作用而呈张开—微张状态,基本为弱透水—中等透水,其范围一般在 40 m 之内.弱透水岩体埋深一般在 100 m 之内,形成汇集赋存地下水的裂隙空间.100 m 之外一般为微透水状态.构造的切割,促成构造裂隙、岩溶裂隙与风化裂隙的连通,构成较强的含水介质,是地下水获得渗水补给和赋存的场所.第四系粉质砂土、砂土及砂砾石层存储孔隙潜水.

按地下水赋存条件与水力性质,将研究区内地下水划分为 4 种类型:

1) 松散岩类孔隙潜水 主要分布于六河和牛毛河河谷及支流谷地.河谷平原孔隙水含水层主侧流分相明显,其厚度向下游有递增之势,并与地表水的关系密切.牛毛河三道河子河谷段,主流相的砂砾石层,厚 7.75 m,涌水量为 $Q=259.92\text{ m}^3/\text{d}$,

渗透系数 $K=56.8\text{ m/d}$.侧流相堆积的砂砾石层,厚度 7.26 m,涌水量为 $Q=86.4\text{ m}^3/\text{d}$,渗透系数 $K=9.94\text{ m/d}$.

2) 断层破碎带孔隙裂隙水 本区断层发育,特别是 F_{13} ,其破碎带宽超过 50 m,且通过六河河谷,与地表水形成较好的水力联系,破碎带以碎裂岩和全风化大理岩为主,导水性较强.

3) 岩溶裂隙水 大石桥组白云石大理岩所含地下水为水量贫乏的岩溶裂隙水.据勘探资料 52.5~101.0 m 深度内,20 段压水试验的透水率为 $q=0\sim 2.60\text{ Lu}$,最大为 4.6 Lu ($K=0.04\text{ m/d}$),说明地下岩溶不发育.地表岩溶现象较发育.

4) 裂隙水 深部裂隙一般紧闭,透水率一般小于 1 Lu,透水性差.但在一些构造带,裂隙相对较发育,往往可能和岩溶水或破碎带孔隙水相组合,形成具有统一水力联系的流动的含水系统,形成较大的泉.如三道河子无名泉.裂隙相对较发育的部位正好在洞室上下,详见表 1.

表 1 裂隙相对较发育位置统计

Table 1 Position of joints development

孔号	洞底埋深/m	裂隙发育位置/m	透水性/Lu
KK11	70.3	53~97	1.0~7.84
KK12	86.0	65~99	0.4~0.9
KK14	117.2	85~125	0.2~1.8
KK15	75.7	75~87	0.1~0.2
KK16	71.1	66~84	
KK18	68.9	24~87	0.25~2.06

2.2 地下水补给、径流、排泄特征

由各种基岩构成的中低山与丘陵区,形成地下水补给径流区. 六河和牛毛河是最低地下水排泄基准面,进而构成水资源浅循环的一部分.

2.2.1 地下水的补给特征

1) 大气降水补给 由于山高林密谷深,降水是地下水最主要的补给源. 大气降水的垂向渗入补给,是区域各类地下水形成的主要因素. 且本区山上植被繁茂,浅部岩石裂隙发育,补给条件良好. 地下潜水与泉水流量季节性变化较大的特点,也证明了这一点. 四道河子以北河谷区,降水入渗率为0.10,地下水径流量占河川径流量的23.4%,地下水径流模数为 $7.61 \times 10^4 \text{ m}^3/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$.

2) 地表水补给 本区河谷阶地发育,河谷为水田,入渗强烈;在河床附近,地表水地下水联系紧密. 由于相邻河谷相对高差的存在,为地表水补给地下水提供了条件. 牛毛河和六河河谷之间的抽水洞泉最具代表性,牛毛河通过断层破碎带补给地下水而形成抽水洞泉.

2.2.2 地下水的径流特征

1) 孔隙径流 这种径流主要发生在3个部位:山坡第四系覆盖物和风化带、河谷第四系及断层破碎带. 山坡带孔隙水的径流有竖向补给裂隙水和沿坡向补给河谷孔隙水. 由于坡度较大,同时覆盖较薄,二者流速都较大,但竖向流量为主要部分. 竖向径流范围较小,径流路径短,动态及交替强烈,但对深部无太大影响. 河谷第四系地下潜流,分布范围较小,但厚度大. 由于河谷堆积物透水性强,地下水坡降大于3‰,其地下水径流良好. 对于断层破碎带,由于分布极为有限,又缺乏排泄去向,一般径流较弱. 但 F_{13} 断层破碎带宽度大,透水率达42.07 Lu,可能产生较强径流.

2) 溶隙径流 溶隙径流即地下水通过岩溶裂隙进行径流. 其特点是水量大,分布极为不均.

3) 裂隙径流 裂隙径流是本区分布最普遍的径流模式,特别是深部占绝对的优势,但其径流强度都较小. 山区裂隙径流路程较短,水力坡度较大,径流强度相对较大;但深部径流十分微弱.

2.2.3 地下水排泄特征

1) 泉排泄 泉成为联系裂隙水、岩溶水及地表水的纽带,最大的抽水洞泉流量达1231.8 L/s,涌水量大于0.1~0.2 L/s的泉有9个. 这些泉大多与构造有关,在构造破碎带及地形的影响下,以岩溶或大裂隙为通道发育而成,其补给来源主要有裂隙水和孔隙水,流量随季节动态变化明显.

2) 其它排泄形式 在没有集中通道形成的情况下,地下水必然以泄流形式排向河谷,在区内各沟谷都出现泄流. 山区植被具有增大地下水补给和加强植物蒸腾的双重作用,蒸腾是另一排泄方式.

3 隧洞涌水量计算

输水隧洞穿越该区最浅埋深为60 m,隧洞围岩基本是微风化岩,多微弱透水. 本区洞室部位一般含水贫乏,发生大量涌水的可能性不大. 对于一般裂隙岩体,根据相邻地质条件相似的富尔江隧洞工程实测结果,在施工开挖过程中洞室多为渗水~滴水状态,估计其每10 m洞长出水量 $<25 \text{ L/min}$. 但在三道河子—四道河子一带,隧洞埋深浅,断层较多,分布于六河河谷中的 F_{13} , F_{13-2} , F_{12-1} 断层富水性较强, F_{12-1} 为张性断裂,破碎带发育,该区又以大理岩为主,可能有岩溶发育,并都与地表水有水力联系,预计其交汇点为本区最大涌水部位.

由钻孔资料及上述可知, F_{13} , F_{12-1} 组合破碎带可视为含水层,而河流与洞线交汇处,由于岩层透水性很弱,不会有大的涌水发生,故只对断层洞线处涌水量进行计算.

根据《铁路供水水文地质勘测规范》(TBJ15—96)^[4],隧道的影响半径 R 可用下面公式计算

$$R = 215.5 + 10.5 \times \bar{K},$$

其中: \bar{K} 为等效渗透系数,取各点 K 的几何平均,本次计算中,直接利用 ZK11 钻孔资料,由压水试验最大吕荣值求得, $\bar{K} = 0.69 \text{ m/d}$; 已知隧洞和河流的水平间距 L 为600 m,则

$R = 215.5 + 10.5 \times 0.69 = 567.7 \text{ m} \leq L = 600 \text{ m}$. 故河流对洞室的影响不大,可视为一般边界条件处理,则图2可等效为图3.

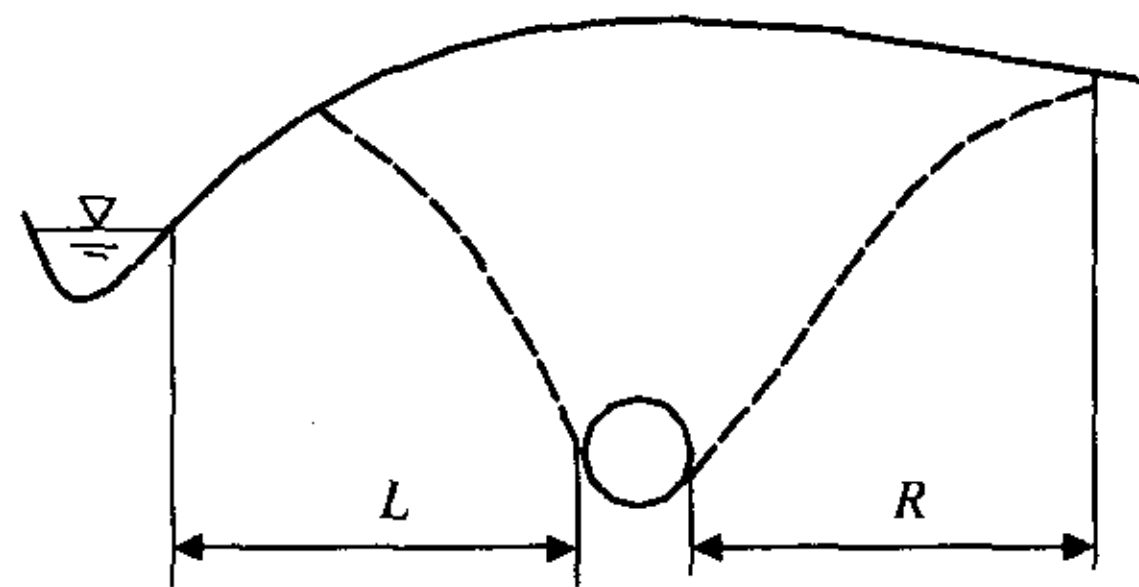


图2 隧洞实际剖面图
Fig. 2 Actual profile tunnel

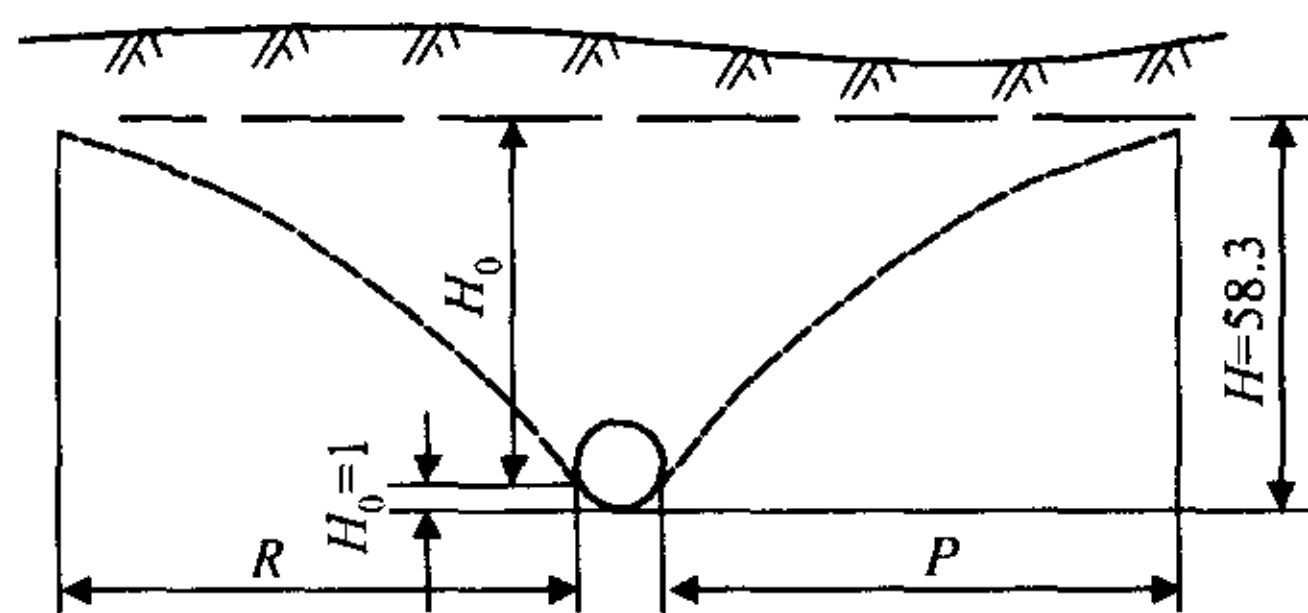


图3 隧洞涌水计算参数示意图
Fig. 3 Water flow calculating paramaters

1) 经验解析法^[5]

依据黄涛等对渗流与应力耦合环流下裂隙围岩隧道涌水量的研究,给出经验公式如下

$$q_s = \bar{K} \left[\frac{H_0^2 - h_0^2}{R - \frac{B}{2}} + \frac{\pi(H - h_0)}{\ln\left(\frac{4R}{B}\right)} \right] =$$

$$25.86 \text{ m}^3/\text{d} = 1.08 \text{ m}^3/\text{h},$$

$$Q_{s,50} = 50 \times q_s = 1293 \text{ m}^3/\text{d} = 53.88 \text{ m}^3/\text{h},$$

式中: q_s 为稳定单宽流量; $Q_{s,50}$ 为 50 m 长隧洞的稳定涌水量; B 为衬砌前洞宽,此处取洞径; H_0 为水位最大降深,此处取 58.3 m; h_0 为排水沟水深,此处取 $h_0 = 1.0 \text{ m}$; $H = H_0 + h_0$.

2) 规范法

根据《铁路供水水文地质勘测规范》(TBJ15—96)^[4]

1) 隧道的稳定流量计算公式

$$q_s = \bar{K}H(0.676 - 0.06\bar{K}) = 25.6 \text{ m}^3/\text{d} = 1.07 \text{ m}^3/\text{h},$$

$$Q_{s,50} = 50 \times q_s = 1280 \text{ m}^3/\text{d} = 53.5 \text{ m}^3/\text{h},$$

2) 隧道的最大流量计算公式

$$q_0 = 0.0255 + 1.9224\bar{K}H = 77.3 \text{ m}^3/\text{d} = 3.22 \text{ m}^3/\text{h},$$

$$Q_{0,50} = 50 \times q_0 = 3865 \text{ m}^3/\text{d} = 161.0 \text{ m}^3/\text{h},$$

式中: q_0 为最大单宽流量; $Q_{0,50}$ 为 50 m 长隧洞的最大涌水量。

以上两法实际上都为经验公式,所以有时偏差较大^[6]。为了对公式适应性进行测试,选用南昆铁路二排坡隧道涌水实例进行对比,两工程相关参数及南昆工程计算和实测结果见下表 2^[5]。由表中可见,两工程地质条件基本相同,同时,南昆铁路工程计算值基本能和工程实践相符合,故该公式可用于本工程预测。结合以上几种计算结果,并考虑一定的安全系数(取 2),则该工程最大涌水量 $Q_{0,50}$ 为 $160 \sim 330 \text{ m}^3/\text{h}$,稳定涌水量 $Q_{s,50}$ 为 $50 \sim 110 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

表 2 工程参数类比

Table 2 Comparison of engineering parameters

工程	本输水工程	南昆铁路二排坡隧道	南昆实测值
岩性	白云质大理岩	白云岩	
地下水类型	潜水	潜水	
降深/m	58.3	68.0	
洞径/m	7.7	7.04	
$\bar{K}/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	0.69	0.109	
影响半径 R/m	567.7	350	
$Q_{s,50}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$		2841	239.3
$Q_{s,50}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$		796.5	764.6

4 结 论

1) 本区地貌单元属中低山区及河谷区,深部可溶岩岩溶不发育,围岩弱风化,洞室绝大部分为

新鲜岩或微风化岩,属弱—微透水岩体,不会产生大量涌水。

2) 区内断层多为压性及压扭性断裂,断层物质较密实,洞室部位结构面紧密,一般透水微弱,除有断层的河谷下面隧洞相对浅埋段外,深埋断层带亦不会产生大量涌水。

3) 对洞室埋藏较浅,可能与河水有水力联系的断层进行涌水量预计,位于六河河谷的 F_{13} 断层带内其 50 m 洞长最大涌水量为 $160 \sim 330 \text{ m}^3/\text{h}$ 。输水工程隧洞在四道河子—拉古甲碳酸岩区施工开挖过程中,可能发生大量涌水的部位很少,发生突水的可能性不大,但对特殊区域如 F_{13} 断层,应注意突水的可能。

参考文献:

- [1] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [2] 关卫军,杨子荣,蒋福兴,等. 大伙房水库输水工程 I 洞线测区地质构造特征[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2002, 21(4): 492-495.
Guan W J, Yang Z R, Jiang F X, et al. The geologic structure characteristics of Dahuofang water conveyance Tunnel- I area [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2002, 21(4): 492-495.
- [3] 杨子荣,杨殿臣,张 力. 辽宁省大伙房水库输水工程 I 洞线工程地质特征[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2002, 21(4): 480-482.
Yang Z R, Yang D C, Zhang L. The engineering geologic characteristics of Dahuofang water conveyance Tunnel- I area [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2002, 21(4): 480-482.
- [4] 铁道部. 铁路供水水文地质勘测规范[M]. 北京:铁道出版社,1996.
- [5] 黄 涛,杨立中. 渗流与应力耦合环流下裂隙围岩隧道涌水量的预测研究[J]. 铁道学报, 1999, 21(6): 75-80.
Huang T, Yang L Z. A prediction study of water-gush yield in fractured tunnels under coupling between seepage and stress [J]. Journal of the China Railway Society, 1999, 21(6): 75-80.
- [6] 王建秀,杨立中,何 静. 深埋隧洞涌水量数值计算中的试算流量法[J]. 岩体力学与工程学报, 2002, 21(12): 1776-1780.
Wang J X, Yang L Z, He J. Trial method for simulating discharge [J]. Chinese Journal of Rock Mechanical and Engineering, 2002, 21(12): 1776-1780.

(责任编辑 李成俊)