某软岩隧洞涌水量计算与实际涌水量比较

Comparison of Calculation and Actual Water Flow in a Soft Rock Tunnel

马军

Jun Ma

新疆水利水电勘测设计研究院 中国·新疆 奇台 830000

Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Research Institute, Qitai, Xinjiang, 830000, China

摘 要: 软岩隧洞工程前期地质勘察阶段有关突涌水量预测成果,往往与实际施工过程中有所差异,因此,本文对已开挖洞段涌水量进行分析,选择适合该地层涌水量计算方法,为以后在类似地层中涌水量计算提供参考。

Abstract: In the early stage of Geological Survey of soft rock tunnel engineering, the prediction results of water gushing are often different from the actual construction, the suitable calculation method is selected to provide reference for the later calculation of water inrush in similar formation.

关键词: 软岩隧洞;突涌水;涌水量对比

Keywords: soft rock tunnel; water gushing; water inflow contrast

DOI: 10.36012/etr.v2i11.2886

1 工程简介

某地下隧洞长约92km,主要经过低山丘陵区、山前冲洪积平原区,隧洞洞顶埋深一般为60~280m,目前已有15个掌子面开挖施工。隧洞可分为硬岩隧洞段和软岩隧洞段,软岩隧洞长约43km,其中软岩隧洞已有3台盾构施工和3个人工开挖掌子面施工。本文以5号支洞及控制段为例,针对已开挖段涌水量进行前期勘察估算值与施工期实际值对比。

5号支洞位于隧洞桩号57+345处,支洞长635m,其控制主洞长3700m,上下游各1850m,支洞洞顶覆岩体厚度10~58m,主洞上覆岩体厚度58~93m。目前支洞已开挖完成,主洞已开挖完成580m,其中上游303m,下游277m。

2 工程地质及水文地质

2.1 工程地质及岩石物理力学性质

根据地面地质测绘结合沿线钻孔资料分析,5号洞支洞及控制段均位于侏罗系地层内,地层均一,其岩性主要为泥岩、细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩互层状构造,岩层呈厚~巨厚层状,属软岩~极软岩,岩层产状 $300^{\circ}\text{NE}\angle 5^{\circ}\sim 13^{\circ}$,与洞轴线夹角约 42° ,该地层节理裂隙不发育,局部微裂隙发育。

岩体物理力学性质,干密度 $2.2\sim 2.3\text{g}/\text{cm}^3$,饱和抗压强度 $3\sim 7\text{MPa}$,软化系数 $0.3\sim 0.4$,纵波波速 $1800\sim 2500\text{m}/\text{s}$,泊松比 $0.25\sim 0.35$ 。

2.2 水文地质

工程区位于山前冲洪积平原区,远离水库,无常年过水河流。该段断裂构造、节理裂隙不发育,孔隙裂隙及局部发育的断裂构造一般多为压性,结构面密实,渗透性差,属贫水~弱富水区。发育地下水类型主要为孔隙裂隙水和岩层层间裂隙水,水位埋深一般在 $3.5\sim 37\text{m}$ 左右,水位高于隧洞顶部 $34\sim 54\text{m}$,依据前勘成果,该地层的综合渗透系数为 $2.73\sim 6.25\times 10^{-5}\text{cm}/\text{s}$ ($0.0236\sim 0.054\text{m}/\text{d}$)。

3 涌水量估算

3.1 最大涌水量估算

最大涌水量估算采用了三种方法进行对比计算:

①《引调水线路工程地质勘察规范》中的古德曼经验式

$$Q=L\frac{2\pi KH}{\ln(4H/d)}$$

式中:Q隧洞通过含水地段的最大涌水量, m^3/d ;K含

【作者简介】马军(1982~),男,汉,新疆奇台人,大学本科,高级工程师,从事工程地质与水文地质研究。

水体渗透系数, m/d ; H 静止水位至洞身横断面等价圆的中心距离, m ; d 洞身横断面等价圆直径, m ; L 隧洞通过含水体的长度, m 。

②大岛洋志公式

$$q_0 = \frac{2\pi K(H-r_0)}{\ln \frac{4(H-r_0)}{d}}$$

式中: q_0 为隧洞通过含水裂隙岩体单位长度的可能最大涌水量, m^3/d ; K 为岩体的渗透系数, m/d ; H 为含水层中原始静水位至隧洞底板的垂直距离, m ; r_0 为隧洞洞身横断面的等价圆半径, m ; d 为隧洞洞身横断面的等价圆直径, m ; m 为转换系数, 一般取 0.86。

③《铁路工程水文地质勘察规程》中的中国经验法

$$q_0 = 0.255 + 1.9224KH$$

$$Q = q_0 L$$

式中: Q 隧洞通过含水地段的最大涌水量, m^3/d ; q_0 为隧洞通过含水裂隙岩体单位长度的可能最大涌水量, m^3/d ; K 为岩体的渗透系数, m/d ; H 为含水层中原始静水位至隧洞底板的垂直距离, m 。

3.2 稳定涌水量估算

稳定涌水量估算采用了三种方法计算进行对比:

① 柯斯嘉科夫法

此法计算隧洞稳定涌水量单位涌水量公式为:

表 1 最大涌水量估算表

桩号	埋深 (m)			含水层厚度 (m)			渗透系数 (m/d)	涌水 段长 m	隧洞最大单宽涌水量 (m^3/h)			
	最小	最大	平均	最大	最小	平均			古德曼	经验法	大岛洋志	平均值
支洞	5	79	42	55	0	27.5	0.0236	375	20.87	19.89	16.80	19.19
							0.054		47.75	45.00	38.43	43.73
57+042~ 57+622	69.5	80	74.75	38.9	54.6	46.75	0.0236	580	46.74	45.73	38.58	19.19
							0.054		106.95	117.90	88.27	104.4

表 2 稳定涌水量估算表

桩号	埋深 (m)			含水层厚度 (m)			渗透系数 (m/d)	涌水 段长 m	隧洞稳定单宽涌水量 (m^3/h)			
	最小	最大	平均	最大	最小	平均			柯斯嘉科夫法	铁路规范	裘布依理论	平均值
支洞	5	79	42	60	0	30	0.0236	500	1.78	7.46	5.72	6.59
							0.054		3.57	17.03	8.49	12.76
57+392~ 57+972	69.5	80	74.75	38.9	54.6	46.75	0.0236	580	2.53	17.99	13.51	15.75
							0.054		5.14	41.04	20.17	30.61

通过以上计算,已开挖的支洞、主洞最大涌水量,采用古德曼公式计算出结果为 67.61–154.69 m^3/h ,采用经验法计算出结果为 71.77–162.90 m^3/h ,采用大岛洋志公式计算结果为 55.37–126.70 m^3/h ,三种算法平均值为 64.92–148.10 m^3/h ;稳定涌水量采用柯斯嘉科夫法计算结果为 4.31–8.

$$q_s = \frac{2\alpha KH}{\ln(R/r)}$$

式中: α 为修正系数, $\alpha = \pi/(2+H/r)$, $R = 215.5 + 510.5K$ 。其余符号意义同前述。

该方法适用于基岩山地越岭隧洞,不适合该地层计算,只做比较。

② 铁路勘测规范中的经验式为:

$$q_s = KH(0.676 - 0.06K)$$

式中: q_s 为隧洞洞身单位长度正常涌水量, m^2/d ; 其余符号意义同前述。

③ 裘布依理论式

$$Q_s = LK \frac{H^2 - h^2}{R_y - r_0}$$

式中: Q_s 为隧洞正常涌水量, m^3/d ; K 为含水体的渗透系数, m/d ; H 为洞底以上潜水含水层厚度, m ; h 为洞内排水沟假设水深,一般考虑水跃值,取值 $h = 0.5H$; R_y 为隧洞涌水地段的引用补给半径, m ; L 为隧洞通过含水体的长度, m ; r_0 为洞身横断面等价圆半径,取 4.0 m 。

3.3 计算成果

本次利用以上公式对该地层涌水量进行估算,支洞岩性为侏罗系泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩,主洞岩性为粉砂质泥岩夹少量泥岩,计算结果见表 1、表 2。

71 m^3/h ,铁路规范计算的结果为 25.45–58.07 m^3/h ,裘布依公式计算结果为 19.23–28.66 m^3/h ,平均值为 22.34–43.37 m^3/h 。

4 已开挖洞段的实际涌水量

5 号支洞已开挖完成,总长 635m,自桩号 0+260 至 0+635 段陆续沿层面出现渗水、滴水及现状流水,出水量比较小,各段及出水量及总出水量见下表 3、表 4。

表 3 支洞涌水量统计表

日期	桩号	段长(m)	岩性	初始涌水量(m^3/h)	稳定涌水量(m^3/h)
2019. 6. 10-2019. 10. 7	0-0+260	260	泥岩	0	0
2019. 10. 7-2019. 11. 15	0+260-0+360	100	泥岩、泥质粉砂岩	14. 5	
2019. 11. 16-2020. 5. 7	0+360-0+461	101		16. 7	
2020. 5. 8-2020. 6. 10	0+461-0+563	102	粉砂岩	15. 1	
2020. 6. 10-2020. 7. 6	0+563-0+635	72	粉砂质泥岩	4. 1	
合计		635		50. 4	8

表 4 主洞涌水量统计表

日期	段落	桩号	段长(m)	岩性	初始涌水量(m^3/h)	稳定涌水量(m^3/h)
2020. 7. 7-2020. 8. 28	上游	57+277-57+345	68	粉砂质泥岩	10	
	下游	57+345-57+410	65		4. 1	
2020. 8. 29-2020. 10. 19	上游	57+160-57+277	117		12	
	下游	57+410-57+523	113		16. 5	
2020. 10. 20-2020. 12. 14	上游	57+042-57+160	118		1. 2	
	下游	57+523-57+622	99		14. 3	
合计			580		58. 1	13. 1

支洞开挖过程中初始涌水量累计值为 $50.4\text{m}^3/\text{h}$,开挖完成进行一次支护后稳定涌水量衰减至 $8\text{m}^3/\text{h}$ 左右;主洞桩号 52+277-57+622 段,开挖过程中初始涌水量 $58.1\text{m}^3/\text{h}$ 。开挖完成进行一次支护后稳定涌水量衰减至 $13.1\text{m}^3/\text{h}$;主支洞已开挖段的初始涌水量为 $108.5\text{m}^3/\text{h}$,稳定用水量为 $21.1\text{m}^3/\text{h}$ 。

5 已开挖段实际涌水量与计算涌水量分析对比

已开挖段地层岩性比较单一,基本以粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩为主,在该地层中储水形式主要为孔隙裂隙水。从洞壁出水形式来看,在单一岩层段主要沿洞壁初始以渗水、滴水为主,在有岩层接触面时的出水形式以滴水和线状流水为主。开挖后无论是渗水、滴水和现状水流均大幅衰减,加之一次支护后涌水量均远远小于初始涌水量。

采用古德曼公式、经验法及大岛洋志公式计算类似地层中隧洞的最大涌水量结果相差不大,计算的平均值为 $64.92-148.10\text{m}^3/\text{h}$,而在开挖过程中出现的初始涌水量为 $108.5\text{m}^3/\text{h}$,初始涌水量值在三种计算结果平均值内。

采用柯斯嘉科夫、《铁路工程水文地质勘察规程》条文说明中的计算公式、裘布依公式计算类似地层中隧洞的稳定涌水量结果相差较大。柯斯嘉科夫公式计算涌水量适用于

基岩山地越岭隧洞,不适合该地层计算,只做比较;铁路规范公式计算的该地层中涌水量略偏大;采用裘布依公式计算出的该均一地层中稳定涌水量与实际涌水量相差不大。因此采用裘布依公式计算该工程附近侏罗系地层中隧洞的稳定涌水量与实际较为切合。

6 结语

①在软岩节理裂隙不发育的均一地层中,采用古德曼公式、经验法及大岛洋志公式计算最大涌水量结果相差不大,建议采用三种计算结构平均值作为最终参考值。

②采用柯斯嘉科夫、《铁路工程水文地质勘察规程》条文说明中的计算公式及裘布依公式计算结构相差较大,但采用裘布依公式计算的结果与本工程实际涌水量相吻合。本工程附近类似地层的隧洞涌水量建议采用裘布依公式计算。

参考文献

- [1] 《引调水线路工程地质勘察规范》SL 629-2014
- [2] 《铁路工程水文地质勘察规程》TB 10049-2004
- [3] 王建秀,朱合华,叶为民,隧洞涌水量的预测及其工程应用[J].岩石力学与工程学报 2004 年 4 月第 23 卷 第 7 期:1150-1153
- [4] 邓皇根,几种常见涌水量计算方法在下村隧道工程中的综合应用[J].山西交通科技,2016(4):80-82