

岩溶隧道围岩分级方法探讨

贾东彦¹ 石瓮西² 董刚³

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710065

摘要: 岩溶地区隧道施工过程中,经常遇到岩溶问题,通常应根据开挖情况对原设计进行调整。因此存在岩溶隧道围岩分级问题。文章在分析众多围岩分级方法之后,选择适用范围较广的[BQ]法作为修正对象,根据岩溶地区地质条件的特殊性,提出了岩溶发育程度影响系数对[BQ]法进行修正,得出了修正后的[BQ]_k分级公式。并以大坪山隧道为实例,进行验证分析,得出了在岩溶地段围岩级别较低、岩溶发育区的围岩级别较差的结论,与实际揭露的围岩情况基本一致。

关键词: 隧道;岩溶发育程度影响系数;[BQ]_k法修正公式

岩溶作为一种特殊的地质条件,其发育程度越大,对隧道稳定性影响也越大。在隧道施工过程中,遇到岩溶问题,通常需要在原设计的基础上根据现场情况进行调整,这不仅延长的工期,同时也会增加施工风险,因此对岩溶地区隧道的围岩分级研究具有重要意义。

国内外对岩体分类方法已提出了几十种甚至上百种,但对岩溶地区的隧道围岩分级研究很少。目前常用的围岩分级方法在特殊地质条件的使用具有一定局限性^[1],比如:地质力学法(RMR)分类未考虑地应力对岩体质量的影响;Q法对岩体结构面影响考虑的过多;对及岩石强度因素考虑过少;BQ法仅适用于一般性围岩,对特殊性地质围岩适用性差;考虑到国标[BQ]分级法作为规范的一部分,其将主要因素作为判定围岩质量的基本指标,尚考虑到次要因素,如地下水、地应力、主要结构面产状等,将其作为修正指标,最终判定围岩级别。因此,提出了根据岩溶发育程度对[BQ]进行修正的分级方法,并以大坪山隧道为例进行分析,以期对相似地质条件下的隧道围岩分级提供参考。

1 BQ法简述

采用BQ法分级时,一般采用两步:第一步,由岩体单轴饱和抗压强度和岩体完整性确定岩体基本质量BQ值;第二步,对地下水、地应力及岩层产状进行修正,最终定级。岩体的基本质量计算公式如下:

$$BQ = 100 + 3R_c + 250K_v \quad (1)$$

式中: R_c 为岩石饱和单轴抗压强度; K_v 表征岩体的完整性。

岩体最终定级的质量指标[BQ]可由下式计算获取:

$$[BQ] = BQ - 100(K_1 + K_2 + K_3) \quad (2)$$

地下水修正值为 K_1 、主要结构面产状修正值为 K_2 、地应力修正值为 K_3 。 K_1 、 K_2 、 K_3 参照《工程岩体分级标准》^[2]

取值。

2 岩溶区 BQ法未考虑的影响因素分析

BQ法考虑了岩体单轴饱和抗压强度和岩体完整性、地下水、地应力、主要结构面产状对围岩稳定性的影响,判定过程中采用定性与定量相结合的方法,相互印证,减少了人为的影响,提高分级的准确率;然而,岩溶发育程度对洞室稳定性的影响也不容小视,有时还起控制作用。岩溶发育区通过对地下水、原岩地应力等因素的影响,进而间接地对洞室稳定性产生影响。

3 修正[BQ]_k值分级方法的建立

结合岩溶区围岩分级方法取得的进展^[3],考虑到岩溶的影响及其发育的特殊性,建立起岩溶区围岩分级体系。在沉积岩岩溶区围岩分级模型的建立过程中,考虑到地下水状态是岩溶发育的必要条件之一,故在此将岩溶发育程度修正系数作为一个综合参数来表达,不再单独使用地下水修正系数。于是,建立岩溶围岩分级模型如下:

$$[BQ]_k = BQ(1 - K_1) - 100(K_2 + K_3) \quad (3)$$

$$K_1 = \sum_{i=1}^n (p_i \times a_i) \quad (4)$$

式中: $[BQ]_k$ 为岩溶区围岩岩体基本质量指标的修正值; K_1 为岩溶发育程度修正系数, K_2 、 K_3 的表征含义与公式(2)相同; a_i 为岩溶二级评价指标的评分值; p_i 为岩溶二级评价指标的权重。

3.1 岩溶发育程度相关因素分析

岩溶的发育特征主要包括两方面:岩溶的空间分布、岩溶的填充特征。

3.1.1 岩溶的空间分布

岩溶的空间分布主要包括两方面内容:岩溶的规模、溶洞的空间分布位置,其中岩溶的规模形态是溶洞影响隧道围岩稳定性的重要因素,岩溶规模越大、形态

越复杂,则其对隧道围岩稳定性的影响也越严重。空间位置指相对于隧道岩溶展布的位置,大量的研究结果表明^[4-6]:岩溶距离隧道越近,对围岩稳定性影响也就越大;在自重应力场,溶洞空间方位的影响规律为:侧部溶洞>底部溶洞>顶部溶洞。

3.1.2 岩溶的填充特征

溶洞的充填性包括两方面内容:填充物的性质、填充物占溶腔空间的百分比,及充盈性。填充物性质不同、充盈特征不同,岩溶对围岩稳定性影响程度亦不同^[7]。

3.2 岩溶发育程度影响因素的指标体系

为了研究岩溶发育程度相关因素对 K_1 的影响程度,文章采用层次分析法,化定性为定量。以岩溶发育程度修正系数为目标层,以岩溶充填情况和空间特征作为准则层,其它影响因素均作为最低层(方案层)考虑,建立层次结构模型。

系数层次结构图

利用层次分析公式计算二级评价指标相对于 K_1 的权重,可得 p_1 -- p_7 的相关权重:

$$\alpha = \{0.065, 0.026, 0.159, 0.048, 0.304, 0.094, 0.304\}^T \quad (5)$$

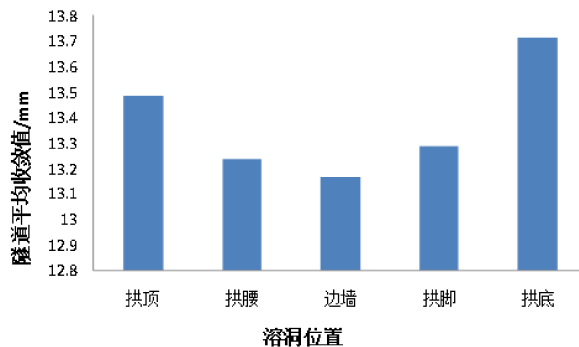


图3 溶洞隧道监测点平均位移收敛值

由此看出,当溶洞位于边墙一侧,即溶洞与隧道中心连线和主地应力方向一致时,隧道平均收敛值最小,这种情况下溶洞对隧道稳定性影响最小;随着溶洞与隧道中心连线主地应力方向夹角增大时,隧道平均收敛值逐渐增加,隧道平均收敛值逐渐增加,隧道自稳定逐渐变差,当夹角为 90° 时,溶洞对隧道稳定性的影响最大。

3.3.2 溶洞和隧道之净离D对隧道围岩稳定性影响

以溶洞位于底板为例进行模拟,溶洞直径为5.0m, D的距离依次取:0.5m、1.0m、1.5m、3.0m、4.5m、6.0m、8.0m、12.0m、16.0m、20.0m。由模拟成果显示:随着溶洞与隧道之间距离的增加,溶洞对隧道围岩稳定性的影响逐渐减弱,将隧道洞内平均收敛值的变化进行统计,绘制成曲线如图4所示。

根据相关公式对层次总排序一致性进行计算: $CR = 0.034$, $CR < 0.1$,因此认为层次总排序的结果具有满意的一致性,这个结果是可以接受的。

3.3 影响因素对隧道稳定性的影响

采用phase2数值模拟软件分析研究岩溶空间特征因素对隧道围岩稳定性的影响,以便评价指标的比较分析和定量打分。大坪山隧道为深埋隧道,地应力以构造应力为主,以前期水压致裂法测得压力值为基础,假定垂直应力为10Mpa,水平应力12Mpa。建立隧道模型,如图2所示。在隧道横断面布置8个位移监测点,根据各位移监测点的平均收敛量判断隧道围岩的稳定性,平均收敛量越大,则围岩自稳性越差,反之则自稳性越好。

3.3.1 溶洞的方位对隧道稳定性影响

① 溶洞的方位对隧道稳定性影响

在自重应力场下,边墙两侧的溶洞对隧道稳定性影响最大,顶部及底部溶洞对隧道稳定性影响最小^[8];由模拟结果显示,在构造应力场下情况相反,顶部及底部溶洞对隧道稳定性影响最大,边墙两侧的溶洞对隧道稳定性影响最小。如图3所示。

由图4可以看出,随溶洞与隧道洞壁之间距离的增大,对隧道周边平均收敛位移逐渐减小,这说明其对隧道围岩稳定性逐渐减小。当 $D < 4.5m$ 时,隧道周边平均收敛位移受D值影响的较为明显,减幅较大;当 $4.5m < D < 12.0m$ 时,隧道洞内平均收敛值呈线性减小,减幅明显下降;当 $D > 12.0m$ 时,隧道洞内收敛曲线近于平直,溶洞对隧道周边平均收敛位移影响很小,也即对隧道围岩稳定性影响几乎可以忽略。

3.3.3 溶洞的大小对隧道围岩稳定性的影响

在这里我们假定溶洞与隧道距离为3m。前期地质勘查资料显示,溶洞直径大小不一,直径在0-6m之间溶洞占总数的80%以上。同时基于隧道稳定性考虑,溶洞跨度太大,隧道围岩难以自稳。因此,在模拟时溶洞直径主

要选择1至9m,由模拟成果显示:随着溶洞直径的增大,隧道围岩的收敛位移逐渐增加,然而隧道各部分的收敛增幅又不尽相同,隧道拱底收敛较大。隧道洞内平均收敛值与溶洞直径呈正相关,溶洞直径越大,对隧道稳定性影响越大。

3.3.4 溶洞填充特征对隧道围岩稳定性的影响

岩溶的填充特征对隧道围岩稳定性的影响在于填充物自重及压强对隧道与岩溶之间的岩壁的影响,当岩溶存在承压水时,水的压强越大,则作用在岩壁的压强也越大,溶洞与隧道之间的岩壁稳定性也越差。同样当为固体填充物型溶洞时,位于拱顶以上位置对围岩稳定性影响最显著。当岩柱不足以支撑填充物产生的荷载时,填充物瞬间涌出,形成突水涌泥地质灾害。岩溶灾害具有突发性、滞后性及不易预测性,这些特性给施工带来

很大影响。大量工程实践表明:溶腔空间越大,填充物质越多,且填充的物质流动性越强,那么它对隧道围岩稳定性的影响也越大。

3.4 影响因素取值

由上边的模拟成果及层次分析结果建立K1的评价计算公式如下:

$$K_1 = \sum_{i=1}^n (p_i \times a_i) \quad (6)$$

式中的 a_i 、 p_i 分别表征岩溶问题二级评价指标的相关评分及权重值,相关权重取值详见公式5,评分值取值规则如下:

该指标对隧道围岩稳定影响最大时,取值为1,最小值取值参考工程实践及模拟结果赋值,其余值采用内插法赋值,各岩溶问题二级评价指标取值详见见表1。

表1 岩溶二级指标定量分值

评价项目	指标分类及评分情况					
P ₁	充盈特征	无填充	半充填	全充填		
	定量评分	0.4	0.6	0.8		
P ₂	填充物性质	黏土型	淤泥型	粉细砂型	块石土型	泥砾型
	定量评分	0.6~0.8	0.8~1	0.8~1	0.6~0.8	0.6~0.8
P ₃	地下水状态	潮湿或点滴状出水	淋雨状或涌流状出水,水压 < 0.1MPa或单位出水量 < 10L/(min·m)	淋雨状或涌流状出水,水压 > 0.1MPa或单位出水量 > 10L/(min·m)	管流涌出状	
	定量评分	0~0.4	0.4~0.8	0.8~1	1	
P ₄	溶洞方位	拱底	拱顶	拱脚	拱腰	边墙
	定量评分1	1	0.9	0.8	0.7	0.6
	定量评分2	0.7	0.6	0.9	0.8	1
P ₅	溶洞与隧道D	0	0~0.5	0.6~1.0	1.0~3.0	> 3.0
	定量评分	1	0.6~0.9	0.3~0.6	0.1~0.3	0.01
P ₆	岩溶形态	溶孔	溶缝、溶隙	溶槽、溶管	一般溶洞	大型溶洞或暗河
	定量评分	0.01	0.1	0.2	0.4	0.8
P ₇	溶洞大小	≤ 0.25	0.25~0.50	0.50~1.0	> 1.0	
	定量评分	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	1	

注:表中D表示溶洞与隧道壁之间的间距与隧道等效跨度之比,溶洞大小S为溶洞与隧道等效直径之比,定量评分1代表构造应力场,定量评分2代表自重应力场。

4 工程实例运用

4.1 工程概况

大坪山隧道位于襄阳市内,属于分离式隧道,全长约8200m,可溶岩岩层区长度6548m,约占全长的79.2%。以奥陶-寒武系白云质灰岩或灰岩岩溶最为发育。可溶岩在地形、构造及水文地质环境循环影响下,发育了溶沟、

溶隙、溶痕等大量岩溶地表形态,以及溶洞、洞穴、溶槽、溶缝等地下岩溶形态。

4.2 岩溶发育程度影响因素的取值

以桩号ZK45+060~ZK45+090为例说明。根据超前地质预报与超前钻孔显示,隧洞洞由掌子面右上方发育,向左拱脚延伸,尖灭于左拱脚处。为充水型溶洞,掌子面外的溶腔等效直径约为2.5m;沿隧道纵向延伸约10m。根据岩溶发育情况结合表1对K₁的二级指标p_i进行评分,评分结果见下表。

表2 K2修正指标评分值

指标	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇
评分结果	0.8	0	1	0.8	1	0.4	0.3

4.3 计算结果与分析

表3 大坪山隧道围岩分级对比分析

里程桩号	长度(m)	修正级别	原级别
ZK45+060 -ZK45+150	90	V级	IV级
ZK45+150 -ZK45+360	210	IV级偏高	IV级
ZK45+360 -ZK45+710	350	IV级	III级
ZK45+710- ZK46+030	320	III级	II级

根据公式(3)与(4)对大坪山隧道 ZK45 + 060 ~ ZK45 + 900 围岩进行计算得到修正级别, 并与原级别对比, 见表3。可以看出修正级别比原级别有所升高, 说明考虑岩

溶发育程度影响因素后围岩级别有所变大。

5 结束语

根据岩溶发育程度影响因素对[BQ]值进行修正的围岩分级方法, 对岩溶区隧道的围岩分级具有一定帮助, 然而选取指标范围过大, 在两级分界线附近, 定级较困难。有待进一步研究和探讨。

基于岩溶发育特征, 对[BQ]值进行修正, 建立[BQ]_k公式, 该围岩分级方法在大坪山隧道实用性较好, 但仍需大量工程实践来验证。

6 参考文献

- [1]沈中其,关宝树.铁路隧道围岩分级方法[M].成都:西南交通大学出版社,2000.
- [2]中华人民共和国国家标准.工程岩体分级标准(GB50218-2014)[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [3]王石春,何发亮,李苍松.隧道工程岩体分级[M].成都:西南交通大学出版社,2012.