

海底隧道围岩抗力系数计算方法研究

涂忠仁^{1, 2}, 孙 钧², 蔡晓鸿³

(1. 重庆交通大学, 重庆 400074; 2. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 3. 吉安市水务局, 江西 吉安 343000)

摘 要: 针对厦门海底隧道地质条件复杂多变的特点, 利用有限环模型结合多种本构关系提出了 7 种围岩抗力系数 K 的计算方法, 并且通过计算给出了合理的围岩抗力系数取值范围, 同时对各计算模型在实际工程中的运用条件作了评价。研究表明: 采用多种方法、综合考虑多种因素可以减少仅仅通过查阅规范和依靠设计者经验来确定围岩抗力系数的主观误差。

关键词: 海底隧道; 围岩抗力系数; 有限环模型; 地质模型概化

中图分类号: U459.5; U451 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 4548(2006)08 - 1002 - 06

作者简介: 涂忠仁(1973 -), 男, 江西抚州人, 讲师, 博士, 从事岩土工程和地下结构研究。

Researches on calculation methods of rock resistant coefficients of submarine tunnels

TU Zhong-ren^{1, 2}, SUN Jun², CAI Xiao-hong³

(1. Department of River & Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Ji'an Water Authority, Ji'an 343000, China)

Abstract: Considering the complexity of geological conditions for the Xiamen submarine tunnel, seven calculation methods were deduced to determine the rock resistant coefficients by use of the finite ring model, and reasonable range for rock resistant coefficients was provided too, together with the applicability of these seven methods respectively. It was indicated that comprehensive consideration could minimize the error in determining the value of rock resistant coefficients.

Key words: rock resistant coefficient; submarine tunnel; finite ring model; general geology model

0 引 言

厦门东通道海底公路隧道是我国第一条在建海底隧道, 同时也是厦门市公路骨干网规划中的重要组成部分, 是厦门岛连接大陆的第三条通道。工程位于厦门岛东北端的湖里区五通村与翔安区西滨村之间, 呈北东向展布, 隧道全长约 5.9 km, 起点位于厦门岛下边村南侧, 在厦门岛内西接仙岳路, 从五通码头以北沿北偏东 39° 方向跨海, 至下店东北角, 接大陆岸连接线, 止于厦门市翔安区西滨, 与福厦高速公路连接, 其中海域段长约 4.2 km, 开挖方案主要采用海底钻爆法施工。

在隧道工程中, 考虑围岩对衬砌变形的约束作用, 可以大大增强衬砌的承载能力, 减小毛洞开挖半径以及衬砌的厚度, 进而减少隧道石方开挖量, 降低工程造价。而围岩对衬砌约束作用的量化指标可以通过围岩弹性抗力系数来体现, 目前设计时对此系数一般采用查表取值, 但是各类规范中围岩弹性抗力系数值变化幅度大, 取值时不可避免得存在较大主观误差。针对重要工程, 应认真考虑此问题。

很多学者^[1-4]对围岩抗力系数计算进行了研究, 他们研究模型的特点都是结合水工有压隧洞, 考虑内部水压力而建立起围岩抗力系数计算公式。厦门东通道海底隧道轴线沿程要经过多种复杂地质条件区段, 本文利用地质概化模型, 通过数值计算得到隧道内壁围岩压力, 并假设其均匀分布在隧道毛洞内壁上, 按照局部变形理论以及不同围岩条件, 采用相应的计算模型, 计算给出了合理的围岩抗力系数取值范围, 并对各计算模型在实际工程中的使用条件作了评价。

1 厦门东通道隧道工程沿程地质情况

根据厦门东通道海底隧道岩土工程地质水文地质特征, 按规范^[5]中隧道围岩分级方法, 根据初步设计确定的隧道埋深, 将隧道围岩分为 V、IV、III、II、I 级, 下面为对各类围岩的地质详勘情况。

(1) V 级围岩

分布在隧道两端和海域风化槽/囊处, 围岩以全强

风化花岗岩长岩、全强风化中粗粒黑云母花岗岩为主, 海域风化槽/囊处的极破碎的弱风化岩也归纳到 V 级围岩。

(2) IV 级围岩

全断面均有分布, 其洞身虽在弱微风化岩层中, 但隧道洞顶岩层安全厚度小于 10 m 或 15 m, 尤其在海域风化槽两侧边坡, 是 V 级围岩和 II、I 级围岩的过渡带。

(3) III 级围岩

主要分布在 IV 级围岩与 II、I 级围岩的过渡带, 洞身多处于微风化岩体中, 隧道洞顶岩层安全厚度略小于 10 m 或 15 m。

(4) II 级围岩

II 级围岩洞身处于微风化岩体中, 隧道洞顶岩层安全厚度略大于 15 m, 且以微风化岩体为主。

(5) I 级围岩

I 级围岩洞身处于微风化岩体中, 隧道洞顶岩层安全厚度大于 15 m, 且在隧道洞顶 15 m 内岩层为微风化花岗岩长岩, 该级围岩岩体完整, 裂隙不发育, 围岩稳定, 无坍塌。

2 理论模型的选择

厦门东通道海底隧道的地质条件复杂多变, 机械地套用某一种理论方法确定围岩抗力系数显然不行, 必须因地制宜地选择合理的理论计算模型来研究。

2.1 基本假定

在一般情况下, 局部变形理论由于忽略存在于地基弹簧之间的剪力, 认为仅仅在荷载作用点处的地基弹簧处发生变形, 其余地基弹簧保持原有状态, 由此假设而产生了理论计算值与实际观测值之间的误差。但在一种条件下局部变形理论在严格意义上是准确的, 即圆形形状洞室受均布内压作用时。因此本文采用的理论计算模型为受均布内压作用的有限环模型, 但本文模型计算中的内压不同于前人研究时考虑的内水压力, 而是综合考虑厦门东通道海底隧道顶板覆盖层情况以及海水深度变化, 通过数值计算得出的衬砌对隧道内壁围岩的形变压力, 为简化计, 假定均匀分布于内壁。等效圆形隧道半径按照相关文献^[6]规定, 取水平方向的最大值一般作为计算采用值。

2.2 理论模型

(1) 弹性模型

假设围岩为均匀、连续、各向同性的理想弹性体, 此时的围岩抗力系数通常称为围岩弹性抗力系数。此时围岩可视为内半径为 r_1 , 外半径为无穷大、受内压力 p_1 的厚壁圆筒。计算简图见图 1。

根据弹性力学关于厚壁圆筒平面应变问题解答,

可以得出内壁处的位移计算公式:

$$u_{r_1} = \frac{1 + \mu_d}{E_d} r_1 p_1 \quad (1)$$

式中, E_d 、 μ_d 分别为围岩的弹性模量和泊松比, r_1 为洞室半径, 如图 1 所示。

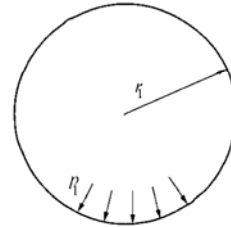


图 1 理论计算模型简图

Fig. 1 Simplified theoretical model

根据局部变形理论, 可以得到围岩弹性抗力系数 K 为

$$K = \frac{p_1}{u_{r_1}} = \frac{E_d}{(1 + \mu_d) r_1} \quad (2)$$

式中, p_1 为由于衬砌变形而在围岩接触面上形成的形变压力, 其余符号含义与前同。

(2) 有裂缝的弹性模型

实际岩体往往不能符合理想弹性体这一假定, 开挖后隧道周围会形成一个环形裂缝区。设裂缝区内半径为 r_1 、外半径为 r_2 、所受内压力为 p_1 , 如图 2 所示, 并且假设裂缝区只能传递径向压力, 切向抗拉强度为 0。



图 2 有裂缝区围岩弹性抗力计算简图

Fig. 2 Simplified theoretical model with crack

通过一系列推导, 可以得到有裂缝的弹性模型围岩抗力系数计算公式:

$$K = \frac{p_1}{u_{r_1}} = \frac{1}{r_1 \left(\frac{1 - \mu_0^2}{E_0} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1 + \mu_d}{E_d} \right)} \quad (3)$$

(3) 理想弹塑性模型

随着施工技术的进步, 不少隧道采用全断面隧道掘进机施工, 使得由爆破引起的裂缝区完全有可能避免。此外, 在较高内压力作用下, 部分条件差的围岩也有可能进入塑性变形状态。

为了适合上述洞室开挖工况, 采用弹塑性围岩计算模型。设想在均匀弹性的岩体中, 有一个没有裂缝环的隧道, 内壁受均匀压力 p_1 作用。当 p_1 较小时,

围岩处于弹性状态；当 p_1 增大到某一数值时，隧道周围产生部分塑性区，其厚度为 $r_2 - r_1$ 。在塑性区外层是弹性区，如图 3 所示。

通过弹塑性理论推导，可以得到该模型围岩抗力系数 K 的计算公式：

$$K = \frac{E_d}{(1 + \mu_d)r_1 \tau_s} \exp\left(1 - \frac{p_1}{\tau_s}\right) \quad (4)$$

式中， τ_s 为围岩极限抗剪强度，其余符号前同。

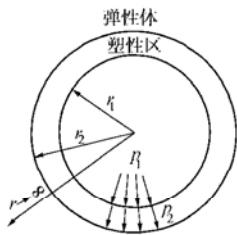


图 3 弹塑性计算模型

Fig. 3 Theoretical elastic model with plastic zone

(4) 有裂缝的弹塑性计算模型

一般情况下，隧道围岩周围有环形裂缝区，其厚度为 $r_2 - r_1$ ，裂缝区外围是一层塑性区，其厚度为 $r_3 - r_2$ ，塑性区外围是弹性区。即隧道围岩可视为 3 层有环。裂缝区中只能传递径向压力，切向抗拉强度为 0，如图 4 所示。

推导可以得出该计算模型下围岩抗力系数 K 的计算公式为

$$K = \frac{E_d}{r_1 \left[(1 + \mu_d) \frac{\tau_s r_2}{p_1 r_1} \exp\left(\frac{p_1 r_1}{\tau_s r_2} - 1\right) + (1 - \mu_d^2) \ln \frac{r_2}{r_1} \right]} \quad (5)$$

式中， r_2 为裂缝区外半径，其余符号与前式相同。

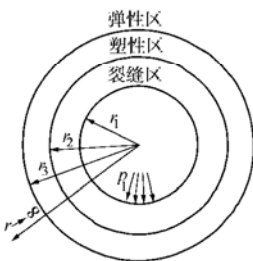


图 4 弹塑性裂缝围岩计算模型

Fig. 4 Theoretical elasto-plastic model with crack

(5) 塑性理论线性强化模型

大量的岩体力学试验表明：岩体具有弹塑性强化趋势。根据岩体变形曲线为折线或近似折线，按应力-变形曲线的相似性，采用塑性理论线性强化模型来建立新的计算公式。无疑这更符合实际情况。此时计算模型简图可以参考图 4。

根据推导，得到的围岩抗力系数 K 的计算公式：

$$K = \frac{1}{r_1 \left[\frac{1 - \mu_d^2}{E_d} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{\sqrt{3}(2 - \mu_d)\sigma_s r_2}{3E_d p_1 r_1} \exp\left[\frac{\sqrt{3}p_1 r_1}{\sigma_s r_2} - 1\right] - \frac{1 - 2\mu_d}{E_d} \right]} \quad (6)$$

式中， σ_s 为岩体简单拉伸试验破坏应力，其余符号含义前同。

(6) 莫尔-库仑屈服条件计算模型

鉴于目前在岩土工程界得到广泛应用的是莫尔-库仑屈服条件，下面是按照其推导隧道围岩抗力系数 K 的计算公式：

$$K = \left[\frac{1 - \mu_0^2}{E_0} r_1 \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_2}{E_d p_1} \left\{ -(1 - 2\mu_d) \frac{p_1 r_1}{r_2} - \left(\frac{p_1 r_1}{r_2} + c \cot \varphi \right) \left(1 - \frac{1}{2} \mu_d \right) \frac{c \cot \varphi (1 - \sin \varphi)}{c \cot \varphi + \frac{p_1 r_1}{r_2}} \right\} \frac{1}{\sin \varphi} \right]^{-1} \frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (7)$$

式中， μ_0 、 E_0 分别为裂缝区围岩泊松比和弹性模量， c 、 φ 分别为围岩凝聚力和内摩擦角，其余符号含义前同。

(7) 统一强度理论计算模型

厦门东通道海底隧道另一个特殊情况就是左右双线隧道以及中间的服务隧道紧凑地分布在狭窄的空间内，因而中间主应力对围岩的强度有极大影响，统一强度理论通过引进影响系数可以反映中间主应力的影响。按照双剪强度理论推求得到围岩抗力系数 K 计算公式的最后结果公式：

$$K = \left[(1 - \mu_0) \frac{p_1 r_1}{E_0} \ln \frac{r_2}{r_1} - \frac{1 + \mu_d}{E_d} c_i \cos \varphi_i r_2 \frac{\left(\frac{p_1 r_1}{r_2} + c_i \cot \varphi_i \right)^{\frac{1 + \sin \varphi_i}{\sin \varphi_i}}}{c_i (\cot \varphi_i - \cos \varphi_i)} \right] + \frac{(1 + \mu_d)(1 - 2\mu_d)}{E_d} r_2 \left[c_i \cot \varphi_i \left(1 - \left(\frac{p_1 r_1}{r_2} + c_i \cot \varphi_i \right)^{\frac{1 + \sin \varphi_i}{\sin \varphi_i}} \right) - \left(\frac{p_1 r_1}{r_2} + c_i \cot \varphi_i \right) \left(1 - \frac{\left(\frac{p_1 r_1}{r_2} + c_i \cot \varphi_i \right)^{\frac{1}{\sin \varphi_i}}}{c_i (\cot \varphi_i - \cos \varphi_i)} \right) \right]^{-1} \cdot p_1 \quad (8)$$

式中， $\sin \varphi_i = \frac{b(m-1) + (2+b+bm)\sin \varphi}{2+b-b\sin \varphi}$ ， φ_i 称为材

料统一摩擦角, $c_1 = \frac{2(b+1)c \cos \varphi}{2+b-bm \sin \varphi \cos \varphi_1}$, 称为材料统一粘聚力(剪切强度)。其余符号含义与前同。

3 各类围岩条件的围岩抗力系数计算

3.1 计算参数

(1) 几何参数

根据资料, 厦门东通道海底隧道左右双线隧道和服务隧道的设计开挖几何尺寸分别为主隧道 16.38 m × 12.35 m, 服务隧道 6.50 m × 6.05 m。计算时, 按照文献[6]中的方法, 取洞室水平方向最大宽度的一半作为等效圆的半径值, 即主隧道 $r = 8.20$ m, 服务隧道 $r = 3.30$ m。

(2) 土工物理力学参数

根据工程场区地质详勘资料, 暗挖隧道场区岩土体工程特性及设计参数建议值见表 1。

(3) 其他计算参数

a) 形变荷载 p_1

根据数值模拟研究, 衬砌作用在围岩上的荷载随着上覆层厚度以及围岩条件的变化而发生相应的变化, 具体各研究重点区段作用的上覆围岩荷载见表 2、3。

b) 抗拉强度 σ_s 、抗剪强度 τ_s

根据厦门东通道海底隧道地质详勘资料, 抗拉强度 σ_s 和抗剪强度 τ_s 分别按照表 4 取用。

c) 裂缝区影响范围

对于模型 2, 根据文献[1, 6]中的研究结果, 裂缝影响范围的半径可取:

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = 1.1 \quad (9)$$

式中, r_1 为隧道开挖范围的等效圆半径。

其他模型裂缝影响范围根据大量隧道爆破的经验数据, 按照文献[7]研究成果, 通过类比法, 可得

$$r_2 = r_1 + 1.23 \quad (10)$$

表 1 暗挖隧道场区岩土体设计参数

Table 1 Parameters of rock

地层代号	岩土名称	重力密度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	动弹性模量 E_d/GPa	动剪切模量 G_d/GPa	静弹性模量 E/GPa	泊松比 μ	计算摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	摩擦系数(圬工与围岩) f
W ₄	全风化带	18	0.7	0.2	0.1	0.48	25	0.3
W ₃	强风化带	19	2.4	0.8	1	0.46	30	0.4
W ₂	弱风化带	25	33	13	25	0.29	50	0.5
W ₁	微风化带	26.5	63	26	40	0.20	70	0.6
f	微风化岩破碎带	26	35	14	25	0.28	55	0.5

表 2 V级围岩荷载

Table 2 Load for the rock of 5th level

区段	左线隧道		服务隧道		右线隧道	
	起讫里程	荷载	起讫里程	荷载	起讫里程	荷载
洞口暗挖段	EZK6+540~7+486	467	ENK6+504~7+304	263	EYK6+559~7+318	417
F ₁ 破碎带	EZK8+257~8+305	470	ENK8+290~8+379	176	EYK8+324~8+460	456
F ₄ 破碎带	EZK8+875~8+972	476	ENK8+922~8+992	176	EYK8+960~9+004	491
F ₂ 破碎带	EZK10+164~10+207	470				
F ₃ 破碎带			ENK10+614~10+708	176	EYK10+596~10+660	473
洞口暗挖段	EZK11+268~12+178	460	ENK11+290~12+102	263	EYK11+307~12+252	447

表 3 IV级围岩荷载

Table 3 Load for the rock of 4th level

区段	左线隧道		服务隧道		右线隧道	
	起讫里程	荷载	起讫里程	荷载	起讫里程	荷载
洞口暗挖段	EZK7+486~7+521	192	ENK7+304~7+500	116	EYK7+318~7+530	192
F ₁ 破碎带	EZK8+242~8+257	192	ENK8+379~8+392	116	EYK8+460~8+540	192
F ₄ 破碎带	EZK8+860~8+875	192	ENK8+992~9+004	116	EYK9+004~9+021	192
F ₂ 破碎带			ENK10+178~10+208	116		
F ₃ 破碎带	EZK10+664~10+708	192			EYK10+660~10+690	192
洞口暗挖段	EZK11+228~11+268	192	ENK11+210~11+290	116	EYK11+151~11+307	380

表4 各类围岩抗拉强度和抗剪强度

Table 4 Tensile strength and shear strength of rock

地层代号及 岩土名称	粘聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	抗剪强度 τ_s/MPa			抗拉强度 σ_s/MPa			备注
			左线 隧道	服务 隧道	右线 隧道	左线 隧道	服务 隧道	右线 隧道	
W ₄ (全风化带)	22.5	26.0	0.25	0.11	0.26	0.10	0.05	0.11	隧道水域
W ₃ (强风化带)	29.1	29.4	0.29	0.13	0.31	0.12	0.05	0.13	隧道水域
W ₄ (全风化带)	24.1	23.0	0.22	0.14	0.22	0.09	0.06	0.09	隧道陆域
W ₂ (弱风化带)	400	50		3.19			1.31		$\sigma_c = 46.87 MPa$
W ₁ (微风化带)	>0.7	>60		10.2			7.65		

表5 隧道围岩抗力系数 K 计算结果

Table 5 Calculated results of rock resistant coefficients

(MPa · m⁻¹)

围岩级别		模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6	模型7	公路规范取值
I ~ III级	左线隧道	4065	2162						1800~2800 (I)
	服务隧道	10101	5372						1200~1800 (II)
	右线隧道	4065	2162						500~1200 (III)
IV级	左线隧道			364	315	200	679		200~500
	服务隧道			560	405	154	690		
	右线隧道			364	315	200	679		
V级 (W ₃)	左线隧道			73	73	37	58	11	100~200
	服务隧道			197	177	173	62	34	
	右线隧道			74	73	37	58	10	
V级 (W ₄) 水域	左线隧道			6	7	3	5.8	0.7	100~200
	服务隧道			18	17	17	6.3	3.1	
	右线隧道			6	7	3	5.8	0.7	
V级 (W ₄) 陆域	左线隧道			6	6	2	5.8	0.7	100~200
	服务隧道			16	17	16	6.3	2.6	
	右线隧道			6	6	2	5.8	0.7	

3.2 围岩抗力系数计算结果汇总

根据上面的计算参数以及公式,得到厦门东通道海底公路隧道围岩抗力系数,具体计算结果见表5。

4 讨 论

(1) 模型1计算结果是采用围岩条件良好的微风化花岗岩长岩的岩土物理力学参数进行计算得到的,其数值大于公路隧道设计规范的I级围岩抗力系数上限值,一方面说明在地质详勘资料准确的前提条件下,工程场区内的微风化围岩具有十分可观的分承能力,能够很好地发挥其约束衬砌的变形作用;另一方面,我们必须充分意识到模型1是一种理想化的弹性模型,在实际工程场区地质情况未准确查明前,不应盲目乐观地将围岩抗力系数数值订得过高。因此对于I~III级围岩条件(微风化),衬砌设计时不宜采用模型1计算围岩抗力系数值。

(2) 模型2是在模型1基础上,考虑到实际工程采用钻爆法施工,不可避免地会在开挖界限以外一定范围内的岩体中形成裂缝而建立的。计算结果与模型1相对照,可以发现围岩抗力系数值下降显著(主隧道和服务隧道下降幅度约为47%),其中主隧道围岩抗力数值在公路隧道设计规范I级围岩条件下的围

岩抗力系数取值范围内,服务隧道由于水平向跨度小,数值大于I级围岩抗力系数上限值2800 MPa/m。所以在围岩条件良好(I~III级)时,可以采用该模型计算围岩抗力系数值。

(3) 对于围岩条件较好时,围岩与衬砌共同工作,形成塑性区的可能性小,故对于I~III级条件良好的围岩,不宜采用具有塑性区的模型3~模型7计算围岩抗力系数。

同理,对于围岩条件较差(IV、V级围岩),岩体破碎,全强风化对水的浸透作用十分敏感,易于崩解,采用弹性模型或者带裂缝的弹性模型显得不尽合理,研究时亦未用模型1、模型2计算围岩条件较差时的围岩抗力系数。

(4) 对于IV级围岩,围岩大多为弱风化岩体。采用弹塑性模型(模型3)和带裂缝的弹塑性模型(模型4)分别计算得到的围岩抗力系数与公路隧道设计规范相同级别围岩抗力系数规定值相比,理论计算结果出现在取值范围上下限平均值附近。按照塑性理论线性强化模型(模型5)计算得到的结果则在下限值附近。故为安全计,宜采用模型5用于确定围岩抗力系数,取规范规定的下限值进行衬砌内力计算,同时可以采用模型3和模型4计算结果用作对比。

(5) 模型6是按照衬砌变形产生的内压力小于外

部岩体压力, 并以土木工程界常用的莫尔 - 库仑准则为屈服条件建立的。在 IV 级围岩条件下, 其计算结果均大于规范取值上限 500 MPa/m。由于围岩抗力系数对围岩裂缝区弹性模量 E_0 、粘聚力 c 和内摩擦角 φ 的数值变化十分敏感, 在现有地质详勘资料基础上, 按照规范围岩抗力上限取值用于设计是安全的, 但是必须考虑到地质资料本身具有显著的离散性, 在局部区段, 倘若围岩裂缝区弹性模量 E_0 、粘聚力 c 和内摩擦角 φ 中全部或某些变化时, 应慎重考虑围岩抗力系数取值。

(6) 在 V 级围岩条件下, 由于上覆层状况变化复杂, 致使衬砌与围岩间的压力随之发生剧烈变化, 在本项目研究中分别按强风化 (W_3) 围岩参数、全风化 (W_4) 围岩参数 (分陆域部分和水域部分), 采用模型 3~模型 7 进行计算, 计算结果与实际情况比较吻合: 计算结果在各种围岩条件下, 得到的围岩抗力系数数值较小, 这充分说明理论计算能够反映受风化、断层等不良地质营力作用的影响, 围岩基本丧失与衬砌一道工作抵御形变荷载的能力, 这与人们的实际工程经验是吻合的。鉴于此, 在 V 级 (或者更差) 围岩中进行衬砌设计时, 不应将围岩考虑为“特殊结构”, 与衬砌一道工作, 而应将其视为松散体, 换言之, 此时不宜采用“荷载 - 结构”法的思想指导设计。

当然, 实际工程中, 对于 V 级围岩必须先进行诸如全断面 (帷幕) 超前注浆及长短结合的超前注浆小导管等内部加固而后开挖, 实施内部加固措施后, 围岩性质必定会得到改善, 相应的, 围岩抗力系数也有所增加。但是由于影响注浆效果因素很多, 实际围岩加固效果无法准确预估, 所以在衬砌设计时, 建议将内部加固引起的围岩抗力系数增加值作为安全储备。

(7) 对比主隧道和服务隧道计算结果可以看出: 各种围岩条件下, 围岩抗力系数并不是常数, 并且与开挖半径成反比, 说明围岩抗力系数与开挖空间尺寸间有很强的相关性。

5 结 语

在地质条件变化复杂的海底修建隧道, 在我国尚属首次, 因而通过各种方法确定隧道围岩抗力系数 K 值还有相当的工作需要完善, 例如进行室内模型试验等, 本文利用各种计算模型对厦门海底隧道不同条件的围岩进行研究, 得出了合理的围岩抗力系数 K 取值范围, 与规范给出的表格相比, 不仅在数量上离散性减小, 方便设计者取用, 而且在地域特征上更为符合该地的地质特点, 研究结果具有更为突出的针对性。

根据上述计算结果和相应的分析评价, 得到了厦门东通道海底公路隧道围岩抗力系数的建议采用值, 围岩级别为 I~III 级, IV 级, V 级及以下时, 围岩抗力系数 K 分别为 1800~2200, 200~350, 0。

参考文献:

- [1] 钱令西. 关于水工有压隧道计算中弹性抗力系数“ K ”[J]. 土木工程学报, 1955, 2(4): 369 - 380. (QIAN Ling-xi. Calculation method of elastic resistant coefficient “ K ” in hydraulic pressure tunnel[J]. China Civil Engineering Journal, 1955, 2(4):369 - 380.)
- [2] 吕有年. 水工有压隧洞岩石抗力系数“ K ”的一个新公式[J]. 岩土工程学报. 1981, 3(1): 70 - 80. (LÜ You-nian. A new formula of rock resistant factor “ K ” in hydraulic pressure tunnel[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1981, 3(1):70 - 80.)
- [3] 蔡晓鸿, 吕有年. 应用塑性强化理论推求圆形压力隧洞岩石抗力系数“ K ”[J]. 岩土工程学报. 1984, 6(3): 44 - 56. (CAI Xiao-hong, LÜ You-nian. Rock resistant factor “ K ” in circle pressure tunnel by plastic hardening theory[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1984, 6(3):44 - 56.)
- [4] 徐栓强 俞茂宏. 考虑中间主应力效应的隧洞岩石抗力系数的计算[J]. 岩石力学与工程学报. 2004, 23 (增 1): 4303 - 4305. (XU Shuan-qiang, YU Mao-hong. Calculation of rock resistant factor in tunnel considering intermediate principal stress effect[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23 (Supplement 1): 4303 - 4305)
- [5] JTGD07—2004 公路隧道设计规范[S]. 2004. (JTGD70—2004 Code for design of road tunnel[S]. 2004.)
- [6] 刘振飞. 水利水电工程设计与施工新技术全书[M]. 北京: 海潮出版社, 2001. (LIU Zhen-fei. Complete book on new design and construction methods of hydraulic engineering[M]. Beijing: Haichao Publishing House, 2001)
- [7] 蔡晓鸿, 蔡勇平. 水工压力隧洞结构应力计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004. (CAI Xiao-hong, CAI Yong-ping. Structure stress calculation for hydraulic pressure tunnel[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2004.)
- [8] 铁道部第四勘察设计院. 厦门东通道隧道衬砌结构形式及其可靠性研究报告[R]. 武汉, 2004. (The Fourth Survey and Design Institute of China Railway. Study on structural configuration and reliability research of tunnel lining for Xia'men east passage undersea tunnel engineering [R]. Wuhan, 2004.)