

第十二篇

涵隧工程施工常用数据 资料及计算

第一章 涵洞地基土常用数据资料

第一节 涵洞地基土的力学特征数据

一、新老土(细粒土)名对照

表 12-1-1 新老土名对照表(JTJ 051—93)*

老土组	老 土 名	颗粒组成 (按质量%计)		塑性指数 I_p	液限 (%) w_l	新 土 名		土名代号	砂粒含量 (%)
		砂粒 (2~74 mm)	粘粒 (<2 mm)						
砂土	砂土	> 80	0~3			砂 含细粒土砂		S SF	
砂性土	粉质砂土 粗亚砂土 细亚砂土	50~80 > 50 粗砂 多于细砂 > 50 细砂 多于粗砂	0~3 3~10 3~10			细粒土 质砂	粉土质砂	SM	
粉性土	粉质亚砂土 粉土	20~50 < 20	0~10 0~10	> 2 > 2	< 50	粉质土	含砂低液限粉土 低液限粉土	MLS ML	
	粉质轻亚粘土 粉质重亚粘土	< 45 < 40	10~20 20~30	> 10 > 18	< 50		含砂低液限粉土 低液限粘土	MLS CL	> 25

老土组	老 土 名	颗粒组成 (按质量%计)		塑性指数 I_p	液限 (%) w_1	新 土 名		土名代号	砂粒含量 (%)
		砂粒 (2~74 mm)	粘粒 (<2 mm)						
粘性土	轻亚粘土	>45	10~20	>10	<50	粘质土	粘土质砂	SC	>50
	重亚粘土	>40	20~30	>18			含砂低液限粘土	CLS	>25
	轻粘土 重粘土	<70	30~50	>26	>50		高液限粘土质砂 含砂高液限粘土 高液限粘土	SCH	>50
		<45	>50	>50				CHS CH	>25

* 中华人民共和国行业标准《公路土工试验规程》(JTJ 051—93) 北京 : 人民交通出版社 ,1993。

二、土的物理力学特征

表 12 - 1 - 2 土的物理力学特征 (JTJ 024—85)

土 类			孔 隙 比 e	天然含水量 w (%)	塑限含水量 w_p (%)	容 重 γ (kN/m ³)	计算的粘 聚力 c (kPa)	计算的内 摩擦角 φ (°)
砂 类 土	粗砂		0.4 ~ 0.5	15 ~ 18	—	20.5	0	42
			0.5 ~ 0.6	19 ~ 22	—	19.5	0	40
			0.6 ~ 0.7	23 ~ 25	—	19.0	0	38
	中砂		0.4 ~ 0.5	15 ~ 18	—	20.5	0	40
			0.5 ~ 0.6	19 ~ 22	—	19.5	0	38
			0.6 ~ 0.7	23 ~ 25	—	19.0	0	36
	细砂		0.4 ~ 0.5	15 ~ 18	—	20.5	0	38
			0.5 ~ 0.6	19 ~ 22	—	19.5	0	36
			0.6 ~ 0.7	23 ~ 25	—	19.0	0	32
	粉砂		0.5 ~ 0.6	15 ~ 18	—	20.5	5	36
			0.6 ~ 0.7	19 ~ 22	—	19.5	3	34
			0.7 ~ 0.8	23 ~ 25	—	19.0	2	28
粘 质 土	亚 粘 土	亚 砂 土	0.4 ~ 0.5	15 ~ 18	< 9.4	21.0	6	30
			0.5 ~ 0.6	19 ~ 22		20.0	5	28
			0.6 ~ 0.7	23 ~ 25		19.5	2	27
			0.4 ~ 0.5	15 ~ 18	9.5 ~ 12.4	21.0	7	25
			0.5 ~ 0.6	19 ~ 22		20.0	5	24
			0.6 ~ 0.7	23 ~ 25		19.5	3	23

土 类			孔 隙 比 e	天然含水量 w (%)	塑限含水量 w_p (%)	容 重 γ (kN/m ³)	计算的粘 聚力 c (kPa)	计算的内 摩擦角 φ (°)
粘 质 土	亚 粘 土	粘	0.4 ~ 0.5	15 ~ 18	12.5 ~ 15.4	21.0	25	24
			0.5 ~ 0.6	19 ~ 22		20.0	15	23
			0.6 ~ 0.7	23 ~ 25		19.5	10	22
			0.7 ~ 0.8	26 ~ 29		19.0	5	21
		土	0.5 ~ 0.6	19 ~ 22	15.5 ~ 18.4	20.0	35	22
			0.6 ~ 0.7	23 ~ 25		19.5	15	21
			0.7 ~ 0.8	26 ~ 29		19.0	10	20
			0.8 ~ 0.9	30 ~ 34		18.5	8	19
			0.9 ~ 1.0	35 ~ 40		18.0	5	18
粘 质 土	亚 粘 土	粘	0.6 ~ 0.7	23 ~ 25	18.5 ~ 22.4	19.5	40	20
			0.7 ~ 0.8	26 ~ 29		19.0	25	19
			0.8 ~ 0.9	30 ~ 34		18.5	20	18
			0.9 ~ 1.0	35 ~ 40		18.0	10	17
		土	0.7 ~ 0.8	26 ~ 29	22.5 ~ 26.4	19.0	60	18
			0.8 ~ 0.9	30 ~ 34		18.5	30	17
			0.9 ~ 1.0	35 ~ 40		17.5	25	16
			0.8 ~ 0.9	30 ~ 34	26.5 ~ 30.4	18.5	65	16
			0.9 ~ 1.1	35 ~ 40		17.5	35	15

注 :1. 土的平均密度采用 砂土 $2.66 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 亚砂土 $2.70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 亚粘土 $2.71 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 粘土 $2.74 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。
2. 土的容重按水占孔隙的 90% 计算。

第二节 地基土施工常用数据

一、土石方按开挖难易分级

表 12 - 1 - 3 土石方按开挖难易分级表

土石等级	土石类别	土 石 名 称	开 挖 方 法
一类土	松 土	砂类土、种植土、中密的砂性土、松散的水分不大的粘土、含有 30mm 以下的树根或灌木根的泥炭土	用脚踏锹 , 一下到底

土石等级	土石类别	土 石 名 称	开 挖 方 法
二类土	普通土	水分较大的粘土、密实的砂性土及粘性土、半干硬的黄土、含有 30mm 以上的树根及灌木根的泥炭土、石质土（不包括块石土及漂石土）	部分使用镐刨松再用锹挖，或连蹬数次才能挖动
三类土	硬 土	硬粘土、密实的硬黄土、含土较多的块石土及漂石土，各种风化成土状的岩石	必须全部刨松才能用锹挖
四类土	软 石	各种松软岩石、胶结不紧的砾岩、泥质、页岩、砂岩、较坚硬的泥灰岩、块石及漂石土、软的节理较多的石灰岩	部分用撬棍或十字镐及大锤开挖，部分用爆破法开挖
五类土	次坚石	硅质页岩、硅质砂岩、白云岩、石灰岩、坚实的泥灰岩、软玄武岩、片麻岩、正长岩、花岗岩	用爆破法开挖
六类土	坚 石	硬玄武岩、坚实的石灰岩、白云岩、大理岩、石英岩、闪长岩、粗粒花岗岩、正长岩	用爆破法开挖

二、土的可松性系数

表 12－1－4 土的可松性系数参考数值

土石等级	土石类别	体积增加百分比		可松性系数	
		最 初	最 后	K_s	K'_s
一类土	松 土	8～17	1～3	1.08～1.17	1.01～1.03
二类土	普通土	14～24	2～5	1.14～1.24	1.02～1.05
三类土	硬 土	24～30	4～7	1.24～1.30	1.04～1.07
四类土	软 石	26～45	6～20	1.26～1.45	1.06～1.20
五类土	次坚石	30～50	10～30	1.30～1.50	1.10～1.30
六类土	坚 石	45～50	28～30	1.45～1.50	1.28～1.30

注 1. 土的可松性是指土经过挖掘后，组织破坏，体积增加的性能。
表中：最后体积增加百分比 $= (V_2 - V_1) / V_1 \times 100\%$ ；
最后体积增加百分比 $= (V_3 - V_1) / V_1 \times 100\%$ ；
最初可松性系数 $K_s = V_2 / V_1$ ；
最后可松性系数 $K'_s = V_3 / V_1$ ；
式中 V_1 ——开挖前土的自然体积；
 V_2 ——开挖后土的松散体积；
 V_3 ——土挖掘后再填方压实后的体积。
2. 土方工程中， K_s 是计算装运车辆及挖土设备（机械）的重要参数； K'_s 是计算填方所需挖土工程量的重要参数。

三、土壤压缩率

表 12－1－5 土壤压缩率参考数值

土 的 类 别		土的压缩率	每 m ³ 松散土压实后的体积(m ³)
一～二类土	种植土	20%	0.80
	一般土壤	10%	0.90
	砂土	5%	0.95
三类土	天然湿度黄土	12%～17%	0.85
	一般土壤	5%	0.95
	干燥坚实土壤	5%～7%	0.94

注 土的压缩率是指松散土经压实后的压缩百分比 ,其每 m³ 压缩后的体积 ,亦可以原松散体积的百分比表示。

四、土量的换算系数

表 12－1－6 土量换算系数(*f*)参考数值*

(A)表示自然状态 (B)表示开挖之后 (C)表示开挖后再填筑压实

土 质	土的现状	土的可松性换算系数		
		自然状态	开挖之后	开挖后再填筑压实
砂	(A)	1.00	1.11	0.95
	(B)	0.90	1.00	0.86
	(C)	1.05	1.17	1.00
普通土	(A)	1.00	1.25	0.90
	(B)	0.80	1.00	0.72
	(C)	1.11	1.39	1.00
粘 土	(A)	1.00	1.43	0.90
	(B)	0.70	1.00	0.63
	(C)	1.11	1.59	1.00
砂夹砾石	(A)	1.00	1.18	1.08
	(B)	0.85	1.00	0.91
	(C)	0.93	1.09	1.00
砾 石	(A)	1.00	1.13	1.03
	(B)	0.88	1.00	0.91
	(C)	0.97	1.10	1.00

土 质	土的现状	土的可松性换算系数		
		自然状态	开挖之后	开挖后再填筑压实
密实的砾石	(A)	1.00	1.42	1.29
	(B)	0.70	1.00	0.91
	(C)	0.77	1.00	1.00
石灰岩、砂岩 和其他软岩 经破碎之后	(A)	1.00	1.65	1.22
	(B)	0.61	1.00	0.74
	(C)	0.82	1.35	1.00
花岗岩、玄武 岩和其他硬 岩经破碎之后	(A)	1.00	1.70	1.31
	(B)	0.59	1.00	0.77
	(C)	0.76	1.30	1.00
大块改小 的石块	(A)	1.00	1.75	1.40
	(B)	0.57	1.00	0.80
	(C)	0.71	1.24	1.00
爆破后的 大块岩石	(A)	1.00	1.08	1.03
	(B)	0.56	1.00	0.72
	(C)	0.77	1.38	1.00

※ 日本建筑施工辞典。

第二章 涵洞工程施工质量标准 常用数据资料

第一节 管涵施工质量

一、管涵成品

表 12－2－1 钢筋混凝土圆管成品允许偏差

项 目	允许偏差(mm)	项 目	允许偏差(mm)
管节长度	0 ~ 10	管壁厚度	- 3 ,正值不限
内(外)直径	不小于设计值	顺直度	矢度不大于 0.2 %

二、管涵施工质量

表 12－2－2 管涵允许偏差

项 目	允 许 偏 差(mm)
轴线偏位	50
流水面高程	± 20
涵管长度	+ 100 , - 50
管座宽度(包括基础)	≥ 设计值

项 目	允 许 偏 差(mm)
相邻管节面错口 (应下游低于上游)	⋈ 管径≤1.0m)
	⋈ 管径> 1.0m)

第二节 拱涵施工质量

表 12－2－3 拱涵允许偏差

项 目		允 许 偏 差(mm)
轴线偏位		30
流水面高程		± 20
跨径		± 20
拱圈厚度	混凝土	± 15
	石料	± 20
涵台尺寸		± 20
长度		+ 100 , - 50
砌体平整度		20

第三节 盖板涵施工质量

表 12－2－4 盖板涵允许偏差

项 目		允 许 偏 差(mm)
轴线偏位	明 涵	20
	暗 涵	50
结构尺寸		± 20
流水面高程		± 20
长 度		+ 100 , - 50
孔 径		± 20

项 目		允 许 偏 差(mm)
顶面高程	明 涵	± 20
	暗 涵	± 50

第四节 倒虹吸管施工质量

表 12－2－5 倒虹吸管允许偏差

项 目		允 许 偏 差(mm)
轴线偏位		30
流水面高程		± 20
相邻管节内 底面错口	管径≤ 1.0m	3
	管径> 1.0m	5
竖井尺寸	长、宽	± 20
	直 径	± 20
竖井顶部高程		± 20
井底高程		± 15

表 12－2－6 倒虹吸管灌水试验允许渗水量

管径 (m)	允许渗水量(混凝土和钢筋混凝土)	
	(m ³ /d·km ⁻¹)	(1/h·m ⁻¹)
0.50	22	0.9
0.70	26	1.1
1.00	32	1.3
1.20	36	1.5
1.50	42	1.7
2.00	52	2.1
2.20	56	2.3
2.40	60	2.5

第五节 桥涵顶进施工质量

表 12－2－7 桥涵顶进允许偏差

检 查 项 目		允许偏差(mm)	
		箱涵(桥)	管 涵
轴线偏位	涵(桥)长 < 15m	100	50
	涵(桥)长 15 ~ 30m	150	100
	涵(桥)长 > 30m	300	200
高 程	涵(桥)长 < 15m	+ 30 , - 100	+ 20
	涵(桥)长 15 ~ 30m	+ 40 , - 150	± 40
	涵(桥)长 > 30m	+ 50 , - 200	+ 50 , - 100
相邻两节高差		30	20

第六节 通道桥涵排水管道、集水井允许偏差

表 12－2－8 集水井及检查井允许偏差

检 查 项 目	允许偏差(mm)
轴线偏位	50
圆井直径或方井长度	± 20
井盖高程	± 10
通道内检查井盖与邻接路面高差	0 ~ + 4
集水井与邻接路面高差	0 ~ - 4

表 12－2－9 管道工程允许偏差

检 查 项 目	允许偏差(mm)
轴线偏位	50
管底高程	± 20
基座宽度	不小于设计值
相邻管内底错口	≤ (下游低于上游)

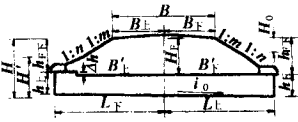
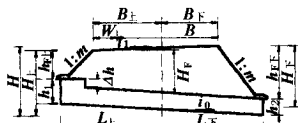
第三章 涵洞工程施工计算

第一节 涵洞长度计算

表 12-3-1 涵洞长度计算

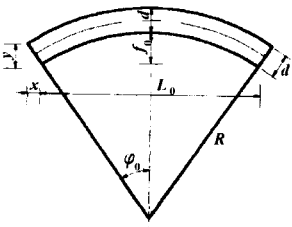
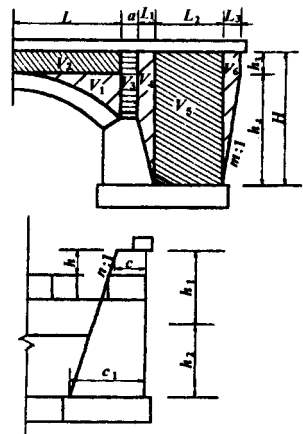
序号	涵洞结构形式与位置	计算公式	符号意义
1	涵洞与路线正交	当涵洞端墙帽石底与端墙外缘交点位于路基边坡延长线上时,按下面公式计算: $L_{上} = \frac{B_{上} + m(H - h_{上})}{1 + mi_0} \quad (3-1)$ $L_{下} = \frac{B_{下} + m(H - h_{下})}{1 - mi_0} \quad (3-2)$ $L = L_{上} + L_{下} \quad (3-3)$ 当帽石底端外缘不位于路基边缘延长线时,按下式计算: $L_{上} = \frac{B_{上} + m(H - h_{上} - t) + a}{1 + mi_0} \quad (3-4)$ $L_{下} = \frac{B_{下} + m(H - h_{下} - t) + a}{1 - mi_0} \quad (3-5)$	$L_{上}$、$L_{下}$、L——涵洞上、下游长度及总长度,m; B——路基宽度,m; $B_{上}$、$B_{下}$——由路基中心到上、下游路基边缘的宽度,当路基无加宽时为$0.5B$,m; H——路基填土总高度,即由涵底中心至路基边缘的高度,m; $h_{上}$、$h_{下}$——涵洞上、下游洞口建筑高度,m; m——路基边坡率,按1:m表示; i_0——涵底纵坡,以小数表示; t——涵洞端墙帽石厚度,m; a——涵洞端墙帽石宽度,m

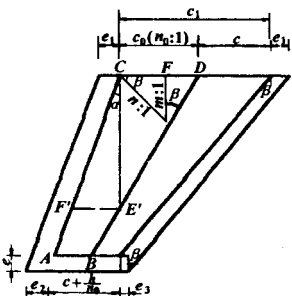
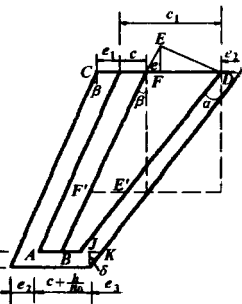
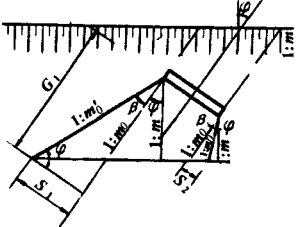
序号	涵洞结构形式与位置	计算公式	符号意义
2	涵洞与路线斜交,洞口端墙斜做(与路线平行)	$L_{上} = \frac{B_{上} + m(H - h_{上})}{\cos\varphi + mi_0} \quad (3-6)$ $L_{下} = \frac{B_{下} + m(H - h_{下})}{\cos\varphi - mi_0} \quad (3-7)$	φ——涵洞轴线与路线中线的垂线的夹角,即涵洞斜度。 其余符号同上
3	涵洞与路线斜交,洞口正做(洞口端墙与墙身垂直) a) 平面图 b) 台阶式端墙 c) 斜坡式端墙	计算方法:一般先确定小翼墙高度,并使 $H_{小} = h_F$,然后按 $H_{小} + H_d$ 算出 $H_{大}$,且 $H_{大}$ 不高出路肩。如高出路肩,则路基与翼墙边坡的衔接不好处理,往往需要重新调整 $H_{小}$(最大限度是帽石高出路肩)。 $L_{上} = \frac{B_{上} + m(H - h_{上}) - 0.5b\sin\varphi}{\cos\varphi + mi_0} \quad (3-8)$ $L_{下} = \frac{B_{下} + m(H - h_{下}) - 0.5b\sin\varphi}{\cos\varphi - mi_0} \quad (3-9)$ $H_d = \frac{b\sin\varphi}{m} \quad (3-10)$ $H_{小} = h_{F下} \quad (3-11)$ $H_{大} = H_{小} + H_d \quad (3-12)$	$H_{大}$、$H_{小}$——大小翼墙的高度; H_d——大小翼墙的高差; b——帽石长度; $h_{F上}$、$h_{F下}$——分别为上、下游路肩边缘高程至帽石底面高程之差, m
4	大纵坡路堤上的斜交涵洞	$\Delta H = L_{上、下} \sin\varphi \cdot i_2 \quad (3-13)$ 近路基纵坡低点一侧: $L_{上、下} = \frac{B_{上、下} + m(H - h_{上、下})}{(\text{CDs}\varphi \pm mi_0) + \sin\varphi i_2 m} \quad (3-14)$ 近路基纵坡高点一侧: $L_{上、下} = \frac{B_{上、下} + m(H - h_{上、下})}{(\cos\varphi \pm mi_0) - \sin\varphi i_2 m} \quad (3-15)$	ΔH——填土高差; i_2——路基纵坡,以小数表示; 其余符号同上

序号	涵洞结构形式与位置	计算公式	符号意义
5	路基有两种边坡率时的涵洞 	$B'_{上} = B_{上} + m_1 H_0 \quad (3-16)$ $B'_{下} = B_{下} + m_1 H_0 \quad (3-17)$ $H' = H - H_0 \quad (3-18)$ $L_{上} = \frac{B'_{上} + n(H' - h_{上})}{1 + ni_0} \quad (3-19)$ $L_{下} = \frac{B'_{下} + n(H' - h_{下})}{1 - ni_0} \quad (3-20)$	B'——路基边坡变坡点的上、下游宽度 ,m ; H_0——由路缘至路基边坡变坡点的高度 ,m ; H'——由路基边坡变坡点至涵底中心的高度 , m ; m_1——变坡点以上路基之边坡率 ; n——变坡点以下路基之边坡率 ; i_0——涵底纵坡
6	涵洞设在平曲线内 ,路基有超高加宽时的涵洞。 (1)涵底纵坡与路基超高横坡方向相反的涵洞  (2)涵底纵坡与路基超高横坡方向相反的涵洞 	1. 涵洞底坡 i_0 与路基超高横坡 i_1 方向一致时 $B_{上} = 0.5 B \quad (3-21)$ $B_{下} = 0.5 B + W \quad (3-22)$ $H_{上} = H + Bi_1 \quad (3-23)$ $H_{下} = H - Wi_1 \quad (3-24)$ 2. 涵洞底坡 i_0 与路基超高横坡 i_1 方向相反时 $B_{上} = 0.5 B + W \quad (3-25)$ $B_{下} = 0.5 B \quad (3-26)$ $H_{上} = H - Wi_1 \quad (3-27)$ $H_{下} = H + Bi_1 \quad (3-28)$ 将以上各式值代入 1 ~ 5 项各公式中 ,即可计算出超高、加宽、正交、斜交的涵洞长度	W——路基加宽值 ,m ; i_1——路基超高横坡坡度 ,小数表示 ; $H_{上}$、$H_{下}$——上下游路基边缘至涵底中心高度 ,m

第二节 常用涵洞工程数量计算

表 12-3-2 常用涵洞工程量计算

项目	计算图式	计算公式	符号意义
圆弧拱涵		$R = \frac{L_0}{2} \left(\frac{L_0}{4f_0} + \frac{f_0}{L_0} \right) \quad (3-29)$ $\varphi_0 = \arcsin \frac{L_0}{2R} \quad (3-30)$ $x = \frac{L_0}{2R} d, y = \left(1 - \frac{f_0}{R} \right) d \quad (3-31)$ 对不同矢跨比的圆弧拱涵,各几何量关系可查表 12-3-3。 拱轴弧长: $S = 2\varphi_0 \left(R + \frac{d}{2} \right) \quad (3-32)$ 单孔每米体积: $V = \varphi_0 \left(2Rd + d^2 \right) \quad (3-33)$	L_0 ——净跨径; f_0 ——净矢高; R ——圆弧半径; φ_0 ——圆弧圆心角之半
圆弧拱涵侧墙		1. 一字墙单孔全涵体积 $V_{\text{侧}} = 4(V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6) \quad (3-34)$ $V_1 \text{ 按表 12-3-4 公式计算}$ $V_2 = \left(c + \frac{h}{2n} \right) h \cdot L \quad (3-35)$ $V_3 = \left(c + \frac{h}{2n} \right) h_1 \cdot a \quad (3-36)$ $V_4 = \left(h_1 + \frac{h}{n} \right) \cdot c \cdot L_1 + \frac{H^3 - h^3}{6mn} \quad (3-37)$ 2. 八字墙单孔全涵体积 $V_{\text{侧}} = 4(V_1 + V_2 + V_3 + V_4) \quad (3-38)$	

项目	计算图式	计算公式	符号意义
八字翼墙	1. 正翼墙、反翼墙：   正反八字翼墙大样	$m_0 = m \quad (3-39)$ $n_{0\mp} = (n \pm \frac{\sin \beta}{m}) \cos \beta \quad (3-40)$ $\delta_{\mp} = \arctg(\tg \beta \pm \frac{1}{mn_{0\mp}}) \quad (3-41)$ $c = \frac{a}{\cos \beta}, c_0 = \frac{1}{n_0} H, c_1 = c + c_0$ $e_1 = \frac{e}{\cos \beta}, e_3 = \frac{e}{\cos \delta}$ $e_3^{(\mp)} = c \left(\frac{1 - \sin \beta}{\cos \beta} \right) \quad (3-42)$ $e_3^{(\mp)} = c \left(\frac{1 - \sin \delta_{\mp}}{\cos \delta_{\mp}} \right) \quad (3-43)$ $G = m(H - h), S = G \cdot \tg \beta \quad (3-44)$	1: m——路基边坡； 1: m₀——沿洞墙方向的翼墙坡度； n: 1——翼墙垂直断面的背坡； n₀: 1——翼墙平行端墙方向的背坡； a——翼墙垂直顶宽； c——翼墙平行于端墙方向的顶宽； c₁——翼墙平行于端墙方向的底宽； e——基础襟边垂直宽度
	2. 大翼墙、小翼墙 (1) 斜交涵洞正做洞口八字翼墙均由大、小翼墙组成 	$m_{0\Delta}^* = \frac{m \cos \beta}{\cos(\beta \pm \varphi)} \quad (3-45)$ $n_{0\Delta}^* = n \cos \beta + \frac{1}{m} \sin \beta \cos(\beta \pm \varphi) \quad (3-46)$ $\delta_{\Delta}^* = \arctg \left[\tg \beta - \frac{\cos(\beta \pm \varphi)}{mn_{0\Delta}^* \cos \beta} \right] \quad (3-47)$ 其余 c、c₀、c₁、e₁、e₂、e₃ 计算同上	b——帽石长 通常稍长于 l₀ + 2c； l₀——涵洞净跨

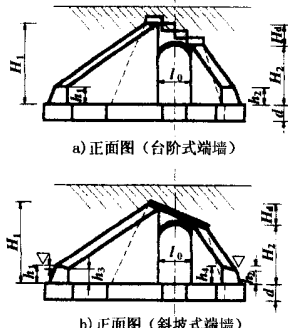
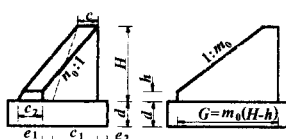
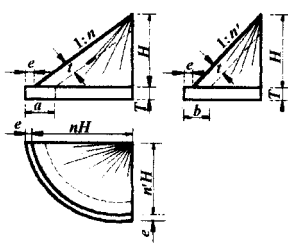
项目	计算图式	计算公式	符号意义
	(2)斜交涵洞正做翼墙洞口,其端墙建筑有台阶式和斜坡式两种  a) 正面图(台阶式端墙) b) 正面图(斜坡式端墙)	$H_1 = H_2 + H_d \quad (3-48)$ $H_d = \frac{\sin \varphi}{m} (l_0 + 2c) \quad (3-49)$ 或 $H_d = \frac{\sin \varphi b}{m} \quad (3-50)$ 当为斜坡形洞口时,其帽石倾斜率 $i = \frac{\sin \varphi}{m} \text{ 则有:}$ $h_3 = h_1 - \Delta \quad (3-51)$ $h_4 = h_2 + \Delta (\text{一般 } h_2 = h_3) \quad (3-52)$ $\Delta = i \cdot c \quad (3-53)$	
	3. 八字翼墙工程数量计算  (1) 墙身体(一个翼墙) $V_{\text{身}} = \frac{H+h}{2} \cdot G \cdot c + m_0 \left(\frac{H^3 - h^3}{6n_0} \right) \quad (3-54)$ (2) 基础体积(一个基础) $V_{\text{基}} = \left(\frac{c_1 + c_2}{2} + e_1 + e_2 \right) G \cdot d \quad (3-55)$	d ——八字翼墙基础深度	
八字翼墙	4. 翼墙顶面面积	$A_{\text{顶}} = c \sqrt{1 + m_0^2} (H - h) \quad (3-56)$	
	5. 锥形护坡(一个锥坡体积) 	$V_{\text{锥坡}} = \frac{\pi}{12} n \cdot n' \cdot H^3 \left[c \cdot \frac{t}{H} - D \left(\frac{t}{H} \right)^2 + E \left(\frac{t}{H} \right)^3 \right] \quad (3-57)$ $c = 1.5(A + B), D = AB + \frac{1}{2}(A + B)^2$ $E = \frac{1}{2}(A^2 B + AB^2), A = \frac{\sqrt{1+n^2}}{n}$ $B = \frac{\sqrt{1+n'^2}}{n'}$ $V_{\text{基}} = \frac{\pi}{4} [H(nb + n'a) + c(a + b) - a \cdot b] \times T \quad (3-58)$ 当 $n = 1.5, n' = 1.0$ 时,有: $V_{\text{锥坡}} = H \cdot t(1.54H - 2.0t) \quad (3-59)$	

表 12-3-3 圆弧拱各几何量关系

f_0/L_0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{10}$	乘数
项目										
S	3.14159	2.35202	1.85461	1.52202	1.28698	1.11323	0.97991	0.87468	0.78957	R
L_0	2.00000	1.84616	1.60000	1.37930	1.20000	1.05660	0.94118	0.84706	0.76922	R
f_0	1.00000	0.61538	0.40000	0.27586	0.20000	0.15094	0.11765	0.09412	0.07692	R
R	0.50000	0.54167	0.62500	0.72500	0.83333	0.94643	1.06200	1.18056	1.30000	L_0
$\varphi_0(^{\circ\prime\prime})$	90°	67°22′50″	53°7′50″	43°36′8″	36°52′10″	31°53′30″	28°4′20″	25°3′28″	22°37′10″	—
$\varphi_0(^{\circ})$	90.0000	67.3806	53.1306	43.6028	36.8694	31.8917	28.0722	25.0577	22.6194	—
φ_0 (弧度)	1.57080	1.17601	0.92730	0.76101	0.64349	0.55662	0.48995	0.43734	0.39478	—
$\sin \varphi_0$	1.00000	0.92308	0.80000	0.68965	0.60000	0.52830	0.47059	0.42353	0.38461	—
$\cos \varphi_0$	0	0.38462	0.60000	0.72414	0.80000	0.84906	0.88235	0.90588	0.92308	—

表 12-3-4 V_1 工程量计算

$\frac{f_0}{L_0}$	V_1
$\frac{1}{2}$	$0.2146(c + \frac{h}{n})L^2 + 0.0479\frac{L^3}{n} \quad (3-60)$
$\frac{1}{3}$	$0.1828(c + \frac{h}{n})L^2 + 0.0313\frac{L^3}{n} \quad (3-61)$
$\frac{1}{4}$	$0.1503(c + \frac{h}{n})L^2 + 0.0212\frac{L^3}{n} \quad (3-62)$

第三节 涵管顶入法顶力计算

一、工作坑基底尺寸计算

表 12-3-5 工作坑基底尺寸计算

计 算 公 式	符 号 意 义
$B = D + 2.4 \sim 3.2\text{m}$ (3-63)	B ——基底底宽； L ——基底底长； D ——圆管外径；

计 算 公 式	符 号 意 义
$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5$ (3-64)	L_1 ——圆管顶进后,尾端压在轨上的最小长度,对于钢筋混凝土管,一般采用0.3~0.5m; L_2 ——管节长度; L_3 ——出工作间长度,依出工工具而定,一般为1.0~1.8m; L_4 ——千斤顶长度,100t长0.9m,200t长1.0m; L_5 ——后背所占工作坑长度,包括横木、立铁、横铁,一般为0.85m

注 ①厂作坑靠近铁路、公路时,应与铁路外侧铁轨或公路路面边缘不小于2.5m;
②工作坑两侧边坡视土质情况而定,一般为1:0.75~1:1.5,靠近铁路路基侧的边缘应保持1:1~1:2。

二、顶力计算

表 12-3-6 顶力计算

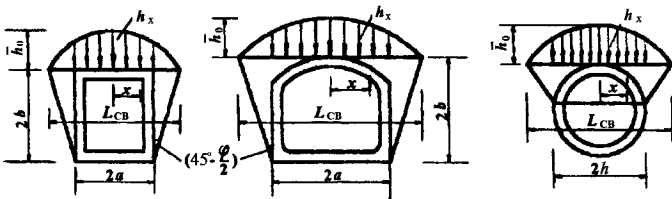
公 式	符 号 意 义
经验公式一： $P = f \cdot G$ (3-65)	P ——顶力； G ——管重； f ——阻力系数,可查表12-3-7
经验公式二： $P = \eta \cdot G$ (3-66) 该公式适用于上部荷载及两侧土压力较小时的顶力计算	P ——设计最大顶力； η ——顶力系数
理论公式： $P = K [G_1 \cdot f_1 + (G_1 + G_2) f_2 + 2 E f_3 + R_A]$ (3-67) 该公式计算出的顶力往往偏大,只能做选择千斤顶吨位的参考	P ——最大顶力； G_1 ——涵管顶上荷重(包括涵管以上垂直土重),当圆管孔径小、土质好且顶上覆土较厚时,可仅计算卸力拱以内的土体重量,当土质坚硬($f_{kp} > 0.8$)及覆土较厚时,涵管上垂直压力应按卸力拱计算,详见表12-3-8； f_1 ——涵管顶面上荷重与涵管顶面的摩擦系数,视顶面润滑处理情况经试验而定。无资料时,可采用以下数值:涂石蜡为0.17~0.34,涂滑石粉浆为0.3,涂机油调剂的滑石粉为0.20； G_2 ——涵管自重； f_2 ——涵管洞底板与基底土的摩擦系数,视基底土质经试验而定。无试验资料时可采用0.7~0.8； E ——涵管两侧土压力,见表12-3-10； f_3 ——侧摩擦系数,视土质经验确定。无试验资料时可采用0.7~0.8； R ——钢刃脚正面阻力,视刃脚构造,挖土方法,土质经试验确定。无资料时可采用:亚粘土为500~550kN/m ² ,卵石土为1500~1700kN/m ² ； A ——钢刃脚正面积,m ² ； K ——系数,一般采用1.2

表 12－3－7 阻力系数 f 值表

序号	顶进全长(m)	管径(cm)	土质情况	f
1	70	96	坚实红壤土	0.95
2	62	96	坚硬粘性红土	0.82
3	112	96	破碎风化砂岩	0.90
4	112	96	(原方涵内)	1.08
5	62	96	赤珠黄泥	1.25
6	56	96	砂砾土(无塌土)	1.26
7	60	100	花岗岩风化土	1.70
8	56	180	细粘土类砂及绢云母千枚岩	2.80
9	72	120	砂质粘土 少量地下水	3.86
10	5X(逆顶)	100	砂质粘土	4.20
11	28	150	重壤土	4.62
12	3X(顺顶)	100	砂质粘土	5.20

三、卸力拱内部分土压力计算

表 12－3－8 卸力拱内部分土压力计算

普氏坚固系数 f_{kp}	计算图式及计算公式	符 号 意 义
$f_{kp} < 2.0$	 $f_{kp} < 2.0$ 时 隧洞式涵洞垂直压力分布示意图 $\bar{h}_0 = \frac{L_{CB}}{2f_{kp}} \quad (3-68)$$h_x = \bar{h}_0 \left(1 - \frac{4\alpha^2}{L_{CB}^2} \right) \sigma_z = rh_a \quad (3-69)$$q_B = [\sigma_z]_{\alpha=0} = \gamma \bar{h}_0 = \frac{\gamma L_{CB}}{2f_{kp}} \quad (3-70)$ 矩形和拱形涵洞：$L_{CB} = 2a + 4btg(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (3-71)$ 圆形涵洞：$L_{CB} = 2r_1 + 2r_1tg(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (3-72)$	$\bar{h}_0$——拱圈矢高； h_x——横座标，等于 x 处的拱圈高度； γ——土容重； L_{CB}——卸力拱圈跨长； σ_z——对应于不同 α 角的垂直土压力； q_B——作用于涵洞顶点处($\alpha = 0$)的 σ_z 值； f_{kp}——普氏坚固系数，见表 12－3－9； γ_1——涵管外半径

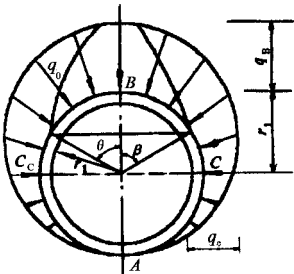
普氏坚固系数 f_{kp}	计算图式及计算公式	符 号 意 义
$f_{kp} > 2.0$	由于涵洞边墙不产生主动土压力 ,因此卸力拱的跨长等于涵洞跨径 : $\overline{h}_0 = \frac{a}{f_{kp}} \quad (3-73)$ $q_B = \gamma \overline{h}_0 \quad (3-74)$ 垂直土压力合力 : $G_B = \frac{4\gamma}{3f_{kp}} a^2 \quad (3-75)$	a——涵洞跨径之半 ; 其余符号同上

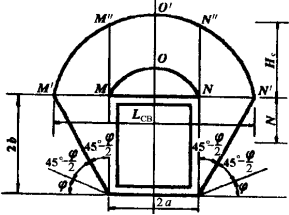
表 12-3-9 普氏坚固系数

土 壤 种 类		f_{kp}	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	$\varphi(^{\circ})$
普通土壤	软板岩、软石灰石、冻结的土壤、普通泥灰石、破坏的砂岩、灰质卵石及粗卵石、多石的土壤	2.0	24	65
	碎石土壤破坏的板岩、变坏的卵石及碎石 ,变硬的粘土	1.5	18~20	60
	密实的土壤 ($f_{kp} = 1.0 \sim 1.4$) 密实粘土、含有石块的土壤	1.0	18	45
	轻质粘土、黄土	0.8	16	40
松软土壤	密实的砂、净小卵石	0.7	15	35
	有机土、轻质砂质垆姆、湿砂	0.6	15	30
不稳定土壤	砂、小卵石、新堆积土	0.5	17	27
	流砂、泥泞的土壤	0.3	15~18	9

四、涵洞两侧土压力计算

表 12-3-10 涵洞两侧土压力计算

项目	计算图式与计算公式	符 号 意 义
隧洞式圆形涵洞侧向土压力	隧洞式圆形涵洞的侧向土压力一般不单独计算 ,而将土壤的垂直压力和侧压力合并考虑 ,并采用卸力拱理论。  隧洞式圆涵洞土压力计算图式	

项目	计算图式与计算公式	符 号 意 义
隧洞式圆涵洞侧向土压力	$\overline{h}_0 = \frac{D}{2} \left(\frac{\sin \beta}{f_{\text{KP}}} - 1 + \cos \beta \right) \quad (3-76)$$\cos \beta = \frac{3f_{\text{KP}}}{4} \quad (3-77)$作用于圆涵洞上各点的土压力 q_θ 可按 θ 值的不同按下式计算：$q_\theta = \gamma \overline{h}_0 + \gamma_1 (1 - \cos \theta) \cos \frac{\theta}{2} \quad (3-78)$当 $\theta = 0$,即涵管顶点 B 处：$q_B = [q_\theta]_{\theta=0} = \gamma \overline{h}_0 \quad (3-79)$当 $\theta = \frac{\pi}{2}$,即在涵管腹 C 点处：$q_c = [q_\theta]_{\theta=\frac{\pi}{2}} = \gamma (h_0 + r_1) \lg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3-80)$当 $\theta = \pi$,即在涵管底部 A 点处：$q_A = [q_\theta]_{\theta=\pi} = 0 \quad (3-81)$	β——为卸力拱跨径中心含角之半； D——圆涵的外径； $\overline{h}_0$——卸力拱矢高； θ——自垂直直径上端算起的极角； γ_1——涵洞外半径； n——参变数 ,为土内摩擦角的函数。
具有垂直边墙的涵洞侧向土压力计算	应按卸力拱理论计算。 在下面图示中 ,抛物线 $M'O'N'$ 以内土体积(单位长度)按破棱体理论计算：  按卸力拱计算侧压力图 $V' = \frac{2}{3} L_{CB} \cdot H_C = \frac{1}{3} \frac{L_{CB}^2}{f_{\text{KP}}} = \frac{1}{3f_{\text{KP}}} \left[2a + 4b \times \lg \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 \quad (3-82)$在抛物线 MON 及 $M'O'N'$ 之间的土体积按破棱体理论计算：$V = V' - \frac{(2a)^2}{3f_{\text{KP}}} = \frac{8b}{3f_{\text{KP}}} \lg \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \times \left[2a + 2b \lg \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (3-83)$假设体积 V 的土壤压力作用在破棱体顶面 MM' 及 NN' 的宽度上 ,而成为均布超载的形式。单位宽度上的超载 q_s 为：$q_s = \frac{\gamma V}{4b \lg \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)} = \frac{2\gamma \left[2a + 2b \lg \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]}{3f_{\text{KP}}} \quad (3-84)$距涵洞顶点为 Z 处的土侧压力 q_σ 为：$q_\sigma = q_s \lg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) + \gamma Z \lg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$	f_{KP}——普氏土壤坚固系数 ,见表 12 - 3 - 9 ； φ——土的内摩擦角； b——涵洞高度之半； a——涵洞高度之半； γ——土壤容重

项目	计算图式与计算公式	符 号 意 义
具有垂直边墙的涵洞侧向土压力计算	$= \gamma t g^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \left\{ \frac{2}{3 f_{KP}} \left[2a + 2 b t g(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \right] + Z \right\}$ (3-85)	
	作用于涵洞垂直边墙上的总压力 E_σ 为： $E_\sigma = 2 \gamma b t g^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \left\{ \frac{2}{3 f_{KP}} \left[2a + 2 b t g(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \right] + b \right\}$ (3-86)	

表 12-3-11 圆涵土压力分布

θ	30°	60°	120°	150°
$\cos \theta$	0.866	0.50	-0.50	0.866
$\cos \frac{\theta}{2}$	0.966	0.866	0.50	0.259
q_θ	5	4.8	0.6	0.3

五、后背(梁)计算

表 12-3-12

项 目			计 算 说 明
受力方式	顶进前		后背承受其后填土主动土压力作用(水平推力)
	顶进时	板桩式后背	桩后背水平抗力(被动土压力)承受全部千斤顶的顶力
		重力式后背	由结构自重与土的摩阻力及部分土的抗力承受千斤顶的顶力
后背梁设计	重力式后背		重力式后背按一般挡土墙设计 , 同时应考虑涵管顶进时的反力 , 并使被动土压力线与顶力作用线相一致
	板桩式后背		板桩式后背按顶端锚系板桩设计 , 注意应使千斤顶的着力点与墙后被动土压力的合力作用点一致 板桩设计时应先计算土压力 , 后计算板桩的入土深度 , 拉锚及板桩的强度和板桩墙在各施工阶段的稳定性 后背梁以按弹性地基有限长梁受局部对称荷载计算为宜

第四章 隧道工程施工计算

第一节 隧道风、水、电作业及通风

一、压缩空气供应

表 12－4－1 压缩空气计算

项目	计算步骤、方法及公式	符 号 意 义
空压 机站 的生 产能力	空压机的生产能力(或供风能力) Q 用下式计算： $Q=(1+K_{\text{备}})(\sum qK+q_{\text{漏}})k_m \quad (4-1)$ 其中： $q_{\text{漏}}=\alpha\sum L \quad (4-2)$	$K_{\text{备}}$ ——空压机的备用系数，一般取 75%~90%； $\sum q$ ——风动机具所需风量， m^3/min ； $q_{\text{漏}}$ ——管路及附件的漏耗损失； α ——每公里漏风量，平均为 1.5~2.0 m^3/min ； L ——管路总长， km ；
管 径 选 择	空压机生产的压缩空气压力一般在 0.7~0.8MPa。 为保证工作风压不小于 0.5MPa，则钢管终端的风压不得小于 0.6MPa，即钢管风压损失 Δp 不得超过 0.1~0.2MPa，据此选用钢管直径。 钢管的风压损失 Δp 为： $\Delta p=\lambda\frac{L}{d}\cdot\frac{V^2}{2g}\gamma\times10^{-6} \quad (4-3)$ 其中： $\gamma=\frac{\gamma_t(P+0.1)}{0.1} \quad (4-4)$ $r_t=12.9\times\frac{273}{273+t} \quad (4-5)$ 胶皮管是连接钢管与风动机具的，其压力损失较大，宜缩短长度，以保证工作风压大于等于 0.5MPa，胶皮风管压力损失值见表 12-4-6	K ——同时工作系数，见表 12-4-2； k_m ——空压机所处海拔高度对空压机生产能力的影响系数，见表 12-4-3； λ ——摩阻系数，见表 12-4-4； L ——钢管长度，包括配件当量长度，见表 12-4-5， m ； g ——重力加速度，采用 9.81 m/s^2 ； γ ——压缩空气的容重， N/m^3 ； γ_t ——温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时压缩空气的容重， N/m^3 ； Δp ——钢管的风压损失， MPa ； P ——空压机生产的压缩空气的压力， MPa ； V ——压缩空气在风管中的速度， m/s

表 12－4－2 同时工作系数

机具类型	凿 岩 机		装 渣 机		锻 钎 机	
同时工作台数	1～10	11～30	1～2	3～4	1～2	3～4
K	1.0～0.85	0.85～0.75	1.0～0.75	0.7～0.50	1.0～0.75	0.65～0.5

表 12－4－3 海拔高度影响系数 k_m

海拔高度(m)	0	305	610	914	1219	1524	1829
k_m	1.00	1.03	1.07	1.10	1.14	1.17	1.20
海拔高度(m)	2134	2438	2743	3048	3658	4572	
k_m	1.23	1.26	1.29	1.32	1.37	1.43	

表 12－4－4 风管摩阻系数 λ 值

风管内径 (mm)	λ	风管内径 (mm)	λ	风管内径 (mm)	λ	风管内径 (mm)	λ
50	0.0371	100	0.0298	150	0.0264	250	0.0234
75	0.0324	125	0.0282	200	0.0245	300	0.0221

表 12－4－5 配件折合成管路长度表

折合长度 (m) 配件名称	钢管内径 (mm)	25	50	75	100	150	200	300
球心阀		6.0	15.0	25.00	35.0	60.0	85.0	
闸门阀		0.3	0.7	1.1	1.5	2.5	3.5	6.0
丁字管		2.0	4.0	7.0	10.0	17.0	24.0	40.0
异径管		0.5	1.0	1.7	2.5	4.0	6.0	10.0
45°弯头		0.2	0.4	0.7	1.0	1.7	2.4	4.0
90°弯头		0.9	1.8	3.2	4.5	7.7	10.8	18.0
135°弯头		1.4	2.8	4.9	7.0	12.0	16.8	28.0
逆止阀			3.2		7.5	12.5	18.0	30.0

表 12－4－6 压缩空气通过胶皮风管的压力损失(MPa)

通风风量 (m ³ /min)	胶管内径 (mm)	胶管长度(m)					
		5	10	15	20	25	30
2.5	19	0.008	0.018	0.020	0.035	0.040	0.055
	25	0.004	0.008	0.013	0.017	0.021	0.030
3	19	0.010	0.020	0.030	0.050	0.060	0.075
	25	0.006	0.012	0.018	0.024	0.040	0.045
4	19	0.020	0.040	0.055	0.080	0.100	0.110
	25	0.010	0.025	0.040	0.050	0.060	0.075
10	50	0.002	0.004	0.006	0.007	0.010	0.015
20		0.010	0.020	0.035	0.050	0.055	0.065

二、施工供水

表 12－4－7 施工供水计算

项 目	计算步骤、方法及公式	符号意义
水池位置	水池位置至配水点的高差 H 可按下式计算： $H \geq 1.2h + ah_f \quad (4-6)$	H ——水池位置至配水点的高差 ,m
水池容积	利用高山自流供水 ,且水源流量大于用水高峰流量时 ,水池容量为 20 ~ 30m ³ 。 水源流量小于用水量时 ,则水池容积为： $V = 24\alpha_1 \alpha (Q_c + Q_s) \quad (4-7)$	h ——配水点要求水头 m ,如湿式凿岩需要水压为 0.3MPa ,则 $h = 30\text{m}$; α ——水头损失系数 , $\alpha = 1.05 \sim 1.10$; h_f ——管道内水头损失 m 见表 12-4-8、12-4-9 ; V ——水池容积 m ³ ;
水泵扬程	水泵的扬程 H 可用下式计算： $H = h' + ah_f \quad (4-8)$	α_1 ——调节系数 ,一般为 1.10 ~ 1.20 ; C ——贮水系数(为水池容量/昼夜用水量) ,昼夜用水量小于 1000m ³ 时 ,采用 1/4 ~ 1/6 ; 昼夜用水量在 1000 ~ 2000m ³ 时 ,采用 1/6 ~ 1/8 ; Q_c ——生产用水量 ,按经验估计 ,m ³ /h ; Q_s ——生活用水量 ,m ³ /h。按以下指标估算 ,生产工人平均 0.1 ~ 0.15m ³ /d ,非生产工人平均 0.08 ~ 0.12m ³ /d ; H ——水泵扬程 ; h' ——水池与水源之间的高差 m

表 12－4－8 给水铸铁管计算表

流量 (L/S)	管 径(mm)									
	75		100		150		200		250	
	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>
2	7.98	0.46	1.94	0.26						
4	28.4	0.93	6.69	0.52						
6	61.5	1.39	14.0	0.73	1.87	0.34				
8	109.0	1.86	23.9	1.04	3.14	0.46	0.765	0.26		
10	171.0	2.33	36.5	1.30	4.69	0.57	1.13	0.32		
12	246.0	2.76	52.6	1.56	6.55	0.69	1.58	0.39	0.529	0.25
14			71.6	1.82	8.71	0.80	2.08	0.45	0.695	0.29
16			93.5	2.08	11.1	0.92	2.64	0.51	0.886	0.33
18			118.0	2.34	13.9	1.03	3.28	0.58	1.09	0.37
20			146.0	2.60	16.9	1.15	3.97	0.64	1.32	0.41
22			177.0	2.86	20.2	1.26	4.73	0.71	1.57	0.45
24					24.1	1.38	5.56	0.77	1.83	0.49
26					28.3	1.49	6.64	0.84	2.12	0.53
28					32.8	1.61	7.38	0.90	2.42	0.57
30					37.7	1.72	8.4	0.96	2.75	0.62
32					42.8	1.84	9.46	1.03	3.09	0.66
34					48.4	1.95	10.6	1.09	3.45	0.70
36					54.2	2.06	11.8	1.16	3.83	0.74
38					60.4	2.18	13.0	1.22	4.23	0.78

注：*v* 为流量(m/s)；*i* 为压力损失(mm/m)。

表 12－4－9 给水钢管计算表

流量 (L/S)	管 径(mm)									
	25		40		50		70		80	
	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>
0.2	21.3	0.38								
0.4	74.8	0.75	8.96	0.32						
0.6	159	1.13	18.4	0.48						
0.8	279	1.51	31.4	0.64						
1.0	437	1.88	47.3	0.80	12.9	0.47	3.76	0.28	1.61	0.20
1.2	629	2.26	66.3	0.95	18	0.56	5.18	0.34	2.27	0.24

流量 (L/S)	管 径 (mm)									
	25		40		50		70		80	
	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>	<i>i</i>	<i>v</i>
1.4	856	2.64	88.4	1.11	23.7	0.66	6.83	0.40	2.97	0.28
1.6	1118	3.01	114	1.11	30.4	0.75	8.7	0.45	3.76	0.32
1.8			114	1.43	37.8	0.85	10.7	0.51	4.66	0.36
2.0			178	1.59	46	0.94	13	0.57	5.62	0.40
2.6			301	2.07	74.9	1.22	21	0.74	9.03	0.52
3.0			400	2.39	99.8	1.41	27.4	0.85	11.7	0.60
3.6			577	2.86	144	1.69	38.4	1. m	16.3	0.72
4.0					177	1.88	46.8	1.13	19.8	0.81
4.6					235	2.17	61.2	1.30	25.7	0.93
5.0					277	2.35	72.3	1.42	30	1.01
5.6					348	2.64	90.7	1.59	37	1.13
6.0					399	2.82	104	1.70	42.1	1.21

注：*v* 为流量(m/s)；*i* 为压力损失(mm/m)。

三、供电及照明

(一) 供电计算

表 12－4－10 供电计算表

项 目	计算步骤、方法及公式	符 号 意 义
施工总用电量估算	按同时考虑施工现场的动力和照明时，施工总用电量可按下式估算： $S_{总} = K(\frac{\sum p_1 \cdot k_1}{\eta \cdot \cos\phi} k_2 + \sum p_2 \cdot k_3) \quad (4-9)$ 按只考虑动力负荷时，总用电量可按下式估算： $S_{动} = \frac{\sum p_1}{\eta \cdot \cos\phi} \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (4-10)$ $S_{总} = (1.1 \sim 1.2) S_{动} \quad (4-11)$ 当使用大型用电设备(如掘进机)时，<i>k</i>₁可取 1.0 进行计算	<i>S</i>_总——施工总用电量，kVA； <i>K</i>——备用系数，一般取 1.05～1.10； $\sum p_1$——整个工地动力设备的额定输出功率的总和，kW； $\sum p_2$——整个工地照明用电量总和，kW； η——动力设备的平均功率，采用 0.83～0.88，常取 0.85 进行计算； $\cos\phi$——平均功率因数，采用 0.5～0.7； <i>k</i>₁——动力设备同时使用系数，见表 12－4－11； <i>k</i>₂——动力负荷系数，主要考虑不同类型设备带负荷工作时的情况，取 0.75～1.0；

项 目	计算步骤、方法及公式	符 号 意 义
变压器最大容量的计算	选择变压器 ,其容量应等于或略大于施工总用电量 ,且在使用过程中 ,一般使变压器承受的用电负荷达到额定容量的 60% 左右为佳。 配属电动机械的单台最大容量占总用电量的 1/5 及以下时 ,变压器最大容量 S_e 为 : $S_e = \frac{\sum p_1 \cdot k_1}{\eta \cdot \cos \phi} \quad (4-12)$ 配属电动机械的单台最大容量占总用电量的 1/5 以上时 ,变压器最大容量 S_e 为 : $S_e = 5 \frac{\sum p_1 \cdot k_1 \cdot \mu}{\eta \cdot \cos \phi} \quad (4-13)$ 根据以上计算 ,查表 12-4-13 可得配电变压器型号	k_3——照明设备同时使用系数 ,一般可取 0.6 ~ 0.9 ; $S_{动}$——现场动力设备所需的用电量 ; μ——配属机械中最大一台的容量与总用电量的比值 ; ΔU_1——按单相电路计算的电压降 ,V ; ΔU_3——按三相电路计算的电压降 ,V ; l——送电距离 ,m ; I——线路通过电流的强度 ,A ; I_i——经济电流密度 ,A/mm² ; S——导线截面积
导线选择计算	选用的导线断面应使末端电压降不超过额定电压的 10% 及国家对经济电流密度的规定 (表 12-4-12) 。线路电压降可按以下公式计算 : $\Delta U_1 = \frac{54 I l}{1000 I_i S} \quad (4-14)$ $\Delta U_3 = \frac{934 I l}{1000 I_i S} \quad (4-15)$ 根据计算出的导线截面 ,选择各种不同规格的导线	

表 12-4-11 同时用电系数表 k_1

通风机的同时用电系数	0.8 ~ 0.9	施工电动机械同时用电系数	0.65 ~ 0.75
------------	-----------	--------------	-------------

注 根据同时用电机械的台数选取 ,一般 10 台以下取低限 ,10 台以上取高限。

表 12-4-12 导线的经济电流密度 I_f (A/mm²)

铜 导 线	铝 导 线
1.40	0.9

表 12-4-13 常用电力变压器性能表

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压(kV)		损耗(W)		质量(kg)
		高压	低压	空载	短路	
SL ₇ - 30/10	30	6 丄 6.3 丄 10	0.4	150	800	317

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压(kV)		损耗(W)		质量(kg)
		高压	低压	空载	短路	
SL ₇ - 50/10	50	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	190	1150	480
SL ₇ - 63/10	63	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	220	1400	525
SL ₇ - 80/10	80	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	270	1650	590
SL ₇ - 100/10	100	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	320	2000	685
SL ₇ - 125/10	125	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	370	2450	790
SL ₇ - 160/10	160	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	460	2850	945
SL ₇ - 200/10	200	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	540	3400	1070
SL ₇ - 250/10	250	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	640	4000	1235
SL ₇ - 315/10	315	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	760	4800	1470
SL ₇ - 400/10	400	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	920	5800	1790
SL ₇ - 500/10	500	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	1080	6900	2050
SL ₇ - 630/10	630	6 Ⅺ.3 ⅰ10	0.4	1300	8100	2760
SL ₇ - 50/35	50	35	0.4	265	1250	830
SL ₇ - 100/35	100	35	0.4	370	2250	1090
SL ₇ - 125/35	125	35	0.4	420	2650	1300
SL ₇ - 160/35	160	35	0.4	470	3150	1465
SL ₇ - 200/35	200	35	0.4	550	3700	1695
SL ₇ - 280/35	280	35	0.4	640	4400	1890
SL ₇ - 315/35	315	35	0.4	760	5300	2185
SL ₇ - 400/35	400	35	0.4	920	6400	2510
SL ₇ - 500/35	500	35	0.4	1080	7700	2810
SL ₇ - 630/35	630	35	0.4	1300	9200	3225
SZL ₇ - 200/10	200	10	0.4	540	3400	1260
SZL ₇ - 250/10	250	10	0.4	640	4000	1450
SZL ₇ - 315/10	315	10	0.4	760	4800	1695
SZL ₇ - 400/10	400	10	0.4	920	5800	1975
SZL ₇ - 500/10	500	10	0.4	1080	6900	2200
SZL ₇ - 630/10	630	10	0.4	1400	8500	3140
S ₆ - 10/10	10	11	0.433	60	270	245
S ₆ - 30/10	30	11	0.4	125	600	140
S ₆ - 50/10	50	11	0.433	175	870	540
S ₆ - 80/10	80	6 ~ 0	0.4	250	1240	685
S ₆ - 100/10	100	6 ~ 10	0.4	300	1470	740

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压(kV)		损耗(W)		质量(kg)
		高压	低压	空载	短路	
S ₆ - 125/10	125	6 ~ 10	0.4	360	1720	855
S ₆ - 160/10	160	6 ~ 10	0.4	430	2100	600
S ₆ - 200/10	200	6 ~ 11	0.4	500	2500	1240
S ₆ - 250/10	250	6 ~ 10	0.4	600	2900	1330
S ₆ - 315/10	315	6 ~ 10	0.4	720	3450	1495
S ₆ - 400/10	400	6 ~ 10	0.4	870	4200	1750
S ₆ - 500/10	500	6 ~ 10.5	0.4	1030	4950	2330
S ₆ - 630/10	630	6 ~ 10	0.4	1250	5800	3080

(二)照明

表 12 - 4 - 14 普通光源施工照明布置

工 作 地 段	灯头距离(m)	悬挂高度(m)	灯泡容量(W)
施工作业面	不少于 15W/m ² (断面较大可适当采用投光灯)		
开挖地段和作业地段	4	2 ~ 2.5	60
运输巷道	5	2.5 ~ 3	60
特殊作业地段或不安全因素较多地段	2 ~ 3	3 ~ 5	100
成洞地段			
用白炽灯时	8 ~ 10	4 ~ 5	60
用日光灯时	20 ~ 30	4 ~ 5	40
竖井内	3		60

注 1. 在直线段灯头距离采用表中大数 ,曲线段采用较小数 ;
2. 在有水地段应用胶皮电线 ,工作面附近应用防水灯头。

表 12 - 4 - 15 新光源洞内外照明布置

工 作 地 段	照 明 布 置
开挖面后 40m 以内作业段	两侧用 36V500W 卤钨灯各 2 盏(或 300V 卤钨灯 7 盏 ,以不少于 2000W 为准) ,灯泡距离隧道底面高 4m
开挖面后 40 ~ 100m 区段	安设 2 盏 400W 高压钠灯和 2 盏 4.00W 钠铊铟灯 ,间距约 15m ,灯泡距隧道底面 5m
开挖面后的 100m 至成洞末端	每隔 40m ,左右侧各设计 400W 高压钠灯 1 盏
模板台车衬砌作业段	台车前台 10 ~ 15m ,增设 400W 高压钠灯各 1 盏 ,台车上亮度不足时 ,增设 36V300W 或 500W 卤钨灯
成洞地段	每隔 40m 安装 400W 高压钠灯 1 盏

工 作 地 段	照 明 布 置
斜井、竖井井身掌子面及喷混凝土作业面	使用 36V500W 或 36V300W 卤钨灯 ,已施工井身部分选用小功率为 110V 高压钠灯 ,间距 混合井 30m 安装 1 盏 ,主副井每 25m 安装 1 盏
洞外场地	每隔 200m 安装高压钠灯 1 盏

四、通风

(一)通风方式

表 12-4-16 机械通风方式分类、优缺点及适用条件

名 称		布 置 图 式	优缺点及适用条件
管道通风	压入式		能将新鲜空气直接输送至工作面 ,有利于工作面施工 ,但污浊空气将流经整个坑道 ,若采用大功率、大管径 ,其适用范围较广
	吸入式		新鲜风流沿巷道流入 ,污风由管道排出 ,其排烟速度慢 ,且易在工作面形成炮烟停滞区 ,故很少单独使用
	混合式		集压入式、吸入式优点于一身 ,但管路、风路等设施增多 ,在管径较小时可采用 ,若有大管径、大功率风机时 ,其经济性不如压入式
巷道通风			利用隧道本身和辅助坑道组成主风流和局部风流两个系统互相配合而达到目的 ,是解决长隧道施工通风的方案之一 ,其通风效果主要取决于通风管理的好坏

(二)通风计算

表 12-4-17 通风计算

项 目	计算方法及公式	符 号 意 义
风 量 计 算	1. 按洞内同时工作的最多人数计算风量： $Q = k \cdot m \cdot q \quad (4-16)$	Q ——所需风量 m^3/min ； k ——风量备用系数，常取 $k = 1.1 \sim 1.2$ ； m ——洞内同时工作的最多人数； q ——洞内每人每分钟需要新鲜空气量，通常按 m^3/min 计算；
	2. 按同时爆破的最多炸药计算风量： (1) 巷道式通风： $Q = 5Ab/t \quad (4-17)$	A ——同时爆破的炸药量 kg ； b —— 1kg 炸药折合成 CO 的体积，一般采用 $b = 40\text{L/kg}$ ； t ——爆破后的通风时间， min ；
	(2) 管道通风 ① 压入式通风 $Q = 7.8 \sqrt[3]{A \cdot S^2 \cdot L^2/t} \quad (4-18)$	S ——坑道断面面积 m^2 ； L ——坑道长度 m ；
	② 吸入式通风 $Q = 15 \sqrt{A \cdot S \cdot L_{\text{散}}/t} \quad (4-19)$	$L_{\text{散}}$ ——爆破后炮烟的扩散长度 m ；
	非电起爆： $L_{\text{散}} = 15 + A$ 电雷管起爆： $L_{\text{散}} = 15 + A/5$	$Q_{\text{混压}}$ ——压入风量 m^3/mm ； $Q_{\text{混吸}}$ ——吸入风量 m^3/mm ；
	③ 混合式通风： $Q_{\text{混压}} = 7.8 \sqrt[3]{A \cdot S^2 \cdot L_{\lambda\text{口}}^2/t} \quad (4-20)$	$L_{\lambda\text{口}}$ ——压入风口至工作面的距离，一般采用 25m 计算；
	$Q_{\text{混吸}} = 1.3 Q_{\text{混压}} \quad (4-20)$	n_i ——洞内同时使用内燃机作业的总 kW 数； N ——洞内同时使用内燃每 kW 所需的风量，一般取 m^3/min ；
	3. 按内燃机作业废气稀释的需要计算风量： $Q = n_1 N \quad (4-21)$	V ——洞内允许最小风速 m/s ，全断面开挖时为 0.15m/s ，其它为 0.25m/s ；
	4. 按洞内允许最小风速计算： $Q = 60VS \quad (4-22)$	$Q_{\text{供}}$ ——通风机的供风量 m^3/min ； $Q_{\text{计}}$ ——前述计算结果的最大值称计算风量 m^3/min ；
		P ——漏风系数，管道通风时，根据风管材料不同可分别由表 12-4-18、12-4-19、12-4-20 中查得，巷道式通风则常采用 $1.2 \sim 1.3$ ；
漏风计算	通风机的供风量 $Q_{\text{供}}$ 除满足上述计算的需要风量外，还应考虑漏风系数来计算： $Q_{\text{供}} = P \cdot Q_{\text{计}} \quad (4-23)$	$Q_{\text{高}}$ ——高山修正后的供风量 m^3/min ； $P_{\text{高}}$ ——高山地区大气压 kPa ，见表 12-4-21；
	对于长距离大流量供风，一般采用 PVC 塑料胶管，管径大于 1m 。 高山地区，由于大气压强降低，供风量必需进行风量修正： $Q_{\text{高}} = \frac{100}{P_{\text{高}}} Q_{\text{供}} \quad (4-24)$	$h_{\text{机}}$ ——通风机的风压 Pa ； $h_{\text{总阻}}$ ——风流受到的总阻力 Pa ； $h_{\text{摩}}$ ——气流经过各种断面的管道时产生的磨擦阻力 Pa ； $h_{\text{局}}$ ——气流经过断面变化，拐弯分岔等处分别产生的阻力 Pa ； $h_{\text{正}}$ ——巷道通风时受运输车辆阻塞而产生阻力 Pa ；
风 压 计 算	风压计算的目的是要确定通风机本身应具备多大的压力才能满足通风需要，即满足： $h_{\text{机}} \geq h_{\text{总阻}} \quad (4-25)$	λ ——达西系数； L ——风管长度 m ； d ——风管直径； g ——重力加速度 m/s^2 ； γ ——空气容重 N/m^3 ； α ——摩擦阻力系数 $\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$ 见表 12-4-22、12-4-23；
	1. 摩擦阻力 $h_{\text{摩}} = aLUQ^2/S^2 \quad (4-26)$	
	2. 局部阻力 $h_{\text{局}} = 0.612\zeta \frac{Q^2}{S^2} \quad (4-27)$	
	3. 正面阻力 $h_{\text{正}} = 0.612\varphi \frac{S_{\text{m}} \cdot Q^2}{(S - S_{\text{m}})^3} \quad (4-28)$	

项 目	计算方法及公式	符 号 意 义
通 风 机 选 择	通风机有轴流式和离心式两类 ,隧道施工通风中 主要采用轴流式通风机。选择时 ,按 $Q_{机} \geq 1.1 Q_{供}$ (1.1 为风量储备系数)及 $h_{机} \geq p \sum h(\sum h = \sum h_{摩}$ $+ \sum h_{局} + \sum h_{正})$ 在通风机性能表中选择风机	ζ ——局部阻力系数 ,见表 12-4-24 ; φ ——正面阻力系数。当列车行走时 , $\varphi = 1.5$;斗车 停放时 , $\varphi = 0.5$,斗车停放间距超过 1m 时则 逐辆相加 ; S_m ——阻塞物最大迎风面积 , m^2

表 12-4-18 胶皮风管漏风系数

风管延长(m)	50	100	1.50	200	250	300	400	500
漏风系数 P	1.04	1.08	1.11	1.14	1.16	1.19	1.25	1.30

表 12-4-19 聚氯乙烯塑料风管漏风系数

风管延长(m) 风管直径(m)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0.5	1.019	1.045	1.091	1.145	1.157	1.230	1.280			
0.6	1.014	1.036	1.071	1.112	1.130	1.180	1.201	1.330		
0.7	1.010	1.028	1.053	1.060	1.108	1.145	1.188	1.237	1.288	1.345
0.8	1.008	1.022	1.040	1.067	1.090	1.126	1.153	1.195	1.229	1.251

表 12-4-20 金属风管漏风系数

风管长 (m)	风管每节为 3m 及下列直径(m)时的漏风系数			风管每节为 4m 及下列直径(m)时的漏风系数		
	0.5	0.7	0.8	0.5	0.7	0.8
100	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.008
	1.09	1.04	1.03	1.06	1.03	1.02
200	1.08	1.05	1.03	1.06	1.02	1.02
	1.27	1.16	1.16	1.19	1.11	1.06
300	1.16	1.09	1.06	1.10	1.06	1.04
	1.51	1.29	1.18	1.37	1.22	1.12
400	1.25	1.15	1.10	1.16	1.10	1.06
	1.82	1.46	1.32	1.61	1.34	1.23
500	1.36	1.21	1.14	1.25	1.14	1.08
	2.25	1.62	1.45	1.88	1.51	1.32

风管长 (m)	风管每节为 3m 及下列直径(m)时的漏风系数			风管每节为 4m 及下列直径(m)时的漏风系数		
	0.5	0.7	0.8	0.5	0.7	0.8
600	1.49	1.28	1.19	1.27	1.18	1.12
	2.76	1.93	1.57	2.22	1.66	1.45
700	1.63	1.36	1.27	1.48	1.28	1.16
	3.44	2.20	1.79	2.60	1.85	1.56
800		1.45	1.33		1.30	1.22
		2.63	2.05		2.13	1.74
900		1.54	1.36		1.39	1.25
		2.89	2.25		2.28	1.87
1000		1.66	1.50		1.46	1.28
		3.42	2.52		2.62	2.07

注 表中同格内上行值为风管接头用橡皮或油封垫密封 ,螺栓完全拧紧。下行值为风管接头用马粪纸或麻绳密封 ,螺栓完全拧紧。

表 12－4－21 海拔高度与大气压 $P_{\text{高}}$ 的关系

海拔高度(m)	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
大气压强(kPa)	82.9	77.9	73.2	68.8	64.6	60.8	57.0	53.6

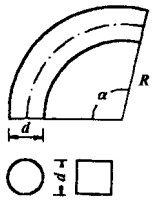
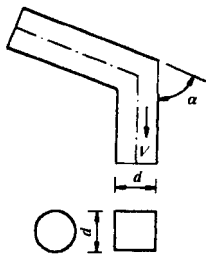
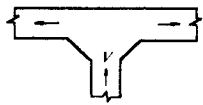
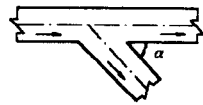
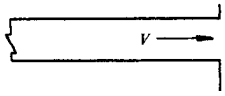
表 12－4－22 管道摩擦阻力系数表

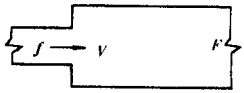
风管	直径(mm)	α	浸 胶 风 管			
			雷诺数 R_e	α	雷诺数 R_e	α
金属管	500	0.0035	1×10^5	0.0096	6×10^5	0.0035
	600	0.0032	2×10^5	0.0063	7×10^5	0.0032
	700	0.0030	3×10^5	0.0051	8×10^5	0.0030
	800	0.0025	4×10^5	0.0042	9×10^5	0.0029
塑料管	500	0.0016	5×10^5	0.0038	10×10^5	0.0029
	600	0.0015	注 : $R_e = \frac{Q}{1.201} \times 10^5$ Q ——风量 , m^3/s ; D ——风管直径 , m			
	700	0.0013				
	800	0.0013				

表 12－4－23 巷道摩擦阻力系数表

巷道特征	α 值	巷道特征	α 值
混凝土衬砌成洞地段	0.004 ~ 0.005	拱部扩大已完成 ,无支撑地段	0.012 ~ 0.016
块石砌筑成洞地段	0.006 ~ 0.008	导坑 ,无支撑地段	0.016 ~ 0.020
砌拱已完成马口开挖地段	0.01 ~ 0.012	导坑无支撑 ,有中间立柱地段	0.020 ~ 0.025
拱部扩大已完成 ,有扇形支撑地段	0.02 ~ 0.03	导坑 ,有支撑 ,有中间立柱地段	0.030 ~ 0.040

表 12－4－24 局部阻力系数表

管(巷)道形成	阻力系数 ζ					
	α	30°	45°	60°	90°	120°
	R/d					
	1.5	0.08	0.11	0.14	0.175	0.20
	2.0	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17
	α	10°	20°	30°	40°	50°
	ζ	0.018	0.070	0.164	0.359	0.494
	α	60°	70°	80°	90°	100°
	ζ	0.654	0.818	1.145	1.471	1.800
	α	110°	120°	130°	150°	170°
	ζ	2.130	2.620	2.845	3.600	5.070
	如果为圆形则需除以 1.22					
	$\zeta = 1.5$					
	$\alpha = 45^\circ \sim 60^\circ$ $\zeta = 1.5$					
	$\zeta = 1.0$					

管(巷)道形成	阻力系数 ζ				
	f/F 面积比	0.2	0.4	0.5	0.8
	ζ	0.64	0.36	0.25	0.04
断面变化地点			ζ		
由洞口进入成洞			0.6		
由成洞进入扩大及下导坑 扩大至上导坑			0.46		
由上导坑进入漏斗孔			0.77		
由漏斗孔进入导坑			2.00		
导坑单道断面进入双道断面			1.70		
导坑双道断面进入单道断面			1.00		
由平导进入通风洞			0.50		

第二节 隧道衬砌

一、临时支撑

表 12-4-25 钢支撑计算

项目	计算方法及公式	符号意义
早期 松 弛 荷 载	早期松弛荷载可采用折算荷载计算,按下式计算:	q' ——钢拱承受的早期松弛荷载;
	$q' = \mu q \quad (4-29)$	q ——围岩松弛荷载;
	深埋隧道:	S ——围岩类别;
	$q = 0.45 \times 2^{6-S} \cdot \gamma \cdot \omega$	γ ——围岩容量 kN/m^3 ;
	$\omega = 1 + i(B-5)$	B ——坑道宽度 m ;
	浅埋隧道:	ω ——宽度影响系数,
	埋深 $H \leq h_q$ 时	i —— B 每增减 1m 时围岩压力增减率。当
	$q = rH$	$B < 5\text{m}$ 时,取 $i = 0.2$; $B = 5 \sim 15\text{m}$
	埋深 $h_q < H < H_p$ 时	时,取 $i = 0.1$;
	$q = \gamma H \left(1 - \frac{H}{B} \lambda \lg \theta \right)$	H ——埋深 m ;
除以上方法计算早期松弛荷载外,以往多采用泰沙基松		h_q ——等效荷载高度 m ;
弛荷载进行计算,见表 12-4-27		H_p ——深浅埋隧道分界深度 m ; $H_9 = (2 \sim 2.5)h_q$;

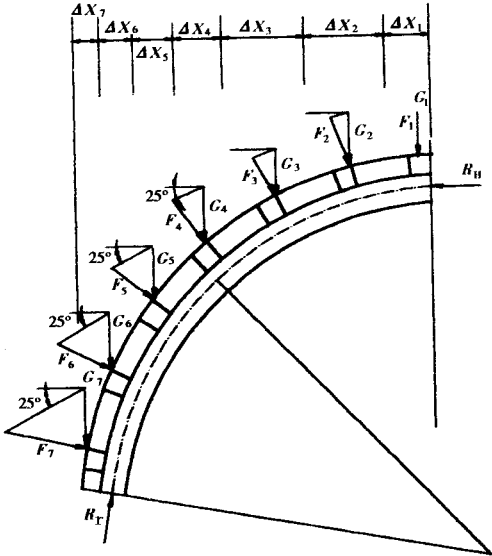
项目	计算方法及公式	符号意义
轴 力 计 算	一般认为支撑上的荷载是通过支撑与围岩间的楔块来传递 楔点间距约为 0.8 ~ 1.2m ,各楔点间的土柱重量为 : $G_i = \Delta x_i \cdot \gamma \cdot H_p \quad (4-30)$ 将各楔点的 G_i 分解为楔点轴线方向的分力 T_i 和垂直于支撑轴线的分力 F_i。此时若切线方向的角度 θ 大于 25° ,都以 25° 计算 ,用图解法求最大轴力 T 	λ——侧压力系数 见表 12-4-26 ; μ——钢拱架的荷载系数 ,一般取 0.1 ~ 0.4 ,临时支撑取大值 ; Δx_i——各楔块中点间的水平距离 ,m ; H_p——松弛荷载高度 ,m ; G_i——各楔点间的土柱重量 ; $M_{\max}$——最大弯矩 ; T——最大轴力 ; h——推力线与支撑轴线的最大偏心距离 ,m ; R——支撑中心线的半径 ,m ; l——楔点间的长度 ,m ; σ——支撑的应力 ; A——支撑断面积 ,cm^2 ; W——支撑的抗弯截面模量 ,cm^3
应 力 计 算	考虑各楔点间由于支撑轴力与推力线偏移而产生弯矩 ,其最大弯矩由下式求得 : $M_{\max} = 0.86 Th \quad (4-31)$ $h = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} \quad (4-32)$ 支撑的合力 σ 为 : $\sigma = \frac{T}{A} \pm \frac{M_{\max}}{W} \quad (4-33)$	a——支撑间距 ; σ_s——支撑的容许应力
支 撑 间 距 及 断 面 尺 寸	支撑间距可用下式计算 : $a = \frac{\sigma_s}{\sigma}$ 支撑间距从安全出发应小于 120cm ,最大不超过 150cm ,表 12-4-28 列出了 H 型钢拱架的支撑断面尺寸和间距	

表 12－4－26 侧压力系数 λ

围岩类别	Ⅵ～Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
λ	0	0～1/6	1/6～1/3	1/3～1/2	1/2～1

表 12－4－27 泰沙基松弛荷载高度 H_g

类别	围岩的状态	$H_g(\text{m})$	建议的支撑形式
一	坚硬未受侵蚀的岩体	0	有掉石及岩爆时需简易支撑
二	坚硬层状或片状岩体	0～0.5B	荷载随地点的不同而作不规则变化,采用简易支撑
三	大块状岩体,节理一般	0～0.25B	
四	一般块状岩体,有裂隙	(0.25～0.35)(B+H)	无侧压,简易支撑
五	碎块状岩体,裂隙较多	(0.35～1.10)(B+H)	无侧压或侧压很少,普通支撑
六	破碎严重,但未受化学侵蚀的岩体	1.1(B+H)	有相当侧压,建议采用圆形支撑,当漏水使隧道下部软化时,须在支撑下面设全面的基础
七	有缓慢挤出现象,中等埋深的岩体	(1.10～2.10)(B+H)	有较大侧压,及相当底压,宜采用圆形支撑,建议设底撑封闭
八	有缓慢挤出现象,埋深很大的岩体	(2.10～4.50)(B+H)	
九	膨胀性地质条件	与(B+H)无关,超过80m	膨胀压力大,须采用封闭圆形支撑,膨胀显著,宜采用可缩式圆形支撑

注 ①此表适用于在埋深大于 1.5(B+H)时计算作用在钢支撑拱上松弛荷载高度,其中 B、H 分别为隧道开挖断面的跨度和高度;
②此表各值均在隧道顶部处于地下水位以下时适用,但当隧道顶部永久处于地下水位以上时,表中四～六可减 50%;
③荷载大小可按式 $g=rH_g$ 计算,r 为岩体容重。

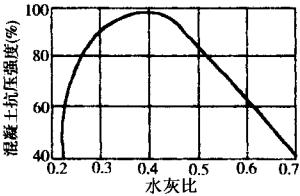
表 12－4－28 钢支撑的规格及架设间距

坑道断面宽度(m)	土压大小	岩质特别良好的情况(Ⅵ～Ⅴ类)		预料多少有点土压的情况(Ⅳ～Ⅲ类)	
		形状、规格	间距(m)	形状、规格	间距(m)
3		H－100×100(17kg/m)	1.5	H－125×125(24kg/m)	1.5
5		H－100×100(17kg/m)	1.5	H－125×125(24kg/m)	1.5
10		H－150×150(32kg/m)	1.5	H－175×175(24kg/m)	1.2

坑道断面宽度(m)	土压大小	预料有一定土压的情况(Ⅳ ~ Ⅲ类)		预料有很大土压的情况(Ⅲ ~ Ⅳ类)	
		形状、规格	间距(m)	形状、规格	间距(m)
3		H - 125 × 125(24kg/m)	1.2	H - 125 × 125(24kg/m)	1.0
5		H - 125 × 125(24kg/m)	1.2	H - 150 × 150(32kg/m)	1.0
10		H - 200 × 200(50kg/m)	1.0	H - 250 × 250(72kg/m)	1.0

二、喷射混凝土配合比设计

表 12 - 4 - 29 喷射混凝土配合比设计

项目	计算方法及公式	符 号 意 义
胶骨比	喷射混凝土的胶骨比常为 1:4 ~ 1:4.5 ,水泥过少回弹量大 ,初期强度增长慢 ;水泥过多 ,不仅粉尘量增多 ,且收缩量增大 ,混凝土收缩与其配合比之间关系如下 : $\frac{S_p}{S_c} = 1 + \beta \frac{V_g}{V_p} \qquad (4-34)$ 当水泥用量超过 400kg/m³ ,喷射混凝土强度并不随水泥用量增大而提高 ,见表 12 - 4 - 30。	S_p、S_c——水泥石及混凝土的收缩变形 ; V_g——骨料的体积 ; V_p——水泥的体积 ; β——与水泥比、骨料粒径及其它因素有关 的材料常数 $\beta = 1.5 \sim 3.1$
砂率	砂率对喷射混凝土施工性能及力学性能的影响 ,见表 12 - 4 - 31 权衡利弊 ,拌合料的砂率以 45 % ~ 55 % 为好	
水灰比	水灰比为 0.2 时 ,水泥不能获得足够的水分与其水化 ,硬化后有一部分未水化的水泥质点。 水灰比为 0.4 时 ,水泥有适宜的水份与其水化 ,硬化后形成致密的水泥石结构。 水泥比为 0.6 时 ,过量的多余水蒸发后 ,在水泥石中形成毛细孔。 经测定 ,适宜的水灰比值为 0.4 ~ 0.5。若偏离此范围 ,不仅降低喷射混凝土强度 ,也要增加回弹损失 ,如图 	

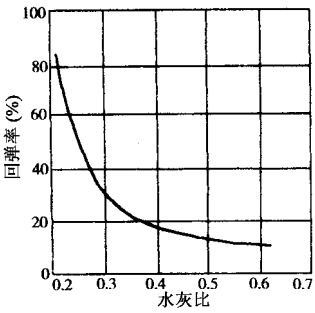
项目	计算方法及公式	符 号 意 义
水灰比		
速凝剂掺量	混凝土掺速凝剂后可增快早期强度 ,但会降低后期强度 ,掺量愈多 ,早期强度增长愈快 ,而后期强度损失也愈大 (掺量为 2% ~ 4% 时 ,则 R_{28} 降低达 30% ~ 40%),故需根据结构对混凝土早期强度和后期强度的要求 ,通过试验确定掺量。红星一型及 711 型速凝剂的掺量不应大于水泥重量的 4% ;782 号速凝剂的掺量不应大于水泥重量的 8%。 喷射混凝土一般配合比的选用可参见 12-4-32	

表 12-4-30 水泥用量对喷射混凝土抗压强度的影响

单位体积混凝土的材料用量(kg/m ³)						混凝土抗压强度 (MPa)	表观密度 (kg/m ³)
水泥		砂		石			
设计	实例	设计	实例	设计	实例		
380	526	950	883	950	810	31.4	2450
542	689	812	698	812	730	22.6	2370
692	708	692	716	692	644	19.0	2360

表 12-4-31 砂率对喷射混凝土性能的影响

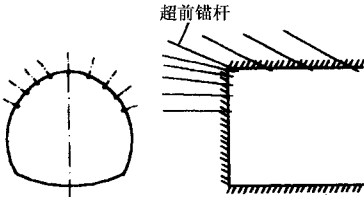
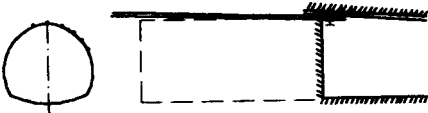
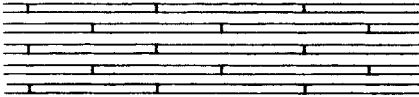
性 能	砂 率		
	< 45 %	> 55 %	45 % ~ 55 %
回弹损失	大	较小	较小
骨路堵塞	易	不易	不易
湿喷时的可泵性	不好	好	较好
水泥用量	少	多	较少
混凝土强度	高	低	较高
混凝土收缩	较小	大	较小

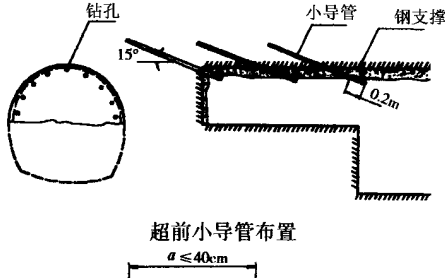
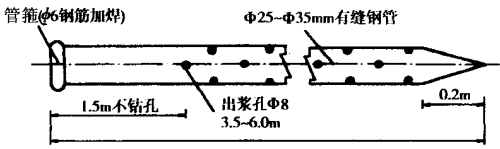
表 12－4－32 喷射混凝土的配合比

喷 射 部 位	配 合 比	
	水泥:中砂(粗中混合砂):石子	水泥:细砂:石子
侧壁	1:(2.0~2.5):(2.0~2.5)	1:2.0:(2.0~2.5)
拱顶	1:2.0:(1.5~2.0)	1:(1.5~2.0):(1.5~2.0)

三、开挖面的辅助稳定措施

表 12－4－33 辅助稳定措施形式、设计参数及适用条件

项目	构造组成、设计参数	性能特点及适用条件
超前锚杆	超前锚杆沿开挖轮廓线,以稍大的外插角,向开挖面前方安装锚杆,形成对前方围岩的预锚固,在提前形成围岩锚固圈的保护下进行开挖工作。  超前锚杆预锚固围岩 超前长度为循环进尺的3~5倍,为3~5m,环向间距为0.3~1.0m,外插角宜用10°~30°,搭接长度为超前长度的40%~60%,形成双层或双排锚杆,锚杆为大于等于Φ22全粘结式锚杆,尾端与系统钢筋网焊连	此类支护的柔性较大,整体刚度较小,虽与系统锚杆焊接以增强其整体性,但对围岩压力较大时,其后期支护刚度就有些不足。 适用于应力不太大,地下水较少的软弱破碎围岩的隧道工程中。如土砂质地层、弱膨胀性地层、流变性较小的地层、裂隙发育的岩体、断层破碎带以及浅埋无显著偏压的隧道
管棚	利用钢拱架与沿开挖轮廓线,以较小的外插角,向开挖面前方打入钢管或钢插板构成的棚架来形成对开挖面前方围岩的预支护。  棚管的环向布置 长棚管长度不宜小于10m,一般为10~45m,管径70~180mm,孔径比管径大20~30mm,环向间距0.2~0.8m,外插角1°~2°;两组管棚间的纵向搭接长度不小于1.5m,钢拱架常采用工字钢拱架或格栅钢架(设计第21章2.1),钢管接头纵向错开,每节长4~6m  管棚钢管纵向错接	管棚因采用钢管或钢插板作纵向预支撑,又采用钢拱架作环向支撑,其整体刚度加大,对围岩变形的限制能力较强,且能提前承受早期围岩压力。 主要适用于围岩压力来得快来得大、对围岩变形及地表下沉有较严格限制要求的软弱破碎围岩隧道工程中。此外,在一般无胶结的土及砂质围岩中,可采用插板封闭较为有效,在地下水较多时,则可利用钢管注浆堵水和加固围岩

项目	构造组成、设计参数	性能特点及适用条件
超前小导管注浆	开挖前,先用喷射混凝土将开挖面和 5m 范围内的坑道封闭,然后沿坑道周边向前方围岩内打入带孔小导管,并通过小导管向围岩压注起胶结作用浆液,待浆液硬化后,坑道周围岩体就形成了有一定厚度的加固圈  超前小导管布置 注浆半径及孔距选择  小导管全图 开挖面及 5m 范围内的坑道喷射 5 ~ 10cm 厚混凝土封闭。小导管直径为 $\Phi 32$ 或 $\Phi 40$ 无缝钢管,长为 3 ~ 6m,前端做成尖锥形,前端管壁上每隔 10 ~ 20cm 交叉钻孔,眼孔直径宜为 6 ~ 8mm,钻孔直径较管径大 20mm 以上,环向间距为 20 ~ 50cm,外插角为 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$,一般取 15°。 Ⅱ类围岩劈裂、压密注浆时采用单排管;Ⅰ类围岩或处理坍方时可采用双排管,地下水丰富的松软层可采用双排以上的多排管	浆液被压注到岩体裂隙中并硬化后,不仅将岩块或颗粒胶结为整体起到了加固作用,而且填塞了裂隙,阻隔了地上水向坑道渗流的通道,起到了堵水作用。 适用于一般软弱破碎围岩,也适用于地下水丰富的软弱破碎围岩
超前深孔围幕注浆	可超前开挖面 30 ~ 50m,形成有相当厚度和较长区段的筒状加固区,增强围岩的整体稳定性和产生较好的堵水效果。	渗透注浆:对于破碎岩层、砂卵石层、中、细、粉砂层等有一定渗透性的地层,采用中低压力将浆液压注到地层中的空穴、裂缝、孔隙里,凝固后将岩土或土颗粒胶结为整体。

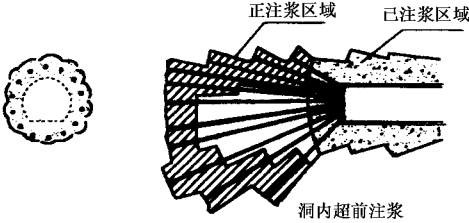
项目	构造组成、设计参数	性能特点及适用条件
超前深孔围幕注浆	 设计参数见表 12-4-34	劈裂注浆 对于颗粒更细的粘土质不透水 (浆) 地层,采用高压浆液强行挤压孔周,使粘土层劈裂成缝,并充塞凝结于其中,从而对粘土层起到挤压加固和增加高强度夹层加固作用。 适用于所有软弱破碎围岩的加固,更适用于有压地下水及地下水丰富的地层中,也更适用于采用大中型机械化施工

表 12-4-34 注浆计算

项目	计算方法及公式	符 号 意 义
注浆范围	注浆范围即加固区的大小,也就是围岩塑性破坏区的大小,可用弹塑性理论计算式确定: $R_0 - r_0 = r_0 \left\{ \left[\frac{2}{\xi + 1} \cdot \frac{\sigma_y (\xi - 1) + R_b}{R_b} \right]^{\frac{1}{\xi - 1}} - 1 \right\} \quad (4-35)$	R_0——塑性区域半径, m; r_0——隧道开挖半径, m; σ_y——初始压力, MPa; R_b——单轴抗压强度, MPa; ξ——系数为 $\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$; ϕ——内摩擦角 ($^\circ$); Q——注浆总数量, m^3; A——被加固围岩的体积, m^3; n——被加固围岩的孔隙率, %, 见表 12-4-35; a——过去实践证实了的充填率, %, 见表 12-4-35; m——钻孔数量; q——单孔平均注浆量
注浆数量	注浆数量可用下式计算: $Q = n \cdot a \cdot A \quad (4-36)$ 每孔注浆量可用下式计算: $q = Q / m \quad (4-37)$	

表 12-4-35 围岩孔隙率和注浆充填率

土质 注浆 目的 数值 项目		垆 垆	粘 土	粉 砂	砂				砂 砾			
		堵水加固			堵水			加固	堵水			
		范围值	标准值	范围值	标准值	范围值	标准值	范围值	标准值	范围值	标准值	范围值
孔隙率 (%)	范围值	65 ~ 75	50 ~ 70	40 ~ 60	46 ~ 50	40 ~ 48	30 ~ 40	46 ~ 50	40 ~ 48	40 ~ 60	28 ~ 40	22 ~ 40
	标准值	70	60	50	48	44	35	48	44	50	34	31

土质 注浆 目的 数值 项目	垆 垆	粘 土	粉 砂	砂					砂 砾		
	堵水加固			堵 水			加 固		堵 水		
	约 30	约 30	约 20	约 60	约 60	约 50	约 50	约 40	约 60	约 60	约 60
充填率 a (%)											

四、模筑衬砌混凝土配合比计算

(一)普通混凝土配合比计算

表 12－4－36 普通混凝土配合比设计步骤方法及计算

项目	计算步骤、方法及公式	符 号 意 义
计算要求的试配强度	混凝土试配强度根据设计的混凝土强度等级 ,按下式计算 : $f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (4-38)$ σ 的取值 ,如有近期混凝土强度的统计资料时 ,可按下式求得 : $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - N\mu_{fcu}^2}{N-1}} \quad (4-39)$ 当混凝土强度等级为 C20、C25 时 ,如计算得到的 $\sigma < 2.5\text{MPa}$,取 $\sigma = 2.5\text{MPa}$;当混凝土强度等级为 C30 及以上时 ,计算 $\sigma < 3.0\text{MPa}$,取 $\sigma = 3\text{MPa}$;如果施工单位无近期统计资料时 ,可按表 12－4－37 取值 ,计算试配强度用的标准差应取 3.0MPa	$f_{cu,0}$——混凝土的试配强度 ,MPa ; $f_{cu,k}$——设计的混凝土立方体抗压强度标准值 ,MPa ; σ——施工单位的混凝土强度标准差 ,MPa ; $f_{cu,i}$——第 i 组混凝土试件强度 ,MPa ; μ_{fcu}——N 组混凝土试件强度的平均值 ,MPa ; N——统计周期内相同砼强度等级的试件组数 ; $\frac{w}{c}$——混凝土所要求的水灰比 ; w——每立方米的用水量 ,kg ; c——每立方米混凝土的水泥用量 ,kg ; f_{ce}——水泥实际强度 ; $f_{ce,k}$——水泥标号的标准值 ; γ_c——水泥标号值的富余系数 ,一般取 $\gamma_c = 1.13$; m_{c0}——每立方米混凝土的水泥用量 ,kg/m³ ; m_{w0}——每立方米混凝土的用水量 ,kg/m³ ; m_{s0}——每立方米混凝土的细骨料用量 ,kg/m³ ; m_{g0}——每立方米混凝土的粗骨料用量 ,kg/m³ ; ρ_c——水泥的密度 ,kg/m³ ;一般取 $\rho_c = 2900 \sim 3100$; ρ_s——细骨料的表观密度 ,kg/m³ ; ρ_g——粗骨料的表观密度 ,kg/m³ ; ρ_w——水的密度 ,kg/m³ ,一般取 $\rho_w = 1000$;
计算要求的灰水比	根据试配强度 ,水泥标号及骨料种类按下式计算混凝土所需水灰比 : 对碎石混凝土 : $\frac{w}{c} = \frac{0.48f_{ce}}{f_{cu,0} + 0.250f_{ce}} \quad (4-40)$ 对卵石混凝土 : $\frac{w}{c} = \frac{0.50f_{ce}}{f_{cu,0} + 0.305f_{ce}} \quad (4-41)$ 无水泥实际强度数据时 ,f_{ce} 值可按下式确定 : $f_{ce} = \gamma_c f_{ce,k} \quad (4-42)$ 计算所得的混凝土水灰比应与规范所规定的范围 (表 12－4－38) 进行核对 ,如大于表中所规定的最大水灰比值时 ,应按表 12－4－38 取用	

项目	计算步骤、方法及公式	符 号 意 义
选用单位用水量	根据施工要求 ,按表 12－4－39 选取混凝土浇筑时的坍落度 ,然后再根据坍落度及骨料的品种、粒径选取单位体积混凝土的用水量 m_{w0} ,用水量一般可根据施工单位所用材料按经验选用或参照表 12－4－40 选用	α ——混凝土含气量百分数 ,% ,当不使用含气型外加剂时 ,取 $\alpha = 1$ β_s ——砂率 ,% m_{cp} ——混凝土拌合物的假定密度 ,kg/m ³ 。可根据施工单位累积的试验资料确定 ,如无资料时 ,可根据骨料的密度、粒径以及混凝土强度等级 ,在 2400 ~ 2450kg/m ³ 的范围内选取 ;
计算水泥用量	水泥用量可根据用水量和灰水比按下式计算 : $m_{co} = \frac{m_{wo}}{\frac{w}{c}} \quad (4-43)$ 计算所得的水泥用量如小于表 12－4－38 所规定的最小水泥用量时 ,则应按表 12－4－38 取用 ,混凝土的最大水泥用量不宜大于 550kg/m ³	
选取砂率	砂率为砂子的重量与砂石总量的百分比率。一般根据施工单位对所有材料的使用经验选用合理的数值。如无使用经验 ,可按骨料品种、规格及混凝土的灰水比在表 12－4－41 的范围内选用	
计算粗细骨料用量	有体积法和重量法两种计算方法 : 1. 体积法 系假定混凝土组成材料绝对体积的总和等于混凝土的体积 ,由下列方程来求得 : $\frac{m_{co}}{\rho_c} + \frac{m_{so}}{\rho_s} + \frac{m_{go}}{\rho_g} + \frac{m_{wo}}{\rho_w} + 0.01\alpha = 1 \quad (4-44)$ $\beta_s = \frac{m_{so}}{m_{so} + m_{go}} \times 100\% \quad (4-45)$ 2. 重量法 系先假定一个混凝土拌合物密度值 ,再根据各材料之间的重量关系 ,由下列方程求得 : $m_{co} + m_{so} + m_{go} + m_{wo} = m_{cp} \quad (4-46)$ $\beta_s = \frac{m_{so}}{m_{so} + m_{go}} \times 100\% \quad (4-47)$ 细、粗骨料用量按下式计算 : $m_{so} = (m_{so} + m_{go}) \times \beta_s \quad (4-48)$ $m_{go} = (m_{so} + m_{go}) - m_{so} \quad (4-49)$	
确定配合比	混凝土重量配合比为 : $m_{co} : m_{so} : m_{go} : m_{wo}$ 或 $1 : \frac{m_{so}}{m_{co}} : \frac{m_{go}}{m_{co}} : \frac{m_{wo}}{m_{co}}$ $\beta_s = \frac{m_{so}}{m_{so} + m_{go}} \times 100\% \quad (4-50)$	

项目	计算步骤、方法及公式	符 号 意 义
试配、 调整 并最 后确 定施 工配 合比	1. 试配 根据计算的配合比,用施工所用的原材料进行试配,检验其和易性、坍落度、密度和强度,对计算结果作适当的调整。如坍落度不符合要求,或粘聚性和保水性不好,可保持水灰比不变,增减水泥浆量(水及水泥用量)或调整砂率,或保持砂率不变,同时增加砂及石子用量,然后提出供混凝土强度试验用的基准配合比。混凝土强度试验时应至少采用三个不同的配合比,一个是基准配合比,另外两个配合比的水灰比宜较基准配合比分别增、减0.05,用水量相同,砂率分别增、减1%。每种配合比应至少制作一组(3块)试件,并应标准养护到28d时试压。	δ ——校正系数; $\rho_{c,实}$ ——混凝土表观密度实测值; $\rho_{c,计}$ ——混凝土表观密度计算值; m_{co} ——每立方米混凝土的水泥实用量,kg/m ³ ; m'_{so} ——每立方米混凝土的细骨料实用量,kg/m ³ ; m'_{go} ——每立方米混凝土的粗骨料实用量; m'_{wo} ——每立方米混凝土的水实用量,kg/m ³ ; $w_a\%$ ——细骨料的含水量; $w_b\%$ ——粗骨料的含水量 其它符号意义同前
	2. 配合比的确定 由试验得出的各灰水比及其相对应的混凝土强度关系,用作图法或计算法求出与混凝土配制强度 $f_{cu,o}$ 相对应的灰水比,并按下列原则确定每立方米混凝土的材料用量:	
	(1)用水量 m_{wo} ,取基准配合比中的用水量,并根据制作强度试件时测得的坍落度进行调整。	
	(2)水泥用量 m_{co} ,以用水量乘以选定的灰水比计算确定。	
	(3)粗骨料和细骨料用量(m_{go} 和 m_{so}),应取基准配合比中的粗、细骨料用量,并按选定的灰水比进行调整。	
	当配合比经试配确定后,应按下列步骤校正:	
	(1)根据上面确定的材料用量,按下式计算混凝土的表观密度计算值 $\rho_{c,计}$:	
	$\rho_{c,计} = m_{wo} + m_{co} + m_{so} + m_{go} \quad (4-51)$	
	(2)按下式计算混凝土配合比校正系数 δ :	
	$\delta = \rho_{c,实} / \rho_{c,计} \quad (4-52)$	
	当混凝土表观密度实测值与计算值之差的绝对值不超过计算值的2%时,则上述确定的配合比应为确定的设计配合比;当二者之差超过2%时,应将配合比中每项材料用量均乘以校正系数 δ 值,即为确定的混凝土设计配合比。	
	施工时再根据细、粗骨料含水率按下列公式计算确定配合比:	
	水泥: $m'_{co} = m_{co}$ (4-53)	
	细骨料: $m'_{so} = m_{so}(1 + w_a\%)$ (4-54)	
	粗骨料: $m'_{go} = m_{go}(1 + w_b\%)$ (4-55)	
	水: $m'_{wo} = m_{wo} - (m_{so} \times w_a\% + m_{go} \times w_b\%)$ (4-56)	

表 12－4－37 σ 取值表

混凝土强度等级	$\leq$ C15	C20 ~ C35	$\geq$ C40
σ (MPa)	4	5	6

表 12－4－38 混凝土的最大水灰比和最小水泥用量

环境条件		结构物类别	最大水灰比值			最小水泥用量(kg)		
			素混凝土	钢筋混凝土	预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土	预应力混凝土
环境干燥		正常的居住或办公用房屋内	不作规定	0.65	0.6	200	260	300
潮湿环境	无冻害	高湿度的室内 ;室外部件 ;在非侵蚀性土和(或)水中的部件	0.70	0.60	0.60	225	280	300
	有冻害	经受冻害的室外部件 ;在非侵蚀性土和(或)水中且经受冻害的部件 ;高湿度且经受冻害中的室内部件	0.55	0.55	0.55	250	280	300
有冻害和除冰剂的潮湿环境		经受冻害和除冰剂作用的室内和室外部件	0.50	0.50	0.50	300	300	300

注 :当用活性掺合料取代部分水泥时 ,表中的最大水灰比及最小水泥用量即为替代前的水灰比和水泥用量。

表 12－4－39 混凝土浇筑时的坍落度

项目	结构种类	坍 落 度(mm)
1	基础或地面等的垫层 ,无配筋的厚实结构(端墙、翼墙基础、厚大的块体、衬砌的封底等)或配筋稀疏的结构	10 ~ 30
2	路面、衬砌、板、大型及中型截面的柱子等	30 ~ 50
3	配筋密列结构(衬砌环、薄壁、细柱等)	50 ~ 70
4	配筋特密的结构	70 ~ 90

注 ①本表系指采用机械振捣的坍落度 ,采用人工捣实时可适当增大 ;

②需要配制大坍落度混凝土时 ,应掺用外加剂。

表 12－4－40 每立方米混凝土用水量参考表

粗细骨 料种类	石子最大粒径 (mm)	坍落度(cm)				
		0 ~ 1	1 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 7	7 ~ 9
碎石中砂	20	185	190	195	200	205
	40	175	180	185	190	195
	80	165	170	175	180	185
卵石中砂	20	175	180	185	190	195
	40	165	170	175	180	185
	80	155	160	165	170	175

注 ①使用细砂时用水量约需增 10L ;用粗砂时约减 10L ；
②使用级配较差的粗骨料或火山灰质水泥时需增加用水量 ；
③使用塑化剂时 ,用水量可酌减 10L。

表 12－4－41 混凝土砂率选用表(%)

水灰比 (w / c)	卵石最大粒径(mm)			碎石最大粒径(mm)		
	10	20	40	16	20	40
0.40	26 ~ 32	25 ~ 31	24 ~ 30	30 ~ 35	29 ~ 34	27 ~ 32
0.50	30 ~ 35	29 ~ 34	28 ~ 33	33 ~ 38	32 ~ 37	30 ~ 35
0.60	33 ~ 38	32 ~ 37	31 ~ 36	36 ~ 41	35 ~ 40	33 ~ 38
0.70	36 ~ 41	35 ~ 40	34 ~ 39	39 ~ 44	38 ~ 43	36 ~ 41

注 ①表中数值系中砂的选用砂率 ,对细砂或粗砂可相应地减少或增加砂率 ；
②本表适用于坍落度为 1 ~ 6cm 的混凝土 ,坍落度如大于 6cm 或小于 1cm 时 ,应相应地增加或减少砂率 ；
③只用一个单粒级粗骨料配制混凝土时 ,砂率值应适当增加 ；
④掺有各种外加剂或外掺混合料时 ,其合理砂率值经试验或参照其它有关规定选用 ；
⑤配制大流动性泵送混凝土时 ,砂率宜提高至 40% ~ 43%(中砂)为佳 ,对薄壁构件砂率取大值。

(二)掺粉煤灰混凝土配合比计算

表 12－4－42 掺粉煤灰混凝土配合比设计步骤、方法与计算

项目	计算步骤、方法与公式	符号意义
计算 试配 强度	根据式(4－38)计算混凝土的试配强度： $f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$ 计算方法同表 12－4－36 ,普通混凝土配合比计算	$f_{cu,0}$ ——混凝土的试配强度 ,MPa ； $f_{cu,k}$ ——设计的混凝土立方体抗压强度标准 值 ,MPa ； σ ——施工单位的混凝土强度标准差 ,MPa ；

项目	计算步骤、方法与公式	符号意义
进行普通混凝土基准配合比计算	按设计要求进行普通混凝土基准配合比的设计按式(4-40)式(4-41)式(4-42)计算水泥灰比； 查表 12-4-40 选取用水量； 由式(4-43)计算水泥用量； 查表 12-4-41 选取砂率； 由式(4-44)~式(4-49)计算粗、细骨料用量； 由式(4-50)确定基准混凝土配合比； 计算方法同表 12-4-36 普通混凝土配合比计算	m_c ——每立方米粉煤灰混凝土的水泥用量，kg； m_{co} ——每立方米基准混凝土的水泥用量，kg； β_c ——粉煤灰取代水泥百分率，%； m_f ——每立方米混凝土的粉煤灰掺入量，kg； δ_c ——超量系数； m_s ——每立方米混凝土中细骨料用量，kg/m ³ ；
选用粉煤灰取代水泥百分率	按混凝土强度等级及水泥品种由表 12-4-43 选用粉煤灰取代水泥百分率 β_c ，再按所选用的 β_c 由下式计算每立方米粉煤灰混凝土的水泥用量： $m_c = m_{co}(1 - \beta_c) \quad (4-57)$	m_{so} ——每立方米基准混凝土的细骨料用量，kg/m ³ ； ρ_c ——水泥的密度，kg/m ³ ，一般取 $\rho_c = (2.9 \sim 3.1) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ； ρ_f ——粉煤灰密度，kg/m ³ ； ρ_s ——细骨料的表观密度，kg/m ³ ；
选取粉煤灰超量系数	按表 12-4-44 选择粉煤灰超量系数 δ_c	m_{wo} ——每立方米基准混凝土的用水量，kg/m ³ ； m_w ——每立方米粉煤灰混凝土的用水量，kg/m ³ ；
计算粉煤灰掺入量	按超量系数 δ_c 由下式求出每立方米混凝土粉煤灰掺量 m_f ： $m_f = \delta_c(m_{co} - m_c) \quad (4-58)$	m_{go} ——每立方米基准混凝土的粗骨料用量，kg/m ³ ； m_g ——每立方米粉煤灰混凝土的粗骨料用量，kg/m ³
计算细骨料用量	计算出每立方米粉煤灰混凝土中水泥、粉煤灰和细骨料的绝对体积，求出粉煤灰超出水泥的体积，按粉煤灰超出的体积，并扣除同体积的细骨料用量，则有： $m_s = m_{so} - \left(\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_{co}}{\rho_c} \right) \rho_s \quad (4-59)$	
确定粉煤灰混凝土用水量	粉煤灰混凝土的用水量，按基准配合比的用水量取用，粗骨料也同样按基准配合比取用，即： $m_w = m_{wo} \quad (4-60)$ $m_g = m_{go} \quad (4-61)$	
试配和调整并确定施工配合比	根据计算的粉煤灰混凝土配合比，按普通混凝土相同方法，通过试配，在保证设计所需和易性的基础上，进行混凝土配合比的调整，根据调整后的配合比，提出现场施工用粉煤灰混凝土配合比	

表 12－4－43 粉煤灰取代水泥百分率 ρ_c

混凝土等级	普通硅酸盐水泥(%)	矿渣硅酸盐水泥(%)
C15 以下	15 ~ 25	10 ~ 20
C20	10 ~ 15	10
C25 ~ C30	15 ~ 20	10 ~ 15

注 ①以 425 号水泥配制成的混凝土取表中下限值 ;以 525 号水泥配制的混凝土取上限值。
②C20 以上的混凝土宜采用Ⅰ、Ⅱ级粉煤灰 ;C15 以下的混凝土可采用Ⅲ级粉煤灰。

表 12－4－44 超量系数表

项次	粉煤灰级别	超量系数 δ_c
1	Ⅰ	1.0 ~ 1.4
2	Ⅱ	1.2 ~ 1.7
3	Ⅲ	1.5 ~ 2.0

注 :C25 以上混凝土取下限 ,其他强度等级混凝土取上限。

(三)掺外加剂混凝土配合比计算

1. 掺外加剂混凝土配合比计算

表 12－4－45 掺外加剂混凝土配合比计算

项 次	项 目	计算步骤、方法及公式
1	掺加引气剂的普通混凝土	掺引气剂的普通混凝土配合比的计算方法与不掺引气剂的普通混凝土基本相同 ,所不同的是要考虑掺入引气剂后混凝土强度的降低和用水量的减少。不掺引气剂的普通混凝土的含气量一般为 1% ~ 2% ,混凝土中含气量每增加 1% ,混凝土的抗压强度相应下降 4% ~ 6% ,坍落度和单位水泥用量不变时 ,水灰比可减少 2% ~ 4% ,即单位用水量减少 3 ~ 6kg。 计算时可采用体积法或重量法进行。
2	掺加减水剂的普通混凝土	掺减水剂的普通混凝土 ,其配合比设计原则和计算方法与不掺减水剂的普通混凝土基本相同 ,所不同处是掺入减水剂后混凝土性能显著改善 ,在保持混凝土强度和坍落度不变的情况下 ,可节约水泥 5% ~ 10% ,降低用水量 10% ~ 15%。 计算时也可采用体积法或重量法进行

2. 混凝土初步配合比 ,如表 12－4－46 所示。

表 12－4－46 混凝土初步配合比

混凝土材料用量(kg/m ³)					砂率 (%)	水灰比 (w / c)	坍落度 (mm)	含气量 (%)
水泥 (425 号)	水	中砂	卵石 (40mm)	引气剂				
358	161	547	1276	0.072	30	0.45	50 ~ 70	5

3. 混凝土调整后配合比如表 12－4－47 所示。

表 12－4－47

混凝土材料用量(kg/m ³)					砂率 (%)	水灰比 (w / c)	坍落度 (mm)	含气量 (%)
水泥 (矿 425 号)	水	砂	碎石 (40mm)	MS－F				
324	162	589	1203	16.2	33	0.50	30～50	4

(四)抗掺混凝土配合比计算

表 12－4－48 抗掺混凝土配合比计算

项目	计算步骤、方法及公式	符号意义
设计原则	1. 设计必须满足抗压强度、抗渗性、适宜的施工和易性和经济性等基本条件。 2. 根据工程要求选择水泥品种及标号 ;水泥品种应满足混凝土抗渗性、耐久性及使用条件要求 ;水泥标号不宜小于 425 号 ,应满足强度要求。 3. 抗掺混凝土粗细骨料应优先采用当地砂、石材料 ,质量要求符合国家标准 ,满足工程要求	$\frac{w}{c}$ ——混凝土所要求的水灰比 ; W ——每立方米混凝土的用水量 ,kg ; c ——每立方米混凝土的水泥用量 ,kg ; m_{co} ——每立方米混凝土的水泥用量 ,kg/m ³ ; m_{so} ——每立方米混凝土的细骨料(砂)用量 ,kg/m ³ ; m_{go} ——每立方米混凝土的粗骨料(石子)的用量 ,kg/m ³ ; m_{sg} ——每立方米细、粗骨料(砂、石)混合重量 ,kg/m ³ ; m_{wo} ——每立方米水的重量 ,kg/m ³ ; ρ_c ——水泥的密度 ,t/m ³ ,一般取 2.9 ~ 3.1 ; ρ_s ——细骨料(砂)的表观密度 ,t/m ³ ; ρ_g ——粗骨料(石子)的表观密度 ,t/m ³ ; ρ_{sg} ——细、粗骨料(砂石)的混合密度 ,t/m ³ ; ρ_w ——水的密度 ,t/m ³
确定水灰比	水灰比主要依据抗渗要求和施工和易性 ,其次考虑强度要求。防水混凝土的水灰比参照表 12－4－49 选用	
选择用水量	用水量应根据结构条件(如结构截面大小、钢筋布置的密等)和施工方法(运输、浇捣方法等)综合考虑决定 ,一般拱圈坍落度为 3～4cm ,边墙为 2～3cm ,也可按表 12－4－50 选用	
计算水泥用量	水泥用量可根据用水量和水灰比按下式计算 : $m_{co} = \frac{m_{wo}}{\frac{w}{c}} \quad (4-62)$ 计算所得的水泥用量应满足表 12－4－38 和抗掺混凝土水泥用量不小于 320kg/m ³ 的要求	
选取砂率	抗掺混凝土的砂率除满足填充石子空隙并包裹石子外 ,还必须具有一定厚度的砂浆层 ,一般要求不小于 35% ,具体数值可根据砂的平均粒径和石子空隙率参考表 12－4－51 选用。 石子空隙率按下式计算 : $n_g = (1 - \frac{\rho_{gm}}{\rho_g}) \times 100\% \quad (4-63)$	

项目	计算步骤、方法及公式	符号意义
计算粗细骨料用量	抗渗混凝土一般用绝对体积法计算混凝土配合比。即假设混凝土组成材料绝对体积的总和等于混凝土的体积，从而得到以下方程式： $\frac{m_{co}}{\rho_c} + \frac{m_{wo}}{\rho_w} + \frac{m_{sg}}{\rho_{sg}} = 1000 \quad (4-64)$ 砂石混合密度： $\rho_{sg} = \rho_s \times \beta_s + \rho_g (1 - \beta_s) \quad (4-65)$ 砂石混合用量： $m_{sg} = \rho_{sg} \left(1000 - \frac{m_{wo}}{\rho_w} - \frac{m_{co}}{\rho_c} \right) \quad (4-66)$ 则砂石用量为： $m_{so} = m_{sg} \times \beta_s \quad (4-67)$ $m_{go} = m_{sg} - m_s \quad (4-68)$	β_s——砂率； n_g——石子的空隙率，%； ρ_{gm}——石子的质量密度 t/m^3； P_1——6个试件中4个未出现渗水时的最大水压值 MPa； P——设计要求的抗渗等级
确定配合比	混凝土重量配合比为： $\text{水泥}:\text{砂}:\text{石子} = m_{co}:m_{so}:m_{go} \quad (4-69)$ 或 $1:\frac{m_{so}}{m_{co}}:\frac{m_{go}}{m_{co}} \quad (4-70)$ 水灰比 = $\frac{w}{c}$	
试配与校正	按照初步配合比进行试拌，试拌结果若与工程要求不符，应按实际情况进行校正，调整比例，使达到工程的要求。 试配要求的抗渗水压值应比设计值提高 0.2 MPa。 试配时，应采用水灰比最大的配合比作抗渗试验，其试验结果应符合下式要求： $P_1 \geq \frac{P}{10} + 0.2 \quad (4-71)$	

注 掺外加剂的抗渗混凝土配合比计算可按表 12-4-36 或表 12-4-42 计算确定基准配合比，再按表 12-4-45 进行调整，最后确定施工配合比。

表 12-4-49 抗渗混凝土最大水灰比选择值

混凝土抗渗等级 (MPa)	混凝土强度等级	
	C20 ~ C30	C30 以上
P_6	0.60	0.55
$P_8 \sim P_{12}$	0.55	0.50
P_{12} 以上	0.50	0.45

注 ①混凝土抗渗等级是表示混凝土试块在渗透仪上作抗渗实验时，试块未发现渗水现象的最大水压值。例如 P_8 表示该试块能在 0.8MPa 的水压力下不出现渗水现象

②试块 P 值应比实际提高 0.2MPa。

表 12－4－50 混凝土拌和用水量参考表(kg/m³)

坍落度(mm)	砂 率(%)		
	35	40	45
10 ~ 30	175 ~ 185	185 ~ 195	195 ~ 205
30 ~ 50	180 ~ 190	190 ~ 200	200 ~ 210

注 ①表中石子粒径为 5 ~ 20mm ,若石子最大粒径为 40mm ,用水量应减少 5 ~ 10kg/m³。表中石子按卵石考虑 ,若为碎石应增加 5 ~ 10kg/m³。
②表中采用火山灰质水泥 ,若用普通水泥用水量可减少 5 ~ 10。

表 12－4－51 砂率选择参考数值

砂子平均粒径(mm)	石子空隙率(%)				
	30	35	40	45	50
0.30	35	35	35	35	36
0.35	35	35	35	36	37
0.40	35	35	36	37	38
0.45	35	36	37	38	39
0.50	36	37	38	39	40

注 本表是按石子粒径为 3 ~ 30mm 计算 ,若用 5 ~ 20mm 石子时 ,砂率可增加 2%。

第三节 隧道围岩分类

表 12－4－52 隧道围岩分类(一)

类别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态
	主要工程地质条件	结构特征和完整状态	
Ⅵ	硬质岩石(饱和抗压极限强度 $R_b > 60\text{MPa}$) ,受地质构造影响轻微 ,节理不发育 ,无软弱面(或夹层) ;层状岩层为厚层 ,层间结合良好	呈巨块状整体结构	围岩稳定、无坍塌 ,可能产生岩爆
Ⅴ	硬质岩石($R_b > 30\text{MPa}$) ,受地质构造影响较重 ,节理较发育 ,有少量软弱面(或夹层)和贯通微张节理 ,但其产状及组合关系不致产生滑动 ;层状岩层为中层或厚层 ,层间结合一般 ,很少有分离现象 ,或为硬质岩石偶夹软质岩石	呈大块状砌体结构	暴露时间长 ,可能会出现局部小坍塌 ;侧壁稳定 ,层间结合差的平缓岩层 ,顶板易塌落

类别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态
	主要工程地质条件	结构特征和完整状态	
V	软质岩石($R_b \approx 30\text{MPa}$),受地质构造影响轻微 ,节理不发育 ,层状岩层为厚层 ,层间结合良好	呈巨块状整体结构	
IV	硬质岩石($R_b > 30\text{MPa}$),受地质构造影响严重 ,节理发育 ,有层状软弱面(或夹层) ,但其产状及组合关系尚不致产生滑动 ,层状岩层为薄层或中层 ,层间结合差 ,多有分离现象 ,或为硬、软质岩石互层	呈块(石)碎(石)状镶嵌结构	拱部无支护时可产生小坍塌 ,侧壁基本稳定 ,爆破震动过大易塌
	软质岩石($R_b = 5 \sim 30\text{MPa}$),受地质构造影响严重 ,节理较发育 ,层状岩层为薄层、中层或厚层 ,层间结合一般	呈大块状砌体结构	
III	硬质岩石($R_b > 30\text{MPa}$),受地质构造影响很严重 ,节理很发育 ,层状软弱面(或夹层)已基本被破坏	呈碎石状压碎结构	拱部无支护时 ,可产生较大的坍塌 ,侧壁有时失去稳定
	软质岩石($R_b = 5 \sim 30\text{MPa}$),受地质构造影响严重 ,节理发育	呈块(石)碎(石)状镶嵌结构	
	(1)路具压密或成岩作用的粘性土及砂性土 (2)一般钙质、铁质胶结的碎、卵石土、大块石土 (3)黄土(Q_1 、 Q_2)	(1)呈大块状压密结构 (2)呈巨块状整体结构 (3)呈巨块状整体结构	
II	石质围岩位于挤压强烈的断裂带内 ,裂隙杂乱 ,呈石夹土或土夹石状	呈角(砾)碎(石)状松散结构	围岩易坍塌 ,处理不当会出现大坍塌 ,侧壁经常小坍塌 ,浅埋时易出现地表下沉(陷)或坍至地表
	一般第四系的半干硬 ~ 硬塑的粘性土及稍湿至潮湿的一般碎、卵石土 ,圆砾、角砾土及黄土(Q_3 、 Q_4)	非粘性土呈松散结构、粘性土及黄土呈松软结构	
I	石质围岩位于挤压极强烈的断裂带内 ,呈角砾、砂、泥松软体	呈松软结构	围岩极易坍塌变形 ,有水时土砂常与水一齐涌出 ;浅埋时易坍至地表
	软塑状粘性土及潮湿的粉细砂等	粘性土呈易蠕动的松软结构砂性土呈潮湿松散结构	

注 :表中“类别”和“围岩主要工程地质条件”栏 ,不包括特殊地质条件的围岩 ,如膨胀性盐岩、多年冻土等。

表 12－4－53 岩石等级划分

岩石等级		饱和抗压 极限强度 R_b (MPa)	耐风化能力		代表性岩石
			程度	现象	
硬质 岩石	极硬岩	> 60	强	暴露后 1～2 年 尚不易风化	(1)花岗岩、闪长岩、玄武岩等岩浆岩类 (2)硅质、铁质胶结的砾岩及砂岩、石灰 岩、白云岩等沉积岩类 (3)片麻岩、石英岩、大理岩、板岩、片岩等 变质岩类
	硬质岩	> 30			
软质 岩石	软质岩	5～30	弱	暴露后数日到 数月即出现风化 壳	(1)凝灰岩等喷出岩类 (2)泥砾岩、泥质砂岩、泥质页岩、灰质页 岩、泥灰岩、泥岩、劣质煤等沉积岩类 (3)云母片岩和千枚岩等变质岩类
	极软岩	≤5			

表 12－4－54 围岩受地质构造影响程度等级划分

等级	地质构造作用特征
轻微	围岩地质构造变动小,无断裂(层);层状岩一般呈单斜构造,节理不发育
较重	围岩地质构造变动较大,位于断裂(层)或褶曲轴的邻近地段,可有小断层,节理较发育
严重	围岩地质构造变动强烈,位于褶曲轴部或断裂影响带内,软岩多见扭曲及拖拉现象,节理发育
很严重	位于断裂破碎带内,节理很发育,岩体破碎呈碎石、角砾状,有的甚至呈粉末、土状

表 12－4－55 围岩节理(裂隙)发育程度划分

等级	基 本 特 征
节理不发育	节理或裂隙(1～2 组)规则,为原生型构造型,或多数间距 1m 以上,多为密闭,岩体呈巨块状
节理较发育	节理或裂隙(2～3 组)呈 X 型,较规则,以构造型为主,多数间距大于 0.4m,多为密闭,部分微张,少有充填物,岩体呈大块状
节理发育	节理或裂隙(3 组以上)不规则,呈 X 形或米字形,以构造型或风化型为主,多数间距小于 0.4m,大部分微张,部分张开,部分为粘性土充填,岩体呈块(石)碎(石)状
节理很发育	节理或裂隙(3 组以上)杂乱,以风化型和构造型为主,多数间距小于 0.2m,微张或张开,部分为粘性土充填,岩体呈碎石状

表 12－4－56 隧道围岩分类(二)

围岩类别 测试 参数指标	Ⅵ	Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
$RQD(\%)$	> 95	85 ~ 75	75 ~ 85	50 ~ 75	25 ~ 50	< 25
$V_p(\text{km/s})$	> 4.5	3.5 ~ 4.5	2.5 ~ 4.0	1.5 ~ 3.0	1.0 ~ 2.0	< 1.0 < 1.5(饱和状态的土)
I	0.8 ~ 1.0		0.6 ~ 0.8	0.4 ~ 0.6	0.2 ~ 0.4	< 0.2

注 锤击法采用低值 I 划分。

表 12－4－57 各类围岩的物理力学指标

围岩类别	密度 ρ (t/m^3)	弹性抗力 系数 K (MPa/m)	弹性模量 (静态) E (GPa)	泊松比 μ	计算摩擦角 $\phi(^{\circ})$	摩擦系数 (圬工与围岩) f
Ⅵ	2.6 ~ 2.8	1800 ~ 2800	> 50	0.10 ~ 0.15	> 78	0.6 ~ 0.7 (表面不光滑时)
Ⅴ	2.5 ~ 2.7	1200 ~ 1800	20 ~ 50	0.12 ~ 0.20	67 ~ 78	0.6 (表面不光滑时)
Ⅳ	2.3 ~ 2.5	500 ~ 1200	5 ~ 25	0.15 ~ 0.30	55 ~ 66	0.5 (表面不光滑时)
Ⅲ	1.9 ~ 2.2	200 ~ 500	2 ~ 10	0.20 ~ 0.35	43 ~ 54	0.3 ~ 0.5
Ⅱ	1.7 ~ 2.0	100 ~ 200	< 2	0.30 ~ 0.45	31 ~ 42	0.3 ~ 0.5
Ⅰ	1.5 ~ 1.7	< 100	< 1	0.35 ~ 0.50	≤ 30	≤ 0.25

注 ①表中密度 ρ ,对Ⅲ类围岩的老黄土采用 1.7~1.8 ,Ⅱ类围岩的新黄土采用 1.5。
②表中弹性抗力系数 K ,一般可参考下列情况取值：
(i)洞径在 10m 及以上的取较低值 ,在 10m 以下的取较高值；
(ii)裂隙发育的取较低值；
(iii)对受地下水作用强度降低的围岩和可能继续风化的围岩取较低值；
(iv)洞口、浅埋傍山隧道地段取低值。
③表列数值适用于洞径在 15m 及以下的隧道 ,不适用于黄土、冻土及其它特殊土(膨胀土等)隧道。
④表中摩擦系数 f ,对Ⅲ类围岩光滑的粘性土取用 0.3 ,砂类土取用 0.4 ,块、卵石取用 0.5 ;Ⅱ类围岩光滑的粘性土取用 0.3 ,砂性土取用 0.4 ,卵、砾石取用 0.5。