

普氏理论在人防洞室评价中的应用

方新圭

在城市的旧城改造中,常常在建筑物基础下碰到人防洞室。如何正确地对人防洞室进行分析、计算与评价,关系到对人防洞室处理的优劣和建筑物的安全使用。现在普遍应用的普氏平衡拱理论,属于松动围岩压力范畴,是苏联学者 MM 普罗托奇雅阔夫在 1909 年提出来的,它具有一定的经验模拟和理论基础,在我国地下工程建设中被广泛应用。本文通过一工程实例,应用普氏理论对地基中人防洞室进行荷载分析、计算,从中找出规律性的东西,并根据洞室的稳定状态提出合理的处理措施。

一、工程概况

某房地产公司开发建设的七层住宅楼,设计拟采用砖混结构,钢筋混凝土条形基础,基础埋深约 1.50m,基础荷重 200KN/m,基础宽度 1.20~1.50m,基底标高 10.50m。

二、场区工程地质条件

本场区原为平房,经拆迁开挖后,地形相对平坦,地貌类型属山前冲残积阶地,地层结构简单,主要有杂填土、粉质粘土及火成岩(闪长玢岩)组成。

第①层为杂填土层:厚度约 1.50m,以煤渣、砖块及生活垃圾为主。

第②层为粉质粘土层:厚度约

10.0m 左右,呈可塑~硬塑状态,湿~稍湿。其物理力学指标如下(表 1):

表 1

容重 γ (KN/m ³)	凝聚力 C (Kpa)	内摩擦角 ϕ (°)	压缩模量 E_s (MPa)	承载力标准 值 f_k (KPa)	普氏系数 I
20	50	22	10	230	1

第③层火成岩层:上部除 0.80m 左右强风化层外,主要为中~微风化火成岩,岩体较完整,裂隙稍发育,承载力标准值 $f_k=4200\text{Kpa}$ 。

本场地经综合勘察分析,其工程地质条件属简单型场地,中硬场地土,建筑场地类别为 II 类。

三、人防洞室评价

1、人防洞室的分布

为查清拟建场地地下人防洞室的分布情况,受建设单位委托,对防空洞工程进行专项勘察,并对其进行洞内测量。洞室平面位置如图所示(见图 1)。洞室测量资料统计见表 2。

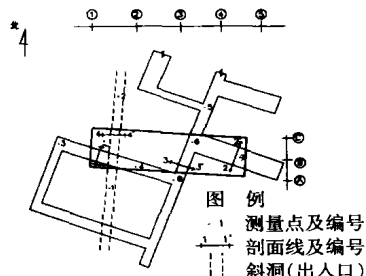


图 1 洞室平面示意图

洞室测量资料统计表

表 2

观测点	1	2	3	4	5	6	7	8
洞高(m)	2.80	2.80	3.20	2.80	2.60	3.00	3.00	3.00
洞宽(m)	2.50	2.50	3.00	3.00	2.50	2.50	5.00	2.50
洞底标高(m)	7.15	7.10	-5.29	-5.93	-6.01	-6.02	-5.44	-6.03

2、洞室特征

洞室主要位于粉质粘土内,局部地段位于火成岩岩体内,洞室未作衬砌,洞内干燥无水。洞室高约 2.60~3.20m,洞宽 2.50~5.00m;洞底标高 -6.03~7.15m,由南向北、由东向西逐渐升高。图中虚线为斜洞(出入口),南高北低。洞室形态详见图 2。

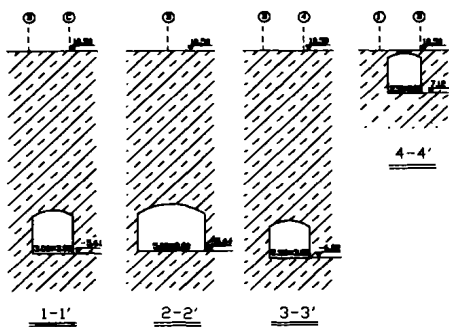


图 2 洞室剖面图(1:100)

3、普氏卸荷拱理论

普氏认为,洞室开挖后在无支护情况下,洞室周围岩土体应力状态发生变化,拱顶各点发生位移,并最终达到新的平衡状态。这种无支

护条件下自身处于稳定状态的塌落拱称为卸荷拱(自然平衡拱),如图3中的CGD弧线即为压力拱,作用洞室的土压力仅为卸荷拱内土体的重量。

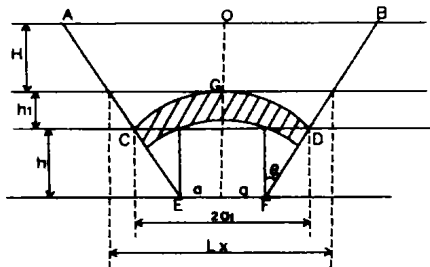


图3 卸荷拱平面图

图中:

H——覆盖层厚度(m);

h₁——卸荷拱高度(m);

h——洞室高度(m);

EF=2a——洞室宽度(m);

L_x——卸荷拱平均跨度(m);

θ——按挡土墙理论,侧面土体破裂面与垂直轴夹角,一般为(45°-Φ/2);

Φ——土的内摩擦角(°)。

4、洞室的卸荷拱及承载力计算

(1)选取1—1'剖面进行计算:

已知该处洞室高3.00m,洞宽3.00m,覆盖层厚度H=13.11m,土的内摩擦角Φ=22°。

①计算卸荷拱高度h₁:

$$h_1 = a_1/f = [a + htg(45^\circ - \Phi/2)]/f$$

f为普氏系数,一般对较坚硬的粘性土取f=1

$$h_1 = [1.50 + 3.00tg(45^\circ - 22^\circ/2)]/1 = 3.52$$

$$H/h_1 = 13.11/3.52 = 3.72 > 2.50$$

一般认为,洞室覆盖层厚度H≥(2~2.5)h₁时,属深埋洞室,此时形成卸荷拱,可按卸荷拱理论进行洞室荷载计算。

②计算卸荷拱承载力P_x:

$$P_x = [R_{utg}(45^\circ - \Phi/2)(H - h_1) - 2Q_x]/L_x$$

式中:R_u——土的极限抗压强度(KN/m²),按下式计算

$$R_u = 3000tg\Phi = 3000tg22^\circ$$

$$= 1212.1 \text{ KN/m}^2$$

$$L_x = 2[a + (h + H/2)tg(45^\circ - \Phi/2)]$$

$$= 2 \times [1.50 + (3.00 + 13.11/2)] \times tg34^\circ = 15.89 \text{ m}$$

Q_x——半个卸荷拱自重(KN/m²),按下式计算

$$Q_x = 1/2 L_x H r - 2/3 h_1 [a + htg(45^\circ - \Phi/2)]r$$

$$= 1/2 \times 15.89 \times 13.11 \times 20 - 2/3 \times 3.52 \times (1.50 + 3.00 \times tg34^\circ) \times 20 = 1821.80 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{则 } P_x = [1212.1 \times tg34^\circ \times (13.11 - 3.52) - 2 \times 1821.80] / 15.89$$

$$= 264.1 \text{ KN/m}^2$$

③计算基底压力q:

已知基础荷重200KN/m,基础宽度1.20m,则基底压力q=200/1.20=166.7KN/m²。

现经上述计算,卸荷拱承载力P_x=264.1KN/m²>基底压力=166.7KN/m²,则说明上部荷载全部由卸荷拱承担,不影响洞室安全,此处洞室不需加固。

(2)2—2'剖面计算:

已知该处洞室高3.00m,洞宽5.00m,覆盖层厚度H=12.94m。

经计算:h₁=4.52m, H/h₁=2.86>2.50,能形成卸荷拱。

再经计算:P_x=159.0KN/m², q=200/1.50=133.3KN/m²,且P_x>q,该处洞室可不进行加固。

(3)3—3'剖面计算:

已知该处洞室高3.00m,洞宽2.50m,覆盖层厚度H=13.52m。

经计算:h₁=3.27m, H/h₁=4.13>2.50,能形成卸荷拱。

再经计算:P_x=282.6KN/m², q=200/1.20=166.7KN/m²,且P_x>q,该处洞室可不进行加固。

(4)4—4'剖面计算:

已知该处洞室高2.80m,洞宽2.50m,覆盖层厚度H=0.58m。

经计算:h₁=3.14m, H/h₁=0.18<2。

故该处不能形成卸荷拱,基底附加应力直接作用在洞室上,因洞室无衬砌,故容许垂直荷载:P_c=0,而q=200/1.20=166.7KN/m², q>P_c,该处洞室需加固处理。

四、评价结论

下面以2—2'洞室剖面资料为例,假定基底位于不同标高及采用不同的Φ值,运用普氏理论,经计算、分析与统计后,从表列数据(见表3)中不难找出一些符合规律性的东西,经综合评价,得出以下几点结论。

1、基底标高越高,则覆盖层厚度增大,洞室所形成卸荷拱的可能性加大。

2、土的内摩擦角Φ值越大,则卸荷拱高度趋小,卸荷拱平均跨度变小,且自重变小,而土的极限抗压强度增大,则卸荷拱的承载力增大。

3、基础宽度加大,则基底压力相对减小,从而洞室的稳定性加大。

五、人防洞室的加固处理措施

为保证洞体本身的稳定性以及上部建筑物的安全,根据以上计算、分析的结果,以及所得出的评价结论,对于加固处理洞室的方法有以下几点:

1、对于埋深较浅,形不成卸荷拱的洞室,基底应设置钢筋混凝土基础梁跨越式独立(下转第39页)

物理力学性质指标统计表

工程名称:安徽涡阳国家储备库

层号	岩土名称		含水量	比重	重度 γ	干重度	孔隙比	液限	塑限	塑性指数	液性指数	剪切试验 q		压缩试验天然		单桥静探
			W	G _s		γ_d	比	W_L	W_p	I_p	I_L	C	Φ	a_{1-2}	E _s	P _s
			%		KN/m ³		e ₀	%	%			KPa	度	MPa ⁻¹	MPa	MPa
2	粉质粘土	最小值~最大值	16.6~20.6	2.71~2.72	19.5~20.6	16.5~17.3	0.563~0.650	29.2~39.0	17.7~21.7	11.5~17.3	-0.26~0.06	58~135	14.0~20.5	0.11~0.22	7.57~13.78	2.722~3.603
		数据个数	13	12	12	12	12	13	13	13	13	8	7	12	12	6
		平均值	18.5	2.71	20.1170	0.600	33.5	19.4	14.1	-0.06	90	17.9	17.9	0.16	10.32	3.133
		变异系数	0.07	0.00	0.02	0.01	0.04	0.08	0.06	0.12	-1.41	0.28	0.12	0.23	0.23	0.12
		标准值	19.1		19.9	16.8	0.613				-0.02	79.9	17.9	0.18	9.1	2.827
3	粘土	最小值~最大值	19.5~28.5	2.71~2.73	19.4~20.2	15.1~16.7	0.633~0.808	28.3~41.0	17.3~22.5	11.0~18.5	-0.08~0.71	35~74	14.6~22.8	0.13~0.29	6.34~13.47	3.002~3.772
		数据个数	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	4	7	7	5
		平均值	24.0	2.72	19.8	16.0	0.708	35.6	20.3	15.3	0.27	55	18.7	0.21	8.54	3.421
		变异系数	0.15	0.00	0.02	0.04	0.10	0.16	0.11	0.21	0.99	0.32	0.19	0.26	0.30	0.10
		标准值	26.6		19.5	15.5	0.762				0.47	42.4	18.7	0.25	6.6	3.093

土工试验成果报告表

工程名称安徽涡阳国家粮食储备库

共 1 页第 1 页 报告日期 2002.2.27

室内 编号	野外 土样 编号	取样 起始 深度 M	含水 量 W %	比 重 G _s	密 度 ρ g/cm ³	干 密度 ρ _a	孔 隙比 e _c	饱 和度 Sr %	液 限 W _L %	塑 限 W _p %	塑 性 指 数 I _p	液 性 指 数 I _L	土 样 分类	剪切试验		压缩试验		胀缩试验					
														试验 方法	内聚力 C KP	内摩 擦角 φ 度	试验 方法	压缩 系数 a ₁₋₂ MPa ⁻¹	压缩 模量 E _s MPa	自由 膨胀 率 σ _{ref} %	膨 胀 率 σ _{e50} %	收 缩 系 数 λ _s	膨 胀 力 P _e KPa
1	101-1	1.50	16.6	2.72	1.96	1.68	0.618	73	36.7	20.7	16.0	<0	粉质粘土	q	17.4	天然	0.12	13.78	51.0	-0.72		45	
2	-2	3.00	17.1	2.72	1.95	1.67	0.633	73	34.5	19.8	14.7	<0	粉质粘土	q	135								
3	-3	4.60	25.5	2.73	1.96	1.56	0.748	93	41.0	22.5	18.5	0.16	粘土	q	19.9	天然	0.20	8.89					
4	-4	6.00	20.8	2.73	2.02	1.67	0.633	90	40.3	22.2	18.1	<0	粘土	q	35	14.6	天然	0.16	10.16				
5	105-1	1.50	17.7	2.71	2.00	1.70	0.595	81	32.1	18.9	13.2	<0	粉质粘土	q	74	17.6	天然	0.14	11.18	50.0	-0.82		32
6	-2	3.00	18.4	2.71				29.2	17.7	11.5	0.06	粉质粘土	q	105	天然	0.21	7.68						
7	-3	6.00	19.5	2.72	1.98	1.66	0.642	83	33.8	19.6	14.2	<0	粉质粘土	q	17.6	天然	0.21	7.87					
8	107-1	1.50	19.5	2.72	1.97	1.65	0.650	82	34.5	19.8	14.7	<0	粉质粘土	q	64	16.8	天然	0.22	7.57	49.0	-1.40		10
9	-2	3.00	18.6	2.71	2.03	1.71	0.583	86	32.3	18.9	13.4	<0	粉质粘土	q	69	20.0	天然	0.16	9.99				
10	110-1	2.00	17.9	2.71	2.03	1.72	0.574	85	29.6	17.8	11.8	0.01	粉质粘土	q	82	19.2	天然	0.19	8.11	48.0	-1.41		10
11	-2	3.00	19.7	2.71	2.01	1.68	0.614	87	32.8	19.1	13.7	0.04	粉质粘土	q	75	天然	0.15	10.86					
12	112-1	2.00	18.2	2.71	2.05	1.73	0.563	88	32.8	19.1	13.7	<0	粉质粘土	q	20.5	天然	0.11	13.70	52.0				
13	-2	6.00	21.2	2.71	2.00	1.65	0.642	89	28.4	17.3	11.1	0.35	粉质粘土	q	87	天然	0.25	6.59					
14	113-1	1.50	17.1	2.71	2.01	1.72	0.579	80	31.7	18.7	13.0	<0	粉质粘土	q	29.7	天然	0.20	8.37	53.0				
15	-2	3.00	20.2	2.72	2.05	1.71	0.595	92	36.6	20.7	15.9	<0	粉质粘土	q	58	14.0	天然	0.14	11.49				
16	-3	9.00	25.1	2.71	2.00	1.60	0.695	98	28.3	17.3	11.0	0.71	粉质粘土	q	109	天然	0.26	6.44					
17	116-1	3.00	20.6	2.73	2.06	1.71	0.598	94	39.0	21.7	17.3	<0	粘土	q		天然	0.12	12.95					
18	-2	7.50	28.5	2.73	1.94	1.51	0.808	96	40.3	22.2	18.1	0.35	粘土	q		天然	0.29	6.34					
19	118-1	1.50	18.5	2.71	2.01	1.70	0.598	84	33.4	19.4	14.0	<0	粉质粘土	q		天然	0.20	8.16	50.0	-0.93		22	
20	-2	7.50	27.4	2.72	1.94	1.52	0.786	95	36.8	20.8	16.0	0.41	粉质粘土	q	45	22.8	天然	0.13	13.47				

说明: 1. 野外土样编号: TJ—探井原状样; R—扰动样; 没指明的为钻孔原状样; 野外土样编号前冠以 * 号表示该土样不参加统计。

2. 取土样长度一般为 20cm, 取土起始深度冠以 * 号该土样长度为 100cm, 当层号为空时, 表示该土样位于两层界限上。

3. 剪切方法: 直剪 q—快剪 Cq—固结快剪 S—慢剪; 三轴 UU—不固结不排水 CU—固结不排水 CD—固结排水; 浸水饱和再在前面加 B。

说明:1.野外土样编号:11—探井原状样;R—扰动样;没指明的为钻孔原状样;野外土样编号前冠以*号表示该土样不参加统计。

2.取土样长度一般为20cm,取土起始深度冠以*号该土样长度为100cm,当层号为空时,表示该土样位于两层界限上。

3.剪切方法:直剪 q—快剪 Cq—固结快剪 S—慢剪;三轴 UU—不固结不排水 CU—固结不排水 CD—固结排水;浸水饱和和在前面加 B。

组长:杨发军 审核:陈德川 填表:陈宏梅 图号

作者单位:煤炭部合肥设计研究院

(上接第 37 页)

基础标高 (M)	计算指标	0-20°	0-21°	0-22°
9.00	H(m)	11.44	11.44	11.44
	h(m)	4.60	4.56	4.50
	H/h	2.49	2.50	2.54
	H ₀ (KN/m ²)	1091.91	1151.59	1215.08
	L ₀ (m)	17.21	16.98	16.76
9.50	Q ₀ (KN/m ²)	1086.85	1088.45	1089.25
	Q ₁ (KN/m ²)	1091.85	1091.55	1092.25
	L ₁ (m)	17.26	17.32	17.38
	Q ₂ (KN/m ²)	1086.85	1088.45	1089.25
	Q ₃ (KN/m ²)	1091.85	1091.55	1092.25
10.50	H ₀ (m)	11.54	11.51	11.48
	h ₀ (m)	4.60	4.56	4.50
	H/h ₀	2.51	2.52	2.55
	H ₀ (KN/m ²)	1091.85	1091.55	1092.25
	L ₀ (m)	17.26	17.32	17.38

基础,本工程主要用于侧向之④、⑤、⑥、⑦轴线部分洞室;对于非进出隧道的浅埋洞室,可将洞室顶板挖开,自洞室底部毛石直至设计基底标高。

2、对于埋深较大,同时有侧向荷载,但与基础平行以及侧向分布的洞室,应根据地质条件考虑,一般情况下,也应采取钢筋砼基础墙结构,以增加其整体稳定性。

3、调整基底标高,必要时基础应尽量浅埋,从而加大覆盖层厚度,使其形成卸荷拱。

4、加大基础宽度,减小基底压力,使其 $P < q$,或增大基础埋深等措施,以增加洞室安全性。

六、结语

该工程自 2001 年 7 月竣工投入使用后,情况良好。大量工程实例证明,运用普氏平衡拱理论,在设计低价地基中的人防洞室问题中,仍不失为一种简便、有效的方法。

作者单位:芜湖市勘测设计研究院