

# 深基坑工程技术讲座(5)

沈保汉

(北京市建筑工程研究院)

## 第五讲 硬质地基地区常用的支护结构类型

### 5.1 硬质地基的特性

硬质地基主要指岩层(包括硬质岩石和软质岩石)和卵砾石层。岩石按饱和单轴抗压强度 $f_r$ 划分其坚硬程度应符合表5.1的规定。

岩石坚硬程度 表5.1

$f_r$ (MPa)	> 60	60~30	30~15	15~5	< 5
坚硬程度	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	极软岩

单轴抗压强度受岩石的风化程度影响极大。我国沿海的一部分地区和台湾地区岩层埋藏较浅。

卵砾石层为碎石土层中的亚类,其密实度可分为密实、中密和稍密三类,其可钻性分别为钻进极困难、较困难和较容易。我国成都地区,卵石层顶面距地表4~9m,北京西部地区,卵石层顶面距地表大约为5~8m。

### 5.2 确定硬质地基地区挡土支护结构类型的基本原则

(1) 在本讲座前几讲中已谈到深基坑挡土支护结构大致可分为止水性和非止水性两类。软土地区大多数设计都采用止水性工法,但对于硬质地基深基坑开挖则是两种工法并行使用。硬质地基地层具有紧密坚实、承载能力高和压缩性低等特点,不致引起开挖面塑性隆起、砂涌、上举以及因降水而衍生周边地面沉降等问题。非止水性工法须配合施工场地全面降水,挡土桩(墙)不承受水压力,故其断面远小于止水性工法挡土桩(墙)的断面,符合经济原则。因此从设计安全性、施工可行性和造价经济性等几方面综合考虑,对于硬质地基埋藏较浅的地区,采用非止水性挡土支护结构往往是最合理的选择。如果在地表和硬质地基之间有一层较厚的软土层,且地下水位较高,此种场合则应采用止

水性挡土支护结构。

(2) 硬质地基的工程特性差异较大,应本着“因地制宜”的原则,针对不同的硬质地基,采用不同的挡土支护结构及不同的施工工艺和施工方法。

### 5.3 砂卵石地区挡土支护结构类型

现以成都市区为例。成都市区地基土主要由岷江水系第四系全新统河流冲洪积层( $Q_4^{al}$ )的粉质粘土、粉土、砂、卵石及上更新统冰水沉积( $Q_4^{pl}$ )卵石、砂构成,上覆人工填土,下覆白垩系泥岩( $K_2g$ )。人工杂填土和素填土厚度为2.5~4.0m;粉土厚度为1.0~2.5m;粉细砂厚度为0.5~3.0m;卵石层总厚度为15~20m,上部为厚度0.5~2.0m,稍密,卵石层,下为中密及密实,卵石层顶面距地表4.0~9.0m;泥岩离地表约20~25m;地下水埋深1.0~3.0m。

成都市区高层建筑基础或地下室底板一般放置在中密及密实卵石层上;由于地下水位很浅,砂卵石为含水层,含水层厚度与卵石厚度相近,地下水渗透性一般在10~20m/d。为了便于深基坑施工,通常必须将地下水降至基坑开挖深度以下。另一方面由于人工填土、粉土和砂的内摩擦角均较小,粘聚力也很小,稳定性很差,是挡土支护结构设计施工不可忽视的重要环节。现将成都市的一些挡土支护结构类型的选择,列于表5.2。

### 5.4 岩层地区挡土支护结构类型

#### 5.4.1 青岛地区挡土支护结构实例

青岛市万海商业城建在填海造地地带,53层,建筑总面积15.6万 $m^2$ ,两层地下室,采用箱形基础,基坑开挖深度达9m多。地表下新近杂填土厚度为3.60~6.40m,密实程度差,结构松散,孔隙度大,透水性好;杂填土以下为厚度

2. 40~ 3. 60m 的海陆交互沉积的淤泥质中细砂层; 在上述的松散第四系堆积物之下为花岗岩, 强风化带较薄, 地基承载力标准值  $f_k = 1000\text{kPa}$  中等风化带的承载力标准值  $f_k = 1500$  ~ 2500kPa, 均视为无压缩的硬质岩石地基。场区地下水属第四系孔隙潜水, 水位埋深 4. 00~ 5. 20m。

成都市深基坑挡土支护结构的主要类型 表 5. 2

挡土支护 结构类型	开挖深度(m)	做 法	优 缺 点	实 用 例
打入式预制桩或工字钢桩	5~ 7	适用于入卵石层深度小于 2m 的情况。采用打入式 300×300 预制桩或 36 号工字钢桩, 间距 700~ 1000mm, 挖土后将桩间灌注同厚度的混凝土形成连续墙体	打桩速度快; 如果要求进入卵石层深度较大时不仅施工困难, 而且震动较大, 影响邻近建筑物	四川糖油公司底楼地下室采用 300×300 预制桩护壁, 挖土深 5m; 红光电子管厂彩坡配料厂房扩建工程, 采用 36 号工字钢桩护壁, 挖土深 5m
悬臂式冲孔灌注桩	< 13	用冲击钻机成孔, 泥浆护壁, 水下灌注混凝土成桩, 桩径为 800~ 2000mm; 挖土时桩间用 100mm 厚混凝土或喷抹钢丝网水泥砂浆形成封闭的护壁	优点: 不降水即可施工; 成桩质量较高; 基坑变形小。缺点: 泥浆对施工现场污染较大, 给挖土造成一定影响; 造价较人工挖孔桩高	成都大酒店二期工程、新世纪广场及亚太广场等二、三层地下室均采用此种类型; 是成都采用最广泛的类型之一
悬臂式人工挖孔灌注桩	< 14	先降水后挖孔、成桩, 桩径 1000~ 1200mm; 挖土时桩间用 100mm 厚混凝土或喷抹钢丝网水泥砂浆形成封闭的护壁	优点: 能在狭窄场地及贴近建筑物施工; 施工速度快; 工程造价低。缺点: 施工稍一疏忽, 可能会发生人身伤亡事故	省政协活动中心、东珠大厦、新时代广场附楼、四川金融大厦等一至三层地下室均采用此种类型; 也是成都采用最广泛的类型之一
锚杆排桩挡土结构	13~ 21	主桩通常采用直径为 1000mm 的冲孔灌注桩或直径为 1200mm 的人工挖孔桩; 开挖深度为 13~ 17m 时采用一层锚杆; 开挖深度为 17~ 21m 时采用二层锚杆; 第一层锚杆设在- 5. 5m 左右处, 第二层锚杆设在- 11m 左右处。锚杆常打在卵石层。因此第一层锚杆都用 $\phi 80\text{mm}$ 地质钻杆, 既作钻杆又作锚筋; 第二层锚杆, 成孔时采用导管跟进, 用钢筋线作锚筋	优点: 锚杆进入卵石层, 锚固力大; 造价相对较低; 可以有效地限制基坑侧壁开裂, 减少对临近建筑物和构筑物的危害。缺点: 在卵石层打锚杆施工难度较大, 对锚杆机性能的选择要求较高; 与土方施工交叉较多, 施工周期较长	光大国际大厦、金丽总府大厦和海外交流中心均为三层地下室, 开挖深度分别为 15. 7m、15. 2m 和 15. 1m, 主桩为冲孔灌注桩或人工挖孔桩, 采用一层锚杆, 孔径 130mm, 用 $\phi 50$ 地质钻杆作为锚筋。民生金融大厦四层半地下室, 挖深 17. 95m, 采用两层锚杆, 孔径 130mm, 第一层锚杆在- 6m 处, 锚筋为 $\phi 50$ 地质钻杆; 第二层在- 11m 处锚筋一半为 $\phi 50$ 地质钻杆, 另一半为钢筋线
地面水平拉结与挡土桩结构	6~ 22	在挡土桩顶部设一横向刚度较大的钢筋混凝土圈梁, 然后每隔一桩或 3~ 4 根桩设一个由桩顶内向滑动面外锚拉基础, 其与挡土桩通过水平拉结相连	优点: 由悬臂桩改变为拉结桩, 改善挡土桩受力状态, 可减少桩径和配筋, 从而降低工程造价; 减少挡土桩变形。缺点: 因锚拉基础需设在稳定区内, 故要有一定场地	岷山饭店地下室挖深为- 6. 2 ~ - 8. 9m, 一侧设 11 根直径 1000mm 的冲孔灌注桩, 间距 3m, 在 15m 处设 3 个锚拉基础。川信商贸大厦挖土深 22. 3m, 一侧设直径为 1200mm 人工挖孔桩, 每隔一桩在后面 4m 处加一深 9m 直径为 900mm 挖孔桩作锚拉桩
支撑排桩挡土结构	< 21	采用井字式或圆形及弧形支撑体系	优缺点见本讲座第 2 讲表 2. 2	温资大厦、四川电视塔、民兴大厦(局部)、川宾安置大厦均采用此类型

根据上述条件, 该基坑采用钢管桩与旋喷桩组合防渗护壁结构。其设计原理和具体做法如下。先施打有一定间距(1m)的钢管桩(直径为 108mm), 其间距小于旋喷桩直径, 钢管桩嵌入中风化岩一定深度(2m 以上), 以增加被动岩体的阻力, 增强边坡的稳定性, 防止基坑侧壁边坡滑动。然后在钢管桩之间以高压喷射灌浆

法(高压喷射孔必须钻入中风化岩 1m)将水泥浆液高压喷射入土体中形成以钢管桩为支护桩、旋喷桩为防渗体的统一连接整体(图 5. 1)。钢管桩施工采用先造孔(用  $\phi 130\text{mm}$  钻具, 取芯钻进)后打入。高压喷射灌浆采用三重管法。图 5. 1 为钢管桩和旋喷桩组合护壁示意图。

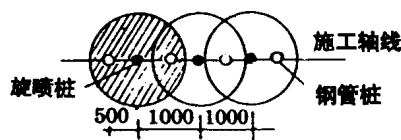


图 5.1 钢管桩和旋喷桩组合护壁

#### 5.4.2 厦门地区岩石锚杆在深基坑支护中应用实例

厦门美仁宫大厦,地上 18 层,地下 2 层,基坑深 8.0m,建筑平面呈扇形,占地约 2000m<sup>2</sup>。拟建场地土层,自上而下分布为:瓦砾杂填土,稍密,厚度约 2.0m;淤泥,流塑至软塑,最厚 1.7m;砂质粘土,软塑至可塑,厚度 0.5~1.7m;粗砂夹淤泥,厚度约 3.3m,渗透系数为  $8.9 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ;中微风化花岗岩,顶板埋深 7.0~12.0m,完整性好。

该场地基岩埋藏浅,因而深基坑设计的关键是解决支护桩的嵌岩问题。如果采用冲、钻孔灌注桩,则嵌岩钻进难度大,排污困难,投资高,工期长。如果采用人孔挖孔桩加锚杆体系,锚杆须穿过粗砂夹泥层,成孔难度大。最后采用人孔挖孔桩加桩底岩石锚杆(解决嵌岩问题)的似悬臂桩型(图 5.2),该方案具有工期短,投资少,施工方便及工程质量易保证等优点。

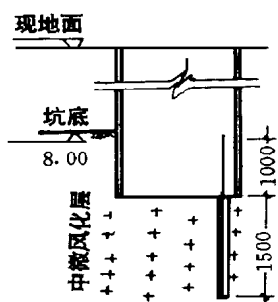


图 5.2 人工挖孔桩加岩石锚杆示意

#### 5.4.3 台湾地区硬质地基挡土支护结构类型

台湾地区使用于硬质地基的挡土支护结构可归纳为以下四大类。

(1) 稀疏桩排工法,台湾地区称为兵桩工法(Soldier Pile),即利用先行设置的主桩,作为开

挖支撑挡桩,主桩间的土压力由横挡板或利用地层拱效应传递到主桩上。

按施工方法及材料不同,稀疏桩排工法又可细分为人工挖孔桩工法、钢轨桩工法及钢劈砾工法(Gunpile Method)。

钢轨桩工法系以传统的打桩架配备液压锤,直接将钢轨打入地层中。一般采用 37、40 和 45kg/m 级钢轨,桩长 8~12m,桩距 300~500mm,沉桩完成后,在桩顶部灌注钢筋混凝土圈梁。该工法在桃园地区的 10m 以内的基坑而言,市场占有率约为 90% 以上。

钢劈砾工法系以机械方式直接将主桩(H 型钢桩)植入于硬质地层中,利用焊于桩尖的特殊钢材的高强度特性,并用高压喷射水流作用,以钢劈砾机(Gunpiler)把 H 型钢桩直接贯入坚硬地层中。该工法在桃园地区的卵砾石层及北市近郊坡地岩层深开挖(10~25m)市场占有率约 40%。

人工挖孔桩工法在台中地区卵砾石层深基坑工程中市场占有率约 95%,唯在桃园地区仅有一案例(按 94 年 10 月底统计数字)。

(2) 连续桩排工法,台湾称为排桩工法,系采用“成孔”、“插入”二阶段方式的预埋工法,即利用各种不同钻掘机具预钻桩孔,然后插入钢筋笼或 H 型钢,最后再灌注混凝土,使其成为连续桩排,作为挡土桩墙。为达到止水效果,桩与桩之交接有正切和交错两种施工方法。按钻掘方法和机具不同,连续桩排工法可细分为冲击式连续桩排工法、螺旋钻式连续桩排工法、潜孔锤钻式连续桩排工法及全套管连续桩排工法。

冲击式连续桩排工法系利用大型凿井用冲击钻机,用卷扬设备操作钢丝绳悬吊重型冲击钻头,以重力方式冲击破碎地层,再用掏渣桶取出碎块。该方法较适合于疏松卵砾石层及软质岩层。在桃园地区及北市近郊坡地的市场占有率约为 50%。

全套管连续桩排工法系以专用成孔机,配备旋转套管或摇管装置,以螺旋钻、冲击抓斗、岩心套管辅以潜孔锤或破碎齿,(下接 24 页)

性能好, 体积稳定好, 一年的体积变化率不大于 0.04mm/m, 显著低于加气混凝土等墙体材料, 砌筑缝不收缩开裂, 墙面不空鼓、龟裂, 墙体整体刚度和抗冲击性良好。

空心砌块的主要原料为工业废弃物, 因此砌块在性能优良的同时价格低廉。根据实际生产线生产状况测算, 年产 5 万 m<sup>2</sup> 空心砌块, 砌块成本 20 元/m<sup>2</sup>, 售价 33 元/m<sup>2</sup>, 年可创利税

约 80 万元, 生产线投资约 50 万元。

脱硫石膏粉煤灰空心砌块性能优良, 价格低廉, 安装与施工快捷、简便, 工人劳动强度小, 施工效率高, 墙面便于二次装修和开槽埋线。表 8 为不同墙体材料所砌筑成墙体的经济比较, 从表中结果可知, 脱硫石膏粉煤灰空心砌块是优质的墙体材料, 而且造价明显低于其它墙材。工程应用也有力地证明了上述结论。

轻质墙体经济比较 表 8

隔墙名称	厚度 (mm)	墙体质量 (kg/m <sup>2</sup> )	粘接材料 (元/m <sup>2</sup> )	墙材价格 (元/m <sup>2</sup> )	人工费用			机械费 (元/m <sup>2</sup> )	小计 (元/m <sup>2</sup> )	管理费 (小计的 32%)	造价 (元/m <sup>2</sup> )
					元/ 人·日	工·日/ m <sup>2</sup>	元/m <sup>2</sup>				
脱硫石膏粉煤灰空心砌块墙	80	62	2.8	33.0	16.7	0.14	2.3	/	38.1	12.2	50.3
加气混凝土墙	100	155.0	21.5	15.0	16.7	0.36	10.5	0.42	47.42	15.2	62.59
纸面石膏板墙(加龙骨)	2×12 矿棉 80	30	1.9	80.0	16.7	0.2	3.34	/	85.2	27.3	112.5
泰柏板	115	115.3	16.0	70.0	16.7	0.45	7.5	0.6	94.1	30.1	124.2
硅镁空心条板	90	112.0	12.0	55	16.7	0.15	2.5	0.42	69.9	22.4	92.3

5. 结 论

(1) 脱硫石膏粉煤灰胶结材性能优良, 保持了石膏材料速凝快硬的基本性能, 软化系数提高, 综合利用了工业废弃物, 是生产空心砌块的优质原料。

(2) 脱硫石膏粉煤灰空心砌块性能优异, 生产工艺简单, 在适宜的热养护条件下, 能明显缩短生产周期, 砌块性能优于国外同类产品标准的要求值, 能够满足使用需要。

(3) 脱硫石膏粉煤灰空心砌块墙体防火性能好, 整体性强, 表面不开裂、粘接缝不收缩, 墙体自重轻、造价低, 市场竞争力强, 是建设部大力推广的新型轻质墙体材料。

参 考 文 献

1 杨得山译. 石膏. 中国建工出版社, 1987  
2 丛钢, 林芳辉. 脱硫粉刷石膏的配制与应用. 建筑技术开发, 1996(4)  
3 丛钢, 林芳辉. 重庆地区电厂脱硫石膏利用研究. 粉煤灰综合利用, 1996(2)

(上接 54 页) 进行钻掘工作, 完成单桩后再以正切桩或交错桩施工方法, 形成连续桩排。该工法仅适用大直径桩(0.8~ 2.0m), 在硬质地层中似嫌不经济。

螺旋钻式和潜孔锤钻式连续桩排工法, 因在台湾使用实例很少, 故此处不再赘述。

(3) 地下连续墙工法, 其挖掘机具按硬质地层特性不同, 可分别采用砾石抓掘机和岩层切削机。在台湾使用实例也很少。

(4) 沉箱工法系先行于预定场地构筑完成地下基础结构, 利用自重或另加载重, 以克服沉

箱底端阻力和侧壁摩阻力, 并於箱底以抓斗挖掘土石, 使沉箱基础缓缓下沉至预定深度, 沉箱侧壁直接作为挡土墙用, 并作为地下室承重墙用。此工法在台湾地区使用也很少。

5.5 硬质地基钻机的开发

在日本有专门研究岩层钻孔的协会, 即岩盘削孔技术协会, 成员单位超过 60 家, 针对硬质岩和软质岩已开发出关于长螺旋钻进、回转钻进、带套管回转钻进和冲击钻进等三十多种工法, 值得我国借鉴。