



# 地下连续墙 (十一)

潘 千 里

## (二) 自凝泥浆墙

由于自凝泥浆不仅在挖槽时可用作护壁泥浆,而且在槽内凝固后具有一定的强度和良好的防渗性能,因而从七十年代开始在法国、墨西哥等国家用作防渗墙墙体材料。墨西哥从1970年到1977年使用自凝泥浆所修建的防渗墙达6万米<sup>2</sup>左右。

用自凝泥浆修建防渗墙,不仅可省去大量混凝土砂石料,而且无须进行混凝土浇灌、泥浆处理、接头管的插入和拔出,使施工工艺大为简化,从而使工期大为缩短,费用大为降低。

自凝泥浆墙系“柔性墙”,可适应周围土体运动产生较大的变形而不出现裂缝,这有时是十分有利,甚至是十分必要的。

采用自凝泥浆作护壁泥浆,既不能使其大量流失,又不宜对挖槽机具产生过大的阻力。墨西哥的索伦(Solum)公司认为自凝泥浆的粘度以30~60秒为宜,常用为45秒。有的文献也提出,粘度的初始值为40~50秒就足以满足一般的要求了。

自凝泥浆的性状与其基本成分(水泥和膨润土)的物理、化学性能密切相关,而不能只根据其中一种成分的特性来作出足够可靠的估计。因此需要对成对的基本成分进行研究。

国外有文献报道了意大利一百对左右水泥和膨润土的组合物所进行的试验研究(水泥约15种,有三种类型:普通硅酸盐水泥、火山灰水泥和矿渣水泥;膨润土约20种,其液限约在400与700之间;组合物的灰水比为0.15~0.50;膨润土与水之比为0.04~0.07)。其研究表明,粘度的初始值及其随时间的变化,不仅与组成成分有关,而且因搅拌方式而异,所以在现场使用时尚需对试验室结果进行校核修正。如果增大膨润土的浓度不能使泥浆的粘度有所减小的话,可掺入一些不会改变泥浆最终性能的液化剂。处于静止状态的泥浆,其粘度是逐渐增大的,但在最初的12个小时(或更长时间)内,有时甚至不加什么外加剂,就能保持拌和时的粘度几乎不变。在经过一段时间静置后再搅动,仍

能回复粘度的初始值。该研究结果还指出,自凝泥浆的28天抗压强度 $R_{28} = R_1(C/W)^2$ ;  $C/W$ 为灰水比,  $R_1$ 为比例常数,火山灰水泥为最小(小于100),矿渣水泥为最大(大达500)\*。自凝泥浆的变形模量 $E$ 大致为 $150R_{28} \sim 120R_{28}$ 左右,加载速度对 $E$ 值也有一定的影响,加载速度慢, $E$ 值低。

墨西哥卡德那斯钢铁厂位于太平洋岸,冲积层厚28米,地下水位在-2米处。该厂为修建厂房和设备基础修筑了一道总长为2400米(4×600米)的自凝泥浆墙,在墙内一定距离处施行基坑开挖。

## (三) 组合式地下连续墙

一般说来,地下连续墙具有三种功能:挡土(承受水平荷载)、承重(承受竖直荷载)和截水防渗。但某些工程对地下连续墙的要求却沿深度而有所不同,例如对上面一段要求作挡土墙,而对下面一段只要求插在土层中起到截水防渗作用(以利基坑开挖与基础施工得以干作业);又如对上面一段要求作挡土和承重墙,而对下面一段只要求传递竖直荷载(犹如桩将荷载传递到较深较好的土层上)。为适应地下连续墙功能要求的变化,新发展了一种组合式地下连续墙,不仅可节省材料,而且可减少劳动力,从而进一步降低工程造价,加快建设速度。

例如,法国巴黎的“奥里仲”大楼,坐落在赛纳河岸的沿江大道旁,有三层地下室,以预制墙板作地下连续墙上半截挡土墙部分,而以自凝泥浆作下半截的防渗墙部分(图112)。

又如,法国巴黎的“赛哥斯中心”大楼,有三层地下室,以预制墙板作地下连续墙上半截挡土和承重墙部分,而以自凝泥浆作下半截防渗和承重墙部分。下半截自凝泥浆墙插入在石灰岩中,其计算

\* 也有的资料介绍, $R_{28} = 10(C/W)^2$ ,当灰水比等于0.2时,试验所得 $R_{28} = 0.4 \sim 0.5$ 公斤/厘米<sup>2</sup>(如按 $R_{28} = R_1(C/W)^2$ 计算,  $R_1 = 50 \sim 62.5$ ),当灰水比等于0.4时,强度达2.3~2.9公斤/厘米<sup>2</sup>。

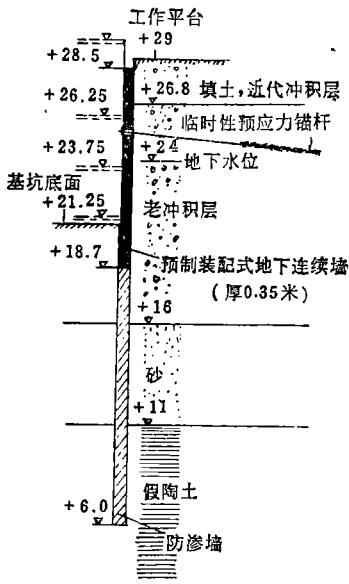


图 112 “奥里仲”大楼组合式地下连续墙剖面图

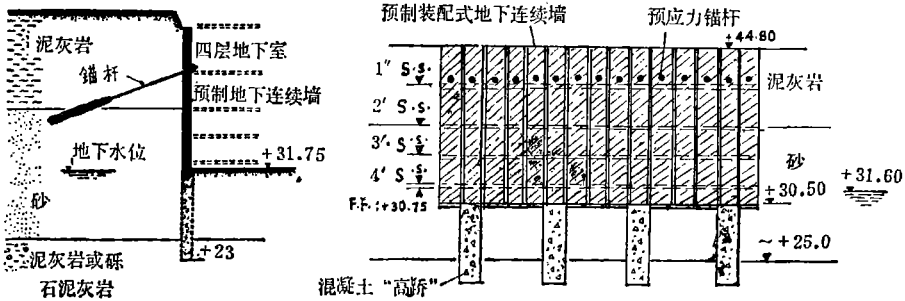


图 113 “高跷式”地下连续墙 (“古赛勒·圣·奥诺雷”大楼)

司为避免设置支撑或锚杆,从七十年代开始采用了后张预应力地下连续墙 (ICOS-FLEX体系),到1976年已先后在意大利、瑞士、英国修建了后张预应力地下连续墙达4.5万 $m^2$ 左右。

采用后张预应力地下连续墙,可不设置支撑(或锚杆),或只在顶部设置少量支撑(或锚杆)。这是一种经济而简便的新型墙,它比普通钢筋混凝土地下连续墙变形小(周围地基沉降也小),钢筋用量少(见图114)。

英国伦敦某大使馆扩建工程,有三层地下室,深度在现有路面以下约10米,采用了后张预应力地下连续墙。地下连续墙的混凝土强度为320公斤/厘米 $^2$ ,压顶梁的混凝土强度为345公斤/厘米 $^2$ 。地下连续墙的厚度为0.9米和0.8米,压顶梁的高度为

承载力为7公斤/厘米 $^2$ ,即每延米墙(墙厚0.6米)的承载力为42吨。该工程根据地下室底层标记所测得的沉降量仅1~3.5毫米,这可能是由于自凝泥浆的实际变形模量比预想的为高;另一方面基坑底面以下墙体的摩擦力也承担了相当大的一部分竖直荷载的缘故。

再如,法国巴黎的“古赛勒·圣·奥诺雷”大楼,有四层地下室,采用地下连续墙挡土并承重。由于选作持力层的地层埋藏较深,而基坑底面以下又无防渗要求,因而采用上半截为预制墙板,下半截为现浇素混凝土“带形桩”的“高跷式”地下连续墙(图113)。

此外,还有以预制薄板为镶面的现浇地下连续墙。

#### (四) 后张预应力地下连续墙

基坑开挖深度增大,地下连续墙自由高度增大,墙内弯矩也急剧增大。为改善地下连续墙的受力状态,通常是设置支撑或锚杆。意大利的 ICOS 公

1.6~0.8米。在工程中采用了一种组装有后张预应力

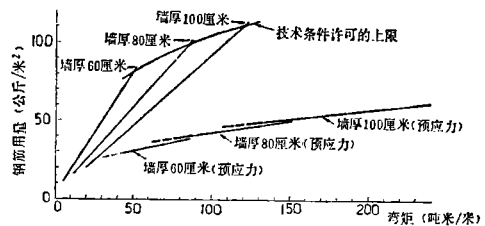


图 114 后张预应力地下连续墙与普通钢筋混凝土地下连续墙钢筋用量的比较

力筋束和锚具的钢筋笼(图115)。在每个单元槽段内放置两组带金属套管的U形预应力筋束,各组应力筋束沿墙延伸方向上的中心距为750毫米。带

BBRV型锚具的端部伸入压顶梁内，精确地排列在地下连续墙的中心线上。要以同样的精度保证穿在套管中的预应力筋束的偏心度。偏心度是渐变的，最大达300毫米。为适应两种不同的墙厚和悬臂高度，需使用不同的钢索和锚具。在墙体完成之后，用坍落度为50~75毫米的混凝土浇筑压顶梁。两台预应力千斤顶同时使用，U形预应力筋束的每个末端各用一台。当压顶梁的混凝土强度至少达到280公斤/厘米<sup>2</sup>时，按三个阶段施加预应力。48根7毫米的钢索，张拉力为205吨，48根6毫米的钢索为105吨。灌浆是从预应力筋束套管的一端压入，直至从另一端流出为止。这个工程虽有传统的托换基础和繁多的准备工作，但由于采用后张预应力地下连续墙只花费11个星期的时间就全部完成，并节省费用约三万英镑。

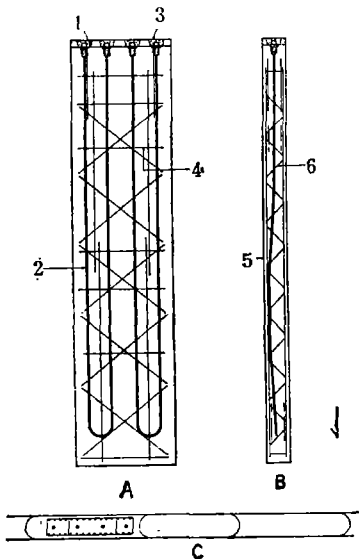


图 115 后张预应力地下连续墙剖面图

1—灌浆后用砂浆填满；2—48根钢丝置于BBRV型标准套管中；3—4个锚具；4—环筋；5—土面；6—斜向加劲筋；A—正视；B—侧视；C—顶视

## 十二、结束语

地下连续墙是近二、三十年来发展十分迅速的一项新技术，在国内外都受到很大的重视。地下连续墙技术策源地之一的法国，至今犹称之为正在发展的新技术；地下连续墙技术发展十分迅速的日本，当前仍认为这是新的基础型式中最有发展前途的一种；起步较晚的苏联也确定在1976~1980年

要大力推广的六项新技术和新材料中，以地下连续墙为头一项。

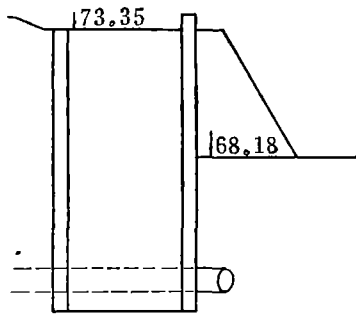
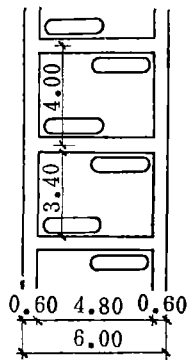


图 116 巴黎某转车道工程所用H型地下连续墙

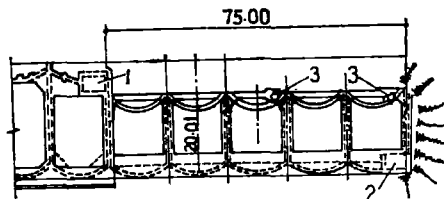


图 117 英国雷特卡矿石码头所用拱型地下连续墙  
1、2—加强部位；3—100吨系船柱

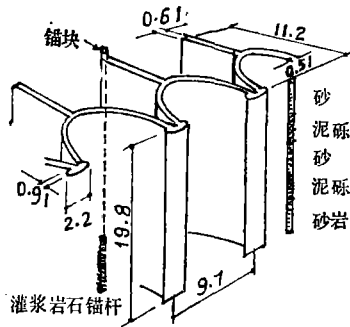


图 118 英国锡福斯港池所用Y形地下连续墙  
(下转第54页)

而其分布函数为

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (29)$$

例如, 当  $x=2$  时, 可直接查表得  $\Phi(2) = 97.72\%$ 。

## 2. 对数正态分布

如果所研究的对象是由许多互不相干的随机因素之积构成, 而每一个因素对总体的影响都很小, 那么这类现象就大致服从对数正态分布。

服从对数正态分布的随机变量  $X$ , 其密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_{\ln X}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \overline{\ln X})^2}{2\sigma_{\ln X}^2}} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \text{平均值} \quad \overline{X} &= \int_0^{\infty} x f(x) dx \\ &= \int_0^{\infty} \frac{x}{x\sigma_{\ln X}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \overline{\ln X})^2}{2\sigma_{\ln X}^2}} dx \\ &= e^{\overline{\ln X} + \frac{1}{2}\sigma_{\ln X}^2} \quad (31) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{方差} \quad \sigma_X^2 &= \int_0^{\infty} (x - \overline{X})^2 f(x) dx \\ &= \overline{X}^2 (e^{\sigma_{\ln X}^2} - 1) \quad (32) \end{aligned}$$

对数正态分布函数为

$$F(x) = \frac{1}{\sigma_{\ln X}\sqrt{2\pi}} \int_0^x x^{-1} e^{-\frac{(\ln x - \overline{\ln X})^2}{2\sigma_{\ln X}^2}} dx \quad (33)$$

我们说  $X$  服从对数正态分布, 就是指  $X$  的对数  $\ln X$  服从正态分布。可记为  $\ln X \sim N(\overline{\ln X}, \sigma_{\ln X})$ , 即  $\ln X$  服从以平均值为  $\overline{\ln X}$ , 均方差为  $\sigma_{\ln X}$  的正态分布。因而求出  $\overline{\ln X}$  及  $\sigma_{\ln X}$  很重要的。

由公式 (31), (32)

$$V_X^2 = \frac{\sigma_X^2}{\overline{X}^2} = e^{\sigma_{\ln X}^2} - 1 \quad (34)$$

$$\text{因此 } \sigma_{\ln X}^2 = \ln(1 + V_X^2) \quad (35)$$

将公式 (31) 转换, 并将公式 (35) 代入, 可得

$$\overline{\ln X} = \ln \overline{X} - \frac{1}{2}\sigma_{\ln X}^2 = \ln \frac{\overline{X}}{\sqrt{1 + V_X^2}} \quad (36)$$

在结构安全度研究中, 对于服从对数正态分布的随机变量, 常常不是直接用公式 (30) ~ (33) 进行计算, 而是根据  $X$  的平均值  $\overline{X}$  和变异系数  $V_X$ , 按公式 (35)、(36) 算出  $\ln X$  的平均值  $\overline{\ln X}$  和方差  $\sigma_{\ln X}^2$ , 然后利用  $\ln X$  服从正态分布这一特点来进行计算。

(《建筑结构设计统一标准》编委会)

(上接第57页)

地下连续墙最初是用以截水防渗, 现已用来挡土承重; 开始是用作临时性施工措施, 现已成为永久性结构物的一个组成部分; 最初是桩排式, 现已发展成壁板式; 开始只有少数几种施工方法, 现已多达二、三十种。五十年代为现浇地下连续墙, 六十年代为锚杆地下连续墙, 七十年代出现了后张预应力地下连续墙、预制装配式地下连续墙和组合式地下连续墙等。施工机械在继续向高精度、高效能的方向发展。发展液压, 增设测斜纠偏装置。当

前, 最高的挖槽效率为80米<sup>2</sup>/小时, 最深的防渗墙为131米(加拿大), 最深的结构墙为100米(日本), 最高的挖槽垂直精度为1/5000(槽深131米, 偏差仅2厘米多), 其次为1/2000(槽深42米, 偏差2厘米)。地下连续墙的结构形式, 不仅有单一直线或曲线型, 而且有H型(图116)、拱型(图117)、Y型(图118)等等。地下连续墙的设计计算理论也在向土与墙的协同作用、土的非线性性状、应力历史等方面进行发展。

(续完)