

SMW 围护墙防渗控制技术

周希圣 英 旭

(上海隧道工程股份有限公司 上海 200045)

摘要 针对超深基坑(挖深超过 15 m 的基坑)由于受地压、土性、设备性能、施工控制技术等影响而导致围护结构防渗控制相对较难的情况,以南京地铁 1 号线珠江路车站工程为背景,基于对超深基坑 SMW 围护结构渗水原因的分析,从理论上对防渗墙的厚度及墙体的变形进行设计计算,并从施工的角度对防渗控制技术进行了探讨。

关键词 SMW 工法 水泥土搅拌桩 防渗技术

中图分类号:TU47

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2004)05-0045-03

SMW(soil-cement mixed wall)工法是基于深层搅拌桩施工方法发展起来的、具有很大经济潜力的一种新颖的围护型式。二次世界大战后,美国首先研制出水泥土搅拌桩施工方法,即 MIP(mixing in-place pile)工法。1953 年由日本清水株式会社经美国普里帕特公司允许引进日本,开始仅为单轴搅拌,形成围护结构体相邻桩的搭接程度、桩的垂直精度等难以控制。1971 年,日本成幸株式会社经改进,研制出多轴搅拌机,使得渗漏、流沙等问题得到极大程度的改观。因此,应用该工法的工程逐渐增多,成为日本国内基坑围护的主要方法,约占地下围护工程的 80%。目前,日本 SMW 工法一次成墙宽度可达 1.5~3.0 m,最大成墙深度为 65 m,水泥土强度亦较高,约在 1.0~3.0 MPa 间,钻孔精度可控制到 1/200 桩长,可适应于黏性土、砂性土以及砂砾石等地层中施工。此外,还开发成功了矩形断面的 TMW 工法施工专用机械。1993 年,SMW 施工技术引入中国,并在上海静安寺“环球世界”商厦基坑围护中最先得到应用。目前该工法主要应用于我国东南沿海地区的软土深基坑围护中,并逐步向内地推广。

1 SMW 围护结构渗水原因分析

当基坑埋深较浅、地层土压力和孔隙水压力皆较小时,依靠水泥土搅拌桩墙及芯材能有效地起到隔水挡压作用。但对于特大型深基坑,由于周围水土压力较大,会给搅拌桩及型钢的安插带来一定困难,并极易导致围护墙的局部或大面积渗水。引起 SMW 围护结构渗水的原因很多,土质条件、设计厚度或强

度不足,以及施工控制不当等均易导致渗漏。

1.1 土质条件

原状土颗粒的大小、形状、级配以及颗粒的排列和土的固有结构构造等,影响着 SMW 围护结构的渗透性。对于砂砾土层,搅拌水泥土渗透性较强,易发生渗水现象。对于孔隙较小的细粒黏性土,由于原状土的渗透性较弱,加上水泥土的搅拌胶结充填,存在着厚的结合水膜,渗流的孔隙通道变得狭小,止水效果好。

1.2 设计厚度或强度不足

若水泥土防渗墙的厚度过薄或其强度、刚度等不足,在基坑开挖过程中,会因地压作用而导致 SMW 围护墙产生大的变形,墙体便产生微裂纹以及一些贯穿的裂缝,特别是在 SMW 围护体的芯材(如型钢)与水泥土之间,由于芯材本身涂刷了减摩剂层,结合薄弱,两者刚度亦不同,因此变形不协调,易引起渗水。

1.3 施工控制不当

施工控制不当将是引起 SMW 墙渗漏的最主要原因。施工过程中,每个工序、每个环节的质量问题都极有可能导致墙体渗漏。如搅拌喷浆提升速度过快、桩体搭接厚度不足、桩位偏斜、配合比控制不稳定、基坑开挖支撑不及时,以及一些意外的因素如遇障碍物或设备故障而导致长时间间隔出现施工冷缝等,都会造成 SMW 防渗挡土墙的渗漏,严重的会引起渗漏处涌水冒砂,直至基坑坍塌。

2 SMW 围护体的防渗控制

如上所述,引起 SMW 围护结构渗水的原因是多

方面的 ,实际施工过程中 ,应从围护方案设计、原材料选择、施工过程控制以及防渗应急技术等多个角度采取‘防堵结合 ,综合治理’的原则加以控制。

2.1 设计阶段的防渗控制

在设计阶段 ,主要是针对该目标工程的地质特点 ,通过理论计算或试验的方式 ,获得围护结构体搅拌桩的强度 ,确定合理的水泥土搅拌桩厚度和芯材插入的密度 ,在此基础上 ,根据基坑开挖的深度 ,计算出支撑布置的水平间距与垂直间距 ,以上所有工作都是为防止围护结构发生断裂、过大变形等引起渗漏 ,因为这种渗漏往往有可能引发更大的工程事故 ,为此 ,需在设计阶段加以重点考虑。

2.1.1 水泥土的强度控制

对于 SMW 围护结构类型的深基坑 ,承受地压作用的主要是依靠围护结构体的芯材(如 H 型钢) ,水泥土主要起防渗作用 ,因此 ,该围护结构体对水泥土的强度要求较低 ,但是倘若水泥土的强度过低 ,基坑开挖时微小的变形即会导致水泥土裂纹(缝)的产生 ,并使得围护结构体失去防渗的功能 ,因此 ,必须确保水泥土的强度 ,影响水泥土强度的因素主要有水泥用量、水泥标号、水灰比、土的含砂率、龄期等。

1994 年铃木健夫等对水泥土地下墙的材料特性进行了室内试验研究 ,结果表明 ,相同注浆量的水泥土 ,水灰比越小、含砂率越大的 ,其无侧限抗压强度亦越大 ,并符合下述经验公式：

$$q_{n28} = \frac{k}{m} s + n \tag{1}$$

式中 : q_{n28} 为龄期 28 d 的无侧限抗压强度 ; m 为水灰比 ; s 为含砂率 ; n 是含砂率为零的 q_{n28} ; k 为系数。

因此 ,根据目标工程地层特点 ,合理地确定水泥浆液的配比是确保水泥土搅拌桩桩体强度和防渗性的关键因素之一 ,水泥浆的配比(水泥和外掺剂掺入量)的确定 ,最好在现场做试验 ,确定其合理的配比及强度值 ,水泥一般选用 425 号普通硅酸盐水泥 ,根据不同的土质特征 ,可选择 7% ,9% ,11% ,13% ,15% ,17% ,19% ,22% 的水泥掺入量做试验 ,以确定最优配比 ,日本采用 SMW 工法时 ,针对不同土层的特点 ,建议了表 1 所示的几种水泥浆配比。

对于超深(深度大于 15 m)的基坑工程 ,应尽量使用高标号水泥 ,研究表明 ,水泥标号每提高 100 号 ,水泥土的无侧限抗压强度约增大 20% ~ 30% ,此外 ,适当增加水泥用量亦有助于提高水泥土的强度 ,在南京地铁珠江路车站及控制中心基坑工程中 ,土层主要以粉质黏土为主 ,最大开挖深度达到 19.45 m ,为目前国内采用 SMW 围护最深的基坑工程 ,在设计阶段笔者对该土层取样并进行配合比试

验 ,当水泥掺入量在 20% 左右时 ,水泥土的无侧限抗压强度可达到 1.5 ~ 2.2 MPa。

表 1 不同土层 SMW 施工水泥浆配合比

土类	土质特征	每立方米土配合比			抗压强度/MPa
		水泥/kg	膨润土/kg	水/L	
黏性土	粉质黏土	300 ~ 450	5 ~ 15	450 ~ 900	0.5 ~ 1.0
砂质土	细砂、中砂、粗砂	200 ~ 400	5 ~ 20	300 ~ 800	0.5 ~ 3.0
砂砾土	砂砾土、砂粒夹卵石	200 ~ 400	5 ~ 30	300 ~ 800	0.5 ~ 3.0
特殊黏土	有机质土、火山灰黏土				

注 :特殊黏土的配合比根据室内试验配置。

2.1.2 水泥土搅拌桩的厚度与芯材密度控制

水泥土厚度的确定 ,主要须考虑周围地层水土压力、水泥土的强度、H 型钢的间排距等。

对于超深地层 ,若水泥土挡墙的厚度过薄 ,极易导致剪切破坏而出现渗漏 ,为避免此现象发生 ,从设计的角度 ,主要是控制好 H 型钢的布置密度与水泥土搅拌体的厚度 ,其二者成反比关系 ,即

$$a\sigma \leq [\tau] b \tag{2}$$

式中 : a 为 H 型钢间距 ; σ 为地层压力 ; $[\tau]$ 为水泥土抗剪强度 ; b 为水泥土厚度。

公式(2)表明 ,通过增加围护墙体的厚度、提高水泥土的强度、增加型钢插入的密度 ,可有效地改善墙体的抗渗性能 ,设计中 ,主要是根据水泥土的渗透系数、围土压力以及孔隙水压力的 大小等 ,设计出满足不同抗渗等级的墙体厚度值。

一般地 ,水泥土的抗剪强度约为抗压强度的 1/3 ,南京地铁 1 号线珠江路车站及控制中心工程中 ,笔者选用 $\varnothing 850$ mm 的搅拌桩 ,搅拌桩中心距为 600 mm ,其有效围护厚度为 602 mm ,采用高 700 mm、宽 300 mm、翼缘厚 24 mm、腹板厚 13 mm 的 H 型钢 ,根据计算 ,水泥土的抗剪强度在型钢以 1 200 mm 的间距布置时即符合要求 ,但围护结构的整体刚度仍然偏低 ,为此 ,选用了每 3 孔插两根型钢的方式 ,如图 1 所示。

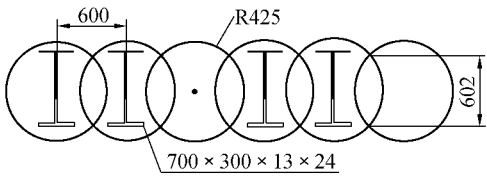


图 1 珠江路站围护结构示意图(单位 :mm)

2.1.3 SMW 围护结构支撑间距控制

若 SMW 围护体产生过量变形 ,会加速水泥土搅拌桩墙体裂纹的发展 ,并导致大量渗水 ,给基坑的开挖带来困难 ,且极易引起基坑失稳 ,因此 ,基坑开挖过程中 ,应在对基坑的侧向位移进行计算预测和实际施工控制的基础上合理地确定支撑的间距。

理想状态下, H 型钢和水泥土组成一个复合结构, 变形协调一致, 被认为是完全共同作用; 但实际上, 由于两者刚度的不同, 不可能是完全共同作用。文章以部分共同作用为模型, 进行 SMW 墙体变形计算。假定型钢在两支撑间的受力为图 2 所示的简支梁, 其上作用有均布荷载 q , 坐标原点取在梁的跨中, 经计算, 其最大位移如公式 3 所示。

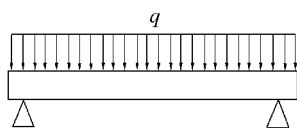


图 2 型钢受力简化计算模型

$$f_{\max} = \alpha_1 = -\frac{1}{p^2 \text{ch} \frac{pL}{2}} \left(\frac{Qq}{p^4} - \frac{R}{p^2} \right) \quad (3)$$

其中

$$\alpha_1 = -\frac{1}{p^2 \text{ch} \frac{pL}{2}} \left(\frac{Qq}{p^4} - \frac{R}{p^2} \right)$$

$$p^2 = G \left(\frac{1}{E_c A_c} + \frac{1}{E_s A_s} \right)$$

$$Q = \frac{G}{E_c I_c + E_s I_s} + \left(\frac{1}{E_c A_c} + \frac{1}{E_s A_s} \right)$$

$$R = \frac{q}{E_c I_c + E_s I_s}$$

式中: G 为由试验确定的粘结抗剪刚度, MPa; E_c, E_s 分别为水泥土和型钢的弹性模量; I_c, I_s 分别为水泥土与型钢的惯性矩; A_c, A_s 分别为水泥土与型钢的有效受拉区断面面积; L 为支撑间距。

在设计阶段, 主要是防止基坑的围护结构产生过量的变形, 特别是围护结构的受拉区, 不能产生塑性破坏。这一变形控制可通过多种途径实现, 式(3)表明, 通过调整芯材(如 H 型钢)的刚度、提高水泥土的强度与刚度、适当减小支撑的间排距, 均可达到控制墙体抗渗性能的目的。

施工过程中, 应借助钢支撑或其他支撑方式, 合理选择支撑间排距, 将 SMW 的墙体最大水平位移 $f_{\max}$ 控制在 3~4 cm 范围内。

2.2 施工过程的防渗控制

SMW 施工过程中, 对搅拌桩体质量的控制是保证围护结构符合抗渗要求的关键, 需从钻孔的施工精度、钻进与提升速度、压浆以及冷缝处理等方面, 对整个工艺过程进行全面控制。

a. 钻孔施工精度控制。钻孔施工精度控制包括桩体垂直度与桩体中心距的控制, 其直接影响到桩与桩之间搭接的连续性与防水性能。一般要求孔位的误差须小于 2 cm, 桩身垂直度不小于 1/200 的桩长。

b. 钻进速度。不同土层的钻进速度值有所差异。对于黏性土层, 一般控制在 0.5~1.0 m/min 范围

内。对于砂性土, 钻进速度可略为增加, 一般可控制在 1.0~1.5 m/min 范围内。提升搅拌的速度不宜过快, 一般控制在 1~2 m/min 范围内, 这样可避免因孔内出现真空负压、孔壁塌方而影响水泥土的密实性与桩体的止水效果。

c. 压浆控制。钻进搅拌时即连续压注水泥浆, 钻进的注浆量一般为额定浆量的 70%~80%, 提升搅拌时的注浆量为额定浆量的 20%~30%, 以防发生断桩。

d. 施工冷缝处理。施工过程中, 由于桩机本身出现问题或者钻进过程中受阻而使工程暂时停顿, 有可能造成墙体的施工间隔时间过长而形成施工冷缝, 并在该部位引起渗漏。一旦出现施工冷缝, 则应对冷缝处进行适当的加固补强, 可在外围增设 1~2 排素桩, 并与主体围护桩紧密搭接。

e. 堵漏控制技术。当桩体偏斜或水泥土断桩时, 均易引起 SMW 围护体渗水, 甚至引发大面积渗水。对于基坑围护结构基面出现的局部渗点, 要根据渗水的特性, 选择相应的堵漏材料。当流量过大时, 可采取化学注浆的方法, 注入具有补强止水作用的材料, 如 EAA(或者 RG 涂料)堵漏浆液, 将渗水处封闭。而对于大面积的渗水, 应根据引发的原因, 选择合理有效的方案, 如采用引水导流、注浆封堵、降水等措施进行综合防治。

f. 加强监测监控。基坑开挖施工过程中, 应加强对孔隙水压力、地下水位、基坑水平位移、地表沉降等参数的检测, 并根据特征参数的变化及时调整施工参数, 控制支撑的间排距、支撑轴力的大小、开挖坡度等, 以确保基坑的变形始终处于受控状态。

3 结 语

研究表明, 对于超深基坑, 对 SMW 围护结构的防渗应从设计与施工两方面加以控制。设计时, 应根据不同的地质条件, 在保证水泥土有效厚度的基础上, 合理选择 H 型钢布置的密度、支撑布置的间距等参数。此外, 适当提高水泥土的强度亦有助于改善水泥土搅拌体的抗渗性能。施工中, 应在合理选择钻进速度、浆液压力、流量等施工参数的基础上, 加强监测监控, 并综合采用防、堵、控等技术, 控制 SMW 施工的墙体渗漏。

参考文献:

- [1] 国藤裕光. SMW 工法の概要と施工例[J]. 基础工, 1994(5): 1.
- [2] 土谷正幸. 钢管柱列土留壁工法—ONS 工法の最近の施工事例と新技术[J]. 基础工, 1997(8): 102~108.
- [3] 刘建航. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997: 588~590. (收稿日期 2003-07-10 编辑 高建群)