

【摘要】 在上海基坑工程开挖过程中时常遇到与浅层承压水有关的基坑岩土工程问题,随着基坑开挖深度的增加,浅层承压水对基坑工程的危害日益严重。结合上海轨道交通某基坑工程由于浅层承压水问题造成的险情实例,对浅层承压水的工程特性进行分析,并就其危害和治理提出了一些看法,以期为工程建设者们提供有益的借鉴。

【关键词】 软土; 基坑; 承压水; 监测数据

上海地区的承压水按其埋藏深度可分为两种存在形态:(1)深层承压水,一般埋藏在草黄色砂质粉土灰色粉细砂层中;(2)浅层承压水,埋深一般较浅,有时分布在多个黏土层的夹层中,有时分布在局部地层如古河道带的粉土层中。其中,浅层承压水大多分布于渗透性比较小的土层中,出水量不大。如果基坑基底是粉砂地层,下面的土层是承压水的隔水层,并且厚度较小时更为危险。因为粉砂颗粒较小,其有效重度 γ' 也较小,承压水在隔水层薄弱处极易形成突涌和流砂,带走基底下部的土颗粒,危及基坑安全[1]。据统计[2],有70%的基坑事故的原因都直接或间接与地下水有关,轻者造成基坑报废、围护结构倒塌,重者还会危及周边环境的安全、造成人民生命财产的损失。本文以上海某地铁基坑为例,分析浅层承压水造成的基坑危害和治理措施。

1 工程概况

该车站主体结构全长167.0 m,为地下二层岛式标准站台。基坑采用0.8 m厚地下连续墙作围护结构,端头井地下连续墙深31.5 m,标准段和封堵墙的地下连续墙深28.0 m,开挖深度约15.7~17.2 m,设5~6道 $\Phi 609$ 钢管支撑。基坑地层特性见表1。场区内地质情况相当复杂,受古河道切割影响,有⑤₂微承压含水层和⑦₁₋₁承压含水层,水头各约为5.65 m、7.31 m。

表1 各土层的主要物理力学性质统计表

序号	土类型	土层厚度 (m)	重度 (kN/m ³)	固结快剪峰值	
				C(kPa)	φ (°)
①	填土	1.2~2.6			
② ₁	粉质黏土	1.0~2.2	18.6	15.0	20.0
② ₃₋₁	砂质粉土	2.8~3.8	18.8	1.5	30.0
④	淤泥质黏土	8.6~10.1	16.6	13.0	11.0
⑤ ₁	粉质黏土	9.0~9.0	17.8	14.0	13.0
⑤ ₂	砂质粉土	6.1~30.2	18.1	1.0	29.5
⑤ ₃	砂质粉土	1.2~2.1	18.5	15.0	17.0
⑥	粉质黏土	4.7~5.8	19.5	44.0	15.0
⑦ ₁₋₁	砂质粉土	6.3~8.1	18.8	0.0	31.0
⑧ ₁	黏土	15.4~17.3	17.7	17.5	17.0

该基坑17轴附近设一道封堵墙,基坑开挖分两个阶段,第一阶段,施工如图1所示的17~22轴,即本文研究浅层承压水造成的基坑危害实例。第二阶段,施工1~17轴。图1中J表示降压井,S表示疏干井。



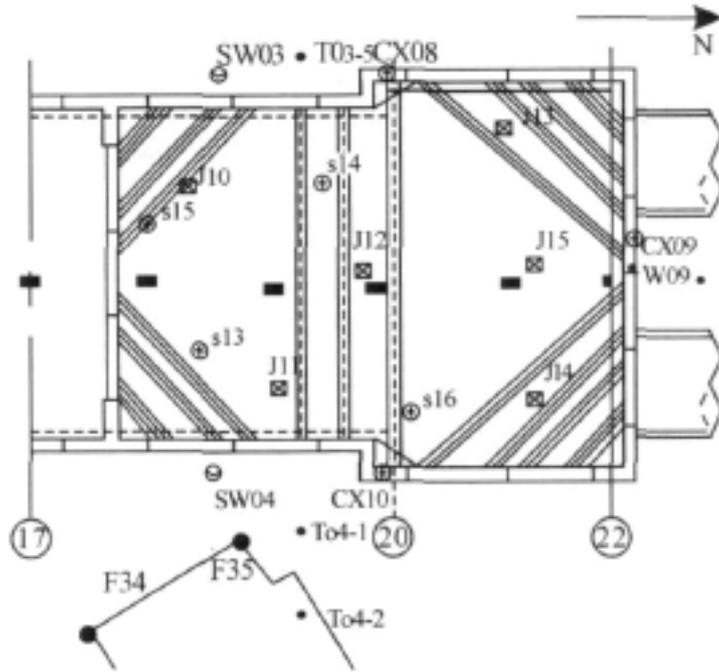


图 1 基坑平面示意

2 降水设计与施工

浅层承压水造成基坑险情发生于 17~22 轴区域,为车站基坑开挖的第一阶段。如图 2 所示,基坑 17~22 轴跨越南端头井和部分标准段,仅存在第②层承压含水层。该层在上海规范中归入“微承压水层”,是为了区分早先对上海地区承压水层的规定,实际上②层土埋深较浅,且承压水头较高,与以往对微承压水层的定义实际相差较大,应当归入一般的承压水层 [3]。

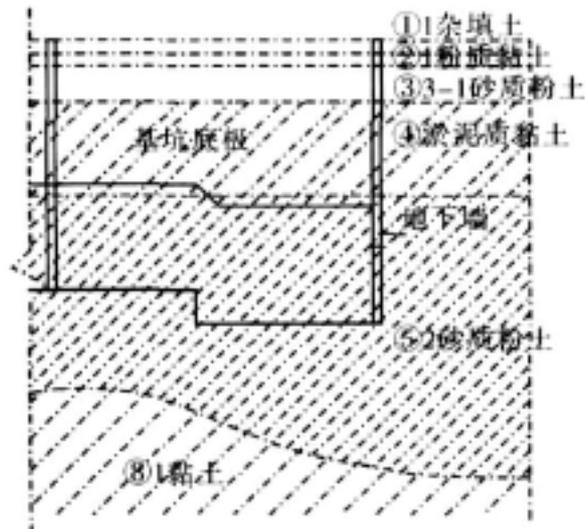


图 2 基坑剖面示意

2.1 基坑抗承压水稳定分析



如图 2 所示,基坑 17~22 轴跨越南端头井和部分标准段,存在第⑤2 层承压含水层,厚度为 6.00~30.00 m,起伏比较大,而缺失⑤1、⑤3、⑥和⑦1-1 层,顶面最浅埋深为 15.90 m,渗透系数比较大,南端头井开挖深度为 16.90 m,已进入承压含水层,标准段开挖深度为 15.30 m,开挖面接近承压含水层。

基坑开挖至设计标高后,坑内承压含水层顶板以上的覆土的自重压力远小于承压水压力,为防止基坑发生突涌事故,必须采用降水减压措施。

为了保证基坑开挖期间的施工安全,避免发生突涌的可能性,必须保证基坑范围内任一点在任一时刻顶板处的水头压力小于上覆土层的重量,即基坑底板范围内的承压水头小于临界水头,并且须考虑一定的安全系数:

$$h_w \leq h_{wc} = \frac{\sum \gamma_s \times H_s}{K \times \gamma_w}$$

式中: h_{wc} 为临界承压水头,m; γ_w 为水的密度, kN/m^3 ; H_s 为含水层顶面到坑底间各土层厚度,m; γ_s 为含水层顶面到坑底间各土层重度, kN/m^3 ;K为安全系数,一般可取 1.05~1.2。

本工程 K 值取 1.1 为宜。根据水、土压力的平衡关系,计算得出开挖深度 H_s 与水位 D 关系曲线如图 3。在基坑开挖阶段应严格按照图 3 所对应的水位控制承压水运行。

根据图 3 分析可知,在承压水的初始水头为 5.50 m 时,基坑的安全开挖深度可达到 9.3 m,在此开挖深度内不需要进行减压降水。标准段开挖深度达到 15.30 m 时,安全承压水头埋深为 16.30 m;南端头井开挖深度达到 16.90 m 时,安全承压水头埋深为 17.90 m。

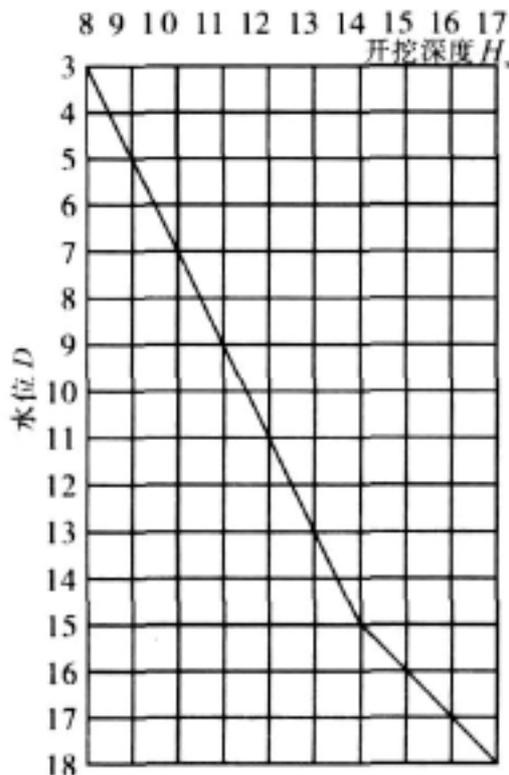


图 3 基坑开挖中安全的承压水位线 (m)



2.2 基坑减压降水设计

在基坑 17~22 轴只存在第⑤2 层承压含水层区域,布置坑内降压井,减压井的过滤器底端进入⑤2 层,但不超过连续墙刃脚。如图 1 所示,在坑内布置 6 口减压井,深为 26.0 m,并布设 4 口疏干井,深为 15.0 m。

3 监测数据分析

该基坑于 1 月 31 日恢复施工,于 2 月 4 日开挖至底,并浇筑垫层,开挖三层土,合计 12.0 m 左右。从图 1 基坑东侧设的水位监测点 SW04 所反映的变化曲线(图 4)可知:此开挖期间地下水位下降明显。

1 月 31 日起,水位监测点每天都有比较大的降幅,大约 300 mm/d 左右,并且累计值超过了 1 000mm 的警戒值。2 月 6 日,水位达到最低值-1 959 mm,由于该日采取了堵漏措施,2 月 7 日水位监测值恢复正常。

基坑围护结构的变形有一定的滞后性,直至 4 日时,变形均在 2 mm/d 的范围内。但 2 月 5 日,基坑围护结构变形最为明显。

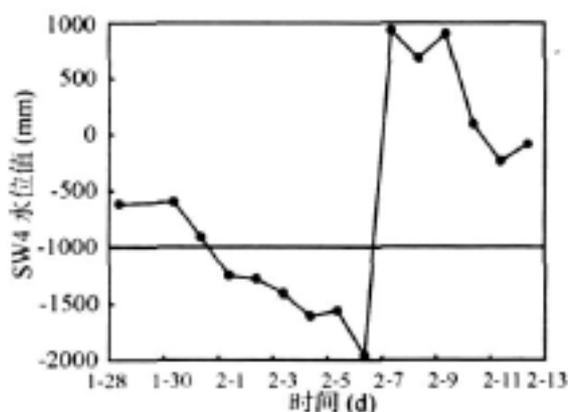


图 4 水位监测点 SW 04 点随时间变形曲线

CX10 点为图 1 基坑东侧地下连续墙水平位移监测点。2 月 5 日、6 日、7 日 CX10 点变形速率图见图 5,累计变形见图 6。从图 5、图 6 中可以看出,CX10 点 5 日的最大变形速率为 6.9 mm/d。测斜点 CX10 点附近设有一组地表沉降监测点 T4-1~T4-5,间距 5 m,该组沉降点 5、6、7 日最大沉降分别为 1.9 mm、11.4 mm、8 mm。房屋监测点 F34、F35 点 5、6、7 日最大沉降分别为 2.9 mm、10.2 mm、8.8 mm。

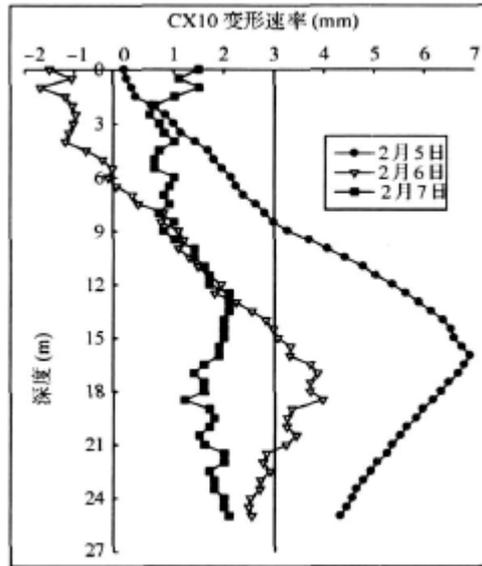


图 5 2月 5日到 7日 CX10点变形速率

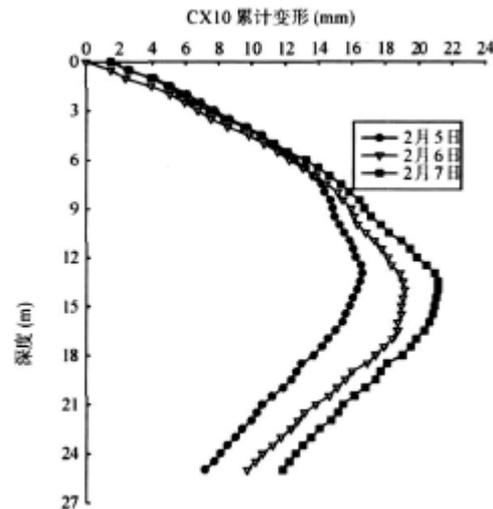


图 6 2月 5日到 7日 CX10点累计变形

4 险情的发生和处理

4.1 险情经过

2007年2月5日,17~20轴封堵墙土方开挖结束,垫层浇筑完毕,同时所有降压井全部启动抽水。晚8时左右,基坑端头井与标准段交接处西侧围护墙体局部发生漏水现象;随后,基坑西侧靠近17轴封堵墙东北角处的垫层发生隆起。施工单位虽在该处补设了几个卸压孔;然而,情况并没有得到控制,带有沙粒的地下水反而从卸压孔涌了上来,形成突涌流砂。坑底发生类似“沸腾”喷水现象,使基坑积水积砂。

4.2 处理措施[4]

2月5日晚施工单位首先采用水泥砂袋在坑内进行封堵,由于大面积水土流失,基坑险情并没有得到很好的控制。2月6日,经过进一步讨论,分两个主要阶段处理。

第一阶段,在出现突涌的区域在坑外打孔,与围护结构同深,向孔内高压注入聚氨酯。水溶性聚氨酯可灌性好,注浆时加一定压力可以使浆液见孔就钻,遇水即膨胀,充填混凝土孔隙,切断水力联系,达到以水止水的目的。



第二阶段,在注完聚氨酯 2 h 后,待漏水源头被成功封堵,又在房屋外围布设了成弧形的 5 个注浆孔,进行双液注浆,从而有效降低水土流失所产生的周边环境的沉降。

此外,降水单位还在基坑内补设了两个观测井,用以观测承压水头变化,紧急时可作为备用降水井。

2 月 7 日,所有险情都得到了控制。随后,施工单位顺利进行底板浇筑。

5 原因分析

分析基坑事故,原因可能有:

(1)该基坑地质不良,基坑底部以④号土为主,有较明显触变及流变特性,在水动力作用下土体强度极易降低。底板以下为⑤2 号砂质粉土,渗透系数较大,达到 0.447 m/d ,且承压水头较高,实际上是承压水层。在不良地下水的的作用下,基坑开挖极易产生流砂、管涌、突涌等危害[5]。

(2)在原先的降水试验和设计中,开启 5 口降压井,各观测井承压水位能够降到基坑最深开挖面以下 1 m 左右,满足南端头井和标准段底板施工的需要。降水运行根据挖土工况,提前将水位降到开挖面以下 0.5~1 m。然而,在实际施工过程中,由于降压井 J11 并没有启动抽水,而且,随着土方开挖进行, J11 井被逐渐割除并封井,丧失了减压降水的作用。在已知降深的情况下,验算降水井影响范围和周围水头分布时,可知事故区域距离降压井中心较远,该区域的抗突涌安全系数仅为 0.93,实际降深不足,造成局部失稳。施工方虽竭力想抢筑地板来抗压,但由于开挖速度过快,覆盖层厚度减小过快,出现突涌也是难以避免的。

(3)地下连续墙围护结构由于施工等原因可能存在裂缝,或者空洞等不良现象,止水效果不佳。大量地下水夹带砂粒沿连续墙裂缝向基坑内涌入,渗流路径减小,水力坡度增大,造成坑内外水土流失。

6 结束语

(1)自然界存在着压头很低的承压含水层,将之命名为“微承压含水层”有必要。但上海地区⑤2 层粉土、粉砂含水层应为“承压含水层”。如本工程的⑤2 承压含水层具有很强的典型性,该承压含水层上下缺失了如⑦等不少土层,且其含水层厚度较大,水头高且富水性强,对本基坑工程危害影响较大。类似⑤2 承压含水层应引起充分重视。

(2)在承压水危害方面,过大的承压水头会引起基坑地下墙的倾斜、附近的房屋沉降等变形速率突然地加剧,会伴随出现多种较大累计变形量。

(3)在基坑设计和施工前必须了解承压水分布,并验算承压水水头与上部覆土重的平衡是否满足要求。对于上海地区的浅层承压水如⑤2 层承压水,如果不满足基坑的设计要求,进行降水设计时应充分考虑基坑范围内的水位降深,尤其考虑基坑边缘的水位高度,防止局部出现突涌的发生。

(4)上海地区的浅层承压水一般距离基坑坑底较近,而且其上覆黏土层一般又较薄,在基坑开挖施工过程中承压水极易冲破地层薄弱处形成突涌或流砂。所以,在施工过程中,即使在降低承压水水头的情况下也必须加强对基坑坑底,尤其是地下墙附近角隅处的观察,发现情况应立即采取注浆加固封堵措施。

参考文献

- [1]刘国彬,王洪新.上海浅层粉砂地层承压水对基坑的危害及治理[J].岩土工程学报, 2002, 24(6): 790-792.
- [2]刘建航,侯学渊.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社, 1997.
- [3]张惠忠,刘明建.上海软土中“微承压水”与基坑工程[J].岩土工程学报, 2005, 27(8): 944-947.
- [4]叶国强,陈杰生.深基坑施工中承压水的危害、预防及紧急应对措施[J].建筑施工, 2000, 27(7): 22-25.
- [5]姚天强,石振华.基坑降水手册[M].中国建筑工业出版社,2006.

