

国家大剧院深基坑工程设计与施工技术()

(基坑方案比选及设计)

余 波

(北京城建集团有限责任公司)

3 基坑支护及地下水控制方案的选择

(一) 确定方案的原则:

1、基坑支护方案和地下水控制方案系统考虑原则。

2、方案应同时满足安全、可行、经济、环保的原则。

4、基坑围护结构的安全系数按一级考虑的原则。由于本工程及周围环境对基坑工程的质量要求很高,根据《建筑基坑支护规范》(J GJ 120 - 99)的规定,本工程建筑基坑的侧壁安全等级应按一级考虑。

(二) 可供比较的基坑支护方案

1、方案一:地下连续墙、锚杆支护方案

该方案按不降层间潜水、第一层承压水(水头标高约 - 17 m)的条件分别对大剧院 202 区大面积 - 26 m 基坑和歌剧院台仓 - 32.5 m 基坑设置地下连续墙、锚杆支护,并对基槽内滞留水进行疏干。方案充分利用地下连续墙支挡、隔水和抗管涌的作用,可以达到基本不影响周围的地下水位和环境的目的。

对于大面积 - 26 m 基坑:

支护结构计算模型一:800 mm 厚地下连续墙 + 四道预应力锚杆。见图 5。

初步估算结果:

$$M_{\max} = - 805 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

第一、二、三、四道锚杆的轴向极限拉拔力分别为 75.4 t/m、91 t/m、150 t/m、206 t/m。

从初步估算的结果来看,第四道锚杆的极限抗拔力在 200 t 以上,其设置的 - 20.5 m 标高表明其从头到尾完全处在承压水头以下,需要完全在打穿相对隔水层 层后的承压水中作业。根据了解的国内外有关资料以及对专家的咨询,国内施工的成功

示例前所未有的,仅在国外有相类似的经验,一个是利用特制的锚杆机械,高压水冲孔成孔并采取特殊的堵水措施成锚;另一个是先进行地层加固,在加固体中钻孔成锚。以上两种施工方法虽然能满足设计上的安全要求,但施工造价十分昂贵,折合锚杆施工费用 4000 ~ 5000 元/m,如果 202 区周围设置 100 根 20 m 长的水下锚杆,施工费用将为 800 万 ~ 1000 万,造价十分可观。

支护结构计算模型二:1000 mm 厚地下连续墙 + 三道预应力锚杆。见图 6。

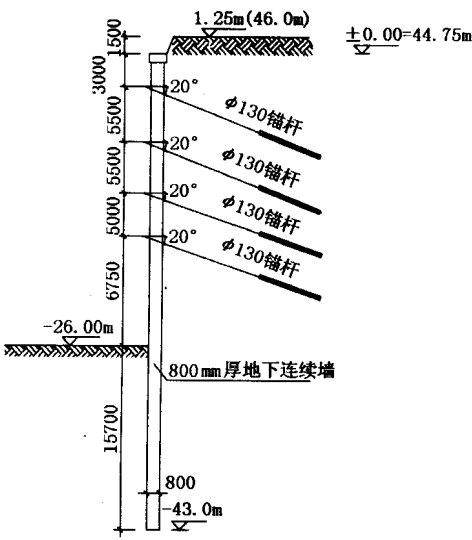


图 5 计算简图 1

初步估算结果:

$$M_{\max} = - 1700 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

第一、二、三道锚杆的轴向极限拉拔力分别为 89.5 t/m、118 t/m、220 t/m。

从初步估算的结果来看,连续墙的弯矩及第三道锚杆的轴向拉拔力均很大,墙体的厚度无法满足,

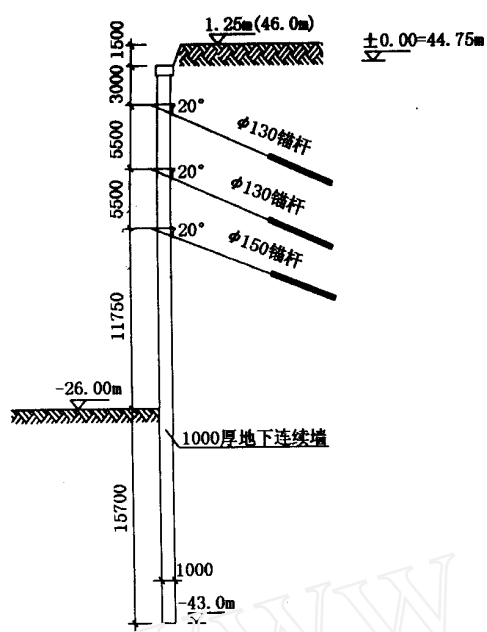


图6 计算简图2

锚杆的设置长度要达到 35 ~ 40 m,如果要缩短锚杆的长度和提高单根锚杆的抗拔力,需要采取复合型锚杆或分散拉伸型锚杆。从目前了解到的情况,还未有这两种锚杆在高承压水中施工的成功先例,若采取相应的措施,施工费用将非常高。如果要增加锚杆的数量,降低单根锚杆的极限抗拔力,这种情况与大剧院外圈水池下设置的基础桩位置发生矛盾,若锚杆很密,侵入了基础桩的位置,将为后期基础桩的施工带来很大的困难。

为解决地下连续墙的墙体配筋问题,考虑将连续墙的类型由“一字”型变为“T字”型,这种型式形如墙体后设置了拉锚,截面抵抗矩很大,经初步估算可以取消第四道锚杆,但该型式相当于增加了半圈连续墙的工程量,总的施工费用也十分高。

为解决地下连续墙 - 17 m 标高以下的第四道水下锚杆问题,考虑,以内环梁来代替第四道水下锚杆。环梁位置为第四道锚杆的设置位置,经初步估算,满足要求的环梁截面宽度需 2 ~ 3 m,通过施工连续墙时预留铁件,基坑土方开挖时分段实施现浇砼结构,经养护达到设计强度的 90 % 以上时,方可开挖其下部土方。该方案能达到取消水下锚杆的目的,但又带来了其它问题,如:环梁截面宽度达 2 ~ 3 m,必定侵入结构,在满足基槽回填环梁部分凿除的情况下,支护结构的安全稳定性方得以保证,连续墙需整体向外扩大,则施工费用相应增加,施工时间相应增长。

对于歌剧院台仓 - 32.5 m 基坑:

虽然歌剧院台仓基坑局部加深仅为 6.5 m,但由于其槽底也落在第 层卵石层中,为了形成全封闭的隔水结构,经对台仓基底抗渗流稳定性的验算,发现台仓处连续墙底端仅进入第 层相对隔水层中一定深度,还不能满足基底抗渗流稳定性的要求,必须穿过厚约 10 m 的第 层超大粒径的密实卵石层,进入第 层重粉质粘土、粘土相对隔水层中一定深度。这样以来,地下连续墙成槽的深度需要达到 38 m。另外,对于歌剧院台仓不同于其它基坑的一点是:来自于第 层卵石层中所赋存的第三层承压水具有冲破上覆隔水层造成地基失稳的可能性,经验算,如果歌剧院台仓基底不采取增强基底抗浮的有效措施,基底的稳定将很难保证。

2、方案二:降水后,分级桩锚支护方案

该方案是不考虑任何挡水措施,在基坑内外布置降水井点,先将各种地下水降至能正常开挖基坑并保障基底稳定的标高。即:疏干上层滞水、层间潜水,第一、二层承压水降至 - 33.0 m 以下,第三层承压水降至 - 26.0 m 以下,或将三层承压水的混合水位降至 - 33.0 m 以下。降水后,分三级施做桩锚支护结构的方案。

支护结构计算模型:φ600 护坡桩 + 两道预应力锚杆 + φ600 护坡桩 + 两道预应力锚杆 + φ600 护坡桩 + 一道预应力锚杆。见图 7。

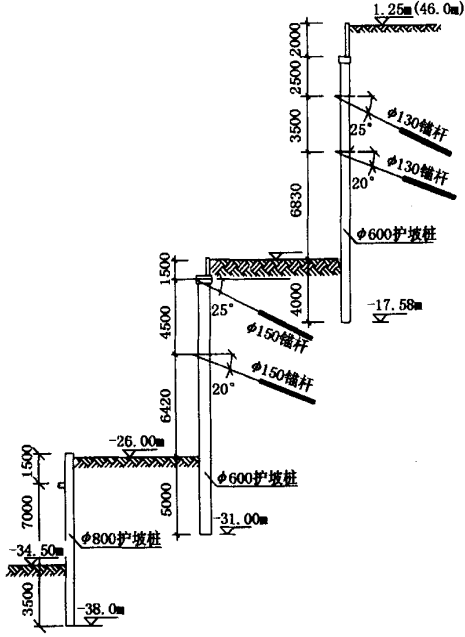


图7 计算简图3

对于这种基坑支护方案,经初步估算,桩锚支护结构均能满足常规设计和施工要求,但初步估算基坑降水涌水量达到 20 ~ 30 万 m³/d,降水影响范围

将达到 1000 m 以上,正常降水引起固结沉降将达到 10 mm 左右。这样一来,国家大剧院工程周围的建筑物均处于降水影响范围之内,特别是人民大会堂坐落在古河道天然地基上,基础埋深仅 4~5 m,其安全将会受到不利影响。为保护这些建筑物(特别是人民大会堂)的安全,可考虑采用回灌措施,即在这些建筑物周围设置回灌井,在抽降水的同时将从地层中抽取的部分地下水回灌入第一层承压含水层。回灌方法是否可行是方案成立的关键。我们通过咨询有关专家及了解几个进行了回灌的工程项目,我们研究后认为本工程项目回灌场地受限,回灌技术难度很大,回灌量难以计算,回灌具有难以预测和难以承受的风险。

实际上 20~30 万 m³/d 的抽水量进入市政管网的排放及对于缺水的北京市地下水资源都是需要认真研究的问题。

3、方案三：挡、降结合的方案

该方案是在方案一、方案二的基础上,进行了一些调整后形成的方案。根据 202 区基坑设计的特点,在大面积 - 26m 基坑的外围有一圈基底标高为

- 12.5 m 的消防通道,该基坑范围的地下水主要为上层滞水,在围墙范围内的各种地下废弃管线拆除后,上层滞水可以通过抽、渗井排除掉,通过计算这种方式降水对周围建筑物的安全影响很小,上层滞水疏干后采用最常用的护坡桩、锚杆支护是最经济的方案。自消防通道基底至 - 26 m、- 28.5 m、- 29.1 m 槽底,遇层间潜水和第一层承压水,采用地下连续墙锚杆支护结构,可发挥其护坡、挡水、基底稳定的三重作用,同时地下连续墙、锚杆支护结构承受的水压力及施工难度将降低不少。此时,仅需要在基坑内设置疏干井,控制地下水位,保证基坑内土方开挖。

对于歌剧院台仓,基底标高 - 32.5 m,比 202 区大面积 - 26 m 基底标高深 6.5 m,该基底虽然处于 202 区外圈地下连续墙的包围之中,但通过渗流稳定分析,完全降水对大面积基坑抗渗流稳定有影响,若选择隔水作用的结构代替完全降第一层承压水,就可使大面积基坑抗渗流稳定性得以保证。

三种方案的优缺点对比和评价见表 3。

表 3 基坑工程支护方案比较表

比选方案	优 点	缺 点	总体评价
方案一 地下连续墙、锚杆支护方案	对周围的环境和地下水资源有较好的保护	施工难度大 造价高	能满足基坑支护目的,但实施困难
方案二 降水后,分级桩锚支护方案	工程造价低, 施工便于操作	基坑降水涌水量很大 对周围环境影响大	实施风险大,不利于周围环境和地下水资源的保护
方案三 挡、降结合的方案	有利于地下水资源和周围环境保护, 对基坑稳定可能遇到的因素均有考虑和应急措施。	造价仍有些偏高	能紧密结合基坑工程的特点和难点,在满足基坑支护要求的前提下,能有效地降低工程施工技术难度,也使工程造价趋于合理。

(三) 可供比较的综合解决歌剧院台仓基底抗渗流稳定问题的方案

1、方案 1：不降水条件下施做地下连续墙支护结构方案。

即从 - 26.0 m 基底处施做地下连续墙支护结构,该方案已在前述方案一中涉及到,考虑到基底抗浮和抗管涌的安全,地下连续墙的底部必须进入第

层相对隔水层一定深度,经验算,墙底标高为 - 57.0 m 左右,则连续墙的深度为 11.0 m,墙身须穿过第 层卵石层。第 层卵石层的卵石含量更高,粒径更大,而且已打穿第二层承压水,施工难度相当大,施工费用也比较高。

2、方案 2：高压旋喷的方法。

采用高压旋喷的方法,将台仓底部相对隔水层的厚度增大,从而平衡来自第二层承压水的浮力,使

台仓基底稳定方案。该方案经初步核算,须将基底第 层相对隔水层下部的 层卵石层旋喷加固约 4 m 厚,从理论上分析可行,但实施起来比较困难,首先,旋喷注浆管打入大粒径的卵石层中非常困难,其次,高承压水中注浆不宜形成凝固体,浆液损失将会比较严重。施工难度大,施工质量很难保证,因此,实施效果很难预测,同时实施造价将十分昂贵。

3、方案 3：旋喷隔水帷幕 + 基底抗拔桩方案。

该方案要求隔水帷幕与抗拔桩能共同组成一个整体,抗拔桩进入第 层卵石层约 4 m 深,从而平衡来自第二层承压水的浮力,使台仓基底稳定,但实际施工中很难保证两者的结合效果,因此抗浮效果不能预测。

4、方案 4：冻结基坑壁加坑壁喷锚支护方案。

经测算坑壁冻结厚度平均为 2.0 m,冻结结构

底部须进入第 层相对隔水层一定深度 ,底标高同样为 - 57.0 m ,深度为 11.0 m。冻结坑壁内喷锚结构厚约 30 cm ,逆做施工并适当施以对撑。该方案优点是更利于保护地下资源 ,也可有效阻挡地下水进入基坑 ,缺点是施工工期长 ,耗电量大 ,造价高。

5、方案 5:减压降水加薄壁连续墙隔水帷幕方案。

该方案为在台仓基坑周围施做减压降水井 ,将

影响台仓基底稳定的第二层承压水的水头标高降低至基底稳定的水头标高 ,同时在台仓周围施做隔离第一层承压水的帷幕墙 ,将 - 26 m 大面积基坑的稳定水位与台仓内疏干后的水位隔开 ,以确保 - 26 m 大面积基坑的稳定。由于隔水帷幕仅起到隔水的作用 ,厚度可减薄为 300 mm 厚 ,采用连续墙成槽的设备施工 ,槽内灌素砼。

以上各方案的对比分析情况见表 4。

表 4 歌剧院台仓基坑支护方案比较表

方案	施工方法及分析	优点	缺点
方案一 地下连续墙支护结构方案	从 - 26.0 m 基底处施做地下连续墙支护结构 ,该方案已在前述方案一中涉及到 ,考虑到基底抗浮和抗管涌的安全 ,地下连续墙的底部必须进入第 层相对隔水层一定深度 (墙底标高为 - 57.0 m 左右) ,连续墙设计深度较大 ,穿过 层卵石层且已穿透第二层承压水。	施工风险小	施工难度大 造价高不利于地下水的保护
方案二 高压旋喷方案	采用高压旋喷的方法 ,将台仓底部相对隔水层的厚度增大 ,即将基底第 层相对隔水层下部的 层卵石层旋喷加固约 4 m 厚 ,从而平衡来自第二层承压水的浮力 ,使台仓基底稳定。	理论效果好	施工难度大 ,质量难以保证 ,实施效果难以预测 ,不利于地下水的保护
方案三 旋喷隔水帷幕 + 基底抗拔桩方案	旋喷隔水帷幕与抗拔桩能共同组成一个整体 ,抗拔桩进入第 层卵石层约 4 m 深 ,从而平衡来自第二层承压水的浮力 ,使台仓基底稳定。抗拔桩和旋喷帷幕向来很难紧密结合 ,从而抗拔桩所起到作用微小。	理论效果好	施工质量要求很高 ,实施效果难以预测 ,不利于地下水的保护
方案四 冻结基坑壁加坑壁喷锚支护方案	经测算坑壁冻结厚度平均为 2.0 m ,冻结结构底部须进入第 层相对隔水层一定深度 ,底标高同样为 - 57.0 m ,深度为 11.0 m。冻结坑壁内喷锚结构厚约 30 cm ,逆做施工并适当施以对撑。冻结结构起到阻挡隔水和基底抗浮的作用。	施工风险小 , 有利于地下水资源保护	施工工期长 ,耗电量大 , 造价高
方案五 减压降水加薄壁连续墙隔水帷幕方案	台仓基坑周围施做减压降水井 ,将影响台仓基底稳定的第二层承压水的水头标高降低至基底稳定的水头标高 ,同时在台仓周围施做隔水帷幕墙 ,将 - 26 m 大面积基坑的稳定水位与台仓内疏干后的水位隔开 ,以确保 - 26m 大面积基坑的稳定。隔水帷幕仅起到隔水的作用 ,厚度可减薄为 300 mm 厚 ,采用连续墙成槽的设备施工 ,槽内灌素砼。	造价低 ,较有利于地下水资源保护	地下水的控制施工要求高 ,有一定的风险

(四) 基坑方案的确定

通过对可供选择方案的深入分析、比较和综合评价 ,确定大剧院深基坑方案为分步支护 ,挡、降结合的方案 ,即:

第一步 :消防通道 - 13.58 m 基坑范围 ,护坡桩 + 锚杆 + 基坑外抽渗井 ;

第二步 :大面积 - 26 m 基坑范围 ,地下连续墙 + 锚杆 + 基坑内疏干井 + 基坑外水位观测井 ;

第三步 :歌剧院 - 32.5 m 基坑范围 ,薄壁地下连续墙 + 基坑内疏干井 + 基坑外减压井 ;

上述确定的方案在两次由地下工程方面和地下水控制方面专家参加的《国家大剧院深基坑方案的专家论证会》得到了一致的肯定 ,认为选定的方案考虑问题全面 ,能满足工程的要求 ,但施工难度仍很大 ,是否能顺利实施 ,还需经实践的检验 ,应该考虑在场区内先进行“异位”工程试验 ,完成设备选型、工艺确定等一系列技术问题后 ,再实施工程。

4 基坑方案的设计

选择设计计算软件我们较为慎重 ,经分析研究确定选择上海同济大学开发的启明星深基坑支护设计软件进行分阶段、分不同的部位、不同条件下的基坑支护结构设计 ,最终的设计成果再利用日本软脑公司的新概念构造分析支援系统软件进行空间结构的分析 ,从而确定 202 区支护结构质量监控的重点部位 ,并根据其验算结果 ,对 202 区超椭圆支护结构的受力相对小、安全可靠性强相对强的部位进行适当的设计优化 ,达到优化支护体系的目的。

(一) 消防通道桩锚支护和地下水控制设计
设计要点 :

(1)消防通道桩锚支护结构在本次施工设计阶段 ,护坡桩及第一道锚杆均已施工完成 ,由于桩锚支护结构与连续墙锚杆支护结构之间的水平距离有 20~22 m ,为充分利用该场地条件 ,在原设计第二道锚杆的标高位置留置一土台 ,按照支护结构被动

土压力区作用范围一般为 10 m 左右的经验,确定土台的留置尺寸为:下口 10 m 宽,土台边坡按 10.5 放坡。则原确定的护坡桩 + 两道锚杆的方案变为护坡桩 + 一道锚杆 + 留置土台方案。

(2) - 26 m 基坑的破裂面对桩锚支护影响因素的分析与考虑:

- 26 m 基坑开挖的破裂面如图 8 所示。

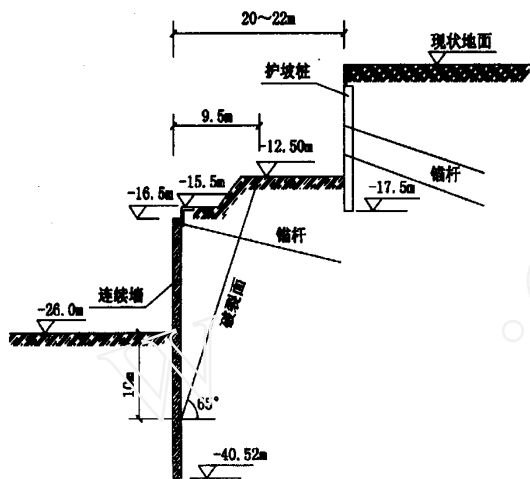


图 8 - 26.6m 基坑破裂面示意图

经计算,破裂面的影响范围仅为连续墙顶以外 9.5 m,桩锚支护体系完全处在破裂面之外,因此,桩锚支护设计无需考虑 - 26 m 基坑开挖的影响。

(3) 由于桩、锚支护的基坑深度拟定 13 m,局部留置土台后基坑深度仅有 8.5 m 左右,护坡桩附近无临近的重大建筑物,因此从设计的角度要求支护结构的横向最大变形量控制在 30 mm 以内就能保证周边建筑物的安全,经计算,桩后地面沉降影响范围不超过 15 m,最大沉降值不超过 10 mm。

(4) 影响桩锚支护结构基坑开挖的地下水主要为上层滞水,该层水在 202 区基坑东侧、西侧、南侧受旧有管线的影响较大,滞水较丰富,北侧滞水很少,确定槽外采用抽、渗井间隔布设,槽内设引渗疏干井,对于局部下渗困难区域,采用槽内明排的方式。

设计成果

(1) 在 202 区消防通道的东、西两侧设计的支护方案为 $\phi 600$ 护坡桩 + 一道锚杆 + 桩内外 $\phi 600$ 降水井。

(2) 护坡桩桩顶设置 370 厚、2 m ~ 2.5 m 高的砖挡墙,以利地下结构中各种管线的埋设。

(3) 锚杆为预应力锚杆,预加应力为锚杆设计拉拔力的 1.1 倍,锁定值为锚杆设计拉拔力的 0.85 ~ 0.9 倍。

(4) 锚杆设计倾角为 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$,并要求锚固段进入砂层不少于 6 m,以提高锚杆的设计锚固力和减少软土地层中的蠕变量。

(5) 按照以渗为主的原则在 202 区外围距护坡桩 3 m 处间隔布设渗水井与抽、渗结合井,井间距 10 m,井深 20 m。

(6) 在 202 区内部间隔布置渗水井与抽水井(兼做观测井),间距 15 m \times 15 m,井深 18 m。

具体方案详见图 9 和图 10。

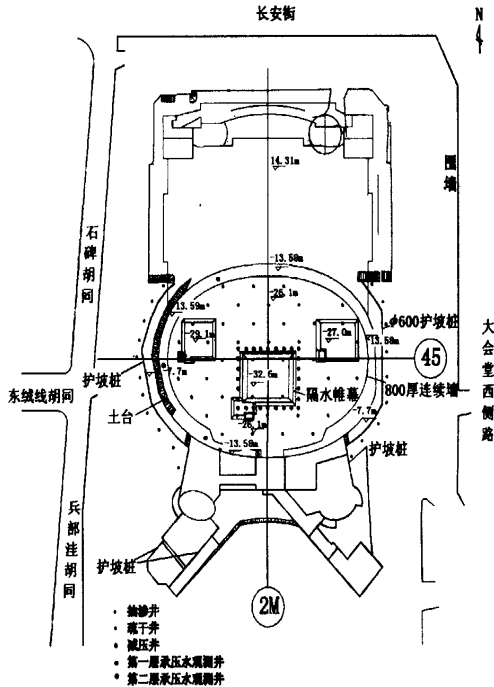


图 9 国家大剧院基坑支护及地下水控制平面布置图

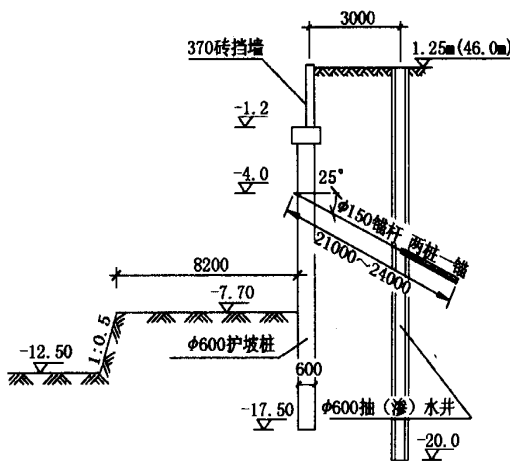


图 10 消防通道桩锚支护和地下水控制设计剖面图

(二) - 26 m 基坑地下连续墙锚杆支护和地下水控制设计

设计要点

(1) 由于 202 区主体结构的外墙即为外围消防

通道的内墙,因此对连续墙支护结构的水平变形量要求严格控制,设计要求控制在 20 mm 以内,墙后地面沉降值控制在 10 mm 之内。

(2) 导墙底标高和连续墙顶标高的确定

地质勘察报告提供层间潜水的水位标高为 - 13.65 ~ - 15.04 m,实际层间潜水位为 - 15.0 ~ - 15.5 m,出于经济考虑,将导墙的顶标高降低为 - 15.5 m,底标高设置在第一层的 - 17.0 m 标高处,导墙基槽施工时采取分段施做和明排水相结合的方法。导墙施工完成后具有双重作用:一是在连续墙成槽施工中起导向的作用;二是在连续墙完成后基坑土方开挖过程中外侧导墙起挡土的作用。连续墙顶标高确定为 - 16.5 m,保证与倒 L 型导墙底端相搭接 50 cm。

(3) 连续墙锚杆支护结构中锚杆道数的确定

从支护结构受力合理的角度以及有效控制支护结构横向变形的角度考虑,连续墙锚杆支护结构宜设置两道锚杆。若设置两道锚杆,考虑第一道锚杆设在墙顶连梁上,第二道锚杆与第一道锚杆相距 2.5 ~ 3 m,则第二道锚杆的孔口标高至少在 - 19 m 处,锚头就已经处在承压水头以下,锚杆即便以 13° 的倾角打入,按照锚杆 20 m 长计算,锚杆也将穿透隔水层进入承压水地层约 6 m,由于锚杆进入的是承压水的卵石地层,水的补给在具有压力的情况下会汇成“泉涌”,造成锚杆的成孔困难和影响成锚的注浆质量,同时,锚头的堵孔也十分困难。设计考虑连续墙设置一道锚杆,并将锚杆设在承压水头标高 (- 17 m) 以上 50 cm 处的连梁上,倾角不大于 15°,这样可避免在连续墙墙体上预留孔,使导墙、墙顶连梁和锚杆三者得到了有机的结合,节省了不少费用。

(4) 连续墙底标高的确定

由于地下连续墙要起到挡水土和稳定基槽的作用。抵挡水、土压力满足支护结构整体稳定性要求,经计算,连续墙的嵌入深度约为 6 ~ 7 m;要隔离承压水,按规范,地下连续墙需要嵌入相对隔水层一层不小于 1.5 倍墙厚;考虑到相对隔水层一层较薄且具弱透水性,连续墙的设置所形成的槽内外较大的水头差及第二层承压水的存在均有可能向槽内渗流,造成管涌,破坏基槽稳定,这需要通过两项抗渗流稳定验算确定连续墙嵌入相对隔水层深度及槽内水位控制标高以满足基槽抗渗流稳定性要求。验算时,槽内水位按 - 29.5 m 考虑。

1) 位于相对隔水层一层以下的第二层承压水对基槽的渗流稳定验算:

根据规范公式: $R_w = m(D + D)/P_w \geq 1.2$

式中: R_w 基槽土层渗流稳定抗力分项系数;

$D + D$ 相对隔水层顶面距基坑底面的深度, m;

m 相对隔水层以上土的饱和重度, kN/m^3 ;

P_w 相对隔水层顶面处水压力, kPa ;

经计算: - 26 m 基坑: $R_w = 1.29 > 1.2$ 满足要求

槽深为 - 29.0 m 时 R_w 约为 1.2,基本能满足要求

2) 基坑内外水头差对基槽的渗流稳定验算:

根据规范公式: $R_w = m t / w (h + t) \geq 1.1$

式中: R_w 基槽土层渗流稳定抗力分项系数;

t 连续墙的底端距基坑内水位的距离, m;

m 连续墙嵌固深度范围内土的饱和重度, kN/m^3 ;

h 基坑内外地下水头的水头差, m;

w 水的重度, kN/m^3 。

经计算: - 26 m 基坑: $t = 14.6 \text{ m}$

- 28.5 m 基坑: $t = 17.4 \text{ m}$

以上计算对于 - 26.0 m 基坑连续墙的计算嵌固深度为 14.6 m,即墙底的相对标高为 - 41.1 m,墙底进入相对隔水层的深度 2.76 ~ 5.26 m,平均深度约为 4.0 m。对于 - 28.5 m 基坑(戏剧院台仓处)连续墙的计算嵌固深度为 17.4 m,即墙底的相对标高为 - 46.4 m,墙底需穿透相对隔水层。

本工程基槽的抗渗流稳定性需进行以上两类验算,考虑到相对隔水层并不是通常意义的透水层,应以两类验算的安全系数基本一致为较经济合理。在第一、第二层承压水头基本一致的情况下,保持两者在相对隔水层中的渗流路径长度一致,就能达到合理要求,由此确定连续墙底进入相对隔水层的深度宜为隔水层厚度的一半。根据勘探资料,第一层相对隔水层的厚度为 5.0 ~ 7.4 m,平均为 6.2 m,则连续墙墙底嵌入相对隔水层的平均深度约为 3.1 m。综合以上条件,相对隔水层顶绝对标高在 8.5 m 以上的部位,由于该部位连续墙墙底嵌入相对隔水层深度已近 5 m 左右,建议将连续墙的墙底抬高 1.0 m,标高变为 - 39.5 m,使墙底嵌入相对隔水层约为 4.0 m。

(5) 锚杆水平间距的确定:

根据初步选定的地下连续墙的成槽设备(德国宝峨公司的进口 BS640 型抓槽机),其每抓均为 2.8 m,采用“两钻一抓”施工工艺,则每槽长度为 5.6 m,按每个槽段设置两根锚杆考虑,锚杆的水平

间距平均为 2.8 m,为保证每个槽段的受力均匀,两根锚杆对称布置。由于是一道锚杆,且锚杆的水平间距较大,这为 202 区外围的大直径基础桩的施工创造了有利条件。为了减小槽段接头的剪切力,增强连续墙接头的抗渗性能,在接头两端锚杆的预应力施加值应力求均衡。

(6) 锚杆预应力施加值的确定:

为了确保连续墙支护结构的水平位移量控制在 20 mm 之内,适当提高锚杆的预应力施加值为锚杆轴向受拉承载力设计值的 80%~90%。从对地下连续墙支护结构的测斜结果来看,水平位移量普遍控制在 10 mm 之内,完全达到了预期的目的。

(7) 连续墙设计计算中对水压力的考虑:

202 区外围地下连续墙起挡土和隔水的作用,墙外的第一层承压水水头维持现状,仅将墙内的滞留水疏干至基底以下,因此,地下连续墙支护结构在设计计算时,须考虑墙侧的土压力、水压力及墙外附加超载。

对连续墙产生作用的第一层承压水赋存在第层的砂卵石层中,水头标高在 -17.0 m 左右,考虑到承压水头年变幅 2~3 m,设计时承压水头标高按 -15.0 m 计算。

(8) -26 m 基槽内地下水的疏干

地下连续墙已将第一层承压水隔住,-26.0 m 基坑仅需将槽内的“滞留水”控制在 -29.5 m 以下,而对墙外的承压水只进行动态观测。总抽水量包括两部分:

1) 槽内第一层承压水残存水;

2) 通过各种途径渗入槽内的补给水(来自墙外第一层承压水及隔水层以下第二层承压水)。

设计成果

(1) 在 202 区主体超椭圆结构的外圈设计的支护方案为 800 厚地下连续墙 + 一道锚杆 + 槽内 $\phi 600$ 疏干和水位控制井。

(2) 设置 20 cm 厚、1.5 m 高的倒 L 型钢筋混凝土导墙,导墙兼做挡土和隔水墙使用。

(3) 锚杆为预应力锚杆,预加应力为锚杆设计拉拔力的 1.1 倍,锁定值为锚杆设计拉拔力的 0.85~0.9 倍。

(4) 锚杆设计倾角为 $13^\circ \sim 15^\circ$,并按调整的水平角度设置,以避免消防通道基础桩。

(5) 在 202 区槽内按 30 m \times 30 m 间距呈梅花状在 -15 m 标高施做疏干井,井深 23 m,考虑到在结构施工过程中还将对越流补水加以控制,以防水位

上升,所以井管采用两种类型:一种为 $\phi 235$ mm 钢质桥式滤水管,另一种为 $\phi 400/300$ mm 无砂卵石混凝土滤水管。管外充填 2~4 mm 卵石作过水滤料至孔口。

(6) 根据施工条件及位置,设计二级排水装置,用于解决抽水最终排放至市政雨污水管道中。

(7) 202 区共设计地下连续墙 600 延米,锚杆 207 根。疏干井 30 眼,其中钢管井 10 眼,无砂水泥管井 20 眼,第一层承压水位的观测井 2 眼。具体方案详见图 9 和图 11。

(三) 歌剧院台仓 -32.5 m 基坑隔水帷幕和地下水控制设计

设计要点

(1) 歌剧院台仓基坑外圈设置的素砼地下连续墙隔水帷幕起到隔离台仓槽内外层卵石层中地下水的作用,目的是在台仓槽内外维持不同的水位标高,以满足台仓基槽的顺利施工(水位维持在 -33.5 m 左右)及 -29.1 m 基槽抗渗流稳定的要求。为保证隔水效果,计算确定隔水帷幕的底端进入相对隔水层 2 m 深。

(2) 台仓周围设置的减压降水井,主要是将影响到台仓基底稳定的第二层承压水的水头降低至满足基底稳定的水头标高,为此需要进行抗浮和抗管涌验算:

1) 抗浮验算: $m(D + D)/P_w \quad R_w = 1.2$

经计算: $h = 25.4$ m

2) 抗管涌验算: $h / w h > R_w = 1.5$

经计算: $h = 25.4$ m

综合以上两方面的稳定验算,需将第二层承压水头控制在 -26 m 以下,即需将第二层承压水降低 10 m 的水头,方可保证台仓基槽的抗渗流稳定。

(3) 利用承压非完整井模型计算,将第二层承压水头降下 10 m 的基坑涌水量约为 2.1 万 m^3/d 。第二层承压水减压井单井出水量约为 967 m^3/d 。根据计算的基坑涌水量和减压井单井出水量,确定基坑减压井为承压非完整井。

(4) 台仓减压井仅为降第 层内的第二层承压水头,为防止承压水从管外上渗,减压井在其他的土层中应采取壁管,并采取严密的管外全长封闭措施。

(5) 第二层承压水压力水位为 -16 m,为防止井内水的突涌,减压井管上口设置在 -15.7 m 标高处,井底以进入第二层承压水层 4 m 进行控制。

设计成果

(1) 在 202 区歌剧院台仓范围设计的支护方案

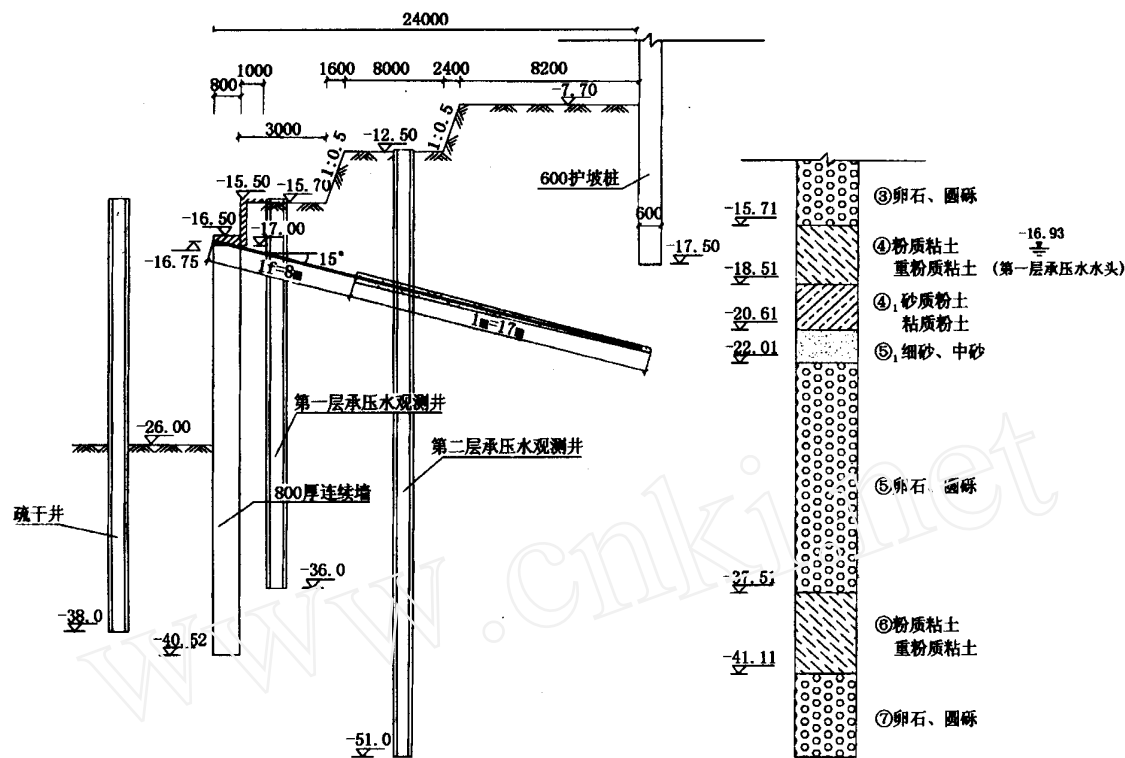


图 11 大面积 - 26 m 基坑地下连续墙锚杆支护和地下水控制设计剖面图

为 300 厚连续墙隔水帷幕 + 帷幕外 $\phi 600$ 减压井 + 帷幕内 $\phi 600$ 疏干井。

(2) 隔水帷幕墙顶标高设计为 - 29 m, 墙底标高设计为 - 39.2 m, 进入相对隔水层 2 m, 以使台仓外的水位能控制在 - 29.5 m 左右。

(3) 在距台仓基坑上口开挖线 1.0 m 处按 9 m 间距布设减压井, 减压井上口标高 - 15.7 m, 下口标高约 - 51 m。井径 $\phi 600$, 管径 $\phi 325$ 钢管, 在 - 42 m 以上为壁管 (壁厚 5 mm), 以下为桥式滤水管 (壁

厚 5 mm)。滤水管必须进入第二层承压含水层 4 m, 滤水管外包缠 60 目尼龙砂布, 并充填 2 ~ 4 mm 豆石滤料。 - 41 m 以上全长采用粘土球封孔填至 - 25 m。

(4) 根据施工条件及位置, 设计二级泵站排水装置, 用于解决抽水最终排入市政雨水管道。

(5) 共设计台仓连续墙隔水帷幕 190 延米。台仓减压井 26 眼, 第二层承压水观测井 2 眼。

具体方案详见图 9 和图 12。

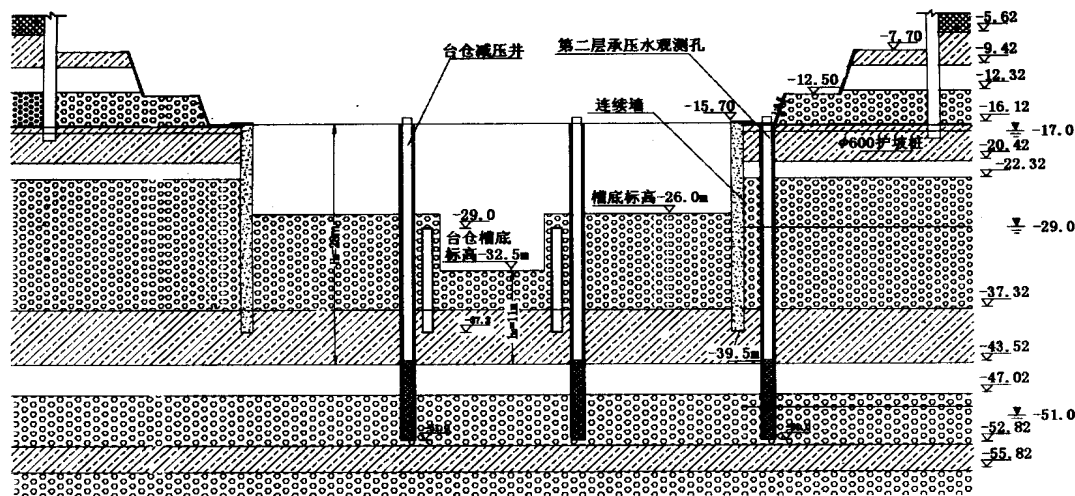


图 12 歌剧院台仓隔水帷幕及地下水控制剖面图

(待续)