

国家大剧院深基坑工程设计与施工技术()

(工程特点及主要技术问题)

余 波
(北京城建集团有限责任公司)

1 工程概况

国家大剧院工程为国家标志性建筑之一,是中国最高表演艺术中心。该工程东临人民大会堂,西临石碑胡同,北临西长安街,南至高碑胡同以南70 m。主体202区(见图3)基坑距人民大会堂西侧路15 m,距人民大会堂建筑仅45 m,距石碑胡同旧民宅仅20 m左右。见图1。

另外,东侧距基坑2~6 m范围内有多条重要地下管线,在人民大会堂西侧路、石碑胡同路下分布有几条市政干线。

国家大剧院工程为一多功能特大型公共建筑,由椭圆穹形结构的主体建筑(202区)及南北两侧(201区、203区)的地下通道、地下车库及其他附属配套设施组成,占地面积约12公顷,总建筑面积约

19万平方米。202区中心建筑外观是指数为2.2超椭圆钢结构壳体,外饰0.4 mm钛板,屋面中部安装渐开式玻璃幕,椭圆壳体外四周水池环绕,构成水上明珠的艺术造型。椭圆体平面投影东西向长轴长度212.20 m,南北向短轴长度143.64 m,高度为46.285 m;内部由歌剧院、戏剧院、音乐厅、公共大厅及配套用房所组成。

本工程体量大,建筑标准高,施工难度大,集中体现在:基础埋深大,202区最深处达-32.5 m;壳体为超大型空间钢结构,重约8000 t,钛板和玻璃幕屋面面积36576 m²,均为国内外罕见;机电设备种类多,舞台设备及系统设置充分体现先进性和智能化,本工程对音效的控制要求严格,以满足世界一流的歌剧、芭蕾、交响乐等演出要求。

202区中心主体建筑占地面积25500 m²,大部

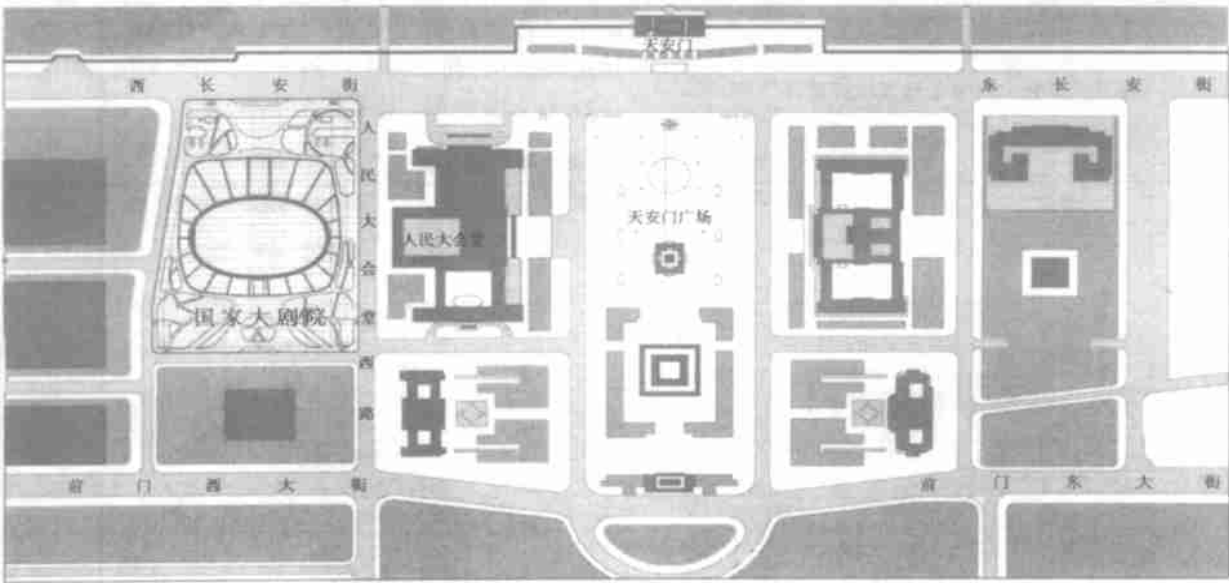


图1 国家大剧院工程地理位置图

分基础埋深在 - 26.0 m,歌剧院台仓基础埋深 - 32.5 m,戏剧院台仓基础埋深 - 29.1 m,音乐厅基础埋深 - 27.0 m,各种通道和入口均设在地下。

工程室内设计建筑标高 $\pm 0.00 = 44.75\text{ m}$,室外自然地坪标高为 46.00 m 左右。典型剖面图及开槽平面图详见图 2、图 3。

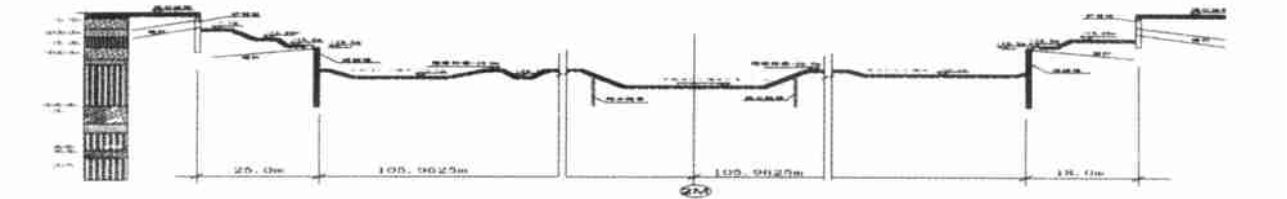


图 2 202 区基坑剖面示意图

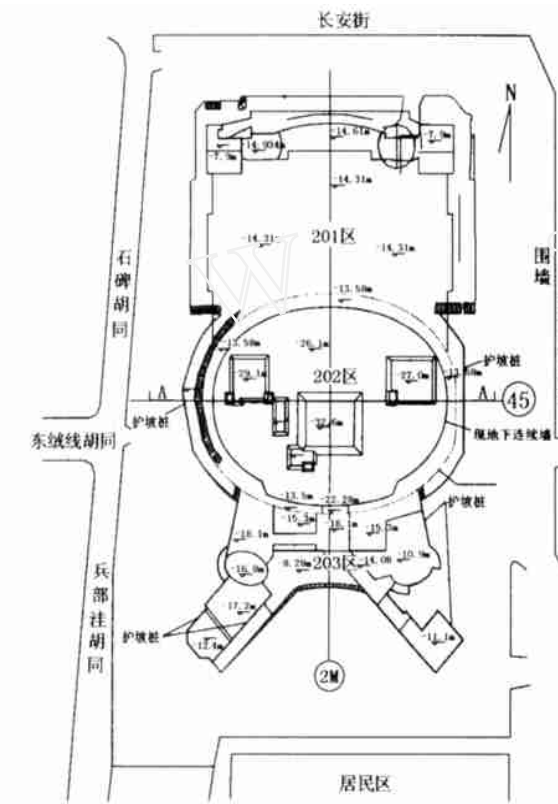


图 3 国家大剧院工程基坑开槽图

本施工场区处于永定河冲积扇中部,地层以粘性土、粉土与砂、卵石交互层为主,存在多个沉积旋回。历史上曾有 2 条湮废的古河道贯穿场区,其为晚更新~全新世天然形成的“三海大河”和公元 13 世纪开挖的元大都护城河。从 202 区深基坑的 50 m 地质柱状图揭示的地层土质在垂向分布、地层厚度上具有典型的粗细颗粒交互沉积特征,在拟建场区地表自现状地面下约 12 m 深度范围内的土质主要为人工堆积土层和新近沉积土层。上述土层因人为活动及历史古河道的影响,在岩性的空间分布、地层厚度上均存在较大变化,工程性质较差。尤其是地表下的人工堆积的杂填土层(局部含旧房基)厚度 4.18~7.85 m,较厚,且在杂填土以下分布着厚约 1~3 m 的含有机质粘土、重粉质粘土层,由于地处老城区,各种市政管线陈陋,杂填土层中滞水严重,粘土层呈淤泥流塑状,土体自稳性差,使得基坑边坡的情况较为严峻,给基坑支护带来一定的影响。

新近沉积层以下至基岩顶板之间为粘性土与砂土、碎石土(卵石、圆砾)交互沉积的第四纪沉积土层,具有良好的成层性。在第 1 层土以下分布的卵砾层,均被一定厚度的粘土层、粉质粘土层隔开,形成第 1 层、第 2 层、第 3 层和第 4 层卵石含水层。详情见表 1。

表 1 卵石层分布、状态和主要特征一览表

地层	厚度	粒径	含砂率	密实度	级配	夹层情况	备注
卵砾石层	4.18~7.85 m	D 大为 8 cm, D 长为 10 cm, 一般为 2~4 cm	25~35 %	中密	良好		消防通道基础落在该层中
卵砾石层	14.9~17.8 m	D 大为 10 cm, D 长为 12 cm, 一般为 3~5 cm	20~30 %	密实	良好	层顶为厚约 2 m 的中砂、细砂 ₁ 层,层中分布着粉质粘土、重粉质粘土 ₂ 层和粘质粘土、砂质粉土 ₃ 层,这些土层分布不均,最大厚度仅约 2 m 左右。	歌剧院、戏剧院和音乐厅等基础落在该层中
卵砾石层	9.1~12.6 m	D 大为 10 cm, D 长为 12 cm, 一般为 6~9 cm	20 %左右	密实	良好	层顶为细砂、粉砂 ₁ 层,其间夹粘质粉土、砂质粉土 ₂ 层,粉质粘土、重粉质粘土 ₃ 层	
卵砾石层		D 大为 14 cm, D 长为 10 cm, 一般为 6~9 cm	25 %左右	密实	良好		

拟建场地自地表以下 92 m 深度范围内分布有对工程具有影响的三种类型的地下水,依次为上层滞水、层间潜水和第一层承压水、第二层承压水、第三层承压水。详情见表 2。

表 2 地下水类型、埋深及含水层的主要特征一览表

水层序号	地下水类型	静止水位		水文参数	含水层主要特征
		埋深/ m	标高/ m		
1	上层滞水	2.2 ~ 6.6	38.91 ~ 43.27	$K=8.32\text{ m/d}$	分布在场区自然地面下 10 m 范围内的人工堆积层中,水位变化大,含水层厚度不均
2	层间潜水	14.7 ~ 16.5	29.71 ~ 31.10	$K=115.5\text{ m/d}$	分布在标高 33.60 ~ 35.74 m 以下的第四纪卵石、圆砾层及中砂、细砂 ₁ 层
3	第一层承压水 (承压水头)	16.93 ~ 17.43	26.82 ~ 27.32	$K=235\text{ m/d}$	分布在标高 22.10 ~ 26.23 m 以下的第四纪卵石、圆砾层、细砂、中砂 ₁ 层中
4	第二层承压水 (承压水头)	18	26.75	$K=235\text{ m/d}$	赋存于深层承压水含水层标高 0.71 ~ 3.01 m 以下的第四纪卵石层及细砂、粉砂 ₁ 层
5	第三层承压水 (承压水头)	18.0	26.75	$K=235\text{ m/d}$	该层地下水赋存于粘性土隔水层以下的砂卵石层中,其承压水头与上层承压水基本相同

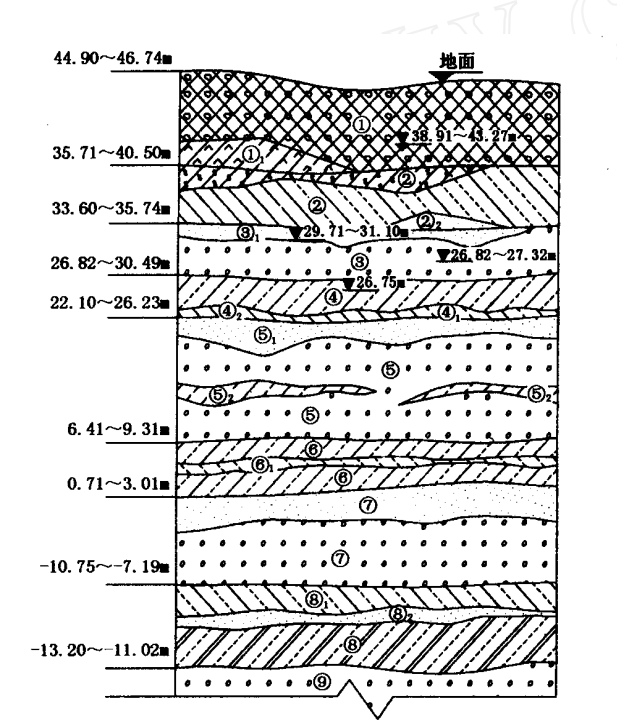


图 4 工程地质、水文地质柱状图

层:稍湿-湿-饱和; 1层:湿-饱和; 层:湿-饱和、硬塑-可塑、低-中低压缩性; 1层:湿-饱和、可塑-软塑、中高-高压压缩性; 层:湿-饱和、低压缩性; 1层:稍湿-湿、低-中低压缩性; 层:湿-饱和、可塑、低-中低压缩性; 1层:湿-饱和、可塑、低压缩性; 层:湿-饱和、可塑-硬塑、中低-低压缩性; 层:饱和、低压缩性; 1层:饱和、低压缩性; 2层:湿-饱和、可塑、中-中低压缩性; 3层:湿-饱和、可塑、低压缩性; 、1层:湿-饱和、可塑-硬塑、低压缩性; 、1层:饱和、低压缩性; 2、3层:湿-饱和、可塑-硬塑、低压缩性; 层:湿-饱和、可塑、低压缩性; 1层:湿-饱和、可塑-硬塑、低压缩性; 2层:饱和、低压缩性

将卵石层相对隔开的层、层和层粘土层,为弱透水层,正是由于这些弱透水层的存在,使得

、卵石层中的地下水形成了一定的压力。根据地勘报告和现场水位观测,第一层承压水的水头标高为-17.0 m左右;第二层承压水的水头标高与第一层承压水的水头相接近,承压水头达16.5 m高。

另外,三类地下水的年变化规律和变化幅度不尽相同,上层滞水层一般6~9月份地下水位较高,其他月份相对较低,年变幅一般为1~3 m;层间潜水层水位年变化幅一般1 m左右;承压水一般为5~7月份地下水位较低,11月~来年3月份地下水位较高,近3~5年其水位年变化幅度一般为2~3 m。

2 基坑工程特点及需解决的技术问题

国家大剧院基坑工程具有如下特点:

1、202区基坑占地面积大,基底标高变化多,基础埋深超深;

2、工程所处地理位置十分显要,基坑工程施工影响范围内的环境条件复杂;

3、场区工程地质、水文地质条件较复杂,给基坑支护和地下水控制提出了特殊的要求,其主要体现在:

202区的结构基础落在卵石、层中,这些卵石层自上而下粒径逐渐增大,含砂率逐渐减少,密实度逐渐增高,且卵石层中的含水量十分丰富,尤其是蕴含在第层、第层的地下水具有高承压性,同时在层、层的上部有一层密实度很大的细砂层,俗称“铁板砂”,这些因素给地下连续墙、锚杆和降水并成井施工带来相当的难度。

承压含水层的渗透系数大,涌水量大,降水影响范围大,这给基坑地下水的动态控制带来了一定的难度。

埋深约在 44 m 以下的第 层卵砾石中所赋存的第二层承压水如不减压或隔离将冲破上覆隔水层造成 - 32.5 m 基坑失稳,须采取特别的措施保证歌剧院台仓基底稳定。

多种类型的地下水并存,它们对支护结构及基坑稳定的影响不一,这需要在研究基坑支护结构和地下水控制方案时予以分别对待。

本工程主体结构埋深大,且主要在地下,地下水位高浮力大,要妥善解决主体结构施工中的抗浮问题。

基坑工程需解决如下的技术问题:

1、首先需选择、确定一个安全、经济、环保的基坑支护方案,特别要保证环境的绝对安全。

2、连续墙成槽设备、工艺及泥浆护壁技术。巨厚卵石层给连续墙设备的成槽能力及成槽质量控制提出了较高要求;高承压水的存在及大粒径卵石地层的漏浆等均易造成槽壁的坍塌,这使得泥浆的配置和品质控制成为地下连续墙施工的技术问题。

3、在高承压水卵石层中进行锚杆施工的技术要求和设备要求很高,国内尚无可借鉴的经验。

4、超深度的降水(降压)井的成井设备和工艺选择。工程需要施工深度达 50 ~ 70 m 的降水(降压)井,这需要穿透多层卵石地层,因卵石层厚,卵石含量大、粒径大,且含有直径 > 30 cm 的漂石,这给成井带来一定难度。

5、防止基坑的失稳破坏,绝对保障基槽安全。这除需要精确的计算和制定严密的方案等外,还需要建立一套动态监测系统。



国家大剧院基坑施工

(待续)