

北京地下空间开发利用的 施工技术特点与对策

陈向东 刘民强

(北京工业大学土木工程系, 100022)

摘要 根据北京地区地下空间开发的现状和发展趋势,从施工技术的角度对地下空间的层次进行了划分,讨论了地下空间开发的施工技术特点,和近、中期北京地区地下空间开发的主要施工技术问题,并重点探讨了北京地区基坑开挖坑壁支护所应采取的施工技术对策,最后对国外深层和超深层地下空间开发的施工技术开发现状和研究方向作了简要介绍。

关键词 地下空间开发, 施工, 技术对策

分类号 TU94

0 引言

空间是一种资源,人类利用地下空间有着悠久的历史,随着人类的步伐迈向21世纪,经济的高速发展和人口的急剧增加,人们也在不断开发空间资源以满足社会的需要,宇宙空间、地下空间和海洋空间的开发利用将成为21世纪科学技术发展的崭新领域。

现代城市地价不断上升,地面拥挤,人们开始重视地下空间的开发利用,从一些发达国家地下空间开发的经验和发展状况可知,地下空间的开发正向大规模、大深度、大断面方向发展,80年代末,日本通产省、科学技术厅和各大建筑企业相继提出了深层地下空间的开发设想,近年日本已在地下近50m深处建造了地下液化天然气储藏罐等设施,同时也在开发适合深度50~100m超深层地下施工的相关技术^[1]。

地下空间施工不同于地面建筑施工,一方面是地下水文地质条件复杂、施工条件差,施工受不同地域条件的限制和影响;另一方面,工程复杂化和大规模化又使施工工期延长、工程造价大大提高,根据国外资料,地下工程费用约为地上工程费用的3~5倍^[2],地下空间开发利用的高成本和施工条件的制约性,对地下空间开发项目的可行性研究应当极其慎重,必须合理选择设计方案和施工方案,一旦项目实施,所进行的投入几乎是不可逆转的,决策的失误会带来巨大的损失。

为了满足今后首都城市建设和发展的需要,研究地下空间开发的施工技术特点,并从技术经济的角度研究开发既满足地下工程施工需要、又安全经济的工程建设技术,是地下空间开发利用的重要课题。

1 地下空间开发的施工技术特点

地下空间有着恒温、恒湿、隔音、隔热和防振等优点,同时又有采光差、闭塞性及造价高等缺点。因此,地下空间的利用也是随着经济的发展和技术的进步不断向大规模和大深度发展的。目前地下空间利用主要有以下用途:

- 1 地下室、作为高层建筑基础的一部分,用于办公、居住等;
- 2 地下街、主要用于商业用途的地下商店等设施;
- 3 地下停车场;
- 4 地下隧道、用于交通运输、上下水等共同沟;
- 5 人防设施;
- 6 地下发电站;
- 7 贮藏设施、如能源贮藏、食品贮藏等;
- 8 其他、如地下水处理设施等。

用于不同目的的地下空间,通常在不同的地下空间层次,不同层次地下空间的开发是随着社会的需要和经济建设的发展由浅向深不断进行的。由于深度的不同,其施工技术有着不同的特点和要求,从而直接影响施工方案的选择。从当前北京地下空间开发的现状、趋势以及施工技术的角度出发,我们可以对地下空间利用层次作如下划分:

- 1 浅层、深度在地下 10 m 以内;
- 2 中层、深度在地下 10~20 m 的范围;
- 3 深层、深度在地下 20~50 m 的范围;
- 4 超深层、深度超过 50 m,约在地下 50~100 m 的范围。

划分地下空间开发利用层次的目的是使我们更好地把握各种不同层次施工的技术经济特点,并采取相应的技术对策。

2 地下空间开发利用的主要施工技术

一些发达国家的地下空间开发利用已由浅、中层开发利用发展到深层地下空间开发利用,有关超深层地下空间开发利用的研究也在积极进行。我国目前地下空间的开发利用主要是在浅、中层的范围。根据我国经济技术的发展现状和趋势,近期北京地区地下空间利用主要在浅层和中层,中期由浅层和中层向深层发展。

地下空间开发施工技术与地面建筑施工技术有显著不同点,主要体现在以下几个方面:

2.1 施工环境不同

城市建筑施工面临施工场地狭小的难题,然而由于建筑上的要求,建筑物之间总有一定空间为施工提供作业面,且周围环境条件有明确性、可见性的特点。而地下工程施工的周围环境是土,由于土质分布及其特性的复杂性和技术手段的限制,人们在施工前难以准

确把握土层实际分布和力学特性,这在很大程度上增加了地下工程施工的工程风险和难度.另一方面,地下空间施工又有不受气候影响和无高空作业等有利条件.

2.2 主要施工项目和方法不同

我国地面建筑的结构主要有砖混、钢筋混凝土和钢结构,地下建筑主要为钢筋混凝土结构,同为混凝土结构,地面工程和地下工程的混凝土施工工艺也不尽相同,地面工程的混凝土施工为传统的施工工艺,地下工程的混凝土施工则往往要采用水下浇筑混凝土、喷射混凝土等施工工艺.地下连续墙、隧道开挖等施工工艺又是地下工程所特有的工艺.

地面建筑对内外装修均有较高的要求,而地下建筑除地下街等有商业用途的建筑对内装修有所要求外,一般地下构筑物对装修要求不高,对外装修则没有要求.

2.3 对防灾有较高的要求

地下工程施工常常对周围地面建筑、道路和地下设施带来不同程度的影响.由于深基坑开挖、降低地下水位造成附近建筑物倾斜、开裂及下沉的事故在国内外,特别是沿海软土地区施工中时有发生.日本东京还曾发生过因地下隧道施工造成地面沉陷的事故.调查表明,地下结构施工的事故,尤其是深基坑开挖过程中支护体系失效事故的发生频率远高于地面结构工程事故发生的频率.事故一旦发生,不但造成巨大的损失,还会产生不利的社会影响.因此,地下工程施工,对防止各种建设灾害提出了较高的要求.

根据地下空间施工的层次不同,其施工技术主要包括以下几个方面:

- 1 土方开挖技术
- 2 土方运输技术
- 3 坑壁支护技术
- 4 降低地下水位技术
- 5 防水施工技术
- 6 混凝土施工技术
- 7 施工管理技术

3 北京地区地下空间开发的施工技术对策

3.1 北京地区的工程地质概况

北京平原地处西部山区永定河和北部山区潮白河两个大的冲积、洪积扇上,其中以永定河冲积、洪积扇最大,占北京平原区的大部分地面,总的地势是西北高、东南低.由于河水的历次泛滥,北京地区的古河道甚多,地表面一般为1~4m厚的杂填土层,其下为粘性土、砂类土和砂卵石互层,土层自西向东逐渐增厚,西部砂卵石层距地表位置较小.

总体来说,北京地区土质较好,有利于边坡稳定,但砂卵石部分钻孔桩施工较为困难.

3.2 近中期地下空间开发施工技术的主要问题和对策

70年代以后,北京地区高层建筑不断增多,地下开挖深度也随之增加,但开挖深度一般在10m以内.近年来由于首都城市建设的迅速发展,建筑基坑开挖深度超过10m的工程也大量增加.根据目前的发展趋势和经济上的制约,北京地区在近中期开发地下空间主要在浅、中层(20m以内)以及部分深层.浅、中层的地下空间施工,一般由地面向下进行,即开敞式施工方式.作为地下空间开发的施工技术对策,一方面是确定适合一个地区的新技术研究开发方向,以满足各种不同条件下的施工需要.另一方面是确定合理的施工方案.一项工程的施工可以有多种可采用的施工技术,不同的施工方法对工程的工期、质量、成本和安全产生不同的影响,合理的施工方案是对这四个方面的综合优化.

以下对当前和今后一段时期北京地区地下空间施工技术的主要问题和施工技术对策进行一些探讨,其中重点是基坑开挖中的坑壁支护技术.

3.2.1 开挖技术

北京地区土层主要为普通坚土和砂砾坚土,坑壁支护一般不采用内部钢支撑形式,基坑开挖通常采用传统的开挖技术,与坑壁支护方式相适应,多采用反铲和正铲挖土机施工,对于大面积的土方开挖及周围场地宽阔(便于设置坡道)等情况较为合适.基坑开挖要解决土方水平和垂直两个方向的运输,由于城区施工场地狭小,基坑开挖较深,现有反铲挖土机只能下到坑内开挖,且常常需将坡道留在坑内,而运输车辆一般要停在开挖机械的停机面上,这会给最后坡道部分的土方开挖和运输带来困难.为解决这一问题,采用反铲与拉铲或抓铲相结合方式、油压长臂反铲,以及开挖机械与垂直运土机械相结合等方式.

3.2.2 坑壁支护技术

坑壁支护技术是当前浅中层地下空间施工的关键技术,近年来由于深基坑开挖工程不断增多,限于场地条件和周围环境,通常需进行坑壁支护,而因坑壁支护不当而造成周边建筑物和设施受损的事故在城市建设中常有发生.浅、中层地下空间开发多为开敞式施工,其单位建筑面积工程造价远高于地面建筑的原因主要是土方开挖(包括土方运输)、基坑降水和坑壁支护增加了大量费用,其中坑壁支护费用占相当大的比重.坑壁支护的费用随着开挖深度的增加而大幅度增加,因此施工者均希望以最经济的方式完成坑壁支护并保证周边设施安全.然而由于岩土工程问题和坑壁支护的复杂性,其安全受多种难以控制的因素影响,在“最经济”的设计与施工条件下,坑壁支护的工程风险大大增加.坑壁支护一旦失效,不仅使在建工程遭受损失,还会对周围已有设施造成:研究开发安全、经济、高效的深基坑支护技术,是当前北京地下空间开发利用应重点研究的课题之一.

深基坑开挖支护方法很多,其适用性和费用相差也很大,掌握其特点和适用条件是保证坑壁支护的安全和经济的前提条件.

1) 钢筋混凝土灌注桩

这种方法由于取材容易,施工方便,噪音振动小,适于城区建筑物密集区施工.在北京地区采用较广,通常是采用不连续的单排桩方式,在地下水位较高处需与降低地下水位工法相配合使用.随着基坑深度增加,桩身直径加大,支撑增加,从而使费用增加较多.

近年开发的空组组合桩护坡结构,是一种有发展前途的护坡方式,其作法与单排桩不同的是在基坑周围做成双排相互交错的空间结构体系,其优点是空间刚度大大增加,侧向

位移比单排桩明显减小。北京地区已有10几个工程采用了这种支护方式,其中安定门503#工程开挖深度达16.43 m,由于省去了支撑,节约工程造价100万元,取得了良好的经济效益,这种方式在北京地区有着较广的应用前景。

钢筋混凝土灌注桩的缺点是不能作为正式工程利用,最终成为较难清理的地下垃圾。

2) H型钢桩

该法是沿基坑周边隔一定间距(一般0.9~1.2 m左右)将H型钢桩打入地下,随开挖进行安放横木板挡土和加设支撑。这种方法的特点是H型钢可拔出重复使用,因而成本低,但施工时噪音、振动较大,不适于在建筑物密集的城区施工,地下水位较高时要与降低地下水位工法配合使用。北京京城大厦(开挖深度近24 m)采用了这种护坡方式。由于这种方法成本较低,可在城近郊场地较宽阔处采用。有人误将这种护坡方式称为钢板桩,应注意与下述钢板桩的区别。

3) 钢板桩

该法是将特制的钢板桩打入地下与支撑组成护坡系统,其优点是桩与桩连接紧密,可兼作挡土和挡水,施工时有噪音、振动,适于地下水位高的软土地区,北京地区现未采用这种支护体系。

4) 地下连续墙

是一种适合深基坑开挖支护的方法,现有技术已日趋成熟。其特点是墙体刚度大,封闭性好,可兼作挡水和挡土结构,又可作为正式结构的地下室外墙。近年来北京有多项工程采用了这种施工方法。日本已开发出开挖深度可达150 m,墙体厚度超过3 m的地下连续墙施工机械,实际工程的地下连续墙深度也已达近100 m^[4]。由于这种方法适应性好,可用于各种不同深度和土层条件下施工及城内建筑物密集区的近邻施工,并成为正式结构的一部分,因而应用前景广阔,是北京地区中、深层地下空间开发中应重点开发的技术。

5) 插筋补强护坡技术^[5]

插筋补强护坡技术是近年来发展起来的一项新型护坡技术,此法是随着基坑的开挖,在坑壁上成孔、插筋、灌浆,从而补强了边坡,其护坡机理不同于传统的被动护坡机制,是通过补强边坡土体而达到护坡的目的,属于主动护坡制约机制。这种方法的特点是安全可靠、施工灵活,不需要大型机械,成本远低于其他护坡结构,适合在有一定自立性的土层上施工。近年来,北京地区已有40多个工程的基坑护坡采用了该项技术,目前护坡深度可达14 m。1992年该项技术被北京市科委列为新技术重点推广项目。由于该技术的上述优点,在北京地区应作为浅层地下空间开发的重点推广护坡技术。中层地下空间开发可用该法与其它护坡方法相结合,如上部采用插筋补强护坡,下部采用其它护坡方法,可取得良好的经济效果。

6) 土层锚杆技术

该项技术作为深基坑支护的支撑方法在北京已有20多年的历史,土层锚杆将锚体锚固于坑外土体,故基坑内施工无障碍物,土方开挖效率高,其支撑可靠,锚杆的长度和间距可根据土质情况和开挖深度调整。由于预应力的施加,可较好控制墙体侧移,北京地区的粘土层、砂土层及砂卵石层均适合作为锚杆的锚固土体。至今为止北京地区基坑开挖最

深的京城大厦,就采用了三道土层锚杆与H型钢组成的支护体系。土层锚杆支撑与坑壁围护结构(地下连续墙、灌注桩等)组成的体系是今后北京地区中、深层地下施工的主要支护体系。

3.2.3 降低地下水位技术

北京地区地下施工所遇到的地下水一般为潜水和上层滞水,西北部距地表较浅,东南部距地表较深,如京城大厦开挖到地下24 m尚未见地下水。基坑开挖较浅的可采用轻型井点降水,较深的可采用深井井点或利用地下连续墙挡土兼作挡水。

3.2.4 混凝土施工技术

地下工程混凝土工程量大,为加快地下工程施工速度、提高效率,应尽量采用泵送混凝土施工技术进行地下连续墙和地下基础的施工。目前泵送混凝土的成本偏高,但提前工期可使工程的综合经济效益提高。

地下隧道混凝土施工通常采用喷射混凝土,其施工中主要有喷射时反弹造成材料损失和施工粉尘等问题。解决方法目前主要有两个方向,一是开发高效速凝剂,二是开发涂灌混凝土以代替喷射混凝土,后者在国外已进入现场试验阶段^[6]。

3.2.5 施工管理技术

地下施工周围环境与施工条件复杂,为确保施工过程的安全,要求开发相关的施工管理技术。信息化施工是地下工程施工的动态施工管理技术,根据监测所得到的反馈信息对施工过程进行分析、预测并管理施工过程,从而确保工程施工的安全。信息化施工应解决的主要问题包括动态监测系统的建立、信息化施工数学模型的建立及计算机求解等。

4 地下空间开发施工技术的发展方向

社会经济和科学技术的迅猛发展,使超深层地下空间的利用在一些发达国家已被提到日程上来,并着手研究开发有关的施工技术。目前深层、超深层地下工程施工技术的研究开发主要有以下几个方面^[6]:

1 地下连续墙施工技术

向开发大深度、大厚度、曲线形地下连续墙及机器人开挖等方向发展。

2 盾构法施工技术

盾构法目前正向大深度(深100 m、水压力1 MPa左右)、大断面(直径20~30 m)、长距离、自动化及特殊断面开挖等方向发展。

3 新奥法施工技术

开发在高地下水压下施工、机械化开挖及大断面施工等新技术。

4 托换技术

在已有地下构筑物下施工,包括检测、预测、施工及控制技术。

此外,各种检测技术、土方运输技术、新材料的开发、地下防灾技术等也正在不断研究中。

当前北京地区地下空间开发利用的施工技术重点应在护坡技术和施工管理技术的开发

应用上,但从北京地区的社会、经济发展趋势来看,深层和超深层的地下空间开发只是时间问题,掌握国际上地下空间开发施工技术的发展趋势,深入研究有关技术经济对策,对于当前和今后的地下空间开发利用都是有益和必要的。

参 考 文 献

- 1 ユー・ミ・プランニング. 各省庁大都市開発プロジェクト. 東京: ユー・ミ・プランニング. 1991, 562~580
- 2 正木范昭. 地下の利用と近接施工. 土と基礎. 1992, (3): 71
- 3 日本建設省技術研究会. 大深度地下連続壁工法による立坑の施工. 第45回建設省技術研究会報告. 土木研究センター. 1992, 227
- 4 熊谷組. 大深度シールドトンネルにおける NOMST の実用化. 建設機械, 1994, (4): 87
- 5 孙家乐. 插筋补强护坡技术的理论与应用. 第六届土力学及基础工程学术会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991, 483
- 6 日本土木学会. ニュフロンテ, ア地下空間. 東京: 技報堂, 1990, 210~223

Some Characteristics of the Construction Technique and Its Plan for the Development of the Underground Space of Beijing

Chen Xiangdong Liu Minqiang

(Department of Civil Engineering, Beijing Polytechnic University, 100022)

Abstract On analysing the present situation of exploiting the underground space in Beijing and its developing trend, this paper divides the underground space into different layers from the angle of construction technology. It discusses the technical characteristics of the exploiting projects. It also deals with the main technical problems which would be met in the constructions for the near future. Then, it inquires into the technical plan made for the earth retaining structure in deep excavation. Finally, the paper introduces briefly the present situation of the international developing tendency of construction technology in exploiting deep and ultradepth underground space.

Keywords development of underground-space, construction technology, construction technical plans