

地下工程结构与防水技术研究

孙净一 纛少鹏

河北省建筑材料工业设计研究院有限公司 河北石家庄 050000

摘要: 地下工程对现代城市建设与基础设施发展具有举足轻重的影响,随着城市化进程加快,地下空间开发利用越来越多,涉及地铁、隧道、地下停车场、地下综合管廊等各种形态。地下工程结构设计是否科学、合理、直接影响工程安全,经济,使用寿命。另外,地下工程特殊环境条件也使防水技术成了重点技术难点。水冲蚀不但会对结构耐久性造成影响,而且也会带来一系列安全问题。所以研究地下工程结构设计及防水技术有一定理论意义及实际价值,文章就此展开了探讨。

关键词: 地下工程;结构设计;防水技术

引言

在全球城市化进程中,城市人口与建筑密度越来越大,地面空间资源日益匮乏。地下空间在城市发展中处于“第二空间”的地位,显得越来越重要。在此背景下,多种形式的地下工程被广泛使用。比如地铁系统既能有效地缓解地面交通压力又能改善城市可达性;地下综合管廊可以对城市管线进行集中管理,提高城市管理效率以及美观度。

一、地下工程结构设计概述

(一) 地下工程的定义与分类

地下工程系指一切建于地表下的建筑物及构筑物,其中有但不仅限于地铁、隧道、地下停车场、地下商场、防空洞等等。按用途可将地下工程划分为交通类,民用类及军事类及其他工程。交通类主要有地铁、铁路、公路隧道等;民用设施涵盖了地下购物中心、地下停车设施以及地下住宅;军事类有防空洞、地下指挥中心等。地下工程以其空间利用率大、隐蔽性和环境适应性强等优点,在现代城市建设中占据着重要地位。

(二) 地下工程的设计原则与要求

地下工程设计原则主要有安全性、耐久性、经济性、适用性等,首先,安全性是基本要求地下工程要能抵抗地震,水压力和其它外在因素的作用,以保证结构稳定。其次,耐久性要求地下工程必须在其设计寿命期内保持较好的特性,一般设计寿命应达到50年以上。再次,经济性是指在满足功能要求及质量标准的条件下尽可能地减少工程成本。最后,适用性要求工程设计应满足实际使用的需要,并提供一个舒适安全的环境,另外还要兼

顾环保要求以降低对周边环境的影响。

(三) 结构设计的基本理论

地下工程结构设计的基本理论包括材料力学、结构力学和岩土力学等。材料力学主要研究建筑材料的性能,如混凝土、钢材等在不同应力状态下的行为。结构力学主要研究结构在受到荷载影响时的内部力量和形变,其中常见的分析手段有静态分析和动态分析。岩土力学是研究地基与围岩性质以及对工程结构影响的一门学科。地下工程中常见的计算方法包括有限元法,边界元法以及解析法,能够准确模拟结构的受力情况以及变形特征,保证设计科学合理。

(四) 地下工程结构的特殊性

地下工程结构有其一定的特殊性,一是受力环境比较复杂,地下结构在土压力、水压力等条件下工作时间较长,在设计中必须对上述因素进行充分考虑。二是环境条件具有多变性,例如地下水位的改变、地震作用等等,这些都对结构设计提出了更高的要求。如地铁隧道的设计中需综合考虑地震烈度、土层结构以及地下水水位的影响,才能保证在地震作用下仍然能够维持结构的完整性。三是地下工程施工环境一般都比较狭窄、复杂,在施工期间对安全管理、技术要求比较苛刻,必须要使用先进的施工技术与装备才能确保工程质量。

二、地下工程结构设计方法

(一) 常用结构设计方法

地下工程结构设计中经常采用的方法有经验设计法、理论设计法以及数值模拟法。经验设计法主要依靠设计者的实践经验与历史工程数据进行比较与类比来确定设计方案。该方法虽速度较快,但是限于经验积累及工程

复杂等因素,对于常规,成熟工程项目较为合适。理论设计法是根据材料力学,结构力学及岩土力学等学科的原理,采用数学模型进行结构分析计算。该方法需要设计者有坚实的理论基础以及丰富的计算经验才能对结构在多种荷载作用下的应力,变形以及稳定性进行精确地评价,常见的分析手段涵盖了静态分析、动态分析以及极限状态的研究。数值模拟法在现代结构设计中具有重要意义,它应用计算机技术及数值分析软件实现了复杂地下工程精确模拟及优化设计。在数值模拟领域,有限元法(FEM)被广泛认为是最常用的技术手段之一。该方法通过将整个结构细分为多个小型单元,并对每个单元的应力和形变进行求解,从而准确地获取该结构的力学反应。边界元法(BEM)主要关注结构边界条件的处理,特别是在半无限域和无限域的问题分析中表现出色。数值模拟法可以模拟出复杂地质情况下结构的行为,准确地评价各种设计方案的表现,从而为优化设计提供科学依据。地铁隧道设计中常使用的数值模拟软件主要有ANSYS、ABAQUS、FLAC等,这些软件可以对地震、地下水水位变化以及其他复杂工况进行模拟,从而为设计提供了可靠数据支持。

(二) 设计规范与标准

地下工程结构设计一定要严格按照有关设计规范和标准进行,这样才能保证工程安全可靠。在中国,主要的设计规范包括《建筑结构荷载规范》(GB 50009)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010)、《地下工程防水技术规范》(GB 50108)等。这些规范从荷载取值,结构材料的选择,设计计算方法和防水措施上,对不同种类地下工程提出了详细的要求。如《建筑结构荷载规范》确定了各种荷载的标准值及其组合形式,《混凝土结构设计规范》对混凝土的强度等级、配筋设计及耐久性等都有明确的要求。在设计时,需考虑地质条件、环境因素及使用功能等,并严格按照规范要求进行荷载分析,结构计算及施工图设计等。同时规范也包含了施工工艺及质量验收标准等混凝土浇筑技术要求、防水材料施工工艺等,保证了工程质量及使用寿命。通过遵守这些规范与准则,设计者可以科学合理的设计地下工程结构,保证工程在建设及运营阶段安全可靠。

(三) 结构分析与计算

结构分析计算在地下工程设计过程中起着关键的作用,它涉及到荷载分析、内力计算、变形分析以及稳定性评价。荷载分析为结构设计提供了依据,需要综合考虑各种荷载如恒载、活载、风载、地震作用和地下水压

力。在执行荷载组合的过程中,根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的规定,合理地选择了各种荷载的组合方法,以确保建筑在不同工况下的安全性和可靠性。为了计算结构在荷载影响下的内力分布,主要是通过构建力学模型,并运用有限元法(FEM)或其他数值分析手段,包括但不限于弯矩、剪力和轴力。有限元方法是通过将结构分为有限数量的单元来精确模拟结构的受力和变形特性,而常用的软件,如ANSYS、ABAQUS等,能够处理复杂的三维非线性问题。

变形分析对加载过程中的结构变形进行评价,从而保证变形在容许范围之内,以免对使用功能及结构安全造成影响。变形计算需要考虑土与结构的相互作用,地基变形以及施工时临时荷载。稳定性的评估包括对整体建筑结构和部分构件稳定性的深入分析,例如边坡的稳定性、基坑支撑结构的稳固性以及隧道衬砌的稳固性。运用极限状态设计方法,根据不同的极限状态,包括承载能力的极限状态和正常使用的极限状态,对结构进行了校核。

当地下水位高或者地震烈度大时,需要专门考虑地下水浮力以及地震作用等因素对结构稳定性产生的影响来进行抗浮设计以及抗震设计。《地下工程防水技术规范》(GB 50108)和《建筑抗震设计规范》(GB 50011)提供了详细的设计要求和计算方法。通过严密的结构分析计算,保证了地下工程在复杂荷载及环境情况下的安全性及耐久性,达到了科学可靠结构设计的目的。

三、地下工程防水技术方法

(一) 防水设计方法

防水设计方法对地下工程起着关键作用,有被动防水设计与主动防水设计两种类型。被动防水设计是利用高性能防水材料与结构构造共同构成物理屏障来防止水分向结构内部渗透。常见防水材料有防水混凝土、防水涂料、防水膜。为了增强防水混凝土的防渗特性,在其配合比中加入防水剂或选用密度更高的混凝土,这能满足《地下工程防水技术规范》(GB 50108)的规定。防水涂料是通过在建筑结构的表面涂上一层或多层的防水涂层,从而形成一个紧密的防水保护层,特别适合于处理复杂的几何形状和细节部分。防水膜一般由高分子材料构成、抗拉强度及延伸性优良,适用于大范围防水。

主动防水的设计方法是通过设置排水系统和控制压力来降低结构外部的水压,从而减少渗水的风险。排水系统主要由外围排水沟、集水井及排水管道组成,经过合理布置,快速将积水排走,使结构四周土体处于干燥

状态。在设计中需要结合工程地质及水文条件来确定排水系统规格及布置方式,例如集水井深度及间距,排水管道直径及坡度,以保证排水系统高效运行。设置降水井、排水井等压力控制手段来降低地下水位以减小水压力对构造的影响。

防水设计时需考虑地质条件、地下水位的变化、结构类型及使用功能,并严格按照规范要求设计计算及处理细部构造。通过对防水材料选择及排水系统设计进行优化,以保证地下工程长期服役期间能保持较好的防水性能并避免渗水、漏水等现象发生,确保工程安全、耐久。

(二) 防水施工技术

1. 施工工艺

地下工程施工技术是保证结构质量及防水效果至关重要的一环,涉及基坑开挖、支护结构、主体结构、防水层等诸多环节。基坑开挖需要结合地质条件以及地下水位来选择合适的方式,例如放坡开挖、钢板桩支护以及土钉墙支护,以保证基坑的稳定与安全。放坡开挖对浅基坑及稳定土质较为合适,钢板桩支护及土钉墙支护对深基坑及软弱土层较为合适,需要穷尽计算与设计才能确保支护结构稳定及承载能力。

支护结构在施工时,要严格按照设计要求安装支护桩、锚杆、钢筋网及浇筑混凝土等,以保证施工质量及结构安全。在主体结构的施工过程中,无论是底板、墙体还是顶板,都必须使用高品质的混凝土,以确保其具备良好的强度和防渗特性。浇筑混凝土时,要对混凝土配合比、搅拌时间及浇筑速度进行控制,以避免蜂窝、麻面质量缺陷。浇筑完成后应及时维护,使混凝土处于湿润状态以增强混凝土强度及耐久性。

在地下工程建设过程中,防水层的施工被视为关键步骤,必须使用满足《地下工程防水技术规范》(GB 50108)标准的防水材料和方法,防水混凝土的施工、配合比要添加防水剂以提高抗渗性能。防水涂料在施工过程中,要分几层刷,各层刷的厚度要均匀,刷后要做闭水试验以检验防水效果。防水膜在施工过程中,要注意膜结构表面粘结的质量,避免空鼓、翘边等现象,并在接缝处用热风焊接或者粘结剂进行处理以保证接缝密封性能。

施工时,要严格控制施工缝与变形缝,将施工缝布置在结构受力小,施工方便的部位,用钢板止水带和橡胶止水带防水。变形缝在施工过程中应针对结构变形特点制定合理缝宽及防水措施,若遇复杂地质及地下水情况时,需要采取专门防水加固措施以保证工程长期安全及防水效果。通过科学施工工艺、严格质量控制等措施,

保证了地下工程运行期间结构性能优良、防水效果好、使用寿命长。

2. 质量控制

施工过程质量控制要求制定完整的施工方案以及技术交底制度等,在每个工序开始之前施工单位都需要对其进行细致的技术交底并确定工艺要求以及质量标准。现场施工要严格执行设计图纸及施工规范,关键环节比如混凝土浇筑,防水层施工,钢筋绑扎都需要有经验的技术人员来把关。混凝土浇筑时,要分层均匀,以免一次浇筑过多造成混凝土不够密实,各层浇筑时都要振捣以保证混凝土致密没有空洞。浇筑后及时进行覆盖及洒水养护使混凝土处于润湿状态以防早期开裂。

检测手段对质量控制起着关键作用,需要对施工期混凝土强度试验,防水层闭水试验,钢筋位置及数量检查等质量检测与验收。要对检测结果进行记录与反馈,及时发现问题并进行纠正,以保证工程质量。管理体系的制定与实施是质量控制得以实现的根本,施工单位要制定质量管理体系、明确各层级人员质量责任、定期开展内部质量检查与考核,以保证质量管理制度得到有效落实。

结束语

综上所述,地下工程的成功实施离不开科学合理的设计与严格有效的施工管理,研究表明,结构设计需考虑荷载条件,地质环境及使用功能等因素,利用先进设计方法及数值模拟技术可达到安全经济的目的。防水技术在地下工程中起到了关键的保障作用,通过精心选择防水材料、优化防水结构设计以及实施有效的排水方案,可以确保该工程在长期使用过程中具有良好的防水性能。在施工中质量控制更贯穿于项目的全过程,只有通过严格的材料选用、精细的施工工艺和科学的检测手段,才能保证项目质量完全合格。

参考文献

- [1]王传博,贺超.市政地下综合管廊结构工程防水的施工技术研究[J].工程建设与设计,2022(4):3.
- [2]杨毅秋.地下工程结构单元防水技术探讨[J].隧道与轨道交通,2023(S01):114-118.
- [3]杨秀仁.城市轨道交通明挖装配式地下结构设计技术及方法[J].隧道建设(中英文),2022,42(3):8.
- [4]李善华,饶大全,王慧聪.基于海绵城市理念的地下室屋面防水防渗施工技术研究[J].中国建筑金属结构,2022(9):26-28.