

地下工程结构易出现问题及解决方案探讨

殷世刚

中铁四局集团第四工程有限公司

摘要：随着科技的发展，地下建筑越来越多，问题也越来越多，为解决各种地下建筑问题，各种方法应运而生，因所处环境特殊，地下工程结构受力复杂。若设计或施工不当，极易出现碰撞、渗漏、承载力不足、无梁楼盖板柱节点脆性冲切破坏及连续倒塌等问题，给国家和人民生命财产带来损失。科学合理的设计、施工地下室，对实现地下工程建筑使用功能，结构安全耐久性都具有重要意义。笔者根据地下工程设计从业经验，对地下工程极易出现的碰撞问题、渗漏问题、顶板荷载取值问题、无梁楼盖连续坍塌问题进行了深入分析。

关键词：地下工程；结构；解决方案

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.17.021

引言

本文讨论的是最量大面广的地下汽车库。地下工程因环境特殊，其受力状态与地上结构不同，地下结构不受风荷载影响，地震影响也较小，但其承受土压力、水压力、水浮力，其顶板一般承受较大覆土荷载和上部结构荷载，受力情况复杂。

一、加强地下工程抗浮情况计算

（一）精确的模拟演算

在对各个楼板进行模拟的过程中，工作人员要对壳单元进行合理应用；底板、柱子、抗拔桩与梁的模拟，工作人员可以使用杆单元。在该工程项目中，抗拔桩底部位置扩大，可以进行合理利用，全方位约束和固定边界条件。在模拟演算中运用此方式，可以充分考虑底纵梁、抗拔桩共同受力下的变形协调，同时涵盖了抗拔桩混凝土弹性模型。相比以往计算方式，通过这一方式能够很大程度上避免抗拔桩用作底梁不动支座问题的产生，使通过这一系列运算获得的底纵梁内力与抗拔桩拉力能够相吻合。

（二）加强抗拔桩配筋

在抗拔桩配筋工作中，工作人员要确保抗拔桩配筋受力度能够符合相关标准。由于桩身处于地下水中，会在不同程度上对钢筋造成一定腐蚀，为避免此类情况出现，要保证桩身裂缝宽度在规定范围内。通常情况下，接缝宽度保证在0.2mm以内即可。经过相关计算可以了解到，桩身配筋的主要目的是实现对裂缝的有效控制，基于此，配筋应相对较大。

（三）地下工程主体施工质量控制措施

为促使地下工程主体施工各环节质量能够符合规定标准，质量控制需融入各环节工作中。通过这一方式，可实现对各项施工工作的正确引导，减少施工质量问题出现，对施工的顺利进行具有重要意义。地下工程主体

施工质量控制工作，要做好以下几点。

（1）地下工程主体施工中，各个项目以及各个施工环节都要制定相应的管理措施，科学有序协调各项工作。施工前，施工人员需要明确相应的工作内容，技术人员、工作人员之间要及时做好技术交底，确保正确认识施工中涉及的施工技术。根据工程项目实际情况，合理应用不同施工技术，保障施工质量能够符合规定标准。

（2）施工前，施工人员还要全面了解施工设计图纸、施工流程等，对于设计图纸的设计意图、设计重难点等环节要有全面认识，以保障施工的顺利进行。施工人员要严格按照施工图纸进行施工；监管人员应全面监督施工各个环节的落实情况，及时发现并解决施工中存在的不同问题，避免问题影响范围进一步扩大。每完成一项施工工作后，管理人员要对施工质量进行检查，检查合格后，才能进行后续施工；在检查期间发现质量问题，要迅速联系相关工作人员排查解决。

（3）在施工过程中，管理人员要对各环节工作进行科学分配，将工作人员安排到合适的工作岗位上，将责任落实到人，形成专人专岗专责，避免在具体工作中出现相互推诿责任的现象。当施工工作任意环节出现问题时，监管人员可以迅速联系对应负责人，及时有效地处理问题。

（4）对在地下工程主体施工中表现较好工作人员，施工单位可以适当给予奖励，调动每一位工作人员的工作积极性，增强责任感。反之，如果工作人员在具体工作中表现较差，则可以进行适当处罚，促使他们意识到自身工作重要性，在未来工作中端正工作态度。

（5）定期进行技术培训，促使工作人员对各类专业施工知识形成深入、正确的认识，掌握国家标准及其他不同规范等相关内容，确保施工中各项工作的开展都能符合标准要求，最大限度避免质量问题、安全问题的出现。

二、各种控制地下结构损坏的方法

（一）双排桩复合锚杆支护结构施工技术

（1）预应力支护桩墙的构建在构建双排桩复合锚杆支护结构之前，需要构建预应力支护基础桩墙。近几年来，随着建筑技术的不断成熟，建筑物不仅在种类上有所变化，同时建筑的层数也在不断提升。因此，工程基坑的挖掘深度也越来越大，对于面积较小的工程可以满足建设要求，但是对于大型的地质工程，由于地质环境较为复杂，需要处理的面积较大，使得传统的施工技术很难满足现代化建筑设计的要求，施工完成的建筑物也不具备预期的坚固性和荷载性。需要利用预应力

技术建立支护桩墙，以保证在施工的过程中基坑及锚杆的安全性，推动工程顺利完成。

(2) 内支撑结构建立支护桩墙首先构建内支撑结构，然后利用预应力技术，计算出支护平衡比值，通过比值建立基础墙体，并使用重力式水泥挡墙技术及土钉墙支护技术对桩墙进行加固，以保证其稳定性。在施工地点建立排桩挡墙，使其可以同时承受侧壁土体与水体两侧的压力，利用墙体内支撑分散排桩的反向连接点的支撑力，根据基坑的深度以及工程周围的实际情况，在墙体支护结构基础上，添加悬臂式支撑层次，需保证部分结构在软土中的深度不能超过2m，否则不能满足下方支护结构的要求。然后建立桩墙的上层结构。

(二) 建立复合支护非线性结构模型

在利用预应力完成支护桩墙的构建后，构建复合支护非线性结构模型。将工程原本的复合土钉墙与支护桩墙的支撑深度增加至35m，在一定程度上扩大工程基坑的深度。计算基坑的非线性侧向位移率。通过计算，可以得出基坑的非线性侧向位移率，利用位移率构建非线性模型结构，根据工程施工的实际情况和测量参数进行模拟分析。利用MIDAS软件在计算机中构建三维立体模型，将实际测量的数据按照对应的比例缩小，测试其稳定性和形变程度，然后通过支护桩桩体弯矩的调整以及位移距离的控制，加深支护桩嵌入基坑的深度，同时保证预埋在基坑中的双排桩复合锚杆不会受到嵌固效应的影响。同时，在预应力和弯矩的支撑范围内，避免因支护桩桩体发生弯曲或者位移，影响未来的施工。

(三) 组合锚杆形成联合支护层

在完成复合支护非线性结构模型的建立后，通过组合锚杆创建联合施工支护层。在一般情况下，组合锚杆对比于单个的锚杆，应用的范围相对较广，且基本不受限制，适用于其他支护形式辅助施工的各种工程支护，而支护承受力由众多锚杆共同承担。这种模式的锚杆支护方式可以使锚索的一端深入地质中，固定在岩层底部，而锚杆的另一端进行预加载，通过对应的顺序建立组合支撑构建，以此来增强支护结构的效果，具体的顺序为锚索+金属网+喷射混凝土。

如果施工巷道出现大面积断裂的情况，原因是地应力过大，将单根的锚杆压断，造成工程内部受到严重的影响。在这种情况下，组合锚杆的适用性更强，且得到的预期效果更佳，不仅可以保证工程的安全、稳定，同时还可以提升工程拱部的坚固性，利用高强度的支护应力对软岩地下工程的施工深入控制。在此基础上，建立联合支护层。将喷射混凝土与组合锚杆相结合，使两者之间的强大支撑力与软弱围岩形成更为坚硬的支护结构。采用锚喷组合支护的控制设计方式，对软岩层进行破坏和拆除。其原因是软岩层的承载能力太弱，后期易导致建筑的坍塌，造成严重的影响。拆除软岩层后，可以更加及时准确地对周围岩石的应力分布进行自由调整，并以此建立一定的互动关系。利用锚网和锚索支护，对组合锚杆进行位置加固。获取软岩层的对应区

域，利用锚索支护措施将锚杆打入岩层内部，进而达到控制施工顶板的目的。这在一定程度上极大地提升支护的效果，降低施工成本，避免人力物力的消耗，也具有很高的安全性，为后期施工建设提供方便。

(四) 复合钉锁法实现锚杆支护结构创建

在完成组合锚杆形成联合支护层操作后，需要利用复合钉锁法实现锚杆支护结构的最终构建，同时也完成工程的总体施工。首先，需要计算复合钉锁法的施工复合承载比，依照这个比值对组合锚杆进行加固，保证工程基坑的支撑力度及建筑的稳定性。利用土钉将组合锚杆的固定连接点进行加固，用金属线缠绕锚杆连接处。然后利用锚锁将组合锚杆再次固定。这主要是因为组合锚杆具有极强的支撑性，但也具有不稳定的缺点，需要进行多层次加固才能保证不对未来的施工造成其他影响，使施工顺利结束。在经过两次加固之后，组合锚杆会更加稳定，并且对于联合支护层的支撑力也有所提升，利用复合钉锁法实现锚杆支护结构创建的全过程，提高工程施工的效率，保证完工后建筑物的质量。

三、解决地下裂缝的实施方案

(一) 施工总流程

土方开挖→砖胎模、垫层→防水及保护层→底板钢筋、模板、混凝土分仓施工→地下一层柱墙分仓→顶板分仓施工→外墙防水→土方回填。由于层高大部分为6.1、6.3、6.5m，墙柱较高，地下室内外墙施工与该仓区顶板分开施工，内墙柱与顶板分开施工先行浇筑。外墙和顶板均进行跳仓法施工。

(二) 地下室外墙、地下室顶板平面仓区部署

此次施工特点主要是地下单层的仓区数量比较多且单层面积比较，为了能缩短工期，加快工程进度，施工线路将分为2条，跳仓法施工顺序同底板如下所示（16号和18号仓区域的供应区分别在外墙的东侧和西侧预留检修孔，钢结构内柱吊装并拆除埋料后即可进行浇筑和密封）。外墙浇筑顺序跳仓线路一：1-7-3-9线路二：13-19-15-21封仓线路一：4-10-6-12线路二：16-22-18-24顶板梁浇筑顺序跳仓线路一：1-7-3-9-13-19-15-21线路二：2-8-14-20封仓线路一：4-10-6-12-16-22-18-24线路二：5-11-17-23

(三) 施工缝留置原则及部位

施工缝的位置应尽量设置在受力小的位置，以防止混凝土应力对结构进行破坏，保证其混凝土结构质量。底板、顶板梁板混凝土施工缝位置做法。

(四) 安装钢丝网隔离带

底板外墙采用Φ12顶板采用Φ8钢筋焊制H/2高（H为基础底板厚度）钢丝网隔离带的钢筋骨架，短钢筋间距15cm。将密目钢丝网绑扎在钢筋骨架上作为后浇带、施工缝混凝土隔离带。

(五) 机械设备投入及浇筑方法选择

混凝土泵的平均泵送量 Q_1 的计算砼输关泵的平均输出量 Q_1 的计算如下 Q_1 为砼泵的平均输出量， m^3/h ； $Q_1=Q_{max} \times \alpha \times e$ ， α 为配管系数，0.8~0.9； e

为作业效率, 0.5~0.7; 本工程拟采用三一泵, 砼泵的输送能力为 $60\text{m}^3/\text{h}$, $\alpha=0.85$, e 取0.6。 $Q_1=60\times 0.85\times 0.6\approx 31\text{m}^3/\text{h}$ 。3.7底板浇筑方法选择及混凝土泵数量计算根据分仓底板最大一块分仓混凝土量约为 1455m^3 , 分仓浇筑时将出现2个部位同时浇筑混凝土, 每仓计划采用2台混凝土泵车, 共计5台, 另备用1台。计算最大分仓混凝土浇筑时间: $1455\div(2\times 31)\approx 23.5\text{h}$ 。

四、裂缝预防措施

针对以上几种常见裂缝, 分别进行分析并提出预防措施。

(一) 弯曲裂缝

地下室外墙进行设计时, 通常采用带外墙模块的软件计算, 以理正计算软件为例进行计算, 假设为单层地下室, 由于外墙水平向均比竖向长很多, 故在中墙宽 L 应大大超出层高 H , 以便于程序区分竖向为主受力方向。输入计算荷载时, 土侧压力一般不会出现, 但图中所示地面可变荷载经常会被忽略, 参看建筑总图会发现, 场地内消防车行车路线常贴近地下室边缘, 其荷载作为竖向压力通过土的内摩擦角 ϕ 折算成对外墙的侧压力, 如取值过小, 外墙在承受实际荷载时会产生开裂的情况。

(二) 温度裂缝

温度裂缝究其成因, 混凝土的水化热是引起开裂的源头, 这是混凝土自身不可避免的特性, 应根据不同项目特点采用不同方式进行疏导与控制, 不可一刀切处理。对于温度产生的变形, 在设计阶段可采用设置温度后浇带、温度诱导缝和膨胀加强带的方式处理。前两种方式属于“放”的措施, 即通过结构、节点构造做法释放温度应力, 用时间和空间换取结构的正常使用后一种方式属于“抗”的措施, 即通过加入添加剂后混凝土加强带的微膨胀性, 抵抗混凝土水化热引起的变形, 使结构不会开裂, 同时亦可减少施工工期。两种方法各有特点, 可根据具体工程情况采用。

(三) 干缩裂缝

干缩裂缝的产生与现场施工养护有很大关系, 当外部环境温湿度变化较大时, 可布置淋水管对墙体进行淋水养护, 采用人工包麻袋等方式处理, 保证养护时间不少于14d。在经历炎热天气及寒冷气候时, 现场应采取相应措施避免暴晒, 并进行保温处理。

五、永久结构理论

为贯彻新发展理念, 基于地下结构同一系统观点在已有成果基础上, 进一步提出并构建了以项目“顶层设计”为特征、以岩土和结构专业清晰分工和紧密协同为支撑的深基坑永久支护体系。

(一) 明确了深基坑永久支护结构的设计原则

阐释承载能力和正常使用极限的具体表现和分析内容。强调永久支护、连梁、支撑构件与地下室外墙混凝土材料强度等级的统一性, 明确荷载综合分项系数永久构件 $\gamma F=1.35$ 、临时水平构件保持1.25, 阐明永久支护

结构开挖、构建、使用工况结构分析内容, 形成了永久支理论。

(二) 考虑深基坑“深度效应”

将深基坑划分为较深和深两类基坑, 建议采用弹性支点法和有限元法分别适应较深、深基坑永久支护体系, 通过案例展示了深、较深基坑的分析方法。

(三) 深基坑永久支护结构适应新发展理念要求

克服了建筑材料浪费、地质环境污染、碳排放量增加等弊病, 是基坑工程工作者立足新发展阶段、构建新发展格局的重要方向, 深基坑岩土结构化永久支理论论和设计方法是基坑工程变革与高质量发展的坚实支撑。

实际上, 深基坑永久支护体系形式取决于项目建设环境与主体地下结构, 关键在于“顶层设计”永久支护目标, 清晰划分岩土与结构专业分工和紧密协同, 理论、方法具有普遍性和参考价值。因此, 希望业内专家给予重视和引导, 共同为基坑工程高质量发展而努力。

结语

地下室设计、施工除了上述易出问题, 还有地下室抗浮、地下室构件设计经济性等问题等, 限于篇幅, 本文不再一一讨论。现将本文讨论问题总结如下:

(1) 地下室碰撞问题, 需要建筑专业根据地下室净高要求, 结合结构专业的梁高和设备专业的管道高度, 水喷淋管、暖通风管、电气桥架注意相互避让, 尽量不拥挤在一处, 不抬高建筑层高。这些现在可以通过BIM技术在地下室施工前核查修改避让。

(2) 地下室渗漏问题, 摸清地下室易渗漏点, 在关键部位, 如后浇带部位、坑井部位、地下室底板底、外墙底等易开裂、易渗漏部位, 合理设计, 施工时充分振捣和养护; 地下室围护构件尽量采用C35和C30强度等级的混凝土, 防止混凝土水化热过大, 施工养护不到位造成温缩裂缝。

(3) 地下室顶板荷载取值, 恒载注意不能遗漏景观小品、上部设备用房及门卫、门厅荷载, 活载关注消防车荷载的取值问题, 避免因设计中荷载取值不足引起施工、使用阶段承载力不足, 造成使用功能丧失甚至安全事故。

(4) 无梁楼盖设计时应重点关注板柱节点的设计, 加强板柱节点和柱上板带的构造措施, 图纸上明确顶板覆土厚度和施工车辆行驶路线、施工车辆荷载限值; 施工时注意严格按照图纸的荷载和车辆行驶路线要求执行, 不大量堆载, 覆土施工时严禁地下室内部作业。

参考文献

- [1] 车库建筑设计规范: JGJ100-2015[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [2] 建筑结构荷载规范: GB50009-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] 工程结构通用规范: GB55001-2021[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.