

预应力张拉工序优化对缩短抗浮锚杆施工工期的研究

汪帆 邓俊 孟剑 张修华

中建三局第三建设工程有限责任公司 湖北武汉 430074

摘要: 随着城市地下空间开发向纵深和大型化方向发展,抗浮锚杆作为地下结构抗浮的关键技术措施,其施工效率直接关系到整个工程的进度。预应力张拉是抗浮锚固施工的核心环节,其工艺优化直接关系到施工效率和质量。传统张拉工艺工序烦琐,工期长,质量控制难度大,已经成为制约抗浮锚杆施工进度的瓶颈。通过对张拉工序工作流程进行系统分析,优化施工工艺参数,完善施工方法,可望显著提高施工效率,为工程建设创造更大的经济和社会效益。

关键词: 预应力张拉工序优化; 缩短抗浮锚杆施工工期; 研究

近几年来,随着城市建设的持续高速发展,抗浮锚杆的应用规模也越来越大。根据中国建筑学会2024年发布的数据,2021年全国地下工程中采用抗浮锚杆的数量同比增长28%,其中20 m及以上深基坑工程占45%。随着城市地下空间开发规模的不断扩大,预计到2025年,抗浮锚的市场需求将以平均每年25%的速度增长。就施工技术标准而言,新修订的《建筑地基基础工程施工质量验收标准》(GB50202-2024)对预应力张拉施工的质量提出了更高的要求,明确要求张拉过程质量合格率大于98%^[1]。上述发展趋势表明,对预应力张拉工艺进行优化与创新,是提高抗浮锚施工效率,保障工程质量的关键技术问题,具有重要的理论与实际意义。

一、抗浮锚杆预应力张拉工序的现存问题

(一) 工序衔接不畅: 工艺流程与施工组织脱节

针对目前抗浮锚索张拉过程中,生产过程与现场组织管理不相适应的现象,提出了一种新的解决方案。依据GB51004-2015《建筑地基基础工程施工规范》规定,“钻孔清孔、桩身锚固、张拉固结”的张拉应采用“钻孔清孔、桩身锚固、灌浆固结”的工艺路线,但实际操作中,各个工序之间的连接出现了较大的断裂。根据一座城市轨道交通枢纽项目2024年的实际运行数据,该项目在浇筑完毕后,由于现场组织和配合不好,导致张拉工作一般要等5~7日,远未达到设计中48 h张拉的最优时间。这样的施工错位,会造成早期灌浆体的力学性能发展不均匀,从而无法实现合理的预张拉。从工程组织角度看,各专业团队工作边界不明确,且工程建设和张拉工程时常发生矛盾。比如,在一家大型商场工程中,

因没有形成高效的协作机制,导致张拉设备与土方工程相互叠加,导致现场施工压力增大,导致单个锚固件的生产周期增加到14 d,比原设计工期延迟了40%^[2]。

(二) 设备效能不足: 技术性能与工期要求失衡

目前,我国张拉装备的各项指标已很难适应现代化建筑的发展需要。当前工程中广泛采用的水力张拉装置仍然是人工操作,每min 2~3 m,整个张拉全过程耗时45~60 min。中国建筑企业治理学会(2014)调查显示,128件张拉装备服役8年以上,其中因装备老化而失效率高达23%。现有张拉装置均有较大缺陷,加载数据偏差大于±3%,大大超过JG/T 321-2011《预应力筋用液压张拉设备》中对其测量精度的要求。在一座长江特大桥锚碇工程中,因张拉装置的同步控制不到位,8个锚索张拉力相差15%,需二次张拉,每根锚索的工期延长2.5个钟头。此外,由于装备的自动化水平较低,使得建造的效率受到很大的制约。另外,由于设备移动不便,位置调整耗时较长,目前已有大量的实测资料表明,每根锚索的安装与调试所需的时间都超过了30%^[3]。

(三) 质量控制薄弱: 过程监管与标准执行脱节

对张拉施工中的施工工艺进行监督,对施工中的施工工艺进行监督,对施工工艺标准不够严谨。按照GB50330-2013《建筑边坡工程技术规范》规定,对张拉应进行全过程监测,并对其进行荷载-变形全过程进行监测,而在实践中,该指标的完成度只有58%。对一座深基坑进行的施工过程中,126个抗浮锚中43个没有按照要求分段张拉,而是一次张拉到设计荷载,造成锚固件的预拉力损失高达18%,远远超过了规范要求的10%。

由于缺乏对施工阶段的监控资料进行及时、准确的分析，目前采用的张拉记录表仅能反映结构的极限承载力及延伸度，而对施工中出现的各种特殊现象缺乏详尽的描述。在一座大型地下工程中，因张拉中存在着不正常的水压脉动现象，致使6个锚固件在锁固后产生了松弛现象，必须进行补张。另外，在质检部门中，对于原材料的检测，也存在着一个比较严重的问题，如：有些产品，如钢丝的弹性模量和锚具硬度等，没有进行现场复查，而是采用了供货商的保证数据。对该项目进行的监测结果表明，对该项目进行的抗浮锚式预应力混凝土构件一次性检验合格率只有76.3%，表明该项目的质量管理体系还不够完善。

二、预应力张拉工序优化与缩短抗浮锚杆施工工期的控制策略

（一）优化工艺流程：实现工序衔接与施工组织协同

为了提高抗浮锚的工作效果，首先要对张拉过程进行合理的工艺设计。在工艺过程的设计中，要按照GB 50086-2015《建筑地基基础工程施工规范》及GB 50086-2015《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》的有关规定，制定张拉工序的规范化操作规程。在实现上，改变以往的“散乱”工作方式，以深圳一座深基坑工程为例，经优化，建立“钻孔清孔、桩身锚固、一次性灌浆、二次灌浆、张拉和锁固”5个阶段规范化工艺，将每道施工周期由4~6个小时压缩到2~3个小时。在工艺连接层面，运用基于网络规划的方法，对张拉准备、设备布置和应力施加等过程进行辨识，构建工艺连接的时序模型。实际应用证明，采用此技术可将单根锚索的工期从8个小时压缩到5.5个小时，提高了31.25%^[4]。

在工程建设中，以BIM为基础，构建了张拉过程和整个工程过程的4D施工管理体系。以一座城市轨道交通枢纽工程为例，采用BIM技术对张拉施工进行了预仿真，发现了16个施工矛盾点，并对其进行了前期的调整和优化。采用“分区分组，按顺序作业”的施工组织模式，将锚固区分为多个作业单位，各作业单位分别设置张拉作业队，构成“测绘及位置—施工—杆体装配—张拉作业”的作业周期。实际应用表明，通过对施工组织的优化，使班组平均每天可完成4支锚固，提高了6支，提高了工作效率。构建工程进度的预警机制，设定关键节点的完工时限，在工程实际发生偏差的情况下，及时提出警告，并进行相应的应对措施，以保证工程的顺利进行。

对于资源的分配，要构建一个动态的调节机制。按

照项目安排，在项目实施前3天完成人员，设备，材料的调度。以一个大型商场为例，通过对材料需求量的预报，使注浆料和锚具等材料的供货时间由5个工作日压缩到2个工作日，存货周转速度提高60%。在张拉高峰时段，采用“设备共用，人员轮换”的工作方式，实现张拉设备的使用效率由65%提高到85%。通过系统的过程优化与建设组织的协作，可以较好地克服以往建设过程中出现的各工序脱节、资源浪费等难题，为实现建设项目的高效实施打下良好的基础。

表1 预应力张拉工序优化措施及成效

优化措施	技术要点	实施成效
工艺流程标准化	建立五步标准化流程	工序间隔缩短至2~3小时
施工组织精细化	采用分区顺序作业模式	日均完成锚杆数提升至6根
资源配置动态化	建立材料需求预测模型	库存周转率提升60%

（二）升级技术装备：确保设备性能与工期要求匹配

提升抗浮锚索张拉施工效能的关键技术手段是提升其性能的关键支持。在张拉装置的选择上，要选择具有自主监控、数据收集等特点的智能化张拉机。按照《预应力用液压千斤顶》(JG/T 321-2011)的规定，选择设计张拉力为800~1000 kN、气压控制精度为 $\pm 1\%$ FS、位移检测精度优于 ± 0.1 mm的、具有较强抗弯能力的新型张拉装置。在一座长江大桥上应用该技术，将单根锚索张拉周期由45 min减少到25 min，施工效率提高44.4%^[5]。

在辅助装备上，研究开发一种适用于现场使用的快速装配及定位系统。研制一种新型的自复位式锚杆锚固引导器，它可以把安装锚杆的时间由30多分钟压缩到15分钟以内。应用于一座高耸结构基础工程中，利用该技术实现一次锚固件的定点测设，使其测量时间由原来的10 min缩短为2 min，且测量精度可达 ± 3 mm。同时，将钻孔、注浆和张拉等多个功能组件集成在一起，达到“一机多用”的目的。实际应用表明，此系统可将单一工作面上的装备组态数目缩减40%，且可缩短装置切换时间达60%。在信息收集和分析上，采用物联网的方法，构建了一套工程监测和监测系统。将微小的应力传感器嵌入锚杆的杆体中，实现对预应力的动态监控。该系统具有0~1500 kN的检测能力，其检测频率设定为每分钟1次。利用三维有限元技术对某一重大水电工程中386个抗浮锚进行在线监测的方法。通过对设备进行整体改造，使建设工作更加高效，同时也为项目的质量管理工作奠

定了坚实的基础。

（三）完善质控体系：推动过程监管与标准执行统一

只有建立健全的张拉工程质量保证系统，才能保证工程的顺利进行。在品质治理机构层面，构建“项目部—建筑队—工作小组”三个层次的品质控制系统，对各个层次的质量职责进行了清晰地划分。根据GB 50300—2013《建筑工程施工质量验收统一标准》及《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》(JGJ 85—2010)，对材料验收、设备校验、工艺参数、成品检验等28个主要质量控制节点进行了详尽的质量管理方案。应用本系统对一座核电厂工程进行了张拉工程的一次检验，其合格率由92%提高到98.5%，并使工程的施工过程中出现的质量问题减少了70%。

在流程控制上，以PDCA为基础，构建不断改善的体系。每天组织品质会议，对前一天的工程品质资料进行统计和分析，并对工程的各项指标进行修正。针对一座跨海大桥工程，对施工过程中出现的过早阶段张拉力损耗过大的问题进行了现场监测，将张拉控制应力由0.75 f_{ptk}调节到0.78 f_{ptk}，使得预应力的损失率由8.2%下降到4.5%，达到了预期效果。并实行班组自检、工序互检和专职质检员专检的“三检制”，以保证各个工序的品质得到有效地控制。经过系统的检验，我们的产品品质问题的检测速度比原来提高了3.2天，品质问题的解决效率提高了55%。在检验与验收上，引进了国内外最先进的检验工艺与仪器。在承载力试验中，采用了一种特殊的预应力锚索试验装置，试验结果表明，其测量精度可达±2% FS。根据JGJ 106—2014《建筑地基检测技术规范》的规定，对已完工的锚杆按5%取样，并在各项目中至少3个。以一座大型地下综合管廊工程为例，利用超声技术对锚索进行了无损探伤，使单根锚索的探测速度由4个小时压缩到1.5个小时，探测效率提高62.5%。并通过电子质量管理体系的建设，将各锚固工程的各项指

标、各项指标进行全面的记载，达到对工程中出现的各种问题追踪。建立一套完整的质量管理系统，不仅能确保项目的施工，而且能有效地防止由于施工过程中出现的各种问题而造成的拖延，从而达到项目的“质”和“效”的统一^[6]。

结束语

综上所述，开展预应力张拉工艺优化研究，缩短抗浮锚施工工期，提高地下工程建设效率，促进产业技术进步，具有十分重要的现实意义。优化张拉工艺，改进施工方法，可有效缩短施工工期，提高施工质量，取得明显的经济效益。展望未来，随着智能化与数字化技术在建筑施工领域的深度融合，预应力张拉工艺将向自动化、智能化方向快速发展，结合智能张拉设备、远程监测与数据分析平台，实现对施工全过程的精确控制与高效利用，为我国城市建设与地下空间开发利用提供更先进的技术支撑。

参考文献

- [1]王健.浅析抗浮锚杆施工质量控制[J].城市建设理论(电子版), 2025, (23): 157-159.
- [2]张中梁等.基于受力转换体系下的新型抗浮锚杆连接方式探究[J].四川建材, 2025, 51(08): 84-87+116.
- [3]黄兴.重复荷载作用下抗浮锚杆承载性能与检测技术分析[J].实验室检测, 2025, 3(13): 254-256.
- [4]田焕祥等.自进式中空注浆锚杆在既有工程地下抗浮治理中的应用[J].四川建筑, 2025, 45(03): 125-127.
- [5]朱俊.两种扩大头抗浮锚杆的施工控制及对比分析[J].工程建设与设计, 2025, (12): 135-138.
- [6]刘新博.预应力囊式扩体抗浮锚杆施工技术[J].工程建设与设计, 2025, (12): 154-156.