

# 水利工程中冻结法基坑支护关键技术研究

王 博 叶劲然

长江河湖建设有限公司 湖北 武汉 430000

**摘 要：**近年来，随着水利工程建设的不断发展，基坑工程也面临着更加严格的施工要求。面对流砂和高地下水位等复杂的地质条件，传统基坑支护技术难以满足新时期施工安全性和支护强度等的要求。冻结法是一种特殊的基坑支护技术，能够提高底层的稳定性和强度，隔绝地下水和基坑的联系。本文就水利工程中冻结法基坑支护技术原理和应用优势展开深入分析，并探索水利工程中冻结法基坑支护关键技术，以供参考。

**关键词：**水利工程；冻结法基坑支护；施工技术

当前，城市化进程不断加快，水利工程建设规模与以往相比实现了“质”的突破。基坑支护是水利工程建设的关键环节之一，其施工难度和复杂性也日益提升。水利工程基坑开挖中经常碰到流砂层和高地下水位等情况，加大了基坑支护的难度，且影响着施工质量和安全。在此背景下，以地下连续墙技术和排桩法为代表的传统基坑支护方法，难以满足新时期复杂地质条件下的施工需要，以冻结法为代表的新兴基坑支护方法成为新时期应用热点。冻结法解决了传统支护方法的技术难题，为水利工程建设有序推进打下了良好基础。因此，进一步探索冻结法在水利工程基坑支护中的关键技术具有重要意义。

## 1 水利工程中冻结法基坑支护技术原理

冻结法是一种地基处理技术，被广泛应用于新时期水利工程基坑支护中。冻结法基坑支护技术其实就是通过人工制冷，促使地层中原有的水凝结成冰，使天然的岩土转变为冻土，从而提升其稳定性和强度，打造一个更加稳定的支护环境。关于冻结法治坑技术的原理，主要是基于土力学和热物理学的相关知识。在含水量丰富或者高地下水位的天然地层中，水的存在严重威胁着基坑开挖的稳定性。水的存在既降低了岩土强度，而且极易导致管涌和流沙等地质灾害发生。冻结法基坑支护在解决这一问题方面发挥着重要作用，该技术通过在基坑周围布置一系列冻结管，并向这些冻结管中注入冷冻剂，冷冻剂在冻结管中循环流动，通过热交换作用，降低地层温度。当温度降低到水的冰点以下时，地层中的水开始结冰，形成冻土。成功将地层水转化为冰，改变了岩土力学和物理性质，为基坑开挖提供了稳定的支护环境。

## 2 冻结法基坑支护技术的应用优势

### 2.1 适用范围广

相较于传统基坑支护技术，冻结法基坑支护技术以独特的作用原理和出色的适应性，被用于各类基坑支护中。首先，从地质条件层面出发，冻结法不管是在软土层、砾石地层、流砂层，还是在高土压地层，都具有良好的支护效果。软土地层通常压缩性较高、强度低，采用传统支护方法往往难以满足基坑开挖的稳定性要求。选择冻结法基坑支护，可以形成冻土墙，提升软土地层稳定性和强度，为基坑开发提供支持。砾石地层由于颗粒较大，传统支护方法难以形成连续的支护结构，而冻结法不受颗粒大小的限制，能够均匀地冻结砾石地层，形成稳定的冻土墙。在高水压或高土压地层中，冻结法能够承受较大的水压力和土压力，确保基坑支护结构的安全。由此可见，冻结法基坑支护相较于传统支护方法适用范围更广，能够满足复杂环境条件下的施工要求。

### 2.2 支护与止水效果好

水利工程建设中利用冻结法进行基坑支护，往往能取得更好的支护和止水效果。冻结法构建而成的冻土墙，往往具有更出色的稳定性，能为基坑开挖提供可靠的支护支撑。冻土墙是由冰和土颗粒组合形成的特殊复合结构体，其强度会随温度的降低而升高。在冻结阶段，冻土墙能够承受来自四周土体的侧向压力，避免基坑壁发生坍塌现象。和传统的支护方式相比，冻土墙的支护作用更为显著，为基坑开挖工作的安全推进提供了有力保障。同时，冻结法的止水性能更加出色。基坑开挖期间，地下水渗漏是常见问题之一，不仅会增加基坑排水的复杂性，而且容易影响基坑壁的稳定性。冻结法打造的冻土墙，可以将地下水与基坑全面隔离开来，有效解决了地下水渗入基坑的情况。冻土墙将地下水阻拦在基坑之外，为基坑开挖工作创造了干燥的施工环境。

### 2.3 施工灵活性强

与传统基坑支护技术相比，冻结法的施工灵活性更

强。冻结法可以结合周边地质状况和基坑规格，灵活处理冻结管布局，并调节盐水温度，以实现冻土墙厚度和形状的控制。冻结法适用于各种尺寸的基坑，不论基坑规模大小，都能取得较好的效果。例如，针对小尺寸的基坑，可适当减少冻结管数量，从而减少施工成本；对于规模较大的基坑，可以增加冻结管数量，以提高冻土墙的强度和稳定性。不同地质条件下，冻结法可结合具体的地质情形来调整施工参数。比如在软土地层施工时，可适度降低盐水温度并延长冻结时间，以增强冻土墙厚度和强度；对于砾石地层，可以提高盐水流速，以保证冻结效果。此外，冻结法能够按照基坑形状和挖掘顺序，灵活调整冻土墙的形状。针对不规则形状的基坑，通过合理规划冻结管的布局，可以构建出与基坑形状匹配的冻土墙，以满足基坑支护需求。

#### 2.4 环保效益显著

冻结法基坑支护的环保效益更加显著。与传统基坑支护技术相比，冻结法在施工中不会出现冒烟、振动等情况，符合环境保护的要求。以爆破法和钻孔灌注桩法为代表的传统基坑支护技术，在施工时往往会生成大量的粉尘，产生噪音并出现振动，从而导致周边环境遭到污染。而冻结法则是运用人工制冷技术，在施工时无需进行爆破，也不用开展钻孔作业，所以不会产生粉尘、噪音和振动情况。尤其是在水资源保护标准严格的水利工程项目当中，冻结法的环保优势格外突出。例如，在水库水源地附近开展基坑开挖时，选用冻结法能够防止水源地遭受污染，有效保障了水资源安全。并且，冻结法在施工中无需使用大量的化学药剂辅助，这样一来大大减少了对土壤及地下水的污染程度。此外，冻结法施工结束后，冻土墙会自然融化，不会给周边环境带来长时间负面影响，具有较强的环境恢复性能。

### 3 水利工程中冻结法基坑支护关键技术分析

#### 3.1 冻结壁结构设计

冻结壁结构设计是冻结法基坑支护技术的关键，其设计的合理与否直接关系到基坑支护的安全性与稳定性。首先，在实际设计中，需要综合基坑深度、大小、地质状况等进行考量。从力学原理角度出发，冻结壁主要承受来自周边土体的侧向压力和水压力。以某水利工程基坑为例，该基坑深度达20米，周边地质状况较为复杂，存在较厚的软土层与砂层。其次，在设计该基坑的冻结壁时，应先借助地质勘察，获取土层的各项物理力学参数，如土体密度、内摩擦角、黏聚力等。依据这些参数，运用有限元分析软件构建基坑的三维数值模型，模拟在各种不同工况下冻结壁所承受的受力情况。冻结

管布置方面，可采用梅花形布置，冻结管间距需结合土层特性，以及冻结壁厚度来确定。针对软土层，冻结管间距设定在1.2-1.5米；对于砂层，间距相应减小到0.8-1.0米。冻结管的深度通常要求深入到基坑底部以下3-5米，以保障冻结壁底部稳定。再次，盐水温度是影响冻结壁形成速度的关键要素之一。经过理论计算和现场试验，明确了在不同地质条件下盐水的初始温度与流量。在软土层中，盐水初始温度设定为-25℃至-30℃，流量控制在5-8立方米/小时；在砂层中，盐水初始温度降低至-30℃至-35℃，流量适当增加至8-12立方米/小时。最后，为确保冻结壁的均匀性与完整性，需考虑冻结壁与周边土体的热交换过程。在冻结壁外侧设置一定厚度的保温层，减少热量散失，从而提高冻结效率。同时，通过数值模拟分析冻结壁的温度场分布，依据分析结果对冻结管的布置及盐水参数予以优化调整，最终确定合理的冻结壁结构设计方案。

#### 3.2 冻结施工控制

冻结施工控制是冻结法基坑支护关键技术之一，对保证冻结壁的形成质量和稳定性至关重要。施工期间需严格把控盐水的温度、流量以及冻结时间等参数，并实时监测冻结壁的温度场、应力场以及变形情况具体而言，冻结施工控制主要有以下几方面：首先，盐水温度控制。借助安装在冻结站的温度传感器，实时监测盐水温度，并依据监测结果调整制冷设备的运行参数。在冻结初期，为加快冻结速度，可将盐水温度控制在较低水平，如-30℃左右。随着冻结壁逐渐形成，逐步将盐水温度升高至-25℃至-28℃，以此避免因冻结壁过度增厚而导致成本增加以及冻胀力过大。其次，盐水流量控制。流量过小会致使冻结效果欠佳，流量过大则会增添能耗。依据冻结管的直径与数量，以及土层的导热系数等因素，合理确定盐水流量。通常情况下，盐水流量控制在6-10立方米/小时。在施工过程中，利用流量计实时监测盐水流量，当流量出现异常状况时，及时检查冻结管和管道系统，排除故障。最后，冻结时间的确定。冻结时间需综合基坑深度、地质条件以及冻结壁的设计厚度等进行考量。通过现场试验和数值模拟，建立冻结时间与冻结壁厚度的关系曲线。例如，深度为20米的基坑，冻结时间通常需要40-50天。冻结过程中，每隔一定时间对冻结壁的温度进行监测，当冻结壁的平均温度降至-10℃以下，且冻结壁厚度满足设计要求时，即认为冻结完成。同时，为实时掌握冻结壁状态，可以在冻结壁内布设多个温度和应力监测点。通过数据采集系统实时采集监测数据，并进行分析处理。当监测数据出现异

常,如温度快速下降、应力集中等情况时,及时调整施工参数,采取相应举措进行处理,以确保冻结壁的安全稳定。

### 3.3 冻胀与融沉控制

冻胀和融沉是冻结法基坑支护关键技术之一,如果操作不当往往会影响基坑周边环境和支护结构。之所以出现冻胀,主要原因就是土体中的水分结冰膨胀造成的。为了控制冻胀,可采取以下措施:一方面,设置减压孔。在冻结壁周边设置减压孔,通过减压孔排出部分水分,降低土体中的水分含量,从而减轻冻胀力。减压孔的间距和直径依据土层性质和冻胀力的大小确定,一般减压孔的间距为2-3米,直径为100-150毫米。另一方面,采用间歇冻结法:通过控制冻结时间,使土体中的水分有充足时间排出,减少冻胀发生。例如,在冻结初期采用连续冻结,当冻胀力开始增大时,改为间歇冻结,每次冻结时间控制在12-24小时,间歇时间为6-12小时。

融沉主要是因为冻结壁融化后,土体体积收缩而产生的。融沉会使基坑支护结构产生不均匀沉降,影响基坑的稳定性。为了控制融沉,可采取以下措施:一方面,控制融化速度。通过调节盐水温度和流量,将冻结壁的融化速度控制在较为合适的范围,建议每天融化速度控制在0.5-1米为宜。另一方面,注浆加固。在冻结壁融化前,对周边土体进行注浆加固,提升土体的强度和稳定性,降低融沉影响。注浆材料可选用水泥浆或水泥砂浆,注浆压力和注浆量依据土体性质和加固要求而定。

### 3.4 与其他工法的结合应用

水利工程中,冻结法基坑支护的关键技术之一就是与其他工法的结合应用。实践中,冻结法能够与排桩法、地下连续墙技术等其他的基坑支护工法相结合,充分发挥各自的优势,弥补彼此的不足。水利工程建设中,面对深度较大且地质条件复杂的基坑,通常考虑冻结排桩围护结构体系进行应用。排桩作为结构支撑体系,能够承受较大的水平荷载和竖向荷载;而冻结法形

成的冻土墙则可作为封水结构,有效阻隔了地下水。同时,冻结法还可以与地下连续墙联合支护。地下连续墙刚度大、防渗性能好,但是在特殊地质条件下,如存在流砂层或高承压水时,单纯使用地下连续墙可能存在一定风险。鉴于此,可以引入冻结法进行联合支护。在地下连续墙施工完成后,在墙体外侧布置冻结管,形成冻土墙,进一步增强支护效果和止水能力。实践中,可以结合具体的工程条件和要求,合理抉择冻结法与其他工法的结合方式,最大程度发挥各种工法的优势,保障基坑支护安全施工。

## 4 结语

总而言之,随着社会不断进步,传统基坑支护技术难以满足新时期水利工程建设需要,以冻结法为代表的基坑支护技术成为新时期应用重点。与传统基坑支护技术相比,冻结法的支护和止水效果更好,且适用范围更广、施工灵活性更强、环保效益显著。因此,水利工程建设应明确冻结法基坑支护的应用优势,掌握冻结法基坑支护关键技术。通过做好冻结壁结构设计、冻结施工控制、冻胀与融沉控制、与其他工法的结合应用等途径,进一步提升基坑支护的稳定性,为新时期水利行业高质量发展打下坚实的基础。

## 参考文献

- [1]向亮,尹陇娟.第三系富水粉细砂岩地层基坑冻结加固研究[J].铁道标准设计,2021,65(01):81-88+121.
- [2]韩润泽.房屋建筑工程中深基坑支护新技术的应用分析[J].江苏建材,2019,(S2):83-85.
- [3]高景岐.冻结法在北方深基坑支护工程中应用与研究[J].中国市政工程,2018,(02):62-64+132-133.
- [4]周福萍.深基坑支护新技术发展[J].企业科技与发展,2015,(09):68-69.
- [5]林于靖.冻结法在基坑支护中存在的问题及处理[J].四川建材,2015,41(01):65-66.