

人工冻结法在玄武湖水下交通隧道的应用方案

张春华

摘 要 介绍了人工冻结法在玄武湖水下交通隧道中的应用方案以及冻结法的施工工艺。分析了采用人工冻结法的特点及优势。

关键词 人工冻结法 玄武湖 水下交通隧道 冻结器 开挖

Application of Artificial Freezing Method in Xuanwu Lake Subaqueous Highway Tunnel Construction

Zhang Chunhua (Shanghai Design Institute of Bay Engineering, Shanghai, 200032)

Abstract The application scheme of the artificial freezing method in Xuanwu Lake subaqueous highway tunnel construction and the constructing procedure of the freezing method are introduced. The characters and advantages of the artificial freezing method are sized up.

Key words artificial freezing method, Xuanwu Lake, subaqueous highway tunnel, freezer, excavation

南京市位于长江三角洲平原与长江中下游平原交界处，商业发达，市场活跃，交通区位优势独特。随着改革开放的进一步深入，南京市的经济迅速发展，它同时也依赖于城市基础设施的建设和完善，玄武湖水下交通隧道的建设就是为进一步发展南京经济而提出的。

玄武湖位于南京市城市快速内环线以内的市中心地区，南北长3km，东西宽2.6km，总面积3.8km²，湖区水深1.5~2.0m，是南京市的主要风景旅游景点之一，但同时也严重地阻碍了城区中部的道路交通。拟建的东西向隧道为新模范马路新庄线。按照玄武湖水下隧道工程的建设条件，曾考虑了3种施工方法：(1)明槽开挖搅拌挡土墙或锚喷网护坡降水井降水法；(2)盾构暗挖法施工；(3)地层人工冻结明槽开挖法。由于玄武湖下部的地质条件、造价等问题，工程拟采用人工地层冻结法。

人工地层冻结法就是采用人工制冷方法将构筑在地下不稳定地层中构筑物周围的地层冻结成封闭不透水的具有一定强度的空间，即形成冻结壁，在该冻结壁保护下进行开挖和砌筑工作。制冷技术通常是利用物质由液态变为气态，即气化过程的吸热现象来完成的。多以氨作为制冷工作介质，整个制冷系统由三大循环构成：氨循环系统，盐水循环系统，冷却水循环系统。

人工冻结法施工适合于各种复杂地层条件下的地下工程，在世界上已有100多年的应用历史，我国于1956年首次将该法应用于地下工程。40多年来，已成功地建设了400多项地下工程，包括部分市政工程、隧道工程，如基坑边坡维护、城市重要建筑物的横穿道、盾构法施工的工作井、水下隧道、地层加固等，其中地下工程穿过的最大冲积层厚度已达376.0m。

试验和工程实践结果表明，对于饱和的不稳定地层，经人工冻结后强度大幅度提高。在温度为 -9°C 时，一般砂层的冻结极限抗压强度可达 $11.0\sim 15.0\text{MPa}$ ，土层达 $6.0\sim 8.0\text{MPa}$ 。

1 冻结方案

根据玄武湖水下交通隧道所穿过下卧地层的工程地质及水文地质情况，考虑到隧道的埋深不大(平均为8.52m)，且古河道中间、漫滩及基岩水均为承压水。为使冻结壁在施工中能较好地保护隧道的安全，减小风险，并简化冻结壁施工工艺，拟采用"V"型冻结形式(冻结壁设计要求是将开挖空间完全封闭。一般情况都是竖直的，只要深入到不含水稳定层一定深度，即可达到此目的。由于玄武湖含水层太厚，若依此传统作法，冻结壁太深，不经济，所以采用"V"型冻结壁)，如图1所示。该形式具有如下特点：

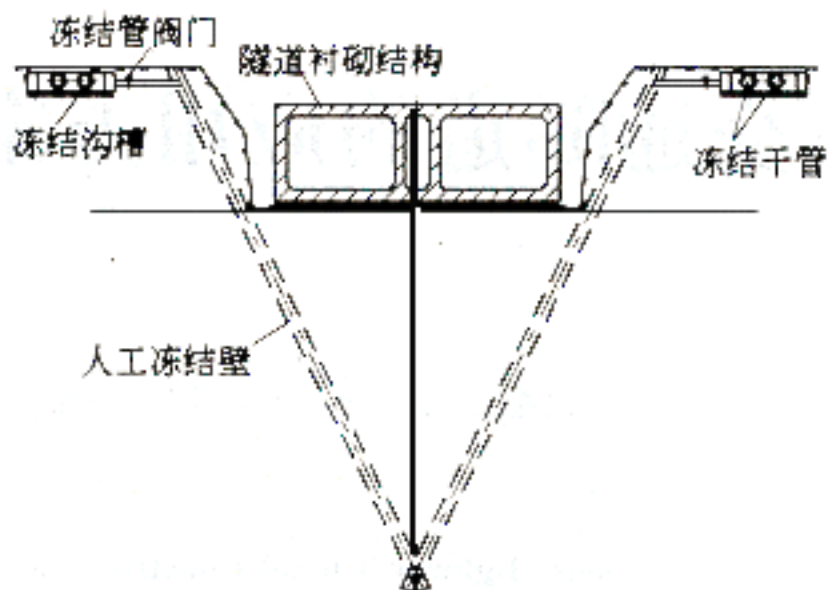


图1 冻结法施工方案断面图

(1)受力性能好。饱和地层经冻结后，充分发挥了地层本身物理性质改变后的强度提高。隧道基坑开挖后，地层所受的外载主要有侧向水土水平压力，底部将承受垂直向上的底部压力。因此冻结壁采用"V"型结构有利于改善结构的受力状况。

(2)施工工艺简单。采用"V"型冻结壁，无论是冻结孔施工，还是冻结器安装均十分简单方便。冻结孔深度约为40m，可采用小型钻机或汽车钻机施工。

(3)与隧道结构形式相符。隧道断面为箱型。由于下部砂层液化，需进行处理，故基坑开挖深度将超过隧道底板，采用"V"型结构有利于隧道下部地基的处理。

2 施工工艺

针对玄武湖东西向水下隧道的线路特征、工程地质和水文地质条件，冻结法施工必须在湖水排干和清淤的前提下进行。冻结法凿井示意参见图2。主要工艺过程如下。

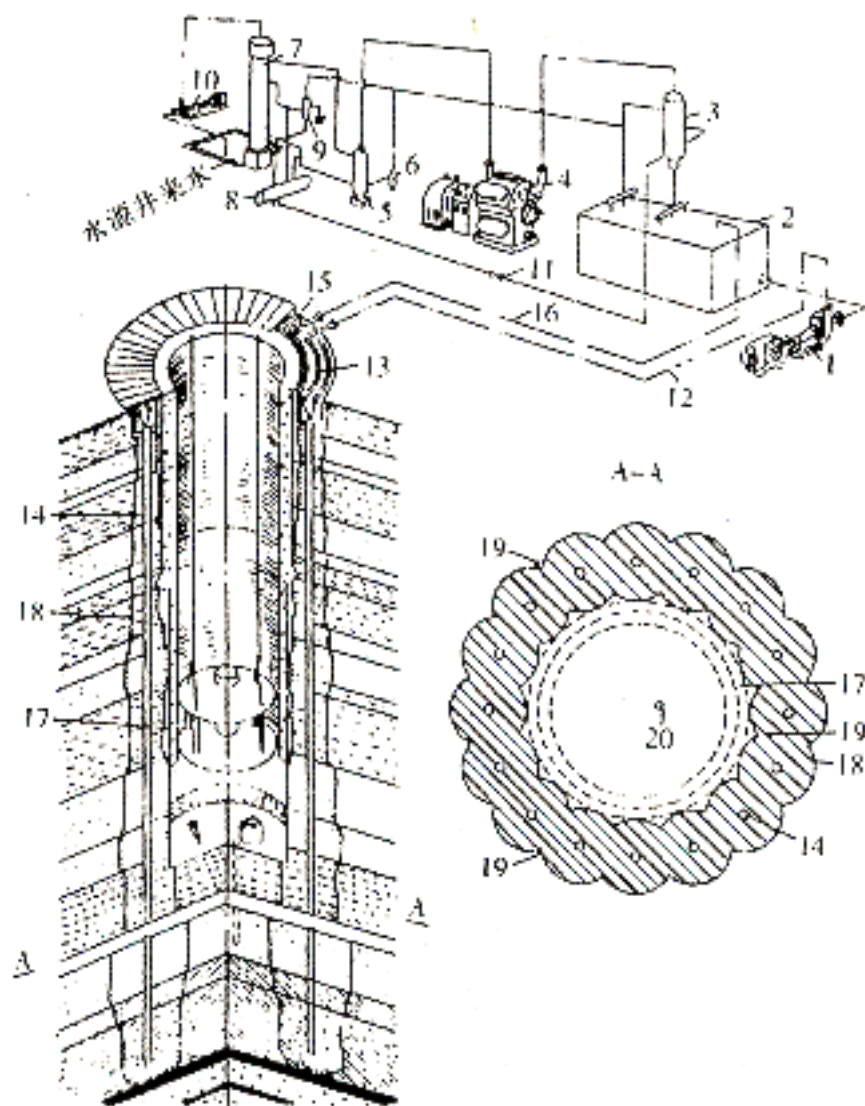


图2 冻结法凿井示意图

- 1-盐水泵；2-蒸发器(盐水箱)；3-氨液分离器；4-氨压缩机；5-油氨分离器；
- 6-集油器；7-冷凝器；8-贮氨器；9-空气分离器；10-冷却水泵；11-节流阀；
- 12-去路盐水干管；13-配液圈；14-冻结器(内有供液管)；15-集液圈；
- 16-回路盐水干管；17-井壁；18-冻结壁；19-测温孔；20-水位观察孔

2.1 修筑进场和隧道线路两侧的简易公路

主要为有关设备和材料的进场作准备。简易公路的修筑可采用碎石砂公路。待工程完工后再进行原样恢复。

2.2 安装冻结站的主要设备

主要设备包括氨压缩机、冷凝器、蒸发器、中间冷却器、油氨分离器、氨液分离器、盐水泵、去回路盐水干管等。设备安装后要进行必要的试运转工作，同时修筑临时供电设施及隧道沿线的冻结干管沟槽。

2.3 打冻结孔，安装冻结器，铺设冻结干管

冻结孔完成后，即安装孔内的冻结器，同时沿隧道沿线的冻结沟槽铺设冻结干管，并与每年冻结孔的冻结器进行连接。

2.4 开机积极冻结

为保证工程的施工工艺和冻结壁的隔水性能，拟采用分区分段开机积极冻结的作业方式进行冻结。为保证地层的冻结质量和施工安全，需设置必要的监测设施对冻结壁的形成过程进行全面监控。

2.5 基坑开挖，衬砌施工

当冻结壁形成并达到设计要求时，即可对隧道基坑进行开挖，开挖过程中，应随时监测冻结壁的温度及变形情况，以便及时采取必要的措施，当基坑开挖深度达到预定深度后，进行衬砌结构的地基处理，然后衬砌底板。为了有效地提高衬砌结构的施工速度，拟采用衬砌模板台车施工隧道衬砌结构的底板以上部分。

2.6 基坑回填

当隧道衬砌完毕并达到预期的强度后，即可对基坑进行回填工作。回填完毕后，可关闭阀门停冻，冻结壁将缓慢自然解冻。

3 工期安排

不包括工程的前期工作(主要为湖水的排干和清淤)，整个隧道建设工期为1年。共划分为3个部分，即施工准备期、施工期和设备安装调试期。

3.1 施工准备期

时间为1个月，主要内容为打冻结孔、修筑场内简易公路、铺设冻结管路、安装冻结站等。

3.2 积极冻结期

为每个工作面积积极冻结时间，与此同时，每个工作面的其它区段进行打钻和冻结器安装。时间为1个月。

3.3 基坑开挖与衬砌期

共7个月，分4个工作面同时进行，每个工作面要求每月完成90m。

3.4 设备安装与调试期

时间为2个月，为隧道内设备的安装与调试。主要内容有：排水系统、通讯系统、照明系统、通风系统、消防系统，路面的铺设也可同时进行。

3.5 机动期

由于本设计为方案设计，尚有许多工作可能在方案中未被考虑。为此，预留1个月的机动期。

4 结论

针对玄武湖水下交通隧道的不良工程地质和水文地质条件，采用人工地层冻结法具有以下几方面的特点和优势：

(1)玄武湖地区的地下水为静水，流动性小，这对采用冻结法施工极为有利，可提高地层的冻结效率，缩短冻结时间，进而缩短工程的施工工期。

(2)采用冻结法施工，由于冻结壁可有效地隔绝地下水通道，并具有较高的承载能力，为隧道的施工创造了良好的条件，可把隧道的整个衬砌结构的施工处在一个与其它地层隔绝的封闭走廊内，因此，隧道施工的可靠性强、风险小，可保证其施工质量和施工安全。

(3)由于玄武湖下部地层为饱和粉砂层，采用冻结法施工可有效地提高地层自身的强度，减少隧道施工基坑的开挖量，节省工程投资。

(4)采用冻结法施工，由于对地下水不产生扰动影响，这对以水为主要风景的南京玄武湖旅游景点的水资源和城市地下水环境的保护极为有利，意义重大。

(5)玄武湖隧道沿线湖面开阔，地面无建筑物，采用冻结法施工，冻土的融沉对地面无影响，对隧道衬砌结构的影响可通过地基处理等技术措施加以解决。

(6)由于隧道埋深相对较小，采用冻结法施工，工艺较简单，施工方便，可保证工程的施工进度和质量。

(7)采用冻结法施工与上述两种方法相比，特别是与盾构法施工相比，工程造价低。

该方案受到了建设部门南京市建委的肯定，作为向决策者汇报的最佳方案。目前，该工程已被南京市批准立项，成立了专门的投资公司，正处于筹备阶段。

注：该文在写作过程中参考了以下资料：

①煤炭工业部南京设计研究院.南京市玄武湖水下隧道方案.1997，12.

②南京大学地球科学系.玄武湖水下交通隧道方案(工程地质分析).1997，7.

③上海市隧道工程设计院.南京市玄武湖水下隧道工程方案.1997，7.

作者简介：张春华：男，1972年生，上海市港湾工程设计研究院；1998年毕业于南京大学地球科学系，获理学硕士学位；从事桩基、结构试验等工作。

作者单位：地址：200032 上海市肇嘉浜路829号。

收稿日期：1998-04-13

改回日期：1998-11-13