

北京市地方标准

DB

编号：DB11/T 1972—2022

城市轨道交通工程冻结法施工技术规范

Technical specification for freezing method construction of
urban rail transit project

2022—03—28 发布

2022—07—01 实施

北京市住房和城乡建设委员会
北京市市场监督管理局

联合发布

北京市地方标准

城市轨道交通工程冻结法施工技术规范

Technical specification for freezing method construction of
urban rail transit project

编 号：DB11/T 1972-2022

主编单位：北京城建集团有限责任公司
北京城建轨道交通建设工程有限公司
北京住总集团有限责任公司
批准部门：北京市市场监督管理局

施行日期：2022年07月01日

2022 北京

前 言

根据北京市市场监督管理局《2020 年北京市地方标准制修订项目计划》（京市监发〔2020〕19 号）的要求，规范编制组经过深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规范。

本规范的主要技术内容是：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 基础资料；5 冻结设计；6 冻结施工；7 冻结壁检测与判断；8 冻结法土方开挖与结构施工；9 充填注浆与融沉注浆；10 质量验收。

本规范由北京市住房和城乡建设委员会和北京市市场监督管理局共同管理，北京市住房和城乡建设委员会归口并负责组织实施，由北京城建集团有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送北京城建集团有限责任公司（地址：北京市海淀区北太平庄路 18 号北京城建大厦；邮编：100088；邮箱 1033796895@qq.com；电话：010-62091140）。

本规范主编单位：北京城建集团有限责任公司

北京城建轨道交通建设工程有限公司

北京住总集团有限责任公司

本规范参编单位：北京市轨道交通建设管理有限公司

北京市政建设集团有限责任公司

北京市地铁运营有限公司

北京易成市政工程有限责任公司

北京中联环建设工程管理有限公司

北京城建亚泰建设集团有限公司

沈阳极地冻结工程有限公司

北京市市政四建设工程有限公司

中航天建设工程集团有限公司

中煤天津设计工程有限责任公司

中交路桥建设有限公司

北京中兵岩土工程有限公司
中国建筑第二工程局有限公司
北京建工集团有限责任公司
北京城建勘测设计研究院有限责任公司
中铁十六局集团北京轨道交通工程建设有限公司
中国路桥工程有限责任公司
中铁二十二局集团有限公司
北京城建北方集团有限公司
中铁工程设计咨询集团有限公司
中建市政工程有限公司
中铁十一局集团城市轨道交通工程有限公司
中铁建设集团基础设施建设有限公司
北京城建道桥建设集团有限公司
中铁十七局集团有限公司
中建二局装饰工程有限公司
中铁十四局集团隧道工程有限公司
中交隧道工程局有限公司等

本规范主要起草人员：张晋勋、武福美、王昱、吴精义、孔恒、楚柏青、强兵、黄陆川、黄亚、廖秋林、刘尔亮、董佳节、乔国刚、费恺、王存举、郑仔弟、刘振东、梁洪振、王建锋、王文兵、余家兴、杨昊、张丹、张静涛、杨志强、张建全、姚文花、崔松涛、郑甲佳、李海生、袁永诚、谭富圣、赵圣武、刘铮、张岩钢、孟祥磊、李萌、吴乐、孙晓鹏、侯迎霞、雷领、贺永跃、安建永、贾宝情、郭志明、蒋小锐、韩锋、陈泽山、王辉、熊挺、郭宁、梁尔斌、刘红伟、黄日生、吴永哲、刘大鹏、高然等
本规范主要审查人员：郭建国、周晓敏、单卫雪、王永红、阮兔苗、武俊杰、李东海

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	基本规定	5
4	基础资料	6
5	冻结设计	7
5.1	一般规定	7
5.2	冻结壁结构设计	8
5.3	制冷系统与冻结工艺设计	10
5.4	冻结孔布置设计	15
5.5	测温孔布置设计	17
5.6	水文观测孔、泄压孔布置设计	18
5.7	保温设计	18
5.8	其它设计	19
6	冻结施工	20
6.1	一般规定	20
6.2	竖向冻结孔施工	20
6.3	横向冻结孔施工	21
6.4	冻结器安装	26
6.5	测温孔施工与装置安装	22
6.6	水文观测孔、泄压孔施工与装置安装	25
6.7	制冷系统安装与运转	26
6.8	积极冻结与维护冻结	28
6.9	停冻与解冻	29
6.10	竖向冻结器拆除与冻结孔（管）充填	30
6.11	横向冻结器拆除与冻结管（孔）充填	30
6.12	局部冻结临时割管与恢复	31
6.13	制冷系统拆除	32
7	冻结壁检测与判断	33
7.1	一般规定	33
7.2	竖向冻结壁检测与判断	33
7.3	横向冻结壁检测与判断	34
8	冻结法土体开挖与结构施工	36
8.1	一般规定	36
8.2	竖向冻结法基坑土体开挖与结构施工	36
8.3	横向冻结法隧道初支与二衬结构施工	37
8.4	局部冻结法基坑土方开挖与结构施工	38
8.5	冻结法盾构始发与接收端掘进	38
8.6	施工监测	39
9	充填注浆与融沉注浆	41
9.1	一般规定	41
9.2	充填注浆	41
9.3	融沉注浆	41

10 质量验收	43
10.1 一般规定	43
10.2 冻结孔施工质量验收.....	44
10.3 孔口管安装质量验收.....	45
10.4 冻结器安装质量验收.....	45
10.5 测温孔施工与装置安装质量验收.....	46
10.6 水文观测孔、泄压孔施工与装置安装质量验收.....	47
10.7 制冷站安装工程的质量验收.....	48
10.8 制冷工程质量验收.....	49
10.9 充填与融沉注浆工程质量验收.....	50
附录 A 北京地区典型土层冻土力学参数.....	52
本规范用词说明	53
引用标准名录	54
附：条文说明	55

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	5
4	Basic data	6
5	Ground freezing design	7
	5.1 General Requirements.....	7
	5.2 Frozen wall design	8
	5.3 Design of refrigeration system.....	10
	5.4 Configurations design of freeze holes.....	15
	5.5 Layout design of temperature measuring hole	17
	5.6 Design for layout of hydrological observation hole and pressure relief hole.....	18
	5.7 Thermal insulation design.....	18
	5.8 Other design	19
6	Freezing construction	20
	6.1 General Requirements.....	20
	6.2 Vertical freeze hole construction.....	20
	6.3 Installation and operation of refrigeration system	21
	6.4 Freeze-tube assemblies installation.....	22
	6.5 Construction and installation of temperature measuring holes	25
	6.6 Construction and device installation of hydrological observation hole and pressure relief hole	25
	6.7 Horizontal freeze hole construction	26
	6.8 Active freezing and maintenance freezing.....	28
	6.9 Freezing and thawing.....	29
	6.10 Removal of vertical freezer and filling of freezing hole (pipe).....	30
	6.11 Removal of transverse freezer and filling of freezing tube (hole).....	30
	6.12 Local freezing temporary pipe cutting and recovery	31
	6.13 Removal of refrigeration system.....	32
7	Detection and Judgment of frozen wall	33
	7.1 General Requirements.....	33
	7.2 Detection and Judgment of vertical frozen wall	33
	7.3 Detection and Judgment of horizontal frozen wall	34
8	Detection and Judgment of horizontal frozen wall	36
	8.1 General Requirements.....	36
	8.2 Vertical freezing method for excavation of foundation pit and construction of structure.....	36
	8.3 Horizontal freezing method for primary support and secondary lining of connecting bypass and horizontal adit	37
	8.4 Earthwork excavation and structural construction of foundation pit by local freezing method	38
	8.5 Freezing method for shield launching and shield arrival	38
	8.6 Construction monitoring	39

9	Filling grouting and thaw settlement grouting	41
9.1	General Requirements.....	41
9.2	Filling grout	41
9.3	Thawing settlement grout	41
10	Quality acceptance	43
10.1	General Requirements.....	43
10.2	Quality acceptance of freeze hole	44
10.3	Quality acceptance of Orifice pipe installation	45
10.4	Quality acceptance of Installation of freezing pipe and freezer.....	45
10.5	Quality acceptance of Installation of temperature measuring device.....	46
10.6	Quality acceptance of device installation (pressure release hole) and construction for hydrological observation hole	47
10.7	Quality acceptance of Installation of transverse hydrologic hole (pressure relief hole) device.....	48
10.8	Quality acceptance of Installation of refrigeration station	49
10.9	Quality acceptance of Refrigeration engineering.....	50
	Appendix A Mechanical parameters of frozen soil of typical soil in Beijing	52
	Explanation of wording in the standard	53
	List of Quoted standards	54
	Addition: Explanation of provisions	55

1 总 则

1.0.1 为加强北京市城市轨道交通建设工程冻结法施工技术管理，促进技术进步，保证工程质量和施工安全，做到工程经济合理、绿色环保，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于北京市城市轨道交通工程人工地层冻结法施工。

1.0.3 北京市轨道交通工程冻结法施工，除应符合本规范外，尚应符合国家及北京市现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 冻结法 ground freezing method

用人工冻结的方法对构筑物周围及基底含水地层进行冻结,形成具有临时承载或隔水作用的冻结壁,在其保护下进行地下构筑物安全施工的一种方法。

2.0.2 竖向冻结 vertical freezing

为地下建筑的竖向开挖和构筑施工而进行的人工地层冻结。竖向冻结主要以垂直钻孔为主来布置地层冻结器。

2.0.3 横向冻结 horizontal freezing

为地下建筑的横向开挖和构筑施工而进行的人工地层冻结。横向冻结主要以地下钻孔为主,布孔方向较为多样,通常以水平和倾斜钻孔为主。

2.0.4 冻结壁 frozen wall

在拟建地下构筑物周围和基底的不稳定含水地层中,用冻结技术,建造不透水、具有一定强度和厚度的冻结岩土结构体。

2.0.5 冻结孔 freezing hole

在地面或地下有限空间环境中,对拟构建冻结壁的地层进行钻进施工,形成用于能安装冻结器的钻孔,有垂直、水平、倾斜等多种形式之分。

2.0.6 冻结管 freeze tube

安装在冻结孔内,作为冻结器的外管,直接接触地层并进行热交换。

2.0.7 冻结器 freeze-tube assembly

安装在钻孔内,由冻结器头部、冻结管、冻结管底锥、置于冻结管内的供液管等组成,用于循环负温冷媒剂的管状换热器。

2.0.8 冻结器头部 freezer head

由露出冻结孔外面的冻结管及其端盖、冷媒剂供回液羊角管及其控制阀门等组成的装置,简称为冻结器头部。

2.0.9 冻土柱 frozen soil column

由于冻结器与地层的负温热交换作用,在冻结管周围的含水不稳定地层中冻结形成的冻结柱体。

2.0.10 水文观测孔 hydrological observation hole

在人工地层冻结工程中，用于安装观测地层中地下水位变化的管孔。

2.0.11 泄压孔 pressure release hole

在人工地层冻结工程施工中，为了减小地层冻胀的不利作用或危害，用来释放因地层冻胀产生的水土压力而设置的管孔。

2.0.12 测温孔 temperature measurement hole

在人工地层冻结工程中，布置在冻结壁及冻结降温区内，用于安装温度监测装置，观测地层温度变化而设置的管孔。

2.0.13 冻结壁厚度 frozen wall thickness

在拟建构筑物开挖面外侧法向上，人工冻结形成应达到的冻结实体的最小几何尺寸。冻土进入开挖直径内时，开挖后剩余的冻结壁厚度被称为有效冻结壁厚度。

2.0.14 冻结壁平均温度 average temperature of frozen wall

对设计或实际冻结壁，在某一截面或实体体积内的冻土温度分布，用算术平均法计算的平均值。

2.0.15 冻结壁交圈时间 freezing time to closure

从地层冻结供冷开始，至冻结器布置圈上所有相邻的冻结管的冻土柱完全相交所需的时间。

2.0.16 积极冻结期 period of frozen wall formation

从地层冻结开始，至冻结壁结构形状和厚度均达到设计要求所需的时间。在该时间段内，制冷站满负荷运行，以最大制冷量对地层进行低温冷量供应，冷媒剂循环流量和温度均应在规定时间内达到设计要求。

2.0.17 维护冻结期 maintenance period of frozen wall

冻结壁形成达到设计要求后，为服务于地下工程的承载和安全要求，继续向冻结器输送冷量，以维持有效冻结壁的形状、厚度和平均温度，而进行持续冻结施工的时段，也称冻结壁维护期。

2.0.18 强制解冻 artificial thawing

为实现某一施工目的，利用人工加热的方法，对选定的冻结器进行加热热交换，加快局部或整体冻结壁解冻的施工作业。

2.0.19 冻胀 frost heave

在冻结法施工过程中，由于地层中水结冰的体积膨胀而引起的土体膨胀。

2.0.20 融沉 thawing settlement

冻土融化时，在地层水土压力作用下，因冰水体积转换和水场流动，导致含水土体体积收缩而引起的地层变形和沉降。

2.0.21 局部冻结 local freezing

对穿越不需要冻结的地层中的冻结管，采取绝热保温措施或技术，只对需要冻结的目标地层进行地层冻结的工艺方法。

2.0.22 分段冻结 step freezing

依据地下结构特征、工程环境条件、流水施工原理和冻结施工工艺特点，将地下工程施工划分为若干段，充分利用时间和空间上的合理安排，进行冻结孔施工、冻结器安装、地层冻结和地下开挖支护，实现连续、均衡、有序的冻结法施工。

2.0.23 孔口管 borehole orifice-pipe

为确保开孔位置的地层稳定和防止水土流失，在钻孔起始位置安装的，服务于冻结孔钻进施工和冻结器安装的工具型预制钢管管段。

2.0.24 孔口防喷装置 gushing prevent device

在位于地下含水层水头位以下空间中进行含水地层的钻孔时，用于安装在孔口管上，防止钻孔过程中泥砂喷涌的工具装置。

2.0.25 去回路干管 main pipes for brine supply and return

一端连接于制冷站的盐水泵、盐水箱、蒸发器，另一端连接于工作面的配集液圈（管），为冻结器提供低温冷媒剂循环的主管路。

2.0.26 配集液圈（管） Distribution and collecting ring (pipe)

一端与去回路干管连接，另一端与各冻结器或冻结器分组进行连接的，为冻结器均衡可靠运行提供低温冷媒剂循环的主管路。也称之为配集液干管。在竖井基坑等竖向冻结施工中，因在地面的配集液钢管主管呈现环状布置，又称之为集配液圈。

3 基本规定

- 3.0.1** 冻结法专项设计和施工应与结构设计和施工相匹配。
- 3.0.2** 冻结法施工应保障周边环境不受损害，确保土方开挖和结构施工安全。
- 3.0.3** 冻结法施工的设计和施工除应符合本规范所需水文地质勘察资料的规定外，尚需满足常规水文地质勘察资料。
- 3.0.4** 冻结法施工应根据项目总体施工组织设计和冻结施工设计图，编制冻结施工专项方案和施工安全专项应急预案。
- 3.0.5** 施工单位应建立健全技术、质量、安全管理、职业健康和环境保护管理体系，并应保持体系正常运行。
- 3.0.6** 工程所用的材料、半成品、成品、构配件进场时，应对其外观、规格、型号等进行验收，质量证明文件应齐全，并应按规定对材料进行抽检复试，合格后方可使用。
- 3.0.7** 工程施工所用的测控设备、仪器、仪表等应在计量检定有效期内。
- 3.0.8** 工程施工中应做好检测、隐蔽工程、质量检查等施工记录，工程竣工时应提交施工总结，竣工资料应真实、有效、齐全。
- 3.0.9** 冻结法施工宜采用经过试验、检测和鉴定，质量和安全可靠的技术。
- 3.0.10** 冻结法施工应符合现行北京市地方标准《绿色施工管理规程》DB11/T513 的规定。

4 基础资料

4.0.1 冻结设计和施工应具备下列水文地质勘察资料：

- 1 勘察孔坐标、孔口标高、钻孔深度、钻孔工艺，勘察孔全深范围内的土层柱状图、土层名称、层顶标高、层厚、取样点位置、土体性状、包含物及物理特征等；
- 2 含水层埋深、厚度、渗透系数、地下水水位标高、氯离子含量，以及含水层与地表水体的水力联系；
- 3 土层的密度（容重）、含水率、含盐量、塑性指标、颗粒组成、内摩擦角和粘聚力、膨胀率和承载力等力学参数；
- 4 原始地温、结冰温度、导热系数、比热、冻胀率和融沉率等土层的热物理特性参数；
- 5 弹性模量、泊松比、抗压强度、剪切强度、抗折强度、蠕变参数等冻土的物理力学特性参数。

4.0.2 冻结设计和施工应做好影响范围内的下列周边环境调查：

- 1 场地地理环境、气象资料、周边交通情况；
- 2 既有管线、道路桥梁、地上及地下建（构）筑物特征，与拟建工程的相对位置关系及保护要求；
- 3 相邻工程的施工情况及降水情况。

4.0.3 地层冻结加固设计和施工应具备下列结构资料：

- 1 车站基坑的围（支）护结构和主体结构工程施工设计图；
- 2 盾构工作井基坑或盾构始发、接收端围（支）护结构和主体结构工程施工设计图，盾构区间隧道管片结构及联络通道的初期支护结构、二衬结构工程施工设计图；
- 3 竖井、横通道初期支护结构、二衬结构工程施工设计图；
- 4 其他与冻结设计、施工有关的资料。

4.0.4 冻结法土方开挖应具备下列资料：

- 1 基坑、竖井、隧道等地下工程的施工方案；
- 2 区间左右隧道预留联络通道洞门的位置关系；
- 3 基坑、竖井、隧道等施工过程中，掌握的实际地层资料；
- 4 与其它相邻在建工程施工的有关资料。

4.0.5 典型土层冻土力学参数可按附录 A 选取。

5 冻结设计

5.1 一般规定

5.1.1 冻结设计应对施工全过程进行施工风险因素和灾害风险评价。

5.1.2 冻结设计应考虑对周围环境和建（构）筑物可能产生影响的分析。

5.1.3 冻结设计应包括下列内容：

- 1 冻结方案比选；
- 2 制冷站系统、工艺设计；
- 3 冻结壁结构设计；
- 4 冻结壁承载力、变形验算；
- 5 冻结孔布置设计，冻结壁温度场形成计算；
- 6 测温孔、水文观测孔、泄压孔布置设计；
- 7 保温与防护设计等。

5.1.4 水文地质条件出现下列情况之一时，设计应采取针对性措施：

- 1 地下水流速大于 5m/d、有集中水流或地下水水位有异常波动；
- 2 土层结冰温度低于-2℃或有地下热源存在影响土体冻结；
- 3 土层含水量低，存在影响土体冻结强度；
- 4 含有承压水砂层；
- 5 存在沼气、暗浜、古河道等不良水文地质条件或因前期施工遗留的影响因素；
- 6 被扰动过的地层；
- 7 存在其它影响地层冻结的因素。

5.1.5 冻结施工影响范围内周边环境存在下列情况之一时，设计应采取针对性措施：

- 1 居民住宅、保护性建筑及其它重要建（构）筑物或沉降敏感区域；
- 2 城市主干道、城市高架桥或立交桥；
- 3 给水、燃气、热力、航油等带压的主管或干管，排水干管，110KV 及以上高压电缆、军缆、通信等重要管线；
- 4 既有城市轨道交通、铁路、高速公路、机场跑道或过街通道等设施；
- 5 江河湖泊等水系；
- 6 同步施工的其它地下工程；

7 冻结壁形成期间，周边存在的地下水位突发波动情况所产生的不利影响。

5.1.6 横向冻结工程出现下列情况之一时，设计应采取针对性措施：

- 1 结构顶部的覆土厚度小于 5m 或大于 30m；
- 2 区间双线隧道的中心线间距小于 9m 或大于 20m；
- 3 区间隧道内径大于 10m；
- 4 设有地下泵站或集水坑的联络通道。

5.1.7 冻结壁的荷载和作用计算应符合下列规定：

- 1 法向、切向作用载荷，包括地层土压力和水压力；
- 2 施工影响范围内的建（构）筑物荷载、地面超载及其它临时荷载等引起的作用；
- 3 地下水流动，地面或地下结构热负荷等作用。

5.2 冻结壁结构设计

5.2.1 冻结壁功能分类，应符合表 5.2.1 的规定：

表 5.2.1 冻结壁功能分类表

类别	功能	适用地层或结构类型
I	止水	如破碎的孔裂隙岩体、混凝土桩墙间和混凝土界面缝隙的冻结封水
II	承载	软弱不透水的粘性土层冻结加固
III	既止水又承载	富含水流动的粉细砂地层冻结加固

5.2.2 冻结壁功能设计评价应符合下列规定：

1 冻结壁结构止水功能的设计评价，应由冻土冻结温度决定的冻结壁温度场交圈最小厚度要求来确定；

2 冻结壁结构承载功能的设计评价，应由冻结壁结构的有效厚度及其范围内冻土温度分布的决定的冻结壁平均温度来综合评定，并应通过在施工过程中的冻结壁应力和变形分布分析来进行承载能力验算。

5.2.3 冻结壁结构形式选择应有利于控制土层冻胀、融沉，减小对周边环境的影响，并应符合下列规定：

1 类型 I 冻结壁结构，基于温度场的分析和计算，按满足冻结壁完全封闭交圈要求进行冻结孔布孔的工艺设计；

2 类型 II 冻结壁结构，应在冻结壁温度场分析基础上，按满足地下结构安全施工时的

冻结壁结构临时承载能力要求进行设计；

3 类型 III 冻结壁结构，应在冻结壁温度场分析基础上，按满足地下结构安全施工时完全无地下水渗入和冻结壁结构临时承载进行设计；不稳定流动的含水砂性土层冻结应采用 III 类冻结壁结构形式；

4 对允许变形值小的冻结壁，冻结壁设计应考虑到冻结壁有效厚度，开挖步距和暴露时间的控制，考虑和利用到冻结壁承载结构的时间和空间的影响和效能；

5 冻结壁的平均温度一般按施工深度来确定，设计参考值可按表 5.2.3 选取，同时应考虑地面和地下荷载扰动等复杂情况，冻结壁与各种地下结构交界面的平均温度要求。

表 5.2.3 冻结壁平均温度设计参考值

开挖深度 H_i (m)	≤ 30	> 30
冻结壁平均温度 T_p (°C)	≤ -10	≤ -12

5.2.4 冻结壁计算方法应符合下列规定：

1 当采用传统的载荷结构法计算时，冻结壁的力学计算模型可按均质线弹性体简化，其力学特性参数可根据冻结壁平均温度，参照本规范附录 A 来选取；未冻土的弹性模量、泊松比、重度参数应根据水文地质勘察报告选取；

2 冻结壁计算宜优先采用现代岩土力学的数值模型计算方法。在参考本规范附件 A 提供的冻土材料的力学性能基础上，通过实验，确定考虑到温度分布对冻结壁结构承载能力的影响；

3 常规的冻结壁承载能力的设计与验算宜采用许用应力设计方法，基于单一安全系数，按抗压、抗折和抗剪强度进行验算：

$$K\sigma \leq R \quad (5.2.4)$$

式中： σ ——冻结壁最不利部位的应力；

R ——人工冻土的强度指标；

K ——安全系数，II、III类冻结壁强度检验安全系数宜按表 5.2.4 选取。

表 5.2.4 冻结壁强度检验安全系数

冻结壁功能类别	抗 压	抗 折	抗 剪
II	1.8	2.7	1.8
III	2.0	3.0	2.0

4 冻结壁设计应验算冻结壁的变形，最大变形值不应超过 30mm。

5.2.5 横向冻结壁结构冻结设计应符合下列规定：

1 隧道及其联络通道、地下横通道等横向冻结，宜采用与横向地下结构外形相一致的水平状厚壁筒体结构，根据具体施工条件可选用 II、III 类型。带泵房集水坑部分，可采用特殊“V”形或实体冻结；

2 与区间管片或车站衬砌等地下结构交界处的冻结壁设计应考虑地下环境不稳定热损害，界面冻结壁平均温度不小于-8℃。

5.2.6 竖向冻结壁设计应符合下列规定：

1 竖向冻结的帷幕冻结壁结构与功能设计与竖井、基坑等围护结构设计相一致和协调；

2 竖向冻结的帷幕冻结壁宜布置在竖井或基坑围护结构的外侧，帷幕冻结壁上部起始位置一般应高于静止水位 2m 以上。在无地下管线等影响时可以从地表开始冻结；

3 当竖井和基坑的底部有可利用的完好隔水层时，结合围护结构，冻结壁帷幕可按 I 类冻结壁的封水功能要求设计；

4 当竖井、基坑的底部没有完好的隔水层时，应按类型 III 类进行设计计算，基底冻结壁应进行抗浮、抗折和抗隆起变形等承载验算；基底有效冻结壁宜设于结构底板标高以下，且不小于 1m；

5 帷幕冻结壁平均温度设计应符合本规范表 5.2.3 的规定；冻结壁与围护结构交接面应加强冻结，平均温度不应高于-5℃；

6 基坑分段冻结的段落划分应根据结构施工流水段设计划分与施工组织设计等综合确定；每个分段冻结的围护结构和冻结壁结构均应独立设计；在分割和搭接处，应考虑相邻分区建设施工的相互不利影响，满足各个区段结构施工的安全要求。

5.2.7 盾构始发与接收加固的横向冻结，应根据盾构隧道进出口的基坑地面条件、水文地质条件、地下管线分布等选择合理可靠的冻结壁结构。按布孔方式有：垂直孔墙体冻结壁结构，垂直孔拱门冻结壁结构、近水平孔的杯型冻结壁结构等。

5.3 制冷系统与冻结工艺设计

5.3.1 冻结冷量计算应符合下列规定：

1 冻结器吸热能力可按下列公式计算：

$$Q_g = qA \quad (5.3.1-1)$$

式中： Q_g ——冻结器总吸热能力(kJ/h)；

q ——冻结器吸热系数 $[\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ ，一般取平均值 0.29KW ；

A ——冻结器总表面积 (m^2) ；

2 制冷站需冷量可按下式计算：

$$Q_z = mQ_g \quad (5.3.1-2)$$

式中： Q_z ——制冷站需冷量 (kJ/h) ；

m ——冷量损失系数，参考 $m=1.2\sim 1.3$ 选取。

5.3.2 冷冻机选型应符合下列规定：

1 制冷剂循环系统的冷凝温度应比冷却水循环系统的出水温度高 $3^\circ\text{C}\sim 5^\circ\text{C}$ ；

2 制冷剂循环系统的蒸发温度应比设计最低盐水温度低 $5^\circ\text{C}\sim 7^\circ\text{C}$ ；

3 冷冻机型号与数量应根据制冷站需冷量、制冷剂循环系统的冷凝温度、蒸发温度确定。选定冷冻机的总制冷能力不应小于制冷站需冷量，且应有备用机。

5.3.3 冻结盐水应符合下列规定：

1 地层冻结用盐水宜采用氯化钙水溶液；

2 盐水中可掺加一定比例的氢氧化钠或重铬酸钠；

3 氯化钙水溶液的凝固点应低于设计盐水循环工作温度 $8^\circ\text{C}\sim 10^\circ\text{C}$ ，比重不应大于 1.27 ；

4 氯化钙水溶液应能充满盐水循环系统中所有的容器和管路；

5 氯化钙用量可按下式计算确定：

$$G = 1.2g(V_1 + V_2 + V_3) / \rho \quad (5.3.3)$$

式中： G ——氯化钙用量 (kg) ；

g ——单位盐水体积固体氯化钙含量 (kg/m^3) ；

ρ ——固体氯化钙纯度，无水氯化钙取 96% ，晶体氯化钙取 70% ；

V_1 ——冻结器内盐水体积 (m^3) ；

V_2 ——去回路干管及配集液圈（管）内盐水体积 (m^3) ；

V_3 ——蒸发器和盐水箱内盐水体积 (m^3) 。

5.3.4 盐水管路设计应符合下列规定：

1 去回路干管、配集液圈（管）及供回液连接管管径应按盐水流速计算。盐水在冻结器环形空间的流速宜为 $0.1\text{m}/\text{s}\sim 0.3\text{m}/\text{s}$ ，在供液管中的流速宜为 $0.6\text{m}/\text{s}\sim 1.5\text{m}/\text{s}$ ，去回路干管及配集液圈（管）中的流速宜为 $1.5\text{m}/\text{s}\sim 2.0\text{m}/\text{s}$ ；

2 供回液干管、配集液圈（管）宜选用普通低碳钢无缝钢管，管壁厚度不宜小于 4.5mm 。供液管应选用无缝钢管或聚乙烯增强塑料管；

3 当供液干管管路较长时应安装软接头及截止阀，且间距不宜大于 100m。

5.3.5 盐水泵选型应符合下列规定：

1 盐水循环总流量不应小于按下式计算的 W 值：

$$W=Q_z/(\Delta t \cdot \gamma \cdot c) \quad (5.3.5-1)$$

式中：W——盐水循环计算总流量(m³/h)；

Q_z——制冷站需冷量(kJ/h)；

γ——盐水密度(kg/m³)；

c——盐水比热(kJ/(kg·°C))；

Δt——供回路盐水温差(°C)，一般取 Δt=1°C~2°C；

2 盐水泵扬程应按下式计算：

$$H_c=1.15(H_1+H_2+H_3+H_4)+H_5+H_6+H_7 \quad (5.3.5-2)$$

式中：H_c——盐水泵计算扬程(m)；

H₁——供液干管和配集液圈(管)中的压力损失(m)；

H₂——供液管中的压头损失(m)；

H₃——冻结器环形空间的压头损失(m)；

H₄——盐水管路中弯头、三通、阀门等局部阻力，取值为(h₁+h₂+h₃)的20%(m)；

H₅——盐水泵的压头损失，可取3m~5m；

H₆——封闭式循环系统中回路盐水管高出盐水泵的高度，宜取1.5m；

H₇——蒸发器内的盐水压头损失(m)。

其中：

$$H_i=\lambda_i(L_i/d_i)(\omega_i^2/2g) \quad (5.3.5-3)$$

$$\text{紊流时 } \lambda_i=0.3164/(Re_i)^{1/4} \quad (5.3.5-4)$$

$$\text{层流时 } \lambda_i=64/Re_i \quad (5.3.5-5)$$

$$Re_i=\omega_i \cdot d_i \cdot \gamma / \mu \cdot g \quad (5.3.5-6)$$

式中：d_i——供液管直径(m)；

L_i——供液管的长度(m)；

g——重力加速度，9.81m/s²；

ω_i——盐水流速(m/s)；

Re_i——盐水流动阻力系数；

μ——盐动力粘度系数(Pa·s)；

γ —— 盐水密度 (kg/m^3) ;

$i=1, 2, 3$;

3 盐水泵电动机功率应按下列公式确定:

$$N=1.25W \cdot H_c \cdot \gamma / (102 \cdot 3600 \cdot \eta_1 \eta_2) \quad (5.3.5-7)$$

式中: η_1 —— 盐水泵的效率, 取 0.75;

η_2 —— 电动机的效率, 取 0.85;

4 水泵型号和台数应按盐水循环计算总流量、盐水泵扬程和电机功率确定, 配备盐水泵在计算扬程下的总流量不应小于计算流量, 并应配置满足设计能力的备用泵。

5.3.6 冷却水设计应符合下列规定:

1 制冷站冷却水总需用量应按下列公式计算:

$$W_0=W_1+W_2 \quad (5.3.6-1)$$

式中: W_0 —— 冷却水计算总需用量(m^3/h);

W_1 —— 冷凝器冷却水需用量(m^3/h);

W_2 —— 冷冻机冷却水需用量(m^3/h)。

其中, 采用壳管式冷凝器时的冷却水需用量按下式计算:

$$W_1=Qz'/(1000 \cdot \Delta t) \quad (5.3.6-2)$$

式中: Qz' —— 制冷站总制冷能力(kJ/h);

Δt —— 冷凝器进出水温差($^{\circ}\text{C}$), 取 $\Delta t=3^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

蒸发式冷凝器的冷却水需用量和冷冻机的冷却水需用量宜参照厂家提供参数确定;

2 不安装冷却塔时的补充水量可按下式计算:

$$W_3=W_0(t_2-t_1)/(t_2-t_0) \quad (5.3.6-3)$$

式中: W_3 —— 补充水量(m^3/h);

W_0 —— 冷却水计算总需用量(m^3/h);

t_2 —— 冷凝器出水温度($^{\circ}\text{C}$);

t_1 —— 冷凝器进水温度($^{\circ}\text{C}$);

t_0 —— 补充水温度($^{\circ}\text{C}$);

3 采用冷却塔时的补充水量可按下式计算:

$$W_3=W \Delta t/600+W_4+W_5 \quad (5.3.6-4)$$

式中: W_3 —— 补充水量(m^3/h);

W —— 冷却塔循环水量(m^3/h);

Δt ——冷却塔进出水温差(°C);

W_4 ——冷却塔的飞溅损失水量(m^3/h), 取 $0.01W \sim 0.02W$;

W_5 ——其他排放量(m^3/h);

4 冷却宜采用不易结垢水源, 水温不宜高于 $28^\circ C$;

5 清水泵型号和数量应根据冷却水计算总需用量确定, 水泵扬程宜为 $12m \sim 40m$, 并应配置满足设计能力的备用泵。

5.3.7 供回液管设计应符合下列规定:

1 供回液管材质为钢管时应符合现行国家标准《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163 的规定, 为聚乙烯增强塑料管时应满足现场工作环境压力要求;

2 供回液管的规格应根据供冷量进行设计, 供回液管的外径与壁厚参照值宜按表 5.3.7 选取;

表 5.3.7 供回液管的外径与壁厚参照值

供液管品种	外径 (mm)	壁厚 (mm)
钢管	≥ 38	3~4
聚乙烯增强塑料管	≥ 50	≥ 4

3 盾构始发与接收端掘进范围内的供回液管宜采用聚乙烯增强塑料管; 其它部位的供回液管宜采用无缝钢管。

5.3.8 积极冻结设计应符合下列规定:

1 冻结壁交圈时间可按下式计算:

$$T_{jq} = S_{max} / 2V_{dp} \quad (5.3.8-1)$$

式中: T_{jq} ——冻结壁交圈时间(d);

S_{max} ——冻结孔钻孔控制间距(m);

V_{dp} ——冻结壁单侧平均扩展速度(m/d);

2 积极冻结期不应少于预计冻结壁厚度和平均温度达到的时间要求;

3 冻结壁形成预计有效厚度可按下式计算:

$$E_{yj} = 2V_{dpt} - E_{qr} \quad (5.3.8-2)$$

式中: E_{yj} ——设计冻结壁有效厚度(mm);

V_{dp} ——冻结壁单侧平均扩展速度(mm/d); 排孔冻结壁(或冻土柱)单侧平均扩

展速度设计参考值可按表 5.3.8 选取或采用通用计算方法计算；

E_{qr} ——冻土侵入开挖面以内厚度(mm)；

t ——冻结时间(d)；

表 5.3.8 排孔冻结壁（或冻土柱）单侧平均扩展速度设计参考值

冻结时间 t(d)		0~10	10~20	21~30	31~40	41~60
冻结壁单侧平均 扩展速度 V_{dp} (mm/d)	饱和粉土、粘土	26	22	20	18	16
	饱和砂层、砾石层	30	26	24	20	18

注：以 89mm 冻结管，孔间距 1.2m 以内的北京市地层统计参考值

4 冻结壁扩展过程和平均温度可经实测传热参数，通用数值方法公式进行估算。

5.4 冻结孔布置设计

5.4.1 冻结孔布置应符合下列规定：

- 1 冻结孔的布置应满足设计冻结壁的厚度和冻结平均温度要求；
- 2 冻结孔布置参数应包括冻结孔开孔孔位、开孔间距、顶（倾）角、方位角、孔深、成孔偏斜度等；
- 3 冻结偏斜控制参数应包括偏斜率、偏值、偏向，最大相邻孔钻孔控制间距；
- 4 冻结孔最大允许偏斜值即冻结孔钻孔轨迹与设计轨迹之间的距离；
- 5 冻结孔钻孔间距应按设计冻结壁厚度、冻结壁平均温度、盐水温度、积极冻结时间和冻结工期要求等确定。

5.4.2 竖向冻结孔布置应符合下列规定：

- 1 竖向冻结孔应布置在围护结构外侧；
- 2 单排冻结孔不能满足冻结壁设计要求时，可布置双排冻结孔；
- 3 冻结孔布置应避开地上、地下建（构）筑物及管线等；
- 4 基坑分段冻结时，冻结孔布置应与结构施工流水段划分相匹配，冻结分段处的冻结孔应加密；
- 5 冻结孔施工完成后，应根据测斜数据绘制冻结孔偏斜数据表。当间距大于设计要求时设计应补充冻结孔；
- 6 冻结孔最大偏斜参考值应符合表 5.4.2-1 的规定；

表 5.4.2-1 冻结孔最大偏斜参考值

冻结孔竖向深度 H (m)	≤30	30~50	50~70
冻结孔允许最大偏斜值 (mm)	150 (0.5%)	250 (0.5%)	350 (0.5%)

7 单排竖向冻结孔钻孔控制间距设计值应符合表 5.4.2-2 规定。

表 5.4.2-2 单排竖向冻结孔钻孔控制间距设计值

冻结孔竖向深度 H (m)	≤30	30~50	50~70
最大相邻孔控制间距 (mm)	1400	1800	2200

5.4.3 横向冻结孔布置应符合下列规定：

1 区间两隧道中心线间距小于 20m 时，可采用在隧道的单侧布置冻结孔；区间两隧道中心线间距大于等于 20m 时，或设有泵房的联络通道，宜采用在隧道的两侧布置冻结孔；盾构法隧道采用在隧道双侧布置冻结孔时，应精确确定两侧隧道管片预留洞门位置；开孔应避免管片接缝、螺栓孔、主筋和钢管片肋板；

2 横通道冻结孔宜单侧布置冻结孔，开孔应避免支护结构主筋，分段冻结时接续冻结孔应留有搭接位置；

3 单排冻结孔不能满足冻结壁设计要求时，可布置双排或多排冻结孔。多排冻结孔密集布置时，中间冻结孔距可适当放大；

4 单侧供冷且隧道中心线间距小于 20m 的冻结孔布置，设计时应布置不少于 2 个透孔；

5 横向冻结孔偏斜精度要求应符合表 5.4.3-1 的规定；

表 5.4.3-1 横向冻结孔偏斜精度要求

横向冻结孔深度 H (m)	≤10	10~30	30~60
横向冻结孔允许最大偏斜值 (mm)	150	350	600

6 单排横向冻结孔钻孔控制间距设计值应符合表 5.4.3-2 规定；泵房集水坑冻结深度小于 10m 时，设计冻结孔间距宜为 1400mm。

表 5.4.3-2 单排横向冻结孔钻孔控制间距设计值

横向冻结孔深度 H(m)	≤10	10~30	30~60
最大相邻孔控制间距 (mm)	1300	1600	2200

5.4.4 盾构始发和接收端竖向冻结孔布置除应 5.4.2 条的规定外，采用实体冻结时，除贴近洞门的第一排孔外，中间孔应采用梅花形布置。

5.4.5 基底局部竖向冻结孔布置应符合下列规定：

- 1 除贴近围护结构的第一排孔外，中间孔应采用梅花形布置；
- 2 开孔间距宜控制在 1.8m~2.2m，冻结孔布置应避免基坑内支撑位置。

5.5 测温孔布置设计

5.5.1 测温孔应监测冻结壁厚度、冻结壁平均温度、冻结壁与衬砌结构（管片）界面温度和开挖区附近地层冻结情况。

5.5.2 测温孔应布置在冻结孔间距最大的冻结壁界面处或预计冻结薄弱处，管材宜采用钢管，测温管规格应方便安装测点。

5.5.3 温度测点布置应符合下列规定：

- 1 应满足判断冻结壁形成质量的要求；
- 2 冻结壁与隧道管片（衬砌）界面处应布置温度测点，测点深入管片（衬砌）外冻土不应大于 50mm；
- 3 应能满足冻结、土方开挖、结构施工及融沉注浆施工的其他要求。

5.5.4 测温元件和仪器应经过标定，温度测量精度应达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

5.5.5 竖向冻结壁测温孔布置应符合下列规定：

- 1 竖井冻结壁的测温孔每侧不宜少于 2 个，分段冻结每侧每段应不少于 2 个。分别布置在侧墙和拐角的内外侧，深度应不小于冻结孔深度；
- 2 应布置在相邻两个冻结孔间距最大的冻结壁界面处；
- 3 宜布置在地下水流的上、下游方。

5.5.6 基底局部冻结壁测温孔布置应符合下列规定：

- 1 竖井不应少于 4 个，并宜分别布置在四角位置；
- 2 分段冻结的每段不宜少于 4 个，宜分别布置在每段交界处、角部。

5.5.7 横向冻结壁测温孔布置应符合下列规定：

- 1 测温孔宜布置在冻结孔间距较大的冻结壁界面上或冻结薄弱处；
- 2 联络通道测冻结壁厚度的测温孔隧道每侧不宜少于 4 个，冻结壁内、外设计边界上均应布置测温孔，深度应不小于 2m；
- 3 泵房基坑中间应布置测温孔，深度应与相邻的冻结孔深度一致；
- 4 冻结壁与地下建筑结构交界面处，地下水流影响到的冻结壁位置处。

5.5.8 盾构始发与接收端头测温孔布置应符合下列规定：

- 1 采用实体冻结壁时，冻结加固区的内、外侧均应布置测温孔；
- 2 测温孔应能反映冻土与端头井围护结构、盾构壳体交界面处的温度。

5.6 水文观测孔、泄压孔布置设计

5.6.1 竖向冻结水文观测孔应布置在围（支）护结构的内、外侧非冻结区内。

5.6.2 横向冻结水文观测孔的布置应符合下列规定：

- 1 应布置在横道通道相接的衬砌结构或联络通道相接的盾构管片上，孔数不宜少于 2 个；

- 2 应布置在开挖区非冻土内；

- 3 应贯通开挖区内的透水地层，并应埋入含水层内不小于 300mm。

5.6.3 泄压孔布置应符合下列规定：

- 1 当冻结壁邻近存在敏感管线、既有线轨道等重要地上地下建筑时，应根据冻胀融沉分析设置泄压孔；

- 2 横向冻结的类型 III 冻结壁结构内至少布置 2 个以上泄压孔，也可与水文观测孔共用；

- 3 冻结工程中的泄压孔，长度、孔径、方位和数量应冻胀防护要求匹配。

5.7 保温设计

5.7.1 保温层应采用阻燃材料，阻烧性能等级不应低于现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 所规定的 B1 级。

5.7.2 保温层厚度不应小于 30mm，不宜大于 50mm；导热系数不应大于 $0.04W/(m \cdot h)$ ，吸水率不应大于 2%。

5.7.3 露天条件下裸露的冻结壁应设计防雨罩和保温层，分段冻结施工的两段交接处外露的冻结壁应设计保温层，确保冻结壁表面温度维持在设计的负温以下。

5.7.4 制冷站设在地面时，去回路干管系统除采用保温设计外，条件允许时宜设计便于维护、监修、检测的沟槽掩蔽防护措施。

5.7.5 制冷系统的低温容器、内外管路均应进行保温，且铺设防潮层。

5.7.6 局部冻结法的非冻结段的冻结管外部应设计绝热层。

5.7.7 联络通道及横通道在马头门处与衬砌结构（管片）交界处应设计保温层，保温层敷设范围至冻结壁边界外应不小于 1m。

5.8 其它设计

5.8.1 基底冻结对地层变形控制有特殊要求时，应进行地层充填注浆和融沉注浆专项设计。

5.8.2 横向冻结施工，在受影响范围空间内，宜进行临时支撑、应急防护门等设计。

5.8.3 应急防护门、区间隧道内的临时钢支架结构设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。

6 冻结施工

6.1 一般规定

- 6.1.1** 冻结施工应核对冻结范围内的水文地质勘察资料。
- 6.1.2** 冻结施工应核查冻结施工影响范围内的地下管线、建（构）筑物等现状，并应采取保护措施。
- 6.1.3** 分段冻结时应按冻结设计、土建结构设计和总体施工组织设计，划定分段冻结的长度、位置。
- 6.1.4** 地层中含有两层及以上地下水，且采用局部冻结法施工时，应按设计要求确定局部冻结的目标地层部位。
- 6.1.5** 预制好绝热层的冻结管，运输、安装过程中应采取保护措施，不应破坏绝热层。
- 6.1.6** 冻结施工场地围蔽应符合北京市的有关规定，地面制冷站应采取降噪措施，噪声排放应符合现行国家标准《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348 的规定。
- 6.1.7** 冻结施工应配备备用电源，并应不间断供电。

6.2 竖向冻结孔施工

- 6.2.1** 竖向冻结孔钻孔应根据地层条件和环境条件，选用泥浆护壁循环钻孔或套管跟进法钻孔等施工方法。
- 6.2.2** 冻结孔在地表施工时，钻机基础应密实、平整，必要时可选用灰土或混凝土硬化。
- 6.2.3** 钻孔护壁泥浆应循环利用，泥浆性能指标应根据地层土质进行调整；粘土等不透水地层中采用循环钻进成孔时，护壁泥浆可采用清水孔内自造浆。
- 6.2.4** 冻结孔开孔位置应符合设计孔位规定，无规定时偏差不宜大于 100mm；冻结孔终最大孔偏斜值应符合本规范表 5.4.2-1 的规定，单排相邻冻结孔的终孔间距应符合本规范表 5.4.2-2 的规定。
- 6.2.5** 第一个钻施工孔过程中应复核与水文地质勘报告的符合情况，并根据现场揭示的水文地质情况调整钻孔工艺。
- 6.2.6** 孔口管安装应符合下列规定：
- 1 孔口管安装应根据设计的数量、位置、角度进行预埋；

- 2 孔口管应按设计要求加工预制，验收合格后方可安装；
- 3 垂直孔口板应水平，孔口管应垂直，安装应牢固；
- 4 斜孔孔口管安装应符合设计和施工要求。

6.2.7 钻孔施工宜事先配管，多节钻杆之间应保持同心度，钻进过程应复核钻孔偏斜。

6.2.8 冻结孔钻孔直径和施工工艺应满足冻结器下放安装要求，钻孔直径应考虑冻结管绝热层增加的厚度。

6.2.9 每个冻结孔施工完成后应及时进行测斜。冻结孔全部施工完成后，根据测斜数据计算冻结孔偏斜值，绘制成孔偏斜图，根据成孔偏斜图量出相邻冻结孔间距，冻结孔间距不满足设计要求时应在两孔之间增设补孔。

6.3 横向冻结孔施工

6.3.1 横向冻结孔钻孔宜选用跟管钻进法、夯管法、泥浆护壁循环钻进法等施工方法。

6.3.2 冻结孔施工平台应在钻孔区域空间搭设，平台搭设应牢固、平整，并应满足钻孔设备的移动和固定。冻结孔终孔偏斜值应符合本规范表 5.4.3-1 的规定，单排相邻冻结孔的终孔间距应符合本规范表 5.4.3-2 的规定。

6.3.3 横向钻孔应安装孔口管，孔口管上应安装孔口防喷装置，并应符合下列规定：

- 1 孔口管安装应牢固，角度应符合设计要求；
- 2 隧道衬砌或管片结构上安装孔口管时不应打透隧道衬砌或管片结构；
- 3 孔口管与衬砌或管片结构间隙应采取措施进行密封，一般孔口管前端鱼鳞扣缠绕麻丝长度不应小于 150mm，必要时可用密封材料补强密封。

6.3.4 盾构区间的联络通道钻孔前，应测量复核联络通道中心线与左右线隧道实际夹角，并根据实际夹角，调整冻结钻孔的参数。

6.3.5 盾构区间的联络通道冻结供冷前，洞门位置左、右各两环管片应先设钢架支撑，钢架支撑数量应根据隧道直径等因素在施工设计中明确；区间双侧布置冻结孔时，洞门位置应精确定位。

6.3.6 钻进时钻孔护壁泥浆应符合本规范第 6.2.3 条的规定。

6.3.7 冻结孔的钻机对位、偏斜度、钻孔间距及深度应符合设计要求；钻孔应避免隧道衬砌或管片主筋、管片缝、管片螺栓孔、管片吊装孔等。

6.3.8 钻孔穿越隧道两侧衬砌或管片结构时应先施工穿透横向通道两端隧道的透孔，验证隧

道预留洞门的位置，当两预留洞门位置偏差大于 100mm 时，应修正冻结孔设计角度。

6.3.9 在隧道衬砌结构或管片结构上安装孔口管和防喷装置时，开孔不应钻透衬砌或管片结构。孔口管和防喷装置安装后，钻孔时宜用钻机钻透衬砌或管片结构。

6.3.10 冻结孔施工方位应根据实际开孔偏差进行调整，以减小冻结孔的最大孔间距。应由下向上施工冻结孔，必要时应通过调整中间冻结孔的设计轨迹，并应减小冻结孔最大钻孔间距，使冻结孔间距均匀。

6.3.11 第一个冻结孔钻孔施工应符合本规范第 6.2.5 条的规定。

6.3.12 跟管施工冻结孔时，冻结管连接宜采用螺纹接头，且接头宜焊接密封。

6.3.13 冻结孔深度大于 20m 时，应根据钻孔偏斜量预增设 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 的仰（俯）角钻进。

6.3.14 冻结孔施工结束后应用密封材料封堵冻结管与隧道衬砌或管片结构之间的缝隙。

6.3.15 冻结孔施工完成后应及时进行测斜，测斜成果应符合本规范第 6.2.9 条的规定。

6.4 冻结器安装

6.4.1 冻结管规格应符合设计及现行国家标准《输送流体用无缝钢管》GB/T8163 的规定，并应符合下列规定：

- 1 不应采用焊接钢管；
- 2 当采用跟管钻进时，冻结管管壁厚度不宜小于 8mm；
- 3 采用夯管时，冻结管管壁厚度不宜小于 6mm，当采用非跟管钻进时，冻结管管壁厚度不宜小于 5mm；
- 4 供液管可采用聚乙烯增强塑料管或钢管；
- 5 冻结管按设计要求配套供回液管的管径与壁厚应符合本规范表 5.3.7 的规定。

6.4.2 冻结管、供回液管材质应符合设计规定，管材进场验收应符合下列规定：

- 1 应按批次和规格验收产品出厂合格证，不同批次和规格的管材应分别进行复抽检，合格后方可使用；
- 2 当管材不能满足工作环境温度要求时，应增加管材在冻结工作环境下的低温力学、抗冲击性、韧性试验。

6.4.3 冻结管连接可采用螺纹连接、内衬箍连接、外接箍连接或坡口对接焊，并应符合下列规定：

- 1 跟管钻进时冻结管连接宜采用螺纹直接连接或带丝扣的内管箍连接，并应用焊接补强、密封坡口接头缝。非跟管钻进时，宜采用内衬箍连接、外接箍连接或坡口对接焊；

- 2 夯管时冻结管宜采用不带丝扣的内管箍对焊接头；
- 3 冻结管采用管箍焊接连时，管箍材质应与管材一致；内衬箍壁厚度宜为 2mm~3mm，外接箍壁厚不应小于冻结管的壁厚，外接箍两端应有坡口，连接焊缝应饱满；
- 4 冻结管管材及连接应顺直，不应有明显弯曲；
- 5 冻结管接头强度不宜小于母管强度的 80%；
- 6 选用焊条应与管材材质相匹配，焊缝应饱满且与管壁齐平。冻结管焊接后，焊缝应冷却 5min~10min 后，方可将冻结管下入地层；
- 7 预制加工时，底锥应采用与冻结管同材质的钢板制作，底锥与冻结管底部应采用焊接连接。

6.4.4 供回液管连接应符合下列规定：

- 1 供回液管宜采用整根管，确需进行分段连接时，无缝钢管应采用焊接；
- 2 供回液管采用聚乙烯增强塑料管时，聚乙烯增强塑料管在冻结器头部位置应与内径匹配的供液钢管绑扎牢固。

6.4.5 竖向冻结管安装应符合下列规定：

- 1 每根冻结管下放完成后应进行测深和打压试验。深度误差超过设计允许值时，应拔出冻结管，重新钻孔扫孔或应增设补钻孔；打压试验压力应为冻结盐水泵工作压力的 1.5 倍，且不宜低于 0.70MPa，并应保持 30min 压力下降不超过 0.05MPa，再延续 15min，压力不变时为合格；
- 2 冻结管外露在作业面长度不宜小于 100mm，以满足焊接冻结器头部的作业要求；
- 3 每根冻结管均应有编号，安装时将冻结管口宜临时封口。

6.4.6 横向冻结管安装除应符合本规范第 6.4.5 条规定外，还应符合下列规定：

- 1 冻结管安装后应注水泥浆充填冻结管与隧道衬砌或管片结构之间的缝隙，并根据钻孔过程中孔口流出的泥砂量对地层进行相应的补偿注浆；
- 2 冻结管安装压力试验应为冻结盐水泵工作压力的 1.5~2.0 倍，且不宜低于 0.70MPa。经试压 30min 压力下降不应超过 0.05MPa，再延续 15min 压力保持不变为合格；
- 3 冻结管安装试验压力合格后，应用粘土或砂浆密封冻结孔口与冻结管之间的孔隙，防止冻结孔口在冻结过程中涌水、涌砂。

6.4.7 供回液管安装应符合下列规定：

- 1 插入冻结孔内的供液管与冻结器头部的羊角鱼鳞丝扣连接应牢固、严密；
- 2 冻结管内供液管端部距冻结管底不宜小于 100mm，回液净断面积不应小于供液管的

净断面积，确保供回液的畅通。

6.4.8 冻结器头部加工连接与安装应符合下列规定：

1 冻结器头部宜在工厂内加工制作，羊角的供液管两端接口应加工成鱼鳞扣。冻结器头部各部件焊接应严密，焊缝不渗不漏；

2 供液管与羊角鱼鳞丝扣连接处应不渗不漏；

3 冻结器头部与插入冻结孔内的冻结管连接应采用焊接。

6.4.9 基底竖向局部冻结，冻结器安装应符合下列规定：

1 冻结管安装除应符合本规范第 6.4.5 条外，尚应采取措施保护好冻结管外的绝热保温层不受到破损；

2 在绝热保温层部位进行冻结管的焊接连接时，应采取防护措施，避免烧损绝热保温层，冻结管焊接好后应恢复绝热保温层；

3 绝热保温层的位置应符合设计要求；

4 供回液管安装应符合本规范第 6.4.7 条规定；

5 冻结器头部安装应符合本规范第 6.4.8 条规定。

6.4.10 每根冻结器安装完成后应进行复压试验。复压试验前应先用清水洗干净，再进行复压，复压试验压力不应小于盐水泵工作压力的 1.2 倍。

6.4.11 配集液圈（管）应按设计分组，宜在工厂加工制作，材质、规格应符合设计要求。

6.4.12 配集液圈（管）安装应符合下列规定：

1 配集液圈（管）安装应按设计的冻结器分组安装，以确保冻结器按分组积极冻结、维护冻结以及分组停冻和拆除；

2 冻结器与配集液圈（管）连接可采用串联或并联的方式进行分组，每组串联的长度应符合设计文件规定；

3 配集液圈（管）进、出液口均应安装控制阀门；

4 冻结器的羊角与配集液圈（管）之间的连接宜采用软管连接，连接应牢固。软管在冻结运行温度下，其耐压力不应小于 1MPa。

6.4.13 每个冻结器上均应设温度检测点，监测供、回液温度。

6.4.14 基底局部冻结法施工时，配集液圈（管）应设置在不影响基坑支撑的安装与拆除的位置，后续施工期间应采取措施保护。

6.5 测温孔施工与装置安装

6.5.1 测温孔钻孔应符合下列规定：

- 1 测温孔宜在冻结孔施工结束后施工，测温孔的位置应根据冻结孔的实际测斜成果及各种因素综合确定，其深度不应小于设计测温孔深度；
- 2 竖向测温孔钻孔应符合本规范第 6.2 节的规定，横向测温孔钻孔应符合本规范第 6.3 节的规定。

6.5.2 测温装置安装应符合下列规定：

- 1 竖向测温管安装，其管口宜高出地面 500mm；横向测温管安装，其管口宜突出结构面不宜小于 200mm；
- 2 测温管宜采用具有良好导热性的钢管，且不应渗漏，规格应便于安装测点；
- 3 测温电缆和测温元件安装后，管口应进行密封和保护；
- 4 测温元件和仪器的测量精度应达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

6.6 水文观测孔、泄压孔施工与装置安装

6.6.1 水文观测孔、泄压孔钻孔宜在冻结孔全部施工完成后进行。

6.6.2 水文观测孔、泄压孔水文观测装置安装应符合下列规定：

- 1 水文观测孔、泄压孔管应有锥型封底，水文观测管连接应焊接牢固，并保证其同心度；
- 2 竖向水文观察管应设置滤水层，滤水段应设置在含水层；
- 3 滤水层花管孔距和排距宜为 33mm，宜呈梅花状布置，滤水孔直径宜为 15mm，孔隙率宜为 20%。滤水层宜为铁纱布或棕榈皮，网眼规格应根据含水地层土颗粒粒径大小确定，防止细颗粒土层流失；
- 4 承压含水层安装水文观测管时，上下隔水层位置应设止水层密封，保证与含水层畅通，且水头位置应与实际水位相符；
- 5 水文管安装后应用清水洗孔，应以孔口持续溢出清水为准，以确保与含水层的畅通；
- 6 竖向水文观察管口应高出地面 500mm；横向水文观测孔、泄压孔管口突出结构面不宜小于 200mm；
- 7 泄压孔的压力表和泄压阀门应安装在外露的孔管上，压力表的精度应达到 $\pm 0.02\text{MPa}$ 以上。

6.6.3 制冷站运转前应测量竖直水文孔和冻结区外的水文观察井的水位，对水文孔和水文观察井水位不在同一标高时应查明原因，并应采取相应措施；横向冻结的泄压孔在冻结前应读取地层初始水压。

6.7 制冷系统安装与运转

6.7.1 制冷站厂房设置应符合下列规定：

1 地面制冷站位置应根据场地、气候、供水、供电及排水条件等因素综合确定，且不应影响现场其它施工；制冷站厂房宜建在冻结负荷中心附近，地面高程应满足防洪要求；

2 制冷站设在地面时，宜搭设厂房，避免阳光直射。厂房建设应符合国家现行标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定，宜采用轻钢屋架建造；

3 制冷站厂房顶部和侧墙应设置通风装置，厂房内空气中制冷剂浓度不应超过 $30\text{mg}/\text{m}^3$ ；

4 制冷站厂房自然通风条件不能满足设备降温需求时应安装轴流风机强制通风；

5 制冷站设在地铁车站或隧道内时，应设置供、排水管路，并应有良好的通风系统，不宜布置在没有贯通的区间隧道内；

6 制冷站应设防雷接地系统。

6.7.2 制冷站安装应符合下列规定：

1 制冷站制冷设备，盐水泵、清水泵及供回液干管系统的安装应符合现行国家标准《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》GB 50274、《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB 50231 及《工业金属管道工程施工规范》GB 50235 的规定。配电系统安装及调试应符合现行国家标准《电气装置安装工程盘柜及二次回路接线施工验收规范》GB 50171 的规定；

2 冻结器与配集液圈（管）之间宜用软管连接，连接管路上应安装控制阀门、温度测点和盐水流量计，软管在冻结运行环境温度下，其耐压不应低于 1.00MPa ；

3 盐水循环系统最高部位应设置排气阀，盐水箱应安设盐水液位监测仪；

4 供回液干管及冷却水管路上应布设温度、压力及流量测点，温度测点应布置在管道截面中心位置；

5 制冷剂循环系统、供回液干管和配集液圈（管）应进行密封性试验，并应符合下列规定：

- 1) 浮球阀、液面指示器、安全阀等安装前应进行灵敏性检验；
- 2) 盐水管路系统应进行压力试验，试验压力应为冻结盐水泵工作压力的 1.5 倍，且不宜低于 0.70MPa，并应保持 30min 压力下降不超过 0.05MPa，再延续 15min，压力不变时为合格，以确保盐水不向外渗漏；
- 3) 制冷机充制冷剂前，制冷系统应进行试漏检验，试漏压力值应符合表 6.4.2 的规定及设备说明书的要求。

表 6.4.2 制冷系统试漏压力值

部位	高压系统	低压系统
试压表压力(MPa)	1.6~1.8	1.2

6.7.3 制冷站调试应符合下列规定：

- 1 冷却水系统的水源供水量、水质及水温应符合设计要求，冷却水循环系统运转应正常；
- 2 盐水系统的盐水浓度及总流量应符合设计要求，各冻结器盐水流量应保持基本均匀，盐水循环系统应运转正常；盐水浓度及总流量应符合设计规定，盐水循环系统应正常运转；
- 3 冷却水、盐水系统试运转正常后，制冷系统抽真空后应对系统进行检漏，无漏点后方可正式充制冷剂；
- 4 充盐水过程中，制冷压缩、盐水、冷却水三大循环系统运转应正常，盐水温度应逐渐下降；
- 5 设备易损件和制冷剂应有一定的备用量。

6.7.4 制冷站运转应符合下列规定：

- 1 制冷剂、盐水、冷却水循环系统应运转正常，各冻结器分组流量、温度应均匀，冻结器头部及胶管结霜不应有明显差异；
- 2 制冷剂冷凝压力和蒸发压力应与冷却水温度、盐水温度相对应；
- 3 盐水温度应符合本规范第 5.3.3 条的规定；
- 4 冷凝器的冷却水进出水温差应设计规定。

6.7.5 制冷站运转记录应包括下列内容：

- 1 制冷机及其辅助设备的温度、压力、流量、液位、电流、电压等参数，制冷剂加注量及润滑油加注量；
- 2 盐水系统压力、盐水箱液位、盐水比重、盐水进水和回水温度、冻结器头部温度；

3 冷却水系统压力、冷却水进水和回水温度、流量，补充水的流量及水温。

6.8 积极冻结与维护冻结

6.8.1 冻结开始前，冻结器安装应全部验收合格；制冷站系统调试各项技术指标应符合设计规定。

6.8.2 积极冻结应符合下列规定：

- 1 设计规定时间内，制冷站制冷量、盐水循环流量应达到设计要求；
- 2 设计规定的时间内，盐水循环温度应达到最低设计温度，冻结壁达到设计要求后供、回路盐水温差不宜大于 2℃；
- 3 积极冻结应确保冻结壁能达到设计厚度和最低平均温度要求；
- 4 积极冻结应按设计指标进行运行，并进行监控、检验，达不到设计要求时应及时调整。

6.8.3 维护冻结应符合下列规定：

- 1 维护冻结应符合设计制冷参数，确保开挖期间冻结壁的功能和围护结构的安全，不应停止或减少供冷；
- 2 当施工需要停止个别或单组冻结孔供冷时，应分析对冻结壁整体稳定性的影响，并应制定相应的技术措施，确保开挖和结构施工安全；
- 3 冻结壁各项指标达到设计值后，或由于各种原因暂时无法开挖时，可进入维护冻结；
- 4 维护冻结的盐水温度不应高于-25℃，单个冻结器盐水流量不应小于 3m³/h。

6.8.4 竖向冻结时维护冻结除应符合本规范第 6.8.3 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 基坑竖向冻结时，土方开挖和结构施工过程中应采取措施保护冻结器，避免冻结器被损坏；
- 2 冻结器影响到基坑内支撑安装或结构施工时，可根据需要进行管路改移；管路改移后应进行流量和温度的监测，以确保冻结器设计的供冷量不受影响。

6.8.5 横向冻结时维护冻结除应符合本规范第 6.8.3 条规定外，尚应符合下列规定：

- 1 土方掘进和初支施工应在施工组织设计规定的时长内封闭；
- 2 冻土需要机械开挖时，不应削弱有效冻结壁。

6.8.6 局部冻结时维护冻结除应符合本规范第 6.8.3 条规定外，尚应符合下列规定：

- 1 因开挖土方需临时切除部分冻结器时，未切除的冻结器应继续维护冻结；

- 2 割除后需要恢复运转的冻结器，应进行试压，合格后方可恢复供冷继续冻结；
- 3 根据冻结壁检测判定，确定恢复冻结器后的制冷量的负荷配置。

6.8.7 分段冻结时维护冻结除应符合本规范第 6.8.3 条规定外，尚应符合下列规定：

- 1 基坑内分段的竖向冻结壁外露部分应采取保温措施；
- 2 若侧壁为竖向冻结壁，基底为局部冻结时，土方开挖和结构施工应符合本规范第 6.8.4 和 6.8.6 条的规定。

6.8.8 盾构始发与接收端维护冻结除应符合本规范第 6.8.3 条规定外，尚应符合下列规定：

- 1 盾构掘进应在施工组织设计规定的时长内完成；
- 2 盾构始发或接收过程中若发生盾构机停机时，应维持维护冻结。

6.9 停冻与解冻

6.9.1 土方开挖期间不得停止冻结器供冷。

6.9.2 基坑竖向冻结不分段施工时，停冻应在主体结构完成到静水位 500mm 以上，且结构混凝土强度符合设计规定后方可停冻。

6.9.3 基坑分段冻结，停冻除分段交接处冻结壁仍应保持维护冻结外，先施工段的停冻应符合本规范第 6.9.2 条的规定。

6.9.4 隧道横向冻结，停冻应根据冻结壁的功能，仅作为加固土体作用时可在初支完成后停冻；既加固土体又有止水作用时应在二衬结构施工完成后停冻。超过一定长度且采用分段冻结的先施工段与后施工段衔接处冻结壁的停冻应符合本规范第 6.9.3 条的规定。

6.9.5 盾构始发和接收端停冻应符合下列规定：

- 1 盾构始发端应在盾尾脱出冻结区，且洞门与正环管片间隙封堵完成后方可停冻；
- 2 盾构接收端应在最后一环管片拼装完成，且洞门与管片间的间隙封堵完成后方可停冻。

6.9.6 基坑分段冻结时，分段交接处的冻结器不应停冻，先施工段的停冻应符合本规范 6.9.2 条的规定。

6.9.7 强制解冻应符合下列规定：

- 1 停冻后影响后续施工时应强制解冻；
- 2 盐水应集中回收处理，防止污染环境；
- 3 宜先采用热盐水循环加热土体，加热土体至可扭动冻结管即可停止，热盐水最高温

度不宜大于 70° C。

6.10 竖向冻结器拆除与冻结孔（管）充填

6.10.1 应先拆除配集液圈（管）后拆除冻结器，并应符合下列规定：

- 1 影响后续施工的钢质冻结管应拔除；
- 2 不影响后续施工的钢质冻结管或聚乙烯增强塑料管可不拔出；
- 3 冻结孔和未拔除的冻结管孔内均应进行充填。

6.10.2 冻结管头部割除和供液管拔除应符合下列规定：

- 1 冻结管头部切割应在停冻后方可进行，割除深度应以不影响后续施工为准；
- 2 强制解冻时，供液管应在解冻后方可拔除。

6.10.3 冻结管的拔除和充填应符合下列规定：

- 1 冻结管拔除应在解冻后进行，防止发生断管；
- 2 冻结管宜在供液管拔除后进行，可采用拔管器或吊车拔除；
- 3 冻结孔宜用水泥浆或水泥石充填，冻结管内宜用水泥浆、水泥砂浆或混凝土充填，

充填水泥砂浆强度等级不应小于 M10、混凝土强度等级不应小于 C15、水泥浆的水灰比不应大于 0.8、水泥石水泥含量不应小于 20%；

- 4 充填应密实，充填材料的体积不应小于冻结管或冻结孔容积的 95%；
- 5 有特殊要求的冻结孔充填应符合设计规定。

6.10.4 盾构始发、接收端的冻结器拆除和充填应符合下列规定：

1 刀盘掘进范围内的冻结管和供回液管为聚乙烯增强塑料管时，可不拔除，始发或接收完成后应割除冻结器头部；

- 2 冻结管或供液管为钢管时，应拔除盾构机掘进范围内冻结管或供液管；
- 3 盾构始发或接收完成后，宜拔除剩余的冻结器并充填、封孔；
- 4 冻结器的拆除和充填施工符合本规范第 6.10.2 条和 6.10.3 条的规定。

6.10.5 基坑分段冻结时，分段交接处未停冻的冻结器应采取保护措施，防止分段交接处冻结壁冷量损失。

6.11 横向冻结器拆除与冻结管（孔）充填

6.11.1 配集液圈（管）、冻结器拆除应符合本规范第 6.10.1 条的规定。

6.11.2 横向冻结管割除和充填应符合下列规定：

- 1 二衬结构或盾构管片结构体上冻结管割除的深度深入结构内不宜小于 60mm；
- 2 二衬或盾构管片结构割除冻结管的后凹槽应采用耐久、微膨胀、与结构等强度的材料修复。修复时应先在结构凹槽打膨胀螺栓、并应预埋注浆管，以加强修复与结构的连接和注浆充填空隙和堵漏；
- 3 盾构管片为钢管片时，冻结管应割除至格肋底面，按本规范第 6.10.3 条的规定封堵冻结管孔；钢管片格肋上应满焊钢板，钢板厚度不应小于 10mm，钢板外表面应进行防腐处理；格仓应清理干净，格仓灌注混凝土强度不应低于管片结构强度，灌注应密实；
- 4 已拔管的冻结孔和未拔管的冻结孔和冻结管内应进行充填，充填除应符合本规范第 6.10.3 条的规定外，充填范围自孔口向孔内深度不应小于 1.5m。

6.11.3 盾构始发、接收端的冻结器拆除和充填应符合下列规定：

- 1 刀盘掘进范围内的冻结管和供回液管为聚乙烯增强塑料管时，始发前应割除割除冻结器头部；
- 2 冻结管或供液管为钢管时，应拔除盾构机掘进范围内冻结管或供液管；
- 3 盾构始发或接收完成后，宜拔除剩余的冻结器并充填、封孔；
- 4 冻结器的拆除和充填施工符合本规范第 6.10.2 条和 6.10.3 条的规定。

6.12 局部冻结临时割管与恢复

6.12.1 基底局部冻结，土方开挖至设计位置或基底时，割除外露的冻结管，冻结管被割除后，后续恢复工作应在规定的时间内完成，并应加强冻结壁的检测，以确保施工安全。

6.12.2 基底局部冻结开挖，冻结器割除与恢复施工，应符合下列规定：

- 1 根据施工方案确定的割除部位，分层对冻结器进行割除及恢复；
- 2 先关闭需割除冻结器部分配集液管的阀门，再拆除供回液连接管和部分配集液管；
- 3 冻结管割除前，应采取有效措施回收盐水；
- 4 割除冻结管前，应对需割除部分的冻结器，采取悬吊等保护措施；
- 5 冻结管割除宜采用气割方式；
- 6 对需要继续冻结的掘进段，应在割除冻结管后，立即恢复已按设计长度修改过的供液管和冻结器头部，并安装供回液连接管，恢复配集液循环管；
- 7 恢复冻结器安装完成后，应对盐水循环系统进行整体试压，试验压力不得小于冻结

器正常工作压力的 1.5 倍，并检查供液系统和冻结器头部安装部分均无渗漏，且持续 15min 压力不下降。

6.12.3 基底局部冻结，土方开挖至基底后，应一次性割除全部冻结管，割除应符合本规范 6.10.3 条的规定，并应符合下列规定：

- 1 经检测冻结壁各项指标均达到设计和施工专项方案要求后，方可割除冻结管；
- 2 割除冻结管前应采取有效措施回收盐水；
- 3 冻结管应割除至基底垫层以下不小于 100mm，冻结管割除后应及时充填和封堵冻结孔和冻结管口；
- 4 冻结管割除后应在冻结壁有效作用时间内，将结构施工至静止水位 500mm 以上。

6.13 制冷系统拆除

6.13.1 制冷系统拆除前应把冷冻机组内的制冷剂回收至冷凝器。

6.13.2 制冷站拆除时盐水应回收，不应污染混凝土结构；盐水应经无害化处理后排放。

6.13.3 设备、管路拆除后应清洗、防腐后存储。

7 冻结壁检测与判断

7.1 一般规定

- 7.1.1** 测温管内测温元件设置后，管口宜进行封盖保护，确保测温装置正常运行。
- 7.1.2** 温度观测宜采用数据自动采集系统，各测点传感器应与标准水银温度进行校对，测温管内各测温元件精度应达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。
- 7.1.3** 在开始地层冻结前，应测量和保存原始地温测量数据及含水层的原始水压或水头。
- 7.1.4** 冻结施工中，应做好冻结壁发展实时监测监控，保存所有测温数据的全程记录。
- 7.1.5** 积极冻结期间，应做好水文观测孔、泄压孔观测，水观测文孔观测应包括水文观测管内水压或水位变化，泄压孔观测应包括水土压力、地层变形等变化；水文孔水压（水头）出现异常增高变化的时间和变化规律。
- 7.1.6** 进行正式土方开挖和主体结构施工前，应进行工作面冻结壁厚度的实探，以确保冻结壁实际厚度是否应达到开挖施工的设计要求。
- 7.1.7** II类冻结壁判断宜通过测温孔温度检测判断。I、III类型冻结壁判断还应通过水文观测来判断。
- 7.1.8** 测温孔测点检测应根据地层沉降控制，补偿注浆等施工要求临时设置并进行实时温度检测。

7.2 竖向冻结壁检测与判断

- 7.2.1** 竖向冻结壁形成质量判断可通过温度观测进行分析，内容应包括测温孔纵向温度分布和发展、各个冻结器去回路温度、去回路干管温度、冻结器纵向温度分布和瞬时温升分布等；I、III类冻结壁还应地对地下含水层的水文变化情况检测进行判断。
- 7.2.2** 测温孔测点检测应符合下列规定：
- 1 积极冻结期内，各测点检测频率应为1次/d，若有测点异常，应适当加密至1次/2h；
 - 2 维护冻结期内，温度检测频率可根据实际情况增加，一般为1次/2d~3d；
 - 3 天气或地下施工温度环境变化异常时，应适时调整检测频率，并开展观测分析；
 - 4 每天检测，应根据工程情况进行温度预测分析，掌控冻结壁发展变化情况，与预测情况差异较大时，应及时查找原因和纠正，直至恢复正常。
- 7.2.3** 水文观测孔检测应符合下列规定：

1 制冷站正式运转前，首先应掌握内外水文孔的历史情况；再观测水文孔内的原始水位，分析与水文地质报告吻合性；发现有异常情况，应查明原因并进行处理；

2 积极冻结的冻结壁交圈前，水文观测应不少于 1 次/d；

3 临近冻结区的域外水源井、水位观察不少于 1 次/d；

4 土方开挖前应复查水文观测孔确保功能有效；

5 设在基坑内的水文观测孔，在土方开挖期间宜保留一段时间继续观测，确认无用时，方可割去水管。

7.2.4 判断 I、III 类竖向冻结，冻结壁形成达到开挖条件应符合下列规定：

1 承压含水层的水文孔，水位应有规律地不断上升，溢出管口累计时间达到 7d 以上；当有多个水文观测孔或一个水文观测孔作多层观测时，被观测的水位应全部溢出管口；

2 潜水地层的基坑内，在无抽排水时，基坑内潜水位持续上升 7d 以上；

3 冻结系统的盐水去、回路温差逐渐减小，且应趋于稳定；

4 根据各测温孔不同层位测点温度，计算不同层位冻土扩展速度和发展半径，并应用作图法或有限元计算出冻结壁的有效厚度；

5 冻结壁的平均温度应小于等于设计平均温度；

6 竖井或基坑试挖至静水位以下，可根据开挖面冻土温度判断冻结壁实际厚度与计算厚度是否一致；

7 应根据本条上述各款的资料进行综合分析，判断冻结壁形成状况是否能达到设计要求。

7.2.5 当冻结壁需进行全面检查时，宜采用冻结器纵向测温，应通过各个冻结器纵向温度的关联分析、温升速度规律等来进行判断。

7.3 横向冻结壁检测与判断

7.3.1 横向冻结壁形成的检查与分析，应将测温孔各测点温度测量与各个冻结器回路温度测量相结合，I、III 类冻结壁尚应观测水文孔的水压力变化来判断冻结壁交圈情况。

7.3.2 水文观测孔、泄压孔检测应符合下列规定：

1 制冷站运转前期，应每隔 6h~12h 观测一次地层水压。在接近冻结壁交圈时，应每隔 2h~4h 测量一次；

2 水文观测孔、泄压孔水压上涨超过初始压力 1.5 倍时，应打开阀门泄压。泄压后再

次关闭阀门，待水压再次上升超过初始压力 1.5 倍后再泄压，确认冻结壁完全封闭后，可完全打开水文（泄压）孔，水量应逐渐减小至无水流出；

3 开挖前打开泄压孔后超过 24h 应无持续带压力泥水流出。

7.3.3 类型 I、III 横向冻结的冻结壁形成后，开挖施工的条件判断应符合下列规定：

1 水文观测孔、泄压孔压力应持续上涨超过 7d；水文孔打开阀门后，水流应逐渐减小，至无泥水继续流出；

2 盐水去、回路温差逐渐减小，且应趋于稳定；

3 应根据各测温孔不同层位测点温度，计算不同层位冻土扩展速度和发展半径，用作图法或有限元计算出冻结壁的有效厚度；

4 冻结壁的平均温度应小于等于设计平均温度；

5 当冻结壁厚度和平均温度达到设计要求后，应通过打设探孔，进一步确认冻结壁的厚度和平均温度是否达到设计要求。

7.3.5 盾构隧道始发到达的冻结壁检测要求应符合下列规定：

1 积极冻结期间，冻结壁与围护结构连接部位的温度测量频率不应少于 2 次/d，盾构机通过后，测温频率可适当加大，或停止；

2 积极冻结期间，冻结壁的温度检测频率可 1 次/d；有冻胀融沉控制的要求的，频率可视情况要求倍增。

7.3.6 盾构隧道始发到达的冻结壁形成，盾构施工条件的判断应符合下列规定：

1 冻结壁厚度和平均温度判断应主要依据设计厚度、位置，冻结壁与围护结构交界面的测温点温度，结合各个冻结器回水温度进行判断；

2 设计冻结厚度的位置测温孔温度应达到地层冻结温度-2℃以下，冻结器去回路温差不应大于 2℃；

3 强制解冻和拔管等相关特殊作业应完成，充填封堵材料应完备。

8 冻结法土体开挖与结构施工

8.1 一般规定

8.1.1 冻结法土体开挖和结构施工应确保能够连续,各工序应紧凑并应在规定的时间内完成施工。

8.1.2 土体开挖和结构施工时,应对受影响的地下结构进行支架架设等措施来进行工程防护。

8.1.3 冻结法土体开挖前除应满足常规条件验收外,尚应符合下列验收条件:

1 积极冻结周期、盐水温度、盐水流量等冻结运转参数应符合设计要求,冻结系统应运转正常;

2 盐水温度、流量、冻结壁厚度、冻结壁平均温度应符合设计要求;

3 测温孔检测系统应正常运行,检测温度应符合设计规定;

4 水文观测孔、泄压孔检测数据应符合设计规定;

5 环向封闭型止水+基坑支撑的冻结壁的测温检测和水文观测孔、泄压孔检测,均证明冻结壁交圈时间不应少于 7d;

6 非环形封闭冻结壁的测温检测,证明冻结壁厚度应达到设计要求;

7 不同型式冻结壁交接处、冻结壁转角处、冻结壁与初支或盾构管片界面处等关键部位冻结壁交圈时间不应少于 7d;

8 冻结壁的综合判断应符合本规范第 8 章的规定;

9 探孔检测的数据应符合设计要求;

10 盐水总供、回路,各个冻结器的供、回路温差应小于 2℃;

11 监控量测数据初始采集应已完成,视频监控应能够正常运行;

12 冻结应急物资、设备应准备完成;应急电源应运转正常。

8.1.4 施工过程中应加强监控量测和冻结壁的检测与判断,监控量测应符合现行国家标准和北京市相关标准的规定,冻结壁的检测应符合本规范第 7 章的规定。

8.2 竖向冻结法基坑土体开挖与结构施工

8.2.1 坑内有地下水时应先进行疏干,水位标高疏干至基底以下应不小于 500mm,且持续 24h 水位无变化后方可开挖土体。

8.2.2 基坑开挖过程若围护结构侵线须凿除时,应采取措避免措施避免因基坑变形导致冻结壁变形

超标，影响止水效果。

8.2.3 全断面开挖的盾构工作井、竖井等基坑，土体开挖和结构施工应符合下列规定：

- 1 应按施工设计图或施工组织设计分层、分块开挖土体，分层施做结构；
- 2 土方开挖至基底后，土体开挖和结构施工各工序应紧凑，并应在施工组织设计规定的时间内将结构施工至冻结壁顶部或静水位 500mm 以上后方可停冻。

8.2.4 分流水段开挖的车站基坑，土体开挖和结构施工应符合下列规定：

- 1 应按施工设计图和施工组织设计分层、分段开挖土体和施工结构；
- 2 土体开挖至冻结壁顶部后，后续施工应符合本规范第 8.2.3 条第 2 款的规定；
- 3 不应超设计流水段长度开挖，避免因结构流水段增长使工期增长，造成冻结壁冷量损失增大，影响冻结壁有效止水效果；
- 4 先施工流水段冻结壁停冻时，与后施工流水段结合部位的一组冻结器不应停冻，避免影响流水段交接处冻结壁的有效作用。

8.3 横向冻结法隧道初支与二衬结构施工

8.3.1 联络通道和横通道等初支开挖，条件验收应符合本规范第 8.1.3 条规定，并应在防护门、隧道内钢支架验收合格后进行。

8.3.2 初支开挖前，应在掌子面未冻结区域钻探孔，探孔不应少于 2 个。联络通道探孔宜为通孔，横通道探孔深度应符合设计要求。探孔内 24h 无持续泥水流出方可掘进。

8.3.3 应急防护门施工应符合下列规定：

- 1 加工与安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定；
- 2 安装完成后应进行水密性试验，24h 压力应稳定在设计值以上；
- 3 风险等级低的结构初期支护完成后可拆除防护门，风险等级高的结构应在二衬结构完成后方可拆除。

8.3.4 防护支架安装应符合下列规定：

- 1 型钢定型防护支架加工和安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定；
- 2 联络通道洞门每侧架设钢防护支架不应少于两环；
- 3 型钢定型防护支架应安装在预留洞门中心两侧管片中心或管片环缝位置，偏差不宜大于 200mm；

4 采用排架式钢支架时，支点与管片之间应铺设不小于 16mm 厚的钢垫板，且与管片密贴；环向每一块管片上不应少于 1 个支点，且每个支点应与管片顶紧密贴，顶力不应大于 100kN；施加顶力时各项力应同步、均匀，并应根据隧道变形调整对应支点的顶力。

8.3.5 联络通道初支与二衬结构施工应符合下列规定：

- 1 应按施工设计图或施工组织设计的开挖方法开挖；
- 2 土方开挖后应及时施做初支结构，冻结壁暴露时间不应超过 24h；
- 3 初期支护表面覆应盖保温层；
- 4 冻结壁暴露面变形不应大于 20mm。

8.3.6 设有泵房的联络通道，宜在联络通道二衬施工完成后，再施工泵房结构。当地层为砂性土等透水性土层时，可在坑顶设置防护盖板。防护盖板施工应符合本规范第 8.3.3 条规定的内容。

8.4 局部冻结法基坑土方开挖与结构施工

8.4.1 土方开挖前，基坑内的地下水处理应符合本规范第 8.2.1 条的规定。

8.4.2 围护结构侵线凿除应符合本规范第 8.2.2 条的规定。

8.4.3 明挖法竖井等基坑土方开挖和结构施工应符合本规范第 8.2.4 条的规定，冻结器割除应符合本规范第 6.10 节和第 6.12 节的规定。

8.4.4 车站等基底分段局部冻结，土体开挖和结构施工应符合本规范第 8.2.4 条的规定，冻结器割除应符合本规范第 6.12 节的规定。

8.4.5 基底局部分段冻结施工的基坑，前段结构底板未完成前，后段土体开挖应保证与前段分隔支护结构的承载安全。

8.5 冻结法盾构始发与接收端掘进

8.5.1 冻结法加固的盾构始发与接收端掘进条件验收，除应符合本规范第 8.1.3 条规定外，尚应符合下列验收后方可掘进：

- 1 接收前应挖探孔，探孔不应少于 2 个，探孔内应无泥水外流，冻土与洞门围护结构界面的温度不应高于-3℃；
- 2 盾构始发或接收条件验收应完成。

8.5.2 始发端洞门围护结构完全破除后，24h 内应完成负环第一环管片的拼装，并应在规定

的时间内完成正环拼装、封堵好管片与洞门间的间隙；接收端在 48h 内应完成最后一环管片与洞门之间的间隙的封堵。

8.5.3 盾构始发与接收端应连续掘进，并应在规定的时间内完成。

8.5.4 冻结法加固的盾构始发与接收端掘进过程中，应采取措施防止盾构机刀盘被冻结。

8.6 施工监测

8.6.1 冻结法施工监测应符合国家现行标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911、现行北京市地方标准《地铁工程监控量测技术规程》DB11/ 490 的规定。

8.6.2 冻结法施工应增加下列监测内容：

- 1 冻结壁变形监测；
- 2 冻胀与融沉监测；
- 3 冻结影响范围的隧道变形监测。

8.6.3 冻结法监测控制值应符合设计文件要求，设计无要求时应符合下列规定：

- 1 冻结壁变形控制值不应大于 30mm，预警值不应大于 21mm；
- 2 冻胀与融沉值宜与其他变形值叠加为总变形控制值；
- 3 横向冻结法区间隧道收敛控制值不应大于 15mm。

8.6.4 冻结法监测点布置除冻结壁测点外，其余测点宜与其他监测点相结合进行布置。

8.6.5 竖向冻结壁监测点布置应符合设计文件要求，设计无要求时应符合下列规定：

1 竖井基坑，测点竖向间距不应大于 6m；环向每侧不应少于 2 个测点，且测点水平间距不应大于 12m；

2 车站基坑，测点竖向间距不应大于 6m；分段冻结的每侧不应少于 2 个测点，且测点水平间距不应大于 12m。

8.6.6 横向冻结法盾构区间联络通道内监测点布置应符合设计文件要求，设计无要求时应符合下列规定：

1 隧道衬砌结构（管片）监测范围，洞口两侧各不应小于 50m；

2 隧道内变形监测断面布置，应与联络通道轴线对应的衬砌结构（管片）布置第一个监测断面，两侧 10 环内每 2 环应布置一个监测断面，10 环外每 4 环应布置一个监测断面。每一监测断面布设 4 个监测点，隧道底、拱顶、腰中应各一个测点。

8.6.7 冻结法盾构始发与接收端地表、周边建（构）筑物和管线等监测点布置应符合设计文件要求，设计无要求时应符合下列规定：

1 沿隧道轴线纵向的监测断面间距不应大于 5m，纵向长度至冻结体外不宜少于 2 个断面或隧道埋深的 1.5 倍；

2 沿隧道轴线两侧横向测点横向间距不应大于 5m，横向宽度沿隧道轴线两侧不应小于隧道埋深的 1.5 倍。

8.6.8 局部冻结法冻结壁监测应符合设计要求，设计无要求时应符合下列规定：

1 竖井基坑，基底整体局部冻结、整体开挖时，监测断面间距不应大于 5m，且基坑中心部位应布置一测点；

2 车站基坑，基底分段局部冻结时，监测断面间距不应大于 5m，且沿基坑纵向中心线部位应布置测点；分段处的竖向冻结壁横向不应少于 3 个测点。

8.6.9 冻结法施工监测频率与监测周期应符合设计要求，设计无要求时应符合下列规定：

1 监测点初始值应在施工前 7d 开始采集，每天监测一次，且数据稳定后方可作为初始值；

2 监测频率应符合表 8.6.10 的规定，监测数据异常或工程施工需要时应适时加密监测频率；

表 8.6.10 监测频率

监测内容	监测频率				
	钻孔期间	冻结期间	开挖期间	融沉注浆	
				自然解冻	强制解冻
地表变形	1次/1天	1次/1天	1次/1天	前 90 天，1 次/2 天；第 91~150 天，1 次/4 天；第 150 天后，1 次/7 天	前 30 天，1 次/1 天；第 31~60 天，1 次/7 天
管线变形	1次/1天	1次/1天	1次/1天		
建（构）筑物变形	1次/1天	1次/1天	1次/1天		
隧道变形	1次/1天	1次/1天	1次/1天		
冻结壁变形			1次/1天		

3 监测周期应自钻孔开始至融沉注浆完成后 4~5 个月为止，且监测数据稳定。

9 充填注浆与融沉注浆

9.1 一般规定

9.1.1 注浆使用的原材料及配合比应符合设计文件的规定，质量应符合相关材料标准的规定。

9.1.2 注浆设备宜采用双液注浆泵，注浆泵应配备压力表、流量计等量测仪表。

9.2 充填注浆

9.2.1 停止冻结并完成冻结孔封孔后，应进行结构初期支护与冻土之间及初期支护与二衬结构之间的充填注浆。

9.2.2 注浆管应在初期支护和二衬结构施工时预埋，注浆管预埋应以管端接触到冻土层为宜，注浆孔布置和预埋应与初期支护和二衬结构预留的注浆孔相结合，密度宜为 $2\text{m}^2\sim 4\text{m}^2/\text{孔}$ 。

9.2.3 充填注浆材料及参数应符合下列规定：

- 1 二衬结构与初支之间充填注浆宜采用水灰比为 0.8: 1~1: 1 单液水泥浆；
- 2 冻结壁解冻后与外界相通时宜采用水泥、水玻璃双液浆液。

9.2.4 充填注浆时间应符合下列规定：

- 1 二衬混凝土强度应达到设计强度 70%以上，方可进行充填注浆；
- 2 充填注浆应在停止冻结后 3d~5d 内进行。

9.2.5 充填注浆施工应符合下列规定：

- 1 预埋注浆管在注浆前应安装逆止阀，防止局部充填不密实；
- 2 注浆宜采用由下而上的顺序进行，当上一层注浆孔连续返浆后可停止下一层注浆，直至注到拱顶结束；
- 3 每次注浆完成后应及时用清水冲洗设备。

9.3 融沉注浆

9.3.1 融沉注浆的位置及方法应符合设计规定。

9.3.2 融沉注浆范围宜为整个冻结区域，注浆应遵循“少量、多点、多次、均匀”的原则。

9.3.3 融沉注浆材料及参数应符合下列规定：

1 融沉注浆以水泥单液浆为主，当地层漏浆严重，沉降控制效果不理想时，可采用水泥、水玻璃双液浆液；

2 水泥浆与水玻璃溶液体积比宜为 1:1，其中：水泥浆水灰比宜为 0.8:1~1:1，水玻璃溶液可采用 B35~B40 水玻璃加 1 倍~2 倍体积的水稀释，波美度可根据设计浆液凝结时间进行调整；

3 注浆压力不应大于 0.5MPa 或结构设计安全要求的允许值。

9.3.4 冻结壁已全部融化，且实测地表沉降速率连续 2 次小于 0.5mm/15d 时，可停止融沉注浆。

9.3.5 当周围环境对地层沉降要求较高时，冻结壁宜强制解冻，加快冻结壁的融化。强制解冻宜分区、对称进行，并应在解冻的同时跟踪注浆。强制解冻时应加强对周围环境的监控，并应布置专用测温孔检测冻结壁解冻范围。

9.3.6 融沉注浆结束后应割除露出结构表面的注浆管，并应用速凝堵漏剂充填管口段，充填深度不应小于 100mm。

9.3.7 盾构始发和接收端冻结融沉注浆施工应符合下列规定：

1 融沉注浆应在盾构始发接收完成后配合周边环境及隧道变形监测情况进行；

2 融沉注浆范围应为冻结影响区域，利用盾构隧道衬砌结构（管片）上的预留注浆孔作为地层融沉注浆孔，有条件时可在地面打孔分区注浆。

10 质量验收

10.1 一般规定

10.1.1 施工过程中，应对冻结孔、孔口管、冻结器、测温孔及装置、水文观测孔及装置、泄压孔及装置、冻结壁、充填注浆、融沉注浆进行质量验收，验收合格后，再转入下一道施工工序。

10.1.2 为保证工程施工质量和安全，冻结法施工应在开始冻结前、冻结壁形成、进行土方和结构施工前及充填和融沉注浆前，进行施工前条件验收。

10.1.3 工程施工质量应按照检验批、分项工程、子分部工程的顺序进行验收。

10.1.4 冻结法工程宜划分为子分部工程, 分项工程和检验批的划分宜符合表 10.1.4 的规定。

表 10.1.4 子分部工程、分项工程、检验批划分

子分部工程	分项工程	检验批
基坑竖井、横向通道、盾构始发和接收冻结支护	冻结孔、测温孔、水文观测孔、泄压孔	每 20 个孔
	孔口管安装	每 20 个孔
	冻结器安装	每 20 个孔
	测温装置安装	每 10 个孔
	水文观测孔、泄压孔及装置安装	每 10 个孔
	制冷站	每座
	制冷（积极冻结和维护冻结）	每座制冷站
	充填注浆、融沉注浆	每一施工段
	施工测量	每一施工段
	监控量测	每一监测断面

10.1.5 检验批质量验收合格应符合下列规定：

1 主控项目的质量经抽样检验应全部合格；

2 一般项目的质量经抽样检验应合格；当采取计数检验时，一般项目的合格点率应达到 80%以上，且不合格点的最大偏差值不应大于规定允许偏差的 1.5 倍；

3 应具有完整的施工操作依据、质量验收记录。

10.1.6 冻结法工程质量验收记录应符合现行北京市地方标准《城市轨道交通工程资料管理

规程》DB11/T 1448 的规定。

10.1.7 施工测量的质量验收应符合现行国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308 的规定。

10.1.8 监控量测的质量验收应符合现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911、现行北京市地方标准《地铁工程监控量测技术规程》DB11/ 490 的规定。

10.1.9 土方开挖和结构施工的质量验收应符合现行国家标准《地下铁道工程施工质量验收标准》GB/T 50299 的规定。

10.1.10 制冷系统、冷却水系统、盐水系统安装质量验收应符合现行国家标准《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》GB 50274、《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB 50231 及《工业金属管道工程施工规范》GB 50235 的规定。

10.1.11 配电系统安装及调试应符合现行国家标准《电气装置安装工程盘柜及二次回路接线施工验收规范》GB 50171 的规定。

10.2 冻结孔施工质量验收

I 主控项目

10.2.1 孔的位置、数量应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场实测。

10.2.2 孔的深度不应小于设计深度，且不宜大于设计深度 500mm。

检查数量：全数检查。

检查方法：根据现场每次钻杆进尺记录，统计核算；采用带有长度刻度的测管进行量测。

II 一般项目

10.2.3 孔的偏斜值控制应符合本规范表 5.4.2-1 的规定及设计规定；成孔间距应符合本规范表 5.4.2-2 的规定及设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场实测。

10.2.4 孔的开孔位置误差不应大于 100mm，开孔间距误差不应大于 150mm。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场量测。

10.2.5 横向冻结钻孔孔壁间注浆量应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场实测。

10.3 孔口管安装质量验收

I 主控项目

10.3.1 孔口管的材质、规格，应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查、实测。

10.3.2 孔口管安装位置应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场实测。

10.3.3 孔口板安装的水平度和孔口管安装的垂直度，应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检测。

10.3.4 孔口管安装应牢固；孔口管安装的阀门及防喷装置，应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查。

10.3.5 孔口管与结构之间的环形空间封堵，应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查。

II 一般项目

10.3.6 检修后重复使用的孔口管，应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检测。

10.4 冻结器安装质量验收

I 主控项目

10.4.1 冻结器安装材料品种、规格、质量应符合设计规定。

检查数量：按检验批检查，每批不少于3组。

检验方法：现场抽查和检查材料出厂合格证、抽查的检验批试验报告。

10.4.2 冻结管接箍、底锥、焊条的规格材质及焊接后机械力学性能指标应符合设计规定。

检查数量：逐批检查。

检验方法：检查出厂合格证和有关试验检验报告。

10.4.3 冻结管的压力试验应符合冻结设计规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：现场打压检验。

10.4.4 冻结管的下放安装深度应符合设计规定，焊缝或螺纹连接位置等应符合设计规定。

检查数量：逐个检查。

检验方法：现场实测检验。

10.4.5 所有冻结器安装完毕并用清水清洗后，应进行全部冻结器试压、检漏，试压值不应小于正常盐水循环系统压力的 1.2 倍。

检查数量：逐个（组）冻结器检查。

检验方法：现场检查和打压检验。

II 一般项目

10.4.6 冻结器头部安装、阀门控制装置、放空设置以及冻结器分组，应易于操作。

检查数量：全数检查。

检验方法：现场检查。

10.4.7 冻结器供回液管应采用聚乙烯塑料管或钢管，下置深度应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查、实测。

10.5 测温孔施工与装置安装质量验收

10.5.1 测温孔成孔施工质量验收应符合本规范第 10.2 节的规定。

I 主控项目

10.5.2 测温孔的数量应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场实测。

10.5.3 测温孔深度不应小于设计深度。

检查数量：全数检查。

检查方法：根据现场每次钻杆进尺记录，统计核算；采用带有长度刻度的测管进行量测。

10.5.4 测温信号线下放深度、测温点数、位置应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场实测检查。

10.5.5 测温传感器的型号、各测点传感器误差标定应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查。

II 一般项目

10.5.6 测温孔孔位置误差不应大于 100mm。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场量测。

10.5.7 测温系统采集设备型号、数量，现场运行情况应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查测量记录

10.5.8 孔口密封保护的密实、牢固情况应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查。

10.5.9 测温系统调试运行的验收记录应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查。

10.6 水文观测孔、泄压孔施工与装置安装质量验收

10.6.1 水文观测孔、泄压孔成孔施工质量验收应符合本规范第 10.2 节的规定。

I 主控项目

10.6.2 水文观测孔管及过滤器的材质、规格，应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查产品合格证，现场量测过滤器花管。

10.6.3 过滤器外包层数应符合设计规定，过滤器的上下端光管与钻孔壁之间的密封材料和密封，应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场实检。

10.6.4 泄压装置的位置、数量，应符合设计规定， 安装压力表、阀门应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场查验，量测检查。

10.6.5 水文观测孔及泄压孔孔管、过滤器及泄压装置下放的位置、数量，应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查测量记录。

II 一般项目

10.6.6 清洗水文观测孔（管）应排出清水。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查。

10.6.7 初始水压和水文地质勘查资料比较，压力应一致。

检查数量：全数检查。

检查方法：对照勘查资料进行比对。

10.6.8 监控采集装置的检测数据应有检测记录。

检查数量：全数检查。

检查方法：对照专项施工方案，检查检测记录。

10.6.9 压力表量程和精度，应符合规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：查验检测报告、现场检查。

10.7 制冷站安装工程质量验收

I 主控项目

10.7.1 制冷系统、冷却水系统、盐水系统的设备型号、规格、数量应符合冻结设计规定

检查数量：全数检查。

检查方法：现场按项进行检测，检验产品说明书、出厂合格证等。

10.7.2 盐水流量应满足设计要求。

检查数量：检查盐水泵的总流量。

检查方法：现场检查流量表的流量、数值及记录。

10.7.3 盐水浓度应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场提取盐水样品，进行化验检测。

10.7.4 制冷系统的低温设备、管路和地面盐水管路的保温质量应符合冻结施工设计要求。

检查数量：分项检查。

检查方法：对照设计检查制冷站内、外低温设备、管路的安装记录和验收记录。

10.7.5 冷冻站的制冷系统、盐水系统的压力试漏应符合本规范 6.7.2 条的规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：检查制冷系统和盐水系统压力试漏记录。

10.7.6 主冻结管、辅助冻结管、防片帮冻结管的压力试漏应符合冻结设计要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：逐孔检查。

II 一般项目

10.7.9 冷冻站的安装位置应符合施工组织设计要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查。

10.7.10 制冷站通风系统、照明系统，应符合施工组织设计要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场对制冷站、沟道、工作面进行检查。

10.7.11 冷冻站的防护、罩棚等设施安装，应符合施工组织设计要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查。

10.8 制冷工程质量验收

I 主控项目

10.8.1 制冷剂、盐水、冷却水循环系统温度、流量、压力应符合本规范规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：检查冻结期间运行记录。

10.8.2 冻结壁的交圈时间应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：检查交圈记录。

10.8.3 冻结壁有效厚度和平均温度，应满足破除洞门的要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：检查积极冻结期间测温记录和预测报告。

10.8.4 冷媒温度应高于制冷剂蒸发温度 $5\sim 7^{\circ}\text{C}$ ，冷却温度应高于冷却水温度 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

检查数量：全数检查。

检查方法：检查冻结期间运行记录。

10.8.5 冻结壁形成期的盐水温度不应高于设计值，盐水流量应符合施工设计规定。

检查数量：每班不少于 1 次，分项验收时抽查总数不少于 3%。

检查方法：检查冻结期间运行记录。

II 一般项目

10.8.6 冷却水进出水温差宜为 $3^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

检查数量：每班不少于 1 次，分项验收时抽查总数不少于 3%。

检查方法：检查冻结期间运行记录。

10.9 充填与融沉注浆工程质量验收

I 主控项目

10.9.1 注浆材料及配比应符合设计规定。

检查数量：批量检查。

检查方法：现场取样送试验室检验。

10.9.2 注浆时机应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查充填注浆记录。

10.9.3 注浆压力应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查充填注浆记录。

II 一般项目

10.9.4 注浆量应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：现场检查注浆记录。

附录 A 北京地区典型土层冻土力学参数

A.0.1 北京典型土层不同含水率、不同温度下冻土力学冻土物理力学参数不同。北京地区典型土层冻土力学参数如附表 A 所示。

附表 A 北京地区典型土层冻土力学参数

编号	岩性	含水率 %	泊松比 -10℃	弹性模量 /MPa -10℃	单轴抗压强度/MPa			抗折强度/MPa			抗剪参数指标	
					-5℃	-10℃	-15℃	-5℃	-10℃	-15℃	-10℃	
											粘聚力 C(MPa)	摩擦角 φ (°)
1	砂质	15	0.32	180~200	3.0~3.5	5.0~5.5	6.5~7.0	2.3~2.6	2.5~2.8	3.0~4.0	1.5~2.0	16.9
	粉土	20	0.38	150~170	2.5~3.0	4.0~4.5	5.0~5.5	2.0~2.4	2.8~3.2	2.9~3.6	1.5~2.0	17.2
		25	0.38	140~160	2.0~2.5	3.0~3.5	4.5~5.0	1.7~2.0	2.0~2.4	2.7~3.1	1.5~2.0	11.5
2	粘质	15	0.34	160~180	2.5~3.0	4.5~5.0	6.0~6.5	1.5~1.8	1.3~1.5	1.3~1.4	1.5~2.0	11.1
	粉土	25	0.36	140~160	2.0~2.5	3.0~3.5	4.5~5.0	1.8~2.1	1.6~1.8	1.4~1.6	1.5~2.0	10.3
		35	0.39	120~140	2.5~3.0	2.5~3.0	3.5~4.0	2.0~2.6	1.8~2.2	1.6~2.0	1.5~2.0	6.9
3	细砂	饱和	0.42	300~370	3.5~4.0	5.5~6.0	7.0~7.5	1.8~2.0	2.0~2.5	3.5~4.0	2.0~3.0	21
4	粗砂	饱和	0.26	480~520	4.0~4.5	6.0~6.5	7.5~8.0	2.3~2.8	2.9~3.5	3.8~4.2	2.0~3.0	22
5	砂卵石	饱和	0.35	600~650	5.0~5.5	6.5~7.0	8.0~8.5	3.0~3.5	3.5~4.0	4.0~4.5	3.0~3.5	24.5

本规范用词说明

1 为便于执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 2 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 3 《电气装置安装工程盘柜及二次回路接线施工验收规范》 GB 50171
- 4 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 5 《机械设备安装工程施工及验收通用规范》 GB 50231
- 6 《工业金属管道工程施工规范》 GB 50235
- 7 《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》 GB 50274
- 8 《地下铁道工程施工质量验收标准》 GB/T 50299
- 9 《城市轨道交通工程测量规范》 GB/T 50308
- 10 《城市轨道交通工程监测技术规范》 GB 50911
- 11 《建筑材料及制品燃烧性能分级》 GB 8624
- 12 《输送流体用无缝钢管》 GB/T 8163
- 13 《工业企业厂界环境噪声排放标准》 GB 12348
- 14 《地铁工程监控量测技术规程》 DB11/ 490
- 15 《绿色施工管理规程》 DB11/T 513
- 16 《城市轨道交通工程资料管理规程》 DB11/T 1448

北京市地方标准

城市轨道交通工程冻结法施工技术规范

Technical specification for freezing method construction of
urban rail transit project

附：条文说明

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	基本规定	4
4	基础资料	5
5	冻结设计	6
5.1	一般规定	6
5.2	冻结壁结构设计	6
5.3	制冷系统与冻结工艺设计	6
5.4	冻结孔布置设计	15
5.5	测温孔布置设计	8
5.6	水文观测孔、泄压孔布置设计	8
5.7	保温设计	9
5.8	其它设计	9
6	冻结施工	20
6.1	一般规定	20
6.2	竖向冻结孔施工	20
6.3	横向冻结孔施工	10
6.4	冻结器安装	26
6.5	测温孔施工与装置安装	122
6.6	水文观测孔、泄压孔施工与装置安装	13
6.7	制冷系统安装与运转	13
6.8	积极冻结与维护冻结	14
6.9	停冻与解冻	14
6.10	竖向冻结器拆除与冻结孔（管）充填	15
6.11	横向冻结器拆除与冻结管（孔）充填	15
6.12	局部冻结临时割管与恢复	16
6.13	制冷系统拆除	16
7	冻结壁检测与判断	17
7.1	一般规定	17
7.2	竖向冻结壁检测与判断	17
7.3	横向冻结壁检测与判断	17
8	冻结法土体开挖与结构施工	18
8.1	一般规定	18
8.2	竖向冻结法基坑土体开挖与结构施工	18
8.3	横向冻结法隧道初支与二衬结构施工	18
8.4	局部冻结法基坑土方开挖与结构施工	19
8.5	冻结法盾构始发与接收端掘进	19
8.6	施工监测	19
9	充填注浆与融沉注浆	21
9.1	一般规定	21
9.2	充填注浆	21
9.3	融沉注浆	21

10	质量验收	22
10.1	一般规定	22
10.2	冻结孔施工质量验收.....	22
10.3	孔口管安装质量验收.....	22
10.4	冻结器安装质量验收.....	22
10.5	测温孔施工与装置安装质量验收.....	22
10.6	水文观测孔、泄压孔施工与装置安装质量验收.....	22
10.7	制冷站安装工程质量验收.....	22
10.8	制冷工程质量验收.....	22
10.9	充填与融沉注浆工程质量验收.....	23

1 总 则

1.0.1 本条规定本规范的目的。在执行本规范时，要掌握本规范的指导原则。

1.0.2 冻结分低温冻结和超低温冻结。因市政工程埋深一般不超过 50 米，冻结基本用不到超低温冻结，因此本规范适应于低温冻结的轨道交通建设的车站基坑、盾构工作井、暗挖竖井、区间隧道联络通道、横通道及盾构始发、接收端的地层的封水、土体加固等采用常规低温冻结工法的勘察、设计、施工、监测及验收。

1.0.3 本条规定在执行本规范时，要掌握与现行的国家标准、行业标准和北京市的相关标准的衔接性。

2 术 语

2.0.1 用低温盐水等人工制冷循环吸收地层热量的方法，在拟建地下建（构）筑物的周围及基底的含水或不稳定地层进行人工冻结，形成具有临时承载或隔水作用的冻结壁结构物，在冻结壁的保护下进行地下开挖和构筑施工的一种对周边地层进行临时性预加固或封水的岩土工程施工方法。

2.0.2 城市轨道交通工程车站、盾构工作井等基坑设计有围护桩，为确保地下水资源的抽排和污染地下水资源，在围护桩的外侧竖向打孔进行冻结，进行冻结起到隔水作用，使地下车站等结构能够在无水的条件下安全施工。

2.0.3 城市轨道交通工程的区间联络通道、横通道等暗挖法的隧道，设计有初期支护结构，在一些特殊的含水且较软弱的地层，采用横向打设冻结孔进行人工冻结，提高围岩等级，并在无水条件下安全横向开挖土体和结构施工，确保施工安全。

2.0.5 按不同的冻结设计要求布置，用于安装冻结器的钻孔，有竖向孔、横向孔、斜向孔之分。冻结孔一般围绕地下构筑物外侧的环线布置，该环线称冻结孔布置圈。

2.0.6 局部冻结时，冻结管外侧的绝热保温层和保护层一般在工厂内与冻结管加工制作，确保绝热保温层与冻结管的粘接要牢固，并有一定的抗剥落强度，绝热保护层要求有一定的强度，确保冻结管在安装时各保温层不受到损坏。

2.0.7 冻结管和供回液管要求导热性好、耐低温，抗盐水压力不渗漏，一般采用低碳无缝钢管或增强聚乙烯塑料管。

2.0.8 冻结器头部一般在工厂加工制作，羊角的供液管和回液管端接口加工成鱼鳞扣，端盖与冻结管、供液管和回液管焊接严密，外露冻结管与插入冻结孔内的冻结管连接采用焊接或丝扣连接，便于现场连接操作。

2.0.10 通过该观测孔可以观测冻结壁围护结构内部含水地层中的水位变化，用来判断冻结壁是否封闭。

2.0.11 泄压孔一般布置在冻结影响范围内，既用作释放水土压力管孔，也可以观察水文情况。

2.0.13 设计冻结壁厚度一般指在拟建构物开挖面外侧的冻结壁所要达到的最小厚度，该最小厚度称有效冻结壁厚度。

2.0.21 随着轨道交通工程在主城市区埋深越来越深，降水难度越来越大，采用竖向钻孔，冻结器穿越不需要冻结的地层也越来越多，为节省能源，在不需要冻结的地层对冻结管采取绝热保温，需要冻结的目标地层不进行保温，达到对目标地层进行局部冻结。

2.0.22 轨道交通工程规模一般较大，车站基坑较长，结合结构施工须分流水段施工，为减少基坑整体集中制冷峰值需求，节省能源优和确保施工安全，采用随结构施工分段冻结。

2.0.24 安装于孔口管上，便于泥浆保压循环，防止钻孔过程中泥砂喷涌的装置。

2.0.25 去回路干管也称供回干管。

3 基本规定

3.0.1 由于轨道交通工程冻结法施工是服务于结构施工止水或土体加固的临时措施，而轨道交通工程地下结构施工工序多、安全标准要求高，因此要求冻结法设计与施工与结构施工相互密切配合，以确保施工安全。

3.0.4 冻结法施工要求根据总体施工组织设计，编制冻结专项施工方案、冻结专项应急预案。

3.0.7 冻结法施工中使用的试验、检测、测量、质量检查等设备、仪器、仪表等计量器具，新的计量器具要求有出厂检定证书，旧的计量器具按照《中华人民共和国计量法》中对强制检定器具（A类）、周期管理计量器具（B类）、一般管理计量器具（C类）有的规定，按照规定的内容和时间间隔进行检定。

3.0.9 冻结法施工优先采用先进的技术工艺，提出工程质量标准和要求，制定相应的质量保证措施。

4 基础资料

4.0.1 本条对冻结法需要具有的勘察资料做出了规定：

采用冻结法施工的地下工程，需要在详勘基础上开展专项勘察。包括勘察孔全深范围内的土层分布图、土层名称、层顶标高、层厚、取样点位置、土体性状、等外，还要说明含水层及地下水活动特征。包括含水层埋深、厚度、渗透系数、地下水水位及其变化幅度，以及含水层与地表水体的水力联系等。尤其对于承压含水层，详细分析其与地下结构的相对位置及其对设计与施工的影响。

4.0.2 在冻结区域冻结加固地段附近，有水源井大量抽取地下水，会引起较大的地下水流动，影响地层冻结效果，推迟冻结壁形成时间。使用冻结法进行地层加固的工程项目，附近有大抽水量的水源井或有地下古河道时，冻结设计前，需要提供实测地下水流速、流向资料，以便在设计中采取针对性的技术措施。

4.0.5 土层的热物理特性指标和冻土的物理力学特性指标按照 HT/T 593《人工冻土物理力学性能试验》标准通过试验方法测定。

相近或相同土层冻土力学参数根据附录 A 中北京地区部分典型土层冻土力学参数表选取。由于受目前试验条件的限制，依据工程的重要性程度，必要时进行土层热物理特性试验和冻土物理力学特性试验，具体试验情况由设计确定。一般采用工程类比方法对冻结法设计的安全性进行评估。

5 冻结设计

5.1 一般规定

5.1.1 采用冻结法施工的车站、盾构工作井，联络通道、横通道等除考虑结构施工安全要求外，还需要考虑冻结施工本身的安全风险和对周边环境的安全影响等。

5.1.3 本条仅列出了冻结设计需要考虑的基本内容，若遇有特殊要求时需要另行考虑。

5.1.4 本条列出周边环境出现任一情况时，设计需要考虑冻胀和融沉对周边环境的影响。

7 冻结施工期间，若周边有降水时，冻结设计和施工需要实测降水引起的地下水流速对冻结的影响。

5.1.6 本条仅列出城市轨道交通常见的联络通道和横通道的几种情况，遇有特殊情况时需要另行考虑。

5.2 冻结壁设计

5.2.1 结合轨道交通地下工程的结构设计，结合水文地质情况给出主要的适用不同水文地质时的冻结壁功能分类。

5.2.4 冻结壁计算方法应符合下列规定：

5 冻结壁平均温度参考值为设计经验值，综合考虑了冻结壁承载力需要、冻结可能对周边环境产生的负面影响以及冻结施工的工艺和经济合理性。冻结平均温度根据设计盐水温度、冻结孔钻孔间距、冻结壁厚度和冻结时间等冻结施工参数计算。

5.2.6 竖向冻结壁设计应符合下列规定：

2 竖向冻结的帷幕冻结壁上部起始位置一般高于静止水位 2m 以上，主要考虑在冻结施工期间可能水文上升的变化；

4 基底局部冻结壁时，规定基底有效冻结壁一般在结构底板标高以下不小于 1m，既为抗浮、抗折和抗隆起，也为底板开挖土体时不挖冻土，为建筑底板施工留有一定工艺空间和安全要求；

7 基坑分段冻结时，先施工段与后施工段存在时间先后、空间存在重叠，交接部位冻结壁是薄弱部位，设计时需要充分考虑冻结施工、土建施工各工序间的间隙和时空效应。

5.3 制冷系统与冻结工艺设计

5.3.1 冻结管吸热能力计算包括冷冻排管。当干管长度大于 100m 时，制冷能力计算要求增加超过 100m 以外干管的散热量。

5.3.2 冷冻机的蒸发温度、冷凝温度和工况制冷能力计算以产品说明书为准，并考虑设备老化制冷效率降低的情况。

压缩机系统的冷凝温度，是指制冷剂在冷凝器中冷凝时的温度，该温度相对应的制冷剂蒸汽压力即冷凝压力。蒸发温度是指制冷剂在蒸发器中蒸发沸腾时的温度，它与相应的蒸发压力是对应的。冷凝温度和蒸发温度都是制冷系统中重要的参数。

5.3.4 对盐水管路设计做出了规定：

3 在盐水干管中安装软接头可以减小温度应力和制冷设备运转引起的振动对干管稳定性的影响。

5.3.7 对盾构端头冻结的供回液管设计做出规定：

3 主要考虑盾构始发与接收掘进时便于直接用刀盘切割供回液，确保盾构始发和接收的安全。

5.4 冻结孔布置设计

5.4.1 冻结孔布位置受到限制时，一般适当加大冻结孔钻孔间距，冻结孔深度一般比冻结管长度长不小于 100mm。

5.4.2 对基坑竖向冻结孔布置做出了规定：

1 基坑土建结构设计一般均有围护桩，冻结孔设计一般采用竖向冻结孔，竖向冻结孔布置在基坑维护结构外侧；

3 竖向冻结孔布置避开地下管线、沟槽、构筑物，冻结孔开孔误差一般不大于 $\pm 100\text{mm}$ ；

4 车站基坑长度普遍大于 200m，结构需要划分流水段施工，冻结为节省能源也需要进行分段冻结，因此冻结孔也需要随冻结段布设。结构流水段间均有施工周期，为保证施工安全，因此要求每个冻结段的冻结壁结构具备独立隔绝地下水功能。

5.4.3 对联络通道和横通道等横向冻结孔布置做出了规定：

1 根据实际工程条件或要求，联络通道的冻结孔一般在一侧区间隧道内布置，也可以在两侧隧道内对向布置。当隧道线间距小于 20m 的联络通道，一般采用单侧布置冻结孔，隧道线间距大于 20m 的联络通道或含有泵房的联络通道，建议两侧隧道相对布置冻结孔；当单排冻结孔不能满足冻结壁设计要求时，采用多排冻结孔布置；

2 横通道冻结孔一般在暗挖车站竖井或出入口明挖段主体结构完成后打设，因此本款规定在钻孔时需要注意的要求，以确保结构安全；

4 单侧供冷且隧道中心线间距小于 20m 冻结孔的布置，为了用于以验证另侧隧道预留联络通道门洞位置和对侧隧道冻结器与冷冻排管的供冷，设计时要求布置不少于 2 个透孔；隧道中心线间距大于 30m 或采用在隧道双侧布置冻结孔时，要求先采用精确测量方式，确定隧道管片预留洞门位置。

5.4.4 盾构始发和接收的冻结区加固多为实体冻结，冻结孔采用垂直冻结孔；当采用杯形冻结时，杯底与洞门口的围护结构相接，并根据计算对杯底和杯壁对冻结孔进行布置。

5.4.5 基底局部冻结孔布置做出规定：

- 1 为保证基底冻结壁与围护结构的咬合，做出第一排孔外与围护结构贴近的要求；
- 2 考虑土体开挖的需要，做出开孔间距的要求。

5.5 测温孔布置设计

5.5.1 测温孔用于监测冻结壁发展过程中关键位置地层的温度，用于监控地下的异常因素、预测分析冻结壁厚度及平均温度。

地层温度与土体导温特性、原始地温、地下水流动影响、冻结器的距离、冻结器的供冷强度、周边接触物体等因素有关；不同类型的冻结工程，冻结孔数量和位置要求又有所不同。

5.5.6 基底局部冻结壁测温孔布置做出规定：

1 基底一次性施工底板结构时，为保证安全规定，一般布置不少于 4 个测温孔，分别布置在四角较薄弱的位置；

2 车站结构需要分段施工，冻结随结构也进行分段冻结时，把每一个冻结段作为一个独立的基坑进行测温孔的布置，一般不少于 4 个。

5.5.7 对横向冻结测温孔做出规定：

联络通道测温孔布置在隧道结构面上，每侧数量不少于 4 个。有泵房基坑作为单独冻结时，也需要有测温孔，测温孔深度与泵房冻结孔深度一致；横通道冻结壁的测温孔，参照联络通道测温孔布置。

5.5.8 盾构始发或接收的冻结加固区测温孔数量不少于 3 个，竖向测温孔深度不小于冻结区的深度；横向测温孔深度不小于加固墙体的厚度。测温孔能够反映冻土与端头围护结构、盾构壳的交界面位置的温度。

5.6 水文观测孔、泄压孔布置设计

5.6.1 竖向冻结的水文观测孔的作用主要是反映，冻结壁全部交圈后，冻结区内与冻结区外侧的水力失去联系，通过水文观测孔水压变化的差异来反应冻结壁交圈情况。水文观测孔布置在基坑围护结构的内、外侧，能够观测到围护结构内外的水文变化，判别基坑四周围蔽的冻结壁是否完全交圈。

盾构始发与接收端采用竖向实体冻结时，水文观测孔既可以观测水位的变化，也可以作为水压上升后作为泄压孔。特别是冻结区的上方布置泄压孔，用于地下水压、地层压力或位移的释放或转移，确保周边环境安全，冻土区融化时又可以用于地层沉降的补偿注浆。

5.6.2 联络通道和横通道封闭冻结，水文观测孔也兼有泄压孔的作用。当冻结壁交圈后，含水层水压会急剧上升，若不及时排除水压，将会对冻结壁发展或结构产生不利影响。水文观测孔、泄压孔压力控制在原始水压的 1.1 倍~1.5 倍以内。

5.7 保温设计

5.7.2 保温层的吸水率以小于 2%为宜，管路保温不能浸泡在水中。在 5 月~10 月间施工，保温层厚度一般不小于 40mm。

5.7.6 局部冻结是指对地层未含水部分或不需要冻结的地层，在冻结管外壁上包裹一层绝热材料。冻结管外侧的绝热保温层和保护层一般在工厂内与冻结管加工制作，确保绝热保温层与冻结管的粘接要牢固，并有一定的抗剥落强度，绝热保护层需要有一定的强度，确保冻结管在安装时各保温层不受到损坏。

5.8 其它设计

5.8.1 城市主城区的轨道交通工程建设，往往对地层变形控制要求较严，特别是局部冻结对基底的融沉要求较高，因此规定进行地层充填和融沉注浆设计。

5.8.2 横向冻结的联络通道等，为控制盾构区间管片在受影响范围的变形，规定进行临时支撑设计。

6 冻结施工

6.1 一般规定

6.1.1 冻结施工前，施工单位对已收集到的水文地质详勘资料，结合在拟冻结区域内，要求补钻取芯孔或在施工第一个孔时，对所获取的水文地质实际状况与原勘查资料进行核对，如存在隐患等问题，及时反馈设计单位，调整设计方案。

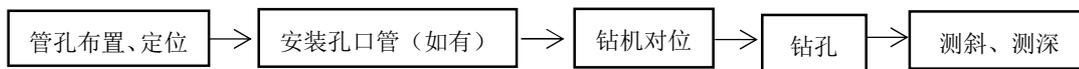
6.1.3 基坑长度超过 50m 的明挖基坑结构设计一般为分流水段施工，冻结法设计一般采用分段冻结设计，为确保安全和节约能源。段冻结施工也随土体和结构水平分层、纵向分段冻结施工。

6.1.4 地层中含有两层及以上地下水时，垂直局部冻结时，为确保施工安全提出准确冻结需要冻结的目标地层要求。

6.1.6 冻结施工在钻孔施工和开挖冻土时，均用到机械，为确保施工符合国家、北京市对环境保护、文明施工的要求制定本条。

6.2 竖向冻结孔施工

6.2.1 竖向冻结孔施工工序一般按以下工序图进行：



竖向冻结孔施工工序

6.2.2 冻结孔成孔倾斜度影响其间距，间距影响冻结壁交圈，冻结壁交圈影响冻结效果。为保证成孔质量，施工场地的平整度和承载力会影响钻机的稳定性，因此本条提出对施工场地标准要求，保证钻机在钻进时不发生偏斜。

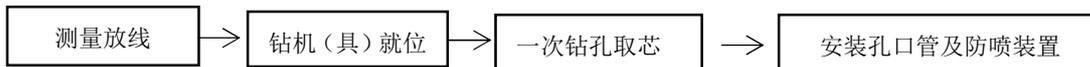
6.2.5 钻第一个冻结孔时，复核水文地质资料，是否与实际揭示的水文地质情况相符，如有差异或问题，需要调整钻孔设备、施工工艺等，以确保成孔质量。

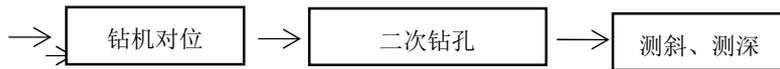
6.2.6 所谓的竖向冻结孔，是类竖向孔的统称，实际工程施工中还设有斜孔，以达到冻结壁的形态要求，以及在暗挖法小导洞内施工钻孔时，为保证小导洞的安全，常设有孔口管。

6.2.9 每个冻结孔进行测斜是为了保证相邻两孔间的距离，若超出设计偏差要求，会影响冻结壁交圈，冻结壁交圈影响冻结效果。若出现类似情况，提出补打冻结孔的要求，以确保施工安全。

6.3 横向冻结孔施工

6.3.1 横向冻结孔钻孔工序一般按以下工序图进行：





横向冻结孔施工工序

跟管钻进指用冻结管作钻杆钻进的施工方法，冻结管端部连接钻头和逆止阀，钻进到设计深度后用丝堵密封冻结管端头。

夯管法施工冻结孔有以下显著的优点：一是地层水土不会流失且有压密作用，有利于控制地层沉降；二是冻结管接头采用内衬管对焊接头，不易渗漏、断裂；三是管端无钻头，有利于提高冻结壁与对侧隧道管片之间的冻结质量。但砂卵石地层夯管法施工困难。

泥浆循环钻进，要求控制孔口管上旁通阀的排出量，确保排出土体体积与钻进的钻孔土体积的基本相等。

6.3.3 横向钻孔孔口管上安装孔口防喷装置是为防止钻孔过程中地下水喷涌。混凝土衬砌结构或管片上安装孔口管时，为防止隧道管片上钻孔涌水冒泥，采取二次开孔工艺，先安装孔口管，孔口管安装阀门、防喷装置，再钻透管片，配合孔口密封装置，可以有效控制地层漏失。

2 隧道衬砌或盾构管片上安装孔口管时，一般先用钻具一次开孔，先将孔口管、放喷装置安装好后，二次用钻机钻透衬砌，防止开孔发生喷涌现象。

6.3.4 盾构区间的联络通道钻孔前，洞门位置左右各两环管片钢架支撑，是为保证冻结过程中确保管片不因冻结和暗挖施工产生变形。

6.3.10 冻结孔的间距是确定冻结效果的重要因素，因此规定在成孔后测量冻结孔最大钻孔间距，绘制冻结孔轨迹，若偏差超过设计要求，进行调整后施工的轨迹。

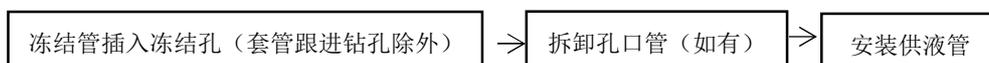
6.3.12 冻结管跟进钻孔时，冻结管接头部位是薄弱部位，本条规定接头采用螺纹接头或焊接补强和密封的要求。焊接接头需要打磨光滑。

6.3.13 横向冻结孔钻孔极易产生前方下扎，因此规定深度大于 20m 时，开孔段预设 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 的上仰角。

6.3.15 联络通道的马头门、泵房等部位均是薄弱部位，此条规定绘制实际冻结孔钻孔偏斜和预计冻结壁交圈图，当相邻冻结孔钻孔间距大于设计，提出采取补孔要求。

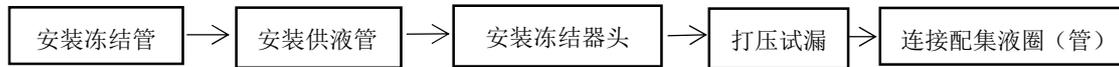
6.4 冻结器安装

6.4.1 冻结器安装施工一般按以下工序图进行：





竖向冻结器安装施工工序图



横向冻结器安装施工工序图

6.4.2 冻结管连接在地面先连接好后再安装到孔内，若在有限空间内安装时一般在冻结孔孔口逐节连接。冻结管焊接连接时，焊口打磨光滑，便于顺利下管。

6.4.6 对横向冻结管安装后封堵做出规定：

1 横向冻结管容易发生喷涌，规定冻结管安装完成后孔口管与冻结管的间隙进行封堵，主要是确保不渗流、不喷涌，避免发生事故。必要时采用强度等级不低于 M10 的水泥砂浆或强度等级不低于 C15 的混凝土密孔。

6.4.7 竖向供液管安装

2 竖向供液管底部不好控制其底部位置时，一般在其下部安装一个 100 高的支架，确保与冻结管隔开的空间确保盐水在冻结管底部循环畅通。

6.4.8 对冻结器头部的制作提出在工厂加工制作，确保连接方便和严密，重复使用。

6.4.9 对基底局部冻结管做出规定：

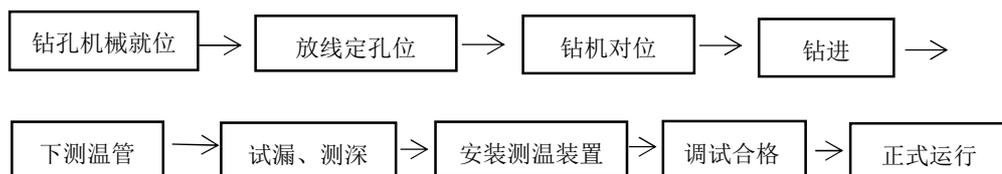
1 局部冻结时，冻结管外侧的绝热保温层和保护层在工厂内与冻结管加工制作，确保绝热保温层与冻结管的粘接要牢固，并有一定的抗剥落强度；

2 绝热保温层需要有一定的强度，确保冻结管在安装时各保温层不受到损坏。

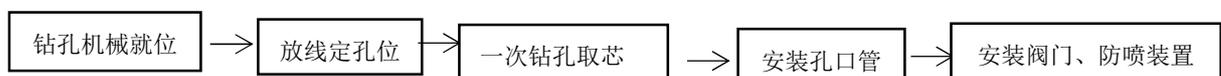
6.4.10 冻结打压共进行三次：一是冻结管安装后进行一次打压，二是冻结器安装后进行二次复压，三是管路系统打压。三次打压均采用水压试验，只是打压标准稍有不同。

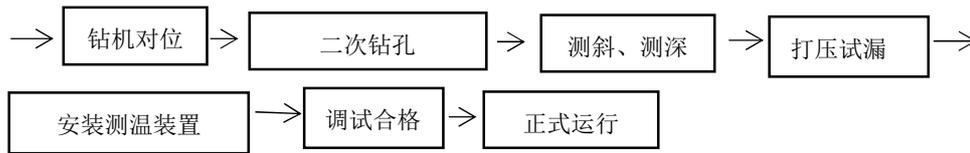
6.5 测温孔施工与装置安装

6.5.1 测温孔在冻结孔施工结束后在施工，是根据冻结孔胶圈图，便于调整测温孔位置，以确保测出冻结壁最薄弱部位的温度。施工一般按以下工序图进行：



竖向测温孔、测温装置施工工序图





横向测温孔、测温装置施工工序图

6.5.2 测温装置安装应符合下列规定：

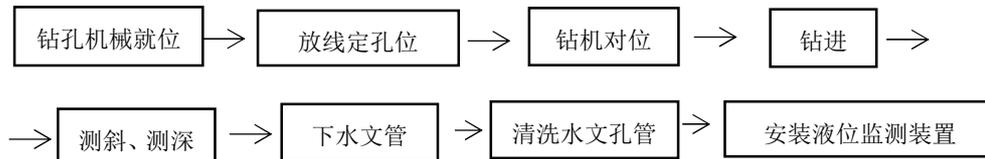
1 竖向测温孔管管口高出地面 500mm、横向测温管突出结构 200mm，便于安装测温装置；

3 测温孔在后其可以作为融沉注浆孔；

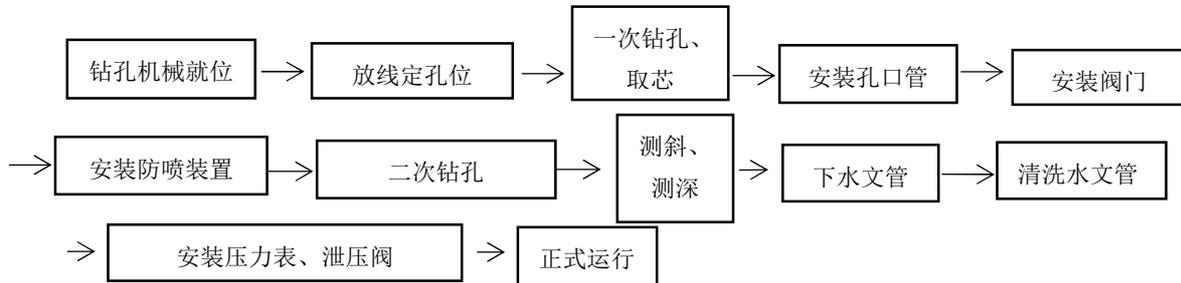
4 管口进行密封和保护，主要是为防止测温元件及电缆在后续施工过程中被移位、损坏和提高测温的准确性。

6.6 水文观测孔、泄压孔施工与装置安装

6.6.1 水文孔水文观测装置安装施工一般按以下工序图进行：



竖向水文观测孔、水文管施工工序图



横向水文观测孔、泄压孔施工工序图

6.6.2 水文观测孔、泄压孔水文观测装置安装应符合下列规定：

1 水文观测孔底封底是起到封闭泥沙不能进入管内的作用；

2 竖向水文观测孔、泄压孔设置滤水层是防止泥沙等进入孔内淤积，影响观察结果；

3 水文孔管安装后清洗是为了保证地下水能够顺畅的透过滤水层，进入孔管内，准确的反映地下水位的标高；

7 竖向水文观测孔、泄压孔安装管口高出地面 500mm，主要是防止地表水流入孔管内；横向水文观测孔、泄压孔管口突出结构面 200mm，主要是为便于安装防喷涌装置和泄压时连接排水管，将水排到地表。

6.7 制冷系统安装与运转

6.7.1 制冷站厂房应符合下列规定：

城市轨道交通工程建设施工，因其位于城市内，施工安全、环境保护标准要求高，为此制定本条规定。

6.7.2 制冷站系统运转调试应符合下列规定：

7 冻结器一旦开始冻结，制冷系统的一些易损件会出现问题，为防止因制冷站停止运转时间过长，造成冻结壁失效发生安全问题，要求一些易损件需要有备品，便于及时更换。

6.8 积极冻结与维护冻结

6.8.3 对维护冻结期施工做出了与适应性要求：

3 轨道交通工程大部分在主城市区，冻结壁各项指标达到设计值后，气候、环境等等影响施工的因素造成暂时土体无法开挖的情况时有发生，为节约能源，制定本款。

6.8.4 竖向冻结时维护冻结除时冻结管可能存在与基坑内支撑冲突的情况，制定本条。

6.8.6 局部冻结时维护冻结考虑基坑施工安全制定：

1 为保证在切割部分冻结管后，为保证安全制定未切割的冻结器继续维护冻结；

3 为保证恢复后的冻结器及管路系统能够正常运行；

4 竖向冻结壁在分段交接处外露冻结壁，因土方开挖和结构施工期相对较长，为防止冷量扩散，制定本款；

5 若侧壁为竖向冻结壁、基底为局部冻结尽管不常见，但随着城区地铁的深度增加，也会出现本款所说的冻结壁形式。

6.8.8 盾构始发与接收端维护冻结施工时，由于各种原因造成盾构机停机时，需要根据冻结壁检测情况调整供冷量，还要采取措施防止刀盘被冻住。

6.9 停冻与解冻

6.9.1 需临时停止部分冻结器供冷时，需要分析停冻对冻结壁整体稳定性的影响，并采取相应的措施保证施工安全。

6.9.3 基坑在采用分段竖向冻结法施工时，分段处需有搭接的冻结壁，在拟停止冻结的一侧，保留原设计冻结壁厚度两倍长度，持续维护冻结，为保证搭接部位的冻结壁仍能够起到冻结效果。

6.9.4 隧道采用横向冻结时，从冻结壁讲有两种功能，一种为仅止水，一种为既加固土体又止水作用；从冻结壁的规模上讲，横通道有超过 50m 长度的情况，一般超过 50m 时采用分段冻结，因此制定本条。

6.9.5 盾构始发或接收，土压平衡盾构机是无法建立土仓压力的，只有在盾尾脱出冻结区，

且洞门管片间隙封堵完成后才能建立土仓压力；盾构接收端只有最后一环管片拼装完成，且洞门与管片间的间隙封堵完成后，才不会发生洞口喷涌。

6.9.7 对自然解冻和强制解冻做出规定：

1 一般竖向冻结、横向冻结是不影响后续施工，但局部冻结和盾构端头满堂冻结的冻结管影响后续施工。

6.10 竖向冻结器拆除与冻结孔（管）充填

6.10.1 竖向冻结、分段冻结在解冻后，有条件的尽量将冻结管拔除，以便重复利用。冻结管拔除后的冻结孔和未拔除的冻结管孔充填是为了保证后期的安全；局部冻结只能在结构底板施工完成后切割外露部分冻结管，横向冻结的冻结管不必拔除，但冻结管孔仍需要注浆充填。竖向冻结器拆除与冻结管（孔）充填施工按以下工序图进行：



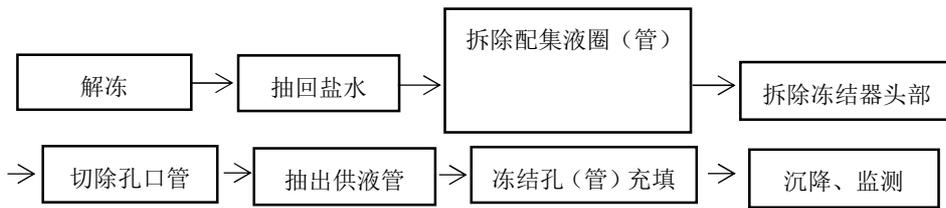
竖向冻结器拆除与冻结管（孔）充填施工工序图

6.10.3 对竖向冻结管的拔除后的充填做出规定：

3 冻结孔用水泥浆或水泥石充填，冻结管孔用水泥砂浆或混凝土充填，是为了保证充填密实。

6.11 横向冻结器拆除与冻结管（孔）充填

6.11.1 横向冻结管一般不容易拔除，只将器头部割除、供液管拔除即可。横向冻结器拆除与冻结管（孔）充填施工按以下工序图进行：



横向冻结器拆除与冻结管（孔）充填流程图

6.11.2 横向冻结管割除后，对衬砌的恢复做出规定：

1 二衬结构或盾构管片结构体上冻结管割除的深度不小于 60mm，是为了能够很好的充填冻结管孔、很好的密封和找平结构表面及其应有的强度；

3 目前盾构区间联络通道部位的盾构管片为保证在开马头门时，区间隧道的稳定，采用钢管片的较多，制定本款。

6.12 基底局部冻结冻结器割除

6.12.1 基底局部冻结，土体开挖至设计位置或基底时，割除外露的冻结管，冻结管被割除后由于冻结壁的有效时间会随场地温度的不同，有效时长会不同，因此要求加强对冻结壁的检测，后续工序要求紧凑，确保在冻结壁的有效时间内将结构完成到水文以上 500mm。

6.12.2 基底局部冻结，土体开挖至基底后，一次性拆除全部冻结器时位置做出规定：

3 冻结管割除至基底以下不小于 100mm，主要是为了冻结管割除后充填和封堵冻结孔和冻结管口，不侵入底板垫层内。

6.12.3 基底局部冻结，根据设计要求，部分冻结管随土体开挖随割除时，未割除的冻结器在土体继续开挖过程中的保护做出规定，避免因土体开挖破坏冻结管，影响冻结壁的效果。

6.13 制冷系统拆除

6.13.2 盐水具有腐蚀性，随意排放会造成环境污染；制冷剂如氨、氟利昂等，高压气体，密闭空间操作易发生缺氧、中毒等事故，危险性较大；油脂遇明火易发生火灾。因此拆除前需要首先将它们进行回收，防止发生事故。

6.13.3 鉴于盐水腐蚀性较大，设备、管路拆除后进行清洗、检修，便于重复使用。

7 冻结壁检测与判断

7.1 一般规定

7.1.2 温度观测一般采用数据自动采集系统，测温管内测温元件精度达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

7.1.3 在开始冻结前测量原始地温，是为了及时调整盐水温度，达到设计给定的积极冻结时长。

7.1.5 通过水文观测孔的水压变化、水位变化、冒水量观测变化情况，可以判断冻结壁的交圈情况。

7.2 竖向冻结壁检测与判断

7.2.4 本条对冻结壁形成的判断做出了规定：

1 观测孔内的承压水，当有多个水文观测孔、泄压孔的水位有规律地上升，全部有水溢出管口连续 7d 孔时，表明冻结壁均已交圈。

7.3 横向冻结壁检测与判断

7.3.1 在一般施工工况下，采用经验方法预测冻结壁形成是可行的，但需要分析散热边界条件和施工参数变化可能给冻结壁形成带来的不利影响。施工中需要通过冻结壁温度实测判定冻结壁的形成状况，特别是实测冻结壁与隧道管片交接面等复杂边界处和冻结壁扩展异常处的冻结壁形成状况。

8 冻结法土体开挖与支护施工

8.1 一般规定

8.1.1 为防止冻结法土方开挖和结构施工期超出冻土融化的时间,确保施工安全,制定本条。

8.1.2 土体开挖和结构施工,会引起周边地层应力场变化,相邻地下结构受力发生改变,所以需要受影响的地下结构进行支架架设等措施来进行工程防护。

8.1.3 为确保冻结法土方开挖施工安全,制定对冻结法土方开的条件验收。

8.2 竖向冻结法基坑土方开挖与结构施工

8.2.1 本条主要针对基坑侧壁竖向冻结止水,基底有隔水层,冻结壁冻结至隔水层时,需要疏干坑内的地下水要求。

8.2.2 基坑围护结构常有侵线的情况发生,一旦侵线为保证结构尺寸要凿除侵线部分的围护结构,凿除时需要采取措施避免影基坑变形响冻结壁影响止水效果,引发安全事故。

8.2.4 明挖车站基坑长度一般在 200m 以上,为节省能源和施工安全,采用竖向冻结法时,一般随土方和结构分段施工也分段冻结,分段处冻结壁暴露时间较长,特制定本条。

8.3 横向冻结法隧道初支与二衬结构施工

8.3.1 冻结壁形成质量达到设计要求,且开挖准备工作验收合格的条件下才能转入开挖工序。土方开挖采用矿山法短段开挖构筑的方式,随挖随支,严控制冻结壁温度升高和变形。施工中需要对地表及其构筑物、隧道及支护结构进行动态监测并及时反馈信息。

考虑到冻结开挖后冻结壁温度回升,冻土蠕变会削弱冻结壁的强度,因此在保证质量和安全的前提下,要求加快开挖与结构的施工进度,减小施工风险。

隧道支撑在冻结壁交圈前安装完毕,冻结壁交圈时间一般为冻结开机一个月以内。第一榀隧道支撑一般安装在开洞门管片相邻管片的中心处,其余顺着远离管片方向依次隔环布置,沿通道中心线对称布置。

8.3.3 防护门的作用是在开挖过程中如冻结壁透水、漏泥或失稳,可以用水压平衡法阻止冻结壁继续透水、漏泥或变形。安装防护门前需要检查钢管片之间和钢管片格仓之间是否密封,否则需要采用焊接、注浆等方法提前进行处理。

联络通道开挖时发生透水、冒砂事故时,先向开挖区域回填土、水泥、砂石,然后关闭防护门,并向防护门内压水注浆,封堵泥水;如关闭防护门时联络通道挖空的体积不大,可以配合向挖孔区注入聚氨酯等注浆充填材料。

在粘性土层中,通道挖通并施工初期支护后拆除防护门,透水砂层联络通道在主体结构全部完成后拆除防护门。

防护门需要安装在通道预留洞门隧道钢衬砌结构（管片）上，能密封性好、开关灵活，开启后不影响正常的开挖和结构施工；防护门结构设计和安装按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定执行。

8.3.5 不含泵房的联络通道施工工序，按施工组织设计方案的要求，先确定洞门开口的位置。检查冻结效果已满足施工要求。安装防护门。切开洞口一侧的管片，开洞门后进行土方开挖和格栅支护喷射混凝土，做好初期支护后，单侧隧道施工至对侧隧道衬砌结构（管片）后，拆除对侧的管片。做好防水施工，绑扎主体二次衬砌结构的钢筋，安放预埋件，支立模板，经验收合格后，进行混凝土浇筑。

开挖与初期支护的施工参数要求与开挖方式和支护结构相适应，做到对冻结壁及时、有效的保护。施工过程中可以根据实测冻结壁的稳定性和其进行适当调整，在保证施工安全的前提下，加快施工速度和降低施工成本。

8.4 局部冻结法基坑土方开挖与结构施工

8.4.4 规模较大的车站基底分段局部冻结，为节省能源和施工安全，一般采用分段冻结，根据结构施工需要水平分段，分段处一般设计竖向分隔冻结壁墙，由基底冻结壁和分隔冻结墙形成盆形冻结壁，确保分隔冻结墙的有效作用。

为保证冷量少流失，规定接续段土方开挖至分段竖向冻结壁顶面，停止开挖，确保施工安全。

8.4.5 基底局部冻结壁的功能一般既有止水作用也有抗浮作用，为保证结构安全制定底板结构混凝土强度达到设计强度的 70% 后或满足抗浮强度后才能停冻的要求。

8.5 冻结法盾构始发与接收

8.5.3 盾构始发接收范围内冻结管拔出后，一般要求盾构机在 48 小时内穿越冻结区完成始发或接收，这样可以避免冻结壁融化造成涌水涌沙的风险。当环境条件、地层情况、洞门凿除、盾构机分体始发等条件不能满足 48 小时内完成时，需要采取相应的恢复冻结的措施，保障盾构始发和接收的安全。

8.5.4 冻结法加固的盾构始发与接收端掘进过程中，冻结温度过低时发生停机，有可能将盾构机刀盘冻结，特制定本条。

8.6 施工监测

8.6.1 非冻结法施工的基坑、隧道监控量测国家和北京市均有现行的规范或标准，而冻结法施工的基坑、隧道目前尚无施工监测规范或标准，为此制定与本规范配套的监测内容。

8.6.4 冻结法监测点布置除冻结壁测点外，其余测点一般与非冻结法基坑、隧道的监测点相结合进行布置。

8.6.5 竖向冻结壁监测点布置主要考虑结构层高一般为 6m,纵向结构施工段一般为 12m-16m 进行布置。

8.6.8 基底局部冻结法冻结壁监测考虑规模较小的竖井基坑整体开挖和规模较大的车站分段局部冻结情况布点,原因同 8.6.5。同时增加分段处竖向冻结壁的测点布置不少于 3 个,覆盖整个盆形冻结壁的变形监测。

9 充填注浆与融沉注浆

9.1 一般规定

9.1.1 充填注浆压力最大不超过 0.5MPa，是考虑目前水头一般达不到 50m 的情况。

9.2 充填注浆

9.2.1 充填注浆的目的一是防止冻结壁局部解冻透水后结构后间隙导水而增加结构漏水的可能性，二是通道拱顶混凝土不容易浇筑密实，及时充填注浆有利于补强结构并减小冻结壁解冻过程中的变形。注浆时如发现结构后间隙不畅通，可以通过检测预留注浆孔内温度，判断结构后间隙是否结冰。若结构壁后间隙结冰，适当延长充填注浆时间，增加注浆次数。

9.2.5 充填注浆安装阀门，为了防止返浆造成孔口处的孔洞。

9.3 融沉注浆

9.3.2 融沉注浆遵循“少量、多点、多次、均匀”是普遍遵循的原则。

9.3.4 给出了停止融沉注浆的标准，但基底注浆要求以结构底板下无空隙为止。

9.3.5 冻结壁强制解冻的目的主要是为了加快融沉补偿注浆速度，缩短冻结对周边环境影响的时间。强制解冻按冻结壁底饭、冻结壁两侧、冻结壁顶板的顺序循环进行。在强制解冻初期，跟踪注浆以注单液水泥浆为主。强制解冻，需要防止地层加速沉降影响周边地下管线和建（构）筑物安全，并加强通道结构及隧道管片漏水的封堵。

10 质量验收

10.1 一般规定

10.1.4 本规范主要应用于基坑或竖井围护结构、隧道联络通道或横通道、盾构始发或接收等工法，将冻结法工程划分为子分部工程，便于分项工程的划分，有利于现场检验批检验和施工记录的填写。

10.1.9 与冻结工序相关联的土方和结构等工序的施工质量验收要求，在《地下铁道工程施工质量验收标准》GB/T 50299 中都有具体的规定，本规范不再重复要求。

10.2 冻结孔施工质量验收

10.2.1 只有冻结孔的位置、数量按照设计文件的规定完成，才能保证冻结壁能够形成，因此本条对此作出了具体的规定。

10.3 孔口管安装质量验收

10.3.5 在盾构隧道管片上开设的冻结孔，一般要设置孔口管，设置孔口管的目的是为确保开孔位置的地层稳定和防止水土流失，有必要把孔口管与管片开孔之间的缝隙封堵严密，目的也是防止水土流失。

10.4 冻结器安装质量验收

10.4.2 冻结管由若干节钢管及底锥用接箍连接或直接焊接而成，管体、接箍、底锥以及焊条的材质需要匹配，强度、脆化温度转化点、拉伸率、冲击韧性等机械力学性能指标以及规格质量要求符合冻结设计要求

10.5 测温孔施工与装置安装质量验收

10.5.1 测温孔成孔施工方法基本与冻结孔相同，其工程质量验收标准按照冻结孔的标准执行即可。

10.5.4 测温孔检查验收时需要检查测点深度是否符合要求，防止对形成的冻结壁状况的判断出现失误。

10.6 水文观测孔、泄压孔施工与装置安装质量验收

10.6.1 水文观测孔、泄压孔成孔施工方法基本与冻结孔相同，其工程质量验收标准按照冻结孔的标准执行即可。

10.6.5 目的是保证水文孔水位与实际地层水位一致。

10.7 制冷站安装工程质量验收

10.7.4 为保证制冷效果和效率，盐水温度不损失，规定本条。

10.8 制冷工程质量验收

10.8.1 制冷剂、盐水、冷却水循环系统温度、流量、压力等这些参数直接影响冻结壁的发展速度，因此要求符合设计文件的规定

10.8.2 冻结壁的交圈时间是确定后续结构施工的重要依据，直接影响后续土方施工、结构施工或盾构始发与接收的安全。

10.8.3 只有冻结壁达到一定的厚度和足够低的温度，才能够保证洞门破除后土体不会坍塌，造成安全风险，规定本条。

10.9 充填与融沉注浆工程质量验收

10.9.1 常用的注浆材料一般为水泥浆，必要时也有采用掺入其他化学浆液。

10.9.4 实际注浆时一般以注浆量和注浆压力指标双控，注浆量是设计按照可能产生的空隙计算得来，一般在尚未达到预计注浆量而注浆压力达到设计值时需要分析原因，避免地层中未注实。