



河北省工程建设地方标准

P

DB13(J)/T 8624-2025

备案号：J18198-2025

地下工程冻结法支护技术标准

Technical standard of freezing supporting structure for
underground engineering

2025-05-19 发布

2025-09-01 实施

河北省住房和城乡建设厅 发布

河北省工程建设地方标准

地下工程冻结法支护技术标准

Technical standard of freezing supporting structure for
underground engineering

DB13(J)/T 8624-2025

主编单位： 中土大地国际建筑设计有限公司
石 家 庄 铁 道 大 学
开滦建设（集团）有限责任公司
批准部门： 河北省住房和城乡建设厅
施行日期： 2 0 2 5 年 9 月 1 日

中国建标科技出版社有限责任公司
China Construction Science and Technology Press Co., Ltd.

2025 北 京

河北省工程建设地方标准
地下工程冻结法支护技术标准
Technical standard of freezing supporting structure
for underground engineering
DB13(J)/T 8624-2025

*

中国建设科技出版社有限责任公司 出版（北京市西城区白纸坊东街2号院6号楼）
China Construction Science and Technology Press Co., Ltd.

石家庄市书渊印刷有限公司印刷

*

开本：850mm×1168mm 1/32 印张：2.5 字数：58千字

2025年8月第1版 2025年8月第1次印刷

印数：1~1000册 定价：25.00元

统一书号：155160·6056

版权所有 翻印必究

河北省住房和城乡建设厅

公 告

2025 年 第 45 号

河北省住房和城乡建设厅 关于发布《地下工程冻结法支护技术标准》 的公告

《地下工程冻结法支护技术标准》（编号为 DB13(J)/T 8624-2025）已经本机关审查并批准为河北省工程建设地方标准，现予发布，自 2025 年 9 月 1 日起实施。

本标准在河北省住房和城乡建设厅网站“工程建设标准规范”专栏公开。

河北省住房和城乡建设厅

2025 年 5 月 19 日

前 言

本标准根据河北省住房和城乡建设厅《关于印发〈2018年度省工程建设标准和标准设计第二批制（修）订计划〉的通知》（冀建工〔2018〕44号）的要求，由中土大地国际建筑设计有限公司会同有关单位联合编制而成。

本标准共分8章，主要技术内容包括：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 冻结设计；5. 冻结施工；6. 开挖、支护及回填；7. 冻结工程收尾；8. 监测。

本标准由中土大地国际建筑设计有限公司负责具体技术内容的解释，由河北省绿色建筑推广与建设工程标准编制中心负责管理。

本标准执行过程中如有意见或建议，请寄送中土大地国际建筑设计有限公司（地址：石家庄市长安区体育北大街石纺路中土国际，邮编：050046，电话：0311-66708116，邮箱：ztzlb2019@163.com），以供今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查人员名单：

主编单位：中土大地国际建筑设计有限公司

石家庄铁道大学

开滦建设（集团）有限责任公司

参编单位：中煤特殊凿井有限责任公司

唐山市规划建筑设计研究院有限公司

华北有色工程勘察院有限公司

张家口建研工程检测有限公司

河北天诚建筑科技集团有限公司

石家庄市轨道交通集团有限责任公司

河钢乐亭钢铁有限公司

主要起草人：周保良 张树雄 王立华 岳祖润 卢相忠
靳艳娇 张 松 张庆武 高孟旻 于保雷
亓燕秋 王国旗 亢永强 左二帅 卢金明
史小龙 刘大金 齐玉磊 关 鹏 孙铁成
孙岩松 杨亚莉 杨 静 杨德灿 李红运
李自清 李凯宁 李迎宾 孟庆锋 吴晓磊
谷淑亮 宋泽华 张建军 张全秀 张育培
张俊杰 周 倩 胡田飞 胡瑞丰 贾世迎
高冯军 高彬彬 候素娟 曹大淀 常淑敏
韩贵雷 韩玉超 温胜利 羨可辉 赫尊尊
主要审查人：梁金国 王海周 孙立川 周文生 何柏林
雷 霆 坑立强

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	5
3	基本规定	8
3.1	设计原则	8
3.2	勘察要求	8
3.3	支护结构选型	10
4	冻结设计	11
4.1	冻结壁设计	11
4.2	冻结孔设计	14
4.3	制冷系统设计	15
5	冻结施工	21
5.1	冻结孔	21
5.2	冻结器	23
5.3	冻结站	25
5.4	停止冻结	28
5.5	冻结壁检测与判断	28
6	开挖、支护及回填	32
6.1	一般规定	32
6.2	开挖准备及试挖	32
6.3	开挖	34
6.4	初期支护	37

6.5	支撑与防护	37
6.6	回填和注浆	39
6.7	结构施工	39
7	冻结工程收尾	41
7.1	质量控制与验收	41
7.2	冻结设备拆除	42
7.3	冻结管充填	42
8	监测	44
8.1	环境监测	44
8.2	应急措施	47
附录 A	冻结加固冻结运转日报表	49
	本标准用词说明	50
	引用标准名录	51
附:	条文说明	51

Contents

1	General Provision	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	5
3	Basic Requirements	8
3.1	Design Principles	8
3.2	Geological Investigation	8
3.3	Choice of Structural Types	10
4	Ground Freezing Design	11
4.1	Design of Freezing Wall	11
4.2	Design of Freeze Holes	14
4.3	Design of Refrigeration System	15
5	Frozen engineering Construction	21
5.1	Freeze Holes	21
5.2	Freeze-tube Assemblies	23
5.3	Refrigeration Plant	25
5.4	Stop Freezing	28
5.5	Detection and Judgment of Frozen Wall	28
6	Excavation, Support and Backfilling	32
6.1	General Requirements	32
6.2	Excavation Preparation and Trial Excavation	32
6.3	Excavation	34
6.4	Initial Support	37

6.5	Support and Protection	37
6.6	Backfilling and Grouting	39
6.7	Structure Construction	39
7	Closure of Frozen Projects	41
7.1	Quality Control and Acceptance	41
7.2	Removal of Frozen Equipment	42
7.3	Filling grout of Frozen Pipes	42
8	Monitoring	44
8.1	Environmental Monitoring	44
8.2	Emergency Measure	47
Appendix A	Daily Report of Freezing Operation During Freezing Reinforcement	49
	Explanation of Wording in This Specification	50
	List of Quoted Standards	51
	Addition: Explanation of Provisions	53

1 总 则

1.0.1 为规范河北省地下工程冻结法在工程建设中的应用，促进技术进步，做到经济合理、安全可靠、资源节约、保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于河北省地下工程采用冻结法支护技术的勘察、设计、施工、检测、监测及质量验收。

1.0.3 地下工程冻结法支护设计和施工，应根据工程特点、工程地质和水文地质条件和施工环境组织实施，确保工程质量和安全。

1.0.4 采用冻结法支护技术的地下工程除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和河北省现行标准的有关规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 地下工程 underground engineering

地下工程指为开发利用地下空间资源所建造的地下土木工程，包括地下房屋和地下构筑物、地铁和公路隧道、管廊和过街地下通道等。

2.1.2 冻结法 ground freezing method

在施工地下工程之前，用人工冻结的方法，对构筑物周围不稳定地层进行冻结，形成具有临时承载和隔水作用并满足工程施工安全需要的冻结壁，然后在冻结壁的保护下进行构筑物掘砌作业的一种施工方法。

2.1.3 盐水冻结系统 brine freezing system

以氯化钙等盐溶液（简称盐水）为冷媒剂的间接冻结系统。

2.1.4 冻土圆柱 frozen soil column

冻结器与周围含水地层发生热交换并使周围含水地层冻结所形成的近似圆柱形的冻土柱。

2.1.5 冻结壁 frozen soil wall

用冻结技术在地下工程周围地层所形成的具有一定厚度、强度和深度的封闭冻结岩（土）体，又称冻土帷幕或冻土墙。

2.1.6 冻结壁厚度 frozen soil wall thickness

冻结壁内侧壁面与外侧壁面之间的最短距离。有效冻结壁厚度为拟开挖区域开挖面外侧冻结壁与冻结壁外侧壁面的最短距离。

2.1.7 冻结壁平均温度 average temperature of frozen soil wall

设计冻结壁冻结范围内温度分布的平均值。

2.1.8 冻结壁交圈时间 freezing time to closure

从地层冻结开始至地下工程周围所有冻结器单独形成的冻（岩）土圆柱均相交形成封闭帷幕所需的时间。

2.1.9 积极冻结期 period of frozen soil wall formatation

从地层冻结开始至冻结壁形成达到设计要求所需时间，又称冻结壁形成期。

2.1.10 维护冻结期 maintenance period of frozen soil wall

冻结壁形成达到设计要求后，为了保证地下工程掘砌过程中的安全，继续向冻结器输送冷量，以维持冻结壁满足设计要求的一段时间，又称冻结壁维护期。

2.1.11 冻结站 refrigeration plant

用于安装制冷配套设备或设施的场所。

2.1.12 冻结孔 freezing hole

按设计要求布置在拟采用冻结法支护技术的地下工程周围用于安装冻结器的钻孔。

2.1.13 冻结孔孔间距 a space between two adjacent freeze holes

平行的相邻两冻结孔之间的中心距离。

2.1.14 冻结器 freezing apparatus

安设在冻结孔内，用以循环冷媒剂并与地层进行热交换的装置。冻结器由冻结管和置于冻结管内的供液管、回液管等组成。

2.1.15 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，在钻孔位置安装的服务于冻结孔钻进施工和冻结期安装的工具型预制钢管。

2.1.16 泄压孔 pressure release hole

用来观测和释放土层水土压力的孔（管）。

2.1.17 测温孔 temperature measurement hole

布置在冻结壁及冻结降温区内、用于安装温度传感器监测不同

时期地层温度分布状况的钻孔。

2.1.18 测斜 deviatational measurement

检查冻结孔、测温孔、水位观测孔、泄压孔在不同深度上的偏斜值和偏斜方位的工作。

2.1.19 导热系数 heat conductivity

当温度垂直向下梯度为 $1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 时，单位时间内通过单位水平截面积所传递的热量。

2.1.20 比热容 specific heat capacity

单位质量物质的热容量，即单位质量物体改变单位温度时吸收或放出的热量，又称比热容量。

2.1.21 相变潜热 latent heat

单位质量的物质在等温等压情况下，从一个相变化到另一个相吸收或放出的热量。简称潜热。

2.1.22 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。

2.1.23 融沉 thawing settlement

冻土融化时的下沉现象，包括与外荷载无关的融化沉降和与外荷载直接有关的压密沉降。

2.1.24 保温层 thermal insulation layer

在对有影响冻结效果的结构表面敷设的能起保温、隔热作用的层结构。

2.1.25 透孔 thru hole

打透两条隧道，向冷冻站对侧冻结面供冷的孔，并用来校核隧道线间距、里程、标高及联络通道轴线。

2.1.26 格林接头 Green joint

带有层状倒刺波纹，并用喉箍或铁丝拧紧的橡胶软管。俗称鱼

鳞扣。

2.1.27 强制解冻 artificial thawing

在采用冻结法支护技术的地下工程完工后，利用人工制热工艺，在冻结器内循环热盐水，将原冻结壁融化的工艺。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

σ —— 冻结壁应力。

2.2.2 材料性能和抗力

R —— 冻土的强度；

Q_g —— 冻结管总散热能力；

Q_p —— 盐水干管散热能力；

γ —— 盐水的密度；

c —— 盐水的比热容。

2.2.3 几何参数

E_{yj} —— 有效冻结壁厚度；

E_{qr} —— 侵入开挖区域冻结壁厚度；

L_0 —— 不能循环盐水的冻结管端部长度；

A —— 冻结管路总表面积；

A_p —— 盐水干管总表面积；

V_1 —— 冻结器中盐水体积；

V_2 —— 剩余管路内盐水体积；

V_3 —— 蒸发器和盐水箱内盐水体积；

d_i —— 盐水管的直径；

L_i —— 盐水管的长度。

2.2.4 计算系数

K —— 冻结壁设计安全系数；

q —— 冻结管散热系数；

q_p —— 盐水干管散热系数；

m —— 冷量损失系数；

ρ —— 固体氯化钙纯度；

λ_i —— 盐水流动阻力系数；

Re_i —— 雷诺数；

μ —— 盐水动力黏度系数；

η_1 —— 盐水泵的效率；

η_2 —— 电动机的效率。

2.2.5 其他

v_d —— 冻结壁扩展速率；

t —— 积极冻结时间；

H —— 冻结孔深；

L_{sj} —— 从冻结孔孔口到冻结壁设计边界的距离；

L_1 —— 冻结管端部冻结削弱影响深度；

G —— 氯化钙用量；

θ_G —— 单位盐水体积固体氯化钙含量；

Q_z —— 冻结站总需冷量；

Q_z' —— 冻结站总制冷量；

W_{br} —— 盐水循环总流量；

W_b —— 盐水泵电动机功率；

W_r —— 冷却塔循环水量；

W —— 冻结站总需水量；

H_c —— 盐水泵扬程；

g —— 重力加速度；

ω_i —— 盐水流速。

3 基本规定

3.1 设计原则

3.1.1 地层冻结加固应确保土方开挖和结构施工的安全，并使周围环境和建（构）筑物不受损害。冻结法设计和施工，应采取可靠的技术措施，确保土方开挖、结构施工及周边环境安全。

3.1.2 冻结法设计应包括下列内容：

- 1 冻结壁设计及承载力、变形验算；
- 2 冻结孔、泄压孔、测温孔布置设计；
- 3 冻结制冷系统设计；
- 4 对冻结壁的监测与保护要求；
- 5 对周围环境和建（构）筑物可能产生影响的分析。

3.2 勘察要求

3.2.1 地下工程岩土工程勘察前，应搜集下列资料：

1 邻近建筑物和地下设施的现状、结构特点以及对开挖变形的承受能力；各种既有地下管线、地下构筑物的类型、功能、性质、位置、尺寸、埋深等；

2 搜集工程地质、水文地质及周边环境资料，并进行工程地质调查。

3.2.2 查明地下水的埋藏条件，需满足下列要求：

1 查明含水层及地下水活动特征，应包括含水层埋深、厚度、渗透系数、水质、水温、静止水位及其波动情况，含水层与地表水

体的水力联系；

2 当开挖区域处于透水层中时，还应提供该含水层的地下水流向、流速等资料。

3.2.3 勘察报告中除应提供土层的常规物理力学性质指标外，尚应提供以下物理力学性质指标：

1 土的渗透系数；

2 对其他特殊性岩土应做专门性试验；

3 冻土的物理力学性质指标，包括土体不同温度条件下的弹性模量、抗压强度、抗剪强度、抗折强度、泊松比、最大变形挠度、蠕变参数；

4 土层的热物理特性指标，包括土体导热系数、比热容、相变潜热、冻胀率、融沉率。

3.2.4 地下工程岩土工程勘察报告应包含下列内容：

1 勘察目的、要求和任务；

2 地下工程概况；

3 地下工程周边环境调查情况，评价其施工对周围环境的影响，并提出整治和监测建议；

4 分析场地的地层结构和岩土物理力学性质，提出计算参数取值及支护方式的建议；

5 对具有特殊性质的岩土，应分析其对地下工程的影响，并提出对设计施工的措施建议；

6 分析各层地下水的类型、稳定水位（承压水头）、补给条件、水力联系和动态变化；

7 分析拟冻结土层的热物理特性指标及冻土的物理力学特性指标。

3.3 支护结构选型

3.3.1 支护结构选型时，应综合考虑下列因素：

- 1 基坑深度；
- 2 土的性状及地下水条件；
- 3 基坑周边环境对基坑变形的承受能力及支护结构失效的后果；
- 4 主体地下结构和基础形式及其施工方法、基坑平面尺寸及形状；
- 5 支护结构施工工艺的可行性；
- 6 施工场地条件及施工季节；
- 7 经济指标、环保性能和施工工期。

3.3.2 当用于基坑支护时冻结法可联合内支撑等支护结构使用，支护设计应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的相关规定。

4 冻结设计

4.1 冻结壁设计

4.1.1 根据冻结壁的功能要求、类别，选择不同形式和安全性能的冻结壁，见表 4.1.1。

表4.1.1 冻结壁功能分类

类别	功能	适用条件
I	仅用于止水而不承载	已有地下工程非冻结法围护结构缝隙止水
II	仅用于承载而无止水要求	地下工程隔水层中无法施工非冻结法围护结构
III	同时具有承载及止水作用	难以采用非冻结加固措施的透水地层

4.1.2 冻结壁的设计应符合以下要求：

- 1 冻结壁宜按受压结构设计；
- 2 采用I、III类冻结壁施工的地下工程应采用封闭式冻结壁；
- 3 冻结壁的几何形状宜与拟建地下结构的轮廓接近，并易于冻结孔布置；
- 4 冻结壁宜选择有利于控制土层冻胀与融沉、对周围环境影响较小的结构形式；
- 5 当地下工程影响范围内存在对变形敏感的结构或管线时，宜设置温控孔或泄压孔进行冻胀控制。

4.1.3 具有承载作用的冻结壁荷载计算应符合下列要求：

- 1 冻结壁的荷载计算应包括土压力、水压力、土方开挖影响范围以内地面建（构）筑物荷载、地面超载及其他临时荷载；
- 2 对粉土、砂土和碎石土，土压力和水压力应按水土分算的原则计算；对黏性土，应按水土合算的原则计算；
- 3 垂直土压力宜按计算点以上覆土重量及地表建（构）筑物荷

载、地表超载计算；

4 侧向土压力可按朗肯主动土压力计算，地基土反力可按静力平衡计算。

4.1.4 I类冻结壁设计应符合下列要求：

- 1 可不进行受力验算，应参照本标准第4.1.5条执行；
- 2 当冻结壁具有止水作用时，其厚度应能抵抗水压力，且安全系数不小于1.50；
- 3 作为止水作用的冻结壁，其平均温度应不高于 -5°C ，当地层冻结温度低于水的结冰温度时，应对冻结壁温度进行适当减低；
- 4 冻结孔应根据施工工况、作业空间进行布置；
- 5 根据冻结壁厚度和平均温度确定积极冻结时间。

4.1.5 II类和III类冻结壁的厚度应按承载能力计算，并符合下列要求：

- 1 冻结壁内力宜采用结构力学方法或数值计算方法进行计算；
- 2 结构力学计算时，冻结壁可按均质线弹性体进行简化计算，其力学特性指标宜取设计冻结壁平均温度下的冻土力学指标；
- 3 采用数值计算方法时，参数应根据相关资料、报告选取，宜采用热力耦合方式进行计算，不宜直接将设计厚度冻结壁作为形状固定的线弹性体进行计算；
- 4 冻结壁应按下式进行抗压、抗折、抗剪强度验算：

$$K \cdot \sigma \leq R \quad (4.1.5)$$

式中： K —— 安全系数，取值参照表4.1.5；

σ —— 冻结壁应力（kPa）；

R —— 冻土的强度指标（kPa）。

表4.1.5 冻结壁的安全系数

受力类型	抗压	抗折	抗剪
安全系数	2.0	3.0	2.0

5 冻结壁应进行变形验算，最大变形量应小于试验值的50%。

4.1.6 II类、III类冻结壁参数选取应符合下列要求：

1 冻结壁平均温度应根据计算结果和冻土试验结果综合确定。当地层冻结温度低于-2℃时，平均温度应适当降低。

2 最低盐水温度应根据冻结壁设计参数进行确定，且在规定时间内冻结壁厚度及平均温度达到设计值。最低盐水温度可按表4.1.6取值，当地温高于25℃或施工温度高于30℃时，宜按最低值进行选取。

表4.1.6 最低盐水温度参考值

冻结壁平均温度/℃	最低盐水温度/℃
≥ - 8	- 25
- 8 > T ≥ - 10	- 25 ~ - 28
- 10 > T ≥ - 13	- 28 ~ - 30
< - 13	- 30

3 积极冻结期间，盐水达到最低盐水温度时间不宜晚于整个积极冻结期的2/3；

4 冻结加固体由冻土圆柱发展至彼此连接的冻结壁所占时间应不超过整个积极冻结时间的1/2。

4.1.7 有效冻结壁厚度可按下式计算：

$$E_{yj} = 2v_d t - E_{qr} \quad (4.1.7)$$

式中： E_{yj} —— 有效冻结壁厚度（mm）；
 v_d —— 冻结壁扩展速率（mm/d）；
 t —— 积极冻结时间（d）；
 E_{qr} —— 侵入开挖区域冻结壁厚度（mm）。

冻结壁厚度也可采用数值计算、图解法、经验公式法等方法进行计算。

4.1.8 冻结壁的保温应符合以下要求：

1 冻结加固区域与空气接触面应敷设保温层，保温层应与结构表面密贴，粘结牢固，保温层铺设范围应不小于设计冻结壁范围外1.0m。

2 保温层宜采用导热系数和吸水率小的保温材料。保温材料导热系数不应大于 $0.04\text{W}/(\text{m}\cdot\text{h})$ ，吸水率不应大于2%。保温层厚度不应小于30mm，宜取30mm~50mm。

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

4.1.9 对地下水流速大于5.0m/d或易溶盐含量大于15000mg/L的冻结加固区域，应考虑其对冻结效果的影响，宜通过施工前注浆改良土体、加密冻结孔数量、优化冻结孔位置和延长冻结时间等方法保证冻结效果。

4.2 冻结孔设计

4.2.1 冻结孔的布置应符合下列规定：

1 冻结孔布置应满足在规定时间内达到设计冻结壁厚度和平均温度的要求；

2 单排冻结孔不能满足冻结壁设计要求时，可布置多排冻结

孔：

3 冻结孔开孔位置误差不应大于100mm；

4 多排孔布置时，内部冻结孔间距可适当增大。

4.2.2 冻结孔允许最大偏斜值不应大于冻结孔设计长度的 1%。

4.2.3 盐水冻结系统的冻结管宜采用低碳钢无缝钢管，液氮冻结系统的冻结管宜采用不锈钢无缝钢管。

4.2.4 冻结孔深度按下式计算：

$$H = L_{sj} + L_0 + L_1 \quad (4.3.4)$$

式中： H —— 冻结孔深（mm）；

L_{sj} —— 从冻结孔孔口底到冻结壁底部设计边界的距离（mm）；

L_0 —— 不能循环盐水的冻结管端部长度（mm），不宜小于150mm；

L_1 —— 冻结管端部冻结削弱影响深度（mm），不宜小于200mm。

4.3 制冷系统设计

4.3.1 制冷系统设计包括冻结站设计、冻结机选型、液氮供应设计、冻结系统冷媒、盐水管路设计、盐水泵设计、冷却水系统设计。

4.3.2 冻结站需冷量应符合下列规定：

1 冻结管散热能力应按下式计算：

$$Q_g = qA \quad (4.3.2-1)$$

式中： Q_g —— 冻结管总散热能力 (kJ/h)；
 q —— 冻结管散热系数[kJ/(m²·h)]；
 A —— 冻结管路总表面积 (m²)。

2 保温后盐水干管散热能力按下式计算：

$$Q_p = q_p A_p \quad (4.3.2-2)$$

式中： Q_p —— 盐水干管散热能力 (kJ/h)；
 q_p —— 盐水干管散热系数[kJ/(m²·h)]，其中橡塑、聚苯乙烯保温材料的散热系数可取90~120kJ/(m²·h)；
 A_p —— 盐水干管总表面积 (m²)。

3 冻结站需冷量按下式计算：

$$Q_z = m (Q_g + Q_p) \quad (4.3.2-3)$$

式中： m —— 考虑冷量损失的安全系数，宜取1.2~1.4。

4.3.3 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℃~5℃；

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℃~7℃；

3 冷冻机型号与数量应根据冻结站需冷量、制冷剂循环系统的冷凝温度和蒸发温度确定。选定冷冻机的总制冷能力不得小于冻结站需冷量，并应设置备用机。

4.3.4 液氮供应设计应符合下列要求：

1 液氮冻结中排气口温度不宜高于-60℃；

2 液氮管路压力不宜大于0.25MPa。

4.3.5 冻结系统冷媒应符合下列规定：

1 常规地层冻结施工建议选用氯化钙水溶液，为减少腐蚀，可掺加少量氢氧化钠和重铬酸钾，氯化钙用量按下式计算：

$$G=1.2\theta_G (V_1+V_2+V_3) /\rho \quad (4.3.5)$$

式中： G —— 氯化钙用量（kg）；

θ_G —— 单位盐水体积固体氯化钙含量（kg/m³）；

ρ —— 固体氯化钙纯度，无水氯化钙取96%，晶体氯化钙取70%；

V_1 —— 冻结器中盐水体积（m³）；

V_2 —— 剩余管路内盐水体积（m³）；

V_3 —— 蒸发器和盐水箱内盐水体积（m³）。

2 对于冻土强度偏大，或工期较短，且周围环境空旷，可采用液氮作为冷媒，液氮可以采用槽车或罐装运输至工地现场，纯度要求90%以上。

4.3.6 盐水管路设计应符合下列规定：

1 供液管、干管和集、配液圈管径应根据盐水流速计算。盐水在冻结器环形空间的流速宜为0.1m/s~0.3m/s，在供液管中的流速宜为0.6m/s~1.5m/s，在干管及集、配液圈中的流速宜为1.5m/s~2.0m/s。

2 盐水干管及集、配液圈可选用低碳钢无缝钢管、聚乙烯PE管，管道耐压值应不小于管道运行压力峰值的2倍。供液管可选用钢管或聚乙烯塑料管，供液管接头必须有足够强度，应能抵抗地压、水压、冻结变形等强度的需求。

3 在盐水干管管路较长时,应安装软接头或伸缩节,间距不宜大于100m。

4.3.7 盐水泵设计应符合下列规定:

1 盐水泵总循环量不小于 W_{br} 值, W_{br} 按下式计算:

$$W_{br}=Q_z/(\Delta t_1 \cdot \gamma \cdot c) \quad (4.3.7-1)$$

式中: W_{br} —— 盐水循环总流量 (m^3/h);

Q_z —— 冻结站总需冷量 (kJ/h);

Δt_1 —— 去回路盐水温差 ($^{\circ}C$);

γ —— 盐水的密度 (kg/m^3);

c —— 盐水的比热容 $kJ/(kg \cdot ^{\circ}C)$ 。

2 盐水泵的扬程不低于 H_c , H_c 按下式计算:

$$H_c=1.15 (h_1+h_2+h_3+h_4) +h_5+h_6+h_7 \quad (4.3.7-2)$$

式中: H_c —— 盐水泵扬程 (m);

h_1 —— 盐水干管和集、配液圈中的压头损失 (m);

h_2 —— 供液管中的压头损失 (m);

h_3 —— 冻结器环形空间的压头损失 (m);

h_4 —— 盐水管路中弯头、三通、阀门等局部压头损失,取值

$$h_4=0.2 (h_1+h_2+h_3) \quad (m);$$

h_5 —— 盐水泵的压头损失 (m), 可取 $3m \sim 5m$;

h_6 —— 封闭式循环系统中回路盐水管高出盐水泵的高度(m),

宜取 $1.5m$;

h_7 —— 蒸发器内的盐水压头损失 (m)。

其中：
$$h_i = \lambda_i \cdot (L_i/d_i) \cdot [\omega_i^2 / (2g)] \quad (4.3.7-3)$$

式中： d_i —— 盐水管的直径 (m)；

L_i —— 盐水管的长度 (m)；

g —— 重力加速度，9.81m/s²；

ω_i —— 盐水流速 (m/s)；

λ_i —— 盐水流动阻力系数；

$i = 1, 2, 3$ 。

$$\lambda_i = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Rei}} \quad (\text{紊流}) \quad (4.3.7-4)$$

$$\lambda_i = 64/Rei \quad (\text{层流}) \quad (4.3.7-5)$$

$$Rei = (\omega_i d_i \gamma) / (\mu \cdot g) \quad (4.3.7-6)$$

式中： Rei —— 雷诺数；

μ —— 盐水动力黏度系数 (Pa·s)；

$i = 1, 2, 3$

3 盐水泵电动机功率 W_b 按式 (4.3.7-7) 确定：

$$W_b = 1.25 W_{br} H_c \gamma / (102 \times 3600 \times \eta_1 \cdot \eta_2) \quad (4.3.7-7)$$

式中： W_b —— 盐水泵电动机功率 (kJ/h)；

η_1 —— 盐水泵的效率，一般取0.75；

η_2 —— 电动机的效率，一般取0.85。

4.3.8 冷却水系统应符合下列规定：

1 冻结站总需水量按下式计算：

$$W = W_1 + W_2 \quad (4.3.8-1)$$

式中： W —— 冻结站总需水量（kJ/h）；

W_1 —— 冷凝器冷却水需水量（kJ/h）；

W_2 —— 冷冻机冷却水需水量（kJ/h）。

2 壳管式冷凝器冷却水需水量计算公式如下：

$$W_1 = Q'_z / (1000 \cdot \Delta t_2) \quad (4.3.8-2)$$

式中： Q'_z —— 冻结站总制冷量（kJ/h）；

Δt_2 —— 冷凝器进出水温差（℃），一般取3℃~5℃。

3 采用冷却塔时需水量按下式计算：

$$W_2 = W_r \cdot \Delta t_3 / 600 + W_3 + W_4 \quad (4.3.8-3)$$

式中： W_r —— 冷却塔循环水量（m³/h）；

Δt_3 —— 冷却塔进出水温差（℃）；

W_3 —— 冷却塔的飞溅损失水量（m³/h），取0.01 W_r ~0.02 W_r ；

W_4 —— 其他排放水量（m³/h）。

4 冷却液宜采用不易结垢冷却水，水温不宜高于28℃；

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~40m，并应配置满足设计能力的备用泵。

5 冻结施工

5.1 冻结孔

5.1.1 冻结孔的开孔位置、偏斜值、孔间距及深度应满足设计要求。

5.1.2 冻结孔垂直成孔宜先钻孔后下冻结管，水平或倾斜孔宜选用跟管、夯管钻进等方法。邻近有重要建筑物或管线、对地层沉降有特殊控制要求时，可采用保压钻进。

5.1.3 松散的地表土体中施工垂直冻结孔或隧道管片、围护结构上施工水平冻结孔时，应下入孔口管。

5.1.4 孔口管安装应符合下列规定：

1 孔口管宜采用低碳钢无缝钢管，自带法兰，内径宜大于冻结管外径10mm~20mm，管壁厚度5mm~7mm，管的一端加工长度不小于200mm 格林接头，另一端接带旁通阀的孔口装置；

2 在隧道钢管片上应采用焊接方式固定孔口管，焊缝高度不得小于孔口管壁厚；

3 混凝土管片上安装孔口管时，应先用直径大于孔口管管径2mm~4mm 的取芯钻机钻进（至少留50mm 不打透管片），插入缠有麻丝等防渗漏材料的孔口管，插入深度不宜小于200mm；在同一平面位置上，采用不少于3个且直径大于12mm 的膨胀螺栓将孔口管与隧道管片固定；

4 在内衬墙、地连墙等围护结构上安装孔口管，孔口管埋设后距离穿透围护结构的长度不应小于100mm；

5 垂直孔口管埋设深度以泥浆不渗漏、孔壁不坍塌为宜。

5.1.5 水平或倾斜孔跟管钻进或夯进冻结管时，孔口管密封装置与

冻结管之间应有填料充填。

5.1.6 冻结孔开孔位置误差不大于 100mm，开孔间距误差不大于 150mm，隧道及联络通道开孔位置应避免管片接缝，且避开混凝土管片主肋和钢管片肋板处。

5.1.7 施工水平或倾斜孔应在孔口管上安装密封装置后，再用钻机钻透管片（或结构墙体），跟管钻进或夯管钻进时，孔口装置应不漏水、漏泥，采用湿法钻进时，循环液应从孔口管旁通阀流出，并控制排出土体体积不大于冻结孔体积。

5.1.8 钻进施工冻结孔时，在黏土或淤泥等自造浆地层中可采用清水钻进，在砂砾、流砂或粉土层中应采用泥浆护壁钻进，并根据地层情况调整泥浆配比。

5.1.9 当采用排土法施工冻结孔时，如出现塌孔、串孔或扩孔等情况时，应立即用单液水泥浆或水泥-水玻璃双液浆进行注浆补偿，注入量不应小于流出量的 1.5 倍。

5.1.10 垂直冻结孔施工应符合下列规定：

1 钻机基础稳固、水平，天轮、提引器、孔中应处于同一垂线上；

2 视冻结土体范围进行取芯验证，检查地质、水文地质情况，根据实际情况优化冻结孔施工工艺；

3 钻进过程中应按设计要求测斜并及时纠偏；

4 钻孔纠偏可采用螺杆钻、扫孔、扩孔、铲孔、垫塔及移位法。

5.1.11 水平孔或倾斜孔施工应满足下列要求：

1 应根据实际开孔位置调整冻结孔开孔方位，以减小冻结孔的偏斜值；

2 冻结孔宜采取间隔成孔的施工顺序；

3 准确定出开孔孔位、方向，并在开孔两侧布点，采用拉线方法校核，控制冻结孔方向；

4 隧道及联络通道应先施工透孔，验证隧道管片上预留洞口的相对位置，当两预留洞口相对位置偏差大于100mm时应修正冻结孔设计方位；

5 试成孔时，应复核工程地质、水文地质情况，根据施工情况优化冻结孔施工工艺；

6 应确保冻结管质量，确认连接顺直后方可使用；

7 在钻进或下管过程中应反复检查钻杆或冻结管方位与倾角，确保冻结管方位与倾角满足设计要求；

8 对于深度较大的冻结孔，开孔段宜预设 $0.5^{\circ}\sim 1.0^{\circ}$ 的上倾角；

9 发现偏斜超出设计要求应及时纠偏。

5.1.12 全部冻结孔成孔后，根据测斜数据绘制重点层位、喇叭口、集水井等关键部位的成孔偏斜图。

5.2 冻 结 器

5.2.1 冻结管应符合下列规定：

1 冻结管应采用低碳钢无缝钢管，管径宜选用 $\phi 89\text{mm}\sim \phi 127\text{mm}$ ，管壁厚度不宜小于5mm；

2 冻结管接头可采用螺纹连接、内衬或外套箍连接，接头强度不宜小于母管强度的80%，跟管钻进时宜采用螺纹连接，并用焊接补强、密封接头缝，夯管时宜采用带衬管的对焊接头；

3 当需要拔管或预计冻结壁变形大，可能引起冻结管断裂时，宜采用内衬箍对焊连接；

4 内衬箍、外套箍及螺纹接头的材质应与冻结管一致，管端应

留坡口，选用焊条应与管材材质匹配，焊缝饱满，焊接后宜冷却5min~10min后下入地层：

5 冻结管下入地层深度不应小于设计深度，每根管材应有长度及顺序编号记录，冻结管管口露出地面或孔口管长度不应小于100mm；

6 冻结管连接应顺直，不得有明显弯曲；

7 冻结管四周不得漏水、漏浆或有空隙，否则宜采用注浆、回填等方法充实，冻结管内不应有杂物；

8 冻结管下入地层后必须进行试压，水平或倾斜孔试验压力应为冻结工作面盐水压力的1.5倍~2倍，垂直孔为全冻结管的盐水柱与管外清水柱的压力差及盐水泵工作压力之和的2倍，经试压30min压力下降不超过0.05MPa，再延续15min压力保持不变为合格；

9 试压不合格的冻结管必须进行处理，达到密封要求后再使用；

10 向上倾斜冻结漏管不得采用穿入小直径冻结管的方式处理。

5.2.2 供液管应符合下列规定：

1 供液管可采用聚乙烯 PE 管或钢管，供液管管径与壁厚可按表5.2.2选用；

2 供液管内径和冻结管与供液管间间隙应满足盐水流量、流速的要求；

3 供液管下入冻结管时应连接牢固、严密，管端应留有断面不小于供液管断面积的过水通道；

4 垂直孔使用聚乙烯供液管时下部应配有底锥，保证供液管下放至冻结管底部。

表5.2.2 供液管管径与壁厚

供液管品种 \ 冻结孔类型	垂直孔		水平孔	
	外径/mm	壁厚/mm	外径/mm	壁厚/mm
钢管	≥50	≥3	≥8	≥3
聚乙烯增强塑料管	≥50	≥4	≥40	≥5

5.2.3 冻结器头部进、回液口宜焊接带格林接头的短钢管，用高压胶管与集配液圈相连，格林接头短管与冻结管应焊接牢固。冻结器分组与集配液圈连接时，各组长度宜相近、间隔连接。

5.3 冻结站

5.3.1 冻结站位置应符合下列规定：

1 冻结站厂房可利用拟冻结区域附近的永久建（构）筑物，其位置应不影响建（构）筑物后续施工；

2 冻结站厂房防火要求应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016的相关规定；

3 冻结站应通风良好，通风条件不能满足设备降温需求时应设通风装置，备有急救和消防器材；

4 冻结站在地面时，制冷系统应避免阳光直射，在地下隧道内时，应加强通风，必要时可安装轴流风机强制通风；

5 在城市、村镇附近等人口较多区域施工，冻结站应选用氟利昂制冷系统，在人口稀少、制冷量较大的空旷区域可使用氨制冷系统。

5.3.2 冻结站安装应符合下列规定：

1 冻结站制冷设备、盐水泵、冷却水泵及管路系统的安装应符合国家、行业相关规范、标准；

2 冻结站所用设备、压力容器及管道阀门应清洗干净，压力试验合格，安全阀、液面指示器在安装前应进行灵敏性试验；

3 在冷却水源水质不符合冷却塔（或冷凝器）等设备的使用要求时，应安设水质处理装置，提高冷却效果；

4 冻结站盐水系统管路宜采用低碳钢无缝钢管或耐低温、高强度塑料管，弯头、法兰盘应耐低温、耐高压；

5 冻结管宜采用串、并联方式分组与配集液圈连接，每组串联长度应基本一致，且数量适中；

6 冻结器与配集液圈之间宜用低温工况下耐压强度不低于1MPa的软管连接，各组冻结器回路管路上宜安装测温探点；

7 盐水系统最高部位应设置排气阀，盐水箱应安装可视液位及声光报警装置，干管去回路及每组冻结器去回路应安装阀门，干管应加装流量计；

8 管路上的测温孔插管位置、尺寸应符合相关规范及设计要求；

9 盐水管路系统必须进行压力试验，试验压力不得小于冻结工作面盐水压力的1.5倍~2倍且不低于0.7MPa，并持续稳压1h为合格；

10 冻结站制冷系统在充注制冷剂前，必须进行压力试验及气密性试验；氨循环系统试验压力应符合表5.3.2的规定或设备说明书要求；

表5.3.2 氨循环系统试验压力

部位	高压系统	中压系统	低压系统
试验压力/MPa	1.6~1.8	1.2~1.4	1.2

注：氟利昂系统按机组说明进行压力试验及气密性试验。

11 冻结站系统管路密闭性试验合格后，按设计要求对管路刷漆或进行保温处理。

5.3.3 冻结站运转条件应符合下列规定：

1 冻结站运转前，对各循环系统进行试运转，达到设计要求后正式运转；

2 补充水水量、水温及水质应达到设计要求，冷却水循环系统运转正常；

3 冷媒剂运转正常，浓度、流量达到设计要求，冷媒剂循环系统运转正常，系统内空气放净，无杂物堵塞；

4 冷却水、冷媒剂系统试运转正常后可充制冷剂，在正式充制冷剂前应进行试充，系统压力控制在 $0.2\text{MPa}\sim 0.3\text{MPa}$ ，用专用仪器检漏合格后正式充制冷剂；

5 冻结站配电系统应能连续正常供电，供电功率应能满足冻结生产需要；

6 冷却水流量、水质、温度满足要求，制冷剂、冷媒剂、冷却水系统试运转合格，站内安全设施、监测设备完成。

5.3.4 冻结站正常运转应符合下列条件：

1 制冷剂、冷媒剂、冷却水循环系统运转正常，冷媒剂温度逐渐下降并满足设计要求，各冻结器回液温度数据正常，且基本一致，冻结器头部、连接胶管结霜均匀一致；

2 制冷剂冷凝压力、蒸发压力与冷却水温度、冷媒剂温度相对应；

3 冷媒剂温度应高于制冷剂蒸发温度 $5^{\circ}\text{C}\sim 7^{\circ}\text{C}$ ，冷凝温度高于冷却水出水温度 $3^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ ；

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

5 盐水去回路温差满足设计要求。

5.3.5 冻结站的运转期间应填写运转日志，运转日志应包括下列内

容，格式可参考本标准附录 A：

1 冷冻机及辅助设备中的温度、压力、流量、液位、电流、电压等运转参数，每次制冷剂及冷冻润滑油加油量的记录；

2 冷媒泵运行日志，应记录电压、电流、压力、流量、温度等数据；

3 冷媒剂循环系统运转日志应记录流量、温度、单孔冷媒剂温度等数据；

4 冷却水循环系统运转日志，应包括进出水温度和流量、补充水的流量和温度、水泵电流和电压等数据。

5.4 停止冻结

5.4.1 积极冻结期间发生短暂停止冻结，应适当延长积极冻结时间，延长不少于 1.5 倍的积极冻结时间。

5.4.2 在开挖期间不得停止冻结。视工程进展情况可对送冷量适当调节，调节前应对冻结壁的整体稳定性进行综合评价，并制定相应技术措施。

5.4.3 地下构筑物主体结构完成且结构体强度达到 80%后，可停止冻结，拆除制冷设备及相应配套装置。

5.5 冻结壁检测与判断

5.5.1 冻结壁的检测可通过测温孔检测冻结壁的温度、泄压孔检测地层压力来完成。冻结壁冻结完成可通过水位、涌水量、冻结站运转、探孔观测结果等方面来进行判别。

5.5.2 测温孔布置应符合下列规定：

1 应设置测温孔监测地层温度，计算冻结壁厚度、冻结壁平均温度；

2 测温孔宜布置在冻结孔间距较大的冻结壁界面上或预冻结薄弱处；

3 检测冻结壁厚度的测温孔不得少于2个，检测冻结壁平均温度的测温孔不得少于4个；在冻结壁内、外设计边界上均应布置测温孔，深度不应小于2000mm；

4 测温孔内应安装测温管，管材宜采用钢管，不应渗漏；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 应满足判断冻结壁质量的要求；

2 应在冻结壁与地下工程界面布置温度测点，测点深入地下工程界面不得大于50mm；

3 应能满足冻结、开挖构筑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，测量精度应达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

5.5.5 测温管内安装测温电缆和测温元件后，管口应进行密封和保护。

5.5.6 在冻结前应测量原始地温。从开始冻结至开挖，所有温度测点每隔12h~24h观测不应少于1次；在开挖和结构施工期间，所有测点每隔4h~12h观测不应少于1次。

5.5.7 在冻结壁解冻期间，应检测冻结壁温度回升情况。

5.5.8 泄压孔应符合下列规定：

1 在与水平冻结结构物界面上或垂直冻结地下水位高于地平时应布置泄压孔，泄压孔个数不宜少于2个；

2 泄压孔应布置在开挖区非冻土内，深入地层0.3m；

3 泄压孔孔径不宜小于38mm；应安装压力表和控制阀门，压力表的精度应达到 $\pm 0.02\text{MPa}$ ；泄压孔应保持畅通；

4 在冻结站运转前，必须检测地层初始压力；对比分析泄压孔附近地层的水文勘察资料，若发现异常，必须查明原因并及时进行处理；

5 每隔12h~24h观测1次地层压力；压力开始上涨后，应对泄压孔压力进行实时监测；所有观测应有原始记录，并有观测者签字；

6 泄压孔压力上涨超过初始压力0.2MPa时应放水泄压；

7 开挖前，泄压孔压力应上涨超过7d，打开泄压孔24h以上水平冻结无持续泥水流出，垂直冻结涌水量正常；若泄压孔在积极冻结期无压力上升，应分析原因，并补打探孔，以判定冻结壁交圈情况。

5.5.9 对冻结器供冷发生异常或冻结效果难以确定的部位应施工探孔查看冻结效果。

5.5.10 开挖过程中，应检测开挖边界冻土温度和冻结壁的收敛情况，每步开挖检测均不应少于1次。

5.5.11 地下水位观测孔应符合下列规定：

1 垂直孔冻结中，若地下水水位在地面以下时可设置水位观测孔，监测主要地下含水层冻结壁交圈情况；

2 冻结运转前应实测原始静止水位，且与勘察报告、附近水井的水位比较；

3 交圈前每天观测水位一次，水位变化后宜加密观测次数；

4 试挖应在水位观测孔内水位有规律上升并溢出管口7d，且水量稳定后进行。

5.5.12 冻结壁冻结完成判断：

1 地下水位观测孔连续有规律上水7d, 且涌水量稳定。泄压孔超过初始水压0.1MPa 以上, 打开泄压孔无持续水流流出, 压力有规律上涨7d 以上。

2 冻结站运转正常, 盐水温度、流量等指标满足设计要求, 冻结壁强度、厚度达到设计要求。

3 在入口未冻结区内开设直径80mm~120mm 的探孔, 深度不小于500mm, 持续24h 以上孔内无泥水连续流出。

6 开挖、支护及回填

6.1 一般规定

6.1.1 在冻结壁强度达到设计要求，且开挖准备工作验收合格后可转入开挖工序。

6.1.2 基坑在冬、雨季施工时，应编制专项方案。

6.1.3 基坑开挖前，应根据冻结法施工特点、基础设计深度、地质条件、气候条件、周围环境、施工工期和地面附加荷载等有关资料，进行基坑开挖方案设计。

6.1.4 基坑开挖方案应包括以下内容：冻结壁保温隔热措施、开挖时间、土方开挖顺序、坡道位置、设定车辆行走路线、开挖监测方案以及对周边环境需采取的保护措施等。正式开挖前应进行试挖。

6.1.5 应缩短分段长度，加快支护与结构施工进度，控制冻结壁温度升高和变形，减小施工风险。

6.2 开挖准备及试挖

6.2.1 试挖前应具备下列资料：

- 1 场地的工程地质勘察报告；
- 2 冻结壁形成特性分析资料，内容应包括冻结孔和观测孔资料，冻结站运行情况，盐水温度变化，冻结器盐水流量，冻结壁厚度、平均温度和冻结壁周围温度分布，以及重要部位的冻结壁剖面图等；
- 3 工程监测阶段报告；

- 4 经会审的冻结壁结构施工图；
- 5 拟施工地下工程的相关设计文件；
- 6 经审批的施工组织设计、安全技术措施及应急预案等。

6.2.2 试挖前应完成以下准备工作：

- 1 应完成开挖平台或运输道路施工；
- 2 安装支撑结构和防护装置；
- 3 准备施工材料和施工机具；
- 4 水、电供应满足施工需要；
- 5 环境监测设施布置完成；
- 6 应急材料、设备准备就绪；
- 7 通信系统、视频监测系统完成；
- 8 经相关单位审批的专项措施。

6.2.3 试挖应同时具备以下条件：

1 水文孔连续有规律上水7d，且涌水量稳定。泄压孔超过初始水压0.1MPa 以上，打开泄压孔无持续水流流出，压力有规律上涨7d 以上。

2 冻结站运转正常，盐水温度、流量等指标满足设计要求，冻结壁强度、厚度达到设计要求。

3 在入口未冻结区内开设直径80mm~120mm 的探孔，深度不小于500mm，若孔内持续24h 以上无泥水流出，则为具备试挖条件之一。

4 冻结分析报告经专家论证通过，相关单位批复确认。

5 试挖所需技术资料、材料、设备、人员到位。

6.2.4 试挖可采用以下方法：

1 隧道及联络通道试挖可在未冻结开挖区中部开400mm×400mm

的试挖窗，向深部试挖400mm~600mm，若土体干燥、不坍塌，或者试挖800mm~1000mm，持续24h以上无泥水流出，则可判定具备正式开挖条件，否则应立即封闭，回填试挖窗口继续积极冻结，直至满足开挖条件；

2 基坑及竖井试挖可在基坑水流上方冻结壁薄弱部位开挖一探坑，深度至水位以下1m~2m，如随着向下挖掘地下水连续下降，且稳定时间不少于7d，则可判定具备正式开挖条件。

6.3 开 挖

6.3.1 正式开挖应具备下列条件：

- 1 冻结壁厚度、平均温度、保温隔热措施等检验合格；
- 2 积极冻结时间、盐水温度、盐水流量等冻结运转参数达到设计值，冷冻机等机电设备完好，冻结系统转入维护冻结期；
- 3 开挖前由建设单位项目负责人组织总监理工程师、施工单位及相关专业设计负责人进行质量验收且验收合格，应急材料及相关设施应验收合格；
- 4 应急预案已落实并按规定通过验收；
- 5 开挖相关准备工作已就绪；
- 6 编制开挖条件分析报告并经专家论证通过，相关单位批复确认。

6.3.2 隧道及联络通道开挖宜采取短段掘砌的作业方法，随挖随支，并保证冻结壁强度、厚度要求，应符合下列具体要求：

- 1 先施工隧道或联络通道，后施工集水井。
- 2 开挖顺序：洞口开挖→通道挖掘和初期支护→喇叭口开挖（刷大）和初期支护→隧道钢管片拆除（混凝土管片加固处理）→

外防水层施工→钢筋绑扎、预埋件安设和立模→混凝土浇筑→集水井施工（挖掘和初期支护→外防水层施工→钢筋绑扎、预埋件安设和立模→混凝土浇筑）。

3 防火门和集水井盖安装，根据设计要求施工防水层或抹面；

4 联络通道初级支护可采用型钢（或钢格栅）支架+钢筋网+木背板+喷射混凝土+砂浆充填层组成的结构形式。

5 钢支架可采用18号~22号工字钢（格栅支架按设计要求）制作，规格严格按设计要求执行。

6 喷射混凝土强度可采用C15~C20混凝土，厚度与支架一致。木背板厚度可取30mm~50mm，充填可采用中细砂或水泥砂浆，厚度宜采用30mm。

7 初期支护应能承受20%~30%的冻结壁荷载。当出现以下情况之一时，初期支护宜按承受50%冻结壁荷载设计：

- 1) 通道位置为砂土等易坍塌土层；
- 2) 通道长度大于15m 或开挖时间大于15d。
- 3) 通道开挖区域附近3m 内存在对变形控制有特殊要求的重要建（构）筑物。

8 开挖方式可采用全断面或台阶法。

9 掘进段长度宜取500mm~800mm，与钢支架（格栅支架）间距一致。

6.3.3 基坑及竖井开挖分为有支撑开挖和无支撑开挖，开挖方式应根据地层条件、开挖断面和深度，施工方法、周围环境条件等综合确定。

1 在地层条件较好、开挖较浅、断面较小、周围环境对变形要求不严格、经计算冻结壁满足开挖要求时，可采取无支撑开挖方式，

采用一次开挖到底或竖向分层开挖的方式；

2 采用顺作法有支撑的基坑宜采用分层开挖的方式，分层深度宜与竖向支撑的间距一致；

3 采用逆作法有支撑的基坑宜采用分层开挖的方式，分层深度应按永久结构分层间距、施工方式确定；

4 土方开挖在平面上应按“对称、平衡、限时支撑”的原则确定开挖顺序，分块、分段开挖。

6.3.4 基坑开挖应遵循“分层、分段、均衡、适时”的原则，开挖循环进尺应与初期支护分段长度一致。单侧超挖不得大于 50mm。

6.3.5 基坑周边荷载严禁超过设计允许值。对基坑边界周围地面、槽底应采取有效的截排水措施，渗漏水应及时排出。

6.3.6 土方开挖过程中，应按规定频次对基坑整个支护体系进行动态监测并及时反馈信息。发现异常应立即停止挖土，采取相应的措施。

6.3.7 应根据天气变化及时调整开挖方案，采取必要的安全环境保护措施。

6.3.8 土方开挖过程中，应对平面控制桩、水准点、基坑平面位置、水平标高等进行经常性的复测检查。

6.3.9 开挖应对工程桩和槽底进行防护，禁止扰动基底原状土。采用机械开挖土方时，基底应预留 150mm~300mm 厚的土层采用人工开挖。

6.3.10 开挖完成后，应及时清底验槽，减少地基土暴露时间。

6.3.11 基坑验槽后，应及时进行坑底封闭，并采取防止水浸、暴露和扰动基底原状土的措施。

6.4 初期支护

- 6.4.1** 初期支护应采取保温措施，保温材料应不开裂、不脱落。
- 6.4.2** 开挖过程中，对冻结壁暴露面及时采取保温措施，暴露时间宜控制在 1h 内。
- 6.4.3** 当冻结壁暴露面平整时，采用厚度 50mm 的聚苯乙烯板（EPS）+钢筋格栅+钢筋网+喷射混凝土组合结构。当冻结壁暴露面不平整或外形复杂时，采用钢筋格栅+钢筋网+喷射 EPS 泡沫+喷射混凝土组合结构。
- 6.4.4** 联络通道初期支护的钢筋格栅或型钢支架间距应取 500mm~800mm。
- 6.4.5** 钢筋格栅及钢筋网加工、安装及喷射混凝土应满足现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 的要求。
- 6.4.6** 基坑及竖井工程开挖区域有地下水的应先进行降水，降水后基坑内的水位应低于坑底 0.5m 且持续 24h 水位无变化后方可开挖。
- 6.4.7** 基坑及竖井开挖过程若围护结构侵线必须凿除时，应保证冻结壁不因基坑变形出现自身变形超标。
- 6.4.8** 基坑及竖井开挖至结构施工前冻结壁的暴露时间不宜超过 12h，且应对暴露面温度进行监测。

6.5 支撑与防护

6.5.1 隧道及联络通道内支撑与防护，应按设计要求安装支撑，并应符合以下规定：

- 1 每个洞口两侧各设不少于2榀隧道支撑，每榀支撑设7个~8

个支撑点，均匀分布，每个支撑点提供最大500kN 支撑力；

2 支撑中上部的1个~5个支撑点安装最大顶力500kN 的千斤顶调整支撑力；

3 支撑位置偏离管片环缝处截面不宜大于20mm；

4 安装好隧道支撑后顶实千斤顶，每个千斤顶顶力不大于100kN，且顶力均匀；

5 根据实测收敛变形调整各千斤顶顶力，收敛值大的部位顶力大，当收敛值达到预警值10mm 时，千斤顶值达到最大值500kN；

6 当千斤顶读数达到最大值后，隧道仍继续收敛，应对隧道支撑结构采取加强措施；

7 联络通道洞口及集水井井口处于含水层中时，应安装防护门或盖板，防护门应开关灵活，并安装压风管、排水管、注浆管及控制阀门。防护门结构设计及安装应符合相关规范要求。

6.5.2 基坑及竖井支撑与防护应符合如下规定：

1 支护应按结构设计要求确定支撑体系，遵循“先撑后挖、限时支撑、分层开挖、严禁超挖”的原则；

2 对开挖断面较小，挖掘深度较浅，冻结壁厚度、强度满足挖掘安全需要时，经论证后可不设支撑体系；

3 采用钢筋混凝土支撑体系时应首先进行施工分区和流程划分，分区宜结合土方开挖方案，严格按施工组织设计要求实施；

4 钢支撑按流程可分为测量定位、起吊、安装、施加预应力及拆除等阶段，在活络站顶压位置放入千斤顶，施加预应力；

5 开挖后宜在冻结壁表面覆盖保温板。

6.6 回填和注浆

6.6.1 基础结构构筑完成并停止冻结后，应及时对施工肥槽进行回填；在空间狭窄不宜回填的位置进行注浆。

6.6.2 回填时应采用分层夯实，并应满足设计密实度的要求，回填土不得用腐殖土、冻土。

6.6.3 注浆包括充填注浆和地层融沉补偿注浆：

1 充填注浆管应在初期支护施工时预埋。注浆孔宜 $2\text{m}^2\sim 4\text{m}^2$ 布设一个。

2 充填注浆应在结构构筑完成后，停止冻结一周内实施。

3 冻结壁融沉补偿注浆参数和浆液用量应根据地层沉降控制要求和监测情况确定。地层沉降大于 0.5mm/d 或累计地层沉降大于 3mm 时，应进行融沉补偿注浆。

4 注浆应遵循少量、多次、多点、均匀的原则。

5 冻结壁已全部融化，且实测地层相对周边非冻区每半月沉降不大于 0.5mm 时，可停止融沉补偿注浆。

6 注浆过程中应填写注浆记录表与质量抽检报告。

6.7 结构施工

6.7.1 隧道及联络通道结构施工应符合如下规定：

1 结构施工应按照设计和有关施工标准施工；

2 应根据混凝土二次倒运、施工工序确定混凝土初凝时间；

3 通道主体结构混凝土强度达到60%以上方可开挖集水井；

4 施工中应考虑环境温度较低可能对混凝土强度增长的影响；

5 停止冻结并完成冻结孔封孔后应进行衬砌后充填注浆和地

层融沉注浆：

6 注浆管宜在结构施工时预埋，预埋深度以穿过结构厚度为宜，注浆管宜 $2\text{m}^2\sim 4\text{m}^2$ 布置一个；

7 停止冻结 $3\text{d}\sim 7\text{d}$ 内进行衬砌后注浆，注浆时混凝土强度应达到设计强度的60%以上；

8 注浆液可采用水灰比 $1:0.8\sim 1:1$ 的单液水泥浆，按由下向上顺序注浆，在下一层孔注浆时，上一层孔返浆后停止注浆，依次注浆至拱顶；

9 通道部位注浆压力不得大于静水压力，集水井部位注浆压力不得大于 0.1MPa ；

10 沉降速率大于 0.5mm/d 或累计地层沉降 3mm 时应进行融沉补偿注浆，地层隆起达到 3mm 时应停止注浆；

11 注浆液以水泥-水玻璃浆液为主，注浆范围为整个冻结区域，注浆压力不大于原始地压 0.5MPa ，且小于结构承受压力；

12 融沉注浆时可对冻结壁强制解冻，解冻时应加强对周围环境的监控，解冻方式可采用在冻结器中循环热水或高温蒸汽等方式。

6.7.2 基坑及竖井结构施工应符合下列要求：

1 按情况设置钢（混凝土）支撑，按开挖方式及地下结构形式确定开挖方法及分层厚度，按结构设计要求进行混凝土结构及防水层施工。

2 冻结壁与结构体之间应设隔温层。

7 冻结工程收尾

7.1 质量控制与验收

7.1.1 隧道及联络通道开挖质量控制与验收应符合下列规定：

- 1 开挖断面尺寸满足设计要求，单侧超挖不大于30mm；
- 2 最大空帮距不宜大于掘进段长600mm，在重要建（构）筑物下应减小空帮距；
- 3 冻结壁暴露时间不宜大于1h；暴露面最大收敛值位移不大于20mm；
- 4 通道开挖中心偏差应不大于20mm；
- 5 型钢（格栅）支架制作应符合钢结构施工相关质量验收标准要求，垂直度偏差不大于20mm，标高、支架轴线偏差不大于20mm，相邻支架间距偏差不大于30mm，两端水平高差不大于20mm，相邻支架间用拉杆连接牢固；
- 6 木背板厚度误差应不大于5mm，背板间间隙不大于10mm，背板搭接钢支撑长度应不大于30mm，木背板后充填密实；
- 7 喷射混凝土厚度符合设计要求，厚度误差不大于10mm；
- 8 隧道支架、防护门质量符合设计要求和相关规范标准。

7.1.2 基坑及竖井开挖质量控制与验收应符合如下规定：

- 1 开挖前应对冻结壁厚度、强度指标进行分析，对支撑方式进行论证；
- 2 基坑两侧10m 范围内不得堆土，且堆土点不得位于建（构）筑物、地下管线处；
- 3 开挖必须自上而下分层、分段依次开挖，开挖接近基底

200mm 时，应配合人工清底，不得超挖或扰动基底土；

4 基底应平整、压实，允许高程偏差 $+10\text{mm}\sim-20\text{mm}$ ，平整度偏差不大于20mm，且1.0m 范围内不得多于1处；

5 坑边缘距冻结壁距离不小于1m；

6 基底发现异物、淤泥、松软质土及软硬不均质土，或出现超挖、扰动、受冻、水浸现象时，应做好记录，并制定处理方案。

7.2 冻结设备拆除

7.2.1 拆除前应制定安全技术方案，并由项目部技术负责人对操作人员交底。

7.2.2 停机后，宜对冷媒剂（如 CaCl_2 ）、制冷剂（如氨、氟利昂）冷冻油进行回收。

7.2.3 宜按电缆→管路→支架设备的顺序拆除，设备、容器应清洗、防腐后入库。

7.3 冻结管充填

7.3.1 冻结孔停止冻结后应尽快割除隧道管片上的孔口管和冻结管。

7.3.2 混凝土管片上割除孔口管或冻结管深度应进入管片不小于60mm。

7.3.3 对地面冻结管起拔时，应采用水泥砂浆对冻结孔进行充填。

7.3.4 冻结管宜在冻结壁融化前进行充填。

7.3.5 对遗留在地层的冻结管进行充填，充填前宜将供液管回收，将管内盐水排放至指定位置。

7.3.6 冻结管充填可使用单液水泥浆或水泥砂浆，充填长度应不小

于管口以内 1.5m。

7.3.7 混凝土管片上割除孔口管（或冻结管留下的孔口）应用速凝堵漏剂封堵，并预埋注浆管进行注浆堵漏。并在孔内打膨胀螺钉，防止冻结管向管片位移。

7.3.8 钢管片上的孔口应焊接不小于 12mm 厚的钢板，并按设计要求用混凝土填满管片格仓。

7.3.9 冻结管充填和封孔应有原始记录。

8 监 测

8.1 环境 监测

8.1.1 应对基坑边缘以外 1 倍~3 倍开挖深度范围内的建（构）筑物、地下管线和地下构筑物进行监测，必要时应扩大监控范围。

8.1.2 位于重要保护对象（地铁、上游引水、河流等）安全保护区范围内的监测点的布置，应满足相关部门的技术要求。

8.1.3 应由具有相应资质的单位进行监测，并编制监测方案。

8.1.4 周边环境等级划分应符合表 8.1.4 的要求。

表8.1.4 周边环境等级

周边环境等级	周边环境条件
特级	离基坑开挖边线 $1H$ 范围内存在轨道交通、共同沟、大直径煤气(天然气)管道(直径 $\geq 0.7\text{m}$)、大型压力总水管、高压铁塔、历史文物、近代优秀建筑等重要建(构)筑物或设施
一级	离基坑开挖边线 $1H$ 范围内存在重要支线、水管、大型建(构)筑物或设施等； 离基坑开挖边线 $1H\sim 2H$ 范围内存在轨道交通、共同沟、大直径煤气(天然气)管道、大型压力总水管、高压铁塔、历史文物、近代优秀建筑等重要建(构)筑物或设施
二级	离基坑开挖边线 $2H$ 范围内存在重要支线、水管、大型建(构)筑物或设施等
三级	离基坑开挖边线 $2H$ 范围以外存在需要保护管线和建(构)筑物及设施等

注：1 H 为开挖深度（m）。

2 高压铁塔、历史文物、近代优秀建筑的划分应符合相关管理部门的规定。

8.1.5 基坑及竖井周边环境监测项目应按表 8.1.5 执行。

表8.1.5 周边环境监测项目

序号	施工阶段	土方开挖前			基坑开挖阶段		
	工程环境保护等级 监测项目	一级	二级	三级	一级	二级	三级
1	基坑外地下水水位	√	√	√	√	√	√
2	孔隙水压力	○	-	-	○	○	-
3	坑外土体深层侧向变形(测斜)	√	○	-	√	○	-
4	坑外土体分层竖向位移	○	-	-	○	○	-
5	地表竖向位移	√	√	○	√	√	√
6	外侧地表裂缝(如有)	√	√	√	√	√	√
7	邻近建(构)筑物水平及竖向位移	√	√	√	√	√	√
8	邻近建(构)筑物倾斜	√	√	○	√	○	○
9	邻近建(构)筑物裂缝(如有)	√	√	√	√	√	√
10	邻近地下管线水平及竖向位移	√	√	√	√	√	√
11	冻结壁温度	√	√	√	√	√	√

注：1 √应测项目；○选测项目（视监测工程具体情况和相关单位要求确定）；

2 土方开挖前是指基坑支护结构体施工、预降水阶段。

8.1.6 监测点布置及监测方法等应符合现行国家规范、标准的要求。

8.1.7 基坑工程施工开始前应进行周边环境的监测工作，并建立初始记录。

8.1.8 监测频率及预警值应符合下列要求：

1 监测频率应能准确反映支护结构、周边环境的动态变化，宜定时监测，周边环境或支护结构对某一施工工况反应敏感时应进行跟踪监测。

2 各监测项目监测频率应根据施工工况按表8.1.8-1确定，并应

满足设计要求，当监测项目的变化速率较大、监测值达到或接近预警值或遇到不良天气状况时，应适当加密。

表8.1.8-1 监测频率

监测项目分类	施工工况 土方开挖前	从开始开挖到 结构底板浇筑 完成后3d	结构底板浇筑完成后3d到地下结 构施工完成	
			各道支撑开始 拆除到 拆除完成后3d	一般情况
应测项目	影响明显时1次/d，不明显时1次/周~2次/周	1次/d	1次/d	2次/周~3次/周
选测项目	1次/周	2次/周~3次/周	2次/周~3次/周	1次/周

3 监测预警值应由变化速率与累计变化值控制。周边环境监测项目的预警值应根据基坑周边环境对附加变形的承受能力确定。

4 无明确要求时，围护墙侧向最大位移、地面最大沉降、地下水水位变化可按表 8.1.8-2 执行。

表8.1.8-2 根据基坑及竖井工程环境保护等级确定预警值

监测项目	工程环境 保护等级		一级		二级		三级	
	变化 速率 (mm/d)	累计量 (mm)	变化 速率 (mm/d)	累计量 (mm)	变化 速率 (mm/d)	累计量 (mm)	变化 速率 (mm/d)	累计量 (mm)
围护墙侧向最大位移	2~3	0.18%H	3~5	0.3%H	5	0.7%H		
地面最大沉降		0.15%H		0.25%H		0.55%H		
地下水水位变化	变化速率(mm/d)：300，累计量(mm)：1000							

注：1 H为开挖深度(m)；

2 预警值可按基坑各边情况分别确定；

3 当同一监测项目按以上规定取值不同时，取较小值。

5 轨道交通设施、隧道、城市生命线工程、优秀历史建筑、有特殊使用要求的仪器设备厂房、市政管线等，应按相关管理部门的要求确定。

6 冻结法支护冻结壁径向位移每天应不大于2mm，并按土层性质、开挖断面规模合理确定开挖段高。

8.1.9 隧道及联络通道预警值按以下要求执行：

1 地表沉降监测点按地铁测量监测规定执行，即+10mm～30mm为累计预警值，+3mm为日变量预警值；

2 地下管线沉降监测点以±10mm为累计预警值，+3mm为日变量预警值；

3 周围建筑物沉降累计预警值以地下管线预警值为参考，其差异沉降推算为房屋倾斜率，预警值为1/300；

4 隧道及联络通道沉降变化以±10mm为累计预警值，+3mm为日变量预警值；

5 隧道及联络通道收敛累计预警值为±10mm；

6 对有特殊保护要求的重要建（构）筑物，预警值可进行调整。

8.2 应急措施

8.2.1 冻结法支护工程存在水平孔造孔涌水涌砂、冻结管断裂、冻结壁位移过大、冻结壁存在未冻窗口等风险，施工前必须编制应急预案，识别风险源。

8.2.2 隧道及联络通道施工应急措施应符合下列要求：

1 造孔现场应备齐木塞、堵漏剂、注浆材料、棉纱等应急物资；

2 地下水平孔施工时应按设计要求分二次开孔，安装孔口装置，保证造孔、焊接质量；

3 水平造孔过程中应严格控制排出岩屑量，成孔后及时注浆充填冻结管与冻结孔间的环状间隙；

4 冻结过程中应按设计要求的盐水温度、流量送冷，冻结器回

水温度均匀，盐水温度、测温孔温度降温梯度正常；

5 泄压孔压力上涨、水文孔冒水数据应满足设计要求；

6 试挖前应编制冻结分析报告，并进行专家论证；

7 隧道及联络通道开挖前应按设计要求安装预应力钢支架、安全门，备足注浆泵、应急砂包、水泥、双块水泥、棉絮、木板等应急物资；

8 按建设单位提供的监测系统数据，进行壁间注浆、融沉注浆工作。

8.2.3 基坑及竖井施工应急措施应符合下列要求：

1 钻孔施工前应准确标定孔位，保证成孔和下管质量；

2 按基坑施工规模、工序制定冻结方案及支撑体系，并经上级相关部门批准；

3 建立完整的基坑监测体系，由具有专业资质的监测单位编制监测方案，经上级部门批准后实施；

4 开挖过程中保证冻结壁厚度、强度和完整性，做好保温工作，按设计要求控制冻结壁变形。

8.2.4 现场关键设备如冷冻机、盐水泵、清水泵、冷却塔应有备用设备。

8.2.5 根据工程规模和特点，现场宜储备水泥、砂石料、液氮、氯化钙、型钢等应急材料。

8.2.6 冻结施工现场应保证通信畅通。

附录 A 冻结加固冻结运转日报表

工程名称:

日期: 年 月 日- 月 日

班组	记录时间	压缩机参数						清水系统				盐水系统				记录人	
		吸气压力 (Mpa)	排气压力 (Mpa)	油压 (Mpa)	电压(V)	电流(A)	能量 (%)	油温 (°C)	压力 (Mpa)	水温 (°C)	盐水位 (cm)	压力 (Mpa)	去路 (°C)	回路 (°C)	流量 (m³/h)		
白班																	
夜班																	
备注																	

工长:
监理工程师:

质检员:

技术负责人:

年 月 日

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,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:
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:
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: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,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应按……执行”或“应符合……的规定(或要求)”。

引用标准名录

- 1 《建筑材料及制品燃烧性能分级》 GB 8624
- 2 《输送流体用无缝钢管》 GB/T 8163
- 3 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 4 《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》
GB 50274
- 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 《电气装置安装工程 盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》
GB 50171
- 8 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》 GB 50086
- 9 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 10 《建筑基坑工程监测技术标准》 GB 50497
- 11 《工程测量标准》 GB 50026
- 12 《地下铁道工程施工质量验收标准》 GB 50299
- 13 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202
- 14 《建筑与市政工程施工现场临时用电安全技术标准》 JGJ/T 46
- 15 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 16 《城市测量规范》 CJJ/T 8

河北省工程建设地方标准

地下工程冻结法支护技术标准

DB13(J)/T 8624-2025

条文说明

编制说明

《地下工程冻结法支护技术标准》DB13(J)/T 8624-2025，经河北省住房和城乡建设厅 2025 年 5 月 19 日以第 45 号公告批准发布。

为便于有关人员在使用本标准时能正确理解和执行有关条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握条文规定的参考。

目 次

1 总则	57
2 术语和符号	58
2.1 术语	58
3 基本规定	59
3.1 设计原则	59
3.2 勘察要求	59
3.3 支护结构选型	61
4 冻结设计	61
4.1 冻结壁设计	61
4.2 冻结孔设计	62
4.3 制冷系统设计	62
5 冻结施工	65
5.1 冻结孔	65
5.2 冻结器	66
5.3 冻结站	66
5.4 停止冻结	67
5.5 冻结壁检测与判断	67
6 开挖、支护及回填	69
6.4 初期支护	69
6.6 回填和注浆	69
7 冻结工程收尾	70
7.2 冻结设备拆除	70
7.3 冻结管充填	70

8 监测	71
8.1 环境监测	71
8.2 应急措施	71

1 总 则

1.0.2 本条文指出了制定本标准的目的和依据。在执行本标准时，必须掌握这个指导原则。

1.0.3 冻结法施工遇到的工程地质和水文地质条件复杂；施工工序多，施工工序之间的联系紧密，既应根据工程地质和水文地质资料、周边环境，合理设计，做到施工工序密切配合，冻结孔施工为地层冻结服务，冻结为掘砌服务，又应做到掘砌与冻结的密切配合，结构满足地下工程基坑支护的要求，应做到因地制宜、因时制宜、合理设计、精心施工、严格监控。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.11 冻结站主要由制冷剂(氟利昂或其他制冷剂)循环系统、冷媒剂(盐水或其他冷媒剂)循环系统、冷却水循环系统及供电系统构成。

2.1.12 冻结孔有垂直孔、水平孔、倾斜孔之分。冻结孔一般围绕构筑物的环线布置，该环线称冻结孔布置圈。

2.1.14 冻结管要求导热性好、不渗漏，一般采用无缝钢管。

2.1.16 可以通过观测冻结壁内泄压孔压力变化来判断冻结壁是否交圈，通过泄压孔泄水、排泥来减缓土层冻胀对环境的影响。

2.1.17 测温数据用来计算冻结壁扩展速度、冻结壁厚度和冻结壁平均温度等冻结壁形成的特性参数。

2.1.18 测斜应在钻孔施工完成后进行。

3 基本规定

3.1 设计原则

3.1.1 冻结法施工优先采用先进的、成熟的技术工艺，进而提出工程质量标准和要求，制定相应的质量保证措施。冻结法设计采用的工艺和施工方法需经试验、检测和鉴定。

3.2 勘察要求

3.2.1 地下工程岩土工程勘察前，应搜集下列资料：

2 周边环境是地下结构设计的重要依据之一。地下工程周围通常存在既有建筑物、各种市政地下管线等，而支护的作用主要是保护其周边环境不受损害。为使地下工程支护设计具有针对性，应查明地下工程周边环境条件，并按这些环境条件进行设计，施工时应防止对其造成影响或损坏。

3.2.2 查明地下水的埋藏条件，需满足下列要求：

2 地下水是冻结工程分析评价的主要因素之一，查清地下水是勘察工作的重要任务。当地下结构附近含水层地下水活动频繁或地下水流速超过 5m/d 时，会引起地下水高速流动，影响地层冻结效果，因此冻结设计前，应提供实测地下水流速、流向的资料，以便在设计中采取针对性的技术措施。

3.2.3 勘察报告中应提供土层以下物理力学指标：

3 对老黏土与残积土应测其冻胀指标，对盐渍土应测其易溶盐含量，对软黏土、淤泥和淤泥质土应测其灵敏度。

5 土层的热物理特性指标和冻土的物理力学特性指标应按照国家有关标准通过试验方法测定，试验项目和试验内容可按表1确定。

表1 土的热物理特性试验和冻土物理力学特性试验一览表

序号	试验项目	试验内容	备注
1	单轴抗压强度试验	- 15℃～- 5℃选3种不同温度	—
2	三轴剪切强度试验	- 15℃～- 5℃选3种不同温度	—
3	抗折试验	- 15℃～- 5℃选3种不同温度	可执行 混凝土试验标准
4	冻胀试验	- 25℃～- 5℃选3种不同温度	—
5	导热系数测定	冻土与非冻土	—
6	热容量测定	冻土与非冻土	—
7	冻结温度测定	—	—

由于受目前试验条件的限制，可以不要求每项工程都进行土层热物理特性试验和冻土物理力学特性试验。但应当采用可靠的工程类比方法对冻结法设计的安全性进行评估。

3.2.4 地下工程岩土工程勘察报告应包含下列内容：

7 本条主要说明了冻结支护勘察应解决的主要问题，增加了冻结法支护勘察与一般勘察相比需提供拟冻结土层的热物理特性指标及冻土的物理力学特性指标。

3.3 支护结构选型

3.3.2 以含水层冻结形成的冻结帷幕墙作为基坑的封水结构，可联合内支撑等不影响冻结壁效果的支护结构抵抗水土压力。

4 冻结设计

4.1 冻结壁设计

4.1.4 I类冻结壁设计应符合下列要求：

2 冻结壁的厚度验算在考虑抵抗水压力的同时，还应考虑开挖过程热交换产生的退化量，厚度不宜过小。

3 冻结壁平均温度的选取宜综合考虑冻结壁功能、冻结对周围环境的负面影响、施工工艺和经济合理性。

4.1.5 II类和III类冻结壁的厚度应按承载能力计算，并符合下列要求：

3 采用数值计算方法时，钢筋混凝土结构的弹性模量、泊松比、重度，未冻土的弹性模量、泊松比、重度，冻土的弹性模量、泊松比、重度，宜根据现场试验或者参考类似材料进行选取。

4 如因特殊工艺要求冻结壁暴露时间大于24h，则冻土强度指标应按长时强度指标进行验算。

4.1.6 II类、III类冻结壁参数选取应符合下列要求：

1 平均温度下降幅度应与地层冻结温度和 -2°C 之差相同，但平均温度最低不宜低于 -13°C 。

2 本标准所列最低盐水温度为参考目前主流螺杆冷冻机组工作效率所确定，当现场设备可以制备更加低温冷媒时，对于平均温度要求较低的冻结壁，可进一步降低盐水温度。

4.1.7 冻结壁扩展速率应根据现场温度场发展情况进行计算，应选择平均扩展速率。当加固区域存在多个地层时，不同地层的冻结壁平均扩展速率不得混用。当现场条件复杂无法根据实际情况进行计

算时，可按表2取值。

表2 冻结壁拓展速率经验值

冻结时间/ (d)	平均扩展速度 V_d / (mm/d)	
	黏土	砂土
0~20	28~34	35~40
21~30	24~28	30~35
31~40	22~24	25~30
41~50	20~22	22~25
51~60	18~20	20~22

4.1.8 冻结壁的保温应符合以下要求：

3 保温层不得长期浸泡在水中。夏季施工或工程环境温度较高时，保温层厚度不宜低于40mm。

4.2 冻结孔设计

4.2.2 对于长度大于 30m 的冻结孔且偏斜值大于 30cm 时，根据所处土层热物理状态，分析开挖前厚度及平均温度，必要时进行补孔。

4.2.4 当冻结管前方存在需与冻结壁搭接结构时，应尽量保证冻结管长度达到公式计算值，并对冻结加固薄弱的冻结管端部冻结效果进行针对性分析。

4.3 制冷系统设计

4.3.2 冻结站需冷量应符合下列规定：

1 目前冻结管多采用低碳钢无缝钢管，其散热系数与管内循环盐水流态、盐水温度、岩层导热系数、地温、地下水流速、冻结壁厚度等因素有关，可按表3计算冻结管最大散热系数。

表3 20号低碳钢无缝钢管冻结管散热系数

盐水运动状态	盐水温度/℃	冻结管散热系数 q / [kJ/(m ² ·h)]
层流	-20~-25	750~875
	-25~-30	875~1000
紊流	-20~-25	1.3×(750~875)
	-25~-30	1.3×(875~1000)

2 当选用高性能保温材料,或加厚保温材料时,可根据现场情况对散热系数进行调整。

4.3.3 冷冻机选型应符合下列规定:

3 冷冻机的冷凝温度、蒸发温度和制冷能力应以产品说明书为例,并考虑实际工况为标准工况差异以及设备老化带来的制冷效率降低。

4.3.5 冻结系统冷媒应符合下列规定:

1 剩余管路内盐水体积主要指的是除去冻结器外的盐水干管、集配液圈和其他连接管路内的盐水体积。

4.3.7 盐水泵设计应符合下列规定:

1 盐水比热容可根据不同温度盐水进行选取,无确定数值时可参考表4中比重为1.26的盐水数值。

表4 盐水比热容参考表

盐水温度/℃	比热容 c / [kJ/(kg·℃)]
20	0.690
10	0.690
0	0.685
-5	0.680
-10	0.680
-15	0.670

盐水温度/°C	比热容 c / [kJ/(kg · °C)]
- 20	0.670
- 25	0.670
- 30	0.655
- 35	0.650

2 盐水的动力黏度系数与盐水温度相关，无试验条件进行测定时，可按表5取值。

表5 盐水动力黏度系数经验值

盐水温度/°C	盐水动力黏度系数 μ / [kJ/(m ² · h)]
20	2.68
10	3.28
0	4.34
- 5	6.81
- 10	8.53
- 15	10.77
- 20	13.16
- 25	15.00
- 30	17.50
- 35	22.00

4.3.8 冷却水系统应符合下列规定：

3 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的参数确定。

5 冻结施工

5.1 冻结孔

5.1.2 垂直孔施工一般配备钻头+加重杆+钻杆的钻具组合，钻进至设计深度后，再下入冻结管。水平或倾斜孔跟管钻进是以钻头+单向阀+冻结管的组合，冻结管兼作钻杆，钻孔的同时冻结管亦同时下入。

5.1.3 垂直孔仅在表土层为回填土、钻孔冲洗液漏失严重、孔壁坍塌等条件下下入孔口管，目的在于顺利成孔和下放冻结管。隧道管片、围护结构上施工水平冻结孔时下入孔口管的目的在于防止二次开孔时水、泥涌出，引起地面下沉、塌陷。

5.1.4 孔口管安装应符合下列规定：

1 孔口装置是安装在孔口管上的防喷装置，其作用是控制钻进过程中泥水或砂涌出。

3 一般孔口管缠绕麻丝长度不应小于150mm。

5.1.6 特殊情况下冻结孔开孔误差大于100mm时，可通过调整临近冻结孔位置，使开孔间距均匀。

5.1.10 垂直冻结孔施工应符合下列规定：

2 应根据冻结土体及勘察资料，有目的地确定取芯孔数量及取芯层位，为冻结方案的动态设计提供依据。

5.1.11 水平孔或倾斜孔施工应满足下列要求：

2 可通过调整中间冻结孔的施工轨迹，减小冻结孔最大成孔间距，使冻结孔间距均匀。

3 当两预留洞口相对位置偏差大于100mm时，施工单位应修正冻结孔设计方位、孔深，并由设计单位书面确认，以保证冻结壁

厚度、强度满足设计要求。

5.2 冻 结 器

5.2.1 冻结管应符合下列规定：

1 冻结管规格和材质应符合施工组织设计及《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163 标准的要求。

2 夯管是指用夯管锤（低频、大冲击的气动冲击器）将钢质套管直接夯入地层，夯管锤的冲击力直接作用在套管的后端，然后再通过套管传递到前端的切削环上切削土体，并克服土层与套管的摩擦力，使套管不断进入地层，随着钢管的夯入，被切削的土芯进入钢管内，然后采用人工、搅拢、水力冲击等方法进行土芯清除，从而完成冻结管安装。

8 冻结管试压压力应不小于设计压力，采用水压时应考虑环境温度、水温带来的影响。

10 向上倾斜的冻结管中下入小直径冻结管易产生导热性差的环状空隙，影响冷量向地层传导及冻结壁的形成质量。

5.2.2 供液管应符合下列规定：

4 在冻结孔深度较浅、数量较多时，为保证盐水流量满足设计要求，多采取多孔串联一组、并联与集配液圈相连的方法，各组长度相近可实现盐水流量相近。间隔连接可防止出现在某组有问题时，冻结孔不能送冷的间隔过大。

5.3 冻 结 站

5.3.2 冻结站安装应符合下列规定：

1 冻结站安装应符合《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、《工业金属管道工程施工规范》GB 50235的有关规定。配电系统安装及调试应符合现行《电气装置安装工程盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》GB 50171和《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46的有关规定。

7 安装排气阀的目的在于及时排出盐水系统中的空气，防止出现盐水流通不畅，影响冷量向地层输送，造成系统压力偏高，严重时影响冻结壁形成质量。安装可视液位计及声光报警装置可及时发现盐水流失，采取应对措施。

5.3.3 冻结站运转条件应符合下列规定：

2 制冷系统中冷凝器管路结垢会降低冷凝效果，增加循环水量，降低制冷效率，因此循环水宜用低矿化度的净水，如果现场冷却循环水水质较差，可采取净化、软化措施后再使用。

5.4 停止冻结

5.4.1 冻结壁的形成是冻土以一定扩展速度逐渐增厚形成的，短暂停止冻结会造成冻土扩展的短暂停滞，甚至减薄，因此，为保证原设计冻结壁厚度、强度，应延长冻结时间。

5.5 冻结壁检测与判断

5.5.2 测温孔布置应符合下列规定：

3 在集水井中部应布置测温孔，有集水井单独冻结时，也需要有测温孔，测温孔深度与冻结孔深度一致。

4 测温孔实测温度为土的结冰温度时，测温孔即为冻结壁边

界。实测冻结壁平均温度为开挖区外侧界面上的实测温度分布曲线与冻结温度线所包围的面积除以对应的冻结壁厚度。

一个测温孔既可以检测冻结壁的厚度、平均温度，同时也可以用于检测冻结壁与隧道管片的界面温度。施工中应根据冻结壁形成质量检验要求和冻结孔布置特征合理布置测温孔位置、方向和深度。

5.5.3 温度测点布置应符合下列规定：

3 测温孔测温一般采用固定测点的测温系统。如采用移动测点的单点测温仪测温，必须待仪表温度度数稳定后才能移动测点。

测温管内安装测温电缆和测温元件后，管口应进行密封和保护，防止测温原件及电缆被移位、损坏。

当监测温度变化幅度大可能影响施工时，应增加监测频率。

可以通过在预埋的注浆孔中下测温管检测冻结壁温度回升和冻结情况。

5.5.7 在冻结壁解冻期间，水平测温孔不宜设置测温孔观察，如果有后期封孔，可能存在漏水漏砂风险隐患。

5.5.8 泄压孔应符合下列规定：

7 可以将钢管片上预留注浆孔作为泄压孔。

当水压或为不透水层时，泄压孔内可以不下滤水管。

检测地层初始水压为零并确认地层不透水，可通过泄压孔注清水贯通地层与隧道管片的间隙。

要检查隧道管片是否渗漏，防止因隧道管片渗漏而使泄压孔水压不升高的情况。

由于土层条件等原因，泄压孔压力可能不上涨或上涨较少，要查明原因，具体分析。

6 开挖、支护及回填

6.4 初期支护

6.4.6 本条主要针对基坑侧壁冻结加固，基底应有隔水层，冻结壁与隔水层搭接时，需要疏干坑内地下水。

6.4.8 本条主要是为了施工安全和节省能源，必要时需突破本条规定则应做好相应的应对措施。

6.6 回填和注浆

6.6.3 注浆包括充填注浆和地层融沉补偿注浆：

2 充填注浆的目的：一是防止冻结壁局部解冻后形成过水通道增加结构漏水的可能性；二是对后浇结构与支护体系之间不容易浇筑区域进行补充。

7 冻结工程收尾

7.2 冻结设备拆除

7.2.1 冻结站拆除包含大件吊装、高空作业、气割等危险作业，氨系统拆除涉及危险品回收作业，应编制专项安全技术方案，并贯彻执行。

7.2.2 系统中冷媒剂具有腐蚀性，氨制冷剂危险性较大，冷冻油遇明火易燃，因此拆除前应进行回收，排放干净。

7.3 冻结管充填

7.3.3 冻结管起拔后宜立即充填冻结孔，防止冻结孔坍塌后充填困难。充填材料可使用单液水泥浆或水泥砂浆，充填作业和拔管作业可交替进行或顺序作业。

8 监 测

8.1 环境 监测

8.1.5 除布置于冻结壁的测点外，其余测点一般与冻结法地下工程监测点相结合进行布置。

8.1.6 常用规范标准有：《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497、《城市测量规范》CJJ/T 8、《工程测量标准》GB 50026、《地下铁道工程施工质量验收标准》GB/T 50299、《建筑地基基础施工质量验收标准》GB 50202等。当基坑位于轨道交通设施、隧道等大型地下设施安全保护区范围内，或附近存在城市生命线工程、优秀历史建筑、有特殊要求的仪器设备厂房时，应按相关管理部门要求增加监测项目。

8.2 应 急 措 施

8.2.1 隧道及联络通道水平孔施工期间存在涌水涌砂风险，严重时可引起地面塌陷事故，因此施工前应编制应急预案，准备应急材料。开挖过程中存在冻结管断裂、冻结壁存在未冻窗口等安全隐患，可能造成严重的安全质量事故，应采取有效预防措施。

8.2.2 隧道及联络通道施工应急措施应符合下列要求：

7 预应力支架在隧道受外力影响收敛时起保护隧道管片的作用，宜在冻结壁交圈前安装。安全门是为防止开挖过程中因事故造成大量泥沙涌出，一旦事故发生，关闭安全门，阻挡泥水外涌，并采取补救措施。安全门应在试挖前安装，并验收合格。