

目次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	8
4	冻结设计	9
4.1	一般规定	9
4.2	冻结设计基础资料	10
4.3	冻结壁设计	11
4.4	冻结孔、测温孔和泄压孔设计	15
4.5	冻结站设计	18
4.6	隧道支撑及防护门设计	20
4.7	初期支护设计	21
4.8	冻结孔充填与封堵设计	22
4.9	充填注浆与融沉注浆设计	23
5	冻结施工	25
5.1	一般规定	25
5.2	冻结孔、测温孔、泄压孔施工	25
5.3	冻结管、测温管、泄压管施工	27
5.4	冻结器安装	28
5.5	冷排管安装	28
5.6	冻结站位置及安装	28
5.7	冻结站运转	29
5.8	冻结壁检测与判断	30
5.9	冻结站停冻与拆除	31
6	开挖与构筑施工	32
6.1	一般规定	32

6.2	隧道支撑和防护门安装	32
6.3	开挖准备	33
6.4	开挖与初期支护施工	34
6.5	防水施工	35
6.6	结构施工	35
6.7	冻结孔充填与封堵	36
6.8	充填注浆与融沉注浆	36
7	施工监测	38
7.1	一般规定	38
7.2	监测内容	38
7.3	监测要求	39
8	验收	42
8.1	一般规定	42
8.2	冻结孔、测温孔、泄压孔的验收	43
8.3	冻结管、测温管、泄压管的验收	44
8.4	冻结系统质量验收	44
8.5	开挖条件验收	45
8.6	开挖与初期支护质量验收	46
8.7	防水工程验收	46
8.8	结构工程验收	47
8.9	封孔、融沉注浆验收	48
附录 A	冻结孔检验批质量验收	50
附录 B	冻结管检验批质量验收	51
附录 C	开始冻结前检验批质量验收	52
附录 D	冻结加固冻结运转日报表	53
附录 E	冻结加固测温测压日报表	54
附录 F	开挖前检验批质量验收	55
附录 G	开挖与支护检验批质量验收	56
附录 H	结构工程检验批质量验收	57

附录 I 冻结壁平均温度计算.....	58
附录 J 冻结站设备选型通用计算.....	61

1 总 则

1.0.1 为保证地铁隧道冻结法联络通道工程质量，促进技术进步，做到经济合理、安全可靠、资源节约、环境保护，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于上海地铁区间隧道联络通道应用盐水冻结法技术的工程勘察、设计、施工、检测、监测及验收。其他类似联络通道工程可参照执行。

1.0.3 采用冻结法施工的联络通道工程，除应符合本标准的规定外，还应符合国家、行业和本市现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 联络通道 connect passage

连接相邻两条单洞地下区间隧道，可供人员双向安全疏散用的通道。

2.1.2 冻结法 ground freezing method

在施工地下构筑物之前，用人工冻结的方法，对构筑物周围含水地层进行冻结，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）为载冷剂的间接冻结系统。

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形的冻土柱。

2.1.5 冻结壁 frozen wall

用盐水冻结系统在构筑物周围地层所形成的具有一定厚度和强度的连续冻结岩土体。

2.1.6 冻结壁厚度 frozen soil wall thickness

冻结壁任一截面内外边界之间的最短距离。

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

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

从地层冻结开始至构筑物周围主要冻结器布置圈上所有相邻的冻结器所形成的冻土圆柱按设计要求完全相交所需的时间。

2.1.9 冻结壁形成期 period of frozen soil wall formation

从地层冻结开始至冻结壁形成达到设计要求所需的时间，也称积极冻结期。

2.1.10 冻结壁维护期 maintenance period of frozen soil wall

冻结壁形成达到设计要求后，继续向冻结器输送冷量，以平衡冻结壁冷量损

失，从而维持冻结壁满足设计要求的一段时间，也称维护冻结期。

2.1.11 冻结站 refrigeration plant

在拟建联络通道附近集中安设制冷设备和设施的场所。冻结站主要由制冷剂（氟利昂等）循环系统、载冷剂（盐水等）循环系统、冷却水循环系统及供电系统构成。

2.1.12 冻结孔 freezing hole

按设计要求布置在联络通道周围用于安装冻结器的钻孔，有垂直孔、水平孔、倾斜孔之分。

2.1.13 透孔 thru hole

打透两条隧道管片，向开挖面对侧供盐水的孔。并用来校核隧道线间距、里程及标高。

2.1.14 冻结器 freezing apparatus

安设在冻结孔内，用以循环载冷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等组成。

2.1.15 泄压孔 pressure release hole

用来观测和释放土层水土压力的孔。

2.1.16 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不同断面温度分布状况的钻孔。

2.1.17 测斜 deviational measurement

测量冻结孔、测温孔、泄压孔在不同深度上的偏斜值和偏斜方位的工作。

2.1.18 掘进步距 length of advance step

掘砌施工过程中，每个开挖与支护循环作业的掘进长度。

2.1.19 冻土压力 frozen ground pressure

冻结壁作用于支护上的法向压力的统称，亦称冻结压力。

2.1.20 强制解冻 artificial thawing

在使用冻结法施工的地下构筑物结构施工完成后，利用人工加热的方法将冻结壁解冻，缩短解冻周期的方法。

2.1.21 孔口管 borehole orifice-pipe

联络通道正常钻孔前，在钻孔位置埋设一段带有法兰的钢管，是安装其它装

置的基础。

2.1.22 孔口防喷装置 *blowout prevent device*

联络通道正常钻孔前,在孔口管上安装的用于防止钻孔时泥水或砂喷涌的控制装置。

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 隧道支撑 *tunnel upholder*

在上、下行线隧道联络通道洞门两侧位置处设立的、由型钢制成的临时加固隧道的支撑。

2.1.25 防护门 *protective door*

用于联络通道开挖过程中涌水、涌砂风险应急控制的安全门。

2.2 符号

2.2.1 几何参数

A ——冻结管总表面积;

d ——冻结管外径;

d_i ——管径;

E ——冻结壁厚度;

E_{vj} ——预计冻结壁有效厚度;

E_{qr} ——冻土侵入开挖面以内厚度;

H ——冻结孔深度;

L_{sj} ——从冻结孔孔口到冻结壁设计边界的距离;

L_i ——管长;

L_o ——不能循环盐水的冻结管端部长度;

L ——排间距;

l ——相邻冻结管中心的距离;

r_o ——冻结管半径;

S_{\max} ——冻结孔成孔控制最大间距；

V_1 ——冻结器内盐水体积；

V_2 ——干管及集、配集液管内盐水体积；

V_3 ——蒸发器和盐水箱内盐水体积；

ξ ——冻结管到冻结壁边界的距离。

2.2.2 阻力、荷载参数

H_c ——盐水泵计算扬程；

h_1 ——盐水干管和集配液圈中的压头损失；

h_2 ——供液管中的压头损失；

h_3 ——冻结器环形空间的压头损失；

h_4 ——盐水管路中弯头、三通、阀门等压头损失；

h_5 ——盐水泵的压头损失；

h_6 ——封闭式循环系统中回路盐水管高出盐水泵的高度；

h_7 ——蒸发器内的盐水压头损失；

h_8 ——冷冻排管中的压头损失；

R ——冻土的强度指标；

σ ——冻结壁应力；

P_s ——侧向土压力；

P_t ——计算点的垂直土压力。

2.2.3 时间、温度参数

t_c ——冻结管外壁温度；

T_{cp} ——冻结壁平均温度；

t_{cp1} ——单排管冻结壁的平均温度；

t_{cp}' ——有效范围内冻结壁的平均温度；

t_k ——冻结壁特征点温度；

t_f ——冻结管表面温度；

T_y ——最低盐水温度；

t ——冻结时间；

t_{jq} ——预计冻结壁交圈时间；

t_0 ——冻结壁边界温度；
 t_1 ——冷凝器进水温度；
 t_2 ——冷凝器出水温度；
 t_b ——补充水温度；
 t_n ——井帮温度；
 Δt_z ——去回路盐水温差；
 Δt_l ——冷凝器进出水温差；
 v_{dp} ——冻结壁单侧平均扩展速度。

2.2.4 冷量、水量参数

Q_g ——冻结管总吸热能力；
 Q_{yk} ——单组盐水流量；
 Q_z ——冻结站需冷量；
 W_{br} ——盐水循环计算总流量；
 W_r ——冷却塔循环水量；
 W_0 ——冷却水计算总需用量；
 W_1 ——冷凝器冷却水需用量；
 W_2 ——冷冻机冷却水需用量；
 W_3 ——补充水量；
 W_4 ——冷却塔的飞溅损失水量；
 W_5 ——其它排放水量。
 ω_i ——盐水流速。

2.2.5 计算系数

c ——盐水比热；
 G ——氯化钙用量；
 θ_g ——单位盐水体积固体氯化钙含量；
 g ——重力加速度；
 θ_g ——单位盐水体积固体氯化钙含量；
 K ——安全系数；
 K_0 ——侧压力系数；

m ——冷量损失系数；
 q ——冻结管吸热系数；
 R_{ei} ——雷诺数；
 γ ——盐水密度；
 γ_i ——盐水重度；
 η_1 ——盐水泵的效率；
 η_2 ——电动机的效率；
 λ_i ——盐水流动阻力系数；
 μ ——盐水动力粘度系数；
 ρ ——固体氯化钙纯度；
 ω ——经验系数。

3 基本规定

3.0.1 在联络通道工程勘察、冻结设计和施工中，应根据地质条件、周边环境、工况条件，做到认真勘察、合理设计、精心施工、严格监控，确保施工安全。

3.0.2 施工期间应对邻近的建（构）筑物、地下管线、道路与轨道交通线路等进行监测，并应对重要或有特殊要求的建（构）筑物采取必要的保护措施。

3.0.3 联络通道施工期间应配备应急设备物资和应急抢险救援人员，并加强对储备物资和人员的管理。

3.0.4 冻结法联络通道工程应实施项目信息化管理，配置远程监控和实时通信系统。

4 冻结设计

4.1 一般规定

4.1.1 冻结壁宜作为开挖后临时承载结构，并应设立初期支护形成共同承载体系。

4.1.2 冻结设计应包括下列内容：

- 1 工程风险等级评估。
- 2 冻结壁结构方案比较与选择。
- 3 冻结壁的承载力和变形验算（I类冻结壁除外）。
- 4 冻结孔、泄压孔、测温孔等的布置与参数设计。
- 5 冻结需冷量计算。
- 6 冻结壁形成验算。
- 7 初期支护设计。
- 8 隧道支撑、防护门设计。
- 9 注浆孔布置，充填注浆、融沉注浆的设计要求。
- 10 冻结孔、测温孔与注浆孔等的割除、封堵设计。
- 11 对冻结壁和环境的监测与保护设计要求。
- 12 对周围环境产生影响的分析等。

4.1.3 出现下列情况之一时，设计应采取针对性措施：

- 1 工程特征：
 - 1) 联络通道处主隧道顶覆土厚度小于 6m 或大于 25m。
 - 2) 两隧道轴线间距大于 20m 或小于 9m。
 - 3) 区间圆隧道直径大于 10m。
 - 4) 侧式泵站结构型式。
 - 5) Z 型通道、重叠隧道联络通道、联络通道两端隧道中心标高相差大于 0.5m、联络通道中心线与隧道夹角小于 88° 等异形通道结构型式。
 - 6) 联络通道开挖断面宽度大于 4.5m 或曲墙拱等异形断面。
- 2 水文地质条件：

- 1) 地下水流速大于 5m/d、有集中水流或地下水水位有明显波动。
- 2) 土层结冰温度低于-2℃或有地下热源可能影响土体冻结。
- 3) 联络通道施工范围含有承压水层。
- 4) 存在沼气、暗浜、古河道等不良地质条件。

3 联络通道施工区域地面影响范围（影响半径为 1 倍中心埋深）竖向投影区域内存在下列情况之一时：

- 1) 居民住宅、保护建筑、共同沟及其他重要建（构）筑物或变形敏感区域等。
- 2) 城市主干道、城市高架桥或下立交。
- 3) 上水、原水、燃气、输油等压力总管或干管、市政排水总管（合流总管）、110kV 及以上高压电缆、军缆、通信等重要管线。
- 4) 铁路、高速公路、机场跑道、隧道工程、已运营或已建成的轨道交通设施。
- 5) 江河湖海。
- 6) 同步施工的其它地下工程。

4 其它影响因素：

- 1) 联络通道施工与盾构推进或铺轨等施工交叉作业。
- 2) 土体中含有聚氨脂等隔热材料，且范围、分布难以确定。
- 3) 被其他方法扰动过的地层。
- 4) 近 3 个月内冻结范围内土体进行过水泥系地基加固。

4.1.4 当冻结壁表面直接与大气接触或通过导热物体与大气产生热交换时，应在冻结壁或导热物体表面采取保温措施。

4.1.5 在冻结壁形成期间，冻结壁外 200m 区域内的透水砂层中不宜采取降水措施。必须降水施工时，冻结设计应考虑降水产生的不利影响。

4.2 冻结设计基础资料

4.2.1 应通过物探及调查手段查明周边地面及地下的建（构）筑物结构、设备、管线特征及保护要求、与拟建联络通道的位置关系等。

4.2.2 设计基础资料应包括：

- 1 联络通道结构施工图。
- 2 联络通道所在区间隧道岩土工程详细勘察资料。联络通道附近含水层地下水活动频繁或地下水流速超过 5m/d 时，还应提供该含水层的地下水流向、流速等资料。
- 3 联络通道附近隧道施工的有关情况、隧道内及端头井附近的交通及场地条件、地区气象资料等其它与联络通道冻结法设计、施工有关的资料。
- 4 两条已构筑隧道预留联络通道洞门的位置关系。

4.2.3 冻土试验资料应包含下列指标：

- 1 土层的热物理特性指标，包括原始地温、结冰温度、导热系数、比热、冻胀率和融沉率。
- 2 冻土的物理力学特性指标，包括弹性模量、泊松比、抗压强度、剪切强度、抗折强度、蠕变参数等。

4.3 冻结壁设计

4.3.1 冻结壁类别及结构形式选择应符合下列要求：

- 1 冻结壁的分类应符合表 4.3.1 的要求。

表 4.3.1 冻结壁类别表

类别	功能与要求
I	仅用于止水而无承载要求
II	仅用于承载而无止水要求
III	既要求承载又要求止水

- 2 冻结壁结构形式选择应符合下列要求：

- 1) 冻结壁宜按受压结构设计。
- 2) 冻结壁结构形式选择应有利于控制土层冻胀与融沉对周围环境的影响。
- 3) 在含水砂性土层中应采用封闭的冻结壁结构形式。

3 联络通道的通道部分宜采用直墙圆拱冻结壁，泵站部分及侧式泵站宜采用满堂加固或采用“V”字形冻结壁。

4.3.2 冻结壁设计应符合下列要求：

1 应根据冻结壁功能要求与类别，选择不同结构形式和安全性能的冻结壁。
 2 应确定冻结壁有效厚度、平均温度，并预估冻结壁交圈时间、冻结壁形成时间。

3 II 类和 III 类冻结壁有效厚度与平均温度应按承载力和变形要求确定，方案设计，可参考表 4.3.2 进行选择。

表 4.3.2 冻结壁有效厚度与平均温度设计参考值

覆土厚度 H_j (m)	冻结壁有效厚度 (m)	平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)
≤ 16	≥ 1.7	≤ -10
16~19	≥ 1.9	≤ -10
19~22	≥ 2.1	≤ -10
22~25	≥ 2.3	≤ -10
25~30	≥ 2.4	≤ -13
30~35	≥ 2.6	≤ -13

注：（1）表中 H_j 是指联络通道处主隧道（外径 6.2m/6.6m）顶覆土厚度，冻结壁有效厚度适用于通道部分和泵站部分，不适用于喇叭口或其它变截面处；

（2）该表基于上海地区多年的工程实践总结而得，当存在地下水流速大于 5m/d、土层结冰温度小于 -2°C 、异常联络通道结构形式等特殊工况时，不得参照此表。

4 联络通道与管片交界处的冻结壁有效厚度不应小于 1m，且平均温度不应高于 -5°C 。

4.3.3 冻结壁计算应符合下列要求：

- 1 冻结壁承载力设计应按承受全部荷载计算；
- 2 冻结壁的计算方法应符合下列要求：
 - 1) 冻结壁内力宜采用通用力学及数值计算方法计算。
 - 2) 采用通用力学方法时，冻结壁的力学计算模型可按均质线弹性体简化，其力学特性参数宜取设计冻结壁平均温度下的冻土力学特性指标。
 - 3) 采用数值计算方法时，数值计算应建立合理的计算模型。隧道管片混凝土的弹性模量、泊松比、密度，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。

3 冻结壁的荷载计算应符合下列要求：

1) 冻结壁的荷载应包括：地层压力、水压力、通道开挖影响范围以内地面建（构）筑物荷载、地面超载及其它临时荷载。

2) 砂性土地层的侧向水、土压力应采用水土分算，黏性土地层的侧向水、土压力宜采用水土合算。

3) 竖向土压力应按计算点以上覆土重量、地面建（构）筑物荷载、地面超载及其他荷载计算；侧向土压力宜按主动土压力计算，可采用郎肯土压力或静止土压力理论计算；基底土反力可按静力平衡计算。

4) 侧向土压力可按式（4.3.3-1）计算：

$$P_s = K_0 P_t \quad (4.3.3-1)$$

式中： P_s ——侧向土压力（MPa）；

P_t ——计算点的垂直土压力（MPa）；

K_0 ——侧压力系数。

4 冻结壁应进行抗压、抗折和抗剪强度验算。冻结壁的强度验算宜按式（4.3.3-2）进行：

$$K \sigma \leq R \quad (4.3.3-2)$$

式中： σ ——冻结壁应力（MPa）；

R ——冻土的强度指标（MPa）；

K ——安全系数，宜按表 4.3.3 选取。

表 4.3.3 冻结壁强度验算安全系数 K

项目	冻结壁功能类别	抗压	抗折	抗剪
安全系数 K	II	1.8	2.7	1.8
	III	2.0	3.0	2.0

5 冻结壁设计时应验算冻结壁变形，最大变形不应超过 30mm。

4.3.4 盐水温度与盐水流量应符合下列要求：

1 最低盐水温度可根据设计的冻结壁有效厚度、平均温度、地层环境及气候条件确定，宜按表 4.3.4-1 选取，地温高时宜取较低的盐水温度。

表 4.3.4-1 最低盐水温度设计参考值

冻结壁平均温度 T_p , °C	-8~-10	≤-10
最低盐水温度 T_y , °C	-28~-30	≤-30

2 积极冻结 7d 后盐水温度宜降至-18℃以下，积极冻结 15d 后盐水温度应降至-24℃以下，开挖前及开挖期间盐水温度不高于设计最低盐水温度，去、回路盐水温差不宜高于 2℃。

3 施工完成初期支护后可转入维护冻结，在冻结壁平均温度和厚度达到设计要求且确保冻结壁安全的前提下，可适当提高盐水温度，但不宜高于-25℃。

4 冻结孔单孔盐水流量应根据冻结管散热要求、去回路盐水温差和冻结管直径确定。积极冻结期冻结管内盐水流动宜处于紊流状态。冻结孔所有分组盐水流量之和不应小于按附录 J 中式 (J.0.1-1) 计算的盐水循环总流量。冻结孔单组盐水流量宜按表 4.3.4-2 选取，各盐水管路连接系统的规格选择应相匹配，满足设计最小盐水流量的要求。

表 4.3.4-2 单组盐水流量设计参考值

冻结管外径 d , mm	89	108	127
单组盐水流量 Q_{yk} , m ³ /h	≥5.0	≥6.0	≥7.0

4.3.5 冻结壁形成验算应符合下列要求：

1 冻结壁有效厚度可按式 (4.3.5-1) 计算：

$$E_{yj} = 2v_{dp}t - E_{qr} \quad (4.3.5-1)$$

式中： E_{yj} ——预计冻结壁有效厚度 (mm)；

v_{dp} ——冻结壁单侧平均扩展速度 (mm/d)；

E_{qr} ——冻土侵入开挖面以内厚度 (mm)；

t ——冻结时间 (d)。

冻结壁单侧平均扩展速度宜按表 4.3.5 选取或采用经验公式计算。

表 4.3.5 单排孔冻结壁单侧平均扩展速度设计参考值 (mm/d)

冻结时间 t (d)	31~40	41~50	51~60
黏性土	25~28	22~25	21~23

砂性土	27~30	25~28	23~26
-----	-------	-------	-------

注：（1）本表适用于上海地区正常工况下的冻结工程，冻结壁的扩展速度与冻结孔间距、盐水温度、初始地温和地层含水率等多种因素有关；

（2）采用封闭式群孔冻结的内侧冻结壁扩展速度可比表中数值增加 10%~20%。

2 冻结壁交圈时间可按式（4.3.5-2）估算：

$$t_{jq} = \frac{S_{max}}{2v_{dp}} \quad (4.3.5-2)$$

式中： t_{jq} ——预计冻结壁交圈时间（d）；

S_{max} ——冻结孔成孔控制间距（mm）；

v_{dp} ——冻结壁单侧平均扩展速度（mm/d）。

3 冻结壁形成期不应少于预计冻结壁有效厚度和平均温度达到设计要求的时间。

4 冻结壁交圈后的温度分布可简化为稳态温度场计算，冻结壁扩展过程和平均温度可采用经验公式、解析法、图解法、通用数值方法等计算方法，可参照附录 I。

4.3.6 隧道管片保温应符合下列要求：

1 在冻结壁附近隧道管片内侧应敷设保温层，敷设范围不应小于设计冻结壁边界外 1.0m；保温层应与管片表面密贴，粘结牢固。

2 钢管片隔仓宜在积极冻结前按结构设计要求进行填充。

3 保温层应采用导热系数和吸水率小的保温材料，导热系数不应大于 0.04W/m·h，吸水率不应大于 2%，可采用聚氨酯、橡塑、聚苯乙烯和聚乙烯软质泡沫等保温材料。保温层厚度不应小于 30mm；在 5 月~10 月间施工，保温层厚度不宜小于 50mm（或采用双层保温）。

4 保温层应采用阻燃型材料，燃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》GB8624 的 B1 级要求。

4.4 冻结孔、测温孔和泄压孔设计

4.4.1 冻结孔布置应符合下列要求：

- 1 冻结孔应根据设计冻结壁布置，并根据冻结孔布置对冻结壁形成进行验算。
- 2 冻结孔布置参数应包括孔位偏距和定位角（弦长）、开孔间距、方位角、孔深、成孔间距和偏斜精度等。
- 3 冻结孔成孔间距应按设计冻结壁有效厚度、冻结壁平均温度、盐水温度和积极冻结时间等确定，多排冻结孔密集布置时，内部冻结孔成孔间距可适当放大。
- 4 冻结孔偏斜精度要求可按表 4.4.1 选定。

表 4.4.1 冻结孔偏斜精度要求

冻结孔类型	水平或倾斜冻结孔		
	冻结孔深度 H (m)	≤ 10	10~15
冻结孔最大偏斜率 (%)	≤ 1.5	线性插值	≤ 1.2

5 若布置单排冻结孔在规定冻结时间内达不到设计冻结壁有效厚度和平均温度时，宜布置多排冻结孔。在满足冻结效果的前提下，宜控制冻结孔数量。

6 冻结孔宜均匀布置并应避开地层中的障碍物。在隧道管片上布置冻结孔时，开孔位置应避开管片接缝、螺栓孔、钢管片环肋板，并宜避开钢筋混凝土管片主筋和钢管片纵肋板。

7 冻结孔深度可按式（4.4.1）确定：

$$H = L_{sj} + L_0 \quad (4.4.1)$$

式中： H ——冻结孔深度（m）；

L_{sj} ——从冻结孔孔口到冻结壁纵向设计边界的距离（m）；

L_0 ——不能循环盐水的冻结管端部长度（m），其长度不宜大于 0.15m；

4.4.2 在冻结孔未穿透管片的隧道管片内表面应敷设冷冻排管。冷冻排管的敷设范围不应小于冻结壁设计厚度，冷冻排管间距不宜大于 0.4m，冷冻排管可采用内径不小于 30mm 钢管或同等过流面积的扁口方钢等。冷冻排管应密贴隧道管片且应敷设保温层。

4.4.3 若需局部冻结时，可采用局部冻结管保温或冻结管内供液管与回液管组合形式。

4.4.4 在（微）承压水地层中，应结合联络通道处特殊衬砌环结构形式采取可靠的冻结孔开孔、封孔工艺和相应的技术措施。

4.4.5 联络通道透孔的设置应符合下列要求：

- 1 透孔位置宜避开承压含水层。
- 2 在不透水地层中联络通道处两隧道净间距大于 25m 时，或在透水地层中联络通道处两隧道净间距大于 15m 时，不宜设置透孔。

- 3 透孔位于（微）承压水层时，应在对侧隧道设置密封接收装置。

4.4.6 测温孔及测点布置应符合下列要求：

- 1 测温孔布置应满足准确、全面评价冻结壁形成质量的需要。
- 2 测温孔宜布置在预计冻结薄弱处、孔间距较大的冻结壁界面处、地层差异较大处等。

- 3 检测冻结壁厚度的测温孔不宜少于 4 个，并应布置在冻结壁设计外边界处。通道开挖边界应布置不少于 2 个测温孔，泵站中部应布置不少于 1 个测温孔，侧式泵站通道正前方冻结壁应布置不少于 2 个测温孔。

- 4 测温孔的长度不宜小于 2.0m、设置不少于 3 个测点，其中在每个测温孔的冻结壁与隧道管片交界面位置宜布置 1 个测点。

4.4.7 泄压孔设置应符合下列要求：

- 1 泄压孔设置应满足消散冻胀压力及检验冻结壁交圈的作用。
- 2 联络通道两侧各布置不少于 2 个泄压孔，泄压孔应在洞门内未冻结区对角分开布置。在联络通道开挖区内有透水地层时，应有不少于 2 个泄压孔与之贯通。

- 3 泄压管的规格、结构形式宜结合地层条件、联络通道结构特征等因素进行选择。

- 4 开始冻结前，应检测地层初始地层压力。

4.4.8 管材及规格选择应符合下列要求：

- 1 冻结管、测温管、泄压管宜采用低碳无缝钢管，应符合现行国家标准《输送流体用无缝钢管》GB/T8163 的要求。

- 2 冻结管外径宜为 89mm~127mm，不宜小于 73mm，管壁厚度不宜小于 6mm。

- 3 测温管外径宜为 45mm~89mm，不宜小于 32mm，管壁厚度不宜小于 3mm。

- 4 泄压管外径宜为 60mm~89mm，管壁厚度不宜小于 3mm，应根据地层及联络通道长度等工况条件，合理设置花孔的孔径和分布范围。

- 5 供液管可采用聚乙烯增强塑料管或钢管。供液管的管径与壁厚可参考表 4.4.8 选取。供液管内、外盐水流动速度宜满足本标准 4.5.5 条第 1 款的要求。

表 4.4.8 供液管的管径与壁厚

供液管品种	外径 (mm)	壁厚 (mm)
焊接钢管	≥38	3~4
聚乙烯增强塑料管	≥40	≥3.5

4.5 冻结站设计

4.5.1 冻结站由制冷剂（氟利昂）循环系统、载冷剂（盐水）循环系统和冷却水循环系统等组成，冻结站各系统的设备选型（型号、规格和数量等）应相互匹配，设备配置容量宜适当富裕。

4.5.2 冻结站需冷量计算应符合下列要求：

1 冻结管吸热能力宜按式（4.5.2-1）计算：

$$Q_g = qA \quad (4.5.2-1)$$

式中： Q_g ——冻结管总吸热能力（kJ/h）；

q ——冻结管吸热系数（kJ/m²h），可取 1047kJ/m²h~1172kJ/m²h；

A ——冻结管总表面积（m²）。

2 冻结站需冷量宜按式（4.5.2-2）计算：

$$Q_z = mQ_g \quad (4.5.2-2)$$

式中： Q_z ——冻结站需冷量（kJ/h）；

m ——冷量损失系数，参考 $m=1.2\sim 1.3$ 选取。

3 当盐水干管的长度大于 100m 时，冻结站需冷量应增加计入盐水干管长距离输送盐水工况下冷量损失。

4.5.3 冷冻机选择应满足下列要求：

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计算需冷量、制冷剂循环系统的冷凝温度、蒸发温度、环境条件等因素确定。选定冷冻机的实际工况总制冷能力不应小于计算需冷量，并应考虑备用冷冻机。

4 不得选择制冷剂为氨的冷冻机组。

4.5.4 地层冻结盐水应符合下列要求：

1 地层冻结用载冷剂（盐水）宜采用氯化钙水溶液，其凝固点应低于设计盐水温度 $8^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。

2 盐水中可掺加氢氧化钠或重铬酸钠。

3 氯化钙水溶液应充满盐水循环系统中所有的容器和管路。氯化钙用量可按式（4.5.4）计算确定：

$$G = \frac{1.2\theta_G(V_1+V_2+V_3)}{\rho} \quad (4.5.4)$$

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/m^3 ）；

ρ ——固体氯化钙纯度；

V_1 ——冻结器内盐水体积（ m^3 ）；

V_2 ——干管及集、配液圈、连接管路高压软管内的盐水体积（ m^3 ）；

V_3 ——蒸发器和盐水箱内盐水体积（ m^3 ）。

4.5.5 盐水管路设计应符合下列要求：

1 供液管、干管和集、配液圈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 $0.3\text{ m/s}\sim 0.6\text{ m/s}$ ，在供液管中的流速宜为 $0.6\text{ m/s}\sim 1.5\text{ m/s}$ ，在干管及集、配液圈中的流速不宜大于 2.0 m/s 。

2 盐水干管及集、配液圈可选用普通低碳钢无缝钢管，管壁厚度不宜小于 4.5mm 。

3 当盐水干管管路较长时，应安装伸缩节及截止阀，间距不宜大于 100m 。

4 盐水循环系统安装流量计，可直接监测盐水干管和支管的流量。

4.5.6 盐水泵设计应符合下列要求：

1 盐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。

2 盐水循环计算总流量、盐水泵扬程和电机功率的计算参照附录 J.0.1。

4.5.7 冷却水循环系统设计应符合下列要求：

1 冻结站冷却水总需用量和补充水量可参照附录 J.0.2 计算，补充水量的补

充能力应大于计算补充水量。

2 冷却塔型号选择和所需台数应综合考虑冷却水总循环量、进出水温度和环境条件等因素确定。

3 宜采用不易结垢冷却水，水温不宜高于 28℃。

4 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。

4.5.8 低温容器及管路保温设计除应符合现行国家标准《工业设备及管道绝热工程设计规范》GB 50264 的要求外，还应符合下列要求：

1 制冷剂循环系统的中压和低压容器、管路和盐水循环系统中的盐水箱、盐水干管、集液圈、配液圈等必须进行保温。

2 保温材料应参照本标准 4.3.6 条的要求进行设计。

3 低温容器、管路的保温层均应铺设防潮层。

4.5.9 冻结站供电应符合现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46 的要求，冻结站供电应按二级用电负荷设计，采用双回路供电或配有备用电源；备用电源可采用发电机，发电机容量应能满足维持冻结工况下的最低负荷，备用电源应能在 2h 内启用。

4.6 隧道支撑及防护门设计

4.6.1 隧道支撑和防护门的结构形式应结合使用功能要求及隧道管片结构等进行设计，在满足使用功能的前提下，宜兼顾可重复利用。

4.6.2 隧道支撑和防护门设计计算应满足下列要求：

1 应选择最不利工况进行承载能力和变形验算。

2 隧道支撑每个支点所承受的荷载不应大于管片设计承载力。

3 防护门设计应取联络通道处的水土荷载，按水土分算方法计算并考虑突发工况下的动荷载冲击系数，宜取 1.4。

4.6.3 隧道支撑设计应满足下列要求：

1 隧道支撑可采用多边形支撑、环形支撑或其它形式支撑。

2 当采用多边形支撑，隧道内联络通道预留口应设置不少于 2 榀隧道支撑，每榀应设置不少于 7 个支点，均匀地支撑在隧道管片上，支点应避开隧道管片接

缝。

3 当采用环形支撑，应根据施工限界等要求，进行针对性设计。

4.6.4 防护门设计应满足下列要求：

1 联络通道预留洞口应设置防护门，在联络通道开挖前应安装完成，并经打压试验验收合格。

2 防护门打压宜采用水密性试验，试验压力不应超过防护门耐压值，在连续供压条件下保持设计值不少于 15 分钟为合格。

3 防护门宜采用左、右开启方式，开启后不影响联络通道开挖与构筑施工。

4 防护门的大小、安装数量等应结合联络通道的风险等级进行针对性设计，当联络通道位于承压水层或处于复杂环境（江、河及敏感保护对象等）时，防护门应包住钢管片开洞范围，并在双侧隧道内均安装防护门。

4.6.5 位于承压水地层的泵站开挖宜预留防护盖板安装条件，防护盖板设计应根据安装位置的水土荷载进行受力验算。

4.7 初期支护设计

4.7.1 初期支护应进行承载力验算，初期支护所受荷载应结合工程地质、联络通道结构特征、环境条件等因素进行选取，方案设计或工况不明时可取冻结壁所承受地层荷载的 20%~30%。

4.7.2 初期支护设计应符合下列要求：

1 初期支护宜采用“网喷混凝土、型钢支架、木背板、充填层”组成的结构形式（图 4.7.2）。

2 初期支护钢支架可采用型钢制作，采用工字钢时，不宜小于 16 号。

3 喷射混凝土强度等级不应低于 C25，厚度不宜小于 200mm；喷射混凝土段长应结合联络通道的工况条件和冻结效果等因素确定，当出现下列情况之一时，宜分段进行喷射混凝土施工：

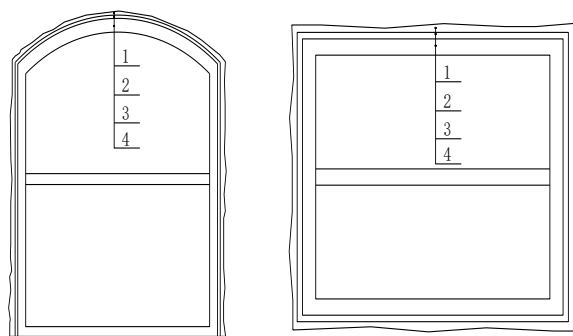
1) 联络通道位于（微）承压水层。

2) 联络通道长度大于 15m。

3) 联络通道开挖区附近 3m 内有特殊变形控制要求的重要建（构）筑物。

4 木背板厚度可取 30mm~50mm。

5 木背板与冻土之间间隙应充填密实，充填材料可采用中粗砂或水泥砂浆。



(a) 通道初期支护剖面图 (b) 泵站初期支护俯视图

图 4.7.2 初期支护形式示意图

1-充填层；2-木背板；3-钢支架；4-网喷混凝土

4.7.3 型钢支架应为封闭成环支护结构，支架间距宜为 0.4m~0.8m，根据受力计算确定。相邻两榀支架之间应采用支撑杆相互连接。

4.8 冻结孔充填与封堵设计

4.8.1 结构施工完成后且冻结壁未化冻之前，应对所有冻结孔进行充填与封堵。

4.8.2 冻结孔充填应符合下列要求：

- 1 冻结管充填前应排干管内盐水。
- 2 冻结管充填长度自管口向孔内不应小于 1.5m。
- 3 充填材料宜采用强度等级不低于 M10 的水泥砂浆或 C15 以上混凝土。

4.8.3 冻结孔封堵应符合下列要求：

1 冻结孔封堵前，应割除隧道管片上的孔口管与冻结管，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。

2 应结合开孔工艺采取冻结管限位措施，严禁冻结管向隧道内移位。

4.8.4 测温孔、泄压孔、透孔及探孔的充填与封堵措施参照冻结孔封堵相关要求执行。

4.9 充填注浆与融沉注浆设计

4.9.1 完成冻结孔封孔并停止冻结后，应对初期支护与结构之间、初期支护与冻土之间进行充填注浆。充填注浆结束后，应根据地层沉降监测情况及时进行融沉注浆。

4.9.2 注浆管设置应符合下列要求：

- 1 注浆孔的布孔密度宜为 1 个/2m²~1 个/4m²。
- 2 注浆管规格宜与隧道管片预埋注浆管规格一致。
- 3 注浆管应设置止水板。
- 4 注浆管预埋深度以管端接触到冻土层为宜。

4.9.3 充填注浆设计应符合下列要求：

- 1 充填注浆应在停止冻结后（3~5）d 内进行。
- 2 注浆材料宜采用单液水泥浆，水灰比宜为 0.8:1~1:1。
- 3 注浆压力不应大于静水压力。
- 4 注浆量以充满联络通道结构层与冻结壁之间空隙为准。

4.9.4 融沉注浆设计应结合冻结壁的解冻方式，当冻结壁采用自然解冻方式时，融沉注浆设计应符合下列要求：

- 1 融沉注浆应遵循“少量、多点、多次、均匀”的原则。
- 2 注浆材料可选用水泥-水玻璃双液浆或单液水泥浆，末次注浆宜采用水泥-水玻璃双液浆。

3 水泥-水玻璃双液浆的配比为：水泥浆与水玻璃溶液的体积比宜为 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。

- 4 单液水泥浆的水灰比宜为 0.8:1~1:1。

5 注浆压力值应根据地质条件、注入方式、管片类型、设备性能、浆液特性和隧道埋深等综合确定。

4.9.5 停止融沉注浆应同时满足下列条件：

- 1 冻结壁已全部融化。
- 2 注浆量达到按实际冻结帷幕体积和地层特性确定的注浆量，且不小于实际冻土体积的 15%。

3 实测地表竖向位移变化速率连续 2 次小于 0.5mm/15d。

4.9.6 注浆孔封堵应符合下列要求：

1 注浆完成后，待浆液强度达到最终强度的 80%以上时，方可拆除注浆球阀、割除注浆管，并安装球墨铸铁闷盖，扭紧、牢固可靠。

2 孔口宜用微膨胀混凝土填充密实，表面抹平，并对注浆孔位置进行标识。

5 冻结施工

5.1 一般规定

- 5.1.1 冻结施工前，应复核联络通道与隧道的相对位置关系。
- 5.1.2 承压水地层中冻结钻孔前，在联络通道开口位置两侧各 10 环隧道管片壁后应进行注浆加固。
- 5.1.3 冻结钻孔前，地表、建（构）筑和隧道内变形监测点应布置完毕，且已测量初始值。

5.2 冻结孔、测温孔、泄压孔施工

5.2.1 钻孔施工平台应进行承载力验算，搭设牢固平整，并与隧道管片固定牢固。

5.2.2 冻结孔开孔应符合下列要求：

1 开孔位置偏差宜不大于 100mm；开孔间距误差不应大于 150mm。

2 隧道管片上开孔时，应采取二次开孔工艺，即先安装孔口管和阀门后再钻透隧道管片。孔口管安装应符合下列要求：

1) 孔口管宜采用低碳钢无缝钢管，孔口管内径与冻结管外径差值应满足钻孔工艺要求，管壁厚度不宜小于 4.5mm。

2) 钢管片上安装孔口管时，应首先将孔口管焊接固定在钢管片上，并应采用硫铝酸盐微膨胀水泥或混凝土充填钻孔格仓及相邻格仓。钢管片格仓上宜覆盖不小于 10mm 厚的封堵钢板。封堵钢板宜与管片内表面平齐，并与孔口管外露部分焊接牢固。

3) 混凝土管片上安装孔口管时，一次开孔应预留不少于 50mm 不钻透管片，钻孔直径宜大于孔口管管径 2mm~4mm。孔口管上加工不小于 200mm 长的鱼鳞扣。孔口管缠上麻丝插入钻孔内，插入深度不宜小于 200mm，孔口管与隧道管片应牢固固定。

5.2.3 冻结孔施工应符合下列要求：

1 钻孔施工前，应在孔口管上安装阀门及孔口防喷装置。

2 冻结孔施工可选用跟管钻进法、夯管法和顶管法等施工方法。在地层沉降控制要求高的地层中宜选用保压钻进。

3 用钻进法施工冻结孔时，在黏土或淤泥等不透水地层中可采用清水钻进；在流砂或粉土层中宜采用泥浆钻进，并根据地层情况调整泥浆配比，防止塌孔。

4 冻结孔钻进排出土体体积大于冻结孔体积时，应采用保压钻进工艺进行钻进。若采取措施后，变形无法控制，应立即用水泥浆或水泥-水玻璃双液浆进行注浆补偿。注浆压力满足压浆需要且不大于开孔处水土压力的 2 倍，注浆量不应小于流出量的 1.5 倍。

5 冻结孔施工结束后应采用水泥浆或水泥-水玻璃双液浆封堵冻结管与孔口管、管片之间的环形空间。在确认浆液终凝且孔口管旁通阀无泥水流出后，方可拆除防喷装置和球阀。

6 拆除防喷装置和球阀后应及时焊接厚度不小于 6mm 环形钢板封堵孔口管与冻结管之间的环形空间，环形钢板不得覆盖法兰孔。环形钢板与冻结管外壁及孔口管法兰均应焊接牢固，满足密封要求。

5.2.4 若设置透孔时，应先施工透孔，验证隧道管片上预留洞门的相对位置、地质及水文情况。在砂性含水地层施工透孔时，在透孔穿透对侧管片前，应在准确判断透孔接收位置和角度的基础上设置密封接收装置。

5.2.5 施工冻结孔时，宜采用下列措施控制冻结孔成孔间距：

1 开孔孔位、角度应准确。

2 钻孔施工过程中，钻杆或冻结管的方位和倾角应反复校核，及时纠偏。

3 冻结孔成孔间距不满足设计要求时，可采取补孔或延长冻结时间的方法。

5.2.6 冻结孔施工完毕后应及时测斜，并应符合下列要求：

1 对于孔深不大于 25m 的冻结孔可采用经纬仪灯光测斜，对于深度大于 25m 的冻结孔，宜采用陀螺仪测斜。

2 应绘制实际孔位图、成孔偏斜图和预计冻结壁交圈图。

5.2.7 测温孔施工应符合下列要求：

1 测温孔宜在冻结孔施工结束后施工，并根据冻结孔的实际测斜成果，确定测温孔的位置、角度和深度。

2 测温孔施工及测斜技术要求同冻结孔。

5.2.8 泄压孔布设在粘土地层中宜布设花管，在砂性含水地层中不宜布设花管，

但应将地层与孔口压力监测装置连通。

5.2.9 在全部冻结孔验收合格后，可拆除钻孔施工设备。

5.3 冻结管、测温管、泄压管施工

5.3.1 采用跟管钻进时，冻结管管壁厚度不宜小于 8mm；采用夯管时，冻结管管壁厚度不宜小于 6mm。

5.3.2 冻结管接头应符合下列要求：

1 采用跟管钻进法施工时宜采用螺纹及接口对焊连接，采用夯管钻进法施工时宜采用内衬管及接口对焊连接。冻结管接头强度不宜小于母管强度的 80%。

2 冻结管配管时，接头宜避开管片及其附近 300mm 范围，相邻冻结管的接头宜错开。

3 内衬管材质应与冻结管材一致，冻结管管端宜打坡口，选用焊条应与管材材质相匹配，焊缝应饱满且与管外壁齐平。冻结管焊接后，应先冷却，再下入地层。

4 冻结管连接应顺直，保证其同心度。

5.3.3 冻结管下入地层深度不应小于设计深度或与隧道管片相接，不宜大于设计深度 0.5m。冻结管管口露出孔口管不宜小于 100mm。

5.3.4 施工完成后的冻结管应做好保护，管内不得留有杂物。

5.3.5 冻结管下入地层后应进行水压试验。试验压力为冻结工作面盐水压力的 1.5 倍~2 倍，且不宜低于 0.8MPa。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。冻结管试压不合格时，应进行处理，合格后方可使用。

5.3.6 冻结管发生渗漏时，应采取下列措施进行处理：

1 冻结管发生渗漏时，宜采用在漏管中下入小直径冻结管的方法处理。小直径冻结管管壁厚度宜为 3mm~4mm，可采用直接对焊连接。采用小直径冻结管的冻结孔数不应多于冻结孔总数的 5%，且相邻冻结管下放套管时应加设管道泵确保流量满足设计要求，如流量不满足设计要求时应补孔。小直径冻结管下放深度和耐压要求应与冻结管相同。

2 渗漏的冻结管下放套管后水压试验仍不能满足 5.3.5 要求时，应补孔。

5.3.7 测温管管材宜采用钢管，质量符合设计要求。测温管规格应方便安装测点。

5.3.8 泄压管管口应安装压力表和控制阀门，压力表的精度应达到 $\pm 0.02\text{MPa}$ 。

5.4 冻结器安装

5.4.1 冻结器安装之前，应绘制冻结管串、并联分组连接图，每组串联长度应基本一致。

5.4.2 供液管下入冻结管时应连接牢固、严密；供液管底端与冻结管底端应预留 $100\text{mm}\sim 150\text{mm}$ 的间隙。

5.4.3 冻结器与集、配液管之间宜采用高压软管连接，连接应牢固并有防脱落措施；高压软管的工况耐压值应大于工作压力的1.2倍；在冻结器与集、配液圈之间的连接管路上应安装控制阀门和温度测点。

5.4.4 采用聚乙烯增强塑料管作为供液管时，宜采用整根塑料管。

5.4.5 集、配液管的每一组去、回路接口都应安装阀门，回路应安装温度测点。

5.5 冷排管安装

5.5.1 冷排管的加工与制作应符合现行国家标准《工业金属管道工程施工规范》GB 50235 和《钢结构设计标准》GB 50017 的要求，当冷排管采用沿管片内表面环形敷设时，其弯曲半径应与衬砌圆环内径一致，弯管外表面不得有裂纹、过烧、分层等缺陷。

5.5.2 冷排管应紧贴管片内表面固定安装，管片与冷排管之间的间隙不大于 5mm ，并宜用黏土或水泥砂浆密实充填、覆盖。

5.5.3 冷排管各管段之间宜用钢制弯头连接，冷排管与集配液圈之间宜用软管连接。

5.5.4 冷排管不宜与冻结管串联。

5.6 冻结站位置及安装

5.6.1 冻结站可设置在地铁车站地面广场、地下站层或联络通道附近的隧道内。

- 冻结站设置在地面时，应避免阳光直晒，并应做好防雨、防雷、防汛等相关措施。
- 5.6.2 冻结站厂房防火应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016 的要求。
- 5.6.3 冻结站应通风良好，通风条件不能满足设备降温需求时可安装轴流风机强制通风或将冷却塔外置于通风处。
- 5.6.4 冻结站制冷设备、盐水泵、清水泵及管路系统的安装，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 的要求。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 的要求。
- 5.6.5 当冻结站设置在隧道内时，应避免热风贯通冻结工作面，并统筹好冷冻站与开挖时出土运输的关系。
- 5.6.6 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及预警系统。
- 5.6.7 盐水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。
- 5.6.8 冻结站制冷剂循环系统、盐水干管和集、配液圈应进行密封性试验，且应符合下列要求：
- 1 浮球阀、液面指示器、安全阀等安装前应进行灵敏性检测。
 - 2 盐水管路系统必须进行水压试验，试验压力不应小于冻结工作面盐水压力的 1.5 倍，并应持续 1h 压力不下降。
 - 3 冷冻机充制冷剂前，制冷系统各部位必须进行试漏检验，各部位试漏压力应符合表 5.6.8 及设备说明书的要求。

表 5.6.8 试漏压力

部位	高压系统	低压系统
试压表压力 (MPa)	1.6~1.8	1.2

5.7 冻结站运转

- 5.7.1 冻结站正式运转前各系统应符合下列要求：

1 冻结站内灭火器材、防雷装置、电器接地等安全设施应齐全。冷冻机油、冷冻机易损件和制冷剂均应有一定备用量；

2 冷却水、盐水系统试运转正常后可加注制冷剂。加注制冷剂时，制冷系统压力控制范围应在 0.2MPa~0.3MPa。

5.7.2 冻结站运转应符合下列要求：

1 制冷剂、盐水、冷却水循环系统应正常运转，盐水温度下降过程应符合本标准 4.3.4 条的相关要求，各冻结孔分组流量、回水温度应均匀，冻结器端部及胶管结霜宜均匀；

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。

5.7.3 冻结站运转记录应包括下列内容：

1 冷冻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油量的记录；

2 盐水去回路温度、盐水循环泵泵压、盐水箱液位、盐水比重、冷却水进回水温度、冷却水循环泵泵压，以及其它冻结系统监测数据；

3 冻结器头部胶管结霜及盐水管路积气排放等情况；

4 盐水漏失及处理、冻结系统设备故障及处理、以及其它影响冻结施工安全、质量的重要事项。

5.8 冻结壁检测与判断

5.8.1 冻结壁的安全状况应结合多种指标进行综合分析判断，包括：冻结壁有效厚度、平均温度、冻土与结构交界面温度、泄压孔情况、探孔温度以及冻结壁开挖边界温度与变形量等。

5.8.2 测温管内测点布置应符合下列要求：

1 应至少在测温管底部及冻结壁与隧道管片界面处布置温度测点。

2 冻结壁与隧道管片界面处的温度测点深入管片后不得大于 100mm。

3 测温管内安装测温电缆和测温元件后，管口应进行封闭和保护，防止外界空气流动影响测温元件数据可靠性及电缆被移位、损坏。

5.8.3 冻结施工温度监测宜采用数字化自动测温系统，可用热电偶、电子点温计、玻璃温度计等测温元件和仪器；测温元件和仪器应经过标定，测量精度应达

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/986234140212010134>