

ICS93.160

p55

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL211-2006

替代 SL211-98

# 水工建筑物抗冰冻设计规范

Code for Design of Hydraulic Structures  
against Ice and Freezing Action

2006-09-09 发布

2006-10-01 实施

中华人民共和国水利部 发布

## 前 言

根据水利部水利水电规划设计管理局水总局科[2002]15号“关于2002年水利水电勘测设计技术标准制定、修订项目及主编单位的通知”，对《水工建筑物抗冰冻设计规范》（SL211-98，以下简称原规范）进行修订。其编写格式按《水利技术标准编写规定》（SL 1-2002）执行。

修订后的《水工建筑物抗冰冻设计规范》（SL211-2006，以下简称本规范）发布后，水工建筑物设计中有关抗冰冻设计部分应按本规范执行。

本规范共12章33节254条和6个附录。其主要技术内容为：

- 土冻胀量的分级及其确定方法；
- 冰冻荷载的分类、取值和组合；
- 抗冰冻材料、结构的选用与布置要求；
- 各类水工建筑物（结构）的抗冰冻设计。

本次对原规范修订的主要技术内容有：

——将原规范总则中的适用范围改为“适用于新建或改建的1、2、3级水工建筑物的抗冰冻设计，4、5级水工建筑物的抗冰冻设计和多年冻土区水工建筑物的抗冰冻设计的有关内容可参照执行。”；

——本规范增加“主要术语、符号”一章；

——土的分类按现行国家和水利行业标准作了修改；

——取消原规范第2章中的标准冻深等值线图；

——本规范简化了单位法向冻胀力取值表；

——将原规范第4章“材料”改为“材料与结构的一般规定”，混凝土的抗冻级别增加了F250一级，并增加“结构构造”一节；

——将原规范第5章“堤坝”改为“挡水与泄水建筑物”，增加“堤防与护岸”一节，有关堤防与护岸方面的内容纳入本节；

——将原规范第6章“取水与电站建筑物”改为“取水与输水建筑物”，取消原规范第6章中有关调压井方面的内容；

——取消原规范第7章“渠道衬砌与暗管”中有关渠道衬砌方面的内容，将有关

暗管方面的内容纳入本规范第 7 章，并增加有关隧洞方面的内容；

——本规范增加“泵站与电站建筑物”一章，将原规范第 6 章中有关前池排冰和地面厂（泵）房方面的内容纳入本章；

——修改了原规范第 9 章“挡土墙”中水平冻胀力的分布和计算公式；

——修改了保温层厚度和换填非冻胀性材料范围、深度的确定方法；

——将原规范第 10 章“桥梁和渡槽”中按可靠度的计算公式改为按单一安全系数的计算公式；

——取消原规范第 11 章“水工金属结构”中的油热防冰冻法，将原规范第 6 章的“露天压力管道”一节的内容纳入本章；

——修改了附录 C 的冻胀量计算方法；

——取消了部分暂时不宜列入规范的抗冰冻措施。

本规范为全文推荐。

本规范所替代规范的版本为：

——SL211—98

本规范批准部门：中华人民共和国水利部

本规范主持机构：水利部水利水电规划设计管理局

本规范解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本规范主编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

本规范参编单位：水利部新疆维吾尔自治区水利水电勘测设计研究院

西北农林科技大学

中科院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室

本规范出版、发行单位：中国水利水电出版社

本规范主要起草人：徐伯孟 胡志刚 铁 汉 李安国 苑润保 朱瑞森 王德库

童长江 杨玉航 马玉华 王常义 杨成祝 张利民

本规范审查会议技术负责人：方裕 蔡强国

本规范体例格式审查人： 陈登毅

WWW.CWS.NET.CN

# 目 次

|     |                 |    |
|-----|-----------------|----|
| 1   | 总则.....         | 1  |
| 2   | 主要术语和符号.....    | 3  |
| 2.1 | 主要术语.....       | 3  |
| 2.2 | 主要符号.....       | 4  |
| 3   | 基本资料.....       | 7  |
| 4   | 冰冻荷载.....       | 8  |
| 5   | 材料与结构的一般规定..... | 10 |
| 5.1 | 一般材料.....       | 10 |
| 5.2 | 保温材料.....       | 12 |
| 5.3 | 分缝和止水.....      | 12 |
| 5.4 | 结构构造.....       | 12 |
| 6   | 挡水与泄水建筑物 .....  | 14 |
| 6.1 | 一般规定 .....      | 14 |
| 6.2 | 混凝土坝与浆砌石坝 ..... | 14 |
| 6.3 | 土石坝 .....       | 15 |
| 6.4 | 溢流坝与岸坡溢洪道 ..... | 17 |
| 6.5 | 泄洪洞与坝体泄水孔.....  | 18 |
| 6.6 | 堤防与护岸.....      | 19 |
| 7   | 取水与输水建筑物.....   | 19 |
| 7.1 | 一般规定 .....      | 19 |
| 7.2 | 取水口排冰 .....     | 19 |
| 7.3 | 明渠冬季输水 .....    | 20 |
| 7.4 | 暗管与隧洞 .....     | 22 |
| 8   | 泵站与电站建筑物 .....  | 23 |
| 8.1 | 一般规定 .....      | 23 |
| 8.2 | 前池排冰 .....      | 23 |

|                  |    |
|------------------|----|
| 8.3 地面厂（泵）房      | 24 |
| 9 闸涵建筑物          | 25 |
| 9.1 一般规定         | 25 |
| 9.2 结构与布置        | 25 |
| 9.3 稳定与强度验算      | 26 |
| 9.4 抗冻胀措施        | 27 |
| 10 挡土结构（墙）       | 30 |
| 10.1 一般规定        | 30 |
| 10.2 水平冻胀力计算     | 30 |
| 10.3 抗冻胀措施       | 32 |
| 11 桥梁和渡槽         | 34 |
| 11.1 一般规定        | 34 |
| 11.2 基础结构        | 34 |
| 11.3 基础稳定与强度验算   | 35 |
| 12 水工金属结构        | 37 |
| 12.1 一般规定        | 37 |
| 12.2 闸门          | 38 |
| 12.3 拦污栅         | 41 |
| 12.4 露天压力管道      | 41 |
| 附录 A 中国主要河流冰情特征  | 42 |
| 附录 B 土的冻结深度的确定   | 48 |
| 附录 C 土的冻胀量的确定    | 53 |
| 附录 D 冰压力计算       | 57 |
| 附录 E 门叶电热法防冰冻计算  | 59 |
| 附录 F 压力水射流法防冰冻计算 | 61 |
| 本规范用词说明          | 63 |
| 条文说明             | 64 |

# 1 总 则

1.0.1 为了统一在冰、冻融和冻胀作用下的水工建筑物抗冰冻设计标准和技术要求，提高水工建筑物的抗冰冻设计水平，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建或改建的 1、2、3 级水工建筑物的抗冰冻设计，4、5 级水工建筑物的抗冰冻设计和多年冻土区水工建筑物的抗冰冻设计的有关内容可参照执行。

1.0.3 水工建筑物抗冰冻设计应遵循下列基本原则：

- 1 应因地制宜，安全可靠，经济合理和实用美观；
- 2 应充分掌握建筑物所在地的自然条件、建筑物施工和运行条件等基本资料；
- 3 应根据冰冻作用的因素、危害程度、建筑物的级别及其型式，确定抗冰冻设计方案，并应提出对施工工艺和运行方面的要求；
- 4 在选址、选线、工程布置、结构形式和材料性能上，应结合采取抗冰冻作用的工程措施，必要时可考虑其它辅助性技术措施；
- 5 对受冰冻作用严重的工程应进行专门研究；
- 6 在不断总结实践经验、科学试验和充分论证的基础上，可结合具体工程采用抗冰冻作用的先进技术。

1.0.4 本规范的引用标准主要有：

- 《建筑地基基础设计规范》（GB50007—2002）；
- 《土的分类标准》（GBJ145—90）；
- 《渠系工程抗冻胀设计规范》（SL×××—××××）；
- 《混凝土面板堆石坝设计规范》（SL228—98）；
- 《溢洪道设计规范》（SL253—2000）；
- 《水闸设计规范》（SL265—2001）；
- 《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTJ024—85）；
- 《碾压式土石坝设计规范》（SL274—2001）；
- 《混凝土重力坝设计规范》（SL319—2005）；
- 《水利水电工程启闭机设计规范》（SL41—93）；
- 《水利水电工程钢闸门设计规范》（SL74—95）；
- 《水工混凝土试验规程》（SD105—82）；

- 
- 《堤防工程设计规范》（GB50286—98）；
  - 《水工隧洞设计规范》（SL279—2002）；
  - 《水电站厂房设计规范》（SL266—2001）；
  - 《水利水电工程进出口设计规范》（SL285—2003）；
  - 《泵站设计规范》（GB/T50265—97）。

**1.0.5** 受冰、冻融和冻胀作用的水工建筑物抗冰冻设计除应符合本规范规定外，尚应符合国家现行有关技术标准的规定。

---

## 2 主要术语和符号

### 2.1 主要术语

2.1.1 冻土 frozen ground (soil, rock)

具有负温或零温度并含有冰的土和岩石。

2.1.2 季节冻土 seasonally frozen ground

地壳表层寒季冻结、暖季又全部融化的土和岩石。

2.1.3 季节冻结深度 depth of seasonal freezing

整个冬季自地表算起的最大冻结深度（冻结层厚度）。

2.1.4 设计冻深 design freezing depth

计算点的冻结深度设计取值。

2.1.5 地基土(或墙后土)设计冻深 design freezing depth of foundation

自构筑物底面算起的地基土（或墙后土）冻结深度设计取值。

2.1.6 冻结指数 freezing index

整个冻结期内日平均温度低于 0 的日平均气温逐日累积值。

2.1.7 冻胀量 amount of frost-heaving

土在冻结过程中的膨胀变形量。

2.1.8 地表冻胀量 amount of frost-heaving of ground surface

整个冻结期内冻结膨胀后的地面与冻前地面的高差值。

2.1.9 冻胀力 horizontal frost-heaving force

土的冻胀受到约束时产生的力。

2.1.10 水平冻胀力 horizontal frost-heaving force

土冻胀时作用于构筑物侧面水平方向的冻胀力。

2.1.11 切向冻胀力 tangential frost-heaving force

土冻胀时作用于构筑物侧表面向上的冻胀力。

2.1.12 法向冻胀力 normal frost-heaving force

土冻胀时作用于构筑物底面法线方向的冻胀力。

### 2.1.13 静冰压力 static ice pressure

静止冰盖升温膨胀对构筑物产生的作用力。

### 2.1.14 动冰压力 dynamic ice pressure

移动的冰盖或漂冰对构筑物产生的撞击力。

### 2.1.15 冰盖 ice cover

水体表面形成的大面积冰层。

### 2.1.16 武开江 ice breakup due to hydraulic and climatic effect

冰盖尚未充分解体前，由于气象和水力因素突变将冰盖鼓开，形成大量流冰的现象。

### 2.1.17 冰坝 ice dam

大量冰块在河道束窄、浅滩、未解冻前缘等处堆积，使河道阻塞，水位壅高的现象。

## 2.2 主要符号

### 2.2.1 作用力

$\sigma_h$ ——单位水平冻胀力

$\sigma_v$ ——单位法向冻胀力

$\tau_t$ ——单位切向冻胀力

$\psi_r$ ——冻层内桩壁糙度系数

$\sigma_{vs}$ ——作用在板底面上的单位法向冻胀力设计值

$p$ ——荷载强度，恒载

$F_a$ ——验算断面的拉力

$F_s$ ——冻层以下基础与暖土之间的总摩阻力

$P_i$ ——静冰压力

$F_{i1}$ ——冰块撞击建筑物时产生的动冰压力

$F_{i2}$ ——冰块切入三角形墩柱时的动冰压力

$F_{i3}$ ——冰块撞击三角形墩柱时的动冰压力

---

$f_y$ ——验算截面材料的强度设计值

$f_{ib}$ ——冰的抗挤压强度

### 2.2.2 冻深、冻胀参数

$\beta_0$ ——非冻胀区深度系数

$\psi_d$ ——日照及遮荫程度影响系数

$\psi_w$ ——地下水修正系数

$\psi_e$ ——有效冻深系数

$Z_d$ ——设计冻深

$Z_e$ ——置换深度

$Z_f$ ——地基土设计冻深

$Z_m$ ——历年最大冻深

$Z_w$ ——冻前(冻结初期)地下水位埋深

$h$ ——地表冻胀量

$h_d$ ——墙后填土的冻胀量

$h_f$ ——地基土冻胀量

$m_\sigma$ ——位移影响系数

### 2.2.3 热学参数

$\lambda_c$ ——底板(墙)的热导率

$\lambda_x$ ——保温板热导率

$E$ ——饱和水汽压

$N$ ——加热功率

$T$ ——加热时间

$I_m$ ——历年最大冻结指数

$R_o$ ——设计热阻

$t_c$ ——门叶内部空气加热温度

$t_k$ ——最低气温

$t_w$ ——水温

$k_{pa}$ ——由门叶内空气通过聚苯乙烯泡沫塑料板向外界冷空气中的传热系数

---

$k_{sa}$ ——由门叶内部空气通过钢板向冷空气中的传热系数

$k_{sw}$ ——由门叶内部空气通过钢板向水中的传热系数

$t_{ws}$ ——过冷水温度

#### 2.2.4 水力参数

$\delta_i$ ——冰厚

$\delta_w$ ——冻前底板上的水层厚度

$B_0$ ——不冻水面宽度

$L_0$ ——渠道不结冰（不冻水面）长度

#### 2.2.5 几何参数

$\delta_c$ ——底板(墙)厚度

$\delta_x$ ——保温板的厚度

$A$ ——面积

$B$ ——宽度

$[K]$ ——最小安全系数

$[S]$ ——建筑物的允许位移值

### 3 基本资料

3.0.1 水工建筑物的抗冰冻设计，应根据需要取得工程地点的气象、冰情、工程地质和冻土等基本资料。

3.0.2 气象资料主要为工程地点的年平均气温、最冷月平均气温、日平均最低气温、冻结指数、冬季风向和风速。应采用当地或条件相似的邻近气象台(站)的资料，其统计系列年限不应少于最近 20 年。

3.0.3 气候分区应根据最冷月平均气温确定为：

- 1 严寒:最冷月平均气温  $t_a < -10$  ；
- 2 寒冷:最冷月平均气温  $-10 \leq t_a \leq -3$  ；
- 3 温和:最冷月平均气温  $t_a > -3$  。

3.0.4 设计采用的冻结指数应取历年最大值。

3.0.5 冰情资料应包括封冰(冻)日期、解冰(冻)日期、流冰历时、冰厚、冰块尺寸、冰流量、流冰总量、流冰种类及性质、武开江概率等。以上各种资料应根据当地或冰情相似河流的观测资料确定；无实测资料时，可通过实地调查或附录 A 确定。

3.0.6 地质资料主要包括工程地基土的种类、颗粒组成、密度、塑限、液限、天然含水率和冻前（冻结初期）地下水位等。前 6 种资料应通过试验确定，冻前地下水位可通过观测或调查确定。

3.0.7 冻土资料主要包括历年最大冻深和地表冻胀量等，应分别按下列方法确定：

- 1 历年最大冻深应直接采用当地或邻近工程地点气温、地下水位和土质条件相近的气象台(站) 的历年最大冻深观测值，其统计系列年限不应少于最近 20 年。
- 2 地表冻胀量应通过现场实测确定；无实测资料时可按工程类比和根据附录 B 确定的设计冻深按附录 C 算得的冻胀量综合确定。

3.0.8 根据地基土的颗粒组成可按下列判别标准划分为冻胀性土和非冻胀性土：

- 1 土中粒径小于 0.075mm 的土粒质量等于或小于总质量 10%的土为“非冻胀性土”；
- 2 土中粒径小于 0.075mm 的土粒质量大于总质量 10%的土为“冻胀性土”。

3.0.9 根据地表冻胀量（h）或地基土冻胀量、挡土结构墙后计算点土冻胀量的大小，可将土的冻胀分为五级（见表 3.0.9）。

表 3.0.9 土的冻胀级别

| 冻胀级别  |            |                |                 |                  |          |
|-------|------------|----------------|-----------------|------------------|----------|
| h(cm) | $h \leq 2$ | $2 < h \leq 5$ | $5 < h \leq 12$ | $12 < h \leq 22$ | $h > 22$ |

## 4 冰冻荷载

4.0.1 作用在水工建筑物上的冰冻荷载(冰压力和土的冻胀力)为基本设计荷载。

4.0.2 冰压力分为静冰压力和动冰压力，可按附录 D 确定。

4.0.3 土的冻胀力分为切向冻胀力、水平冻胀力和法向冻胀力，可根据冻胀量按下列规定取值：

1 单位切向冻胀力( $\tau_t$ )是指表面平整的混凝土桩、墩等构筑物基础在无竖向位移的条件下，相邻土冻胀时沿构筑物基础侧表面单位面积产生的向上作用力，可按表 4.0.3-1 取值。

表 4.0.3-1 单位切向冻胀力  $\tau_t$

|                                                        |        |         |         |          |           |
|--------------------------------------------------------|--------|---------|---------|----------|-----------|
| 地表土冻胀量 $h(\text{cm})$                                  | 0 ~ 2  | 2 ~ 5   | 5 ~ 12  | 12 ~ 22  | $\geq 22$ |
| $\tau_t(\text{kPa})$                                   | 0 ~ 20 | 20 ~ 40 | 40 ~ 80 | 80 ~ 110 | 110 ~ 150 |
| 注 1：桩壁粗糙，但无凹突面时，表中数值应乘以 1.1 ~ 1.2 的系数；<br>注 2：表中数值可内插。 |        |         |         |          |           |

2 单位水平冻胀力( $\sigma_h$ )是指挡土结构(墙)在无水平位移条件下，挡土结构(墙)后土冻胀时沿墙高呈水平方向对墙体产生的单位冻胀力，可按表 4.0.3-2 取值。

表 4.0.3-2 单位水平冻胀力  $\sigma_h$

|                                  |        |         |         |          |           |
|----------------------------------|--------|---------|---------|----------|-----------|
| 挡土结构(墙)后计算点土冻胀量 $h_d(\text{cm})$ | 0 ~ 2  | 2 ~ 5   | 5 ~ 12  | 12 ~ 22  | $\geq 22$ |
| $\sigma_h(\text{kPa})$           | 0 ~ 30 | 30 ~ 50 | 50 ~ 90 | 90 ~ 120 | 120 ~ 170 |
| 注：表中数值可内插。                       |        |         |         |          |           |

3 单位法向冻胀力( $\sigma_v$ )是指构筑物基础在无法向位移条件下，地基土冻胀时沿法线方向作用在构筑物底面单位面积上的法向冻胀力，可按表 4.0.3-3 取值。

表 4.0.3-3 单位法向冻胀力  $\sigma_v$

|                         |        |         |          |           |           |
|-------------------------|--------|---------|----------|-----------|-----------|
| 地基土冻胀量 $h_f(\text{cm})$ | 0 ~ 2  | 2 ~ 5   | 5 ~ 12   | 12 ~ 22   | $\geq 22$ |
| $\sigma_v(\text{kPa})$  | 0 ~ 30 | 30 ~ 60 | 60 ~ 100 | 100 ~ 150 | 150 ~ 210 |
| 注：表中数值可内插。              |        |         |          |           |           |

4.0.4 桩、墩基础设计宜取切向冻胀力与其它非冰冻荷载的组合，但斜坡上的桩、墩基础应同时考虑水平冻胀力对桩、墩的水平推力和切向冻胀力的作用，并与其它非冰冻荷载的组合。

---

4.0.5 挡土墙设计应取水平冻胀力与其它非冰冻荷载的组合，但土压力与水平冻胀力不叠加，设计时取两者的较大值。

4.0.6 两侧填土的矩型结构设计应取侧墙的水平冻胀力和作用于底板底面的法向冻胀力与其它非冰冻荷载的组合。

4.0.7 静冰压力宜按冰冻期可能的最高水位情况计算，并扣除冰层厚度范围内的水压力。

## 5 材料与结构的一般规定

### 5.1 一般材料

5.1.1 混凝土的抗冻级别分为 F400、F300、F250、F200、F150、F100、F50 七级，应按现行的《水工混凝土试验规程》（SL×××-2006）规定的快冻试验方法确定。

5.1.2 各类水工结构和构件的混凝土抗冻级别应根据气候分区、冻融循环次数、表面局部小气候条件、水分饱和程度、构件重要性和检修条件等按表 5.1.2 选定。在不利因素较多时，可选用提高一级的抗冻级别。

5.1.3 大体积混凝土分区采用不同抗冻级别时，其分区厚度可根据计入太阳辐射作用的热学计算，或根据类似建筑物运行资料确定的负温区再加 0.5m，温和地区分区厚度不应小于 0.5m。

5.1.4 有抗冻要求的混凝土应掺用引气剂或引气型减水剂，高抗冻级别的混凝土应掺用优质引气剂，其掺量应通过试验确定。

5.1.5 抗冻混凝土的材料和配比应通过试验确定。在试验过程中除控制混凝土含气量和水灰比外，宜进行混凝土气泡间距系数的测试。

5.1.6 抗冻混凝土应选择性能稳定的原材料。现场取样试件的合格率应为：素混凝土的抗冻试件不低于 80%，钢筋混凝土的抗冻试件不低于 90%。

5.1.7 抗冻混凝土应防止早期受冻。冬季施工时，应根据具体情况采取保温措施或掺加通过试验确定的对混凝土抗冻性没有影响的适量的混凝土防冻剂。

5.1.8 混凝土受冻前的强度应满足下列要求：

1 受冻期无外来水分时，大体积混凝土均应大于 5.0MPa(≤F150 的混凝土)或 7.0MPa(≥F200 的混凝土)；钢筋混凝土不应低于设计强度级别的 85%；

2 受冻期可能有外来水分时，大体积混凝土和钢筋混凝土均不应低于设计强度级别的 85%。

5.1.9 寒冷和严寒地区的浆砌石结构应采用质地良好的石料。所用石料的最小边长宜大于 30cm，。在水位变化区砌体的砌筑及灌缝宜采用二极配混凝土。浆砌石用混凝土或砂浆的抗冻级别应按表 5.1.2 选定。

5.1.10 利用冻土材料筑坝时应进行专门研究和论证。

表 5.1.2 水工结构和构件混凝土抗冻级别要求

| 气象分区                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 严寒    |       | 寒冷    |       | 温和   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| 年冻融循环次数(次)                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ≥ 100 | < 100 | ≥ 100 | < 100 | -    |
| <b>1 结构重要、受冻严重且难于检修部位</b><br>1) 水电站尾水部位, 蓄能电站进出口冬季水位变化区的构件、闸门槽二期混凝土、轨道基础<br>2) 坝厚小于混凝土最大冻深 2 倍的薄拱坝、不封闭支墩坝的外露面、面板堆石坝水位变化区及其以上部位的面板和趾座<br>3) 冬季通航或受电站尾水位影响的不通航船闸的水位变化区的构件、二期混凝土<br>4) 流速大于 25m/s、过冰、多沙或多推移质过坝的溢流坝、深孔或其它输水部位的过水面及二期混凝土<br>5) 冬季有水的露天钢筋混凝土压力水管、渡槽、薄壁充水闸门井                                  | F400  | F300  | F300  | F200  | F100 |
| <b>2 受冻严重但有检修条件部位</b><br>1) 混凝土坝上游面冬季水位变化区<br>2) 水电站或船闸的尾水渠、引航道的挡墙、护坡<br>3) 流速小于 25m/s 的溢洪道、输水洞(孔)、引水系统的过水面<br>4) 易积雪、结霜或饱和的路面、平台栏杆、挑檐、墙、板、梁、柱、墩、廊道或竖井的单薄墙壁                                                                                                                                            | F300  | F250  | F200  | F150  | F50  |
| <b>3 受冻较重部位</b><br>1) 混凝土坝外露阴面部位<br>2) 冬季有水或易长期积雪结冰的渠系建筑物                                                                                                                                                                                                                                              | F250  | F200  | F150  | F150  | F50  |
| <b>4 受冻较轻部位</b><br>1) 混凝土坝外露阳面部位<br>2) 冬季无水干燥的渠系建筑物<br>3) 水下薄壁杆件<br>4) 水下流速大于 25m/s 的过水面                                                                                                                                                                                                               | F200  | F150  | F100  | F100  | F50  |
| <b>5 水下、土中、大体积内部混凝土</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                | F50   | F50   | -     | -     | -    |
| 注 1: 年冻融循环次数分别按一年内气温从 +3℃ 以上降至 -3℃ 以下, 然后回升到 +3℃ 以上的交替次数和一年中日平均气温低于 -3℃ 期间设计预定水位的涨落次数统计, 并取其中的大值。<br>注 2: 冬季水位变化区指运行期内可能遇到的冬季最低水位以下 0.5m ~ 1.0m, 冬季最高水位以上 1.0m(阳面)、2.0m(阴面)、4.0m(水电站尾水区)。<br>注 3: 阳面指冬季大多为晴天, 平均每天有 4 小时以上阳光照射, 不受山体或建筑物遮挡的表面, 否则均按阴面考虑。<br>注 4: 最冷月平均气温低于 -25℃ 地区的混凝土抗冻级别宜根据具体情况研究确定。 |       |       |       |       |      |

---

## 5.2 保温材料

5.2.1 水工建筑物的保温宜尽量选择当地易得材料，亦可采用水、土石料对水工建筑物进行保温。

5.2.2 严寒地区外露的调压塔、水槽、闸门井、水管和渡槽等冬季内部充水的结构，宜采用泡沫混凝土砌块、水泥(或沥青)泡沫珍珠岩砂浆、聚苯乙烯泡沫、聚氨脂泡沫等保温材料进行保温，其技术指标应满足国家现行的技术标准要求。

5.2.3 保温层外宜增设防护层。保温层宜采用憎水性保温材料。采用亲水性保温材料时，防护层应具有防水性能。

## 5.3 分缝和止水

5.3.1 土基上的水工建筑物应根据地基沉陷和冻胀变形条件设置变形缝，划分为几个独立的结构。平面尺寸不大时宜作成整体结构。

5.3.2 土基上水工建筑物的变形缝应能适应温度伸缩、沉陷和冻胀三种三向变形，并具有相应的缝宽。缝的构造应能防止渗水、冻融破坏和缝后反滤料或土的流失。

5.3.3 具有较高挡水和防渗要求的接缝止水材料应采用止水片，具有较低挡水和防渗要求的接缝止水材料可采用嵌缝材料。缝内应有填充材料，必要时应设排水措施。

5.3.4 接缝构造应便于施工和质量检查，容易损坏的止水宜设置保护措施。

5.3.5 止水片宜根据具体工程实际需要采用耐低温、抗老化和具有适宜延伸率的橡胶或合成橡胶、塑料或退火紫铜片等材料制成，其技术指标应满足国家现行的技术标准要求。

5.3.6 护面板的防渗嵌缝材料宜设于缝高的中部，不应充满缝的全高。迎土侧可充填水泥砂浆、木板、沥青油毡、矿渣、岩棉等材料，大坝护面板的防渗嵌缝材料表面应增加适当的保护措施。

## 5.4 结构构造

5.4.1 溢流面、底孔、尾水闸墩、尾水墙和大型水闸的墙、墩等受冻严重且有抗冲抗

---

磨要求的部位，以及有抗冻要求的梁、板、柱、墙、墩的钢筋净保护层的厚度宜适当增加。

**5.4.2** 严寒地区的大中型工程，包括施工期易受冻胀开裂部位，无结构钢筋时，在外露侧面设置钢筋网或在外露侧面的水平施工缝应设置竖向插筋。其配筋量每米不应少于  $5\text{cm}^2$ 。

**5.4.3** 混凝土水工建筑物的抗冰冻设计，应从下列几方面采取抗冰冻措施：

- 1 应防止结构遭受冰冻作用，如埋于适当深度的水下或土中、孔洞封闭、减少外露面等。

- 2 应防止混凝土饱和，如改善排水、防止积雪结冰、避免易受积雪剥蚀的挑檐和凸出线条，将平台和墙、柱、墩的顶部作成排水坡，使构件通风、向阳、远离潮湿空气。

- 3 有外观要求时，应充分利用建筑物体形、尺度和混凝土外表质感，并提高对模板和浇筑质量的要求。不宜在外露面再加抹灰装修层。

## 6 挡水与泄水建筑物

### 6.1 一般规定

6.1.1 坝顶超高应按常规设计和抗冰要求计算，并应取两种计算超高的较大值。按抗冰要求计算的抗冰设计超高应只算至坝顶，不应算至防浪墙顶。

6.1.2 抗冰设计超高应按下列情况计算：

1 流冰期库水位低于正常蓄水位，能调蓄凌汛流量而不超过正常蓄水位的水库，其坝顶超高可按常规设计。

2 流冰期按正常蓄水位运行的水库，其正常蓄水位以上的蓄冰库容不宜小于年流冰总量的  $1/3 \sim 1/2$ ，并自蓄冰最高水位以上按常规计算超高。

3 无蓄冰库容需要泄冰的水库，混凝土坝和浆砌石坝的挡水坝段和土石坝岸边溢洪道(溢流坝段)相邻翼墙(翼坝)的超高不宜小于开始流冰时库水位以上  $1.5 \sim 2.0$  倍库内最大冰厚。

4 当坝上游武开江的年份较多时，不论泄冰与否，上述超高还应根据冰情估计的准确性、泄冰能力和采取措施的可靠性、以及冰灾后果等因素，加大到  $3 \sim 4$  倍(混凝土坝和浆砌石坝)或  $3 \sim 6$  倍(土石坝)库内最大冰厚。

6.1.3 对有泄冰要求的开敞式泄水建筑物，其上设置交通桥时，桥下净空值不宜小于库水位以上  $1.5 \sim 2.0$  倍库内最大冰厚。

6.1.4 水库上游河道、水库末端或坝址附近河段易形成冰坝、冰塞或冰洪时，抗冰设计应专门研究。

6.1.5 根据建坝后的冰情条件，宜按附录 D 计算冰压力对大坝的作用。

6.1.6 坝体观测设施应防止受结霜、冰冻或冻胀的影响。严寒地区变形观测成果分析时，应考虑有无上述影响。

### 6.2 混凝土坝与浆砌石坝

6.2.1 岩基上的低坝在冰推力作用下的抗滑稳定计算，应考虑混凝土与基岩粘着力，

其取值宜根据具体情况考虑冻融导致抗剪强度降低的影响。

6.2.2 为防止坝顶积雪积水，坝顶栏杆(至少是下游侧栏杆)宜采用不致挡风遮阳和积水的稀疏栏杆，坝顶路面应具有横向坡度，并应设置相应的排水设施。

6.2.3 坝顶路面宜采用黑色路面。采用混凝土路面时宜与下层大体积混凝土整体浇筑。

6.2.4 坝体廊道、电梯(转梯)井均应设置密闭保温弹簧门。温和寒冷地区可设单层门，严寒地区宜设置双重门，并应防止其结冰、积雪、结霜。

6.2.5 露天的人行通道、桥梁、阶梯等应防止积雪或结冰。经常使用的通道、桥梁、阶梯和廊道出口不宜设在易积雪结冰的阴面岸坡与坝面交接低处。

6.2.6 坝体闸门井、各种内部充水井、管应作好内部防渗和防冻。井口不宜敞露于大气中。直径较小的管道和壁宜用钢管或钢衬。闸门井内壁宜采用防渗涂料或护面。严寒地区的廊道、电梯(转梯)井的壁过于单薄时，宜在内壁涂气密性油漆。

6.2.7 坝基应防止受冻。施工期有可能受冻时，应采取保温措施。运行期有可能受冻时，可在坝脚覆土石保温。

6.2.8 带有周边缝的薄拱坝应防止周边缝冻结。

6.2.9 支墩坝和空腹坝的腹腔宜作封闭保温，外露的接缝应防止漏水结冰。

6.2.10 碾压混凝土坝应作好上游防渗、分缝和内部排水，并应防止下游面渗水和冻胀。严寒地区内部排水宜采用从坝顶或上层廊道向下层廊道钻设排水孔的方式。

6.2.11 浆砌石坝应作好防渗、分缝和内部排水，下游渗水逸点应覆土石保温。上下游面宜用粗方石或条石砌筑。严寒地区宜采用上游现浇钢筋混凝土护面防渗型式。

6.2.12 寒冷和严寒地区混凝土坝的止水片距离坝面不宜小于 1.0m。

## 6.3 土石坝

6.3.1 寒冷和严寒地区土石坝的土心墙、斜墙和防渗铺盖应防止运行和施工期冻结。当采取覆土防冻时，覆土厚度不宜小于当地最大冻深。土质防渗体与防浪墙、齿墙、翼墙联结面应设置防冻层。

6.3.2 粘性土质坝的上游坡应设非冻胀性土的防冻层。防冻层包括护面层和砂砾料垫

层，其设置范围及厚度应根据工程规模、坝坡土的冻胀级别，以及护面允许变形程度和当地冰冻条件按下列各项规定确定：

1 冻深大于 1.2m 地区或水库冰厚大于 60cm 的工程，历年冬季最高水位以上 2.0m 至最低水位以下 1.0m 高程的坡长范围内，当坝坡土的冻胀级别属 、 级时，防冻层厚度不宜小于当地最大冻深；冻胀级别属 、 、 级时可适当减小，但不宜小于 0.8 倍当地最大冻深。

2 不属 1 款所列条件的范围内的水上坝坡，防冻层厚度应大于 0.6 倍当地最大冻深；

**6.3.3** 土石坝护坡结构除应按风浪计算外，还应根据冰压力大小和类似工程经验确定。在 6.3.2 条 1 款规定的条件和范围内的主要坝段，可选用下列一种或其他适宜的护坡结构，砌体结构砌筑应平整，但库面开阔的大型平原水库的护坡结构应作专门研究。

1 在当地有丰富的良好石料且有机械化施工的条件下，宜采用抛石(堆石)护坡。1、2 级坝护坡的水平宽度不宜小于 3.0m，应采用开采级配堆筑。其下层可用细石料作垫层，水平宽度不应小于 1.0m。

2 干砌石护坡应采用质地良好的块石。所用石料的最小边长宜大于 30cm，层厚宜大于 35 cm，砌筑缝隙不宜大于 3cm。有条件时宜采用方石，其最短边长宜大于 30 cm，砌筑缝隙不宜大于 3 cm。戈壁地区可采用大卵石砌筑。

无大块石料时可采用钢筋混凝土菱形框格内砌块石护坡，混凝土抗冻级别应满足表 5.1.2 的要求。菱形框格的顺坡对角线长宜为 3.0 m ~ 5.0m；另一对角线长度可小于此值。框格梁的断面尺寸宜为宽度 30 cm，高度 40 cm，并嵌入垫层内。

3 混凝土砌块护坡每边尺寸不宜小于 35 cm，厚度不宜小于 30 cm，砌筑缝隙不宜大于 10mm。现浇混凝土板的边长宜大于 3.0m，厚度宜大于 20 cm，混凝土强度和抗冻级别应满足表 5.1.2 的要求。

4 土工织物模袋混凝土护坡的模袋可用机织产品或手工缝制。模袋混凝土平均厚度宜取 15 ~ 20 cm，底部宜为平面，混凝土强度和抗冻级别应满足表 5.1.2 的要求。人工缝制模袋混凝土护坡应采用导管法浇筑，不得出现局部臃包、蜂窝等缺陷，底部应平整，宜设置非织造土工织物作反滤层。冰推力较大时，模袋混凝土中宜顺坡加插

钢筋。

5 在水位变化区砌体的砌筑及灌缝宜采用二级配混凝土，其抗冻级别应满足表 5.1.2 的要求。

6.3.4 护坡的坡脚高程应在冬季最低水位减一倍冰厚以下，否则坡脚结构应考虑冰冻的作用影响。

6.3.5 坝体的浸润线宜低于设计冻深线。下游排水、减压设施应防止冻结，使之冬季能正常排水。

6.3.6 设有防浪墙的土石坝，当冬季库水位高，水上部分坡长较短，冰层爬坡有可能推坏防浪墙时，应考虑加固防浪墙或设置防冰墩。防浪墙还应考虑水平冻胀力的作用。

6.3.7 严寒地区的混凝土面板堆石坝，除应遵循常规设计要求外，还应满足下列要求：

- 1 面板和趾板混凝土抗冻性能应满足 5.1.2 条的规定；
- 2 垫层料中，粒径小于 0.075mm 的含量不宜超过 8%；
- 3 止水片在冬季最低气温下应具有符合设计要求的延伸率和三向变形能力；
- 4 面板与坡顶防浪墙的接缝应保证在冰推力作用下止水不失效；
- 5 水库死水位以上或冬季最低水位以上区域的垫层料在压实后具有内部渗透稳定性的前提下，其渗透系数不宜小于  $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ；
- 6 在水位变动区不宜采用镀锌铁片或不锈钢片作为填料的保护罩；
- 7 在水位变动区不应采用角钢、膨胀螺栓作为柔性填料面膜的止水固定件，宜采用粘接材料，以避免遭到冻胀破坏而失去其固定作用。

## 6.4 溢流坝与岸边溢洪道

6.4.1 有泄冰要求时，宜采用无闸门且无闸墩的自由溢流堰。有交通要求或设置闸门时，闸墩间距应满足泄冰要求。

6.4.2 溢流坝排冰时，应考虑排冰流速，堰上水深应大于水库最大冰厚。

6.4.3 溢流堰排冰时，冰块应能自由下泄且不致破坏下游设施。经常排冰的消能设施宜采用自由面流或远驱水跃方式。当采用底流消能时，不宜采用辅助消能工。下游应有导墙、护岸等设施。泄冰条件较复杂时，应做排冰整体水工模型试验。

6.4.4 泄冰设计中，应考虑下游河道封冻导致冰块壅塞的危害程度。必要时应采取疏通下游水道的措施。

6.4.5 严寒地区大中型工程的泄水建筑物上下游冬季水位变化区的岸坡，应采取工程措施防止冻融作用引起的崩坍或滑坡。

6.4.6 有泄冰要求时，闸墩、堰顶应较常规设计增加配筋，钢筋保护层厚度宜适当加大。闸墩墩头应采取合适的体型和保护措施。

6.4.7 土基上的溢洪道堰体基础埋深应大于当地最大冻深；岩基中的埋深可小于最大冻深，但应设置排水设施和锚筋。计算堰体上游的设计冻深时应考虑由于检修或低水位时使堰体可能暴露于大气中的不利情况。

6.4.8 岩基上的泄槽底板厚度不宜小于 0.4m。底板应设置纵、横结构缝，其纵横缝间距宜比常规适当减小。严寒地区的底板应设锚筋和钢筋网。

6.4.9 岩基岸边溢洪道下的地基排水设施，应充分考虑周围地形条件和山体地下水位情况。如地下水位高于泄槽底板而设置排水时，排水设施应采取防冻措施。

6.4.10 土基上的泄槽底板厚度不宜小于 0.6m，混凝土抗冻级别应满足 5.1.2 条的要求。底板纵横缝间距宜为 12m ~ 16m，底板连同垫层的总厚度应满足不产生竖向冻胀位移的要求。

## 6.5 泄洪洞与坝体泄水孔

6.5.1 坝体中孔、底孔应防止冷空气侵入使孔身冻结或上游闸门因结冰不能开启。冬季有放（过）水要求的出口，宜在下游端作封闭设施或使出口淹没于水下。

6.5.2 封冻水库不宜采用框架式进水塔，宜采用封闭式井筒结构或其他刚度大的结构，并进行抗冰推结构计算。

6.5.3 工作闸门位于首部或中部的泄洪洞和坝身泄水孔，当闸后洞长度小于 50m 时，冬季宜在洞（孔）末端设保温设施。

6.5.4 与洞脸岩体连接的岸塔式进水口两侧的边墙应与岩体锚接，并应能承受冰推力和冻胀的作用。

6.5.5 斜坡式进水口的闸门轨道基础混凝土应用锚筋固定于岸坡岩基上。锚筋深度应

---

超过基础设计冻深 1.0m。

## 6.6 堤防与护岸

6.6.1 在频繁发生冰凌壅塞的河段，堤顶高程应考虑冰凌壅塞河道的影响。

6.6.2 受流冰作用的堤岸护坡，应考虑冰块撞击作用的影响。

6.6.3 严寒和寒冷地区冻胀性土基的堤岸护坡宜根据基土的冻胀级别采取换填非冻胀性土或保温防冻胀措施。换填防冻层的厚度宜根据基土的冻胀级别和冰情条件，按 6.3.2 条的规定确定。

6.6.4 严寒和寒冷地区的堤岸护面层宜采用埋石混凝土、浆砌石、干砌石、混凝土砌块、土工织物模袋混凝土等，有条件的地区可采用抛石(堆石)护坡，其结构应满足 6.3.3 条的规定。堤岸护面层厚度及高度（超出设计水面高度）应满足抗冻胀要求。在水位变化区砌体的砌筑及勾缝宜采用二级配混凝土，其抗冻性能应满足 5.1.2 条的规定。

6.6.5 堤岸护坡的坡脚应满足 6.3.4 条的规定。

## 7 取水与输水建筑物

### 7.1 一般规定

7.1.1 冬季有防冰和输冰要求的引水、输水工程和多年平均冻深（不短于最近 20 年系列）大于 10cm 地区的渠道衬砌应进行抗冰冻设计。

7.1.2 应在充分收集和分析基本资料的基础上，根据当地冰情和自然条件，采用不同的防冰、输冰或综合输排冰运行方式，进行整体布置方案设计。

7.1.3 在枢纽总体布置、型式、体型设计中，应保证进水口的前缘水域水流平稳和不出现漩涡，尤其是贯通式漏斗漩涡。在有凌汛发生河段的引水枢纽总体布置中，宜设永久或临时性防冰洪的工程措施，其取水口应有排冰及排冰防洪设施，防止较大量的冰凌、冰块入渠。

7.1.4 输排冰渠道布置宜少设弯道，避开深挖方和傍山滑坡地段。

7.1.5 在渠道规划选线时，宜结合常规要求，避开地下水位高（特别是有傍渗水补给）、冻胀性强的地段。输排冰渠道沿程不宜采用突变断面和设置阻水建筑物。有条件的地区宜尽量采用明涵、暗渠、隧洞或暗管等结构型式。冬季不输水的渠道宜采用填方渠道。

7.1.6 结冰盖运行方式的引水渠道，其渠顶超高（尤其是在渡槽或倒虹吸两端的安全超高）应不小于冰盖顶面以上 0.5m。

7.1.7 劈崖渠道护砌宜采用整体混凝土或钢筋混凝土结构。

7.1.8 渠道衬砌的抗冻胀设计可参照《渠系工程抗冻胀设计规范》（SL23-2006）进行，其中渠道基土置换防冻胀设计可按本规范 9.4.4 条第 3 款的规定执行。

### 7.2 取水口排冰

7.2.1 引水枢纽有排冰要求时，冬季过闸水深应满足排冰要求。排冰闸过闸流速不宜小于 1.2m/s。

7.2.2 枢纽布置为无坝引水时，宜在枢纽前面河道弯道凹岸处设置活动导凌(冰)筏。

导冰筏宜布置两道，第一道设在距引水口上游两倍水面宽处；第二道设在引水口上游一倍水面宽处。导冰筏宜采用木结构，筏长应视实际情况而定。导冰筏潜入水中的深度宜为最大流冰块厚度的(1.5~2.0)倍。筏与水流方向的夹角不宜大于 30°。

7.2.3 导凌(冰)筏与排冰闸衔接渠(河)段内的流速不宜大于 0.7m/s。

7.2.4 引水枢纽冬季排冰耗水量不宜小于该河道日平均排冰量的 4 倍，并可根据枢纽所处河道冬季冰情特点，参照类似已建工程经验或通过试验确定。

### 7.3 明渠冬季输水

7.3.1 冬季有输冰要求的引水明渠，其设计弯道半径宜大于 10 倍水面宽度。

7.3.2 渠道输冰量过大时，宜充分利用沿渠线两侧或渠线通过天然洼地修建人工蓄冰、滞冰池(塘)。其进口设计水位宜比该处明渠设计水位低 0.2m 以上。

7.3.3 当不具备 7.3.2 条的条件时，应加大引水渠的输冰流速，并应根据冰在水中的疏密度加大渠内水深，或在适当渠段增设排冰闸和辅助措施。

7.3.4 输冰渠道断面型式宜采用窄深式的弧形渠底的矩形或梯形断面。

7.3.5 渠道冬季输水可采取冰盖下明流、满流输水或无冰盖输水两种方式。

7.3.6 当满足下列条件时，宜采用结冰盖输水方式：

- 1 有适宜的气温和渠道断面，能形成稳定冰盖；
- 2 结冰盖后，渠道超高能满足设计要求；
- 3 结冰盖后，冰盖下的渠道断面能满足通过设计流量要求；
- 4 结冰盖期间渠内水位和流量能保持稳定。

7.3.7 结冰盖明流输水方式宜按下列要求设计：

- 1 渠内设计流速宜控制在 0.5 m/s ~ 0.7m/s，不应大于 0.7m/s；
- 2 宜按简支板和冰的允许抗弯强度确定满足冰盖稳定要求的冰盖厚度；
- 3 冰盖底面与渠道水面之间的净空宜控制在 0.3m ~ 0.5m；
- 4 长渠道结冰盖输水时，应根据上述要求，进行分段壅水计算。

7.3.8 冰盖下满流输水时，综合糙率可按公式 (7.3.8-1) 和 (7.3.8-2) 计算：

$$n = n_1 \left[ \frac{1 + a(n_2 / n_1)^2}{1 + a} \right]^{1/2} \quad (7.3.8-1)$$

$$a = \chi_2 / \chi_1 \quad (7.3.8-2)$$

式中  $n$  —— 冰盖综合糙率；

$a$  —— 冰盖与渠道湿周长度之比；

$n_1$  —— 渠底及边坡的糙率系数；

$n_2$  —— 冰盖下表面的糙率系数，可按表 7.3.8 选用；

$\chi_1$  —— 渠道湿周长度(m)；

$\chi_2$  —— 冰盖湿周长度(m)。

表 7.3.8 冰盖下表面糙率系数  $n_2$

| 结冰期平均流速<br>V(m/s) | 糙 率 系 数 $n_2$ |               |
|-------------------|---------------|---------------|
|                   | 无冰凌，冰有裂缝      | 有冰凌，冰有裂缝      |
| 0.4 ~ 0.6         | 0.010 ~ 0.012 | 0.012 ~ 0.014 |
| 0.6 ~ 0.7         | 0.014 ~ 0.017 | 0.017 ~ 0.020 |

7.3.9 采用输水（冰）运行方式时，可按常规方法进行水力学计算，并要求渠内设计流速不宜小于 1.1m/s。

7.3.10 冬季引泉水、深层井水等温水入渠时，应进行渠道不结冰长度的计算。计算可按公式（7.3.10）进行：

$$L_0 = \psi_L Q_n t_w / Q_m \quad (7.3.10)$$

式中  $L_0$  —— 渠道不结冰长度（km）；

$\psi_L$  —— 综合系数（km/ ），可查表 7.3.10；

$Q_n$  —— 泉水或井水引入流量（m<sup>3</sup>/s）；

$t_w$  —— 泉水或井水与渠水混合前温度（ ）；

$Q_m$  —— 混合后渠水流量（m<sup>3</sup>/s）。

表 7.3.10 综合系数 ( $\psi_L$ )

| 渠道走向和坡向 | 最冷日平均气温( ) |           |           |           |
|---------|------------|-----------|-----------|-----------|
|         | -10 ~ -15  | -16 ~ -20 | -21 ~ -25 | -26 ~ -30 |
| A       | 13.2       | 10.6      | 8.8       | 7.5       |
| B       | 12.6       | 10.1      | 8.4       | 7.2       |
| C       | 11.5       | 9.2       | 7.7       | 6.6       |
| D       | 10.0       | 8.0       | 6.7       | 5.7       |

注 1：本表适用条件为：渠水流速  $V=0.8\text{ m/s} \sim 1.2\text{ m/s}$ ；冬季风速  $V_W \leq 5\text{ m/s}$ ；渠底高于地下水位的挖方混凝土板衬砌渠道。

注 2：A：S-N 向，平地；E-W 向，平地；E-W 向，山的 S 坡；  
 B：S-N 向，山的 E 坡；EN-WS 向，平地；EN-WS 向，山的 ES 坡；  
 C：S-N 向，山的 W 坡；ES-WN 向，平地；ES-WN 向，山的 WS 坡；  
 D：E-W 向，山的 N 坡；EN-WS 向，山的 WN 坡；ES-WN 向，山的 EN 坡。

## 7.4 暗管与隧洞

7.4.1 冬季通水的暗管顶面的埋置深度不宜小于设计冻深。如埋于冻层内，应论证其抗冻胀稳定性。

7.4.2 冬季不通水的暗管的埋置深度应根据土的冻胀级别、冻胀量沿深度分布的实测资料和管道允许变形量确定。在无实测资料的情况下，当土的冻胀级别为 、 级时可根据具体情况比设计冻深小 10% ~ 20%；当土的冻胀级别为 、 、 级时，应大于设计冻深。

7.4.3 埋设在冻层内冬季不通水的暗管，管内的水冻前应放空。

7.4.4 暗管沿程的竖井结构应按抗冻拔要求设计。当不能满足抗冻拔要求时，应采取削减或消除切向冻胀力的措施。

7.4.5 冬季输水隧洞宜采用压力流，在下游出口后部应设置防冰冻、排冰、消能等的综合工程措施。

7.4.6 冬季输水隧洞为明流时，洞内设计流速不宜小于 1.2m/s。

7.4.7 冬季不输水的隧洞，宜在出口处设置封闭式的保温措施。

7.4.8 隧洞进口闸井，除应按常规结构计算外，还应以静冰压力和动冰压力进行强度验算。

## 8 泵站与电站建筑物

### 8.1 一般规定

8.1.1 应在充分收集和分析基本资料的基础上,根据当地冰情、自然条件和引水系统的运行方式,进行前池、地面厂(泵)房的整体布置和结构型式设计。

8.1.2 冬季运行的前池、地面厂(泵)房应设置防冰、排冰设施。

### 8.2 前池排冰

8.2.1 前池容积的确定应考虑冬季高水位运行时冰块、冰凌所占的水体容积。

8.2.2 采用输水(冰)方式时,应根据地形、地质、气象、水文、冰情等因素选择排冰布置方式。宜首选正向排冰布置方式,并宜采用双层式结构布置型式。

8.2.3 排冰闸的中心线应与渠道中心线重合。排冰闸孔宽应以冰块的最大宽度控制。过闸水深不应小于最大冰块厚度。排冰闸下游应设计陡坡衔接段。

8.2.4 正向排冰侧向引水方式的排冰闸前应布置一定长度的缓流渠段,其长度宜控制在 20m~40m,断面宜采取与排冰闸同宽的矩形,进水闸中心线与渠道中心线夹角应小于 90°。进水口前缘应设置活动的或固定的导冰筏,其潜入深度宜为冰厚的(1.5~2.0)倍。

8.2.5 正向排冰正向引水方式的排冰闸前的扭坡宜布置在距离闸前 3~5 倍墙高处,不应紧靠闸体。扭坡长度宜控制在墙高的 8~10 倍。

8.2.6 弯道排冰方式的排冰闸前的渠道断面型式宜为梯形。排冰闸的中心线,当渠道曲率半径小于 5 倍水面宽时,不应偏离渠道中心线;渠道曲率半径大于 5 倍水面宽时,宜从渠中心线向凸岸方向平移至 0.2~0.4 倍水面宽处。

8.2.7 采取弯道排冰方式时,应在排冰闸前凸岸设置活动导冰筏,其平面位置与水流方向的夹角宜为 20°~30°。

8.2.8 采用侧堰的泄水排冰布置型式时,侧堰的堰顶长度应满足最大流冰块的宽度要求,堰上水深应大于流冰块的最大厚度。

8.2.9 泄水排冰渠的断面型式可采用矩形或梯形，其纵坡宜采用陡坡，渠内水深应大于流冰块的最大厚度，渠内设计流速宜大于 2.0m/s。

8.2.10 泄水排冰渠下游的消能形式宜采用底流远驱式水跃消能或挑流消能。

8.2.11 前池水闸和侧墙的抗冰冻设计应按第 9 章和第 10 章的有关规定执行。

### 8.3 地面厂（泵）房

8.3.1 地面厂（泵）房位置应避开雪崩危险地段，避开高边坡、地下水位高、冬季多雪地区有深积雪或土的冻胀性强的地段。

8.3.2 地面厂（泵）房及其邻近区域应作好地表排水和地下排水系统。

8.3.3 地面厂（泵）房基础埋深均应大于基础设计冻深。外墙水下部分应采用钢筋混凝土结构，并应考虑可能的冻胀力作用，外表面宜有防渗层，墙侧应设防冻层或在冻深范围内回填非冻胀性材料。

8.3.4 压力管道与机组联结接头，以及穿过外墙处的构造应能适应不均匀冻胀和收缩变形。

8.3.5 冬季需要采暖的地面厂（泵）房应进行采暖保温设计。

8.3.6 冬季运行的地面厂（泵）房，有条件时应充分利用电机热风采暖，一般部位温度宜为适于巡回检查的正温。工作人员长期停留部位、低温结露的水机、电器部件、油压润滑系统、有负温过冷水部位，宜设置局部电热或远红外辐射局部采暖装置。

8.3.7 冬季不运行且不采暖的地面厂（泵）房，所有水管冻前应放空。易受冻设备宜能拆卸吊放至高出冬季室内可能积水部位保存。如无法拆吊，水泵及其管路、电源应有局部保温。

8.3.8 冬季不运行且不采暖的地面厂（泵）房的楼板梁宜高出渗水形成的室内冰面。

## 9 闸涵建筑物

### 9.1 一般规定

9.1.1 最大冻深大于 0.3m 地区的水闸和涵洞建筑物应进行抗冰冻设计。

9.1.2 选择工程地址、总体布置和结构形式时，宜考虑冻前地下水位、土质、朝向和地形等条件，使闸、涵所受土的冻胀和冰的作用减小。

9.1.3 闸涵抗冰冻宜以进口、闸室(洞身)、护坦、消力池等部位的典型断面为控制断面。并按附录 B、附录 C 和 4.0.3 条确定各控制断面上各代表性计算点的设计冻深、基础设计冻深、冻胀量和冻胀力，进行包括冻胀力和(或)冰压力的荷载组合作用下的稳定和强度验算，确定闸涵结构和必要的抗冰冻措施。

9.1.4 有过冰要求的拦河闸和渠系水闸，宜采用开敞式。必要时，闸上游可设导冰墙(筏)、破冰墩或拦(滞)冰设施等；有可能时，闸墩(破冰墩)前沿宜作成斜面。下游宜设导墙和护岸。1、2 级建筑物宜作整体过冰模型试验。

9.1.5 过冰的水闸消力段不宜设消力墩。

9.1.6 进出口翼墙和岸墙的抗冰冻设计应按本规范第 10 章挡土结构的有关规定进行。

### 9.2 结构与布置

9.2.1 冻胀性地基上的闸涵宜采用有利于适应冻胀的整体式闸室结构，加强结构单元的整体刚度。

9.2.2 严寒地区的拦河闸，当闸室边墩后部填土的冻胀级别为 、 、 级时，宜采用边墩与岸墙分离式或采取抗冻胀措施。

9.2.3 闸涵的布置宜减小建筑物与冻土的接触面积。在满足地基承载力要求时，宜增大地基压强；在满足防渗、防冲和水流衔接条件时，宜缩短进出口长度。

9.2.4 冬季暴露的水闸上游阻滑板(铺盖)和护坡板，宜减小分块尺寸。混凝土板的分块尺寸不宜大于板厚的 25 倍，基土的冻胀性大，靠近边墙或厚度较薄的板，边长宜取小值。护坡板垂直水流方向的边长宜小于顺水流方向的边长，阻滑板相邻板块间应

设置允许自由伸缩的联结钢筋。防渗铺盖应按 5.3 节的要求作好分缝止水。

9.2.5 承受法向冻胀力的底板宜布置上下两层钢筋。

### 9.3 稳定与强度验算

9.3.1 土基上的水工建筑物，当构筑物底板下地基土不冻结时，其稳定与强度计算除应考虑常规荷载外，还应考虑冰压力、水平冻胀力、切向冻胀力荷载。

9.3.2 当构筑物底板下地基土冻结时，除应按 9.3.1 条计算外，还应进行下列验算：

- 1 有法向冻胀力作用下的结构与稳定计算；
- 2 闸基底和边墙侧基土解冻时强度可能降低情况下的抗滑和渗透稳定。

9.3.3 进行上述各项验算时，冰压力的计算见附录 D；水平冻胀力的计算见 10.2 节；作用在底板底面的单位法向冻胀力设计值可按公式 (9.3.3-1) 和 (9.3.3-2) 计算：

$$\sigma_{vs} = m_{\sigma} \sigma_v \quad (9.3.3-1)$$

$$m_{\sigma} = 1 - \sqrt{\frac{[s]}{h_f}} \quad (9.3.3-2)$$

式中  $\sigma_{vs}$ ——作用在板底面上的地基土单位法向冻胀力设计值 (kPa)；  
 $m_{\sigma}$ ——法向位移影响系数；  
 $\sigma_v$ ——底板下地基土的法向冻胀力(kPa) ,可按地基土冻胀量查表 4.0.3-3 确定；  
[S]——建筑物允许产生的垂直位移(cm) ,可取进出口[S]≤1.5 cm；闸室、洞身、陡坡和消力池[S]≤1.0 cm；护坦板和阻滑板[S]≤2.0 cm；进出口护坡[S]可按表 9.3.3 确定。特殊情况下可通过论证确定。  
 $h_f$ ——与基础设计冻深相应的地基土冻胀量(cm) ,可按附录 C.中 C.0.3 条确定；

表 9.3.3 进出口护坡允许垂直位移值「s」(cm)

| 护坡材料    | 现浇混凝土 | 浆砌石   | 预制混凝土板、沥青混凝土、干砌石 |
|---------|-------|-------|------------------|
| 允许垂直位移值 | ≤ 0.5 | ≤ 1.0 | ≤ 3.0            |

## 9.4 抗冻胀措施

9.4.1 涵闸建筑物可采取加强结构、保温或置换非冻胀性材料等一种或几种综合抗冻胀措施。

9.4.2 采用保温材料防止建筑物地基冻结时，应满足下列要求：

- 1 保温板的压缩强度、热导率及其与吸水率的关系等物理力学性技术指标，应满足国家现行有关技术标准和工程设计要求，并应通过试验确定；
- 2 保温板的厚度宜通过试验确定。无试验条件时，可根据当地已有工程经验或按公式 9.4.2 计算确定。

$$\delta_x = \lambda_x (R_0 - \frac{\delta_c}{\lambda_c}) \psi_d K \quad (9.4.2)$$

式中  $\delta_x$ 、 $\delta_c$ ——分别为保温板和底板的厚度（m）；

$R_0$ ——设计热阻（ $\text{m}^2/\text{W}$ ），可按表 9.4.2-1 取值；

$\lambda_x$ 、 $\lambda_c$ ——分别为保温板和底板的热导率（ $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ）；

$\psi_d$ ——日照及遮荫程度影响系数，可按附录 B 中公式（B.1.1-2）计算确定；

K——安全系数，可取 1.1～1.15。

表 9.4.2-1 不同冻结指数时所需保温材料的设计热阻值  $R_0$ （ $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ ）

| $I_m$ | 100  | 300  | 500  | 800  | 1000 | 1200 | 1500 | 1800 | 2000 | 2200 | 2500 | 3000 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $R_0$ | 0.94 | 1.17 | 1.39 | 1.70 | 1.90 | 2.09 | 2.35 | 2.59 | 2.74 | 2.88 | 3.07 | 3.24 |

注：  $I_m$  为历年最大冻结指数。

3 经常处于水中或强潮湿条件下的保温板应具有防水和保温双重功能，可采用憎水性保温板或作严格的防水处理。不能满足本款要求时，应根据热导率与吸水率的关系试验结果，按最大吸水率确定其热导率。其它情况下使用的保温板亦宜按最大吸水率确定其热导率。

当采用聚苯乙烯板保温且无确实无法取得试验资料时，公式（9.4.2-2）中保温板的热导率应乘以增大系数。增大系数可根据所用材料的最大吸水率按表 9.4.2-2 选取。

表 9.4.2-2 EPS 板热导率增大系数与体积吸水率关系表

| 体积吸水率（%） | 0   | 0.5  | 1    | 2   | 3   | 4   |
|----------|-----|------|------|-----|-----|-----|
| 热导率增大系数  | 1.0 | 1.05 | 1.05 | 1.1 | 1.2 | 1.4 |

注：本表适用于密度  $20\text{ kg}/\text{m}^3\sim 30\text{ kg}/\text{m}^3$  的 EPS 板

4 保温板的物理力学性能的设计指标应根据上部荷载的大小确定，闸涵进出口等部位保温板的水平铺设宽度应加宽或作成向外倾斜的帷幕式，加宽长度或帷幕深度值均应等于或大于底板下的基础设计冻深。帷幕式铺设时的向外倾斜度不宜陡于 7 :1。应考虑保温板在不均匀应力作用下的压缩变形对建筑物稳定与强度的影响。

9.4.3 采用水层保温时，应防止水的渗漏，并应采取防止被保温部位外周侧冻结的措施。保温水层的厚度宜等于或大于当地的最大冰厚。

9.4.4 当地或附近有足够和适宜的非冻胀性土，并在满足渗透稳定要求的条件下，可采用非冻胀性材料置换冻胀性地基。置换时应满足下列要求：

1 置换材料宜采用级配良好的砂砾石或中粗砂；置换材料与原状土之间不满足反滤要求时，应设置反滤层或用非织造土工织物隔离；置换层内饱水时，如有条件宜设排水通路。

2 平面置换范围宜沿建筑物基础轮廓线向外侧加大 0.3 ~ 0.5m。

3 闸涵的置换深度可根据类似的工程经验，结合公式 ( 9.4.4-1 ) 计算综合确定：

$$Z_e \geq \varepsilon Z_f \quad (Z_e \geq 0) \quad (9.4.4-1)$$

式中  $Z_e$ ——闸涵的置换深度 ( m ) ；

$Z_f$ ——地基土设计冻深 ( m ) ，可按附录 B 中公式 ( B.2.1-1 ) 计算；

$\varepsilon$  ——置换比，可按表 9.4.4-1 取值，当置换层内饱水时，可取  $\varepsilon \leq 1.0$  ；

表 9.4.4-1 涵闸基土置换比  $\varepsilon$

| 允许冻胀力<br>$\sigma(kPa)$    | 地基土冻胀量 $h_f(\text{cm})$ |           |           |           |           |
|---------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                           | 2                       | 5         | 12        | 22        | > 22      |
| 10                        | 0 ~ 0.4                 | 0.4 ~ 0.8 | 0.9 ~ 1.1 | 1.2 ~ 1.3 | 1.3 ~ 1.4 |
| 20                        | 0 ~ 0.2                 | 0.2 ~ 0.6 | 0.7 ~ 0.9 | 1.0 ~ 1.2 | 1.2 ~ 1.3 |
| 30                        | —                       | 0 ~ 0.4   | 0.4 ~ 0.7 | 0.9 ~ 1.0 | 1.0 ~ 1.1 |
| 50                        | —                       | —         | 0.1 ~ 0.5 | 0.5 ~ 0.8 | 0.8 ~ 1.0 |
| 80                        | —                       | —         | 0 ~ 0.1   | 0.2 ~ 0.5 | 0.5 ~ 0.7 |
| 100                       | —                       | —         | —         | 0.1 ~ 0.3 | 0.3 ~ 0.5 |
| 注 1：允许位移时可取小值；不允许位移时可取大值； |                         |           |           |           |           |
| 注 2：表中数值可内插。              |                         |           |           |           |           |

4 进出口护坡宜根据坡面不同部位的冻胀量确定不同的置换深度。置换深度的大

小可根据条件类似的工程经验或按公式 (9.4.4-2) 计算：

$$Z_e' \geq \varepsilon' Z_f \quad (Z_e' \geq 0) \quad (9.4.4-2)$$

式中  $Z_e'$  ——进出口护坡的置换深度 (m)；

$\varepsilon'$  ——置换比，可按表 9.4.4-2 取值；

$Z_f$  ——地基土设计冻深 (m)，可按附录 B 中公式 (B.2.1-1) 计算。

表 9.4.4-2 护坡基土置换比  $\varepsilon'$

| 地基土冻胀量 $h_f$ (cm)                            | 2         | 5         | 12        | 22        | > 22 |
|----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| 现浇混凝土                                        | 0.3 ~ 0.2 | 0.8 ~ 0.7 | 1.3 ~ 1.1 | 1.4 ~ 1.3 | 1.5  |
| 浆砌石                                          | —         | 0.6 ~ 0.5 | 1.2 ~ 1.0 | 1.4 ~ 1.3 | 1.4  |
| 预制混凝土板、沥青混凝土、干砌石                             | —         | 0.3 ~ 0.2 | 0.9 ~ 0.8 | 1.2       | 1.3  |
| 注：基础设计冻深 $Z_f$ 小于 50 cm 时取大值，大于 100 cm 时取小值。 |           |           |           |           |      |

5 当置换材料中细粒含量较多或置换深度小于公式 (9.4.4-1) 的计算值时，应进行剩余法向冻胀力作用下的强度校核。其中，前者可根据置换土的类别和冻胀量按公式 (9.3.3-1) 计算，后者可按公式 (9.4.4-3) 计算剩余法向冻胀力。

$$\sigma_r = \left( 1 - \left( \frac{\psi_w Z_{ep}}{Z_f} \right)^{0.65} \right) \sigma_{vs} \quad (9.4.4-3)$$

式中  $\sigma_r$  ——部分置换时的剩余法向冻胀力 (kPa)；

$\psi_w$  ——地下水修正系数，可按公式(B.1.1-3)确定；

$Z_{ep}$  ——部分置换深度 (m)；

$Z_f$  ——地基土设计冻深 (m)，可按附录 B 中公式 (B.2.1-1) 计算；

$\sigma_{vs}$  ——作用在板底面上的单位法向冻胀力设计值 (kPa)。

## 10 挡土结构(墙)

### 10.1 一般规定

10.1.1 严寒地区冻胀性地基上和墙后回填冻胀性土的挡土结构(墙),应根据冻胀力的计算值进行冻胀力作用下的强度和稳定验算。

10.1.2 地基土的冻胀级别属Ⅰ、Ⅱ级时,挡土墙的基础埋深应大于墙前土的设计冻深;冻胀级别属Ⅲ、Ⅳ级时,基础埋深可小于墙前土的设计冻深,但应满足挡土墙在

水平冻胀力作用下和地基土融化时的稳定和结构强度要求。

10.1.3 当基础埋深等于或大于设计冻深时,可只考虑水平冻胀力的作用;当基础埋深小于墙前地面设计冻深时,除考虑水平冻胀力外,还应考虑法向冻胀力的作用。

10.1.4 严寒地区的薄壁式挡土墙顶宽不宜小于 0.3m;当不采取其它抗冻胀措施时,根据冻胀量大小和外露结构高度,最小配筋率宜适当增加;平面布置宜避免直角,采用圆弧形;有可能时,墙后宜减小填土高度,并应做好填土顶面的防水和排水措施。

10.1.5 墙后地下水位高时,应采取降低地下水位措施。

10.1.6 冻胀性地基上的挡土墙宜每隔 8m~12m 设置变形缝,地基土冻胀级别高的取小值。每段墙体基础宜布置在土质均匀的同一高程上。

10.1.7 浆砌石挡土墙背面应平整,可用水泥砂浆或沥青抹平。

### 10.2 水平冻胀力的计算

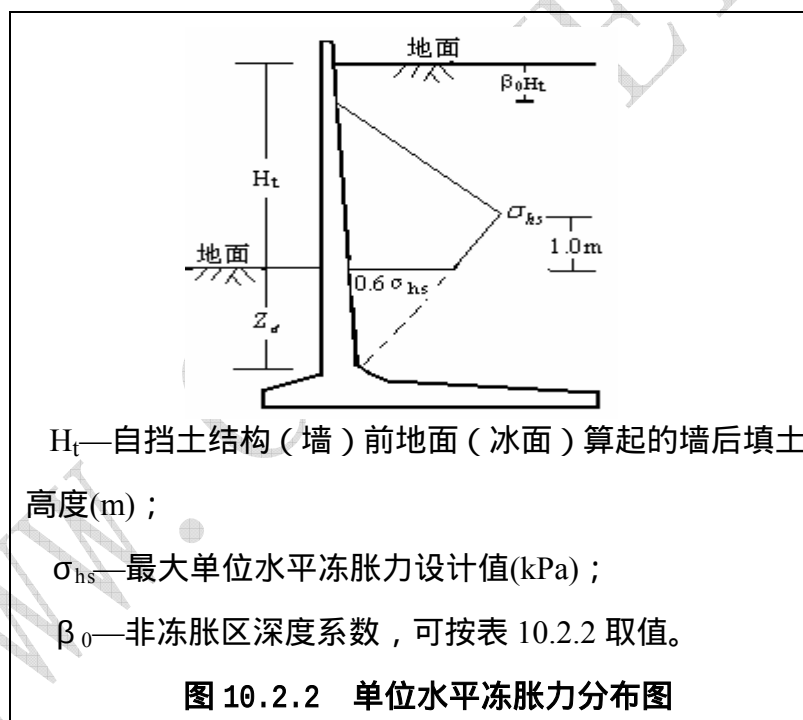
10.2.1 本节适用于墙前地面至墙后填土顶面之间的高差等于 1.5m~5.0m 的悬臂式及其它薄壁式挡土结构(墙)。当超过上述限定时宜作专门研究。

10.2.2 最大单位水平冻胀力设计值和水平冻胀力沿墙高的分布可分别按公式(10.2.2-1)和图 10.2.2 确定。

$$\sigma_{hs} = \alpha_d C_f \sigma_h \quad (10.2.2-1)$$

$$\alpha_d = 1 - \sqrt{\frac{[s']}{h_d}} \quad (10.2.2-2)$$

式中  $\sigma_{hs}$ ——最大单位水平冻胀力设计值 (kPa)；  
 $\alpha_d$ ——系数，悬臂式挡土墙可取 0.94，变形性能较大的支挡建筑物可按公式 (10.2.2-2) 计算；  
 $C_f$ ——挡土墙迎土面边坡影响系数，可取 0.85 ~ 1.0；  
 $\sigma_h$ ——单位水平冻胀力 (kPa)，可按表 4.0.3-2 取值；  
 $[s']$ ——自墙前地面 (冰面) 算起 1.0 m 高度处的墙身水平允许变形量 (cm)，可根据有关规范，以及结构强度和具体工程条件确定；  
 $h_d$ ——墙后填土的冻胀量 (cm)，可按附录 C 确定，并取墙前地面 (冰面) 高程以上 0.5 m 的填土处为计算点。



**表 10.2.2 系数  $\beta_0$**

| 挡土结构(墙)后计算点土的冻胀量 $h_d$ (cm) | $\leq 5$ | 12   | $\geq 22$ |
|-----------------------------|----------|------|-----------|
| $\beta_0$                   | 0.21     | 0.17 | 0.1       |

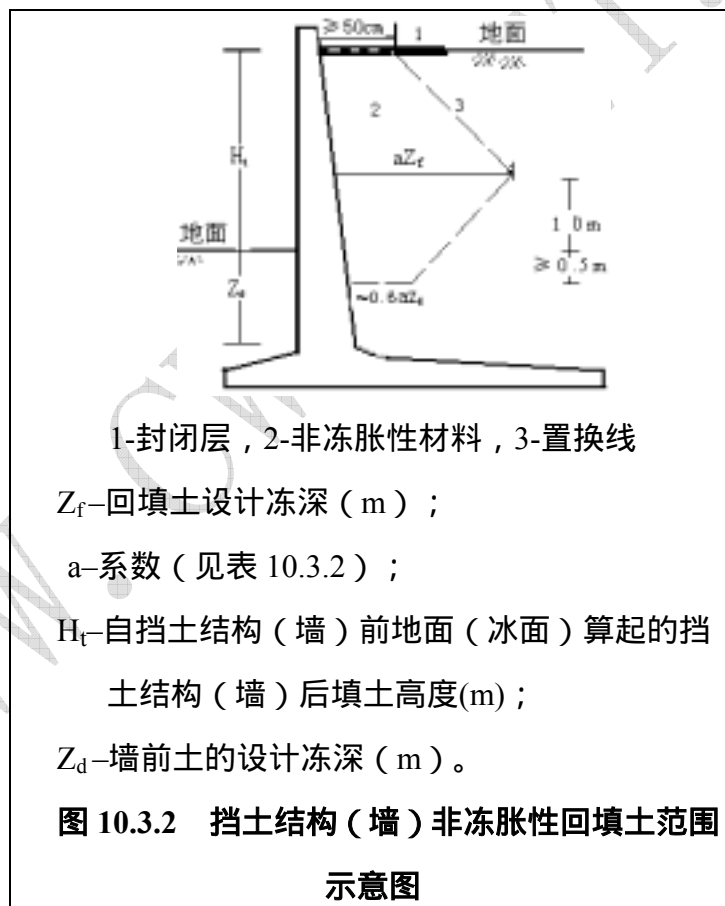
注：当地下水位距墙后填土面小于 1.0m 时，取  $\beta_0$  等于零。

## 10.3 抗冻胀措施

**10.3.1** 抗冻胀设计应根据墙后回填土的冻胀量大小、墙地下水位的高低和墙后地面形状等条件进行。当土的冻胀级别属 、 、 级时，宜采取换填非冻胀性土或铺设保温材料等消减冻胀力为主的措施。

**10.3.2** 在满足防渗要求和当地有适当料源的条件下，可采用粗粒材料作墙后回填土。置换范围不宜小于图 10.3.2 所示的范围。

当置换材料含有较多细粒或置换范围小于上述要求时，应根据细粒含量的多寡和地下水位的高低计算可能产生的水平冻胀力。计算可按公式（9.4.4-3）进行 [ 但式中的  $\sigma_{vs}$  应改为  $\sigma_{hs}$ ， $\sigma_{hs}$  为作用在挡土结构（墙）后的单位水平冻胀力设计值（kPa） ]。

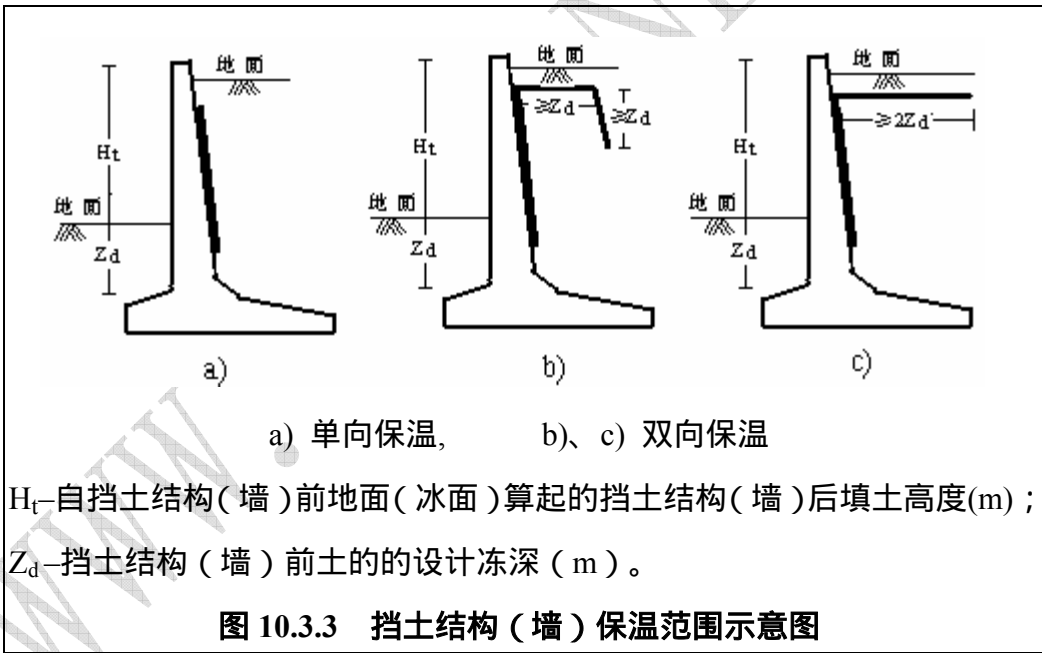


**表 10.3.2 系数  $a$**

| 挡土结构(墙)后计算点土冻胀量 $h_d$ (cm) | $\leq 5$   | 5 ~ 12    | 12 ~ 22   | $\geq 22$ |
|----------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| <b><math>a</math></b>      | $\leq 0.3$ | 0.3 ~ 0.6 | 0.6 ~ 0.9 | 0.9 ~ 1.1 |

10.3.3 采用保温材料防止挡土结构（墙）后土冻结时，应满足下列要求：

- 1 应按 9.4.2 条的规定确定保温材料的性能和铺设厚度；
- 2 保温材料的铺设可采取单向和双向两种方式，如图 10.3.3 所示。在墙较矮且地下水位较高、墙后有铺面道路或其它露天设施时，宜采用双向铺设方式；
- 3 采用双向铺设时，可采取水平与垂直帷幕式相结合或全水平铺设两种方式。在墙后有铺面道路或其它露天设施时，宜采用前一种铺设方式，其水平段的铺设长度应根据上部设施的要求确定，但不宜小于 1.0 倍设计冻深；垂直段宜作成大于 1:0.3 的斜坡，其长度亦不宜小于 1.0 倍设计冻深。采用全水平铺设时，其水平铺设长度宜大于 2 倍设计冻深。
- 4 保温材料可采用聚苯乙烯泡沫塑料板或其它适宜的保温材料。聚苯乙烯泡沫塑料板的性能应满足国家现行的技术标准要求，板厚可按 9.4.2 条的规定确定。
- 5 保温板间应做好接缝，避免脱缝。



## 11 桥梁和渡槽

### 11.1 一般规定

11.1.1 严寒地区桥梁和渡槽的桩、墩基础，当土的冻胀级别属 、 、 级时，应进行抗冻拔稳定和强度验算。

11.1.2 严寒地区的桥梁和渡槽宜尽可能减少桩、墩数量或减小桩径。

11.1.3 冰情较严重的河（渠）道上的桥梁和渡槽，宜尽可能增大单跨长度，并按附录 D 计算冰压力的作用。必要时，宜在桩、柱前镶嵌角钢或设置破冰墩。

11.1.4 基础埋置深度应考虑河（渠）床冲刷对基础埋深减小的影响。

11.1.5 基础在冻(冰)层内和地(冰)面以上至少 40cm 范围内不应设置横系梁。在其它部位设置横系梁时，应考虑淤积和冲刷对横系梁与地面相对距离的影响。

11.1.6 渡槽进出口段的抗冻胀设计应满足本规范第 9 章的规定，并按 5.3 节的规定设计进出口段与槽身之间的分缝和止水。

### 11.2 基础结构

11.2.1 混凝土灌注桩在稳定河床以下大于 1.2 倍设计冻深范围内的桩段，宜使用模板浇筑或使用外表面平整的钢筋混凝土管或钢管作套管。管的外径应与桩径一致。当不使用模板或套管浇筑时，应保证在上述范围内不发生塌孔和孔壁平整。

11.2.2 扩大式基础、排架式基础和墩台基础宜用于冲刷深度小、河床稳定、且易于开挖的场地。

11.2.3 扩大式基础的翼板长度和埋深，在满足承载力要求的同时，还应满足下列条件：

- 1 冻胀级别属于 、 、 级的地基中，翼板长度可取 0.8 ~ 1.0 倍柱的直径或边长。
- 2 冻胀级别属于 、 级的地基中，翼板长度不宜小于 1.5 倍柱直径或边长。
- 3 底板顶面的埋置深度(冲刷深度以下)宜等于或大于 1.2 倍设计冻深。

11.2.4 排架式基础的底梁宽度宜大于 3 倍桩(柱)直径或边长，厚度不宜小于 30cm。底梁的埋置深度宜符合第 11.2.3 条 3 款的要求。

11.2.5 墩台基础在冻层内宜做成正梯形的斜面，其坡比不宜陡于 7 : 1。斜面应平整。基础底面的埋置深度宜大于基础设计冻深的 1.2 倍。

11.2.6 当采用扩底桩基础时，扩底上表面的埋置深度应大于设计冻深，扩底直径不宜小于 2.5 倍桩径。同时应保证冻层范围内桩壁平整。

### 11.3 基础的稳定与强度验算

11.3.1 桥梁和渡槽的桩、墩基础抗冻拔稳定和强度验算应按基础不被拔起的工作状态进行。

11.3.2 基础所受的总切向冻胀力可按公式 (11.3.2) 计算：

$$T_{\tau} = \psi_e \psi_r \tau_t U Z_d \quad (11.3.2)$$

式中  $T_{\tau}$ ——总切向冻胀力(kN)；

$\psi_e$ ——有效冻深系数，可按表 11.3.2 取值；

$\psi_r$ ——冻层内桩壁糙度系数，表面平整的混凝土基础可取 1.0；当不使用模板或套管浇筑，桩壁粗糙，但无凹突面时，可取 1.1 ~ 1.2；

$\tau_t$ ——单位切向冻胀力(kPa)，见表 4.0.3-1；

$U$ ——冻土层内基础横截面周长(m)；

$Z_d$ ——基侧土的设计冻深(m)，可按附录 B 确定。

表 11.3.2 有效冻深系数  $\psi_e$

| 土 类             | 粘土、粉土 |           |       | 细粒土质砂 |           |       | 含细粒土砂 |           |       |
|-----------------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|
| 冻前地下水位至地面的距离(m) | > 2.0 | 2.0 ~ 1.0 | < 1.0 | > 1.5 | 1.5 ~ 0.8 | < 0.8 | > 1.0 | 1.0 ~ 0.5 | < 0.5 |
| $\psi_e$        | 0.6   | 0.8       | 1.0   | 0.6   | 0.8       | 1.0   | 0.6   | 0.8       | 1.0   |

11.3.3 桩、墩基础的抗冻拔稳定安全系数  $K_d$  可按公式 (11.3.3) 验算：

$$K_d = \frac{P + G + F_s}{T_{\tau}} \quad (11.3.3)$$

式中  $K_d$ ——桩、墩基础抗冻拔稳定安全系数。其最小安全系数值应满足按表 11.3.3 的要求；

$P$ ——作用于桩(墩)顶的恒载(kN)；

$G$ ——桩、墩自重及墩台基础边上的土重(kN)；

$F_s$ ——冻层以下基础与暖土之间的总摩阻力(kN)，可按 11.3.4 条的规定确定；

$T_\tau$ ——总切向冻胀力(kN)。

表 11.3.3 抗冻拔稳定最小安全系数

| 建筑物级别  | 1   | 2、3 | 4、5 |
|--------|-----|-----|-----|
| 最小安全系数 | 1.3 | 1.2 | 1.1 |

11.3.4 基础侧壁与暖土之间的总摩阻力可按公式 (11.3.4) 计算：

$$F_s = 0.4 \sum (f_{si} Z_i U_i) \quad (11.3.4)$$

式中  $F_s$ ——基础侧壁与暖土之间的总摩阻力(kN)；

$f_{si}$ ——冻结层以下基础侧壁与各层暖土之间的单位极限摩阻力(kPa)；

$Z_i$ ——冻结层以下基础侧壁与各层暖土间的接触长度(m)；

$U_i$ ——冻结层以下各暖土层范围内基础截面的平均周长(m)。

11.3.5 桩、墩基础的结构抗拉强度安全系数  $K_l$  可按公式 (11.3.5) 验算：

$$K_l = \frac{f_y A}{T_\tau - P - G_f - F_l} \quad (11.3.5)$$

式中  $K_l$ ——桩、墩基础的抗拉强度安全系数。对于钢筋混凝土结构，其最小安全系数值应满足按表 11.3.5 的要求；

$f_y$ ——验算截面材料设计抗拉强度 (kPa)，对于钢筋混凝土结构， $f_y$  为受力钢筋设计抗拉强度 (kPa)；

$A$ ——验算截面的横截面面积，对钢筋混凝土结构， $A$  为纵向受力筋截面积之和(m<sup>2</sup>)；

$T_\tau$ ——总切向冻胀力(kN)；

$P$ ——作用于桩(墩)顶的恒载(kN)；

$G_f$ ——验算截面以上基础的自重(kN)；

$F_l$ ——验算截面以上至冻结层层底面之间暖土的摩阻力(kN)。

**表 11.3.5 抗拉强度最小安全系数**

| 建筑物级别  | 1    | 2、3  | 4、5  |
|--------|------|------|------|
| 最小安全系数 | 1.65 | 1.50 | 1.40 |

**11.3.6** 桩基础应在全长内配置钢筋，其抗冻拔强度验算应取设计冻深处和所有受力钢筋截面变化处的断面。

**11.3.7** 扩大式基础、排架式和大头桩基础抗冻拔强度验算应取桩(柱)与底板(底梁、大头)联接根部截面、所有受力钢筋截面变化处和设计冻深处的截面。

**11.3.8** 跨年度施工的工程，越冬期基础应采用临时抗冻拔措施。

---

## 12 水工金属结构

### 12.1 一般规定

12.1.1 在冰冻期运行和操作的发电、泄水、排冰的闸门、拦污栅和启闭机以及压力钢管等，应采取防冰和防冰冻措施。

12.1.2 防冰和防冰冻方法应根据水工金属结构的设置部位、布置形式、运行工况，以及水温、气温和冰情确定，可选用冰盖开槽法、保温板法、电热法、压缩空气吹泡法和压力水射流法等。

12.1.3 闸门不应承受静冰压力。有动冰压力作用时，动冰压力可按附录 D 计算。

12.1.4 严寒地区的水工金属结构设备应参照各有关设备的设计规范中有关材料的规定，选用具有可焊性好、冲击韧性高和脆性转变温度低的钢材制造，其材质的质量等级应与气温相匹配。焊接应采用具有与母材相应性能的焊条、焊丝和焊剂及相应的焊接工艺。

12.1.5 严寒地区的闸门使用的止水水封应特别注意防水，其材质应能满足在当地最低气温条件下保证其物理力学性能的要求。

12.1.6 严寒地区的闸门主轮和弧门支铰的润滑剂应采用适用于低温润滑脂或低温自润滑轴承。

12.1.7 严寒地区的液压启闭机、液压清污机、液压自动挂脱梁、液压制冻器等设备，其液压油的凝固点应低于当地日最低气温 10℃，其控制柜应置于室温不低于 5℃ 的机房中。

12.1.8 严寒地区的水工金属结构设备防腐蚀，宜采用低温漆或金属热喷涂保护，且封闭漆应具有良好的耐低温性能。

### 12.2 闸门

12.2.1 冰冻期挡水而不开启的表孔闸门，为防止静冰压力作用，闸门前冰盖上应保持有一条不结冰的水域或水缝，其方法可采用冰盖开槽法、保温板法、压缩空气吹泡

---

法和压力水射流法和门叶电热法。

**12.2.2** 冰冻期挡水且需要操作的表孔闸门和非闸井中的潜孔闸门，其埋件和门槽（必要时的门叶），宜采取电热法防冰冻。

**12.2.3** 严寒地区坝式、岸式、塔式和井式进水口的事故闸门和调压井内的快速闸门，宜设置保温的闸门室和启闭机室，也可在闸门井内采暖，并在井顶加盖保温。

**12.2.4** 严寒地区的泄洪洞和排沙洞进口或中部的工作闸门或事故闸门的闸门井上宜设置保温的启闭机室，也可设置保温的闸门室。

**12.2.5** 严寒地区的泄洪洞和排沙洞出口的工作闸门的闸门室和启闭机室应采取采暖保温措施，且在闸门下游洞的出口处设保温门或挂保温帘封闭。压力前池机组进水口快速闸门应设置采暖的闸门室和启闭机室。结冰盖的水库，不宜采用浮箱闸门。

**12.2.6** 排冰闸的闸门不宜采用弧形闸门和舌瓣闸门或带舌瓣平面闸门及带舌瓣弧形闸门，不宜采用上升式闸门、下沉式闸门和双扉闸门。利用闸门底部排冰时，应研究过门流冰对闸门门体的影响和相应的保护措施。

**12.2.7** 排冰的舌瓣闸门两侧的埋固止水座板应做成箱体结构，且应采用电热法防冰冻。若采用卷扬式启闭机时，舌瓣闸门应设置上部带滑轮的起吊拉杆。在闸门全开时起吊钢丝绳不应浸入水中。

**12.2.8** 带舌瓣的闸门不应上下同时排冰。

**12.2.9** 有清冰要求的排冰建筑物附近，应设有清冰场地和运行人员值班与存放工具设备的专用房屋。

**12.2.10** 冰冻期需要操作运行的闸门，通气孔内不应结冰盖。通气孔出口宜设置在保温房内，其门窗均应能双向开合。

**12.2.11** 严寒地区的启闭机冬季有运行操作要求时，启闭机室内和司机室内应设有采暖设备，其门架结构、起吊拉杆和自动挂脱梁所用钢材和焊材的质量等级应与实地气温相匹配。

**12.2.12** 门槽二期混凝土与一期混凝土的接缝应结合密实，不应渗水。门槽二期混凝土抗冻等级应符合表 5.1.2 的规定。

**12.2.13** 冰冻期运行和操作的闸门，门叶结构下游面的结构节点的造型宜采取平缓过渡连接，不应出现尖角及突出构件。其拼接焊缝应避开过渡区且应修圆。

12.2.14 门叶结构主梁、次梁、边梁和支臂结构上的制造孔、安装孔和漏水孔不应对接补焊。

12.2.15 在负气温下清除门叶上的结冰和门叶与门槽之间的结冰时，应采用加热化冰的方法除冰，不应采用人工打冰方法除冰。

12.2.16 闸门埋件防冰冻可选择定时加热或连续加热的电热法，其热源可采用电热管或电热缆。

12.2.17 埋件电热法防冰冻的加热计算可按公式（12.2.17-1）和（12.2.17-2）进行。

1 定时加热—只要求将钢埋件工作表面上厚度有限的冰融化 1cm。所需加热功率可按公式（12.2.17-1）计算：

$$N = 1.7(1 - 0.006t_k)A_q / T \quad (12.2.17-1)$$

式中  $N$  ——加热功率（kW）；

$t_k$  ——设置地点的最低气温（℃）；

$A_q$  ——钢埋件加热面积（m<sup>2</sup>）；

$T$  ——化冰加热时间（h）。

2 连续加热—不允许钢埋件工作表面上遇水结冰，其加热功率可按公式（12.2.17-2）计算：

$$N = 0.05(1 - t_k)A_q + 0.3A_w \quad (12.2.17-2)$$

式中  $N$  ——加热功率（kW）；

$A_q$  ——钢埋件加热面积（m<sup>2</sup>）；

$A_w$  ——过冷水中的钢埋件加热面积（m<sup>2</sup>）；

$t_k$  ——设置地点的最低气温（℃）。

12.2.18 当采用门叶防止静冰压力作用的冰盖开槽法，门前冰盖厚度达到可以双人冰上作业时，在闸门前冰盖上，人工或机械开一冰槽露出水面，并将碎冰捞出，冰槽宽度由工具或设备确定，但不宜小于 0.4m。定时循环作业，始终保持水槽内结冰厚度不宜大于 1cm。

12.2.19 当采用门叶防止静冰压力作用的聚苯乙烯泡沫板保温法，门前冰盖厚度达到可以双人冰上作业时，在闸门前冰盖上，沿闸门跨度连续铺设聚苯乙烯泡沫保温板。其上覆盖一层塑料薄膜，并在其上与四周压载防风。当板的导热系数  $\lambda \leq 0.03 \text{ W/(m} \cdot \text{o}$

C) 时, 其保温板尺寸可按公式 (12.2.19-1) 和 (12.2.19-2) 计算:

$$\delta_x = 0.15\delta_{im} \quad (12.2.19-1)$$

$$B = 3.0\delta_{im} \quad (12.2.19-2)$$

式中  $\delta_x$ ——聚苯乙烯保温板厚度 (m);

$B$ ——聚苯乙烯保温板宽度 (m);

$\delta_{im}$ ——水库冰盖最大厚度 (m)。

**12.2.20** 门叶防止静冰压力作用的电热法采用的电热管、电热缆或电热板, 其三相负载分配应相等, 均匀地布置在门叶结构中间。门叶下游面应全部采用聚苯乙烯泡沫板封闭保温, 其板厚度不得小于 3cm, 导热系数应不大于  $0.03\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 。门叶电热法防冰冻计算可按附录 E 进行。

**12.2.21** 当采用压力水射流法防止门叶静冰压力作用时, 所提供的水温不应低于  $0.40^\circ\text{C}$ 。其计算可按附录 F 进行。

**12.2.22** 当采用压缩空气吹泡法防止门叶受静冰压力作用时, 压力可取  $p = 0.6\text{Mpa}$ , 喷嘴淹没水深可取  $H = 2\text{m} \sim 5\text{m}$  (试验调整确定)。其空压机生产率可按公式 (12.2.22) 计算:

$$Q = knb_0q_a \quad (12.2.22)$$

式中  $Q$ ——压缩机生产率 [ $\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{min})$ ];

$k$ ——安全系数, 可取  $k = 1.25$ ;

$n$ ——闸门孔口个数;

$b_0$ ——闸门孔口单孔净跨 (m);

$q_a$ ——消耗气流量指标, 可  $0.03\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{min})$ 。

压缩空气吹泡法防冰冻应设两台压缩机并联, 互为备用。

**12.2.23** 压力水射流法或压缩空气吹泡法可采用各孔闸门同时或多孔闸门分段定时射流或吹泡, 不必采用连续射流或吹泡。

**12.2.24** 压力水射流管或压缩空气吹泡法的吹气嘴与闸门门叶外缘的距离应大于 3m。

## 12.3 拦污栅

12.3.1 严寒地区引水式电站的压力前池进水口宜采用提升式潜孔拦污栅，不应采用固定式拦污栅。采用表孔拦污栅时，应把拦污栅布置在闸门室内，且闸门室应采暖保温。

12.3.2 压力前池机械排冰宜采用回转栅式清污排冰机（回转式拦污栅），且检修闸门应布置在其上游。

12.3.3 前池拦污栅采用人工清冰时，拦污栅与水平夹角宜布置成  $70^\circ$  左右。人工水中清冰时，冬季栅前允许水深不宜超过 3m。

12.3.4 冬季结冰盖运行的明渠引水式水电站的压力前池拦污栅，无论是表孔拦污栅还是潜孔拦污栅，均应设置在闸门室内，且闸门室应采暖保温。

12.3.5 结冰盖水库的潜孔拦污栅在冰冻期需要提升时，应在其上游布置胸墙，栅槽宜采用定时加热。

12.3.6 潜孔式拦污栅冰冻期不需要提升时，栅顶高程应低于冰盖最大厚度以下 0.5m。

## 12.4 露天压力钢管

12.4.1 严寒地区露天压力钢管材质的质量等级应与当地气温相匹配。

12.4.2 严寒地区冬季运行的露天压力钢管宜采用下列防冰冻措施：

- 1 宜建暖棚；
- 2 宜回填土石料，其厚度应大于当地冻土深度的 1.2 倍，且不应有外水侵入回填层；
- 3 宜在钢管外表面喷覆聚苯乙烯或包覆聚苯乙烯泡沫板保温，其外层用不透光的防水材料封闭。聚苯乙烯泡沫板的厚度可按公式（12.4.2）计算：

$$\delta_x = 0.004I_0^{0.5} \quad (12.4.2)$$

式中  $\delta_x$ ——聚苯乙烯泡沫板的厚度（m）；

$I_0$ ——最大负气温指数（ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ）。

12.4.3 严寒地区冬季不运行的露天压力钢管，管内水体应排空。

---

**12.4.4** 露天压力钢管的镇墩、支墩和底部支承，应采取防止基土冻胀上抬的措施。

WWW.CWS.NET.CN

## 附录 A 中国主要河流冰情特征

**A.0.1** 河流和水库的冰情特征应根据当地水文站实际观测资料确定。无实测资料时，可根据具体情况按下列各条取值。

**A.0.2** 主要河流初冰、封冰、解冻日期和最大冰厚见表 A.0.2 和图 A.0.2 - 1 ~ 图 A.0.2 - 4。

**A.0.3** 水库冰厚可按下式计算：

$$\delta_i = \varphi_i \sqrt{I_0} \quad (\text{A.0.3})$$

式中  $\delta_i$ ——水库冰厚(m)；

$\varphi_i$ ——冰厚系数，一般可取 0.022 ~ 0.026(严寒地区宜取大值)；

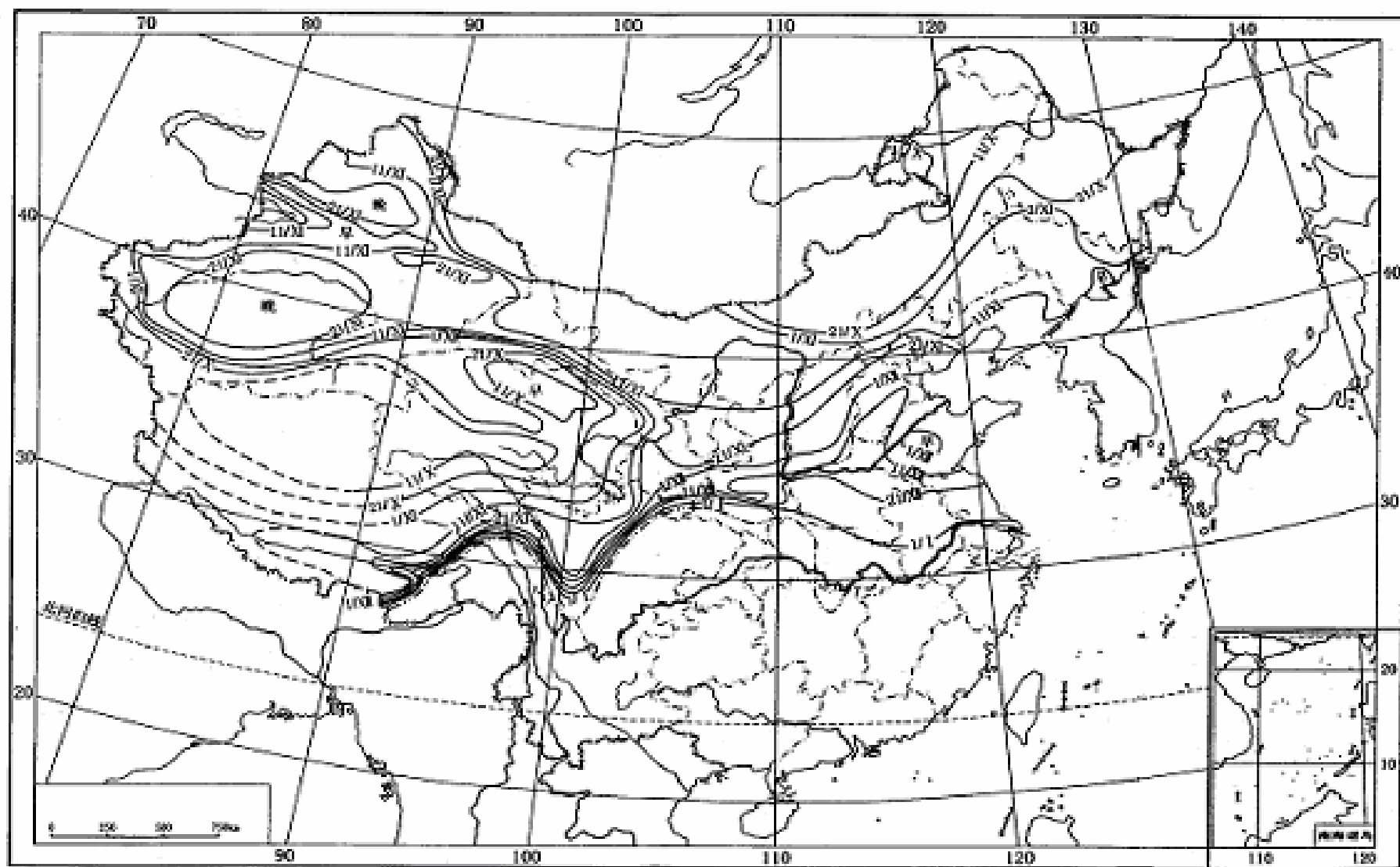
$I_0$ ——负气温指数(·d)。

**表 A.0.2 中国北方河流主要站点冰情特征值**

| 河 流 | 站 名  | 经纬度(度、分) |       | 冰情日期(月、日) |       |      | 冰情天数(d) |     | 最大冰厚多年<br>平均值(m) |
|-----|------|----------|-------|-----------|-------|------|---------|-----|------------------|
|     |      | 东经       | 北纬    | 初冰        | 封冻    | 解冻   | 流冰花     | 封冻  |                  |
| 黑龙江 | 开库康  | 124.48   | 53.09 | 10.22     | 11.06 | 5.03 | 15      | 178 | 1.60             |
|     | 呼 玛  | 126.39   | 51.43 | 10.25     | 11.13 | 4.28 | 19      | 167 | 1.46             |
|     | 黑 河  | 127.29   | 50.15 | 10.27     | 11.16 | 4.28 | 20      | 164 | 1.28             |
|     | 奇 克  | 128.28   | 49.35 | 10.26     | 11.16 | 4.27 | 19      | 163 | 1.24             |
|     | 嘉 荫  | 130.23   | 48.54 | 10.31     | 11.24 | 4.23 | 24      | 151 | 1.14             |
|     | 萝 北  | 131.20   | 47.43 | 11.01     | 11.19 | 4.19 | 18      | 150 | 1.04             |
| 嫩 江 | 库漠北  | 125.16   | 49.27 | 10.24     | 11.06 | 4.17 | 13      | 163 | 1.35             |
|     | 阿彦浅  | 124.37   | 48.46 | 10.30     | 11.13 | 4.17 | 14      | 153 | 1.18             |
|     | 同 盟  | 124.22   | 48.04 | 11.03     | 11.18 | 4.10 | 15      | 140 | 0.97             |
|     | 富拉尔基 | 123.40   | 47.12 | 11.05     | 11.17 | 4.14 | 12      | 149 | 1.03             |
|     | 大 赉  | 124.16   | 45.33 | 11.04     | 11.20 | 4.08 | 12      | 139 | 0.86             |
| 松花江 | 下岱吉  | 125.24   | 45.25 | 11.02     | 11.23 | 4.07 | 9       | 136 | 0.92             |
|     | 哈尔滨  | 126.35   | 45.46 | 11.12     | 11.25 | 4.08 | 13      | 134 | 1.00             |
|     | 依 兰  | 129.33   | 46.20 | 11.02     | 11.17 | 4.13 | 16      | 138 | 1.08             |
|     | 佳木斯  | 130.20   | 46.50 | 11.02     | 11.22 | 4.16 | 13      | 146 | 1.13             |
|     | 富 锦  | 132.00   | 47.16 | 11.07     | 11.23 | 4.17 | 16      | 144 | 1.02             |
| 辽 河 | 福德店  | 123.35   | 42.59 | 11.11     | 11.26 | 3.28 | 14      | 123 | 0.86             |
|     | 铁 岭  | 123.50   | 42.20 | 11.12     | 12.01 | 3.19 | 19      | 108 | 0.61             |
|     | 巨流河  | 122.57   | 42.00 | 11.14     | 12.04 | 3.20 | 19      | 107 | 0.61             |
| 鸭绿江 | 十四道沟 | 127.55   | 41.26 | 11.01     | 12.01 | 4.04 | 22      | 124 | 0.98             |
|     | 集 安  | 126.10   | 41.06 | 11.30     | 12.22 | 3.22 | 23      | 90  | 0.82             |
| 永定河 | 芦沟桥  | 116.13   | 39.52 | 11.30     | 12.11 | 2.27 | 11      | 42  | 0.51             |

表 A.0.2 (续)

| 河 流        | 站 名 | 经纬度(度、分) |       | 冰情日期(月、年) |       |      | 冰情天数(d) |     | 最大冰厚多年<br>平均值(m) |
|------------|-----|----------|-------|-----------|-------|------|---------|-----|------------------|
|            |     | 东经       | 北纬    | 初冰        | 封冻    | 解冻   | 流冰花     | 封冻  |                  |
| 黄 河        | 兰 州 | 103.49   | 36.04 | 11.16     | 1.13  | 2.23 | 58      | 42  | 0.48             |
|            | 石咀山 | 106.47   | 39.15 | 11.25     | 12.28 | 3.08 | 34      | 71  | 0.51             |
|            | 包 头 | 110.11   | 40.33 | 11.19     | 12.08 | 3.21 | 19      | 104 | 0.79             |
| 卫运河        | 德 州 | 116.22   | 37.31 | 12.10     | 12.30 | 2.10 | 20      | 42  | 0.20             |
| 额 尔<br>齐斯河 | 布尔津 | 86.51    | 47.42 | 11.03     | 11.23 | 4.03 | 20      | 131 | 0.94             |
| 伊犁河        | 野马渡 | 81.40    | 43.37 | 11.27     | -     | -    | 99      | 0   | -                |
| 昆 马<br>力克河 | 协合拉 | 79.37    | 41.43 | 11.20     | -     | -    | 97      | 0   | -                |
| 叶 尔<br>羌 河 | 卡 群 | 76.54    | 37.59 | 11.03     | -     | -    | 86      | 0   | -                |



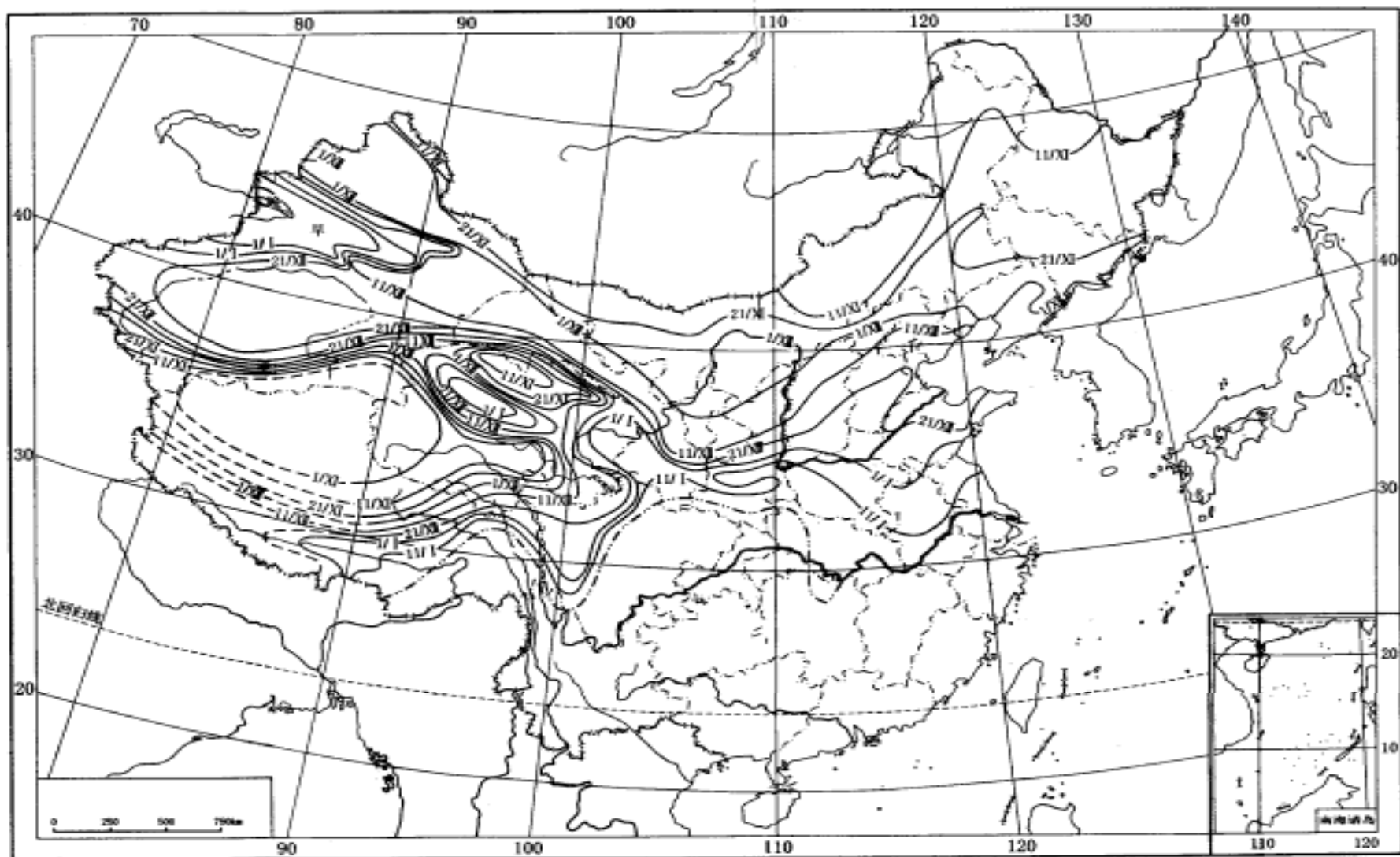


图 A.0.2-2 中国河流平均封冰日期图 (日/月) (-----出现冰情的最南界)

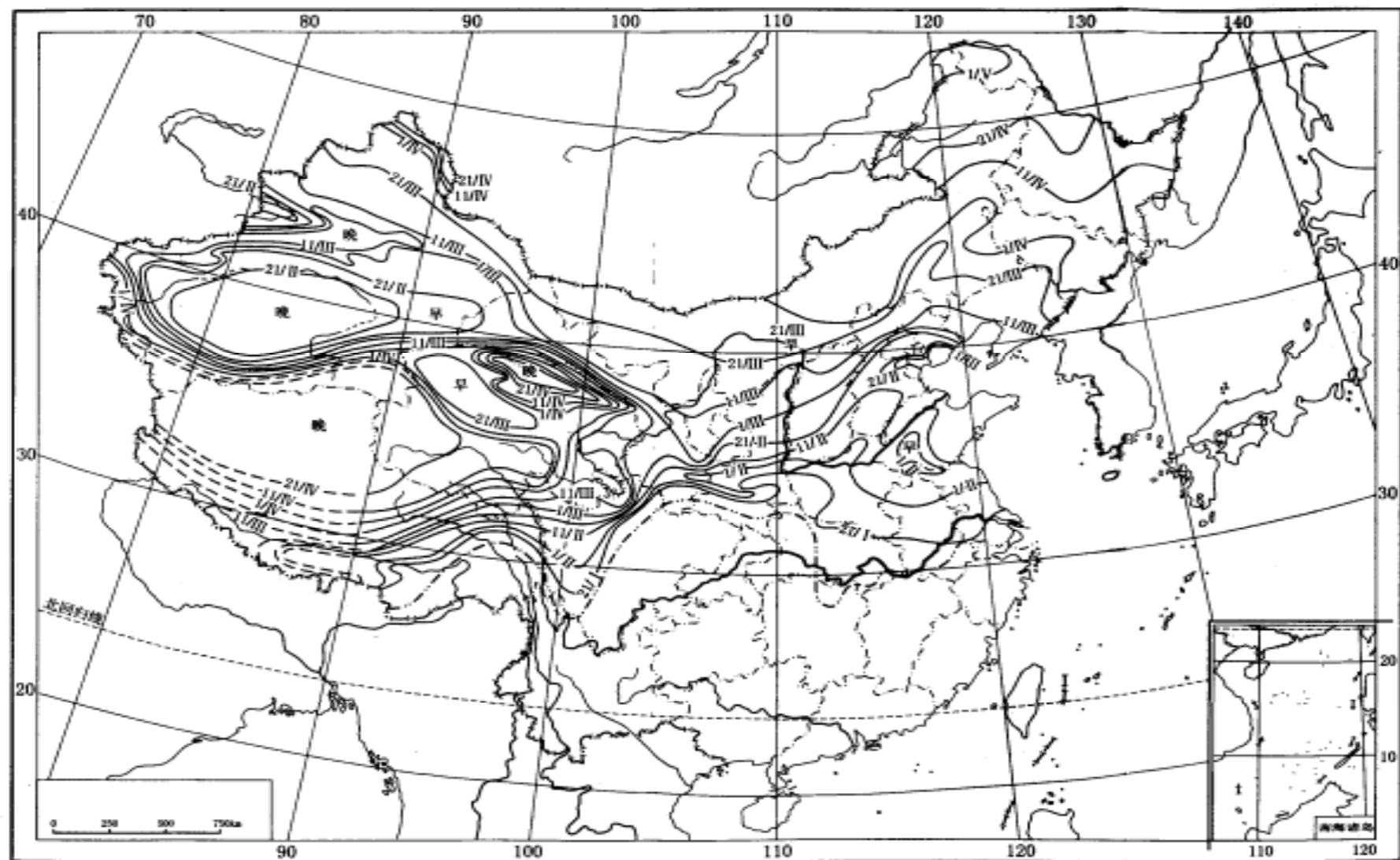


图 A.0.2-3 中国河流平均解冻日期图 (日/月) (-----出现冰情的最南界)

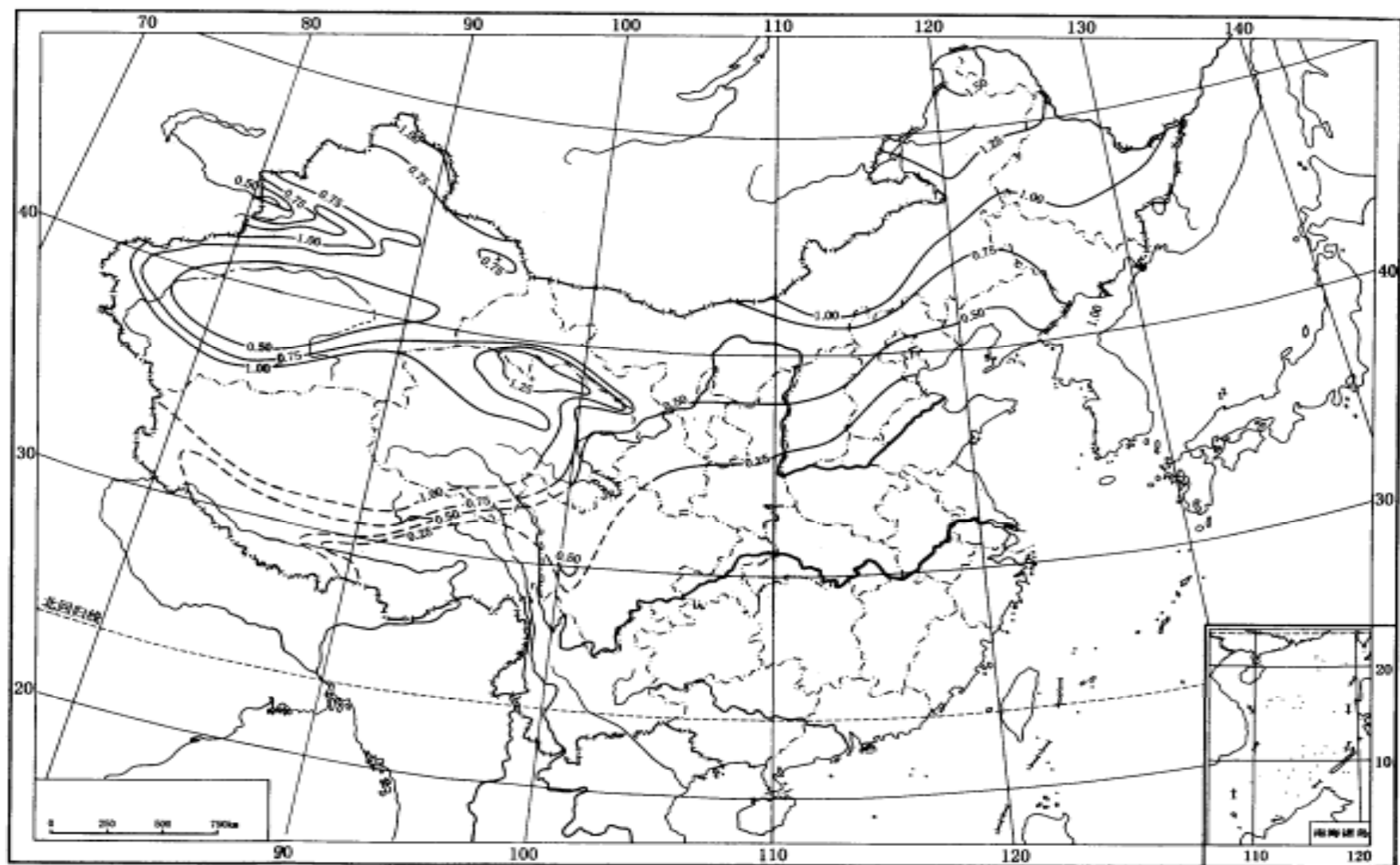


图 A.0.2-4 中国河流平均最大冰厚图 (单位 : m)

## 附录 B 土的冻结深度的确定

### B.1 设计冻深

**B.1.1** 设计冻深是指天然地表或设计地面高程算起的冻结深度,可按公式(B.1.1-1)~公式(B.1.1-3)计算:

$$Z_d = \psi_d \psi_w Z_m \quad (\text{B.1.1-1})$$

$$\psi_d = \alpha + (1 - \alpha)\psi_i \quad (\text{B.1.1-2})$$

$$\psi_w = \frac{1 + \beta e^{-Z_{w0}}}{1 + \beta e^{-Z_{wi}}} \quad (\text{B.1.1-3})$$

式中  $Z_d$  ——设计冻深(m);

$\psi_d$  ——日照及遮荫程度影响系数;

$\psi_w$  ——地下水修正系数;

$Z_m$  ——实测历年最大冻深(m);

$\psi_i$  ——典型断面(建筑物或渠道走向 N-S,底宽与深度之比  $B/H=1.0$ ,坡比  $m=1.0$ )

某部位的日照及遮荫程度修正系数,阴(或阳)面中部的  $\psi_i$  值的地理位置

可由图 B.1.1-1 查得,底面中部的  $\psi_i$  值可由图 B.1.1-2 查得;

$\alpha$  ——系数,可根据建筑物所在的气候区(由图 B.1.1-3 查得)、建筑物计算断面的轴线走向、断面形状及计算点位置可由表 B.1.1 - 1 查得。若渠坡较高或建筑物上部有遮荫作用,应考虑额外的遮荫影响;

$\beta$  ——系数,可按表 B.1.1-2 取值;

$Z_{w0}$  ——当地或邻近气象台(站)的冻前地下水位深度(m)。当粘土  $Z_w > 3.0\text{m}$ ,粉土  $Z_{w0} > 2.5\text{m}$ ,砂(细粒含量  $\leq 15\%$ )  $Z_{w0} > 2.0\text{m}$  时,可分别取粘土  $Z_{w0} = 3.0\text{m}$ ,粉土  $Z_{w0} = 2.5\text{m}$ ,砂  $Z_{w0} = 2.0\text{m}$ ;

$Z_{wi}$  ——计算点的冻前地下水位深度(m),可取计算点地面(开挖面)至当地冻结前地下水位的距离(对于挡土墙,可取距墙前地面以上 0.5m 处为计算点)。

表 B.1.1 - 2 系数  $\beta$  值

| 土类       | 粘土、粉土 | 细粒土质砂 | 含细粒土砂 |
|----------|-------|-------|-------|
| $\alpha$ | 0.79  | 0.63  | 0.42  |

表 B.1.1-1 系数 $\alpha$  值

| B/H | 坡比<br>m | 走 向    | 中 温 带 |       |       | 南 温 带 |       |       | 高 原 气 候 区 |       |       |
|-----|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|     |         |        | 阴 面   | 阳 面   | 底 面   | 阴 面   | 阳 面   | 底 面   | 阴 面       | 阳 面   | 底 面   |
| 0.5 | 0.0     | E-W    | -3.54 | -2.42 | -2.3  | -2.24 | -1.8  | -2.1  | -2.43     | -1.62 | -2.23 |
|     | 0.5     | E-W    | -2.89 | 3.76  | -1.95 | -1.70 | 1.66  | -1.57 | -1.32     | -0.23 | -1.76 |
|     | 1       | E-W    | -2.55 | 4.75  | -1.46 | -1.36 | 3.96  | -0.7  | -0.77     | 0.63  | 0.07  |
|     | 1.5     | E-W    | -2.25 | 4.42  | -0.28 | -1    | 4.21  | 0.59  | -0.25     | 1.06  | 0.91  |
|     | 2       | E-W    | -1.81 | 3.91  | 0.62  | -0.6  | 3.42  | 0.69  | 0.14      | 1.2   | 0.68  |
| 1.0 | 0.0     | E-W    | -3.13 | 1.16  | -2.15 | -2.03 | 0.05  | -1.8  | -1.86     | -1.17 | -2.22 |
|     | 0.5     | E-W    | -2.83 | 4.45  | -1.86 | -1.63 | 2.14  | -1.34 | -1.21     | -0.20 | -0.82 |
|     | 1       | E-W    | -2.51 | 5.03  | -1.05 | -1.33 | 4.55  | 0     | -0.71     | 0.7   | 1.02  |
|     | 1.5     | E-W    | -2.24 | 4.53  | 0.41  | -0.99 | 4.41  | 0.7   | -0.22     | 1.1   | 0.68  |
|     | 2       | E-W    | -1.8  | 3.96  | 0.73  | -0.6  | 3.55  | 0.73  | 0.14      | 1.21  | 0.7   |
| 2.0 | 0       | E-W    | -3.00 | 2.57  | -1.86 | -1.89 | 0.02  | -1.34 | -1.65     | -1.33 | -0.82 |
|     | 0.5     | E-W    | -2.76 | 5.12  | -1.05 | -1.56 | 3.01  | -0.01 | -1.09     | -0.07 | 1.02  |
|     | 1       | E-W    | -2.49 | 5.32  | 0.41  | -1.29 | 4.6   | 0.7   | -0.66     | 0.81  | 0.68  |
|     | 1.5     | E-W    | -2.22 | 4.65  | 0.73  | -0.97 | 4.58  | 0.73  | -0.18     | 1.15  | 0.7   |
|     | 2       | E-W    | -1.8  | 4.01  | 0.79  | -0.58 | 3.85  | 0.8   | 0.16      | 1.24  | 0.77  |
| 5.0 | 0       | E-W    | -2.90 | 3.22  | 0.73  | -1.80 | 0.32  | -0.73 | -1.49     | -1.19 | 0.70  |
|     | 0.5     | E-W    | -2.69 | 5.67  | 0.79  | -1.49 | 4.31  | 0.80  | -0.99     | 0.08  | 0.77  |
|     | 1       | E-W    | -2.45 | 5.64  | 0.86  | -1.24 | 4.42  | 0.85  | -0.60     | 0.92  | 0.82  |
|     | 1.5     | E-W    | -2.19 | 4.81  | 0.89  | -0.94 | 4.70  | 0.88  | -0.15     | 1.23  | 0.85  |
|     | 2       | E-W    | -1.79 | 4.10  | 0.91  | -0.56 | 4.07  | 0.91  | 0.18      | 1.30  | 0.88  |
| 0.5 | 0.0     | NE45 ° | -3.36 | -2.24 | -2.13 | -2.12 | -1.62 | -1.97 | -2.3      | -1.65 | -1.96 |
|     | 0.5     | NE45 ° | -2.50 | 0.95  | -1.27 | -1.46 | 0.06  | -0.98 | -1.13     | -0.51 | -1.06 |
|     | 1       | NE45 ° | -1.89 | 2.31  | -0.41 | -0.94 | 1.2   | -0.24 | -0.44     | 0.32  | -0.12 |
|     | 1.5     | NE45 ° | -1.38 | 2.59  | 0.14  | -0.51 | 1.68  | 0.24  | 0         | 0.75  | 0.33  |
|     | 2       | NE45 ° | -0.98 | 2.53  | 0.45  | -0.23 | 1.79  | 0.51  | 0.27      | 0.95  | 0.54  |
| 1.0 | 0       | NE45 ° | -2.93 | -0.82 | -1.75 | -1.92 | -1.09 | -1.46 | -1.8      | -1.47 | -1.79 |
|     | 0.5     | NE45 ° | -2.40 | 1.63  | -0.81 | -1.37 | 0.39  | -0.65 | -1.00     | -0.39 | -0.50 |
|     | 1       | NE45 ° | -1.85 | 2.6   | -0.09 | -0.87 | 1.21  | 0.04  | -0.37     | 0.4   | 0.13  |
|     | 1.5     | NE45 ° | -1.36 | 2.72  | 0.32  | -0.49 | 1.79  | 0.38  | 0.05      | 0.79  | 0.46  |
|     | 2       | NE45 ° | -0.97 | 2.59  | 0.55  | -0.22 | 1.85  | 0.59  | 0.28      | 0.98  | 0.63  |
| 2.0 | 0.0     | NE45 ° | -2.75 | 0.32  | -0.81 | -1.75 | -0.68 | -0.55 | -1.56     | -1.31 | -0.5  |
|     | 0.5     | NE45 ° | -2.32 | 2.28  | -0.09 | -1.28 | 0.74  | -0.05 | -0.89     | -0.26 | 0.13  |
|     | 1       | NE45 ° | -1.8  | 2.92  | 0.32  | -0.82 | 1.67  | 0.38  | -0.31     | 0.49  | 0.46  |
|     | 1.5     | NE45 ° | -1.33 | 2.88  | 0.55  | -0.49 | 1.94  | 0.59  | 0.07      | 0.85  | 0.63  |
|     | 2       | NE45 ° | -0.95 | 2.68  | 0.69  | -0.2  | 1.93  | 0.71  | 0.31      | 1.0   | 0.72  |
| 5.0 | 0.0     | NE45 ° | -2.63 | 1.11  | 0.55  | -1.62 | -0.37 | 0.57  | -1.40     | -1.17 | 0.63  |
|     | 0.5     | NE45 ° | -2.23 | 2.88  | 0.69  | -1.16 | 1.11  | 0.69  | -0.78     | -0.13 | 0.72  |
|     | 1       | NE45 ° | -1.75 | 3.28  | 0.76  | -0.77 | 2.06  | 0.77  | -0.24     | 0.60  | 0.78  |
|     | 1.5     | NE45 ° | -1.29 | 3.10  | 0.81  | -0.43 | 2.17  | 0.83  | 0.11      | 0.93  | 0.84  |
|     | 2       | NE45 ° | 0.76  | 0.76  | 0.83  | -0.18 | 1.87  | 0.86  | 0.33      | 1.05  | 0.88  |

表 B.1.1-1 (续)

| B/H | 坡比<br>m | 走 向 | 中 温 带 |       |       | 南 温 带 |       |       | 高原气候区 |     |     |
|-----|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|
|     |         |     | 阴 面   | 阳 面   | 底 面   | 阴 面   | 阳 面   | 底 面   | 阴 面   | 阳 面 | 底 面 |
| 0.5 | 0.0     | N-S | -2.79 | -1.95 | -1.97 | -1.89 | -2.06 | -1.86 |       |     |     |
|     | 0.5     | N-S | -1.10 | 0.94  | -0.84 | -0.90 | -0.83 | -1.16 |       |     |     |
|     | 1       | N-S | -0.14 | -0.24 | -0.03 | -0.23 | -0.08 | -0.29 |       |     |     |
|     | 1.5     | N-S | 0.34  | 0.18  | 0.33  | 0.18  | 0.34  | 0.19  |       |     |     |
|     | 2       | N-S | 0.58  | 0.43  | 0.56  | 0.43  | 0.57  | 0.46  |       |     |     |
| 1.0 | 0.0     | N-S | -2.11 | -1.45 | -1.56 | -1.36 | -1.61 | -1.83 |       |     |     |
|     | 0.5     | N-S | -0.79 | -0.55 | -0.66 | -0.52 | -0.67 | -0.67 |       |     |     |
|     | 1       | N-S | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |       |     |     |
|     | 1.5     | N-S | 0.42  | 0.33  | 0.38  | 0.32  | 0.38  | 0.34  |       |     |     |
|     | 2       | N-S | 0.62  | 0.52  | 0.58  | 0.51  | 0.59  | 0.56  |       |     |     |
| 2.0 | 0.0     | N-S | -1.56 | -0.55 | -1.27 | -0.48 | -1.37 | -0.67 |       |     |     |
|     | 0.5     | N-S | -0.48 | 0.00  | -0.47 | 0.00  | -0.54 | 0.00  |       |     |     |
|     | 1       | N-S | 0.18  | 0.33  | 0.11  | 0.32  | 0.07  | 0.34  |       |     |     |
|     | 1.5     | N-S | 0.51  | 0.52  | 0.44  | 0.51  | 0.43  | 0.56  |       |     |     |
|     | 2       | N-S | 0.68  | 0.64  | 0.63  | 0.64  | 0.62  | 0.67  |       |     |     |
| 5.0 | 0.0     | N-S | -1.13 | 0.52  | -1.03 | 0.51  | -1.20 | 0.56  |       |     |     |
|     | 0.5     | N-S | -0.17 | 0.64  | -0.27 | 0.64  | -0.40 | 0.67  |       |     |     |
|     | 1       | N-S | 0.38  | 0.73  | 0.25  | 0.76  | 0.17  | 0.76  |       |     |     |
|     | 1.5     | N-S | 0.63  | 0.79  | 0.54  | 0.78  | 0.49  | 0.82  |       |     |     |
|     | 2       | N-S | 0.76  | 0.83  | 0.69  | 0.82  | 0.66  | 0.85  |       |     |     |

注：E-东，W-西，S-南，N-北

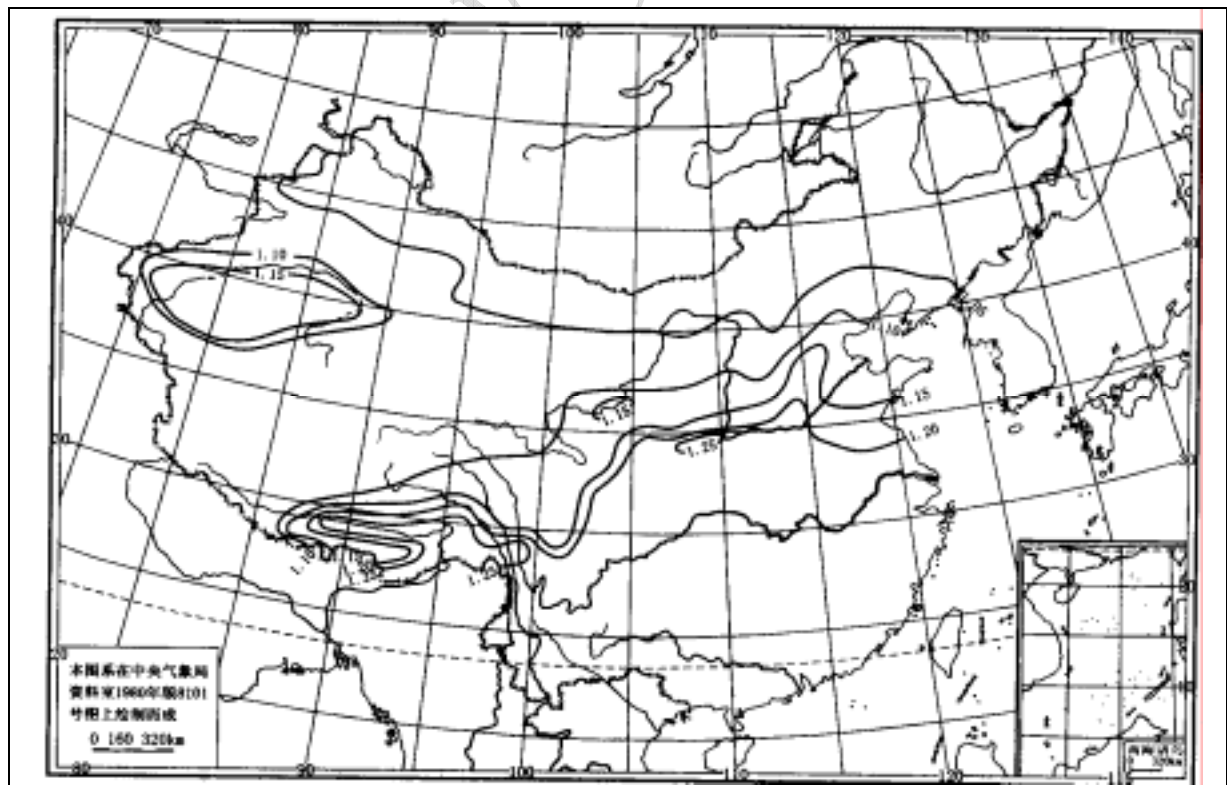


图 B.1.1-1 阴、阳面中部的 $\psi_1$ 值分布图

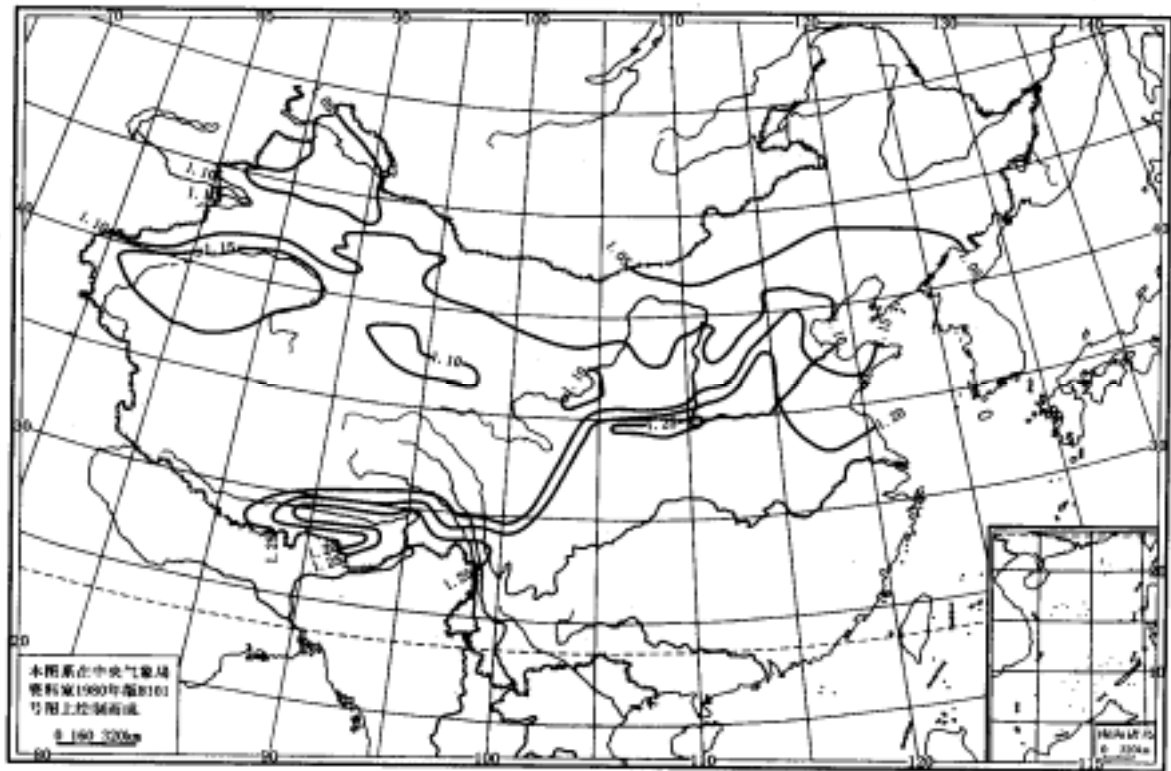


图 B.1.1-2 底面中部的 $\psi_1$ 值分布图

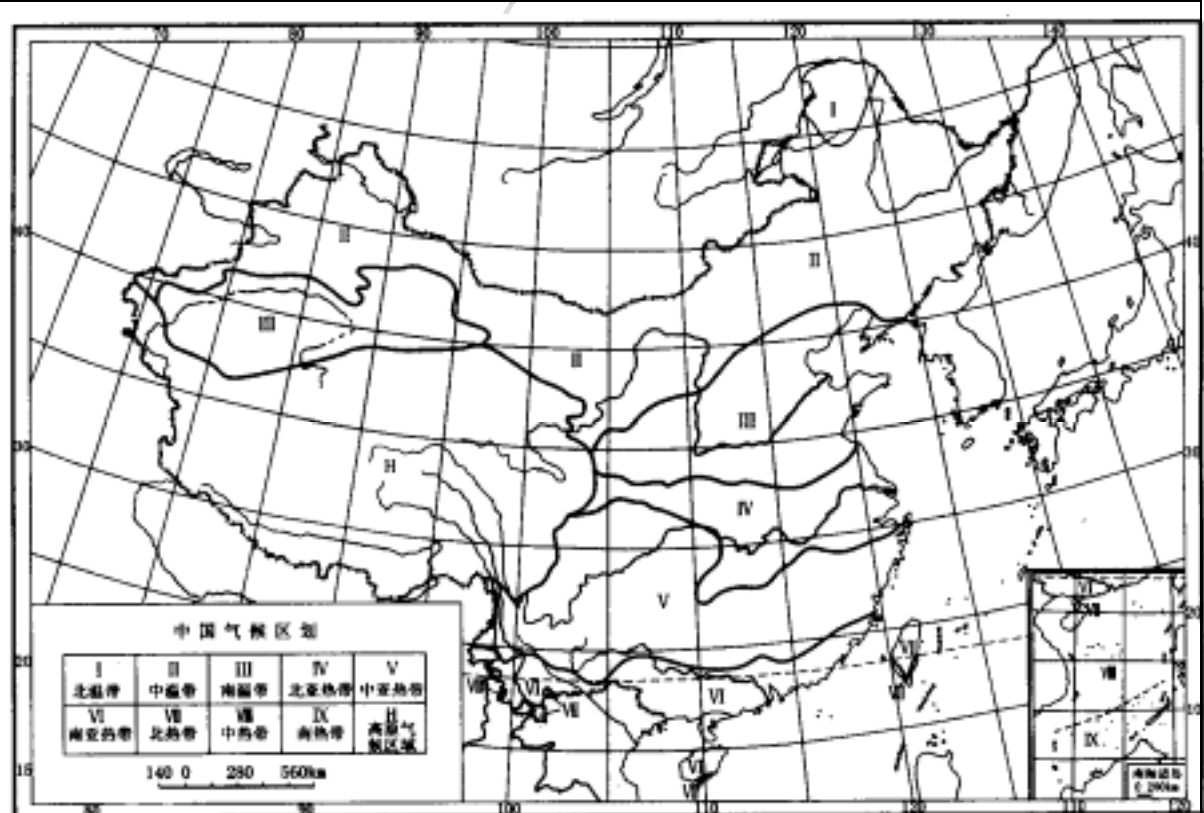


图 B.1.1-3 中国气候区划图

## B.2 地基土设计冻深

**B.2.1** 地基土设计冻深  $Z_f$  是指考虑底板的热阻作用后计算点自底板底面 (或墙背) 算起的冻深, 可按公式 (B.2.1-1) 和 (B.2.1-2) 计算:

$$Z_f = \left(1 - \frac{R}{R_0}\right) Z_d - 1.6\delta_w \quad (Z_f \geq 0) \quad (\text{B.2.1-1})$$

$$R = \frac{\delta_c}{\lambda_c} \quad (\text{B.2.1-2})$$

式中  $Z_f$  ——地基土设计冻深(m);

$R$  ——底板热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}$ );

$R_0$  ——设计热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}$ ), 可查表 9.4.2-1;

$Z_d$  ——设计冻深(m);

$\delta_w$  ——冻前底板上面的水深(m);

$\delta_c$  ——涵闸底板 (或墙) 的厚度(m);

$\lambda_c$  ——底板混凝土的热导率 ( $\text{W/m} \cdot \text{°C}$ )。

当  $\delta_c \leq 0.5\text{m}$  时, 可按公式 (B.2.1-3) 计算:

$$Z_f = Z_d - 0.35\delta_c - 1.6\delta_w \quad (Z_f \geq 0) \quad (\text{B.2.1-3})$$

## 附录 C 土的冻胀量的确定

**C.0.1** 进行水工建筑物抗冻胀设计时，应确定工程各计算点的地表冻胀量和建筑物地基土的冻胀量。前者是指年冻结周期内冻结前地表至冻结期内地表法线方向冻胀量的最大差值，即季节冻结土层的总冻胀量。后者是指有底板（墙体）热阻影响的地基土（墙后填土）冻结层内的总冻胀量。

**C.0.2** 工程地点的天然地表或设计地面高程的地表冻胀量宜通过现场观测确定，或进行专门研究。当现场观测存在困难时，可依据当地或附近条件相似的观测资料和类似的工程经验，或由附录 B 确定的设计冻深和冻前(冻结初期)地下水位，按下列方法确定地表冻胀量：

- 1 巨粒土、含巨粒土，可不考虑冻胀。
- 2 低液限粘土的冻胀量可按公式(C.0.2-1)计算或由图 C.0.2-1 查得。

$$h = 1.25Z_d^{0.71} e^{-0.013Z_w} \quad (\text{C.0.2-1})$$

式中  $h$  ——地表冻胀量（cm）；

$Z_d$  ——设计冻深（cm），当用于计算地基土冻胀量  $h_f$  时，应采用地基土设计冻深  $Z_f$ ；

$Z_w$  ——冻前(冻结初期)天然地表或设计地面高程算起的地下水位深度（cm）。

当用于计算地基土冻胀量  $h_f$  时，采用自底板底面高程算起的地下水位深度。

3 粉土、高液限粘土、粒径小于 0.075mm 的粒组含量占总质量的 20% ~ 50% 的细粒土质砂（砾）类土的冻胀量可按公式（C.0.2-2）计算或由图 C.0.2-2 查得。当地下水位埋深超过 2.0m 时，可按下列第 5 款规定的封闭系统条件的方法计算。

$$h = 1.95Z_d^{0.56} e^{-0.013Z_w} \quad (\text{C.0.2-2})$$

式中 符号与公式(C.0.2-1)相同。

4 粒径小于 0.075mm 的粒组含量占总质量的 10% ~ 20% 的砂类土和砾类土的冻胀量可按公式（C.0.2-3）计算或由图 C.0.2-3 查得。当地下水位埋深超过 1.5m 时，可按本条第 5 款规定的封闭系统条件的方法计算。

$$h = 0.13Z_d e^{-0.02Z_w} \quad (\text{C.0.2-3})$$

式中 符号与公式(C.0.2-1)相同。

5 封闭系统条件下的的地表冻胀量可分别按公式 (C.0.2-4) 和 (C.0.2-5) 计算：

寒冷地区： $h = 0.5Z_d(\omega - 0.8\omega_p)$  (C.0.2-4)

严寒地区： $h = 0.4Z_d(\omega - \omega_p)$  (C.0.2-5)

式中  $h$  ——地表冻胀量 (cm) ；

$Z_d$  ——设计冻深 (cm) ；

$\omega$  ——冻结层平均含水率 (%) ；

$\omega_p$  ——塑限含水率 (%) 。

严寒和寒冷地区的分界区，可取公式 (C.0.2-4) 和 (C.0.2-5) 计算的平均值。

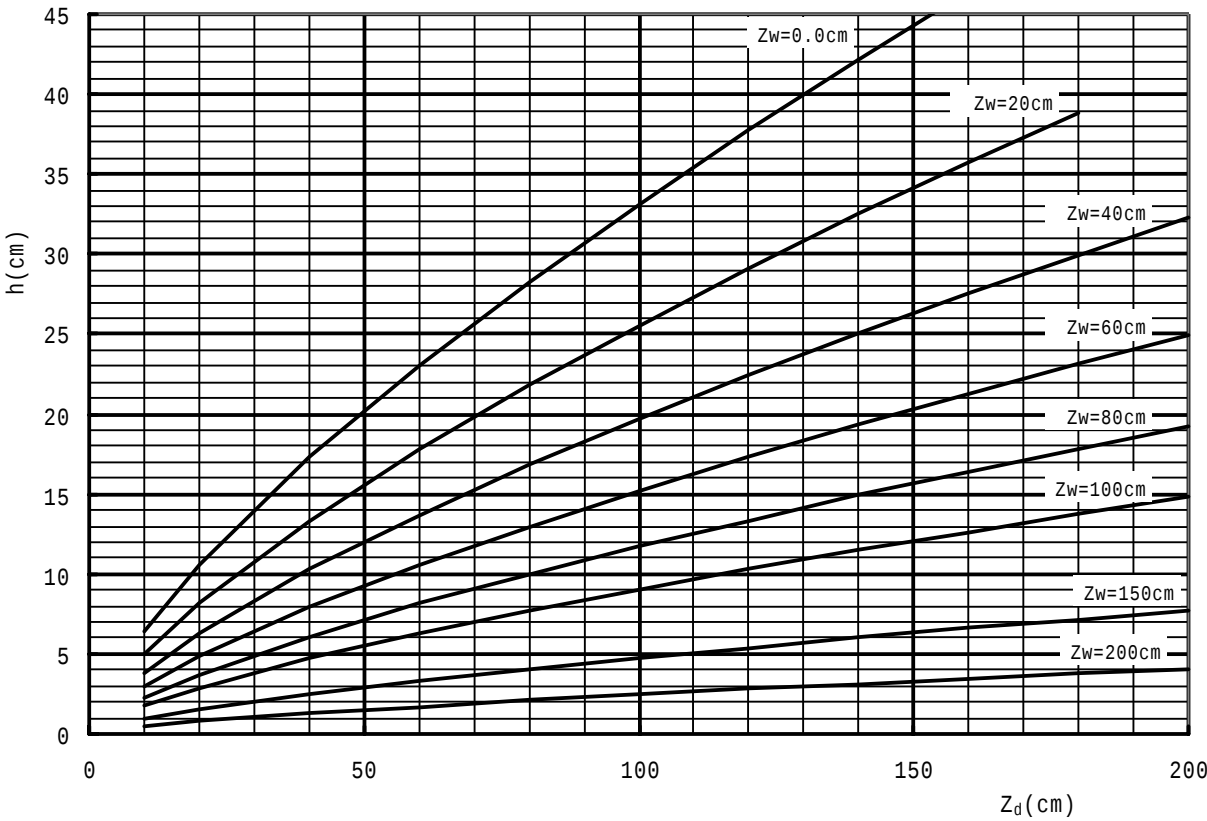


图 C.0.2-1 低液限粘土的冻胀量图

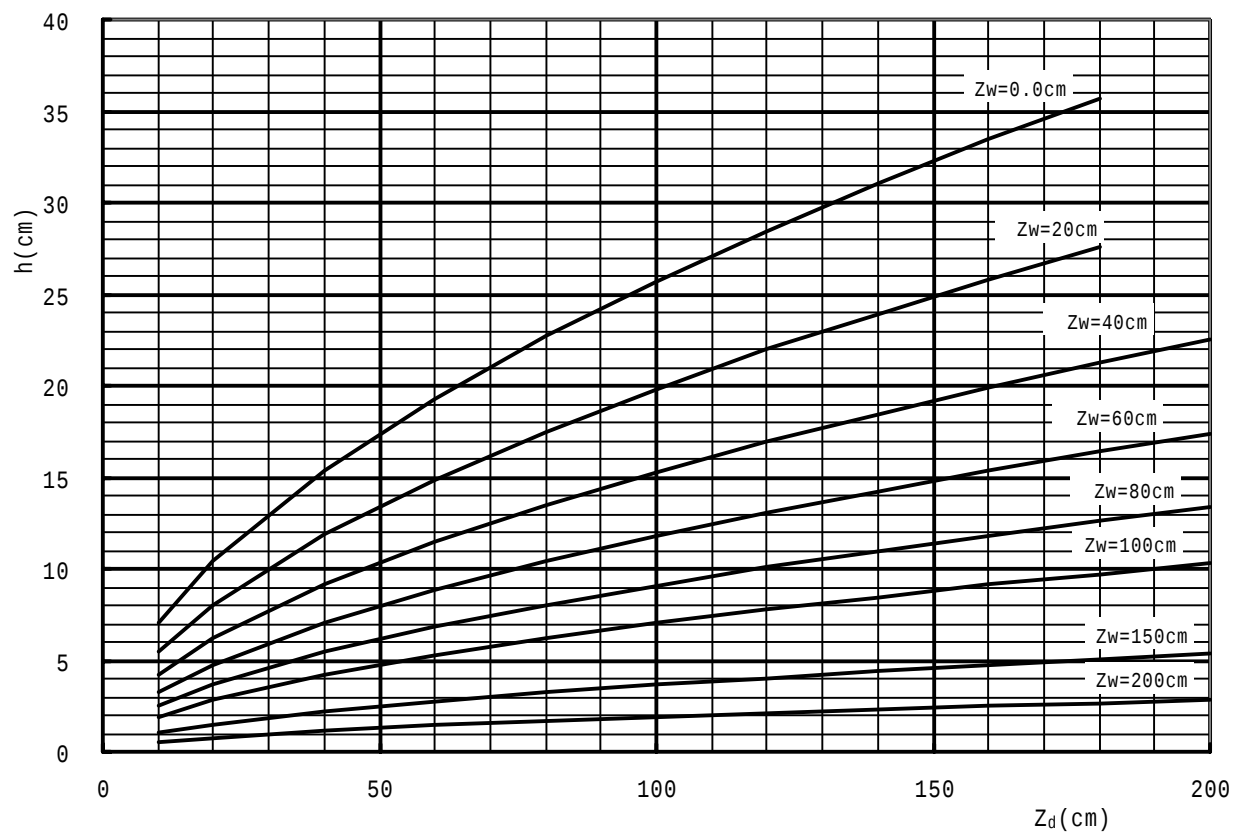


图 C.0.2-2 粉土的冻胀量图

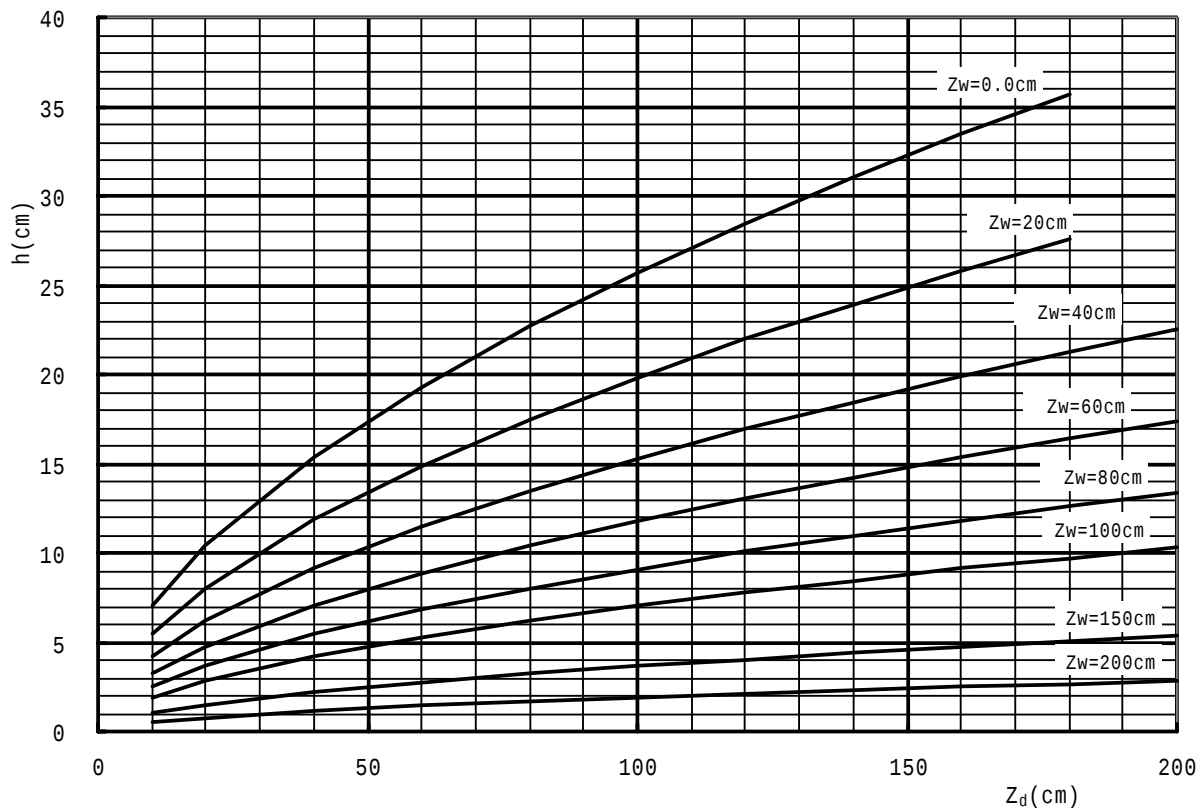


图 C.0.2-3 砂(砾)类土的冻胀量图

---

**C.0.3** 地基土冻胀量是指某一地基土设计冻深时的冻胀量 $h_f$  ,可根据由 **B.2.1** 条确定的地基土设计冻深 $Z_f$ 和自底板底面算起的地下水位深度 $Z_w$ 按 **C.0.2** 条的规定确定 ,或按公式 (C.0.3) 计算。

$$h_f = \frac{hZ_f}{Z_d} \quad (\text{C.0.3})$$

式中  $h_f$ ——地基土冻胀量 (cm) ;

$h$ ——地表冻胀量 (cm) ;

$Z_f$ ——地基土设计冻深(m) ;

$Z_d$ ——设计冻深 (cm) 。

## 附录 D 冰压力计算

### D.1 动冰压力

**D.1.1** 大冰块运动作用在铅直的坝面或其它宽长建筑物上的动冰压力可按公式 (D.1.1) 计算：

$$F_{i1} = 0.07v\delta_i\sqrt{Af_{ic}} \quad (D.1.1)$$

式中  $F_{i1}$ ——冰块撞击建筑物时产生的动冰压力(MN)；

$V$ ——冰块运动速度(m/s)，宜按现场观测资料确定。无现场观测资料时，对于河(渠)冰可取水流速度；对于水库冰可取历年冰块运动期最大风速的 3%，但不宜大于 0.6m/s；对于过冰建筑物可取建筑物前水流行进流速；

$\delta_i$ ——流冰厚度(m)，可取最大冰厚的 0.7~0.8 倍，流冰初期取大值；

$A$ ——冰块面积(m<sup>2</sup>)，由现场观测或调查确定；

$f_{ic}$ ——冰的抗压强度(MPa)，宜根据流冰条件和试验确定。无试验资料时，宜根据已有工程经验和下列抗压强度值综合确定：对于水库流冰期可取 0.3MPa；对于河流流冰初期可取 0.45MPa，流冰后期高水位时可取 0.3MPa。

**D.1.2** 大冰块运动作用在墩柱上的冰压力可按下列各款的规定计算：

1 作用于前缘为铅直的三角形墩柱上的动冰压力可分别按公式(D.1.2-1)和 (D.1.2-2)计算，并可取其中的小值。

$$F_{i2} = mf_{ib}B\delta_i \quad (D.1.2-1)$$

$$F_{i3} = 0.04V\delta_i\sqrt{mAf_{ib}tg\gamma} \quad (D.1.2-2)$$

式中  $F_{i2}$ ——冰块契入三角形墩柱时的动冰压力 (MN)；

$F_{i3}$ ——冰块撞击三角形墩柱时的动冰压力 (MN)；

$m$ ——墩柱前缘的平面形状系数，可由表 D.1.2 查得；

$f_{ib}$ ——冰的抗挤压强度(MPa)，宜根据流冰条件和试验确定。无试验资料时，宜根据已有工程经验和下列抗压强度值综合确定：流冰初期可取 0.75MPa，后期可取 0.45MPa；

B——墩柱在冰作用高程上的前沿宽度(m)；

$\delta_i$ ——冰块厚度(m)；

$\gamma$ ——三角形夹角的一半(°)。

2 作用于前缘为铅直面的非三角形独立墩上的动冰压力可按公式(D.1.2-1)计算。

**表 D.1.2 形状系数 m 值**

| 平面形状 | 三角形夹角 $2\gamma$ (°) |      |      |      |      | 矩形   | 多边形<br>或圆形 |
|------|---------------------|------|------|------|------|------|------------|
|      | 45                  | 60   | 75   | 90   | 120  |      |            |
| m    | 0.54                | 0.59 | 0.64 | 0.69 | 0.77 | 1.00 | 0.90       |

## D.2 静冰压力

**D.2.1** 冰层升温膨胀时水平方向作用于坝面或其它宽长建筑物上的静冰压力  $P_i$  值可由表 D.2.1 查得。

**表 D.2.1 静冰压力值**

| 冰厚 $\delta_i$ (m)                                                                                                                                        | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 静冰压力 $P_i$ (kN/m)                                                                                                                                        | 85  | 180 | 215 | 245 | 280 |
| 注 1：表中冰压力值对库面狭小的水库和库面开阔的大型平原水库应分别乘以 0.87 和 1.25 的系数；<br>注 2：冰厚取多年平均最大值；<br>注 3：表中所列冰压力值系水库在结冰期内水位基本不变情况下的压力。在此期间水位变动情况下的冰压力应作专门研究；<br>注 4：表中静冰压力值可按冰厚内插。 |     |     |     |     |     |

**D.2.2** 静冰压力作用点取冰面以下 1/3 冰厚处。

**D.2.3** 作用在独立墩柱上的静冰压力可按公式(D.1.2-1)计算，但式中冰的抗挤压强度  $f_{ib}$  值宜根据建筑物和冰温等的具体条件确定。

## 附录 E 门叶电热法防冰冻计算

**E.0.1** 门叶电热法防冰冻应采用连续加热。其所需的总功率包括通过门叶钢板向水中传热、通过门叶钢板向冷空气传热和通过门叶保温板向冷空气传热所需的功率，可分别按下列各条所列公式计算。

**E.0.2** 通过门叶钢板向水中传热所需的加热功率可按公式 (E.0.2) 计算：

$$N_1 = k_{sw}(t_c - t_{ws})A_w \quad (\text{E.0.2})$$

式中  $N_1$ ——通过门叶钢板向水中传热所需的加热功率 (kW)；

$k_{sw}$ ——由门叶内部空气通过钢板向水中的传热系数， $k_{sw}=0.233\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ ；

$t_c$ ——门叶内部空气加热温度 (°C)，可取  $t_c=0.3 | t_k |$ ；

$t_k$ ——设置地点的最低气温 (°C)；

$t_{ws}$ ——过冷水温度，可取  $t_{ws} = -0.1$ ；

$A_w$ ——门叶钢板与水接触的面积 ( $\text{m}^2$ )。

**E.0.3** 通过门叶钢板向冷空气传热所需的加热功率可按公式 (E.0.3) 计算：

$$N_2 = k_{sa}(t_c - t_k)A_a \quad (\text{E.0.3})$$

式中  $N_2$ ——通过门叶钢板向冷空气传热所需的加热功率 (kW)；

$k_{sa}$ ——由门叶内部空气通过钢板向冷空气的传热系数，可取  $k_{sa}=0.025$   
 $\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ ；

$A_a$ ——门叶钢板与冷空气的接触面积 ( $\text{m}^2$ )。

**E.0.4** 通过门叶保温板向冷空气传热所需的加热功率可按公式 (E.0.4) 计算：

$$N_3 = k_{pa}(t_c - t_k)A_p \quad (\text{E.0.4})$$

式中  $N_3$ ——通过门叶保温板向冷空气传热所需的加热功率 (kW)；

$k_{pa}$ ——由门叶内空气通过聚苯乙烯泡沫塑料板向外界冷空气的传热系数，  
当聚苯乙烯泡沫塑料板的导热系数  $\lambda \leq 0.03\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ ，厚度  $\delta_x \geq$   
0.03m 时，可取  $k_{pa}=0.007\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ ；

$A_p$ ——聚苯乙烯泡沫塑料板与冷空气的接触面积 ( $\text{m}^2$ )。

**E.0.5** 门叶加热电热器所需的总功率可按公式 (E.0.5) 计算：

$$N_0 = K_1(N_1 + N_2 + N_3) \quad (\text{E.0.5})$$

式中  $N_0$ ——门叶加热电热器所需的总功率 (kW)；

---

$K_1$  ——安全系数，其最小值为 1.2。

**E.0.6** 门叶采用的电热管、电热板和电热缆的加热器，三相负载分配应相等，且均匀布置在门叶结构中间。

## 附录 F 压力水射流法防冰冻计算

**F.0.1** 冰盖下水温补给的热流量可按公式(F.0.1)计算：

$$Q_H = 0.6Q_p t_w \quad (\text{F.0.1})$$

式中  $Q_H$  ——冰盖下水温补给的热流量 (kW) ；

$Q_p$  ——潜水泵流量 (m<sup>3</sup>/h) ；

$t_w$  ——潜水泵放置水深  $H_p$  处的水温 ( )。

**F.0.2** 冰盖下水深  $H_p$  处的水温由实测确定。无实测资料时，可按公式 (F.0.2-1) 或 (F.0.2-2) 计算确定。

$$\text{当 } H_p \leq 6 \text{ m 时： } t_w = 0.10 H_p \quad (\text{F.0.2-1})$$

$$H_p > 6 \text{ m 时： } t_w = 0.15 H_p \quad (\text{F.0.2-2})$$

式中  $H_p$  ——冰盖下放置潜水泵处的水深 (m)。

**F.0.3** 水气交界面的全部热流量损失强度可按公式(F.0.3)计算：

$$S = 0.003(1.553E - t_k)V_w \quad (\text{F.0.3})$$

式中  $S$  ——水气交界面的全部热流量损失强度 (kW/m<sup>2</sup>) ；

$E$  ——饱和水汽压 (hPa) ，可由表 F.0.3 查得 ；

$t_k$  ——当地最低气温 ( ) ；

$V_w$  ——最冷月最大风速 (m/s) 。

**表 F.0.3 不同温度下的饱和水汽压**

**单位：hPa**

| 温度 ( ) | 0     | -1    | -2    | -3    | -4    |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0      | 6.108 | 5.768 | 5.275 | 4.898 | 4.545 |
| -10    | 2.863 | 2.644 | 2.441 | 2.252 | 2.076 |
| -20    | 1.254 | 1.150 | 1.054 | 0.965 | 0.883 |
| -30    | 0.509 | 0.463 | 0.421 | 0.382 | 0.346 |
| 温度 ( ) | -5    | -6    | -7    | -8    | -9    |
| 0      | 4.215 | 3.906 | 3.618 | 3.349 | 3.097 |
| -10    | 1.912 | 1.760 | 1.619 | 1.488 | 1.366 |
| -20    | 0.807 | 0.737 | 0.673 | 0.613 | 0.559 |
| -30    | 0.314 | 0.284 | 0.257 | 0.232 | 0.210 |

注：表中温度可取最低日平均气温。

**F.0.4** 补给的热流量应满足公式 (F.0.4) 要求：

$$Q_H > k_2 S B_0 L_0 \quad (\text{F.0.4})$$

式中  $B_0$ ——不冻水面宽度，可取  $B=0.5 \text{ m} \sim 1.0 \text{ m}$ ；

$L_0$ ——不冻水面长度 (m)，采用集中布置时， $L_0$  为全部水道宽度，采用单独布置时， $L_0$  为单个孔口宽度；

$S$  ——水气交界面的全部热流量损失强度 ( $\text{kW/m}^2$ )；

$k_2$ ——安全系数，可取 1.25。

**F.0.5** 按公式 (F.0.4) 选择适当流量的潜水泵，其扬程  $H$  应大于 2 倍潜水泵放置水深  $H_p$ ，且  $H_p \geq 5 \text{ m}$ 。

**F.0.6** 至水面 (或冰盖下面) 的射流中心线速度可按公式 (F.0.6) 计算：

$$V_c = 6.4 V_0 \phi / h_t \quad (\text{F.0.6})$$

式中  $V_c$ ——射流中心线速度 (m/s)；

$V_0$ ——射流孔出口流速 (m/s)；

$\phi$ ——射流孔直径 (mm)；

$h_t$ ——自冰盖下表面起算的射流管放置水深 (m)。

**F.0.7** 当射流中心线速度和射流孔出口流速分别取  $v_c=0.3 \text{ m/s}$ ， $v_0 \geq 3.5 \text{ m/s}$  时，为使按公式 (F.0.6) 计算的  $\phi$  值与  $h_t$  值相匹配，可取  $\phi=3 \text{ mm} \sim 6 \text{ mm}$ 。

**F.0.8** 射流管放置水深  $h_t$  宜按公式 (F.0.6) 的计算值在现场进行调试，以确定达到水泡直径最大、化冰效果最好的放置水深。射流管应能随库水位变动而保持其最佳放置水深。

**F.0.9** 冰盖的融化速度可按公式 (F.0.9) 计算：

$$V_m = 0.18 (\phi V_0)^{0.62} t_w / h_t \quad (\text{F.0.9})$$

式中  $V_m$ ——冰盖的融化速度 (m/h)；

$t_w$ ——潜水泵放置水深  $H_p$  处的水温 ( )；

$V_0$ ——射流孔出口流速 (m/s)；

$\phi$ ——射流孔直径 (mm)；

$h_t$ ——自冰盖下表面起算的射流管放置水深 (m)。

## 本规范用词说明

为便于执行本规范，对要求严格程度不同的用词说明如下：

| 标准用词                     | 在特殊情况下的等效表述 | 要求严格程度 |
|--------------------------|-------------|--------|
| 应                        | 有必要、要、要求    | 要求     |
| 不应                       | 不要、不允许      |        |
| 宜                        | 建议、推荐       | 推荐     |
| 不宜                       | 不建议、不推荐     |        |
| 可                        | 允许、许可       | 允许     |
| 不必                       | 不要求、不需要     |        |
| 除非在特定情况下，一般不使用“必须”、“严禁”。 |             |        |