

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 50662 - 2011

水工建筑物抗冰冻设计规范

Code for design of hydraulic structures
against ice and freezing action

2011 - 02 - 18 发布

2012 - 03 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

水工建筑物抗冰冻设计规范

Code for design of hydraulic structures
against ice and freezing action

GB/T 50662 - 2011

主编部门：中华人民共和国水利部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 2 年 3 月 1 日

中国计划出版社

2011 北 京

中华人民共和国国家标准
水工建筑物抗冰冻设计规范

GB/T 50662-2011

☆

中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座4层)

(邮政编码:100038 电话:63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

世界知识印刷厂印刷

850×1168毫米 1/32 4.75印张 119千字 2插页

2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷

印数1—8000册

☆

统一书号:1580177·700

定价:29.00元

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 938 号

关于发布国家标准 《水工建筑物抗冰冻设计规范》的公告

现批准《水工建筑物抗冰冻设计规范》为国家标准,编号为 GB/T 50662—2011,自 2012 年 3 月 1 日起实施。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

二〇一一年二月十八日

前 言

本规范是根据原建设部《关于印发〈2007年工程建设标准规范制订、修订计划(第一批)〉的通知》的要求(建标〔2007〕125号),由中水东北勘测设计研究有限责任公司会同有关单位共同编制完成。

本规范共分13章和6个附录。主要内容包括:总则,术语和符号,基本资料,冰冻荷载,材料与结构的一般规定,挡水与泄水建筑物,取水与输水建筑物,渠道与渠道衬砌,泵站与电站建筑物,闸涵建筑物,挡土结构(墙),桥梁和渡槽,水工金属结构等。

本规范由住房和城乡建设部负责管理,由水利部负责日常管理,由水利部水利水电规划设计总院负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中,请各单位注意总结经验,积累资料,随时将有关意见和建议反馈给水利部水利水电规划设计总院(地址:北京市西城区六铺炕北小街2-1号;邮政编码:100011;电子信箱:jsbz@giwp.org.cn),以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位: 中水东北勘测设计研究有限责任公司

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

水利部寒区工程技术研究中心

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

黑龙江省水利水电勘测设计研究院

主要起草人: 徐伯孟 苏加林 铁 汉 胡志刚 李安国

苑润保 朱瑞森 王德库 冯 林 王 波
杨玉航 马 巍 叶远胜 杨成祝 张利明
童长江 马玉华 徐小武

主要审查人：刘志明 邵剑南

目 次

| | | |
|-----|-----------------|--------|
| 1 | 总 则 | (1) |
| 2 | 术语和符号 | (2) |
| 2.1 | 术语 | (2) |
| 2.2 | 符号 | (3) |
| 3 | 基本资料 | (6) |
| 4 | 冰冻荷载 | (8) |
| 5 | 材料与结构 | (10) |
| 5.1 | 混凝土与砌石材料 | (10) |
| 5.2 | 保温材料 | (13) |
| 5.3 | 分缝和止水 | (13) |
| 5.4 | 结构构造 | (14) |
| 6 | 挡水与泄水建筑物 | (15) |
| 6.1 | 一般规定 | (15) |
| 6.2 | 混凝土坝与砌石坝 | (16) |
| 6.3 | 土石坝 | (17) |
| 6.4 | 溢流坝与岸边溢洪道 | (19) |
| 6.5 | 泄洪洞与坝体泄水孔 | (20) |
| 6.6 | 堤防与护岸 | (20) |
| 7 | 取水与输水建筑物 | (21) |
| 7.1 | 一般规定 | (21) |
| 7.2 | 取水口排冰 | (21) |
| 7.3 | 明渠冬季输水 | (22) |
| 7.4 | 暗管与隧洞 | (24) |
| 8 | 渠道与渠道衬砌 | (25) |

| | | |
|------|--------------|------|
| 8.1 | 一般规定 | (25) |
| 8.2 | 衬砌结构抗冻胀稳定性要求 | (25) |
| 8.3 | 渠道衬砌结构 | (26) |
| 8.4 | 冻胀土基处理 | (28) |
| 8.5 | 渠坡稳定要求 | (29) |
| 9 | 泵站与电站建筑物 | (30) |
| 9.1 | 一般规定 | (30) |
| 9.2 | 前池排冰 | (30) |
| 9.3 | 地面厂(泵)房 | (31) |
| 10 | 闸涵建筑物 | (33) |
| 10.1 | 一般规定 | (33) |
| 10.2 | 结构与布置 | (33) |
| 10.3 | 稳定与强度验算 | (34) |
| 10.4 | 抗冻胀措施 | (35) |
| 11 | 挡土结构(墙) | (39) |
| 11.1 | 一般规定 | (39) |
| 11.2 | 水平冻胀力的计算 | (39) |
| 11.3 | 抗冻胀措施 | (41) |
| 12 | 桥梁和渡槽 | (43) |
| 12.1 | 一般规定 | (43) |
| 12.2 | 基础结构 | (43) |
| 12.3 | 基础的稳定与强度验算 | (44) |
| 13 | 水工金属结构 | (47) |
| 13.1 | 一般规定 | (47) |
| 13.2 | 闸门 | (48) |
| 13.3 | 拦污栅 | (51) |
| 13.4 | 露天压力钢管 | (52) |
| 附录 A | 中国主要河流冰情特征 | (53) |
| 附录 B | 土的冻结深度的确定 | (55) |

| | |
|------------------------|------|
| 附录 C 土的冻胀量的确定 | (63) |
| 附录 D 冰压力计算 | (66) |
| 附录 E 门叶电热法防冰冻计算 | (69) |
| 附录 F 压力水射流法防冰冻计算 | (71) |
| 本规范用词说明 | (73) |
| 引用标准名录 | (74) |
| 附:条文说明 | (75) |

Contents

| | | |
|-----|---|--------|
| 1 | General provisions | (1) |
| 2 | Terms and symbols | (2) |
| 2.1 | Terms | (2) |
| 2.2 | Symbols | (3) |
| 3 | Basic information | (6) |
| 4 | Ice and frost-heaving load | (8) |
| 5 | General provisions for materials and structures | (10) |
| 5.1 | Concrete and stone | (10) |
| 5.2 | Insulation materials | (13) |
| 5.3 | Parting and sealing materials | (13) |
| 5.4 | Formation of structures | (14) |
| 6 | Water retaining and releasing structures | (15) |
| 6.1 | General provisions | (15) |
| 6.2 | Concrete and stone masonry dams | (16) |
| 6.3 | Earth-rock dam | (17) |
| 6.4 | Overflow dam and bank spillway | (19) |
| 6.5 | Spillway tunnel and outlet hole | (20) |
| 6.6 | Levee and bank protection | (20) |
| 7 | Water intake and conveyance structure | (21) |
| 7.1 | General provisions | (21) |
| 7.2 | Water intake de-icing | (21) |
| 7.3 | Water conveyance of open-channel in winter | (22) |
| 7.4 | Buried pipe and tunnel | (24) |
| 8 | Canal and its lining | (25) |

| | | |
|------|--|--------|
| 8.1 | General provisions | (25) |
| 8.2 | Stability requirements for canal lining against frost heaving | (25) |
| 8.3 | Structure of canal liners | (26) |
| 8.4 | Treatment of frost-heaved soil foundation | (28) |
| 8.5 | Stability of canal slope | (29) |
| 9 | Structures of pump plant and hydropower station | (30) |
| 9.1 | General provisions | (30) |
| 9.2 | De-icing at forebay | (30) |
| 9.3 | Surface power (pump) plant | (31) |
| 10 | Sluice and culvert structures | (33) |
| 10.1 | General provisions | (33) |
| 10.2 | Structure and layout | (33) |
| 10.3 | Checking of the calculation of stability and strength | (34) |
| 10.4 | Prevention measures for frost heaving | (35) |
| 11 | Soil retaining structure (wall) | (39) |
| 11.1 | General provisions | (39) |
| 11.2 | Calculation of horizontal frost heaving force | (39) |
| 11.3 | Measures for prevention of frost heaving | (41) |
| 12 | Bridge and flume | (43) |
| 12.1 | General provisions | (43) |
| 12.2 | Structure of pipe foundation | (43) |
| 12.3 | Checking of the calculation of stability and strength of foundation | (44) |
| 13 | Metal structures | (47) |
| 13.1 | General provisions | (47) |
| 13.2 | Sluice gate | (48) |
| 13.3 | Trash rack | (51) |
| 13.4 | Exposed penstock | (52) |

| | | |
|------------|---|------|
| Appendix A | Ice regime of main rivers in China | (53) |
| Appendix B | Determination of frosted depth of soil | (55) |
| Appendix C | Determination of frost-heaved amount of soil | (63) |
| Appendix D | Calculation of ice pressure | (66) |
| Appendix E | Calculation of counter-frosting by electric heating of gate flap | (69) |
| Appendix F | Calculation of counter-frosting by forced jet flow | (71) |
| | Explanation of wording in this code | (73) |
| | List of quoted standards | (74) |
| | Addition; Explanation of provisions | (75) |

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,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于受冰、冻融和冻胀作用的新建或改建的水工建筑物抗冰冻设计。

1.0.3 水工建筑物抗冰冻设计应符合下列规定:

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,并应提出对施工和运行方面的要求。

4 对受冰冻作用严重的工程应进行专门研究。

5 可结合具体工程采用抗冰冻作用的先进技术。

1.0.4 水工建筑物抗冰冻设计,除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 冻土 frozen ground

具有负温或零温度并含有冰的土或岩石。

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或岩石。

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 地基土设计冻深 design freezing depth of foundation

自建筑物底面算起的地基土或墙后土自墙背算起的冻结深度设计取值。

2.1.6 冻结指数 freezing index

整个冻结期内日平均温度低于 0°C 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 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

土冻胀时作用于建筑物侧面水平方向的冻胀力。

2.1.11 切向冻胀力 tangential frost-heaving force

土冻胀时作用于建筑物侧表面向上的冻胀力。

2.1.12 法向冻胀力 normal frost-heaving force

土冻胀时作用于建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建筑物产生的作用力。

2.1.14 动冰压力 dynamic ice pressure

移动的冰盖或漂冰对建筑物产生的撞击力。

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 符 号

2.2.1 作用力

σ_h ——单位水平冻胀力;

σ_v ——单位法向冻胀力;

τ_t ——单位切向冻胀力;

ψ_r ——冻层内桩壁糙度系数;

σ_{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

β_0 ——非冻胀区深度系数；
 ψ_d ——日照及遮荫程度影响系数；
 ψ_e ——有效冻深系数；
 ψ_w ——地下水影响系数；
 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。

2.2.3 热学参数

λ_c ——底板(墙)的热导率；
 λ_x ——保温板热导率；
 N ——加热功率；
 T ——加热时间；
 I_m ——历年最大冻结指数；
 R_0 ——设计热阻；
 t_a ——最冷月平均气温；
 t_c ——门叶内部空气加热温度；
 t_k ——极端最低温度平均值；
 t_w ——水温；

k_{pa} ——由门叶内部空气通过保温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。

2.2.4 水力参数

δ_i ——冰厚；

δ_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

δ_c ——底板(墙)厚度；

δ_x ——保温板的厚度；

A ——面积；

B ——宽度；

$[S]$ ——建筑物的允许冻胀位移值。

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、地质和冻土等基本资料。

3.0.2 气象资料应包括工程地点的年平均气温、最冷月平均气温、最低日平均气温、冻结指数、冬季风向和风速等。气象资料应采用当地或条件相似的邻近气象台(站)的实际观测值,其统计系列年限不应少于最近 20 年。

3.0.3 气候分区的划分应符合下列要求:

- 1 最冷月平均气温 $t_a < -10^{\circ}\text{C}$ 时,应划分为严寒区。
- 2 最冷月平均气温 $-10^{\circ}\text{C} \leq t_a \leq -3^{\circ}\text{C}$ 时,应划分为寒冷区。
- 3 最冷月平均气温 $t_a > -3^{\circ}\text{C}$ 时,应划分为温和区。

3.0.4 设计采用的冻结指数应取历年最大值,其统计系列年限不应少于最近 20 年。

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。冰情资料应根据当地或冰情相似的河流、水库的观测资料确定。无实测资料时,宜通过实地调查确定;条件不具备时,可按本规范附录 A 的规定确定。

3.0.6 地质资料应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。

3.0.7 冻土资料应包括历年最大冻深和地表冻胀量,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，可通过工程类比或本规范附录 B 和附录 C 分别计算的设计冻深和冻胀量综合确定。

3.0.8 冻胀性土和非冻胀性土可根据地基土的颗粒组成按下列判别标准划分：

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，应为非冻胀性土。

2 土中粒径小于 0.075mm 的土粒质量大于总质量 10% 的土，应为冻胀性土。

3.0.9 工程冻胀级别可根据地表冻胀量或地基土冻胀量、挡土结构(墙)后计算点土的冻胀量大小，按表 3.0.9 分级。

表 3.0.9 土的冻胀分级

| 冻胀级别 | I | II | III | IV | V |
|--------------|------------|----------------|-----------------|------------------|----------|
| 冻胀量 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 冰冻荷载应包括冰压力和土的冻胀力。作用在水工建筑物上的冰冻荷载应作为基本设计荷载之一。重要工程的冰压力和土的冻胀力应进行专门研究或通过试验、观测确定。

4.0.2 冰压力应包括静冰压力和动冰压力,可按本规范附录 D 的规定确定。

4.0.3 土的冻胀力应包括切向冻胀力、水平冻胀力和法向冻胀力,可根据土的冻胀级别分别按下列要求取值:

1 单位切向冻胀力可按表 4.0.3-1 的规定取值。

表 4.0.3-1 单位切向冻胀力 τ_t

| 地表土冻胀级别 | I | II | III | IV | V |
|---------------------------|------|-------|-------|--------|---------|
| 单位切向冻胀力 τ_t (kPa) | 0~20 | 20~40 | 40~80 | 80~110 | 110~150 |

2 单位水平冻胀力可按表 4.0.3-2 的规定取值。

表 4.0.3-2 单位水平冻胀力 σ_h

| 挡土结构(墙)后计算点土的冻胀级别 | I | II | III | IV | V |
|-----------------------------|------|-------|-------|--------|---------|
| 单位水平冻胀力 σ_h (kPa) | 0~30 | 30~50 | 50~90 | 90~120 | 120~170 |

3 单位法向冻胀力可按表 4.0.3-3 的规定取值。当基础两侧有冻胀力作用时宜作专门研究。

表 4.0.3-3 单位法向冻胀力 σ_v

| 地基土的冻胀级别 | I | II | III | IV | V |
|-----------------------------|------|-------|--------|---------|---------|
| 单位法向冻胀力 σ_v (kPa) | 0~30 | 30~60 | 60~100 | 100~150 | 150~210 |

4.0.4 桩、墩基础设计宜取切向冻胀力与其他非冰冻荷载的组

合,但斜坡上的桩、墩基础应同时计入水平冻胀力对桩、墩的水平推力和切向冻胀力的作用,并应与其他非冰冻荷载组合。

4.0.5 挡土墙设计应取水平冻胀力与其他非冰冻荷载的组合,但土压力与水平冻胀力不应叠加,设计时应取土压力和水平冻胀力的较大值。

4.0.6 两侧填土的矩形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他非冰冻荷载的组合,但土压力与水平冻胀力不应叠加,设计时取土压力和水平冻胀力的较大值。

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

5 材料与结构

5.1 混凝土与砌石材料

5.1.1 混凝土的抗冻级别应分为 F400、F300、F250、F200、F150、F100、F50，应按现行行业标准《水工混凝土试验规程》SL 352 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、结构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。

对于严寒地区特殊工程的水位变化区混凝土，抗冻级别可根据实际情况采用比 F400 更高抗冻等级的混凝土。

表 5.1.2 水工结构和构件混凝土抗冻级别要求

| 气候分区 | 严寒 | | 寒冷 | | 温和 |
|---|------|------|------|------|------|
| | ≥100 | <100 | ≥100 | <100 | |
| 年冻融循环次数(次) | ≥100 | <100 | ≥100 | <100 | — |
| 结构重要、受冻严重且难于检修部位： 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； 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； 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； 4)流速大于 25m/s、过冰、多沙或多推移质过坝的溢流坝、深孔或其他输水部位的过水面及二期混凝土； 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 |

续表 5.1.2

| 气候分区 | 严寒 | | 寒冷 | | 温和 |
|--|------|------|------|------|-----|
| | ≥100 | <100 | ≥100 | <100 | |
| 年冻融循环次数(次) | | | | | — |
| 受冻严重但有检修条件部位： 1)混凝土坝上游面冬季水位变化区； 2)水电站或船闸的尾水渠、引航道的挡墙、护坡； 3)流速小于 25m/s 的溢洪道、输水洞(孔)、引水系统的过水面； 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 |
| 受冻较重部位： 1)混凝土坝外露阴面部位； 2)冬季有水或易长期积雪结冰的渠系建筑物 | F250 | F200 | F150 | F150 | F50 |
| 受冻较轻部位： 1)混凝土坝外露阳面部位； 2)冬季无水干燥的渠系建筑物； 3)水下薄壁杆件； 4)水下流速大于 25m/s 的过水面 | F200 | F150 | F100 | F100 | F50 |
| 表面不结冰和水中、土中、大体积内部混凝土 | 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。

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)。

3 阳面指冬季大多为晴天，平均每天有 4h 以上阳光照射，不受山体或建筑物遮挡的表面。当不满足条件时，均为阴面。

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。

5.1.3 大体积混凝土分区采用不同抗冻级别时，其分区厚度可根据热学计算，也可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。

5.1.5 1级~3级建筑物的抗冻混凝土的材料和配比应通过试验确定。在试验过程中除应控制混凝土含气量和水灰比外,有条件时宜进行混凝土气泡间距系数的测试。

4级、5级建筑物抗冻混凝土的配比可根据抗冻等级和所用骨料的_{最大}粒径按表 5.1.5-1 和表 5.1.5-2 选用含气量和水灰比,并应使用有引气作用的引气剂。

表 5.1.5-1 抗冻混凝土的适宜水灰比

| 抗冻级别 | F300 | F200 | F150 | F100 | F50 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 水灰比 | <0.45 | <0.50 | <0.52 | <0.55 | <0.58 |

表 5.1.5-2 抗冻混凝土的适宜含气量

| 抗冻级别 | ≥F200 | ≤F150 |
|--------------|----------|----------|
| 最大骨料粒径 20mm | (6±1)% | (5±1)% |
| 最大骨料粒径 40mm | (5.5±1)% | (4.5±1)% |
| 最大骨料粒径 80mm | (4.5±1)% | (3.5±1)% |
| 最大骨料粒径 150mm | (4±1)% | (3±1)% |

注:如含气量试样需经湿筛时,按湿筛后最大骨料粒径取用相应的含气量。

5.1.6 抗冻混凝土现场取样试件的合格率,素混凝土不应低于 80%,钢筋混凝土不应低于 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符合下列要求:

1 受冻期无外来水分时,大体积混凝土应大于 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级配混凝土。浆砌石用混凝土或砂浆的抗冻级别应按表 5.1.2 的规定选定。

5.2 保温材料

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

5.2.2 采用聚合物保温材料时,所用产品的技术指标应符合国家现行有关标准和设计技术要求的规定。

5.2.3 保温层应有足够的防水性能。经常处于潮湿和浸水环境中的保温材料,应充分论证其长期防水性能,必要时应采取防水措施。

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,并应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,并应具有相应的缝宽。缝的构造应能防止渗水、冻融破坏和缝后反滤料或基土的流失。

5.3.3 防渗要求较高的接缝止水材料应采用止水片,防渗要求较低的接缝止水可采用嵌缝材料。缝内应有填充材料,必要时应采取排水措施。

5.3.4 接缝构造应便于施工和质量检查,容易损坏的止水宜采取保护措施。

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、合成橡胶、塑料或退火紫铜片等材料制成,其技术指标应符合国家现行有关标准的规定。

5.3.6 护面板的柔性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,无构造钢筋时,在外露侧面应设置钢筋网,也可在外露侧面的水平施工缝设置竖向插筋。其配筋量不应少于 $500\text{mm}^2/\text{m}$ 。

5.4.3 混凝土水工建筑物的抗冰冻设计,应采取下列抗冰冻措施:

- 1 应防止结构遭受冰冻作用。
- 2 应防止混凝土饱和。
- 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,并应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,并应取常规设计和抗冰要求计算超高的较大值。当坝顶高程由抗冰设计超高控制且工程量增加较大时,应做专题论证。

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 有足够调蓄凌汛流量的水库,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 $1/3$,自蓄冰最高水位以上应按常规计算超高。

3 无蓄冰库容需要泄冰的水库,混凝土坝、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),流冰时库水位以上的超高不宜小于库内最大冰厚的 1.5 倍。

4 当坝上游冰开江的年份较多时,不论泄冰与否,抗冰设计超高还应根据冰情估计的准确性、泄冰能力、风浪大小和采取措施的可靠性,以及冰灾后果等因素通过充分论证适当加大。

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内最大冰厚的 1.5 倍。

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,防冰设计应专门研究。

6.1.5 冰压力对大坝、坝坡及附属建筑物的作用宜按本规范附录 D 的规定计算。

6.1.6 安全监测设施应避免结霜、冰冻或冻胀的影响。设计中在分析和使用已有观测成果时应检查有无这种影响。

6.2 混凝土坝与砌石坝

6.2.1 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。

6.2.2 岩基上的混凝土低坝在冰推力作用下的抗滑稳定计算,宜根据具体情况确定冻融作用对混凝土与基岩间的抗剪强度降低的影响。

6.2.3 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。

6.2.4 带有周边缝的薄拱坝应防止周边缝冻结。

6.2.5 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。

6.2.6 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。

6.2.7 砌石坝应作好防渗、分缝和内部排水,下游渗水出逸点应覆土石保温。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。

6.2.8 寒冷和严寒地区坝体的廊道、电梯(转梯)井,均应设置密闭保温门,并应防止其结冰、积雪、结霜。

6.2.9 坝体闸门井、各种内部充水井、管应采取内部防渗和防冻措施。井口不宜敞露于大气中。直径较小的管道和壁宜采用钢管或钢衬。闸门井内壁宜采用防渗涂料或护面。

6.2.10 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。

6.2.11 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置在易积雪结冰的阴面岸坡与坝面交接低处。

6.3 土 石 坝

6.3.1 土石坝的土质心墙、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、翼墙联结面应采取防冻措施。

6.3.2 黏性土质坝的上游坡应设置非冻胀性土的防冻层。防冻层应包括护面层和砂砾料垫层,其设置范围及厚度应根据工程级别、坝坡土的冻胀级别、护面允许变形程度、当地冰冻条件以及类似的工程经验确定。对于1、2、3级建筑物,在历年冬季最高蓄水位以上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Ⅳ、Ⅴ级时,防冻层厚度不宜小于当地最大冻深;坝坡土的冻胀级别属Ⅲ级时,不宜小于当地最大冻深的0.8倍;其他水上部位和冻胀级别属Ⅰ、Ⅱ级时,不宜小于当地最大冻深的0.6倍。4、5级建筑物的防冻层厚度可根据坝坡土的冻胀级别和护面结构型式适当减小。

6.3.3 土石坝护坡结构除应按现行行业标准《碾压式土石坝设计规范》SL 274的有关规定计算外,还应根据冰压力大小和类似工程经验确定。在本规范第6.3.2条规定的条件和范围内的主要坝段的护坡结构,应符合下列要求:

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级和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35cm,砌筑缝隙不宜大于3cm。有条件时宜采用方石。

3 无大块石料时可采用钢筋混凝土菱形格构内砌块石护坡,混凝土抗冻级别应符合本规范表5.1.2的规定。菱形格构的顺坡对角线长宜为3.0m~5.0m;另一对角线长度可小于3.0m~5.0m。

格构梁的断面宽度宜为 30cm,高度宜为 40cm,并宜嵌入垫层内。

4 混凝土砌块护坡每边尺寸不宜小于 35cm,厚度不宜小于 30cm,砌筑缝隙不宜大于 1.0cm。现浇混凝土板的边长宜大于 3.0m,厚度宜大于 20cm。

5 土工织物模袋混凝土护坡的模袋混凝土平均厚度宜取 15cm~20cm,底部宜为平面。混凝土强度和抗冻级别应符合本规范表 5.1.2 的规定。冰推力较大时,模袋混凝土中宜顺坡加设钢筋。

6 在水位变化区砌体的砌筑及灌缝宜采用二级配混凝土。

7 砌体结构砌筑应平整,混凝土抗冻级别应符合本规范表 5.1.2 的规定。

8 库面开阔的大型平原水库的护坡结构应作专门研究。

6.3.4 护坡的坡脚高程宜设在冬季最低水位时的最大冰厚的底面以下。当高于冰层底面时应计算冰冻作用对坡脚结构的影响。

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。

6.3.6 设有防浪墙土石坝,设计荷载应包括可能产生的冰层爬坡、水平冻胀力对防浪墙的作用。

6.3.7 混凝土面板堆石坝,除应符合现行行业标准《混凝土面板堆石坝设计规范》SL 228 的有关规定外,还应符合下列要求:

1 垫层料中,粒径小于 0.075mm 的含量不宜超过 8%。

2 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。

3 面板与坝顶防浪墙接缝的止水应防止冰推力的作用发生破坏。

4 水库死水位以上或冬季最低水位以上区域,应防止垫层料产生冻胀对面板造成破坏。

5 水位变动区面板的止水防护结构应防止冰推力的作用发生破坏。

6.4 溢流坝与岸边溢洪道

6.4.1 有排冰要求时,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,闸墩净空应满足排冰要求。

6.4.2 溢流堰排冰时,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。下游应设置导墙、护岸等设施。排冰条件较复杂时,应做排冰整体水工模型试验。

6.4.4 有排冰要求时,应根据下游河道封冻的可能性以及冰块壅塞的危害程度进行排冰设计。必要时应采取疏通下游河道的措施。

6.4.5 1、2、3级泄水建筑物的上下游冬季水位变化区的岸坡,应采取防止冻融作用引起的崩坍或滑坡的工程措施。

6.4.6 有排冰要求时,闸墩、堰顶应较常规设计适当增加配筋,钢筋保护层厚度可适当加大。当结构允许时,保护层厚度不应小于200mm。闸墩墩头应采取合适的体型和保护措施。

6.4.7 土基上的溢流堰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。堰体上游的设计冻深应根据由于检修或低水位时堰体可能暴露于大气中的不利情况确定。

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。严寒地区的底板宜设锚筋和钢筋网。

6.4.9 土基上1、2级建筑物的泄槽底板连同垫层的总厚度应满足不产生法向冻胀位移的要求,底板厚度不宜小于0.6m。底板纵、横缝间距宜为12m~16m。

6.4.10 岩基岸边溢洪道下的地基排水设施,应根据周围地形条件和山体地下水位情况设计。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。

6.5 泄洪洞与坝体泄水孔

6.5.1 坝体中孔、底孔宜采取防止冷空气侵入的措施。冬季有放(过)水要求的出口,宜在下游端作临时封闭设施或将出口布置在下游水位以下。

6.5.2 封冻水库的进水塔,宜采用封闭式井筒结构或其他刚度大的结构,并应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,当闸后洞长小于50m时,冬季宜在洞(孔)末端设置保温设施。

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。

6.6 堤防与护岸

6.6.1 在频繁发生冰凌壅塞的河段,堤顶高程除应符合现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286的有关规定外,还应根据冰凌壅塞河道的影响确定。

6.6.2 受流冰作用的堤岸护坡,除应符合常规要求外,还应根据冰块撞击作用的影响进行设计。

6.6.3 冻胀性土基的堤岸护坡宜根据土的冻胀级别采取必要的防冻胀措施。

6.6.4 岸坡护面层宜采用砌石、混凝土、模袋混凝土等,其结构、护面层厚度及超出设计水面的高度应满足抗冻胀要求。在水位变化区砌体的砌筑及灌缝宜采用二级配混凝土。

6.6.5 堤岸护坡的坡脚应符合本规范第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,应进行抗冰冻设计。

7.1.2 引水、输水工程设计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,采用蓄冰、排冰、输冰、结冰盖等其中一种或综合输排冰运行方式进行。

7.1.3 在枢纽总体布置、形式、体型设计中,应保证进水口的前缘水域水流平稳和不出现贯通式漏斗漩涡。在有凌汛发生的河段的引水枢纽布置中,宜采取永久或临时性防冰洪的工程措施,取水口应设置排冰及防冰凌工程设施。

7.1.4 输排冰渠道布置宜少设弯道,宜避开深挖方和傍山滑坡地段。

7.1.5 输排冰渠道沿程不宜采用突变断面和设置阻水建筑物。

7.1.6 结冰盖运行方式的引水渠道,渠顶超高不应小于冰盖顶面以上 0.5m。

7.1.7 渠道与渠道衬砌的抗冻胀设计应按本规范第 8 章的规定执行。

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、流速应满足排冰要求。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,宜在枢纽前河道弯道凹岸处设置活动导凌(冰)筏。导凌(冰)筏宜采用木结构,筏长应根据实际情况确定。导凌(冰)筏宜布置两道,第一道宜设在引水口上游两倍

水面宽处;第二道宜设在引水口上游一倍水面宽处。筏体潜入水中的深度宜为最大流冰块厚度的 1.5 倍~2.0 倍。筏体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(河)段内的流速不宜大于 0.7m/s 。

7.2.4 引水枢纽冬季排冰日耗水量可根据枢纽所在河道的冬季冰情特点,类比已建工程经验或通过试验确定,但不宜小于该河道日平均排冰量的 4 倍。

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设计水位的水面宽度的 10 倍。

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的天然洼地修建人工蓄冰、滞冰池(塘)。蓄冰、滞冰池(塘)进口的设计水位宜比该处明渠排冰口的设计水位低 0.2m 以上。

7.3.3 当不具备本规范第 7.3.2 条的条件时,宜加大引水流量,并宜在适当渠段布置排冰闸和采取辅助措施。

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。有适宜的气温和渠道断面,能形成稳定冰盖时,宜采用结冰盖输水方式。

7.3.6 冰盖下明流输水方式宜按下列要求设计:

1 渠内设计流速不应大于 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 $0.3\text{m}\sim 0.5\text{m}$ 。

4 长渠道结冰盖输水时,应根据本条第 1 款~第 3 款的规定进行分段壅水计算。

7.3.7 冰盖下满流输水时,综合糙率可按式计算:

$$n = n_1 \left[\frac{1 + a(n_2/n_1)^2}{1 + a} \right]^{1/2} \quad (7.3.7)$$

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 7.3.7 的规定选用。

表 7.3.7 冰盖下表面糙率系数 n_2

| 结冰期平均流速 $V(\text{m/s})$ | 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 |

7.3.8 采用输水(冰)运行方式时,渠内设计流速不宜小于 1.2m/s。

7.3.9 冬季行水渠道,当有外来热源能形成不结冰渠段时,不结冰渠段的长度可按下列公式计算:

$$L_0 = K \frac{300Qt_w}{(9.5 - t_k)B_0} \quad (7.3.9-1)$$

$$t_w = \frac{Q_1t_1 + Q_2t_2}{Q_1 + Q_2} \quad (7.3.9-2)$$

式中: L_0 ——渠道不结冰长度(km);

Q ——渠道总流量(m^3/s);

t_w ——渠水水温或混合水温($^{\circ}\text{C}$);

t_k ——最近连续 5 年的极端最低温度平均值($^{\circ}\text{C}$);

B_0 ——渠水水面宽度(m);

Q_1 ——原渠道流量(m^3/s);

t_1 ——原渠道水温($^{\circ}\text{C}$);

Q_2 ——泉水或井水入渠流量(m^3/s);

t_2 ——泉水或井水水温($^{\circ}\text{C}$);

K ——根据渠道遮荫程度确定的系数,可取 0.7~1.0。

7.4 暗管与隧洞

7.4.1 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Ⅰ、Ⅱ级时,可根据具体情况,按小于设计冻深10%~20%确定;当土的冻胀级别为Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级时,应按大于设计冻深确定。

7.4.2 埋于冻层内通水的暗管,应论证其抗冻胀稳定性和管内水结冰的可能性及其不良影响。

7.4.3 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。

7.4.4 冬季输水隧洞为压力流时,在下游出口后部宜采取防冰冻、排冰、消能等措施。冬季输水隧洞为明流时,洞内设计流速不宜小于1.2m/s。

7.4.5 冬季不输水的隧洞,宜在闸门下游出口处采取封闭式保温措施。

8 渠道与渠道衬砌

8.1 一般规定

8.1.1 在渠道规划选线时,宜避开地下水位高、有傍渗水补给、冻胀性强的地段。

8.1.2 渠道衬砌的抗冻胀设计应符合下列要求:

1 应调查、收集衬砌渠道沿线的土质、地下水位、冻深和已有工程运行等资料,并应按土质、地下水深度和渠道走向基本相同的原则划分不同的渠段。

2 应在各分段选择 1 个~2 个具有代表性的横断面,并应通过观测或按本规范附录 B 和附录 C 确定断面上各代表性计算点的设计冻深和地表冻胀量,划分土的冻胀级别。

3 应根据渠道各部位的冻深和冻胀量,选择适宜的渠道断面型式、衬砌材料与结构。

4 应验算渠道各部位的冻胀位移量,并应采取必要的抗冻胀措施。

8.1.3 冬季输水有防冰要求的渠道输冰、排冰设计应按本规范第 7.3 节的有关规定执行。

8.2 衬砌结构抗冻胀稳定性要求

8.2.1 衬砌结构的抗冻胀稳定性可按表 8.2.1 所列的衬砌结构允许法向位移值作为控制指标。

表 8.2.1 衬砌结构允许法向位移值(mm)

| 断面型式 | 衬砌材料 | | |
|------|------|-------|-------|
| | 混凝土 | 浆砌石 | 沥青混凝土 |
| 梯形断面 | 5~10 | 10~30 | 30~50 |

续表 8.2.1

| 断面型式 | 衬砌材料 | | |
|---------------|-------|-------|-------|
| | 混凝土 | 浆砌石 | 沥青混凝土 |
| 弧形断面 | 10~20 | 20~40 | 40~60 |
| 弧形底梯形 | 10~30 | 20~50 | 40~60 |
| 弧形坡脚梯形 | 10~30 | 20~50 | 40~60 |
| 整体式 U 形槽或矩形槽 | 20~50 | 30~60 | — |
| 分离挡墙式矩形断面(底板) | 40~50 | 50~60 | 70~80 |

注:断面深度大于 3.0m 的渠道,衬砌板单块长边尺寸大于 5.0m 或边坡陡于 1:1.5 时,取表中小值。断面深度小于 1.5m 的渠道,衬砌板单块长边尺寸小于 2.5m 或边坡缓于 1:1.5 时,取表中大值。

8.2.2 抗冻胀衬砌结构的冻胀位移量可按渠道地基土的冻胀量确定。当该位移量大于允许值时,应根据需要和具体条件选用一种或多种适宜的抗冻胀措施。同一断面的不同部位可采用不同的抗冻胀措施。

8.2.3 对于冻结期输水、地下水位高出渠底、渠底有积水(冰)或有傍渗水补给的渠道,按本规范附录 B 的规定计算其边坡的设计冻深时,在水(冰)面或傍渗水逸出点以上 1.0m 范围内,地下水位应取水(冰)面或傍渗水逸出点,并应据此选取地下水影响系数;按本规范附录 C 的规定计算冻胀量时,在水(冰)面或傍渗水逸出点以上 0.5m 范围内,宜按地下水位深度为零计算。

8.3 渠道衬砌结构

8.3.1 当渠道地基土的冻胀级别属 I、II 级时,宜按渠道大小等情况分别采用下列渠道断面形式和衬砌结构:

1 小型渠道宜采用整体式混凝土 U 形槽衬砌。

2 中型渠道宜采用弧形断面或弧形底梯形断面、板模复合衬砌结构

3 大型(或宽浅)渠道宜采用弧形坡脚梯形断面、板模复合衬砌结构,并应适当增设纵向伸缩缝。

4 梯形混凝土衬砌渠道,可采用架空梁板式或预制空心板式结构。

5 砌石衬砌。

6 其他适宜的结构型式。

8.3.2 当渠道地基土冻胀级别属Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级时,宜按渠道流量和形式等情况分别采用下列渠道断面和衬砌结构:

1 小型渠道宜采用地表式整体混凝土 U 形槽或矩形槽。槽底应按本规范第 8.4.1 条或第 8.4.2 条的规定设置保温层或非冻胀性土置换层,槽侧回填土高度宜小于槽深的 1/3。

2 渠深不超过 1.5m 的宽浅渠道,宜采用矩形断面,渠岸宜用挡土墙式结构,渠底宜用平板结构,墙与板连接处宜设冻胀变形缝。

3 1、2、3 级渠道,应结合本规范第 8.4 节的规定,采用适宜的渠道断面和衬砌结构,并宜通过专门研究确定。

4 宜采用桩、墩等基础支撑输水槽体。桩的允许冻拔量应为零。

5 深挖方渠段,可采用暗渠或暗管输水。

8.3.3 刚性衬砌的分缝应能适应冻胀变形,可分为横向缝和纵向缝。沿渠线方向每隔 3m~5m 设置一横向缝,缝形可采用矩形或梯形,缝宽宜为 20mm~30mm;沿渠周方向宜间隔 1m~4m 设置纵向缝,缝形可采用铰形、梯形或矩形(图 8.3.3),缝宽宜为 20mm~40mm。

变形缝内宜填充粘结力强、变形性能好、耐老化,在当地最高气温下不应流淌,最低气温下应仍具柔性的弹塑性止水材料。

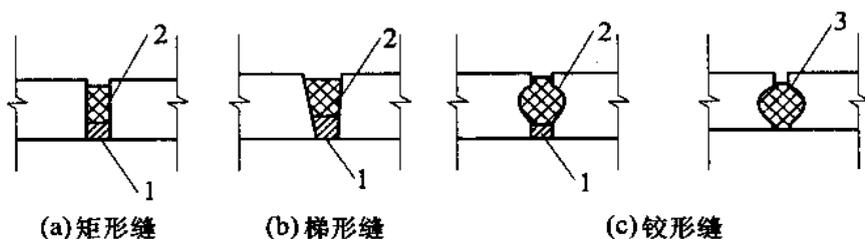


图 8.3.3 冻胀变形缝型式

1—填充料；2—弹塑性胶泥；3—弹塑性止水带

8.4 冻胀土基处理

8.4.1 采用保温材料防止渠道地基土冻结时,应符合下列要求:

1 在衬砌体(包括封顶板)下铺设保温层,保温材料的压缩强度、热导率及其与吸水率的关系等物理力学指标,应符合国家现行有关标准和工程设计的要求,必要时应通过试验验证。

2 保温板的厚度宜通过现场试验或当地或邻近已有工程经验确定。无此条件时,可按下式计算:

$$\delta_x = \lambda_x \left(R_0 - \frac{\delta_c}{\lambda_c} \right) \psi_d k_w K \quad (8.4.1)$$

式中: δ_x 、 δ_c ——分别为保温板和底板的厚度(m);

R_0 ——设计热阻($\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$),可按表 8.4.1 的规定取值;

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

ψ_d ——日照及遮荫程度影响系数,可按本规范公式(B.0.1-2)计算;

k_w ——吸水率影响系数,由试验确定,并按可能的长期最大吸水率确定;

K ——安全系数,可取 1.1~1.15。

表 8.4.1 不同冻结指数时所需保温材料的设计热阻值 R_0 ($\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$)

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 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 冬季输水渠道,水位按等流量(水位)控制时,在设计最小水位条件下,可将冰(水)作为保温层;在冰(水)面以上可采用保温材料保温。

8.4.2 当地或附近有丰富和适宜的非冻胀性土时,可采用非冻胀性土置换渠床冻胀性土。渠床各部位的置换深度可根据工程经验确定,必要时通过试验验证。

8.4.3 设置排水系统,宜按下列情况分别确定:

1 当渠床冻融层或置换层下不透水或弱透水层厚度小于10m时,可在渠底每隔10m~20m设一眼盲井。

2 当渠床的冻融层有排水出路时,宜在设计冻深底部设置纵、横向暗排系统。

3 冬季输水的衬砌渠道,当渠侧有傍渗水补给渠床时,宜在最低输水位以上设置反滤排水体,必要时宜设置逆止阀。排水口及逆止阀应设在最低输水位处。

8.5 渠坡稳定要求

8.5.1 土质渠道或以土石料护面的埋铺式膜料防渗渠道应采用适应冻胀、融沉变形的断面形式(弧底梯形或弧形坡脚梯形),宽深比宜大于1.0,边坡系数可根据类似工程经验选定。

8.5.2 渠床土冻胀级别属Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级的1、2、3级渠道,应以融冻层交界面或土工合成材料交界面为滑动面,并应验算边坡稳定性。交界面土的抗剪强度应通过试验或根据类似工程资料确定。

8.5.3 渠坡有冻融滑坍可能时,可采用土工编织布砂(土)袋分层砌筑或土工带拉锚固定。坡脚应设土工布砂(土)袋镇脚。渠坡表面可采用生态护面。

9 泵站与电站建筑物

9.1 一般规定

9.1.1 泵站与电站建筑物的整体布置和结构型式设计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。

9.1.2 冬季运行的泵站与电站建筑物应设置防冰、排冰设施。

9.2 前池排冰

9.2.1 前池容积的确定应计入冬季高水位运行时冰块、冰凌所占的水体容积。

9.2.2 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形式。

9.2.3 排冰闸孔宽度应大于最大冰块的宽度。排冰闸下游应设置陡坡衔接段。堰上的水深不应小于最大冰块厚度的 1.2 倍。

9.2.4 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导冰筏或固定,其潜入深度宜为冰厚的 1.5 倍~2.0 倍。

9.2.5 正向排冰正向引水方式的排冰闸中心线应与渠道中心线或前池中心线重合。排冰闸前的扭坡宜布置在距离闸前 3 倍~5 倍墙高处,不宜紧靠闸体。扭坡长度宜为墙高的 8 倍~10 倍。

9.2.6 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水面宽的 5 倍时,不应偏离渠

道中心线;渠道曲率半径大于水面宽的 5 倍时,宜从渠中心线向凸岸方向平移至 0.2 倍~0.4 倍水面宽处。

9.2.7 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 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

9.2.8 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,陡坡段内水深应大于流冰块的最大厚度,设计流速宜大于 2.0m/s 。

9.2.9 泄水排冰渠下游的消能形式应符合本规范第 6.4.3 条的规定。

9.2.10 有清冰要求的排冰建筑物附近,宜设置清冰、人员操作、值班等场地及房建设施。

9.2.11 前池水闸和侧墙的抗冰冻设计应按本规范第 10 章和第 11 章的有关规定执行。

9.3 地面厂(泵)房

9.3.1 地面厂(泵)房位置宜避开雪崩、高边坡、地下水位高、深积雪或土的冻胀性强的地段。

9.3.2 地面厂(泵)房及其邻近地区应作好地表排水和地下排水系统。

9.3.3 地面厂(泵)房基础埋深均应大于基础设计冻深。外墙应计算可能的冻胀力作用。水下部分的外表面宜有防渗层。

9.3.4 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。

9.3.5 冬季需要采暖的地面厂(泵)房应进行采暖保温设计。

9.3.6 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。

9.3.7 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、电源应采取局部保温措施。

9.3.8 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。

10 闸涵建筑物

10.1 一般规定

10.1.1 寒冷和严寒地区的水闸和涵洞建筑物设计,宜根据冻前地下水位、土质、朝向和地形等条件选择土的冻胀和冰的作用尽可能小的工程地址、总体布置和结构型式。

10.1.2 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,并应按本规范附录 B、附录 C 和第 4.0.3 条的规定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。

10.1.3 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;有条件时,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。

10.1.4 过冰的水闸消力段不宜设消力墩。

10.1.5 进出口翼墙和岸墙的抗冰冻设计应按本规范第 11 章的有关规定执行。

10.2 结构与布置

10.2.1 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。

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

10.2.3 在满足稳定和地基承载力要求的情况下,闸涵的布置宜减小建筑物与冻土的接触面积;在满足防渗、防冲和水流衔接条件

时,宜缩短进出口长度。

10.2.4 冬季暴露的大、中型水闸上游阻滑板(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,其中基土的冻胀性大、靠近边墙或厚度较薄的板宜取小值。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。防渗铺盖应按本规范第 5.3 节的规定作好分缝止水。

10.2.5 承受法向冻胀力的底板宜布置上下两层钢筋。

10.3 稳定与强度验算

10.3.1 闸涵建筑物底板下地基土不冻结时,其稳定与强度计算除应按现行行业标准《水闸设计规范》SL 265 的有关规定计算外,还应按冰压力、水平冻胀力、切向冻胀力荷载进行计算。

10.3.2 闸涵建筑物底板下地基土冻结时,除应按本规范第 10.3.1 条的规定计算外,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。

10.3.3 进行上述稳定与强度验算时,冰压力可按本规范附录 D 的规定计算;水平冻胀力可按本规范第 11.2 节的规定计算;作用在底板底面的单位法向冻胀力设计值可按下列公式计算:

$$\sigma_{vs} = m_{\sigma} \sigma_v \quad (10.3.3-1)$$

$$m_{\sigma} = 1 - \sqrt{\frac{[S]}{h_i}} \quad (10.3.3-2)$$

式中: σ_{vs} ——作用在板底面上的地基土单位法向冻胀力设计值(kPa);

m_{σ} ——法向位移影响系数;

σ_v ——底板下地基土的法向冻胀力(kPa),可按地基土冻胀量查本规范表 4.0.3-3 的规定确定;

[S]——建筑物允许产生的垂直位移(cm),可按表 10.3.3 的规定确定,特殊情况下可通过论证确定;

h_i ——与基础设计冻深相应的地基土冻胀量(cm),可按本规范附录 C 的规定确定。

表 10.3.3 板型基础允许垂直位移值[S]

| 建筑物类型及结构部位 | | [S](cm) |
|--------------|------------------|---------|
| 进出口 | | 1.5~2.0 |
| 闸室、洞身、陡坡和消力池 | | 1.0~2.5 |
| 护坦板和阻滑板 | | 2.0~3.0 |
| 进出口护坡 | 现浇混凝土板 | 0.5~1.0 |
| | 浆砌石 | 1.0~2.0 |
| | 预制混凝土板、沥青混凝土、干砌石 | 3.0~5.0 |

注:1、2、3 级建筑物宜取较小值,4、5 级建筑物可取较大值。

10.4 抗冻胀措施

10.4.1 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。

10.4.2 采用保温材料防止建筑物地基冻结时,应符合下列要求:

1 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和不均匀应力作用等条件确定。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,应符合国家现行有关标准和工程设计的要求,并应通过试验确定。

2 保温板的厚度应按本规范第 8.4.1 条的规定确定。

3 经常处于水中或强潮湿条件下的保温板宜通过试验确定其长期耐久性,也可采取防水处理措施。

4 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不应小于底板下的

基础设计冻深。帷幕式铺设时的向外倾斜度不宜陡于 7 : 1。板块间的接缝应紧密。

10.4.3 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。保温水层的厚度不宜小于当地的最大冰厚。

10.4.4 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。置换时应符合下列要求:

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,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 0.3m~0.5m。

3 闸涵的置换深度宜通过试验或根据当地已有工程经验确定。不具备试验条件时,可根据类似的工程经验,并结合下式计算综合确定:

$$Z_e \geq \epsilon Z_f \quad (Z_e \geq 0) \quad (10.4.4-1)$$

式中: Z_e ——闸涵的置换深度(m);

ϵ ——置换比,可按表 10.4.4-1 的规定取值,当置换层内饱水和算得 $\epsilon > 1.0$ 时,可取 $\epsilon = 1.0$;

表 10.4.4-1 涵闸基土置换比 ϵ

| 是否允许 冻胀位移 | 上部荷载 σ (kPa) | 地基土冻胀级别 | | | | |
|--------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | I | II | III | IV | V |
| 不允许 | 10 | 0~0.4 | 0.4~0.8 | 0.8~1.1 | 1.1~1.3 | 1.3~1.4 |
| | 20 | 0~0.2 | 0.2~0.6 | 0.6~0.9 | 0.9~1.2 | 1.2~1.3 |
| | 30 | — | 0~0.4 | 0.4~0.7 | 0.7~1.0 | 1.0~1.1 |
| | 50 | — | — | 0.1~0.5 | 0.5~0.8 | 0.8~1.0 |
| | 80 | — | — | 0~0.1 | 0.1~0.5 | 0.5~0.7 |
| | 100 | — | — | — | 0~0.3 | 0.3~0.5 |

续表 10.4.4-1

| 是否允许 冻胀位移 | 上部荷载 σ (kPa) | 地基土冻胀级别 | | | | |
|--------------|------------------------|---------|-------|---------|---------|---------|
| | | I | II | III | IV | V |
| 允许 | 10 | — | 0~0.4 | 0.4~0.9 | 0.9~1.2 | 1.2~1.3 |
| | 20 | — | 0~0.2 | 0.2~0.7 | 0.7~1.0 | 1.0~1.2 |
| | 30 | — | — | 0~0.4 | 0.4~0.9 | 0.9~1.0 |
| | 50 | — | — | 0~0.1 | 0.1~0.5 | 0.5~0.8 |
| | 80 | — | — | — | 0~0.2 | 0.2~0.5 |
| | 100 | — | — | — | 0~0.1 | 0.1~0.3 |

注:1 本表适用于1、2、3级建筑物。

2 对于4、5级建筑物,表中数值可适当减小。

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当地已有工程经验确定。无此条件时,可根据类似的工程经验,并结合下式计算综合确定:

$$Z_e' \geq \epsilon' Z_f \quad (Z_e' \geq 0) \quad (10.4.4-2)$$

式中: Z_e' ——进出口护坡的置换深度(m);

ϵ' ——进出口护坡基土置换比,可按表 10.4.4-2 的规定取值。

表 10.4.4-2 护坡基土置换比 ϵ'

| 地基土冻胀量级别 | I | II | III | IV | V |
|------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| $Z_f < 60\text{cm}$ | | | | | |
| 现浇混凝土 | 0~0.3 | 0.3~0.9 | 0.9~1.3 | 1.3~1.4 | 1.4~1.5 |
| 浆砌石 | — | 0~0.6 | 0.6~1.2 | 1.2~1.4 | 1.4~1.5 |
| 预制混凝土板、 沥青混凝土、干砌石 | — | 0~0.3 | 0.3~0.9 | 0.9~1.2 | 1.2~1.3 |
| $Z_f \geq 60\text{cm}$ | | | | | |
| 现浇混凝土 | 0~0.2 | 0.2~0.7 | 0.7~1.1 | 1.1~1.3 | 1.3~1.5 |
| 浆砌石 | — | 0~0.5 | 0.5~1.0 | 1.0~1.3 | 1.3~1.4 |
| 预制混凝土板、 沥青混凝土、干砌石 | — | 0~0.2 | 0.2~0.8 | 0.8~1.2 | 1.2~1.3 |

5 当置换材料中细粒含量较多或置换深度小于本规范公式(10.4.4-1)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,细粒含量较多时可根据置换土的类别和冻胀量按本规范公式(10.3.3-1)计算,置换深度小于计算值时可按下式计算:

$$\sigma_r = \left[1 - \left(\frac{\psi_w Z_{ep}}{Z_f} \right)^{0.65} \right] \sigma_{vs} \quad (10.4.4-3)$$

式中: σ_r ——部分置换时的剩余法向冻胀力(kPa);

ψ_w ——地下水影响系数,可按本规范公式(B.0.1-3)的规定确定;

Z_{ep} ——部分置换深度(m)。

11 挡土结构(墙)

11.1 一般规定

11.1.1 冻胀性地基上和墙后回填冻胀性土的挡土结构(墙)的稳定和强度验算,除常规荷载外,还应计算冻胀力的作用。

11.1.2 地基土的冻胀级别属Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ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Ⅰ、Ⅱ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。

11.1.3 当基础埋深等于或大于设计冻深时,可只计算水平冻胀力的作用;当基础埋深小于墙前地面设计冻深时,除应计算水平冻胀力外,还应计算法向冻胀力的作用。

11.1.4 严寒地区的薄壁式挡土墙顶宽不宜小于0.3m;当不采取其他抗冻胀措施时,最小配筋率宜适当增加;平面布置宜避免直角,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。

11.1.5 墙后地下水位高时,宜采取降低地下水位措施。

11.1.6 冻胀性地基上的挡土墙宜每隔8m~12m设置变形缝,地基土冻胀级别高时宜取小值。每段墙体基础宜布置在同性质土层的同一高程上。

11.2 水平冻胀力的计算

11.2.1 墙前地面至墙后填土顶面之间的高差在1.5m~5.0m的悬臂式及其他薄壁式挡土结构(墙),水平冻胀力应按本规范第11.2.2条的规定计算。墙前地面至墙后填土顶面之间的高差超过5.0m时,宜作专门研究。

11.2.2 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下列公式和图 11.2.2 确定：

$$\sigma_{hs} = \alpha_d C_f \sigma_h \quad (11.2.2-1)$$

$$\alpha_d = 1 - \sqrt{\frac{[s']}{h_d}} \quad (11.2.2-2)$$

式中： σ_{hs} ——最大单位水平冻胀力设计值 (kPa)；

α_d ——系数，悬臂式挡土墙可取 0.94，变形性能较大的支撑建筑物可按公式(11.2.2-2)计算；

C_f ——挡土墙背坡坡度影响系数，可取 0.85~1.0；

σ_h ——单位水平冻胀力 (kPa)，可按本规范表 4.0.3-2 取值；

$[s']$ ——自墙前地面(冰面)算起 1.0m 高度处的墙身水平允许变形量 (cm)，可根据国家现行有关标准，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)，可按本规范附录 C 确定，并取墙前地面(冰面)高程以上 0.5m 的填土处为计算点。

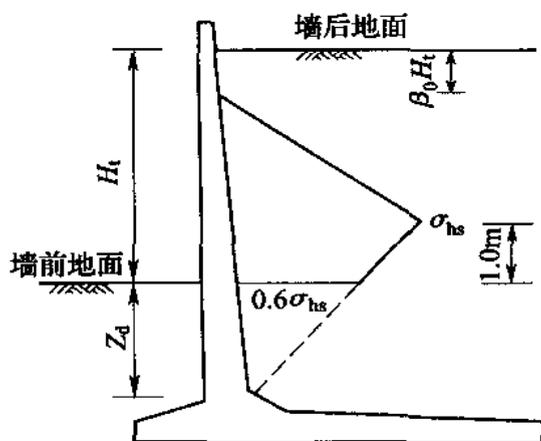


图 11.2.2 单位水平冻胀力分布

H_t ——自挡土结构(墙)前地面(冰面)算起的墙后填土高度 (m)；

σ_{hs} ——最大单位水平冻胀力设计值 (kPa)；

β_0 ——非冻胀区深度系数，可按表 11.2.2 取值

表 11.2.2 系数 β_0

| 挡土结构(墙)后计算点土的冻胀级别 | ≤ II | III | IV | V |
|-------------------|------|-----------|-----------|------|
| β_0 | 0.21 | 0.21~0.17 | 0.17~0.10 | 0.10 |

注:表中数值可内插。当地下水位距墙后填土面小于 1.0m 时,取 $\beta_0=0$ 。

11.3 抗冻胀措施

11.3.1 抗冻胀设计应根据墙后回填土的冻胀量、地下水位和地面形状等条件进行。当土的冻胀级别属 III、IV、V 级时,宜采取换填非冻胀性土或铺设保温材料等措施。

11.3.2 水平冻胀力在满足防渗要求的条件下,墙后回填土宜采用粗颗粒材料。置换范围不宜小于如图 11.3.2 所示的范围。

当置换材料含有较多细粒或置换范围小于如图 11.3.2 所示的要求时,应根据细粒含量和地下水位计算可能产生的水平冻胀力。水平冻胀力可按本规范公式(10.4.4-3)进行计算,但公式(10.4.4-3)中的 σ_{vs} 应改为挡土结构(墙)后的单位水平冻胀力设计值 σ_{hs} (kPa)。

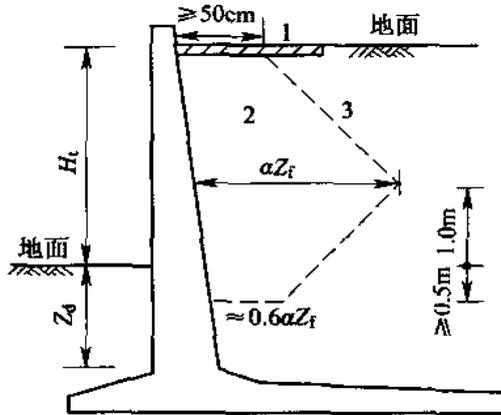


图 11.3.2 挡土结构(墙)非冻胀性回填土范围示意

1—封闭层;2—非冻胀性材料;3—置换范围线;

Z_d —墙前土的设计冻深(m); Z_f —回填土的设计冻深(m);

H_t —自挡土结构(墙)前地面(冰面)算起的墙后填土高度(m);

α —系数(见表 11.3.2)

表 11.3.2 系数 α

| 挡土结构(墙)后计算点土的冻胀级别 | I、II | III | IV | V |
|-------------------|------------|---------|---------|---------|
| α | ≤ 0.3 | 0.3~0.6 | 0.6~0.9 | 0.9~1.1 |

11.3.3 采用保温材料防止挡土结构(墙)后土冻结时,应符合下列要求:

1 应按本规范第 10.4.2 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方式(图 11.3.3)。在墙较矮且地下水位较高、墙后有铺面道路或其他露天设施时,宜采用双向铺设方式。

3 采用双向铺设时,其水平段的铺设长度应根据上部设施的要求确定,但不宜小于设计冻深的 1.0 倍;垂直段宜作成大于 1:0.3 的斜坡,其长度亦不宜小于设计冻深的 1.0 倍。采用全水平铺设时,其水平铺设长度宜大于设计冻深的 2.0 倍。

4 保温材料可采用聚苯乙烯泡沫塑料板或其他适宜的保温材料。保温材料的性能应符合国家现行有关标准的规定。保温板厚度可按本规范第 8.4.1 条的规定确定。

5 保温板间应做好接缝和与墙体的连接,并应避免脱缝。

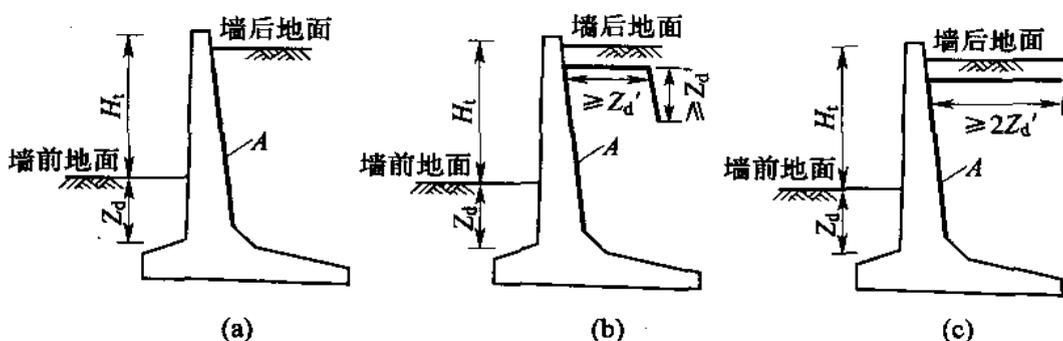


图 11.3.3 挡土结构(墙)保温范围示意

H_t —自挡土结构(墙)前地面(冰面)算起的挡土结构(墙)后填土高度(m);

Z_d —挡土结构(墙)前土的设计冻深(m);

Z_d' —挡土结构(墙)后部填土的设计冻深(m);

A—保温板

12 桥梁和渡槽

12.1 一般规定

12.1.1 桥梁和渡槽的桩、墩基础,当土的冻胀级别属Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级时,应进行抗冻拔稳定和强度验算。

12.1.2 桥梁和渡槽宜减少桩、墩数量或减小桩径。

12.1.3 冰情较严重的河(渠)道上的桥梁和渡槽,宜增大单跨长度,并应按本规范附录 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。

12.1.4 基础埋置深度应根据河(渠)床冲刷对基础埋深减小的影响确定。

12.1.5 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。在其他部位设置横系梁时,应计算淤积和冲刷对横系梁与地面相对距离的影响。

12.1.6 渡槽进出口段的抗冻胀设计应符合本规范第 10 章的规定,并应按本规范第 5.3 节的规定设计进出口段与槽身之间的分缝和止水。

12.1.7 冬季输水的渡槽应防止结冰盖对槽身的不利影响。

12.2 基础结构

12.2.1 混凝土灌注桩在稳定河床以下大于设计冻深的 1.2 倍范围内的桩段,宜使用模板浇筑,也可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,应保证在设计冻深的 1.2 倍范围内不发生塌孔和保持孔壁平整。

12.2.2 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。

12.2.3 扩大式基础的翼板长度和埋深,在满足承载力要求的同时,还应符合下列要求:

1 冻胀级别属于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级的地基中,翼板长度可取柱的直径或边长的0.8倍~1.0倍。

2 冻胀级别属于Ⅳ、Ⅴ级的地基中,翼板长度不宜小于柱直径或边长的1.5倍。

3 地基土的冻胀级别属Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级时,底板顶面的埋置深度不宜小于冲刷深度以下设计冻深的1.2倍。

12.2.4 排架式基础的底梁宽度宜大于桩(柱)直径或边长的3倍,厚度不宜小于30cm。底梁的埋置深度应符合本规范第12.2.3条第3款的规定。

12.2.5 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应符合本规范第12.2.3条第3款的规定。

12.2.6 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,扩底直径不宜小于桩径的2.5倍,并应保证冻层范围内桩壁平整。

12.3 基础的稳定与强度验算

12.3.1 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。

12.3.2 桩、墩基础所受的总切向冻胀力可按下列式计算:

$$T_{\tau} = \phi_e \phi_r \tau_i U Z_d \quad (12.3.2)$$

式中: T_{τ} ——总切向冻胀力(kN);

ϕ_e ——有效冻深系数,可按表12.3.2取值;

ϕ_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,但无凹凸面时,可取1.1~1.2;

- τ_t ——单位切向冻胀力(kPa),见本规范表 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),可按本规范附录 B 确定。

表 12.3.2 有效冻深系数 ψ_c

| 土 类 | 黏土、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 |
| ψ_c | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 1.0 |

12.3.3 桩、墩基础的抗冻拔稳定安全系数可按下式验算:

$$K_d = \frac{P+G+F_s}{T_t} \quad (12.3.3)$$

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符合表 12.3.3 的规定;

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),可按本规范第 12.3.4 条的规定确定;

T_t ——总切向冻胀力(kN)。

表 12.3.3 抗冻拔稳定最小安全系数

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

12.3.4 基础侧壁与暖土之间的总摩阻力可按下式计算:

$$F_s = 0.4 \sum (f_{si} Z_i U_i) \quad (12.3.4)$$

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)。

12.3.5 桩、墩基础的结构抗拉强度安全系数可按下式验算：

$$K_t = \frac{f_y A}{T_c - P - G_i - F_i} \quad (12.3.5)$$

式中： K_t ——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符合表 12.3.5 的规定；

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^2)；

P ——作用于桩(墩)顶的恒载(kN)；

G_i ——验算截面以上基础的自重(kN)；

F_i ——验算截面以上至冻结层层底面之间暖土的摩阻力(kN)。

表 12.3.5 抗拉强度最小安全系数

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

12.3.6 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。

12.3.7 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。

13 水工金属结构

13.1 一般规定

13.1.1 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,以及压力钢管等水工金属结构设备,应采取防冰和防冰冻措施。

13.1.2 防冰和防冰冻方法应根据水工金属结构设备的设置地点和部位、布置形式、运行工况,以及气温、水温和冰情确定,可选用冰盖开槽法、保温法、电热法、压力水射流法和压力空气吹泡法等。

13.1.3 闸门不应承受静冰压力。有动冰压力作用时,动冰压力可按本规范附录 D 计算。

13.1.4 水工金属结构设备的焊接钢结构部分,宜选用具有焊接性好、冲击韧性高和脆性转变温度低的钢材制造。钢板厚度不宜大于 40mm。主材与焊材的质量等级的冲击功试验温度应与结构工作地点的最低日平均温度值相匹配。焊接应采用具有与母材相应性能的焊条、焊丝和焊剂,以及相应的焊接工艺。

13.1.5 闸门使用的水封止水材质应保证在当地最低气温条件下具有良好的物理力学性能。

13.1.6 深孔弧形闸门的伸缩式充压变形水封止水装置,应采用气压变形水封止水装置。

13.1.7 闸门主轮和弧门支铰的润滑剂应采用低温润滑脂或采用自润滑轴承。

13.1.8 液压启闭机、液压清污机、液压自动挂脱梁、液压制动器等设备,其液压油的凝固点应低于当地极端最低温度平均值,其泵站总成和电控柜应置于室温不低于 5℃ 的机房中。

13.1.9 严寒地区的引水枢纽渠首的引水发电进水闸闸门应采用

潜孔闸门。

13.2 闸 门

13.2.1 冰冻期挡水而不开启的表孔闸门,应与闸门前冰盖之间保持不结冰的水域或水缝。水域或水缝可采用冰盖开槽法、冰盖保温板法、压力水射流法、压力空气吹泡法和门叶电热法生成。

13.2.2 冰冻期挡水且需要操作的表孔闸门和非闸井中潜孔闸门的门槽埋件以及必要时的门叶,可采用电热法防冰冻。

13.2.3 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,并应在井顶加盖保温。

13.2.4 严寒地区的泄洪洞和排沙洞进口或中部工作闸门或事故闸门的闸门井上,宜设置保温的闸门室和启闭机室。

13.2.5 严寒地区的泄洪洞和排沙洞出口工作闸门的闸门室和启闭机室应采暖保温,且在闸门下游的出口处宜设置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。

13.2.6 排冰闸的闸门宜采用舌瓣闸门或带舌瓣平面闸门、带舌瓣弧形闸门。带舌瓣的闸门不应上下同时排冰。

13.2.7 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,宜采用卷扬式弧门启闭机。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。

13.2.8 结冰盖的水库,不宜采用浮动闸门。

13.2.9 冰冻期需要操作运行的闸门,通气孔内不应结冰盖。有压洞中的事故闸门的通气孔进口可布置在闸房内;无压洞中的事故闸门的通气孔进口可布置在闸房外。压力前池下游止水的事故闸门和快速闸门门后的通气孔可布置在闸房内。凡是通气孔布置在闸房内的闸房,其门窗宜为双向开合。

13.2.10 严寒地区的启闭机冰冻期有运行操作要求时,启闭机室和司机室应采暖保温。其门式启闭机的门架、卷扬式启闭机的机架和吊架、液压启闭机的机架、起吊拉杆和自动挂脱梁所用钢材和焊材选择,应符合本规范第 13.1.4 条的规定。

13.2.11 冰冻期运行和操作的闸门,其门叶结构下游面的几何不连续结构节点的造型宜采用平缓过渡连接,其对接焊缝应避开过渡区,应绕角施焊且修圆。当型钢构件不满足材料的质量等级时,门叶结构中的纵向或横向的次梁、下游起重桁架宜采用与主梁同材质的钢板焊接成型。

13.2.12 门叶结构主梁、次梁、边梁、隔板、支臂结构上和启闭机门架、机架结构上的制造孔、安装孔和漏水孔,不应对接补焊。调质钢上不应采用塞焊和槽焊焊缝。

13.2.13 门槽二期混凝土与一期混凝土的接缝应按混凝土施工缝处理。门槽二期混凝土抗冻等级应与一期混凝土相匹配。

13.2.14 在负气温下清除门叶上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和压力蒸汽化冰。

13.2.15 闸门埋件防冰冻可选择定时加热或连续加热的电热法。加热元件可采用发热电缆、热敏电阻陶瓷等,并应配置具有温控和保护功能的控制箱。

13.2.16 埋件电热法防冰冻的加热可按下列公式计算:

1 定时加热。只要求融化钢埋件工作表面上一定厚度的冰,所需加热功率可按下列公式计算:

$$N=170(1-0.006t_k)\delta_i A_a/T \quad (13.2.16-1)$$

式中: N ——加热功率(kW);

t_k ——设置地点的极端最低温度平均值(°C);

δ_i ——需要融化的冰厚(m);

A_a ——钢埋件加热面积(m²);

T ——拟定的加热时间(h)。

2 连续加热。不允许部分在空气中和部分在水中的钢埋件工作表面上结冰时,其加热功率可按下式计算:

$$N=0.03(1-2t_k)A_k+0.3A_w \quad (13.2.16-2)$$

式中: A_k ——空气中的钢埋件加热面积(m^2);

A_w ——过冷水中的钢埋件加热面积(m^2)。

13.2.17 采用人工或机械冰盖开槽法防止门叶承受冰静压力作用时,宜始终保持水槽内结冰厚度不大于 10mm。

13.2.18 采用保温板法防止门叶承受静冰压力作用时,可在闸门前冰盖上沿闸门跨度连续铺设保温板,其上应覆盖一层塑料薄膜,并应在塑料薄膜上与四周压载防风。当采用聚苯乙烯泡沫板保温,且其热导率 $\lambda_x \leq 0.04 W/(m \cdot ^\circ C)$ 和体积吸水率 $\omega_x \leq 2\%$ 时,保温板尺寸可按下列公式计算:

$$\delta_x = 0.15\delta_{imax} \quad (13.2.18-1)$$

$$B = 3.0\delta_{imax} \quad (13.2.18-2)$$

式中: δ_x ——聚苯乙烯保温板厚度(mm);

B ——聚苯乙烯保温板的铺设宽度(mm);

δ_{imax} ——水库冰盖最大厚度(mm)。

13.2.19 采用电热法防止门叶承受冰静压力作用时,加热元件可采用发热电缆或热敏电阻陶瓷,其三相负载分配应相等,并应配置具有温控和保护功能的控制箱。加热元件应均匀地贴紧在门叶结构的面板上,其另一面应全部封闭保温。采用聚苯乙烯泡沫板保温防止门叶受冰静压力作用时,其板厚不应小于 30mm,热导率 $\lambda_x \leq 0.04 W/(m \cdot ^\circ C)$ 和体积吸水率 $\omega_x \leq 2\%$ 。门叶电热法防冰冻计算可按本规范附录 E 进行。

13.2.20 闸门门叶结构的防腐蚀,宜采用金属热喷涂复合保护。其封闭层、中间层和面层涂料应具有良好的耐低温性能。

13.2.21 采用压力水射流法防止门叶承受冰静压力作用时,所提供的水温不应低于 $0.4^\circ C$ 。其计算可按本规范附录 F 进行。

13.2.22 采用压力空气吹泡法防止门叶承受冰静压力作用时,压

力可取 $P=0.6\text{MPa}$, 喷嘴淹没水深可取 $H=2\text{m}\sim 5\text{m}$, 应由试验确定。

压力空气吹泡法防冰应设两台空压机并联, 并应互为备用。

压力空气吹泡法可按压力水射流法的计算方法计算, 但其中的水温应改为气温。

压力空气吹泡法所用的空压机生产率可按下式计算:

$$Q=Knb_0q_a \quad (13.2.22)$$

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

K ——安全系数, 可取 $K=1.2$;

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, 可取 $q_a=0.03\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{min})$ 。

13.2.23 压力水射流法或压力空气吹泡法可采用各孔闸门同时定时或多孔闸门分段定时射流或吹泡, 不应采用连续射流或吹泡。

13.2.24 压力水射流法的射流管或压力空气吹泡法的吹气喷嘴与闸门门叶外缘的距离宜大于 3m。

13.3 拦污栅

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

13.3.2 压力前池机械排冰宜采用回转栅式排冰清污机, 其上游应布置检修闸门, 其下游应布置排冰道或带式输冰设备。

13.3.3 压力前池设置的回转栅式清污排冰机的回转结构宜涂不粘冰涂料, 且滚子轨道内宜采用电热法防冰冻。

13.3.4 压力前池拦污栅采用人工清冰时, 拦污栅应倾斜布置, 其倾斜角度可为 70° 。人工水中清冰时, 冬季栅前水深不宜超过 3m。

13.3.5 结冰盖运行的明渠引水式水电站压力前池的拦污栅, 应

布置在闸门室内,且闸门室应采暖保温。采用表孔拦污栅时,应把闸房上游墙下的承重梁与冰盖相接。

13.3.6 潜孔拦污栅应布置在胸墙的下流,栅顶高程应低于冰盖最大厚度以下 0.5m。

13.3.7 在水道中应在只有流冰花和冰雪团而无流冰的条件下,再采用提升式的电热拦污栅。

13.4 露天压力钢管

13.4.1 露天压力钢管材质的质量等级的试验温度应与当地的极端最低温度平均值相匹配。

13.4.2 冬季运行的露天压力钢管可采用下列任意一种防冰冻措施:

1 可建暖棚。

2 可回填土料,其厚度自钢管顶部计起应大于设计冻深的 1.2 倍,且不应有外水侵入回填层。

3 可采用发热电缆并包覆保温材料。

4 可在钢管外表面喷覆或包覆保温层,其外层应用不透光的防水材料封闭。采用聚苯乙烯泡沫板保温时,板的厚度可按下式计算:

$$\delta_x = \alpha I_m^{0.5} \quad (13.4.2)$$

式中: δ_x ——聚苯乙烯泡沫层或板的厚度(m);

I_m ——历年最大冻结指数($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$);

α ——系数, $\alpha=0.003\sim 0.004$,严寒地区宜取大值。

13.4.3 压力钢管进入孔井和伸缩节井应加盖保温,必要时井内可采暖。排气阀及其接管不应被冰冻死。

13.4.4 严寒地区冬季不运行的露天压力钢管,管内水体应排空,且在钢管最低处应设排水管和阀门。

13.4.5 露天压力钢管的镇墩和支墩,应采取防止基土冻胀上抬的措施。

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宜根据当地水文站实际观测资料确定。无实测资料时,可根据具体情况按本规范第 A.0.2 和 A.0.3 条确定。

A.0.2 主要河流初冰、封冰、解冻日期和最大冰厚可按表 A.0.2 和图 A.0.2-1~图 A.0.2-4(见书后插页)查取。

A.0.3 水库冰厚可按下式计算:

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

式中: δ_i ——水库冰厚(m);

φ_i ——冰厚系数,可取 0.022~0.026(严寒地区宜取大值);

I_m ——历年最大冻结指数($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)。

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 |

续表 A.0.2

| 河流 | 站名 | 经纬度(度、分) | | 冰情日期(月、日) | | | 冰情天数(d) | | 最大冰厚多年平均值(m) |
|-------|------|----------|--------|-----------|-------|------|---------|-----|--------------|
| | | 东经 | 北纬 | 初冰 | 封冻 | 解冻 | 流冰花 | 封冻 | |
| 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 | 卢沟桥 | 116°13' | 39°52' | 11.30 | 12.11 | 2.27 | 11 | 42 | 0.51 |
| 黄河 | 兰州 | 103°49' | 36°04' | 11.16 | 12.13 | 2.23 | 58 | 42 | 0.48 |
| | 石嘴山 | 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 |
| 额尔齐斯河 | 布尔津 | 86°51' | 47°42' | 11.03 | 11.23 | 4.03 | 20 | 131 | 0.94 |
| 伊犁河 | 雅马渡 | 81°40' | 43°37' | 11.27 | — | — | 99 | 0 | — |
| 库马拉克河 | 协合拉 | 79°37' | 41°43' | 11.20 | — | — | 97 | 0 | — |
| 叶尔羌河 | 卡群 | 76°54' | 37°59' | 11.03 | — | — | 86 | 0 | — |

附录 B 土的冻结深度的确定

B. 0. 1 设计冻深可按下列公式计算：

$$Z_d = \psi_d \psi_w Z_m \quad (\text{B. 0. 1-1})$$

$$\psi_d = \alpha + (1 - \alpha) \psi_i \quad (\text{B. 0. 1-2})$$

$$\psi_w = \frac{1 + \beta e^{-Z_{w0}}}{1 + \beta e^{-Z_{wi}}} \quad (\text{B. 0. 1-3})$$

式中： Z_d ——设计冻深(m)；

ψ_d ——日照及遮荫程度影响系数；

ψ_w ——地下水影响系数；

Z_m ——实测历年最大冻深(m)；

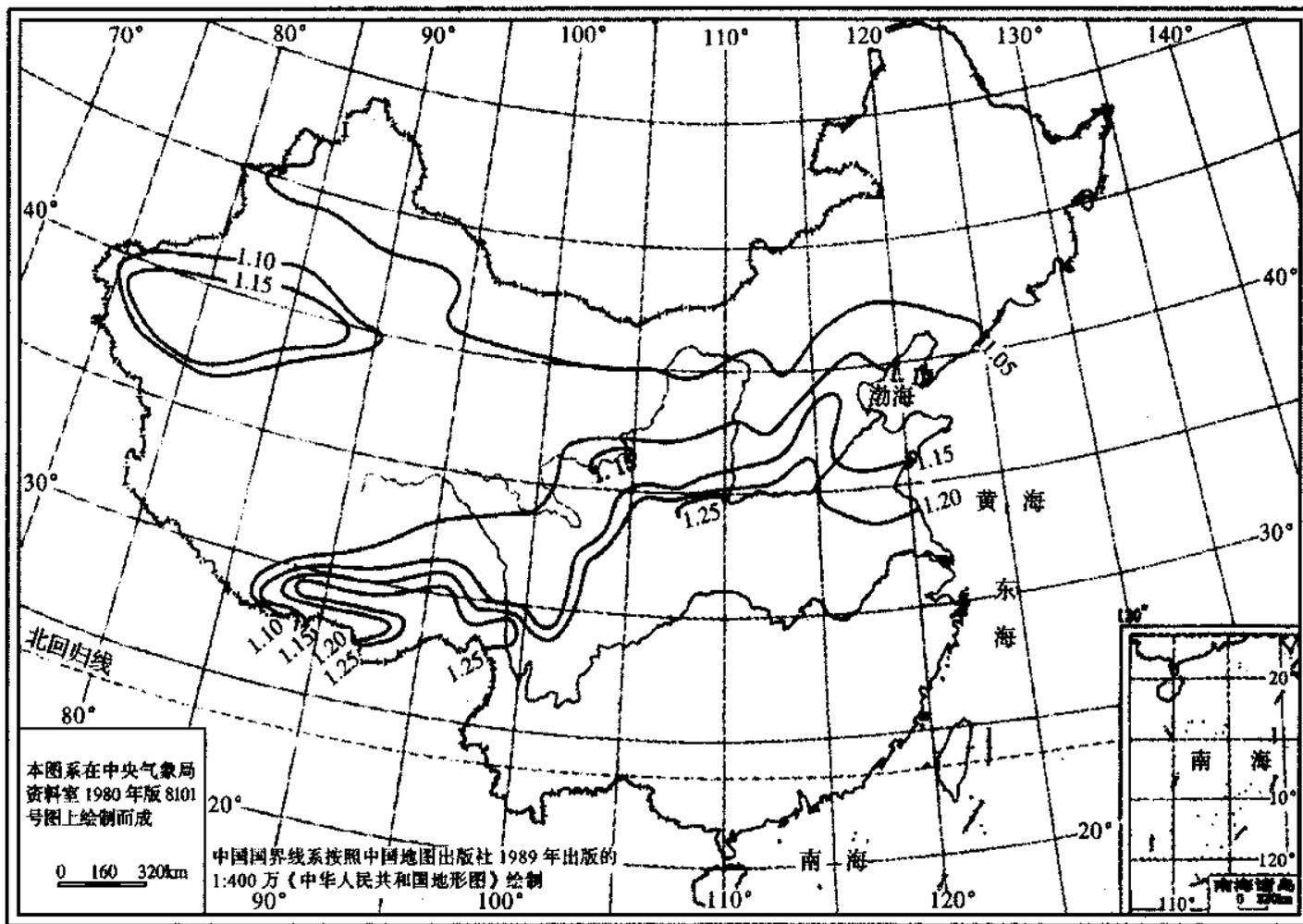
ψ_i ——典型断面(建筑物或渠道走向 N—S, 底宽与深度之比 $B/H=1.0$, 坡率 $m=1.0$)某部位的日照及遮荫程度修正系数, 阴(或阳)面中部的 ψ_i 值按地理位置可由图 B. 0. 1-1 查得, 底面中部的 ψ_i 值可由图 B. 0. 1-2 查得；

α ——系数, 可根据建筑物所在的气候区(由图 B. 0. 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. 0. 1-1 查得, 若渠坡较高或建筑物上部有遮荫作用时, 表 B. 0. 1-1 中的数值应根据遮荫程度适当增大；

β ——系数, 可按表 B. 0. 1-2 取值；

Z_{w0} ——当地或邻近气象台(站)与最大冻深相应的冻前地下水位深度(m)。当黏土 $Z_{w0} > 3.0\text{m}$, 粉土 $Z_{w0} > 2.5\text{m}$, 细粒含量 $\leq 15\%$ 的砂 $Z_{w0} > 2.0\text{m}$ 时, 可分别取黏土 $Z_{w0} = 3.0\text{m}$, 粉土 $Z_{w0} = 2.5\text{m}$, 砂 $Z_{w0} = 2.0\text{m}$ ；

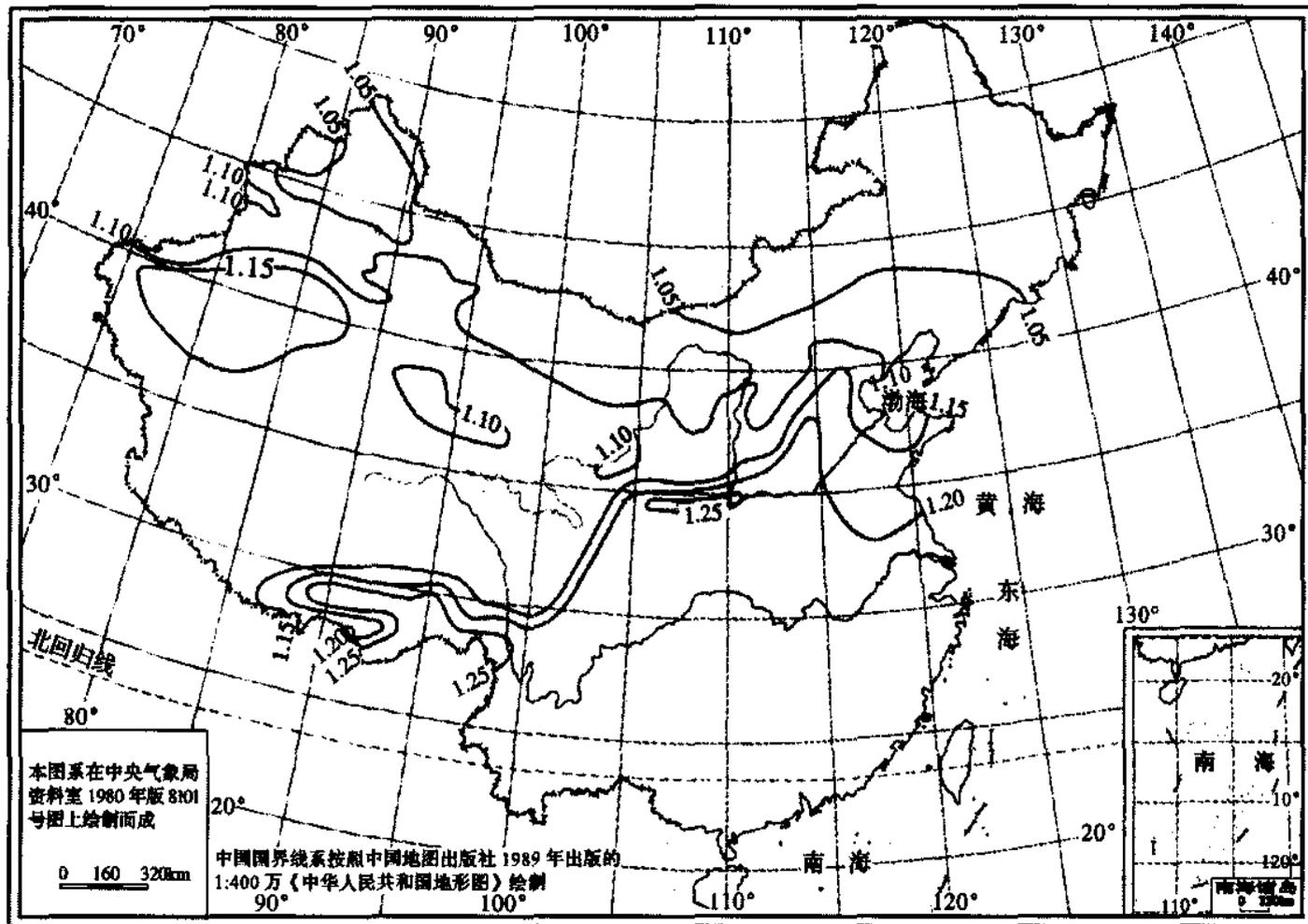
Z_{wi} ——计算点的冻前地下水位深度(m), 可取计算点地面或开挖面至当地冻结前地下水位的距离, 对于挡土墙, 可取距墙前地面以上 0.5m 处为计算点。



审图号: GS (2006) 1525 号

2006 年 12 月 15 日 国家测绘局

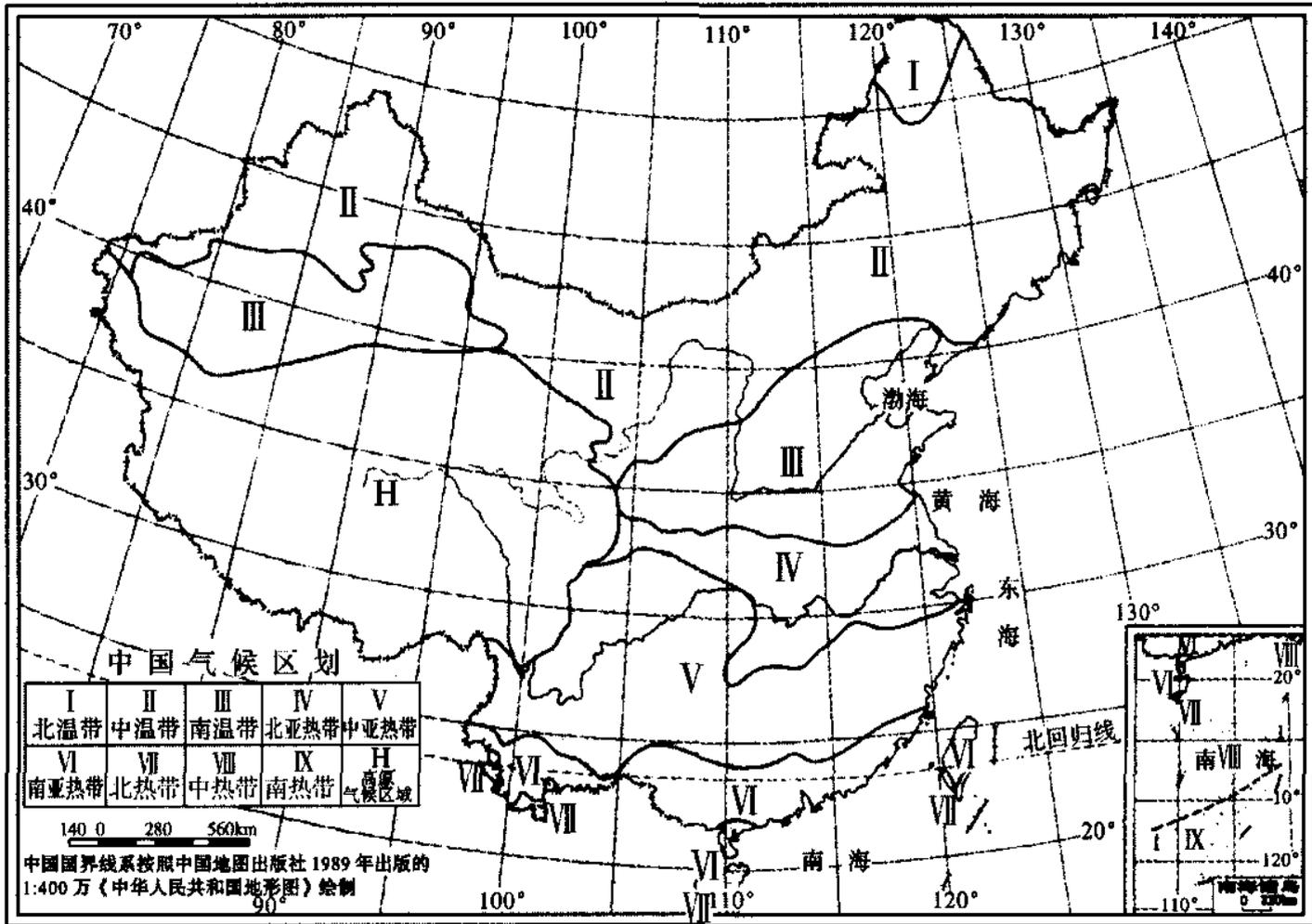
图 B. 0. 1-1 阴、阳面中部的 ψ 值分布



审图号: GS (2006) 1525号

2006年12月15日 国家测绘局

图B.0.1-2 底面中部的 ψ 值分布



审图号: GS (2006) 1525 号

2006年12月15日 国家测绘局

图B.0.1-3 中国气候区划

表 B.0.1-1 系数 α 值

| B/H | 坡率 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 |

续表 B. 0. 1-1

| B/ H | 坡率 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 |
| 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 |
| 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 |

续表 B.0.1-1

| B/H | 坡率 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 |
| 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。

表 B.0.1-2 系数 β 值

| 土类 | 黏土、粉土 | 细粒土质砂 | 含细粒土砂 |
|---------|-------|-------|-------|
| β | 0.79 | 0.63 | 0.42 |

B.0.2 当涵闸底板(或墙)的厚度 $\delta_c > 0.5\text{m}$ 时,地基土设计冻深可按下列公式计算:

$$Z_f = \left(1 - \frac{R}{R_0}\right) Z_d - 1.6\delta_w \quad (Z_f \geq 0) \quad (\text{B.0.2-1})$$

$$R = \frac{\delta_c}{\lambda_c} \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中: Z_f ——地基土设计冻深(m);

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

R_0 ——设计热阻($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$),见本规范表 8.4.1;

δ_w ——冻前底板上面的水深(m);

δ_c ——涵闸底板(或墙)的厚度(m);

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

B.0.3 当涵闸底板(或墙)的厚度 $\delta_c \leq 0.5\text{m}$ 时,地基土设计冻深可按下式计算:

$$Z_f = Z_d - 0.35\delta_c - 1.6\delta_w \quad (Z_f \geq 0) \quad (\text{B.0.2-3})$$

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。

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,也可进行专门研究。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,或由本规范附录 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,可不计算冻胀。

2 低液限黏土的冻胀量可按下式计算或由图 C.0.2-1 查得。当地下水位埋深超过 2.0m 时,可按本条第 5 款规定的封闭系统条件下的方法计算:

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

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 ;

e ——指数;

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、高液限黏土、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)类土的冻胀量可按下式计算或由图 C.0.2-2 查得。当地下水位埋深超过 2.0m 时,可按本条第 5 款规定的封闭系统条件下的方法计算:

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

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下式计算或由图 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下的方法计算:

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

5 封闭系统条件下的地表冻胀量可按下式计算:

$$h = 0.45Z_d(\omega - 0.8\omega_p) \quad (\text{C.0.2-4})$$

式中: h ——地表冻胀量(cm);

Z_d ——设计冻深(cm);

ω ——冻结层平均含水率(%);

ω_p ——塑限含水率(%)。

C.0.3 地基土冻胀量可按本规范第 C.0.2 条的规定确定,也可按下式计算:

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

式中: h_f ——地基土冻胀量(cm)。

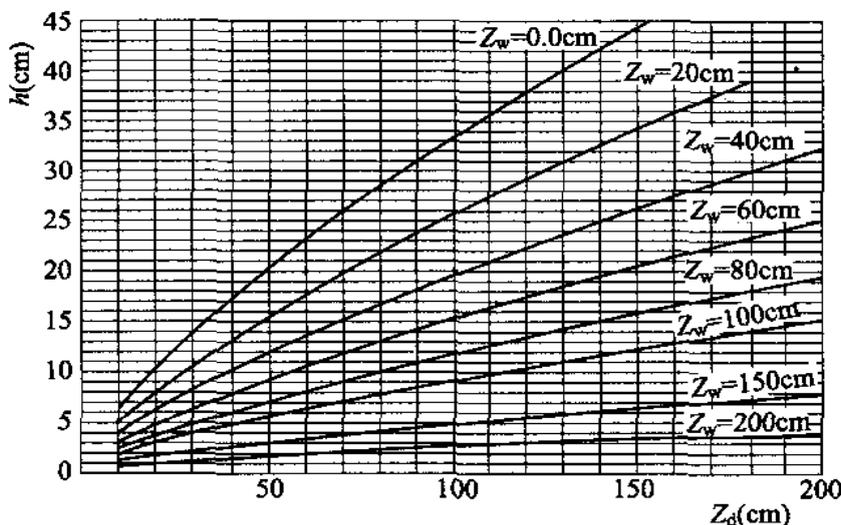


图 C.0.2-1 低液限黏土的冻胀量

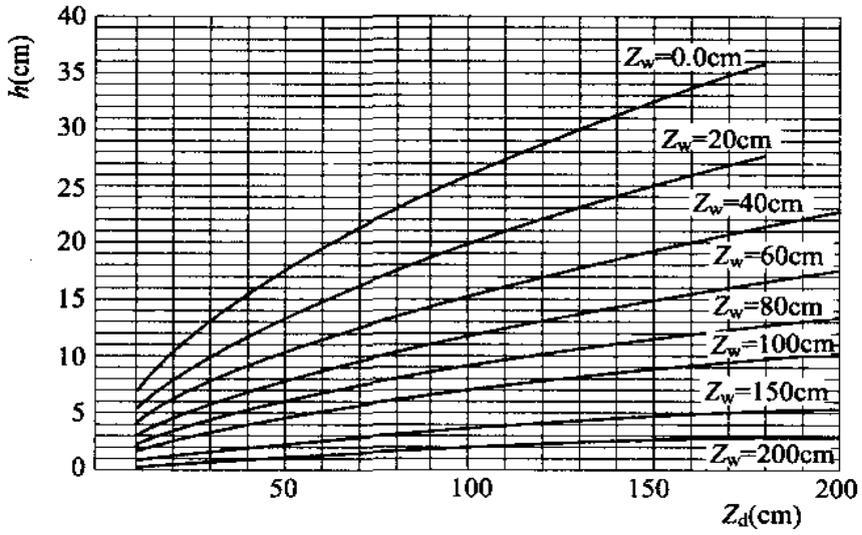


图 C. 0. 2-2 粉土的冻胀量

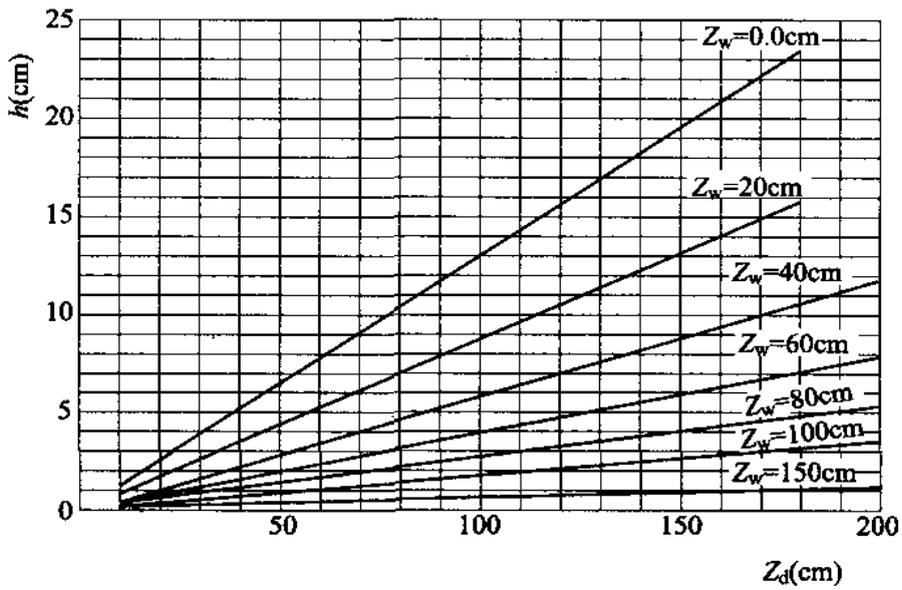


图 C. 0. 2-3 砂(砾)类土的冻胀量

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他宽长建筑物上的动冰压力可按下列式计算：

$$F_{11} = 0.07 v \delta_i \sqrt{A f_{ic}} \quad (\text{D. 1. 1})$$

式中： F_{11} ——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；

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

A ——冰块面积(m²)，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规定分别计算：

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下列公式计算，并应取其中的小值：

$$F_{12} = m f_{ib} B \delta_i \quad (\text{D. 1. 2-1})$$

$$F_{13} = 0.04 v \delta_i \sqrt{m A f_{ib} \text{tg} \gamma} \quad (\text{D. 1. 2-2})$$

式中： F_{12} ——冰块契入三角形墩柱时的动冰压力(MN)；
 F_{13} ——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)；
 γ ——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 $2\gamma(^{\circ})$ | | | | | 矩形 | 多边形或圆形 |
|------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 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他宽长建筑物上的静冰压力值可按表 D. 2. 1 查得。

表 D. 2. 1 静冰压力 P_i 值

| | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| 冰厚 δ_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；
 2 冰厚取多年平均最大值；
 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；
 4 表中静冰压力值可按冰厚内插。

D. 2. 2 静冰压力作用点应取冰面以下冰厚 1/3 处。

D. 2. 3 作用在独立墩柱上的静冰压力可按本规范公式(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。其所需的总功率应包括通过门叶钢板向过冷水中传热、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。

E.0.2 通过门叶钢板向过冷水中传热所需的加热功率可按下列公式计算：

$$N_1 = K_{sw}(t_c - t_{ws})A_w \quad (\text{E.0.2-1})$$

$$t_c = 0.3|t_k| \quad (\text{E.0.2-2})$$

式中： N_1 ——通过门叶钢板向过冷水中传热所需的加热功率(kW)；

K_{sw} ——由门叶钢板向过冷水中的传热系数， $K_{sw} = 0.233\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ；

t_c ——门叶内部空气加热温度($^\circ\text{C}$)；

t_k ——设置地点的极端最低温度平均值($^\circ\text{C}$)；

t_{ws} ——过冷水温度，计算采用 $t_{ws} = -0.1^\circ\text{C}$ ；

A_w ——门叶钢板与过冷水接触的面积(m^2)。

E.0.3 通过门叶钢板向冷空气的传热所需的加热功率可按下列式计算：

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

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} ——由门叶钢板向冷空气的传热系数，可取 $K_{sa} = 0.025\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ；

A_a ——门叶钢板与冷空气的接触面积(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下列式

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} ——由门叶保温板向冷空气的传热系数，当采用聚苯乙烯泡沫板保温，而且其热导率 $\lambda_x \leq 0.03\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，厚度 $\delta_c \geq 0.03\text{m}$ 时，可取 $K_{pa} = 0.007\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ；

A_p ——保温板与冷空气的接触面积(m^2)。

E. 0. 5 门叶内加热所需的总功率可按下式计算：

$$N = K(N_1 + N_2 + N_3) \quad (\text{E. 0. 5})$$

式中： N ——门叶内加热所需的总功率(kW)；

K ——安全系数， $K = 1.2$ 。

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下式计算：

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

式中： Q_h ——冰盖下水温补给的热流量(kW)；

Q_p ——潜水泵流量(m^3/h)；

t_w ——潜水泵放置水深 H_p 处的水温($^{\circ}\text{C}$)。

F.0.2 冰盖下水深 H_p 处的水温应由实测确定。无实测资料时，可按下列公式计算：

$$H_p \leq 6\text{m 时}, t_w = 0.1 H_p \quad (\text{F.0.2-1})$$

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

式中： H_p ——冰盖下放置潜水泵处的水深(m)。

F.0.3 水气交界面辐射、蒸发和对流的全部热流量损失强度可按下式计算：

$$S = 0.014(9.5 - t_k) \quad (\text{F.0.3})$$

式中： S ——水气交界面的全部热流量损失强度(kW/m^2)；

t_k ——设置地点的极端最低温度平均值($^{\circ}\text{C}$)。

F.0.4 冰盖下水温补给的热流量应符合下式的要求：

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

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

L_0 ——不冻水面长度(m)。采用集中布置时， L_0 为全部孔口加闸墩宽度；采用单独布置时， L_0 为单个孔口宽度。

F.0.5 潜水泵的流量可按下式选择，其扬程应满足 $H \geq 2H_p$ ，且 $H_p \geq 5\text{m}$ ：

$$Q_p > 0.023 \frac{(9.5 - t_k) B_0 L_0}{t_w} \quad (\text{F.0.5})$$

F.0.6 射流管上的射流孔射流速度可按下式计算：

$$V_0 = \frac{0.16 V_c h_g}{d} \quad (\text{F.0.6})$$

式中： V_0 ——射流孔的出口流速(m/s)；

V_c ——到水面或到冰盖下的射流冲击速度，可采用 $V_c \geq 0.3\text{m/s}$ ；

h_g ——射流管放置水深(m)；

d ——射流孔直径(m)。

F.0.7 潜水泵的功率可按下式计算：

$$N = 0.6 Q_p V_0^2 \quad (\text{F.0.7})$$

式中： N ——水泵功率(kW)。

F.0.8 射流管放置水深 h_g 应在现场进行调试。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下式计算：

$$V_b = \frac{0.18 d^{0.62} V_0^{0.62} t_w}{h_g} \quad (\text{F.0.9})$$

式中： V_b ——冰盖的融化速度(m/h)。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

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执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《堤防工程设计规范》GB 50286

《砌石坝设计规范》SL 25

《混凝土面板堆石坝设计规范》SL 228

《水闸设计规范》SL 265

《碾压式土石坝设计规范》SL 274

《水工混凝土试验规程》SL 352

中华人民共和国国家标准

水工建筑物抗冰冻设计规范

GB/T 50662 - 2011

条文说明

制 订 说 明

本规范是根据原建设部《关于印发〈2007年工程建设标准规范制订、修订计划(第一批)〉的通知》(建标〔2007〕125号)编制完成的。

本规范的制订原则是：

1. 编制工作坚持科学性、先进性和实用性的原则。本规范既要有原则性规定,又要体现一定的灵活性;既要反映我国近年来成熟的研究成果,又要借鉴和吸收国外的先进经验和新理论、新技术;既要结合我国实际和水利水电工程规划设计的需要,又要体现国内和国外 20 世纪 90 年代以来的技术水平。

2. 明确与相关规范的关系。

3. 编写格式按中华人民共和国住房和城乡建设部 2008 年《工程建设标准编写规定》执行。

4. 本规范由正文、条文说明和附录三部分组成。它们之间的相互关系遵守《工程建设标准编写规定》。

5. 本规范不设强制性条文。

2007 年 10 月组成本规范的编制组。2008 年 7 月提出征求意见稿,并向全国 59 个水利、交通、建筑、高等院校及科研等有关设计、施工、管理和科研单位征求意见。2009 年 4 月提出了本规范的送审稿。2009 年 5 月 18 日~20 日,水利部水利水电规划设计总院在北京主持召开规范送审稿的审查会。2009 年 9 月提出了本规范的报批稿。2009 年 12 月,水利部国际合作与科技司组织专家对报批稿进行了复读审查。根据复读意见对报批稿进行必要的修改和完善后,于 2010 年 1 月最终提出本规范的报批稿,并提交了全套报批资料。

由于本规范涉及范围较广,冰冻问题的自然因素较复杂,而且往往因地区不同也有差异,因此在执行本规范的同时还可结合具体工程条件进行科学试验,并在此基础上采用先进技术,从而也可作为补充和完善本规范提供依据。

为了准确理解本规范的技术规定,按照《工程建设标准编写规定》的要求,编写组编写了条文说明。本条文说明的内容均为解释性内容,不应作为标准规定使用。

目 次

| | | |
|-----|--------------------|---------|
| 1 | 总 则 | (81) |
| 3 | 基本资料 | (82) |
| 4 | 冰冻荷载 | (86) |
| 5 | 材料与结构 | (89) |
| 5.1 | 混凝土与砌石材料 | (89) |
| 5.2 | 保温材料 | (92) |
| 5.3 | 分缝和止水 | (93) |
| 5.4 | 结构构造 | (95) |
| 6 | 挡水与泄水建筑物 | (98) |
| 6.1 | 一般规定 | (98) |
| 6.2 | 混凝土坝与砌石坝 | (99) |
| 6.3 | 土石坝 | (100) |
| 6.4 | 溢流坝与岸边溢洪道 | (103) |
| 6.5 | 泄洪洞与坝体泄水孔 | (104) |
| 7 | 取水与输水建筑物 | (106) |
| 7.1 | 一般规定 | (106) |
| 7.2 | 取水口排冰 | (106) |
| 7.3 | 明渠冬季输水 | (107) |
| 7.4 | 暗管与隧洞 | (109) |
| 8 | 渠道与渠道衬砌 | (110) |
| 8.1 | 一般规定 | (110) |
| 8.2 | 衬砌结构抗冻胀稳定性要求 | (110) |
| 8.3 | 渠道衬砌结构 | (111) |

| | | |
|------|------------|-------|
| 8.4 | 冻胀土基处理 | (113) |
| 8.5 | 渠坡稳定要求 | (114) |
| 9 | 泵站与电站建筑物 | (115) |
| 9.2 | 前池排冰 | (115) |
| 9.3 | 地面厂(泵)房 | (117) |
| 10 | 闸涵建筑物 | (119) |
| 10.1 | 一般规定 | (119) |
| 10.2 | 结构与布置 | (120) |
| 10.3 | 稳定与强度验算 | (121) |
| 10.4 | 抗冻胀措施 | (122) |
| 11 | 挡土结构(墙) | (124) |
| 11.1 | 一般规定 | (124) |
| 11.2 | 水平冻胀力的计算 | (124) |
| 11.3 | 抗冻胀措施 | (126) |
| 12 | 桥梁和渡槽 | (127) |
| 12.1 | 一般规定 | (127) |
| 12.2 | 基础结构 | (128) |
| 12.3 | 基础的稳定与强度验算 | (129) |
| 13 | 水工金属结构 | (132) |
| 13.1 | 一般规定 | (132) |
| 13.2 | 闸门 | (134) |
| 13.3 | 拦污栅 | (136) |
| 13.4 | 露天压力钢管 | (136) |

1 总 则

1.0.1 我国北方地区的水工建筑物,在冬季运行过程中均存在冰冻或地基土冻胀作用的问题,使不少工程结构遭受不同程度的破坏。因此,制定本规范对我国北方地区的水利水电工程建设具有重要作用。其目的在于统一在冰、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,更合理地设计北方寒冷地区的水工建筑物,提高水工建筑物的抗冰冻设计水平,从而保证其安全运行和应有的工程寿命。

1.0.2 “抗冰冻”是指防止冰、冻融和冻胀作用对水工建筑物的破坏或对正常运行的不利影响。冰冻对各类水工建筑物的作用主要包括:

1) 地基土冻胀对涵闸、挡土墙、渠道(暗管)、渡槽和厂房(泵房)的破坏和对桩(墩)的上拔作用;

2) 混凝土和砌石结构的冻融和冻胀破坏;

3) 冻融滑坡对渠道和建筑物运行的影响;

4) 流冰对建筑物撞击作用;

5) 河渠冬季排冰和输冰问题;

6) 冰层膨胀对水工结构物的推力和破坏作用;

7) 取水口和渠道结冰和冰堵造成的流量减小或漫溢;

8) 闸门、拦污栅结冰影响工程正常运行。

1.0.3 由于本规范涉及范围较广,冰冻问题的自然因素较复杂,因此,在本条中规定了进行水工建筑物抗冰冻设计应遵循的基本原则和方法,包括在执行本规范的同时还可结合具体工程条件进行科学试验,并在此基础上采用先进技术,从而也可为补充和完善本规范提供依据。

3 基本资料

3.0.4 冻结指数是指一个冻结期内,日平均负气温值的累计值($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)。其中不包括在冻结期内,特别是冻结初期和后期,由于气温回升而可能出现日平均气温为正值的日子。最大冻结指数与最大冻结深度相适应,因此规定设计中取其历年的最大值。

3.0.7 最大冻深是计算水工建筑物各计算点设计冻深的依据。由于工程地点不可能有长期观测资料,因此目前有多种确定冻深的方法:一是采用建立在冻深与负气温指数之间的统计关系上的半经验公式计算,二是利用气象台(站)多年的实测冻深值绘制的冻深等值线图查取,三是直接采用当地或附近气象台站历年实测的最大值。由此可见,不论何种方法,都要依据气象台(站)的实际观测资料,而第三种方法,只要工程地点附近有气象台(站),则最为实际和可靠,也便于设计取用。因此,本规范规定采用当地或邻近工程地点气象台(站)最近 20 年的历年最大冻深观测值。

设计冻深是指天然地表或设计地面高程算起的冻结深度,是决定地表冻胀量、基础埋深的基本指标之一。对于倾斜表面,它是指与坡面成法向方向的冻深值。

附录 B 中设计冻深是以最大冻深为依据,并计入有地下水影响和考虑日照及遮荫程度两种主要的系数计算得出的。

地下水向冻结区的水分补给对冻深的发展起阻滞作用,地下水位愈高,这种作用愈大。我国东北和西北水利科学院所均对此作了研究,并提出了相应的地下水位对冻深的影响系数或关系式,而且相互间比较接近。由于气象台(站)场地的地下水位又影响其本身的冻深值,因此在确定工程地点的地下水位影响系数时,还考虑了邻近气象台(站)的地下水位对冻深的影响。

由于涵闸底板或挡土结构(墙)的隔热作用,底板下(墙后)地基土的冻深比天然地表的设计冻深要小。其差值与底板(墙)的材质和厚度有关,并可用热阻的大小来表示。附录 B 中所列公式(B. 0. 2-1)是按考虑底板(墙)的热阻与地基土不发生冻结时的设计热阻之比提出的。底板(墙)的热阻与其厚度有关,厚度越小,其影响也越小。为简化计算,当底板(墙)的厚度 $\delta_c \leq 0.5\text{m}$ 时,可按公式(B. 0. 2-3)计算。两种计算结果相差一般在 5cm 之内。冻深较小和板厚较大时相差大些,应用时宜加以考虑。

由于土的冻结和冻胀十分复杂,冻胀量是多重因素的随机变量,迄今为止的多种确定冻胀量的理论计算方法和经验公式,都存在一定的误差。因此对 1、2、3 级水工建筑物,要求尽可能通过现场测试确定冻胀量。

从 20 世纪 60 年代以来,我国东北、西北和华北各省(区)有关单位进行了大量的现场观测与分析研究工作,取得了大量的数据,并提出了多种计算方法。但是,由于土冻胀的复杂性和所依据资料的局限性等多种原因,现有的计算方法均有一定误差,而且各公式计算结果之间往往差别较大。附录 C 中的公式(C. 0. 2-1)和(C. 0. 2-2)是根据黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、宁夏、河北等省(自治区)130 余个观测数据的统计分析提出的。

对于粗粒土,当其中细粒土的含量达到一定程度后也具有一定的冻胀性。附录 C 中根据黑龙江、辽宁等省的现场试验结果和有关规范的规定,将粗粒土划分为三类,分别提出确定其冻胀量的方法。

地基土的冻胀量计算公式(C. 0. 3)是假定在同一冻结条件下冻胀量与冻深成比例确定的。按公式(C. 0. 3)计算与按 C. 0. 2 条的规定确定所得结果相差不大。

3.0.8 地基土发生冻胀的基本条件是负温、适宜的土质和水分,三者缺一不可。就土质而言,主要是指它的细颗粒成分,只有当它的含量适宜时才会有冻胀产生,否则就不会有冻胀的土质条件。

因此,需要给出“冻胀性土”和“非冻胀性土”的定量判别指标。这对判别地基土的冻胀性和采用非冻胀性土置换冻胀性地基土的抗冻胀措施都具有重要意义。这也是国外的“土的冻结敏感性”研究和国内的“土的冻胀分类”研究的基本目的之一。现有各种研究成果逾百种,其中,在易于形成冻胀机制的颗粒粒径范围方面,国内认为 $0.005\text{mm}\sim 0.05\text{mm}$,国外多认为 $0.02\text{mm}\sim 0.074\text{mm}$,而且在颗粒含量数值的界定上有较大差别。例如:国外有的资料(Delaware,1960年)则认为小于 0.074mm 颗粒含量占35%以下时无冻胀危险;有的资料(瑞士,1975年)认为小于 0.02mm 含量大于3%便常常发生冻害;我国哈尔滨建筑工学院资料提出,对于细砂,当黏粒含量小于1%、黏粒加粉粒含量不大于5%时属不冻胀土;我国《建筑地基基础设计规范》GB 50007和《冻土工程地质勘察规范》GB 50324中规定小于 0.074mm 的粒径小于10%时为不冻胀土。

根据上述情况,并考虑到水工建筑物地基常在水浸条件下运行,有产生冻胀的充分条件,因此本条提出对冻胀性土与非冻胀性土的判别标准。

3.0.9 在现行的有关技术标准中是以土的颗粒组成、含水量和地下水条件及冻胀率为土的冻胀性强弱的分类判定指标。如《冻土工程地质勘察规范》GB 50324把地基土的冻胀性分为不冻胀、弱冻胀、冻胀、强冻胀和特强冻胀五级,相应的冻胀率为小于或等于1.0%、1.0%~3.5%、3.5%~6.0%、6.0%~12%和大于12%。

由于冻胀率是按冻胀量与冻深之比算得的,因此同一冻胀率下冻深不同冻胀量不同,对建筑物的作用也就大不相同。水工建筑物遭受冻胀破坏的直接原因是过大的冻胀位移或冻胀力大,而且本规范涉及地区的冻深范围很大,相差达二三米甚至更大。因此,本规范采用以冻胀量绝对值的大小作为划分地基土冻胀分级的指标。这种分级方法可将冻胀量值与建筑物地基允许变形值直接比较,对地基土冻胀可能给工程的危害程度进行直观、定量的评

价,同时也可对各种抗冻胀措施的适用范围、条件给出定性的区分。

鉴于水工建筑物地基土因水分充足而具备冻胀的充分条件,故本条将地基土的冻胀划分为五级,使其能满足水工建筑物地基土的分类要求和反映冻胀量绝对值大和变幅大的专业特点。不过,冻胀量等级的划分指标是否完全合适,有待今后规范执行过程中和工程实践中验证。

4 冰冻荷载

4.0.1 在现有的有关设计规范中,缺乏对冰冻荷载的规定或规定不够明确。有的规范只对其个别荷载作为特殊荷载考虑。水工建筑物因冰冻荷载作用而破坏的现象颇多,例如据 1979 年对黑龙江省查哈阳灌区的调查,有 93 座渠系建筑物因冻害作用而破坏,占调查总数的 83%;又如 1981 年对吉林省梨树灌区 216 处工程的调查,有 85 处是因为冻害遭受破坏的,占调查总数的 39.4%;再如新疆北疆地区有半数混凝土衬砌干、支渠因冻胀受到不同程度的破坏。此外,在我国北方地区,水库的进水塔架、土石坝护坡、闸门和桩墩结构被冰推破坏的事例亦不少。直到目前,这种破坏事例仍常有发生。因此,为合理进行水工建筑物抗冰冻设计和保护水工建筑物安全,本规范规定,冰冻荷载应作为基本设计荷载。

4.0.2 目前冰压力的划分方法不尽相同,例如有的将冰块(场)运动时产生的压力分为流冰动压力和流冰静压力。本规范中的动冰压力是指流冰时产生的动压力,静冰压力是指整体冰层升温膨胀时产生的压力。

4.0.3 土的冻胀力是地基土冻胀时受到建筑物的约束而产生的作用力。根据对建筑物的作用方向不同,将冻胀力分为切向冻胀力、水平冻胀力和法向冻胀力三种。本条分别给出了这三种单位作用力值。

1 切向冻胀力是指桩、墩基础周围土体冻胀时,由于受到基础的约束而作用于基础侧面向上的作用力。“冻胀”和“约束”是产生冻胀力的必要与充分条件。基础与基土间的冻结力是切向冻胀力形成与传递的媒介。其破坏时的抗剪强度等于瞬时最大切向冻胀力值。由此可见,切向冻胀力与土的冻胀性、基础的材质及其表

面状态和形状等因素有关。

表 4.0.3-1 的单位切向冻胀力值是根据黑龙江省大庆市龙凤试验场,哈尔滨万家试验场、巴彦和庆安试验场,吉林省双辽和公主岭试验场等 6 个不同水、土和冻胀条件试验场的多年原型实验结果,并参照现行有关技术标准,经整理分析提出的。经多年实际工程验证较为合适。表中的数值是用模板或套管浇筑时的平整桩壁条件下的力值,因此当桩壁粗糙但无凹凸面时,设计计算中应乘以一个粗糙度系数。

由于受双向冻结和约束条件不同的影响,挡土墙后的填土与墙背之间的切向冻胀力可能较小。具有梯形斜面的墩台基础的切向冻胀力则由于斜坡的作用而减小。但目前实测值少,还难于定量。

2 水平冻胀力是指挡土墙后或基础侧面的土冻胀时水平作用在墙或基础侧面的作用力。在冻结周期内的不同时间和沿墙高的不同部位的单位水平冻胀分布不同,因此本条中只规定沿墙高的最大单位水平冻胀力值。国内曾进行水平冻胀力现场原型实验的主要有水利部东北勘测设计研究院科学研究所的长春地区西新和向阳模型挡土墙、铁道部西北科研所的风火山试验挡土墙,黑龙江省水利勘测设计院巴彦东风水库挡土墙工程、吉林省水利科学研究所和东北院科研院的东阿拉和大安屯锚定板挡土墙工程、黑龙江省水利科学研究所的万家冻土实验站模型挡土墙和海林新安挡土墙工程。试验观测时间最长的达 6 年。表 4.0.3-2 中的最大单位水平冻胀力值,是在上述试验研究中所获 80 组实测资料的基础上,以合力相等和力矩平衡并保持最大单位水平冻胀力作用点不变为原则,对分组资料进行线性简化后得出的。

3 法向冻胀力是指地基土冻胀时受基础约束作用在基础底面呈法线方向向上的作用力。已有的室内试验和野外模型试验说明,法向冻胀力的大小取决于基础的约束程度、地基土的冻胀性和压缩性。当基础产生上抬时,冻胀力值将随之减小。此外,当存在

其周围土的冻胀时,作用于基础底面的冻胀力除基础底面产生的法向冻胀力外,还有周围土对基础的冻胀上抬力,即包括直接作用于基础地面的法向冻胀力和与之相连的周侧土的冻胀上抬力两部分力。在这种情况下,基础面积越小,周围土的冻胀对单位法向冻胀力值的影响越大,在面积小于 $2 \times 10^4 \text{ cm}^2$ 范围内,单位法向冻胀力值变化剧烈。随基础板面积的增大,单位法向冻胀力值呈指数规律衰减并在板面积大到一定程度时趋于常值。考虑到水工建筑物的底板受周边土冻胀的影响较小,表 4.0.3-3 只列出按法向冻胀力随基础板面积的增大呈指数衰减的规律和根据黑龙江省水利科学研究所的试验(试验的最大压板面积达 $3\text{m} \times 3\text{m}$)资料推算大面积条件下面积为 100m^2 趋于常值,即认为无周侧土冻胀作用时的冻胀力值。

由于水工建筑物基础周围土有无冻胀和作用方式与基础轮廓有关,而目前这方面的研究尚少,因此当有可能存在基侧土冻胀作用时,例如涵闸的进出口,宜作专门研究。

4.0.4 斜坡上的桩受冻胀力作用的条件与水平地表的桩不同。由于冻胀力方向与冻结面相垂直,因此对于斜坡上的桩,在冻结过程中将有与之斜交的冻胀力作用,同时还存在与周围土之间的冻结力,从而也使得桩周的受力条件较为复杂。由于目前这方面的研究很少,难于定量,所以在遇到这种情况时,宜根据具体情况研究确定。

4.0.5 冻胀力对挡土墙的作用及其过程较为复杂。考虑到对墙体产生水平冻胀力作用时对后部未冻土体将产生反力,这种反力起平衡土压力的作用。所以,水平冻胀力只有大于土压力时才起控制作用,否则仍是土压力起控制作用。因此,挡土墙设计时,土压力与水平冻胀力两种力不叠加,并取两者的较大值。

5 材料与结构

5.1 混凝土与砌石材料

5.1.1 本规范采用快冻试验确定的混凝土抗冻级别,并根据抗冻耐久性的要求不同规定了7个混凝土抗冻级别。

5.1.2 室内试验和工程实践经验表明,干燥的混凝土不会产生冻融破坏,含水的混凝土会产生一定程度的冻融破坏,水饱和的混凝土冻融破坏最严重。在水工建筑物长期受日晒的阳面混凝土比较干燥,不易遭受冻融破坏;通风较差、湿度较大的阴面混凝土长期暴露在大气中,即使远离水面部位也易受雨淋和霜雪作用,使之常常处于饱和状态,其冻融破坏程度往往不亚于水位变化区。因此,表5.1.2中除按气候分区和年冻融循环次数外,还按结构构件的重要性、不同受冻和环境条件提出不同抗冻级别的要求。

大量调查资料表明,我国南方温和地区的水工建筑物也存在一定程度的冻融破坏问题。考虑到这种情况和混凝土耐久性的要求,表5.1.2中对温和地区也分别提出F100和F50的要求。

水下、土中、大体积内部的混凝土,虽然运行期不受冻,但考虑混凝土的耐久性以及施工期仍可能有冻融破坏,故规定严寒地区应达到F50的要求。

表5.1.2中对结构构件的划分比较详细,目的是便于使用。表中的抗冻级别比现行有关规范有些提高,如结构重要、受冻严重且难于检修部位年冻融循环次数(次)大于等于100时的抗冻级别提高为F400,是考虑这些部位要求比其他要求F300的部位有较多不利因素确定的。

关于冻融循环次数的定义在国际上仍然是一个意见分歧、悬而未决的问题。一般认为,混凝土中的自由水冰点接近和略低于 0°C 时,吸附薄膜水冰点更低,实际上不会冻结。美国 T. C. 鲍威尔斯则认为混凝土中的水分含溶解盐,升温时的最终融点约 -1.0°C ,降温时常在 $-5.0^{\circ}\text{C} \sim -12.0^{\circ}\text{C}$ 开始结冰,在 -15.0°C 时可认为全部或绝大部分可冻水已冻结。我国中国水利水电科学研究院和南京水利科学研究院分别作过现场和室内试验,从试验结果看,大体上融点略高于 0°C ,冰点则略低于 0°C 。由于工程设计时只能取得气温资料,而混凝土温度也主要受气温影响,因此只能用气温作为统计指标。

表 5.1.2 的注 1 对不与水接触区仍采用 $+3^{\circ}\text{C}$ 和 -3°C 的气温标准。可以认为,这两个气温大体上接近或分别略高于和略低于混凝土表面 0°C 的温度,因而在目前情况下是适宜的。但是,对水位变化区的温度标准,考虑到现行的规范中所用的月平均气温低于 -3°C 期间的规定,不能恰当反映实际冻融状况,可能造成冻融循环次数偏多或偏少,因此本标准采用“日平均”温度。

表 5.1.2 的注 4 是考虑最冷月平均气温低于 -25°C 的地区现有水利工程少,经验不多所作的规定。

在严寒地区修建的特殊工程,例如抽水蓄能电站,由于在一年中日平均气温低于 -3°C 期间,设计预定水位的涨落次数一般远大于一年内气温从 $+3^{\circ}\text{C}$ 以上降至 -3°C 以下、然后回升至 $+3^{\circ}\text{C}$ 以上的交替次数,因而确定的混凝土抗冻标号可能远高于 F400。因此,在本规范中提出严寒地区的特殊工程,混凝土抗冻级别可根据实际情况采用比 F400 更高的级别。

5.1.3 1986 年发现丰满大坝溢流面(阴面)发生了深层破坏。因此作出了本条的规定,以策安全。

5.1.4 大中型工程抗冻混凝土的原材料应根据工程地址的实际情况和混凝土配合比设计试验结果进行具体选择,以确定既满足设计使用要求又经济合理的混凝土原材料。由于我国地域辽阔,

原材料品种、性能不一,某一原材料的抗冻性缺陷往往可借助其他材料的性能进行弥补。因此本条对原材料未作规定。

5.1.5 在混凝土配合比设计试验中,同时控制含气量和水灰比虽然可以取得良好的控制效果,但由于含气量只能笼统地反映混凝土所含气泡的总量,不能反映这些气泡的大小和分布情况,因而不能直接反映不同引气剂或同一引气剂在出现质量波动时的混凝土抗冻性能。在混凝土水灰比和含气量一定的前提下测试混凝土的气泡间距系数可以准确地反映混凝土中气泡的大小和分布情况,因此提出有条件时可进行混凝土气泡间距系数的测定,以建立混凝土气泡间距系数与混凝土抗冻级别的关系,快速准确地评定混凝土的抗冻性。

小型工程往往由于工程经费和混凝土方量的限制,没有条件进行大量混凝土配合比设计试验。为此,本条提出小型工程可选用的混凝土的水灰比和含气量,并使用有引气作用的引气剂,在施工现场控制水灰比和含气量就可以得到较高抗冻性的混凝土。

表 5.1.5-1 中的水灰比是根据国内经验和美国标准确定的。例如,美国垦务局规定严寒气候区外露面最大水灰比为 0.45,美国混凝土学会(ACI)规定为 0.44,我国东北地区大型水电站一般为 0.40~0.45,个别低于 0.40,都比我国现行设计施工规范严得多。

5.1.6 原材料品质不稳定往往造成实际施工与配比试验结果不符,故材料试验宜注意品质的变异系数。

5.1.7 混凝土早期受冻对其抗冻性的影响比对抗压强度的影响大,特别是钢筋握裹力基本完全丧失。此外,随着混凝土防冻剂和掺防冻剂混凝土的研究不断深入和广泛应用,在经过充分试验论证的基础上,对有耐久性要求的混凝土适当掺加一定量的混凝土防冻剂是可行的。因此,提出本条规定。

5.1.9 砌石结构应用较多,但裂缝也较多,尤其是在水位变化区的浆砌石结构受冻融破坏严重,因此根据以往工程修复经验提出

了材料尺寸的范围及对砌筑材料的要求。我国北方地区一些浆砌石挡水建筑物出现了比较严重的冻融破坏,其主要原因是浆砌石所用混凝土或砂浆的抗冻级别较低,填充的饱满度不够等因素引起的。因此,本条规定在设计时应根据气候分区、冻融循环次数、表面局部小气候条件、水分饱和程度、结构构件重要性和检修条件等按表 5.1.2 选定。

5.2 保温材料

5.2.2 保温材料种类繁多,已在防止地基冻胀和其他建筑物的保温上广泛应用。不论采用何种材料,首先都应符合现行的国家标准和行业标准,如膨胀珍珠岩绝热制品应满足《膨胀珍珠岩绝热制品》GB/T 10303 要求,绝热用岩棉、矿渣棉及其制品应满足《绝热用岩棉、矿渣棉及其制品》GB/T 11835 要求,绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料应满足《绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料》GB/T 10801.1 要求,绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)应满足《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料》GB/T 10801.2 要求等。同时,由于不同建筑物具有不同的特点,因此所用材料的技术指标还应满足设计的技术要求。目前,工程中聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)应用较多,表 1 和表 2 分别列出 GB/T 10801—2 对聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)和聚苯乙烯泡沫塑料板(EPS)的物理性能要求,以供查用。

表 1 聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)物理机械性能

| 项目 | 单位 | 性能指标 | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 带表皮 | | | | | | | | 不带表皮 | |
| | | X150 | X200 | X250 | X300 | X350 | X400 | X450 | X500 | W200 | W300 |
| 压缩强度 | kPa | ≥150 | ≥200 | ≥250 | ≥300 | ≥350 | ≥400 | ≥450 | ≥500 | ≥200 | ≥300 |
| 吸水率 没水 96h | % (体积 分数) | ≤1.5 | | ≤1.0 | | | | | | ≤2.0 | ≤1.5 |
| 透湿系数 23℃±1℃ RH50%±5% | ng/(m· s·Pa) | ≤3.5 | | ≤3.0 | | | ≤2.0 | | | ≤3.5 | ≤3.0 |

续表 1

| 项目 | 单位 | 性能指标 | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------|------------|------|------------------------------|------|------------|------------|------------------------------|------------------------------|
| | | 带表皮 | | | | | | | | 不带表皮 | |
| | | X150 | X200 | X250 | X300 | X350 | X400 | X450 | X500 | W200 | W300 |
| 绝热性能 | 热阻 厚度 25mm 时 平均温度 10℃ 25℃ | ≥ 0.89 ≥ 0.83 | | | | ≥ 0.93 ≥ 0.85 | | | | ≥ 0.76 ≥ 0.71 | ≥ 0.83 ≥ 0.78 |
| | 导热系数 平均温度 10℃ 25℃ | ≤ 0.028 ≤ 0.030 | | | | ≤ 0.027 ≤ 0.029 | | | | ≤ 0.033 ≤ 0.035 | ≤ 0.030 ≤ 0.032 |
| 尺寸稳定性 70℃±2℃下, 48h | % | ≤ 2.0 | | ≤ 1.5 | | ≤ 1.0 | | ≤ 2.0 | ≤ 1.5 | | |

表 2 聚苯乙烯泡沫塑料板 (EPS) 物理机械性能

| 项 目 | 单位 | 性能指标 | | | | | |
|----------------|-------------------|-------|------|-------|-------|-----|------|
| | | I 型 | II 型 | III 型 | IV 型 | V 型 | VI 型 |
| 表观密度 不小于 | kg/m ³ | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 压缩强度(相对变形 10%) | kPa | 60 | 100 | 150 | 200 | 300 | 400 |
| 导热系数 不大于 | W/(m·K) | 0.041 | | | 0.039 | | |
| 尺寸稳定性 不大于 | % | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 吸水率(体积) 不大于 | % | 6 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 |

5.2.3 水工建筑物处于长期浸水或潮湿环境中,保温材料的防水性能不良或吸水率高势必影响其热导率,从而降低保温效果。因此,保温材料应具有长期防水性能。

5.3 分缝和止水

5.3.1 分缝是防止不均匀冻胀开裂的一个重要结构措施。为防

止地基土不均匀冻胀对结构的破坏,分缝应尽可能使划分的块段位于同一冻胀性土基上。由于沉陷缝又常常是造成渗漏、土壤流失,甚至结构破坏的一个因素,因此如果有可能省去沉陷缝时,宜尽量作成整体结构。

5.3.2 冻胀性土基上建筑物的接缝三向变形都大,与岩基上建筑物的接缝有很大区别。缝宽较大时易适应这种变形。

渗水结冰会妨碍接缝自由变形。缝端混凝土容易冻胀或挤压破坏。严重渗漏可导致缝后土壤流失,甚至结构倒塌。因此,缝的结构应能防止渗水和基土流失。

5.3.4 接缝止水应便于检修,例如在外露面用型钢、螺栓,压紧橡胶止水板的办法,作用可靠也便于维修,但需对型钢和螺栓表面进行保护加固,否则可能受冰冻破坏。例如,莲花水电站防渗混凝土面板的接缝止水处采用角钢和膨胀螺栓压紧固定橡胶止水板的办法,就曾经出现因冰冻使角钢扭曲、膨胀螺栓拔除破坏的现象。为此,在混凝土、橡胶止水板、扁钢、膨胀螺栓等的各接触面涂抹一层特殊的结构胶,割断膨胀螺栓没用的部分,再在表面涂抹一层耐老化的特殊结构胶。这种方法有效地解决了上述问题。

5.3.5 橡胶或合成橡胶类材料的止水片具有较好的适应冻胀和温度伸缩变形能力,因此宜采用这种止水片。

国家现行的有关技术标准有高分子防水材料中的片材技术标准《高分子防水材料 第1部分:片材》GB 18173.1,高分子防水材料中的止水带技术标准《高分子防水材料 第2部分:止水带》GB 18173.2等。

5.3.6 柔性止水嵌缝材料填满缝的全部将在构件受热膨胀时被挤出,冷却后无法再充满张开的缝隙,造成拉裂、漏水或下层土料流失。因此,本条规定嵌缝材料不应充满缝的全高。为此,可使缝宽比预计缝宽变形大一倍以上,使填缝材料本身变形不大于50%。缝内迎土侧可充填填充料、木材或矿渣棉等,以免两侧混凝土挤压破裂,缝的中部填以薄层嵌缝止水材料,其厚度小于缝宽一半,这样才能适应缝宽变化,如图1所示。

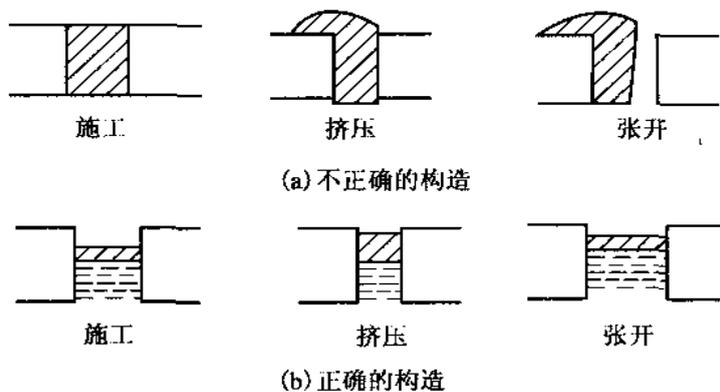


图 1 缝的构造示意

5.4 结构构造

5.4.1 工程实践和室内试验表明,钢筋混凝土比素混凝土表层较易受冻融破坏。其原因是钢筋与混凝土的线胀系数差异较大,当保护层薄时,其界面处易充满水分而使握裹力下降,导致保护层易开裂、剥落。因此,本条对溢流面、底孔、尾水闸墩等另作加厚保护层和钢筋净间距的规定。

配筋设计中缺少支承架立筋易使保护层厚度不足,钢筋间距过密或保护层过薄易使保护层混凝土不密实,这些都会严重影响钢筋混凝土的抗冻性。故设计中应保证保护层的厚度和密实性。

5.4.2 混凝土冻胀破坏是近几年才特别强调的严重冰冻破坏形式。一般的冻融破坏大多限于混凝土表层,至多只导致钢筋外露和溶蚀。但是,近来发现,混凝土还存在冻胀破坏,这也是要特别强调的一种破坏形式。

丰满大坝混凝土冻胀破坏是一个典型事例。该坝建坝初期的施工质量较低,但 1942 年冬蓄水前的照片显示外观尚完好,1943 年蓄水后秋末的照片也只几处渗水。其后各年坝体渗漏急剧增加,多处呈射流状,冬季下游全部冻成冰山。解放初已发现水平施工缝普遍张开,缝宽达 5mm,深度达数米。1951 年初设置的坝顶

水平变位观测标点,当年汛期最大变位达 112mm,至 1954 年 10 月各坝段变位普遍达 240mm~280mm。当时只单纯把产生此种现象的原因归于施工质量低劣,没有认识到蓄水后的冻胀加速破坏作用。20 世纪 50 年代后发现坝顶沉陷标点逐年抬升,至 1973 年后才认为是坝顶局部冻胀。但由于不影响坝体安全,仍未引起重视。1985 年已测到溢流面有鼓包现象,但仍以为是当年施工时模板变形造成的。直到 1986 年泄洪时,12 号和 13 号坝段溢流面大量被冲毁,并发现虽然 1953 年浇筑的溢流护坡面外层质量好,但其下的旧混凝土内有几层平行溢流面的宽达数厘米的张开裂缝,与冬季冻土中产生冰夹层的基土冻胀十分相似,至此才引起震惊,并把这种现象定名为混凝土冻胀。

丰满坝顶冻胀抬升现象左岸比右岸轻,其原因是右岸坝顶廊道下游侧无钢筋,而左岸廊道有竖向钢筋。此外,右岸上游面配有钢筋网,钢筋网内的混凝土比无筋混凝土冻害轻得多。因此,可以认为,钢筋具有限制混凝土裂缝发展,也就限制冻胀发展,从而防止结构破坏的作用。因此,本条规定为防止冻胀开裂宜设置钢筋。

配筋的下限是根据丰满坝顶左岸廊道下游侧配筋量 5.0cm^2 确定的。

5.4.3 本条是在总结国内工程经验基础上对抗冻结构作出的一般要求。混凝土水工建筑物的抗冰冻设计,首先应从构件选型上避免受冻害,然后再提出相应的抗冻措施。一是要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。二是防止混凝土饱和。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。

我国水利水电工程常因施工质量欠佳而不得不在表面加装修层。调查资料表明,表面抹灰极易冻胀、开裂、剥落,并不美观,其原因主要是装修层与混凝土界面粘结强度较低、线胀系数差异较大,变形不一致引起的。国外一般土木工程表面都不加装修。国

内交通、城建等建筑物也大多不加装修层。因此,本条规定设计中应充分利用混凝土建筑物体形、尺度与混凝土质感,提高模板和浇筑质量来满足外观要求。

6 挡水与泄水建筑物

6.1 一般规定

6.1.1 坝顶防浪墙一般不能抗御冰流动撞击,故规定超高只能算至坝顶。鉴于冰情的复杂性,设计中往往难于准确计算,而超高的大小又与工程量的大小密切相关,因此当坝顶超高由抗冰控制而且工程量增加较大时,应根据当地河流建坝前后的冰情进行专题研究,为确定坝顶超高提供依据。

6.1.2 蓄冰库容大小的规定是根据我国西北地区的多年经验提出的。抗冰设计超高是考虑可能出现的冰块堆叠而定的。当开江时,泄水口附近的坝段仍有可能产生冰块堆积,故规定超高应不小于1.5倍库内最大冰厚。武开江一般是由于上游涨水冰层被鼓开而发生的猛烈流冰。由于武开江形势比较复杂,故应考虑多种因素确定超高。在武开江的情况下,特别是伴随有大风浪作用时,不论泄冰与否,都将发生较严重的冰堆积和壅高水位,有的土坝和蓄水闸因此而发生冰块越过坝和闸门。因此,提出武开江较频繁时宜加大超高。至于加高值的大小因工程条件而异,需要根据具体情况研究确定。

在通常情况下,上述的抗冰超高不致超过校核洪水的要求,易于满足。只是在库容较小、流冰初期水位较高和伴随较大风浪的武开江时,特别是坝坡较缓的土坝,才可能不易满足。因此,遇有这种情况时,要认真分析冰情形势和水库的调蓄能力,采取加大超高或加大泄冰能力等措施。

6.1.3 本条是根据过冰试验和工程实践经验提出的。为防止产生冰块挤、卡、壅塞现象,对堰顶和交通桥产生撞击,桥下应有足够净空。

6.1.4 当出现冰坝、冰塞和冰洪时,造成的洪峰流量、流冰量和水

位壅高远比一般武开江严重得多,一般泄冰措施难于应付,故应作专门调查和试验研究,然后进行适当的抗冰设计。

6.1.6 我国东北地区许多大坝坝顶水平或垂直位移测点和观测基点都有变位。分析时常被视为坝体的时效变位,造成误差。有时,甚至观测廊道内引张线和垂线也结霜或结露。因此,设计建筑物的安全监测设施时应避免监测设施受结霜、冰冻或冻胀的影响,例如,变形观测基点和测点采用深锚筋与下部基岩或混凝土连接等方法。同时,设计中在分析和使用已有观测成果时应考虑有无受结霜、冰冻或冻胀的影响。

6.2 混凝土坝与砌石坝

6.2.2 坐落在基岩上的低坝,由于基础埋深浅且基础宽度较窄,坝基础面有冻穿的可能,坝体与基岩之间的抗剪强度可能降低,抗滑稳定计算时要考虑这种影响。

6.2.3 根据工程统计资料,寒冷和严寒地区混凝土的破坏冻深一般在 30cm 左右,为保证止水片的有效性,并参照《水工手册》第 5 卷混凝土坝中有关坝体止水片的建议,提出本条规定。

6.2.4 周边缝冻结会严重改变坝体应力分布,甚至可能影响坝体自由收缩,产生裂缝,对此应引起足够的重视。

6.2.5 碾压混凝土坝的预埋式或拔管式排水管容易堵塞,又无法钻通,且影响碾压施工。采用钻孔式排水管可确保通畅,又便于日后疏通,还兼有取芯压水等补充质量控制作用。

6.2.6 国内一些混凝土连拱坝和平板坝、大头坝均有不同程度的裂缝,局部修补又很难彻底解决问题。桓仁大头坝虽然施工期裂缝众多,但设置封腔盖板后,腔内温度变幅仅为气温变幅的 $1/4$,消除了日温度变化与温度骤降的影响,几十年来运行良好。挪威、瑞典等国的小型平板坝都在下游封闭隔墙,据报道,其运行情况好于小型重力坝。

6.2.7 砌石坝实际上不能起到防渗和抗冻的作用。很多浆砌石

坝往往在上游砌体内作一层砂浆或小石混凝土防渗层,但因不易保证质量,实际上也不能防渗。只有在上游坝面另浇一层钢筋混凝土护面,才能确保防渗,从而减轻坝体的冻害。

6.2.8 坝内廊道竖井中的空气一般均处于饱和状态。由于冬季竖井内气温高于室外气温,“烟囱”作用将湿空气运送到坝顶廊道。这是使坝顶部位混凝土饱和的一个主要原因。设置密闭保温弹簧门可隔断水汽通道,减小坝内温度应力和坝顶破坏。

混凝土虽然有一定抗渗性,但其抗蒸汽透过性却很差。廊道竖井内湿空气容易侵入较单薄的墙壁,引起破坏。用一般油漆即可防止这种现象发生。

6.2.9 坝体闸门井等各种内部充水的井、管,常是渗水、冻胀和冻融破坏部位,故本条规定应作好内部防渗防冻措施,井口封闭,以防止“烟囱”作用。

6.2.10 我国东北地区不少大坝普遍存在路面冻胀破坏现象,最突出的为丰满大坝路面,虽然采用了抗冻混凝土,真空作业,强度也较高,但路面仍发生开裂、鼓起、剥蚀。调查曾发现每年1月路面上抬约10mm,4月回落约9mm,二十多年累计上抬33mm。其主要原因是坝顶以下7m内全部为负温,3m内有冻胀裂缝7条。尽管库水位通常很少达到此高度,但由于坝顶两侧栏杆为实体防浪墙形式,既挡御风吹日晒,积雪融化后又不易自由排水,使坝顶混凝土处于饱和状态。因此,坝顶破损严重。相反,在大坝下游的江桥,由于采用不挡阳光和风雪的稀疏栏杆,排水也比较通畅,桥面混凝土较干燥,运用四五十年至今,除表层砂浆磨蚀露石外,其余情况良好。因此,本条规定坝顶宜采用稀疏栏杆。

6.3 土 石 坝

6.3.1 土石坝的土质心墙、斜墙和铺盖是防渗主体,受冻后易产生裂缝、漏水,这是不允许的。因此,无论是运行中或施工过程中均不应受冻。土质心墙(斜墙)与防浪墙、齿墙、翼墙的连接面是渗

漏的薄弱面。由于混凝土的热导率大于土的热导率,冬季冻深比土的冻深大得多,因此,连接面可能受冻,且往往在交界面上产生受冻裂缝,从而可能导致渗漏破坏。抗冰冻设计中应注意防止出现这种现象。

6.3.2 铺设防冻层有两个作用:一是防止坝坡产生受冻裂缝,二是消除或减小坝坡黏性土的冻胀量。实际工程调查资料说明,坝坡土的冻胀造成护坡局部隆起,加之冰压力的作用,使护坡层在冬季冻结期内产生位移、裂缝、破坏原有的整体性。在解冻期,特别是解冻之初伴随大风的情况下,护坡很易被风浪和淘刷破坏。因此,设置防冻层,减免坝坡土的冻胀是保持护坡完整和抗风浪破坏能力的必要措施。调查还发现,护坡在土的冻胀和冰推力作用下的鼓胀主要发生在冰面至冰面以上 1.5m 左右范围内,相应坡长 4m~6m。在抗冰冻设计中应特别注意这个范围内的防护,并采用非冻胀性土作防冻层。但是,由于历年冬季库水位高低不同,因此规定对于 1、2、3 级建筑物,铺设防冻层的范围在历年冬季最高蓄水位以上 2.0m 至最低水位以下 1.0m 高程。当坝坡土的冻胀级别属Ⅳ、Ⅴ级时,全部冻结层内均将发生冻胀,因此,规定 1、2、3 级建筑物的防冻层厚度包括护坡和垫层不宜小于当地最大冻深;当坝坡土的冻胀级别属Ⅲ级时,防冻层的厚度不小于 0.8 倍最大冻深;坝坡土的冻胀级别属Ⅰ、Ⅱ级和水上其他部位不宜小于 0.6 倍最大冻深。

对于 4、5 级建筑物,要求防冻层太厚可能在经济上不够合理,而且可允许出现一定的冻胀位移,因此本条中规定 4、5 级建筑物可根据工程具体条件适当减小防冻层厚度。

6.3.3 标准冻深大于 1.2m 和冰厚 0.6m~1.2m 的地区主要为辽宁东部和北部、吉林、黑龙江省、内蒙古东部和新疆北部的季节冻土区。这些地区的土坝护坡冻胀和冰推问题较多。由于造成冻胀和冰推的自然因素多变,加之目前虽然提出了一些抗冰推计算方法,但往往不符合实际冰推情况,难于用作护坡计算。因此,本

条中根据已有试验和总结国内外较成功的工程实践经验提出几种抗冰推护坡结构措施。这些措施稍严于现行设计习惯采用的措施,但从保证安全的角度考虑,可以认为基本上是适宜的。本条中对护坡厚度和材料尺寸规定的范围是考虑冰厚和冰压力大小不同而提出的。

根据内蒙古察尔森水库的经验,在水位变化区砌体的砌筑及勾缝采用二级配混凝土得到了较好的效果。

6.3.6 水库在封冰期和封冰后一段时间内,冰层沿斜坡上爬是常见的现象。护坡结构、水库条件和温度状况不同,爬坡量的大小不同。当库水位高和冰面至防浪墙之间的坡长小于冰层的爬坡长度时,上爬冰层的推力可能破坏防浪墙。这种现象在工程运行中曾经出现过。设置陡直段或导滑齿可使顺坡上爬的冰层在未到达防浪墙时折断。

防浪墙的工作状况类似于挡土墙。若坝顶土的冻胀较大,则可能对墙体产生水平冻胀力。

6.3.7 本条第1款是根据本规范第3章非冻胀性土的划分标准(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)和《混凝土面板堆石坝设计规范》SL 228确定的。

面板与垂直墙的连接缝常位于正常蓄水位附近,其设计构造应考虑冰推力。

水库死水位以上或冬季最低水位以上区域的垫层料,冬季将受到不同程度的冻结,因此应考虑可能产生局部冻胀的影响。

东北的莲花混凝土面板堆石坝、小山混凝土面板堆石坝;青海小干沟混凝土面板堆石坝及北京十三陵水库上池混凝土面板堆石坝在建成后均发现膨胀螺栓拔出、角钢被拉弯、橡胶止水带被撕断、面板板间缝部分填料受损等现象,因此本条第5款规定水位变动区面板的止水结构应考虑冰推力的影响。例如,采用镀锌铁片或不锈钢片作为填料的保护罩会增大冰层对止水结构的冰拔力,

因此在寒冷地区不应采用角钢、膨胀螺栓作为柔性填料面膜的止水固定件;采用胶板做面膜时,胶板应平整,边角应密封以防止剪切破坏。根据莲花混凝土面板堆石坝顶部止水修补时采用粘接材料作为柔性填料面膜的止水固定件,可以避免受到冻胀的破坏。

6.4 溢流坝与岸边溢洪道

6.4.1 开江时,冰块最大尺寸有时可达到全河宽,没有闸墩的自由溢流堰较适应过冰。必须设闸(桥)墩时,跨度要尽可能大。

6.4.2 本条是根据过冰试验和工程实践经验提出的。水深不足时,加剧冰块对堰顶撞击,并产生挤、卡、壅塞现象。

6.4.3 面流消能方式能将浮冰送往下游,且不致破坏下游设施。

6.4.4 如果上游泄冰而下游尚未全部开江,特别是由南向北的河流,可能会产生冰坝,从而使下游水位大大增高,影响枢纽工程正常运行,甚至造成两岸的淹没损失。例如云峰水电站施工期由于下游冰块壅积使下游围堰漫水淹没了基坑。

6.4.5 严寒地区水位变化区的岩壁也常会产生冻融和冻胀剥蚀和崩坍,面对大风向侧尤为严重。这种现象在国内一些工程中曾出现过。因此,上下游导墙、护岸设计防护范围内应考虑防止岩壁破坏对工程运行的影响。

6.4.6 本条系归纳国内外经验提出的。当板的厚度较薄时,保护层厚度过大将影响结构强度,因此本条只规定宜适当加大,当结构允许时不宜小于200mm。

6.4.7 土基上的溢流堰不允许受法向冻胀力作用,以免发生向上位移,故规定埋深要大于最大冻深。对于岩基上的溢流堰,在一般情况下不致发生冻胀破坏问题,故埋深可在冻深范围内。但为了预防堰底或岩缝内可能存在的水分冻结时发生冻胀,故要做好排水和锚筋。

6.4.8 迄今为止,对泄槽底板厚度尚未有成熟的计算方法,目前主要用工程类比法确定。根据调查和有关资料,岩基泄槽底板厚

度大多数为 0.3m~0.5m。本规范规定不宜小于 0.4m,主要是依据已有工程经验和冻融破坏与修补因素提出来的。从抗冻融出发,底板钢筋保护层不宜小于 10cm,冻融破坏修补厚度最好大于钢筋保护层 5cm 以上。这样,若板的总厚度小于 0.4m,则剩余厚度将过薄。此外,底板越薄,分块尺寸宜越小,缝就越多,而永久缝也是冻融破坏的薄弱环节。

泄槽底板的分块尺寸是由气候特点、底板厚度、地基约束条件和混凝土浇筑时的温度控制条件确定的。我国《溢洪道设计规范》SL 253 规定为 10m~15m,美国和澳大利亚为 6.1m~15.2m,我国东北地区一些工程为 8m~10m。东北地区的调查发现,不少泄槽底板中心处产生裂缝。根据上述情况,本规范规定纵、横缝间距宜适当减小。

6.4.9 土基上的泄槽底板厚度多数为 0.5m~1.0m。本规范规定不宜小于 0.6m。由于土基对泄槽底板的约束作用比岩基小,故采用较大的分块尺寸,以增加底板的整体稳定性。

6.4.10 岩基上泄槽底板下挖排水沟不易成形。由于埋深浅,首先是出口被冻结,然后是下游侧低处排水沟(管)积水冻胀,使泄槽底板开裂。我国东北地区一些水库的溢洪道均有此现象。因此设置排水设施时,需要考虑防冻措施。排水平洞是排水防冻的一个很好的措施,排水平洞冬季不会因被冻结而不能排水,洞内设排水孔可将岸坡溢洪道山体地下水疏干,施工并不困难。底板上钻设倾向下游的排水孔,虽然也有些孔口易被冻结,但因孔数较多,有些不被冻结的排水孔仍然可起排水作用。

6.5 泄洪洞与坝体泄水孔

6.5.1 坝体中孔、底孔冬季未充满水时,孔内空气与外界空气对流,造成混凝土结霜、冻胀。若闸门并未加盖,则孔洞与闸门井形成“烟囱”作用,冷空气流通使孔、井受冻更严重,甚至开裂。这种现象在有的工程中曾发生过。因此,要在下游作封闭设施或使孔

(洞)出口淹没水下。

6.5.2 过去不少水库采用框架式进水塔,多数受冰推破坏。因此,宜采用抗冰推能力较强的封闭井筒式结构,并进行抗冰推计算。

6.5.3 工作闸门位于首部或中部的泄洪洞和坝身泄水孔,当闸后洞身长度小于 50m 时,将可能出现工作闸门因结冰不能开启的情况。为防止混凝土产生裂缝,孔(洞)周围要增加钢筋,并在其末端加保温设施。

7 取水与输水建筑物

7.1 一般规定

7.1.1 以往的水利水电枢纽工程中的引、输水建筑物设计,一般都按常规进行,未考虑冰冻作用或考虑不够,因而出现过不少事故,如冰凌堵塞、压力钢管受冻和变形等。本章针对这些问题对严寒与寒冷地区有防冰要求的取水与输水建筑物的冬季输水、排冰和输水渠道衬砌结构、暗管与隧洞等抗冰冻设计作出规定。

7.1.2 本条中提出的运行方式是通过几年来的试验研究和工程运行实践总结出来的,而且是目前在有防冰要求的取水与输水建筑物中行之有效的几种主要防冰害的工程措施。

7.1.3~7.1.5 这三条规定是在规划设计过程中,取水与输水系统达到良好的输水、排冰水力条件及工程安全的基本要求。

7.1.6 结冰盖运行时,常由于局部地段冰盖下净空不够或其他原因,造成冰盖上有流水,使冰盖逐步加厚,导致漫渠垮堤的后果。因此,规定超高应较常规设计增大。渡槽、倒虹吸等建筑物两端衔接段的超高亦需增大。

7.2 取水口排冰

7.2.1、7.2.2 为了输、排冰更顺利,更有利于冬季安全运行,一般要求运行方式采用冬季高水位运行,其作用一方面扩大闸前水域满足输排冰要求,另一方面相应增加蓄滞冰库容。为满足输排冰要求,闸前水深一般不宜小于3m。此外,通过实践及试验,在枢纽前凹岸处设置活动导凌筏,可使冰块、冰凌向排冰闸方向流动。排冰闸流速应控制在 $1.2\text{m/s}\sim 1.5\text{m/s}$ 。综合使用上述措施可使水面上80%的浮冰块通畅地排向下游。

7.2.3 根据实测及试验资料,并参照国内外有关资料,为使冰在渠内上浮,流速不宜大于 0.7m/s。

7.2.4 冬季排冰耗水量是根据新疆地区几十个水电站 20 多年冬季运行实测资料,并参照下列一些国内外资料,汇总分析而得:

- 1 河北省东蒿村电站: $O_{耗} = (0.6 \sim 1.0)O_{发}$;
- 2 冰岛焦塞河伯福尔水电站: $O_{耗} = 6O_{冰} + 10$;
- 3 前苏联中亚某河流: $O_{耗} = (4 \sim 9)O_{冰}$;
- 4 加拿大某河流: $O_{耗} = 12.5O_{冰}$
- 5 新疆各站资料: $O_{耗} = (4 \sim 9)O_{冰}$ 。

7.3 明渠冬季输水

7.3.1 按以往有关规范进行常规设计,渠线上设有弯道时,弯道曲率半径都取水面宽度的 3 倍~5 倍。实践证明,这样设置的弯道不能形成完整的环流而产生偏流。根据试验及实测资料,为形成完整的环流,使水力条件良好,弯道曲率半径不宜小于 10 倍水面宽度。

7.3.2 根据我国西北地区 40 多年来与冰害斗争的实践,对于上游无调节水库或远离控制性水利枢纽的径流式电站,在引水枢纽上游或沿渠线充分利用天然洼地修建蓄冰、滞冰水库、人工池(塘)是解决冰塞的有效措施。其水位应比该处引水渠水位低 0.2m~0.3m,其主要作用是为了避免冰凌壅塞在池(塘)进口,导致失效乃至损毁进口。

7.3.3 本条主要从冰凌水力学方面提出防冰冻的设计要求。

7.3.4 对于有输水、排冰要求的渠道,窄深式可减少水面与大气接触面,缩减热交换量,减少底、岸冰的再生条件,使水流通畅,保证冬季运行的安全度。

7.3.6 本条设计流速系根据多年实测及室内模拟试验,并参照了下列一些国外资料提出的:

- 1)苏联《水工手册》新版中提出,结冰盖期渠内流速(v)小于

0.5m/s; 形成冰盖后渠内流速(v)为 1.2m/s~1.5m/s, 小于 2.0m/s。

2) 美国《冰工程》提出, 渠内流速(v)小于 0.6858m/s (2.25ft/s)。

3) 麦克拉克兰提出, 冰的下潜流速(也称临界流速)值为 0.69m/s。

4) 阿斯顿将渠内流速(v)以 0.6m/s~0.7m/s 作为临界值。

7.3.7 根据新疆地区几个电站冬季结冰盖运行实测资料及参照国外资料进行对比后, 推荐比较简化的东北勘测设计研究院提出的公式。有关公式介绍如下:

东勘院公式: 正文公式(7.3.7)。

前苏联《水工手册》新版 A·A·沙巴也夫公式:

$$n = \left(\frac{x_1 n_1^c + x_2 n_2^c}{x_1 + x_2} \right)^{2/3} \quad (1)$$

$$c = 0.5 + y \quad (2)$$

美国陆军工程师团, 凡洛康—萨巴涅也夫公式:

$$n = \left(\frac{n_2^{3/2} + n_1^{3/2}}{2} \right)^{2/3} \quad (3)$$

式中: n ——综合糙率系数;

n_1 ——渠槽糙率系数;

n_2 ——冰盖底面糙率系数;

x_1 ——渠槽湿周长度(m);

x_2 ——冰盖湿周长度(m);

c ——谢才系数;

y ——渠槽指数。

7.3.8 本条是依据已有工程多年运行实践总结、实测资料及室内水力学试验提出的。

7.3.9 公式(7.3.9-1)和公式(7.3.9-2)是根据渠道水流的热量平衡原理得出的。在总热损计算中, 采用了北纬 35°~45°, 水表面

温度 $t_0 = 0^\circ\text{C}$, 饱和水气压 $E_0 = 6.1\text{hPa}$, 空气绝对湿度 $E = 0\text{hPa}$, 风速 $V_f = 5\text{m/s}$ 。

7.4 暗管与隧洞

7.4.1 暗管的冻胀破坏主要取决于管道周围及其下部土的冻胀大小, 故除了当地总冻胀量外, 冻胀沿深度的分布情况是确定管道埋深的重要条件。由于冻胀沿深度的分布因各地条件不同而异, 往往很难全由实测确定, 故本条中对无实测资料时按冻胀沿深度基本呈均匀分布的情况提出不同冻胀级别下的埋深要求。但是, 如果在当地条件下, 例如冻胀很小、水温较高等, 不会发生上述问题, 则可通过论证适当减小埋深。

7.4.2 冬季通水的暗管埋在冻层内, 可能因冻胀和融沉产生过大的变形, 也可能因管内的水结冰影响通水甚至管道胀裂, 因此应论证其抗冻胀稳定性和管内水结冰的可能性及其不良影响。

7.4.3 井管的冻拔可能破坏接头, 故不允许冻拔。抗冻拔措施是要消减冻切力。例如在冻层范围内的井管表面作成尽量平滑或作表层处理: 涂黄油、沥青、工业凡士林以及油与蜡的混合物, 并包以塑料薄膜或玻璃丝布油毡, 设双层套管等。

8 渠道与渠道衬砌

8.1 一般规定

8.1.1 渠道线路的选定受多方面因素的制约,抗冻胀是其中之一。已有的大量观测和试验证明,当渠底高程与冻前地下水位的距离大于地下水对冻结层无显著影响的临界值 Z_0 (表3)和渠道基土冻前含水率小于塑限含水率时,渠道衬砌一般不会有冻胀的危害。因此,从防止冻害出发,在选线时,在综合考虑各种因素的条件下,尽可能使渠道线路避开高地下水位地段。

表3 Z_0 值(m)

| 土类 | 黏土、粉土 | 细沙粒土质砂 | 含细粒土砂 |
|-------|-------|--------|-------|
| Z_0 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |

8.1.2 渠道衬砌较薄,采取抵抗性措施难以达到防冻害的目的,而从适应、回避、削减或消除冻胀等方面选用措施,较为经济合理。我国北方地区大量实测资料证明,当渠道土的冻胀位移值与衬砌允许位移值相差不大时,可通过适应冻胀位移的结构措施解决。当位移值与允许值相差过大时,应采取回避、削减或消除冻胀的措施解决。

衬砌渠道是一种线路性工程,沿渠的土质、水分补给条件和渠道走向往往有较大的变化。土、水、温度是形成冻胀差异的基本因素,对不同冻胀量的渠段应采用不同的抗冻胀措施。因此,衬砌结构抗冻胀稳定性验算,应根据渠道的土、水、温的变化情况分段进行。

8.2 衬砌结构抗冻胀稳定性要求

8.2.1 衬砌渠道的冻害,主要是因渠床土冻胀造成衬砌体过大变位,而且衬砌体又普遍具有体积小、自重轻、所受约束力小等特点,难以抑制冻胀力而遭破坏,故选择允许法向冻胀位移值作为控制

指标。

允许法向冻胀位移值是指衬砌板在冻胀、融沉作用下,不产生累积冻胀或残余位移的允许值,产生此值时渠道衬砌仍能满足设计和正常运用的要求。

渠道衬砌结构的允许冻胀位移值与衬砌板块的大小、衬砌板块间的约束程度、衬砌板与基土间的冻结力、冻胀不均匀度和渠道边坡基土的稳定性等有关。用允许法向冻胀位移值作为抗冻胀设计的控制指标,是当前一个比较简单而实用的方法。本规范表8.2.1中的允许法向位移值是综合我国北方各地的试验观测成果提出的。

在本规范编制过程中,也曾考虑了另一重要控制指标,即“不均匀冻胀系数”。但因确定定量指标的依据尚不够充分而暂未作规定,有待今后继续积累资料再作修订。

8.2.2 同一断面的不同部位,有不同的冻胀位移量,为节省工程投资,可采用不同的抗冻措施。

在按本规范附录 C 计算衬砌渠道的冻胀量时,因衬砌板自重不大而且无外荷载,为安全计,除特殊情况外,可不考虑衬砌板重量对冻胀的影响,取地基土的冻胀量作为衬砌结构的冻胀位移量。

8.2.3 冻结期渠内有冰(水)的渠道,不论衬砌体是起防冲或防渗作用,也不论当地地下水位埋深如何,均应把冰(水)面视为地下水位补给面。在冰(水)面以上一定高度范围内,渠道边坡的冻深一般是一个由小到大的变化值,为计算方便和安全计,本条规定在冰(水)面以上 1.0m 范围内,以冰(水)面为地下水面计算冻深。在冰(水)面以上 0.5m 范围内渠道边坡的冻胀是很强烈的,在此范围内,结冰渠道最大冻胀量位置偏下,冬季行水的渠道最大冻胀量位置偏上,为安全和简化计算,本条规定在计算冻胀量时,在此范围内地下水位埋深取零。

8.3 渠道衬砌结构

8.3.1 多年的工程实践说明,当渠基土的冻胀性为 I、II 级时,按

本条规定的 6 项措施可以满足抗冻胀要求。本条中的第 1 款是利用结构受力特点兼有抵抗和适应冻胀变形两种能力的结构措施,第 2 款和第 3 款是以适应冻胀变形为主的结构措施,第 4 款是利用空气保温以削减渠基土冻胀量的结构措施。

随着新材料、新技术的发展,渠道衬砌的材料和结构也在发展,例如模袋混凝土、土工格室、生态混凝土等。由于这些材料和结构仍在研究和发展中,暂时未列入本规范。因此,本条中,除列出的 5 种断面形式和衬砌结构外,还提出可根据具体情况采用其他适宜的结构型式。

8.3.2 本条规定适用于渠基土的冻胀性级别为Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级的渠道,第 1 款所列的措施削减了渠底冻胀作用、限定了槽侧回填土高度,是兼具削减和回避冻胀作用的结构措施;第 2 款所列的措施是抵御和适应冻胀变形的结构措施;第 3 款属于综合性措施;第 4 款和第 5 款所列的措施是回避冻胀的措施,可彻底消除冻胀,但工程量较大、造价较高,非特殊必要时不宜采用。

强冻胀土地地区的大型渠道,断面形式和沿线的冻胀条件都比较复杂,特别是地下水位又常常较高,在这种情况下,往往难于用单一结构或措施解决其结构的冻胀破坏问题。而 1~3 级渠道的断面和坡长较大,地下水位往往较高,冻胀条件也较复杂,加之破坏带来的后果又较为严重,因此有必要针对具体情况进行专门研究。

8.3.3 分缝是渠道衬砌结构适应、削减冻胀变形的关键措施。渠道衬砌板(块)的隆起、架空是冻胀破坏的主要形式之一。已有的现场试验观测结果发现,渠道边坡冻胀时发生坡长缩短是产生这种现象的一个原因。因此,要求沿渠道周边的分缝要有一定的宽度和适当的间距,以便通过缝宽和缝数的调整满足缩短量,防止板块间相顶而造成的隆起、架空现象。本条中规定的缝型、缝宽和缝的间距是根据国内外工程实践经验提出的。纵向缝数可参照本条规定的纵缝间距和缝宽尺寸范围、依据渠周冻胀后的几何缩短量按式(4)试算确定,渠周冻胀后的几何缩短量可根据渠道断面尺寸

和冻胀量分布情况通过计算求得。原水利部西北水利科学研究所提出估算纵缝数的如下经验式(4),据此确定缝距的方法,可供参考。

$$n \geq \Delta L / (\Delta b - 15) \quad (4)$$

式中: n ——纵缝数;

ΔL ——渠周几何缩短量(mm);

Δb ——缝宽(mm)。

本条中填缝止水材料性能的要求是保证夏季最高气温且受阳光直射下不流淌,冬季最低气温下仍具柔性,能适应上述渠坡长度冻胀变化时缝宽的伸缩变化而提出的。

8.4 冻胀土基处理

8.4.1 在衬砌结构下设置保温层如聚苯乙烯泡沫塑料板、高分子防渗保温卷材等,削减或消除渠基土的冻胀,具有施工简易、效果明显、造价较低等特点。

本规范表 8.4.1 中的设计热阻值是指为达到建筑物或墙后地基土不发生冻结所需的最小热阻值。表中的设计热阻值是根据黑龙江省水利科学研究所、河北省大清河河务管理处和山东省水利科学研究所等单位的试验成果整理得出的。

硬质泡沫保温板吸水性对其热导率的影响很大。因此,使用吸水性的保温材料时应防水或通过试验确定其最大吸水率,并在设计中采用与长期最大吸水率相应的热导率。黑龙江水利科学研究所对聚苯乙烯硬质泡沫板进行的试验得出不同吸水率时的热导率增大系数如表 4 所示,可供参考。

表 4 EPS 板热导率增大系数与体积吸水率关系

| 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:EPS 板的密度为 $20\text{kg}/\text{m}^3 \sim 30\text{kg}/\text{m}^3$ 。

保温板的物理力学性能主要包括保温板的密度、不同荷载下的压缩量、吸水率和热导率等。设计中宜根据上部荷载的大小考

虑相应的压缩量对结构物的影响。从已有工程应用来看,对于1级~3级的建筑物和渠道保温板的密度一般以不小于 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 为宜。

8.4.2 采用本条作为渠道抗冻胀措施时应注意下列各项:

1 应保证置换层在冻结期不饱水或有排水出路。

2 应严格保证置换土料的非冻胀性和防止在使用期间受细颗粒淤塞。

3 渠道是线路性的工程,特别是冻深和冻胀量较大的地区置换量过大不一定经济可行。

8.4.3 本条是通过降低渠床土的含水量以削减冻胀的措施,也是保证置换层能有排水出路的方法。采用本条措施的关键是准确掌握当地的水文地质资料,搞好排水设施(盲井、暗管、反滤体等)的设计,并能保证其长期正常工作。

8.5 渠坡稳定要求

8.5.1 土质渠道或以土石料护面的埋铺式膜料防渗渠道的边坡常常因基土冻融作用在春融期间发生滑塌,以致实际存在的稳定的断面形式大致都成为弧形、弧底梯形、弧形坡脚梯形,其宽深比都大于1.0,因此本条作出相应的规定。

8.5.2、8.5.3 渠床属强冻胀性的土质渠道,在融化期,坡面表层融化后,土体中的水分不能渗入尚未融化的冻结层而滞留在冻融交界面,形成抗剪强度很低的超饱和土层,致使融化土体可能沿此界面下滑,并出现逐层下滑塌坡。为防止边坡在融化期出现这种滑塌,故规定1级~3级渠道应进行边坡稳定性验算。

9 泵站与电站建筑物

9.2 前池排冰

9.2.1 以往在前池容积的计算中,未计入在冬季正常水位运行时冰盖所占有的容积,因而导致前池超高不够而漫顶失事或强制降低正常水位运行而损失大量电能。因此,前池容积应计入冰盖所占容积。

9.2.2 通过这几年来对引水式水电站防冰害的调研发现,各地区前池的布置形式繁多。为统一名称,本条进行系统归纳定名。各种布置形式如图 2 所示。从运行效果来看,其中以正向排冰正向引水的布置形式最佳。

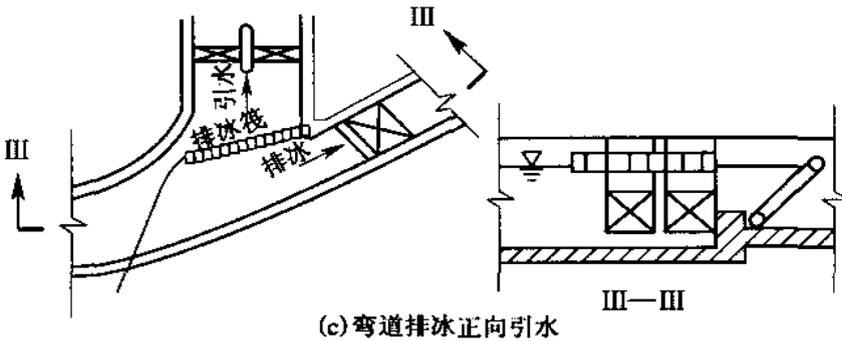
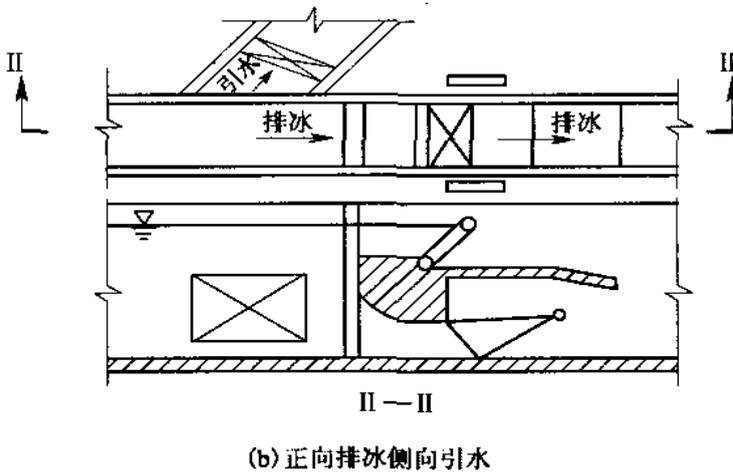
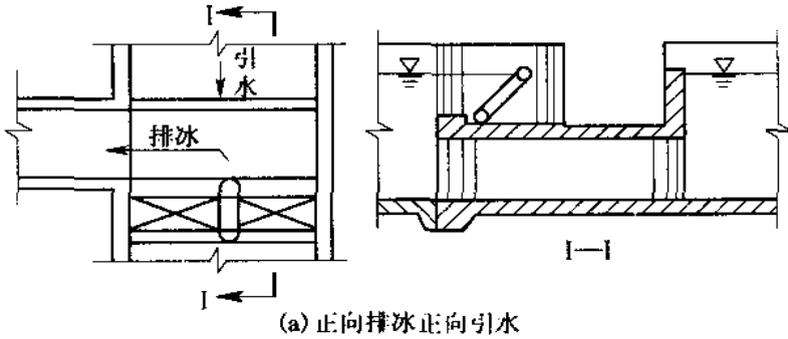
9.2.3 通过实际运行证明,排冰闸中心线和引水渠中心线布置在同一条直线上时,水流非常平稳,闸前无回流和旋涡。反之,闸前流态比较紊乱,出现回流、旋涡、水流顶托等现象,导致闸孔出流流速分布极不均匀。

9.2.4 为了使水流平衡,满足浮冰(凌)沉沙的流速要求,在排冰闸前设置缓流渠段能起到浮冰、排砂作用,其长度不宜太长或太短。太长时,由于水力排冰、排砂能力的影响长度有限,排冰、排砂效果不理想;太短时,会影响侧向进水口的水流流态。经过现场实测结合模型试验验证,其长度一般控制在 20m~40m 范围内为最佳,其断面形式以宽度与排冰闸等宽的矩形为好。为了减少入渠冰量,在进水闸前缘应设置活动或固定的导冰筏。其潜入深度与冰块厚度有关。我国西北地区一般冰厚在 0.8m~1.2m,故本条规定采用潜入深度为 1.5 倍~2.0 倍冰厚为宜。

9.2.5 以往寒冷地区尤其是我国西北地区已兴建投产的引、排水系统中,其变断面的衔接段都紧靠闸体,长度也较短,因而在闸前

均出现回流旋涡区,易形成冰塞、冰堵及闸孔出流不均,导致排冰效果较差。本条规定是根据现场实测资料结合室内整体水力学模型试验提出的。

9.2.6、9.2.7 这两条是根据我国西北地区某电站进行整体水力学模型试验的结果提出的。



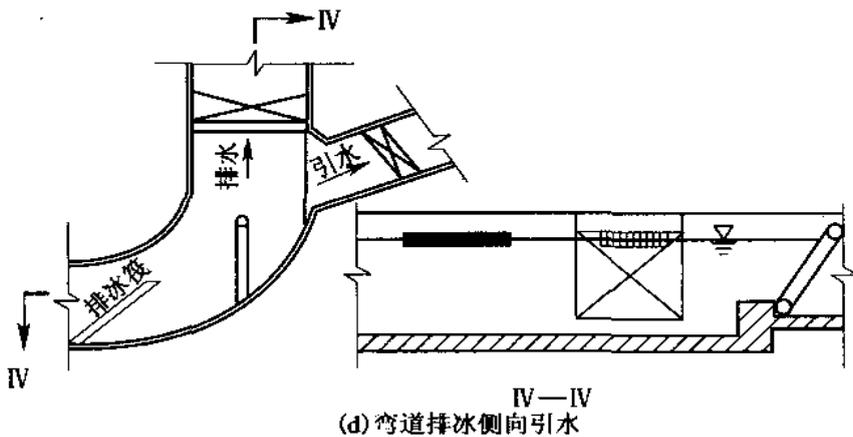


图 2 前池引水、排冰布置示意

9.2.8、9.2.9 常规的泄水渠主要为电站弃水服务,但严寒地区还要结合排冰、凌,故这两条对泄水排冰渠道提出相应的要求。

9.3 地面厂(泵)房

9.3.1 地面厂(泵)房,特别是抽水站的泵房若布置在高边坡和地下水位高的地段往往因土坡的强烈冻胀、滑坡,危及泵房,管道发生上抬变形。这种事故曾在我国东北地区一些工程中发生。积雪深的地段,特别是有雪崩危险的地段将对地面厂(泵)房产生过大的雪荷载。

9.3.2 地面厂(泵)房的出水池常常是泵房及其附近地下水位壅高的一种原因。因此,除作好排水外,冬季不运行时,出水池与相连渠道都应能放空。

9.3.3 不少中小型地面厂(泵)房外墙地下(水下)部分使用浆砌石,冬季受冻破坏严重,故规定设计外墙时应考虑冻胀力的作用。

9.3.5 一般中小型工程的地面厂(泵)房设计只有土建结构设计,而无采暖保温设计。这是造成冬季受冻、出现问题的原因。因此,本条规定应考虑采暖保温设计,而且力求经济、节能。例如,对于冬季不运行而需要采暖的中、小型地面厂(泵)房,往往不易做到冬季采暖,而且目前有采暖的也多用煤炉,既不经济又不安全。因

此,有条件时可考虑采用温度继电器自动起停的电热系统。这样,即使远离居民点,由一人值班定期照看即可,既经济又有效。

9.3.6 运行经验表明,地面厂(泵)房室内温度一般不必过高,适于工作人员巡回检查即可。只是在长期有人工作的部位才需较高的室温。风、水、油、电系统采取局部采暖常比一般采暖容易解决结霜、结露、潮湿和管路冻结等问题,所需电量也不多,比锅炉有效。

9.3.7 本条是综合了我国东北地区一些小型电厂和泵房的运行经验提出的。

9.3.8 冬季不运行的地面厂(泵)房,室内渗漏水位常与四周地下水水位或尾(进)水水位齐平。冬季结冰冻胀可能危及楼板梁系的安全。如果板梁位置高于冰面,则无此问题。

10 闸涵建筑物

10.1 一般规定

10.1.1 闸涵建筑物除按常规选址条件选址外,还要考虑影响地基土冻胀和冰凌作用的因素,包括工程地点的标准冻深、设计冻深、冻胀量和地基土的冻胀级别。因此,选址时宜避开冻前地下水位高、有侧向地下水补给的地点,也宜避开强冻胀土质地基和武开江的河段等。这样,可以减免地基土的冻胀和冰压力作用。

10.1.2 由于闸涵建筑物各点的高程、朝向和土质等不同,地基土的冻深和冻胀量不同,因此要选择典型断面进行计算。图3是设计控制断面上计算点的选择和地基土设计冻深线、冻胀位移线示意图,可供设计参考。

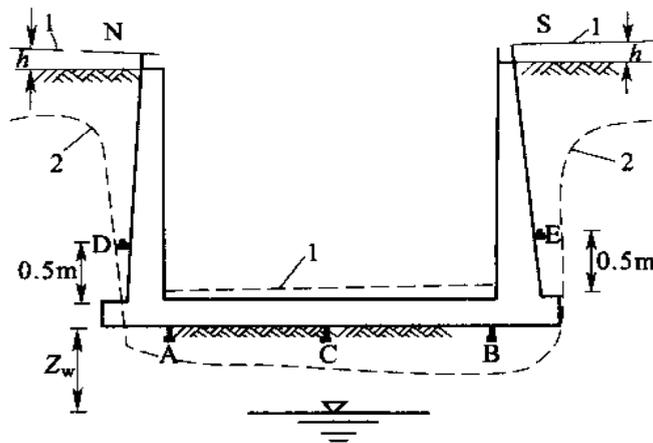


图3 控制断面计算点、地基土设计冻深线、冻胀位移线示意

A~E—计算点;1—冻胀位移线;2—地基土设计冻深线

10.1.3 采用开敞式过冰设施,有利于大冰块顺利排泄,减免闸前壅冰现象。

1、2级建筑物对泄流和泄冰要求都比较高,冰流量大,冰情条

件比较复杂,因此宜通过整体水工模型试验确定满足过冰条件下的工程布置和流态,以免发生类似某些工程曾出现过的壅冰等问题。

闸墩(破冰墩)前沿作成斜面可减小冰压力的水平分力,有利于闸墩稳定。据有关资料介绍,当墩头与水平面的夹角大于 75° 时,冰块多呈挤压破裂;当夹角为 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 时,一部分呈挤压破裂,另一部分则上爬;当夹角小于 60° 冰块则基本上是受弯(剪)破坏。

10.2 结构与布置

10.2.1 近年来的抗冻工程实践证明,涵闸工程的结构与布置是影响建筑物抗冰冻实效的关键要素。我国“三北”地区已有的集中点(线)式布置和整体式、柔性结构(如一字形闸、U形闸整体式结构、倒T形结构和柔性护砌等),经工程实践验证,都具有较好的抗冻胀效果。

10.2.2 大中型水闸边墙结构有直墙式和斜坡式。有的水闸采用直立式边墙,而翼墙做成河岸护坡形式。由于冬季斜坡底板大部分露出水面和地基土冻胀而使两岸斜坡面出现大量平行于水流方向的裂缝,对侧向防渗极为不利。因此,在有冻胀作用的情况下,宜首先选用直墙式。边墩直接挡土时,在土压力或水平冻胀力作用下均可能发生变形而影响闸门操作,边墩和底板也产生较大的弯曲。此外,闸室受两个方向的水平力作用也加大了闸身的不均匀沉陷。从相邻分部工程的基底压力差来看,闸底板的基底压力小,而边墙在填土压力作用下基底压力大,因此,对于易发生不均匀沉陷的软基,在它们之间宜设沉陷缝。将闸室与岸墙分立,在边墩后面设置轻型边墙,可减小相邻分部工程基底的应力差。

10.2.4 铺盖板的厚度较薄,抵抗变形的能力较差,当冬季暴露时,在冻胀力作用下易受破坏。减小分块尺寸可以增大刚度,但分块过小时分缝又过多。因此,要合理分块。

10.2.5 涵闸底板在法向冻胀力作用下,板的上部将变为受拉区。

不少涵闸底板均因此而发生开裂。因此,宜布置上下两层钢筋。

10.3 稳定与强度验算

10.3.1、10.3.2 冻胀土基上的涵闸建筑物可能承受法向、水平、切向冻胀力和冰压力的综合作用,因而往往发生累积性不可逆的竖向位移或倾斜,底板开裂,岸墙前倾、裂缝,基土冻融淘刷乃至建筑物倒坍等破坏现象。因此,要根据不同的受力条件进行稳定和强度验算。

在有冰压力和(或)冻胀力作用的情况下,闸室基底的地基应力要比常规设计情况复杂。此时,有切向冻胀力、边墩与岸墙结合在一起时的水平冻胀力对闸室基底的应力产生作用,使基底压力分布很不均匀。当闸室基底压力最大值与最小值之比过大时,将会导致基础板发生过大的沉降差,使闸室结构发生倾斜、变形,甚至断裂。因此,要求验算冰压力和(或)冻胀力作用下基底压力。

冰压力的作用主要是指动冰压力作用,因为闸门不允许承受静冰压力。但现有的实际工程中,往往仍承受静冰压力。因此在设计中也还要适当考虑可能出现的不正常情况,故本条中未明确规定只计动冰压力的作用。

在实际工程中曾发生过因闸基发生冻胀,融化期抗剪强度和抗渗能力降低,当渠道放水和闸门挡水时闸基被淘,导致垮闸的事故。因此,在验算闸体抗滑稳定和渗透稳定性时,特别是融化期挡水水位较高的情况下,应注意闸基和边墩侧因土的冻融可能产生的抗剪强度和抗渗能力降低的问题。但是,由于地基土融化时的抗剪强度变化较大,当土中含水量无很大变化时,强度降低幅度较小;含水量变化大时,强度降低幅度较大;如果上层融土下有冰夹层,则将形成光滑的滑动面,强度将大大降低。由于情况变化多,目前实测资料又较少,因此还难于定量,只能根据具体情况确定,同时,主要还是要要在设计中采取结构措施。

10.3.3 我国黑龙江省低温建筑科学研究所、黑龙江省水利科学

研究所、中科院冰川冻土研究所、吉林省水利科学研究所和日本北海道开发局等国内外试验资料表明,当约束土体冻胀的结构沿冻胀力方向发生位移时,冻胀力将很快衰减。公式(10.3.3-2)中的法向位移影响系数是按上述各家相对变形量与冻胀力衰减关系的外包线得出的。该公式也适用于水平冻胀力和切向冻胀力的计算。

10.4 抗冻胀措施

10.4.1 水工建筑物抗冻胀破坏措施概括起来,一是加强结构强度,二是消减冻胀力和冰压力,有条件时还可采取回避冰冻压力的措施。当冰冻条件较严峻时,单一措施可能达不到要求,此时需要采取综合措施。本节规定了保温法和置换法两种主要工程措施的技术要求。

10.4.2 用保温材料保温,削减或消除地基土冻胀,具有施工简易,效果明显等特点。保温材料较多,如泡沫混凝土砌块、水泥(或沥青)泡沫珍珠岩砂浆、聚苯乙烯泡沫、聚氨酯泡沫等,目前,水利工程中采用聚苯乙烯硬质泡沫板保温的较多。但是,在实际工程中发现有的保温效果并不理想。究其原因主要是材料质量和长期浸水。因此,采用保温板保温时必须保证所用材料的技术指标合格和防水性能良好。

保温板的水平加宽和垂直加深铺设尺寸的规定是为了达到建筑物地基土不发生冻结的目的确定的。

10.4.3 根据我国华北、东北部分地区的实测资料归纳,湖泊和水库中的冰层厚度一般是当地基土冻深的0.5倍~0.6倍。考虑到闸涵建筑物的保温水层较薄,且易受周侧冻结的影响,故本条规定保温水层厚度宜大于当地的最大冰厚。

10.4.4 置换法是基础防冻胀技术中常用的措施之一。但由于对此方法的适用范围和条件掌握不当,置换后材料周围反滤层失效,在长期运行中受周围原状土中细颗粒“淤塞”而改变了置换基土的

不冻胀性,以及置换料的细粒含量未达到标准要求和施工不良等原因,往往达不到置换的目的。因此,本条规定了采用置换法需注意的要点,同时增加了置换深度的具体要求,以及置换材料中细粒含量较多和置换深度达不到要求时的剩余法向冻胀力计算方法。

表 10.4.4-1 所列的涵闸基土置换比是根据本规范表 4.0.3-3 的地基土冻胀量与单位法向冻胀力关系确定的。

表 10.4.4-2 所列护坡基土置换比是考虑上部荷载 5kPa 的条件下,按允许变形 1.5cm 确定的。

当置换材料中细粒含量较多时,置换层内仍将产生冻胀。因此,应根据细粒含量确定土的分类,并按本规范附录 C 确定其冻胀量和相应的冻胀力。当置换深度达不到要求的置换深度时,基础还存在剩余的冻胀力,因此给出剩余法向冻胀力计算公式。

11 挡土结构(墙)

11.1 一般规定

11.1.2 本条按地基土的冻胀级别对挡土墙埋深作出限定,目的是避免挡土墙在冻胀量较大的地点受法向冻胀力作用而产生开裂、过大倾斜或倾覆,确保挡土墙抗冻胀稳定性和结构强度。Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级冻胀地基上冻胀量和法向冻胀力均较大,而且,当冻结地基融化时,墙趾处地基土先融化和强度降低,从而发生墙身前倾乃至倾倒。因此,建在Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级冻胀量地基土上的挡土墙基底深度应大于基础设计冻深,即墙基下的地基土不被冻结。

11.1.4 有水平冻胀力作用的挡土墙,例如闸涵等建筑物的侧墙与翼墙之间在平面布置上如果用直角联结,在两向冻胀力作用下,墙角处将出现较大的集中拉力,因而产生裂缝,甚至断裂,这已被许多工程实例证实。因此,平面布置上宜采用圆弧形联结。总水平冻胀力的大小与墙后填土高度有直接关系,因此在可能的条件下宜尽量减小墙后的填土高度,同时宜采取防水、排水措施,尽可能减少渗入土中的水量。本条对挡土墙的结构形式和布置提出要求,目的是避免或减少冻胀力对建筑物的作用。

11.1.6 墙体基础布置在同性质土层的同一高程上,不仅可以减少地基的不均匀沉陷,而且可以减少不均匀冻胀对墙体的破坏作用。

11.2 水平冻胀力的计算

11.2.1 墙后的土体受来自垂直地表和墙体两个方向负气温作用而处于双向冻结状态。由于冰晶的增长方向垂直于等温线,因此外露墙体的高差和厚度均直接影响到水平冻胀力沿墙高的分布形式。多年来,国内有关单位进行过不少挡土墙水平冻胀力的观测

试验研究,例如黑龙江省水利科学研究所哈尔滨试验场的实体和模型挡土墙工程,吉林省水科所和水利部松辽委科研所在东阿拉和大安屯两处的锚定板挡土墙工程,水利部松辽委水科所在长春地区西新和向阳的模型挡土墙工程,黑龙江省水利设计院在巴彦县的东风水库挡土墙工程和铁道部西北研究所在风火山冻土站的现场实体挡土墙和模型挡土墙工程。这些挡土墙的外露墙高范围为 1.6m~3.0m。因此,规定本节的计算适用于墙前地面至墙后填土顶面之间的高差为 1.5m~5.0m 的薄壁式挡土结构(墙)。

11.2.2 分析上述试验和观测所得的 80 组资料说明,在墙顶一定范围内不存在冻胀力或很小,最大单位水平冻胀力出现在距墙前地面高程以上一定高度的回填土内,水平冻胀力沿墙高的分布多数呈近似三角形。因此,根据已有试验资料,采用与实测压强图的冻胀力矩和合力相等,最大单位水平冻胀力作用点不变的原则,通过计算得出如本规范正文图 11.2.2 所示的三角形单位水平冻胀力压强分布图。

本规范表 11.2.2 中的非冻胀区深度系数 β_0 值是根据现有的试验结果,分析挡土墙后回填土不同冻胀级别时的非冻胀区深度系数得出的。

墙后填土的冻胀量主要取决于填土的土质和地下水位,经过对已有试验结果的分析计算,取最大单位水平冻胀力作用点距墙前地面以上 0.5m,如图 4 所示。

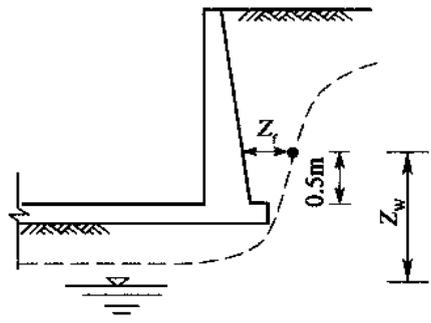


图 4 冻胀量 h_d 的计算点示意

本规范公式(11.2.2-1)中的系数 α_d 值是考虑悬臂式挡土墙在水平冻胀力作用下可能的变形后通过计算确定的。由于变形性能较大的支挡建筑物的变形量差别可能较大,因此规定按本规范公式(11.2.2-2)计算系数 α_d 值。

墙背坡度的改变将对水平冻胀力值产生影响。因此,在公式(11.2.2-1)最大单位水平冻胀力的计算中加入了边坡影响系数和墙体变形影响系数。悬臂式挡土墙的墙背坡度一般都小于 0.15,因此,参照日本北海道开发局土木试验所的试验成果给出边坡度影响系数 0.85~1.0。黑龙江省低温建筑科学研究所、黑龙江省水利科学研究所、中科院冰川冻土研究所、吉林省水利科学研究所和日本北海道开发局等国内外试验资料表明,当约束土体冻胀的结构沿冻胀力方向发生位移时,冻胀力将按指数规律衰减。本规范公式(11.2.2-2)是按上述各家相对变形量与冻胀力衰减关系的外包线得出的。

11.3 抗冻胀措施

11.3.2 当挡土结构(墙)后置换的非冻胀性土的粒径较粗时,渗透性较强,因此在采用置换措施时,应注意满足渗径要求。

11.3.3 单向铺设方式是指只在墙背沿墙体铺设保温材料,从而将原来来自墙体和填土面两个方向的负气温作用而形成的双向冻结状态改变为只有垂直于墙后填土面的单向冻结状态。

在挡土结构(墙)较矮和地下水位较高的情况下,用单向铺设方式时,墙后填土面仍可能有较大的冻胀,对铺面道路或其他露天设施产生破坏作用。因此,在这种情况下宜采用双向铺设方式。此外,全水平铺设方式存在自保温板端部向板下土体的侧向冻结作用,从而亦可能产生对上部设施的冻胀破坏。因此,在这种情况下宜采用水平与垂直帷幕式相结合的铺设方式。

12 桥梁和渡槽

12.1 一般规定

12.1.1 在寒冷地区土的冻胀级别属Ⅰ、Ⅱ级时,一般桥梁和渡槽桩基的抗冻拔力均大于冻拔力。实际工程调查亦未发现在上述条件的地区有桩基冻拔造成的破坏现象。因此,本条规定当土的冻胀级别属Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级时,应进行抗冻拔稳定和强度验算。

12.1.2 桩基础每排桩的根数是根据承载力和抗倾覆要求确定的。桩的根数愈少,总切向冻胀力愈小,而作用于单桩上部的荷载愈大,按承载力的人土深度也相应增加;桩径愈小,总切向冻胀力亦愈小。所以,减少桩的根数和桩径,对抗冻拔十分有利。因此,本条规定冻土地区的桩基宜尽量减少桩的根数和减小桩径。单根桩能够满足要求时,不宜采用双桩;双桩能够满足要求时,不宜采用多桩。

12.1.3 建筑在河(渠)道上有过冰要求的桥梁和渡槽,在流冰期,冰块将对其桩(柱)基础产生冰压力。当基础阻滞冰块下泄时,可能形成冰堵,抬高上游水位,甚至造成上游河水漫堤或危及桥梁和渡槽安全。为避免或减小动冰压力,并使冰块平顺下泄,增大单跨长度是有效的。

12.1.4 河床冲刷改变了基础的埋置深度,特别是对于埋深较小的扩大板式、排架底梁式和墩式基础。若考虑冲刷影响不够,冬季土的冻结深度往往达到基础底面以下,从而产生对基础底面的竖向冻胀力,这对建筑物的安全是极为不利的。

12.1.5 当桩柱基础设置横系梁来增加整体刚度时,若横系梁设置在冻(冰)层内或过于接近地(冰)面,在地基土冻胀时,将承受很大的法向冻胀力,使基础上抬或拉断。本条中至少40cm距离的规定是以一般地面冻胀量不超过40cm作出的。有些桥的排架基础,在设计时因对冲刷深度估计不足,或施工时埋深不够,工程运

行后因冲刷而使底梁进入冻层。此外,当发生淤积时将缩小地面与地上横系梁的距离,这些都将因土的冻胀造成危害。因此,为了防止这些现象的发生,设置横系梁时应考虑冲刷和淤积影响。

12.1.6 渡槽的进出口段与槽身的联结处常常因基土冻胀而发生错位,造成漏水,乃至使结构破坏。所以,设计时应按本规范第 10 章和第 5.3 节的要求,做好进出口的抗冻胀设计及进出口段与槽身之间分缝和止水。

12.1.7 冬季输水的渡槽结冰有可能产生对槽身不利的冰压力。因此,要防止结冰盖或根据可能产生的冰压力验算槽身的结构强度。

12.2 基础结构

12.2.1 已有桩基冻害调查结果表明,冻拔破坏多数是由于冻深范围内桩壁粗糙和存在较大凸体所致。由于灌注桩基础施工中,地面以下一定深度内由于水压小而成孔性差,经常出现塌孔现象,使基础不但糙度大,而且形成不规则凸体,加大冻拔力。减小桩在冻土层内桩壁的糙度,可以大大减小基土与桩壁之间的冻结力,有利于基土冻胀过程中沿桩壁剪移而使冻胀力松弛。在冻深范围内设置套管是减小冻拔力简单而有效的方法。

12.2.2 扩大式基础、排架式基础和墩台基础如图 5 所示。这些基础的施工都要开挖基坑。如果地下水位较高,开挖、排水的工程量大,施工困难,工程造价将随之增大。所以,在设计时,应根据施工条件进行经济比较,选择适宜的结构形式。

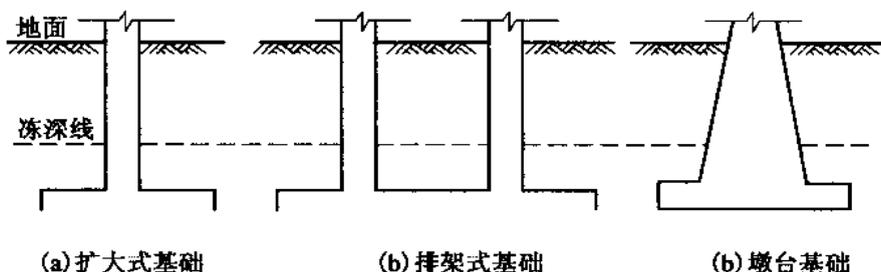


图 5 基础形式示意

扩大式基础、排架式基础的底板和底梁置于冻层下面,对抗拔起锚固作用。如果埋置深度不足,河底冲刷后锚固底板或底梁进入冻层,则不但基础的锚固作用失效,而且将受基底法向冻胀力作用。实际工程中有不少此种破坏实例。因此,在冲刷深度较大的河床不宜采用,特别是在冲刷深度难于估算的不稳定河床更不应采用。

12.2.3 扩大式基础的抗冻锚固作用主要取决于翼板长度。多年来,国内外一些专家、学者对扩大式基础锚固底板的锚固力理论和计算作过一些研究,但由于试验方法及基本假定的不同,所得结果亦不同。因此,本条根据已建工程运行经验和野外试验结果提出对扩大式基础底板的翼板长度的要求,如图 6 所示。满足本规定的尺寸,在无特殊冻拔因素的情况下是安全的。

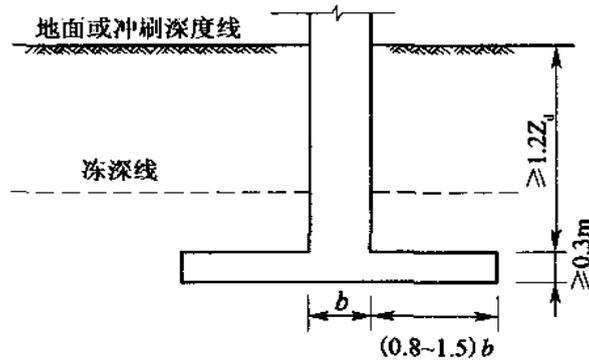


图 6 扩大式基础尺寸示意

12.2.5 墩台基础在冻层内做成正梯形的斜面,并用水泥砂浆抹平,可以改变冻胀力对基础的作用方向,减小切向冻胀力对基础的作用,从而可增加基础的稳定性。但梯形的斜面不宜过陡,本条规定不宜陡于 7:1。

12.3 基础的稳定与强度验算

12.3.1 本条规定桩、墩基础抗冻拔验算时取基础全约束工作状态,即不允许基础向上位移。这是因为:桩墩基础侧壁与土之间的

摩阻力是抗冻拔力的一个重要部分。基础一旦发生冻拔,桩壁与基土产生位移后,摩阻力将大为降低,使抗冻拔力减小;基础冻拔后在融化期不能完全恢复原位,残余冻拔量将逐年积累,导致上部结构破坏。

12.3.2 在桩、墩基础所受的总切向冻胀力计算公式中引进了有效冻深系数 ψ_e 和冻层内桩壁糙度系数 ψ_r 。

有效冻深是指设计冻深范围内自地表算起的有切向冻胀力产生的深度,有效冻深系数为这部分冻深与设计冻深的比值。在影响冻胀的水、土、温三大要素中,在土、温相同的条件下,地下水位的 高低,直接影响冻层内冻胀的分布,如果地下水位接近地表,基土在冻结过程中,水分能够充分迁移,则在冻层内均产生冻胀,此时有效冻深系数取 1.0;如果地下水位较低,基土在冻结的过程中水分迁移困难,则冻层的下部存在一个“冻而不胀”区,该区没有冻胀力产生,故此时的 $\psi_e < 1.0$ 。表 12.3.2 是根据国内已有的观测资料统计分析得出的。

冻层内桩壁糙度大小直接影响基土与桩壁之间的冻结力。实测结果表明,用模板浇筑较光滑的桩壁,在冻胀过程中,基土很容易沿桩壁向上滑移,其位移量可达到冻胀量的 50%,从而使切向冻胀力减小。而糙度系数大,特别是凹凸不平的桩壁,与基土之间的冻结力大,因而桩侧基土冻胀时很难沿桩壁向上位移,切向冻胀力增大。由于本规范表 4.0.3-1 中的 τ_i 是表面平整的混凝土桩、墩的单位切向冻胀力值,因此规定桩、墩外表平整时的糙度系数取 1.0;桩壁粗糙,但无凹凸面时的糙度系数取 1.1~1.2。

12.3.4 基础侧壁与暖土之间摩阻力的大小与基土类别、状态有关。当基础通过不同土质地基时,应按本规范公式(12.3.4)取相应土层的单位极限摩阻力 f_{si} 和厚度 Z_i 分别计算后进行叠加。公式(12.3.4)中的系数 0.4 是将桩基受压条件下土的摩阻力换算为桩基在切冻胀力作用下受拉时下卧暖土层抗冻拔摩阻力的折算系数。前者可在有关规范和文献中查到,而后者试验资料尚少。该

公式中的系数 0.4 是根据水利部松辽委科研所在野外试验场用两根实体试验桩,在地基土为粉质黏土条件下取得的试验资料确定的。按基土的类别及状态确定桩基的抗冻拔极限摩阻力与单位极限摩阻力之间的折减系数为 0.4。单位极限摩阻力是按基土类别及状态取承载力设计时的摩阻力值。

12.3.5 有些基础虽然有足够的抗冻拔力,能够满足整体稳定条件,但在基础的薄弱断面可能因配筋不足而被拔断,因此要进行薄弱断面强度验算。本条中只给出钢筋混凝土的最小抗拔安全系数,其他材料的最小抗拔安全系数可查有关规范确定。

12.3.6 根据冻胀地基上的基础在冻结期间的受力状态,受拉最大的断面位于最大冻深处。此外,设计时经常根据结构的应力变化,在某一部位少配钢筋或改变结构截面,因此存在结构薄弱截面,故验算时除取设计冻深截面外,对这些强度较低的所有截面同样应进行验算。

12.3.7 在基础受冻胀力作用过程中,锚固底板和底梁受有与承载力方向相反的弯矩及剪力,同样应进行强度验算。在冻胀力作用下,柱与底板(梁)连接处拉力最大,故应进行此截面的强度验算。

13 水工金属结构

13.1 一般规定

13.1.4 钢结构发生破坏形式有两种：一种是常见的塑性破坏，另一种是脆性断裂破坏。影响脆性断裂破坏的因素主要是应力状态、低温、焊接缺陷、结构造型缺陷、材料的化学成分和加载速度等。

钢结构材料抗脆性断裂破坏的能力主要根据钢材在负气温下的冲击韧性来体现。

结构工作温度按《采暖通风与空气调节设计规范》GB 50019 中的冬季空气调节室外计算温度计算，或者按极端温度最低平均值计算，都是不合适的。本规范采用主材和焊材的质量等级的试验温度，按结构工作地点的最低日平均温度计算。

低合金高强结构钢、碳素结构钢、压力容器钢和低温压力容器钢的冲击功分别见表 5、表 6、表 7 和表 8。

表 5 低合金高强度结构钢冲击功

| 牌号 | 交货状态 | 质量等级 | 试验温度 (°C) | 冲击功 (J) | 取样方向 | 旧牌号 |
|------|-------------------------|------|--------------|------------|------|---|
| Q345 | 热轧 控轧 正火 正火+回火 | A | — | — | — | 12MnV、 14MnNb、 16Mn、 16MnRE、 18Nb |
| | | B | +20 | ≥34 | 纵向 | |
| | | C | 0 | | | |
| | | D | -20 | | | |
| | | E | -40 | ≥27 | | |
| Q390 | | A | — | — | | — |
| | | B | +20 | ≥34 | 纵向 | |
| | | C | 0 | | | |
| | | D | -20 | | | |
| | | E | -40 | ≥27 | | |

续表 5

| 牌号 | 交货状态 | 质量等级 | 试验温度 (°C) | 冲击功 (J) | 取样方向 | 旧牌号 |
|------|-------------------------|------|--------------|------------|------|-----------------------|
| Q420 | 热轧 控轧 正火 正火+回火 | A | — | — | — | 15MnVN、 14MnVTiRE、 |
| | | B | +20 | ≥34 | 纵向 | |
| | | C | 0 | | | |
| | | D | -20 | | | |
| | | E | -40 | ≥27 | | |

注：摘自《低合金高强度结构钢》GB/T 1591。

表 6 碳素结构钢冲击功

| 牌号 | 质量等级 | 试验温度 (°C) | 冲击功 (J) | 取样方向 | 脱氧方式 | 旧牌号 |
|------|------|--------------|------------|------|-------|-----|
| Q235 | A | — | — | — | F、b、z | A3 |
| | B | +20 | ≥27 | 纵向 | | |
| | C | 0 | | | Z | |
| | D | -20 | | | TZ | C3 |

注：1 脱氧方式：F为沸腾钢，b为半镇静钢，Z为镇静钢，TZ为特殊镇静钢。

2 交货状态：一般以热轧或控轧状态供货，如需方要求并经双方协议也可以正火状态供货。

3 本表摘自《普通碳素钢》GB 700。

表 7 压力容器钢冲击功

| 牌号 | 交货状态 | 试验温度 (°C) | 冲击功 (J) | 取样方向 |
|------------|----------------|--------------|------------|------|
| 16MnR | 热轧 控轧 正火 | -20 | 24 | 横向 |
| 15MnNbR | 正火 | -20 | 34 | |
| 07MnCrMoVR | 调质 | -20 | 47 | |

注：摘自《压力容器用钢板》GB 6654—99。

表 8 低温压力容器钢冲击功

| 牌号 | 交货状态 | 钢板厚度 (mm) | 试验温度 (°C) | 冲击功 (J) | 取样方向 |
|------------|-------------------|--------------|--------------|------------|------|
| 16MnDR | 正火 正火+回火 调质 | 6~36 | -40 | 27 | 横向 |
| | | >36~100 | -30 | | |
| 15MnNiDR | | 6~60 | -45 | | |
| 09Mn2VDR | | 6~36 | -50 | | |
| 09MnNiDR | | 6~60 | -70 | | |
| 07MnCrMoVR | | 16~50 | -40 | 47 | |

注：摘自《低温压力容器用低合金钢钢板》GB 3531。

13.1.5 国内外的工程实践证明，严寒地区闸门选择的止水形式和布置不当时，往往产生渗水，甚至漏水，致使闸门被冻在埋件及建筑物上。因此，应特别注意选择适宜的止水形式和布置，防止发生渗水或漏水。闸门止水橡皮八项指标中，强调在 -40°C 或更低温度下工作时，保证物理机械性中不发生冻裂或硬化现象。

13.1.6 深孔弧形闸门伸缩式充压变形水封止水装置，采用水充压易结冰，故应采用气充压。

13.1.8 严寒地区液压油可采用变压器油，航空飞机油或其他压力油加防冻剂，但气温回升到 30°C 时应保证油质满足使用要求。液压油的凝固点应低于当地日最低气温 10°C 的要求。

13.2 闸 门

13.2.1 利用不冻水域把冰盖和门叶隔开，可防止静冰压力作用在闸门门叶上。

13.2.2 门叶和埋件采取防冰冻措施，使闸门在冰冻期具有开启与关闭的条件。

13.2.3~13.2.5 设置采暖的闸门室是为了防止闸门井内结冰盖，使快速闸门的拉杆被冰冻住，造成闸门不能快速下降关闭孔口。设置采暖启闭机室是为使启门机能在冬季启闭，并防止电设

备结霜或结露。

13.2.6 根据我国黄河中游严寒地区和苏联严寒地区大量闸门的冬季运行经验,舌瓣闸门是引水式水电站中水力排冰最佳闸门形式,带舌瓣闸门排冰次之。带舌瓣闸门上下同时过冰时,易使闸门产生振动造成破坏,故不应上下同时排冰。

13.2.7 舌瓣闸门冬季埋件加热可使闸门排冰开关自如。起吊钢丝绳浸入水中易被冰块剪断,故使用拉杆。

13.2.8 浮动闸门空体在水库中易被冰盖压坏(据潘家口水库的经验),故不宜采用。

13.2.9 为防止充水的通气孔被冰冻死,门窗应能双向开合,防止通气孔排气、进气造成的正负压力破坏门窗。

13.2.11 试验和工程实践表明,焊件开裂多在焊缝应力集中区。采取结构措施可减少应力集中点,使其提高抗裂性能和抗疲劳强度。

13.2.14 在严寒气温下人工用锤击除冰,使结构产生集中的冲击荷载,这是脆性破坏的触发因素。因此,应采用热风、热水化冰。若采用压力蒸气化冰,会使闸室中的机械与电气设备受潮结冰。

13.2.16 本条中的加热功率是按下列公式导出的:

1 定时加热功率计算:埋件加热化冰所需的总热量 $Q = q\rho_i\delta_i A_s/\eta(\text{kJ})$,融化 1kg 冰所需的热量 $q = C_i(t_s - t_k) + Q_i[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$,上述二式中,取冰的密度 $\rho_i = 920\text{kg}/\text{m}^3$,冰的比热容 $C_i = 2.0\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,冰的融化潜热 $Q_i = 336\text{kJ}/\text{kg}$,冰化后的水温 $t_s = 0^\circ\text{C}$,冰温 $t_i = t_k$ 气温,有效作用系数 $\eta = 0.5$,经推导得出本规范公式(13.2.16-1)。

2 连续加热功率计算:采用牛顿冷却公式。埋件传到空气中的加热功率 $N_1 = \alpha_1(t_1 - t_k)F_1/\eta(\text{kW})$,埋件传到过冷水中的加热功率 $N_2 = \alpha_2(t_1 - t_s)F_1/\eta(\text{kW})$,埋件加热总功率 $N = N_1 + N_2$ 。取通过钢板向冷空气的传热系数 $R_{sa} = 0.026\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$,空气中设通过钢板向静水中的传热系数 $R_w = 0.233\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$,埋

件表面加热温度 $t_1 = 0.5^{\circ}\text{C}$, 过冷水的温度 $t_s = -0.1^{\circ}\text{C}$, 有效作用系数 $\eta = 0.5$, 经推导得出本规范公式(13.2.16-2)。

13.2.17 采用冰盖开槽法防冰压力时,可在门前冰盖厚度达到可以双人冰上作业时,在闸门前冰盖上用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,且需定时循环作业,同时要注意人身安全。

13.2.18 本条系根据黑龙江省黑河市卧牛河水库的工程实践、观测和试验资料加安全系数提出的。该地最低气温为 -42°C , 最大冰厚为 1.48m。采用聚苯乙烯板保温,保温板的热导率 $\lambda_x = 0.044\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$, 厚度 $\delta_x = 0.15\text{m}$, 宽度 $B = 3.0\text{m}$ 。

13.2.22 本条是根据辽宁省蓁窝水库等工程实践经验,并参照国外工程实践提出的。

13.2.24 本条规定吹气喷嘴与闸门门叶外缘的距离应大于 3m, 目的是在于防止钢闸门的腐蚀加剧。

13.3 拦污栅

13.3.1 固定式拦污栅一旦被冰堵塞将即刻停水,不能发电。露顶式拦污栅在负温下极易过冷,一碰到冰凌,冰凌与栅条冻结在一起,拦污栅极易被冰凌堵死。因此,宜采用提升式潜孔拦污栅。

13.3.2 回转栅式清污排冰机既可清污又可排冰,这是目前最好的清污排冰机械设备之一。

13.3.4 人工水中清冰时,拦污栅需要倾斜布置。水深超过 3m 时,人工水中清冰困难。

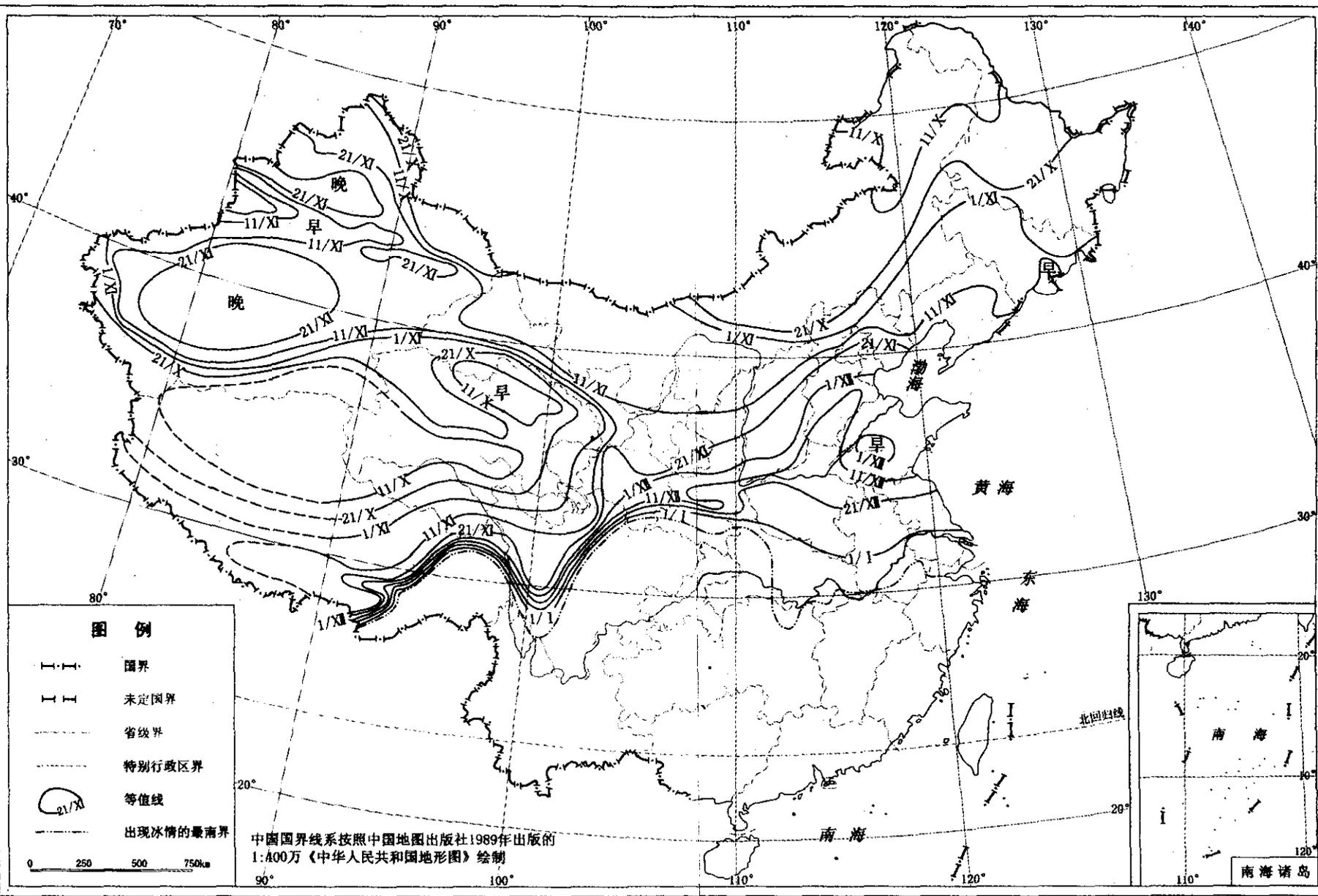
13.3.7 我国与外国电热拦污栅理论上是成熟的,但实践中 90% 是失败的,原因是水道中还有大量冰块存在。因为电热栅条只能不结冰,而不能把冰块融化掉。

13.4 露天压力钢管

13.4.2 在钢管外表面包覆保温板是露天压力钢管防冻的最佳保

温方法。其厚度的计算公式(13.4.2)是按公式(13.2.18-1)和本规范附录 A 中公式(A.0.3)换算得出的。

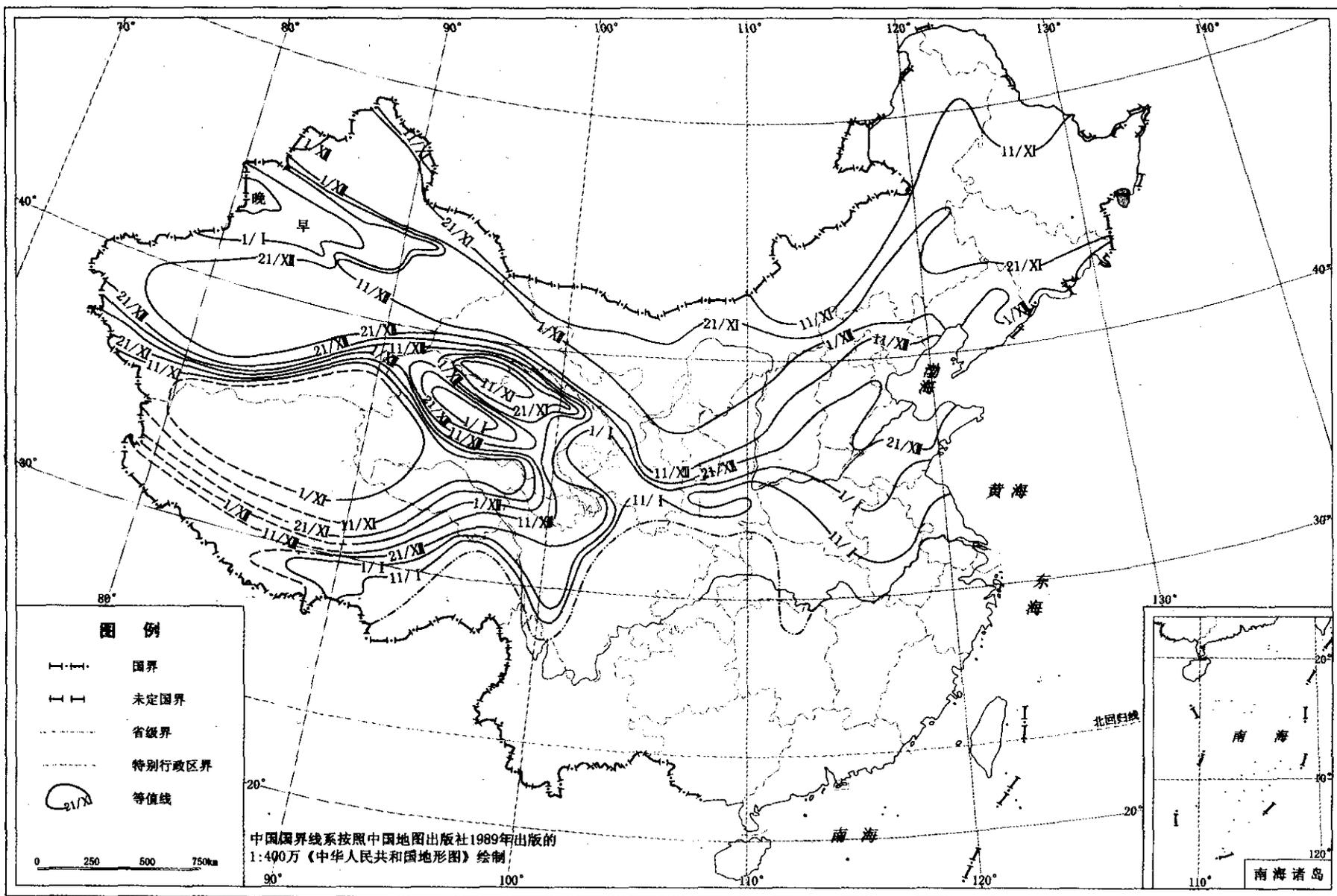
13.4.4 露天压力钢管管内存水成冰会导致钢管因冰胀而破裂，故管内水体应排空。



审图号：GS(2006)1525号

2006年12月15日 国家测绘局

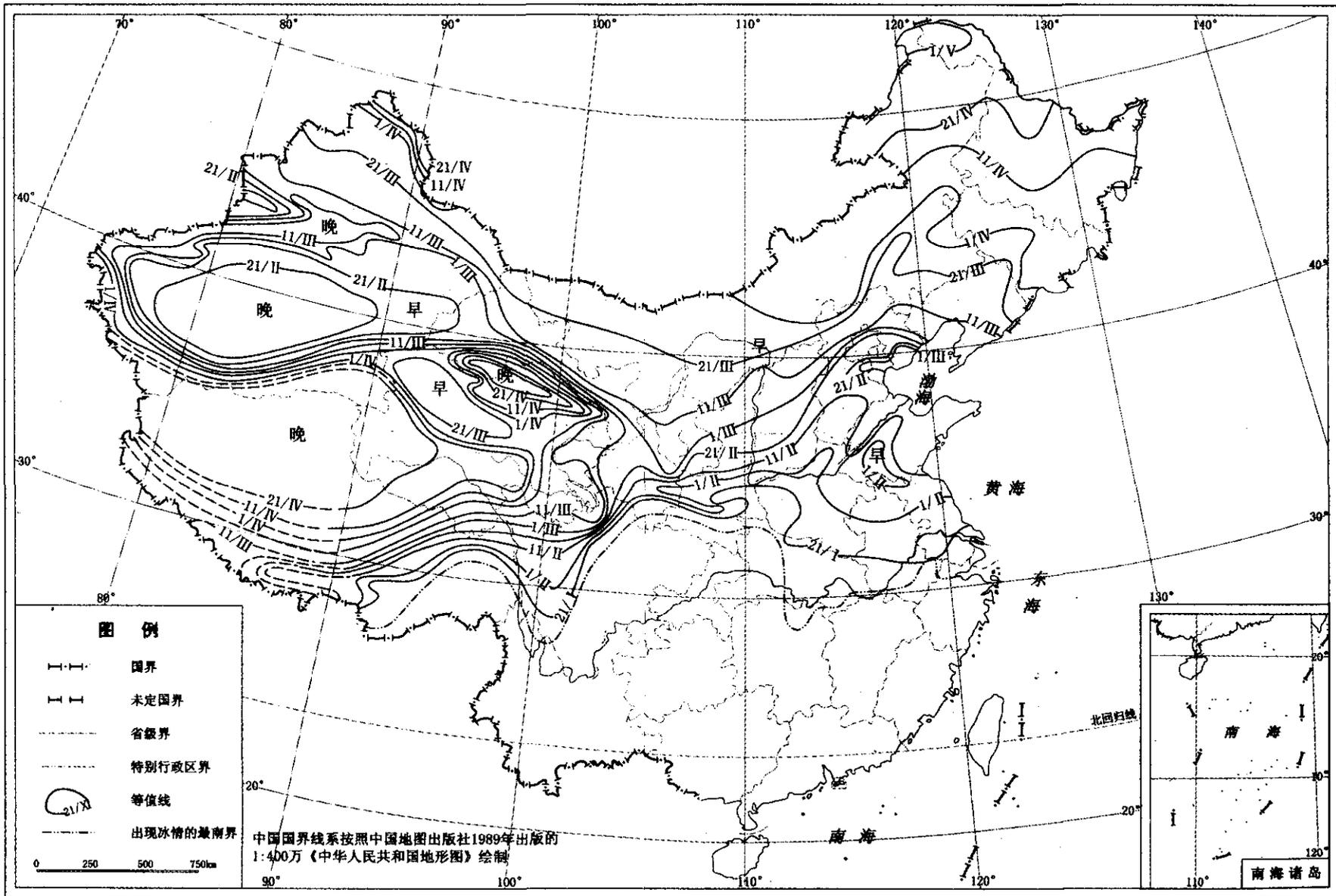
图A.0.2-1 中国河流稳定初冰期图(日/月)



审图号: GS(2006)1525号

2006年12月15日 国家测绘局

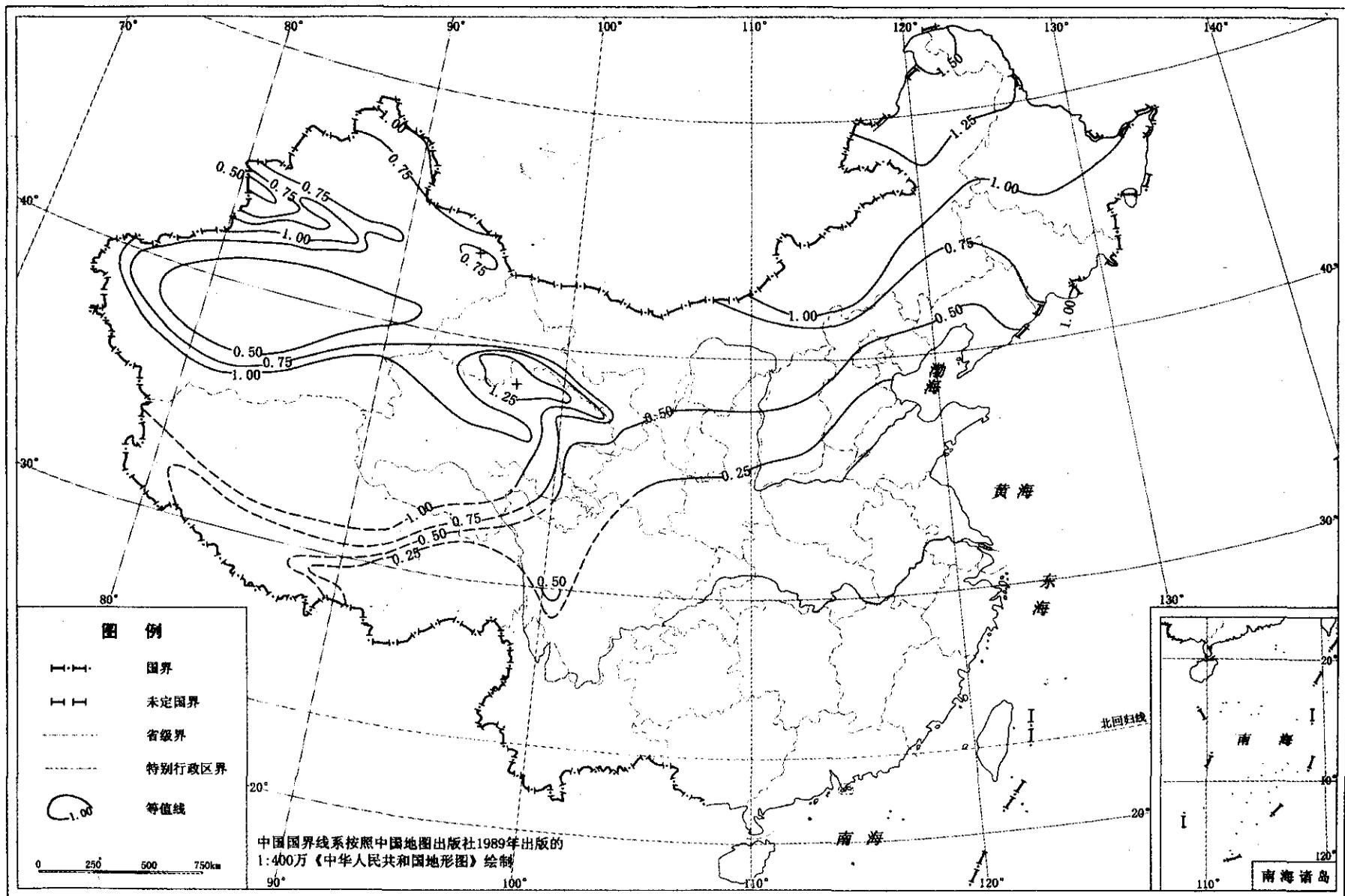
图 A.0.2-2 中国河流平均封冰日期图(日/月)



审图号：GS(2006)1525号

2006年12月15日 国家测绘局

图 A.0.2-3 中国河流平均解冻日期图(日/月)



审图号: GS(2006)1525号

图 A.0.2-4 中国河流平均最大冰厚图 (单位: m)

2006年12月15日 国家测绘局