

ICS 93.160

P 55

备案号 J612-2006

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 23—2006

替代 SL 23—91

渠系工程抗冻胀设计规范

**Design code for anti-frost-heave of canal
and its structure**

湖人灌慨
LAKERS®

2006-09-09 发布

2006-10-01 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告

2006 年第 4 号

部直属各单位，各省、自治区、直辖市水利（水务）厅（局），
各计划单列市水利（水务）局，新疆生产建设兵团水务局：

中华人民共和国水利部批准以下 9 项标准为水利行业标准，
现予以公布（见附件）。

二〇〇六年九月九日

湖人灌既
LAKERS®

附件

序号	标准编号	标准名称	替代标准号	发布日期 (年.月.日)	实施日期 (年.月.日)
1	SL 21—2006	降水量观测规范	SL 21—90	2006.9.9	2006.10.1
2	SL 23—2006	渠系工程抗冻胀设计规范	SL 23—91	2006.9.9	2006.10.1
3	SL 44—2006	水利水电工程设计洪水计算规范	SL 44—93	2006.9.9	2006.10.1
4	SL 211—2006	水工建筑物抗冰冻设计规范	SL 211—98	2006.9.9	2006.10.1
5	SL 341—2006	水土保持信息管理技术规程		2006.9.9	2006.10.1
6	SL 342—2006	水土保持监测设施通用技术条件		2006.9.9	2006.10.1
7	SL 343—2006	风力提水工程技术规程		2006.9.9	2006.10.1
8	SL 344—2006	水利水电工程电缆设计规范		2006.9.9	2006.10.1
9	SL/Z 346—2006	水利信息系统项目建议书编制规定		2006.9.9	2006.10.1

前 言

根据水利部水利水电规划设计管理局水总局科〔2002〕15号文“关于2002年水利水电勘测设计技术标准制定、修订项目及主编单位的通知”要求，按照《水利技术标准编写规定》（SL 1—2002）的规定，对《渠系工程抗冻胀设计规范》（SL 23—91）进行修订。

本标准共5章16节88条和1个附录，其主要技术内容包括：

- 基本参数的确定；
- 主要结构型式的抗冻胀计算；
- 抗冻胀结构及工程措施。

本次修订的主要技术内容有：

- 拓宽了原规范的适用范围；
- 对日照及遮阴程度的冻深修正系数进行细化，提高了参数选择的精度；
- 对土的分类及名称进行了修订；
- 对土的冻胀量计算方法进行了修订，将原规范中两套计算公式修订为一组曲线图；
- 对桩、墩基础的抗冻胀计算公式进行了修改；
- 对挡土墙的水平冻胀力沿墙高的分布进行了修改；
- 对挡土墙的整体稳定验算公式进行了修改；
- 对保温材料的物理力学指标及厚度计算方法进行了修订；
- 修订了原规范不合理的用词；
- 删除了个别不实用的抗冻胀措施，增加了抗冻胀结构措施的内容；
- 对附录内容进行了删减和修改。

本标准全文推荐。

本标准所替代标准的历次版本为：

——SL 23—91

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计管理局

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：黑龙江省水利水电勘测设计研究院

本标准参编单位：黑龙江省水利科学研究院

内蒙古自治区水利科学研究院

西北农林科技大学

中科院寒区旱区环境与工程研究所冻土工

程国家重点实验室

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：王 波 付 宁 程满金 那文杰

张海燕 董长江 申利刚 刘 刚

冷 莉 王玉莲 魏延久 邵剑南

本标准审查会议技术负责人：沈凤生

本标准体例格式审查人：陈登毅

目 次

1	总则	1
2	主要术语和符号	2
2.1	主要术语	2
2.2	主要符号	3
3	基本参数的确定	5
3.1	冻结深度	5
3.2	冻胀量	13
3.3	土的冻胀性及地基土的冻胀级别	14
3.4	冻胀力	15
4	抗冻胀计算	17
4.1	一般规定	17
4.2	衬砌渠道	17
4.3	桩、墩类基础	18
4.4	板型基础	20
4.5	挡土墙	21
5	抗冻胀结构及工程措施	24
5.1	衬砌渠道	24
5.2	桩、墩类基础	27
5.3	板型基础	29
5.4	挡土墙	30
5.5	其他抗冻胀工程措施	32
附录 A 聚苯乙烯泡沫塑料板及其他材料保温厚度的		
计算		33
标准用词说明		35
条文说明		37

1 总 则

1.0.1 为了统一渠系工程受地基土季节性冻胀作用下的抗冻胀设计，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于季节冻土冻深大于 10cm 地区的渠道衬砌和冻深大于 30cm 地区的渠系建筑物抗冻胀设计。

1.0.3 渠系工程抗冻胀设计应遵循因地制宜、安全可靠、技术先进、经济合理的原则。

1.0.4 本标准的引用标准主要有：

《绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料》(GB/T 10801.1—2002)

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)

《灌溉与排水工程设计规范》(GB 50288—99)

《渠道防渗工程设计规范》(SL 18—2004)

《水工建筑物抗冰冻设计规范》(SL 211—2006)

《土工试验规程》(SL 237—1999)

《水闸设计规范》(SL 256—2001)

《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)

《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ 118—98)

1.0.5 渠系工程抗冻胀设计除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 主要术语和符号

2.1 主要术语

2.1.1 冻土 frozen ground

具有负温度或零温度并含有冰的土和岩石。

2.1.2 季节冻土 seasonally frozen ground

地壳表层寒季冻结、暖季全部融化的土和岩石。

2.1.3 季节冻结深度 depth of seasonal freezing

整个冬季自地表算起的最大冻结深度（冻结层厚度）。

2.1.4 设计冻深 design freezing depth

计算点的冻结深度设计取值。

2.1.5 地基土设计冻深 design freezing depth of foundation

自构筑物底面算起的地基土冻结深度设计取值。

2.1.6 冻结指数 freezing index

整个冻结期内，低于 0°C 的日平均气温的逐日累积值。

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

土冻胀时作用于构筑物侧面水平方向的冻胀力（或构筑物侧表面的法向冻胀力）。

2.1.11 切向冻胀力 tangential frost-heaving force

土冻胀时作用于构筑物侧表面向上的冻胀力。

2.1.12 法向冻胀力 normal frost-heaving force

土在冻胀时作用于构筑物底面沿法线方向的冻胀力。

2.2 主要符号

2.2.1 作用力

F_r ——最薄弱断面以上暖土与基础侧面的总摩阻力；

F_s ——基础侧面所受的总摩阻力；

ΣF_i ——除基础自重、外荷载和摩擦力外的其他阻拔力；

f_i ——暖土层中的单位极限摩阻力；

f_y ——材料的设计强度；

G ——基础自重；

G_i ——最薄弱断面以上的基础自重；

P ——恒荷载；

T ——总切向冻胀力；

σ_h ——单位水平冻胀力；

σ_v ——单位法向冻胀力；

σ_{vs} ——单位法向冻胀力设计值；

τ_t ——单位切向冻胀力。

2.2.2 几何参数

A_s ——切向冻胀力作用下结构最薄弱断面处的截面积；

A_o ——基础板底面与地基接触面的水平投影面积；

d ——桩的直径或墩、板的长、宽方向尺寸；

h ——地表冻胀量；

h_f ——基础冻胀量；

h_i ——冻结线以下各土层厚度；

H_w ——挡土墙外露墙高；

L_b ——水平保温段长度；

R ——置换半径；

$[S]$ ——沿冻胀力方向的允许基础位移量；

u ——冻层内基础横断面的平均周长；

u_i ——冻结层下限以下各暖土层内基础横断面的平均周长；

Z_0 ——地下水对冻结层无显著影响的临界深度；

Z_b ——保温帷幕深度；
 Z_d ——设计冻深；
 Z_e ——置换深度；
 Z_f ——工程基础下的地基设计冻深；
 Z_g ——隔层封闭深度；
 Z_m ——历年最大冻深；
 Z_p ——冻结期地下水水位至冻结层下限的平均距离；
 Z_s ——保温水层厚度；
 Z_w ——地下水水位埋深；
 δ_c ——挡土墙或基础板厚度；
 δ_x ——保温材料厚度。

2.2.3 计算系数

c_f ——挡土墙边坡修正系数；
 K_g ——基础结构安全系数；
 K_σ ——板型基础稳定安全系数；
 K_r ——抗冻拔稳定安全系数；
 m_σ ——冻胀力衰减系数；
 α_0 ——冻胀层厚度影响系数；
 α_w ——保温材料导热系数的修正系数；
 y ——非冻胀区深度系数；
 ψ_d ——考虑日照及遮阴程度的工程设计冻深修正系数；
 ψ_e ——有效冻深系数；
 ψ_w ——工程设计冻深的地下水影响系数。

2.2.4 其他

I_0 ——冻结指数的多年平均值；
 R_0 ——地基土不产生冻结的设计热阻；
 R_i ——构筑物基础热阻；
 λ_c ——基础材料的导热系数；
 λ_x ——保温材料的导热系数。

3 基本参数的确定

3.1 冻结深度

3.1.1 历年最大冻深，应采用渠系工程所在地或气温条件相近的邻近气象台（站）的多年最大冻深值，统计资料系列不宜短于 20 年。

3.1.2 渠系工程的实测冻深资料短于 20 年或无资料时，其最大冻深值可参考 JGJ 118—98 中的“中国季节冻土标准冻深线图”选取。

3.1.3 渠系工程的设计冻深可按式（3.1.3）计算：

$$Z_d = \psi_d \psi_w Z_m \quad (3.1.3)$$

式中 Z_d ——渠系工程的设计冻深（cm）；

Z_m ——历年最大冻深（cm）。

ψ_d ——考虑日照及遮阴程度的修正系数，可按 3.1.4 条确定；

ψ_w ——地下水影响系数，可按 3.1.5 条确定。

3.1.4 考虑日照及遮阴程度的冻深修正系数 ψ_d ，可根据工程地点所在纬度及建筑物轴线走向，按式（3.1.4）计算：

$$\psi_d = \alpha + (1 - \alpha)\psi_i \quad (3.1.4)$$

式中 ψ_i ——典型断面（渠道走向 N—S，底宽与深度之比 $B/H = 1.0$ ，坡比 $m = 1.0$ ）某部位的日照及遮阴程度修正系数，阴、阳面中部的 ψ_i 值可由图 3.1.4-1 查得，底面中部的 ψ_i 值可由图 3.1.4-2 查得；

α ——系数，可根据工程所在的气候区（由图 3.1.4-3 查得）、计算断面的轴线走向、断面形状及计算点位置，由表 3.1.4 查得。若渠坡较高或建筑物上部有遮阴作用，应考虑额外的遮阴影响。

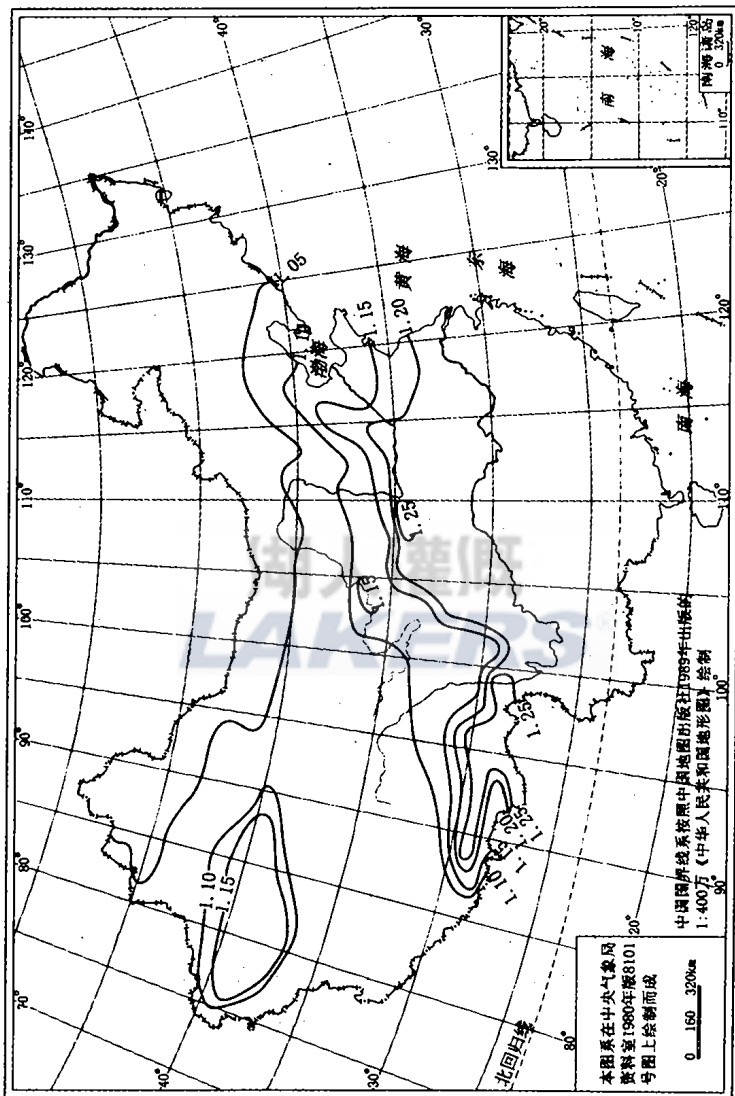
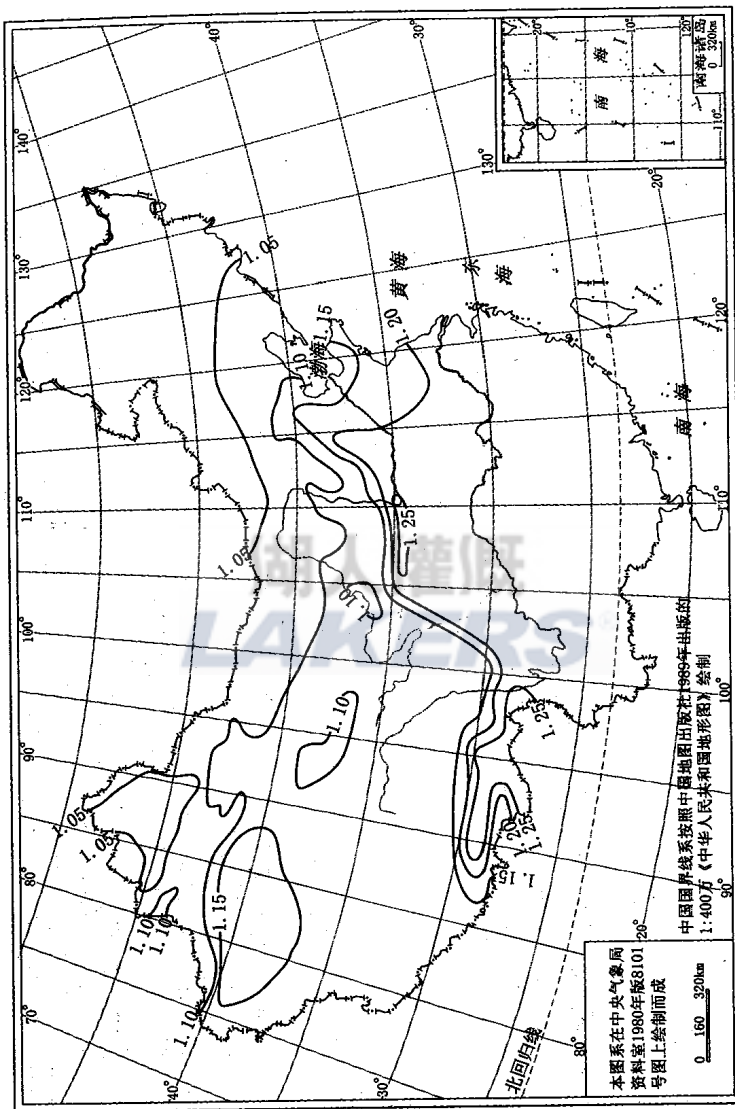


图 3.1.4-1 阴、阳面中部的 ψ 值分布图



审图号: GS (2006) 1523号

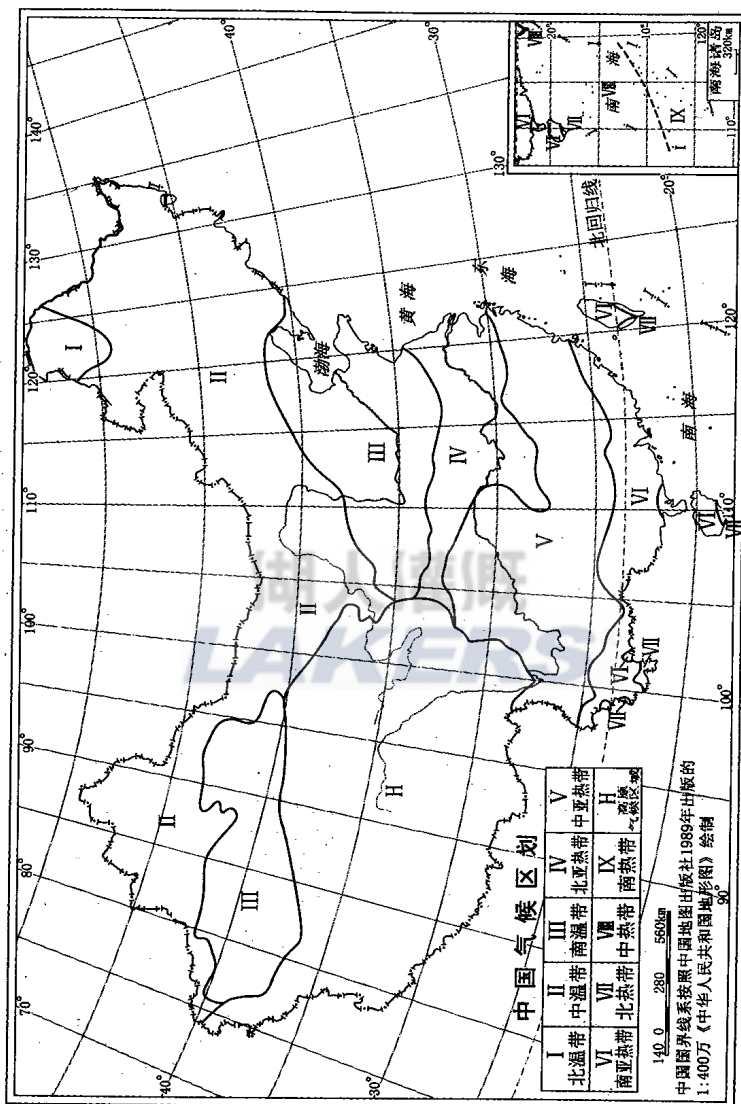


图 3.1.4-3 中国气候区划图

表 3.1.4 系数 α 值表

B/H	坡比 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	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	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

表 3.1.4 (续)

B/H	坡比 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	NE45°	-3.36	-2.24	-2.13	-2.12	-1.62	-1.97	-2.3	-1.65	-1.96
	0.5	NE45°	-2.50	0.95	-1.27	-1.46	0.06	-0.98	-1.13	-0.51	-1.06
	1	NE45°	-1.89	2.31	-0.41	-0.94	1.2	-0.24	-0.44	0.32	-0.12
	1.5	NE45°	-1.38	2.59	0.14	-0.51	1.68	0.24	0	0.75	0.33
	2	NE45°	-0.98	2.53	0.45	-0.23	1.79	0.51	0.27	0.95	0.54
1.0	0	NE45°	-2.93	-0.82	-1.75	-1.92	-1.09	-1.46	-1.8	-1.47	-1.79
	0.5	NE45°	-2.40	1.63	-0.81	-1.37	0.39	-0.65	-1.00	-0.39	-0.50
	1	NE45°	-1.85	2.6	-0.09	-0.87	1.21	0.04	-0.37	0.4	0.13
	1.5	NE45°	-1.36	2.72	0.32	-0.49	1.79	0.38	0.05	0.79	0.46
	2	NE45°	-0.97	2.59	0.55	-0.22	1.85	0.59	0.28	0.98	0.63
2.0	0	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	NE45°	-2.63	1.11	0.55	-1.62	-0.37	0.57	-1.40	-1.17	0.63
	0.5	NE45°	-2.23	2.88	0.69	-1.16	1.11	0.69	-0.78	-0.13	0.72
	1	NE45°	-1.75	3.28	0.76	-0.77	2.06	0.77	-0.24	0.60	0.78
	1.5	NE45°	-1.29	3.10	0.81	-0.43	2.17	0.83	0.11	0.93	0.84
	2	NE45°	0.76	0.76	0.83	-0.18	1.87	0.86	0.33	1.05	0.88

表 3.1.4 (续)

B/H	坡比 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	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	N-S	-2.11		-1.45		-1.56	-1.36	-1.61		-1.83
	0.5	N-S	-0.79		-0.55		-0.66	-0.52	-0.67		-0.67
	1	N-S	0.0		0.0		0.0	0.0	0.0		0.0
	1.5	N-S	0.42		0.33		0.38	0.32	0.38		0.34
	2	N-S	0.62		0.52		0.58	0.51	0.59		0.56
2.0	0	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	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

3.1.5 地下水对冻深的影响系数 ψ_w ，可按式 (3.1.5) 计算：

$$\psi_w = \frac{1 + \beta e^{-Z_{w0}}}{1 + \beta e^{-Z_{wi}}} \quad (3.1.5)$$

式中 Z_{wi} ——计算点的冻前地下水水位深度 (m)，可取计算点地面 (开挖面) 至当地冻结前地下水水位的距离；

Z_{w0} ——邻近气象台 (站) 的冻前地下水水位埋深 (m)，当黏土、粉土 $Z_{w0} > 3.0\text{m}$ 、细粒土质砂 $Z_{w0} > 2.5\text{m}$ 、含细粒土砂 $Z_{w0} > 2.0\text{m}$ 时，可取黏土、粉土 $Z_{w0} = 3.0\text{m}$ ，细粒土质砂 $Z_{w0} = 2.5\text{m}$ ，含细粒土砂 $Z_{w0} = 2.0\text{m}$ ；

β ——系数，可按表 3.1.5 取值。

表 3.1.5 β 值 表

土 类	黏土、粉土	细粒土质砂	含细粒土砂
β	0.79	0.63	0.42

3.1.6 基础设计冻深 Z_f ，系指计算点自底板底面算起的冻深，可按式 (3.1.6-1)、式 (3.1.6-2) 和式 (3.1.6-3) 计算：

$$Z_f = \left(1 - \frac{R_i}{R_0}\right) Z_d - 1.6\delta_c \quad (Z_f \geq 0) \quad (3.1.6-1)$$

$$R_i = \frac{\delta_c}{\lambda_c} \quad (3.1.6-2)$$

$$R_0 = 0.06 I_0^{0.5} \psi_d \quad (3.1.6-3)$$

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

R_0 ——设计热阻 ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)；

I_0 ——工程地点的冻结指数 ($^\circ\text{C} \cdot \text{d}$)；

Z_d ——工程地点的天然设计冻深 (m)；

Z_f ——基础下的设计冻深 (m)；

δ_c ——基础板厚度 (m)；

δ_w ——底板之上冰层厚度 (m);

λ_c ——底板 (墙) 的热导率 $[W/(m \cdot ^\circ C)]$ 。

当 $\delta_c \leq 0.5m$ 时, 可按式 (3.1.6-4) 计算:

$$Z_f = Z_d - 0.35\delta_c - 1.6\delta_w \quad (Z_f \geq 0) \quad (3.1.6-4)$$

3.2 冻胀量

3.2.1 对于 1、2、3 级建筑物, 其冻胀量宜通过现场观测资料, 按照工程建成后的温度、水分及运行条件等进行修正后确定。野外冻胀量的观测方法可按 SL 237—1999 规定执行。

3.2.2 对于 4、5 级建筑物, 或没有现场试验观测条件的, 其天然状态的冻胀量 h 可根据土质和冻结前地下水水位埋深 Z_w 的情况由图 3.2.2-1、图 3.2.2-2 和图 3.2.2-3 查得。当地下水水位埋深 Z_w 值大于 2.0m 时, 取 Z_w 值等于 2.0m。

3.2.3 基础结构下冻土层产生的冻胀量 h_f 可按式 (3.2.3) 计算:

$$h_f = hZ_f / Z_d \quad (3.2.3)$$

式中 h ——工程地点天然冻土层产生的冻胀量 (cm);

h_f ——基础结构下冻土层产生的冻胀量 (cm)。

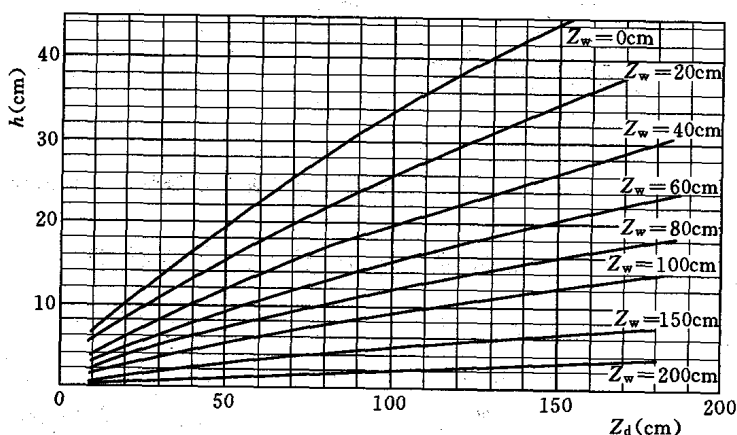


图 3.2.2-1 黏土冻深与冻胀量的关系曲线

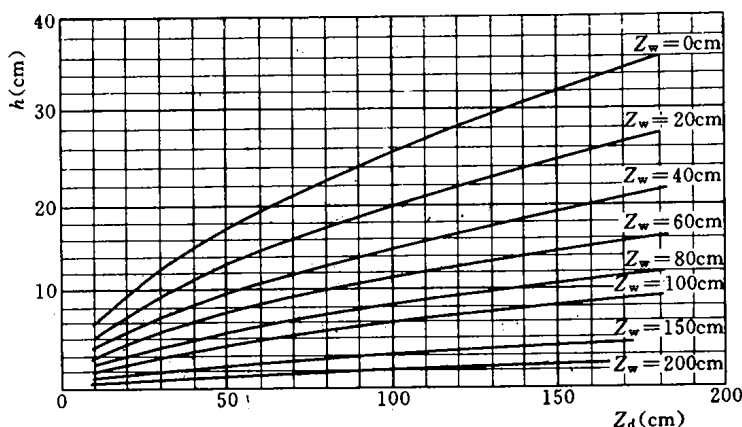


图 3.2.2-2 粉土冻深与冻胀量的关系曲线

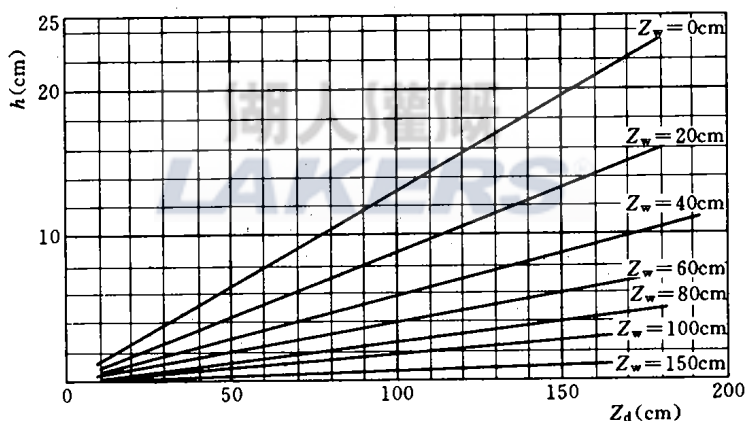


图 3.2.2-3 细粒土质砂、含细粒土砂冻深与冻胀量的关系曲线

3.3 土的冻胀性及地基土的冻胀级别

3.3.1 在土的冻胀性分类中，粗粒土中粒径小于 0.075mm 的土粒重量占土样总重量 10% 及以下时，为非冻胀性土；细粒土及粒径小于 0.075mm 的土粒重量超过土样总重量 10% 的粗粒土为冻胀性土。

3.3.2 地基土的冻胀级别，应按表 3.3.2 的规定划分。

表 3.3.2 地基土的冻胀级别

冻胀量 h_f (cm)	0~2	2~5	5~12	12~22	>22
冻胀性级别	I	II	III	IV	V

3.4 冻 胀 力

3.4.1 地基土冻胀时的单位切向冻胀力值 τ_t ，可按表 3.4.1 的规定取值。

表 3.4.1 单位切向冻胀力 τ_t 值 单位: kPa

冻胀级别	I	II	III	IV	V
τ_t	0~20	20~40	40~80	80~110	110~150
注 1: 表中数值适用于混凝土桩。 注 2: 冻层内基础侧表面粗糙的桩、墩，计算切向冻胀力时，应乘以 1.2 的系数。 注 3: 同一冻胀级别中，表中数值可按冻胀量内插。					

3.4.2 地基土冻胀时的单位法向冻胀力值 σ_v ，可按表 3.4.2 取值。

表 3.4.2 单位法向冻胀力 σ_v 值 单位: kPa

冻胀级别	单 块 基 础 板 面 积 (m ²)			
	5	10	50	100 及以上
I	50~100	30~60	20~50	10~30
II	100~150	60~100	50~80	30~60
III	150~210	100~150	80~130	60~100
IV	210~290	150~220	130~190	100~150
V	290~390	220~300	190~260	150~210
注 1: 同一冻胀级别中，表中数值应先按冻胀量内插，再按基础板面积内插。 注 2: 本表适用于短边尺寸不小于 2.0m 的板型基础，如基础板面积小于 5m ² ，按 5m ² 取值。				

3.4.3 迎土面铅直的挡土结构（墙）墙后土冻胀时的单位水平冻胀力值 σ_h ，可按表 3.4.3 取值。

表 3.4.3 单位水平冻胀力 σ_h 值

单位：kPa

冻胀级别	I	II	III	IV	V
σ_h	0~30	30~50	50~90	90~120	120~170
注：同一冻胀级别中，表中数值可按冻胀量内插。					



4 抗冻胀计算

4.1 一般规定

4.1.1 渠系工程抗冻胀计算应包括：渠道衬砌结构及板式护面结构的冻胀位移量，渠系建筑物在冻胀力作用下各部位的稳定性、强度和位移量。渠系建筑物经计算后不能满足抗冻胀设计要求时，可按本标准的有关规定，采取抗冻胀措施。

4.1.2 各种冻胀力是渠系工程在冻结期的基本荷载，应按有关标准要求参加荷载组合并选取安全系数。

4.2 衬砌渠道

4.2.1 渠道衬砌的抗冻胀设计，应按下列要求进行：

1 在衬砌渠道沿线应按土质、水分条件和渠道走向基本相同的原则划分不同的渠段。

2 在各分段可选择 1~2 个具有代表性的横断面，通过观测或按 3.1 节和 3.2 节的规定确定断面上各代表性计算点（如渠底、坡脚、坡中、坡顶）的设计冻深、冻胀量以及基土的冻胀性级别。

3 根据渠道各部位的冻深和冻胀量，选择适宜的渠道断面形式、衬砌材料和结构。

4 应验算渠道各部位的冻胀位移量，确定必要的抗冻胀措施。

4.2.2 渠道衬砌结构的抗冻胀稳定性可按表 4.2.2 所规定的衬砌结构允许法向位移值作为控制指标。

4.2.3 衬砌结构的冻胀位移值可按渠道地基土的冻胀量确定。当该位移值大于允许值时，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。

表 4.2.2 渠道衬砌结构允许法向位移值 单位: cm

断 面 形 式	衬 砌 材 料		
	混凝土	浆砌石	沥青混凝土
梯形断面	0.5~1.0	1.0~3.0	3.0~5.0
弧形断面	1.0~2.0	2.0~4.0	4.0~6.0
弧形底梯形	1.0~3.0	2.0~5.0	4.0~6.0
弧形坡脚梯形	1.0~3.0	2.0~5.0	4.0~6.0
整体式 U 形槽或矩形槽	2.0~5.0	3.0~6.0	—
分离挡墙式矩形断面 (底板)	4.0~5.0	5.0~6.0	7.0~8.0

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。

4.2.4 对冻结期行水、地下水水位高出渠底、渠底有积水 (冰) 或有傍渗水补给的渠道, 在确定其设计冻深时, 对于水 (冰) 面或傍渗水逸出点以上 1.0m 范围内的边坡, 地下水水位应取水 (冰) 面或傍渗水逸出点高程, 选取地下水影响系数; 在确定其冻胀量时, 对于水 (冰) 面或傍渗水逸出点以上 0.5m 范围内的边坡, 应按地下水水位埋深为零计算。

4.3 桩、墩类基础

4.3.1 在冻土地区, 应对冻胀性地基中的桩、墩基础进行抗冻拔稳定计算和结构强度计算。除经特殊论证外, 桩、墩的允许冻拔位移量应为零。对于埋置深度不小于工程设计冻深的板、墙等其他基础, 也应按本节的有关规定, 对其在切向冻胀力作用下的抗冻拔稳定性、位移量和结构强度进行验算。

4.3.2 基础所受的总切向冻胀力 T 可按式 (4.3.2) 计算:

$$T = \phi_e \tau_c u Z_d \quad (4.3.2)$$

式中 T ——总切向冻胀力 (kN);

u ——冻土层内基础横断面的平均周长 (m);

τ_t ——单位切向冻胀力 (kPa), 应按本规范表 3.4.1 选用;

ψ_e ——有效冻深系数, 可根据土质类别和地下水条件按表 4.3.2 选用。

表 4.3.2 有效冻深系数 ψ_e 值

土 类	黏土、粉土			细粒土质砂			含细粒土砂		
冻前地下水位 距地面的距离 (m)	>2.0	2.0~ 1.0	<1.0	>1.5	1.5~ 0.8	<0.8	>1.0	1.0~ 0.5	<0.5
ψ_e	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0

4.3.3 基础所受总摩阻力 F_s 可按式 (4.3.3) 计算:

$$F_s = 0.4 \sum (f_i h_i u_i) \quad (4.3.3)$$

式中 F_s ——总摩阻力 (kN);

f_i ——各暖土层对基础侧壁的单位极限摩阻力 (kPa);

h_i ——基础周围各暖土层厚度 (m);

u_i ——各暖土层接触的基础横断面的平均周长 (m)。

4.3.4 在切向冻胀力作用下, 基础抗冻拔的稳定条件应按式 (4.3.4-1) 和式 (4.3.4-2) 校核。

$$P + G + F_s + \sum F_i \geq K_r m_a T \quad (4.3.4-1)$$

$$m_a = 1 - \left(\frac{[S]}{h_f} \right)^{0.5} \quad (4.3.4-2)$$

式中 $\sum F_i$ ——除 P 、 G 、 F_s 外基础所受的其他阻拔力 (kN);

G ——基础自重 (kN), 水下部分取浮重;

K_r ——基础抗冻拔稳定安全系数, 可按表 4.3.4 选取;

m_a ——冻胀力衰减系数;

P ——结构恒荷载 (kN), 跨年度施工时取停工入冬前的最小恒荷载;

$[S]$ ——沿冻胀力方向的允许基础位移量 (cm), 对于桩、墩基础 $[S] = 0$, 对于板型基础可由表 4.4.2 查得。

表 4.3.4 最小稳定安全系数 K_s 值

构筑物级别	1	2、3	4、5
K_s	1.3	1.2	1.1

4.3.5 基础的结构抗拉强度 f_y 应按式 (4.3.5) 计算:

$$K \left[\frac{m_o T - (P + G_i + F_r)}{A_s} \right] \leq f_y \quad (4.3.5)$$

式中 A_s ——最薄弱断面处的截面积 (m^2), 基础若为钢筋混凝土, 则为纵向受拉钢筋横断面积的总和;

F_r ——最薄弱断面至冻土层下限间的融土与基础侧面的总摩阻力 (kN);

G_i ——最薄弱断面以上的基础自重 (kN);

f_y ——材料的抗拉设计强度 (kPa), 如为钢筋混凝土, 则为钢筋的抗拉设计强度;

K ——安全系数, 可按表 4.3.5 选取。

表 4.3.5 最小安全系数 K 值

构筑物级别	1	2、3	4、5
K	1.65	1.50	1.40

4.4 板型基础

4.4.1 本节适用于基础底面平面投影面积大于 $5m^2$ 、短边尺寸不小于 2m 的基础板结构抗冻胀设计。

4.4.2 除有特殊要求外, 基础板在冻胀作用下的允许垂直位移值 $[S]$ 可按表 4.4.2 查得。构筑物基础板在未采取抗冻胀措施情况下的位移值应取地基的冻胀量 h , h 值可按 3.2 节的规定计算。当计算值大于表 4.4.2 的允许值时, 应按 5.3.1 条的规定采取抗冻胀措施。

表 4.4.2 板型基础允许垂直位移值 $[S]$ 单位: cm

构筑物类型及结构部位		$[S]$
涵、闸进出口板型基础		2.0
闸室段钢筋混凝土基础板		2.5
陡坡段底板、护坦板	有约束钢筋混凝土板	2.5
	无约束钢筋混凝土板	3.0

4.4.3 板型基础所受单位法向冻胀力设计值 σ_{vs} 可按式 (4.4.3-1) 和式 (4.4.3-2) 计算:

$$\sigma_{vs} = m_o \alpha_0 \sigma_v \quad (4.4.3-1)$$

$$\alpha_0 = (Z_f/Z_d)^{0.65} \quad (4.4.3-2)$$

式中 α_0 ——冻胀层厚度影响系数;

σ_v ——单位法向冻胀力 (kPa), 可由表 3.4.2 查取。

4.4.4 基础板抗冻胀验算应满足式 (4.4.4-1) 和式 (4.4.4-2) 的要求。否则, 应按 5.3.1 条的规定采取抗冻胀措施。

1 整体稳定条件要求:

$$K_o (\sigma_{vs} A_o + \tau_i S) m_o \leq P + G \quad (4.4.4-1)$$

式中 K_o ——基础板抗冻胀稳定安全系数, 允许基础板发生位移时取 1.1, 不允许基础板发生位移时取 1.2;

A_o ——基础板底面与地基接触面的水平投影面积 (m^2);

S ——基础侧面与冻土的接触面积 (m^2)。

2 冻胀位移要求:

$$h_f \leq [S] \quad (4.4.4-2)$$

4.5 挡 土 墙

4.5.1 本节适用于冻深大于 0.3m, 墙前地面至墙后填土顶面之间的高差 H_w 不大于 5m 的薄壁挡土墙。当超过上述限时, 宜按 5.4 节的有关规定采取抗冻胀措施或作专门研究。

4.5.2 单位水平冻胀力沿墙高的压强分布可按图 4.5.2 所示的图形确定。

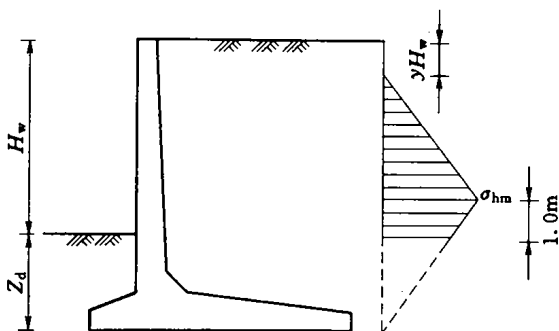


图 4.5.2 挡土墙单位水平冻胀力分布图

y ——非冻胀区深度系数；

H_w ——自墙前地面算起的墙后填土高度（m）。

表 4.5.2 非冻胀区深度系数 y 值

墙后土冻胀性级别	I、II	III	IV	V
y	0.21	0.21~0.17	0.17~0.1	0.1
注：当 $H_w \leq 2\text{m}$ 时取 y 等于零。				

4.5.3 水平冻胀力根据图 4.5.2，按式（4.5.3-1）和式（4.5.3-2）计算。图中阴影部分面积即为挡土墙单位长度所受的水平冻胀力。

$$\sigma_{hm} = m'_o c_f \sigma_h \quad (4.5.3-1)$$

$$m'_o = 1 - ([S']/h'_f)^{0.5} \quad (4.5.3-2)$$

式中 c_f ——挡土墙迎土边坡影响系数，可按表 4.5.3-1 取值；

h'_f ——挡土墙后填土的冻胀量（cm）；

m'_o ——墙体变形影响系数；

$[S']$ ——墙身允许水平位移值（cm），可参照表 4.5.3-2 选取；

σ_h ——单位水平冻胀力（kPa），可按表 3.4.1-3 取值；

σ_{hm} ——最大单位水平冻胀力（kPa）。

表 4.5.3-1 挡土墙迎土面边坡影响系数 c_t 值

迎土面坡比	0	0.1	0.2
c_t	1.00	0.90	0.85

表 4.5.3-2 挡土墙允许位移值 $[S']$ 表 单位: cm

挡土墙结构类型	$[S']$	
	垂直方向	水平方向
浆砌石重力式	2.0	0
混凝土重力式	2.0	(0.001~0.002) 墙高
钢筋混凝土悬臂式、整体 U 形槽侧墙	2.0	(0.004~0.005) 墙高
其他型式钢筋混凝土独立式挡土墙	3.0	(0.004~0.005) 墙高
注: 上述为挡土墙顶部的允许位移值, 抗冻胀计算时, 计算点的允许位移值应取表中数值的 1/2。		

4.5.4 挡土墙的整体稳定和抗冻胀强度验算应在计入水平冻胀力后按国家现行有关规范的规定执行。

4.5.5 挡土墙垂直方向的稳定条件应满足下列要求:

- 1 抗冻拔条件应符合 4.3.4 条的规定。
- 2 冻胀量应符合 4.4.4 条第 2 款的规定。

5 抗冻胀结构及工程措施

5.1 衬砌渠道

5.1.1 冻胀性渠道的衬砌宜优先采用能适应冻胀变形的柔性结构。当渠基土的冻胀量大于允许位移值时，可选用 5.1.2～5.1.9 条规定的措施，或采用其他有效措施。

5.1.2 当渠基土的冻胀级别为Ⅰ、Ⅱ级时，可结合渠道防渗要求采用下列渠道断面和衬砌结构：

- 1 整体式混凝土 U 形槽衬砌。
- 2 弧形断面或弧形底梯形断面的板膜复合衬砌结构。
- 3 宽浅渠道宜采用弧形坡脚梯形断面的板膜复合衬砌结构，并适当增设纵向伸缩缝，以适应冻胀变形。

4 梯形混凝土衬砌渠道，可采用架空梁板式（预制Ⅱ形板）或预制空心板式结构。

5 浆砌石衬砌等其他结构型式。

5.1.3 当渠基土冻胀级别为Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级时，可采用下列渠道断面和衬砌结构：

1 采用地表式整体混凝土 U 形槽或矩形槽。槽底可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，渠岸采用挡土墙式结构，渠底采用平板结构，墙与板连接处设冻胀变形缝。

3 可采用桩、墩等基础支撑输水槽体，使槽体与基土脱离。桩的允许冻拔量应为零。

4 可采用暗渠或暗管输水。

5.1.4 刚性材料衬砌渠道的分缝应能适应冻胀变形，可分为横向缝和纵向缝。横向缝可采用矩形或梯形，缝宽 20～30mm；纵向缝可采用铰形、梯形或矩形，如图 5.1.4 所示，缝宽 20～40mm。

变形缝内宜填充黏结力强、变形性能大、在当地最高气温下不流淌、最低气温下仍具柔性的止水材料。

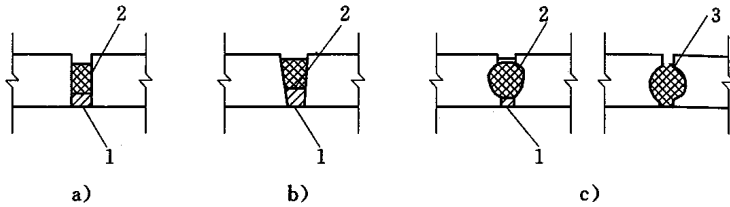


图 5.1.4 冻胀变形缝型式

a) 矩形缝；b) 梯形缝；c) 铰形缝

1—填充料；2—弹塑性胶泥；3—弹塑性止水带

5.1.5 当渠基土冻胀级别为Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级时，可采用置换措施防止冻胀破坏。置换时应采用非冻胀性土置换渠床原状土。当置换层有被淤塞危险时，应在置换体迎水面铺设土工膜料或土工织物保护；若置换体有可能饱水冻结时，应保证冻结期置换体有排水出路，其措施可按 5.1.6 条执行。渠床各部位置换深度 Z_e 可按式 (5.1.5) 计算：

$$Z_e = \epsilon Z_d - \delta_0 \quad (5.1.5)$$

式中 Z_e ——置换深度 (cm)；

δ_0 ——衬砌板厚度 (cm)；

ϵ ——置换比 (%)，可结合当地经验，参照表 5.1.5 选取。

表 5.1.5 渠床置换比 ϵ 值

地下水埋深 Z_w (cm)	渠床土质	ϵ (%)	
		坡面上部	坡面下部、渠底
$> Z_d + 200$	黏土、粉土	50~70	70~80
$> Z_d + 150$	细粒土质砂	50~70	70~80
$> Z_d + 100$	含细粒土砂	40~50	40~50
小于上述值	黏土、粉土、细粒土质砂	60~80	80~100
	含细粒土砂	50~60	60~80

5.1.6 当采用排水措施抗冻胀时，应符合下列规定：

1 当渠床的冻融层或置换层下不透水或弱透水层较薄、深层地下水埋深大于工程设计冻深时，可在渠底每隔 10~20m 设一眼盲井，使冻融层或置换层与地下水联通。

2 当渠床的冻融层有排水出路时，可在工程设计冻深底部设置纵、横向排水暗管，将渠床冻融层中的重力水或渠道傍渗水排出渠外。

3 对冬季输水的衬砌渠道，当渠侧有傍渗水补给渠床时，可在最低行水位以上设置反滤排水体，排水口设在最低行水位处，将傍渗水排入渠内，避免浸湿渠床。

5.1.7 当采用保温措施抗冻胀时，应符合下列规定：

1 在衬砌体（包括封顶板）下铺设保温材料，材料性能应符合附录 A 的要求。

2 采用保温材料时，其厚度可按附录 A 规定的方法确定。

3 冬季行水渠道，水位按等流量（水位）控制时，在设计最小水位条件下，可按冰（水）保温考虑；在冰（水）面以上可采用保温材料抗冻胀。

5.1.8 当地下水在渠底以下的埋深大于或等于地下水影响冻结锋面的临界值（ $Z_0 + Z_d$ ），且无傍渗水补给时，可在衬砌体下铺设防渗土工膜；衬砌体与膜料间可用水泥砂浆、砂砾石或粗砂做过渡层。 Z_0 为地下水对冻结层无显著影响的临界深度，可按表 5.1.8 取值。

表 5.1.8 临界深度 Z_0 值

单位：m

土 类	黏土、粉土	细粒土质砂	含细粒土砂
Z_0	2.0	1.5	1.0

5.1.9 衬砌渠道的抗冻胀还可采取下列措施：

1 有条件时，衬砌渠道的线路宜避开强冻胀性土和地下水埋深较浅的地段；宜采用填方渠道并使渠底高于地下水水位的距

离不小于 $(Z_0 + Z_d)$ ；对挖方渠道应同时考虑傍渗水的排除措施。

2 对于强冻胀性地基土，宜选用以土石料护面的埋铺式土工膜防渗方案。

3 冬季不行水渠道，宜在日平均气温稳定进入 0°C 日前 10d 停水；冬季连续行水的渠道，在负温期宜保持在最低设计水位以上运行。

5.1.10 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型式（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。

5.1.11 当渠基土冻胀性属Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级时，应以融冻层交界面或土工膜交界面为滑动面，验算其边坡稳定性。交界面土的抗剪强度 C 、 ϕ 值应通过试验或参考类似工程资料确定。如不满足要求，可采用置换、排水、支挡等综合工程措施。

5.1.12 为防治边坡冻融滑坍，渠坡可采用土工编织布砂（土）袋分层砌筑或土工带拉锚固定。坡脚埋设土工布砂（土）袋镇脚。渠坡表面可采用生物护面。

5.2 桩、墩类基础

5.2.1 当桩、墩类基础不能满足切向冻胀力作用下的抗冻胀要求时，可从削减切向冻胀力和增加基础的锚固力两方面，选用 5.2.2~5.2.4 条规定的任一种方法或几种方法相结合的综合措施，以及其他有效措施。

5.2.2 当用非冻胀性土置换冻胀性地基土时，应符合下列要求：

1 当地基土的冻胀级别属Ⅲ级及以上级别时，宜按全部工程设计冻深置换；当地基土属Ⅰ、Ⅱ级时，可按 $2/3$ 工程设计冻深置换。

2 置换的平面范围可按式（5.2.2）确定：

$$R = \frac{d}{2} + \phi_c Z_d \quad (5.2.2)$$

式中 d ——桩的直径或墩、板等的长、宽方向尺寸（cm）；

R ——以桩纵轴为基准的置换半径，或以墩、立板等中心线为基准的置换宽度（cm）。

3 在置换层顶面宜铺设土工织物防止细颗粒土侵入，土工织物上盖以保护层。

4 置换层宜设排水出路。

5.2.3 削减切向冻胀力可采取下列对基础表面进行处理的措施：

1 冻层范围内的基础侧表面平滑、光洁。

2 冻层范围内的基础侧表面包裹隔离材料。

3 对冻层范围内的基础侧表面作涂层处理。

4 在允许条件下，可减小冻层范围内与基土接触的基础面积。

5.2.4 桩、墩类基础还可采用下列增大基础锚固力的结构措施：

1 增加桩、墩类基础深度。

2 采用独立扩大式基础、锚固底梁基础、变径桩基础、爆扩头桩基础、阶式基础、扩大式墙基础、锚固环式基础等，如图 5.2.4 所示。

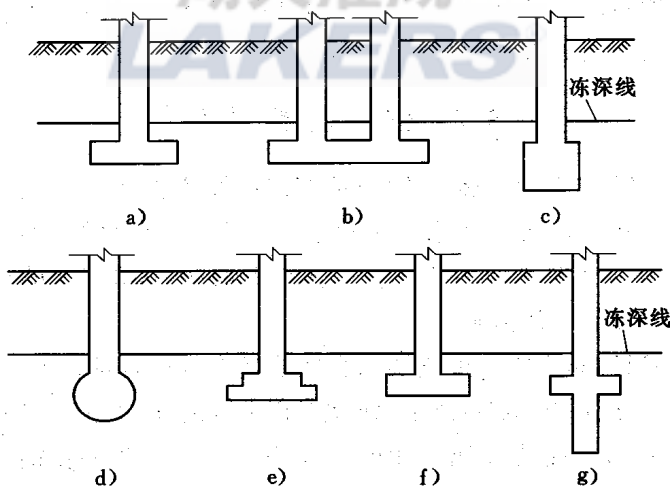


图 5.2.4 常用扩大式基础示意图

a) 独立式扩大桩基础；b) 锚固底梁；c) 变径桩；d) 爆扩桩；

e) 阶式基础；f) 扩大式墙基础；g) 锚固环基础

5.3 板型基础

5.3.1 板型基础可采用 5.3.2~5.3.6 条中的任一种抗冻胀措施或综合措施。

5.3.2 当采用非冻胀性土置换冻胀性地基土时,可根据工程的重要性、当地工程经验、结合计算综合确定其置换深度。

1 置换深度 Z_e 可按式 (5.3.2) 计算:

$$Z_e = \psi_e Z_d \quad (5.3.2)$$

2 置换平面范围宜为沿基础平面轮廓线向外加大 50cm。

3 有条件时,宜设置排水出路。

5.3.3 当采用土工膜将地基土隔层封闭时,应按下列要求执行:

1 封闭深度 Z_g 可按式 (5.3.3) 计算:

$$Z_g = Z_d - 0.35\delta_c \quad (5.3.3)$$

式中 Z_g ——从基础底面算起的隔层封闭地基深度 (cm)。

2 封闭平面范围为沿基础平面轮廓向外加大 50cm。

3 回填土料应满足以下规定:每一隔层土厚 30~50cm,含水量低于 0.8 倍塑限含水量,干密度不低于原基土天然干密度的 1.05 倍。

4 各封闭层应保证严密、不透水;确保土工膜料不发生损坏。基础侧面应采取削减切向冻胀力的措施。

5.3.4 当基础采用保温措施时,保温材料的厚度可按本规范附录 A 的方法计算,并应符合下列规定:

1 根据基础稳定和强度要求,保温基础的结构型式可采用叠层式或夹层式结构。

2 根据基础型式、施工条件等具体情况,保温基础四周可分别选用水平保温和竖向保温帷幕两种方法,消除周边的影响。

水平保温段长度 L_b 或竖向保温帷幕深度 Z_b 可按式 (5.3.4) 计算:

$$L_b = Z_b = Z_d - \delta_c \quad (5.3.4)$$

式中 L_b ——水平保温段长度 (cm);

Z_b ——竖向保温帷幕深度 (cm)。

5.3.5 当采用在基础板上蓄水保温时,水(冰)层厚度 Z_s 可按式 (5.3.5) 确定:

$$Z_s \geq 0.6(Z_d - 0.35\delta_c) \quad (5.3.5)$$

式中 Z_s ——基础板上水(冰)层厚度 (cm)。

5.3.6 当地基有排水条件时,可参照 5.1.6 条采用排水措施。

5.4 挡 土 墙

5.4.1 提高挡土墙的抗冻胀能力可采取下列措施:

- 1 选用适应冻胀变形能力强的结构型式。
- 2 采用消除或削减挡土墙后土体冻胀的措施。

5.4.2 抗冻胀挡土墙的结构型式可根据工程实际情况选择,宜优先选用悬臂式挡土墙,其基础顶面埋深宜大于或等于工程设计冻深。

5.4.3 在满足渗透稳定的条件下,挡土墙墙体宜设排水孔,墙后土体中宜设排水设施。

5.4.4 挡土墙迎土面宜平整光滑。

5.4.5 当采用非冻胀性土置换冻胀性的墙后土体时,应满足渗透稳定和置换范围的要求。

置换范围应不小于图 5.4.5 所示的尺寸。

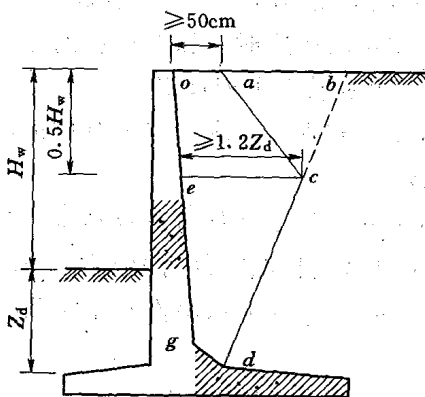


图 5.4.5 挡土墙回填土置换范围

置换断面尺寸的确定如下：

- 1 墙顶最小置换宽度为 50cm。
- 2 自墙顶算起， $0.5H_w$ 处的最小置换宽度为 $1.2Z_d$ 。
- 3 墙基处最小置换宽度 $0.5Z_d - \delta$ ， δ 为墙基处墙的厚度。

5.4.6 当采用隔层封闭措施时，应符合 5.3.3 条的有关规定。隔层封闭范围可与 5.4.5 条规定的置换范围相同。

5.4.7 当采用保温材料防止墙后土体冻胀时，应符合下列规定：

1 当墙后填土的冻胀性不强、地下水埋深较大时，可采用仅在挡土墙迎土面铺设保温材料的单向保温法；否则，应采用在挡土墙迎土面和墙后填土上部水平方向铺设保温材料的双向保温法。挡土墙单向和双向保温布置如图 5.4.7 所示。

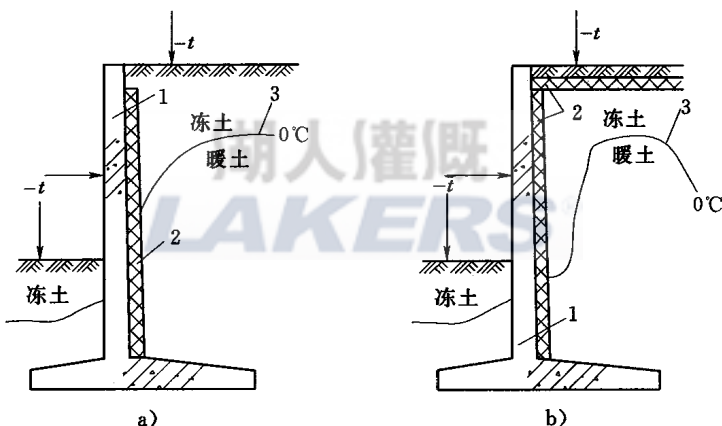


图 5.4.7 挡土墙单向和双向保温示意图

a) 单向保温；b) 双向保温

1—混凝土挡土墙；2—保温板；3—冻土暖土分界线

- 2 保温板的厚度，可按附录 A 的方法计算。
- 3 竖向保温板的铺设范围为由墙后填土地面以下 20cm（保护层）至底板顶面。
- 4 水平及侧向保温板的宽度为 $1.5Z_d$ 。
- 5 双向保温的竖向保温板和水平及侧向保温板应做好衔接，

避免脱缝，影响保温效果。

5.5 其他抗冻胀工程措施

5.5.1 对于渠系构筑物，可采取减少构筑物与基土接触面积、加大地基荷载、适应冻胀变形等抗冻胀的结构型式。

5.5.2 对于水闸，可选用一字型闸结构，并应符合下列规定：

1 一字型闸的平面尺寸和埋置深度应同时满足抗冻拔稳定、抗倾覆稳定和渗透稳定等要求。

2 当抗冻拔稳定条件不满足时，可采取增加自重、改善地基土质及采用趾板型基础等措施。

5.5.3 对于小型水闸，可采用筛网式消能工或竖井消能工。

5.5.4 对于小型泵房（站），可采用以单排或双排钢筋混凝土灌注桩为基础的井柱式泵房，灌注桩基础应满足抗冻拔稳定要求，其他部位均可按常规方法设计。

湖人灌慨
LAKERS®

附录 A 聚苯乙烯泡沫塑料板及其他材料 保温厚度的计算

A.0.1 保温用聚苯乙烯泡沫塑料板的物理机械性能应满足表 A.0.1 的要求。

表 A.0.1 保温用聚苯乙烯泡沫塑料板的物理机械性能

项 目	单位	性 能 指 标					
		I 型	II 型	III 型	IV 型	V 型	VI 型
表观密度 ($\geq$)	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 ($\leq$)	W/(m·K)	0.041		0.039			
尺寸稳定性 ($\leq$)	%	4	3	2	2	2	1
吸水率 (体积) ($\leq$)	%	6	4	2	2	2	2

A.0.2 对于重要工程或基础采用其他材料保温的工程，保温材料的厚度可按式 (A.0.2) 计算：

$$\delta_x = \alpha_w \lambda_x \left(R_0 - \frac{\delta_c}{\lambda_c} \right) \quad (\text{A.0.2})$$

式中 δ_x ——保温材料厚度 (m)；

R_0 ——工程保温基础设计热阻值 (m²·°C/W)，按公式 (3.1.6-3) 计算；

α_w ——保温材料的导热系数修正系数， $\alpha_w = \lambda_b / \lambda_x$ ，可按表 A.0.2 选取；

δ_c ——基础材料厚度 (m)；

λ_x ——保温材料在自然状态下的导热系数 [W/(m·°C)]；

λ_c ——基础材料的导热系数 [W/(m·°C)]，可根据工程实际情况确定。

表 A.0.2 保温用聚苯乙烯泡沫塑料板的导热系数修正系数 α_w 值

体积吸水率 (%)	0	1	2	3	4
α_w	1.0	1.05	1.1	1.2	1.4

注：本表允许内插取值。

A.0.3 如果实际工程只要求部分消除地基冻层，即在保温基础下可保留部分冻土层时，保温材料厚度可按式 (A.0.3-1) 和式 (A.0.3-2) 计算：

$$\delta_n = \alpha_w \lambda_x \left(R_n - \frac{\delta_c}{\lambda_c} \right) \quad (\text{A.0.3-1})$$

$$R_n = nR_0 \quad (\text{A.0.3-2})$$

式中 n ——设计要求消除冻层占天然冻层厚度的比例；

R_n ——消除部分地基冻层所需保温基础的热阻值，(m²·°C/W)；

δ_n ——消除部分地基冻层所需保温材料厚度 (m)。

湖人灌既
LAKERS®

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

湖人(灌)既
LAKERS®



中华人民共和国水利行业标准

渠系工程抗冻胀设计规范

SL 23—2006

条 文 说 明

湖人灌慨
LAKERS®

目 次

1	总则	39
3	基本参数的确定	42
3.1	冻结深度	42
3.2	冻胀量	44
3.3	土的冻胀性及地基土的冻胀级别	45
3.4	冻胀力	46
4	抗冻胀计算	50
4.1	一般规定	50
4.2	衬砌渠道	50
4.3	桩、墩类基础	52
4.4	板型基础	54
4.5	挡土墙	56
5	抗冻胀结构及工程措施	58
5.1	衬砌渠道	58
5.2	桩、墩类基础	60
5.3	板型基础	61
5.4	挡土墙	63
5.5	其他抗冻胀工程措施	65

1 总 则

1.0.1 根据我国北方地区大量的调查研究资料，受地基土冻胀作用而破坏的水利工程中，最多的是渠系构筑物 and 渠道衬砌。这些工程主要有下列三种类型的结构：

(1) 薄层护砌或浅基础结构。基础埋置深度小于冻结深度，易受法向冻胀力和切向冻胀力破坏，如渠道衬砌、构筑物进出口护砌、闸室和消力池底板等。

(2) 支挡构筑物。其墙体厚度小于冻深，在双向冻结条件下，易受水平冻胀力破坏，如闸墙、挡土墙等。

(3) 固定荷载较小的建筑物。即使基础埋深至冻深以下，但还有可能在切向冻胀力作用下破坏，如渡槽、桥桩、桥墩等。

除了渠系工程外，其他水工建筑物有的也属于这三种类型结构，如土坝的护坡、水库溢洪道的陡坡护砌及各类建筑物进出口护坡等。因此，本标准主要是对渠系工程（包括渠系构筑物和渠道衬砌）而言，其他可能受冻胀破坏的类似构筑物或结构，也可参照本标准执行。

1.0.2 在冻深较小的地区，大部分水工构筑物的基础埋深是为满足稳定要求而确定的，一般都在冻层以下，所承受的冻胀力很小。根据北方各省份所进行的大量调查研究，在冻深小于本条规定限值的地区，按常规设计的工程，不会因冻胀作用而破坏，可不作专门抗冻设计。

渠道衬砌因厚度小、自重轻而对冻胀作用十分敏感，所以本条规定渠道衬砌不做抗冻设计的冻深限值小于其他构筑物。原规范规定的限值为 30cm，经过多年的观测实践，冻深小于 30cm，但土的冻胀性较强时，其冻胀变形也能超过允许值。因此，本次对冻深的限值进行了修订。

本标准规定由最大冻深计算设计冻深时应考虑日照及遮阴程

度、地下水等修正系数，即 $Z_d = \psi_d \psi_w Z_m$ ，式中的修正系数最小为 0.89，最大为 1.35，平均为 1.12。

当最大冻深 Z_m 分别为 10cm、20cm、30cm 时，对应的设计冻深 Z_d 值见表 1。

表 1 设计冻深 Z_d 值

Z_m (cm)		10	20	30
Z_d (cm)	$Z_{d,min}$	8.9	17.8	26.7
	$Z_{d,max}$	13.5	27.0	33.6

现行标准中衬砌渠道的允许冻胀变形量见表 2。

表 2 允许冻胀变形量

材料类别或结构型式	混凝土板	浆砌石	沥青混凝土	U 形槽	现行规范
允许冻胀变形量 (cm)	0.5~2.0	1~3	3~5	4~5	SL 23
	0.5~2.0	1.0~3.0	3.0~5.0	—	SL 18
	0.5~3.0	1.0~5.0	3.0~6.0	4.0~8.0	SL 211

从表 2 可以看出，混凝土板衬砌的渠道对冻胀变形量最敏感，其最大允许位移值为 3.0cm。最大允许位移值所对应的冻深在 10~20cm 之间。因此，本次修订将适用范围确定为冻深大于 10cm 的地区衬砌渠道。

因材料冻融、冰压力等作用引起的冻害问题可参照《水工建筑物抗冰冻设计规范》(SL 211—96) 等标准执行。

1.0.3 渠系工程抗冻胀设计的主要技术要求有：

- (1) 结合抗冻胀要求选择渠道线路或构筑物地点，并进行必要的技术经济论证。
- (2) 对抗冻胀设计所需的基本资料进行调查、收集，通过计算和必要的试验确定冻结和冻胀的基本参数，判定地基土的冻胀性类别。

(3) 对冻胀作用下各类构筑物的位移、强度及稳定性进行验算，确定抗冻胀措施。

(4) 合理选择满足抗冻胀要求的工程布置、结构型式和技术措施。

(5) 提出施工工艺及管理运用等方面的抗冻胀要求。

抗冻胀的工程措施主要有下列几项，可采取其中任一项或几项：

(1) 削减或消除基土的冻胀作用，包括用非冻胀性土置换、防渗、隔水和排水、保温、增大地基的荷载等；

(2) 采用适应冻胀变形能力强的结构型式或尽量减少构筑物和冻土的接触面积；

(3) 加强地基对构筑物基础的锚固作用。



3 基本参数的确定

3.1 冻结深度

3.1.1 由于工程所在地一般没有长系列的冻深观测资料，其冻深只能借助邻近气象台（站）的资料，要求邻近的气气象台（站）与工程地点应有相近的气温条件。

本条有关统计资料系列年限的规定，考虑了我国气象台（站）的冻深观测系列已经较长，比原规范编制时长了 20 年，能够满足精度要求。因此，本次修订规定资料系列不宜短于 20 年。

3.1.2 对于一些小型农田水利工程，附近可能没有条件相似的气气象台（站）冻深资料。本标准参照《冻土地区建筑地基基础设计规范》（JGJ 118—98）等，给出了我国北方季节冻土区标准冻深线图（图 1），供设计人员参考。最大冻深值可取图中的标准冻深值。

3.1.3 工程设计冻深是指在设计条件下，构筑物各部位的冻深。对于倾斜表面，按法线方向计算。

大量的观测资料表明，影响构筑物各部位冻深的因素很多，主要有地下水埋深、表面接受的日照和遮阴程度、表面积雪和基土土质等。其中表面积雪厚度的年际变化较大，同时积雪的影响不仅与厚度有关，还与积雪的时期有关，较难掌握，为安全起见，本标准未考虑积雪对冻深的削减作用。

在原标准中，设计冻深是由标准冻深乘以频率修正系数、日照及遮阴程度的修正系数和地下水影响系数求得的。而标准冻深的取得，除可按邻近气象台（站）的实测资料统计外，还可按经验公式（如斯蒂芬公式）计算。但多年的实践证明，该经验公式适合于较大冻深地区，对于小冻深地区，计算结果与实测值的误差较大。考虑到目前各地的冻深实测资料较多，基本能满足工程设计的需要，所以修订后的标准不再推荐按经验公式计算冻深的

方法，而直接采用冻深的实测资料。

3.1.4 土的冻结深度与日照条件和遮阴程度密切相关。实践表明，工程各部位受到的日照及遮阴程度不仅随工程地点的地理纬度、海拔高度、地形条件而变化，而且随工程走向和断面型式不同也有很大的差异。国内一些单位曾提出考虑日照和遮阴程度的冻深修正系数。如原水利部西北水利科学研究所和陕西省气象局在我国冻土区内选取了 229 个主要气象台（站）的 30 年系列气象资料，并根据各台（站）所在的地理位置，对不同走向和断面型式的渠道各部位的 ψ_a 值进行了计算。通过对获得的 164880 个 ψ_a 值进行相关分析，得出了确定 ψ_a 值的简便取值方法及所需的图表，成果相对误差小于 5%，其精度可满足工程设计要求。本标准采用了该研究成果。由于所得成果是按平原渠道计算的，故渠道两岸高差较大，或构筑物上部结构有遮阴作用时，应考虑额外的遮阴影响。

3.1.5 地下水对冻结区的水分补给对冻深的发展起阻滞作用，地下水水位愈高，这种作用愈大。我国东北和西北的水利科学研究院（所）均对此作了研究，并提出了相应的地下水水位对冻深的影响系数或关系式，而且相互间比较接近。由于本规范中赖以计算设计冻深的最大冻深取邻近气象台（站）观测的多年最大值，而气象台（站）场地的地下水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水位影响系数时，还考虑了邻近气象台（站）的地下水水位对冻深的影响。

3.1.6 地基土设计冻深包括构筑物基础下地基土和挡土墙后填土的冻深。由于底板或挡土墙的隔热作用，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。本条的式（3.1.6-1）是按底板（墙）的热阻与地基土不发生冻结时的设计热阻之比得出的。

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，通过计算比较和已有观测资料确定当 $\delta_s \leq$

0.5m 时，可按式 (3.1.6-4) 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。

3.2 冻 胀 量

3.2.1 地基土的冻胀过程十分复杂，迄今为止，现有的许多计算冻胀量的理论和经验公式都存在一定的误差。因此，对于重要的构筑物，要求冻胀量应尽可能通过现场试验确定。但因现场试验周期长，年际变化很大，要提高其可信度需要有很长的系列资料，并且在同一构筑物中不同部位土体的冻胀条件都存在着差异（特别是渠道沿线土质、地下水条件等变化更大），除特殊情况（如在工程开工前若干年便在工程地点设站实测冻胀量）外，要求通过现场模拟试验以确定工程各种条件下的冻胀量是难以做到的。因此，本条规定，对 1、2、3 级构筑物，应尽量通过现场原型试验确定冻胀量。在确无条件进行现场原型试验时，可参照本标准推荐的方法确定冻胀量，且宜采用其他计算方法进行复核。

3.2.2 原规范对于土的冻胀量计算，推荐了两种计算方法：一种是统计法，根据我国北方季节性冻土地地区的大量实际观测资料，建立起冻结指数或冻深与土的冻胀量的关系；另一种是经验公式，由辽宁省水利水电科学研究院根据多年的冻土试验观测成果总结得出。原规范要求同时采用两种方法计算，并建议选用计算结果的大值。

本次修订过程中，对于土的冻胀量计算问题进行了重点研究，认为原标准中同时采用两种公式，在有些情况下两种计算结果相差较大，设计人员难以取值。所以，经过认真研究，对于每种土质采用一组曲线，建立冻深与冻胀量的关系。

3.2.3 当构筑物基础埋深较浅时（小于工程设计冻深），基础下会有冻土层产生。在冻深较大地区，考虑经济合理性，水工建筑物的很多结构部位的埋深小于设计冻深，因此存在基土的冻胀问题。此时的冻胀量 h_f 即为基础结构下厚度为 Z_f 的冻土在无荷载

作用的情况下所产生的冻胀量。

3.3 土的冻胀性及地基土的冻胀级别

3.3.1 土在冻结时体积的稳定性对工程实践有重要意义。如：作为抗冻胀措施之一的非冻胀性土置换冻胀性地基，便要求对“冻胀性土”或“非冻胀性土”给出定量的评价指标。国外的“土的冻结敏感性”研究和国内的“土的冻胀性分类”研究都涉及到这个问题，各种研究成果逾百种。其中，对易于形成冻胀机制的颗粒尺寸有比较共同的认识，国内多认定为 $0.005 \sim 0.05\text{mm}$ ，国外多认定为 $0.074 \sim 0.02\text{mm}$ ；但在颗粒含量的数额限定上出入较大。如：有的资料（Delewdre, 1963 年）认为小于 0.074mm 颗粒含量占 35% 以下无冻胀危险；有的资料（瑞士, 1975 年）认为小于 0.02mm 颗粒含量大于 3% 便经常发生冻害。我国《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTJ 024—85）中规定：粉、黏粒含量小于或等于 15% 属不冻胀土；《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2002）中规定：粒径大于 0.1mm 的颗粒超过全重 85%、冻结期地下水与冻深的距离大于 1.5m 时属不冻胀土。原哈尔滨建筑工程学院资料（王正秋, 1983 年）提出：对细砂，黏粒小于 1%、黏粒加粉粒不大于 5% 属不冻胀土；对碎石土、砾砂，粗、中砂，小于 0.05mm 颗粒含量不大于 5% 属不冻胀土。

鉴于水工建筑物地基常在浸水条件下工作，有形成强烈冻胀的水分条件，但对渠系工程又不能限定太严，故对冻胀性土或非冻胀性土做了如下规定。非冻胀性土：粒径小于 0.075mm 的含量不大于 10% 的粗粒土；冻胀性土：细粒土以及粒径小于 0.075mm 的含量大于 10% 的粗粒土。

3.3.2 本规范对土的冻胀性分类采用了黑龙江省水利科学研究所和辽宁省水利水电研究院的研究成果。这种分类方法的要点是：

(1) 以冻胀量绝对值的大小作为划分冻胀性强弱的惟一指

标, 对应于某个类别的冻胀有一定的冻胀量值, 通过与构筑物允许变形值比较, 可对地基土冻胀时给工程可能造成的危害程度做出定量评价。

(2) 在确定划分冻胀类别指标——冻胀量的计算公式中, 同时考虑了影响冻胀的各类因素(温度、土质、土的含水量、地下水条件等), 使土的冻胀性分类方法能直接应用于工程实践。

(3) 在我国 JTJ 024—85 和 GB 50007—2002 中, 按土质(颗粒成分)、含水量和地下水条件, 前者把冻胀性分为冻胀或不冻胀两类, 后者分为不冻胀、弱冻胀、冻胀和强冻胀四类。鉴于水利工程的地基土常因水分条件充足形成强烈冻胀, 故本规范的分类方法把冻胀性类别划分为 5 级(连同非冻胀性土的规定应为 6 个级别), 反映出了水利工程地基土冻胀量绝对值大和变化幅度大的专业特点。

(4) 本分类方法所用资料的地理区间为北纬 $36^{\circ} \sim 50.2^{\circ}$ 范围, 基本上覆盖了我国季节冻土的平面分布区域(高山冻土区除外), 可认为有普遍实用价值。

多年工程实践证明, 本分类方法在冻胀量档次划分上是合适的。

3.4 冻 胀 力

3.4.1 切向冻胀力是基础周围的土体冻胀时, 由于受到基础的约束而作用于基础侧表面的上拔力。“冻胀”和“约束”是产生切向冻胀力的必要和充分条件。基础与地基土之间的冻结力是基础对周围土体的冻胀施加约束的媒介, 也是切向冻胀力的等效值。

单位切向冻胀力值与基础侧表面的粗糙程度及材质有关, 本标准给出的单位切向冻胀力值适用各种圬工基础、钢筋混凝土钻孔灌注桩和木桩等。

国内外对季节冻土区基础侧表面单位切向冻胀力的研究较少, 前苏联、加拿大等国作了一些小桩径的切向冻胀力试验研

究，但基土的冻胀性都比较弱。国内的研究工作主要集中在黑龙江省水利科学研究院、黑龙江省寒地建筑科学研究院、黑龙江省交通科学研究院及水利部松辽委水利科学研究院等几个单位。公路和工业民用建筑行业已给出了本行业的切向冻胀力值。但是，由于各类工程所处的水文地质条件相差较大，尤其水工建筑物的地基土常因饱水而形成强冻胀，借用其他行业技术标准并不完全适用。为了给我国季节冻土地区的水工建筑物抗冻胀设计提供可靠的切向冻胀力值，黑龙江省水利科学研究院从 1978 年起对切向冻胀力做了大量的室内外试验，如：

(1) 室内切向冻胀力试验成果见表 3。不同几何比例尺的单位切向冻胀力值相差较大。室内模拟试验的切向冻胀力值与野外原型的切向冻胀力值不是 1:1 关系，其试验值尚不能应用于工程实际。

表 3 室内试验 τ_t 值

几何比尺	1:2		1:4		1:10	
单位切向 冻胀力 τ_t (kPa)	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值
	381	84	430	50	86	32

(2) 万家冻土试验场的原型试验结果：万家冻土试验场地表至 30cm 土层的平均单位切向冻胀力为 180~200kPa，全冻深平均单位切向冻胀力为 50~70kPa，冻胀量为 16~20cm，呈“上大、下小”型分布。

(3) 巴彦冻土试验场的原型试验结果：巴彦冻土试验场地表总冻胀量 16~18cm，实测单位切向冻胀力为 90~140kPa。

(4) 庆安冻土试验场地表总冻胀量为 28~32cm，实测单位切向冻胀力为 198~210kPa。

由于试验条件和结构条件的差异，上述各试验所得的结果相差较大。其中较大的影响因素为结构表面的光滑程度。根据不同水土条件、不同冻胀条件的试验场的多年原型试验结果，并参照

已有标准确定了表 3.4.1 的单位切向冻胀力值。该值是在结构表面平整、光滑的条件下的取值，对于结构表面粗糙，但无凹凸面时，表中数值应乘以 1.2 的系数。

3.4.2 地基土冻胀时，因受基础约束而垂直作用于基础板底面上的力定义为法向冻胀力，凡基础埋置深度在冻层之内且地基属冻胀性土时，都会因基土冻胀产生法向冻胀力。

在水利工程中，一些非承重或护面式结构（如铺盖板、护坦板、渠道衬砌板等），要其埋置深度在冻层之下是不现实的。为验算其在法向冻胀力作用下的稳定性，尤其为面大量广的小型涵闸做到基础合理浅埋，迫切需要为设计部门提供法向冻胀力指标。难点在于，国内外对此项研究成果所提供的数据相差太悬殊，最小者不足 100kPa，最大者竟达 5600kPa，从而使设计人员无所适从。

黑龙江省水利科学研究院 1977~1985 年通过大量的室内试验，尤其是野外原型试验（包括目前国内最大的 3m×3m 大型载板试验）表明，法向冻胀力的大小取决于基础板的约束程度和地基土的特性（冻胀性及其可压缩性）。若把基础板视作刚体，则当法向冻胀力大于地基土的前期固结压力时，会使地基产生排水固结，法向冻胀力的极大值不应超过地基的极限承载力；当法向冻胀力小于地基土的前期固结压力时，法向冻胀力的大小取决于基础板所受的约束力；一旦基础产生上抬变形，法向冻胀力值也随之衰减。

试验结果还表明，法向冻胀力随载板面积的增大呈指数规律衰减并趋于常值；在载板面积小于 2m² 范围内，法向冻胀力值变化剧烈。

表 3.4.2 中给出的单位法向冻胀力值 σ_v ，是在不考虑基础位移时，对应一定冻胀类别和载板面积可能产生的法向冻胀力极大值。它是根据黑龙江省水利科学研究院的实测资料和国内外有关成果的综合分析给出的。

在应用表 3.4.2 时，同一冻胀级别中，表中数值应先按冻胀

量内插，再按基础板面积内插。

例如，经计算冻胀量为 15cm，单块基础板面积为 75m^2 。根据表 3.3.2 可知冻胀级别为Ⅳ级。又根据表 3.4.2，先按冻胀级别Ⅳ级，单块基础板面积分别为 50m^2 、 100m^2 ，内插出冻胀量为 15cm 的单位法向冻胀力分别为 148kPa 和 115kPa。再内插出单块基础板面积为 75m^2 的单位法向冻胀力为 131.5kPa。

3.4.3 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，因此本条中规定取沿墙高的最大单位水平冻胀力为设计值。国内曾进行水平冻胀力现场试验的单位及试验项目主要有水利部东北勘测设计研究院的长春地区西新和向阳模型挡土墙工程、原铁道部西北科研所的风火山试验挡土墙工程、黑龙江省水利水电勘测设计研究院巴彦东风水库挡土墙工程、吉林省水利科学研究院和水利部东北勘测设计研究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院的万家冻土实验站和海林新安挡土墙工程。试验观测时间最长的达 6 年。本条中表 3.4.3 给出的单位水平冻胀力值，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。

4 抗冻胀计算

4.1 一般规定

4.1.1 渠系工程常见的基础结构型式有：渠道衬砌、桩墩基础、板型基础和挡土墙。由于各自不同的结构特点，抗冻胀计算的内容也不相同。渠道衬砌的冻害，主要是因渠床土冻胀造成衬砌体不均匀变位过大所形成的，加之衬砌普遍具有体积小、自重轻、所受约束力小等特点，难以抑制冻胀力而遭破坏，故选择冻胀位移量为主要控制指标；对其他建筑物，外荷载对冻胀有一定的抑制作用，而冻胀可能对其结构稳定和强度产生影响，因此应对结构稳定性、位移量和强度等进行验算。

4.1.2 土在冻胀时施加给基础或约束物的冻胀力，不仅在数值上与融土不同，而且在作用方向、性质等方面也不一致。如在融土中的摩擦承重桩，当土冻胀时，会受到切向冻胀力的上拔作用。在此力的作用下虽可增加冻结期桩基的承载力，但往往会造成桩基冻拔失稳，甚至因桩强度不足而被拉断。又如挡土墙后的回填土，在冻结条件下会形成一个整体，使融土期的主动土压力消失；对于冻胀性土，会形成数值量级和沿墙高分布都与融土完全不同的水平冻胀力“荷载”。这些冻胀力是周期性的、长期的作用力。因此，本条规定了在季节冻土区的渠系工程设计中，应把各种冻胀力视为基本荷载参加荷载组合。

4.2 衬砌渠道

4.2.1 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、温是形成冻胀差异的基本因素，对不同冻胀量的渠段可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。

4.2.2 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。多数研究单位认为，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。表 4.2.2 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。

4.2.3 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 3.2 节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。

4.2.4 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，也不论当地地下水埋深如何，均应把冰（水）面视为地下水补给面。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，在此范围内地下水埋深取零。

4.3 桩、墩类基础

4.3.1 本条明确规定对桩、墩基础抗冻拔稳定计算时，基础工作状态为全约束，即不允许基础向上（竖向）位移。理由主要有两点：一是桩基础冻拔是连续的和不可逆的。由于受下部未冻土的摩擦力作用，一旦桩基发生冻拔，融化后不能完全复位，而残留的冻拔位移量会逐年积累。二是诸如渡槽等上部结构输水、存水的桩基础构筑物对位移和变形非常敏感，桩基的冻拔位移必然造成上部结构的开裂、漏水等，影响工程的正常使用，甚至使整座构筑物失效。

鉴于在深度季节冻土区，有的板基或墙基虽然埋置在冻深以下，但基础侧面在切向冻胀力作用下，仍可能造成冻胀破坏；此外，实际工程中还有大量合理的浅埋基础，有的允许产生一定的位移，故在本条中对受切向冻胀力作用的其他基础也做了相应规定。

4.3.2 在计算总切向冻胀力时，引进了有效冻深系数 ψ ，该系数值在 0.6~1.0 之间，其物理意义为：在土、温一定的条件下，切向冻胀力值的大小及其沿冻深的分布形式与冻结期间地下水水位变化关系很大。例如：对于黏性土，如果冻结期间地下水水位距冻结锋面的距离大于 2.0m，则地下水向冻结锋面迁移比较困难，属于封闭冻结系统；切向冻胀力仅在 2/3 冻深以上的土层范围内发生，而以下的 1/3 冻土层为“冻而不胀”区，不产生切向冻胀力。所以，在计算总切向冻胀力时，应乘以 0.6~1.0 的有效冻深系数 ψ ，予以修正。反之，地下水水位较高，地下水补给充分，切向冻胀力发生在整个冻土层内，计算总切向冻胀力时，有效冻深系数 ψ 取 1.0。

表 4.3.2 是以冻结前期地下水水位距冻结层下限的最小距离为判定指标。表中地下水水位与冻结层底面的距离值，理论上应

取整个冻结期的平均值或最小值，但实际上大多数工程很难取得冻结期的地下水水位变化过程，所以表中采用冻结前期地下水水位代替，作近似计算。

4.3.3 摩阻力是克服切向冻胀力使之满足桩基抗冻拔稳定的锚固力。由于基土与桩之间的摩阻力要发挥到最大值需要一个剪切位移过程，而多数工程不允许基础有较大的上拔位移，所以在实际工程设计中，其摩阻力不应取极限值。式（4.3.3）中 F_s 为设计总摩阻力，而非极限摩阻力，0.4 即为桩基冻拔稳定摩阻力系数。

对于摩阻力系数的选取尚有不同的意见，一种是采用外力拔桩时的摩阻力系数 0.3；另一种是采用压桩时的摩阻力系数 0.5。我们认为在切向冻胀力作用下的桩基冻拔不同于外力拔桩，更不是压桩，而是属于拉桩范畴，但因冻土层对下卧暖土产生压密作用，而又与纯拉桩不同。严格地说，应通过现场冻拔桩的原型试验来确定。本标准取值 0.4，实际上是采用了拉桩和压桩摩阻力系数的平均值，尚属安全。

4.3.4 本条是桩、墩基础满足结构整体不冻拔的条件，即：

$$P + G + F_s + \sum F_i \geq K \cdot m_o \cdot T$$

在切向冻胀力的作用下，桩、墩基础发生冻胀破坏时，结构的应力状态应按中心受拉考虑，上拔力为切向冻胀力 T ；而向下的阻拔力包括：上部荷载 P 、结构自重 G 、冻结线以下基础的摩阻力 F_s 和可能产生的其他阻拔力 $\sum F_i$ （如冻胀反力、作用在各种型式的扩大式基础板上的土重等）。阻拔力应取可能发生的最小值（最不利条件），如规定上部荷载只取结构的恒荷载；对于跨年度施工的结构，取入冬停工前的最小恒荷载和自重；水下部分的基础取浮容重等。

基础抗冻拔稳定计算的安全系数 K ，是参照 JTJ 024—85 确定的。

在基础稳定验算中引进了冻胀力衰减系数 m_o 。它是根据黑龙江省寒地建筑科学研究院、黑龙江省水利科学研究院、中科院

寒区旱区环境与工程研究所、吉林省水利科学研究院和日本北海道开发局等单位的试验资料，通过综合分析得出的。当约束土体冻胀的基础沿冻胀力方向发生位移时，冻胀力将按指数规律衰减。采用上述各家资料点绘出 $[S]/h_t$ 与 m_o 的关系曲线，其最大值的外包络线的数学表达式即为式 (4.3.4-2)。

由于各种冻胀力的本质相同，都是随形成约束力的基础位移而降低，因此计算冻胀力衰减系数的公式对法向冻胀力、水平冻胀力也适用。

4.3.5 当基础的下部锚固力大于冻拔力时（如埋深较大的摩擦桩或接收冻胀反力自锚的扩大式桩基础等），虽然满足了整体抗冻拔稳定的条件，但在基础的薄弱部位可能因强度不够而被拉断。本条规定了基础结构强度的验算条件。

式 (4.3.5) 中 A_s 为基础最薄弱断面处的截面积。若基础为钢筋混凝土构件， A_s 为纵向受拉钢筋的横截面积总和。

原标准中公式为： $[K_o m_o T - (P + G_t + F_m)] / A_s \leq [\sigma]$ 。本次按单一安全系数法修订，即式 (4.3.5)。

4.4 板型基础

4.4.1 大量的实测数据表明，同一冻胀类型、相同冻胀条件的地基，其单位法向冻胀力值随基础板面积的增大而减小，当基础板面积超过 2m^2 以后，单位法向冻胀力值趋于常值。在法向冻胀力的众多研究成果中，试验载板的面积绝大多数在小于 2m^2 范围内，各家测得的单位法向冻胀力值相差数十倍，变化剧烈。而到目前为止，大面积的载板试验成果较少，为了保证工程的安全，本条对基础板的最小面积做了限定。

实测数据还表明，载板面积相同时，单位法向冻胀力值随基础周边长度的增大而增加。例如，面积相同的矩形和圆形基础板，在其他条件完全相同的情况下，前者较后者的单位法向冻胀力值高很多。但若矩形基础板的最小边长尺寸足够大（例如大于 2.0m ）时，则载板形状的影响已很微小。为安全起见，本条也

对基础板的最短边尺寸做了规定。

4.4.2 国内外的大量实验资料表明,当基础板由于地基土冻胀发生一定变形时,地基土作用在基础板的法向冻胀力将随变形的增大而按指数规律衰减。允许部分基础板发生适度的位移,对降低工程造价意义重大。表 4.4.2 中的允许垂直位移量 $[S]$ 值,是根据水工建筑物类型、使用功能和结构材料特性等综合因素给出的。

4.4.3 实际工程中的基础板所受的单位法向冻胀力设计值主要受基础板的位移量、材料及其厚度的影响,式 (4.4.3-1) 中单位法向冻胀力 σ_0 是在不考虑基础板发生位移、整个设计冻深度内土层冻胀时可能产生的最大法向冻胀力值,所以对允许发生冻胀位移的基础板,单位法向冻胀力设计值规定同时进行位移和基础厚度两项修正;而对不允许位移的基础, m_0 取 1.0。式中 m_0 和 α_0 分别为基础位移衰减系数和基础厚度影响系数。

式 (4.4.3-1) 是根据基础板下冻结面基本是平面的野外实测数据归纳得出的,若基础板面积较小,冻结面为曲面则不适用,这也是标准中对基础板面积做出限定的原因之一。

当基础有一定埋深时,相当于有一定厚度的冻土层被不产生冻胀的基础板“置换”,能产生冻胀的土层厚度由原来的 Z_0 (即工程设计冻深) 变为 Z_1 ,而冻胀力减小与冻胀量减小存在一定的关系,式 (4.4.3-2) 中的 α_0 即为法向冻胀力的减小系数。

4.4.4 板型基础的抗冻胀稳定性在垂直方向的总原则是,垂直方向冻胀力应小于约束力。式 (4.4.4-1) 表明,当基础有一定埋深时,冻胀力由法向和切向两部分组成;若有垂直方向位移,将按式 (4.3.4-2) 的规律衰减。

在验算板型基础的稳定时,对允许冻胀位移的基础板应同时满足式 (4.4.4-1) 和式 (4.4.4-2),以确定垂直方向冻胀位移量是否满足结构安全的要求。

稳定安全系数 K 的取值,是参照 JTJ 024—85 给出的。

4.5 挡 土 墙

4.5.1 挡土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，因此外露墙体的高度和厚度均直接影响到水平冻胀力沿墙高的分布形式。目前已有的试验研究资料基本上是在墙高均未超过 5.0m 的薄壁式挡土墙条件下取得的。因此，规定本节的计算适用于冻深大于 0.3m，墙前地面至墙后填土顶面之间的高度不大于 5.0m 的薄壁挡土墙。

4.5.2 多年来，国内有关单位进行过很多挡土墙水平冻胀力的观测研究。例如黑龙江省水利科学研究院在哈尔滨试验场的实体和模型挡土墙工程，吉林省水利科学研究院和水利部东北勘测设计研究院进行的东阿拉和大安屯两处锚定板挡土墙工程，水利部东北勘测设计研究院做的长春地区西新和向阳模型挡土墙工程，黑龙江省水利勘测设计研究院做的巴彦县东风水库挡土墙工程和原铁道部西北研究所风火山冻土站的现场实体挡土墙和模型挡土墙工程。这些挡土墙的高度范围为 1.6~4.6m，分析这些试验和观测所得的 80 组资料表明，在墙顶一定范围内不存在冻胀力或冻胀力很小，最大单位水平冻胀力出现在墙前地面以上一定高度处，水平冻胀力沿墙高的分布多数呈近似三角形。因此，为简化计算，对水平冻胀力的分布采用与实测压强图的冻胀力矩平衡、合力相等、最大单位水平冻胀力作用点不变的原则，并考虑墙前冻土压力后简化为图 4.5.2 所示的三角形单位水平冻胀力压强分布图。

根据现有的试验结果，以挡土墙后回填土的冻胀性级别为划分标准，统计出了非冻胀区深度系数 y ，其平均值见表 4.5.2。

4.5.3 本条中的水平冻胀力是按上述三角形分布算得的合力值。水平冻胀力的设计值应取其标准值与各类修正系数的乘积。

黑龙江省低温建筑科学研究院、黑龙江省水利科学研究院、中科院寒区旱区环境与工程研究所、吉林省水利科学研究院和日

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。式(4.5.3-2)是按上述各单位相对变形量与冻胀力衰减关系的外包线得出的。

式(4.5.3-2)中的允许水平位移值 $[S']$ 是根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)悬臂构件的允许挠度确定的。

4.5.4 因挡土墙外露墙高以下墙体皆埋在冻土层内，外露墙底部是最危险断面，故选作抗冻胀强度的验算断面。

在计入冻胀力后，挡土墙的整体稳定和结构强度的验算与常规设计相同，可按《水闸设计规范》(SL 265—2001)和 GB 50010—2002 等现行标准进行计算。



5 抗冻胀结构及工程措施

5.1 衬砌渠道

5.1.1 渠道衬砌体因无附加荷载而对渠床冻胀非常敏感。我国西北、华北和东北地区的大量实测资料表明，当渠道的冻胀位移值与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；当其冻胀位移值与允许位移值相差过大时，应采取回避或削减冻胀的措施解决。

5.1.2 当渠道的冻胀位移值略大于允许位移值（一般在 2 倍以内），及渠床土的冻胀级别在Ⅱ级以下（最大冻胀量小于 5cm）时，通过本条推荐的 5 项措施是可以满足抗冻胀要求的。本条中的第 1 款是利用结构受力特点抵抗冻胀变形的结构措施；第 2 款和第 3 款是兼有抵御和适应冻胀变形两种能力的结构措施；第 4 款是回避冻胀变形的结构措施；第 5 款是适应冻胀变形能力的措施。本条较适用于冻深在 100cm 左右的季节冻土区。

5.1.3 本条规定适用于渠床土的冻胀性级别高于Ⅲ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 款所列的措施属于“回避”冻胀措施，可彻底消除冻胀破坏；第 4 款所列的措施减小基础的冻胀作用。但第 2 款所列的措施和第 3 款所列的措施的工程量较大、造价较高，非特殊必要，宜慎用。

5.1.4 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。有的单位提出估算纵缝数的如下经验式 [见式 (1)]，据此确定缝距的方法，可供参考。

$$j \geq \Delta L / (\Delta b - 15) \quad (1)$$

式中 j ——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。

5.1.5 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，置换量过大不一定经济可行。

5.1.6 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）的设计，并能保证其长期正常工作。

5.1.7 采用聚苯乙烯泡沫塑料板等保温材料进行保温，削减或消除渠床土的冻胀，具有施工简易、效果明显、造价较低等特点。对于小型渠道，可按 1cm 厚的保温板可减少 10~15cm 冻深估算，这是通过热工计算和实际工程验证过的，其精度可满足工程实际要求。

5.1.8 采用不透水材料隔断水分，使冻结前土中含水量尽可能降低或冻结期间不致形成强烈的水分迁移、集聚，可降低冻胀量的 30%~100%。这种措施的关键是确保施工期间膜料不被刺穿。 Z_0 为地下水对冻结层无显著影响的临界深度，地下水水位

距离冻结峰面大于 Z_0 时,才适合采用该措施,这时,地下水水位距离渠底应为 $Z_0 + Z_d$ 。

本条规定的衬砌体与膜料之间用水泥砂浆或砂砾石,对于渠道比降较陡、过水流速较大的情况,应采用水泥砂浆;而对于过水流速较小的渠道,可采用砂砾石或粗砂做过渡层。

5.1.10 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因基土冻融作用在春融期间发生滑坍,以致实际存在的稳定的断面形式大致都是弧形、弧底梯形、弧形坡脚梯形,其宽深比都大于1,所以本条作出相应的规定。

5.1.11 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,本条规定应进行边坡稳定性验算,除放缓边坡外,还可采用换填、排水、支挡等综合性工程措施。这些措施,曾在内蒙古自治区和吉林省试用过,都取得良好效果。

5.2 桩、墩类基础

5.2.1 在桩、墩类基础不满足抗冻拔稳定要求的情况下,要依据所设计的基础型式和当地的水文地质条件,采取相应的抗冻胀结构和工程措施。当阻拔力与冻拔力相近或稍小于冻拔力时,可适当加深基础或增大锚固头水平方向的尺寸,以增加阻拔力来满足基础抗冻拔设计稳定要求。因地基或施工条件限制,增加基础埋深或扩大锚固头有困难时,可采用削减切向冻胀力措施,如在冻层范围内的基础表面做涂层处理、外包薄膜处理,增加光滑度等。

经处理后的基础切向冻胀力可部分或大部分被削减掉。涂层处理措施适用于预制混凝土桩,经涂层处理后,可削减切向冻胀力值30%;对于钻孔灌注桩,应特别注意冻层范围内柱体外壁的平整光滑,可采用钢模或预制管做模板浇注,与钻孔直接浇注

相比,可减小切向冻胀力值 50%左右。但应注意,采取基础表面处理后,计算桩基承载力时,冻层范围内的摩擦阻力不应计入。

对于锚固基础,因结构自身有抗冻拔能力,抗拔稳定一般能达到设计要求,但应验算抗拔强度,以防桩基强度不足被拔断。

5.2.2 置换法是基础抗冻胀的一项常用的工程措施,但在实际运用中,常因适用条件、施工不当,使置换效果不佳或完全失效。

采用置换措施,要结合当地的水文地质条件进行,除将冻胀性土换成非冻胀性土外,应设置排水出路,使换填材料中的水分在冻结前排出,这是置换法能起抗冻胀作用的保证。此外,还应注意置换层的防护,可用土工织物防止细粒土入侵;对有抗冲刷要求的,应设置防冲护砌。

5.2.3 本条是对冻层范围内的基础侧表面做涂层处理的规定,目的是减少基础与地基间的冻结力。涂层材料常用憎水性材料,如沥青、糠醇树脂、环氧树脂等。

5.2.4 防止桩基冻拔的结构措施主要有增加桩基入土深度和采用扩大式锚固基础两种。前者是利用融土的摩擦阻力,后者是利用基础上的土重或冻胀反力来克服切向冻胀力,保持桩基的稳定。

扩大式桩基础的型式很多,应根据具体使用条件选用。例如,锚固底梁基础除能增加结构的抗冻拔稳定性外,还能增加结构的横向稳定;爆扩桩基础较适用于地下水水位较低的黏性土(易成孔);锚固环式基础适用于已经冻拔的灌注桩基础桥、渡槽等工程的维修。但任何种类的扩大桩基础,其扩大基础板顶面埋深都应大于当地工程设计冻深。在此前提下,为了接受更多的冻胀反力,应使扩大板顶面尽量接近工程设计冻深。

5.3 板型基础

5.3.1 本标准所指的板型基础是坐落在冻土层中受到法向冻胀

力作用的基础。因此，对经过抗冻胀计算不能满足要求的基础板，本节重点规定了置换、隔层封闭、保温、排水等消除或削减地基土冻胀的措施。

在抗冻胀设计中，应首先考虑采用抗冻结构措施，如“一字闸”、“筛网消能工”、“反拱底板”、“枕梁桥”等。只有当条件不允许或采用结构措施不够经济合理时，才采用置换、隔层封闭、保温、排水等措施。

5.3.2 本条规定采用有效冻深系数对冻深进行修正后作为置换深度，是指把天然地基中发生冻胀变形的部分冻土换掉，留下部分应属“冻而不胀”区，不需置换。

从基础侧面向外加大 0.5m 的平面置换范围是根据工程实践经验确定的，其作用是消除基础边缘附近地基土的附加冻胀力对基础稳定的影响。

基础板下采用置换措施后，还要注意基础侧面切向冻胀力对基础稳定的不利影响。置换层应有防止细颗粒侵入的措施，并有排水出路，保证置换层发挥抗冻胀作用。

5.3.3 本条规定的封闭地基平面范围与置换措施中的理由相同。采用隔层封闭地基后仍需考虑基础侧面消除切向冻胀力作用的措施。由于限定封闭土体的含水量低于塑限含水量，外水被隔绝，冻胀量很小，其抗冻胀效果显而易见，关键是保证封闭膜不被刺穿或破裂。

隔层封闭地基中隔层的作用是：一旦在某层发生意外破损而透水时，对其他封闭土层无影响；把回填土分层隔绝，在冻结层土体内部避免因水分迁移形成集中聚冰，以减少土体总冻胀变形；此外，还附加有保温作用。

每个隔层厚度 30~50cm 是由构筑物重要程度、封闭地基总厚度及技术经济比较而确定的经验数据，对抗冻胀要求高的重要构筑物，每层厚度应选小值。

基础厚度折减系数 0.35 是指基础的保温效果与天然地基土的保温效果等效时对基础厚度的折减。也就是从保温效果来说，

同厚度的基础与土层对减少基础下冻土层不是等效的。热工计算表明，混凝土及石材的热阻约为黏性土的 0.35，所以规定基础板厚度折减系数为 0.35。

5.3.4 目前水利工程中所使用的基础保温材料大部分是聚苯乙烯泡沫塑料板，这种材料的化学性能稳定，不易被地基土降解，吸水和透气率低，导热系数小，隔热效果好。生产工艺简单，产品系列广泛，压缩强度为 60~400kPa，适应大部分水利工程的需要。

工程设计中，首先应根据具体工程部位的荷载情况选择保温材料的等级，主要指标为压缩强度和表观密度，然后根据工程地点的多年平均冻结指数和保温材料的导热系数，采用附录 A 中规定的方法计算实际工程所需保温板厚度。

5.3.5 蓄水保温法中经验系数 0.6 的取值是根据实践经验确定的，一些地区的观测资料表明，水库冰冻的厚度一般是大地冻深的 0.5~0.6，所以该经验系数取 0.6。

5.4 挡土墙

5.4.1 挡土墙冻害防治的要求与其他结构的冻害防治要求相似，基本上可归纳为结构措施、削减或消除土的冻胀性措施及综合措施。

(1) 结构措施：指选择在整体布置上可减少总冻胀力、能改变应力集中点、允许变形量大、结构强度高和稳定性好的结构型式，以达到防止冻胀破坏的目的。

(2) 削减或消除土的冻胀性措施：指采用改变影响土的冻胀性最主要的水、土、温、压条件，从而削减或消除土的冻胀性的措施。

(3) 综合抗冻措施：指采用两种或两种以上方法综合防治冻害的措施。

5.4.2 由于挡土墙水平冻胀力值的大小与墙体允许水平位移量的大小成反比关系，所以允许位移量大的挡土墙对削减水平冻胀

力有利。在各类挡土墙的结构型式中，以悬臂式结构的允许变形量最大，因此，有抗冻要求的挡土墙墙身优先选用悬臂式；基础优先选用条形板式基础，有利于减少基础工程量，而且可利用冻胀反力提高挡土墙的垂直抗冻稳定性。

5.4.3 按非抗冻设计的挡土墙要求设置排水孔是为了减少墙后的水压力，以达到减轻设计荷载的目的；从抗冻胀角度，这有利于疏干墙后土体，减小水平冻胀力。当墙后土体的冻胀级别为Ⅰ、Ⅱ级时，按非冻土设计的挡土墙排水孔便可满足要求。本条对排水孔构造上的要求与一般构造要求相同。

常用的排水方法有底部排水、墙背排水、倾斜排水和水平排水4种形式，其中倾斜和水平排水对墙体的防冻害效果较好。

5.4.4 挡土墙背侧与土接触面的光滑平整和涂沥青防水材料，可以减少土体与墙体的冻结力，从而减少切向冻胀力，有利于墙体垂直抗冻胀稳定。

5.4.5 挡土墙后置换的非冻胀性土，粒径大、渗透性强，不利于水工防渗，在采用置换措施时，应注意满足渗径及防渗要求。置换范围是按压强分布图形并考虑砂石料的冻结深度较黏性土一般增加20%而确定的。

置换断面按下列3项规定确定：

(1) 墙顶置换宽度大于或等于50cm。

(2) 自墙顶至 $0.5H_w$ 处的置换宽度取 $1.2Z_d$ 。

(3) 墙基处置换宽度为 $0.5Z_d - \delta$ ， δ 为墙基处墙的厚度。

5.4.7 挡土墙的保温措施是利用保温材料改变负温与土体的热交换条件，减少土的冻结深度或改变墙后回填土的温度场，从而达到削减土体冻胀的方法。

(1) 保温材料的选择：通常选用国内外常用的聚苯乙烯泡沫塑料板。

(2) 保温层铺设的形式：可采用单向或双向保温两种形式。单向保温措施是将保温板沿墙体背面铺设，使垂直墙体方向的热交换减少，其理想状态是改双向冻结为垂直地面方向的单向冻

结；双向保温措施是除在墙体背面铺设保温板外，沿墙后地表面下也铺设一层保温板，达到双向削减墙后土体冻结深度的目的，以削减水平冻胀力对墙体的破坏作用。

(3) 保温板尺寸的确定：

——保温板厚度按本规范附录 A 推荐的方法计算确定，对小型渠系工程，可按 $1/15 \sim 1/10$ 的工程设计冻深确定。

——保温板高度按挡土墙后回填土的顶面高程减去 20cm 确定。

——水平及侧向保温板的长度，为消除周边土冻胀对保温段的侧向影响，可取 1.1~1.5 倍的工程设计冻深，对不完全消除墙后土体冻结的保温措施可取小值。

5.5 其他抗冻胀工程措施

5.5.1 渠系建筑物大多数规模较小，荷载及结构尺寸也小，各部位基础埋深不大，如果地基土为冻胀性土，在寒冷地区，一般结构型式很难满足抗冻胀稳定要求。下面几种结构型式，包括一字闸、筛网消能工、竖井式跌水、井柱式泵房等，是经过长期工程实践检验，具有抵抗冻胀力或适应冻胀变形的典型结构，经济、适用，可供实际工程借鉴。

5.5.2 “一字闸”是为减少构筑物与地基土接触面积以削减冻胀作用，将常规平面布置水闸中的进口段和控制段的平板型基础改为竖直的“一”字形立板基础或沉箱基础。

(1) 一字闸的主体部分为一字板，其他部分如工作桥、人行桥、筛网消能等均设置在一字板上。一字闸设计的关键是一字板的设计。

上、下游跌差大的一字闸结构，主要借助于板桩理论的计算方法来确定一字板的埋深和配筋。

一字闸闸板的受力，在基础以上部分可按悬臂受力结构计算，基础部分可按固定支座简化考虑，边墩和中墩可按悬臂构件考虑。

(2) 在平原地区, 如果闸基为砂、粉细砂、砂壤土, 一字板设计的控制条件首先是要满足渗径要求, 然后再按抗冻拔校核和承载力校核。如果闸基为黏土, 一字板的设计控制条件为满足冻拔稳定要求。

若抗冻拔稳定条件不满足时, 通常采用的措施是增加自重, 或改善地基条件, 或改变一字板的形状, 采用趾板型。

(3) 一字闸与各种消能工的结合:

——对于渠道纵坡较缓、上下游水位差较小的一字闸, 可采用常用的消力池底流消能或 W 形消力坎的底流消能方式。

——对于上、下游水位差较大的一字闸, 可采用筛网消能或涡流式竖井消能。

5.5.3 筛网式消能工是在传统底流消能的消力池基础上, 在水流位置增设一层钢筋混凝土网格, 用以改变水流的方向和流态, 使其与下层水流交叉冲撞, 达到消能的目的。这种结构型式可有效缩短消力池的长度, 同时由于上层筛网格栅对消力池边墙的支撑作用, 改变了边墙的受力条件, 增强了边墙抗冻胀破坏的能力和消能工的整体性。

竖井消能工由竖井替代常规消力池。竖井基础埋深大、整体性好、抵御冻胀破坏的能力强。一般竖井为矩形断面, 其结构尺寸由水力计算和结构计算确定。

5.5.4 灌排工程中常见小型泵房(站), 按结构要求的基础埋深不大, 如果按抗冻胀稳定要求将基础埋置在冻层以下, 则会增加工程量和造价, 不经济。在这种情况下, 可选择一些结构轻巧、又能有效防止冻胀破坏的结构型式。井柱式泵房基础为单排或双排钢筋混凝土灌注桩, 上部为水泵梁、电机层及泵房。这种泵房的基础为架空结构。基础与地基土接触面积小, 易处理, 只要求灌注桩基础满足抗冻拔稳定, 其他部位均按常规设计。

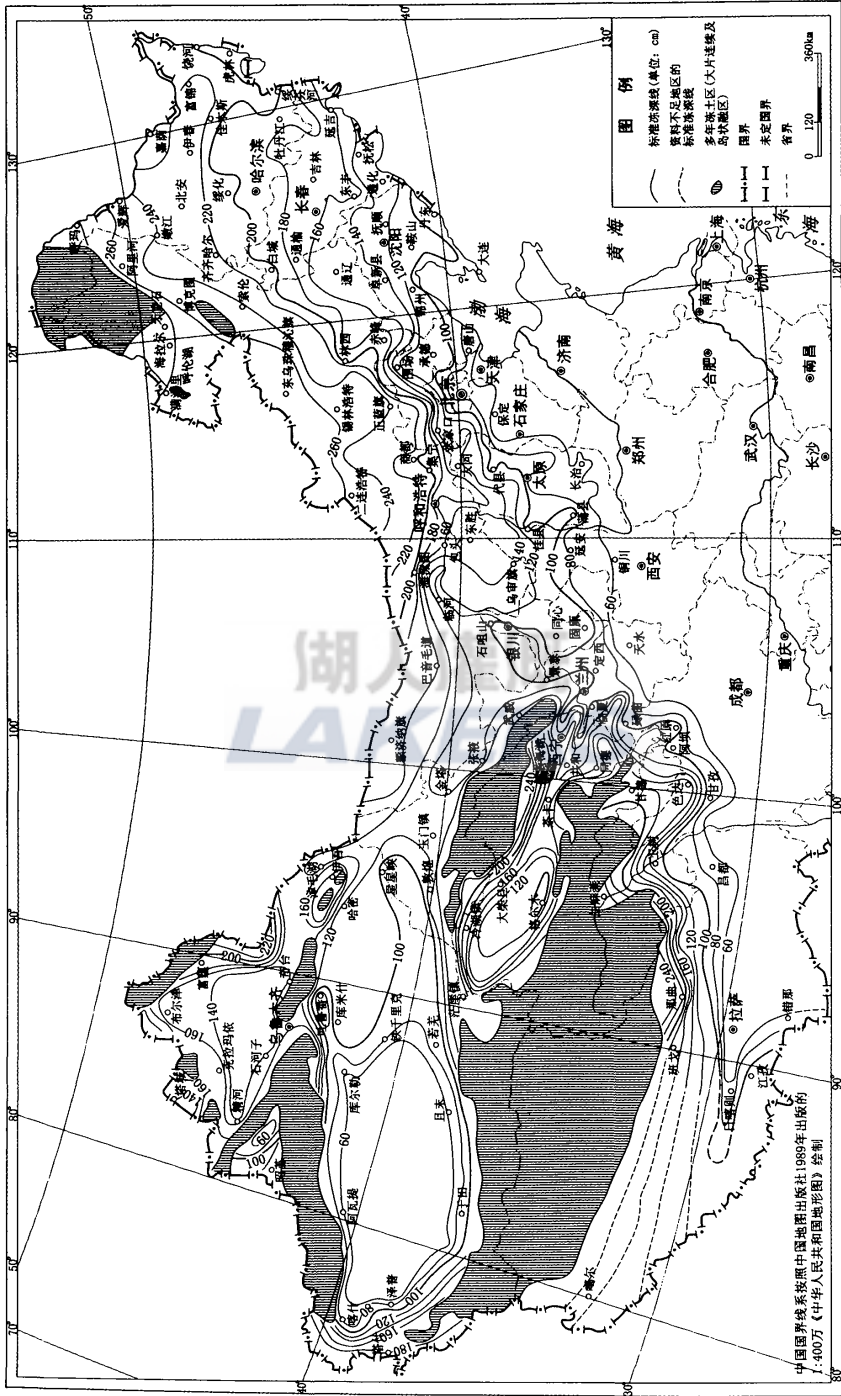


图 1 中国北方季节冻土区标准冻深线图

2006年12月15日 国家测绘局

GS (2006) 1523号