

中华人民共和国水利水电行业标准

渠系工程抗冻胀设计规范

SL 23—91

主编部门:中华人民共和国水利部科技教育司

批准部门:中华人民共和国水利部

实施日期:1991 年 7 月 1 日

关于发布《渠系工程抗冻胀 设计规范》的通知

水科教[1991]1 号

根据原水利电力部(86)水电技字第 11 号文的要求,由黑龙江省水利科学研究所主编的《渠系工程抗冻胀设计规范》,经审定批准为水利水电行业标准,其名称与编号为《渠系工程抗冻胀设计规范》**SL23—91**。自一九九一年七月一日起实施。

该规范实施过程中,请各单位认真总结经验,发现问题及时函告主编单位并告水利部科技教育司。

该规范由水利电力出版社出版发行。

中华人民共和国水利部

一九九一年二月二十六日

主 要 符 号

- A_s ——切向冻胀力作用下结构最薄弱断面处截面积, m^2 ;
 A_b ——基础板底面与地基接触面的水平投影面积, m^2 ;
 a ——扩大式基础板顶面至地表的距离, m ;
 b ——切向冻胀力合力作用点至扩大式基础顶面距离, m ;
 c_i ——挡土墙边坡修正系数;
 d ——桩的直径或墩、板的长、宽方向尺寸, m ;
 F_i ——最薄弱断面以上融土与基础侧面的总摩阻力, kN ;
 $\sum F_i$ ——除基础自重、外荷和摩擦力外其他阻拔力, kN ;
 f ——土的平均冻胀强度, %;
 f_i ——融土层中单位极限摩阻力, kPa ;
 G ——基础自重, kN ;
 G_i ——最薄弱断面以上的基础自重, kN ;
 H_0 ——标准冻深, cm ;
 H_b ——保温帷幕深度, m ;
 H_f ——隔层封闭深度, m ;
 H_d ——工程设计冻深, cm ;
 H_n ——置换深度, cm ;
 H_s ——保温水层厚度, cm ;
 H_w ——挡土墙外露墙高, m ;
 h ——土的冻胀量, cm ;
 h_i ——冻结线下各土层厚度, m ;
 I_0 ——冻结指数的多年平均值, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$;
 K_1 ——挡土墙抗倾覆安全系数;
 K_2 ——挡土墙强度安全系数;
 $[K_1]$ ——挡土墙抗倾覆允许安全系数;

$[K_2]$ ——挡土墙强度允许安全系数;

K_d ——考虑日照及遮荫程度的工程设计冻深修正系数;

K_h ——有效冻深系数;

X_p ——工程设计冻深的频率模比系数;

K_z ——工程设计冻深的地下水影响系数;

K_w ——热阻修正系数;

K_r ——抗冻拔稳定安全系数;

K_G ——板型基础稳定安全系数;

K_b ——水平保温段长度,m;

M_h ——冻胀倾复力矩,kN·m;

M_p ——抗倾复力矩,kN·m;

M_i ——挡土墙计算断面上的冻胀力矩,kN·m;

m_σ ——冻胀力衰减系数;

l ——扩大式基础板襟长,m;

P ——恒荷载,kN;

P_A ——总冻胀反力,kN;

p_i ——计算地点上地基的荷载强度,kPa;

R ——置换半径,m;

R_w ——保温基础板设计热阻, $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/kJ$;

S ——基础侧面与冻土接触面积, m^2 ;

$[S]$ ——沿冻胀力方向的允许位移量,cm;

$S_{f,r}$ ——冻土的饱和度,%;

T ——总切向冻胀力,kN;

T_l ——单位墙长上的总切向冻胀力,kN/m;

u ——冻层内基础横断面的平均周长,m;

u_i ——冻结层下限以下与各未冻土层接触的基础横断面平均周长,m;

w ——冻结期开始时土的重量含水量,%;

w_f ——冻土的重量含量,%;

- w_p ——土的塑限含水量, %;
 w_n ——冻土中未冻水含量, %;
 z ——地下水位深度, m;
 z_0 ——地下水对冻结层无显著影响的临界深度, m;
 z_p ——冻结期地下水位至冻结层下限的平均距离, m;
 α ——冻深系数;
 α_p ——冻胀量计算中荷载修正系数;
 α_p ——冻胀量计算中土的干密度修正系数;
 $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \beta_2$ ——土的平均冻胀强度计算时的系数;
 β ——与土干密度有关的系数;
 ρ_d ——土的干密度, kg/m^3 ;
 σ ——单位法向冻胀力设计值, kPa;
 σ_h ——单位水平冻胀力设计值, kPa;
 σ_{hm} ——单位水平冻胀力标准值, kPa;
 σ_0 ——单位法向冻胀力标准值, kPa;
 $[\sigma]$ ——材料的允许拉应力, kPa;
 τ ——单位切向冻胀力, kPa;
 δ ——挡土墙或基础板厚度, m。

本规范中用词说明

(一)对条文执行严格程度的用词采用以下写法:

- 1.表示很严格,非这样作不可的用词“必须”;
- 2.表示严格,在下常情况下均应这样作的用词“应”;
- 3.表示允许稍有选择,在条件许可时首先这样作的用词“宜”;
- 4.表示一般情况下均应这样作,但硬性规定这样作有困难的用词,采用“应尽量”;
- 5.表示可以根据具体情况进行选择的用词“可”。

(二)条文中必须按指定的标准、规范或其它有关规定执行的写法为“按……执行”或“符合……要求”。非必须按所指的标准、规范或其它规定执行的写法为“参照……”。

目 录

第一章 总则	(8)
第二章 基本参数的确定	(10)
第一节 冻结深度	(10)
第二节 冻胀量	(12)
第三节 土的冻胀性及地基土的冻胀性工程分类	(15)
第四节 冻胀力的取值	(15)
第三章 抗冻胀计算	(17)
第一节 一般规定	(17)
第二节 衬砌渠道	(17)
第三节 桩、墩及受切向冻胀力作用的基础	(18)
第四节 板型基础	(20)
第五节 挡土墙	(22)
第四章 抗冻胀结构及工程措施	(25)
第一节 衬砌渠道	(25)
第二节 桩、墩类基础	(28)
第三节 板型基础	(29)
第四节 挡土墙	(32)
附录一 冻胀反力计算	(36)
附录二 双层油套管的作用与构造	(39)
附录三 冻土密度的确定	(41)
附录四 冻土中未冻水量的确定	(42)
附录五 聚苯乙烯泡沫板性能及糠醇树脂配合比	(43)
附加说明	(43)

第一章 总 则

第 1.0.1 条 本规范是为了防御渠系工程受基土冻胀作用的破坏(本规范中简称抗冻胀)而制定。凡符合第 1.0.2 条的渠系工程必须按本规范的要求进行抗冻胀设计。

本规范不适用于因材料冻融、冰压力等作用引起的冻害问题。可能受基土冻胀破坏的其它水工建筑物,可参照本规范执行。

第 1.0.2 条 本规范适用于季节冻土标准冻深大于 10cm 地区的衬砌渠道和标准冻深大于 50cm 地区的其他渠系建筑物。

第 1.0.3 条 渠系工程抗冻胀设计应贯彻因地制宜、安全可靠、技术先进、经济合理的原则。

第 1.0.4 条 渠系工程抗冻胀设计的主要技术要求有:

一、结合抗冻胀要求选择渠道线路或建筑物地点并进行必要的技术经济论证;

二、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;

三、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;

四、对冻胀作用下各类构造物的位移、强度及稳定性进行验算,确定抗冻胀措施;

五、提出施工工艺及管理运用方面的抗冻胀要求。

第 1.0.5 条 抗冻胀的工程措施可采取下列一项或综合采用几项:

一、削减或消除土的冻胀作用,包括:用非冻胀性土置换或进行压密,加强防渗、隔水及排水,保温,增大地基的荷载等;

二、采用适应冻胀变形能力强的结构型式或尽量减少建筑物和冻土的接触面积;

三、加强地基对建筑物基础的锚固作用。

第 1.0.6 条 渠系工程进行抗冻胀设计应首先满足本规范的要求,并符合现行有关规范、规程的要求。

第二章 基本参数的确定

第一节 冻结深度

第 2.1.1 条 工程地点的标准冻深,可采用气温条件相近的邻近气象台(站)的多年冻深平均值,该气象台(站)的冻深资料(包括插补延长)系列不宜短于 10 年。

第 2.1.2 条 工程地点的标准冻深资料短于 10 年或无资料时,可根据当地的 10 年以上气温资料,计算冻结指数多年平均值,按式(2.1.2)计算工程地点的标准冻深。

$$H_0 = \alpha \cdot \sqrt{I_0} \quad (2.1.2)$$

式中 H_0 ——工程地点的标准冻深,cm;

I_0 ——冻结指数的多年平均值, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$;

α ——系数,按表 2.1.2 取用。

表 2.1.2 α 值 表

I_0 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)	100	300	500	800	1000	1200	1500	1800	2000	2200	2400	2600	2800
α	2.90	3.01	3.13	3.31	3.44	3.58	3.79	4.01	4.17	4.33	4.50	4.68	4.86

注 本表允许内插取值。

第 2.1.3 条 工程设计冻深系指工程地点自冻结后地面算起的冻结深度,按式(2.1.3)计算:

$$H_d = K_p \cdot K_d \cdot K_z \cdot H_0 \quad (2.1.3)$$

式中 H_d ——工程设计冻深,cm;

K_p ——频率模比系数,按第 2.1.4 条确定;

K_d ——考虑日照及遮荫程度的修正系数,按第 2.1.5 条确定;

K_z ——地下水影响系数,按第 2.1.6 条确定。

第 2.1.4 条 冻深年际变化的频率模比系数 K_p , 可由图

2.1.4 根据标准冻深值查得。Ⅳ级、Ⅴ级的建筑物按频率为 10% 的曲线查取,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级建筑物,按频率为 5% 的曲线查取。

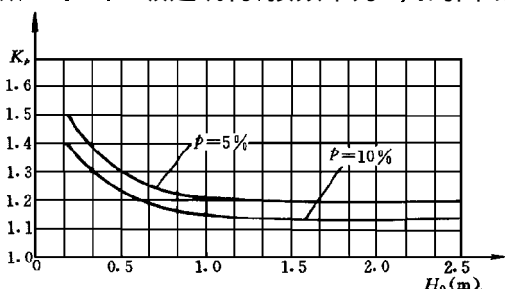


图 2.1.4 频率模比系数 K_p 与标准冻深 H_0 关系曲线

第 2.1.5 条 考虑日照及遮荫程度的冻深修正系数 K_d ,根据工程地点所在纬度及建筑物轴线走向,在下列范围内选用:

向阳面 $K_d=0.65\sim 1.0$;

底面 $K_d=1.0\sim 1.2$;

遮荫面 $K_d=1.2\sim 1.5$ 。

上述数值当建筑物轴线接近南北方向时,向阳面取大值,其他情况取小值;当建筑物轴线接近东西方向时,向阳面取小值,其他情况取大值。同一轴线方向下,纬度以北纬 $35^\circ\sim 50^\circ$ 为界限,纬度高的,向阳面取大值,其他情况取小值。

第 2.1.6 条 地下水对冻深的影响系数 K_z ,按表 2.1.6 取用。

表 2.1.6 K_z 值 表

土 类	高、中液限的 粘质土和粉质土	低液限的粘质土 和粉质土	沙
$z \geq 2.0$	1.0~0.95	1.0	1.0
$2.0 > z \geq 1.5$	0.95~0.90	1.0~0.95	1.0
$1.5 > z \geq 1.0$	0.90~0.84	0.95~0.90	1.0~0.97
$1.0 > z \geq 0.5$	0.84~0.75	0.90~0.80	0.97~0.94
$0.5 > z \geq 0$	0.75~0.62	0.80~0.70	0.94~0.85

注 1. z 为地下水位深度(m),可取当地日平均气温稳定降至 0°C 日前或后 5 天内的 10 年平均值;

2. 可据 z 值用内插法取 K_z 值。

第二节 冻 胀 量

第 2.2.1 条 对 I、II、III 级建筑物,其冻胀量应尽量在现场按照工程建成后的土质、水分、温度及运行条件,进行原型模拟试验测定。野外冻胀量的观测方法可参照《土工试验规程》(SDS01-79)中土-066-79 项执行。

当各种条件下的冻胀量全部实测存在困难时,可按本规范第 2.2.3 条至第 2.2.8 条的规定,用两种方法进行计算,并选用计算结果的大值作为各种条件下的冻胀量。

第 2.2.2 条 对 IV、V 级建筑物,可根据已取得的计算所需参数和公式适用范围,选用本规范第 2.2.3 条或第 2.2.4 条规定的两种计算方法之一,通过计算确定冻胀量。

第 2.2.3 条 当已知工程地点的工程设计冻深 H_d 或冻结指数的多年平均值 I_0 时,按式(2.2.3-1)至式(2.2.3-4)计算确定冻胀量。

一、高、中液限的粘质土和粉质土的冻胀量按式(2.2.3-1)计算:

$$h = 45 \alpha_p \cdot \alpha_\rho \cdot e^{-0.64(0.017 H_d^{-2.3})^2 - 0.7z} \quad (2.2.3-1)$$

本式的适用范围是 $50\text{cm} \leq H_d \leq 220\text{cm}$ 。

式中 h ——冻胀量,cm;

α_p ——荷载修正系数,按式(2.2.3-3)计算;

α_ρ ——土体密度修正系数,按式(2.2.3-4)或式(2.2.3-5)计算;

z ——地下水位深度,m,其确定方法见表 2.1.6 注 1。

二、砂类土的冻胀量按式(2.2.3-2)计算:

$$h = \alpha_p \cdot \alpha_\rho \left[22.5 e^{-0.16 \left(\frac{I_0}{265 - 4.53} \right)^2} - 10.7z \right] \quad (2.2.3-2)$$

本式的适用范围是 $I_0 < 2200(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d})$ 。

式中 I_0 ——工程地点的冻结指数多年平均值。

三、荷载修正系数 α_p 按式(2.2.3-3)计算:

$$\alpha_p = e^{-\beta \cdot p_i} \quad (2.2.3-3)$$

式中 p_i ——计算地点上地基的荷载强度, kPa;

β ——与土的干密度 ρ_d 有关的系数,按表 2.2.3 选用;若计算地点土的干密度小于 1350kg/m^3 时,取 $\rho_d = 1350\text{kg/m}^3$ 。

表 2.2.3 β 值 表

$\rho_d(\text{kg/cm}^3)$	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75
β	0.034	0.025	0.018	0.014	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003

注 本表允许内插取值。

四、土体密度修正系数 α_p 按式(2.2.3—4)或式(2.2.3—5)计算。

1.按表 2.1.6,当 $K_z=1$ 时,

$$\alpha_p = 4.78 - 2.7 \rho_d \quad (2.2.3-4)$$

2.按表 2.1.6,当 $K_z < 1$ 时,

$$\alpha_p = e^{-5(\rho_d - 1.35)} \quad (2.2.3-5)$$

本式适用范围为 $\rho_d > 1350\text{kg/m}^3$ 。

第 2.2.4 条 当已知工程地点冻结期内地下水位动态时,可按式(2.2.4)计算冻胀量 h :

$$h = \frac{\alpha_p \cdot f \cdot H_d}{100} \quad (2.2.4)$$

式中 α_p ——荷载修正系数,按式(2.2.3—3)计算;

f ——土的平均冻胀强度(%),由本规范第 2.2.5 条至第 2.2.8 条确定。

第 2.2.5 条 土的平均冻胀强度 f ,按冻结期内地下水位至冻结层下限的平均距离 z_p 值大小分为地下水浅埋、地下水深埋和地下水浅埋到深埋的过渡等三种情况,分别加以确定:

一、 z_p 值符合式(3.2.5—1)时,属地下水浅埋,即

$$z_p \leq z_0 \quad (2.2.5-1)$$

二、 z_f 值符合式(2.2.5—2)时,属地下水深埋,即

$$z_f > z_0 + 0.5 \quad (2.2.5-2)$$

三、 z_f 值符合式(2.2.5—3)时,属地下水浅埋到深埋的过渡情况,即

$$z_0 \leq z_f \leq z_0 + 0.5 \quad (2.2.5-3)$$

以上各式中, z_f 为冻结期内地下水位至冻结层下限的平均距离(m)。 z_0 为地下水对冻结层无显著影响时的临界深度,根据不同土质,按表 2.2.5 确定。

表 2.2.5 z_0 值 表

土 类	高液限粘质土 和粉质土	中液限粘质土 和粉质土	低液限粘质土 和粉质土	沙 土
$z_0(\text{m})$	2.0	1.5	1.0	0.5

第 2.2.6 条 地下水浅埋时, f 按式(2.2.6)确定:

$$f = \alpha_1 e^{-\beta_1 z_f} \quad (2.2.6)$$

式中, α_1 、 β_1 为系数,按表 2.2.6 取用,其余符号同前。

表 2.2.6 α_1 、 β_1 值 表

土 质	$z_f(\text{m})$	α_1	β_1
高液限粘质土和粉质土	$0 \leq z_f \leq 1.0$	40~30	1.25
	$1.0 < z_f \leq 2.5$	27~21	0.85
中液限粘质土和粉质土	$0 \leq z_f \leq 2.5$	30~19	1.1
低液限粘质土和粉质土	$0 \leq z_f \leq 1.5$	19~14	1.2

注 当土的塑性指数大时,取大值。

第 2.2.7 条 地下水深埋时, f 按式(2.2.7)确定:

$$f = \alpha_2 (\omega - \beta_2 \omega_p) \quad (2.2.7)$$

式中 α_2 ——系数,当土中粘粒含量自 10%变化到 30%时, α_2 值

范围为 $0.4 \sim 0.5$;

β_2 ——系数,取值范围为 $0.7 \sim 0.9$,根据土质,含粉粒高的土取小值;

ω ——日平均气温稳定通过 0°C 前或后 5 天内,工程设计冻深范围内土的平均重量含水量, %;

ω_p ——土的塑限含水量, %。

第 2.2.8 条 当地下水属浅埋到深埋的过渡情况时, f 应分别按式(2.2.6)及式(2.2.7)计算,取用两种计算结果的大值。

第三节 土的冻胀性及地基土的冻胀性工程分类

第 2.3.1 条 土按粒径组成可划分为非冻胀性土和冻胀性土。粗粒土中粒径小于 0.05mm 的土粒重量占土样总重量 6% 及以下时,为非冻胀性土;细粒土以及粒径小于 0.05mm 的土粒重量超过土样总重量 6% 的粗粒土为冻胀性土。

第 2.3.2 条 地基土的冻胀性工程分类,以其在具体工程条件下可能产生的冻胀量大小为判定指标。冻胀性按表 2.3.2 由弱至强划分为五个类别。表中的冻胀量数值,按本规范第 2.2.1 条至 2.2.8 条的有关要求确定。同一工程中不同部位的土可能有不同的冻胀性类别。

表 2.3.2 地基土的冻胀性工程分类

冻胀性类别 判定标准	I	II	III	IV	V
冻胀量 $h(\text{cm})$	$h \leq 2$	$2 < h \leq 5$	$5 < h \leq 12$	$12 < h \leq 22$	$h > 22$

第四节 冻胀力的取值

第 2.4.1 条 混凝土、浆砌石或木质基础侧表面的单位切向冻胀力值 τ ,按表 2.4.1 选用。表中的冻胀性类别按本规范第 2.3.2 条确定,在同一冻胀性类别中,依据冻胀量的大小用内插法

确定 τ 值。

表 2.4.1 单位切向冻胀力 τ 值表

冻胀性类别	I	II	III	IV	V
单位切向冻胀力 τ (kPa)	30~50	50~80	80~120	120~150	150~200

注 (1)对表面光滑的钢筋混凝土预制桩,表中数值应乘以 0.8;

(2)对表面粗糙的浆砌石墩台类基础,表中数值应乘以 1.2。

第 2.4.2 条 基础无垂直冻胀位移时,单位法向胀力标准值 σ_0 按表 2.4.2 选用,表中的冻胀性类别按本规范第 2.3.2 条确定,同一冻胀性类别中,依据冻胀量的大小用内插法确定 σ_0 值。

表 2.4.2 单位法向冻胀力标准值 σ_0 表

基础板面积(m^2)	5	10	50	100 及以上
冻胀性类别	单位法向冻胀力标准值 σ_0 (kPa)			
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 表 2.4.2 适用于短边尺寸不小于 2.0m 的板型基础。

第 2.4.3 条 挡土墙无水平冻胀位移时的单位水平冻胀力标准值 $\sigma_{h \cdot m}$ 按表 2.4.3 选用。表中的冻胀性类别按本规范第 2.3.2 条确定,同一冻胀性类别中,依据冻胀量的大小用内插法确定 $\sigma_{h \cdot m}$ 值。

表 2.4.3 单位水平冻胀力标准值 $\sigma_{h \cdot m}$

冻胀性类别	I	II	III	IV	V
单位水平冻胀力标准值 $\sigma_{h \cdot m}$ (kPa)	<50	50~100	100~150	150~200	200~250

第三章 抗冻胀计算

第一节 一般规定

第 3.1.1 条 渠系工程的抗冻胀计算一般应包括:渠道衬砌体及板式护面结构的冻胀位移量;校核其它结构在冻胀力作用下的稳定性、强度和位移量。若经计算后不能满足抗冻胀要求或不经济合理时,应按本规范第四章的有关规定,采取抗冻胀措施。

第 3.1.2 条 各种冻胀力是渠系工程在冻结期的正常荷载,应按有关规范要求参加荷载组合并选取安全系数。

第二节 衬砌渠道

第 3.2.1 条 衬砌渠道的最大冻胀位移值应按下述步骤确定:

一、根据渠道沿线的土质、水分条件和渠道走向等变化对渠道分段。

二、在每段选出具有代表性的渠道横断面,并按本规范第二章第二节的要求确定出渠道横断面上不同部位地基土的冻胀量。

三、选取渠道横断面上的冻胀量最大值为该段衬砌渠道的最大冻胀位移值。

第 3.2.2 条 对冻结期行水、地下水位高于渠底、渠底有积水(冰)及有傍渗水补给的渠道,在渠道设计冻深和冻胀量计算中做如下规定:一、在水(冰)面或傍渗水溢出点以上 1.0m 范围内的渠道边坡,地下水对冻深的影响系数 K_z 按表 2.1.6 选用,但地下水深值应以水(冰)面为地下水水面计算。

二、在水(冰)面或傍渗水溢水点以上 0.5m 范围内的渠道边坡,取地下水深度 $z=0$,按本规范第二章第二节的规定确定该点的冻胀量。

第 3.2.3 条 用常用材料衬砌的梯形断面渠道,其允许冻胀位移值,可按表 3.2.3 选用。衬砌渠道断面深度大于 3.0m 和衬砌板单块尺寸大于 5.0m 时,取表中小值;衬砌渠道断面深度小于 1.5m 和衬砌板单块尺寸小于 2.5m 时取大值。

表 3.2.3 衬砌渠道的允许位移值

衬砌材料	混凝土	砌 石	沥青混凝土	整体式 U 形槽
允许位移值 (cm)	0.5~2	1~3	3~5	4~5

第 3.2.4 条 衬砌渠道横断面上的最大冻胀位移值必须小于或等于第 3.2.3 条规定的衬砌渠道允许位移值。

第三节 桩、墩及受切向冻胀力作用的基础

第 3.3.1 条 对冻胀性地基中的桩、墩基础必须进行抗冻拔稳定计算及结构强度计算。除经特殊论证外,在抗冻胀计算中其工作状态取为全约束,即允许的冻拔位移量为零;对埋置深度等于或大于工程设计冻深的板、墙等其它基础,必须按本节的有关规定,对其在切向冻胀力作用下的抗冻拔稳定性、位移量和强度进行验算。

第 3.3.2 条 基础所受的总切向冻胀力 T (kN) 按式 (3.3.2) 计算:

$$T = K_h \cdot \tau \cdot u \cdot H_d \quad (3.3.2)$$

式中 τ ——单位切向冻胀力, kPa, 按本规范表 2.4.1 选用;

u ——冻土层内基础横断面的平均周长, m;

K_h ——有效冻深系数, 根据土质类别和地下水条件按表 3.3.2 选用。

表 3.3.2 有效冻深系数 K_h 值表

土 类	高液限粘质 土和粉质土		中液限粘质 土和粉质土		低液限粘质 土和粉质土	
	≥ 2.0	< 2.0	≥ 1.5	< 1.5	≥ 1.0	< 1.0
冻结期地下水位距冻结层 下限的最小距离 (m)						
K_h	2/3	1.0	2/3	1.0	2/3	1.0

第 3.3.3 条 基础所受总极限摩阻力 F_r (kN)按式(3.3.3)计算:

$$F_r = 0.4 \sum f_i \cdot h_i \cdot u_i \quad (3.3.3)$$

式中 0.4——计算基础冻拔稳定时摩阻力系数;

f_i ——冻结层下限以下与基础接触的各土层对基础侧壁作用的单位极限摩阻力, kPa;

h_i ——冻结层下限以下与基础接触的各土层相应厚度, m;

u_i ——冻结层下限以下与各未冻土层接触的基础横断面的平均周长, m。

第 3.3.4 条 在切向冻胀力作用下,基础抗冻拔的稳定条件是:

$$P + G + F_r + \sum F_i \geq K_r \cdot m \sigma \cdot T \quad (3.3.4)$$

式中 P ——取结构恒荷载。当跨年度施工时,取停工入冬前的最小恒荷载, kN;

G ——基础自重,水下部分取浮重, kN;

$\sum F_i$ ——除 P 、 G 、 K_r 外基础所受的其它阻拔力, kN,如冻结层下限以下作用在扩大基础板上的土重、冻胀反力 P_A 等。关于冻胀反力 P_A 的计算见附录一;

K_r ——安全系数。对桩、墩基础,砌筑或架设上部结构之前, K_r 取 1.1;砌筑或架设上部结构之后,对静定结构 K_r 取 1.2、对超静定结构 K_r 取 1.3。对立板、墙等

其它基础,允许位移时取 1.1,不允许位移时取 1.2;

m_{σ} ——冻胀力衰减系数,按第 3.3.5 条计算。

第 3.3.5 条 冻胀力衰减系数 m_{σ} 按式(3.3.5)计算:

$$m_{\sigma} = 1 - \left[\frac{[S]}{h} \right]^{0.5} \quad (3.3.5)$$

式中 $[S]$ ——沿冻胀力方向的允许基础位移,cm。对桩、墩基础 $[S] = 0$;对板型基础 $[S]$ 按表 3.4.2 查取;对挡土墙 $[S]$ 按表 3.5.3—2 查取;

h ——相应位置地基土的冻胀量,cm,按第二章第二节有关要求确定。

第 3.3.6 条 按(3.3.6)式计算基础的结构强度:

$$\frac{K_r \cdot m_{\sigma} \cdot T - (P + G_i + F_i)}{A_s} \leq [\sigma] \quad (3.3.6)$$

式中 G_i ——最薄弱断面以上的基础自重,kN;

F_i ——最薄弱断面至冻土层下限间融土与基础侧面的总摩阻力,kN;

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

$[\sigma]$ ——材料的允许拉应力,kPa。

第四节 板型基础

第 3.4.1 条 本节规定适用于基础底面受到法向冻胀力作用且平面投影面积大于 $5m^2$ 、短边尺寸不小于 2m 的基础板;对基础埋置深度在冻土层以下、基础底面不受法向冻胀力作用的其它尺寸基础板,应按第三章第三节的有关规定,计算基础板在切向冻胀力作用下的稳定性、位移量和强度。

第 3.4.2 条 根据建筑物的使用要求、运用条件、结构特点和建筑物级别等,经过充分论证,可允许部分基础板发生冻胀位移。常用基础板的允许垂直位移值 $[S]$ 按表 3.4.2 查取;基础板的实际冻胀位移量,即该点地基的冻胀量 h 按第二章第二节的规

定计算。当该值大于表 3.4.2 的允许值时,应按第四章第三节的规定,采取抗冻胀措施。

表 3.4.2 板型基础允许垂直位移值 $[S]$

建筑物类型及结构部位	$[S](\text{cm})$
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

第 3.4.3 条 板型基础所受单位法向冻胀力设计值 σ 按式(3.4.3)计算:

$$\sigma = m_{\sigma} \cdot \alpha_0 \cdot \sigma_0 \quad (3.4.3)$$

式中 m_{σ} ——冻胀力衰减系数,按式(3.3.5)计算,当不允许基础板位移时 $m_0 = 1$;

α_0 ——冻胀层厚度影响系数,按第 3.4.4 条确定;

σ_0 ——单位法向冻胀力标准值,kPa,由表 2.4.2 选取。

第 3.4.4 条 冻胀层厚度影响系数 α_0 按式(3.4.4)计算:

$$\alpha_0 = \left[1 - \frac{0.7\delta}{H_d} \right]^{3/2} \quad (3.4.4)$$

式中 H_d ——工程设计冻深,cm,按第 2.1.3 条确定;

δ ——基础板厚度,cm。

第 3.4.5 条 基础板抗冻胀计算必须同时满足式(3.4.5—1)和式(3.4.5—2)。

一、对整体稳定条件要求:

$$K_{\sigma} \cdot (\alpha_0 \cdot \sigma_0 \cdot A_{\sigma} + \tau \cdot S) \cdot m_{\sigma} \leq P + G \quad (3.4.5-1)$$

式中 K_{σ} ——板基稳定安全系数,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_{σ} ——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 。

二、对冻胀位移要求:

$$h \leq [S] \quad (3.4.5-2)$$

式中 h ——冻胀量,cm,按第 2.2.3 条或第 2.2.4 条计算;

$[S]$ ——允许位移值,cm,对板型基础查表 3.4.2;对挡土墙查表 3.5.3—2。

第五节 挡 土 墙

第 3.5.1 条 本节对挡土墙的抗冻胀计算方法适用于外露墙体高度 H_w 不大于 3 倍工程设计冻深 H_d 及墙高小于 8m 的挡土墙;当超过上述限定时,应参照本规范第四章第四节的有关规定采取抗冻胀措施或作专门抗冻胀论证。

第 3.5.2 条 单位水平冻胀力沿墙高的设计压强分布如图 3.5.2。

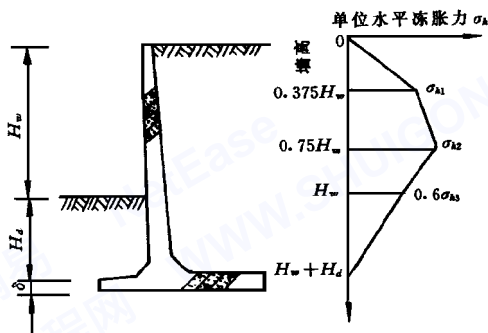


图 3.5.2 单位水平冻胀力沿墙高的压强分布图

第 3.5.3 条 单位水平冻胀力设计值 σ_h 按式(3.5.3)计算:

$$\sigma_h = 0.7 \cdot C_i \cdot m_g \cdot \sigma_{h,m} \quad (3.5.3)$$

式中 σ_h ——单位水平冻胀力设计值,kPa;

0.7——压强修正系数;

C_i ——挡土墙迎土面边坡修正系数,按表 3.5.3—1 选取;

m_g ——冻胀力衰减系数,按式(3.3.5)计算,其中的允许位移值 $[S]$ 查表 3.5.3—2;

$\sigma_{h,m}$ ——单位水平冻胀力标准值,kPa,由表 2.4.3 选用。

表 3.5.3-1 挡土墙迎土面边坡修正系数 C_i 表

迎土面 边坡比	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
C_i	1.0	0.90	0.85	0.81	0.79	0.785	0.78	0.775	0.77	0.765	0.76

表 3.5.3-2 挡土墙允许位移值 $[S]$ 表

挡土墙结构类型	$[S](\text{cm})$	
	垂直方向	水 平 方 向
浆砌石重力式	2.0	0
混凝土重力式	2.5	(0.001~0.002)墙高
钢筋混凝土悬臂式	5.0	(0.008~0.01)墙高
其它型式钢筋混凝土 独立式挡土墙及整体 U 型槽侧墙	3.0(墙)	(0.004~0.005)墙高
	5.0(槽)	

注 表中允许水平位移量按挡土墙等级选用,等级高者取小值。

第 3.5.4 条 挡土墙的整体抗倾复稳定性按式(3.5.4)验算:

$$K_1 = \frac{M_p}{M_h} \geq [K_1] \quad (3.5.4)$$

式中 K_1 ——挡土墙抗倾复安全系数;

M_p ——抗倾复力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$;

M_h ——冻胀倾复力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$, 由第 3.5.3 条计算出的单位水平冻胀力设计值和第 3.5.2 条给定的设计压强分布图确定;

$[K_1]$ ——抗倾复允许安全系数, IV、V 级建筑物取 1.05; I、II、III 级建筑物取 1.10;

第 3.5.5 条 挡土墙垂直方向的稳定条件应同时满足以下两项要求:

一、抗冻拔条件符合第 3.3.4 条要求。

二、位移条件符合式(3.4.5—2)要求。

第 3.5.6 条 挡土墙的抗冻胀强度计算,取外露墙高 H_w 的底部断面做为计算断面,应满足式(3.5.6)要求:

$$K_2 = \frac{M_g}{M_t} \geq [K_2] \quad (3.5.6)$$

式中 K_2 ——挡土墙强度安全系数;

M_g ——挡土墙计算断面的破坏弯矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$;

M_t ——挡土墙计算断面上的冻胀力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$;

$[K_2]$ ——挡土墙强度允许安全系数, IV、V 级建筑物取 1.05,
I、II、III 级建筑物取 1.10。

第四章 抗冻胀结构及工程措施

第一节 衬 砌 渠 道

第 4.1.1 条 当衬砌渠道的地基冻胀量大于允许位移值时,应从适应冻胀、回避冻胀、削减或消除冻胀等三个方面,选用下述措施之一或综合措施,使衬砌渠道的冻胀位移值满足抗冻胀要求。

第 4.1.2 条 渠道的冻胀位移值在 2 倍允许冻胀位移值之内时,对渠床属Ⅱ类(含Ⅱ类)以下冻胀类别的中小型渠道,可采取以下抗冻胀结构措施:

一、对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。

二、采用整体式混凝土 U 型槽衬砌,圆弧直径应小于 2.0m,圆弧上部直线段采用小于 1:0.2 的斜坡。

三、采用弧形断面或弧形渠底、梯形边坡断面,沿渠轴线方向和沿渠坡方向每隔 3~4m 必须设冻胀变形缝,缝内填充在当地最低气温下仍具柔性的止水材料。

第 4.1.3 条 当渠床的冻胀值大于 2 倍允许位移值或渠床的冻胀性属于Ⅲ类及高于Ⅲ类的中小型渠道,可采取下列回避冻胀的结构措施:

一、采用地表式整体混凝土 U 形槽或矩形槽,槽底按第 4.1.4 条要求设置非冻胀性土置换层,槽侧回填土高度应小于槽深的 1/3。

二、用桩、墩等基础支撑输水槽体,使槽体与基土脱离。桩、墩的允许冻拔量为零。

三、采用暗渠或暗管输水,暗渠(管)的埋置深度应等于或大于工程设计冻深。

第 4.1.4 条 置换措施:

用符合第 2.3.1 条规定的非冻胀性土置换渠床原状土,渠床各部位置换深度 $H_n(\text{cm})$,按式(4.1.4)计算:

$$H_n = \varepsilon \cdot H_d - \delta_0 \quad (4.1.4)$$

式中 ε ——置换比(%),按表 4.1.4 选取;

δ_0 ——衬砌板厚度,cm;

H_d ——置换部位的工程设计冻深,按式(2.1.3) 计算,cm。

表 4.1.4 渠床置换比 ε 值表

地下水深度 z (cm)	土 质	置换比 $\varepsilon(\%)$	
		坡面上部	地面下部、渠底
$z>H_d+250$	高液限粘质土和粉质土	50~70	70~80
$z>H_d+150$	中液限粘质土和粉质土		
$z>H_d+200$	低液限粘质土和粉质土	40~50	
z 小于上述值	高、中液限粘质土和粉质土	60~80	80~100
	低液限粘质土和粉质土	50~60	60~80

当置换层有被淤塞危险时,应在置换体外围设置土工膜料或土工布保护;若置换体有可能饱水冻结时,必须保证冻结期置换体有排水出路,可按 4.1.5 条执行。

第 4.1.5 条 排水措施:

一、当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。

二、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,把渠床冻融层中的重力水或渠道傍渗水排出渠外。

三、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。

第 4.1.6 条 保温措施:

在衬砌体下铺设聚苯乙烯硬质泡沫板,泡沫板的选择和厚度要求可按第 4.3.5 条执行。对中小型渠道,材料性能不低于附表 5.1 的泡沫板厚度可按工程设计冻深 H_d 的 $1/10 \sim 1/15$ 取用,渠道断面上冻胀量大的部位取大值(聚苯乙烯硬质泡沫板性能见附表 5.1)。

对冬季行水渠道,水位按等流量控制时,在设计最小水位下,可按冰(水)保温考虑;在冰(水)面以上采用泡沫板保温。

第 4.1.7 条 隔水措施:

当地下水深埋[符合式(2.2.5—2)]且无傍渗水补给时,可在衬砌体下铺设聚乙烯薄膜或土工膜;衬砌体与膜料间可用 25 号水泥砂浆做过渡层。

第 4.1.8 条 压实措施:

用压实或强夯法提高渠床土的密度,应同时满足压实度不低于 0.98、干密度不低于 1600kg/m^3 和不小于原天然干密度的 1.05 倍等三项要求。

第 4.1.9 条 衬砌渠道的规划、防渗方案和运行管理等应满足下述要求:

一、衬砌渠道的线路,应尽量避免开冻胀性土和地下水埋深较浅的地段;尽量采用填方渠道,渠底高程可参照本规范表 2.1.6 中 K_z 的条件确定;对挖方渠道应同时考虑傍渗水的排除措施。

二、应尽量选用以土石料护面的埋藏式土工膜防渗方案。

三、冬季不行水渠道,宜在日平均气温稳定进入 0°C 日前 10 天停水;冬季行水渠道,在负温期必须连续行水,并保持在最低设计水位以上运行。

四、每年应进行一次衬砌体的裂缝修补,使砌块缝间填料保持原设计状态;衬砌体的封顶应保持完好,不允许有外水流入衬砌体背后。

五、应及时维修各种排水措施,保证排水畅通。冬季不行水渠道应在停水后及时清障,不允许渠内和排水沟内积水。

六、渠堤外侧,应植喜水性树木护渠。

第二节 桩、墩类基础

第 4.2.1 条 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,应从削减切向冻胀力和增加基础的锚固力两个方面,选用第 4.2.2 条至第 4.2.4 条中的方法之一或综合措施。

第 4.2.2 条 用非冻胀性土置换地基,以消除切向冻胀力。其具体要求是:

一、置换深度:地基土的冻胀性属 III 类及以上类别时,按全部工程设计冻深置换, I、II 类别土按 2/3 工程设计冻深置换。

二、置换平面范围:置换的平面范围按式(4.2.2)确定:

$$R = \frac{d}{2} + H_n \quad (4.2.2)$$

式中 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, m;

d ——桩的直径或墩、板等的长、宽方向尺寸, m;

H_n ——置换深度, m。

三、在置换层顶面铺设土工布防止细颗粒土侵入,土工布上盖以保护层。

四、置换层应参照第 4.1.5 条设排水出路,无排水出路时,不宜采用置换措施。

第 4.2.3 条 可以采取下列措施,通过减少基土与基础间的冻结力来削减切向冻胀力:

一、在冻层范围内的基础表面应尽量平滑、光洁,如用钢筋混凝土预制管作模板,或用钢模浇筑混凝土等。

二、在冻层范围内的基础侧表面包以聚乙烯薄膜、聚氯乙烯薄膜、沥青玻璃丝布等隔离材料。

三、在冻层范围内的桩基础侧表面外设双层油套管。双层油套管的作用与构造见附录二。

四、在允许的条件下,减小冻层范围内与基土接触的基础面

积。

五、对冻层范围内的基础侧表面作涂层处理。常用的涂层材料有沥青、环氧树脂、糠醇树脂等。糠醇树脂的配合比见附表 5.2。

第 4.2.4 条 可采用下列结构措施增大基础的锚固力。

一、增加基础的入土深度。

二、在设计冻深以下加大基础断面。其主要型式有：独立扩大式基础、锚固底梁基础、变径桩基础、爆扩大头桩基础、阶式基础、扩大式墙基础、锚固环式基础等(图 4.2.4)。宜视具体情况选用。对扩大式基础上接受的冻胀反力按附录一计算。

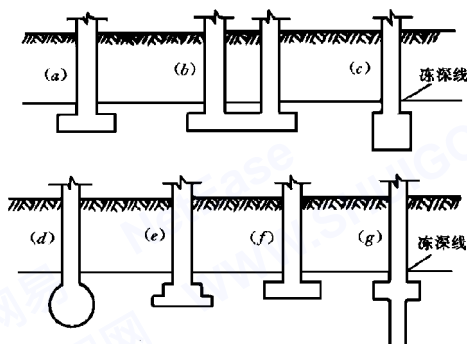


图 4.2.4 常用扩大式基础示意图

(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

第三节 板型基础

第 4.3.1 条 当板型基础不能满足抗冻胀要求时,可采用第 4.3.2 条至第 4.3.6 条中的方法之一或综合抗冻胀措施：

- 一、消除或削减地基土的冻胀。
- 二、减少基础与地基的接触面积或加大地基的附加荷载。
- 三、采用抗冻胀能力强或适应地基冻胀作用的结构。

第 4.3.2 条 置换法。用非冻胀性土置换地基土时应满足下述要求:

一、置换深度 H_n 按式(4.3.2)计算:

$$H_n = K_h \cdot H_d \quad (4.3.2)$$

式中 K_h ——有效冻深系数,由表 3.3.2 查取;

H_d ——工程设计冻深,cm,按式(2.1.3)计算。

二、置换平面范围:沿基础平面轮廓线向外加大 50cm。

三、置换土料的粒径应符合第 2.3.1 条对非冻胀性土的规定。

四、参照第 4.1.5 条规定设排水出路。

第 4.3.3 条 隔层封闭法。用土工膜把地基土分层包裹封闭,按下述要求执行:

一、封闭深度 H_f 按式(4.3.3)计算,即

$$H_f = H_d - 0.7 \delta \quad (4.3.3)$$

式中 H_f ——隔层封闭地基深度,cm;

0.7——基础厚度折减系数;

δ ——基础板厚度,cm。

二、封闭平面范围:沿基础平面轮廓线向外加大 50cm。

三、回填土料规定:每隔层土厚 30~50cm,含水量宜低于 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。

四、各封闭层必须保证严密、不透水;基础侧面应采取削减切向冻胀力措施。

第 4.3.4 条 用压实法或强夯法压密地基应满足以下要求:

一、压密深度及范围:与第 4.3.3 条封闭深度和范围要求相同。

二、密度要求:地基承受的附加荷载大于或等于 10kPa 时,压实度不低于 0.95,小于 10kPa 时,压实度不低于 0.98,并且干密度皆不应低于 1600kg/m³。

三、若原地基土的冻胀性属 III 类以上时,压实土侧面边坡应加铺塑料薄膜与周围土体隔离。

第 4.3.5 条 视工程具体条件可采用下列保温措施:

一、水层保温。在基础板上蓄水。使地基不受冻的水层厚度 H_s 按式(4.3.5-1)确定:

$$H_s \geq 0.6(H_d - 0.7\delta) \quad (4.3.5-1)$$

式中 H_s ——保温水层厚度,cm;

0.6——经验系数。

二、采用保温基础。

1.保温材料在强度、压缩系数、吸水性、耐久性等方面应满足工程设计要求。

2.按式(4.3.5-2)计算保温基础的设计热阻值 R_w :

$$R_w \geq 0.0166 \cdot \sqrt{I_0} \cdot K_w \quad (4.3.5-2)$$

式中 R_w ——保温基础设计热阻值,

K_w ——热阻修正系数,当 $I_0 = 100 \sim 2800^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 时,

$K_w = 0.71 \sim 1.19$,用内插法取值。

3.对小型工程,允许用材料性能不低于附表 5.1 的物理力学性能要求时,可按 $(1/10 \sim 1/15) \cdot H_d$ 确定保温材料的厚度。

4.保温基础的结构形式根据基础稳定和强度要求选用,可采用叠层式或夹层式结构,如图 4.3.5 所示。

5.保温基础四周根据基础形式、施工条件等具体情况,可选

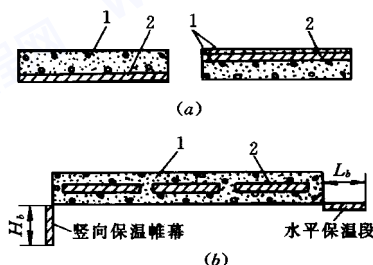


图 4.3.5 保温基础板构造示意图

(a)叠层式结构;(b)夹层式结构

1—混凝土;2—保温材料

用水平保温段或竖向保温帷幕两种方法之一,以消除周边影响(图 4.3.5)。水平保温段尺寸 L_b 或竖向保温帷幕深度 H_b 按式(4.3.5-3)计算;其热阻值应与基础板的设计热阻值相同。

$$L_b = H_b = H_d - \delta \quad (4.3.5-3)$$

第 4.3.6 条 排水法。按第 4.1.5 条执行。

第四节 挡 土 墙

第 4.4.1 条 对不能满足抗冻胀要求的挡土墙,可单独或综合采用下述措施提高挡土墙的抗冻胀能力。

一、选用适应冻胀变形能力强的结构形式。

二、采用消除或削减挡土墙后土体冻胀的措施。

第 4.4.2 条 抗冻胀挡土墙应优先选用悬臂式。墙基础尽可能采用扩大式条形基础。墙基底板埋深要求等于工程设计冻深。

第 4.4.3 条 挡土墙体应设排水孔。墙后土体中应设水平或斜卧式排水层。排水孔直径 5~10cm;两孔间距和上下各排的排水孔间距取用 2~3m。排水孔与墙后土体接触部位应设反滤层。

第 4.4.4 条 挡土墙迎土面要求平整光滑,对浆砌石墙迎土面也应找平勾缝或用水泥砂浆抹平并涂 1~2mm 厚沥青层。

第 4.4.5 条 在满足渗径要求的前提下,墙后回填土可用非冻胀性土置换。

一、置换范围,如图 4.4.5 所示。

1.墙顶: $oa \geq 50\text{cm}$ 。

2.外露墙高 0.56 H_s 处, $ec = 1.2H_d$ 。

3.墙身底部 $gd = 0.5H_d - \delta$

4.图 4.4.5 中 a 、 c 、 d 三点连线即为挡土墙置换要求范围。考虑施工可能性, dc 连直线并延长至地面 b 点,则 b 、 c 、 d 连线可为实际置换范围。

二、置换土料应符合第 2.3.1 条要求的非冻胀性土,并参照第 4.1.5 条规定设置排水。

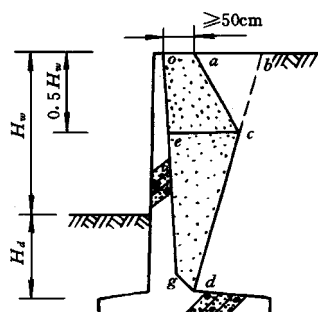


图 4.4.5 挡土墙回填土置换范围

第 4.4.6 条 排水措施按土的冻胀性工程分类类别选用:

一、一般排水法: 回填土的冻胀性属Ⅲ类及以下时, 按 4.4.3 条要求在挡土墙体上设置排水(图 4.4.6—1)。

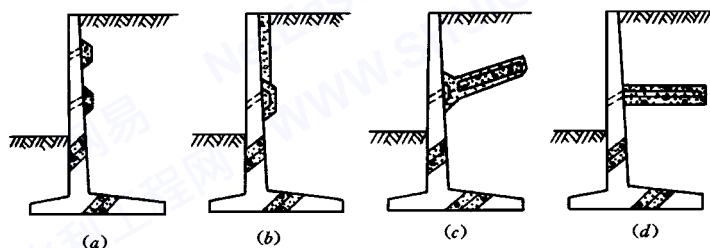


图 4.4.6-1 挡土墙的一般排水法

(a) 底部排水; (b) 墙背排水; (c) 倾斜排水; (d) 水平排水

二、特殊排水法: 当回填土的冻胀性属Ⅲ类及以上时, 如图 4.4.6—2 所示, 在自墙体正面工程设计冻深范围内回填土中, 自墙顶起每隔 50~100cm 厚土层下, 设一层 20cm 厚的卵石排水层。排水层宜用土工布作反滤并与集水井管联通。集水井管直径不小于 30cm。

第 4.4.7 条 隔层封闭措施应符合第 4.3.3 条要求。隔层封闭范围按第 4.4.5 条置换范围确定。

第 4.4.8 条 挡土墙可用聚苯乙烯硬质泡沫板保温,规定如下:

一、保温方式可据工程条件及经济造价选择:

1.单向保温法:在挡土墙高度方向铺设保温材料,见图 4.4.8-1 (a)。

2.双向保温法:在挡土墙高度方向及地表水平方向铺设保温材料,见图 4.4.8-1(b)。

二、保温范围(参见图 4.4.8-2):

1.保温板的厚度,按第 4.3.5 条中二项确定。

2.保温板的高度为墙后回填土高度减 20cm,即由堵后回填土地面以下 20cm 至底板顶面全部铺设。

3.水平及侧向保温板的长度,按土的冻胀性类别(表 2.3.2)由 I—V 相应取(1.1—1.5)只 H_d 。

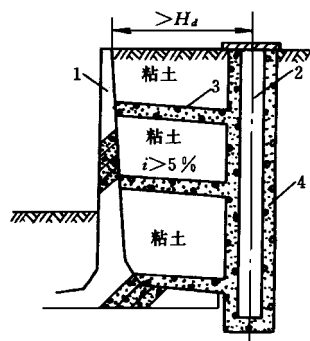


图 4.4.6-2 特殊排水

1—墙体;2—集水井管;
3、4—卵石层

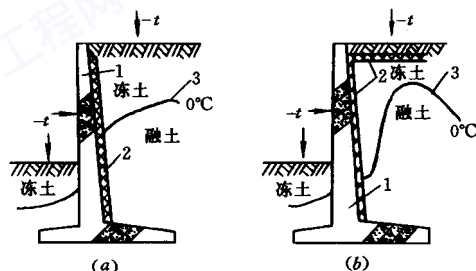


图 4.4.8-1 挡土墙单、双向保温示意图

(a)单向保温;(b)双向保温

1—墙体;2—保温板;3—0°C等温线

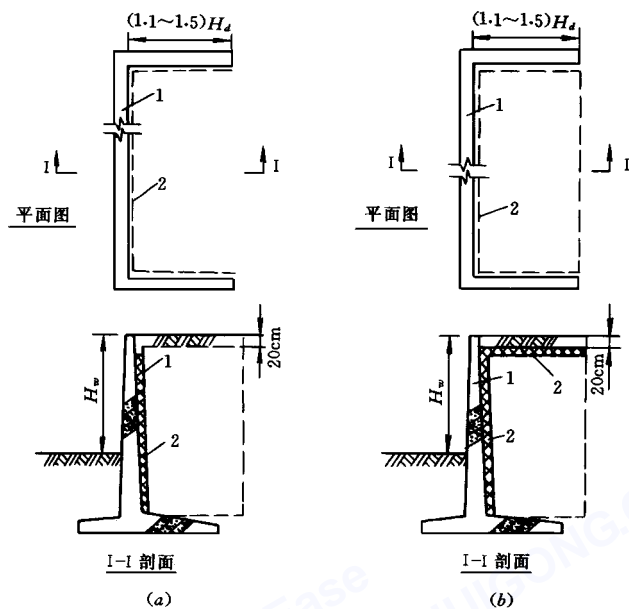


图 4.4.8-2 挡土墙保温范围示意图

(a)单向保温;(b)双向保温

1—墙体;2—保温板

附录一 冻胀反力计算

冻胀反力的计算公式是把总切向冻胀力 T 视作集中荷载,作用在桩或墙的中心,利用布辛奈期克的集中荷载作用下的地基应力的弹性理论和弗拉曼的无限长线荷载作用下的地基附加应力计算公式推导出来的,其结果如下:

(一)独立扩大式桩基础的冻胀反力
(参见附图 1.1):

1. 当 $l \leq b$ 时

$$P_A = \pi \cdot T \left[0.5 \left(\frac{l}{b} \right)^2 - 0.3 \left(\frac{l}{b} \right)^3 \right] \quad (\text{附 1.1})$$

P_A ——作用在锚固板上的总冻胀反力, kN;

T ——总切向冻胀力, kN, 按式(3.3.2) 确定;

l ——锚固板的襟长, m;

b ——总切向冻胀力的作用点至扩大基础板顶面的距离, m; 由表 3.3.2 查取 K_h 值:

$$\text{当 } K_h = 1.0 \text{ 时, } b = a - \frac{H_d}{2}$$

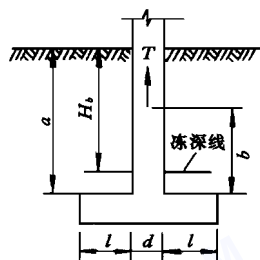
$$\text{当 } K_h = 2/3 \text{ 时, } b = a - \frac{H_d}{3}$$

(式中 a 为锚固板顶面至地表的距离, 以 m 计)。

2. 当 $b < l \leq 2.5b$ 时

$$P_A = T \left[0.436 + 0.263 \left(\frac{l}{b} \right)^2 - 0.07 \left(\frac{l}{b} \right)^3 \right] \quad (\text{附 1.2})$$

(二)扩大式墙基础的冻胀反力:



附图 1.1 桩基冻胀反力计算图

1. 当 $l \leq b$ 时

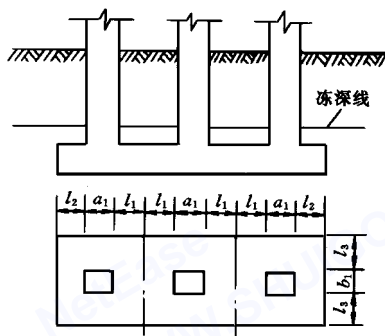
$$P_A = T_l \left[1.4 \left(\frac{l}{b} \right) - 0.6 \left(\frac{l}{b} \right)^2 \right] \quad (\text{附 1.3})$$

式中 T_l ——作用在单位墙长两侧的总切向冻胀力, kN/m。

2. 当 $b < l \leq 3b$ 时

$$P_A = T_l \left[0.55 + 0.3 \left(\frac{l}{b} \right) - 0.05 \left(\frac{l}{b} \right)^2 \right] \quad (\text{附 1.4})$$

(三) 锚固底梁基础的冻胀反力, 如附图 1.2, 以三排桩的底梁为例:



附图 1.2 锚固底梁冻胀反力计算图

1. 分别求出中桩、边桩平均计算襟长 $l_{\text{中}}$ 、 $l_{\text{边}}$, 即

$$l_{\text{中}} = \frac{l_1 + l_3}{2} \quad (\text{附 1.5})$$

$$l_{\text{边}} = \frac{l_1 + l_2}{4} + \frac{l_3}{2} \quad (\text{附 1.6})$$

2. 按面积把中部和边部底梁化引为圆型, 然后分别按式(附 1.1)或式(附 1.2)计算每个排桩的冻胀反力, 相加, 即得整个底梁的总冻胀反力。

(四) 关于计算冻胀反力的几点说明:

1. 非圆型锚固板的独立式扩大基础桩: 将方型或其它几何形状的锚固板, 按面积化引成圆型锚固板, 然后用式(附 1.1)或式

(附 1.2) 计算冻胀反力。

2. 扩大式墩台基础按扩大式墙基础考虑, 用式(附 1.3) 或式(附 1.4) 计算冻胀反力。

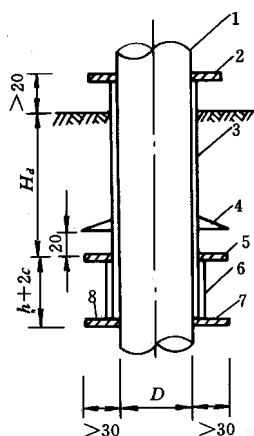
3. 锚固环基础和变径桩基础, 按独立扩大式桩基础考虑, 用式(附 1.1) 或式(附 1.2) 计算冻胀反力。

4. 阶式基础也可用式(附 1.1) 或式(1.2) 计算每个阶面上的冻胀反力, 然后相加即为整个阶式基础接受的冻胀反力。

5. 爆扩桩基础按爆扩大头的平面投影面积, 用式(附 1.1) 或式(附 1.2) 计算冻胀反力。

附录二 双层油套管的作用与构造

(一)双层油套管的作用。双层油套管是一种把地基土与桩基础彻底隔离以防治基础冻拔的结构措施,其构造如附图 2.1 所示。



附图 2.1 双层油套管示意图(单位,cm)

- 1—桩基础;2—上法兰盘;
3—上层套管;4—复位盘;
5—中法兰盘;6—下层套管;
7—下法兰盘;8—密土胶板

当地基土冻胀时,上套管(亦称内套管)随之上拔,其下部在下套管(亦称外套管)内移动;当地基土融沉时,借助复位盘,上套管逐步复位。在桩与上套管之间和上下套管之间的空隙中填注钙基黄油,通过上、中、下三个法兰盘固定住的橡胶圈密封。

双层油套管主要用于已冻拔桩基础的治理,也可做为新建桩基础的防冻拔措施之一。因在上套管高度内的桩基础已与地基彻底隔离,应认为用双层油套管处理的桩基础其切向冻胀力已被彻底消除;但同时应注意,被隔离段的桩基摩擦承载力亦不复存在。

(二)双层油套管的构造。双层油套管的各主要部件可用厚度不小于 4mm 的钢板制作,主要部件有:

1. 上法兰盘:内径以能保持与桩壁有 5mm 左右间隙为准;外径较内径大 60~80mm,与上套管顶部的法兰盘配合,用螺栓固紧二法兰盘间的橡胶密封圈。密封圈可用 10mm 厚橡胶板制成,要求其内径与桩基直径滑动摩擦配合,以利对桩基础与上套管间的黄油夹层起密封作用。

2. 上层套管:是顶部带有法兰盘的钢管,管内径与上法兰盘

内径相同,其高度等于工程设计冻深加外露高度,一般可取 $H_d + 40\text{cm}$ 。此套管的作用是使桩基础与地基土彻底隔离,它将随地基土的冻胀或融沉沿桩基上拔或下降,保护桩基不直接受切向冻胀力作用。

3.复位盘:是焊接在上套管外壁上的钢板圈,宽度 $200 \sim 300\text{mm}$,用 8 根 $\phi 16$ 钢筋均布拉焊在上套管以加强其刚度,主要用它接受土融沉时向下的压力,帮助已冻拔的上套管复位。

4.中法兰盘:与下层套管顶部法兰盘配合,用螺栓固紧夹在二者之间的橡胶垫圈,对上、下层套管之间的黄油层起密封作用,垫圈尺寸按滑动摩擦配合确定。

5.下层套管:是上、下两端都焊有法兰盘的钢管,其内径尺寸以与上套管外壁留有 5mm 左右间隙为准,高度由地基土的最大冻胀量加 200mm 确定。其作用是保护上层套管能完全复位,防止上套管冻拔后其空隙被周围基土侵占。

6.下法兰盘:其内径与下套管内径相同、宽度为 300mm 的钢盘,用螺栓与下层套管底部的法兰盘配合,夹紧两者之间的橡胶垫圈,除对上、下套管间黄油层起密封作用外,主要起接受冻胀反力防止外套管冻拔的作用,以利保护上套管复位。

附录三 冻土密度的确定

(一)在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级水工建筑物抗冻胀设计中,冻土密度试验应按《土工试验规程》SDS01-79 中土-061-79 项规定,通过试验确定。

(二)在Ⅵ、Ⅴ级渠系建筑物抗冻胀设计中,当已知冻土的含水量、未冻水量及土的比重时,可用计算方法确定冻土密度 ρ_f :

1.对饱和土:

$$\rho_f = \frac{\rho_l \cdot \rho_s(1 + w_f)}{\rho_l + \rho_s(w_f - 0.08w_n)} \quad (\text{附 3.1})$$

式中 ρ_l ——冰的密度,一般取值为 0.92g/cm^3 ;

ρ_s ——土颗粒密度, g/cm^3 ;

w_f ——冻土的重量含水量(%);

w_n ——冻土中未冻水含量(%).

2.对非饱和土:

$$\rho_f = \frac{\rho_l \cdot \rho_s(1 + w_f)S_{f,r}}{\rho_l \cdot S_{f,r} + \rho_s(w_f - 0.08w_n)} \quad (\text{附 3.2})$$

式中 $S_{f,r}$ ——冻土的饱和度(%),为冻土中未冻水体积和冰的体积之和与总孔隙体积之比,即 $S_{f,r} = [V_{(\text{水})} + V_{(\text{冰})}] / V_{(\text{孔})}$ 。

附录四 冻土中未冻水量的确定

(一)在 I、II、III 级水工建筑物抗冻胀设计中,冻土中未冻水含量应通过实验确定。试验方法应按《土工试验规程》SDS01-79 中土-0.62-79 项执行。

(二)对 VI、V 级及以下建筑物,在不具备实验条件时,可通过式(附 4.1)和式(附 4.2)计算冻土中的未冻水量 w_n :

$$\text{粘质土及粉质土} \quad w_n = K_t \cdot w_p \quad (\text{附 4.1})$$

$$\text{砂土} \quad w_n = (1 - i_t) w_f \quad (\text{附 4.2})$$

式中 w_p ——土的塑限含水量(%);

K_t ——温度修正系数,由附表 4—1 选取;其中 t 为温度,℃;

i_t ——含冰率,由附表 4—1 选取。

附表 4.1 计算未冻水量时 K_t 和 i_t 取值表

土 质	塑性指数	K_t 或 i_t 值	温 度 (℃)						
			0.2	-0.5	-1.0	-2.0	-3.0	-5.0	-10.0
砂土		i_t	0.65	0.78	0.85	0.92	0.93	0.95	0.98
低液限粘 质土、粉 质土	$I_p < 7$	K_t	0.70	0.50	0.30	0.20	0.15	0.15	0.10
高、中液 限粘质 土、粉质 土	$7 < I_p < 17$	K_t	0.90	0.65	0.50	0.40	0.35	0.30	0.25

附录五 聚苯乙烯泡沫板性能及 糠醇树脂配合比

附表 5.1 聚苯乙烯泡沫板物理力学性能表

项目	密度 (kg/m^3)	吸水性 (g/m^2)	压缩强度 (压缩 50%) (kPa)	弯曲 强度 (kPa)	尺寸稳定性 $-40^\circ\text{C}, +70^\circ\text{C}$ %	导热系数 $\text{kJ}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$
数值	20~50	15~20	≥ 200	≥ 220	± 0.5	≤ 0.159

附表 5.2 糠醇树脂配合比

序 号	名 称	用量(g)	备 注
(1)	糠醇	800	
(2)	糠醛	200	
(3)	苯磺酰氯	100	占(1)+(2)的 1/10
(4)	苯磺酸	10	占(1)+(2)的 1/100

附 加 说 明

参 编 单 位:甘肃省水利科学研究所

辽宁省水利水电科学研究所

水利部西北水利科学研究所

水利部松辽委员会科学研究所

主要起草人:谢荫琦 朱 强 王希尧 随铁岭

于伯芳 隋咸志 李安国 孙玉良