

公路工程抗冻设计与施工技术指南

吉林省交通厅 主编

人民交通出版社

China Communications Press

中华人民共和国交通部

交公便字[2006]02号

关于公布《公路工程抗冻设计与施工技术指南》、《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》与《公路土钉支护技术指南》的函

各有关单位：

为提高公路工程质量及耐久性,促进新技术、新材料、新工艺在公路建设中的应用,及时指导工程实践,我司组织编制了《公路工程抗冻设计与施工技术指南》、《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》与《公路土钉支护技术指南》,作为公路工程技术指南,予以公布。

指南作为参考性的技术资料,为相关工程技术人员提供技术参考。各地参考使用时,要本着对工程质量负责的原则,结合当地实际情况,灵活运用。

《公路工程抗冻设计与施工技术指南》、《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》、《公路土钉支护技术指南》分别由吉林省交通厅、交通部公路科学研究院、长沙理工大学主编和解释,如有问题,请与各主编单位联系,联系方式如下:

吉林省交通厅:长春市解放大路2518号,130021,电话:0431—5917293。

交通部公路科学研究院:北京市西土城路8号,100088,电话:010—62079687。

长沙理工大学:长沙市天心区赤岭路45号,410076,电话:0731—5219011。

特此函告。

交通部公路司

二〇〇六年一月五日

前 言

公路工程冰冻损害在冬季冻土地区十分普遍,高速公路修建以来仍频繁发生,影响公路畅通和使用寿命,为有效减少或防止这一病害的发生,编制公路工程抗冻指南势在必行。按照交通部编制《公路工程抗冻设计与施工技术指南》(交公路发[1999]739号)的文件要求,对现行公路工程规范中有关抗冻的条款加以整理、修改、补充完善,在工程冻害调查、试验研究及总结以前研究成果的基础上,参照相关行业的抗冻指南编制了《公路工程抗冻设计与施工技术指南》(以下简称《指南》)。

本《指南》包括公路抗冻基础资料、路基、路面、桥涵构造物和公路抗冻水泥混凝土工程。

本《指南》与现行公路工程规范中抗冻条款不同的内容主要有:以公路路基容许冻胀值为路基抗冻设计指标作为路面设计依据,控制路面冻胀变形;道路冻深计算采用调查的大地冻深条件系数;突出冬季和春融期路基排水畅通;要求桥涵基础埋入冻层以下;明确了公路工程水泥混凝土抗冻概念及材料、配合比设计、施工和检验评定要求。

本《指南》是初次编制,一定会存在很多缺欠或不足,恳请各使用本《指南》的单位或个人将发现的问题和修改意见及时函告吉林省交通厅,以便进一步修改和完善。联系电话:0431-5917293。

本《指南》主编单位为吉林省交通厅(长春市解放大路2518号),参编单位为哈尔滨工业大学。

主要起草人:辛德刚、陈志国、王彩霞、冯德成、马松林、崔凌秋、赵长虹、刘占新、付巍、琚远航。

目 录

1	总则	1
2	术语、符号	3
2.1	术语	3
2.2	符号	5
3	季节性冻土地区抗冻基础资料和土的冻胀性分类	8
3.1	抗冻基础资料	8
3.2	季冻上冻胀性分类	14
4	季节性冻土地区路基设计与施工	17
4.1	路基设计一般规定	17
4.2	路基土质填料	19
4.3	路基压实	21
4.4	路基临界高度	23
4.5	路基排水	24
4.6	路基抗冻措施	29
4.7	涎流冰路段路基设计	31
4.8	路基防护与加固工程	34
4.9	路基施工	36
5	季节性冻土地区路面设计与施工	39
5.1	路面原材料要求	39
5.2	路面结构抗冻设计规定	42
5.3	路面结构排水设计要求	47
5.4	路面施工技术要求	49
6	季节性冻土地区桥涵构造物抗冻设计与施工	54
6.1	桥涵基础抗冻设计要求	54
6.2	桥涵墩台抗冻设计规定	56
6.3	桥梁上部结构抗冻设计规定	57
6.4	桥涵砌筑工程抗冻设计规定	58
6.5	桥涵构造物抗冻施工	60
7	公路工程抗冻水泥混凝土设计与施工要求	62
7.1	公路工程抗冻水泥混凝土设计	62

7.2 公路工程抗冻水泥混凝土施工	65
附录 A 土的冻胀率试验测定方法	71
附录 B 沥青混合料冻融劈裂试验方法	74
附录 C 水泥混凝土抗冻性试验方法(快冻法)	77
附录 D 半刚性基层混合料抗冻性试验方法	80
附录 E 全国冻区最大降水量及蒸发量	83
附录 F 路基路面抗冻检验算例	88
本《指南》用词说明	91

1 总 则

1.0.1 为满足我国季冻区公路建设的需要,提供科学、合理、可行的设计依据和施工措施,防止路基、路面、桥涵构造物及防护工程等设施遭受冻胀和冻融作用的破坏,提高公路使用质量和耐久性,特制定本《指南》。

说明

我国季冻区公路工程冰冻损害十分普遍,高速公路修建以来仍有冻害频繁发生,这里既有设计原因又有施工问题,目前国内还没有专门的公路抗冻规范来约束和指导工程建设,因此,对已有的科学研究成果和工程实践中已积累的经验加以归纳总结,提出抗冻设计与施工技术指南势在必行。

1.0.2 本《指南》适用于受冻害影响的二级及二级以上新建或改建公路工程的设计与施工。

说明

本《指南》编写过程中对吉林、辽宁及黑龙江三省的公路工程冰冻损坏情况做了调查。对东北三省和其他一些季节性冻土省份道路冰冻研究成果进行了分析整理,因此,本《指南》适用于季节性冻土地地区公路工程设计与施工。多年冻土地地区和其他道路工程可参照使用本《指南》。

1.0.3 公路工程抗冻设计与施工应贯彻下列基本原则:

1)季冻区的公路工程从可行性研究阶段开始就应考虑抗冻设计方案,并随着设计工作的深入而逐步深化,施工图设计应提出抗冻措施及要求。

2)充分掌握公路工程所在地区有关冰冻的自然条件、公路工程项目特点等基础资料。本着因地制宜和方便实施的原则,力求达到技术可行、安全耐久和经济合理。

3)公路设计从选址、选线、结构形式和材料性能等方面均应考虑冰冻影响。

4)在总结实践经验和科学实验的基础上,不断完善抗冻设计方法和抗冻施工技术措施。采用抗冻新技术、新材料、新工艺时必须经过试验验证。

说明

公路工程冰冻破坏是比较复杂的问题,抗冻设计需要一定过程,因此提出把抗冻设计

贯穿于始终,为预防冻害做出具体规定,并在施工图设计中明确抗冻设计的施工要求和方法。

为做出合理可行的抗冻设计,本《指南》要求充分调查公路所在地区气候条件、水文地质条件及抗冻性材料资源等要素。抗冻设计应遵循技术、经济和安全耐久原则,重点放在安全耐久方面。因为公路抗冻破坏远比疲劳破坏快得多,因此,抗冻设计的经济造价应以抗冻使用年限为基础进行比选。

1.0.4 季冻区公路工程抗冻设计与施工除应符合本《指南》外,还应符合国家现行有关标准的规定。

说明

本《指南》重点强调公路工程抗冻方面的有关规定和要求,非抗冻方面规定无论本《指南》是否加了引用要求均执行其他相应规范。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 季节性冻土及季节性冻土地区(seasonal frozen soil and seasonal frost region)

地表层土冬季冻结,夏季全部融化的土叫季节性冻土,这些地区叫季节性冻土地区,简称季冻上和季冻区。

2.1.2 冻结指数(freezing index)

指一年中日平均负温度的累计值。

说明

冻结指数是将一年中出现负温的每天 2 时、8 时、14 时和 20 时(北京时间)的平均值相加取得,称为累计值,而不定义为负温度与天数的乘积。

2.1.3 大地标准冻深(geomorphic standard frost depth)

是在空旷野外裸露平坦的粘性土地表设测站,实测不少于 10 年的最大冻深(不包括冻胀量)平均值。

2.1.4 冻结水上升高度(height of freezing water rise)

指借助冰冻作用由下向上迁移集聚的地下水上升的距离(即含水量明显增加的高度)。

说明

冻结期地下水因冰冻作用而上升,与纯毛细水上升有所不同,参照毛细水上升高度概念,提出冻结水上升高度术语。

2.1.5 路基总冻胀值(overall frost-heave value of subgrade)

是路面横断面方向宽度内各测点的平均冻胀值。是衡量路基冻胀变形的特征值。

说明

公路设计手册《路基》中对路基冻胀的衡量包括总冻胀、不均匀冻胀和冻胀率三个指标。不均匀冻胀可使路面不平或冻坏,但研究表明,总冻胀与不均匀冻胀存在一定关系,桥涵及建筑工程地基冻胀均用总冻胀和冻胀率来表现;路基容许冻胀值都以总冻胀值给出,为使本《指南》各节及同其他规范抗冻条款相统一而用总冻胀值。

2.1.6 土的冻胀率(frost-heave value of soil)

是土的冻胀量与冻深的比值。

2.1.7 不利时期(adverse period)

指近 10 年中降水量最多年份的冻前时期。

说明

公路路基抗冻不利时期为 10 年降水量最大一年的冻结前土中含水量最大时期,而非春季或夏季。

2.1.8 全冻路堤(frost embankment)

指路基填筑高度小于等于路基冻结深度(道路冻深减去路面厚度)的路堤。

2.1.9 非全冻路堤(non-frost embankment)

指路基填筑高度大于路基冻结深度(道路冻深减去路面厚度)的路堤。

说明

为明确区分填土路堤受冻部分与非受冻部分的范围,以便对其采取不同的处理方法,提出此术语。

2.1.10 基底(foundation base)

是公路路基和桥涵基础修筑的起始面。

2.1.11 季节性冻土地区路基临界高度(subgrade critical height in seasonal frost region)

是冰冻期路基不受地下水、地表水冻结上升影响的高度。

2.1.12 最大冻深线(maximum frost line)

是最大冻深时土基始冻点位的连线。

2.1.13 道路冻深(road frost depth)

是从路中线表面到冻结线处不包括冻胀量的冻结厚度。

2.1.14 抗冻垫层(frost protection underlayer)

是在上路床顶面,按抗冻要求设置的层次。

2.1.15 冻土单位切向冻胀力(unit tangential frost-heave force)

是地基土冻胀时沿基础侧面产生的向上的单位面积作用力。

2.1.16 最大单位水平冻胀力(maximum unit level frost-heave force)

是台墙后土体冻胀时沿墙高水平方向产生的单位面积最大冻胀力。

2.1.17 抗冻水泥混凝土(frost-proof cement concrete)

是在水泥混凝土配合比设计时,按照结构物抗冻性能需要,提出抗冻等级要求的水泥混凝土。

说明

对水泥混凝土的抗冻性能,建筑及水工规范或手册中都有规定,公路工程中的规定则不多,它也同膨胀、放射线及抗渗等特种混凝土一样视为特种混凝土,所以定为抗冻水泥混凝土。

2.1.18 抗冻等级(frost-proof grade of cement concrete)

是水泥混凝土在反复冻融作用下抵抗破坏能力的分级。

2.1.19 含气量(air content of cement concrete)

指水泥混凝土拌合物中所含空气体积占拌合物体积的百分率。

2.2 符 号

2.2.1 作用与作用效应

N ——作用在基础以上的结构重力;

N_0 ——作用在桩(柱)顶上的结构重力;

N_1 ——作用在验算截面以上基础(桩基)的竖向结构重力;

Q ——上部结构恒载；
 G ——基础自重力及襟边上的土重力；
 G_0 ——桩(柱)自重力；
 G_1 ——验算截面以上基础或桩基重力；
 τ_T ——冻层中基础与墩身侧向单位面积切向冻胀力；
 τ_L ——水结冰后与墩身侧面单位面积切向冻胀力；
 σ_s ——土的水平单位冻胀力标准值；
 ϵ_j ——路面因路基冻胀产生的应变；
 τ_i ——融化土层与基础或桩壁的极限摩阻力。

2.2.2 抗力与材料

R_i ——钢筋设计抗拉强度；
 γ_s ——钢筋设计安全系数；
 ϵ_s ——路面材料冻结时破坏应变；
 C ——土的粘聚力；
 ϕ ——土的摩擦角；
 ρ ——土的重度；
 W ——土的含水量；
 V_0 ——水泥混凝土含气量设计值。

2.2.3 几何参数

B_k ——路面抗冻计算宽度；
 $f_{\max}$ ——道路计算最大冻胀值。
 Z_d ——大地标准冻深；
 $Z_{\max}$ ——道路多年最大冻深；
 z ——土的总冻胀值；
 z_y ——路基容许总冻胀值；
 h_x ——季冻土路基临界高度；
 $h_{\min}$ ——抗冻垫层厚度；
 h_t ——冻结水上升高度；
 H_i ——路面厚度；
 H_p ——边坡滑动土体总厚度。

2.2.4 系数及参数

F ——冻结指数;

η ——土的平均冻胀率;

n_T ——标准冻深修正系数;

K ——设计安全系数。

说明

本节所列符号为本《指南》中使用频率高的符号。本《指南》涵盖了路基、路面桥涵及土工、沥青混合料及水泥混凝土等多种规范规程的内容,符号繁杂,形式多本对《指南》中常出现的符号加以整理统一,以便于查找。

3 季节性冻土地区抗冻基础资料和土的冻胀性分类

3.1 抗冻基础资料

3.1.1 公路工程抗冻设计前应调查下列气象资料:

- 1 近 10 年的气温资料,包括连续 7 天累计最高气温的日平均值、年极端最低气温。
- 2 最大冻结指数,按下式计算:

$$F = \sum_{i=1}^n t_i \quad (3.1.1-1)$$

式中: F ——冻结指数($^{\circ}\text{C}$),无调查资料时,可查用图 3.1.1-1 中国季节性冻土区冻结指数标准等值线图;

t_i ——每日负温度平均值($^{\circ}\text{C}$);

n ——一年中负温度值出现的天数(d)。

- 3 近 10 年年降水量、年水分蒸发量及潮湿系数,无实测资料可参照附录 E 降水量、蒸发量表取值。

$$k = \frac{R}{\psi} \quad (3.1.1-2)$$

式中: k ——潮湿系数;

R ——年降水量(mm);

ψ ——年蒸发量(mm)。

- 4 大地标准冻深,无实测资料时,可参照图 3.1.1-2 中国季节性冻土标准冻深线及冻深计算分区图确定。也可根据大地标准冻深与冻结指数及潮湿系数的关系计算确定。

$$Z_d = \frac{D_i}{\sqrt{k}} \cdot F \quad (3.1.1-3)$$

式中: Z_d ——大地标准冻深(m);

D_i ——大地冻深地区系数见表 3.1.1;

其余符号同前。

表 3.1.1 大地冻深地区系数 D_i

不同地区	D_I	D_{II}	D_{III}	D_{IV}	D_V	D_{VI}	D_{VII}	D_{VIII}
系数	0.053	0.073	0.105	0.034	0.082	0.020	0.050	0.069

注: $D_I - D_{VIII}$ 的区域划分见图 3.1.1-2。

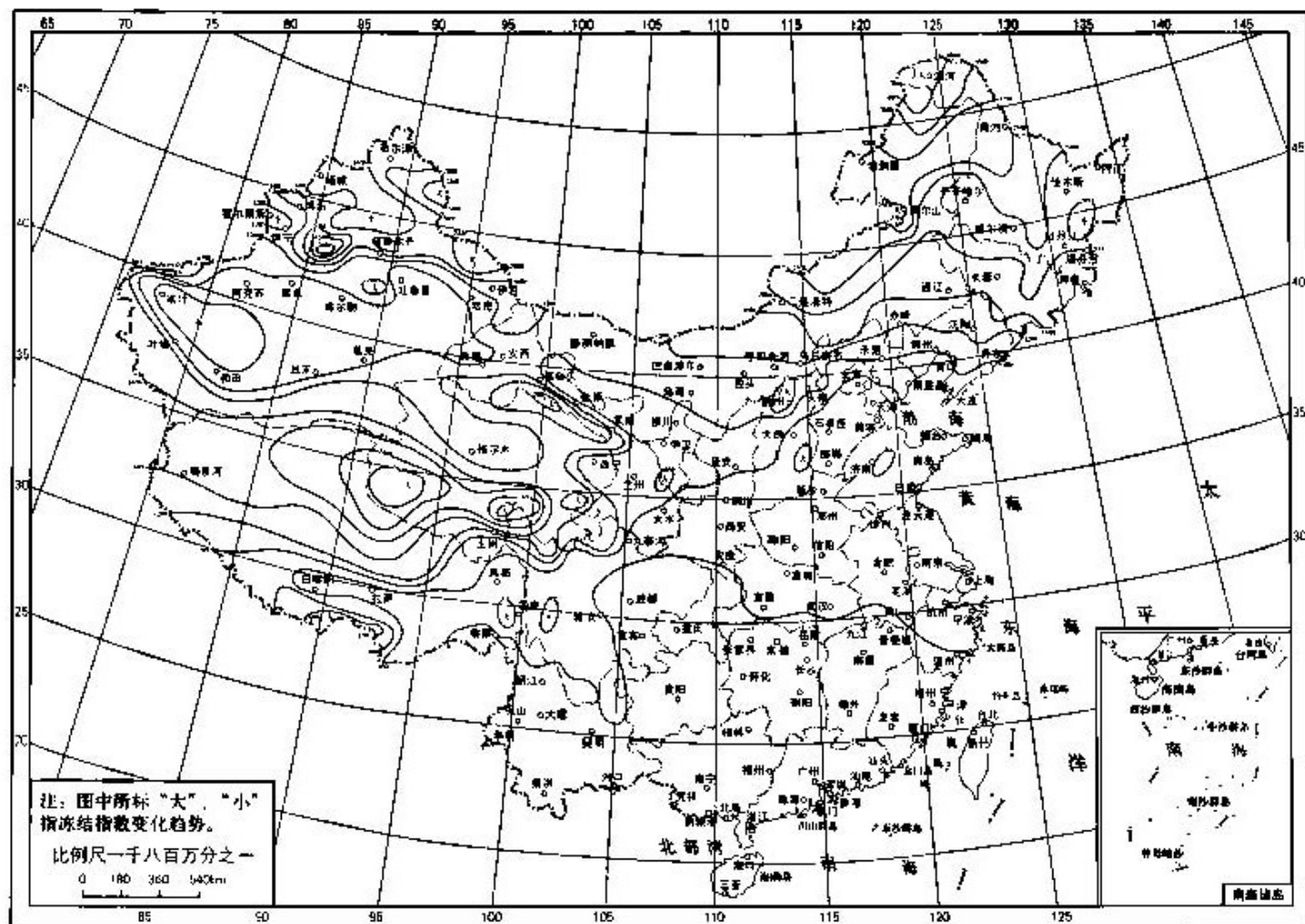


图 3.1.1-1 中国季节性冻土区冻结指数标准等值线图

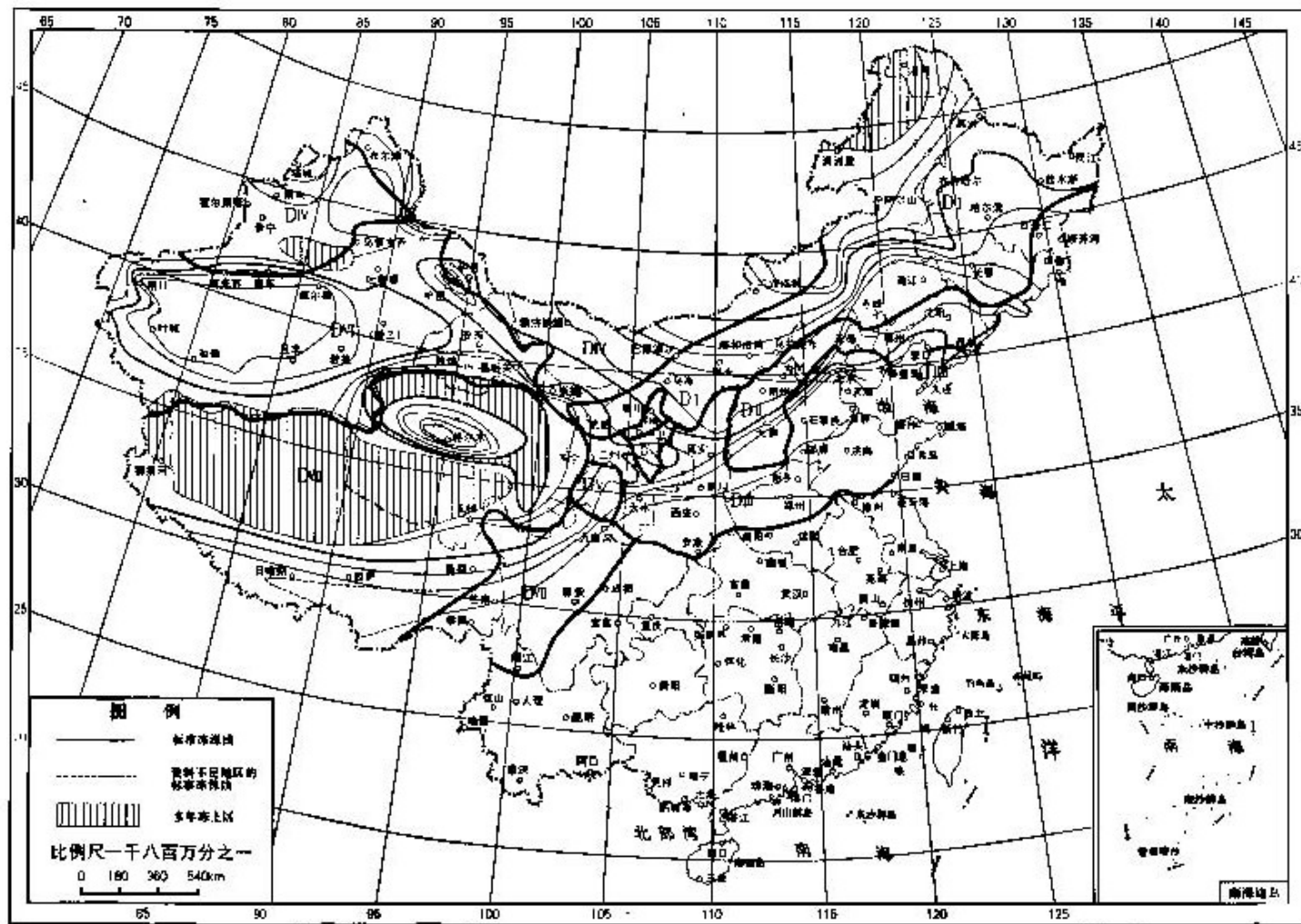


图 3.1.1-2 中国季节性冻土标准冻深线及冻深计算分区图

说明

气象条件是公路冻害的决定性因素,是设计的基本依据。气象资料统计年限越多数据越准确,美国用 20 年资料,俄罗斯和我国用 10 年资料。本《指南》公式的推导及抗冻条款的提出以 10 年的气象资料作为基础(1991 年至 2000 年)。对气象数据及相关资料的使用见有关条款说明。

本《指南》所提供的冻结指数、大地标准冻深、年降水量、年蒸发量直接来源于中国气象局专业气象台。编写组根据年降水量及年蒸发量计算出潮湿系数。大地标准冻深同潮湿系数和冻结指数的关系由气象台 10 年调查资料统计分析得出。

图 3.1.1-2 中国季节性冻土标准冻深线图是参照《冻土地区建筑地基基础设计规范》中的大地标准冻深线,根据全国 384 个专业气象台站近 10 年中最大冻深资料点绘而成。利用调查的大地冻深、冻结指数、潮湿系数,对其相关性进行分析,发现大地冻深不仅与冻结指数有关,与潮湿系数也有关系,如:黑龙江省佳木斯市冻结指数 2060℃,潮湿系数 0.44,冻深为 1.38m,吉林省白城市冻结指数 2092℃,潮湿系数 0.21,冻深 1.91m,据此确定了大地冻深地区系数 D_1 ,并进行了冻深计算的区域划分。

3.1.2 公路工程抗冻设计时,应对工程土质的各项物理指标进行勘察试验,取得下列资料。调查取样深度应大于估算冻深。

- 1 对地基土和取土场土进行颗粒分析,确定粒级范围。
- 2 测定土的天然含水量、液限及塑限含水量、试验土的天然密度。
- 3 测定土的冻胀率,试验方法见附录 A,无冻胀实测数据时,可按式(3.1.2)计算:

$$\eta = \left(\frac{R_m}{R} \cdot W - W_0 \right) \lambda + 2$$

(3.1.2)

式中: η ——土的平均冻胀率(%);
 W ——调查时土的含水量(%);
 R_m ——近 10 年最大年降水量(mm);
 R ——调查年份年降水量(mm);
 W_0 ——起始冻胀含水量(%),可取(0.80~0.84) W_p (土的塑限含水量)或参考表 3.1.2 选用;
 λ ——系数,细粒土取 0.25,粗粒土取 0.28。

表 3.1.2 不同土质的起始冻胀含水量

土的名称	粘质土	粉质土	粉土质砂	细粒土质砾、粘土质砂	含细粒土质砾(砂)
起始冻胀含水量 W_0 (%)	12~17	10~14	9~11	8~10	6~8

说明

公路路基土(包括填土及原状土)和桥涵地基土的性质和状态是产生冻害的基础条

件,设计前要清楚其物理及力学指标,正确判别土的冻胀性,做出合理的抗冻设计。由于以往对公路土质调查深度及广度不足,本条特别强调对原状土和取土场土的调查。土的冻胀率由标准试验测得,以便准确计算冻胀值。无冻胀试验条件时可通过含水量计算。条文中公式及参数取自《道路桥梁冻害及其防治》(田德廷、戴惠民)和《土的冻胀性试验研究》(吴紫汪等)的研究结论。

3.1.3 公路抗冻设计必须认真调查所处地点的水文及水文地质状况,调查时间宜于冰冻前进行。

- 1 调查对路基产生影响的地表水距路线的距离及水深。
- 2 调查有无地下水,地下水位随季节变化情况。
- 3 调查公路施工期及建成后可能对路基路面造成冻害的各种水源。

说明

除冻结指数和土的性质之外,土中含水量是冻害的关键条件。本条要求详细调查各种水源和分析预测水分向土中集聚状况,为土的抗冻性划分、抗冻措施及冻害路段排水设计等提供依据。

3.1.4 季冻区公路抗冻设计与施工应根据相应的季冻区等级进行。

- 1 冻土区等级一级分区按冻结指数分为:I-重冻区;II-中冻区;III-轻冻区。
- 2 根据潮湿系数,将冻土区进行二级区划分为:潮湿区 A;中湿区 B;干旱区 C。

全国季冻区共分为八个二级区:Ⅰ_A、Ⅰ_B、Ⅰ_C、Ⅱ_A、Ⅱ_B、Ⅱ_C、Ⅲ_A和Ⅲ_B。区划指标特征与公路自然区划标准对照列入表 3.1.4 中,以供参照使用。

表 3.1.4 季冻区等级划分表

冻区 划分	冻结指数 (°C)	潮湿系数	大地标准冻深 (10 年最大值)(m)	相应公路 自然区划	相应地区及城市范围
I 重冻区	$F \geq 2000$	$k \geq 0.5$	1.0~2.8	I ₁ II _{1A} VI ₁	黑龙江省大兴安岭、伊春、鹤岗、牡丹江
		$0.5 > k \geq 0.25$	1.0~3.0	II ₂ VII ₂	黑龙江省黑河、绥化、佳木斯,吉林省松原,青海省玉树
		$k < 0.25$	1.0~2.5	VI ₂ VI ₃ VI ₄	吉林省白城,新疆阿勒泰、哈密

冻区 划分	冻结指数 ($^{\circ}\text{C}$)	潮湿系数	大地标准冻深 (10年最大值)(m)	相应公路 自然区划	相应地区及城市范围
II 中 冻 区	II _h	$k \geq 0.5$	0.6 ~ 1.5	II ₁	吉林省通化、白山、吉林
	II _g	$0.5 > k \geq 0.25$	0.8 ~ 2.2	II _{2a} II _{2b}	辽宁省沈阳、本溪、锦州、阜新、营口, 青海省西宁, 河北省石家庄、邢台
	II _r	$k < 0.25$	0.7 ~ 2.4	VI ₁ VI _{1a} VI ₂ III ₃ VI ₄ VI _{4a} VI _{4b} VII ₁ VII ₂	青海省共和, 新疆乌鲁木齐、石河子、塔城、博乐、内蒙古呼和浩特, 甘肃省酒泉
III 轻 冻 区	III _h	$k \geq 0.5$	0.15 ~ 0.8	II ₁ III ₁ V II ₃	辽宁省丹东, 山东省临沂, 陕西省安康
	III _g	$800 > F \geq 0$ $0.5 > k \geq 0.25$	0.10 ~ 1.0	II ₁ II ₃ II ₄ II ₅ II _{5a} III ₁ III ₂ III ₃ VII _{4a}	甘肃省临夏, 陕西省西安、山西省太原、阳泉, 河北省秦皇岛、唐山、保定、北京、天津, 河南省开封, 山东省济南、青岛

说明

季冻区约占我国国土面积的 60% 以上, 各地冰冻程度不一, 公路路面、路基及桥涵构造物冻害各异, 本《指南》根据公路工程抗冻要求, 参照《公路自然区划标准》中季节冻土地带和公路设计手册《路基》中的相关章节, 结合近 10 年冻结指数、冻深及潮湿系数调查结果, 将冻土区一级区划按冻结指数分为重冻区、中冻区和轻冻区三级。冻区划分原则为:

(1) 重冻区: 当冻结指数为 2000°C 时, 大地冻深平均为 1.5 ~ 1.6m, 转换为道路冻深后路基的冻深为 1.3 ~ 1.4m。如果路基填料选用冻胀率较小 (2% ~ 3%) 的填料, 路基产生的冻胀值为 26 ~ 42mm, 刚好满足本《指南》表 4.1.1-1 中路基容许总冻胀值的要求。如果冻结指数大于 2000°C , 则冻深增加, 这时即使路基选用冻胀率较小的填料, 路基冻胀值也要大于表 4.1.1-1 中的容许值, 这种情况下必须对路基填料及路面结构进行抗冻设计。并且在冻结指数大于 2000°C 的地区, 公路上构造物冻害也普遍严重。基于以上原因把冻结指数大于等于 2000°C 的地区定义为重冻区。

(2) 中冻区: 当冻结指数为 800°C 时, 大地冻深平均值为 0.7 ~ 0.8m, 转换成道路冻深后路基的冻深为 0.4 ~ 0.5m, 路基填料选择冻胀率较大 (6%) 的填料, 路基产生的冻胀值为 24 ~ 30mm, 在表 4.1.1-1 容许的范围内。当冻结指数大于 800°C 时, 冻深增加, 选择冻胀率大的填料, 路基冻胀值超出允许值, 所以当冻结指数 $2000^{\circ}\text{C} > F \geq 800^{\circ}\text{C}$ 时, 只需对路基填料进行选择, 控制冻胀率, 即能满足路基容许冻胀值的要求, 而且冻结指数 $2000 \sim 800^{\circ}\text{C}$ 地区的路面及其他构造物的冻害程度也较冻结指数大于 2000°C 地区的轻, 所以把冻结指数小于 2000°C , 大于等于 800°C 的冻土区定义为中冻区。

(3)轻冻区:冻结指数小于 800°C 的地区,大地冻深为 $0.4\sim 0.5\text{m}$,路基填料即使选择冻胀率稍大(5%~6%)的材料,冻胀值也很小。该地区路面及公路构造物在冬季产生的冻害也较轻,所以把冻结指数小于 800°C 大于 0°C 的地区定义为轻冻区。

二级分区是在一级分区的基础上,根据潮湿系数不同对冻深的影响作进一步的划分。潮湿系数不但影响大地冻深,也影响地下水位及路面材料和构造物的工作环境和抗冻性。参考公路设计手册《路基》中二级自然区划气候因素中潮湿系数的等级划分方法,把潮湿系数分为三个等级,则在一级分区的基础上,形成了8个二级区划。

3.2 季冻土冻胀性分类

3.2.1 季冻土根据冻胀率 η 的大小分为不冻胀、弱冻胀、冻胀、强冻胀和特强冻胀土五类,并应符合表3.2.1-1的规定。

土的平均冻胀率按下式计算:

$$\eta = \frac{z}{Z} \times 100(\%) \quad (3.2.1)$$

式中: z ——土的总冻胀值(mm);

Z ——相应冻结深度(mm),不包括冻胀量。

表 3.2.1-1 季冻土的冻胀性分类

土组分类号	土组名称	土质干湿状态	调查时土的天然含水量 W (%)	达到最大冻深时地下、地表水位距冻结线的最小距离 h_w (m)	平均冻胀率 η (%)	冻胀等级	冻胀类别
I	含细粒土砾(砂), 粒径小于 0.075mm 含量不大于 15%	干燥	不考虑	不考虑	$\eta \leq 1$	1	不冻胀
II	细粒土质砾(粘土质砂), 粒径小于 0.075mm 含量不小于 15%	干燥	$W \leq 12$	> 1.0	$\eta \leq 1$	1	不冻胀
				≤ 1.0	$1 < \eta \leq 3.5$	2	弱冻胀
		中湿潮湿	$12 < W \leq 18$	> 1.0			
				≤ 1.0	$3.5 < \eta \leq 6$	3	冻胀
		过湿	$W > 18$	> 0.5			
				≤ 0.5	$6 < \eta \leq 12$	4	强冻胀
III	粉土质砂	干燥	$W \leq 14$	> 1.0	$\eta \leq 1$	1	不冻胀
				≤ 1.0	$1 < \eta \leq 3.5$	2	弱冻胀
		中湿潮湿	$14 < W \leq 19$	> 1.0			
				≤ 1.0	$3.5 < \eta \leq 6$	3	冻胀
		过湿	$19 < W \leq 23$	> 1.0			
				≤ 1.0	$6 < \eta \leq 12$	4	强冻胀
		过湿	$W > 23$	不考虑	$\eta > 12$	5	特强冻胀

土组分类号	土组名称	土质干湿状态	调查时土的天然含水量 W (%)	达到最大冻深时地下、地表水位距冻结线的最小距离 h_s (m)	平均冻胀率 η (%)	冻胀等级	冻胀类别
IV	粉质土	干燥	$W \leq 19$	> 1.5	$\eta \leq 1$	1	不冻胀
				≤ 1.5	$1 < \eta \leq 3.5$	2	弱冻胀
		中湿潮湿	$19 < W \leq 22$	> 1.5			
				≤ 1.5	$3.5 < \eta \leq 6$	3	冻胀
		过湿	$22 < W \leq 26$	> 1.5			
				≤ 1.5	$6 < \eta \leq 12$	4	强冻胀
		过湿	$26 < W \leq 30$	> 1.5			
				≤ 1.5	$\eta > 12$	5	特强冻胀
过湿	$W > 30$	不考虑					
V	粘质土	干燥	$W \leq W_p + 2$	> 2.0	$\eta \leq 1$	1	不冻胀
				≤ 2.0	$1 < \eta \leq 3.5$	2	弱冻胀
		中湿潮湿	$W_p + 2 < W \leq W_p + 5$	> 2.0			
				≤ 2.0	$3.5 < \eta \leq 6$	3	冻胀
		过湿	$W_p + 5 < W \leq W_p + 9$	> 2.0			
				≤ 2.0	$6 < \eta \leq 12$	4	强冻胀
		过湿	$W_p + 9 < W \leq W_p + 15$	> 2.0			
				≤ 2.0	$\eta > 12$	5	特强冻胀
过湿	$W > W_p + 15$	不考虑					

注:①土的干湿状态参照现行《公路沥青路面设计规范》相应条款确定;

② W_p 为土的塑限含水量;

③塑性指数大于 22 时,冻胀性降低一级;

④粒径小于 0.005mm 的含量大于 60% 时,为不冻胀土;

⑤II、III 类土当填充细料大于全部质量的 40% 时,其冻胀性按填充料类别划分。

说明

季冻土的冻胀性分类表 3.2.1-1 取自《冻土地区建筑地基基础设计规范》中 3.1.5 条;土组名称冠以《公路土工试验规程》中土工分类的新名称;增加了土的干湿状态一栏,以便概略了解含水状态。本表与《公路桥涵地基与基础设计规范》中季节性冻土分类表基本一致。此分类原为容许冻胀值范围较大的桥涵建筑物基础、房屋建筑基础及水工建筑物基础抗冻设计以野外调查形式编制的。现也作为路基抗冻设计的依据和标准,按此根据调查的土类、含水量、冻胀率及地下、地表水水位高度进行设计。但公路路基要求允许冻胀值一般较小,所以路基土各冻胀等级的平均冻胀率应取较小值,见以下比较表 3.2.1-2。

根据兰州冻土研究所试验资料,高塑性粘土的塑性指数 I_p 不小于 22 时,土的渗透性

下降,影响其冻胀性,所以冻胀等级下降一级。

当土中的粘土粒径小于0.005mm的含量大于60%时,可看成不透水性土,此时地基土为不冻胀土。

表 3.2.1-2 不同规范土的冻胀等级划分

规范名称 冻胀类别	本《指南》及冻土区 建筑基础规范	公路桥涵地基与 基础设计规范	前苏联交通建设部柔性 路面设计规范(1985年)	本《指南》 用于道路
不冻胀	$\eta \leq 1.0$	$\eta \leq 1.0$	$\eta \leq 1.0$	$\eta \leq 1.0$
弱冻胀	$1 < \eta \leq 3.5$	$1 < \eta \leq 3.5$	$1 < \eta \leq 4.0$	$1 < \eta \leq 3.0$
冻胀	$3.5 < \eta \leq 6.0$	$3.5 < \eta \leq 6.0$	$4.0 < \eta \leq 7.0$	$3 < \eta \leq 5.0$
强冻胀	$6.0 < \eta \leq 12.0$	$6.0 < \eta \leq 13.0$	$7.0 < \eta \leq 10.0$	$5.0 < \eta \leq 9.0$
特强冻胀	$\eta > 12.0$	$\eta > 13.0$	$\eta > 10$	$\eta > 9.0$

4 季节性冻土地区路基设计与施工

4.1 路基设计一般规定

4.1.1 各级公路路基设计除满足路基强度要求外,还必须满足不利时期表 4.1.1-1 所列路基容许总冻胀值和路面不因路基冻胀而产生纵向裂缝的要求。路基总冻胀值可根据路基冻深(道路冻深减路面厚度)和土的冻胀率计算。

$$z_j = \sum_{i=1}^n h_i \eta_i \leq z_r \quad (4.1.1)$$

式中: z_j ——路基冻胀值(mm);

h_i ——路基冻深内不同土层厚度(mm);

η_i ——路基不同上层土的冻胀率,按本《指南》3.1.2 条计;

n ——不同土层数;

z_r ——路基容许总冻胀值(mm)。

表 4.1.1-1 满足路面平整度要求的路基容许总冻胀值 z_r (mm)

路面类型 道路等级	现浇水泥混凝土	沥青混凝土
高速公路、一级公路	20	50
二级公路	30	60

说明

通过五年来对吉林省和黑龙江省已建和在建的高速公路和干线二级公路路面纵向裂缝、横向裂缝(断板)、变形及平整度变化路段进行外业检查、钻探、室内试验分析和路段观测研究,这些路面病害主要是路基冻胀造成的冻害。

根据调查,高速公路通车后第一个冬季便发生平整度衰减,并逐年加重。某高速公路有一段 15km 冻胀土路基,1997 年 9 月通车时平整度为 0.7mm,2001 年 11 月 23 日初冻后检测平整度为 1.38mm,2002 年 2 月 20 日测定平整度为 1.68mm,仅 2 个月便增加 22%。与通车时相比,平整度增加到 2.4 倍。此路段交通量不大,可见因冻胀引起的平整度变化占有一定比重。

参照我国现行《公路路基设计规范》和前苏联《柔性路面设计规范》之规定,提出抑制

路面纵向裂缝和控制平整度必须以路基总冻胀值作为路基抗冻设计指标,并作为路面设计的依据。

综合吉林省对次高级路面冻胀研究成果、路基设计手册提出的路面容许冻胀值、黑龙江省交通科学研究所提出的路面容许总冻胀值及近期路基冻胀研究成果,结合不同公路现状及要求,提出条文中表 4.1.1-1 路基容许总冻胀值。现将各方所提出的路基容许冻胀值列入表 4.1.1-2。

表 4.1.1-2 不同研究成果对路基冻胀值规定

吉林省路面 冻胀观测研究	路面类型	次高级沥青路面					
	路基总冻胀值(mm)	20	40	50	60	70	80
	路面平整度(mm)	3.0	6.0	8.0	10.0	11.5	13.2
黑龙江省路面 冻胀观测研究	路面类型	水泥混凝土路面					
	路基总冻胀值(mm)	20	40	50	60	70	80
	路面平整度(mm)	1.0	3.2	4.2	5.3	6.3	7.4
本课题冻胀 观测研究	路面类型	二灰碎石基层					
	路基总冻胀值(mm)	20	30	40	50		
	路面平整度(mm)	3.0~5.0	5.0~7.0	5.0~9.0	10.0~12.0		
公路设计手册 (路基)	路面类型	水泥混凝土		沥青混凝土		次高级路面	
	容许冻胀值(mm)	20		40		60	

注:前苏联建设部柔性路面设计规范中规定现浇水泥混凝土路面路基的容许冻胀值为 30mm,水泥混凝土装配式路面路基的容许冻胀值为 40mm,沥青混凝土路面路基的容许冻胀值与《公路设计手册》规定相同。

条文所提出的容许总冻胀值略大于表 4.1.1-2,因为调查研究表明冻胀值接近于表 4.1.1-1 给出值道路没有纵向裂缝出现,并且对路面平整度影响也不大。这个指标对二级以上公路可以控制裂缝。

条文根据沥青路面大修周期,取近 10 年冻结指数最大值和降水量最大值为不利时期计算条件,前苏联柔性路面设计规范中也有同样规定。因为路基土质确定之后冻胀主要取决于其含水量和冻结指数。《指南》专题研究调查中发现冻胀土路基中含水量逐年增加,甚至达到潮湿或过湿状态。冻结指数各年差异很大,如:长春市 2000~2001 年冬为 2175℃,而 2001~2002 年冬却为 886℃,前者是后者的 2.45 倍,因此,如用施工时含水量和平均冻结指数是不合适的,应采用 10 年中的最大值。

4.1.2 二级及二级以上公路,路基冻深线以上的土质宜为不冻胀土和弱冻胀土,对冻胀类土如路基冻胀值不满足容许总冻胀值的要求时应采用 4.2 节和 4.6 节的方法加以处理。

说明

路基冻深范围内的土质是路基冻胀值大小的决定性因素,因此,首先对其提出了要求,以下相应条款均以此为原则编制。

4.1.3 冻胀土路段应能及时排除浸入水及春融期路基中融化水。

说明

季冻区公路冻胀破坏主要表现在春融期,由于路基春融水不能随时排除,在重载作用下出现沉陷、坑槽或翻浆。所以必须有完善的路基排水设计。

4.1.4 强冻胀土路基设计应满足季冻区路基临界高度要求。

说明

本条强调在路基设计时,地下水及地表水在冻结期间距冻结线距离尽量加大,以控制补给冻结水量,确保抗冻安全性。

4.2 路基土质填料

4.2.1 路基冻深范围内各层土质填料必须综合考虑路基高度、干湿类型、冻上区划、容许总冻胀值及路面结构类型等因素,结合材料来源,参照表 4.1.1-1 路基设计容许总冻胀值及表 3.2.1-1 或表 3.2.1-2 季冻土冻胀性分类按表 4.2.1 选取。所选择的填料和原地基土不能满足抗冻等级要求时,宜采取相应措施改善土质及含水条件。

路基冻深范围外的层位执行公路路基设计及施工规范相应条款。

表 4.2.1 季冻区路基土质填料选择表

路基层位 路基类型		上路床 (0~0.3m)	下路床及挖方路段 (0.3~0.8m)	上路堤及挖方路段 (0.8~1.5m)	下路堤及挖方路段 (1.5m 以下)
非全 冻路堤	土组	I~II	I~V	I~V	根据以上各层土质 的抗冻性确定
	冻胀等级	I	I~2	I~3	
全冻路堤	土组	I~II	I~III	I~V	
挖方路段	冻胀等级	I	I	I~2	

注:①土组分类号及土的冻胀等级见表 3.2.1-1。

②水文条件比较好时全冻路堤的上路堤及挖方路段 0.8~1.5m 可选 3 级。

说明

由于土质不良引发的路基冻害无法治愈,只有通过多年养护不断换填不冻胀性材料,直至换完才能稳定。所以不论公路等级高低一次解决抗冻问题是十分必要的。本条按路

基各层位的不同条件及对冻胀影响程度提出了土质类别和冻胀等级要求,突出对挖方路段及全冻填方路段的原地基土质要求,这将大大减少路基冻害。

挖方路段上路床冻胀破坏较为普遍,因此,本条提出必须用 I、II 类土填筑。

为解决挖方路段抗冻问题,本《指南》定义和明确了路基各层位的名称,可将处于原地面及以下的路基 $0 \sim 0.3\text{m}$ 层位叫上路床, $0.3 \sim 0.8\text{m}$ 层位叫下路床,路床以下 $0.8 \sim 1.5\text{m}$ 深度范围定为上路堤, 1.5m 以下深度定为下路堤。定义后全部路基各层名称如图 4.2.1。

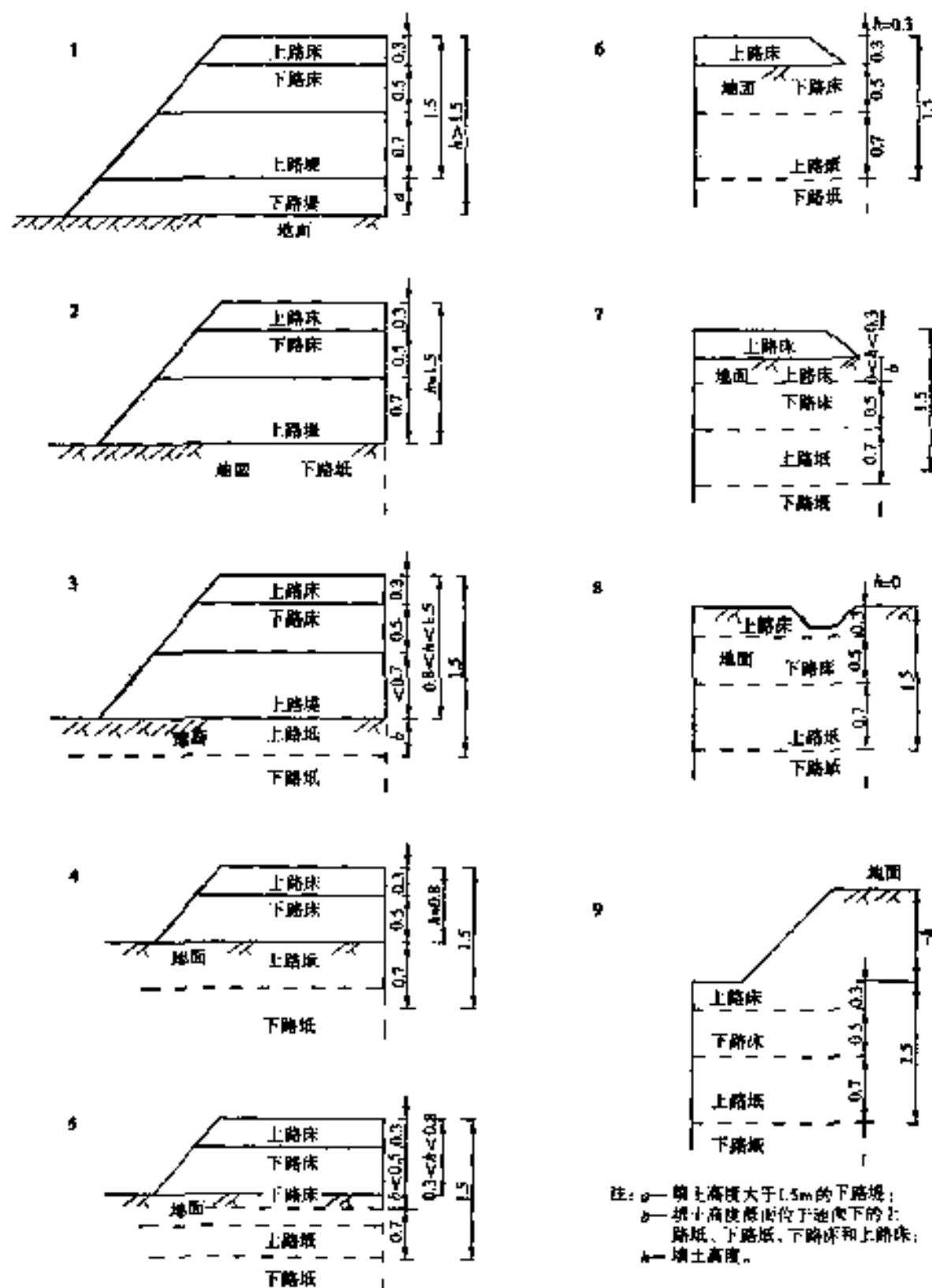


图 4.2.1 路基各层位名称(尺寸单位:m)

4.2.2 季冻区路基上路床、下路床填料可优先选择与Ⅰ、Ⅱ类土相当的矿渣、炉渣、粉煤灰、砾石及碎石等抗冻稳定性较好的材料,填筑完成后必须将水及时排除路基。

说明

路基上路床及下路床是冻胀最严重的层位,实践证明用江(河)砂、粉煤灰及标准粗粒土填筑的路基多年来很少有冻胀发生,但应将施工中的水排除,否则易引发冻害。

4.2.3 季冻区路基的路床或上路堤和挖方路段路堤高度0.8~1.5m范围填筑土质砂、粉质土和粘质土时,可用石灰、水泥、粉煤灰、矿渣、固化剂等单独或混合进行改善处治。用量根据土的性质、天然含水量和路基冻胀性要求,经试验确定。一般水泥处治用量宜为1%~3%;石灰处治用量宜为3%~6%;二灰处治石灰用量宜为2%~4%,粉煤灰用量宜为6%~10%。

说明

用石灰、水泥及粉煤灰等稳定土是解决路基冻胀的简易有效方法,但稳定材料过多会造成浪费,过少则达不到抗冻目的,所以要求经过试验确定,设计时加以说明。

4.2.4 强风化软质岩及遇水崩解软化岩石不得用于上路床,用于其他层位时应满足以上各条款中的相应要求。用盐渍土填筑路基时,应做抗冻性试验,并符合相应的要求。

说明

由于膨胀土、强风化软岩及泥炭土等路基渗水后难以排除,使冻胀量不断增大,在公路冻害调查中也发现了此类路段,本条特加以强调。

4.3 路基压实

4.3.1 冻胀土非全冻路堤、全冻路堤及挖方路段各层位均应充分压实。压实度标准应符合表4.3.1的规定。

说明

经过室内试验和路基试验都表明在未饱和的细粒三相土体中有一个对冻胀性非常敏感的密度值,在此密度下继续压实冻胀性成比例地降低,当达到标准击实的最大密度时冻胀降低至零。这是因为路基中冻结水迁移量减少,上升高度降低,路面上降水不易渗入,

表 4.3.1 季冻区路基冻深范围内压实度标准(重型击实标准)(%)

路基层位 路基类型		上路床 (0~0.3m)	下路床 (0.3~0.8m)	上路堤及挖方 路段 0.8~1.5m	下路堤及挖方 路段 1.5m 以下	基底 (0.3m 范围内)
非全冻路堤		≥98/≥95	≥96/≥95	≥94/≥94	≥93/≥92	按所属层 位标准并 ≥ 90/≥85
全冻路堤	换填土	≥98/≥96	≥96/≥95	≥94/≥94	≥93/≥92	
	地基土	≥96/≥95	≥96/≥95	≥93/≥90		
挖方路段	换填土	≥98/≥96	≥96/≥95	≥93/≥93		
	地基土	≥96/≥95	≥96/≥95	≥90/≥85		

注:①斜线前数字为高速公路、一级公路压实度标准;斜线后数字为其他公路压实度标准。

②零填路段压实标准与挖方段相同。

③冻深没达到的层位,执行公路路基设计规范压实标准。

从而减少路基上部土层内的水分和聚冰程度。试验证明 80%~90% 压实度的土质冻胀率最大。由上可见路基压实度越高抗冻性越高,但考虑土质、水分、冻结温度、使用条件及技术经济等因素,压实度可由上层向下层逐渐降低,在冻深范围内的高速、一级公路路基最底层位不宜小于 90%,个别困难的路基可降低 1%~2%。

条文中表 4.3.1 路基压实度标准,是参照《公路工程技术标准》和田德廷、戴惠民编著的《道路桥梁冻害及其防治》中季节性冻土地地区不同路基的压实标准表,结合原状地基土所具有的密实度编制的。考虑到原地基土压实比较困难,所以同层位压实度较换填土为低。表中没有按冻区来划分,可根据冻深所达到的层位执行。

4.3.2 路基基底的压实度应满足上一层填土压实的要求。填土高度小于 1.5m 的高速、一级公路,基底压实度不宜小于 90%。

说明

路基基底压实度是向上逐层压实的基础,本条特作规定。挖方及全冻路堤段基底难以压实,以往大多采取超厚填筑一次压实,这种做法等于降低了路基标准,所以对挖方、全冻路堤的低填路段的高速、一级公路基底提出压实度不宜小于 90%。

4.3.3 路基各层位和基底的压实度若不能满足上条标准,应对土质采取挖出改善或原地处理直至满足表 4.3.1 的要求。

说明

季冻区路基土的含水量过高经过晾晒可以满足暂时压实要求,但当水分增加后其抗冻性能仍会下降,所以要求挖出换填或加以改善。若原状地基土挖出困难可就地采用路

基设计规范中适宜的加固方法处理。

4.4 路基临界高度

4.4.1 冻胀土路基距地下水位或地表常年积水水位的高度不小于冻土路基临界高度,临界高度按下式计算确定:

$$h_k = Z_{\max} + h_z \quad (4.4.1-1)$$

式中: h_k ——冻胀土路基临界高度(m);

$Z_{\max}$ ——道路多年最大冻深(m),见5.2.4条;

h_z ——冻结水上升高度(m),结合实际条件参照表4.4.1确定。

表 4.4.1 不同土质冻结水上升高度

土质类别	含细粒土砾 含细粒土砂	细粒土质砾 粘土质砂	粉土质砂	粉质土	粘质土
冻结水上升高度(m)	0.6~0.8	0.7~0.9	0.8~1.0	1.2~1.5	2.0~2.5

说明

本节提出路基临界高度是限制地下水和地表长期积水在冰冻作用下迁移到路基上部后,最高水位与冻结线之间满足不同土质要求的距离。本条参照《冻土地区建筑地基基础设计规范》中第3.1.5条的条文说明、吉林与黑龙江两省近年研究成果及本《指南》编写中所做的土质室内研究试验结果编制。

本条所指路基临界高度包括填方与挖方路段。当路面距地下或地表长期积水水位距满足公式(4.4.1-1)中的计算值时路基含水量不受其影响,这时只考虑路面渗水条件下的路基干湿状态。如果路基不满足临界高度要求,就要根据第3.2.1条土质含水量及水位距冻结线距离确定路基冻胀等级。根据“内蒙古河套灌区季节冻土冻胀水分分异规律”的研究公式及结论,归纳出低液限粉土(粉质土)冻结后含水量变化与冻前地下水位及冻前含水量关系如图4.4.1及公式(4.4.1.2):

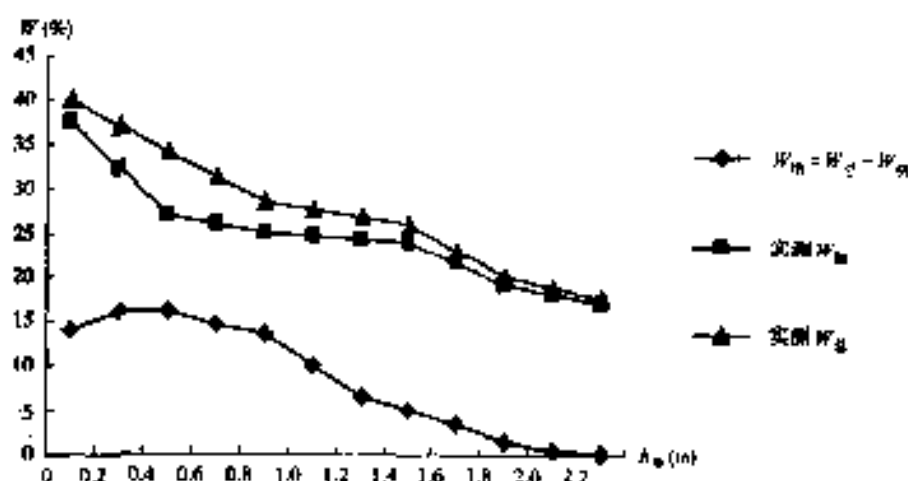


图 4.4.1 $W-h_z$ 曲线图

$$W_{\Sigma} = \left(1 + \frac{12.24 + 19.29h_w - 26.91h_w^2 + 7.17h_w^3}{88.17 + 38.5h_w - 9.75h_w^2} \right) \times W_{\text{初}} \quad (4.4.1-2)$$

由上图及公式可以看出水位距冻结线距离越小,初始含水量越大,冻结后土中水分集聚越多。

4.4.2 季冻土路基不满足路基临界高度(包括挖方段)要求时,必须根据路基实际高度及上的冻胀等级对路基或路面采取其他抗冻措施。

4.5 路基排水

4.5.1 季冻区的路基排水除执行《公路排水设计规范》和《公路路基设计规范》中的相关条款外,还应遵守本节规定。

说明

调查研究证明路基冻害除土质及温度外主要是水分增加造成的,如表 4.5.1。降水通过路面、路肩、边坡和护栏柱周边等渗入到路基中;地面水通过基底和坡脚浸入到路基中;地下水通过毛细冰冻作用吸入到路基中。这些水分在路面封闭下蒸发散失困难,粘性土向下渗排很慢,致使路基中春融水还没排除夏季降雨又进来,周而复始有增无减。因此,季冻区路基排水设计除满足一般规范要求外,重点是冬季、春季随时排除路基内部水分及有效防止外部水进入路基。

表 4.5.1 路床土的干湿状态

调查年份	调查路段编号	位置 (里程)	挖填 情况	路面破损 情况	土质 名称	稠度指标 W_p		干湿类型	
						0~0.3m	0.3~0.8m	0~0.3m	0.3~0.8m
2000 年 春 季	ZK1	长平高速, K103+250 左幅	基本零 填挖	纵向裂缝延伸 约 1km,沟状车辙	低液限 粘土	-0.53	0.93	极湿	潮湿
	ZK3	长营高速, K37+425 右幅	整深 2.1m	纵向裂缝断续 延伸约 700m	有机质高 液限粘土	0.48	0.539	过湿	过湿
	ZK6	长平高速, K6 +600 右幅	整深 7m	翻浆所致深宽 槽状沉陷,曾多次 修复(最近次 1999 年)	全风化 砂岩	平均含水量 $W = 27.5\%$			
	ZK7	长平至长吉 高速公路匝道 入口处	整深 4m	沉陷,断续纵 向裂缝	低液限 粘土	0.74	0.863	过湿	潮湿
	ZK8	长吉高速, K64+700 右幅	深挖方	沉陷和鼓包, 无裂缝	低液限 粘土	-0.38	0.518	极湿	过湿
	ZK10	长平高速, K109+500 左幅	深挖方	鼓包,沉陷及纵 向裂缝,1999 年曾 翻修过	低液限 粘土	-3.25	-0.148	极湿	极湿

续上表

调查年份	调查路段编号	位置 (里程)	挖填情况	路面破损情况	土质名称	稠度指标 W_p		干湿类型	
						0~0.3m	0.3~0.8m	0~0.3m	0.3~0.8m
2001 年 春 季	ZK1	长余高速, K98+554 右幅	整深 4.4m	纵裂	低液限 粘土	0.56	0.83	过湿	潮湿
	ZK3	长余高速, K135+750 左幅	整深 4.6m	纵裂	低液限 粘土	0.78	0.80	过湿	潮湿
	ZK4	长余高速, K4+426(13 标), 左幅	整深 5.1m	纵裂和断裂	低液限 粘土	0.50	0.82	过湿	潮湿
	ZK7	长平高速, K84+900 右幅	整深 1m	纵向裂缝延伸 350~400m, 车辙	低液限 粘土	0.57	0.67	过湿	过湿
	ZK12	长吉高速, K15+850 右幅	整深 6.5m	纵向裂缝, 长约 30m	低液限 粘土	-1.14	0.95	极湿	潮湿

4.5.2 冻胀土路基地表排水设计应根据水源、地形、路线及路基设计等条件,将水截堵及排除路基范围以外。

- 1 全冻路堤地面积水应予排除或对路基、路面采取相应的防止浸水和防冻害措施。
- 2 挖方路段界外水应设拦水埂或截水沟排除。土质截水沟必须做沟底、沟壁铺砌。拦水埂内缘距坡顶边线 1.0~1.5m, 顶宽 0.5~0.7m, 高度 0.4~0.6m, 边坡坡度 1:1.5。
- 3 路基边沟沟底应低于路床顶面至少 0.3m, 沟底纵坡不宜小于 0.75%, 土质边沟底面和侧面宜用浆砌体铺筑。中、重冻地区高等级公路不宜设矩形暗沟式边沟。
- 4 季冻区路线的凹形竖曲线底部、低洼河谷地段、平曲线超高段应做特殊排水设计。
- 5 水田地路段宜设坡脚护坡道。

说明

地表排水是路基抗冻的第一步,本条要求尽量将水排除。全冻路堤一般高度较低,受地表水影响较大,所以设计应予以重视。

土质截水沟中的水易渗入边坡造成冻融滑塌,条文写出设置拦水埂。

边沟排水越快渗漏越少,所以条文提出最小纵坡和铺砌要求;暗边沟易堵塞及冻胀变形倒塌,条文提出不宜使用。

水田段路基排水沟或边沟大都成为积水沟,对路基有害无益,本条提出设坡脚护道,防止灌溉水浸泡路基。如征求水田主人同意,不设沟渠为最佳。

4.5.3 路基挖方段及全冻路堤应采取下列方法降低或排除路基中的地下水和疏干土体内的水分。

1 路基下泉水或集中水流必须设置暗沟或暗管排除。暗沟(管)应设于冻结线以下或采取保温防冻措施;暗沟(管)横断面应按流量大小、地形及地质条件经计算确定。

2 冻胀土挖方及全冻路堤路段应设排水渗沟。

1) 渗沟应设于两侧边沟下或边沟外,不宜设在路肩范围以内。必要时中央分隔带下也应设置渗沟。

2) 渗沟的埋置深度(底面高程)可按下式计算确定:

$$h_d = Z + d + h_0 + h_j - h_b \quad (4.5.3-1)$$

式中: h_d ——渗沟埋置深度,由边沟底至渗沟底距离(m);

Z ——从路面中线顶面计起的道路冻深(m);

h_0 ——渗沟内水深(m),可采用 0.3~0.4m;

h_j ——安全高度(m),一般取 0.2~0.3m;

h_b ——路面中心至边沟底的高差(m);

d ——路基范围内渗沟降水曲线的最大矢距(m)。

对于双面渗沟(如图 4.5.3-1),渗沟降水曲线最大矢距按下式计算:

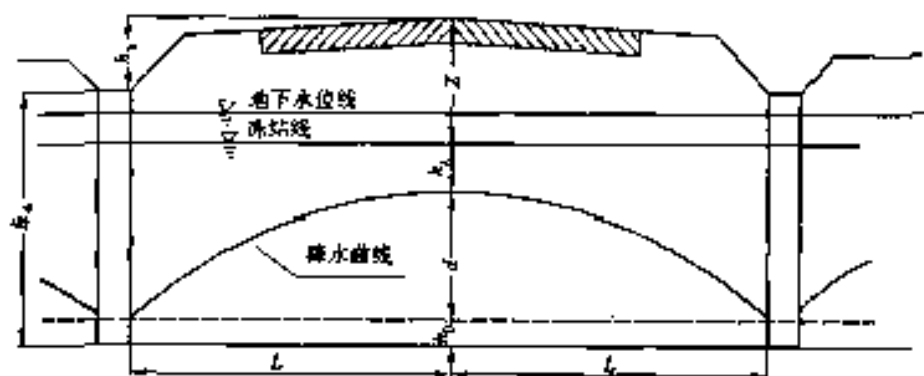


图 4.5.3-1 双面渗沟降水曲线计算图

$$d = I_0 \cdot L \quad (4.5.3-2)$$

式中: I_0 ——降水曲线平均坡度值,见表 4.5.3;

L ——渗沟边缘至路中心线的距离(m)。

表 4.5.3 各种土降水曲线平均坡度值

含水层土质	渗透系数 q 参考值(mm/s)	平均坡度 I_0	含水层土质	渗透系数 q 参考值(mm/s)	平均坡度 I_0
砂及含细粒土砂	$1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-1}$	0.006~0.020	粉质土	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$	0.050~0.100
粉质土砂	$1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2}$	0.020~0.050	粘质土	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$	0.100~0.150

3) 渗沟纵坡不应小于 0.5%,长度不宜大于 300m,渗沟过长应在其间设置横向排出渗沟或采取其他措施。

4) 渗沟宜设置端墙式保温出水口(见图 4.5.3-2)。出水口外排水沟纵坡应大于 5%,用保温材料砌筑或填筑 2~5m。

5) 在渗沟转弯、变坡处及直线段每隔 30~50m 应设一个渗沟检查井,其直径不宜小于 0.8m,井壁应设渗水孔和反滤层。井下通水口与渗沟排水槽(管)同高。边沟下的渗沟检

查井应设于边沟外。渗沟检查井如图 4.5.3-3 所示。

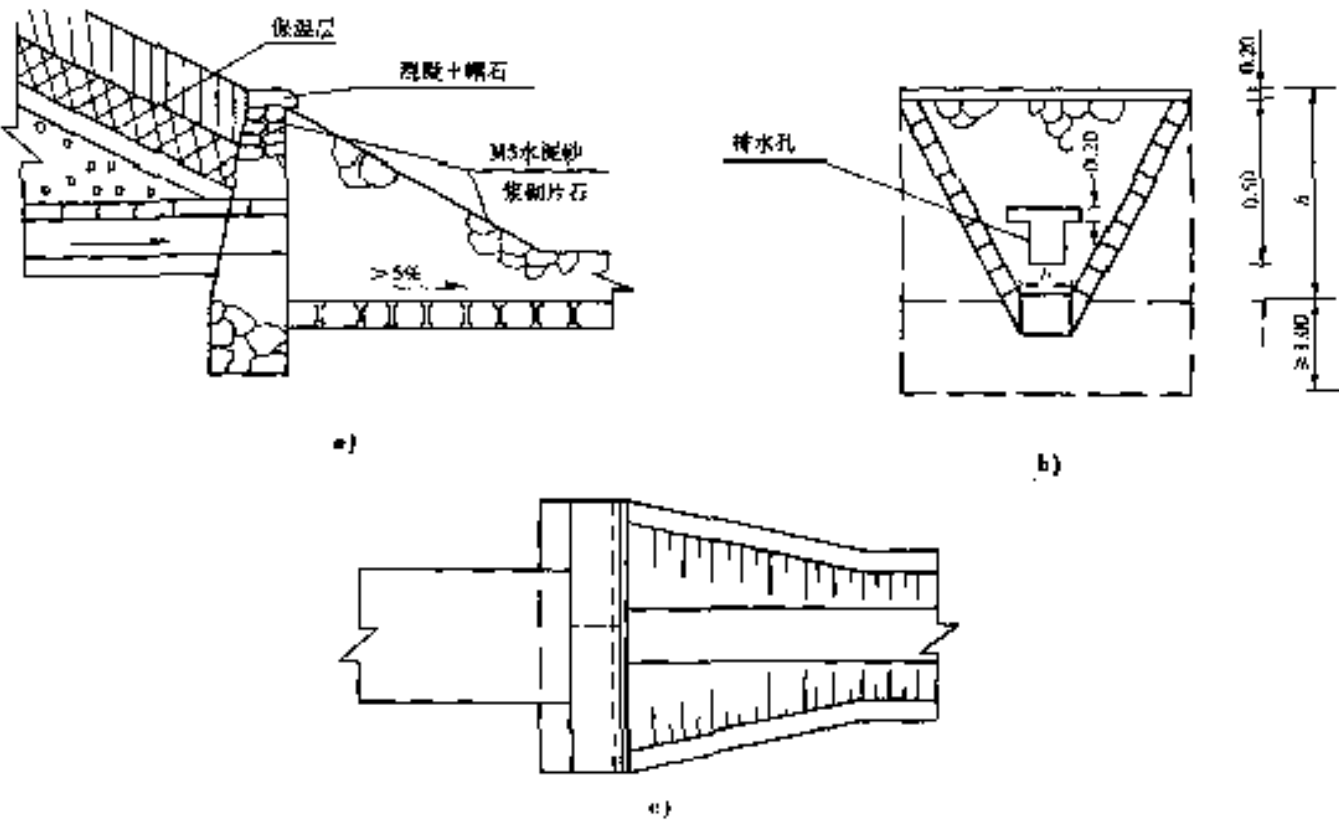


图 4.5.3-2 砌墙式保水出水口示意图(尺寸单位:m)
a)横断面;b)正面;c)平面

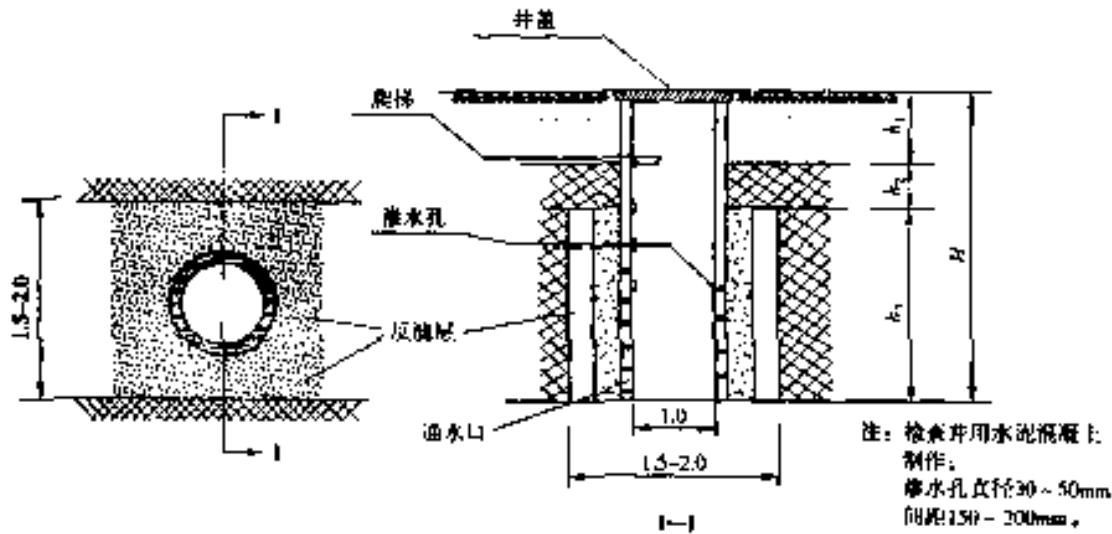


图 4.5.3-3 渗沟检查井(尺寸单位:m)

6) 渗沟类型可用填石渗沟、洞式渗沟或管式渗沟, 见图 4.5.3-4 所示, 渗沟侧墙根据截排水方向可设成单墙或无墙式。

7) 渗沟反滤排水填料应用粒径大小均匀一致的砂石料, 由外向内相邻层粒径比不宜小于 1:4, 每层厚度不宜小于 0.15m, 集料粒径小于 0.25mm 的含量不大于 5%, 最大粒径不大于 80mm。也可选用渗水土工布内填 10~60mm 碎石或砾石排水集料, 外侧填 0.15m 厚中细砂防污层。土工布标准必须符合《公路土工合成材料应用技术规范》中 5.2.2 条的要求。渗沟其他结构设计同《公路路基设计规范》相应条款。

3 冻胀土挖方及全冻路堤路段在无平面排水条件下可设置渗水井集聚排除路基土

中水分。渗水井构造见图 4.5.3-5。

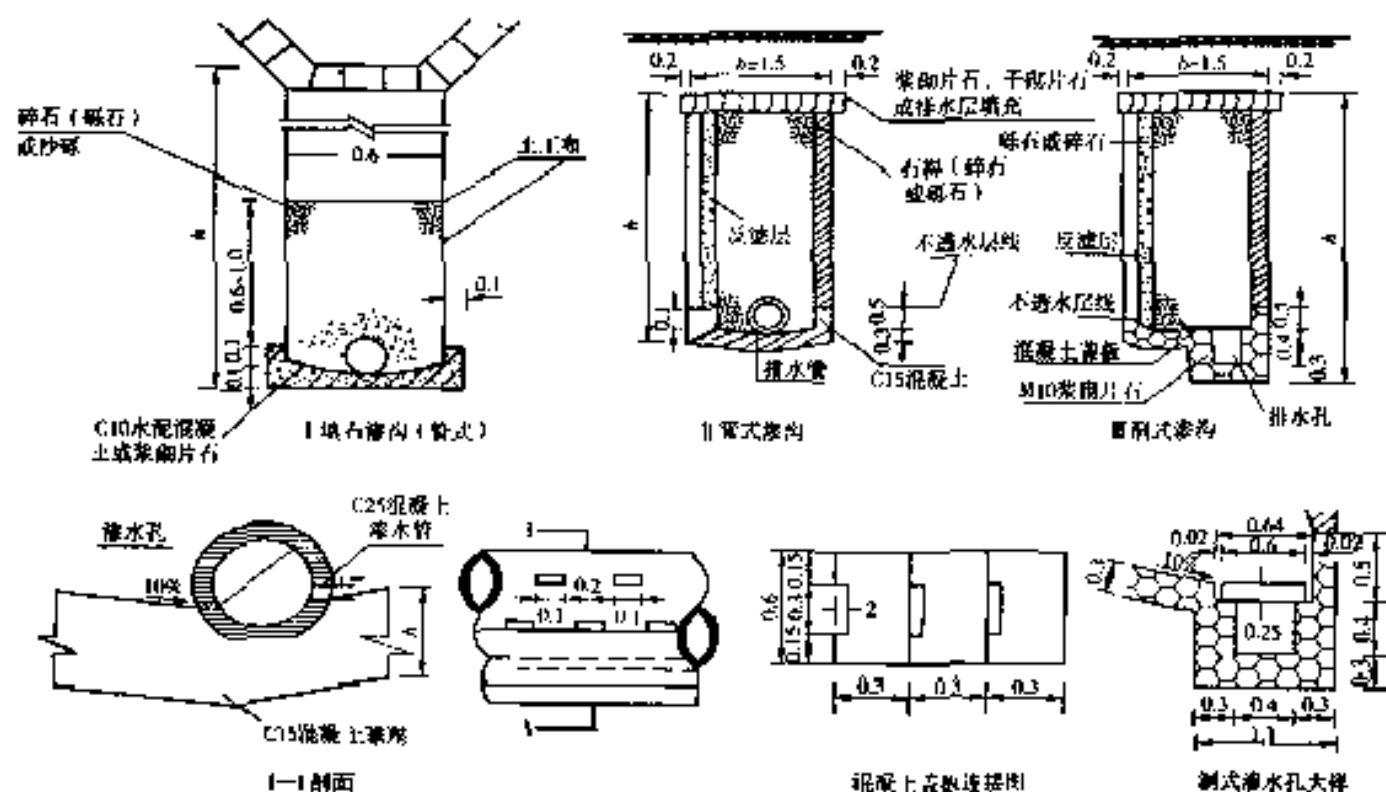


图 4.5.3-4 渗沟构造图(尺寸单位:m)

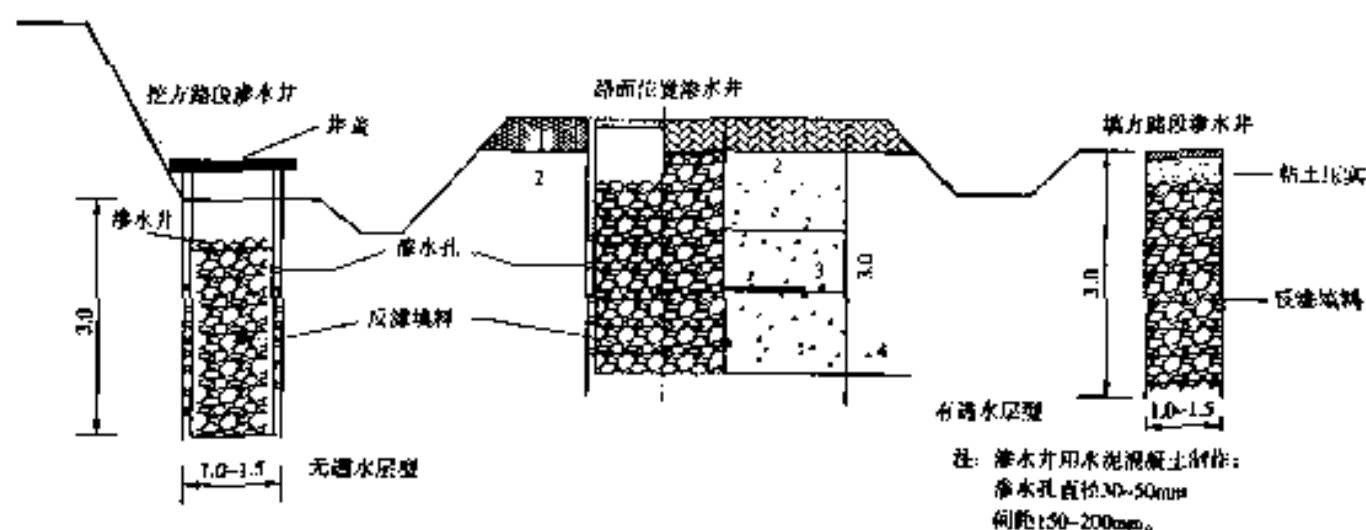


图 4.5.3-5 渗水井构造图(尺寸单位:m)

1-路面;2-含水路基;3-含水层;4-渗水层

1)渗水井宜设于边沟外,路基下有透水层时也可设于路面范围内或边沟下。渗水井间距应根据公路宽度、降水高度及水力计算确定。

2)渗水井深度可参照本条第 2 款通过计算确定,一般宜大于 3m。透水层埋置较浅的渗水井底面宜伸至透水层。

3)渗水井直径宜为 1.0~1.5m。井内由外围向中心逐层填筑反滤层材料,其级配组成应参照 4.5.3 条 2 款执行。

4)渗水井中水的排除可用横向暗沟或渗沟、井下透水层或水泵抽排。用水泵抽排时应防止路基内细颗粒流失。

说明

1 挖方路段和全冻路堤段路基冻害多数是排水不良及排水构造物失效所致。总结路基排水失败的经验,参照《公路路基设计规范》、《公路路基施工技术规范》及《公路排水设计规范》的相应条款,参考公路设计手册《路基》等文献中有关路基排水内容写出本条款。

2 条文中强调冻胀土挖方及全冻路堤段必须设渗沟,以利渗排土中水分。渗沟不设路面范围内是因为渗沟与路基施工时间及填筑材料不一致,会出现沉降和冻胀不一致而导致路基路面开裂。调查发现渗沟出水口冬季大都冻住不排水,本条特提出保温、纵坡及形式等要求。

3 以往的渗沟都没有设置检查井,无法找到排水不畅的原因和处理办法,因此,本条规定设置检查井。本条还对渗沟的深度、长度、纵坡及结构等加以具体化,以求充分发挥其应有作用。

渗沟反滤层填料往往不被重视,非粗即细是造成淤塞的主要原因。本条所列反滤层材料是参照公路设计手册《路基》中对渗沟反滤层的要求和反滤层设计表 1-4.7 甲-3 中的参数(如图 4.5.3-6 所示)加以修改编制。

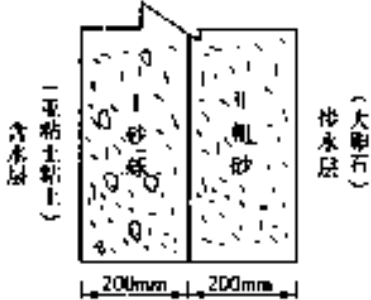
甲-3		层位		粒径 $d(\text{mm})$	平均粒径 $d_p(\text{mm})$
		反滤层	I	2~3	2.3
			II	10~20	12
		排水层		75~100	

图 4.5.3-6

目前渗水井公路应用不多,某高速公路通车后一段路基地下水无法排除而引发路基冻胀破坏,增建渗水井后排水效果显著,总结这一经验并参照有关路基排水设计资料将渗水井编入条文中。

4.6 路基抗冻措施

4.6.1 季冻区路基路面排水、抗冻垫层及路基材料等抗冻措施应按本《指南》相应条款执行。

说明

因为路基路面排水、抗冻垫层及路基材料已在相应条款中做出详细规定,本节不再赘述。

4.6.2 排水困难的冻胀土挖方及全冻路堤路段应优先考虑减少下挖深度或增加填筑高度。

说明

增加路基高度是一种简便易行、效果显著的排水措施,能够保证路基路面强度和稳定性。

4.6.3 冻胀土路基路段可采取合理的路面结构组合、选择抗冻性能好的混合料和增加厚度等措施来预防冻害。

说明

国外防治公路冻害多数设计很厚的垫层及基层;国内中、重冻区也将垫层及半刚性基层加厚,总厚达到0.6~0.7m;在公路施工中发生冻胀软弹路段,也常用加厚垫层或半刚性基层求得解决。

4.6.4 水田、沼泽、河、塘、湖等湿软地段路基可在其下距地下水位或地表水位300mm以上设透水隔离层。其有效厚度一般为300mm,上下宜设防淤层;隔离层材料可用0.075mm粒径含量小于5%的碎石、砾石、粗砂等;上下面宜设3%~4%坡度。

说明

季冻区水田、沼泽等低洼湿软路基用透水隔离层,既考虑隔断毛细水和冻结水上升,又能排除渗入到路基中的水,因为渗入水占冻害水的绝大部分。

4.6.5 冻胀上路基可设置防冻隔温层,对其材料选择、放置层位、层间结合及铺筑压实工艺等均应做出详细设计。

- 1 所设置的隔温层必须满足结构强度和耐久性要求。
- 2 隔温层厚度应根据路面结构强度、隔温材料性能、路基土质及潮湿类型确定。
- 3 用炉渣、矿渣做隔温层时,应提出用水泥、石灰等稳定的混合料配合比设计及施工要求。
- 4 用塑料板或硅藻土做保温层应经过试验,取得成果后使用。

说明

防冻隔温层目前在国内应用很少,鉴于国外已有应用,本条编入并提出应用中几点注

意问题,以求达到抗冻目的。

4.7 涎流冰路段路基设计

4.7.1 中、重冻区山岭公路应重视路基的防排冰设计。

说明

中、重冻区山岭公路经常遭涎流冰危害。它悬于边坡,滞于路肩,堵塞桥涵或拥上路面,造成路基、桥涵水毁,路基下沉,边坡滑塌和路面破坏,轻则阻碍交通,重则发生事故。实践证明,涎流冰大多是建设初期严重,通车后逐年减轻,只要精心设计,加强养护,涎流冰是可以防治的。本节结合季冻区山岭重丘公路建设经验,参照公路设计手册《路基》中有关涎流冰的防治措施,对《公路路基设计规范》涎流冰一节中的条款加以补充编制到本《指南》中。

4.7.2 季冻区涎流冰路段设计前应调查当地地形、地质、气象、水源、涎流冰类型、规模、危害状况和当地防治经验等进行调查。对河谷涎流冰还应调查汇水面积、水位及流量等资料。

说明

涎流冰路段调查是设计的基础,只有调查资料全面详细,才能使设计经济合理、安全可行。

4.7.3 设计路线时宜避开山脚、河边和阴坡面等易产生涎流冰地段。

说明

路线设计时避开易产生涎流冰的地段是最佳的方法,选线时对可能出现涎流冰的路段要加以比选。

4.7.4 路基设计应适当提高路堤高度和减少下挖深度,路基两侧应设有足够的排冰、储冰空间。

4.7.5 有地下水露出或较大山坡地下水路段应按 4.5 节路基排水有关条款设置地下排水设施;挖方边坡少量渗流可采取堵封截流;山坡顶面渗流,可设置排水沟沿纵向排至路基以外。

说明

涎流冰形成的源头是水,因此,本条强调及时排水,尤其是冰冻期间的排水。

4.7.6 河谷涎流冰路段应修建桥涵跨越。桥涵净跨、净高应较历年最高涎流冰水位净空加大 0.5m。并宜在桥涵进口处设置聚冰坑。

说明

桥涵结构物容易造成冰拥阻塞,所以设计时要采取相应措施,来保证桥涵构造物的畅通。

4.7.7 冲积扇口和缓坡涎流冰路基边坡外侧宜设置聚冰沟或聚冰坑。如图 4.7.7 所示。聚冰沟深度不宜小于 2.0m,底宽不宜小于 1.0m。可用聚冰沟挖出的土石筑成挡冰埂。

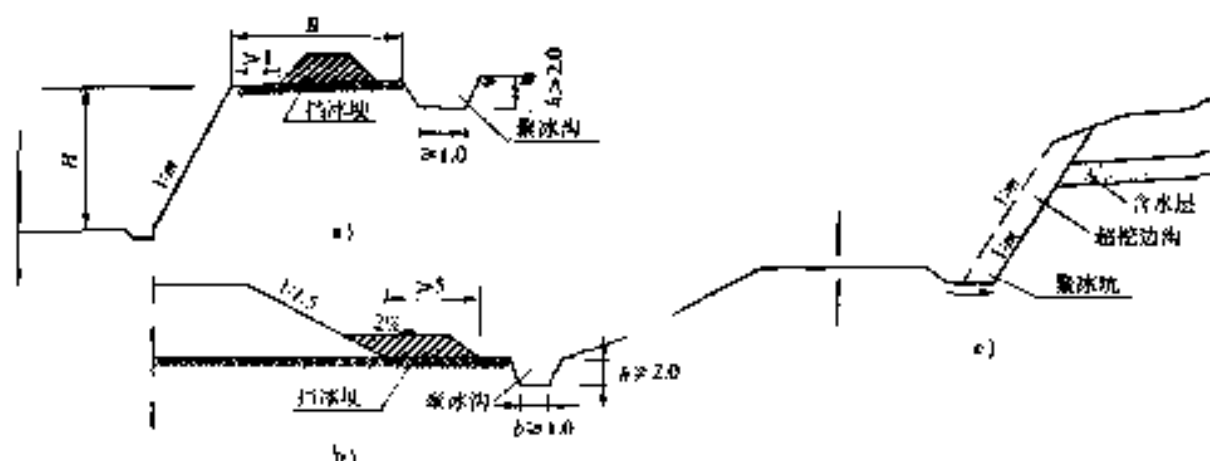


图 4.7.7 聚冰沟或聚冰坑(尺寸单位:m)

a)、b)聚冰沟;c)聚冰坑

聚冰坑可由加大边沟或超挖路基外侧宽度形成,其容积大小由调查计算所需聚冰数量确定,一般面积不宜小于 60 m^2 。

说明

冲击扇口和缓坡涎流冰形成过程是边流水边结冰,越流面积越大,越冻冰层越厚,所以聚冰沟和聚冰坑的容积在条件具备时可以尽量加大。

4.7.8 小量山坡和边坡涎流冰宜设圬工挡冰墙或挡冰堤,如图 4.7.8 所示。挡冰墙高度根据聚冰量确定,一般不宜低于 2.0m,顶宽宜为 0.4~0.6m,外侧坡度宜取 1:0.2~

1:0.25。挡冰墙高度不宜小于 1.0m,顶宽不宜小于 0.3m,坡度宜为 1:0.2~1:0.3。多道挡冰堤的间距不宜小于 5m。

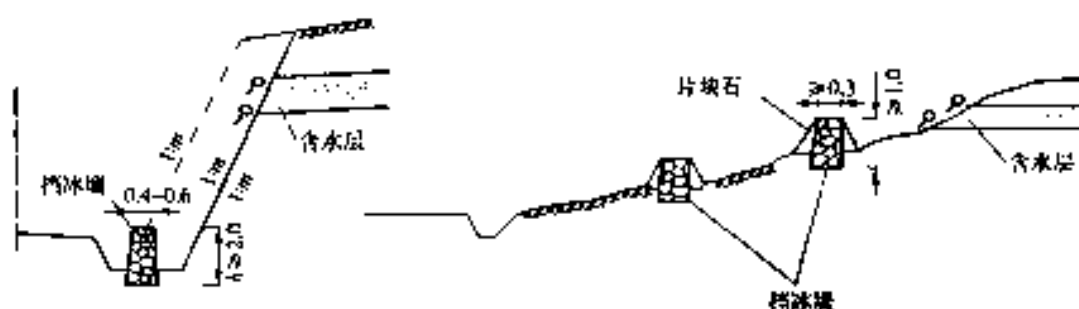


图 4.7.8 挡冰墙、挡冰堤(尺寸单位:m)

挡冰墙和挡冰堤根据公路等级、当地气候、地质及水文地质条件也可用柴草捆或柴草排、装土石草袋或塑编袋等柔性结构,设置尺寸根据涎流冰大小确定。

说明

挡冰墙和挡冰堤适应于水量不大的山坡涎流冰,流量增大或墙(堤)前冰塞将会失效,所以其前后留有充分距离。

4.7.9 桥涵上游沟谷可根据条件设置挡冰栅栏,如图 4.7.9 所示。挡冰栅栏道数和高度应根据涎流冰量多少、沟谷纵坡和当地材料确定,一般不宜少于二道,其高度不小于 0.8m。栅栏立柱可用木桩、钢管桩或钢筋混凝土桩,其入土深度:土质不小于 1.5m,石质不小于 0.8m,桩间可用柴草、树枝、塑料制品或铁线等编制。根据排水需要,冰融后可将隔栅拆除。

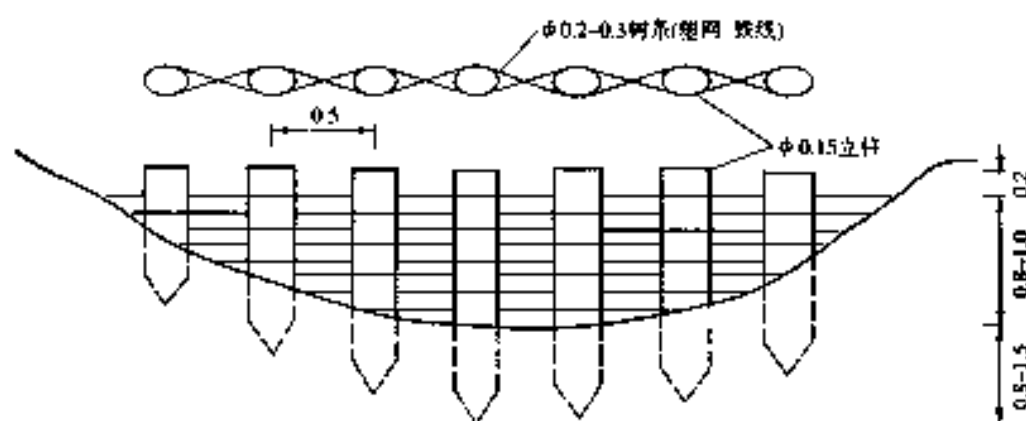


图 4.7.9 挡冰栅栏(尺寸单位:m)

说明

挡冰栅栏应用不多,本条参照公路设计手册《路基》中第十六章涎流冰相应内容结合当地材料编制。使用时可灵活掌握。

4.7.10 路基开挖初期的短期涎流冰,可不设防治构造物,应在道路使用前期加强除冰、排冰养护。

说明

本条是对几条季节性中重冻区公路涎流冰出现、发展及变化过程的调查结论。

4.8 路基防护与加固工程

4.8.1 季冻区土质边坡应做抗冻滑设计。

- 1 挖方路基边坡坡度宜根据降水、土质及冰冻条件适当放缓,一般为 1:1.5 ~ 1:1.75。
- 2 边坡植物防护应选择耐寒、抗旱、耐贫瘠、根系发育的草种和灌木,如马莲、苜蓿、紫穗槐等。
- 3 冻胀严重的边坡宜采用网格式或拱式骨架护坡,并在表面采取一定的排水防护措施。
- 4 必要时可通过下式进行边坡融冻稳定性计算,见图 4.8.1 和式(4.8.1)。

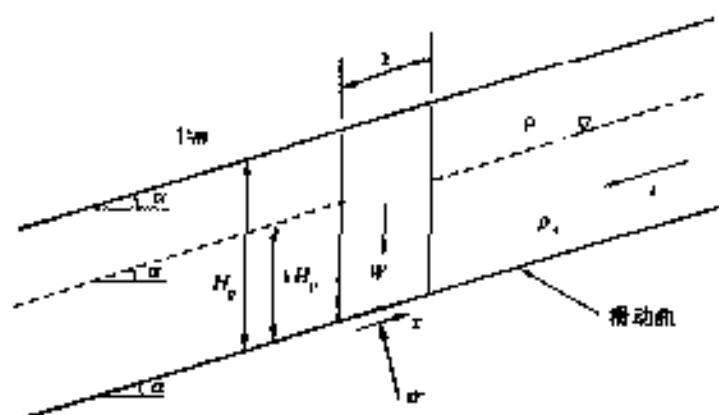


图 4.8.1 边坡融冻稳定性计算示意图

安全系数 K 为:

$$K = \frac{c + \tan \phi [(1 - \gamma) \rho + \gamma \rho'] H_p m^2 / (1 + m^2)}{[(1 - \gamma) \rho + \gamma \rho_s] H_p m / (1 + m^2)} \quad (4.8.1)$$

式中: K ——抗滑移安全系数,取 1.2 ~ 1.3;

c ——以有效应力表示的土的粘聚力(kPa);

ϕ ——以有效应力表示的土的内摩擦角($^{\circ}$);

m ——边坡坡度比值;

ρ ——非饱和土的重度(若采取坡面防护措施时,应考虑防护工程增加的土体重量)(kN/m^3);

ρ_s ——饱和土的重度(kN/m^3);

ρ' ——土的浮重度($\rho' = \rho_s - \rho_w$)(kN/m^3);

α ——边坡坡角；

γ ——滑动土体水饱和厚度占其总厚度的比率($0 \leq \gamma \leq 1$)；

H_p ——滑动土体总厚度(m)。

说明

季冻区土质边坡春融时,在一定厚度内会形成含水滑移面,在重力作用下连同防护砌体局部或整体滑塌。本条款提出的边坡防护形式,冰冻影响小,自身重量轻,冰冻地区使用效果较明显。对有滑塌可能的边坡应按式(4.8.1)进行验算。

4.8.2 风化破碎严重的石质边坡和不适于植物生长的土质边坡可采取植物防护措施,在边坡上做植树坑(台)种植灌木或小乔木,铺植被网及腐殖土,喷播匍匐根茎的多年生草类。

说明

工程实践证明:季冻区严重风化石质边坡和砂石土质路基边坡挖植树坑或砌筑植树台植树,挖坑换土或铺筑种植土种草,可以起到防止边坡冻融剥落的作用,所以条文中提出采取植物防护边坡措施。

4.8.3 路基坡脚可用圬工矮挡墙防护,挡墙高度一般应 $0.8 \sim 2.5\text{m}$,顶宽不宜小于 0.5m 。挡墙基础应不受冻胀影响。

说明

路基边坡下设置低矮挡土墙的做法已在季冻区广泛应用,它可以稳定坡脚,排除边坡融化水,阻止路基边坡滑塌,效果十分明显。

4.8.4 河滩路基冲刷防护工程宜按以下要求设计。

可优先选用石笼铺筑,石笼所用片石应满足抗冻要求。

片石防护砌筑厚度不宜小于 250mm 。水泥混凝土板防护平面尺寸宜为 $400 \sim 600\text{mm}$,板厚不宜小于 80mm ,板中宜配构造钢筋,水泥混凝土抗冻标号不宜低于 F150 号。砂石反滤层厚度宜为 $200 \sim 250\text{mm}$ 。冲刷防护构造物基础应不受冻胀变形的影响。

说明

河滩路基防护工程内部经常存水冻胀破坏,宜用抗变形能力强的柔性防护,所以条文提出用石笼、片石和混凝土块,并提出适当的尺寸及抗冻性要求。

4.8.5 路基防护挡土墙、丁坝、顺坝或格坝等调治加固工程,结构形式、所用材料均应考虑抗冻性要求,根据具体条件参照以上各条款执行。

4.9 路基施工

4.9.1 路基施工应按以下原则进行:

- 1 冻胀土路基必须按设计条款做好抗冻施工。
- 2 路基施工时必须对冻胀土路基进行调查,复核路基填挖高度、土质及天然含水量、冰冻条件及填筑材料等,同设计资料相认证。
- 3 冻胀土路基施工中应经常检查冻害状况,发现冻胀、软弹、变形、纵横向裂缝及翻浆等应查明原因并采取有效处治措施。
- 4 路面结构层铺筑之前应对路基因冻胀造成的强度不足或变形过大查明原因,处理后再铺筑路面结构层。
- 5 路基填挖交界处基底应充分压实,并根据填方及挖方段不同的冻胀量设置楔形过渡段,使挖方终点冻胀量与填方段冻胀量相一致。

说明

路基冻害除设计原因外施工问题也很多,如:对路基抗冻设计意图不理解,对冻害的条件不掌握,对出现的冻害不研究处理等。因此,本条强调施工要遵循设计;开工前对冰冻条件进行调查与路基抗冻设计核对;路基施工中出现冻害及时处理;路面铺筑前对路基的冻害查明原因再进行处理。

4.9.2 挖方段路基为冻胀土时必须按以下规定施工:

- 1 地基土挖除换填深度误差应不大于 5%;换填粗颗粒材料中小于 0.075mm 的含量不应大于 10%;石灰、水泥改善土剂量必须满足 4.2.3 条要求;换填土必须做到粒料均匀,结合料搅拌均匀,厚度一致,排水良好,压实度达到要求。
- 2 必须做好施工阶段排水和永久性排水。
 - 1)施工开挖应分层进行,先挖出排水沟,层面应有纵横排水坡。一般应从外侧向内侧挖掘,最后一层应从内向外挖掘,避免重车在挖完的路床上反复行驶。
 - 2)挖方路段从土方开挖至道路建成,必须阻止边界外的水流入路基中,应经常疏通排水边沟,提前填筑拦水埂,填平坡顶冲沟及凹坑。
 - 3)地下排水构造物宜于路基挖至接近设计高程时施工。严禁路基完成后开挖。
- 3 季冻区石质挖方、零填路段超挖和清除软层后的凸凹面,严禁用挖方料和未经稳定处理的混合料回填找平。应先将岩面凸出部分凿平,超挖部分坑槽用贫水泥混凝土浇平,然后整平层与基层合在一起施工。

说明

本条参照《公路路基施工技术规范》第9.8节季节性冻融翻浆地区路基施工中的相关内容,结合对季冻区一些路基冻害状况调查、研究及分析结果写出。

冻胀土挖方段路基采用换填砾石处理,仍出现冻害问题,试验研究证明:冻害主要原因是换填材料中冻胀性粉粘颗粒含量过多,换填施工工艺不合理,换填深度不足,施工中和完工后排水设施达不到排水效果,这些致使路基冻胀率仍然很高。因此条文重点对换填与排水提出了施工要求。

季冻区石质挖方路段路面冻裂、软弹或沉降主要是路床施工不当,对此条文提出特殊的做法。

4.9.3 非全冻路堤在冻深范围内的填土按以下条款施工:

- 1 冻胀性不同的土质必须分层填筑,且抗冻性强的土应填在高层位。
- 2 冻深内的填土严禁混杂,同一土质实方厚度不宜少于0.6m。
- 3 同一层土的含水量应一致,最大允许偏差2%。
- 4 同一层填土的压实度必须均匀一致,允许偏差2%。碾压前应用平地机整平,用3m直尺检查,平整度允许偏差20mm。
- 5 填土期间每层顶面应保持不小于2.5%的排水横坡。

说明

调查发现季节性冻土地区高等级公路的非全冻路堤也有冻胀变形、翻浆和纵向裂缝等病害(见表4.9.3),主要是路基填料抗冻性不好,施工违反规定及水分浸入所造成。本条在总结《公路路基施工技术规范》中对路基抗冻性有利的条款后,结合施工经验提出具体做法和要求,以供施工遵循。

表4.9.3 高等级公路非全冻路堤冻害调查

公路里程位置	填高(m)	路面	主要冻害	主要原因
长平高速 K105+500 左	4.0	黑色	行车道鼓胀翻浆	底基层二灰土冻胀 $W=27.1$
长常高速 K47+20-150 左	10.2	黑色	行车道纵裂 80m	路床风化山砂冻胀 $W=10\%-15\%$
营白二级 K129+650 左	1.6	白色	纵裂 65m	两侧水田、粘土路基冻胀
营白二级 K113+860 右	1.85	白色	纵裂 200m	两侧水田、粘土路基冻胀
某二级路 K362+875 右	8.2	黑色	纵裂、沉陷 $6\times 30m$	风化砂垫层、粘土路基冻胀 $W=20\%-25\%$
某二级路 K374+302 右	4.8	黑色	纵裂宽度大者 140mm	基层及粘土路基严重冻胀
某二级路 K375+400 右	5.1	黑色	纵裂坑槽 160m,基层垫层松散	路基粘土、粉土冻胀严重 $W=23\%$
某高速公路大部分路段	2~4	白色	纵裂达 40%	路基均为粉粘土,严重冻胀

注:W为检测时含水量。

4.9.4 全冻路堤的地基及填方部分分别按 4.9.2 条和 4.9.3 条相关内容执行。全冻路堤施工开始前,必须于路基两侧挖出排水沟或边沟,应结合永久排水先做渗沟、渗井等地下排水设施。

4.9.5 涎流冰路段路基施工中必须进行现场调查、核对和补充完善设计。

施工中对涎流冰处的地形、地貌应加以保护,不得随意挖掘取土、扩大水源露头或加陡边坡,应保护植被,减小涎流冰的破坏作用。

说明

涎流冰路段施工已包含在路基及桥涵构造物条款中,本条重点强调要遵循设计要求,做好防护,消除隐患。

5 季节性冻土地区路面设计与施工

5.1 路面原材料要求

5.1.1 沥青路面原材料宜按下列规定选择:

1 沥青路面应根据不同等级的公路和不同的气候条件选用高、低温稳定性均适应的沥青,普通沥青不能满足要求时应采用经过适应性试验论证的改性沥青。不同冻区选用的沥青标号及 PG 等级见表 5.1.1-1。

表 5.1.1-1 不同冻区路面沥青标号选择

气候区划		重冻区 I		中冻区 II		轻冻区 III	
		I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
气候条件	7d 平均最高气温 (°C)	29 ~ 32	16 ~ 18	33 ~ 36	19 ~ 25	33 ~ 36	26 ~ 30
	年极端最低气温 (°C)	-42 ~ -33	-36 ~ -33	-32 ~ -24	-32 ~ -24	-23 ~ -6	-23 ~ -6
沥青标号	标号	AH-110		AH-90		AH-70	
	PG 等级	PG52(58) ~ 46(40)	PG46 ~ 40	PG38(64) ~ 34(28)	PG46(52) ~ 34(28)	PG38(64) ~ 28(22)	PG52(58) ~ 28(22)

注:①一级区划同季冻区等级划分,二级区划中的 1.2 区根据一级分区中的不同温度进行划分。

②PG 指标可根据高温、低温选择,括号内为可降低一级取值。

2 沥青路面粗集料的抗冻技术指标要求见表 5.1.1-2,其他技术指标应满足现行《公路沥青路面施工技术规范》的有关规定。

表 5.1.1-2 季冻区沥青路面粗集料抗冻技术要求

指 标	高速公路与一级公路	其他公路	指 标	高速公路与一级公路	其他公路
沥青粘附性	≥5 级	≥4 级	吸水率(%)	≤1	≤2
坚固性(%)	≤10	≤15			

3 沥青路面细集料应洁净、干燥、无风化、无杂质并具有良好的颗粒组成,与沥青具有良好的粘附性,宜优先采用石灰岩类石屑;若采用酸性石料破碎的机制砂或石屑应采用抗剥离措施。细集料的技术指标应满足现行《公路沥青路面施工技术规范》的有关规定。

4 沥青路面的填料宜用憎水性石料磨制的矿粉,不应含粘土类有害矿物。可采用 1% ~ 2% 的消石灰或 1% ~ 2% 的水泥作为填料的一部分。

说明

1 气候条件和公路等级是决定沥青标号的关键因素。在我国的中、重季冻区不仅冬季寒冷,而且夏季炎热。渠化交通下的高速公路沥青路面夏季高温车辙与冬季低温开裂同样重要,所以选择沥青要高低温性能兼顾,根据沥青路用性能及各气候区的最低、最高温度选择沥青标号并考虑 PG 分级。

沥青 PG 分级是参照美国 SHRP 沥青结合料路用规范和近年寒冷地区应用经验编制的,有试验检验手段的工程可参照应用。试验表明 PG 分级也适用于改性沥青。按当地的温度条件确定沥青的设计使用温度范围,设计最高温度取 7 天最高温度平均值(路表下 20mm 深处的平均最高温度),最低温度为年极端最低气温。根据我国季冻区气候条件对沥青提出 PG 等级。为沥青的选择提供余地,可适当缩小低温等级间温度范围,增加 -31、-37 和 -43 低温付级。表 5.1.1-1 中各级区划所对应的地区见表 5.1.1-3 和图 3.1.1-1 中国季节性冻土区冻结指数标准等值线图。

表 5.1.1-3 沥青标号选择所对应的地区

气候 区划	重冻区(2000~3600℃)		中冻区(800~2000℃)		轻冻区(0~800℃)	
	I-1	I-2	II-1	II-2	III-1	III-2
所 在 地 区	黑龙江,吉林的北 部,内蒙古东北部,新 疆北部富蕴、济河、福 海、阿勒泰、塔城、新疆 中部新疆、沙湾、巴音 布鲁克等地	西藏高 原安多、伍 道梁、沱沱 河、北 藏、清水河 等地	吉林、辽 宁、内蒙古大 部分,河北、 陕西、山西北 部,甘肃的中 部、北部	四川北部, 青海、西藏一 些地区	辽宁,河北, 山西,陕西南 部,宁夏,山 东,河南	以青海西宁、甘肃 的临夏、临洮、岷县、 四川的松潘为界以 西的四川、西藏等地

2 研究表明粗集料的性质影响沥青混合料的抗冻性,季冻区高速公路路面在春融期出现的坑槽、水损害等早期病害与冻融条件下集料与沥青的粘附性有关,所以对高速公路和一级公路,把沥青与石料的粘附性提高到 5 级。

3 沥青路面冻害与细集料质量关系很大,所以条文强调洁净、干燥、无风化杂质及粒径要求,并提出采用石灰岩石屑或抗剥落措施以增加细集料与沥青的粘附性,确保设计孔隙率和强度,消除因此造成的路面冻害。

5.1.2 水泥混凝土路面原材料宜按以下规定选择:

1 水泥混凝土路面所用的水泥和引气剂等外掺材料执行本《指南》第 7 章相应条款要求。

2 水泥混凝土路面用粗集料最大粒径不宜超过 31.5mm,集料应具有良好的强度和与水泥的粘结性,坚固性试验 5 次循环不大于 3%,软弱颗粒含量不大于 5%。

3 水泥混凝土路面细集料应质地坚硬,无风化及含泥量不大于 2%,具有良好的抗冻性;符合规定级配;机制砂和沉积砂 0.15mm 筛孔通过率不大于 1%,细集料的其他技术指标要求见相关规范规定。

4 水泥混凝土路面用水应符合以下规定:

硫酸盐含量(按 SO_4^{2-} 计)小于 $2.7\text{mg}/\text{cm}^3$, 总含盐量不得超过 $5\text{mg}/\text{cm}^3$, pH 值不得小于 5, 一般清洁饮用水均可使用。

说明

季冻区水泥混凝土路面应采用抗冻水泥混凝土, 所用原材料大部分与第 7 章抗冻水泥混凝土要求相同。试验证明集料最大粒径小、洁净, 其抗冻性和抗弯拉强度高, 所以要严格控制最大粒径、含泥量及软弱颗粒指标。

5.1.3 半刚性基层应选择抗冻性能高的材料。

1 中、重冻区高速公路、一级公路的路面基层所用水泥宜选用终凝时间不小于 6.5h 的强度等级为 32.5MPa 以上硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥, 底基层和普通公路的基层也可采用矿渣水泥和火山灰水泥。轻冻区基层及底基层可用各种水泥。

2 路面基层石灰的质量应符合国家标准 GB 1594 规定的不低于 III 级消石灰的指标, 石灰消解后贮存时间不宜超过 7d, 消石灰技术指标见表 5.1.3-1。

表 5.1.3-1 路面基层消石灰技术指标

项目		类别 等级	钙质消石灰			镁质消石灰		
			I	II	III	I	II	III
有效钙加氧化镁含量(%)			≥65	≥60	≥55	≥60	≥55	≥50
含水量 (%)	现场消解消石灰		25≥含水量≥15,不扬尘,不过湿成团					
	外购消石灰		≤4					
细度	4.75mm方孔筛的筛余(%)		≤5					
	水筛	0.3mm方孔筛的通过率(%)	≥70					
		0.075mm方孔筛通过率(%)	≥60					
钙质石灰的分类界限,氧化镁含量(%)			≤4			>4		

3 中、重冻区高速公路、一级公路基层用粉煤灰比表面积宜大于 $3000\text{cm}^2/\text{g}$ 。其他等级公路基层所用粉煤灰比表面积不宜小于 $2500\text{cm}^2/\text{g}$ 。其他指标执行现行《公路路面基层施工技术规范》的有关规定。

4 路面基层的粗集料、细集料或土的技术指标执行《公路路面基层施工技术规范》。

说明

中、重季冻区半刚性基层受冰冻的影响严重, 对材料要求较轻冻区高。

1 中、重季冻区路面基层冬季处于冻结状态, 水泥的品质对混合料的抗冻性有直接影响, 所以高速公路、一级公路基层要求选择抗冻性高的硅酸盐水泥。

2 试验表明石灰消解后室外存放 7d 表层有效钙和氧化镁含量降低 10.5%, 室内存

放降低 5.0%，所以本《指南》规定了石灰消解后贮存时间不宜超过 7d。含水量小于等于 4% 的消石灰在实际施工中宜扬灰污染环境。通过对施工现场调查，消石灰的含水量在 15%~25% 之间易于拌制，能做到不扬灰、不结团。对消石灰的细度提出了 4.75mm、0.3mm、0.075mm 三级控制，实际施工中易于操作和质量控制。

3 通过对吉林省二十几家发电厂粉煤灰的试验结果表明，粉煤灰中 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的含量及烧失量都高于《公路路面基层施工技术规范》中规定的指标。粉煤灰的比表面积则相差较大，由 1000~5400 cm^2/g 不等。表 5.1.3-2 是用比表面积 4010 cm^2/g 和 1860 cm^2/g 两种粉煤灰所做的二灰碎石抗冻及干缩试验结果比较，二灰碎石配合比为石灰：粉煤灰：碎石 = 5:15:80。

表 5.1.3-2 不同粉煤灰的抗冻性比较

比表面积	28d 抗压强度 (MPa)	5 次冻融残留强度 (MPa)	干缩系数 (10^{-6})
1860 (cm^2/g)	1.6	0.15	68.2
4010 (cm^2/g)	2.18	1.43	52.5

从表中可以看出，为提高中、重冻地区公路路面基层抗冻性，选用比表面积较大的粉煤灰更为适宜。其他等级公路混合料经过试验，满足强度和抗冻性要求的粉煤灰，细度可适当降低。

5.1.4 抗冻垫层材料应满足下列要求：

- 1 无机结合料稳定材料抗冻垫层的粗集料及细集料的抗冻技术指标应与基层要求相同。
- 2 排水抗冻垫层应选用级配满足排水要求的开级配碎石或砾石集料。集料应洁净、坚硬，压碎值不应大于 30%，其级配见表 5.1.4。

表 5.1.4 排水抗冻垫层集料级配范围

筛孔 (mm)	53.0	37.5	19.0	9.5	4.75	2.36	0.075	塑性指数
通过百分率 (%)	100	92~100	80~90	60~70	30~50	16~30	0~8	小于 6

- 3 排水抗冻垫层下宜设防污层，防污层宜选用 0.25~5mm 的中粗砂及细砾。

说明

抗冻垫层材料对道路冻胀非常重要，垫层中细粒土含量过多渗水后冻胀率加大，垫层与路基土混合后失去防冻作用，而导致路面破坏。所以条文提出了级配要求。

5.2 路面结构抗冻设计规定

5.2.1 路面结构抗冻设计宜按下列要求进行：

- 1 中、重冻地区路基冻胀严重路段的水泥混凝土路面必须采取抗冻性能高的混凝土。

及增加抗裂钢筋等可靠的技术措施。

2 中、重冻地区干线公路宜用沥青、水泥或石灰粉煤灰等稳定集料做上基层,用无结合料的级配碎石(砾石)等材料做基层应对其抗冻性进行试验验证。

3 根据冻区及材料来源情况可选用如下材料作为底基层:二灰稳定碎石、低剂量水泥稳定砂砾、水泥石灰稳定山砂、二灰土、石灰土等;中、重冻地区干线公路冻胀严重的挖方及全冻路堤宜采用二灰碎石、水泥稳定砂砾等板体性好的半刚性底基层。

说明

水泥混凝土路面冻胀敏感性强,中、重冻区冻胀严重路段易出现断板、纵裂及错台等病害。2001年11月中旬调查东北某条公路水泥混凝土路面,由于冻胀作用路肩已普遍高出行车道60~80mm,行车道板出现10~30mm错台,纵横向裂缝很多。而同一地区的沥青路面冻害则很轻。因此提出冻胀严重地区路段的水泥混凝土路面要有可靠的抗冻设计措施。

试验证明基层强度越高、越密实,抗冻性就越高。对吉林省几条已建成通车的高速公路挖方段及低填段纵裂及其他病害钻孔取芯调查,发现在地下水丰富路段的二灰土、石灰土多数松散不成板体。所以条文提出这类路段底基层宜采用水稳性及强度高的二灰碎石或水泥稳定砾石等混合料。用无结合料基层及石灰土底基层必须通过试验证明其抗冻性满足要求才能使用。

5.2.2 二级以上公路沥青路面、水泥混凝土路面下的半刚性基层宜进行冻胀拉应变验算。公式如下:

$$\epsilon_j = \frac{24H_i}{5B_k^2} \cdot z_j \cdot \xi \times 10^6 \leq \epsilon_s \cdot \frac{1}{K} \quad (5.2.2)$$

式中: ϵ_j ——路面材料因路基冻胀产生的拉应变(μ);

B_k ——路面计算宽度(m),高速、一级公路取半幅宽,多车道最大取12m,二级及以下公路取全宽;

ϵ_s ——路面基层材料弯曲拉应变,通过小梁或中梁弯曲试验确定,其值不应小于220~200 μ ;

H_i ——路面设计厚度(m);

K ——路面材料安全系数,根据公路等级、材料均匀性和试验条件取1.05~1.1;

z_j ——路基计算冻胀值(m);

ξ ——路面不均衡冻胀系数,高速公路、一级公路取0.2,二级公路取0.15。

说明

季冻区半刚性基层路面因路基竖向冻胀力作用产生弯曲变形,当变形值超过材料极限应变时,路面出现纵向裂缝乃至破坏。公式(5.2.2)把路面结构简化成1m宽的简支梁,

来验算路面材料的容许变形。式中 ξ 为不均衡冻胀系数,是与路面宽度和等级有关的系数,参照《柔性路面抗冻厚度设计方法的研究》(哈尔滨建筑大学,1995)的冻胀观测资料确定。 K 是路面材料安全系数,高速公路、一级公路或材料试验均匀性不良时取大值。路面基层材料拉应变是根据目前国内试验结果确定的。由于沥青面层材料的拉应变远远大于半刚性材料的拉应变值,所以半刚性基层沥青路面只验算基层。对于水泥混凝土路面,由于纵向接缝的半柔性连接,路面冻胀开裂也只验算基层,方法同沥青路面。

5.2.3 路面抗冻设计如不满足 5.2.2 条的要求,可通过提高路面材料抗变形能力、增设抗冻垫层或减小路基土的冻胀率等技术措施来解决,其计算关系如下式:

$$h_{min} = Z_{max} - \frac{5B_k^2 \cdot \epsilon_p}{24H_i K \xi \eta \times 10^6} - H_i \tag{5.2.3}$$

式中: h_{min} ——抗冻垫层厚度(m),其他符号同前。

说明

本条公式体现出道路最大冻深、路基冻胀率及路面应变同抗冻垫层及面层厚度之间的关系,设计时可根据条件进行技术、经济比较来选择最适宜的方式。

5.2.4 道路多年最大冻深以下式计算:

$$Z_{max} = a \cdot b \cdot c \cdot Z_d \tag{5.2.4}$$

式中: Z_{max} ——从路面中线顶面至冻结线处的多年最大冻深(m);

a ——路面、路基材料的热物性系数,由表 5.2.4-1 查取;

b ——路基湿度系数,由表 5.2.4-2 查取;

c ——路基断面形式系数,由表 5.2.4-3 查取;

Z_d ——大地标准冻深(m),按 3.1.1 条 4 取值。

表 5.2.4-1 路面路基材料热物性系数

路基材料	粘质土	粉质土	粉土质砂	细粒土质砾 粘土质砂	含细粒土质砾(砂)
热物性系数	1.05	1.1	1.2	1.3	1.35
路面材料	路面水泥混凝土	沥青混凝土	二灰碎石及 水泥碎(砾)石	二灰土及水泥土	级配碎石
热物性系数	1.4	1.35	1.4	1.35	1.45

注: a 值取大地冻深范围内路基及路面各层材料的加权平均值。

表 5.2.4-2 路基湿度系数

干湿类型	干燥	中湿	潮湿	过湿
湿度系数	1.0	0.95	0.90	0.80

注:路基干湿类型根据试验或表 3.2.1 确定。

表 5.2.4-3 路基断面形式系数

填挖形式	地面	填 2m	填 4m	填 6m	填 6m 以上	挖 2m	挖 4m	挖 6m	挖 6m 以上
断面形式系数	1.0	1.02	1.05	1.08	1.10	0.98	0.95	0.92	0.90

说明

道路多年最大冻深计算公式参考《冻土地区建筑地基基础设计规范》中的地基设计冻深公式确定,结合公路条件确定参数,以大地标准冻深计算。也可用冻结指数代替大地标准冻深计算,这样形式与《公路沥青路面设计规范》中道路冻深公式相近,只是将 $\sqrt{F}$ 改为 $\frac{D}{\sqrt{k}} \cdot F$ 。这是根据调查的大地冻深、潮湿系数统计得出的关系。影响道路冻深的主要系数

是材料,其次是路基干湿状态,条文中参数 a 、 b 、 c 取值,根据路基、路面材料导热系数及参照《冻土地区建筑地基基础设计规范》和《公路沥青路面设计规范》确定。

5.2.5 路面混合料设计除满足相应规范要求外应满足下列抗冻要求。

1 沥青面层宜采用骨架密实型结构,级配组成最大粒径不宜超过 25mm,大于 4.75mm 的粗集料用量不宜低于 60%,并控制中间料 2.36~4.75mm 的含量。其技术指标在满足高温稳定性同时,应满足表 5.2.5-1 抗冻指标要求。沥青混凝土冻融试验方法见附录 B。

表 5.2.5-1 季冻区沥青混凝土抗冻技术指标

公路及冰冻等级	技术指标	10 次冻融残留劈裂强度(%)
中、重冻区的高速、一级公路		≥ 50
中、重冻区的二级公路,轻冻区二级及以上公路		≥ 40

2 水泥混凝土路面应根据其所在区域的冻结指数和调查的冻融循环次数确定混凝土抗冻等级要求,可参照表 7.1.1 取用。相应抗冻标号的水泥混凝土冻融前后抗弯拉残留强度比,中重交通不小于 90%,轻交通不小于 80%。

不同抗冻标号混凝土的水灰比及最小水泥用量应满足表 5.2.5-2 的规定。如混凝土中掺入减水剂,经抗冻性试验验证后表中水泥用量可适当减少。

表 5.2.5-2 季冻区路面水泥混凝土水灰比及最小水泥用量

抗冻标号	F300	F200	F150
水灰比	< 0.38	< 0.4	< 0.42
最小水泥用量(kg/m^3)	360	340	335

3 路面半刚性基层混合料的抗冻性能应满足以下要求:中、重冻区 28d 龄期 5 次冻融循环后残留强度比不小于 50%,轻冻区不小于 40%;中、重冻区 180d 龄期 10 次冻融循环后

残留强度比不小于 70%，轻冻区不小于 65%。半刚性基层抗冻试验方法详见附录 D。

说明

季冻区路面材料抗冻试验方法和指标要求是根据对路面材料的室内试验研究成果，并结合高速公路的设计经验及不同冻区气候条件编写而成。

1 季冻区沥青路面要满足抗冻、抗裂、密水、抗滑、抗车辙等各项功能要求，只有采用嵌挤骨架密实型的沥青混合料才能满足上述要求。哈尔滨工业大学曾做过试验，用 15 组结构不同的沥青混合料进行 25 次冻融循环试验，试件冻融后呈不同程度的体积膨胀和强度衰减。初始空隙率小于 5% 的冻融循环强度损失减小，当超过 5% 后强度衰减较大，见表 5.2.5-3。

表 5.2.5-3 沥青混合料试件冻融循环后空隙率及强度变化

试件 编号	空隙率(%)		稳定度(kN)			冻融次数 (次)
	冻前	冻后	冻前	冻后	损失(%)	
A13	3.0	4.2	9.4	8.5	10	25
A10	4.3	7.5	8.1	6.4	21	25
A11	4.4	5.5	11.0	8.0	28	25
A14	5.6	9.0	8.6	5.0	42	25
A5	5.8	8.2	8.2	5.4	34	25
A4	5.8	7.4	8.6	3.6	58	25
A12	5.8	7.6	8.3	5.5	34	25
A8	6.0	9.6	6.5	3.6	45	25
A7	6.5	8.3	6.2	5.5	12	25
A6	7.7	9.2	6.5	3.8	42	25

本《指南》从沥青混凝土抗冻融破坏的角度提出抗冻性试验及技术指标。从实际可操作性及路面使用年限的角度提出 10 次冻融循环作为控制指标。

2 试验证明水泥混凝土在冻融循环作用下弯拉强度衰减及表面破坏很快，见表 5.2.5-4。通过某公路气象资料和水泥混凝土路面调查了解，冻区一年表面冻融次数为 20~30 次，有撒盐除雪的路段更多。致使该路面通车两年后在冰冻及除雪盐冻的作用下出现十几公里连续的表面脱落。所以为提高水泥混凝土路面的抗冻性提出本款规定。

表 5.2.5-4 水泥混凝土冻前冻后试件动弹模量与弯拉强度比较

试件编号	冻前动弹模量 (MPa)	冻后动弹模量 (MPa)	冻前弯拉强度 (MPa)	冻后弯拉强度 (MPa)	冻融次数 (次)
C24-1	41 293	35 994	5.00	3.69	200
C24-2	40 930	35 918	5.00	2.91	200
C26-1	36 533	29 887	4.50	2.47	250
C26-2	36 609	29 976	4.50	2.40	250

试件编号	冻前动弹模量 (MPa)	冻后动弹模量 (MPa)	冻前弯拉强度 (MPa)	冻后弯拉强度 (MPa)	冻融次数 (次)
C27-1	34 084	28 329	4.50	2.73	250
C27-2	34 933	28 144	4.50	2.82	250
C28-1	40 503	33 904	5.00	2.71	250
C28-2	41 292	34 669	5.00	2.69	250
C35-1	39 367	31 589	5.50	2.99	200
C35-2	39 707	33 276	5.50	2.54	200

本《指南》参照《公路水泥混凝土路面设计规范》中抗弯拉强度对使用年限的影响,提出了冻后的残留强度指标。

目前水泥混凝土抗冻标准中以动弹模量下降 40% 作为控制值,而影响水泥混凝土路面使用寿命的评价指标是弯拉强度,通过计算说明弯拉强度损失 5%,使用寿命要减少 2/3,而动弹模量的衰减与弯拉强度的衰减趋势是一致的,所以用冻融循环后的残留弯拉强度评价水泥混凝土路面的抗冻性更为直观。今后有待于通过试验建立弯拉强度与动弹模量之间的关系,据此修改抗冻残留强度指标。

表 5.2.5-2 中所列冻区的水灰比和最小水泥用量较现行《公路水泥混凝土路面施工技术规范》标准有所提高,主要是为了提高重冻区水泥混凝土的抗冻性,减少裂缝、断板和表皮剥落现象。表中抗冻标号等级参照条文 7.1.1 确定。

3 半刚性基层材料施工后裸露过冬常有表层冻融松散破坏现象,而高速公路冻害调查取芯中也发现一些地下水丰富的路段基层有冻胀、冻裂及松散的现象,说明半刚性基层材料在冰冻作用下会发生破坏,所以提出冻融残留强度评定方法。

试验表明半刚性基层材料 28d 龄期强度可达 3MPa 左右,为 180d 龄期强度的 50%~60%,用 28d 龄期强度指标便于为设计提供参数。而工程质量评定、验收以 180d 龄期为标准较为适宜,故二者均列入条文。条文中二灰碎石抗冻指标是在试验的基础上按 95% 的保证率提出的。

5.3 路面结构排水设计要求

5.3.1 沥青路面除采用密实型沥青混凝土外,宜设置粘层和透层加强沥青层之间及沥青层与基层之间的联结和防水。

说明

工程实践证明季冻区沥青面层水积于哪一层就坏到哪一层。所以要求采用密实型沥青混凝土并加强各层之间的防水,以增强整体性和抗冻性。

5.3.2 水泥混凝土路面纵横缝应采用高性能聚氨酯橡胶等防水材料填塞。

说明

季冻区水泥混凝土路面纵横预留缝受温差影响,逐年扩大增加下层浸水,用聚氨酯橡胶类填缝可与板侧连接,做到密封并能确保伸缩功能。

5.3.3 路面排水应满足下列要求:

1 中、重冻区冻胀土路段路面横坡不宜小于2%,路肩横坡不宜小于2.5%,超高缓和段路面最小合成坡度宜大于3%。

2 路堤边坡不易受冲刷的路段可采用分散漫流式路表排水;路堤较高的路段、桥头及超高段内侧宜用石料或沥青混合料拦水带集中排水;用水泥混凝土拦水带必须满足抗冻要求。

3 路肩宜用透水性材料全宽填筑或适当距离设透水性材料排水沟。

4 路面基层顶面纵、横坡应满足排水要求,合成坡宜大于3%。

5 排水抗冻垫层渗透系数和有效空隙率应达到排水渗流时间不大于1h,渗流路径长度不大于45m,并在路基顶面全宽铺筑。

说明

路面水下渗对各层都会造成冻害,所以每层都要做到快速排水,减少下渗。

1 路面纵横坡度是保证快速排水、减少滞留时间的关键,因此在保证行车安全的同时尽量加大路面横坡。

2 通过对集中截流式路表排水调查,发现由于路面边缘与拦水带之间漏水,此处冬季出现严重冻胀。所以在设计中如路堤较低边坡坡面不会受到冲刷,要求尽量采用分散漫流式路表排水形式。因水泥混凝土拦水带极易冻损,所以强调其抗冻性。

3 由于路肩阻水会使路面陷于水槽中,所以条文提出全排水路肩。

4 为尽快排除渗入基层顶面的水,减少下渗,提出基层合成坡度要求。

5.3.4 中央分隔带顶面应采用与路面相同的横坡度;超高路段宜通过分隔带上路面将水排除;较宽的中央分隔带宜设置地下排水系统。

说明

季冻区中央分隔带浸水对路基路面冰冻的影响程度目前试验研究不足,条文仅提出一般要求。

5.4 路面施工技术要求

5.4.1 抗冻垫层施工应做到不冻胀和春融期满足强度要求,应按下列各项要求施工:

1 垫层材料施工前应进行取样试验,不符合规定要求的材料不得使用。严禁使用未经试验验证的风化砂、砾石及山皮石。

2 利用天然级配砾石或粗集料与细集料混合而成的垫层应拌和均匀,中、重冻区的高速公路、一级公路应按 5.1.4 条材料级配范围进行筛分厂拌,剔除超粒径料。

3 运到摊铺地点的垫层材料应立即铺筑压实,及早覆盖底基层。垫层应用平地机摊铺,高速公路可用摊铺机铺筑。摊铺时应减少离析和保持适当含水量。

4 垫层宜用中型压路机碾压,不可过碾。压实度可用灌砂法、水袋法或其他方法检测,弯沉检测可根据设计要求进行。

5 垫层铺筑后出现松散变形或高低不平时,应进行洒水、撒铺底基层料进行养护,不得撒铺细粒土,破坏严重时应翻开重新铺筑。

说明

抗冻垫层应起排除渗入水、隔断下层水的作用,并且本身不发生冻胀,以往为追求压实度大多效果不佳,因此本条对施工材料选择、级配组成、施工工艺、检测及处理方法提出明确规定。

5.4.2 受冰冻作用的路面基层施工时除执行《公路路面基层施工技术规范》外,还应执行下列规定:

1 基层施工前应按本《指南》5.1.3 条对水泥、石灰、粉煤灰、粗集料及细集料所提出的要求进行检验,不符合要求不得使用。

2 基层施工前应按本《指南》5.2.5 条的规定做混合料施工配合比设计和抗冻性试验。

3 上基层混合料应采取拌和机厂拌,并应准确配料,减少变异。

4 结合料稳定碎砾石宜用摊铺机铺筑,结合料稳定砂土可用平地机摊铺。设计厚度大于 200mm 时宜分两层连续铺筑,下层碾压密实后对表面拉毛处理,紧接铺筑上层碾压成型。

5 基层宜用重型振动压路机碾压或与重型胶轮压路机组合作业。碾压遍数必须根据混合料级配组成、压路机性能及施工条件现场试验确定。

6 基层施工宜在春夏季节进行。晚秋施工宜在混合料中掺加早强剂或水泥,冰冻前强度宜达到 3MPa。也可采用覆盖素土、塑料膜或做封层加以越冬防护。

7 基层摊铺后未压实的淋雨混合料应重新拌和摊铺,或者废弃。

8 面层铺筑之前必须采用取芯、挖验等方法全面检验基层成型状况及强度,对成型

不良、强度不足或遭受破坏的基层应修补或挖除重铺。

说明

路面基层要具有抗低温开裂、抗路基冻胀开裂和反复冻融破坏的功能。为达到设计指标要求,条文对基层施工提出较为严格的规定。

施工中抽样试验发现基层混合料级配组成变异性很大,细集料含量多数超过设计值;拌和用水量忽大忽小;石灰、水泥用量不足,这些必然增大混合料的收缩性和降低强度,致使抗冻性能降低。对此条文中提出了配料与拌和方法要求,以利确保拌和质量。

半刚性基层试验研究证明,压实度对前期机械强度、后期结合强度及抗冻性影响极大;用重型振动压路机压实效果最佳,配合重型胶轮压路机搓揉就位,在含水量适宜条件下,很容易达到最大密实度;过硬会出现软弹,甚至翻浆。

近年来季冻区半刚性路面基层施工中脱皮、掉粒、坑槽、松散或强度降低等冻害时有发生,主要是低温铺筑没有采取早强及防护措施遭遇风干。如长平、长吉及沈山高速公路半刚性基层铺后裸露越冬都不同程度地出现了冻害。而晚期施工的长余、长营高速公路,采取覆盖措施后则没有冻害。

5.4.3 透层和封层施工宜在气温 15℃ 以上时结束。其沥青用量应较温暖区高 10% ~ 12%。透层和封层越冬宜覆盖保护。

说明

路面基层上的透层或封层对路基冻胀及路面开裂会起到缓解作用,但施工中难以做好或遭破坏,因此列入条文以引起重视。

5.4.4 沥青面层施工除执行现行《公路沥青路面施工技术规范》外,还应遵循本条规定。

1 沥青路面施工前对将选用的沥青除进行常规指标试验外,宜做初始结合料的旋转薄膜烘箱及压力老化箱的动力剪切和蠕变劲度等试验。

沥青路面施工前宜用拟选用的沥青、矿粉及集料等材料制作低温小梁弯曲试件,检验混合料的低温性能指标。

2 沥青混合料生产配合比设计应遵循 5.2.5 条的抗冻要求,设计出满足低温抗裂、高温抗车辙的高性能混合料。

3 沥青混合料必须高温拌和并应通过沥青在 135℃ 及 175℃ 条件下测定的粘度-温度曲线来控制沥青加热温度。

4 沥青路面碾压宜于 150 ~ 90℃ 温度内完成。宜选择 10t 以上钢轮振动压路机和 20t 以上胶轮压路机组合作业,紧跟摊铺机碾压,不留空段。

说明

中、重冻区春融期沥青路面破损率不低于雨季的破损率。针对沥青路面抗冻性问题,本《指南》从设计到施工都做出相应的规定,以求减少路面横向裂缝、抵抗因路基冻胀引发的纵向裂缝和延长冻融破坏的周期。

解决沥青面层的抗冻性,沥青是关键。通过长余高速公路所用的沥青及混合料低温性能的试验结果(见表 5.4.4-1、表 5.4.4-2),说明沥青低温指标与混合料低温指标效果相一致。因此,提出施工前做沥青及混合料指标试验供选料参考。

沥青面层冻害的主要因素是压实度和孔隙率,而压实度和孔隙率又与混合料施工温度密切相关,季冻区沥青面层施工季节气温低是其特点,因此,本条着重要求沥青混合料从拌和、运输、摊铺到碾压全部过程的高温施工。

表 5.4.4-1 长余高速公路改性沥青 SHRP 规范检测结果

检测项目 改性沥青 种类	DSR(RTFOT前)			DSR(RTFOT后)				DSR(PAV后)	BBR(-24℃)		BBR(-21℃)		DT(-21℃)	PG 等级
	≥1.00(kPa)			≥2.20(kPa)				≤5(MPa)	m	s	m	s	(%)	
	70℃	76℃	82℃	64℃	70℃	76℃	82℃	19℃	≥0.3	≤300(MPa)	≥0.3	≤300(MPa)	≥1	
路安特		1.19	0.83			2.53	2.01	0.22	0.361	127				76-34
壳牌	1.09	0.72		2.39	1.38			1.81	0.336	240				64-34
科氏	1.14	0.72		2.4	1.57			0.67	0.303	296				64-34
西太	1.45	0.98		3.1	2.04			1.04	0.315	258				64-34
重庆美伦	1.32	0.79		2.89	1.66			1.3	0.27	523	0.324	390	1.9	64-31
北京路翔		1.04	0.85		2.5	1.7		0.83	0.301	262				64-34
国创		1.13	0.84	3.27	2.08			1.06	0.263	362	0.293	237		64-31
鑫锦		1.09	0.8	2.28	1.48			0.44	0.355	275				64-34

注:PG 等级高温根据初始和旋转薄膜烘箱后动力剪切指标满足要求的正温度确定,低温根据压力老化后动力剪切、蠕变劲度或直接拉应变指标满足指标要求的负温度确定

表 5.4.4-2 长余高速公路沥青混合料低温指标摘录

检测项目	冻融劈裂强度比 (%)	劈裂强度 0℃(MPa)	劈裂强度 15℃(MPa)	动稳定度 (次/mm)	小梁弯拉应变 (μ)
拌和站					
一号拌和站	84.7	2.56	1.12	2569	3628.0
	85.9	2.80	1.26	3091	
	91.9	2.67	1.23	3129	
	89.3	2.83	1.24	3235	

检测项目 拌和站	冻融劈裂强度比 (%)	劈裂强度 0℃(MPa)	劈裂强度 15℃(MPa)	动稳定度 (次/mm)	小梁弯拉应变 (μ)
二号拌和站	82.5	2.64	1.26	3575	
	81.5	2.7	1.22	2659	3554
	84.9	2.7	1.19	3458	
	87.3	2.75	1.23	3656	3418
三号拌和站	87.5	2.64	1.14	2937	
	85.2	2.63	1.14	3361	
	85.1	2.77	1.19	3291	
	85.4	2.81	1.24	3577	3990
	89	2.68	1.13	2850	3617
四号拌和站	90.6	2.02	0.94	3900	
	86	2.69	1.15	2364	3221
	86.6	2.69	1.15	2745	3480
	91.5	2.71	1.2	3032	3562
五号拌和站	93.9	2.83	1.16		3237
	90.4	2.6	1.14	4266	
	95.1	2.77	1.19		
	82.4	2.63	1.34	> 6000	
	98.2	2.52	0.95	5575	
	102.6	2.37	0.97		
六号拌和站	96.5	2.38	0.93	3626	3202
		2.55	1.05		
七号拌和站	95.3	2.55	1.06	2702	
	88	2.62	1.14	3085	3252
		2.58	1.19		
八号拌和站	95	2.53	0.99	1561	
				3460	3217
	89.9	2.51	0.95	2877	3311

注:本表为用 SBS 改性沥青 PC64-34(31)生产的 SMA-16 型混合料施工检测结果。

5.4.5 水泥混凝土路面施工除执行现行《公路水泥混凝土路面施工技术规范》规定外,还应执行下列规定:

1 路面水泥混凝土所用的原材料应符合本《指南》5.1.2 条和 7.1.2 条抗冻混凝土材料的要求。

2 路面水泥混凝土施工配合比设计方法和程序应按本《指南》有关抗冻混凝土配合

比设计规定进行。抗冻性能指标必须达到本章 5.2.5 条抗冻融残留弯拉强度的要求。

3 路面水泥混凝土拌和应按抗冻混凝土拌和规定,严格控制引气剂掺配、坍落度及拌和时间,含气量应控制在 4%~5% 范围内。

4 根据抗冻混凝土运输规定,路面混凝土宜选择混凝土搅拌运输车运输,自卸汽车运输必须采取保持含气量的措施。

5 水泥混凝土路面铺筑除满足抗冻混凝土浇注一般要求外,还应满足下列规定:

1)路面水泥混凝土应一次浇注到位,不应反复倒移。

2)路面抗冻、抗裂钢筋不得沉入路面底层,接缝传力杆和拉杆钢筋必须按设计直径、间距和位置放置,不得随意变更。

3)路面水泥混凝土应用多台高频振捣器排振密实。

4)路表面任何位置均不得有积水现象,也不得出现过厚、强度过低的砂浆表层。

5)水泥混凝土路面抗滑表面宜用粗布拉毛或压槽,不宜用锯纹机刻槽。

6)水泥混凝土路面在铺筑中不得因干缩、湿缩及机械故障出现裂缝。

6 水泥混凝土路面铺筑后应于冻期到来之前达到设计强度 90% 以上。否则,除按抗冻混凝土低温施工和养护条款规定执行外,还应采用素土、塑料布等覆盖保护措施,直至达到设计强度后再开放交通。

说明

1 季冻区水泥混凝土路面为抗冻水泥混凝土,所以材料要求、配合比设计、拌和、运输、养生及检验等基本与第 7 章抗冻水泥混凝土相同。

2 水泥混凝土冻融抗弯拉强度降低会严重影响路面的使用寿命。所以施工条文中重点提出路面水泥混凝土残留弯拉强度要求。

4 通过对水泥混凝土路面施工的跟踪检查,在混凝土运输、浇注中由于运输设备不当、道路状况不良及浇注反复倒料造成混凝土离析,含气量降低,产生路面强度及抗冻性不均,致使早期冻害的发生。对此条文中重点提出路面水泥混凝土运输及浇注的要求。

5 由于水泥混凝土路面施工中控制不严、操作不当,使大多数抗冻、抗裂钢筋沉入下部失去应有作用,为此特加以强调。

水泥混凝土路面表面冻融剥落是表面不平积水结冰及表面强度低造成的,条文对此提出施工要求。

水泥混凝土路面用锯纹机锯槽防滑,槽内积水结冰,反复冻融易于损坏,所以适用拉毛或压槽。

6 水泥混凝土路面直接承受车轮荷载,强度低易于磨损和冻融,所以要求养护到 90% 后才可受冻和达到设计强度开放交通。

6 季节性冻土地区桥涵构造物抗冻设计与施工

6.1 桥涵基础抗冻设计要求

6.1.1 桥涵基础抗冻设计应满足下列规定:

- 1 明挖桥涵基础基底应埋入冻胀土地基最大冻结深度以下不小于 0.25m,必要时对设置在冻胀土中的基础应按 6.1.2 条进行抗冻性验算。
- 2 可根据地区施工经验将涵洞基础基底至冻结线处的冻胀土换填为粗颗粒土(包括碎石、砾石、中粗砂,其中粉粘粒粒径小于 0.075mm 的颗粒不大于 15%)。
- 3 中、重冻区涵洞洞口与洞身基础宜做成等厚整体基础。
- 4 水中桩基承台底面标高应在最低冰层底面以下不小于 0.25m。当有强大的流冰时承台底面标高应保证基桩不受直接撞击。
- 5 位于冻胀土上的柱间系梁及轻型桥台支撑梁等底面应离开冻胀土层,置于冻结线以下或换填碎砾石等不冻胀土。
- 6 水中基础桩受冻融影响及河床冻土范围内部分宜采用抗冻混凝土浇注。

说明

根据对季冻区桥涵冻害调查,有些中小桥及涵洞扩大基础因地基冻胀使中墩抬高或断裂,造成主梁端头升高达 300mm;轻型桥台的支撑梁因地基冻胀而上挠折断失去支撑作用;涵洞基础因地基不均匀冻胀,每年出现起落变化,造成路面不平。这些冻害的原因多出于抗冻设计不完善,因此,本条参考《公路桥涵地基与基础设计规范》中的 3.1.1 条、4.1.2 条及 4.1.3 条有关桥涵基础抗冻的设计内容,结合调查情况加以修改编写。

为确保安全、便于施工、减少设计计算,对桥涵扩大基础不分上部结构形式,均将基底置于最大冻深线下,与《公路桥涵地基与基础设计规范》专指上部为超静定结构有所不同。

根据近年来设计经验,本条规定涵洞基础设于不产生冻胀土层,洞口与洞身形式一致。并强调如果冻胀大时,洞口洞身做成整体刚性基础,以抵抗不均匀冻胀及融沉变形。现行《公路桥涵地基与基础设计规范》为洞口洞身可设于不同深度。

6.1.2 季冻区桥梁墩台基础位于冻胀土层中应进行下列抗冻性验算。

- 1 明挖墩台基础抗冻拔稳定性按下式计算:

$$N + G + \tau_f \cdot A_f \geq K(n_f \cdot A_f \cdot \tau_f + A_L \tau_L) \quad (6.1.2-1)$$

式中: N ——作用在基础以上的结构重力(kN);
 G ——基础自重力及襟边上的土重力(kN);
 τ_i ——基础侧面融化土的极限摩阻力(kPa),按实测数取值,如无实测资料时,对粘性土可采用 20kPa,对砂土及碎石土可采用 30kPa;
 A_T ——在融化土层中基础侧面积(m^2);
 K ——安全系数,砌筑或架设上部构造之前, K 取 1.2,砌筑或架设上部构造之后,对静定结构 K 取 1.2,对超静定结构 K 取 1.3;
 n_T ——标准冻深修正系数,如无实测冻深值时,当基础底不穿透冰冻层时取 1.1,当基础底穿透冰冻层时,按表 6.1.2-1 取值,有实测冻深值时取 1.0;

表 6.1.2-1 标准冻深修正系数

冻胀类别	1 不冻胀	2 弱冻胀	3 冻胀	4 强冻胀	5 特强冻胀
n_T	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80

A_T ——在冻土层中基础和墩身的侧面积(m^2);
 A_L ——河底以上冰层中墩身侧面积(m^2);
 τ_T ——在冻土层中基础和墩身侧向单位面积切向冻胀力(kPa),按表 6.1.2-2 选用;
 τ_L ——水结冰后与墩身侧面的单位面积切向冻胀力,对混凝土可用 190kPa。

表 6.1.2-2 季节性冻土单位切向冻胀力

冻胀类别	1 不冻胀	2 弱冻胀	3 冻胀	4 强冻胀	5 特强冻胀
冻胀力 τ_T (kPa)	20	40	80	120	200

2 抗冻拔桩基础稳定性按下式验算:

$$N_0 + G_0 + 0.4 U_i \sum \tau_i \cdot h_i \geq K (n_T \cdot A_T \cdot \tau_T + A_L \tau_L) \quad (6.1.2-2)$$

式中: N_0 ——作用在桩顶上的竖向结构重力(kN);
 G_0 ——桩重力(kN),地下水位以下取浮重;
 U_i ——桩的周长(m),对钻孔桩按成孔直径计算;
 h_i ——冻结线以下各层土的厚度(m)。

其余符号意义同前。

3 切向冻胀力较大时,应按下式验算墩台基础或基桩薄弱截面处的抗拉强度:

$$K (n_T \cdot A_T \cdot \tau_T + A_L \tau_L) - (N_1 + G_1 + F_1) \leq \frac{R_g A_g}{\gamma_s} \quad (6.1.2-3)$$

式中: R_g ——纵向钢筋抗拉设计强度(kPa);
 A_g ——纵向钢筋截面面积(m^2);
 γ_s ——钢筋安全系数,取 1.25;
 N_1 ——作用在验算截面以上基础或桩基础上的竖向结构重力(kN);
 G_1 ——验算截面以上基础或桩基重力(kN);
 F_1 ——验算截面以上基础或桩基侧面在暖土层的摩阻力(kN);按式(6.1.2-1)极限

摩阻力和相应面积计算。

其他符号意义同前。

说明

桥梁基础抗冻性验算参照《公路桥涵地基与基础设计规范》有关章节编写。

基础和墩身单位面积切向冻胀力取值,参照《水工建筑物抗冰冻设计规范》及近年来吉林和黑龙江两省科研部门对冻土研究的成果,这次取值较现行《公路桥涵地基与基础设计规范》偏高。

基础桩上拔抗拉力验算按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中的公式及系数计算。

6.2 桥涵墩台抗冻设计规定

6.2.1 冰冻期受冻融影响的水中桥墩混凝土抗冻标号应按表 7.1.1 选用。

说明

经调查发现,桥墩受冻融期水位变化影响处建成几年之后多数发生混凝土表面脱落、露骨或松散,致使断面减弱,桩柱型桥墩更为严重。其原因除酸碱腐蚀外主要是混凝土抗冻性不良,在冻融下受破坏。

6.2.2 季冻区桥(涵)台应采取以下抗冻措施:

1 桥涵台背宜用碎石、砾石、砂或水泥、石灰等稳定的不冻胀土填筑。用冻胀土填筑的轻型桥台、U 型挡墙式桥台及柱式桥台应进行强度验算。

2 轻型桥台抗冻强度按以下图示验算,可将其简化为上下端均为铰接的简支梁,填土水平冻胀力的大小和分布应由现场试验确定,也可按图 6.2.2 和表 6.2.2 选定。

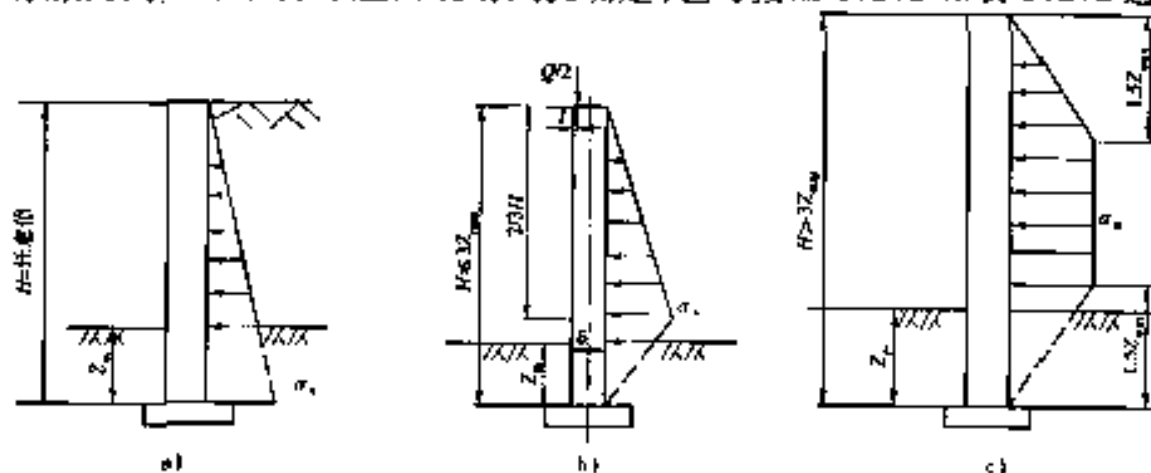


图 6.2.2 轻型桥台计算简图

a) 粗粒填料; b) 粘、粉土填料; c) 粘、粉土填料

表 6.2.2 桥台最大单位水平冻胀力标准值 σ_0

冻胀土级别	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀
冻胀率(%)	$\eta \leq 1$	$1 < \eta \leq 3.5$	$3.5 < \eta \leq 6$	$6 < \eta \leq 12$	$\eta > 12$
水平力标准值 σ_0 (kPa)	$\sigma_0 < 15$	$15 \leq \sigma_0 < 70$	$70 \leq \sigma_0 < 120$	$120 \leq \sigma_0 < 200$	$\sigma_0 \geq 200$

3 越冬时桥梁上部构造没安装、支撑梁或河床铺砌未做的,必须验算桥台上、下端因填土冻胀而产生的位移及冻胀倾覆稳定性。

4 中、重冻区混凝土桥涵及通道轻型台墙,设计中宜增加构造钢筋或加大结构厚度。

说明

冻害调查发现公路轻型、U型桥台因冻胀发生裂缝、倾覆或倒塌等损坏,因此本条提出防止台后填土冻胀和桥台抗冻措施;参照《冻土地区建筑地基基础设计规范》中第 8.2.11 条及近年研究成果给出了轻型桥台计算图式和台后土体最大单位水平冻胀力。

6.3 桥梁上部结构抗冻设计规定

6.3.1 上部梁式结构设计抗冻要求如下:

1 中、重冻区中小跨径桥梁结构宜选用实体 T 梁、板梁或现浇连续梁。采用空心小箱梁及板梁必须采取有效的防止遭受冻害的措施。

2 桥梁结构的水泥混凝土抗冻标号应符合表 7.1.1 的规定。

3 空心梁顶板及底板宜浇注防水混凝土(S10 级以上)或涂适合当地低温条件的防水材料。

4 小箱梁底板每个隔箱内两端宜各预留一个 $d50\text{mm}$ 的排水孔。空心板梁底板宜在最低点预留直径 $d50\text{mm}$ 的排水孔。

说明

近年来吉林省几条高速公路桥梁多采用小箱梁,已发现有 4 座桥共 5 片梁因箱内积水而将梁体冻裂(腹板及底板);箱梁及空心板梁底板浸水冻胀出现裂纹;梁间接缝浸水受冻破坏。这些冻害致使结构整体强度和连接性能降低。发生这种现象的原因是箱梁和空心板梁底板不易浇注、顶板芯模上浮,出现厚度不足或混凝土浇注不实。因此本条提出在中、重冻区空心箱梁和板梁的设计规定。

6.3.2 桥面铺装及桥上建筑应符合以下抗冻要求:

1 水泥混凝土桥面铺装必须采用抗冻抗渗混凝土;最小铺装厚度宜大于 100mm ;抗

裂钢筋网间距不宜大于 100mm,跨径大于 20m 的桥面宜设双层钢筋网。

2 沥青混凝土桥面厚度不应小于 80mm,与路面结构厚度一致。分两层铺筑密实型混合料。特大桥宜单独设计。

3 桥面应保持冻融期排水通畅。除做好纵横坡设计之外,还应在桥面边缘设排水沟槽。

4 桥梁整体化湿接缝及铰接缝必须用强度和抗冻标号同梁体一致的抗冻混凝土,并宜掺用膨胀性引气剂。砂浆标号不低于 M7.5 号,中、重冻地区砂浆标号不低于 M10 号。

5 桥梁伸缩缝处宜采用纤维、环氧树脂或聚合物类抗冻性强的混凝土。

6 桥梁混凝土护栏底座及防撞护栏必须采用抗冻水泥混凝土。

7 桥上人行道面宜用细粒抗冻水泥混凝土浇注,厚度不小于 50mm,也可只铺筑预制板,不抹砂浆。

8 公路桥梁的水泥混凝土栏杆、立柱及栏片应采用抗冻水泥混凝土。

9 上述各款抗冻水泥混凝土的抗冻标号应符合表 7.1.1 的规定。

10 桥面粘层宜选择粘附性高的改性沥青或其他性能较好的粘结层材料。

说明

调查发现季冻区桥面的早期破坏中冻融破坏较为严重。水泥混凝土桥面面层冻融后剥落露骨、强度降低、网裂密集;沥青混凝土桥面网裂、坑槽及大面积破坏。产生的主要原因是桥面厚度不足、渗水性大、混合料抗冻性低及桥面排水不良,致使层间结合破坏。对此本条提出了具体设计规定。

桥梁伸缩缝混凝土发生冻害主要原因是抗冻标号低、易于积水。

桥上护栏底座、挡墙及立柱、栏杆片等因受初冬、早春车辆行驶飞溅的融化雪水浸润冻融,表面剥落露骨破坏十分严重,交通量越大越明显,因此抗冻等级要求较高。

6.4 桥涵砌筑工程抗冻设计规定

6.4.1 本节适用于季冻区石砌及混凝土预制块砌筑的拱圈、墩台、挡土墙、锥坡及护坡等有抗冻要求的工程。

说明

季冻区桥涵砌体工程每年要投入大量人力物力维修冰冻造成的损坏,所以本节加以详细规定,力求减少冻害。

6.4.2 桥涵砌筑所用材料应符合下列规定:

1 混凝土构件抗冻标号应符合表 7.1.1 的要求。

2 砌筑水泥宜用硅酸盐水泥。

3 砌筑所用石料坚固性中、重冻区不大于 3%,轻冻区不大于 4%。直接抗冻指标中、重冻地区不小于 50 次,轻冻地区不小于 25 次。石料最小尺寸宜近于砌筑层或分层厚度。

4 砌筑用砂最大粒径不宜超过 2.5mm,0.15~0.6mm 粒径所占比例宜为 41%~70%,0.075mm 以下颗粒含量不大于 3%。

说明

桥梁规范对季冻区砌体工程材料的抗冻性要求很少,本条款参照《水泥混凝土手册》及相关规范,结合冻害调查结果给予规定。

6.4.3 各种砌筑工程的上质边坡坡度必须大于冰冻稳定性坡度值,大型工程应进行冻融滑移稳定性验算。

对冻胀严重的土基可用石灰或水泥进行改善。拱桥拱上填料必须用冻胀稳定性材料填筑。

说明

砌体下的土基往往被忽视,而导致砌体冻坏,所以条文要求土基具有抗冻稳定性。

6.4.4 桥涵砌筑工程垫层厚度必须根据砌体厚度、土基及浸水条件确定。垫层材料及最大粒径要求如表 6.4.4。材料中 0.075mm 以下颗粒含量不应大于 5%,砾石中的砂含量不宜大于 40%。

表 6.4.4 季冻区砌筑工程垫层材料及厚度

圬工砌筑厚度(mm)	500	250~300	150~200	80~100	50
垫层厚度(mm)	150~200	150	100~150	30~50	20~30
垫层材料	粗砾				细砾、粗砂
最大粒径(mm)	50	50	30	20	5

注:砾石可用粒径比例相应的碎石与砂配制。

说明

砌筑工程垫层起稳定、排水和防止冲刷及冻胀作用,将相关技术规范的设计加以汇集整理,并参照公路设计手册《路基》编制此条款。

6.5 桥涵构造物抗冻施工

6.5.1 冻胀土桥涵基础施工应执行下列规定:

- 1 冻胀土桥涵基础桩的入土深度必须满足抗冻拔稳定设计要求,浅打或截桩必须经过抗冻验算。
- 2 冻胀土桥涵基坑回填宜用砂、碎砾石及矿渣等粗粒材料,并夯填密实。
- 3 桥涵地基土换填时,必须满足本《指南》6.1.1 条的规定,并做到粗细集料混合均匀,铺填后夯实。
- 4 桥涵基础浇注(砌筑)后应在地基土冻结前回填覆盖。

说明

在中、重冻区危桥、险桥的调查中发现,因施工忽视基础的冻胀造成桩的冻拔、基础上抬及倾斜等冻害仍占有相当的比例。为避免和减轻上述病害特制定本条规定。

6.5.2 桥涵水中墩混凝土应按本《指南》抗冻水泥混凝土施工要求的相关条款执行。在冰冻前对混凝土应采取早强或养护措施,使其强度达到设计的 100%。

6.5.3 桥梁上部结构施工应按下列规定进行。

- 1 小箱梁及空心板梁宜先浇注底板,混凝土直接浇注到位、振捣和抹光。然后安装芯模浇注腹板顶板。顶板宜一次浇完不留洞口。
- 2 小箱梁及空心板梁底板必须按设计预留排水孔,并向排水方向做出排水坡。
- 3 水泥混凝土桥面铺装必须满足抗冻、抗滑、抗渗及强度指标要求。
- 4 铺装沥青混凝土桥面时,应对其下的水泥混凝土表面凿毛、铣刨或露石处理,除去表面浮浆、污物。桥面应和路面同步用机械铺装,不宜用人工铺装。
- 5 桥梁伸缩缝及其他小体积混凝土必须用拌和机拌制,用振捣器振捣密实。

说明

由于箱梁及空心板梁底板钢筋密集,受芯模限制,混凝土不易浇注振捣,所以要求直接浇注到位而后安装芯模。顶板如留拆模洞口封闭不严,易向箱内漏水造成冻害。

桥面铺装常因强度低、渗水及裂缝等施工原因造成冻融剥落、坑槽、裂缝破坏等。所以条文提出加强结合面处理。

6.5.4 桥涵砌筑施工应执行下列规定:

- 1 桥涵砌筑除满足本《指南》要求外,应执行《公路桥涵施工技术规范》的有关规定。

- 2 砌筑体下的基础必须根据设计要求,采取满足抗冻、密实、稳定性要求的措施。
- 3 桥涵浆砌体应达到以下要求:
 - 1)砌层厚度均匀一致不小于设计值;
 - 2)砌层厚度超过 300mm 应分两层砌筑;
 - 3)砌块之间勾缝宽度:混凝土砌块及方整石为 20~30mm;片石为 40~50mm。
 - 4)应随砌随填塞内部空隙,填塞必须饱满并加以捣实。
 - 5)砌筑后应随时将缝位刮深 20~30mm,用 M10 号以上细砂砂浆勾出平缝或 10~15mm 深的凹缝,严禁勾凸缝。
 - 6)砌体砌筑后应立即覆盖洒水养生,养生期不应少于 14d。
 - 7)桥涵砌筑工程低温施工必须采取早强或保温抗冻措施。

说明

季冻区砌筑工程由于土体不密实、不稳定和排水不良,造成冰冻后破坏,所以首先应做好地基施工。浆砌体内存水冻胀后必然被破坏,所以砌筑密实及砂浆强度是关键,本条强调边砌筑边勾缝,勾凹缝或平缝,因勾凸缝易于冰冻脱落或内部不实。

6.5.5 季冻区桥涵墩台、梁面、拱圈、挡墙及八字墙墙面等应为原浇注或砌筑的本体,严禁二次抹面。设计要求装饰抹面必须有可靠的防冻融脱落措施。

说明

桥涵构造物表面设计时多数不做抹面装饰,因施工问题随意抹面的做法是错误的,抹面后因冰冻很快脱落,所以严禁二次抹面。

7 公路工程抗冻水泥混凝土设计与施工要求

7.1 公路工程抗冻水泥混凝土设计

7.1.1 抗冻水泥混凝土设计标号应执行下列规定:

公路工程抗冻水泥混凝土抗冻标号是按标准试验方法(附录 C)测定的相对动弹性模量降低至 60%或质量损失达到 5%时的冻融循环次数 F。

公路工程抗冻水泥混凝土抗冻标号分为 F300、F200、F150、F100 和 F50 五个等级。

各种结构的抗冻等级应根据其所处冻区、有害离子含量、水文地质等自然条件及结构本身重要性、抗冻害能力及修复难易程度等工作条件参照表 7.1.1 确定,条件好的可适当降低。

表 7.1.1 公路工程水泥混凝土抗冻等级标准

混凝土结构名称	中、重冻区	轻冻区
1 路面、桥面、箱梁顶板底板、空心板梁顶板底板、路面拦水带、桥上防撞墙、桥面护栏底座、水中桥墩、桥梁支座垫石、伸缩缝混凝土等类似结构	F300	F200
2 桥上栏杆、立柱、边沟板、路面安全隔离墩、路肩及人行道板等类似结构	F200	F150
3 路面泄水口、泄水槽、路缘石、混凝土挡土墙、支挡工程、桥涵底面铺砌等类似工程	F150	F100
4 路基边坡、排水沟、锥坡、堤坝混凝土板、隔离墙立柱、界碑、里程碑等类似工程	F100	F50

说明

公路工程水泥混凝土抗冻标号依据《混凝土动弹性模量试验和混凝土抗冻性试验(快冻法)》确定。

公路工程水泥混凝土抗冻标号过去规定很少,现参照《水工建筑物抗冰冻设计规范》,并根据不同混凝土结构所处的自然环境及使用条件定为 F300、F200、F150、F100、F50 五级。

水泥混凝土结构抗冻等级标号一般是对表面抗冻性的规定,路面及桥面对强度降低和表面剥落二者兼有,中、重冻区应注重冻后强度控制。

7.1.2 公路抗冻水泥混凝土材料除符合一般混凝土材料的规定外,还应满足以下要求:

1 抗冻水泥混凝土所用的水泥宜为强度等级为 32.5MPa 以上硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥。矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥及复合水泥经试验验证能满足抗冻要求

时,也可使用。

2 抗冻水泥混凝土粗集料应满足下列要求:

- 1)粗集料颗粒级配宜满足连续级配最大密度原则,最大粒径不宜超过 31.5mm。
- 2)软弱颗粒含量不宜大于 5%,含泥量不宜大于 1%。
- 3)坚固性 5 次循环试验质量损失不大于 3%,直接抗冻试验不小于 25 次。
- 4)针片状不大于 12%,压碎值不大于 12%,集料与水泥有良好的粘聚性。

3 抗冻水泥混凝土细集料坚固性满足 5 次循环试验质量损失不大于 8%,含泥量不大于 2%,不得含有粘土团块,云母含量不大于 1%。

4 抗冻水泥混凝土中可掺单一引气剂、引气减水剂或引气早强剂等外掺剂,产品质量应符合交通部行业标准《混凝土外加剂》的要求。

说明

公路抗冻水泥混凝土所用材料桥规没有特殊要求,本条根据《水泥混凝土手册》,参照其他与抗冻混凝土有关规范加以汇总。

1 水泥抗冻性顺序一般为硅酸盐水泥 > 普通硅酸盐水泥 > 矿渣水泥 > 火山灰水泥。本次试验利用吉林省交通水泥厂虹桥牌硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥和矿渣水泥各做三组混凝土试件,进行抗冻性比较,规律性不明显。分析认为矿渣水泥中矿渣掺量少对抗冻性能影响不大。所以提出经抗冻性试验后满足要求的水泥均可使用。

2.3 经过对季冻区水泥混凝土路面和高速公路混凝土拦水带的冻害调查,粗细集料对其抗冻性影响与有关混凝土抗冻性资料介绍的相一致,石料最大粒径、针片状、压碎值、表面状况和自身抗冻性都很重要。这些指标相当于《公路桥涵施工技术规范》和《水运工程混凝土施工规范》中的 C40 号以上混凝土的要求。根据目前碎石加工设备水平完全可以做到。

4 目前引气剂是决定混凝土抗冻性能的主要材料,本条提出掺用引气型减水剂或引气型早强剂等复合型外掺剂,产品质量应符合交通部行业标准要求。常用引气剂的引气效果排序:松脂皂类 > 非离子表面活性剂类 > 烷基苯磺酸盐类 > 木质磺酸盐类 > 脂肪醇类,具体应用由试验确定。

本《指南》编写中选择五类 6 种引气剂,制作 11 组混凝土抗冻试件,试验结果列入表 7.1.2。

表 7.1.2 不同引气剂的抗冻试验结果

引气剂种类	掺量(%)	抗冻标号(F)	引气剂种类	掺量(%)	抗冻标号(F)
松脂皂引气剂	0.05	200	十二烷基苯磺酸盐类	0.02	75 - 100
松脂皂引气减水剂	2~3	200~375	木质磺酸盐引气剂	1.5	75~300
非离子表面活性引气剂	0.05	150~200	三萜皂苷类引气剂	2	75

从表中可大致看出抗冻性规律与常用引气剂效果排序相一致,但规律性不十分明显,分析其原因是目前工程中引气剂使用不广泛,缺乏定型产品,市场混乱,产品质量不稳定。

这就需要通过试验选用适宜工程抗冻要求的引气剂。

7.1.3 公路抗冻水泥混凝土配合比设计宜按下列规定和方法进行:

1 抗冻水泥混凝土配合比设计应符合下列规定:

- 1) 配合比设计时较普通混凝土宜适当提高其标号。
- 2) 不同工程项目的抗冻混凝土应满足浇注工艺要求,具有良好的粘聚性、保水性及和易性。
- 3) 抗冻混凝土的最大水灰比和最小水泥用量应符合表 7.1.3-1 的限值。

表 7.1.3-1 抗冻水泥混凝土最大水灰比和最小水泥用量

结构所处环境	F300		F200		F150		F100		F50	
	最大水灰比	最小水泥用量 (kg/m ³)	最大水灰比	最小水泥用量 (kg/m ³)	最大水灰比	最小水泥用量 (kg/m ³)	最大水灰比	最小水泥用量 (kg/m ³)	最大水灰比	最小水泥用量 (kg/m ³)
干湿环境较好	0.42	335	0.44	320	0.46	300	0.5	280	0.55	280
干湿变化大、用盐类除雪	0.4	340	0.42	335	0.44	320	0.48	300	0.52	300
在冰冻季节有侵蚀性物质影响	0.38	360	0.4	340	0.42	335	0.44	320	0.5	320

4) 抗冻水泥混凝土应根据集料最大粒径及所用引气剂性能选择适宜的含气量,可参考表 7.1.3-2 经试验确定。

表 7.1.3-2 抗冻水泥混凝土含气量参考表(%)

混凝土抗冻标号	F300	F200	F150	F100	F50
最大集料粒径 (mm)					
9.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5
19.0	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0
31.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0
37.5	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5

2 抗冻水泥混凝土配合比设计方法应按下列程序进行:

- 1) 掌握所需配合比设计条件:抗冻标号及参数(含气量、最小水泥用量、最大水灰比)、设计强度(抗压或抗弯拉)、坍落度和粘聚性及最大集料粒径等。
- 2) 进行初步配合比设计:根据设计抗冻标号及强度等级初步确定最大水灰比、最小水泥用量、含气量及引气剂掺量,选择集料级配类型及砂率,计算各种材料用量(计算时应按比例在砂、石及水重量中去掉含气体积重量)。
- 3) 按上述配合比做试验,检验混凝土坍落度和粘聚性、含气量、强度及抗冻性等指标。
- 4) 根据试验结果调整配合比设计。

说明

为统一公路抗冻混凝土配合比设计方法,参照《水工建筑物抗冰冻设计规范》中的有关规定、《混凝土手册》和对一些研究成果归纳分析整理编入条文。

试验研究表明水灰比对混凝土的抗冻性影响最大,因此,条文首先提出不同抗冻标号混凝土的最大水灰比和最小水泥用量限值,为满足施工工艺性要求需要通过试验选择。

抗冻混凝土的含气量多少应代表其抗冻性高低。本《指南》编写过程中用不同的引气剂,选用 0.36~0.54 水灰比做了 26 组混凝土抗冻试验,没有找到抗冻标号与含气量间更好的相关性。条文中参照有关规范资料列出了具体要求,以供试验参考。

抗冻混凝土由于空气体积的存在,材料用量必然减少,条文规定在水泥用量不减少、水灰比不加大的前提下,重新调整其他材料用量并计算各种材料配合比例。

抗冻混凝土虽然强调抗冻标号,但其他指标仍不可忽视,所以条文中规定了试验全部项目。

7.2 公路工程抗冻水泥混凝土施工

7.2.1 公路抗冻水泥混凝土拌和时除满足下列规定外,还应按公路水泥混凝土相关施工技术规范条款执行。

1 混凝土拌和应用计量准确的强制式拌和机。拌和时间应使混合料拌和均匀,含气量达到最高值为准,可参考表 7.2.1 经试验确定。

表 7.2.1 抗冻水泥混凝土拌和参考时间(min)

混凝土坍落度 (mm) 拌和机容量 (m³)				
	< 30	30 ~ 50	50 ~ 70	> 70
≤ 0.5	2.0	1.5	1.5	1.0
≤ 1.0	2.5	2.0	1.5	1.5
≤ 1.5	3.0	2.5	2.0	2.0
> 1.5	3.5	3.0	2.5	2.0

注:本表为强制式拌和机拌和时间,如用自落式拌和机应当延长时间。

2 引气剂必须溶成水溶液按其浓度定量掺入到拌和机中,误差不得大于引气剂用量的 ±2%。

3 混凝土拌制后应按要求检测含气量及其他性能,含气量不足应立即加以改进。

说明

抗冻混凝土搅拌时间较正常混凝土要适当延长,表 7.2.1 提出的参考值是从混凝土手册及文献资料中选取的,施工时要根据混凝土级配、坍落度和拌和机性能,经试验确定。

7.2.2 抗冻水泥混凝土运输应执行下列各项规定。

- 1 混凝土在运输中应避免离析而造成含气量损失。
- 2 混凝土运输应根据坍落度及运输条件选择适宜的运输机具,参见表 7.2.2。

表 7.2.2 抗冻水泥混凝土运输方式选择

运输方式	运输距离(m)	混凝土坍落度(mm)	要求道路状况
手推车 小型机动车	小于 500	20 ~ 30	平整
混凝土输送泵	小于 800	120 ~ 200	—
自卸汽车	小于 5000	20 ~ 30	平整
搅拌运输车	5000 及以上	120 ~ 220	不限

注:道路不平宜选用其他运输方式。

- 3 混凝土运输宜一次到位。
- 4 运输道路应保持平整。
- 5 手推车及小型机动车运输道路(作业道)坡度不宜大于 7%。
- 6 泵送混凝土宜连续进行,在进料斗、输送管道及出料斗中储放时间一般不宜超过 15min。

7 自卸汽车运输抗冻水泥混凝土应保持含气量均匀一致,运输车箱严密不漏浆,运输中应用篷布遮盖。运输时间不宜大于 10min。

说明

通过对路面水泥混凝土试验证明:由于长距离运输造成抗冻混凝土离析含气量损失较大,因此,运输方式的选择十分重要。条文中表 7.2.2 列出了混凝土运输距离、坍落度及道路状况的要求,长距离运输的混凝土,尤其是路面水泥混凝土要严格执行本规定。

7.2.3 抗冻水泥混凝土浇注应满足下列要求:

- 1 混凝土浇注出现离析应重新拌和,混凝土泌水率不应大于 1%。
- 2 混凝土含气量应均匀一致,气泡间距宜在 0.20 ~ 0.25mm 之间。
- 3 混凝土浇注应按一定厚度、顺序和方向进行,分层厚度不宜过薄,小型构件宜一次浇注成型。
- 4 抗冻水泥混凝土应连续浇注,各层之间不宜超过 20min;当含气量大于等于 5% 时,从拌和到浇注完成不宜超过 15min,含气量低于 5% 时,不宜超过 20min。

说明

抗冻混凝土掺入引气剂后,气泡间距越小,分布越均匀,抗冻效果越好。有关混凝土

抗冻性的书籍和手册中给出的气泡间距不尽一致,有 $0.2 \sim 0.25\text{mm}$ 、 $0.23 \sim 0.35\text{mm}$ 及 $0.1 \sim 0.4\text{mm}$ 者,最新出版的《实用混凝土大全》给出 $0.197 \sim 0.36\text{mm}$,这些大都在同等水平,所以条文中写 $0.2 \sim 0.25\text{mm}$ 是其中间值。可用《公路水泥混凝土路面施工技术规范》中附录 F2“制件或钻件试验”的方法来进行试验和检测。

本条对不同结构抗冻混凝土提出浇注要求,注重其均匀性及连续性,保持含气量,振捣密实,以求提高抗冻性能。

7.2.4 抗冻水泥混凝土低温施工除满足本节要求之外,还应按《公路桥涵施工技术规范》中有关条款执行。

1 低温施工的混凝土预制构件及现浇混凝土结构,强度等级未达到设计强度的80%时不得受冻。

2 抗冻水泥混凝土低温施工掺用早强剂、防冻剂等其他外掺剂前,必须经试验证明对混凝土抗冻性及强度有利无害后才可使用。

3 预应力孔道低温压浆应在构件或结构各部位温度 5°C 以上时进行。压浆后应采用保温加热养护,使强度达到 15MPa 以上。

说明

1 季冻区混凝土在冻前养护期越长强度越高,抗冻性能越强。为此规定其强度达到设计强度80%以上才允许受冻。

2 调查发现,混凝土低温施工因外掺剂种类繁杂及掺量大,出现裂纹、剥落及露石等现象,反而降低抗冻耐久性。

3 季冻区预应力梁孔道压浆后气温突然降低而造成冻胀裂纹屡屡发生,吉林省长平和吉江高速公路曾因此出现多片梁因管道压浆冻胀而发生裂纹。因此,本条特别加以强调。

7.2.5 抗冻水泥混凝土养护应符合下列规定:

1 抗冻水泥混凝土养护除按以下条款规定外,还应按现行《公路桥涵施工技术规范》及《公路水泥混凝土路面施工技术规范》执行。

2 抗冻水泥混凝土应养护至冻前强度达到设计强度的80%以上。

3 抗冻混凝土泌水应待水分挥发后,再喷洒养护剂。养护剂洒布应均匀满布不露空白;养护剂应与混凝土中所掺的外加剂相容。

4 抗冻水泥混凝土用加热法养护必须经过试验验证,并制定养护制度,控制含气量损失或提高拌和时的含气量。

5 加热养护宜选用暖室加热法,室温控制在 $40 \sim 60^{\circ}\text{C}$,混凝土各部位温度保持一致。养护升温速率应控制在 $10 \sim 15^{\circ}\text{C/h}$,降温速率控制在 $5 \sim 10^{\circ}\text{C/h}$ 。

说明

混凝土喷洒养护剂时有表面脱落现象,影响其抗冻性能,要引起注意。

一般加热养护混凝土会降低其抗冻性能,所以提出加热养护必须经过试验验证,制定养护制度,避免养护出现强度不足或影响抗冻性。

7.2.6 抗冻水泥混凝土质量检查验收应按以下规定进行。

1 抗冻水泥混凝土所用材料必须按本《指南》所制定的项目、标准、频率、方法在施工前和施工中进行试验检查。

2 开工前必须做抗冻水泥混凝土的含气量及抗冻标号试验,其技术指标应满足本《指南》的规定。

3 抗冻水泥混凝土的施工工艺除满足一般混凝土要求外,还应按本《指南》检查控制,拌和及浇注前均应检测含气量。

4 抗冻水泥混凝土的质量检验评定应以施工检验结果为主,也可检验施工中留取试件的抗冻性;必要时可用施工时所用的材料及施工配合比重新做直接抗冻试验或从构造物上取试样进行抗冻试验。检查项目、频率、方法和标准见表 7.2.6-1 及表 7.2.6-2。

表 7.2.6-1 抗冻水泥混凝土实测评定项目

项次	检查项目内容	规定值或允许误差	检验频率	检验方法
1	抗冻标号(F)	满足设计标号	见检验频率表	直接冻融法
2	强度标号(MPa)	满足设计标号	见检验频率表	直接破坏法
3	含气量(%)	配合比设计试件标准	每班不少于 4 次	改良气压法或规定的其他方法
4	坍落度(mm)	配合比设计试件标准	每班不少于 4 次	坍落度筒
5	粘聚性	良好	每班不少于 2 次	坍落度筒
6	保水性	无泌水	每班不少于 2 次	坍落度筒

注:含气量、坍落度、粘聚性及保水性应以浇注时检测为准。

表 7.2.6-2 抗冻水泥混凝土抗冻标号及强度检验频率

序号	混凝土结构	抗冻标号检验频率	强度等级检验频率
1	水泥混凝土路面	双车道 1~1.5km 1 组	双车道 1~2km 2 组
2	桥面	每座大桥不少于 3 组,特大桥不少于 5 组	每座不少于 3 组
3	水中桥墩	大中桥每墩 1 组,每座小桥 1 组	大中桥每墩 1 组,每座小桥 1 组
4	空心梁底板、顶板	每 10 片梁 1 组	每 10 片梁 3 组
5	栏水带、路缘石、护轮带、泄水桥	2000 延米 1 组	每 50m ² 2 组
6	桥上防撞墙、人行道面	200 延米 1 组,大桥每桥至少 3 组	每 50m ² 2 组,最少 3 组
7	边沟板、中央带板块等	500 m ² 1 组	每 50m ² 2 组
8	栏杆立柱、隔离墩等	100 延米 1 组,不少于 1 组	每 50m ² 2 组,不少于 3 组

注:强度检验频率除满足一般规范外,还必须达到表中频率。

5 抗冻水泥混凝土质量按以下方法评定。

1) 抗冻标号评定方法:

(1) 当混凝土试件的相对动弹性模量下降至 60% 或试件的质量损失率达 5% 时即终止该块试验, 记录其冻融循环次数。继续对剩余试块试验至 3 块均达到终止, 以 3 块试件冻融循环次数的平均值作为试验结果。如其中任一个试件循环次数值与平均值的差不低于平均值的 20% 时, 则取平均值; 如低于 20% 时取两个试件平均值; 如有两个试件循环次数值与平均值的差均低于 20% 时, 则将循环次数最高的一个试件降一级参与评定。

(2) 试件各组抗冻标号平均值不低于设计值; 任一组试件的抗冻标号不应低于 0.85 倍设计值。

2) 抗冻水泥混凝土强度标号评定按照相关规范和公路工程质量检验评定标准执行。

3) 含气量评定以同一混合料连续两次测定结果的平均值为最终结果。如两次含气量测值相差在 0.2 以上时, 再做两次连续试验取平均值, 直到相差在允许范围内。含气量评定可用统计法, 代表值 V 按下式计算:

$$V = \bar{V} - \frac{t_{\alpha s}}{\sqrt{n}} \geq V_0$$

式中: $\bar{V}$ ——批次内各次检测含气量的平均值;

$t_{\alpha}/\sqrt{n}$ ——分布表中随测点数和保证率而变的系数, 水泥混凝土路面保证率 95%, 其他水泥混凝土, 90%, 见表 7.2.6-3;

表 7.2.6-3 $t_{\alpha}/\sqrt{n}$ 值

保证率 α	95%	90%	保证率 α	95%	90%
2	4.465	2.176	20	0.387	0.297
3	1.686	1.089	21	0.376	0.289
4	1.177	0.819	22	0.367	0.282
5	0.957	0.686	23	0.358	0.275
6	0.823	0.603	24	0.350	0.269
7	0.734	0.544	25	0.342	0.264
8	0.670	0.500	26	0.335	0.258
9	0.620	0.466	27	0.328	0.253
10	0.580	0.437	28	0.322	0.248
11	0.546	0.414	29	0.316	0.244
12	0.518	0.393	30	0.310	0.239
13	0.494	0.376	40	0.266	0.206
14	0.473	0.361	50	0.237	0.184
15	0.455	0.347	60	0.216	0.167
16	0.438	0.335	70	0.199	0.155
17	0.423	0.324	80	0.186	0.145
18	0.410	0.314	90	0.175	0.136
19	0.398	0.305	≥ 100	0.166	0.129

s ——检测值的标准差；

n ——批次内的检测次数；

V_0 ——含气量的设计值。

4)抗冻水泥混凝土的坍落度、粘聚性和保水性评定以同批混合料平均值的良好率达95%以上为合格。

说明

1~3 抗冻水泥混凝土目前尚无比较全面的检查、验收及评定方法,本条对其所用材料、配合比设计指标、施工工艺及最终检验评定均做了规定,以便有所遵循。

4 抗冻水泥混凝土抗冻标号检验频率,因试验设备较复杂,现场检验有一定困难,所以规定的频率较低。对大型水泥混凝土路面工程现场应有试验设备,可根据需要提高检验频率。

5 抗冻水泥混凝土抗冻标号试验评定方法参照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》和《公路工程质量检验评定标准》中相应条款制定。试验结果评定因试件数量较少暂用平均值法,按每块试件逐一满足终止条件并得出抗冻标号后,再统一评定最终抗冻标号。

附录 A 土的冻胀率试验测定方法

1 本试验方法适用于原状、扰动粘土和砂土。

2 本试验所用主要仪器设备应符合下列规定。

2.1 冻胀量试验装置,由试样盒、恒温箱、温度控制系统、温度监测系统、补水系统、变形监测系统和加压系统组成。

2.2 试样盒由外径为 120mm、壁厚为 10mm 的有机玻璃筒和与之配套的顶、底板组成。

有机玻璃筒周侧每隔 10mm 设热敏电阻温度计插入孔。顶底板的结构能提供恒温液循环和外界水源补给通道,并使板面温度均匀。

2.3 恒温箱的容积不小于 0.8m^3 ,内设冷液循环管路和加热器(功率为 500W),通过热敏电阻温度计与温度控制仪相连,试验期间使恒温箱保持在 $(1 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。

2.4 温度控制系统由低温循环浴和温度控制仪组成,提供试验所需的顶、底板温度。

2.5 温度监测系统由热敏电阻温度计、数据采集仪和电子计算机组成,监测试验过程中土样、顶、底板温度和箱温变化。

2.6 补水系统由恒定水位的供水装置通过塑料管与顶板相连,水位应高出顶板与土样接触面 10mm,试验过程中定时记录水位以确定补水量。

2.7 变形监测系统可用百分表或位移传感器(量程 30mm,最小分度值 0.01mm),有条件时可采用数据采集仪和计算机,监测试验过程中土样变形量。

2.8 加压系统由液压油源及加压装置(或加压框架和砝码)组成。(加压系统仅在需要模拟原状土天然受压状况时使用,加载等级根据天然受压状况确定)。

3 原状土试验应按下列步骤进行:

3.1 土样应按自然沉积方向放置,剥去蜡封和胶带,开启土样筒取出土样。

3.2 用土样切削器将原状土样削成直径为 100mm、高为 50mm 的试样,称量确定密度并取余土测定初始含水率。

3.3 有机玻璃试样盒内壁涂上一层凡士林,放在底板上,盒内放一张薄型滤纸,然后将试样放入盒内,让其自由滑落在底板上。

3.4 在试样顶面再加上一层薄型滤纸,然后放上顶板,并稍稍加力,以使试样与顶、底板接触紧密。

3.5 将盛有试样的试样盒放入恒温箱内,试样周侧、顶、底板内插入热敏电阻温度计,试样周侧包裹 50mm 厚的泡沫塑料保温。连接顶、底板冷液循环管路及底板补水管路,供水并排除底板内气泡,调节水位。安装位移传感器。

3.6 开启恒温箱、试样盒、顶、底板冷浴,设定恒温箱冷浴温度为 -15°C 、箱内气温为 1°C ,顶、底板冷浴温度为 1°C 。

3.7 试样恒温 6h,并监测温度和变形。待试样初始温度均匀达到 1°C 时,开始试验。

3.8 底板温度调节到 -15°C 并持续 0.5h,让试样迅速从底面冻结,然后将底板温度调节到 -2°C 。使粘土以 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、砂土以 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度降温。保持箱温和顶板温度均为 1°C ,记录初始水位。每隔 1h 记录水位、温度和变形量各一次。试验持续 72h。

3.9 试验结束后,迅速从试样盒中取出土样,测量试样高度并测定冻结深度。

4 扰动土试验,应按下列步骤进行:

4.1 称取风干土样 700g,加纯水拌匀呈稀泥浆,装入内径为 100mm 的有机玻璃筒内,加压固结,直至达到所需初始含水率后,将土样从有机玻璃筒中推出,并将土样高度修正到 50mm。

4.2 继续按 3 条(3) - (9)款的步骤进行试验。

5 冻胀率应按下式计算:

$$\eta = \frac{\Delta h}{H_f} \times 100$$

式中: η ——冻胀率(%);

Δh ——试验期间总冻胀量(mm);

H_f ——冻结深度(不包括冻胀量)。

附录 B 沥青混合料冻融劈裂试验方法

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于在规定条件下对沥青混合料进行冻融循环,测定混合料试件在经过数个冻融循环前后的劈裂强度比,以评价沥青混合料的抗冻性。非经注明,试验温度为 25°C ,加载速率为 $50\text{mm}/\text{min}$ 。

1.2 本试验采用马歇尔击实法成型的圆柱体试件,击实次数分别为双面各 75 次、50 次,集料公称最大粒径不得大于 26.5mm 。

2 仪器和设备

2.1 试验机:能保持规定加载速率的材料试验机,也可采用马歇尔试验仪。试验机负荷应满足最大测定荷载不超过其量程的 80%,且不小于其量程的 20%的要求,宜采用 40kN 或 60kN 传感器,读数精度为 10N 。

2.2 恒温冰箱:能保持温度为 -20°C 。当缺乏专用的恒温冰箱时,可采用家用电冰箱的冷冻室代替,控温准确度为 1°C 。

2.3 恒温水槽:用于试件保温,温度范围能满足试验要求,控温准确度为 0.5°C 。

2.4 压条:上下各一根,试件直径 100mm 时,压条宽度为 12.7mm ,内侧曲率半径 50.8mm ,压条两端均应磨圆。

2.5 劈裂试验夹具:下压条固定在夹具上,压条可以上下自由活动。

2.6 其他:塑料袋、长尺、天平、记录纸及胶皮手套等。

3 方法与步骤

3.1 按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)中 T 0702 方法制作圆

柱体试件 10 个。用马歇尔击实仪双面击实 75 次或 50 次。

3.2 按本规程的规定方法测定试件的直径及高度,准确至 0.1mm,试件尺寸应符合直径 $101.6\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$,高 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 的要求。在试件两侧通过圆心画正对称的十字标记。

3.3 按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)规定的方法测定试件的密度、空隙率等各项物理指标。

3.4 将试件随机分成两组,每组 5 个,将第一组试件置于平台上,在室温下保存备用。

3.5 将第二组试件按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)中 T 0717 标准的饱水试验方法真空饱水,在 $98.3 \sim 98.7\text{kPa}$ ($730 \sim 740\text{mmHg}$) 真空条件下保持 15min,然后打开阀门,恢复常压,试件在水中放置 0.5h。

3.6 取出第二组试件分别放入塑料袋中,加入约 10ml 的水,扎紧袋口,将试件放入恒温冰箱(或家用冰箱的冷冻室),冷冻温度为 $-20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,保持 $16\text{h} \pm 1\text{h}$,使塑料袋内的水全部结冰。

3.7 将试件取出撤去塑料袋,放入已保温为 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中,保持 $8\text{h} \pm 1\text{h}$,直至试件孔隙内的冰全部融化。

3.8 重复 3.5、3.6、3.7 的步骤,直至试件冻融 10 个循环为止。

3.9 将经过第 10 次冰冻的试件取出后,立即放入已保温为 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中,撤去塑料袋,保温 24h。

3.10 将第一组与第二组全部试件放入温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中不少于 2h,水温高时可适当加入冷水或冰块调节,试件之间的距离不少于 10mm。

3.11 取第一组、第二组各 5 个试件按上述规程 JTJ 052—2000 中 T 0716 用 50mm/min 的加载速率进行劈裂试验,取得试验的最大荷载。

4 计算

4.1 劈裂抗拉强度按下式计算:

$$R_T = 0.63662 P_T / (d \cdot h)$$

式中: R_T ——冻融试验前后的试件劈裂抗拉强度(MPa);

P_1 ——冻融试验前后的试件试验荷载的最大值(N);

h ——冻融试验前后的试件高度(mm);

d ——冻融试验前后的试件直径(mm)。

4.2 冻融劈裂抗拉强度比:

$$TSR = (R_{T2} / R_{T1}) \times 100$$

式中: TSR——冻融劈裂抗拉强度比(%);

R_{T2} ——冻融循环后试件劈裂抗拉强度(MPa);

R_{T1} ——未冻融试件劈裂抗拉强度(MPa)。

5 报告

5.1 每组试验的有效试件不得少于 5 个,取其平均值作为试验结果,当一组测定值中某个数据与平均值之差大于标准差的 K 倍时,该测定值应予舍弃,并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目 n 为 3、4、5、6 个时, K 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

5.2 试验结果均应注明试件尺寸、成型方法、试验温度、加载速率。

附录 C 水泥混凝土抗冻性试验方法(快冻法)

1 目的和适用范围

测定混凝土在水和负温共同反复作用下的抵抗能力。适用于以动弹性模量和质量损失率作为评定指标的《指南》条文中规定的混凝土抗冻性试验。

2 仪器设备

2.1 快速冻融试验装置:能使试件固定在水中不动,依靠热交换液体的温度变化而连续、自动地按照本方法第4条的要求进行冻融的装置。满载运行时冻融箱内各点温度的级差不得超过 2°C 。

2.2 试件盒:橡胶盒(也可用不锈钢板制成),净截面尺寸为 $110\text{mm}\times 110\text{mm}$,高 500mm 。

2.3 动弹性模量测定仪:共振法频率测量范围 $100\sim 10\,000\text{Hz}$ 。

2.4 案秤:称量 10kg ,感量 5g ,或称量 20kg ,感量 10g 。

2.5 热电偶电位差计:能测量试件中心温度,测量范围 $-20\sim 20^{\circ}\text{C}$,允许偏差 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

3 试样置备

采用截面为 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 400\text{mm}$ 的棱柱体混凝土试件,每组三根,在试验过程中可连续使用。除制作冻融试件外,尚应制备中心可插入热电偶电位差计测温的同样形状尺寸标准试件,其抗冻性能应高于冻融试件。

4 试验步骤

4.1 按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30—2005)“水泥混凝土试件制作与硬化水泥混凝土现场取样方法”进行试件的制作和养护。试验龄期如无特殊要求一般为28d。在规定龄期的前4d,将试件放在 $20^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ 的水中浸泡,水面至少高出试件 20mm (对

水中养护的试件,到达规定龄期时,即可直接用于试验)。浸泡 4d 后进行冻融试验。

4.2 浸泡完毕,取出试件,用湿布擦去表面水分。按 JTG E30—2005 中 T 0564“水泥混凝土动弹性模量试验方法(共振仪法)”测横向基频,并称其质量作为评定抗冻性的起始值,并作必要的外观描述。

4.3 将试件放入橡胶试件盒中,加入清水,使其没过试件顶面约 1~3mm(如采用金属试件盒,则应在试件的侧面与底部垫放适当宽度与厚度的橡胶板或多根直径 3mm 的电线,用于分离试件和底部)。将装有试件的试件盒放入冻融试验箱的试件架中。

4.4 按规定进行冻融循环试验,应符合下列要求:

(1)每次冻融循环应在 2~5h 完成,其中用于融化的时间不得小于整个冻融时间的 1/4。

(2)在冻结和融化终了时,试件中心温度应分别控制在 $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 和 $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。中心温度应以测温标准试件实测温度为准。

(3)在试验箱内,各个位置上的每个试件从 3°C 降至 -16°C 所用的时间,不得少于整个受冻时间的 1/2,每个试件从 -16°C 升至 3°C 所用的时间也不得少于整个融化时间的 1/2,试件内外温差不宜超过 28°C 。

(4)冻结和融化之间的转换时间不应超过 10min。

4.5 通常每隔 25 次冻融循环对试件进行一次横向基频的测试并称重,也可根据试件抗冻性高低来确定测试的间隔次数。测试时,小心将试件从试件盒中取出,冲洗干净,擦去表面水,进行称重及横向基频的测定,并作必要的外观描述。测试完毕后,将试件调头重新装入试件盒中,注入清水,继续试验。试件在测试过程中,应防止失水,待测试件须用湿布覆盖。

4.6 如试验因故中断,应将试件在受冻状态下保存在原试件箱内。如无这一可能,试件处在融解状态下的时间不宜超过两个循环。

4.7 某个试件冻融试验到达以下三种情况的任何一种时,即可停止试验。

(1)冻融至 300 次循环。

(2)试件的相对动弹性模量下降至 60% 以下。

(3)试件的质量损失率达 5%。

5 试验结果计算

5.1 相对动弹性模量 p 按下式计算:

$$p = \frac{f_n^2}{f_0^2} \times 100 \quad (\text{C-1})$$

式中: p ——经 n 次冻融循环后试件的相对动弹性模量(%);

f_n ——冻融 n 次循环后试件的横向基频(Hz);

f_0 ——试验前的试件横向基频(Hz);

5.2 质量损失率 W_n 按下式计算:

$$W_n = \frac{m_0 - m_n}{m_0} \times 100 \quad (\text{C-2})$$

式中: W_n —— n 次冻融循环后的试件质量损失率(%);

m_0 ——试件冻融试验前的试件质量(kg);

m_n —— n 次冻融循环后的试件质量(kg)。

以 3 个试件的平均值为试验结果,精确至 0.1%。

5.3 试验结果:

当平均值的 p 小于或等于 60% 或质量损失率达 5% 时的冻融循环次数 n , 即为试件的抗冻标号。

附录 D 半刚性基层混合料抗冻性试验方法

1 目的和适用范围

本试验方法适用于二灰稳定类、水泥稳定类等半刚性材料抗冻性试验。

半刚性基层材料的抗冻性以冻融残留抗压强度比来表征。是按规定龄期(28d 或 180d)的半刚性基层材料在经过数个冻融循环后的饱水无侧限抗压强度与冻前饱水无侧限抗压强度的比值。

本试验方法用混合料成型的最大干密度和最佳含水量标准制备的试件。试件采用直径为 150mm 的圆柱体,高度与直径之比为 1:1。

2 仪器设备

2.1 路用材料强度试验仪或规格不小于 200kN 的压力机;

2.2 试模:

试模直径 $\times$ 高=150mm $\times$ 150mm;

2.3 天平:感量 0.01g;

2.4 脱模器;

2.5 恒温(20 $\pm$ 2) $^{\circ}$ C保湿(97%)养生箱;

2.6 恒温冰箱:能保持温度为 -18° C,当缺乏专用的恒温冰箱时,可采用家用电冰箱的冷冻室代替,控温准确度为 $\pm 1^{\circ}$ C;

2.7 台秤:称量 15kg,感量 5g;

2.8 水槽:深度大于试件高度 50mm;

2.9 其他仪器:量筒、拌和工具、漏斗、大小铝盒、烘箱等。

3 试料的准备

试料的准备按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057—94)中的 T 0805 第 4.0.3 条进行。

4 试件制备

4.1 无机结合料稳定材料的最大干密度和最佳含水量按照击实试验方法确定,或者按振动压实试验方法确定。静压法成型试件压实度取 98%。

4.2 每组试件个数为 2×9 个。

5 试件养生

养生温度取 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$;

冻融 5 次循环的试件养生期为 28d,冻融 10 次循环的试件养生期为 180d。

6 试验步骤

6.1 养生龄期结束前一天,将试件在室温下饱水 24h。

6.2 将饱水后的试件从水中取出,拭干表面的水分、称重。用游标卡尺量试件的高度 h_1 ,准确到 0.1mm。

6.3 把试件分成两组,每组 9 个试件,第一组试件放到路面材料强度试验仪的升降台上(台上先放一个扁球座),进行抗压试验。试验过程中,应使试件的形变等速增加,并保持速率约为 $1\text{mm}/\text{min}$ 。记录试件破坏时的最大压力 $P(\text{N})$ 。

6.4 将第二组试件放入恒温冰箱(或家用冰箱的冷冻室),冷冻温度为 $-18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,保持冰冻 $16\text{h} \pm 1\text{h}$ 。

6.5 将第二组经过冰冻的试件取出,称重,用游标卡尺量试件的高度 h_2 ,准确到 0.1mm,然后放入室温为 20°C 的水槽中融化,保持 $8\text{h} \pm 1\text{h}$ 。

6.6 将第二组经过冻融循环的试件从水槽中取出,用软物吸去试件表面自由水,并称试件的质量,然后放入冰箱中,重复第一个冻融循环的过程。

6.7 根据试验要求,分别冻融 5 个或 10 个循环。对最后一个冻融循环的试件从冰箱中取出,放入水槽中饱水 24h,饱水结束后从水中取出,拭去表面的自由水,然后称重,量高。

6.8 把经过冻融循环的试件放到路面材料试验仪的升降台上,进行抗压试验。试验过程中,应使试件的形变等速增加,并保持速率约为 $1\text{mm}/\text{min}$ 。记录破坏时的最大压力 $P(\text{N})$ 。

7 计算

7.1 试件无侧限抗压强度的计算

$$R_c(R_{DC}) = P/A = 0.000\ 057\ P \quad (\text{D-1})$$

式中: R_c 、 R_{DC} ——试件冻融前、后的饱水无侧限抗压强度(MPa);

P ——试件破坏时的最大压力(N);

A ——试件的截面积(mm^2)。

7.2 试验的允许误差

对于试件的试验偏差系数 $C_v(\%)$ 应不大于 20%。

7.3 半刚性基层材料冻融残留抗压强度比的计算

$$\text{BDR} = (R_{DC}/R_c) \times 100 \quad (\text{D-2})$$

式中: BDR——半刚性基层材料冻融残留强度比(%);

R_c 、 R_{DC} ——意义同前。

附录 E 全国冻区最大降水量及蒸发量

全国冻区降水量及蒸发量

地 区	最近十年最大 年降水量(mm)	最近十年最大 年蒸发量(mm)	地 区	最近十年最大 年降水量(mm)	最近十年最大 年蒸发量(mm)
黑 龙 江					
哈尔滨市、双城、巴彦	753	1831	伊春	881	1602
哈尔滨地区	1025	1831	牡丹江	716	1279
齐齐哈尔市、泰来、龙江	591	2364	佳木斯	924	2149
齐齐哈尔地区	901	2048	七台河	685	1631
綦 河	965	1787	黑河	739	1320
双鸭山	841	1911	绥化	763	1817
鸡西	813	1402	大兴安岭	747	1225
大庆	616	2124			
内 蒙 古					
呼和浩特	562	2555	呼伦贝尔地区	748	2493
包头	453	2831	乌兰察布盟	478	2516
乌海	453	2517	锡林郭勒盟市区、 多伦、正蓝旗	565	2457
赤峰	678	2608	锡林郭勒盟地区	438	2433
通辽	664	2767	巴彦淖尔盟市区、 临河	243	3471
鄂尔多斯市区	559	3106	巴彦淖尔盟地区	453	2831
鄂尔多斯地区	397	2481	阿拉善盟市区	279	2790
呼伦贝尔市区	360	3600	阿拉善盟地区	150	5000
兴安盟	726	3630			
吉 林					
长春	861	2460	白山	1265	1757
吉林	973	1569	松原	713	3395
四平	769	1602	白城	726	3457

续上表

地 区	最近十年最大 年降水量(mm)	最近十年最大 年蒸发量(mm)	地 区	最近十年最大 年降水量(mm)	最近十年最大 年蒸发量(mm)
辽源	943	1779	通化地区	943	1779
通化市区、集安	1295	1727	延吉	853	2245
辽 宁					
沈阳	1076	2502	锦州	1059	3115
大连	977	1954	葫芦岛	909	2525
鞍山	1064	1960	营口	880	2256
抚顺	1130	1687	盘锦	1059	3115
本溪	1244	2592	阜新	776	2587
丹东市区、宽甸	1590	1710	辽阳	935	2280
丹东地区	893	2178	铁岭	1076	2502
朝阳	726	2689			
新 疆					
乌鲁木齐	419	2619	昌吉	419	2619
克拉玛依	154	5133	博乐市区	149	1863
石河子	340	2267	博乐地区	394	1876
阿拉尔	92	3067	伊宁市区、奎屯	449	2363
图木舒克	92	3067	伊宁地区	653	1484
伍道梁	92	3067	塔城	440	2588
吐鲁番	33	3300	阿勒泰	326	4637
哈密市区、伊吾	197	3283	哈密地区	285	2192
阿克苏市区、沙雅、库车、新和、拜城、阿瓦提				186	3720
阿克苏地区	354	2723	阿图什地区	354	2723
喀什	159	5300	库尔勒市区、且末、轮台、若羌、和静、博湖、焉耆	142	2840
阿图什市区	159	5300	和田	154	5133
那曲市区、申扎、尼玛、安多、聂荣、班戈				56	5600
西 藏					
拉萨	620	2632	库尔勒地区	351	2847
那曲地区	868	1720	日喀则地区	768	2334
昌都	795	1691	噶尔	202	2886
乃东	586	2021	林芝市区、察隅	868	1578
日喀则市区、定结、萨迦、拉孜、昂日、岗巴、仲巴、萨嘎、江孜、康马、亚东、仁布				647	2813

续上表

地 区	最近十年最大 年降水量(mm)	最近十年最大 年蒸发量(mm)	地 区	最近十年最大 年降水量(mm)	最近十年最大 年蒸发量(mm)
林芝地区	529	2519			
青 海					
西宁	431	1837	共和	489	1885
平安市区	431	1658	玛沁市区、班玛、 久治	804	1411
平安地区	609	2030	玛沁地区	383	1532
海北藏族自治州	599	1274	玉树	652	1976
同仁	437	1748	德令哈	253	2530
甘 肃					
兰州	457	1693	张掖	286	3178
金昌	279	2790	平凉	662	2135
白银市区	296	1973	酒泉	147	3675
白银地区	535	1574	庆阳	635	1984
天水	558	1924	定西	653	1633
嘉峪关	147	3675	成县	626	2608
武威市区、民勤	251	2510	合作	653	1633
武威地区	460	1704	临夏	609	1603
河 北					
石家庄市	1098	3137	邢台	799	3073
石家庄地区	734	2823	保定	947	3055
唐山	963	2189	张家口	592	2574
秦皇岛	929	1896	邯郸	799	3073
承德市区、围场满 族蒙古族自治县	680	1943	廊坊	947	3055
承德地区	963	2189	衡水	715	2979
沧州	937	3346			
直 辖 市					
北京	813	2541	天津	716	2238
陕 西					
西安	769	1876	汉中市区	976	1914
铜川	769	1876	汉中地区	626	2236
宝鸡	698	1886	榆林市区、横山、 定边	456	2533

续上表

地 区	最近十年最大 年降水量(mm)	最近十年最大 年蒸发量(mm)	地 区	最近十年最大 年降水量(mm)	最近十年最大 年蒸发量(mm)
咸阳	769	1876	榆林地区	630	2100
渭南	769	1876	安康	976	1914
延安	691	1919	商洛	824	1682
山 西					
太原	696	2578	忻州地区	864	2400
大同	554	3078	临汾	689	2756
长治	686	2983	运城	658	2861
阳泉	696	2578	离石	689	2756
晋城	824	2354	晋中	696	2578
忻州市区、神池、五寨、宁武、静乐、岢岚、偏关、河曲、保德				659	2865
朔州	554	3078			
宁 夏					
银川	287	2609	吴忠	392	2613
石嘴山	238	2644	固原	662	2283
河 南					
郑州市区	1000	2439	洛阳市区、洛宁	824	1648
郑州地区	794	2335	洛阳地区	1095	1921
开封	1000	2439	平顶山	1095	1921
焦作	863	2271	漯河	938	1954
鹤壁	853	2843	三门峡	824	1648
新乡	1000	2439	南阳	1095	1921
安阳	853	2843	商丘	938	1954
濮阳	853	2843	信阳	1000	2439
许昌	1000	2439	周口	1000	2439
济源	794	2335	驻马店	1000	2439
山 东					
济南	872	2491	东营	714	2231
青岛	882	2051	潍坊	705	2136
淄博市、高青	714	2231	烟台市区	597	1809
淄博地区	947	2310	烟台地区	896	1948
枣庄	1004	2049	威海	1004	2049
聊城	872	2491	济宁	891	1856
滨州	714	2231	莱芜	564	1567

续上表

地 区	最近十年最大 年降水量(mm)	最近十年最大 年蒸发量(mm)	地 区	最近十年最大 年降水量(mm)	最近十年最大 年蒸发量(mm)
菏泽	853	1854	德州	767	2557
泰安市区	564	1567	临沂	1120	2154
泰安地区	947	2310	日照	1120	2154
四 川					
成都	1754	1014	德阳	1754	1014
自贡	1754	1014	绵阳	904	1435
攀枝花	1754	1014	广元	626	1391
泸州	1754	1014	阿坝藏族羌族自 治州	928	1573
遂宁	1754	1014	资阳	1754	1014
内江	1754	1014	甘孜藏族自治州 地区	345	2113
乐山	1754	1014	凉山彝族自治州 市区	1754	1014
南充	1754	1014	凉山彝族自治州 地区	1058	2784
宜宾	1754	1014	巴中	626	1391
广安	1754	1014	雅安	1754	1014
达州	976	1914	眉山	1754	1014
甘孜藏族自治州市区、雅江、理塘、巴塘				1035	1848

附录 F 路基路面抗冻检验算例

一新建四车道一级公路,路基宽 24.5m,所在地区为重冻区,按公路自然区划为 II₃ 区,路基高度为 1.5m,路基填土为粘质土,地基土为粉质土,拟采用的沥青路面结构见图 F-1。经调查及从规范相应的图表中查取获得以下资料:

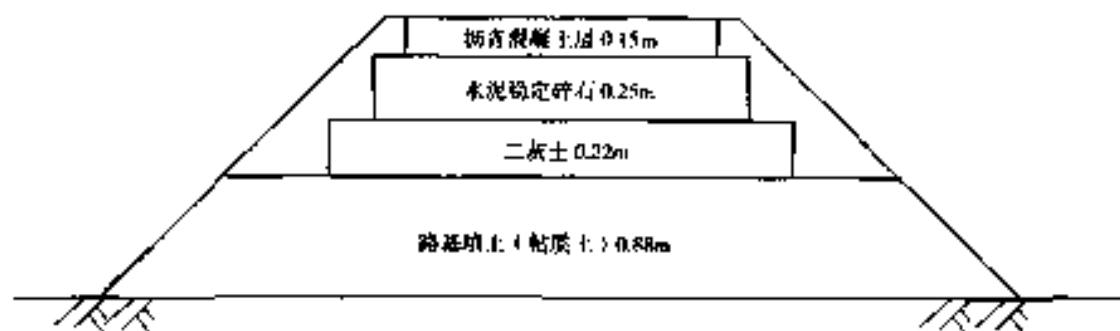


图 F-1 拟用路面结构示意图

1 设计资料

1) 道路所在地区的气候资料和水文地质资料

查图 3.1.1-1 和附录 E 取近 10 年冻结指数最大值 F 为 2100℃,近 10 年最大年降水量 R_m 为 701mm,近 10 年大地标准冻深 Z_d 为 1.6m,潮湿系数 k 为 0.36。查表 3.1.4,该地区为 I_B 区;调查年的降水量 R 为 610mm,不利时期测得的地下水位为地面以下 1.2m。

2) 路基土和地基土的性状资料

测定路基填土的液限为 45.3%,塑限为 21.5%。参考路基干湿状况的临界高度和干湿分界稠度的建议值,估计不利时期该路基处于潮湿状态,相应的路基填土含水量约为 24.0%,地基粉质土的含水量约为 23.4%,查表 3.1.2 得两种土的起始冻胀含水量分别为 15% 和 12%。

2 道路冻深计算

道路冻深按式(5.2.4)计算:

$$Z_{\max} = a \cdot b \cdot c \cdot Z_d$$

1) 大地标准冻深范围内路基路面各结构层的厚度

由图 F-1 可知,路面结构总厚度为 0.62m,其中沥青混凝土层厚 0.15m,水泥稳定碎石层厚 0.25m,石灰粉煤灰土层厚 0.22m。道路所在地区大地标准冻深取 1.6m,初步估计道

路冻深范围内的路基土层冻深为 1.1m(其中地基土层冻结 0.22m),该路基为全冻路堤。

2)路基路面材料的热物性系数

查表 5.2.4-1 路基路面各结构层材料的热物性系数分别为:粘质土 1.05,粉质土 1.1,二灰土 1.35,水泥碎石 1.4,沥青混凝土 1.35,路基路面材料的综合热物性系数为:

$$a = (0.15 \times 1.35 + 0.25 \times 1.4 + 0.22 \times 1.35 + 0.88 \times 1.05 + 0.22 \times 1.1) / 1.72 = 1.172$$

3)路基湿度类型系数 b 和断面形式系数 c

分别查表 5.2.4-2 和表 5.2.4-3 取值, $b = 0.90$, $c = 1.01$ 。

4)计算道路冻深

$$Z_{\max} = a \cdot b \cdot c \cdot Z_d = 1.172 \times 0.90 \times 1.01 \times 1.60 \approx 1.71\text{m}$$

3 计算路基冻胀值及路基抗冻性检验

1)路基填土和地基土的冻胀率计算

路基填土和地基土的冻胀率按式(3.1.2)计算:

$$\eta = \left(\frac{R_m}{R} \cdot W - W_0 \right) \cdot \lambda + 2$$

已知 R_m 为 701mm, R 为 610mm;路基填土(粘质土)的含水量为 24.0%,其起始冻胀含水量取 15%;地基土(粉质土)的含水量为 23.4%,其起始冻胀含水量取 12%;土质系数 λ 均取 0.25。计算粘质土和粉质土的冻胀率分别为:

$$\eta_1 = (701/610 \times 24.0 - 15) \times 0.25 + 2 = 5.15(\%)$$

$$\eta_2 = (701/610 \times 23.4 - 12) \times 0.25 + 2 = 5.72(\%)$$

2)路基总冻胀值的计算

路基总冻胀值按式(4.1.1)计算:

$$z_j = \sum_{i=1}^n h_i \eta_i$$

由计算的道路冻深知,道路冻深范围内土基的冻结深度为:

$$Z_{\max} - H_1 = 1.71 - 0.62 = 1.09\text{m}$$

其中路基填筑的粘质土层厚为 0.88m,地基粉质土层厚 0.21m,相应的粘质土的冻胀率 η_1 为 5.15%,粉质土的冻胀率为 5.72%,因此,路基总冻胀值为

$$z_j = (5.15 \times 0.88 + 5.72 \times 0.21) / 100 \times 1000 \approx 57\text{mm}$$

4 路基容许冻胀值的检验

查表 4.1.1-1 知,一级公路,沥青混凝土路面满足路面平整度要求的路基容许总冻胀值 $z_y = 50\text{mm}$,比较结果为 $z_j > z_y$,即路基不满足路面平整度要求的容许冻胀值。应采取 4.2~4.6 条款相应的技术措施进行改善或调整设计(例如按表 4.2.1 的要求对道路冻深范围内的土质进行置换等措施)。

5 路面抵抗冻胀开裂的检验

半刚性基层是验算路面开裂的层位,路面冻胀开裂按式(5.2.2)进行检验:

$$\epsilon_j = \frac{24H_j}{5B_k^2} \cdot z_j \cdot \xi \cdot 10^6 \leq \epsilon_s \cdot \frac{1}{K}$$

检验半刚性基层顶面的开裂:

忽略沥青混凝土面层对冻胀的抑制作用,待验算的路面结构厚度 H_i 为 $0.62 - 0.15 = 0.47\text{m}$,路面计算宽度 B_k 取 $10.25 + 2 \times 0.5 = 11.25\text{m}$,已算得路基计算冻胀值 57mm , ξ 取 0.2 ,按式(5.2.2)算得水泥稳定碎石顶面的计算拉应变为:

$$\epsilon_j = \frac{24 \times 0.47}{5 \times 11.25^2} \times 0.057 \times 0.2 \times 1\,000\,000 = 203\mu$$

根据 5.2.2 条水泥稳定碎石低温拉应变指标 ϵ_s 取 210μ ,若取 $K = 1.1$,结果比较 $203\mu > 210\mu/1.1 = 191\mu$,所以半刚性基层因冻胀可能产生纵向开裂。

可通过改善路基冰冻稳定性的一系列措施使路基的总冻胀值减小,如增加路面抗冻垫层、改善土质、降低土的含水量等。

6 路面防冻垫层的设计

若考虑设置防冻垫层,则按式(5.2.3)设计满足路面平整度要求并保证水泥稳定碎石基层不开裂的防冻垫层厚度:

$$h_{\min} = Z_{\max} - \frac{5B_k^2 \cdot \epsilon_s}{24H_j \cdot K\xi\eta \times 10^6} - H_i$$

所以满足路面平整度要求时路基的容许冻层厚度:

$$h_j = 0.88 + (0.05 - 0.0515 \times 0.88)/0.0572 = 0.96\text{m}$$

满足路面基层极限拉应变要求时路基的容许冻层厚度:

$$h_s = \frac{5 \times 11.25^2 \times 0.00021}{24 \times 0.47 \times 1.1 \times 0.2 \times 0.0526} = 1.02\text{m}$$

最小防冻垫层厚度:

$$h_{\min} = 1.70 - 0.96 - 0.62 = 0.12\text{m}$$

本《指南》用词说明

一、对《指南》条文执行严格程度的用词说明如下：

1. 表示很严格，非这样做不可：

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：

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：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的采用“可”。

二、《指南》条文中，“条”、“款”之间或与其他规范之间的关系写法：应符合……要求或规定，应按……执行，应遵守……规定。如非必须按所指规范执行，其写法为“可参照……”。

公路工程常用标准、规范、规程一览表

序号	名 称	定价	序号	名 称	定价
1	(JTG B01-2003)公路工程技术标准	28.0	35	(JTJ 051-93)公路土工试验规程	25.0
2	(JTJ 002-87)公路工程名词术语	22.0	36	(JTJ 052-2000)公路工程沥青及沥青混合料试验规程	40.0
3	(JTG B03-2006)公路建设项目环境影响评价规范	30.0	37	(JTG E30-2005)公路工程水泥及水泥混凝土试验规程	32.0
4	(JTJ 003-86)公路自然区划标准	16.0	38	(JTG E41-2005)公路工程岩石试验规程	18.0
5	(JTJ 004-89)公路工程抗震设计规范	15.0	39	(JTJ 056-84)公路工程水质分析操作规程	8.0
6	(JTG/T B05-2004)公路项目安全性评价指南	18.0	40	(JTJ 057-94)公路工程无机结合料稳定材料试验规程	6.6
7	(JTJ/T 006-98)公路环境保护设计规范	8.0	41	(JTG E42-2005)公路工程集料试验规程	30.0
8	(JTJ 011-94)公路路线设计规范	15.0	42	(JTJ 059-95)公路路基路面现场测试规程	13.5
9	(JTG D30-2004)公路路基设计规范	38.0	43	(JTJ/T 060-98)公路土工合成材料试验规程	13.0
10	(JTG D40-2003)公路水泥混凝土路面设计规范	26.0	44	(JTJ 061-99)公路勘测规范	15.0
11	(JTJ 014-97)公路沥青路面设计规范	18.0	45	(JTG C30-2002)公路工程水文勘测设计规范	22.0
12	(JTJ 015-91)公路加筋土工程设计规范	12.0	46	(JTJ 063-85)公路隧道勘测规范	12.0
13	(JTJ 016-93)公路粉煤灰路堤设计与施工技术规范	4.0	47	(JTJ 064-98)公路工程地质勘察规范	28.0
14	(JTJ 017-96)公路软土地基路堤设计与施工技术规范	16.0	48	(JTJ 065-97)公路摄影测量规范	15.0
15	(JTJ 018-97)公路排水设计规范	12.0	49	(JTJ/T 066-98)公路全球定位系统(GPS)测量规范	7.0
16	(JTJ/T 019-98)公路土工合成材料应用技术规范	12.0	50	(JTG F80/1-2004)公路工程质量检验评定标准(第一册土建工程)	46.0
17	(JTG D60-2004)公路桥涵设计通用规范	24.0	51	(JTG F80/2-2004)公路工程质量检验评定标准(第二册机电工程)	26.0
18	(JTG D61-2005)公路圬工桥涵设计规范	19.0	52	(JTJ 073-96)公路养护技术规范	26.0
19	(JTG D62-2004)公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范	48.0	53	(JTJ 073.1-2001)公路水泥混凝土路面养护技术规范	12.0
20	(JTJ 024-85)公路桥涵地基与基础设计规范	19.0	54	(JTJ 073.2-2001)公路沥青路面养护技术规范	13.0
21	(JTJ 025-86)公路桥涵钢结构及木结构设计规范	16.0	55	(JTG H11-2004)公路桥涵养护规范	30.0
22	(JTG D70-2004)公路隧道设计规范	50.0	56	(JTG H12-2003)公路隧道养护技术规范	26.0
23	(JTG/T D71-2004)公路隧道交通工程设计规范	26.0	57	(JTG H30-2004)公路养护安全作业规程	36.0
24	(JTJ 026.1-1999)公路隧道通风照明设计规范	16.0	58	(JTJ 074-94)高速公路交通安全设施设计及施工技术规范	22.0
25	(JTJ 027-96)公路斜拉桥设计规范(试行)	9.8	59	(JTJ 075-94)公路养护质量检查评定标准	2.6
26	(JTG F30-2003)公路水泥混凝土路面施工技术规范	46.0	60	(JTJ 076-95)公路工程施工安全技术规程	12.0
27	(JTG F40-2004)公路沥青路面施工技术规范	38.0	61	(JTJ 077-95)公路工程施工监理规范	26.0
28	(JTJ 033-95)公路路基施工技术规范	15.5	62	(JTJ/T 0901-98)1:1 000 000 数字交通图分类与图式规范	78.0
29	(JTJ 034-2000)公路路面基层施工技术规范	16.0	63	(JTG/T G21-01-2005)公路工程地质遥测勘察规范	17.0
30	(JTJ 035-91)公路加筋土工程施工技术规范	8.0	64	(JTG/T D60-01-2004)公路桥梁抗风设计规范	28.0
31	(JTJ 036-98)公路改性沥青路面施工技术规范(作废)	12.0	65	(JTG/T F81-01-2004)公路工程基桩检测技术规范	17.0
32	(JTJ 037.1-2000)公路水泥混凝土路面滑模施工技术规范	16.0	66	(JTG/T F83-01-2004)高速公路护栏安全性能评价标准	15.0
33	(JTJ 041-2000)公路桥涵施工技术规范	52.0	67	(GB/T 50283-1999)公路工程结构可靠度统一标准	20.0
34	(JTJ 042-94)公路隧道施工技术规范	20.0	68	(GB 5768-1999)道路交通标志和标线	130.0