

ZAORE QIHOUXIA DE
HUNNINGTU GONGCHENG

燥热气候下的混凝土工程

何祚丰 编著

人 民 交 通 出 版 社

燥热气候下的混凝土工程

何祚丰 编著

插图设计:汪 萍 正文设计:周 元 责任校对:杨 杰

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张: 2.875 字数: 60 千

1991年7月 第1版

1991年7月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4000册 定价: 3.00元

ISBN 7-114-01105-9

TU·00017

目 录

第一章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 燥热气候的定义	1
1.3 我国易发生燥热气候的地带	2
1.4 燥热气候对混凝土的影响	3
第二章 混凝土的性质	5
2.1 概论	5
2.2 混凝土浇灌温度的影响	11
2.3 水的影响	14
2.4 水泥的影响	15
2.5 外加剂的影响	20
2.6 混凝土的工作性	21
第三章 混凝土的制作与输送	24
3.1 原材料的选择	24
3.2 混凝土及其原材料的降温	32
3.2.1 引言	32
3.2.2 水泥的冷却	33
3.2.3 骨料的冷却	34
3.2.4 冷拌和水	38
3.2.5 混凝土温度的计算图式	39
3.2.6 采用冰降温	41
3.2.7 采用液氮降温	46

3.3	配料与搅拌	50
3.4	输送	54
第四章	混凝土的浇灌与养护	56
4.1	概述	56
4.2	浇灌与养护的准备工作	56
4.3	浇灌与抹面	59
4.4	养护与防护	61
第五章	检验与监控	64
5.1	检验	64
5.2	质量监督与纪录	65
第六章	国外工程的经验	67
6.1	国外工程的情况与条件	67
6.2	国外工程须注意的事项	72
6.3	中东典型情况和部分科学试验	74
	结束语	80
	参考文献	81

第一章 绪 论

1.1 概 述

混凝土是当今土建工程中最普遍使用的工程材料之一，它在全世界各种不同环境条件下已灌筑成许多不同的结构，并广为不同的条件下使用。制备混凝土时，气候会影响产品的质量。不但是严寒会影响混凝土的制备，燥热气候也能使混凝土工程的质量受到损害，而在很多情况下，人们对此还未加以注意。

很多在燥热气候下施工的混凝土工程，竣工后不久便发生了开裂的现象。过去对此仅笼统地认为是施工质量不好，未曾加以仔细地分析研究，实际上大多是由于对燥热气候所给予混凝土工程的危害认识不足，和缺乏正确的措施。燥热气候不仅对混凝土工程质量产生很大影响，而且在质量控制与现场置备上也发生困难。因此，在国际土木工程界，对于在燥热环境下进行混凝土工程，至今仍有相当的兴趣。

1.2 燥热气候的定义

所谓燥热气候，可以认为美国混凝土学会提出的定义有一定的适用性，该会提出：高气温、低相对湿度、对混凝土质量会产生有害影响的风速，三者之间的任何组合即构成燥热气候。

1.3 我国易发生燥热气候的地带

我国地域辽阔，内陆地区的面积远较沿海地区为大，部分地区的气候差异较大，不只是在气温上有所差别，在相对湿度上出入也很大。相对湿度，即空气中实含水汽量和在同样温度下所能含最大限度的水汽量（即饱和水汽压）之比，以百分数来表示。相对湿度愈低，即愈干燥。仅就我国64个城市的气象纪录统计，在最热月13、14时的相对湿度平均值，低于70%的约占89%。这些相对湿度平均值的统计情况如表1-1。

我国64个城市最热月13、14时的
相对湿度平均值

表1-1

相对湿度，%	20~40	41~55	56~70	>70
城市数	5	12	40	7
百分数，%	7.8	18.8	62.5	10.9

表1-1上的数据为相对湿度的月平均值，可能出现的最低相对湿度值要远比它为低。

一般地说，我国的西北部较干燥，东南部较湿润，其中西北、华北和中南的部分地区最容易在夏季或初夏发生燥热气候，其他地区也有可能发生。全国共有23个省、市、自治区都曾出现过相对湿度为0的纪录。一般在气温出现较高的时刻，容易出现相对湿度的最小值，也就是午后容易出现最干燥的情况。某些地区还会出现干热风，例如河南及安徽的西北部等地，风力常为3~4级，气温达30℃以上，相对湿度低到25~30%以下。这样的气候都会给混凝土工程带来非

常不利的影响。

1.4 燥热气候对混凝土的影响

燥热气候不只是对新浇灌的混凝土产生不利影响，对于已硬化的混凝土也同样会有影响。如果对这种气候和混凝土的特性不够了解，不习惯，而没有采取正确的措施，就会带来许多麻烦，甚至弄得难以收拾。因此，一定要对这些给予高度的重视。当然有必要在质量、工期、经济性和现实性上综合地加以考虑和平衡，以选择恰当的措施。这样做总比依靠临时的反应，匆忙订一些措施来应急要可靠得多，急就章的办法是极少成功的。应该及早加以认识，做好预防工作，着重点应放在选择材料、精心规划和将各阶段工作安排得协调一致上。

在缺乏专门措施时，燥热气候会对混凝土工程产生很多的不利影响。它们是：

(1) 对于一定的坍落度或工作性来说，混凝土的加水量比在正常气候下更多；

(2) 难于控制混凝土所含的空气量，因而难以保证需要的坍落度；

(3) 拌和水分蒸发快，坍落度损失较大、较快；

(4) 高气温下水化速度快，凝结快，对正常操作、抹面与养护带来困难，容易产生捣固不实或产生冷缝；

(5) 塑性开裂的可能性增大；

(6) 由于混凝土的温度增高，增大了需水量，从而导致23d及以后龄期的混凝土强度较低；

(7) 养护的水分很快蒸发掉，混凝土表面容易产生裂纹；

(8) 由于需水量增加与裂缝的存在, 使混凝土的耐久性降低;

(9) 透水性增加;

(10) 混凝土与钢筋的握裹力降低;

(11) 硬结时冷却形成温差, 造成较大的体积变化, 易产生温差裂缝;

(12) 由于透水性的增加与裂缝的存在, 增加了钢筋锈蚀的危险;

(13) 混凝土表面观感不均匀。

以上是燥热气候直接影响混凝土的一些主要问题, 在实际的施工过程中还会由于其他一些因素使燥热气候下的混凝土施工更趋于复杂。例如:

(1) 由于经济上或其他的原因需要在非常燥热的气候下连续不断地施工;

(2) 设计的混凝土断面小, 而含钢量又相对地高;

(3) 混凝土的强度等级高, 增加了更多的水泥用量;

(4) 采用了高标号的水泥, 水泥颗粒细, 加速了水化的速度;

(5) 混凝土长距离运输中工作性的变化等等。

这些因素都应连同气候因素一并加以考虑。

第二章 混凝土的性质

讨论混凝土一般性质与施工的书籍和文献很多，这里仅就燥热气候对混凝土性质影响的有关部分加以阐述。

2.1 概 论

在高气温下搅拌、浇灌和养护的混凝土，在早期强度上要比正常温度下制作与养护的高，但在28d龄期及以后的强度反而要低些。情况如图2-1所示，这是弗贝克(Verbeck)和赫尔姆特(Helmuth)所做的试验。

勃乐姆(Bloem)和戴尔玛(Delmar)曾做的试验说明：缺乏养护而在高温下浇注的试件，其强度会降低。试验的试件是分别在23℃与60%的相对湿度和38℃与25%的相对湿度下制作、养护的。它们的28d龄期混凝土强度只分别达到在

23℃湿养护下标准试件28d龄期强度的73%和62%。试验并且发现：从制作、浇注到开始标准湿养的时间间隔越长，强度就降得越多。这些试验指出，不充分的养护，尤其是在浇

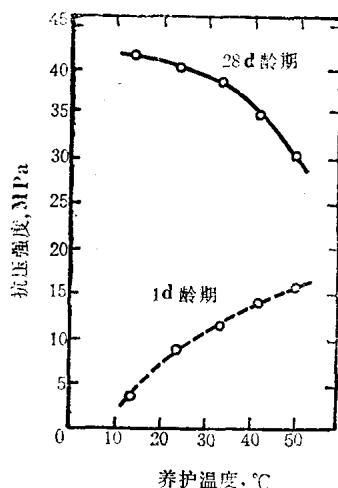


图2-1 混凝土的养护温度和强度关系

灌温度高的情况下，会有损于水化的过程，并降低了强度。

水化的速度是与早龄期的温度相关联的，因此应注意控制混凝土的温度。在燥热气候下，早龄期受高温养护并在高温下制作的混凝土，其强度的潜在能力会受到损伤。如图2-2所示，在28d龄期及以后的龄期里，43℃养护下的混凝土强度要比23℃养护下的同龄期的混凝土强度低约20%或更多。

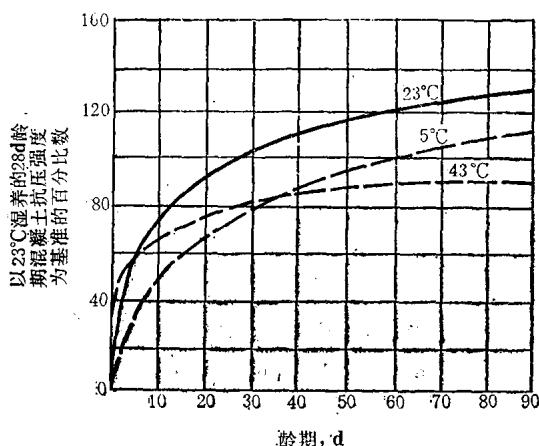


图2-2 混凝土的强度和养护温度间的关系

图2-3也显示了不同温度的混凝土在强度上的差异。试件的水灰比为0.45，水泥用量为307kg/m³，空气含量为4.5%。浇注试件和28d龄期以前湿养的温度如图中所示，试件在28d龄期以后一律皆系23℃湿养。可以看

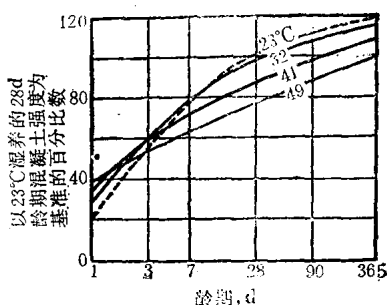


图2-3 混凝土温度和强度间的关系

出，在高温下拌制与湿养的混凝土，它的早龄期强度要高于常温的，但在28d及以后的龄期里，却不及常温下浇灌的混凝土的强度高。制作时温度越高，后期强度就越低。

燥热气候中，除了高气温是影响混凝土性质的重要因素之外，湿度的影响也是不可忽视的另一重要因素。在某些情况下（例如导致混凝土产生塑性收缩的原因中），温度比起湿度来，相对地次要一些。

混凝土强度的按时间增长，在很大程度上要依靠养护，而早龄期的湿养护对混凝土尤为重要。它可以使混凝土硬化得快，经过短暂的养护时间即能保证必要的强度。如果相对湿度降到85%以下，就很难获得湿养的效果。

水泥在遇水进行水化过程中的体积收缩称为塑性收缩。在燥热气候下浇灌混凝土时常易发生塑性收缩裂缝。当表面水分的蒸发速率大于新浇灌混凝土中水分升到表面的速率时，开裂更会有所发展。混凝土表面水分的蒸发速率会因为混凝土温度高、气温高、相对湿度低和风速大，或其中几个因素的综合而大为增加，这就使塑性收缩开裂的可能性更为增加。

不同相对湿度下混凝土塑性收缩开裂的极限温度值列于表2-1。

不同相对湿度下混凝土塑性
收缩开裂的极限温度值*

表2-1

相对湿度，%	90	80	70	60	50	40	30
混凝土温度，℃	40.6	37.8	35.0	32.2	29.4	26.7	23.9

* 风速为16km/h，混凝土温度与气温的差为5.6℃时，蒸发速率限制为1.0kg/m²·h的不同相对湿度下的混凝土温度最高值。

图2-4表示气温、混凝土温度、相对湿度、风速对混凝土敞露表面蒸发水分的影响。利用这幅图可以按照不同气候因素来估计混凝土表面水分的损失量。使用方法的^{第一步}，是从气温值向上找到与相对湿度曲线的交点；^{第二步}是从这交点向右平移到与混凝土温度值相交的点；^{第三步}是从这点

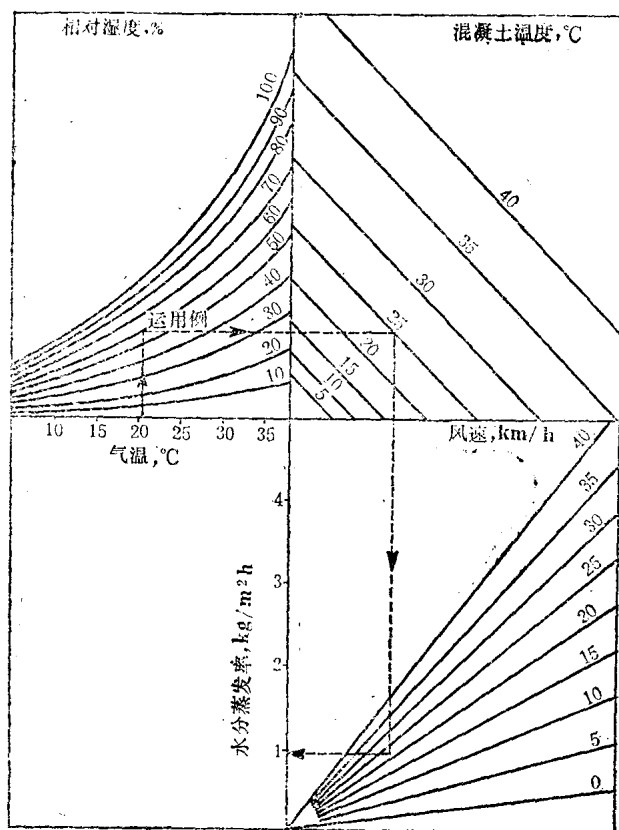


图2-4 气温、混凝土温度、相对湿度、风速对混凝土敞露表面蒸发水分的影响

垂直向下找到与风速值相交的点；第四步是从这点向左平移到在蒸发速度的坐标上读出近似值。

当蒸发速率超过 $0.5\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 时，最好采取防止塑性收缩开裂的防护措施。

混凝土温度升高时，会导致蒸发速率增加。例如对照图2-4从 25°C 增高到 30°C ，风速不变时蒸发量将增加40~50%。当风速加大时，还会加大水分的蒸发速率。当混凝土与气温在同一温度下，从 23°C 、70%相对湿度与无风的环境里改变时，存在着下列一些情况：当风速是 $16.2\text{km}/\text{h}$ ($4.5\text{m}/\text{s}$)时，蒸发速度将增为其初速的4倍；当风速达到 $32.5\text{km}/\text{h}$ ($9\text{m}/\text{s}$)时，蒸发速度约将增为其初速的7倍；当环境变为 32°C 与10%的相对湿度时，风速为 $39.7\text{km}/\text{h}$ ($11\text{m}/\text{s}$)时的水分蒸发速率约将增其为40倍。在同样的混凝土温度下，降低风速也将使蒸发速率下降，例如从 $30\text{km}/\text{h}$ 的风速减为 $3\text{km}/\text{h}$ 时，蒸发速率可降至原来的约 $1/4$ 。

设置简单的风障，就可以达到减低新浇灌混凝土表面的风速。

拌和水的快速蒸发会使混凝土拌合物的工作性很快损失，不但会在卸料、浇捣方面产生麻烦，甚至还有可能影响到水泥的水化进程，也会间接或直接影响到混凝土的质量。

在燥热气候的条件下，为检验养护的充分与否而做的试验表明，新浇灌的混凝土试件放在空气里养护，混凝土强度的发展速度3d之内就减慢了，7d就差不多停止了。

蒸发不只是对新浇灌混凝土产生损害，对已硬化的混凝土同样也很不利。在燥热气候里，由于蒸发而失去的水量是十分惊人的。它严重妨碍抗压强度的发展，使混凝土很快地干缩而产生拉应力。除非混凝土的这部分材料已经获得足够

的强度足以抵抗这种力量，否则就将严重地降低混凝土的耐久性。这种作用就是混凝土干裂的原因。所以，混凝土的充分养护（连续地保持在湿环境里），将可能获得足够的强度去抵抗任何作用在它上面的外来力量。

硬化混凝土在干了时要收缩长度的0.05%，如果混凝土拌合物原来含有大量的水分时，收缩还要大些。就以收缩率为0.05%计算，3 m长的混凝土要收缩1.5mm。混凝土的弹性模量为20700MPa时的0.05%应变，将带来10.35MPa的拉应力，这大约是混凝土抗拉强度的3倍，所以对素混凝土一般5m就设一条收缩缝。

许多现场的调查表明了新浇灌楼板早期开裂的主要原因，是当混凝土还是塑性时表面即已很快地变干了。造成快干情况的主要原因还是水分从表面蒸发的速度比毛细管吸力能补充的为快。

常易造成混凝土发生裂缝的另一种原因是温度。这在体积较厚实或大体积混凝土工程上是很易发生的。在有些燥热地区例如沙漠，白昼与黑夜的温差可以达到22℃，这样的温度波动可以使3m长的混凝土收缩0.6mm。

混凝土也具有热胀冷缩的性质。

当水泥与水相接触而进行水化时，就要释放水化热。在一般的工程中，水化热可以很快地消散掉，热膨胀还只保持在允许的限度以内。当混凝土体积很大时，由于混凝土的热传导性低，部分外缘的混凝土起了隔热作用，这样就降低了散热的速度。在大体积混凝土中，由于水泥水化而引起的温升值，在低水泥用量时也可以达到40~50℃，水泥用量高时还要再增加10~30℃。温度的激增会引起体积的较大变化。但外缘混凝土的温度却相对地没有这么高，这种温度差

异也就使体积产生了变化。尤其在昼夜温差较大的地区里,这种较大的内外温差梯度差和体积变化受限制的情况,就促使混凝土在有些部位产生较大的拉应力,当拉应力超过混凝土的抗拉强度时,混凝土就会产生温度裂缝,危及了混凝土的整体性和耐久性。内部的混凝土从高温散热冷却下来时,当收缩受到如地基等的限制,也常会发生温度裂缝。

2.2 混凝土浇灌温度的影响

从施工实践来说,任何因素或几种因素的综合作用,能使混凝土的温度在浇筑时超过合乎要求的最高值时,都将使混凝土的质量受到损害。

新浇灌混凝土温度的增高会出现很多不利的影响,其中主要的有下列几种:

(1) 对于一定的坍落度来说要增加需水量(参见图2-5、图2-6);

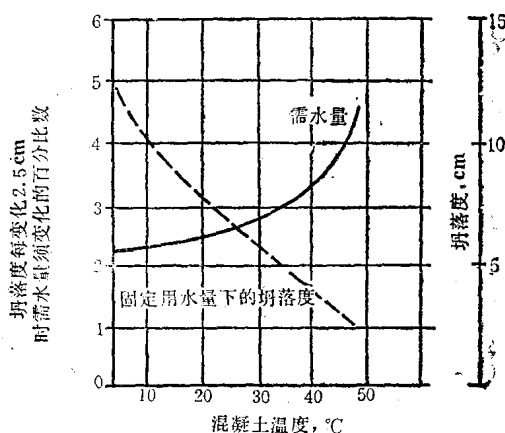


图2-5 需水量、坍落度与混凝土温度的关系

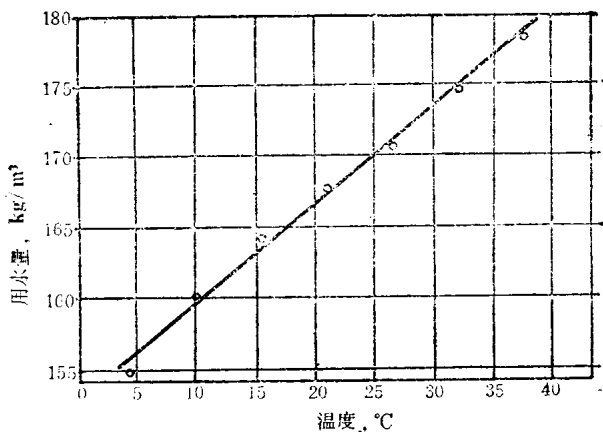


图2-6 坍落度为7.5cm时，温度与用水量的关系

(2) 这种增加的水分会使强度与耐久性降低，也增加了干缩（参见图2-7）；

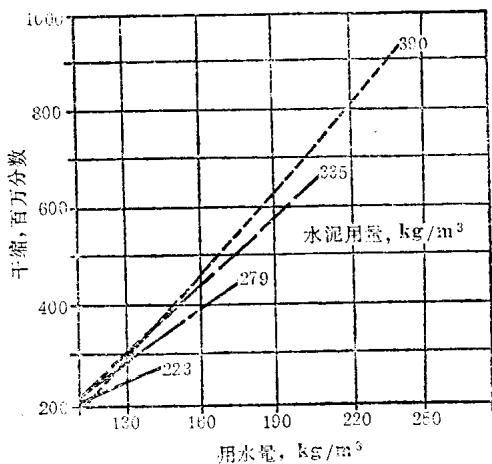


图2-7 水泥用量、用水量与干缩间的关系

(3) 坍落度的损失在搅拌后出现得明显地早, 并具有更快损失的速率, 这两种现象都使得浇灌工作增加了困难;

(4) 在干燥的气候里塑性收缩裂缝出现的机会更大为增多 (参见图2-4);

(5) 在截面尺寸大的混凝土中增加了混凝土内、外部的温差, 容易使混凝土产生温度裂缝;

(6) 需要更早地从事养护, 否则就越来越有害。

由于上述原因, 许多国家对浇灌时的混凝土入模温度都有所限制。例如日本建筑学会的标准 (JASS 5) 规定浇灌时的混凝土温度应在 35°C 以下; 伊拉克等国家规定为 32°C , 和以前美国混凝土学会所规定的温度相同; 也有人主张限制为 30°C 的, 但是较新的见解则认为, 对于一般的建筑, 在燥热气候下施工去限制最高温度的意义不大, 因为各种环境因素的变异幅度太大, 而且只用一种条件来应付所有的情况也远为不够, 至少应该将相对湿度和混凝土温度综合起来加以考虑。因而正如表2-1所列的数据表明, 在 $24\sim 38^{\circ}\text{C}$ 之间, 都可以找到在热天里浇灌混凝土的极限温度。

因此, 不应简单地采取抛开相对湿度, 而规定混凝土浇灌温度为某一固定温度的办法。即使温度只是 24°C , 离 $30\sim 32^{\circ}\text{C}$ 还有一定的距离, 但由于相对湿度低到30%或以下, 也有可能对混凝土质量产生严重的损害。另一方面, 从经济的角度来考虑, 如果相对湿度还不太低, 混凝土的浇灌温度即使稍高一些也还是可以的, 简单地将限制温度规定得太低, 在高气温下将增加不少的措施和设备, 经济上是不合算的。

但是, 在通常的混凝土施工实践中, 还是应该规定一个适合于该工程的最高浇灌温度, 以便共同遵循, 不过这个温