

译者前言

本《指南》系根据1989年CEB第182号资料通报《Durable Concrete Structures, CEB Design Guide》1989年第二版译出, (第一版即为《CEB—耐久混凝土结构指南草案》, CEB资料通报第166号)。全书分为A篇“理论基础”和B篇“实用建议”两大部分,对混凝土结构耐久性问题的各个方面,从机理、现象、防止方法等各方面作了深入浅出的论述,不仅对从事混凝土结构耐久性方面工作的人员有很大的参考价值,而且对所有与混凝土结构有关的设计、施工、管理、使用、维护等方面工程技术人员和大专院校师生都有很大的实用意义。目前我国在混凝土结构耐久性方面还没有系统的论著和相应的标准。希望本《指南》将部份地弥补这方面的不足。

参加翻译的同志和所译章节为

周 燕: 0 . A—0 . A-1. 附录 1

邱小坛: A-2 . A-3 . B-0 . B-1 . B-2

韩继云: B-3 . B-4 . B-5 . B-6

蔡鲁生: 前言, B-3

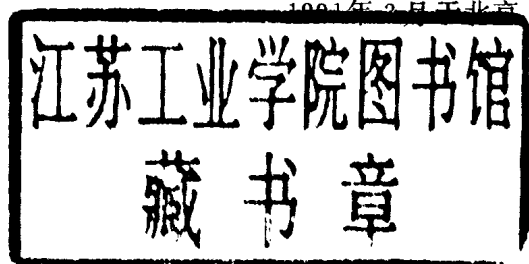
校对工作由蔡鲁生同志担任

中国建筑科学研究院建筑结构研究所和建研院李明顺常务副总工程师对本书的翻译给予了热情的鼓励和支持,谨表示衷心的感谢

限于我们的学术和文字水平,错漏之外在所难免,望读者不吝指正。

译校者

1991年2月于北京



附记

专题小组作为一个整体对全本《CEB—设计指南》负责。在编制过程中，本《指南》各章节的主要负责人是

- A.W.比贝：A—1.1.1, - 3; B—0., - 1., - 5.1, - 5.2, - 5.4,
- G.哈脱：A—1.1.1, - 1.1.3; B—4.1.1.1, - 4.1.1.3,
- D.范内文堡：B—2.3, - 3,
- 斯廷·罗斯坦姆：A—3.; B—1., - 2.; - 5.3, - 6.,
- P.西塞尔：A—0., - 1.1.2, - 2.; B—4.1.1.2, - 4.2,
- J.范夫格特/R.贝克：A—1.2, - 1.3; B—4.1.1.2, - 4.1.3

除本组外，丹麦混凝土和结构研究所的E.J.彼得逊 (E.J.Pedersen)，应专题小组的要求，提供了关于混凝土结构养护的单独报告。该报告附后作为附录 1。

本《指南》的陈述方式主要是由 P西塞尔博士设计的，这在他撰写的章节中可以看出，并在可能的范围内作为《指南》其他部份的模式。

本报告人之所以能承担此重任，主要是有丹麦技术科学院，丹麦技术大学结构工程系及 COWI consult 工程和设计咨询公司的大力支持。

对所有提供服务性和财政上帮助的人表示最衷心的感谢。

斯廷·罗斯坦姆
本组报告人
1989年 6 月于哥本哈根

前 言

近年来不时发生混凝土结构耐久性不足的情况，导致加强了对劣化过程的原因和本质的研究，并且开发了应付这种情况的总战略方针。

70年代后期起，欧洲混凝土委员会（CEB）在解决混凝土结构过早劣化的技术问题方面作了很多工作。

本《CEB—耐久混凝土结构设计指南》由第20专题小组“混凝土结构的耐久性及使用寿命”编制。

《指南》是该组前期四项工作的综合：

——《现状报告》，1982年以CEB第148号通报的形式发表

——1983年在哥本哈根与RILEM共同组织了同一议题的国际工作会议。工作报告以CEB第152号通报发表

——《CEB—耐久混凝土结构指南草案》，CEB 1985年第166号通报

——1986年在波洛尼亚（意）与RILEM共同组织的第二次国际工作会议，CEB 1986年第183号通报

已经收到了很多对《CEB指南草案》，第166号通报，的宝贵意见。这些意见来自技术组织，各国的代表及个人。专题小组仔细地研究了所收到的意见和建议，其结果已收入本《设计指南》。

本《指南》的主要对象是从事实际工作的工程技术人员而不是材料方面的专家。我们力图为劣化机理和影响因素提出一些简化的模式，不过，可以相信这些模式，与当前对混凝土结构中决定劣化作用强度的非常复杂的物理化学机理和最后破坏机理的认识是相一致的。

对专题小组所有成员在编制本《指南》中所作的贡献和他们相互鼓励从事此项工作的持久热情，表示衷心的感谢。

斯廷·罗斯坦姆（Steen Rostam）

理科硕士，哲学博士，报告人

1989年6月于哥本哈根

本指南的主要编写人员为CEB第20专题小组

“混凝土结构的耐久性及使用寿命”

的下列成员：

- | | |
|-------------------------------------|-----------|
| 斯廷·罗斯坦姆 (Steen Rostam) (报告人) | 哥本哈根 (丹) |
| R.F.M. 贝克 (R.F.M. Bakker) (自1984年底) | 伊麦丁 (荷) |
| A.W. 比贝 (A.W. Beeby) | 伦 敦 (英) |
| G. 哈脱 (G. Hartl) | 维也纳 (奥) |
| D. 范内文堡 (D. Van Nieuwenburg) | 根 特 (比) |
| P. 西塞尔 (P. Schiessl) | 亚 琛 (德) |
| L. 森特勒尔 (L. Sentler) | 隆 德 (瑞典) |
| A.D. 范夫格特 (A.P. Van Vugt) (到1984年底) | 赫陀根波什 (荷) |

虽然欧洲混凝土委员会尽力保证资料的准确性，但本委员会、其成员或代理人对此不承担任何形式的（包括疏忽）责任和义务。

欧洲混凝土委员会 (CEB) 1989

0.引言

这本《CEB耐久砼结构指南》力图综合砼和砼结构耐久特性的基本技术知识和现代的工程经验，并在这本实用的指南中介绍给设计和施工工程师。

由于环境对结构的影响及其相应的反应是非常复杂的，仅仅改善材料的特性是不能真正地改善性能的，而必须包括建筑和结构设计、制作过程、以及检验和维修（包括预防性的维修）等方面的因素。

所有参与建造和应用砼结构的人员，至少都应有机会获得关于最重要的劣化过程及其控制参数的起码认识。在特定的情况下，当有耐久性要求的时候，这些基本知识是能适时做出正确决定的前提。设计使用寿命的简化方法实际上是不可靠的。

基于这些理由，本《指南》包含了一个主要的部分，A篇，其中以简化的工程模型介绍了关于可能的劣化过程及其控制因素的理论基础，这些模型尽可能与材料科学理论上介绍的同样机理的复杂论述保持一致。更直接的应用建议在B篇中介绍。

热和湿养护的综合论述见附录1，它的实质内容包括在B篇中。

《指南》中采纳的基本方法可见图0—1，图0—1中介绍了影响耐久性的主要因素之间的相互联系。

砼体内和与环境（微气候）间的热量、水分和化学物质的复合迁移，及控制这些迁移机理的参数构成了耐久性的主要因素。

水或水分的存在是控制各种类型的劣化——除机械性劣化外——的一个单独的、重要的因素。水在砼中的迁移由孔的类型、尺度和分布以及裂缝（微裂缝和大裂缝）决定。因而，在制作砼结构的初始阶段，控制孔和裂缝的种类和分布成为主要的任务。

其次，砼劣化过程（物理、化学和生物的）和钢筋或预应力钢筋劣化过程（锈蚀）的类型和速度决定了组成结构的材料、截面和构件的抗力和刚度，也决定了结构的表面条件，并且反映在结构的安全度、使用性能和外观状况方面，即决定了结构的性能。

实际上所关心是在足够长的时期内令人满意的性能。在图0—1给出的曲线中，这个时间——不论是由于初期质量好，还是由于反复维修的不很好的结构——称为结构的使用寿命。

耐久性和使用寿命各方面的这种概括，归结为A篇中关于迁移机理的导论性论述。

B篇的开始是对影响砼的环境条件——整个问题领域的重要因素——进行分类，遗憾的是该领域中所能得到的资料很不足。

在可能的范围内，曲线或图表在左页，相应的正文在右页*。

参考文献的详细目录包括在CEB资料通报第148号《砼结构的耐久性——现状综述》1982。

*原文的图均给以编号并插入有关文字附近，正文中亦插入有关图号——译注。

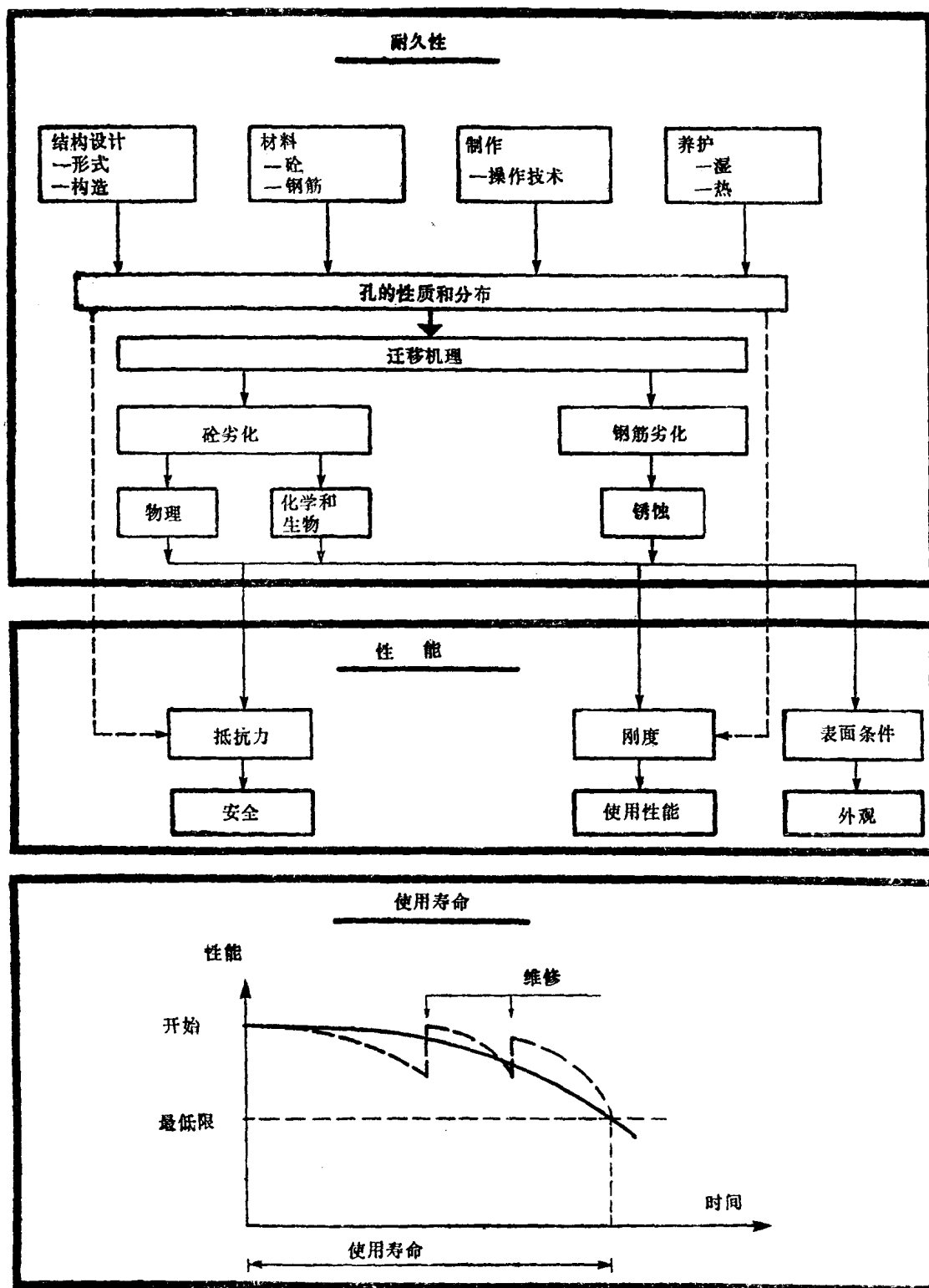


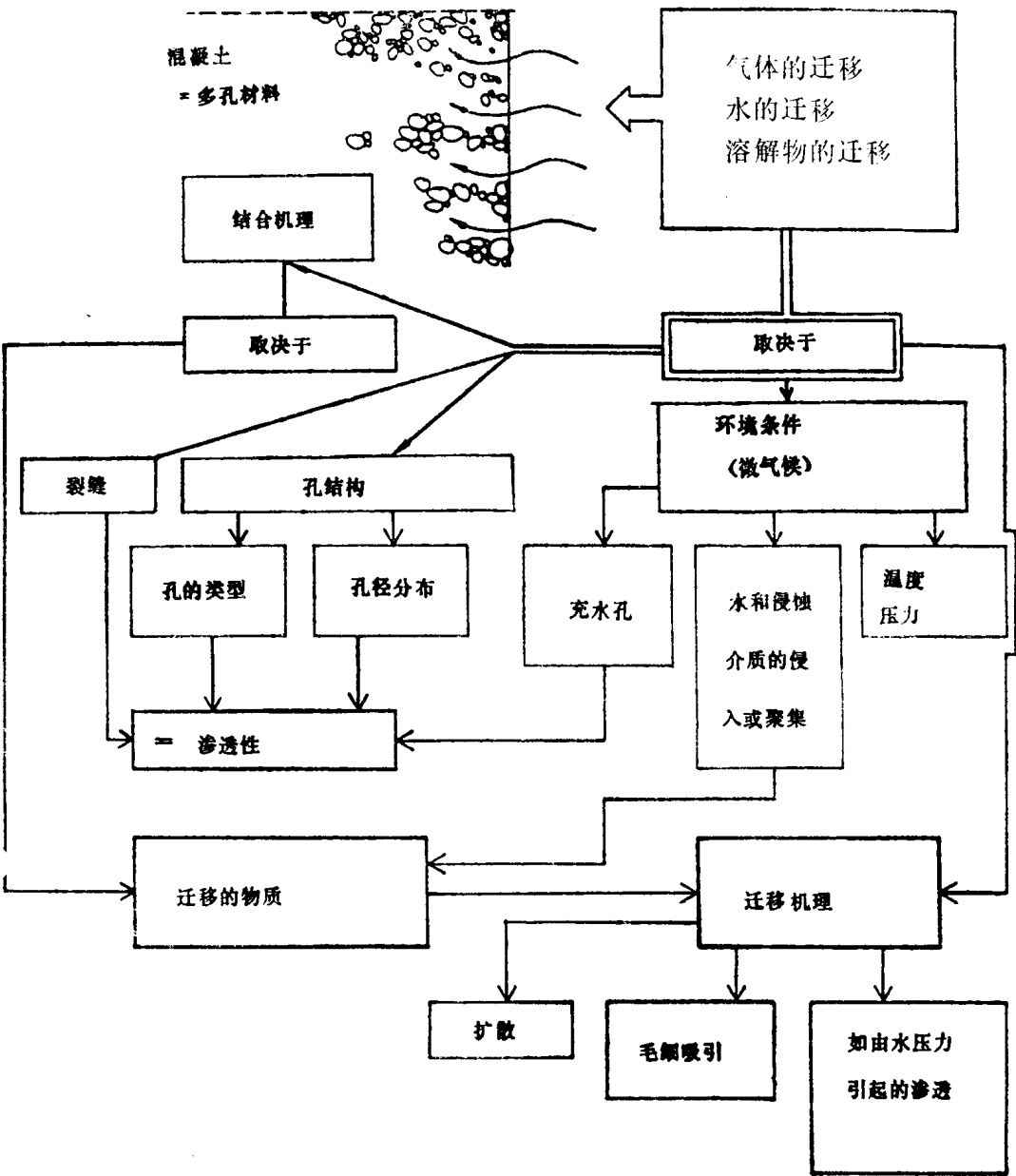
图 0 — 1 耐久性、性能和使用寿命

A—0.混凝土中的迁移机理

A—0.1迁移机理——基本条件

几乎所有影响混凝土结构耐久性的化学和物理过程，都涉及两个主要影响因素：
——在孔隙和裂缝中的迁移机理
——水

这里，研究的是气体、水及其溶解的有害物质的迁移及结合机理。迁移的速度、范围和结果及结合机理主要取决于孔结构和裂缝形态以及砼表面的微气候。在本文中，孔结构指的



(图A—1、混凝土中的迁移现象 = 关于耐久性的基本过程)

是孔的类型及孔径分布。

孔结构、裂缝形态及孔隙和裂缝的充水程度在砵的

——渗透性

方面起决定性作用，它控制着气态和溶解态物质的透入。此外，迁移过程的速度还大大依赖于迁移机理。

倘若考虑化学结合机理，水泥的化学组成和骨料的性质也是重要的。

所有的迁移机理主要都是孔结构和裂缝形态的函数，并由同样的过程决定。

为了更好的理解主要的破坏机理，以下通过三种典型的环境条件对混凝土的孔结构基本原理、水的结合机理和迁移现象进行简要的图解说明（见图 A—1）。

A—0.2混凝土的孔结构

除了微环境外，渗透性受到水泥浆孔结构的决定性影响。对于物质进入多孔的建筑材料并在其中迁移有关孔结构的两个因素是主要的：

——相关孔隙率、及

——孔径分布

相关孔隙率是指这些孔互相连接、使液体或气体可以迁移和/或溶解物质可以交换。同时相关孔隙率相当于最大可逆水含量，在水泥浆的情况下，介于20~30%范围之内（见图 A—2）。

孔径分布非常影响水迁移机理和结合机理的类型与速度，水泥浆体中的孔径范围覆盖了几个数量级，根据形成原因及其特征，将这些孔分为：

——振捣不密实孔

——气孔

——毛细孔

——凝胶孔

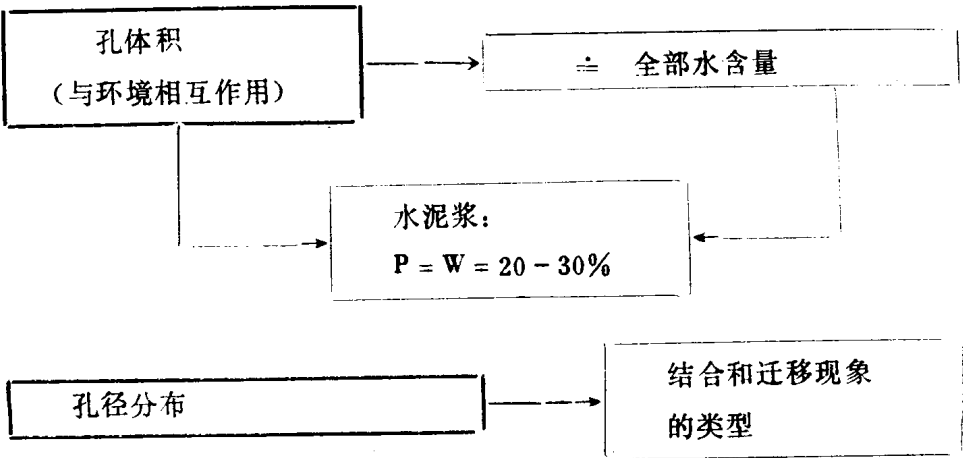
用更普通的术语表达，以下分类方法更简便：

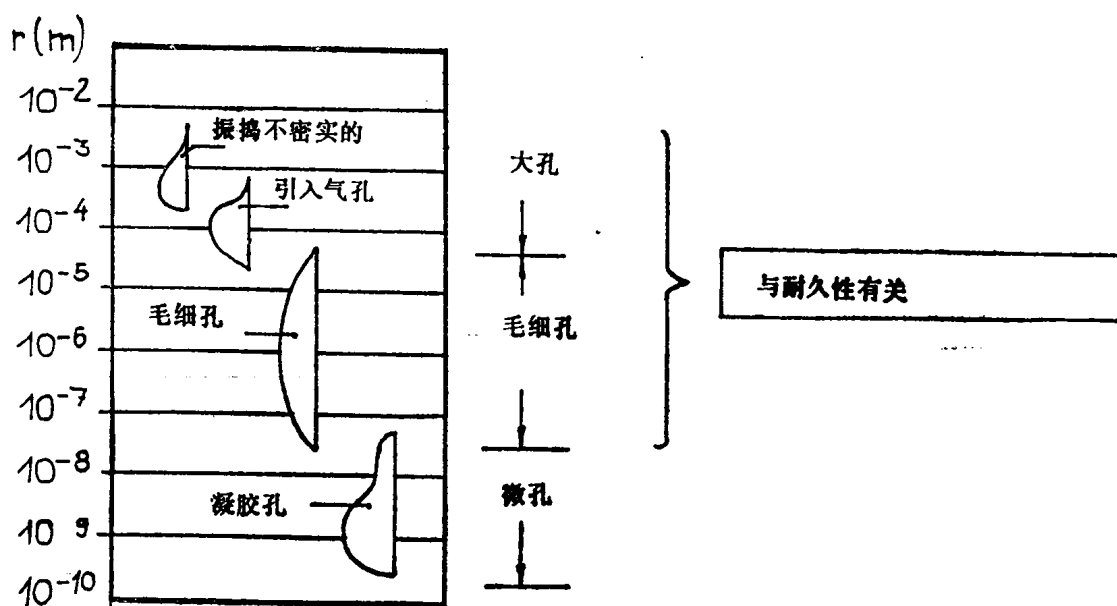
——微孔

——毛细孔

——大孔

混凝土的孔结构





(图A—2 混凝土的孔结构)

与耐久性特别有关的是毛细孔和大孔 (见图A—2)。

一般: 混凝土抵抗化学和物理作用的能力随着毛细孔数量的增加而减小。

A—0.3孔与水的相互作用

固体的自由表面上 (如孔的表面) 由于没有与相邻分子结合而存在着剩余能量。

在水泥浆孔隙中, 这种所谓的表面能使孔隙中的水蒸汽分子吸附于孔表面 (吸附), 因此, 水膜的厚度取决于孔中的湿度。

由于表面积与孔体积之比值随孔径减小而增大, 吸附水与孔体积之比也将随之增长, 直至孔径小到某一极限值, 孔隙中完全被水充满为止。这个过程称为毛细凝结。孔径的这个极限值主要取决于孔中空气的含水量, 在稳定条件下, 孔中空气含水量与砼周围空气的湿度成正比 (见图A—3)。

由于凝胶孔占很大比例, 且其半径很小 (见A—0.2部分)。即使在周围空气相对湿度较低的情况下, 砼也显示出具有较高的含水率。

空气湿度的增加, 使较大孔中充满水, 因而减少了气体扩散的有效孔隙空间, 结果, 砼的透气性随含水量的增加而显著降低, 直至在几乎完全水饱和的砼中, 气体 (如 CO_2 、 O_2) 的扩散减小到可忽略不计的程度。

A—0.4迁移机理

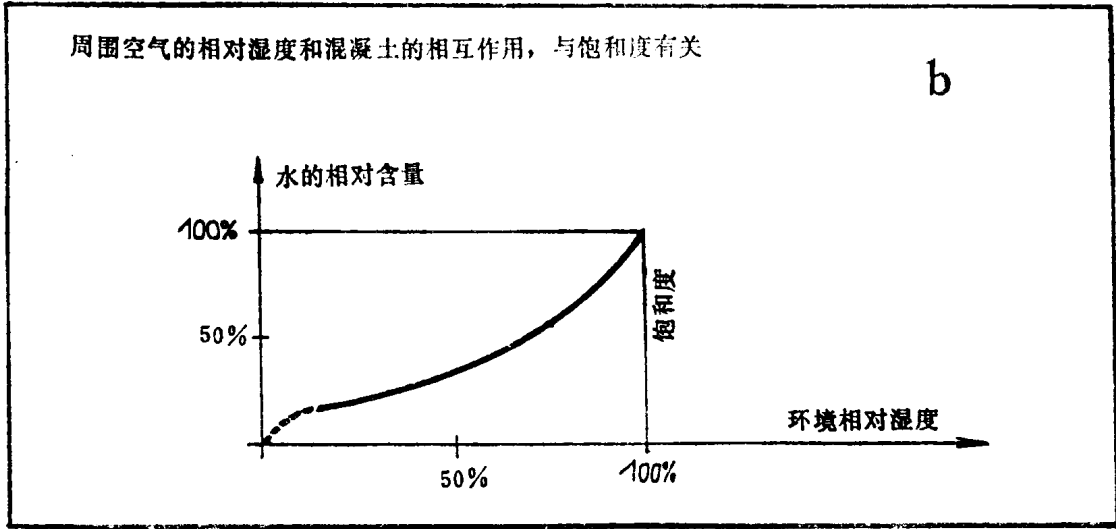
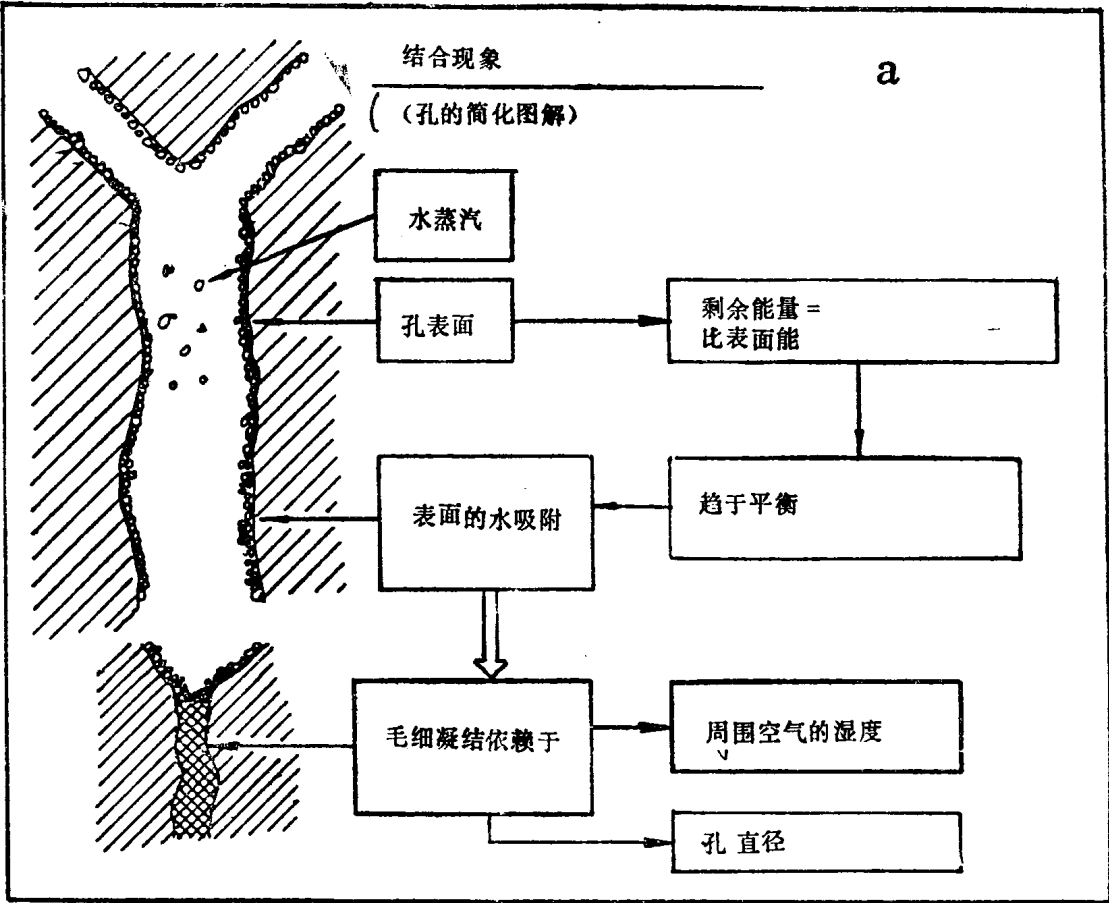
环境条件: 潮湿空气

如前一节已描述的, 空气中的砼内, 较大的孔充满着空气, 且与周围空气的湿度有关, 这些孔表面覆盖着一层被吸附的水膜 (图A—4a)。

对于这里所描述的环境条件, 气体、水或溶于水的物质的任何迁移过程都是扩散过程。

扩散过程是由浓度差的平衡趋势所引起, 这种发生扩散作用的驱动力当然就是浓度差了 (见图A—4b)。

CO_2 气体扩散进入砼内, 由于在砼内的孔壁上与 CO_2 进行化学反应, 使孔内 CO_2 浓度减小,



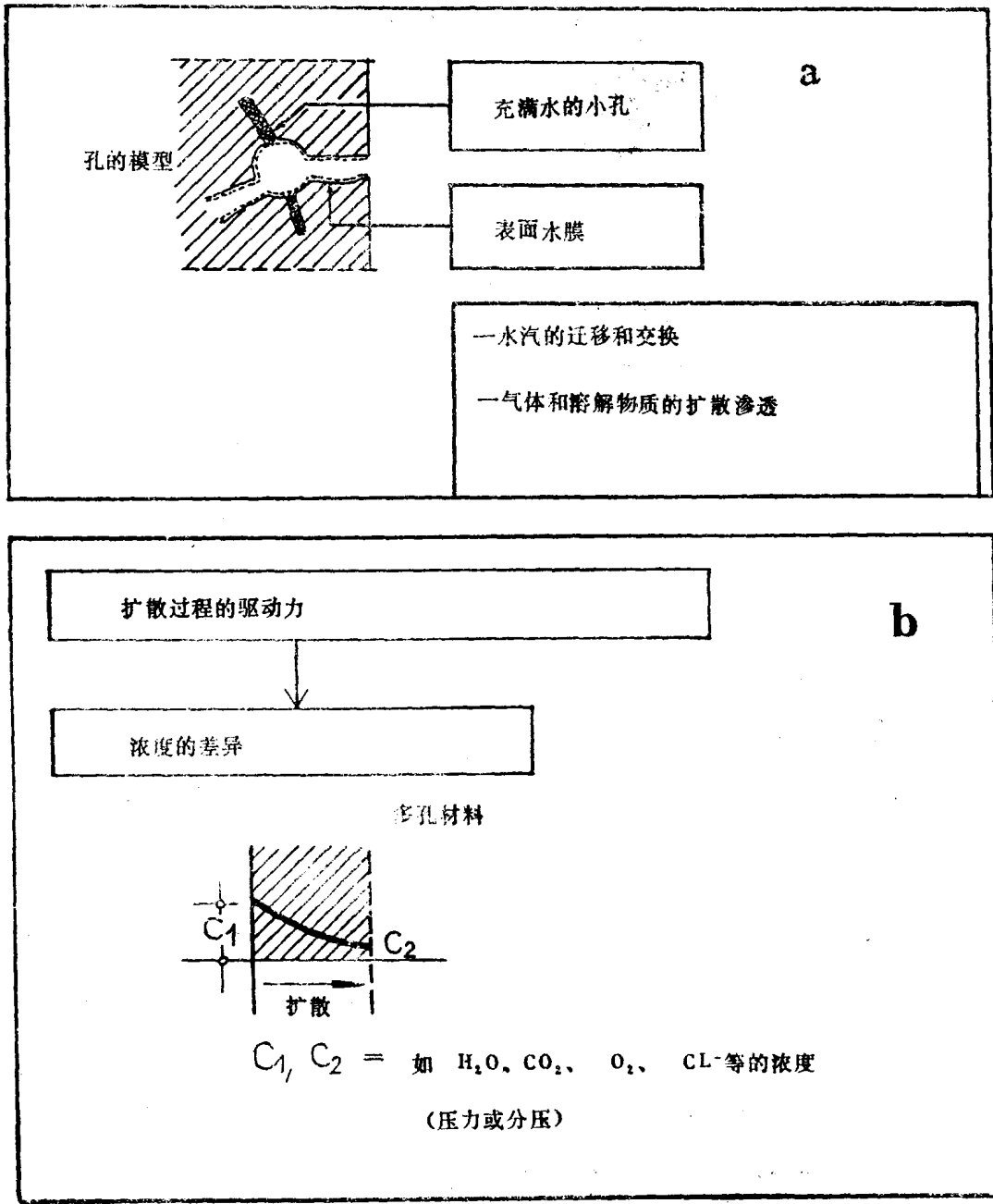
图A—3 孔和水之间的相互作用

这种作用相当于钢筋锈蚀过程中消耗氧气一样。

水或水蒸汽的扩散总是随环境湿度而变化或是在砼干燥时进行的。

溶解于水中的物质（如氯化物）的扩散将在孔表面的水膜或充满水的孔中进行。由于水膜

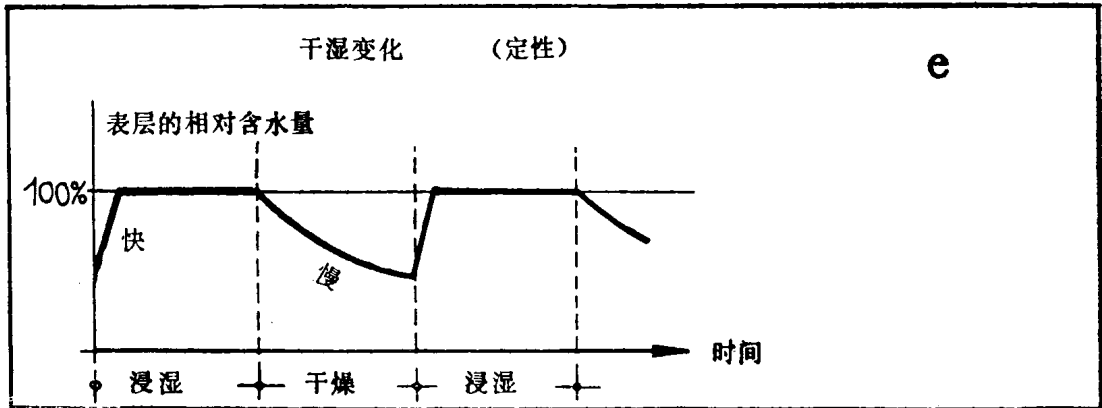
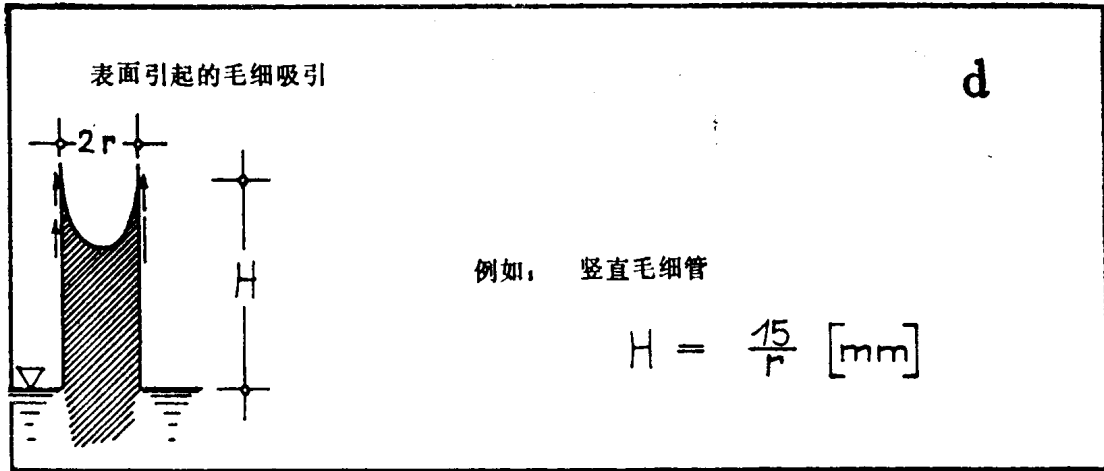
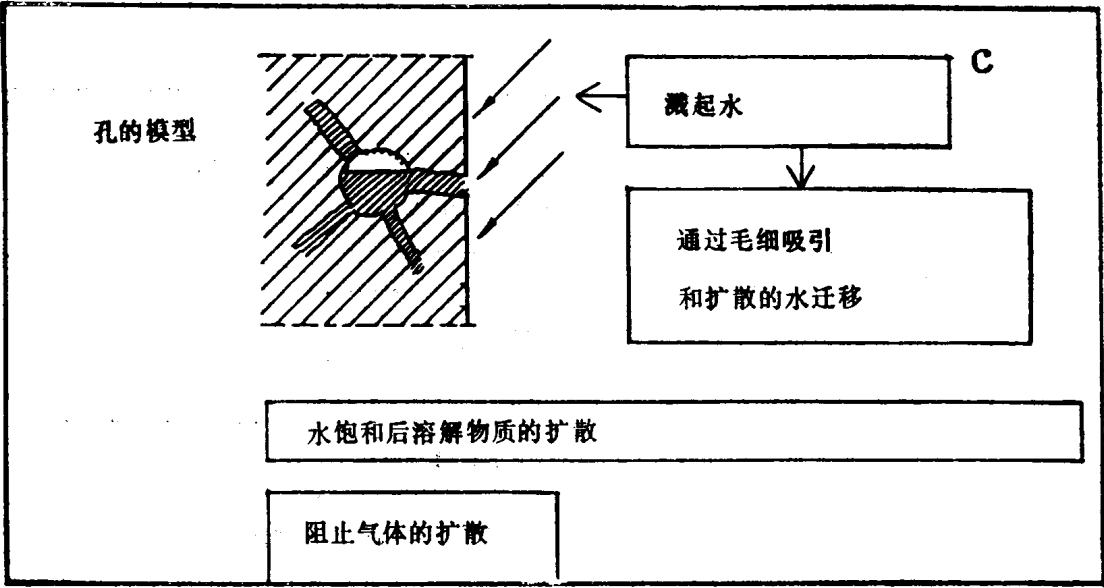
厚度的减小及充水孔所占比例的减小，溶解于水中的物质的扩散速率将随砼的含水量的减少而显著地减小。



图A—4 a, b 混凝土与环境间的相互作用——潮湿空气

A—0.5 迁移机理

环境条件：雨水（飞溅水）
 在砼表面潮湿的情况下（雨水、飞溅水等），水的迁移机理是很重要的，砼由于毛细吸引



图A—4 c, d, e 混凝土与环境之间的相互作用——雨水

很快达到饱和状态。溶解在水中的物质被水迁移，气体扩散实际上完全停止（图 A—4 c）。

只有在达到平衡状态后水迁移机理停止的情况下，扩散才重新起主要作用。

毛细管吸引作用的效果取决于孔表面的表面能，这在 A—0 3 节中已阐明。在水过剩的情况下，水吸附于表面的趋势会产生吸引现象。在垂直的毛细管中，毛细水上升的高度由表面结合力和毛细管中水柱重量之间的平衡所决定（见图 A—4 d）。就水平方向的吸引而论，渗入的深度主要依赖于砼表面水的过剩量和这种情况持续的时间。

水通过毛细管吸引被砼吸收的速率远高于其蒸发的速率。

A—0.6 迁移机理

环境条件：浸渍

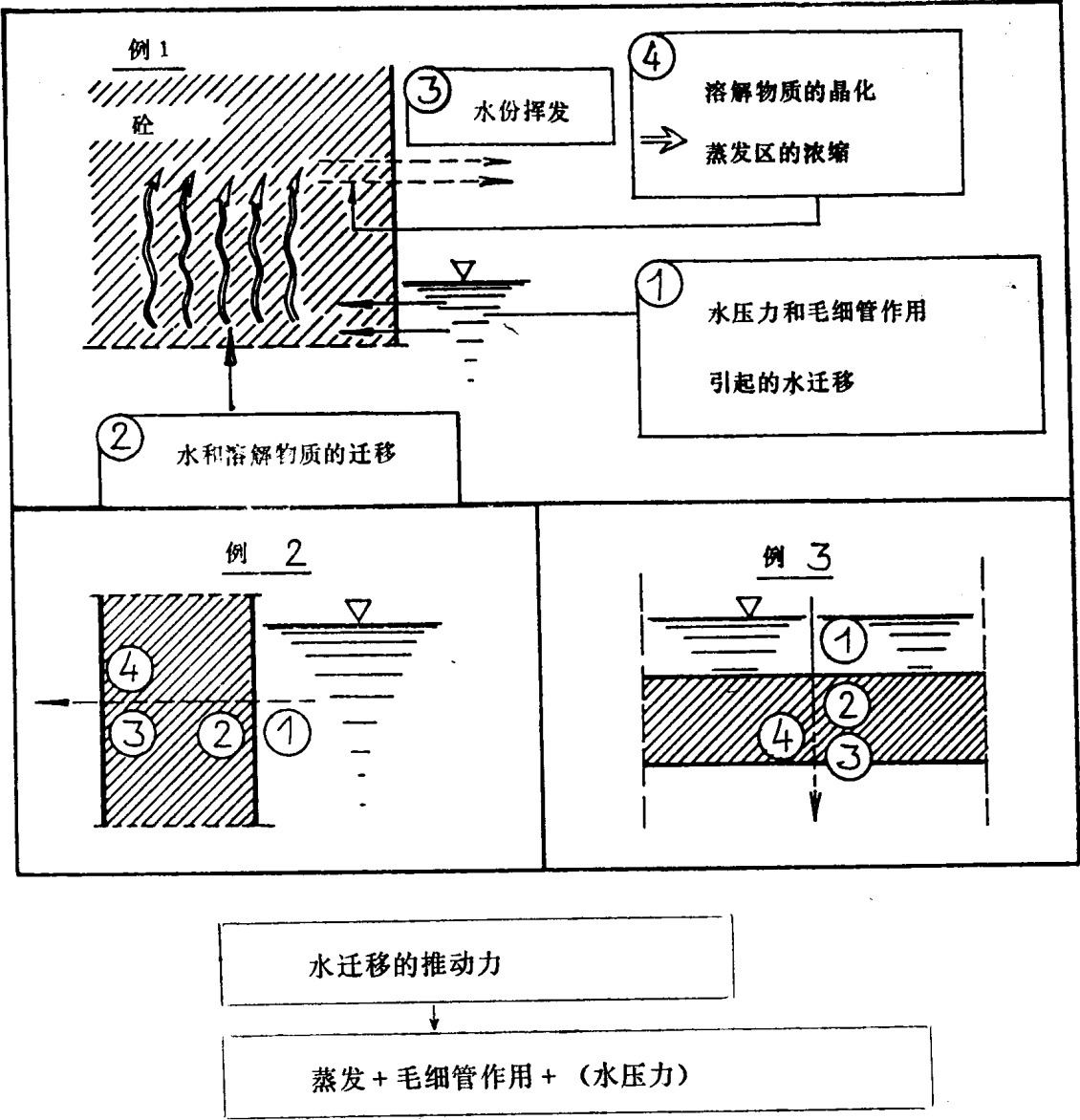


图 A—4、f 混凝土与环境间的相互作用——浸渍

在持续浸渍结构的情况下，大量的水在不利的条件下可能发生迁移。水的渗透首先由毛细管作用而发生，并可能随着水压力的增大而加速，只有当水在暴露于空气中的砼表面蒸发时，水的迁移才会不断进行。水的迁移趋势取决于以下三种作用：

- 蒸发
- 毛细管吸引
- 水压力（如图A—4.f所而视）

溶解的物质（碳酸盐、氯化物、硫酸盐等）也将随水一起迁移。但在水份蒸发的区域内这些物质将留在砼中，可能达到很大的浓度。盐析现象也可能就是由于这种作用而引起的：原先溶解的物质在砼表面而形成结晶。

在砼中，表面盐析作用产生膨胀应力所引起的问题是次要的，主要的问题还是侵蚀性物质浓度增加后所引起的化学作用。在其它多孔材料中如砂岩、大理石、砖石等，由于盐析作用引起的炸裂和分层剥落是一个重要的劣化因素。这一破坏机理使暴露在侵蚀环境中的雕塑、纪念碑等建筑物很快就破坏了。

A—1混凝土

A—1.1物理过程

A—1.1.1开裂

A—1.1.1.1开裂的原因

当砼受到的拉应变超过其抗拉应变的能力时就会发生开裂。

砼抗拉应变的能力随龄期和应变作用速度的改变而变化。

应变产生的基本机理是不同的，即：

（1）砼中产生位移

例如干缩，由于温度变化引起的膨胀或收缩，塑性沉缩或收缩。如果位移受到约束，这些作用只引起拉应力。这种约束作用可能是局部的，如砼的收缩受到钢筋的约束；或者是规模较大的，如一个构件的收缩受与其相连接的构件约束。

（2）砼中埋入材料的膨胀

如钢筋锈蚀即为一例。

（3）外部暴露条件

例如外加荷载或由于如基础沉降差产生的变形。

图A—5概括了可能引起开裂的各种原因，而图A—6描述了各种开裂形式可能出现的龄期。

机理（1）、（2）是引起各种内部裂缝的原因，图A—7和表1中提供了各部位裂缝详情。机理（3）是引起外部裂缝的原因。

图A—5图A—7和表1摘自砼协会技术报告第22号“砼中非结构裂缝”一文。

实际中最常见的裂缝类型在以下各章节中论述。

刚硬化的砼尤其容易开裂，在新鲜砼向硬化砼的变化过程中，抗拉强度极低和形变能力极低的临界时期从浇注后几小时开始——最早两小时——持续约4至16小时（图A—8和A—9）

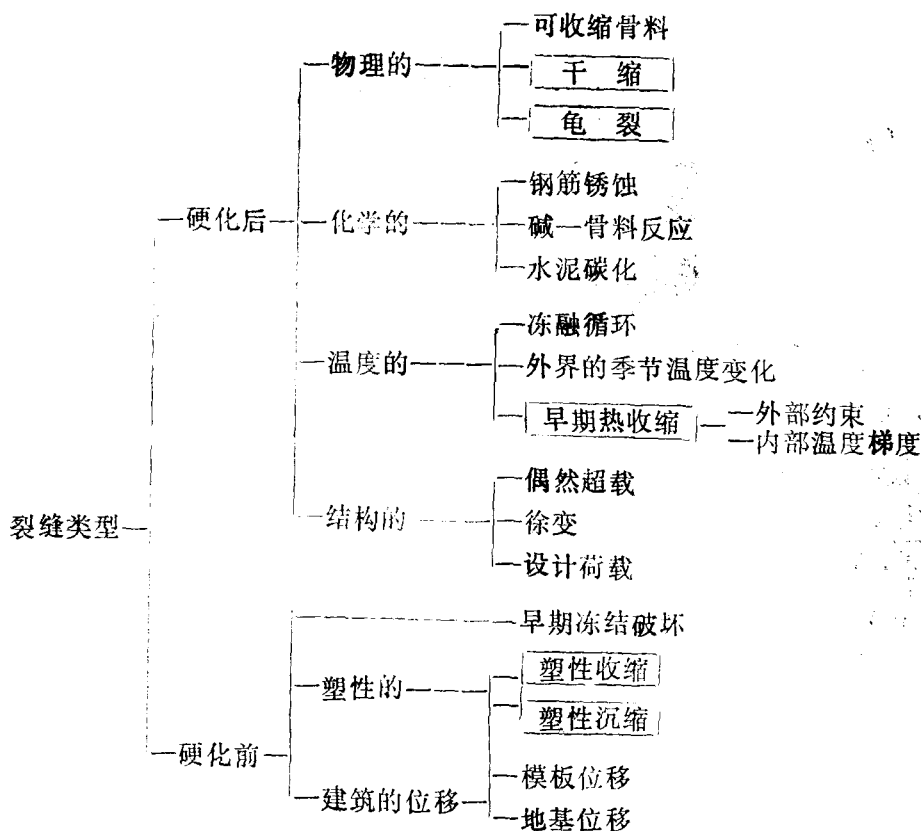
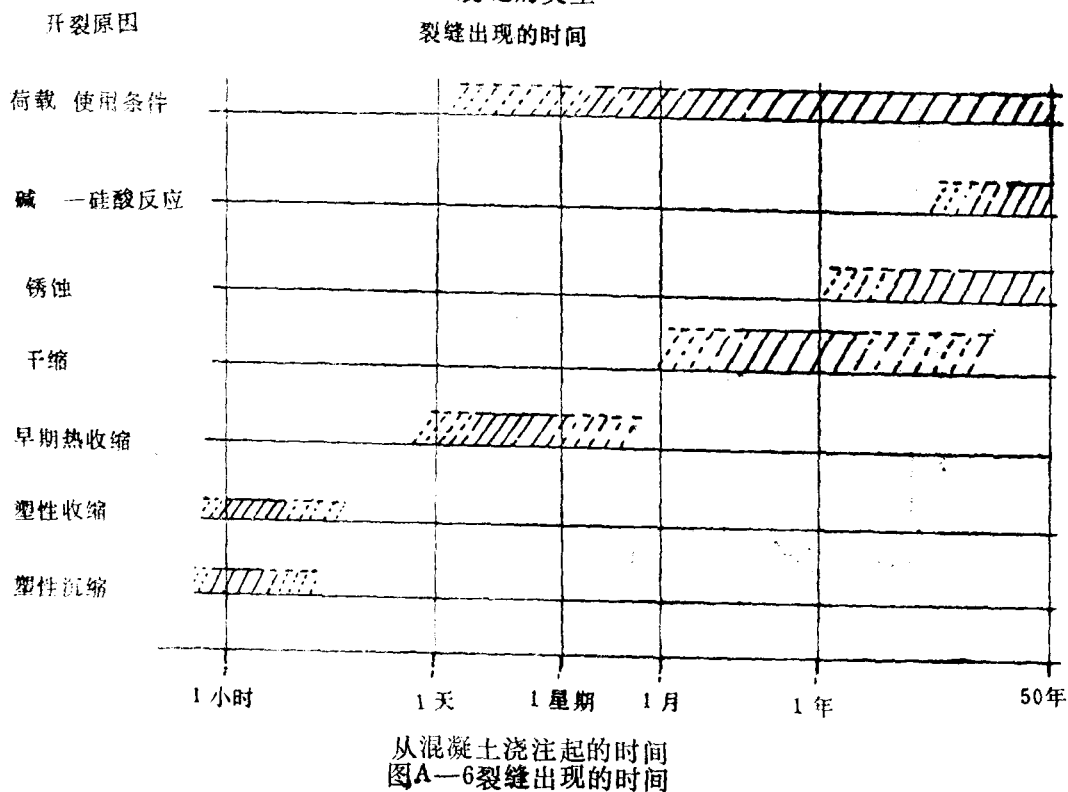
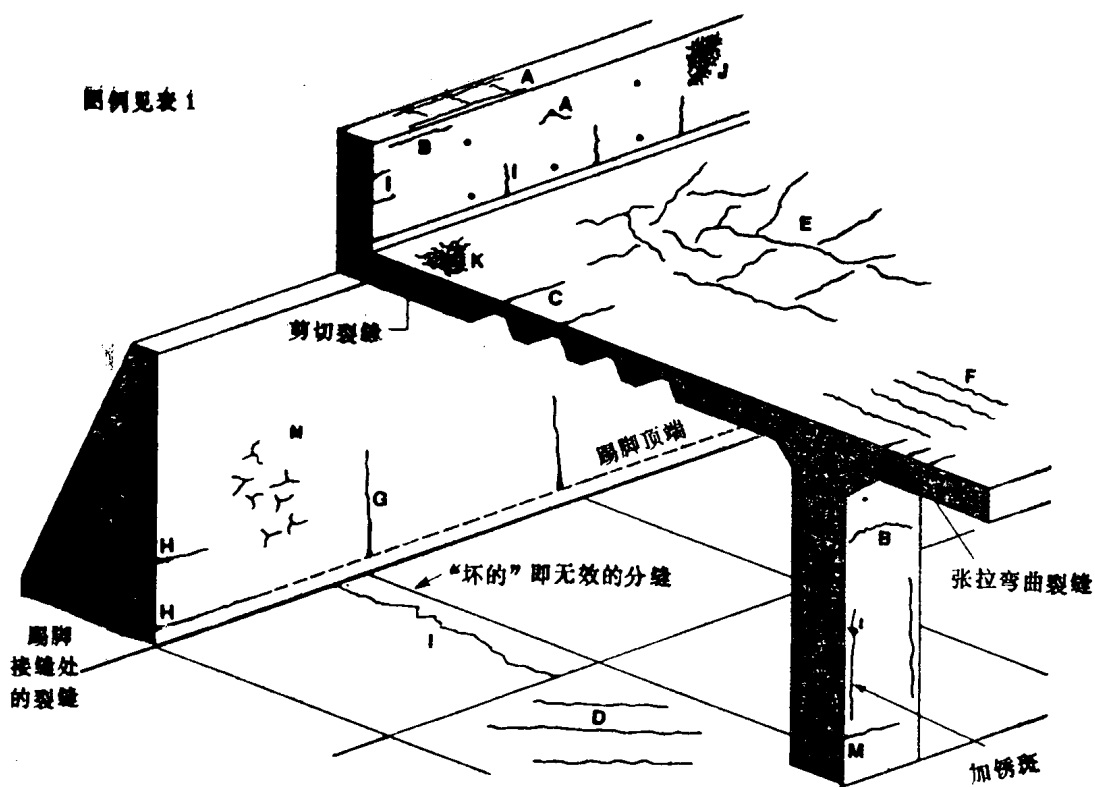


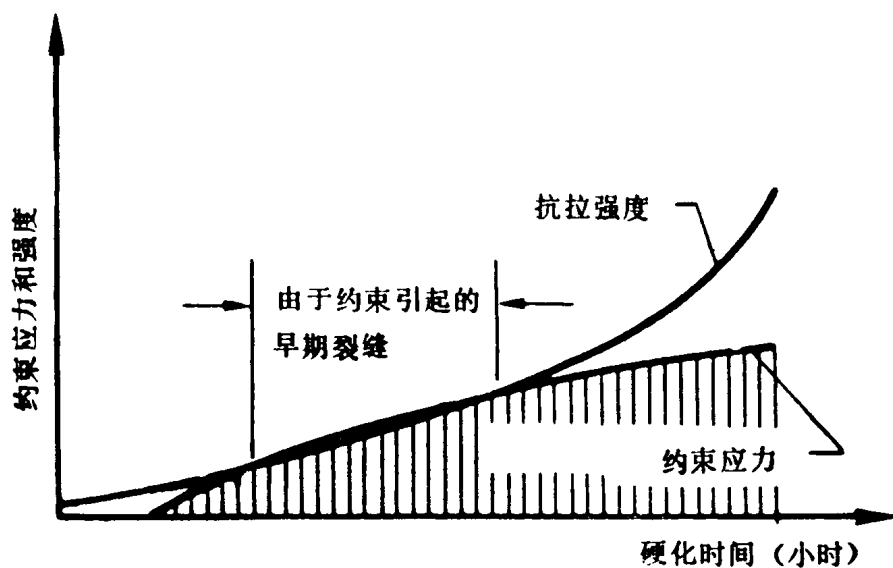
图 A—5 裂缝的类型



图例见表 1



图A—7假设混凝土结构内部裂缝举例



图A—8新混凝土中强度和约束应力的数值