

混凝土现代技术丛书

真空混凝土工艺与设备

杨长友 王蕴芝 编著

中国铁道出版社

1988年·北京

混凝土现代技术丛书

真空混凝土工艺与设备

杨长友 王蕴芝 编著

中国铁道出版社

1988年·北京

内 容 简 介

本书围绕真空混凝土,详细介绍了我国新近发展的混凝土气态薄膜真空吸水装置的先进性、实用性及基本原理与构造。并从理论分析、科学试验到引用道路、机场、建筑构件中的应用实例,介绍了使用方法、工艺条件、适用范围、配套设备与机具,特别是技术经济效益。指出了由于新的设备装置的出现,将使混凝土真空处理技术的研究应用领域不断发展的可能性。可供从事混凝土研究、施工,生产的工程技术人员参考。

混凝土现代技术丛书

真空混凝土工艺与设备

杨长友 王蕴芝 编著

中国铁道出版社出版

责任编辑 丁益民 封面设计 安宏

新华书店总店科技发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 4.875 字数: 109 千

1988年4月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—47,500册 定价: 1.35 元

《混凝土现代技术丛书》序

自从波特兰水泥问世以来，混凝土与钢筋混凝土很快就成为主要的建筑材料，广泛地应用于各种建筑工程中。第二次世界大战以后，水泥混凝土的用量迅速增加。目前世界混凝土年产量已达60亿吨左右，不仅是用量最多的建筑材料，而且也是当代最大量的人造材料。对这样的大宗材料进行有效的研究开发工作，致力于增加品种、改进工艺、提高性能、降低成本、节约能耗，不断扩大其应用范围，充分发挥其社会效益与经济效益，已成为混凝土科技工作者的光荣职责。

我们正处于新的技术革命的伟大时代，各项技术都在互相渗透、互相促进，形成日新月异之势。混凝土技术也不例外，新技术新成就不断涌现。本丛书为了加速混凝土科学技术水平的提高，使混凝土这种主要材料在我国经济建设中发挥更大作用，对于实用意义较大的混凝土现代技术，分期分批出版专册（著）。近期内将陆续出版的有：

1. 新品种与特种混凝土方面

《膨胀混凝土》，《流态混凝土》，《三向应力混凝土》，《沸石岩为气体载体的多孔混凝土》，《粉煤灰混凝土》，《轻骨料混凝土》，《聚合物浸渍混凝土》，《高强度混凝土》，《防腐蚀混凝土》，《大体积混凝土》等。

2. 新工艺、新设备方面

《混凝土养护节能技术》，《真空混凝土工艺及设备》，《混凝土中钢筋腐蚀与防护》，《混凝土冬季施工》，《混凝土快速硬化》等。

3. 性能与测试技术方面

《混凝土力学性能测定》，《混凝土强度综合法测试技术》等。

4. 应用理论方面

《混凝土材料科学》，《数理统计在混凝土试验中的应用》，《混凝土的徐变》，《混凝土的收缩》，《混凝土的耐久性》，《混凝土力学》等。

本丛书除了传播新知识以外，还将发挥宣传教育的作
用。解放以来，我国混凝土科学技术进步很快，混凝土工程
数量庞大，混凝土构件与各种水泥制品品种繁多，满足了基
本建设与国民经济发展的需要，成绩是巨大的。但也不能否
认，混凝土新技术的开发和普及工作还不能令人满意。至今
我国高中标号混凝土用得不多，外加剂使用得还很少，商品
混凝土还刚刚起步，而混凝土工程质量问题，尤其是耐久性
问题，还亟待唤起重视。总的来说，当前我国混凝土技术水
平还落后于发达的工业国家，因此，必须加速信息的传播，
加强宣传教育工作，尽快赶上国际先进水平，保证我国高速
度的建设事业对混凝土的需要。

随着科学技术的进步与我国在混凝土科研与生产经验的
积累，本丛书的选题范围将继续扩大；希望同行专家与广大
读者，给予支持，共同为加速混凝土新技术的发展贡献力
量。

吴中伟 姚明初

一九八八年元月

目 录

第一章 绪 言	1
第二章 真空混凝土的优点	6
第一节 真空混凝土的力学性能.....	6
第二节 真空混凝土的物理性能.....	14
第三节 真空混凝土湿热处理周期.....	20
第三章 真空混凝土原理	24
第一节 真空混凝土脱水密实物理力学基础.....	24
第二节 真空混凝土脱水密实过程.....	29
第三节 真空混凝土结构形成特点.....	33
第四章 真空混凝土的工艺制度	36
第一节 影响真空处理效果的因素.....	36
第二节 真空处理混凝土厚度.....	38
第三节 真空度的选择.....	42
第四节 真空处理时间.....	48
第五章 真空混凝土的配合比	53
第一节 真空混凝土配合比特点.....	53
第二节 真空混凝土配合比计算方法.....	57
第三节 真空混凝土配合比试验方法.....	62
第六章 混凝土真空处理专用设备与配套机具	65
第一节 真空脱水装置.....	65
第二节 真 空 泵.....	78
第三节 配套机具.....	87
第七章 真空混凝土的应用	92

第一节	工艺流程与操作要点·····	92
第二节	真空混凝土在水泥混凝土道路 上的应用 ·····	102
第三节	真空混凝土应用于机场道坪 ·····	118
第四节	真空混凝土在建筑构件中的应用 ·····	122
第五节	真空混凝土在其它方面的应用 ·····	135
第八章	混凝土真空处理技术的发展 ·····	137
第一节	振动与真空的配合 ·····	137
第二节	振动、压制、真空处理制造高强混凝土····	139
第三节	真空聚合物混凝土 ·····	141
第四节	注浆—真空处理制作三阶段管保护层 ·····	144

第一章 绪 言

混凝土混合料需经过密实成型获得一定的外形及内部结构。可是，混凝土的密实和成型存在着矛盾，一方面要使混凝土混合料成型，必须满足混凝土浇灌的流动性，这就需要增加用水量，提高水灰比。对于普遍采用的振动密实方法，为满足流动性要求，往往使混凝土中的加水量高于水泥水化所需水量的2~3倍，否则，水灰比过低会造成施工困难，密实程度差，强度低。然而，另一方面，原材料与配合比一定的混凝土，则强度首先取决于它的密实程度，亦即取决于内部空隙含量。混凝土中空隙包括两部分：一部分为搅拌过程夹带进的空气气泡，成型时不能全部排出而残留的；另一部分即为满足上述流动性要求，搅拌时加入的过量水，逸出后剩下的空间。水灰比越大，硬化后留下的空隙越多，混凝土强度越低。也就是说从密实度来说，水灰比不能过大。因此在一定的密实方法下，存在一个优质混凝土水灰比值范围（图1—1）。采用先进的工艺，可使水灰比降低，这正是长期以来，人们为了制造优质高强度混凝土所研究追求的。目前已成熟的或正在发展的有下述两种方法：一是采用低水灰比，以掺加减水剂提高流动性。或者，借助外力，使混凝土混合料“液化”，例如强力振动、振动压制等密实成型工艺；二是采用高水灰比，然后使用机械脱水法，将多余的水份和空气尽量排出。例如采用离心、真空处理、压缩脱水密实成型工艺等。

新鲜混凝土振动成型后，采用真空处理的方法，进一步

脱水密实，是一种较完善的机械脱水方法，所制造的混凝土称之为真空混凝土。真空处理即在浇灌振动成型后的混凝土表面放置真空吸水装置，用真空泵产生压力差，对混凝土施加挤压抽吸作用，去除部分多余水份和气泡使混凝土密实（图1—2）。为区别比较，对不经真空处理硬化的、或以真空处理前水灰比—原始水灰比配制的混凝土称为普通混凝土。以真空处理后的混凝土水灰比—即剩余水灰比配制的振动成型混凝土，视为干硬性混凝土。

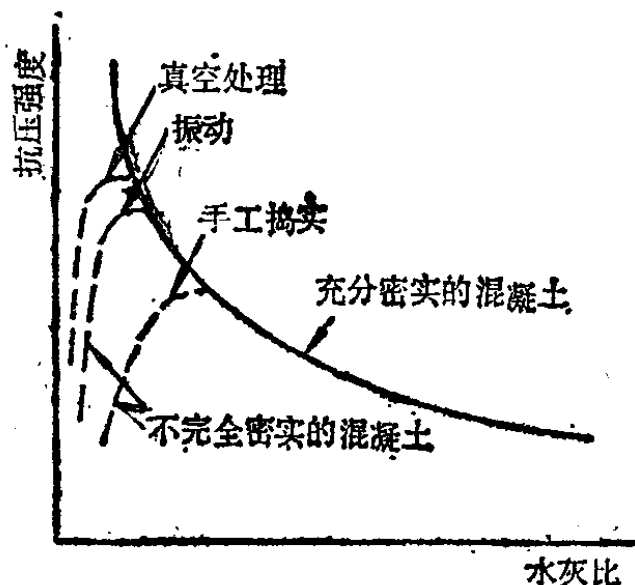


图1—1 混凝土强度与水灰比的关系

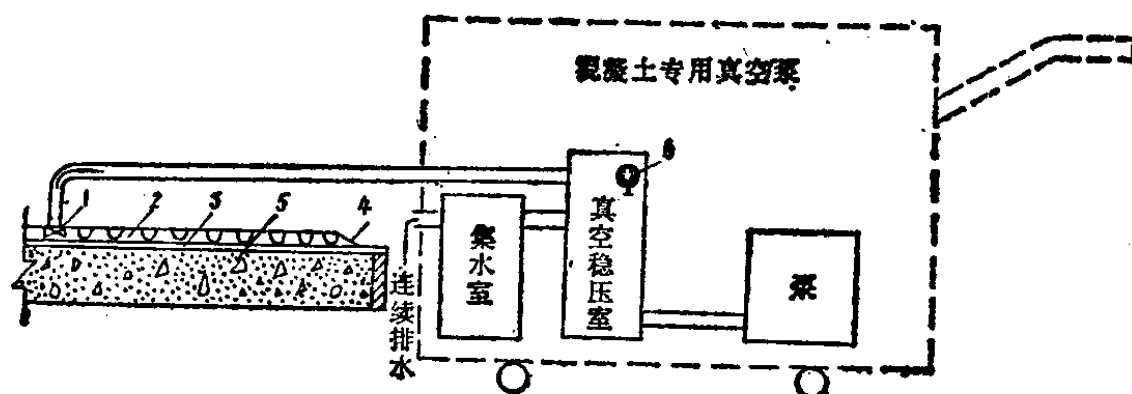


图1—2 真空处理示意图

- 1 —— 吸口； 2 —— 气垫薄膜吸垫； 3 —— 过滤布；
4 —— 密封边； 5 —— 新鲜混凝土； 6 —— 真空表。

真空混凝土出现于1935年。最初，西欧、苏联、美国都

曾在预制与现浇混凝土工程中采用过。50年代初曾一度引起人们重视，后因所采用的真空泵与刚性真空吸盘吸水装置设备笨重、加工复杂、能耗大、操作不便、过滤布使用寿命短，在成本、节能、工效等方面存在不少问题，加之当时有许多国家正在推广使用干硬性混凝土而未能发展。60年代后期，由于干硬性混凝土在工艺和设备方面的缺陷，越来越明显地为人们所认识，如搅拌成型设备复杂、机件磨损大、能耗高、振动噪音大，有时因振动不密实而影响质量。因此，在发展应用化学减水剂的同时，真空吸水技术又重新引起重视，特别是70年代初，瑞典研制成功结构简单、能耗低、使用方便的混凝土专用真空泵，并开始采用塑料网柔性可卷真空吸垫作吸水装置，解决了刚性吸盘及过滤布使用中存在的问题。该技术的应用得到了一定的发展。目前，在斯堪的纳维亚半岛的几个国家中有40~50%的楼板、地面采用真空吸水。瑞典一所理工大学所作典型调查发现，未经真空处理的楼板，其中80%发现贯穿裂缝；经真空吸水处理的一块也没有。因而建议所有的工厂仓库楼面、地面均应采用真空吸水处理。这个建议已得到广泛采纳。西德已有1000多个不同的混凝土工程采用了真空吸水，其中一幢17层的大楼，每层400m²的楼板，经真空吸水处理，4天即可全部拆除模板。新西兰研制了一台采用振动与双面真空处理相结合的成型机，生产一块3×5m²的钢丝网水泥墙板仅需4min。苏联莫斯科建筑工程学院、第聂泊水利工程学院等单位，近十几年来，一直在深入研究真空混凝土，并逐步推广应用，如乌克兰钢筋混凝土工厂采用真空吸水生产陶粒混凝土外墙板，节约水泥10~20%，节约养护蒸气30~40%，减少钢模30~40%。苏联、法国还提出了压制真空工艺，制造高强混凝土。美国在纽约一座7620m²的酒厂仓库楼板中，采用金属

骨料与真空吸水相结合的方法，提高了耐磨强度，并在82年对某导弹基地的立面混凝土工程采用了真空处理。瑞典在隧道工程中也采用真空吸水与辐射加热器养护相结合的方法加速混凝土硬化，使真空吸水技术的应用范围与效果不断扩大。

我国50年代即进行过混凝土真空吸水试验，并在水工建筑、管道等工程中使用过，后来曾研究过采用振动真空工艺生产水泥大波瓦与钢丝网水泥农船、预制板及双向预应力整间肋型楼板。引进并研究仿制了瑞典 DYNAPAC 混凝土专用泵与塑料网柔性吸垫，先后应用于楼板生产与机场混凝土机坪等工程的施工。但塑料网真空吸垫尚存在真空度分布不均匀、水流阻力大、容易损坏等缺点，特别是真空度分布的不均匀，造成真空混凝土质量的不均匀，使真空处理的意义只在于成型后新鲜混凝土获得了较高的初期结构强度。

1982年我国发明的气垫薄膜真空吸垫，具有真空度分布均匀、对混凝土的挤压作用大、脱水效率高、使用操作方便等优点，解决了塑料网吸垫存在的问题，应用于水泥混凝土道路路面、机场、停车场的施工和大型平面预制构件的生产，取得节约水泥、提高混凝土耐久性、缩短施工养护周期、降低能耗的效果，真空混凝土的应用进入了日趋完整的新的发展阶段。

真空处理有以下四种型式：

上脱水。将刚性吸盘或可卷吸垫置于混凝土上表面进行真空脱水处理。适用于水泥混凝土路面、机场、现浇混凝土楼板、地面施工，以及等截面预制构件的生产。

下脱水。采用刚性真空腔胎模，从混凝土下部进行真空脱水处理。适用于槽型、肋型等变截面预制构件的生产。

侧脱水。用于坝体、柱、墙等斜面或垂直现浇混凝土工

程。

内部脱水。用包有过滤层的多孔管联接真空泵，从混凝土内部进行真空脱水处理，多孔管略有锥度，真空处理结束后拔出。多孔管亦可用多孔细集料混凝土制作的立体过滤器代替，在浇灌混凝土前，预先埋入模板内，并与真空管道联通，真空处理后不再拔出。

第二章 真空混凝土的优点

普通混凝土经过真空处理，内部组成与结构发生变化，使硬化后混凝土的物理力学性能改善与提高，从而具备了施工性能方面与混凝土质量上的一系列优点。

第一节 真空混凝土的力学性能

混凝土的力学性能是反映混凝土品质优劣的主要指标之一，它包括抗压强度与抗拉强度、抗折强度、抗拔强度、弹性模量等。对于真空混凝土还具有另一项力学性能指标，即塑性结构强度。

一、塑性结构强度

真空混凝土在水泥浆开始硬化前，即具有一定强度，称塑性结构强度，亦称初始强度，或物理堆积强度。塑性结构强度的产生，主要由于真空处理后，混凝土内固体颗粒间毛细管失去部分水而形成的弯月面，产生使孔壁收缩的微管压力，将混凝土的颗粒骨架约束在一起，以及由于真空挤压作用而增加的固体颗粒间的内摩擦力，在这两种力的影响下，新鲜混凝土具有类似固体性质的粘结力，即塑性结构强度。这种强度是物理作用、而并非水泥水化的化学作用所形成的。

塑性结构强度的大小，与真空处理后混凝土的干硬度，以及真空处理过程中真空挤压力的大小有关。混凝土干硬性越高、挤压力越大，则塑性结构强度越大。表 2—1 为各国

测定的真空混凝土塑性结构强度值。

真空混凝土塑性结构强度 (MPa) 表 2—1

美 国	苏 联	英 国	法 国	联邦德国	印 度	波 兰	中 国
0.15	0.3~0.4	0.15	0.12	0.1~0.12	0.14	0.15~0.2	0.2~0.3

具有0.2~0.3MPa塑性结构强度,是真空混凝土的重要优点。普通混凝土成型后,需在30°C下静停4h以上,通过水泥水硬化作用,才能形成数值上近似于真空混凝土塑性结构强度的强度值(表2—2)。由于具备这一优点,可以在混凝土施工和质量上获得一系列有利的效果。

真空混凝土的初始强度(MPa) 表 2—2

静停时间 (h)	0	1	2	3	4
真空混凝土	0.201	0.239	0.320	0.419	0.636
普通混凝土	—	—	—	—	0.238

注:混凝土标号300[°], 环境温度30°C;

原始水灰比0.513, 真空度500~680mmHg; 脱水率=18%。

(一) 当塑性结构强度达0.14MPa时,高5.4m的构件,真空处理后,可立即拆除侧模,混凝土不会塌落,可以大大提高模板的周转率。提前进行混凝土表面修饰。

(二) 真空处理后,混凝土表面可立即进行机械抹光。普通混凝土,即使在平均气温高达25°C的情况下,也需要静停2~3h后方可进行机械抹光(图2—1)。采用真空处理技术便可缩短施工操作周期,实现各工序的流水作业,提高施工效率。

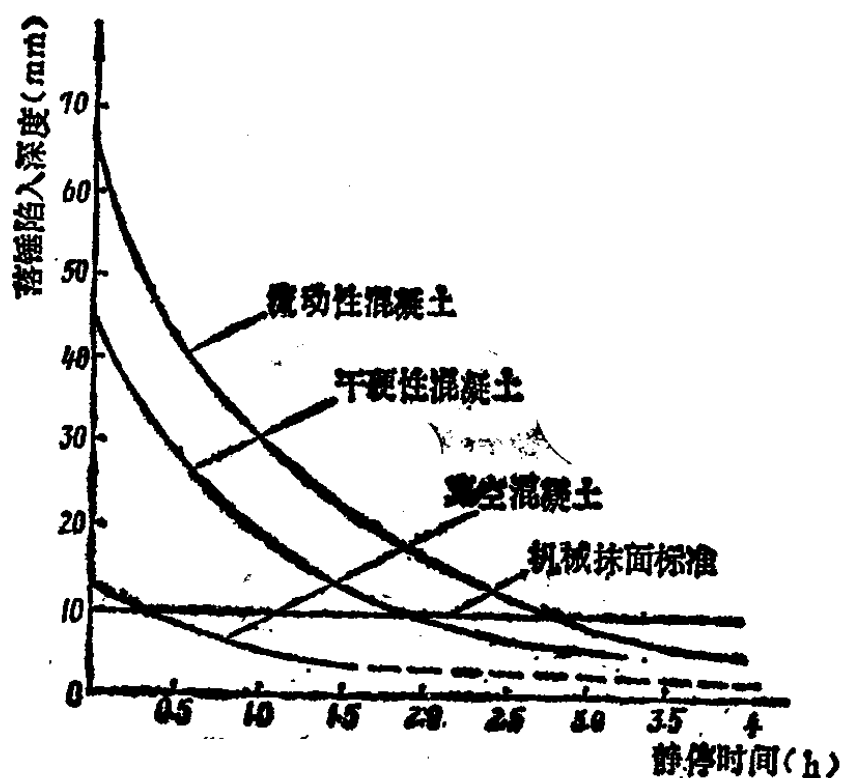


图 2—1 表面硬度与静停时间关系

注：落锤杆重1.55kg，杆端半球直径12.5mm，下落高度30cm。

二、抗 压 强 度

(一) 真空混凝土与普通混凝土强度的比较

普通混凝土经真空处理后，强度提高，早期强度提高更显著。

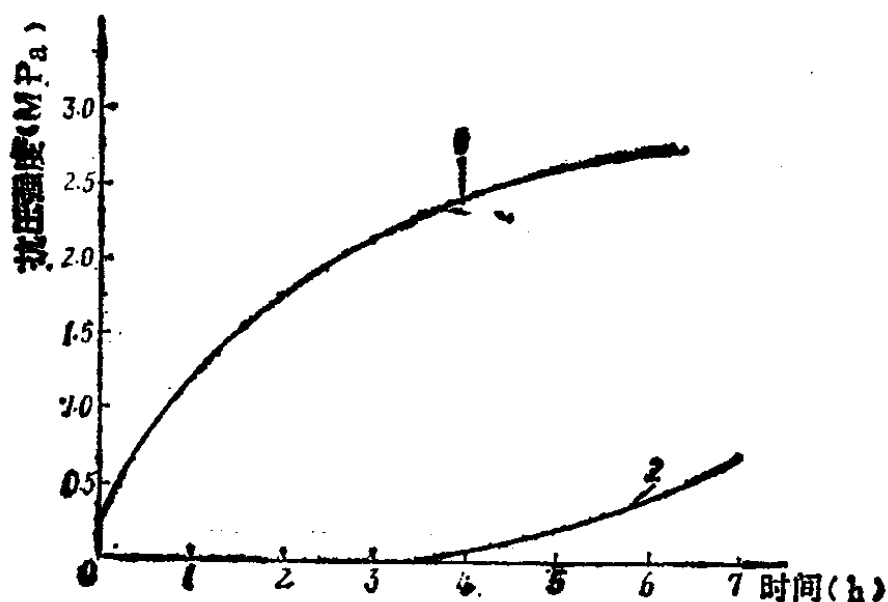


图 2—2 7h内强度发展

1——真空混凝土，2——普通混凝土。（水泥用量 $250\text{kg}/\text{m}^3$ ）

1. 早期强度

真空混凝土早期强度发展快，与普通混凝土的强度相比，24h内提高到四倍左右（图2—2与图2—3）。

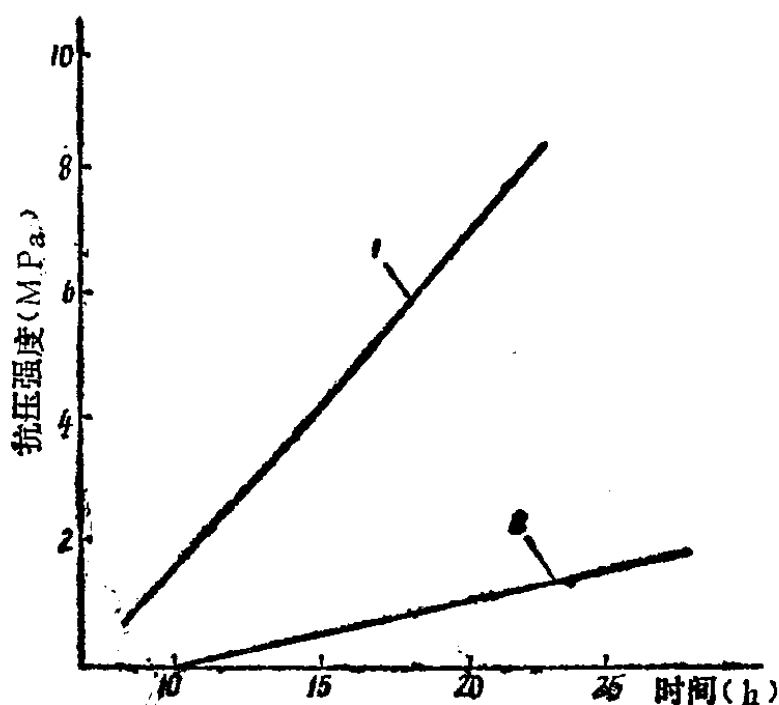


图2—3 一天内抗压强度
1——真空混凝土；2——普通混凝土。
(原始水灰比0.548，剩余水灰比0.438)

早期强度发展快，可以减少早期干缩值，提高耐气候性，同时可提前拆模。

2. 各龄期的强度

自然养护条件下，真空混凝土的强度3天达28天的60%左右，7天达70%，14天达80%。与普通混凝土相比，3天抗压强度提高一倍，7天提高50%，14天提高30%，28天提高25%（图2—4）。28天后，真空混凝土的强度不仅同样继续增长，且增长速度亦略高于普通混凝土（图2—5）。

3. 蒸气养护真空混凝土强度

由于真空混凝土具有塑性结构强度高，早期强度增长速

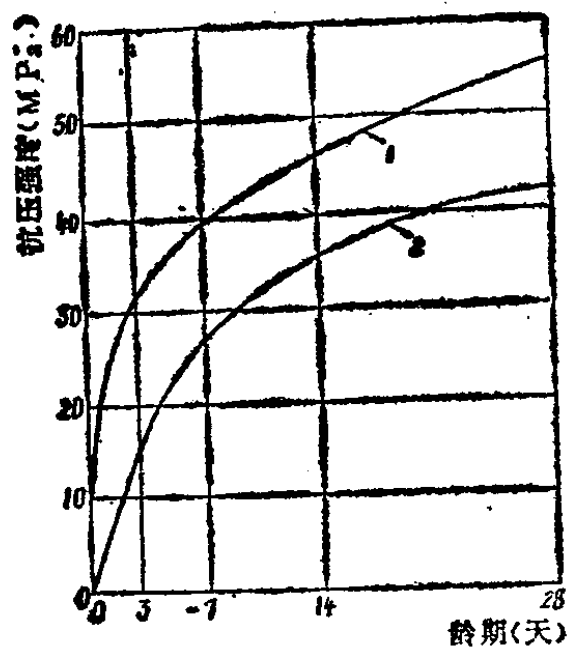


图 2—4 早期抗压强度
1——真空混凝土;
2——普通混凝土。

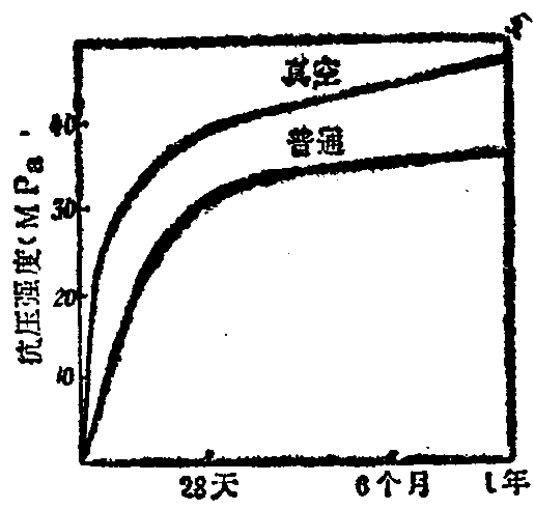


图 2—5 后期抗压强度

蒸养混凝土强度 表 2—8

试 件	蒸 养 后		蒸养后28天	
	抗压强度 (MPa)	相对提高 (%)	抗压强度 (MPa)	相对提高 (%)
1 普通混凝土 真空混凝土	16.47 24.25	47	29.52 37.53	27
2 普通混凝土 真空混凝土	17.10 26.96	58	27.72 38.25	38
3 普通混凝土 真空混凝土	16.14 24.75	53	27.87 38.07	37
4 普通混凝土 真空混凝土	17.36 27.82	60	26.34 38.43	47

注：混凝土标号300*， 425*水泥；
配合比 1:1.62:3.29， 原始水灰比0.53， 剩余水灰比0.43。

度快的特点，因此，更适宜湿热处理，蒸气养护5h，可达28天