



混凝土 真空脱水技术

编 方福森 审

GSU

E

CHU

CHUBANSHE

江苏科学技术出版社

混凝土真空脱水技术

邱凤山 编

方福森 审

江苏科学技术出版社

内 容 提 要

混凝土真空脱水技术是本世纪七十年代兴起的一项混凝土施工新技术。本书扼要介绍了混凝土真空脱水技术的密实原理、混凝土配合比设计及物理力学性能；着重阐述了混凝土真空脱水技术的施工方法、工艺参数、真空脱水设备及其操作要点；对施工中脱水的均匀性、内部结构的变化、提高脱水率和强度的措施、质量通病及其防治、质量管理方法、测试手段以及经济效果等也作了较详细的阐述。

本书可供从事机场、公路、城市道路、房屋建筑、预制构件和水利工程等混凝土施工的工程技术人员、管理人员和技术工人阅读，也可供土建类院校师生阅读、参考。

混凝土真空脱水技术

邱凤山 编 方福森 审

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：江苏海门印刷厂

开本787×1092毫米 1/32 印张4.125 字数132,000

1986年10月第1版 1986年10月第1次印刷

印数1—7,500册

书号：15193·201 定价：1.05元

责任编辑 华锡全

前 言

混凝土真空脱水技术，是本世纪七十年代发展起来的一项新技术，它主要是利用真空压差进行机械压缩脱水。由于它能解决混凝土工作度与强度之间的矛盾，又具有早期强度高、表面质量好、投资少、见效快、生产周期短、经济效果显著等特点，以及能全面改善混凝土物理力学性能等优点，因而被列为七十年代国外混凝土施工四项新技术之一。国内在考察、引进的基础上加强了试验研究，现已有二十余省、市、自治区不同程度的推广应用了这项新技术，并取得了较大的进展和可喜的成果。国家有关部门已将该项技术列为全国重点推广项目，并已列入国家标准——“水泥混凝土路面工程施工及验收规范”颁布执行。

为了适应当前形势发展的需要，帮助读者了解真空脱水的基础理论和技术知识，正确运用这项新技术、新工艺，作者根据机场道面和道路施工的实践与研究，结合参考几年来国内外有关文献及试验资料编写成此书，希望能对混凝土施工技术起到一些有益的作用。

本书内容密切结合施工现场，数据多半来自实践的积累，对施工中可能遇到的技术问题，亦作了分析介绍。文字力求深入浅出，通俗易懂。

本书编写中引用了苏州水泥制品研究所、江苏省建筑科

研所、天津大学土木系、南京工学院土木系、江苏省交通厅工程管理局、苏州公路管理处、上海市政工程处、镇江公路管理处、南京市政工程公司、南京真空泵厂、民航总局、空军工程学院、空军后勤学校等单位的试验资料和经验，得到南京部队空军后勤部修建处和作者所在部队的支持与帮助，南京工学院方福森教授审阅了全稿，并提出了许多宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢。

限于作者的水平，书中缺点和错误之处，希望读者批评指正。

编 者

1985年10月

目 录

第一章 概述

§ 1.1 真空混凝土的发展概况	1
§ 1.2 采用真空脱水工艺的目的	3
§ 1.3 真空混凝土的主要特性	4
§ 1.4 真空脱水工艺的适用范围	5
§ 1.5 混凝土真空脱水的类型	6

第二章 混凝土的真空脱水

§ 2.1 真空脱水的密实原理	9
§ 2.2 真空脱水的限度	13
§ 2.3 真空脱水的水流走向	13

第三章 真空脱水设备与主要施工机具

§ 3.1 真空脱水机组	15
§ 3.2 真空吸盘(吸垫)	23
§ 3.3 振捣器与振动刮尺	33
§ 3.4 抹面机	39
§ 3.5 滚筒与酸洗浸泡槽	41
§ 3.6 排刷与振动压纹器	42

第四章 真空混凝土的用料选择与配合比设计

§ 4.1 真空混凝土的用料选择与要求	46
§ 4.2 配合比的设计与参数选择	51
§ 4.3 真空混凝土施工配合比参考表	57

第五章 真空混凝土施工作业参数

§ 5.1 真空度	60
§ 5.2 真空脱水作业时间	63
§ 5.3 脱水率与最佳值	69
§ 5.4 密封边	71

第六章 混凝土真空脱水施工

§ 6.1 工艺流程	74
§ 6.2 施工操作要点	74
§ 6.3 真空脱水的施工组织	91

第七章 特殊情况下的真空混凝土施工

§ 7.1 高温季节真空混凝土的施工	96
§ 7.2 低温季节真空混凝土的施工	98
§ 7.3 雨季真空混凝土的施工	100
§ 7.4 使用325号水泥浇筑300号真空 混凝土路面的施工	101
§ 7.5 超厚型真空混凝土的施工	102
§ 7.6 在旧混凝土道面上“盖被子”施工	103
§ 7.7 道路湿软基础的真空处理	109
§ 7.8 带肋平板构件的真空处理	110
§ 7.9 房屋楼板、预制构件及大斜面混凝土坝 的真空处理	111

第八章 影响真空脱水效果的因素及提高脱水率的措施

§ 8.1 影响真空脱水效果的因素	113
§ 8.2 提高脱水率的措施	114

第九章 真空混凝土施工中几个质量问题的分析和预防措施

§ 9.1 边部裂缝	116
§ 9.2 表面平坦度	119
§ 9.3 邻板差	122

§ 9.4	表面露砂和弹簧状的假凝	124
§ 9.5	边部偏软	125
§ 9.6	板的断裂	128
§ 9.7	提高真空混凝土密实度和强度的措施	129
第十章 真空混凝土的质量管理和强度检测		
§ 10.1	真空混凝土的质量管理	132
§ 10.2	真空混凝土的强度检测	133
第十一章 真空脱水的均匀性与有效作用深度		
§ 11.1	真空度在深度方向的传递	145
§ 11.2	真空脱水的均匀性	147
§ 11.3	真空脱水的作用深度与有效厚度	151
第十二章 真空混凝土内部结构的变化		
第十三章 真空处理对混凝土物理力学性能的影响		
§ 13.1	真空脱水对强度的影响	159
§ 13.2	真空脱水对容重、表面硬度和耐磨性的影响	164
§ 13.3	与旧混凝土、钢筋的结合	167
§ 13.4	真空脱水对其他性能的影响	168
第十四章 混凝土真空脱水工艺的优越性及经济效果		
第十五章 真空混凝土的展望		
附录		
附录一	简易轨道式锯缝机与砂轮片	179
附录二	几种常用的填缝料与新型填缝料	182
附录三	HZJ-40与HZX-60型真空脱水机组常 见故障及其排除	186
附录四	真空混凝土作业记录表	188

第一章 概 述

混凝土真空脱水技术,是研究混凝土真空脱水工艺、脱水机具设备和各因素相互关系的一门技术。

真空脱水工艺是利用真空设备,借助大气压与真空的压差,使混凝土表面受到挤压作用,将混凝土内多余的水分和空气排出,从而制得物理力学性能得到改善、质量较好的特种混凝土,这种混凝土一般简称为真空混凝土。

§ 1.1 真空混凝土的发展概况

混凝土真空脱水技术,是三十年代兴起的一门混凝土施工技术。早在1935年由瑞典籍美国工程师K. P. 毕聂尔(K. P. Billner)发明并取得了专利。此后至五十年代中期,苏、日、美等国纷纷将这种新工艺,应用于预制及现浇混凝土工程。五十年代后期至六十年代,各国由于推广干硬性混凝土振动密实工艺,以及当时的真空设备庞大、结构复杂、易出故障、滤布使用寿命短、工艺方法不完善等原因,影响了真空脱水工艺的发展,因而曾一度很少采用。但由于干硬性混凝土密实工艺,在使用中逐步暴露出很多问题,如振动噪音大、能耗高、机械磨损严重、搅拌成型设备复杂,有时振动不密实影响质量等,所以在发展应用化学减水剂的同时,真空脱水技术又被重新引起重视。特别是在七十年代初,瑞典研究成功结构简单、性能优良、使用方便的真空脱水机组和软吸垫后,该技

术的应用重新崛起。在瑞典等斯堪的纳维亚国家中，有40~50%的楼板、地面的施工采用真空脱水工艺，苏联和联邦德国在钢筋混凝土工程及钢筋混凝土预制构件施工中较广泛地采用了真空脱水技术，美国采用金属骨料与真空脱水相结合的方法来提高构件的耐磨性，并在1982年对某导弹基地的立面混凝土采用真空处理。此外在法国、意大利、比利时、波兰、捷克斯洛伐克、伊朗、印度、澳大利亚等国，近几年来也不同程度地推广和应用真空混凝土。

我国五十年代，在水工建筑的水坝、护坡工程中，曾使用真空脱水技术。六十年代采用振动-真空成型工艺制造过水泥标志船、大口径预应力管。七十年代初，应用于钢丝网水泥船，1977年应用于双向预应力整间肋型楼板等。七十年代末，在出国考察、引进的基础上，北京、天津、江苏、四川、上海、沈阳等地建筑科研单位、高等院校对真空混凝土的原理、性能、设备等进行了较系统的研究。

1980年南京空军某部，为了改革半干硬性混凝土道坪施工的旧工艺，与江苏省建筑科学研究所合作，首次在某机场对真空脱水工艺进行了可行性的应用研究，1981年，该部组织了大面积施工试验，并获得了成功。试验道面通过两年多的使用，质量良好，于1983年8月通过了技术鉴定。江苏省交通厅所属单位，在公路道面施工中迅速推广、应用了真空脱水工艺，并用325号小窑水泥制备了300号混凝土高级路面，1982年底并与苏州水泥制品研究所合作，试制成功V₁₂型凸头气垫塑料薄膜吸垫。

1981年2月国家建工总局科技局在北京召开了“混凝土真空脱水”技术座谈会，会上肯定了该工艺的先进性、可行性和经济性。近几年来，该工艺由建材、交通、建工、部队等主管

部门又多次召开座谈、评议、鉴定和经验交流会议。据不完全统计,国内现已有20余省市在混凝土生产和施工中不同程度地采用了真空脱水工艺技术,并在机场、道路、楼房、预制构件、水坝护坡等现浇混凝土的工程实践中积累了一定经验,技术逐步成熟、深化,混凝土真空脱水技术已经从多方面进入了实际应用阶段。

1985年6月由交通部公路局组织和主持下编写的“水泥混凝土路面工程施工及验收规范”(送审稿),已将真空脱水工艺列入国标规范,拟推荐全国使用。

§ 1.2 采用真空脱水工艺的目的

在混凝土施工中常有这样的矛盾:用低水灰比或干硬性混凝土施工,可以得到高质量的混凝土,但混合料流动性差,拌合、平仓、振捣、填挖补料、作面等操作都感到很困难。为了便于操作,通常提高水灰比或增大混凝土的流动性。混凝土在养护硬化过程中,约占水泥重量20~25%的水是与水泥起化学作用形成水化物的,其余水分绝大部分没有用了,被逐步蒸发形成空隙,因而减小了混凝土的密实性和有效断面积,导致混凝土的强度和其它物理力学性能的降低。

如何解决这一矛盾?目前主要有两个途径:

1. 采用化学减水剂

采用化学减水剂的办法可以达到既能减小水灰比又能提高流动性,便于操作,改善混凝土质量或节约水泥等目的。但减水剂的品种繁多,性能不一,效能也不很稳定,对不同水泥、不同标号、不同施工条件有其适应性的问题,而且有些减水剂会降低混凝土的早期强度,因此使用前必须经充分试验慎重

选用。对其填加方法、用量、搅拌、养护等要求也很严格。实践证明,由于加水量或称量不准等多种因素的影响,常使效果差异很大。另外较理想的减水剂,货源紧张,价格较贵,使其推广受到了一定限制。

2. 采用真空脱水工艺

真空脱水工艺可以先使用流动性较大的混合料,然后再通过压差作用将多余的水分脱出,降低水灰比。

采用真空脱水工艺的目的,各施工单位都不同,但归纳起来主要有如下八点:

①解决工作度与强度的矛盾,便于操作,减轻劳动强度,提高混凝土强度。

②改善混凝土表面质量。如减少泌水,提高耐磨、抗渗、抗腐蚀等性能,减少脱皮、起壳、起粉、收缩裂纹等,以延长使用寿命。

③节省水泥用量,提高工效,降低成本。

④提早拆模,加速模板周转,缩短生产周期。

⑤为了适应高温、低温、雨季施工,抢时间完成施工任务。

⑥对已损坏的旧路面进行薄层罩面,降低造价,加快进度。

⑦重要工程低温施工时,提早进行保暖养护,保证混凝土冬季施工质量。

⑧采用货源广泛的低标号水泥,修筑较高标号的混凝土路面。

§ 1.3 真空混凝土的主要特性

(1) 具有改变混凝土最终水灰比的特性 它可以使流动

性混凝土变为干硬性混凝土，即由高水灰比降为低水灰比。利用水灰比迅速下降的特性，可以在不增加水泥用量的情况下，适当加大混凝土的流动性，便于施工操作，加快浇灌速度，减轻劳动强度。

(2) 具有早强特性 混凝土脱水后能立即获得 $0.1\sim 0.2\text{ MPa}$ ($1\sim 2\text{ kg/cm}^2$) 的初始强度。人们利用这一特性提早拆模、提早养护、提前起条、抹面，使下道工序不需等待时间而连续作业，因而可使全部工序提前完成，缩短施工周期。

(3) 施工基本无泌水，表面质量显著提高 由于真空负压在表层作用最大，使表面水泥含量增高，水灰比减小，混凝土变得密而硬实。人们利用这一特性来减少表面收缩裂缝，增加耐磨性，提高抗渗性，延长构件的使用寿命。

(4) 在低温下施工强度增长率显著提高，高温施工容易做面成型，以及增强与旧混凝土和钢筋粘合力。

(5) 为增加压缩性，砂子用量比普通混凝土要多。

§ 1.4 真空脱水工艺的适用范围

1. 工程项目

- ① 新建或改建的机场道坪；
- ② 新建或改建的公路、高速公路、城市道路、厂区生活道路；
- ③ 停车坪、货场；
- ④ 基础垫层的湿软处理；
- ⑤ 房屋现浇楼板、屋面、地坪、折叠楼盖、混凝土基础；
- ⑥ 预制混凝土构件，如实心楼板、双向预应力楼板、墙板、肋形楼板、浮石混凝土外墙板、板材真空移位等。

⑦抗渗性、耐磨性要求较高的混凝土工程,如水工建筑的护坡、堤坝斜坡、钢丝网水泥船、航标船、大口径涵管、滤水池等。

⑧其它工程,如隧道、立墙、桥墩、水闸、涵洞等。

2. 混凝土的面积与厚度

混凝土单次处理最大面积为 $6 \times 6 \text{ m}$; 一台泵同时抽吸两块时,总面积不宜超过 $50 \text{ m}^2 (2 \times 25 \text{ m})$ 。

真空处理的有效厚度为 25 cm , 如采取一定的技术措施可达 30 cm 。

3. 混凝土的品种与标号

可用于普通混凝土、细石混凝土、轻混凝土、钢筋混凝土、泵送混凝土和水泥砂浆等。

混凝土标号:从 $70 \sim 400$ 号。

可使用普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥;火山灰水泥与硅酸盐水泥、粉煤灰水泥亦可使用。

水泥的标号一般为 $325 \sim 525$ 号,以 425 号为最佳。

4. 施工气温

室外温度 $5 \sim 36^\circ \text{C}$ 均可采用真空脱水工艺。

§ 1.5 混凝土真空脱水的类型

一、按真空处理面的位置分

1. 上脱式

上脱式是将真空吸盘置于混凝土上部进行真空处理的方法。主要适用于现浇楼板、地面、桥面、公路、城市道路、机场跑道、预制构件、护坡等施工。上脱式真空脱水可以使用软吸

盘或刚性吸盘,因为水分和空气比重小,易向上漂浮,可因势利导将其排出,故脱水率较高,在施工中最常采用。

2. 下脱式

下脱式是将真空吸盘置于混凝土底部进行真空处理的方法。主要适用于预制板、肋形板等施工。下脱式只能使用刚性吸盘。脱水率较上脱式略低。

3. 侧脱式

侧脱式是将真空吸盘置于混凝土侧面进行真空处理的方法。适用于墙、柱、管等垂直构件的施工。侧脱式通常将刚性吸盘与模板合二为一结合使用。脱水率低于上脱和下脱式。

4. 内脱式

内脱式是用包有滤布的棒式多孔管埋在混凝土构件中进行内部脱水的方法。脱水有效半径一般为15~25cm。处理后拔出芯管,用混凝土堵塞。内脱式适用于构件尺寸变化较大的肋形部位、现浇框架、基础、柱等大体积混凝土施工。

5. 双面或三面混合式

双面或三面混合式是在上、下、侧面均设有真空吸盘,并同时进行脱水。它主要用于截面尺寸较厚的板、柱构件。目的是加快脱水速度,提高生产效率,使断面脱水率趋于一致。

二、按真空脱水工艺的发展变化分

1. 普通真空脱水工艺

普通真空脱水工艺应用范围很广,是本书介绍的重点。但该工艺仅靠真空压差压实混凝土,还不能完全清除由于抽出水分而留下的空隙,28天强度比非真空混凝土只能提高15~25%左右,因此在某些特定场合以及有特殊要求的构件尚需采用真空脱水复合工艺。

2. 振动、真空脱水复合工艺

振动、真空脱水复合工艺又称重复振动真空工艺。一般是将构件放在振动台上，或在刚性吸盘上按放几只小型振动器，采用断续振动交叉脱水，也有边振边脱水或脱水完毕再给予重复振动的做法。这种复合工艺，不仅会使脱水率提高，更重要的是通过振动使颗粒间的摩擦力减小，从而互相靠紧密实，增加混合物的可压缩性，使底部混凝土压差增大，增加底层脱水效果。28天强度比非真空混凝土的强度约提高30~60%。目前这种方法只限采用刚性吸盘，如何将这方法应用于软吸盘或道路施工，尚值得研究。

3. 压榨真空脱水工艺

在混凝土预制构件的上部，施加一定的机械压力，边压边脱水的方法称压榨真空脱水工艺。混凝土的密实度随施加压力而递增，当压力为0.2MPa时，强度约增加20%，压力为0.5MPa时，强度约增加40%。该工艺有时用来制取密实度大的高强混凝土。

4. 与多种养护、多种材料结合的真空脱水复合工艺

这类复合工艺有热拌真空混凝土、热模养护真空混凝土、太阳能养护真空混凝土、辐射加热器养护真空混凝土、聚合物渗透真空混凝土、钢纤维真空混凝土、以及与外掺剂结合的真空混凝土、离心式真空混凝土等。

其他还有与翻板木模或滑模施工相结合的真空脱水复合工艺，以及与混凝土摊铺机械作业等相结合的真空脱水复合工艺。

第二章 混凝土的真空脱水

§ 2.1 真空脱水的密实原理

关于真空脱水密实的原理，目前只能限于一些定性的解释和经验的阐述。现就真空上脱式的原理介绍如下。

真空上脱式的原理简单地讲，就是靠内外压差和内聚力的作用使混凝土受到挤压，将多余的水分和空气排出。脱水和密实大致分如下四个过程：

1. 开泵的瞬间过程

这个过程时间约10~30秒，主要是将密封罩布与混凝土表层之间骨架层内的空气抽出（此处称真空腔或负压区），形成粗真空，此时尚无水分可出，但真空度迅速传播于整个真空腔。外部均匀的大气压力与真空腔内负压之间的压力差形成了比较均匀的挤压力，通过吸垫向下作用于混凝土面层（图2-1）。这种挤压外力可以认为近似地等于真空度。现场施工真空腔内的平均真空度一般为绝对真空的60~80%，即混凝土平均约受到 $0.06 \sim 0.08 \text{ MPa}$ ($6 \sim 8 \text{ t/m}^2$) 表面挤压力的作用。如果使用新型的带有凸头气垫薄膜吸垫时，由于凸头端面小、尖端朝下，故使向下和向周围的挤压作用力有明显的增加，从而使脱水效果有所增强（图2-2）。

2. 脱水的初期过程

混凝土出水后约3~5分钟，由于混凝土混合物中有大