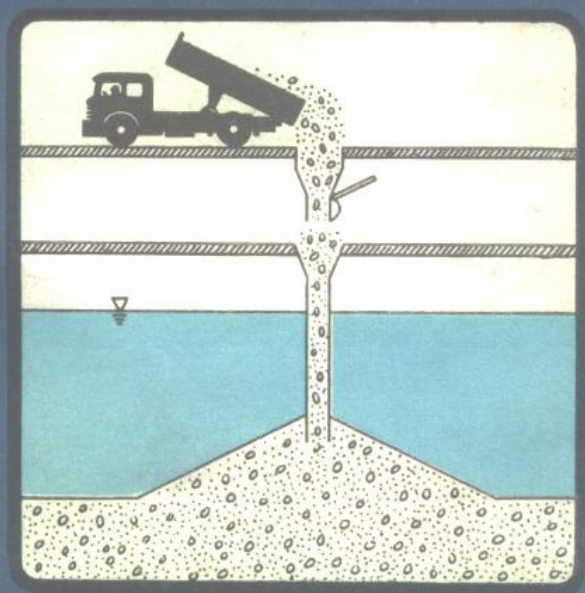


水利电力出版社

水下灌注混凝土

杨光煦

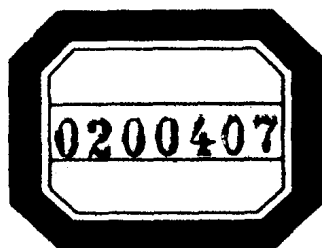


~~012097~~

TV543

水下灌注混凝土

杨光煦



005968 水利部信息所

水利电力出版社

水下灌注混凝土

杨光照

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 12.25印张 271千字

1983年12月第一版 1983年12月北京第一次印刷

印数 00001—11120 册 定价 1.30 元

书号 15143·5306

21167/66

内 容 提 要

本书介绍水下灌注混凝土的设计、计算，工程技术性质及其施工技术。主要内容有：水下混凝土原材料、技术性能、配合比设计、拌制运输；水下浇筑混凝土方法；水下压浆混凝土方法；水下混凝土中的钢筋及埋件施工；水下修补方法。并简介沥青砂浆(混凝土)的水下浇筑方法及计算。同时，书中附有计算公式、图表、工程实例。

本书可供水利水电、交通运输、矿山冶金、民用建筑、海洋开发和国防等部门从事水下灌注混凝土设计、施工和科研的工程技术人员阅读。也可供有关专业院校师生参考。

目 录

概述	1
第一章 水下灌筑混凝土(砂浆)的拌制和运输	12
第一节 水下混凝土(砂浆)拌和物的技术要求	12
第二节 水下混凝土(砂浆)拌和物的原材料	19
第三节 水下混凝土(砂浆)的配合比设计	35
第四节 水下混凝土(砂浆)拌制与运输	60
第二章 水下混凝土灌筑前的仓面准备工作	74
第一节 水下清基	74
第二节 水下立模	81
第三节 工作平台	96
第四节 仓面布置	100
第五节 不良环境对策	103
第三章 水下混凝土浇筑方法	112
第一节 浇筑方法选择	112
第二节 导管法浇筑水下混凝土	113
第三节 泵压法浇筑水下混凝土	161
第四节 柔性管浇筑水下混凝土	174
第五节 倾注法浇筑水下混凝土	181
第六节 开底容器法浇筑水下混凝土	185
第七节 袋装迭置法浇筑水下混凝土	193
第八节 水下浇筑混凝土中的施工缝处理	202
第九节 水下浇筑混凝土的养护与拆模	205
第十节 水下浇筑混凝土的质量检查	209
第十一节 水下混凝土硬结后的力学性质	217

第四章 水下压浆混凝土施工	232
第一节 灌注浆液的物理性质	232
第二节 施工控制指标	237
第三节 水下压浆施工	257
第四节 水下压浆事故及其处理	266
第五节 无砂水泥浆灌注方法	269
第六节 水下压浆混凝土的质量检查	273
第七节 水下压浆混凝土的力学性质	276
第五章 水下混凝土中钢筋及埋件施工	293
第一节 水下混凝土中的钢筋	293
第二节 钢筋架立与沉放	301
第三节 有钢筋仓面灌筑水下混凝土方法	308
第四节 水下混凝土中预加应力方法	311
第五节 内部观测仪器埋设	315
第六节 金属构件埋设	324
第七节 预埋灌浆管与预留灌浆孔	326
第八节 水下锚筋与锚栓埋设	332
第六章 水下沥青砂浆(沥青混凝土)施工	337
第一节 水下沥青砂浆(混凝土)的应用	337
第二节 沥青砂浆(混凝土)原材料	339
第三节 沥青砂浆(混凝土)拌制与运输	346
第四节 沥青砂浆(混凝土)水下灌筑方法	347
第五节 沥青砂浆(混凝土)水下灌筑计算	352
第七章 混凝土结构水下修补	363
第一节 水下修补表层缺陷	363
第二节 水下施工缝及裂缝补强	368
第三节 混凝土结构水下破损修补	377
第四节 水下镶面灰缝修补	381
参考文献	382

概 述

在干地拌制而在水环境中（淡水、海水、泥浆水）灌筑和硬化的混凝土叫做水下灌筑混凝土，简称水下混凝土。采用这种方法形成水中混凝土及钢筋混凝土结构，可以省去因造成干地施工条件所必须的围堰、基础防渗及基坑排水工程。在寒冷和炎热季节，水环境对混凝土硬化具有较适宜的温度条件。在某些无法建成围堰情况下，水下混凝土甚至是形成水中混凝土建筑物的唯一方法。因此，如何得到高质量而又经济的水下混凝土，很早就成为人们研究的对象。

十九世纪中叶，开始着手进行水下灌筑混凝土试验。以后，有人用木制的溜槽把混凝土直接浇于水下河床获得成功。

二十世纪初，美国人曾用导管法浇筑水下混凝土，在修建底特律河隧洞和珍珠港干船坞时收到良好效果。此后导管法获得广泛应用，至今仍是浇筑水下混凝土的主要方法。

在本世纪三十年代以后，又发展了开底容器法、端进法及水下预填骨料灌浆法。一九六八年由荷兰人首次使用柔性软管和刚性出料口的液阀法，成功地浇筑了水下底板和护坡等水下混凝土结构物。

特别是近二十年来，国内外不少科研和生产单位对水下灌筑混凝土的材料、级配、性能及施工方法进行广泛研究和实践，理论日渐成熟，工艺日趋完善，质量日益提高。应用范围遍及水利水电、航运港口、矿山冶金、民用建筑以及海

洋开发和国防建设等工程。灌筑水下混凝土的种类，由水泥混凝土、钢筋混凝土，发展到纤维混凝土、沥青混凝土、树脂类混凝土。水下灌筑混凝土规模也越来越大，仅日本在兴建连接本州、四国的跨海大桥工程中就灌筑水下混凝土80万立方米。

荷兰人曾用导管法、混凝土泵压送法、柔性管（液阀）法、开底容器法及水下预填骨料压浆法进行灌筑水下混凝土对比试验，28天抗压强度分别达到483、385、350、424、154公斤/厘米²。因此，可以说，只要注意配合比设计，注意施工方法，加强施工中的质量控制，完全可以采用水下灌筑法形成满足工程运用要求的各种混凝土。

水下混凝土是在水环境中灌筑的，在整个施工过程中都受到环境水的强烈影响。

从施工条件看，水下灌筑混凝土要比陆上干地浇筑混凝土困难得多。突出表现在浇筑前的准备工程上。在进行水下爆破、水下清基和水下立模等浇筑前准备工程中都必须克服水环境带来的一系列困难：水压、流速、涌浪、黑暗、缺氧……。

在水下进行振捣混凝土拌和物十分困难，全靠混凝土自重压密，依靠混凝土的流动性获得平整顶面。水下混凝土拌和物中的水泥浆容易被水带走，粗骨料又容易离析。因此，必须采取特殊施工措施，从而造成了施工操作很复杂，加大了水下灌筑混凝土的成本。

水下混凝土质量主要靠水下观察设备、钻孔取样及潜水员潜水了解，直观比较困难。

直到目前为止，在水环境中直接灌筑混凝土，仍主要应用于临时建筑物或在修筑围堰遇到困难、投资多、或根本不

能建造围堰的地方。

在水利水电工程中，水下灌注混凝土正越来越广泛地应用：修补坝体混凝土迎水面缺陷、护坦；浇筑水下防渗、防冲底板、护岸、木笼阻水混凝土、钢板桩格体阻水混凝土；底孔堵漏、隧洞堵头；混凝土防渗墙；建造混凝土围堰；拱坝基座等方面。几个典型实例见表0-1。

值得指出的是，贵州乌江渡水电站工程的设计和施工单位，综合运用各项水下施工技术（表0-2），采用导管法、端进法、袋装法、水下预填骨料压浆法等水下浇筑7840立方米混凝土，直接在山区湍急河水中建成了高达40米的溢流式混凝土拱围堰（图0-1、图0-2所示）。多年运行经验表明，采用水下灌注混凝土方法直接建成的混凝土坝，达到了安全挡水、安全渡汛和坝体、坝基基本不漏水的要求。为水下灌注混凝土在水利水电工程中的应用，提供了新经验。

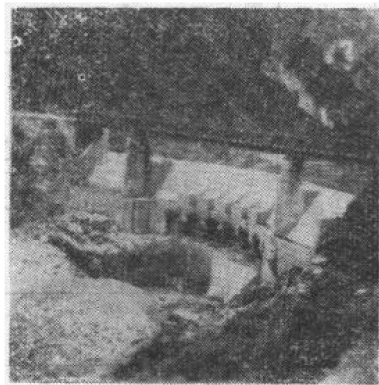


图 0-1 乌江渡拱围堰下游立视

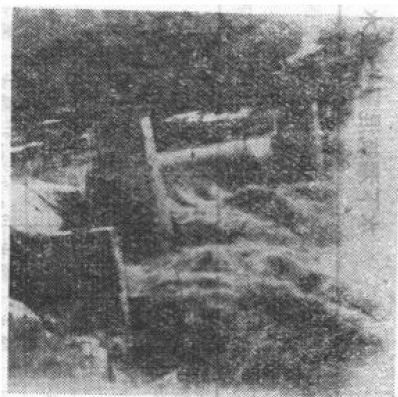


图 0-2 溢流中的乌江渡拱围堰

本文主要介绍在工程中运用较广泛的水下灌注水泥混凝土（包括钢筋混凝土）的设计计算方法、工程技术性质及施工方法。另列第六章介绍有关水下沥青砂浆（混凝土）的设

表 0-1

水下灌注混凝土在水利水电工程中的应用实例

工	程	美 国	巴 基 斯 坦	英 国	中 国	乌 江 渡	挪 威	中 国	日 本	印 度	中 国	中国柘溪	中 国	新 安 江	中 国	苏 联
	水下施工部位	巴克坝	塔拉坝	太晤士河	上游溢流式混凝土拱堰	下游溢流式混凝土围堰	埃加湖坝	修复溢流段水坦	七宗坝	斯里兰卡工程	双牌	纵向木桩固堤	上游混凝土防渗墙	副坝	下游土体缺陷	某坝
	施工水深(米)	53	25~48	23	14	10	12	8~11	10	<10	9	25~4	9	6	4	3
	施工流速(米/秒)	静水	静水	静水	2~3	2~3	静水	静水	静水	<0.9	静水	0.5	静水	静水	静水	1~2
	施工部位水位差(米)	无	无	一般0~3最终14	无	无	无	无	无	无	无	无	无	2	无	无
	水下混凝土工程量(米 ³)	9557	51436	6120	7840	1700	1150	少量	123		4763			3320	140	80
	备注	在库区坝侧建	在钢板桩支护填筑浆液	在钢板上填筑骨料	在流水中直立接模，静水中浇筑混凝土	在流水中直立接模，静水中浇筑混凝土	在预填料下浇筑混凝土	在坝体侧面静水区建造	在库区坝侧建造	在临地时绝影流下建	在坝体下游建造	在坝体中直缝连接建造	在围堰闭气后静水中建造	在临坝时填保下护建造	在一次拦断，铅丝笼内建明渠造	在固堰下保护建造

表 0-2 乌江渡上游拱围堰各部位水下混凝土施工方法

部 位	左 边 墩	右 边 墩	中 墩	右深槽缺口	左 闸 孔
水下施工顺序	1	2	3	4	5
施工水深(米)	9	7	13	14	12
施工流速(米/秒)	<0.5	<0.5	2	改流前2~3	下闸前4.5
施工水位差(米)	无	无	无	1.4~14.0	3.7~4.0
仓面尺寸(米)(长×宽×高)	11×(5~12.6)×9	11×(7~8)×(4~7)	11×6×15	(17.5~11)×12.5×14	(12.6~8.5)×11×13
水下立模方法	水下散拼 直接立模	水下安装 组装模板	钢围圈支架 插板模板。加高时 采用混凝土 预制块迭垒 模板	钢栅抛石 改流,插板 支座组合模 板。加高时, 采用混凝土 预制块迭垒 模板	底坎采用 人字梁密闭 模板,上部 闸孔采用托 架式迭梁闸 门截流(形 成模板)
堵漏措施	麻袋混凝土 封底,压缝 板嵌缝	麻袋混凝土 封底,压缝 板嵌缝	插板及麻 袋混凝土封 底	上游面: 张铺帆布, 压缝板,装 土草袋,水 下抛土; 下游面: 嵌缝,浇水 下混凝土, 集中引渗, 内灌锯末水 泥浆及水泥 水玻璃砂浆	透梁间设 有方木,帆 布包棉絮, 沥青槽,橡 皮止水。 下闸后, 采用“吊蛤 蟆”,镶板 堵漏

续表

部 位	左 边 墩	右 边 墩	中 墩	右深槽缺口	左 闸 孔
水下混凝土浇筑方法	导管法 (加高时, 采用端进 倾注法)	导 管 法	导 管 法	预填骨料 水下压浆混凝土 袋装混凝土法堵漏	导 管 法

计、施工方法。

一、水下灌注混凝土原理

混凝土是由胶凝材料、水和骨料按比例配合而成的混合物，硬化后所得的人造石材。以水泥作为胶凝材料的，称为水泥混凝土；以沥青作为胶凝材料的，称为沥青混凝土。

水泥为水硬性胶凝材料，能与适量的拌和水发生水化作用，逐渐硬结，产生强度。但在水环境中灌注混凝土，会受到周围环境水的强烈影响。

若直接将混凝土拌和物倾倒入水中，当其穿过水层时，骨料便和水泥分离，且很快沉到水底。被水冲刷下来的水泥颗粒，部分被水流带走；部分长期处于悬浮状态。且当水泥下沉时，已呈凝固状态，失去胶结骨料能力。则浇下去的混凝土拌和物分为一层砂砾石骨料，一层为薄而强度很低的水泥絮凝体或水泥渣，不能满足工程要求。

因此，水下混凝土应该在与环境水隔离的条件下浇灌，不允许直接向水中投入混凝土拌和物。正确的水下浇灌方法应该是，混凝土拌和物（或胶凝材料）进入浇筑仓面直至浇灌地点以前，避免与环境水接触；进入浇灌地点以后，也要尽量减少与水接触，尽可能使与水接触的混凝土始终为同一

部分（这部分强度较低，可予全部或部分清除）。灌注过程宜不间断进行，直至达到一次浇灌所需高度或出水面为止，以减少环境水的不利影响和凝固后清除强度不符合要求的混凝土数量。已浇灌的混凝土不宜搅动，让它逐渐密实凝固硬化，产生强度。

由粘土或膨润土形成的泥浆具有触变性，属亲液胶体。当处于静止状态时，流动性逐渐变小，成为凝胶态，将仓内残留砂砾碎粒包裹悬浮。但一经扰动，重又成为流动性的溶胶态。因此，泥浆既能防止仓内泥砂进入新浇混凝土内，也能在不影响水下混凝土灌注密实条件下，被通过管道进入仓底的新浇混凝土拌和物顶托、取代，形成合乎工程要求的水下混凝土。

沥青有遇热软化，冷却硬结的特点。进行水下浇筑时，一般采用热沥青，加热至熔融状态。待输送至水下后，受环境水影响，立即遇水板结形成水下沥青混凝土。

二、水下灌注混凝土方法

在水环境中直接形成水下混凝土工程的方法有：水上预制混凝土构件，水下安装；水上拌制混凝土拌和物或胶凝材料，水下灌注。

水下灌注混凝土分为：在水上拌制混凝土拌和物，在水环境中浇筑和硬化，形成水下浇筑混凝土（简称为水下混凝土，未硬化前称为水下混凝土拌和物）；在水上拌制胶凝材料（水泥浆或水泥砂浆），通过灌浆管道填充水下预填骨料间的空隙，硬化后形成水下预填骨料压浆混凝土（简称为水下压浆混凝土，未硬化前称为水下压浆混凝土混合物）。

（一）水下浇筑混凝土

按照浇筑中隔离环境水影响的技术措施，水下浇筑混凝

土方法分为导管法、泵压法、柔性管法、倾注法、开底容器法、装袋迭置法等。

输送混凝土拌和物方式有：断续落下式（开底容器法、装袋迭置法）、连续注入式（混凝土泵压法）、注入式（导管法、柔性管法）、进占式（倾注法）四种。

1. 导管法 利用刚性不透水管道——导管隔离环境水对输送中的混凝土拌和物的不利影响。通过导管依靠混凝土拌和物自重向水下仓面输送和浇筑混凝土（图0-3a）。

2. 泵压法 利用混凝土泵产生的压力推动混凝土拌和物沿输送管、浇注管进入水下浇筑仓面（图0-3b）。

3. 柔性管法 利用柔性软管隔离环境水对输送中的混凝土拌和物的不利影响。依靠环境水对软管压力控制混凝土拌和物下落速度（图0-3c）。

4. 倾注法 在已浇出水面的混凝土上倾注混凝土拌和物。通过捣动或自然推动使水下混凝土拌和物逐渐赶水进占（图0-3d）。

5. 开底容器法 将水下混凝土拌和物装在能够开底的密闭容器内通过水层，直达浇筑地点开底卸料（图0-3e）。

6. 装袋迭置法 将混凝土拌和物装入袋内，在水内迭置形成水下混凝土块体（图0-3f）。

（二）水下预填骨料压浆混凝土方法

水下预填骨料压浆混凝土的施工程序是，水下立模后，安置灌注管（或抛填粗骨料后，钻孔补埋灌注管），向仓内抛填粗骨料或块石。然后通过灌注管压注胶凝材料，填充预填骨料间的空隙并胶结预填骨料形成水下压浆混凝土。

根据灌浆压力的产生方式分为通过灰浆泵加压灌注和依靠浆液自重自流灌注两种。按灌浆管形式分为刚性管和柔性

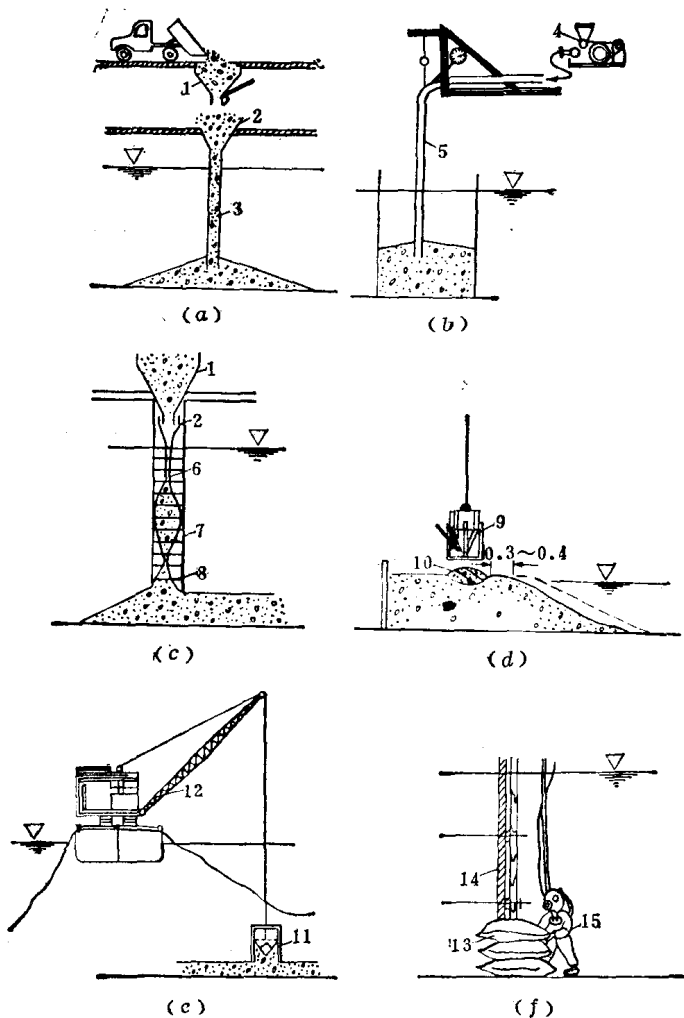


图 0-3 水下混凝土浇筑方法 (单位: 米)

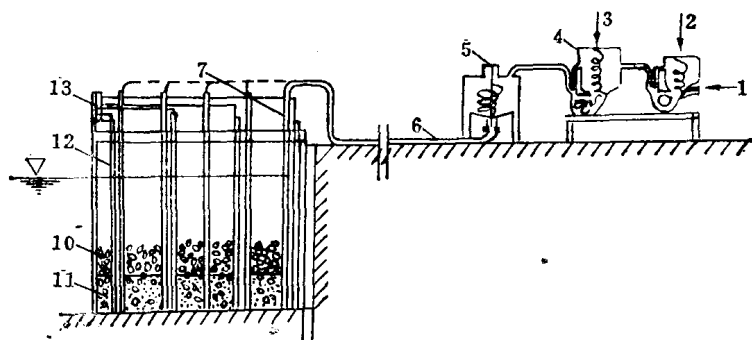
(a) 导管法; (b) 泵压法; (c) 柔性管法; (d) 倾注法; (e) 开底容器法; (f) 装袋送置法

1—转料斗, 2—承料漏斗, 3—导管, 4—混凝土泵, 5—浇注管, 6—柔性管, 7—提升链, 8—支承环, 9—吊罐, 10—新浇的水下混凝土,

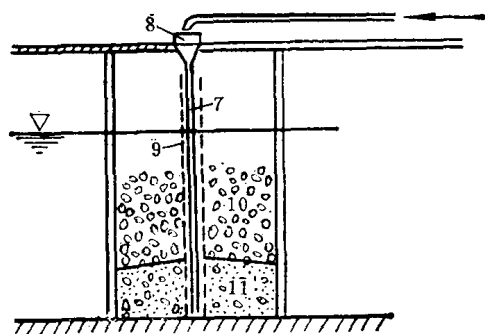
11—开底容器, 12—起重机, 13—袋装混凝土, 14—水下模板, 15—潜水员。

管灌注。又可分为，双管灌注（带护管筒）及单管灌注（不带护管筒）两种。

1. 加压灌注 利用砂浆泵（或混凝土泵）加压拌和好的胶凝材料，通过埋在预填骨料内的灌注管灌注，将预填在仓内的骨料胶结成水下压浆混凝土（图0-4a）。多用于工程量较大或工作平台设置高程受到限制的仓位。



(a)



(b)

图 0-4 水下压浆混凝土施工方法示意图

(a) 加压灌注；(b) 自流灌注

1—水，2—水泥，3—砂，4—砂浆拌和机，5—灰浆泵，6—输送管，
7—灌注管，8—承料漏斗，9—护管筒，10—预填骨料，11—水下压浆
混凝土，12—观察管，13—浆液高度电测仪

采用这种方法，水泥砂浆升涨高度比较大，灌注块体厚度不宜小于 2 ~ 3 米。

2. 自流灌注 将拌和好的浆液输往灌注管上的承料漏斗上，依靠浆液自重、通过灌注管进入预填骨料中，胶结成水下压浆混凝土（图0-4b）。

这种方法比较简便，适用于工程量较小、缺乏施工机械且工作平台距水面有一定超高的仓面。