

水下灌注混凝土 在港口水工建筑中的应用

C. H. 庫 羅 奇 金 著

夏 云 翔 譯

陳 鑫 校

人 民 交 通 出 版 社

水下灌注混凝土 在港口水工建筑中的应用

C. H. 庫羅奇金 著

夏 云 翔 譯

陳 鑫 校

人民交通出版社

这小册子介绍最有成效的方法：豎管法和灰浆灌注法，进行水下灌注混凝土的近代工艺；列举在港口建设中建造、恢复和修理水工建筑物时采用水下灌注混凝土的经验为例子。

在这小册子中，也报导了一些在国外实际工作中采用“柯克里特”和“普里巴克特”法进行水下灌注混凝土的知识。

本小册子供建造和管理港口水工建筑物的工程技术人员使用。

水下灌注混凝土 在港口水工建筑中的应用

•

С. Н. КУРОЧКИН

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВОДНОГО
БЕТОНИРОВАНИЯ
В ПОРТОВОМ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО

«МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ»

МОСКВА—1961

本書根据苏联海运出版社1961年莫斯科俄文版本译出

夏云翔 译 陈 鑫 校

人民交通出版社出版

(北京安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第〇〇六号

新华书店北京发行所发行 全国新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印刷

1963年11月北京第一版 1963年11月北京第一次印刷

开本：787×1092 1/32 印张：1 1/2

全书：34,000字 印数：1—1,300册

统一书号：15044·3115

定价(10)：0.25元

目 录

結 言.....	2
一、水下灌筑混凝土工艺.....	5
1. 豎管法灌筑混凝土.....	5
2. 灰漿灌注法灌筑混凝土.....	18
3. 《柯克里特》和《普里巴克特》法灌注混凝土.....	25
二、用水下灌筑混凝土方法建造、恢复和修理建筑物.....	28
1. 碼頭建筑物.....	28
2. 防护建筑物.....	38
3. 建筑物地基.....	44
参考文献.....	53

緒 言

苏联发展海运的七年計劃預計到港口的吞吐量将增加50%。在以后的年代，吞吐量的增长将更迅速。

为了完成这一任务，需要增加海港的吞吐能力，除了提高港口工作的强度和装卸工作的复合机械化程度在七年內应达到75%外，还必须增加碼頭和修建新的港口。

如按七年計劃規定建筑新碼頭达15.5公里，則在以后年代里，这种建筑的工程量将更大地增加。

航运发展的总趋势是船舶載重量、航速和吃水深度的增加，因而在建筑新碼頭的同时，还須改建現有碼頭，增加建筑物上的容許荷重及碼頭前的水深。在很多情况下，碼頭綫应突出在天然的深水中，并建成独立墩座、系船柱体、島式碼頭等形式。

即将兴建的大量水工建筑物，为应用水下灌注混凝土法开辟了十分广闊的前景。这一优越的施工方法能縮短修建整体的混凝土与钢筋混凝土水工建筑物的施工期，并降低造价，因为这种施工方法不需要建造围堰和排水系统。这个工作方法也可在排水根本不可能或显然不合理的下列情况下进行灌注混凝土，例如在岩基上或在很弱的含水土层上，当改建和修理水工建筑物必須不停止使用而建筑围堰极其复杂时，在开敞的錨地施工等等。

水下灌注混凝土法，除了用于整体混凝土建筑物的新建、改建和修理工程以外，也可用于装配构件和空腔构件的施工：如建造和平整地基，联結节点、外壳和深基支座为整体，灌注

水下承台等。水下灌筑混凝土与空腔的外壳相配合，能在水下建造大而重的构件，而不需要使用重型的起吊设备。

在寒冷和炎热的季节里，对混凝土硬化具有适宜的温度条件也是这一施工方法的优点。

由于这些优点，苏联已利用水下灌筑混凝土法建造桥墩、其他建筑物（倒虹吸管、引水建筑等）和水能建筑中，而最有效的是用于港口水工建筑中。苏联进行了并继续进行着水下灌筑混凝土工艺方法的系统性研究，学习并总结了这种施工方法的本国和外国的经验。

苏联中央海运科学研究所会同施工部门在海港中进行了大量的研究和实际工作。所有这些研究的资料 and 成果，基本上已总结到中央海运科学研究所制订并规定用于海港与河港的竖管灌筑法和灰浆灌注法的现行规范中。

全苏国家标准 5119-49 和建筑法规允许采用下述水下灌筑混凝土法：

- 1) 竖管灌筑法；
- 2) 灰浆灌注法；
- 3) 捣入法；
- 4) 料罐倾灌法；
- 5) 堆置混凝土袋。

竖管灌筑法和灰浆灌注法是主要的和最有效的，其余方法则是辅助的。

竖管灌筑法就是将流动的混凝土拌合物，沿直径150~300毫米的钢管输送到混凝土灌筑块；灰浆灌注法则是分开灌筑的方法，首先将块石或碎石填满灌筑块，然后沿直径50~75毫米的管子注入水泥砂浆或纯水泥浆，以填充骨料间的孔隙。这两种方法在整个施工过程中，管子下端都是留在新灌筑的混凝土

或灰漿的表面以下^①。

豎管灌筑法适用于混凝土标号达300号、深度达20~30米的混凝土及鋼筋混凝土結構。

这种方法可以保证高的劳动生产率和所有工序的全部机械化。适用于修建高强度和整体性建筑物的大体积混凝土結構。这种施工方法需要重型設備（管子、脚手架、起重設備等）；还必须要有高生产率的混凝土工厂，以保证高速度和灌筑效率。

灰漿灌注法使用的設備較為輕便和簡單（拌合設備和灰漿場）。灰漿灌注法最适用于：

1)对水下混凝土的要求不高于块石砌体的要求者（填充大体积的空腔結構^②）；

2)按施工条件或灌筑混凝土的結構尺寸不可能或不适宜采用重型設備者（尺寸較小的結構和修理工程）；

3)当需預压地基、并呈阶梯形堆置时（在軟地基上），或需获得无收縮的混凝土（浇筑装配式結構的节点使成为整体）。

当用灰漿灌注法灌筑水下混凝土时，必須考虑到高含水量的稀释灰漿在块石孔隙內复杂的流动特性和这种灰漿的分层性傾向，而需要采用洁淨的、同粒徑的块石骨料。对每道工序都須进行細致的检查。

近年来，在国外的工程实践中，除了《康特拉克托尔》法（按苏联标准即豎管灌筑法），或即所謂《管子法》（《Tremie method》）外，法国所研究出的《柯克里特》（《Colcrete》）法也获得了广泛的应用。这种方法在很多方面同苏联的灰漿灌注法相类似。在美国，常采用《普里巴克特》（《Prepakt》）法，也是灰漿灌注法的一种。

① 目前在苏联，建造桥墩的設計文件中進行水下灌筑混凝土有深达50~75米的。

② 在这种情况下，采用水泥砂漿灌大塊石的孔隙。

一、水下灌注混凝土工艺

在水下灌注混凝土法中，最突出地显出了施工方法同材料（混凝土拌合物或灰浆）工艺特性的不可分割的关系。因此，在苏联所进行的研究概括了为编制水下灌注混凝土一般工艺的问题的广泛范围，它包括：

1) 鉴定混凝土拌合物或灰浆及其对水下灌注混凝土的組合的适用性，以及与此有关的混凝土或灰浆配合比的选择方法，即材料工艺；

2) 为保证水下整体的必要质量所规定的、在混凝土灌注过程中的各个主要指标之间的关系，即施工工艺。

下面根据苏联中央海运科学研究所的研究材料，在有关章节里，将详细地叙述竖管灌注法所应用的工艺，因在竖管灌注法中所述及的原则，有很多方面也适合于灰浆灌注法。对于灰浆灌注法、《柯克里特》和《普里巴克特》法的一些特点将简略地叙述。

1. 竖管法灌注混凝土

竖管法灌注混凝土的图式如图 1 所示。

在模板或其他挡水物围成的灌注块中，設置帶有漏斗的管子，經此管連續地輸入混凝土拌合物，拌合物在高为 $H+h$ 的混凝土柱的压力下，以半径 r 在灌注块內扩散，填充模板围成的空間，而将其中的水挤出。管子最初充填混凝土时，需应用塞子和活門，以免第一批混凝土被水浸入，嗣后，为了使混

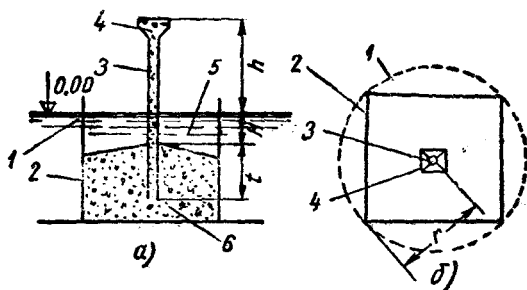


图1 用竖管法进行水下灌注混凝土示意图
(a-剖面图; b-平面图)

1-混凝土灌注块; 2-模板; 3-管子; 4-漏斗; 5-水; 6-混凝土

土与水隔绝，管子的下端在任何时候都应以 r 的深度埋在新浇灌的混凝土拌合物中。根据拌合物在灌注块中的上升情况，管子逐渐向上垂直移动，并保持留在混凝土中有一定的深度。此后，等到水下混凝土灌注块达到要求的高程（超过设计高程10~15厘米），即停止输送混凝土拌合物，并把管子从灌注块内拔出，而混凝土顶部、在其保护下进行灌注的松散层，按其强度不足10~12公斤/平方厘米者，予以割除。当灌注某一灌注块时，应不间断地进行。

从示意图中看出，混凝土拌合物经相当长而细的管子，穿过水层进入灌注块，当流出管子后，在先前灌注的混凝土中扩散，这先前灌注的混凝土不应失去其流动性。这就需要能很好地保持密实性和不发生离析的高流动性拌合物。

根据这种灌注的特殊条件，确定水下灌注混凝土的拌合物是否适用，需按下列三方面的综合要求：

- 1)混凝土的强度;
- 2)混凝土拌合物的流动性;
- 3)混凝土拌合物的粘聚性。

水下混凝土的需要强度，如同陆上施工一样，是在設計时按所用水泥的标号和骨料成份，选择适当的水灰比 $\left(-\frac{B}{H}\right)$ 来保証的。所不同的是由于水下灌注的特殊条件，設計和选用的混凝土强度比結構計算所要求的强度大10~15%。

混凝土拌合物的流动性与粘聚性

談到混凝土拌合物的流动性，正如前面已經述及，需要有高流动性的灌注拌合物，当无振捣灌注时，圓錐体坍落度为16~20厘米；当有振捣时，則坍落度为14~16厘米。研究灌注拌合物及其应用于水下灌注混凝土的实践指出，用专门的选择混凝土配合比的方法和掺入加气剂或塑化剂，可以获得水灰比不超过水工建筑物允許值0.55~0.65的灌注拌合物，以及容重2.35~2.45吨/立方米和强度200~300公斤/平方厘米的混凝土。

采用比較干的拌合物，会引起灌注过程中的困难，如管中发生堵塞、灌注体中形成空洞与孔隙等。从施工中和在实验室的观察表明，混凝土拌合物的配合比和所用材料（水泥、砂、粗骨料）的性质不同，具有不同的流动性。

图2所示为表达表1所列四种混凝土拌合物的流动性的变化曲线。

因此，仅仅最初具有高流动性，并不能表明水下灌注用的混凝土拌合物的适用性。应该在运输、灌注和在灌注块的扩散过程中都保持其流动性。所以很快失去流动性的拌合物，显然是不适用于水下灌注混凝土的。

拌合物流动性的保持能力，是以保持流动性的指标 K 来表示的， K 以小时和小时的几分之几来计算。这一指标等于混

表 1

拌 合 物 序 号	混凝土拌合物配合比	水灰比	水 泥 公斤/立方米	析水率 %	圆锥体坍落度 (厘米)
1	1:1.82:2.88	0.60	354	0.55	19
2	1:2.40:2.40	0.60	356	0.65	20
3	1:2.04:3.07	0.63	345	1.45	20
4	1:2.18:3.28	0.67	330	1.82	19

注：水泥的初凝时间为 5 小时。

凝土拌合物在灌注条件下，保持其流动性具有坍落度 14~15 厘米的时间。为了确定这一指标，将拌合后置于水下 30、60、90

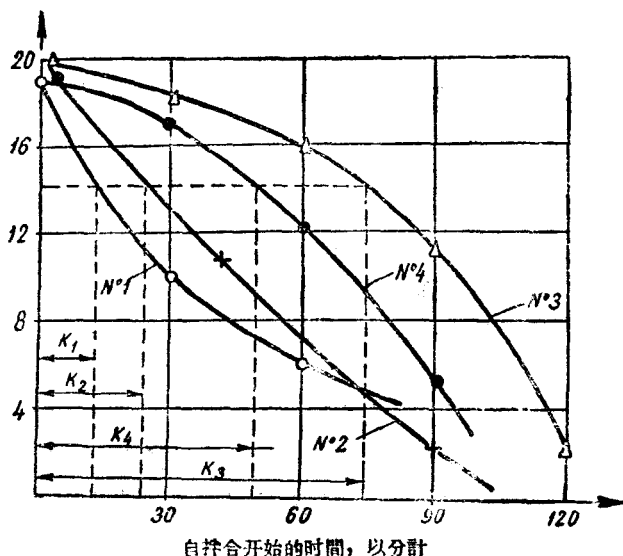


图 2 混凝土拌合物 № 1, 2, 3, 4 的流动性 (k) 的变化曲线
(拌合物配合比见表 1)

分钟的混凝土試样，相继試驗，繪制出流动性与時間的关系曲綫。采取坍落度临界值是以观察混凝土拌合物試样随時間的流动性变化和观察灌筑块中拌合物流动与压力变化的专门研究来确定的。可見，到灌筑块內拌合物停止流动（压力不增长）时，混凝土試样的坍落度通常会降低到14~15厘米。

現行标准建議用于水下灌筑混凝土的拌合物的 K 值 采用大于1小时。当預先估計混凝土的灌筑情况时， K 值可采用0.7~0.8小时。在灌筑混凝土的实践中，曾采用过 K 值很高的拌合物，在許多情况下，其值达1.4~1.5小时。

指标 K 不仅表示拌合物的流动性，而且也表示其稳定性，从而选择最符合条件的配合比，同时也使材料的工艺性能和施工方式調和一致。关于这点将于以后闡述。

由不同配合比的拌合物的研究指出，在采用初凝時間大于1小时的普通水泥的情况下，水泥种类实际上并不影响 K 值。

水下灌筑采用的混凝土，应具有比陆上灌筑更大的粘聚性。混凝土拌合物是多种分散性物质組成，即由不同軋碎程度、不同的比重和单位表面积的大量粒料組成的合成体。所以在加水拌合后和水泥初凝前，在拌合物中发生如同飽水砂的压实、一般的离析和粒料的自行沉实。这种过程統称为沉淀作用。沉淀作用的发展导致拌合物流动性的降低。在重力作用下向下沉淀的硬顆粒挤出水分，这也被列为沉淀的外因一表面析水。

苏联和其他国家的很多作家的研究表明，析水率可作为混凝土拌合物的压密和离析的可靠特征，即其流动性的保持能力。施工經驗也說明，析水率大的混凝土，不利于运输，容易离析，而且很快失去其原有的流动性。但如果水量不足，拌合物又不具有足够的流动性，当起滑潤剂作用的水泥浆濃縮和趨

于密实时，很快就失去了流动性。

拌合物的相对析水率或相对密实度，可用下值表示：

$$\Delta H = \frac{h}{H} \quad \text{或} \quad \Delta B = \frac{v_a}{v_o}$$

式中：H——混凝土拌合物的試驗层高（容器高度）；

h——用“垂尺”型仪器量得的沉落值；

v_o ——容器中混凝土体积；

v_a ——析出的水量。

表 2

灌注混凝土的工程	混 凝 土 配 合 比	ΔB	K
防护建筑物	1 : 2.06 : 2.76B/U=0.60	0.0143	1.5
航 标 墩 座	1 : 2.14 : 2.48B/U=0.55	0.0135	1.4
防护建筑物	1 : 2.03 : 3.03B/U=0.60	0.0155	1.10—1.40
防护建筑物	1 : 1.73 : 3.18B/U=0.60	0.0159	1.2
防护建筑物	1 : 2.74 : 2.20B/U=0.58	0.0180	1.0

在實驗室和在工地条件下进行各种配合比的混凝土拌合物的研究証明，析水率 $\Delta B = 0.012 \sim 0.016$ 的混凝土拌合物具有流动性保持指标K的最大值。用于水下灌注混凝土的拌合物，建議采用析水率为 $0.012 \sim 0.016$ ，这与相应规范中的規定是符合的。研究所得的指标与施工經驗資料完全符合（表 2）。

混 凝 土 配 合 比

要使混凝土拌合物具有高度的流动性，在采用豎管灌注法施工时，应在配合比中比普通拌合物提高用水量，用 205~215 公升/立方米。但这就增加了趋于沉淀与損失流动性的傾向。

为了具有高度流动性，又仍保持其稳定性，用于水下灌注混凝土的拌合物应具有比普通混凝土較大的顆粒单位表面积，这样，在混凝土拌合物中就形成能在其中保持大量水份的水膜空間网。增加砂的含量或利用細顆粒，应用表面活性附加剂，特别是皂化油类的含气剂等可以提高顆粒的单位表面积。

表 3

拌合物№	配 合 比	骨 料 特 性			水灰比	水泥 公斤/ 平方厘米	ΔB	K
		骨 料 组 成	顆 粒 $d < 0.6$ mm	顆 粒 $d < 0.3$ mm				
1	1 : 1.73 : 3.18	35% 細砂 65% 圓礫石	25%	14%	0.6	348	0.0159	1.2
2	1 : 2.08 : 2.73	45% 不均勻砂 55% 圓礫石	23%	11%	0.6	350	0.0143	1.4
3	1 : 2.74 : 2.20	55% 粗砂 45% 圓礫石	14%	6%	0.58	356	0.0180	1.0

表 3 表明：为了必要的粘聚性，拌合物№ 1 只需要35%的細砂，而在采用粗砂的拌合物№ 3 的情况下，甚至当耗用水泥較多时，砂的用量也必須达到55%。

在任何情况下，利用 ΔB 值选择混凝土，都能得出最合理的骨料比例和胶結料的最小用量。

根据實驗室和在水下灌注混凝土所应用的、具有最大值 K 的混凝土拌合物的骨料篩分曲綫分析，确定了骨料的粒径变化最优范围（表 4）。

采用推荐的骨料，保証在水泥用量 300~350 公斤/立方米（比采用普通骨料少用 7~15%）和用水量 210~215 公斤/立方米时的混凝土拌合物具有必須的流动性和粘聚性。同时，为了避免不合理的水泥用量，水泥标号应超过混凝土設計强度的一倍。在混凝土配合比中掺入加气剂或塑化剂，可以采用較最

优良粒径略小的骨料，如采用推荐的骨料，则水泥用量还可降低8~10%。

表 4

残 留 于 筛 上 部 分 %					
筛 孔 径 (毫米)					
粗 骨 料			细 骨 料		
d 最大	$0.5d$ 最大	8	1.2	0.3	0.15
0—10	20—40	40—60	60—70	85—95	90—97

可采用各种皂化物作为加气剂，首先是树脂皂，例如，文沙（Винсол）中和树脂皂。塑化剂中最广泛采用的是亚硫酸盐酒精废液及其衍生物。亚硫酸盐酒精废液是造纸工业中的产品，呈粉末状或浓度50%的溶液。溶解于水的附加剂是在搅拌混凝土时才加入。

用于灌注的混凝土配合比的选择，应按下列程序进行：

- 1) 按全苏国定标准推荐的一种方法确定水灰比；
- 2) 设计最接近于最优筛分曲线的骨料级配（参阅表4）；
- 3) 按下列条件选择规定流动性的拌合物，即当

$$\left(\frac{B}{U_1}\right) = \left(\frac{B}{U}\right)_p; \left(\frac{B}{U_2}\right) = 0.97 \left(\frac{B}{U}\right)_p; \left(\frac{B}{U_3}\right) = 0.94 \left(\frac{B}{U}\right)_p$$

式中： $\left(\frac{B}{U}\right)_p$ ——所选用的水灰比值（程序1）；

4) 试验拌合物的析水率，并选出满足于 $0.012 < \Delta B < 0.020$ 的拌合物；

5) 灌注并試驗試样，灌筑試驗块。

将按照全苏固定标准选取并搗实灌筑的普通水工混凝土試件，与按建議方法选取和灌注、但不搗实的豎管法混凝土試件，进行同样的試驗后表明（表 5），按强度两者不相上下，而豎管法混凝土的密实度却高得多，这是由于和易性較好及水泥浆与砂浆的空隙填充系数較高的緣故。

表 5

混 凝 土 配 合 比	水 灰 比	水 泥 公斤/ 立方米	强 度 公斤/平方厘米		渗 透 系 数 厘米/秒 $\times 10^{-6}$	
			7 天	28 天	7 天	28 天
普通水工混凝土 1 : 2.63 : 3.43	0.65	300	64.5	175	0.201	0.171
用于豎管法混凝土 1 : 2.74 : 2.22	0.65	325	78.0	170	0.135	0.017

研究得出的选择方法，已成功地应用于水工建筑物的水下灌筑混凝土工程中，关于这方面的資料，下面将詳述。

混凝土的灌筑

当采取豎管法施工时，混凝土拌合物在管中与在新灌筑混凝土层中的不断流动过程中，在灌筑块中产生相应于一定灌筑方式的动力平衡。改变水下灌筑的方式，会破坏这种平衡，而使混凝土质量受到的影响，将比在干地施工时大得多。干地施工时混凝土灌筑的連續性和高效率主要是影响工期的縮短。选择正确的灌筑方式，除了保証混凝土拌合物具有高度工艺性能外，决定工作的进行得到成功。

确定豎管法灌筑方式的主要指标是：

- 1) 豎管的作用半徑—— r (米)；
- 2) 豎管插入混凝土的深度—— t (米)；
- 3) 水下混凝土表面的坡度—— i ；
- 4) 新灌筑混凝土拌合物對模板的壓力—— P (公斤/平方米)。

影響這些指標值的外部條件是：

- 1) 灌筑效率—— I (立方米/平方米 小時)；
- 2) 管中混凝土柱換算成干地混凝土重量的高度—— h (米)；
- 3) 保持拌合物流動性穩定的指標—— K (小時)。

豎管的作用半徑

水下灌筑混凝土的施工組織，首先必須保證混凝土拌合物在保持其工藝性能的條件下，在規定的半徑內擴散。拌合物在灌筑塊中的流動過程，僅在一定的表層內流動，其值決定於拌合物在灌筑塊中的上升速度（灌筑效率）和流動性的保持能力（ K ）。對這兩個數值，又應首先確定豎管的作用半徑。有些學者認為作用半徑主要與管中的壓力有關，並需使其具有最大值。

拌合物在灌筑塊中擴散的極限值，可由在時間 K 內、灌筑於塊體中的拌合物容積與水下混凝土錐體的容積相等而求得

$$KIF = \frac{1}{3} F r_{np} i$$

式中： F ——灌筑混凝土面積（極限的）；

r_{np} ——極限擴散半徑；

i ——混凝土錐體表面坡度，等於0.2或更小。

由此得 $r_{np} = 15KI$ 米，但此值不能用以計算作用半徑，因為錐體周邊的混凝土質量低於對水下混凝土所要求的質量