

文章编号:0451-0712(2006)04-0057-09

中图分类号:U214.18:TU528.042

文献标识码:A

公路水下水泥混凝土水中抗分离剂应用技术

林宝玉¹, 傅 智²

(1. 南京水利水电科学研究院 南京市 210029; 2. 交通部公路科学研究院 北京市 100088)

摘 要: 介绍水中抗分离剂的主要成份及其配制成的水下不分离混凝土的主要性能, 以及此种新型水下混凝土的施工要求及其工程应用情况。

关键词: 公路工程; 水泥混凝土; 水中抗分离剂; 水下混凝土; 工程应用

水下浇筑混凝土可省去为创造干地施工条件所必须的围堰、基础防渗和基坑排水工程的工期和费用, 而且无论是寒冷还是炎热季节, 水环境对混凝土硬化都具适宜条件, 在无法建成围堰的情况下, 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, 如何提高水下混凝土的质量一直成为人们研究的课题。

众所周知, 水泥虽然是水硬性材料, 但若将水泥混凝土拌和物直接倾倒入水中, 当其穿过水层时, 骨料便与水泥分离, 且很快沉到水底, 被水冲刷下来的水泥颗粒, 部分被水带走, 部分长期处于悬浮状态。当水泥下沉时, 已呈凝固状态, 失去胶结骨料能力。浇下去的水泥混凝土拌和物分为一层砂砾石骨料, 一层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, 水下混凝土过去都要求在与环境水隔离的条件下浇筑, 而且要求浇筑过程不要中断, 以减少水的不利影响, 在其凝固后还要清除一定数量的强度不符合要求的水泥混凝土。因此, 以往水下混凝土质量好坏, 主要取决于施工的优劣, 关键是尽量隔断水泥混凝土与水的接触。常用的方法有袋装迭置法、开底容器法、混凝土泵压法及导管法和预填骨料压浆施工法。近年来, 又对浇筑机具进行了各种改进和开发, 出现了 KDT 施工法等特殊浇筑形式, 但使用最多的还是导管法及其基础上的改进。但导管法只适于水深 1.5 m 以上而且导管口埋入水泥混凝土深度必须大于 1 m, 导管要随水泥混凝土面的升高而逐渐向上提升, 不能左右移动。导管法施工与水接触部分混凝土易受水的冲洗而发生水泥浆流

失, 致使表层水泥混凝土强度降低, 底层与基础粘结不牢。据介绍^[1], 用导管法施工时, 其表层水泥混凝土强度损失可达 50%, 在间歇施工时, 常因此要清除掉 15~45 cm 厚的表层水下混凝土或对某些结构至少每边多出 15 cm 厚低质量与水直接接触的混凝土, 造成浪费。

20 世纪 70 年代以来, 以前联邦德国为首, 从研究水泥混凝土本身性能的改善来提高水下混凝土的质量, 使其具有在浇筑过程中直接与水接触也不会使各组分材料分散的能力。1974 年前联邦德国率先在工程上使用并定名为水下不分离混凝土 (Non Dispersible Concrete 以下简称 NDC)。80 年代日本从前联邦德国引进这项技术, 并于 1981 年开始在工程中应用, 迄今已浇筑约 100 万 m³ NDC。日本目前有 10 个以上的厂家出售配制 NDC 的水中抗分离外加剂 (Non Dispersible Concrete Admixture 或 Segregation Controlling Admixture 或 Anti-Washout Admixture, 以下简称 NDCA) 并提出 NDCA 质量标准草案^[2], 主要是以水下制备试件的强度及其与在大气中制备试件的强度比作为特征值, 规定水下试件 28 d 抗压强度和抗弯强度必须达到大气制备试件的 70% 和 60%, 同时也规定了悬浊物质及 pH 值。除日本以外, 英、美等国也都在开展研究和应用。北海油田, 斯堪的纳维亚半岛的哥本哈根港口等都曾成功地使用过 NDC^[3]。

NDC 除具有水下抗分离性好的优点外, 还具有优良的流动性和填充性, 可进行大面积薄壁水下施工、钢筋混凝土构件等高质量水下构筑物施工、要求

防止水质污染的施工、抢险救灾紧急工程以及难以应用普通水下混凝土进行施工的地方。

我国新建和已建土木工程有大量水下作业,特别是水下补强加固工程要求有高质量能与基底有较好粘结的水下混凝土,但目前我国水下混凝土的施工质量不能尽如人意。据统计^[1]:我国一般导管法施工水下混凝土 28 d 芯样强度与机口取样强度比为 0.49~0.76,水下新老混凝土粘结强度仅为干地粘结强度的 40%~60%。因此,开发研制 NDC 迫在眉睫。

据介绍^[4],用于配制 NDC 的材料可分为下列几类:

(1) 合成或天然水溶性有机聚合物,它可以增加拌和水的粘度,例如纤维素酯、淀粉胶、聚氧化乙烯、聚丙烯酰胺、羧乙烯基聚合物、聚乙烯醇及菜胶等,掺量一般为水泥质量的 0.2%~0.5%;

(2) 有机水溶性絮凝剂,它能够被吸附在水泥粒子上并通过加速粒子间的吸引来增加粘度,例如带有羧基的苯乙烯共聚物、合成高分子电解质和天然胶等,它们的掺量一般为水泥质量的 0.01%~0.10%;

(3) 各种有机材料的乳液,它能增加粒子间的相互吸引并在水泥相中提供超细的粒子,例如石蜡乳液、丙烯酸乳液和水分散性粘土等,它的掺量一般为水泥质量的 0.1%~1.5%;

(4) 具有高表面积无机材料,它可以增加拌和物的保水能力,例如膨胀土、热解硅酸盐、硅粉、压

碎的石棉和其他纤维状的材料,它的掺量一般为水泥质量的 1%~25%;

(5) 能在砂浆相中提供填充细颗粒的无机材料,例如粉煤灰、熟石灰、高岭土、硅藻土、原状或煅烧过的胶凝材料和各种石粉,它的掺量亦为水泥质量的 1%~25%。

我国近年来也开展了水下不分离混凝土的研究工作。原天津石油部施工技术科学研究所^[5]研制成功的水中不分离混凝土外加剂 UWB-1,交通部第二航务工程局科研所研制成功的 PN 剂^[6],都属于聚丙烯酰胺类的水中抗分离剂。南京水科院在 20 世纪 90 年初开发成功并通过部级专家鉴定的 NNDC-2 型水下抗分离剂则属于纤维素类水中抗分离剂^[7]。中国水科院也曾在 20 世纪 90 年代开发研制成功水中抗分离剂^[8]。

1 掺有水中抗分离剂混凝土的主要性能

1.1 新拌混凝土的性能

(1) 抗分离性和水中强度。

水下混凝土抗分离性远优于普通混凝土,可用水中悬浊物含量和倒入清水后水的透明度、水泥砂浆流失量等方法测定。由于其抗分散性好,所以水下成型的强度也比不加抗分离剂的混凝土大得多。表 1 是我国研制的水下不分离混凝土的抗分散性试验结果。

表 1 水下不分离混凝土的抗分离性

外加剂	水泥用量 kg/m ³	水灰比	扩展度 cm	透明度 %	pH 值	水泥砂浆 流失量	7 d 抗压强度/MPa			28 d 抗压强度/MPa		
							水上	水下	水下/水上	水上	水下	水下/水上
木钙	465	0.41	44.5	5	11.8	4.2	26.5	7.5	0.28	39.5	14.8	0.38
纤维素系水中 抗分离剂(甲)	433	0.52	48.5	87	10.7	0.7	20.3	15.4	0.76	37.4	31.1	0.83
没有抗分离剂	418	0.51	46.0	24	—	5.1	25.0	2.5	0.10	28.3	8.4	0.30
纤维素系水中 抗分离剂(乙)	433	0.52	45.0	91	—	0.3	23.0	20.9	0.91	35.0	26.1	0.75

(2) 自流平性及填充性。

水下不分离混凝土粘稠,富于塑性,因此即使它在水下水平流动的情况下,也可得到浇筑均匀的水泥混凝土。且其流动度损失一般也小于普通水泥混凝土。见图 1~图 3。

(3) 保水性和整体性。

水中抗分离剂一般都掺入保水剂,很少出现泌水和浮浆现象,施工和易性和可泵性好,试验结果见

表 2 和表 3。

(4) 凝结特性。

水下不分离混凝土的凝结时间随所用水中抗分离剂的种类不同而不同。一般凝结时间有所延长,但都可用调凝剂调整控制,详见表 4。

1.2 硬化混凝土的性能

(1) 水下不分离混凝土的强度特性。

水下不分离混凝土的强度符合一般水灰比与强

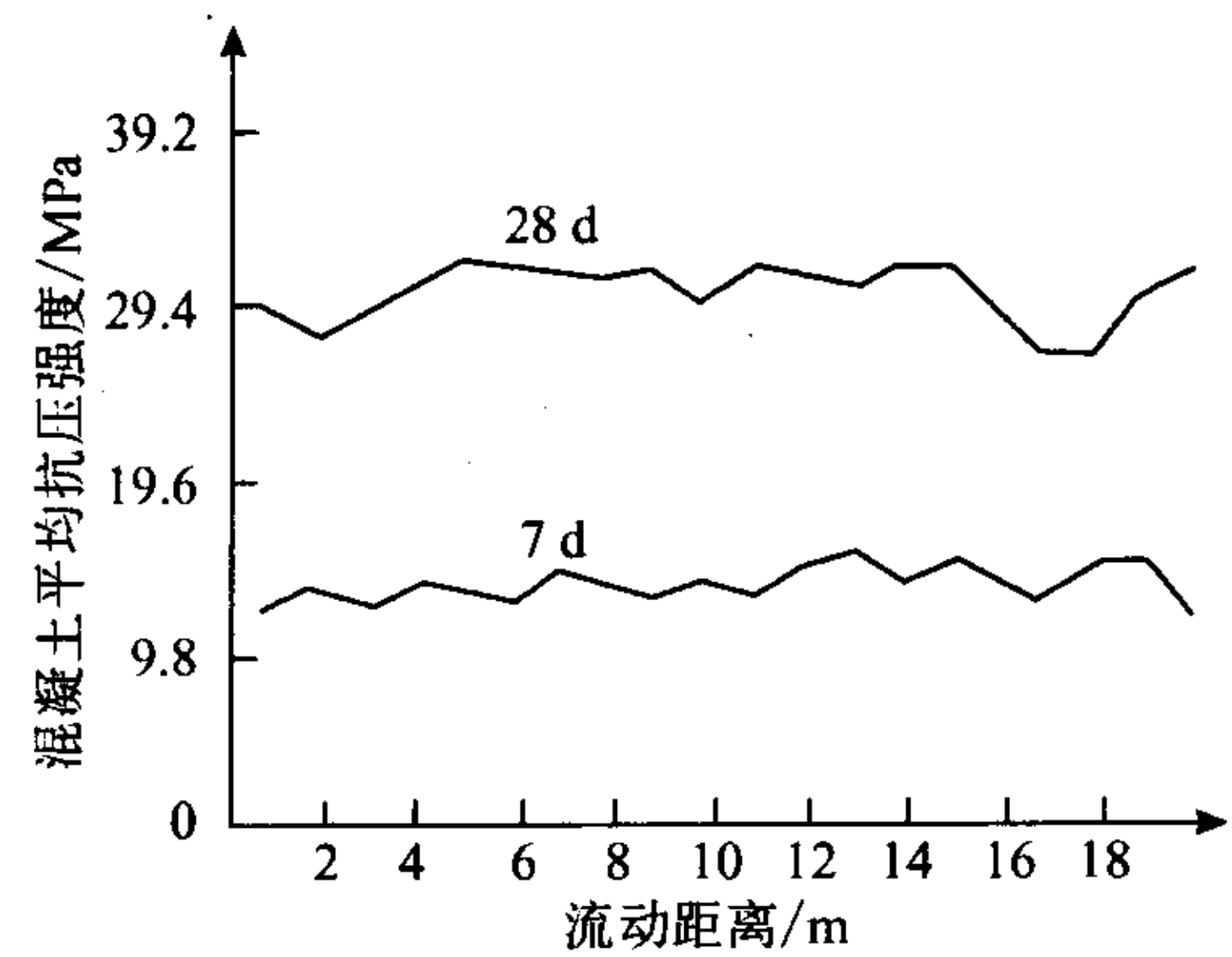


图1 长距离(约18 m)流动试验时NDC 的均匀性

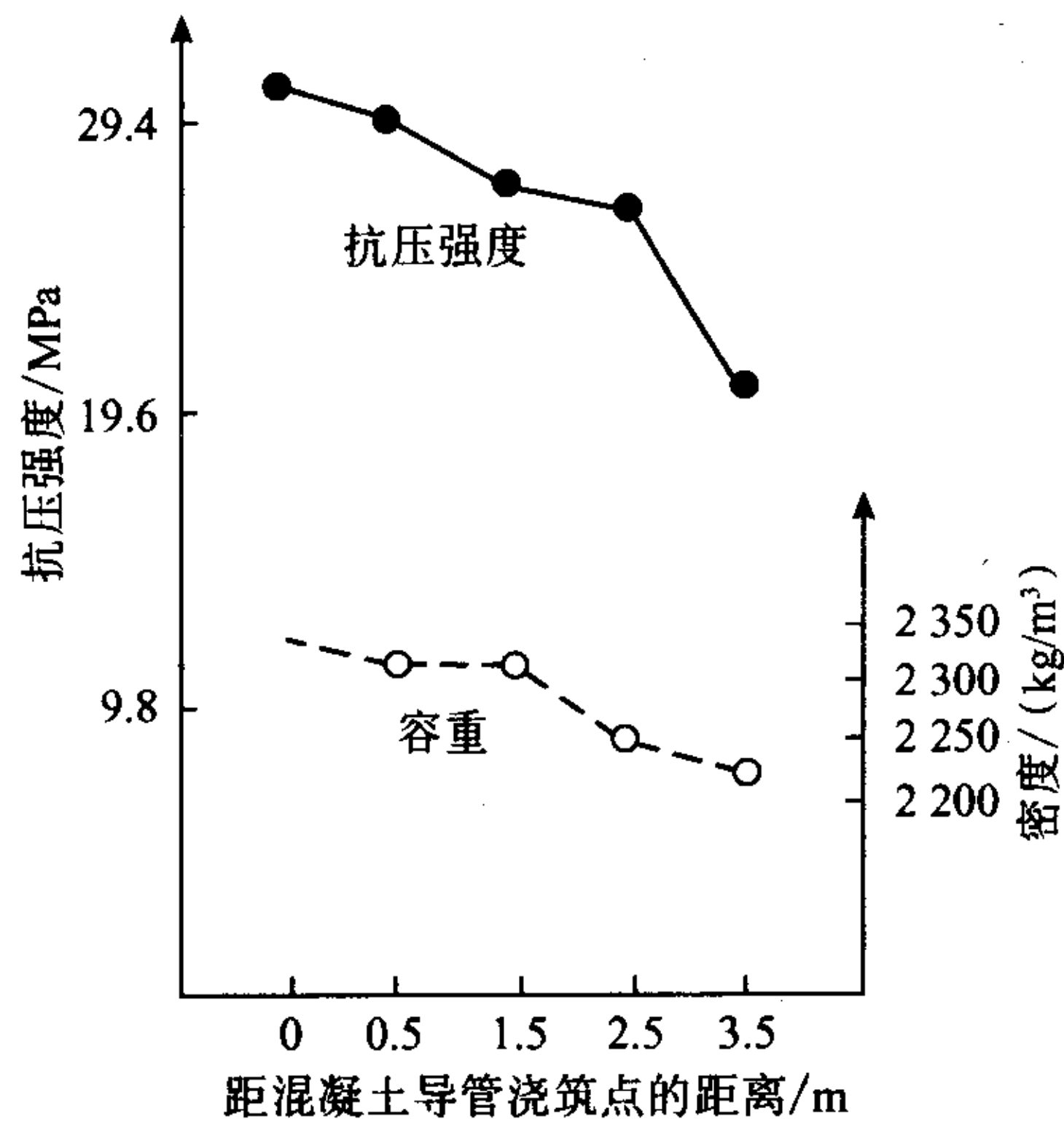


图2 浇注普通水泥混凝土水平流动对强度及密度的影响

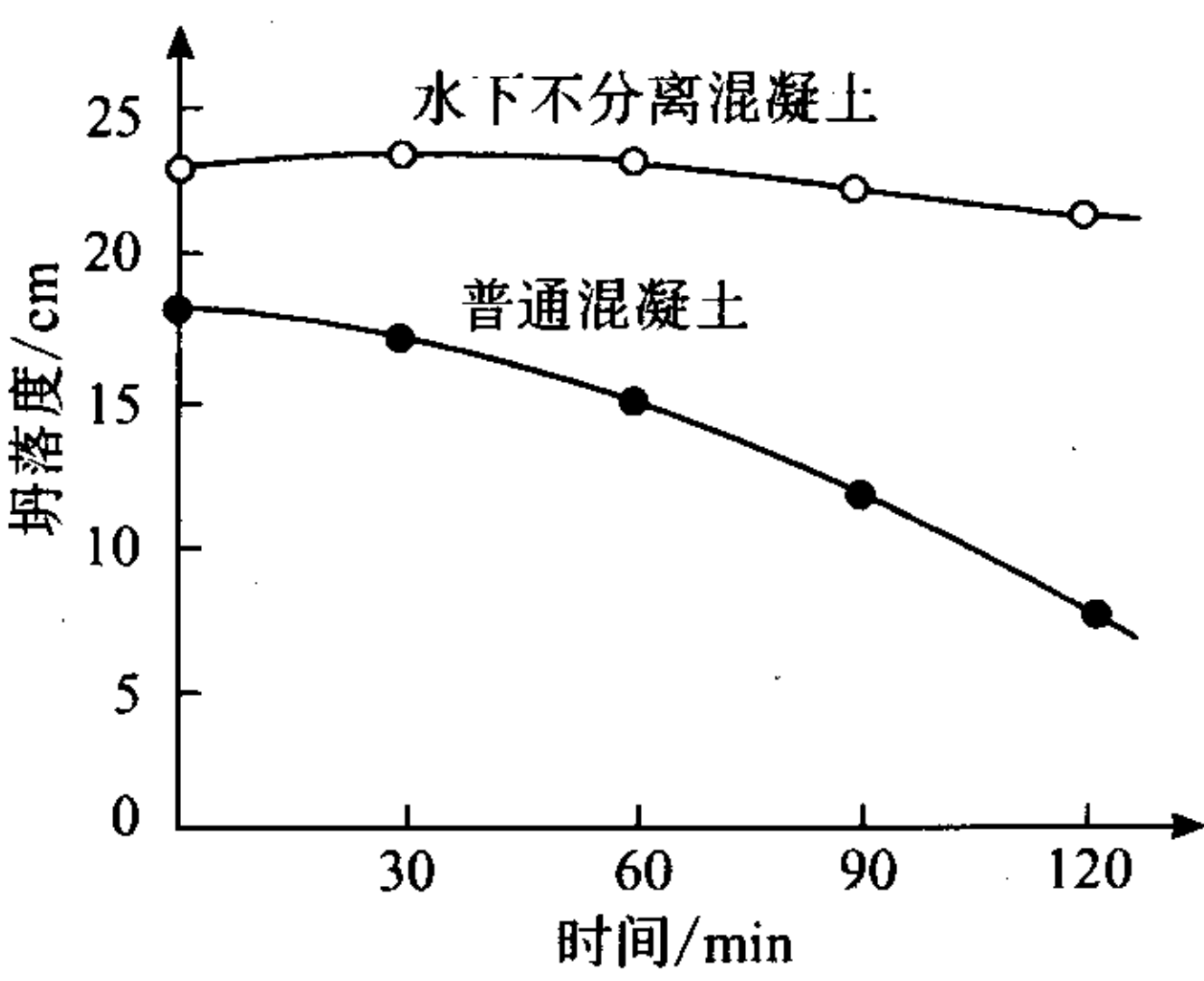


图3 NDC 坍落度随时间变化

表2 掺有水中抗分离剂水泥混凝土的流动度变化

间隔时间/min	0	30	60	90	120
扩展度/cm	47.5	44.0	34.5	34.0	32.2
坍落度/cm	21.5	21.0	18.0	15.0	16.0
坍扩度/cm	39.0	39.0	35.0	27.5	28.5

度关系规律,其抗拉强度、抗弯强度与抗压强度的关系与常态混凝土相同。其强度与水中抗分离剂的掺量密切相关,随着水中抗分离剂掺量的增加,与普通混凝土相比在陆上制作掺有水中不分离剂的试件,抗压强度相同或略低。而水下制作的试件却随水中抗分离剂掺量的增加而增加,且其强度 28 d 以后到 180 d 增长缓慢,长龄期仍继续增长。

水下不分离水泥混凝土的强度在水泥用量小于

表3 掺有水中抗分离剂水泥混凝土的泌水率及含气量^[9]

类别	不同时间(min)的泌水率/%										含气量/%
	20	45	66	87	110	140	170	200	230	260	
普通混凝土	1.28	2.61	3.51	4.30	5.49	6.42	7.05	7.36	7.36	7.36	1.2
NDC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2

表4 水下不分离混凝土凝结时间与温度的关系(美国资料)^[10]

混凝土种类	调凝剂	不同温度下的凝结时间					
		10.0~12.8 ℃		18.3~21.1 ℃		29.4~32.2 ℃	
		初凝	终凝	初凝	终凝	初凝	终凝
普通混凝土	无	31 h	32 h50 min	26 h50 min	28 h	25 h	27 h15 min
NDC	无	34 h	36 h	30 h	32 h25 min	29 h	30 h50 min
NDC	无	18 h	20 h	13 h	14 h50 min	10 h50 min	12 h
NDC	无	22 h	25 h50 min	15 h50 min	17 h	12 h	13 h50 min
NDC	有	8 h	10 h15 min	—	—	5 h50 min	7 h25 min
NDC	有	14 h	15 h	11 h	12 h	9 h	10 h
NDC	无	21 h50 min	23 h	13 h50 min	15 h25 min	12 h25 min	14 h23 min
NDC	有	18 h	19 h50 min	16 h	18 h	13 h	14 h50 min
NDC	有	21 h50 min	23 h	17 h50 min	19 h	11 h50 min	13 h
NDC	无	—	—	17 h	19 h25 min	—	—
NDC	无	—	—	58 h	60 h	48 h	50 h

360 kg/m³ 的情况下,由于水灰比较大,其抗分散性较低,应调整水中抗分离剂的用量或增加单方水泥用量,以满足水下强度要求。

水下不分离水泥混凝土与钢筋的粘结强度不论陆上或水下都与普通混凝土大致相同或好一些。因为它泌水很小,不会出现由于钢筋下侧泌水引起粘

结力下降。

水下不分离水泥混凝土的弹性模量与浇筑环境有关,陆上浇筑弹性模量偏低,水下浇筑比普通混凝土略高。

表 5 为作者与同事们研制的水下不分离水泥混凝土的各项性能。

表 5 水下不分离水泥混凝土的各项力学性能

编号	抗压强度 MPa		劈裂抗拉强度 MPa		抗弯强度 MPa		抗拉粘结强度 MPa		棱柱体抗压强度 MPa		弹性模量 × 10 ⁴ MPa		钢筋握裹强度 MPa	
	陆上	水下	陆上	水下	陆上	水下	陆上	水下	陆上	水下	陆上	水下	陆上	水下
1	32.3	7.7	2.8	0.8	6.6	1.6	2.2	0.6	32.4	6.1	3.64	2.40	7.3	6.1
2	33.9	28.0	3.4	3.0	6.8	5.0	2.1	1.7	45.5	35.7	3.38	3.31	9.1	8.6

(2) 水下不分离混凝土的耐久性。

混凝土的耐久性与其抗渗透性密切相关,根据作者与同事们研究的结果,水中成型的普通混凝土在 1.2 MPa 恒压下,不到 5 min 全透,而掺有水中抗分离剂水泥混凝土恒压 24 h 平均渗水深度为 12.7 cm。杨国嫦等研究的掺水中抗分离剂水下成型混凝土在最大水压 1.9 MPa 情况下平均渗水深度为 14.5 cm。

Kamal H. Khayat 按照 AASHTO T227-83 测量抗氯离子渗透性表明^[11],在水灰比为 0.4 时,没有掺水中抗分离剂的为 6 610 C,而掺的只有 3 980 C。说明抗氯离子渗透性也提高将近一倍。

2 水下不分离混凝土的配合比设计

2.1 配制强度

我国水运工程混凝土施工规范规定,采用导管法等浇筑的水下混凝土陆上配制强度要比设计强度标准值提高 40%~50%。对水下不分离混凝土配制强度要求的提高系数 P ,我国尚未规定。日本有关资料规定如下:

$$\text{当离差系数 } Cr \geq 10\% \text{ 时 } P = \frac{1}{1 - \sqrt{3} Cr / 100}$$

$$\text{当离差系数 } Cr < 10\% \text{ 时 } P = \frac{1}{1 - 3Cr / 100}$$

水下不分离混凝土在浇筑中,一般落差为 30~50 cm,故强度较陆地施工低,也可按水下混凝土试块制作方法做成型试件进行强度试验,以实测强度再乘以大于 1 的系数来考虑混凝土的配制强度。在考虑配制强度提高系数时,关于混凝土质量不均的提高率与普通混凝土相同。

2.2 水灰比

水灰比是关系水下不分离水泥混凝土强度、抗渗性、耐久性等的主要因素,水灰比确定应根据水下不分离水泥混凝土水下试块强度与水灰比的关系曲线确定。混凝土耐久性要求的水灰比与当地气温、环境、建筑物结构有关。表 6 和表 7 列出日本水下不分离水泥混凝土设计与施工指南^[12],可供参考。

表 6 按混凝土耐久性决定最大水灰比

构筑物的暴露状态	气象严酷或反复冻融		气象温和或很少负温	
	薄壁 ⁽²⁾	普通	薄壁 ⁽²⁾	普通
(1)连续与不连续水饱和的部位 ⁽¹⁾	0.55	0.60	0.55	0.65
(2)处于正常暴露状态及不属于(1)的情况	0.60	0.65	0.60	0.70

注:(1)水渠、水池、桥台、桥墩、挡土墙、涵洞衬砌等,接近水面而且水饱和部位,以及除此之外的梁、桥面板等虽离开水面,但由于融雪、流水及飞溅水导致水饱和的部位;

(2)截面厚度小于 20 cm 的构筑部位。

表 7 按耐久性确定的引气混凝土最大水灰比

环境分区	一般现浇施工	预制或保证选材及施工均不低于预制质量的其他施工方法
(a) 海水中	0.50	0.50
(b) 海上大气中	0.45	0.50
(c) 浪溅带	0.45	0.45

注:对于已被施工和研究确认的按耐久性确定的最大水灰比,可在表 7 的数值上再增加 0.05~0.1 左右。

2.3 单位用水量及水泥用量

水下不分离水泥混凝土由于水中抗分离剂的掺入,拌和时内部水的粘性提高,故较普通混凝土的用水量大,一般坍扩度为 45 cm 左右,水下不分离混凝土骨料最大粒径为 20 mm 时,单位用水量约 220~230 kg/m³,骨料最大粒径为 40 mm 时,单位用水量

约为 $215 \sim 225 \text{ kg/m}^3$ 。最后必须通过试验调整砂率及减水剂掺量,取得最低用水量。

单位水泥用量是根据单位用水量和水灰比计算的。因水下不分离水泥混凝土的单位用水量较普通混凝土大,故单位水泥用量也大。据实践经验,如果单位水泥用量小于 350 kg/m^3 ,混凝土的耐久性可能降低,故一般水泥用量在 350 kg/m^3 以上。

2.4 骨料的最大粒径与砂率

水下不分离混凝土的粗骨料若太大,则易产生沉淀,影响混凝土的整体性和均匀性。故本指南对粗骨料的粒径限制为 31.5 mm 。

砂率与混凝土和易性密切相关,应根据混凝土和易性进行选择,即在混凝土坍落度及水灰比固定情况下,变化砂率大小,以单位用水量最小者的砂率为最佳砂率。由于水下不分离水泥混凝土中保水剂具有粘稠效果,即使砂率稍低,混凝土仍具有不分离的特征,所以与一般混凝土相比,其砂率可略小,一

般在 $35\% \sim 40\%$ 范围内。

2.5 外加剂掺量

水下不分离混凝土的主要外加剂是保水剂,它的作用是增加混凝土的保水性和粘聚性,使混凝土在水下能保持整体性而不分离。保水剂的掺量要根据保水剂的种类、水下不分离混凝土的施工方法及要求(如浇筑时允许混浊度)、混凝土的水中自由落差、浇筑场所周围的水流情况等,通过试验来确定。至于其他外加剂,如为提高水下混凝土和易性而掺入的减水剂,必须选择与保水剂并用而不影响水下不分离水泥混凝土性质的品种,最好采用液体或粉末状的高效减水剂。此外还可掺用引气剂及引气减水剂,但均需通过试验确定其他外加剂的品种及掺量。如要求早凝则要增加早强剂等。

2.6 工程使用配合比举例

日本工程使用配合比举例见表 8。

表 8 日本工程使用配合比举例^[2]

工程名称	坍扩度 cm	含气量 %	水灰比 %	砂率 %	28 d 抗压强度 MPa	单方材料用量/(kg/m^3)					
						水	水泥	砂	石	NDCA	减水剂*
加筋块石护坡加固 1981 年	45~50	3±1	0.634	40.6	21.8	220	418	616	965	2.66	11
防坡堤加固 1981 年	45~50	4±1	0.508	38.3	28.3~29.4	220	455	588	965	2.66	11
某电厂块石护坡修补 1981 年	<40	4±1	0.513	40.0	—	191	400	616	924	3.50	14
修补某河底虹吸管 1981 年	40~45	4±1	0.588	39.1	满足设计要求	200	359	650	1 033	2.74	11
某桥墩修补 1982 年	50~55	3±1	0.556	31.4	27.5	260	468	473	1 033	3.00	13
某桥河床底部加固 1982 年	45~50	4±1	0.588	37.7	满足设计要求	210	374	614	1 033	2.53	10
某坝水下坝基加固 1982 年	40~50	3±1	0.584	35.0	21.9~24	220	377	576	1 082	2.90	8
某灯塔基础加固 1982 年	40~50	3±1	0.547	36.7	21.2~22.5	198	380	588	1 103	2.50	10
某水电厂进水口修补 1981 年	35~50	3.5±1	0.507	37.7	43.1	190	400	600	1 000	2.50	10
某水电厂进水闸修补 1984 年	50~55	3±1	0.498	34.8	30.6~33.7	208	438	548	1 058	2.50~ 3.30	10
某水电厂坝基修补 1983 年	40~50	3.5±1	0.588	37.7	40.8	210	374	614	1 033	2.66	10
某水电厂下游 河床淘刷加固	45~50	3.5±1	0.589	40.8	19.2~25.0	220	392	643	968	2.66	11

注:* 减水剂的单位为 $1/\text{m}^3$ 。

3 水下不分离混凝土的施工

3.1 材料储存及计量

水中抗分离剂多数为粉剂,易于吸湿受潮。要特别注意储存在室内干燥处,并在使用中对其剂量按本指南严格控制。

表 9 搅拌机种类对强度的影响

水下抗分离剂种类	搅拌机类别	扩展度/cm	透明度/%	7 d 抗压强度/MPa		28 d 抗压强度/MPa	
				陆上	水下	陆上	水下
NNDC-2	强制式搅拌机	44.5	75	17.6	13.6	33.1	26.4
NNDC-2	自落式搅拌机	45.0	28	17.1	10.5	34.4	18.6

3.3 运输及浇筑

必须选择材料离析少及损失少的方法,快速运输,立即浇筑。当发现有显著离析时,必须重新搅拌。现场运输按工程条件、工序、混凝土量、经济效益及和易性选定。可采用混凝土泵、吊罐、带式输送机、混凝土溜槽及手推车等。

水下不分离水泥混凝土的浇筑,原则上使用导管,开底容器或混凝土泵。如果使用混凝土搅拌车、搅拌船的输送带或手推车等其他方法进行浇筑。此时一般要适当增加水中抗分离剂的掺量。使用导管法时,可参照《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)中“9.1 水下混凝土施工”进行。

当用泵压法施工时,必须不透水且在浇筑中经常充满混凝土。为此必须注意,当泵送开始时,如输送管内有水,要采用下列方法:

- (1) 在泵送前先输送水中不分离砂浆;
- (2) 在泵管内先投入海绵球;

(3) 在泵管外装活门,在输送管投入水中之前,先在水上将管内充满混凝土,关上活门再沉放到预定位置打开活门浇筑。

当浇筑面积较大时,可采用挠性软管,由潜水员移动浇筑位置。

施工中,当转移工点及超过高程等需移动水下泵管时,需在输送管的出口端安装特殊的活门或挡板,必要时可用麻袋将管口包起来。

当采用开底容器法时,必须装有浇筑混凝土时易于开启的底。浇筑时,将该容器轻轻放入水中,混凝土排出后,再将容器缓缓地提离混凝土表面相当距离。开底容器在不妨碍施工范围内,应尽量采用大容量的。底的形状以水下不分离水泥混凝土能顺利流出为佳,一般多采用锥形的、方形或圆形料罐。此法适合斜面施工的低流动性的水下不分离水泥混凝土

3.2 搅拌

由于水中抗分离剂配制的混凝土比较粘稠,故必须用强制式搅拌机搅拌。如果用自落式搅拌机搅拌效果差,就要适当提高配制强度。表 9 中可看出为同一配比 2 种搅拌机拌和后的强度差异。

土的浇筑。

水下不分离水泥混凝土的浇筑以静水浇筑为原则。浇筑在水中的自由落差,原则上为 30~50 cm 以下,浇筑必须注意尽可能不扰动混凝土。在采用一般导管及混凝土泵施工时,当流速在 0.3~0.5 m/s 时,混凝土的流失量较少。

水下不分离水泥混凝土自流平的终止时间,一般在浇筑后 30 min 到 1 h。待混凝土表面沉实和自流平终止后,即要进行用木抹子从上往下压的抹平作业,由于水下不分离水泥混凝土水泥难于被水冲掉,一般不会因抹平而质量下降。

当进行连续浇筑作业时,必须在水下不分离水泥混凝土还有流动性的情况下,浇筑后续的混凝土。当迫不得已必须在水下设置施工缝时,必须注意以下几点,以防止对构筑物强度产生影响:

(1) 施工缝应尽可能设在剪切力及弯矩小的位置;

(2) 必须在剪切力大的位置设施工缝时,需做榫或槽,或者埋设适当的埋件进行补强;

(3) 对施工缝混凝土表面要严格清理,清除浮浆,表面疏松混凝土层、松动的骨料等。

由于水下不分离水泥混凝土浮浆少,只要在浇筑中注意,即使不进行施工缝表面处理,也可以得到一定的结合强度。因此,如基础加固混凝土、沉箱等填充混凝土以及沉箱基础等混凝土重力构筑物,对其施工缝亦可不必予以特殊考虑。

3.4 养护及模板

为防止水下不分离水泥混凝土在硬化过程中受动水、波浪等冲刷造成的水泥浆流失及混凝土被淘空,必须进行养护。为此,要对预计到的波浪,设置安全可靠的模板或用苫布把混凝土表面保护起来。当施工部位从水下到达水上时,对于暴露在空气中的

混凝土,必须进行与普通混凝土相同的养护。

水下不分离水泥混凝土模板设计和施工均与普通混凝土相同。但要注意模板的强度及拆模时间受水下不分离水泥混凝土的流动性和凝结时间的影响。可以拆模的混凝土的抗压强度,一般可与空气中施工和普通混凝土等同对待。可参照表10的数值。

表10 可以拆模的混凝土的抗压强度

部位	混凝土抗压强度/MPa
基础、垫层混凝土等的侧面	3.4
柱、墙、梁的侧面	4.9
板、梁的低面	13.7

4 水下不分离水泥混凝土的工程应用

4.1 UWB 絮凝剂配制的NDC^[5]

UWB 絮凝剂为国内最早开发成功的聚丙烯酰胺类水下不分离水泥混凝土外加剂。用之配制的NDC 曾进行2 m 水中落差的施工试验,浇筑了0.3 m×0.3 m×2 m 水下梁、0.25 m×0.25 m×2 m 水下柱等构件。环境水温4~6℃,浇筑后28 d 检查:外观密实、光滑,未发现跑浆、夹砂、蜂窝,芯样强度21 MPa。

曾进行了海堤护坡灌浆、灌注桩、水下梁、沉井水下封底等工程应用,质量良好。其中沉井封底是在6~8 m 水中落差情况下施工的。

近年来还在秦山核电站取水口工程中成功应用^[13]。

4.2 PN 配制的NDC^[6]

PN 也是一种聚丙烯酰胺类的水中抗分离剂,其应用工程有以下几项。

(1)南京空军后勤部水运大队修理所船台滑道水下节点施工。

该滑道陆上部分为现浇钢筋混凝土轨道梁,干砌块石护坡。水下部分为桩基和预制钢筋混凝土井字梁结构。桩梁结构处水下节点48个,节点高1 m,下部为60 cm×70 cm,上部为50 cm×50 cm,水深1~6 m。设计要求井字梁安装就位后需在节点孔内浇注抗压强度为25.0 MPa 以上的混凝土,确保桩与井字梁的整体性。由于用常规水下混凝土浇筑无法施工,故施工单位决定采用NDC。施工时间1990年12月~1991年1月。施工气温-3~5℃,施工区水流速2~3 m/s,水温1~3℃。使用江南水泥厂42.5 (R)硅酸盐及矿渣硅酸盐水泥,水泥用量550 kg/m³,

用水量258.5 kg/m³,PN 为3.2%的水泥质量。水泥、砂、石、PN 干拌20 s 后加水湿拌3 min。出料至吊斗(溜槽),潜水员将导管就位后通知放料。浇注后6 d在节点孔钻取2根 $\phi 100$ mm、 $h=240$ mm 的混凝土芯样,外观检查混凝土浇注质量均匀,无断层、裂缝、夹砂、孔洞等,水下试件28 d 抗压强度试验结果为36.5 MPa,完全满足设计要求。

(2)九江粮食码头钻孔浇筑桩施工。

该桩直径1 m,桩长8.5 m,孔内水深3.0 m,水泥混凝土设计强度为30 MPa。使用庐山牌硅酸盐42.5 (R)水泥,水泥用量560 kg/m³,用水量280 kg/m³,PN 用量为水泥质量的2.7%,混凝土搅拌后由手推车推上引桥送入 $\phi 300$ mm 溜管和溜槽 $\phi 300$ mm 下料管下至桩孔。浇注过程在孔口取样制作试模,测得28 d 抗压强度水下为33.8 MPa,陆上为38.6 MPa,满足设计要求。

(3)九江客运码头修补断桩。

九江客运码头5号、6号引桥各有一根55 cm×55 cm 的斜桩在1990年洪水期被民船碰断。经研究决定,用外加 $\phi 1\ 000$ mm 的钢套内浇注25.0 MPa 水下混凝土方案。所用水泥亦为庐山牌42.5 (R)硅酸盐水泥。水泥用量500 kg/m³,用水量300 kg/m³,PN 用量为水泥质量的约3.2%。施工过程中没有条件取样。

(4)NNDC-2 配制的水下不分离水泥混凝土。

①新安江水电厂大桥中墩加固工程^[7]。

新安江水电大桥建于1990年10月。竣工验收钻孔取样,潜水及水下录像检查发现,大桥中墩混凝土与基岩的接触比较薄弱,墩底部还有一条长约30 cm、宽5 cm 的冲沟。为提高中墩结构的可靠度与耐久性,决定沿中墩基础周围浇筑一道高1 m、宽0.8 m 的加固圈,加固圈外围先筑水下麻包混凝土围堰,然后用水下导管法施工。由于高度仅1 m,导管理深太浅,而且当时现场只有2根导管,在施工过程中需移动导管2~3次,不可能做到整个加固圈混凝土浇筑面平行上升,且水下混凝土之间接缝较多。在此情况下如采用普通水下混凝土难以保证质量,故决定采用NNDC-2 混凝土作为浇筑材料,以确保加固圈周围混凝土与基岩、水下混凝土施工结合面间的粘结及其他浇筑性能。

NNDC-2 是国内首先开发成功的纤维类水中抗分离剂,配制的NDC 具有良好的流动性保持能力和水下浇筑性能。施工过程NDC 在混凝土拌和楼搅拌(每罐搅拌1.25 m³),后经汽车运输(运距1 000 m),

再卸至混凝土卧罐,然后再卸至导管储料斗,再下至导管。整个施工过程基本顺利。

现场测试,出机坍落度为 22.8 cm,运到现场后为 22.0 cm,坍落度基本没有损失。质量控制良好的 NDC 不离析、不泌水、易于施工。据配合施工的潜水员水下检查反映,水下不分离混凝土浇筑至水下后具有良好的水下自流平能力,且水泥浆散失很少,混凝土具有橡胶状韧性,即使稍有扰动也不会分离。

采用江山水泥厂的 42.5(R) 普通硅酸盐水泥,水泥用量 479 kg/m^3 ,用水量 249 kg/m^3 ,NNDC-2

粉剂用量为水泥质量的 5.80%,水剂用量为 3.52%。为反映 NDC 现场施工质量,除在拌和楼机口取样外,施工前专门制作 $3.08\text{ m}\times 1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的试验槽,吊放在中墩同样水深位置(水深 5~6 m),采用与中墩加固完全相同的施工方法进行浇筑。施工第二天将试验槽吊出水面,养护到期钻孔取样。为测得新老混凝土的粘结强度和钢筋握裹强度,在试验槽内预先布设混凝土被粘体和钢筋,各项现场取样结果示见表 11。

表 11 新安江中墩加固 NDC 现场取样结果

取样类型	抗压强度/MPa		劈裂抗拉强度 MPa	新老混凝土粘结强度 MPa	水下混凝土芯样密度 t/m ³	混凝土与钢筋的握裹 强度/MPa
	7 d	28 d				
机口取样	29.0	36.6	—	—	—	—
	28.4	42.0	3.32	—	—	—
水下试验槽取样	22.7	33.9	—	1.6	2.3	3.3

由表 11 可见,现场二次机口陆上取样 28 d 抗压强度平均值为 39.3 MPa,水下试验槽取样 28 d 抗压强度为 33.9 MPa,水陆比达 0.86。表明混凝土具有良好的水下抗分离性。新老粘结强度共取样 9 块,最大为 2.43 MPa,最小为 0.9 MPa,平均为 1.6 MPa。显示了 NDC 与基底具有较好的水下粘结性能。

②湖南马迹塘水电厂浅孔护坦补强工程。

马迹塘水电厂建成于 1983 年。1984 年~1985 年进水下检查发现消力池与护坦冲刷淘空现象已严重威胁主体工程的稳定性。由于护坦下游水深 4~5 m,不可能浇筑水上混凝土,故采用导管法浇筑水下混凝土。为提高水下浇筑混凝土的强度和抗冲磨性,电厂决定采用 NNDC-2 混凝土开展现场应用试验,以取得选择水下补强材料与施工工艺的经验。

试验性施工选择在 17 号~18 号闸孔下游浅孔护坦与基岩交界处的冲坑。冲坑深度约 2 m 左右。在施工中曾采用普通水下混凝土、掺减水剂普通水下混凝土、掺低分散性 NNDC-1 水下混凝土和 NNDC-2 水下混凝土 4 种材料进行比较。

施工采用湘乡 42.5(R) 普通硅酸盐水泥,水泥用量 450 kg/m^3 ,用水量 234 kg/m^3 。NNDC 用量粉剂为水泥质量的 5.80%,水剂为 3.52%。施工主要机具有 0.8 m^3 自落式搅拌机 1 台,地勘吊机 1 台, 0.1 m^3 手推车 10 辆,导管 1 根和潜水船。施工流程为:通过下料管从闸桥下将水泥、砂石料下至搅拌机储料斗;在搅拌机平台(设置在导水墙上)加入水和

外掺剂;搅拌好的混凝土卸至手推车,推至工作面直接送入导管。头仓混凝土采用软塞排水,施工过程中由葫芦吊提升导管。

为检测各配比混凝土水下施工质量,用地勘钻机在有关补强区钻取了 13 个混凝土芯样。切割成高径比为 1:1 的圆柱体试压,并用有关公式计算为标准试块($15\text{ cm}\times 15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$)的强度。试验结果见表 12。

从水下钻孔取芯看到,2 种普通混凝土在表面 1 m 范围内无法取得芯样(强度太低)。因此,在马迹塘这种导管埋深很浅的条件下($<2\text{ m}$),以普通混凝土作为表面薄层修补材料很难取得较好效果,至少有 1 m 混凝土不起保护作用。相反,2 种水下不分离混凝土表层 0.2~1.0 m 的范围内都有较好的强度,达到 30~40 MPa。

另外,从修补后测验的地形图看,在浇筑 NNDC-2 水下不分离水泥混凝土的 6 号导管附近 4 m 范围内,混凝土标高比较接近,最大相差 60 cm。而在浇筑普通混凝土的 1 号导管附近同样范围内,标高相差较大,最大达 1.3 m。进一步说明水下不分离水泥混凝土具有较好的自流平和填充性能。

在现场试验基础上,1994 年进行大规模施工,1500 m^3 混凝土掺用了 NNDC-2,施工使用 10~15 m 长的导管,实践表明,混凝土自流平范围为 3 m,表面高差仅 20 cm,取样结果表明,水下芯样强度平均达 32 MPa。

表 12 马迹塘水电站补强水下芯样强度

混凝土种类	导管编号	施工日期	钻心日期	试压日期	芯样编号	芯样深度/m	抗压强度/MPa	平均抗压强度/MPa
NNDC-2 水下 不分离混凝土	6	1991- 12-06	1991- 12-28	1992- 02-17	1	1	31.5	30.7
					2	0.3~0.9	38.8	
					3	0.3~0.9	24.4	
					4	0.3~0.9	28.1	
NNDC-1 水下 不分离混凝土	5	1991- 12-06	1991- 12-29	1992- 02-17	5	0.2	45.0	42.0
					6	0.4	51.1	
					7	0.9	29.8	
普通混凝土	4	1991- 12-06	1991- 12-30	1992- 02-17	8	1~1.4	29.4	28.2
					9	1.5	24.4	
					10	1.6~2.0*	30.9	
加减水剂 普通混凝土	2	1991- 12-05	1991- 12-30	1992- 02-17	11	1	35.4	38.5
					12	1	42.8	
					13	1	37.4	

注: * 表示已接近基岩

近年来,NNDC-2 还在水口水电站船闸的修补加固、盐城黄沙港的底板加高和义乌市市民广场等工程中成功应用。

(5)SCR 配制的 NDC^[13]。

①青岛集装箱码头水下混凝土结构加固工程:水深 13 m,配制 20 MPa 的 SCR 砂浆,泵送法施工,效果良好。

②南阳油田扩建排水工程:施工部位为水下地坪和水下侧壁抛石部位等,人工浇筑 15 MPa SCR 砂浆。水深 0.5 m。

③南阳油田沉井封底工程:水深 8 m。导管浇筑 20 MPa SCR 混凝土。

参考文献:

- [1] 杨光煦. 水下灌注混凝土[M]. 水电出版社,1983.
- [2] 日本沿岸开发技术研究中心和渔港渔村建设技术研究会,编. 刘希和,等译. 水下不分散混凝土设计施工指南[S]. 水力电力出版社,1993.
- [3] Stagnos R, Cordetl B. Underwater Concreting with Polymers[J]. Civil Engineering,1988.
- [4] Ramarhandran. Concrete Admixtures Handbook [M]. Noyes Publications Park Ridge, N. J., U. S., 1984.
- [5] 田广墅,等. 水下不分散混凝土的研究和应用[J]. 混凝土建筑物及修补,1990.

- [6] 杨国端,等. 水下浇注不离析混凝土技术的研究和应用[R]. 交通部第二航务工程局科研所,1990.
- [7] 林宝玉,等. 水下不分散混凝土的研究和应用[J]. 水力发电学报,1990,(3).
- [8] 水利水电科学研究院. 新型水下不分散聚合物改性混凝土[R]. 1990.
- [9] 林宝玉,等. 新型水下不分散混凝土[J]. 港口工程,1992(2).
- [10] Khayat K H. Underwater Repair of Concrete Damaged by Abrasion-Erosion [A]. Final Report, Repair Evaluation, Maintenance and Rehabilitation Research Program, Technical Report REMR-CS-37 U. S. [R]. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg Miss, 1991.
- [11] Khayat K H. Effects of Antiwashout Admixtures on Properties of Hardened Concrete[J]. ACI Materials, 1996.
- [12] 水中不分离性混凝土试验调查报告书(2)—水中不分离性混凝土设计施工指南(案)[R]. 日本土木研究所资料,1991.
- [13] 冯士明,等. 水下不分散混凝土在核电站取水口工程中的应用[J]. 混凝土,2001,(8).
- [14] 陈严. 新一代混凝土—水中混凝土[J]. 混凝土,1993,(2).

文章编号: 0451-0712(2006)04-0066-05

中图分类号: U214.18; TU528.042

文献标识码: A

公路工程水泥混凝土早强剂应用技术

李 红¹, 傅 智², 张劲泉²

(1. 北京建筑工程学院 北京市 100044; 2. 交通部公路科学研究院 北京市 100088)

摘 要: 介绍了交通部 2006 年新颁布的《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》(简称指南)中编写的早强剂在公路水泥混凝土工程中的应用技术, 特别介绍了早强剂在快通水泥混凝土路面和桥梁的快速施工及修复中的应用, 以加强业内人士广泛应用早强剂的自觉性, 不仅要确保公路水泥混凝土工程的质量和使用寿命, 而且要提高公路工程中水泥混凝土结构施工和修复的速度, 减少交通堵塞, 实现更大的经济效益和社会效益。

关键词: 公路工程; 水泥混凝土; 早强剂; 应用技术

早强剂是一种专门解决工程中需要尽快或尽早获得水泥混凝土强度问题的专用外加剂, 在公路水泥混凝土工程中主要使用在下述场合。

(1) 快通水泥混凝土路面或桥面铺装层, 特别是一、二、三级公路的平交道口。当一个方向的水泥混凝土路面摊铺施工时, 不仅正在施工的路面不能通车, 而且平面交叉的其他方向的车辆也不能通车。在一些宽度较窄的路面上, 施工单位可以使用施工便桥, 给其他交叉方向的车流提供通道, 但在路面宽度较大的一级公路上, 便桥跨度很大, 便桥的制造难度和造价也随之增大。此时, 最好使用早强水泥混凝土在夜间施工, 并在最短时间内提供车辆通行便利。

(2) 最低温度不低于 -5°C 的低温环境中水泥混凝土结构的施工, 一般需要使用早强剂加速水泥混凝土的凝结硬化, 以防止更低温度下水泥混凝土产

生冻害, 并加速模板的周转, 提高施工效率。

(3) 预应力钢筋混凝土结构, 例如预应力钢筋混凝土桥梁低温下的张拉或正常温度下的提早张拉, 均需要使用早强剂加快预应力张拉时间, 提高构件的制作速度。

(4) 水泥混凝土路面及桥梁的快速修复。修复时, 不得不缩窄行车道, 造成交通堵塞、断交或迫使交通流绕行其他道路, 特别是在高速公路或其他效益很好或较好的收费公路上, 能够早 1 h 通车, 带来的收费效益就很可观。此时的水泥混凝土路面及桥梁等结构修复, 应该使用早强剂加速修复速度, 尽快开放交通, 通车收费, 努力提高经济效益、交通效益和社会效益。

总而言之, 早强剂是建设者手中的一项提高施工效率和速度的武器, 它在一定程度上克服了水泥

收稿日期: 2006-02-20

Application Technology of Flocculating Agents for Underwater Cement Concrete in Highway Engineering

LIN Bao-yu¹, FU Zhi²

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

2. Research Institute of Highway of Ministry of Communications, Beijing 100088, China)

Abstract: The main ingredient of flocculating agent as well as the performance of concrete made of it are introduced. The construction technology and quality control measures are presented to guide the practical application.

Key words: highway engineering; cement concrete; flocculating agent; underwater concrete; engineering application.