

水利工程中混凝土的澆灌

丁 承 显編譯

水利电力出版社

水利工程中混凝土的澆灌

丁 承 显編譯

水利電力出版社

內 容 提 要

本书根据若干有关水工混凝土施工的俄文资料及国内已公开发表的有关资料編譯而成，共分十二章，对有关水工混凝土施工中的各个問題（水工混凝土的特点和要求；灌注块的划分和准备工作；混凝土的成分、外加剂及掺和料；混凝土的制备、运送和浇筑等）进行了較詳細的敘述。本书可供水利、水电和水运施工技术人员参考。

水利工程中混凝土的澆灌

丁 承 显編譯

*

9328 174

水利电力出版社出版（北京西城科學館二里內）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

950×1168 1/32开本 * 5 1/4印張 * 134千字 * 定价(第10类)0.90元

1958年1月北京第1版

1960年3月北京第3次印刷(2,621—3,640册)

前 言

党第八次全国代表大会在关于发展国民经济的第二个五年计划（1958~1962）的建议中对水利建设规定了巨大的任务。在这期间将开始进行西南、西北和三門峡周围地区以钢铁工业、水电站为中心的新工业基地的建设；並大力兴修水利，进行黄河、淮河、海河等流域的治本工程。

在解放后八年來，我国水利建设的成就是偉大的。在淮河上建成了白沙、板桥、石漫灘、薄山、南灣、佛子嶺、梅山等七座大水库，还有今年（1957）汛期中已能攔洪的响洪甸、磨子潭水库正在施工。永定河上建成了官廳水库；遼河支流浑河上建成了大伙房水库。在水电站方面設計和建筑了古田、官廳、黃壇口、獅子灘、上犹江、流溪河等水电站。我們在水利建设方面已經累積了一些經驗。

但是，第二个五年计划所提出的水利建设規模更为宏偉，任务也就更为艰巨。單就已經开工和即將开工的五大水电站（三門峡，新安江，以礼河，岷江紫坪鋪和刘家峡）來看，發電容量很大，坝身很高，坝型复雜，地質問題和施工問題很多，要勝利地完成这些任务，就要順利地解决这許多問題，这对于每个水利工作者說來是最光荣的任务，也是应負的責任。

混凝土工程是水利建设中一个重要組成部分。在五大水电站中，混凝土工程的数量各达100万方到300万方不等；混凝土質量的优劣，施工進度的快慢和所用材料的費省对整个工程的安全、耐久和经济有很大关系。本書將就混凝土澆筑方面的几个問題作一些探討。

本書首先对水工混凝土的一般特点，大体積混凝土的分段分塊和塊体澆筑前的准备工作作一介紹。关于混凝土成份只作簡單論

述，因为这方面專書較多。節約混凝土中水泥用量和改善混凝土的和易性是当前一个重要問題，具有極大經濟意义。采用加气剂和塑化剂是达到这一目标的有效措施，因此本書对此作了比較詳細的介紹。混凝土中摻加混合材料也是節約水泥的一項办法；在我國，尤其在西北地区摻用黃土更具有现实意义，所以对黃土、粘土混合材料專列了一章。

水利工程中混凝土工作量很大，工期比較緊迫，適宜采用高度的机械化施工。虽然我國劳动力有巨大潛力，但对这样性質的工程仍应逐步实现机械化，並且逐步提高机械化的程度。因此，本書用較多篇幅來叙述混凝土工厂，混凝土的机械运送和混凝土振捣器。但是为了照顧我國目前情况，在其中也尽量增加了本國的資料。

最后，对混凝土的質量控制和澆筑混凝土的新方法，作了一般性的闡述。

編譯本書的目的，希望能对今后大規模的水利建設有所裨益，但由于作者水平不高，經驗不足，謬誤之处恐不在少，希望水利界同志予以指正。

本書曾請吳中偉同志校閱初稿，特此志謝。

目 錄

一、水工混凝土的特点和对它的要求	1
二、建筑物的分段分塊和縫的密閉	11
三、塊体澆筑前的准备工作	21
四、混凝土的成分	30
五、加气剂和塑化剂	44
I. 加气剂	44
II. 塑化剂	54
六、黃土、粘土混合材料	58
I. 黃土、粘土的技術条件	59
II. 掺黃土混凝土的技術性能	60
III. 黃土或粘土的使用范围和掺用限量	63
IV. 黃土或粘土掺用量的确定	65
七、混凝土工厂	67
I. 混凝土拌合厂	69
II. 裝有 1,200 公升拌合机的混凝土拌合厂	70
III. 裝有 2,400 公升拌合机的混凝土拌合厂	76
IV. 佛子嶺水庫的混凝土拌合站	81
V. 上犹水电站的混凝土拌合厂	86
VI. 梅山水庫的混凝土拌合站	87
VII. 三門峽水利樞紐的混凝土工厂	87
八、混凝土的运送	87
I. 利用吊杆起重机运送混凝土	93
II. 利用棧桥运送混凝土	94
III. 利用鋼索起重机运送混凝土	99
IV. 用皮帶输送机运送混凝土	105
V. 利用混凝土泵运送混凝土	106
VI. 上犹水电站的混凝土运输系統	110
九、混凝土振捣器	111
I. 作用原理和分类	111

II. 內用振搗器.....	113
III. 內用振搗器組.....	117
IV. 表面振搗器和外用振搗器.....	119
V. 振搗器的供電設備.....	122
十、混凝土的澆筑.....	123
I. 准备工作.....	126
II. 移动式振搗器的使用.....	131
III. 振搗器組的使用.....	136
十一、混凝土的养护和質量控制.....	138
十二、澆筑混凝土的新方法.....	145
I. 对一般澆筑混凝土方法的評價.....	145
II. 分部澆筑法和半分部澆筑法.....	146
III. 灌注法.....	149
IV. 有关采用高塑性混凝土的問題.....	150

参考文献

一、水工混凝土的特点和对它的要求

混凝土和钢筋混凝土是水利工程中、尤其是大型水利工程中最主要的材料。根据美国土木工程师学会的资料[14]在世界各地修建的高在 30 公尺以上而型式不同的 1,300 个拦河坝中，有 70% 是由混凝土或钢筋混凝土建成。其中 500 个大型混凝土坝用了 240,000,000 公方混凝土，平均每个坝用了 480,000 公方混凝土；200 个轻型结构的拦河坝用了 28,000,000 公方混凝土，平均每个坝用了 140,000 公方混凝土。虽然最近由于土坝的发展，混凝土和钢筋混凝土坝的数量相对地有所减少，但是绝对数值却仍在增长。对水头超过 150 ~ 200 公尺的高坝，无疑地还必须采用混凝土坝（在苏联最高的土坝高达 76 公尺）。

除了筑坝之外，船闸、运河渠道的护坡、水工隧洞的衬砌、土坝中的截水墙以及港口码头的防波堤等也需要大量的混凝土。在苏联个别巨大工程中的混凝土数量达 6,000,000 ~ 8,000,000 公方以上。我国三门峡水利枢纽工程中全部建筑物的混凝土和钢筋混凝土工程量共计约 2,950,000 公方。

建造水工建筑物的混凝土经常或遇期性地和水相接触，在这样的工作条件下，应该保证建筑物能长期正常的使用，不致损坏。水工混凝土不同于工业和民用建筑物中的混凝土或钢筋混凝土：如闸、坝等建筑物须承受很大的水压力并有渗透水作用着或流速很大的水流作用着；在港工建筑物上又有波浪作用着。

混凝土不是绝对不透水的建筑材料。水工建筑物在整个使用期间，不断遭受渗透水的作用，多次重复的冻融作用、侵蚀性水的物理化学作用和高速水流的作用，这些情况加速了混凝土的损坏。

滲透水流經混凝土會引起混凝土中某些成分的離析，久而久之，混凝土的強度降低了，最後導致損壞，減少了建築物的使用年限。有時這種現象十分嚴重，使建築物有完全損壞的危險。

在平原河流上建造水利樞紐，除了有混凝土或鋼筋混凝土水工建築物之外，同時還建造土壩土堤與其連接。此時必須設法使混凝土水工建築物的耐久性增加，使得能和土壩的耐久性相適應。

在鋼筋混凝土水工結構中，因為鋼筋和混凝土之間有牢固的粘結力，所以作用如一整體。如果鋼筋和混凝土之間的粘結力受到破壞，則垂直於受力鋼筋方向的混凝土會產生裂紋。這些裂紋促使鋼筋銹蝕，生銹鋼數量將大為增加，並使裂紋不斷發展擴大，混凝土保護層逐漸碎落，結果必然影響建築物的使用年限。混凝土愈密實，則愈不透水，鋼筋生銹也可不致發生，或者有所減輕。

混凝土愈密實，則流經其間的滲透水愈少，游離石灰(CaO)的離析也愈少，混凝土的強度便不會降低。根據研究資料，如果混凝土中失去了40%的氧化鈣，其強度將降低50%〔3〕。混凝土的抗水性也決定於其中可溶性氧化鈣被滲透水離析的程度。因而，混凝土愈密實，滲透水愈少，則建築物的耐蝕性也愈大，建築物長期在水中使用也更有保證。

根據建築物中混凝土和水面的相對位置，水工混凝土可以分為：

1. 經常在水中的混凝土；
2. 位於水位交變處的水工混凝土；
3. 偶然受水沖刷的水工混凝土。

水工混凝土又可根據結構物的大小分為巨型的和非巨型的；根據它在建築物中的位置分為外部和內部；根據承受水壓的情況分為承壓的和非承壓的。

對水工混凝土有以下的基本要求：

1. 為了使混凝土澆筑方便，並保持質地均勻，混凝土混合物應該具有適當的稠度。稠度的大小根據建築物的結構特點而定，用標

准圓錐體的坍塌度和工作度表示之。根據全蘇國定標準 ГОСТ 4794-53，水工混凝土所需的稠度如表一所示。

表一 水工混凝土所需稠度

混 凝 土 結 構 物 的 性 質	標準圓錐體坍塌度 (公分)	工作度 ^① 以秒計
巨型混凝土結構物 巨型含少量鋼筋的結構物	2~4	30~20
鋼筋截面和混凝土計算截面面積的比值 不超過 1% 的鋼筋混凝土結構物	4~8	20~10
鋼筋截面和混凝土計算截面面積的比值 超過 1% 的鋼筋混凝土結構物	8~14	10~5

2. 混凝土應具有必要的強度，才能承受載荷。水工混凝土的強度標號根據全蘇國定標準 ГОСТ 4286-48，計分 75、100、150、200、250、300、400、500 等八種。其計算極限強度如表二所示。

表二 混凝土額定強度以公斤/平方公分計

應 力 種 類	符 號	混 凝 土 標 號							
		75	100	150	200	250	300	400	500
中心受壓（柱體強度）	R_{np}	60	80	115	145	175	210	280	350
彎曲受壓	R_{μ}	75	100	140	180	220	260	350	440
中心受拉	R_p	—	11	14.5	17	20	22.5	27	31

水工建築物通常都採用標號 75 到 300 之間的混凝土，在採用標號 100 以下 200 以上的混凝土時，應該在設計中說明理由。

3. 耐蝕性（抗水性）。因在水中往往含有酸性和鹼性的物質，這

① 現在普通採用振搗法搗實混凝土，對混凝土稠度可用另一指標表示，即混凝土混合物體經過一定強度的振動若干秒之後變為等厚的柱體，這一段時間取為工作度的指標。

些物質以溶液狀態進入混凝土內部和水泥發生化學作用；或者產生易溶性物質，使混凝土口漸消失；或者產生體積膨脹作用，使混凝土漸漸碎裂，在海水中這些現象最為嚴重，所以水工混凝土應該具有抵抗侵蝕的性能。

4. 水密性（抗滲性）。水工混凝土的水密性不但直接影響水工建築物的阻水性能，同時也是決定工程耐久程度的關鍵。如果水密性不良，不但發生滲漏，同時混凝土中溶解出大量游離石灰，降低混凝土強度，加劇了凍融的破壞作用。一般滲透係數在 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 公分/秒就可以認為不透水。

混凝土的水密性以其能承受的水壓來表示，在這水壓之下已經經過28天養護後的試體應不發現滲透現象。

試塊是以直徑為15公分、高15公分的圓柱體，共計6個試塊，先經28天養護，然後施加水壓：最初水壓為1公斤/平方公分，以後每隔8小時增加水壓1公斤/平方公分，直到試塊端面發現滲水現象時，記錄相應的水壓。如果6個試塊中的4個試塊仍未發現滲水現象時，這最大水壓力即作為受試驗的混凝土的水密性標號，用B表示。根據國定全蘇標準ГОСТ 4795-53，混凝土的水密性標號如表三所示。

表三 混凝土的水密性標號

指 標	混 凝 土 標 號		
	B—2	B—4	B—8
最大水壓（以公斤/平方公分計）在此壓力下，28天齡期的混凝土試塊並未發現滲水	2	4	8

各類水工建築物所要求的混凝土水密性如表四所示。

5. 抗凍性。在嚴寒天氣，水工混凝土常受冰凍和融化的作用。如果存留在混凝土中的水分經氣候之變化而發生重複作用，混凝土內部即受到反復的應力。如果凍融循環進行到一定的次數，混凝土

表四 根据結構和水压所需之混凝土水密性标号

ГОСТ 4795-53

建筑物的工作条件	水下混凝土和水位 交变处之混凝土	按建筑物等级而分之水密性			
		I	II	III	IV
承受水压, 作用水头和建 筑物厚度之比(梯度) > 25	外部混凝土	B-8			
	内部混凝土	B-4			
承受水压, 作用水头和建 筑物厚度之比(梯度) < 25	外部混凝土	B-8		B-4	
	内部混凝土	B-4		B 2	
不承受水压	外部混凝土	B-4			

的强度便逐渐降低以致破坏。因此, 水工混凝土应该具有一定的抗冻性能。抗冻性以最大的冻融交替次数表示之, 设计龄期的试件经过了这些次数的交替冻融后, 其强度之降低不超过25%, 或者重量之损失不超过5%。

如果要求混凝土具有抗冻性, 则必须要求它同时具有很好的水密性, 因水渗入混凝土中后, 冻冰时体积膨胀, 促使混凝土损坏, 所以此二者是密切相关的。如水工建筑物不受严寒冰冻之作用, 即无需要求混凝土具有抗冻性。水工建筑物所要求之抗冻性如表五所示。

6. 适度的收缩性。混凝土结构的收缩系数不应超过0.0002, 钢筋混凝土结构不应超过0.00015 (ГОСТ 4286-48)。

7. 耐磨性。水工建筑物和水接触之处, 往往承受水流冲刷以及水中泥沙和浮冰的磨损, 所以水工混凝土也必须具有一定的耐磨性。

8. 低放热性。混凝土硬化时发生放热现象, 温度增高, 体积膨胀, 继而温度下降则发生收缩, 结果使建筑物中发生裂纹。放热量和水泥种类与用量有关, 因此对较厚的建筑物应规定采用水化热较低的水泥, 并选择水泥用量最少的混凝土。

水工建筑物及其各部分结构式样繁多; 在使用期间其四周水质

表五 根据建筑物工作条件之混凝土抗冻性（以冻融次数计）

ГОСТ 4795-53

工 作 性 質	气 候 条 件			
	寒 冷		嚴 寒	
	在混凝土受冲刷表面冬季水位升降次数或冻融次数			
	50以下	50以上	50以下	50以上
建筑物中受到水和嚴寒共同作用之混凝土	M-50	M-100	M-100	M-150
建筑物中受到水和嚴寒間或作用的混凝土	M-25	M-50	M-50	M-100

附注：1. 寒冷地区为最冷月月平均温度在 -5°C 到 -15°C 之間的地区（我國華北、西北的絕大部分和西南康藏高原北部都屬於寒冷地区）。嚴寒地区指最冷月月平均温度低於 -15°C 的地区（我國东北、內蒙古自治区的大部分地区屬之）。

2. 冬季施工期根据水文气象站的資料决定。

3. 如气候条件特别寒冷可用 M-200 号的混凝土。

情况也各不相同，因此應該根据下列情况，对水工建筑物提出不同要求：

1. 施工条件；
2. 該結構物在整个水利樞紐总体中的使用条件；
3. 建筑物等級。

影响混凝土質量的因素很多：如混凝土拌制方法，运送方法、澆制和捣实以及澆筑后之养护等。

要使水工混凝土达到一定的質量，需要滿足許多条件，而这些条件之間常有矛盾，因而对水工混凝土的要求是相当复雜的。

混凝土和其他建筑材料一样並非經久不变的，其耐久性首先决定于組成成分的耐久性。混凝土硬結后的密实性和結構，决定于水泥石的性質和結構，以及混凝土混合物中粗細集料的数量和水灰比。

在水泥硬化过程中，混凝土拌和水之20~30%和水泥相结合，其余的70~80%为剩余水。这些剩余水只是在拌制、运送、浇注、捣实混凝土时需要：使混凝土在运送时有一定的稠度；拌合、浇灌和捣实时方便；能得到均匀的性质。混凝土捣实完毕后这些剩余水就有害而無益了。

由于水泥、砂、石比重較大，混凝土捣实完畢后即發生重力压实作用，剩余水从水泥漿中析出，浮積于表面，部分保留在混凝土粗集料下的空隙中。这样对硬結后之混凝土的結構十分不利。

在拌制混凝土时用水愈少即水灰比愈小，則剩余水对降低混凝土密实性的影响也愈小。但是减少水分是有一定限度的，超过了这个限度，捣实混凝土便發生困难，混凝土的質量分布極不均匀，結果混凝土的結構和密实性都不良好。增加水泥用量能减小水灰比，即增加了結合水的数量减少了剩余水的数量，但这是不合理的，因为超过了根据混凝土强度要求所需用的水泥，以致造成浪費。此外增加水泥含量会使混凝土硬化时的放热量增加，收縮現象加剧，这也对水工混凝土的性质很不利。剩余水过多積聚在一定地点又降低了混凝土的水密性和抗冻性。

混凝土的密实性以下列指标表示〔3〕：

28天齡期的高度密实混凝土	87~92%
28天齡期的上等密实混凝土	84~86%
28天齡期的中等密实混凝土	81~83%

这就是說，最密实的混凝土中間所包含的为水和水蒸气所充滿的微孔和毛細管占8~13%。

孔隙率很高对水工混凝土來說是一个嚴重的缺点。

混凝土的水密性如以渗透系数表示，平均約为 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 公分/秒，为密实砂質粘土渗透系数的十分之一。

混凝土的顆粒組成成分和捣实質量对水密性有很大影响。在浇筑时采用大型高頻率振捣器（每分鐘振動六千至七千次）效果很好。

水泥种类对混凝土水密性的影响如表六〔3〕所示。

表六 水泥种类对混凝土水密性的影响

水 泥 种 类	在以下压力时透过试件的水量，以立方公分/小时计		
	2 大气压力	4 大气压力	6 大气压力
火山灰質矽酸鹽水泥	9.3	16.0	81.0
普通矽酸鹽水泥	419.5	1,209.0	1,828.0
矽 酸 鹽 水 泥	2,705.0	3,325.0	4,230.0
礫 土 水 泥	627.0	1,103.7	7,658.7

在炎然而干旱地带，由于干湿交替作用，混凝土体积也常常变化，以致发生风化作用，结果也会使混凝土损坏。

由于混凝土含有微孔，加之四周水和空气的冻融交替，于是造成了混凝土面层的损坏。在微孔壁上冰晶体的压力可达 2,000 公斤/平方公分，于是引起混凝土的损坏。

混凝土的抗冻性和水泥用量成正比，并决定于水灰比的大小。抗冻性和水灰比之间的关系有下列数值〔3〕可供参考。

表七 水灰比和抗冻性的关系

抗冻性指标和范围		在下列水灰比时混凝土能承受之冻融循环次数			
		0.80	0.65	0.52	0.45
最 小		90	245	330	370
最 大		270	365	440	510
平 均		180	305	385	440

水工建筑物内部和外部温度的悬殊，会使混凝土表面产生裂纹，伴随着产生的收缩现象也将促使混凝土裂纹的产生和发展，并使水分可以渗入混凝土体的内部。

为了保护混凝土外层，使它不致损坏以增加建筑物的耐久性，可以采用很多措施，如：

1) 在混凝土的表面鋪貼防潮層；

2) 把建築物的混凝土體分為不同的區，以便採用不同的混凝土成分和標號；

3) 建築物的混凝土面層採用真空作業和吸水模板，以吸去混凝土面層的剩餘水分；

4) 採用水泥鎗噴面層；

5) 碳化面層混凝土以提高其密實性。

以上的辦法只能完成部分保護作用，而不能解決上面提出的所有問題。如果在混凝土表面上膠貼瀝青毡作為防潮層，用之于建築物之背面而後面有填土的地方比較容易，但要貼在建築物的正面却完全不可能。

為了減低保護措施的造價，根據建築物的使用條件和水的物理化學性質，在建築物的不同區域可以採用不同的保護措施。

建築物一般可劃分為下列不同的區域：

1. 水下部分 這一區段內溫度變化不大，但侵蝕性水常作用在混凝土的面層，會引起損壞，使水能滲入混凝土體的內部。對承受水頭的水工建築物，這一區段是很重要的。

在這一區域內可能有高速水流的機械作用，河水挾沙對混凝土的磨損，船和冰塊的撞擊等。

2. 水位上下交變部分 水利樞紐的上、下游水位通常具有週期性的升降，在升降範圍內遭受干濕凍融的交替作用，這便是這一區域的主要特點。在這一區域內混凝土建築物的表面損壞最烈。

3. 水上部分 這一段的特點是溫度、濕度變化頻繁。

對鋼筋混凝土水工建築物來說，水位交變處對鋼筋和混凝土最為不利，混凝土保護層損壞後鋼筋很易銹蝕。

將建築物按位置劃分為不同區段，在不同的區段可澆築不同標號的混凝土。但這項措施在施工時比較困難，只在不放鋼筋的大體積結構中才能實現，如塊體中鋼筋甚密便無法採用。

在伏尔加河上有些水利樞紐的混凝土坝是采用不同标号的混凝土澆筑的。外層用較密实的混凝土，其厚度达 70~100 公分。

混凝土建筑物面層采用真空作業法效果並不十分顯著，因为真空作業所做成的密实面層只能部分地防止混凝土不產生溫度收縮裂紋，而且塊体内部的混凝土成分和經過真空作業的面層混凝土成分是相同的，無法使膠凝材料中較活动的成分吸至外層。采用真空作業法时無法遍及到塊体之間的施工縫；这里仍是混凝土水工建筑物最薄弱的地方。

吸水模板缺点更多，可用範圍更为狹窄；且与天气晴雨关系很大；混凝土表面密实層之厚度較使用真空作業法更小。

混凝土表面噴塗水泥砂漿实际上不能作为一种增加建筑物耐久性的措施。因为所噴的面層和混凝土塊体之間的連接並不牢固，也不是一个整体，有脫落的可能。采用特种網格以增強噴面層和混凝土体之間的結合也不能保証十分牢固，噴面層仍有脫落的可能。根据許多專家的意見，只有在气候溫暖的地方噴漿法方为有效。

混凝土面層碳化法可以提高它的强度、耐蝕性和水密性，碳化后滲透系数大为降低。然而只混凝土表面一層而已，因为碳化时面層密实了，碳酸气即無法進入混凝土的内部。

上述各种方法都不是十分完善，苏联最近在水利建設中大量采用預制鋼筋混凝土鑲面板，效果很好，对施工也很方便。

水工混凝土必需十分密实，又要求具有很高的整体性，所以它在施工自有其特殊性。水工建筑物的混凝土体積龐大不能一次澆成，必須分成很多塊体，每一塊体互不相关地逐漸澆筑。在設計水工建筑物时，就應該將它划分成若干塊体。塊体的尺寸应由計算決定。進行計算时应注意材料性質，施工方法，混凝土澆灌速度，气候条件和其它因素等。为了减少施工縫的数量，塊体尺寸愈大愈好。

为了保証混凝土体最高的密实度和整体性，在澆筑每一塊体的整个期間，应以一定的速度連續進行。

在澆筑底面面積很大的塊体时，为了保証混凝土体的整体性，