

水工混凝土的矿物骨料

苏联 A. M. 維克托罗夫著

水利电力出版社

水工混凝土的矿物骨料

苏联 A. M. 維克托羅夫著
袁學光 蔡正詠譯 張述嚴校

水利电力出版社

內 容 提 要

本書是一本講述水工混凝土矿物骨料的勘査、开采、加工和質量鑑定方法的書，系根据苏联水工混凝土骨料技术工作人員多年的工作經驗而写成的。內容極為丰富、全面。

書中首先說明了水工混凝土对骨料的技术要求，接着詳細敘述了有关骨料的矿物原料（花崗岩、巨礫、砂岩、石灰岩、白云岩、卵石、砂等）的地質知識和地質勘測方法，介紹了矿物原料的开采、加工和質量控制的方法，以及在實驗室进行骨料試驗的方法和評定試驗結果的方法。介紹各种方法时，均附有具体实例。

目前在我国專門講述混凝土骨料的書籍还没有，因此本書对从事混凝土工作的技術人員來說是一本必备的書，对于水利工程的勘査、設計和施工人員，也是一本有价值的參考書。

А. М. Викторов

МИНЕРАЛЬНЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1956

水工混凝土的矿物骨料

根据苏联国立动力出版社 1956 年莫斯科版翻譯

袁学光 蔡正詠譯 張述严校

*

1108\$280

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里溝）

北京市書刊出版業營業登記證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 4 $\frac{1}{2}$ 印張 * 95千字 * 定价(第10类)0.65元

1958年 8 月北京第 1 版

1958年 8 月北京第 1 次印刷(0001—3,600册)

原 序

混凝土是建造水工建筑物的主要建筑材料之一。混凝土是一种人造石料，它是由水泥在矿物骨料（砂料、卵石和碎石）混合物中加水拌和以后逐渐硬化形成的。水工混凝土的特点，在于用这种材料建成的建筑物可以使用几个世纪，能够不经修理而抵擋河水的强大压力。

苏联建造大型水能建筑物的經驗表明，用質量优良而价格低廉的矿物骨料及时地供应工程需要是非常重要的。在产地的勘探工作上比其他查勘工作适当多花一些經費，就可以保证采掘和破碎篩分企业所需的矿物原料儲存量，并把原料加工成水工混凝土用的骨料。

可惜，直到今天还普遍存在这样一种錯誤見解，認為砂子、卵石和岩石在自然界到处都有，并不需要花費大量劳动和資金就可以找到它們的产地，就可以开掘砂石場，把原料加工成骨料。

最近广泛开展的地质勘探工作的实践表明，上述見解是錯誤的，对骨料矿物原料的注意，应当不下于对混凝土其它成分的注意。关于混凝土其它成分的問題，許多技术文献都談过，相反，关于骨料的問題則研究得很少。其实，骨料是混凝土的基本組成部分，占混凝土重量的 75~85%，我国的水利工程每年要澆筑几百万立方公尺的混凝土，这就需要好几百万立方公尺的砂子、卵石和碎石。

我們对矿物原料的基地还没有进行充分的研究，因此許多地方性材料不能被利用。这种情况迫使我們必須从远地运来砂子、碎石和卵石，占用了几十万个火車車廂和河川船

只，耗費了几千万盧布的運輸費用。对于矿物原料和骨料制成品質量的鉴定方法研究得更不够，因而常常在消費者（建築者）和供应者（矿业人員和地質人員）之間以及查勘人員和設計人員之間发生爭執和誤會，而在解决关于骨料質量的爭執时，又很少能够取得一致的看法。

大家知道，当地質人員和矿业人員选定的原料基地不好时，就会引起采掘場和碎石-篩分工厂技术設計的变更。大家也知道这些事实，由于技术人員和試驗員不了解原料的埋藏情况和获取骨料的过程之間的相互关系，使得骨料的选择不够恰当。

上述情况表明，在骨料的矿物原料和成品运到工地之前，必須解决其适用程度的評定問題。这些問題應該在勘探产地时首先解决，然后在采掘場的工作面上和碎石-篩分工厂的實驗室里解决，即在那里有地質人員、矿业人員、工艺技师和試驗人員直接参加工作的生产地段解决。

技术人員領導鑽孔，选取試样，在實驗室中对試样进行試驗，并指导采掘場和碎石工厂中的工作班；通过技术人員編制原始文件，根据文件評定骨料的适用程度和价值。为了使評定骨料質量的文件客觀和正确，技术人員应当了解矿物原料和成品形成的全部情况和过程，及其生产的特点。只有这样才能够提出質量优良的、成熟的資料，使工程機構据以判断在水工建筑物的混凝土中能否采用經過研究的骨料。

这本关于矿物骨料的書，就是根据多年經驗为了上述目的写成的，本書系供在原料勘查工作、采掘場开采工作以及在制备水工混凝土骨料的采掘場与碎石-篩分工厂的實驗室中工作的試驗員和技术人員用的。

作 者

目 錄

原 序	
第一章 水工混凝土的用途	5
第二章 水工混凝土的骨料和对骨料質量的技术要求	7
1. 砂料	7
2. 碎石	9
3. 卵石	10
第三章 水工混凝土骨料用的矿物原料	13
4. 适于作骨料用的岩石的成分和性質	13
5. 花崗岩	20
6. 巨礫	22
7. 砂岩	23
8. 石灰岩和白雲岩	25
9. 卵石	26
10. 砂	30
第四章 骨料的矿物原料的地質勘测	33
11. 地質勘探的方法	33
12. 地質勘探和在产地及采料場取样时的編录工作	42
13. 矿物原料儲量的等級	46
第五章 采料場的开采和矿物原料的加工	51
14. 石料的开采和制成碎石的破碎工作	51
15. 卵石的开采及其选矿	57
16. 采砂場的开采	59
17. 采料場开采工作根据岩石埋藏情况实行机械化	61
第六章 矿物骨料質量的初步鉴定	61
18. 鉴定的方法	61
19. 岩石风化程度的判定	63
20. 岩石中有害杂質的鉴定	69
21. 岩石是否适于破碎的判定	72
22. 碎石中出现軟弱岩石原因的判定	7
23. 卵石的岩石成分的鉴定	7
24. 卵石天然湿度的測定	75

25. 砂料染污度的測定.....	76
第七章 骨料产地、采料場和堆棧的取样	77
26. 砂子及卵石产地和采料場的取样.....	77
27. 岩石采料場的取样.....	82
28. 碎矿工厂和堆棧中碎石的取样.....	85
第八章 矿物骨料的实验室試驗和分析的种类与方法	86
第九章 砂样的实验室試驗	89
29. 顆粒成分的測定.....	89
30. 粉砂和粘土含量的測定.....	92
31. 有机質污染度的測定.....	92
32. 容重的測定.....	93
33. 比重和空隙体积的測定.....	93
34. 砂料抗冻性的測定.....	94
第十章 岩石、碎石和卵石样品的实验室試驗	95
35. 岩石比重的測定.....	95
36. 岩石容重的測定.....	97
37. 碎石松散容重的測定.....	99
38. 卵石松散容重的測定.....	103
39. 碎石中針狀、片狀及軟弱顆粒的查明.....	104
40. 岩石吸水率的測定.....	105
41. 卵石和碎石吸水率的測定.....	106
42. 岩石抗冻性的測定.....	106
43. 岩石試件极限抗压強度的測定.....	110
44. 卵石顆粒表面光滑度的研究.....	118
45. 混凝土中骨料缺陷的X射綫檢查.....	119
第十一章 工厂实验室中骨料質量的快速鉴定	120
第十二章 骨料矿物原料样品試驗結果的評定	126
46. 碎石用的岩石.....	127
47. 砂和卵石.....	130
48. 样品試驗結果的处理.....	131
附 录	137

第一章 水工混凝土的用途

水工混凝土和其他种类混凝土的不同之处，在于用它建成的建筑物经常地或周期性地同河水接触，并且承受着河水的压力。因此，抗水性和密实性是水工混凝土的两种特性。

根据混凝土建筑物和水位之间的相对位置（经常在水下、在水位变动地区、或者在水上），可以对混凝土的性质提出另外一些要求（例如抗冻性、不透水性、抗磨性和高强度）。

混凝土按照强度分成许多标号。标号就是边长20公分的混凝土立方试件在28天龄期时的极限抗压强度。例如，300号就是表示混凝土试件的极限强度为300公斤/公分²。

如果对混凝土还有抗冻性的要求，则须提出混凝土的附加标号，附加标号说明28天龄期的试件能够经受的冻融循环次数，例如，M100表示抗冻性试验进行100次循环，此时，试件强度的降低率不得超过25%，重量损失不得超过5%。

表明混凝土各种性质的一些标号可以合成一个指数，根据这个指数足以全面地评定混凝土在强度、不透水性、抗冻性和发热性方面的性质。

例如，指数“200，B8，M100”表示这种混凝土的极限强度为200公斤/公分²，28天龄期时不透水压力为8公斤/公分²，具有100次冻融循环的抗冻性，并且对发热性没有要求。

水工混凝土的国定全苏标准规定了一些指标，根据这些指标可以确定混凝土的各种标号。

在水工建筑物中澆灌的混凝土，其密实性和强度在很大程度上决定于水泥的性質，水泥加水拌和时形成水泥“漿”，水泥漿包裹着砂粒，紧密地复盖着粗骨料（卵石或碎石），并且填充粗骨料間和砂粒間的空隙。

骨料顆粒的形狀及其表面的性質都会对混凝土的强度发生一些影响。例如，用卵石做骨料时，由于表面圓滑的卵石顆粒同水泥膠块的粘結力較差，混凝土的强度会降低10~15%。

混凝土的破坏多半是在水泥膠块中或水泥膠块同骨料顆粒的接触处发生的，因为骨料的强度一般均比水泥膠块的强度高。通常大多数骨料在混凝土的凝固和硬化过程中在化学性質上是有惰性的[●]，在一般情况下骨料同周围的水泥膠块之間不发生交互作用。

水灰比（水对水泥的重量比）以及制备混凝土漿时所用水泥漿的数量，对混凝土的密实性有着头等意义。水泥漿的数量对建筑物内部温度的升高，和混凝土体积变化的大小影响很大，并因而关系到建筑物中是否会出现有害的裂縫。水工建筑物周围的水分对混凝土不断起作用，使混凝土中由水泥水化和硬化产生的一些化学稳定性不高的化合物，发生溶解或濾出，也会使混凝土受到冲刷，当水分在混凝土的孔隙中結冰时会使混凝土遭受破坏。流冰和春天大量的水流过时建筑物发生的震动，也是河流和建筑物的一种交互作用。因此，混凝土中水泥漿的数量应该尽可能地少，而骨料的數量則尽可能地多，如果骨料不含有害雜質，其顆粒級配經过仔細選擇，而澆灌混凝土时充分加以捣固，就可以做到这一点。水

● 这就是“惰性的”这个不恰当的形容詞的來由。

分对骨料的影响较小，尤其是对那些由化学稳定的矿物（例如石英和长石）组成的密实，坚硬的岩石骨料。

第二章 水工混凝土的骨料和 对骨料质量的技术要求

已经讲过，混凝土的骨料包括砂子、卵石和碎石。砂子和卵石从自然界取得后即可作为骨料使用，而碎石只有将岩石打碎后才能取得。占混凝土总重量80~85%的这些骨料都是从采掘场开采的矿物质建筑材料。

建造伏尔加河-顿河运河混凝土建筑物的经验指出，制备抗冻的水工混凝土的材料用量如下（表1）：

表1 1立方公尺混凝土中的材料用量（公斤）

水 泥 (400~500号)	水	骨 料		塑 化 剂 CCB
		碎 石 (10~80公厘)	砂 子 ($M=1.3\sim1.7$)	
260~310	170~155	1,345~1,328	724~654	0.4~0.65

对于骨料质量的技术要求用一系列指标的极限值表明，这些要求在水工混凝土的国定全苏标准（ГОСТ4797-49，水工混凝土。对制备水工混凝土所用材料的技术要求）中已经载明。现在根据国定全苏标准4797-49，将对细骨料与粗骨料的技术要求分别叙述如下。

1. 砂 料

混凝土用的砂料多半是天然砂，极少采用人工砂（打碎

的)，砂料系由堅硬的礦物顆粒（主要是石英）組成的。

按照國定全蘇標準 4797-49，要保證水工混凝土在水泥用量最少的條件下具有最好的質量，砂料必須具有下表所列的顆粒級配：

顆 粒 的 尺 寸（公厘）

指 標	大於 5	5~2.5	5~1.2	5~0.3	5~0.15	小於 0.15
篩孔尺寸，公厘	5	2.5	1.2	0.3	0.15	
篩余量占試樣總重的%	不大於 15	10~40	30~70	10~95	90~100	不大於 10

可是，常常碰到一些不能滿足上述要求的細砂產地。

國定全蘇標準 4797-49 指出，那些細砂僅在有了技術經濟的根據以後才准許在混凝土中應用。必須考慮到使用比面[●]和空隙率大的細砂時，需要增加水泥用量來包裹細砂顆粒的表面和填充過多的空隙，這樣是不經濟的，在技術上也是不適宜的，因為水泥膠塊在硬化的混凝土中是最弱的部分。因此必須尋找砂粒尽可能粗些的產地。

許多水利工程在下述情況下也採用細砂：缺乏其他砂料，混凝土工廠附近有細砂，因此細砂成為廉價的當地材料。在細砂中摻加較粗的砂粒或击碎的石屑，或者摻用特種塑化劑，可以在混凝土有足夠密實性和強度的條件下降低水泥用量。利用細砂拌制混凝土是當前的重要問題之一，許多機構為了解決這個問題正在進行工作。

要確定砂料是否適用，除了顆粒級配以外，還必須查明砂料中是否有污染物和有害雜質存在（粘土、粉土、有機質、

● 比面系指單位重量砂粒的總表面積，通常以公分²/克計。

云母、硫化物和硫酸化合物), 国定全苏标准 4797-49 和各项工程的技术规范对这些杂质的含量作了如下的规定(表 2):

表 2

污 染 物 和 有 害 杂 质	抗冻性混凝土	其他混凝土
粘土和粉土颗粒 (用水洗净试样测定), % 不大于	3	5
其中粘土颗粒 (膨胀法), % 不大于	1	2
有机质	根据标准色 (淡灰色)	
硫酸化合物和硫化物 (由化学分析结果换算成 SO_3), % 不大于	1	1
云母 (由矿物分析确定), 以重量计, % 不大于	0.5	0.5

2. 碎 石

碎石是从采掘场开采到的岩石取得的。将开采到的岩石在碎石机中打碎, 再用各种筛子将碎石分成各种粒径的颗粒。

实际上, 对于碎石质量的要求, 多半和原料 (即岩石) 有关。至于碎石的大小及其被杂质污染的程度, 则按碎石工厂将岩石打碎和筛分后的制成品 (即碎石) 测定。

水工混凝土通常采用下列尺寸的碎石 (以公厘计):

小 的——5 至 40;

中等的——40 至 80;

大 的——80 至 150。

在一些大型水利工程中, 曾经采用过尺寸稍有不同的碎石, 即 10 至 40 公厘; 40 至 80 公厘; 80 至 120 公厘 (小的、中等的和大的)。

过筛石屑 (即小于 5 公厘或 10 公厘的颗粒) 是一种特

殊部分，这些顆粒在許多情況下适用于倒濾設備，也可以用来代替混凝土的砂料。

篩分工作良好时，这一級的顆粒在另一級碎石中的含量不应超过 5~6%。根据混凝土用途的不同，選擇碎石級配时須將生产和運輸的工藝結合起来考虑。最常用的是小碎石和中等碎石的混合物，或者只用一种小碎石。

作水工混凝土骨料用的碎石，系用强度和抗冻性足够的山区岩石制成，这些岩石易于开采，并且位于運輸便利的地点，通常靠近通航的河道或者鐵路。

对于混凝土的粗骨料，除了极限抗压强度外，国家标准沒有規定对岩石的其他技术要求。

在一些大型水利工程勘察和設計機構的實踐中，已經根据国定全苏标准 4797-49 中对水工混凝土粗骨料的 要求拟定了 对岩石質量的一些技术要求，这些技术要求均列于表 3 中。

除了用数字表出的岩石物理-力学性質的具体指标以外，在質量的总評定中应当考虑到岩石中石膏、黃鉄矿和其他一些不穩定矿物的含量，不穩定的矿物在水介質中会溶解，或者同水泥膠块起反应。

3. 卵 石

用于水工混凝土的卵石應該是由坚硬的岩石顆粒組成的，而且是干淨的，即不含粘土或有机質。对作混凝土骨料用的卵石提出的技术要求，通常和对碎石的要求相同。国定全苏标准 4797-49 把卵石和碎石統称为“粗骨料”。但是，如果采用表面很光滑、顆粒渾圓的卵石作骨料，那么这些卵石顆粒同水泥膠块的粘結將會减弱。当混凝土多次地經受冻

表3 对用作粗骨料的岩石质量的技术要求

指 标 (試驗种类)	岩石的級別 ①			
	I	II	III	IV
	抗冻性混凝土	抗冻性低 的混凝土		抗冻性低 的混凝土
岩石試样的指标	鋪面板	水 位 变动区域	水上区域	入 依 积 水 下 建 筑 物
强度:				
a) 水飽和状态下的极限抗压强度, 公斤/公分 ² 不小于	1,000	800	600	400
б) 干燥状态下的极限抗压强度, 公斤/公分 ² 不小于	1,250	1,000	800	500
в) 相应次数冻融循环后的极限抗压强度, 公斤/公分 ² 不小于	750	600	450	未定
軟化系数 (試件在水飽和状态下的抗压强度对干燥状态下抗压强度之比), 不小于	0.8	0.8	0.75	0.6
冻融循环次数, 经过冻融循环以后抗冻性系数不小于	200	100	50	未定
容重, 克/公分 ³ 不小于	2.5	2.4	2.3	2.3
硫化物和硫酸化合物换算成SO ₃ 的含量, %不大于	0.5	0.5	0.5	0.5
水飽和状态下的极限抗压强度比該級岩石規定值为低的試样数目占全部試样 (整个矿区或整个地段) 的%, 不大于	3	5	10	15
	(小于1000公斤/公分 ²)	(小于800公斤/公分 ²)	(小于600公斤/公分 ²)	(小于400公斤/公分 ²)

續表

指 标 (試驗种类)	岩 石 的 級 別 ①			
	I	II	III	IV
	抗 冻 性 混 凝 土			抗 冻 性 低 的 混 凝 土
	鑲 面 板	水 位 变 动 区 域	水 上 区 域	大 体 积 水 下 建 筑 物
抗冻性系数低于0.75的試 样数目占全部試样 (可以說 明所研究的地段或产地特 性的) 的%, 不大于	3	5	10	—
碎石試样的指标				
試样中軟弱顆粒的含量 (以重量計), % 不大于	3	5	8	15
針狀和片狀碎石的含量 (以重量計), % 不大于	10	15	15	15②
粘土和粘壤土团粒的含量 (以重量計), % 不大于③	0	0.5	0.5	1
粉狀粘土顆粒含量 (以重 量計), % 不大于③	1	2	2	3
有机質	根据标准色 (淡黃色)			
冻融循环次数, 经过冻融 循环以后試样重量損失不超 过 5 %	200	100	50	未定
吸水率, 重量% 不大于	1	1.5	2.5	2.5

① 岩石的級別和骨料的級別相当。

② 在一些大型水利工程的实践中, 曾經采用过片狀顆粒含量达30%的碎石, 但此时混凝土不適于澆筑, 須多用水泥。

③ 如果用粉土含量高的碎石試样在混凝土中进行試驗, 則在碳酸鹽类岩石的碎石中, 容許粉土含量超过 2 %。

融作用时，卵石顆粒和水泥砂漿的粘結容易被破坏。

因此，由表面非常光滑的顆粒（这是由石英岩、密致的石英砂岩和燧石等岩石構成的卵石的特征）組成的卵石，其使用应当受到限制，只在那些抗冻性标号不超过 M100 的建筑物部分使用。

第三章 水工混凝土骨料用的矿物原料

4. 适于作骨料用的岩石的成分和性質

岩石是骨料的矿物原料。大家知道，岩石是由各种矿物或一种矿物組成的；岩石中数量最多的矿物就是造岩矿物。例如，花崗岩中的造岩矿物有石英、長石和云母；花崗岩中其余的矿物在数量上是可以忽視的，因此不算是造岩矿物，虽然它們在某些情況下也能起矿物的作用。

現在已知的矿物約有兩千种，但其中只有少数(十多种)是造岩矿物：石英、長石、方解石、白云石、云母、普通輝石、普通角閃石。其他如石膏与黃鉄矿，則是作水工混凝土骨料用的岩石中的有害杂质。

研究矿物質建筑材料时，碰到的多半不是單个的矿物，而是这些矿物的集合体，即各种岩石。岩石中的矿物呈顆粒狀，这些顆粒对于肉眼观测來說大都很小。

因此，在由同一种矿物組成的簡單岩石中（属于这类岩石的有石灰岩与石英砂岩），矿物成分的測定用岩石碎块进行，根据造岩矿物的物理性質来确定碎块的性質。

在由各种外形相差不大的細小矿物組成的复合岩石中，例如在由普通角閃石、普通輝石与暗色長石（玄武岩和輝綠

岩中的)組成的复合岩石中,用目測的办法来鑒定矿物成分就很困难。在这种情况下,只能根据岩石的硬度、顏色和重量对造岩矿物作最一般的判断。

岩石属于哪一类变种,乃是根据岩石的結構和矿物成分而确定的,这要用岩石的磨片在显微镜下来鑒定。

在决定岩石質量的所有特征中,最重要的特征是岩石的結構,即岩石的構成,它包括矿物顆粒的排列、大小和膠結方式等特性。岩石按其結構分为結晶顆粒狀、斑狀、隱晶狀[●]和碎屑狀(膠結的)几种。

按照顆粒的大小,結晶顆粒狀結構又分为粗晶質和細晶質結構。具有斑狀結構的岩石,其特征是在細晶質矿物体中有粗大矿物的斑晶。隱晶狀結構的特点是顆粒非常小,不仅肉眼无法辨認,而且在許多情况下用显微镜也无法辨認。碎屑狀結構(膠結的)对沉积岩來說是一种典型的結構,例如砂岩就是其中的一种。

岩石的結晶結構和碎屑膠結結構之間的區別,在于碎屑岩中的顆粒是由某种膠結物把它們結合起来的,同时,和結晶岩一样,顆粒的結合是由于原始接触而产生的。所以,对于象砂岩这样的沉积岩,膠結物成分在数量上和質量上的差別,决定着岩石的强度和耐久性。

全晶質的火成岩(如花崗岩)是沒有膠結物的;只有矿物顆粒的大小决定着岩石的强度,其关系如下:全晶質岩石的强度与顆粒的大小成反比。

除結構外,岩石質量的另一重要标志就是它的組成(構造)。岩石的組成分为块狀的与脉狀的,可作为火成岩的典

● 具有隱晶狀(瓷質)結構的岩石,其斷口处象陶或瓷的碎屑。