

港口工程知识丛书

港工材料

蔡锐华 编

人民交通出版社

U65
055
150311

港口工程知识丛书

港 工 材 料

蔡 锐 华 编



人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书针对港口工程中建筑材料和施工用料的特点,主要叙述常用的水泥、混凝土、钢材、木材、石材和合成高分子材料等各种材料的技术性能、技术要求、适用范围和使用注意事项,可供港口工程施工技术人员、材料试验人员和工人学习掌握港工材料基本知识时参考。

港口工程知识丛书

港 工 材 料

蔡 锐 华 编

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张: 6 字数: 135 千

1982年 7 月 第 1 版

1982年 7 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—2,000册 定价: 1.15元

前 言

建国以来，从事港口工程建设和港工材料研究工作者，不断地对施工实践进行总结，对港口工程所用的建筑材料进行科学试验，对实际建筑物进行调查研究，并吸取了国外行之有效的先进经验，使港工材料这门科学在施工实践、科学研究和材料生产等方面均有了新的发展，并使我们对港工材料的特点逐步有了认识，这就是编写这本《港工材料》的有利条件。

为了使从事港口建设的技术人员和工人能初步掌握各种常用建筑材料的技术性能、技术要求和适用范围，更好地为实现四个现代化服务，特引用上述几个方面的经验总结、现行的有关国家标准和交通部颁发的技术规范编入这本书中，供港口工程施工技术人员、材料试验人员和工人学习掌握港工材料基本知识时参考。

由于编者所从事工作的局限性，本书中必然存在一些缺点和不妥之处，恳请读者提出宝贵意见。

本书在编写过程中，承蒙建材部建材研究院施娟英和交通部第一航务工程局科研所陈蔚凡等同志提供了有关资料，在此一并致谢。

编 者

目 录

前言

概述	1
----------	---

第一章 石材	5
--------------	---

第一节 常用天然岩石的特性	5
---------------------	---

第二节 对石材的技术要求	10
--------------------	----

第三节 石材成品的规格及用途	13
----------------------	----

第二章 水泥	15
--------------	----

第一节 硅酸盐水泥	16
-----------------	----

第二节 掺入混合材料的硅酸盐水泥	24
------------------------	----

第三节 其他品种水泥	30
------------------	----

第四节 水泥的应用和保管	37
--------------------	----

第三章 水泥混凝土	41
-----------------	----

第一节 港工混凝土的特性和技术要求	42
-------------------------	----

第二节 混凝土的组成材料	62
--------------------	----

第三节 混凝土的配合比设计	78
---------------------	----

第四节 混凝土施工注意事项	85
---------------------	----

第四章 水泥砂浆	91
----------------	----

第一节 砂浆的技术要求	92
-------------------	----

第二节 砂浆的组成材料	95
-------------------	----

第三节 砂浆的配合比选择	96
--------------------	----

第四节 砂浆施工注意事项	98
--------------------	----

第五章 钢铁材料	99
----------------	----

第一节 钢铁的化学成分和机械性能	100
------------------------	-----

第二节	港工建筑常用的钢种	108
第三节	港工建筑常用的钢材	112
第四节	钢材的冷加工和焊接	123
第五节	钢铁的腐蚀与防护	130
第六章	木材	134
第一节	木材的特性	135
第二节	主要用材对木材性质的要求	143
第三节	木材制品的种类和材积计算	145
第四节	木材的腐蚀与防护	147
第七章	沥青	150
第一节	石油沥青	151
第二节	煤沥青(柏油)	154
第三节	沥青砂浆和沥青混凝土	156
第四节	沥青的使用方法	157
第八章	合成高分子材料	160
第一节	粘结、修补材料	161
第二节	化学灌浆材料	164
第三节	表面防护涂料	169
第四节	止水材料	172
第五节	码头防冲设备用料	176
第六节	地基加固和护坡材料	179
第七节	施工用料中的几种橡胶制品	180
后语		185

概 述

建筑材料是港口工程（一般泛指港口的防护建筑物、靠船、过船建筑物和船厂的修造船建筑物）建设中必不可少的物质基础。在港口建设投资中，用于工程主体和施工过程的材料费用，约占工程总造价的70%。从近期建造的一些港工建筑物中，也可以看出使用材料的数量是很可观的：在天津新港码头、新港船厂干船坞和青岛北海厂船干船坞等工程中，使用的水泥均在万吨以上；在上海宝山钢铁码头工程中，使用的钢材多达3万余吨；在新港船厂干船坞工程中，消耗的木材也多达2000立方米；而在大连鲑鱼湾油港码头、黄埔港墩头基码头和山海关船厂防波堤等工程中，所使用的石材也多超过10万立方米。可见，建筑材料在港口建设中需用量之大。如果不具备建筑材料，建设港口就是“无米之炊”。

由于港口工程水工建筑物所处的环境条件与工业和民用建筑物不同，材料在使用过程中除受到各种外力的作用外，还长期受到各种自然因素的作用而容易引起破坏。因此，处于这种环境条件下的港工材料，除应满足结构强度，并做到经济合理外，尚应满足耐久性的要求，使建筑物具有所需的耐用年限。

近百余年来，国内外从事港口建设事业的人们在实践中总结经验，从失败中吸取教训，从而对港工材料耐久性的重要性，有了深刻的认识。上溯至19世纪中叶以前的几个世纪中，人们一直沿用石材和木材建造港口工程。至1850年，

英、德、法、俄等国家开始在海港工程中使用水泥砂浆和混凝土进行施工，但经过10~40年以后，多次出现了水泥混凝土的毁坏情况。混凝土建筑物的安全使用问题在工程界曾引起了一场长达30年之久的热烈讨论。对于这些失败，曾引起人们对混凝土耐久性的怀疑。至1920年，才共同认为失败的根源在于混凝土的多孔性，造成海水对水泥混凝土的化学腐蚀和冻融破坏。为了提高混凝土耐久性，认为应提高其密实性和施工质量，并自此开始注意了破坏机理的研究和水泥成分的改进。至1940年，美国提出了抗硫酸盐水泥的标准，并于1940~1942年发明了混凝土加气剂。自此，混凝土的耐海水性能得到了比较显著的改善。

在钢材和木材的使用方面，同样存在一个突出的耐久性问题。钢材在港口工程中使用，由于经常处于潮湿空气或干湿交替的环境中，会产生电化学腐蚀过程而引起破坏。随着科学技术的发展，人们已经可以通过选用耐腐蚀的钢材品种、进行表面涂覆或采用阴极保护等综合措施，减缓其腐蚀过程。处于干湿交替条件下的木材，由于受菌类或虫类的侵蚀，也会带来极大的危害性：作为桩木结构，会因受害引起陷坍而危及安全；作为码头防冲设备（护木），在海水环境中使用，最长者也只能达到3~4年，即需进行更换，造成经济上的极大损失。目前，人们虽然可以采用防腐剂对木材进行涂刷、浸渍或注入木材内部等处理的方法，毒死菌类或虫类以防御其侵蚀，从而提高了木材的耐久性，但要进一步提高木结构的耐用年限，仍有待进一步研究解决。

在旧中国，由于资本主义势力入侵，帝国主义列强为了掠夺我国的丰富资源，自1898年起，开始在青岛、大连建筑港口，才开始在海港工程中使用混凝土和钢筋混凝土。以后，又相继在塘沽、秀英等地筑港。其他自办的几个港口，

如葫芦岛、烟台、连云港等，也都由外国人施工，极不重视建筑物的工作条件和耐久性。从这些建筑物的使用情况看来，多则使用50年，少则使用10年，就必须进行大修，同样说明存在耐久性的问题。

解放后，在党中央的正确领导下，港口建设的面貌完全改变，工程质量和施工技术得到很大改善，在港工材料研究方面也有了很大发展。1949年刚刚解放，我国首先在天津新港工程施工中使用了旨在提高耐久性的加气混凝土。由于在混凝土施工中慎选材料，改进配合设计，注意施工质量，使混凝土耐久性基本上有了保证。在钢材和木材的防腐方面，我国已经有了自己一套比较成熟的经验，从而使建筑物的耐用年限得到了延长，

综上所述，港工材料与一般建筑材料相比较，耐久性是一个突出的问题，也是一个密切关系到安全和经济的问题。同时说明，建筑材料的品种和质量直接影响着建筑物的耐用年限。因此，在选择与使用建筑材料时，对港工特点应加以考虑。

建筑材料的品种和质量在一定程度上还影响着结构型式与施工方法，而新型建筑材料的出现，又将促使结构设计及施工技术的革新。建国以来，在建筑材料生产及其科学技术方面均有了迅速发展。在港口建设方面，也随着建筑材料生产的发展和建设上的实际需要，采用了一些适用于港口工程的新材料，从而给结构型式与施工方法带来一系列的改革。

为了节约钢材、提高混凝土构件的抗裂性，1958年在天津新港和八所港的码头工程中，首次采用了5号钢螺纹钢筋制作预应力混凝土桩，并得到了广泛地应用，从而引起了施工技术的重大改革。1972年，又开始在秦皇岛油港码头工程中采用了高强钢丝制作跨度长达32米的预应力混凝土梁，这

是当前建筑技术的发展方向，但由于在海港工程中使用，耐久性能尚未完全掌握，除河港工程外，尚未能在海港工程中大量推广使用。

在建筑用钢的钢种方面，已从50年代惯用的普通碳素钢发展到70年代广泛使用的普通低合金钢，以满足设计上对钢材有高强度要求并节约钢材的需要。

为了加速施工进度，或为了满足深水泊位的需要，近10余年来已在天津新港船厂干船坞、青岛黄岛油港码头、大连鲇鱼湾油港码头、上海陈山原油码头和浙江北仑港矿石中转码头等工程中，广泛地使用了钢板桩或钢管桩作为主体工程用料，从而出现了一些新的结构型式。

为了节约木材，在混凝土和钢筋混凝土构件施工中，已逐步地以钢模板取代木模板，在一定程度上使施工方法也随之改变。

随着港口深水泊位的出现，为了满足大型预应力构件制作上的需要，或为了满足结构构件使用上的特殊需要（如为了防御冰凌的撞击破坏），结构设计中所采用的混凝土标号也因而有提高的趋势，说明了设计上某些技术问题的突破，往往依赖于建筑材料问题的解决。

为了节约木材，或为了提高工程质量、降低工程造价，自1977年以来，已在一些港口深水泊位中广泛地使用橡胶制品作为防冲设备。其他类型的高分子材料也根据设计或施工的特殊要求，越来越多地得到应用，从而促使设计和施工技术的革新，并使许多在施工过程中出现的技术问题得到了较为妥善的解决。

这样、水泥、混凝土、钢材和高分子材料等就成为现代建设港口的重要材料，并向着高强、耐久、经济的方向发展。

第一章 石 材

石材是从天然岩石中开采而得的经加工或未经加工的料石、毛料石、毛石和碎石等地方性材料。它具有较高的抗压强度、良好的耐久性能和分布广泛、便于就地取材等特点，是港口工程中用量最大的建筑材料。在盛产石材的地区，多就地取材用来砌筑小型的重力式码头、斜坡式码头、防波堤工程等港口建筑物，以降低造价并保证建筑物的耐用年限。

在近期建造的港口工程中，由于深水泊位的出现，或为了加速施工进度，多利用钢材或混凝土建造，石材已逐步为钢材或混凝土所取代，但就其使用数量来说，仍不失为一种用量最大的建筑材料，仍被广泛地用于码头、防波堤、引堤、船台滑道等工程的抛石基床、码头抛石棱体，或用来砌筑护坡、护岸、挡土墙等砌石结构。在各项混凝土工程中，碎石则作为混凝土的组成材料之一。

第一节 常用天然岩石的特性

港口工程中所用的石材均从天然岩石中开采而获得，因此，对于天然岩石的特性应当有所了解。天然岩石由于形成条件不同，可分为火成岩（如花岗岩、玄武岩等）、水成岩（如石灰岩和砂岩等）和变质岩（如石英岩等）三大类。它们分别具有不同的矿物成分和结构特性，并由此决定了各种石材的建筑性能和适用范围。

港口工程中所用的石材主要来源于花岗岩、玄武岩、石

灰岩、砂岩、石英岩和片麻岩等几种天然岩石。

一、花 岗 岩

花岗岩是火成岩中分布最广的一种岩石，主要由石英、长石和少量云母组成，是岩浆在地壳深处冷凝而成的岩石。由于冷凝过程缓慢且较均匀，同时覆盖层的压力很大，故矿物全部结晶，组织坚密，具有抗压强度高、吸水率小、抗冻性强、容重大等特点。同时，由于节理存在，便于开采成平整的大块石材，因而广泛地用于建造浆砌块石结构，如防波堤和码头等工程中。此外，花岗岩又是用以制作对耐久性有较高要求的建筑物镶面板和用以砌筑外表要求平整的干船坞坞口的好材料。经轧制而成的碎石又可作为粗骨料，同样被广泛地应用于各项混凝土工程中。

花岗岩由于成分变异而颜色不同，一般为淡灰、淡红或淡黄色。优质的花岗岩其石英含量较多而云母含量较少，且不含黄铁矿等杂质。完好的花岗岩比重约为 2.7，容重约为 2500~2700 公斤/米³，抗压强度约为 1200~2500 公斤/厘米²，吸水率一般在 1% 以下，因而抗冻性较高，一般可经受 100~200 次冻融循环或更高，具有足够的耐久性，耐用年限约为 75~200 年。但经风化的花岗岩，结晶颗粒酥松，强度和耐久性显著降低。表 1-1 为花岗岩风化颗粒含量对表征强度的压碎试验失重率的影响。表 1-2 为花岗岩风化颗粒对表征抗冻性的浸烘试验失重率的影响。

花岗岩风化颗粒的压碎试验结果

表 1-1

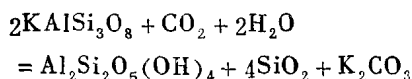
花岗岩风化颗粒含量，以重量计(%)	0	10	30	50	100
经 20 吨压力压碎后之失重率(%)	10.5	10.5	11.2	11.3	15.0

花岗岩风化颗粒的浸烘试验结果

表1-2

风 化 程 度	完 好	一般风化	严重风化
在10%硫酸钠溶液中浸烘70次循环后之失重率(%)	0.3	0.8	2.5

岩石的风化是受温度变化的影响而引起的。温度变化不均使岩石发生裂缝，并在水和碳酸盐的作用下生成新的可溶物质，对花岗岩来说，使花岗岩中的长石变成高岭土，并分解出可溶于水的碳酸钾，其化学反应式如下：



轻微风化的石材在筑港工地经常遇到，使用时应慎选质地坚实的石材，以保证建筑物的耐用年限。

花岗岩在我国分布很广，几乎各省都有。其中以山东青岛一带、辽宁金县附近、浙江温州和江苏苏州等地所产的花岗岩质量较好。

二、玄武岩

玄武岩是火成岩中分布较广的岩石，是岩浆喷出地表面时在急剧降压和急速冷却的条件下形成的，绝大部分是非结晶的玻璃质结构，或细小的结晶质结构，主要由斜长石、辉石和橄榄石组成。

玄武岩是火成岩中最重的岩石，比重可达2.9~3.0，容重可达2800~2900公斤/米³，抗压强度由于组织结构不同而波动较大，大致介于1000~5000公斤/厘米²之间。致密的玄武岩强度高，耐久性好，但因硬度高、脆性大、加工困难，主要用作防波堤的护坡或用作混凝土的粗骨料。

我国海南岛、雷州半岛、山东沿海、南京附近和四川峨

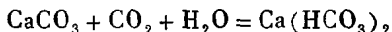
眉山均产玄武岩。

三、石 灰 岩

石灰岩是水成岩中分布最广的一种岩石，是各种岩石经物理、化学和生物等风化作用后再经沉积而成的，主要矿物成分为碳酸钙（ CaCO_3 ），此外，还有少量的碳酸镁（ MgCO_3 ）、氧化硅（ SiO_2 ）和粘土等杂质，其结构致密，常呈层状结构。

由于石灰岩的成分和构造有较大的变动范围，技术性质因而存在较大差异。容重一般在2000~2600公斤/米³之间，抗压强度相应地波动于200~1500公斤/厘米²之间，吸水率一般在1~6%之间，技术性能较花岗岩差，但因便于开采加工，而且坚实的石灰岩同样具有一定的强度和耐久性，广泛地应用于各项港工建筑物的抛石基床、抛石棱体和砌石护坡中，并可轧制成用于混凝土的粗骨料。

石灰岩同样存在风化现象，经风化后生成新的可溶性物质碳酸氢钙，其化学反应式如下：



由于长期受水和碳酸盐的溶解和溶滤，石灰岩中的氧化钙（ CaO ）显著减少，残留的铁（ Fe ）、铝（ Al ）、硅（ Si ）的氧化物相对增多。这种现象称为石灰岩风化，在筑港部门称为山皮石或水锈石。山皮石与水锈石是同一岩石的两个不同风化阶段，这种石材的分布很广，各筑港工地所采用的石材普遍存在这种现象。表1-3为大连市附近石灰岩受风化后化学成分的变化情况。

经风化的石灰岩的强度和耐久性均显著降低，其对于表征强度的压碎试验和表征抗冻性的浸烘试验结果与花岗岩的试验结果（表1-1和表1-2）相近似。以严重风化的石灰岩轧制而成的碎石配制混凝土时，其抗渗性和抗冻性也同样地显

石灰岩受风化后的化学成分变化

表1-3

种 类	烧失量 (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
一般石灰岩	36~43	0.2~1.0	0.2~2.5	0.1~2.0	45~53	0.1~2.5
红色的风化产物	6.76	42.78	22.91	15.41	2.93	3.65
黄褐色的风化产物	7.92	51.48	18.34	7.98	6.20	3.33

著降低，不宜用于有抗渗性和抗冻性要求的混凝土。

石灰岩的产地遍及全国，产量很大，但技术性质变动范围较大，选用时应加以注意，并进行必要的质量检验。

四、砂 岩

砂岩大部分是由石英砂被各种天然胶结物胶结而成的。根据胶结物的不同，砂岩有与其胶结物相对应的名称：以氧化硅 (SiO₂) 胶结的称为硅质砂岩；以碳酸钙 (CaCO₃) 胶结的称为石灰质砂岩；以氧化铁 (Fe₂O₃) 胶结的称为铁质砂岩；以粘土胶结的称为粘土质砂岩等。

砂岩的性能与胶结物种类有关。硅质砂岩坚强、耐久，其性能接近于花岗岩，容重达2700公斤/米³，抗压强度可达2500公斤/厘米²，但硬度大，加工困难，主要作为毛料石用以砌筑防波堤或护岸的护面和坡脚部分，或用以轧制成碎石作为混凝土粗骨料。石灰质砂岩的性质与石灰岩相似，易加工，且具有足够的抗压强度，是砂岩中最常用的一种，其容重为2200~2500公斤/米³，强度为600~800公斤/厘米²。铁质砂岩的性能次于石灰质砂岩。粘土质砂岩遇水软化，在港工建筑物中无使用价值。

砂岩在我国分布甚广，几乎各省都有。

五、石英岩

石英岩是一种变质岩，是由砂岩变质而形成的。经变质后原来的石英颗粒和天然胶结物都重新结晶，且颗粒之间结合得十分紧密。因此，石英岩质地均匀致密，抗压强度可达 $2500\sim 4000$ 公斤/厘米²，耐久性很高，是天然岩石中最坚硬、最耐久的岩石，但硬度大，开采加工困难，常以不规则的形状应用于建筑物中，或用作混凝土的粗骨料。

石英岩在我国产于山东沿海。经风化剥离成块状或粒状的石英石，在海滩中长期受风浪冲刷作用，形成质地坚实、外形椭圆的卵石，可供作为混凝土的粗骨料。

六、片麻岩

片麻岩是由花岗岩变质而成的，矿物成分与花岗岩相近，但片麻岩是板状结构或条状结构。由于有片理存在，其强度各向不同。垂直于片理的抗压强度较高，一般为 $1200\sim 2000$ 公斤/厘米²；平行于片理的抗压强度很低。沿片理时较易开采加工，但在冻融交替作用下易成层剥落。

第二节 对石材的技术要求

港口工程所用的石材应为质地均匀、无显著的风化迹象、无严重裂纹、不成片状、不含软弱夹层、不含粘土夹杂物和黄铁矿等的坚硬岩石。同时，根据不同的使用条件，石材尚应具备必要的技术性能。除了惯用的致密花岗岩和致密石灰岩外，一般均应鉴定其容重、抗压强度、耐水性和抗冻性。对于用作混凝土的粗骨料，尚应检验其有无蛋白石等活性成分和有机物等有害成分。

一、容 重

石材容重是石材质量好坏的重要标志之一。容重大的石材，一般都比较密实，强度较高，吸水率较小，抗冻性较好。在砌筑块石结构（如重力式码头、斜坡式码头、护岸、护坡等）中应尽量采用容重较大的石材。对于需要依靠自重来保持稳定的防波堤抛石基床等构筑物所用的石材，容重一般要求不小于2100公斤/米³。但作为码头后方回填料，则往往要求选用容重较小的石材，以减轻其地基反力。

二、抗 压 强 度

石材的抗压强度是确定石材标号的指标。测定强度的方法可用20×20×20厘米立方体试件，按标准试验方法测出其极限抗压强度（公斤/厘米²），并依此划分不同标号。即：100、150、200、300、400、500、600、800及1000等标号。试验时也可采用小于20×20×20厘米的立方体试件，但应对其试验结果乘以表1-4中所列的换算系数。

石材强度的换算系数

表1-4

试件尺寸 (厘米 ³)	20×20×20	15×15×15	10×10×10	7.07×7.07×7.07	5×5×5
换算系数	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6

在浆砌块石结构中，砌筑砂浆的强度远远低于石材的强度，故在选用石材时，强度往往不是主要因素。但强度又与耐久性、抗冲击性等互有关系，因此，应根据工程性质作出正确的选择，一般要求不低于500公斤/厘米²；对于有抗冻性要求的则不低于600公斤/厘米²；对于抛石基床的块石，则要求在饱水状态下不低于500公斤/厘米²；对于作为混凝