

混凝土和钢筋混凝土的 腐蚀及其防护方法

〔苏〕 B.M.莫斯科文 Ф.М.伊万诺夫 著
C.H.阿列克谢耶夫 E.A.古捷耶夫
倪继森 何进源 孙昌宝 译
黄炯秋 刘智灵

化学工业出版社

混凝土和钢筋混凝土的 腐蚀及其防护方法

〔苏〕 B.M.莫斯科文 Ф.М.伊万诺夫 著
C.H.阿列克谢耶夫 E.A.古捷耶夫
倪继森 何进源 孙昌宝 译
黄炯秋 刘智灵

化学工业出版社

内 容 提 要

本书主要是研究有关混凝土和钢筋混凝土在各种环境介质作用下的耐久性问题。该书作者根据大量文献资料及实验研究结果,阐明了混凝土和钢筋混凝土在天然和工业腐蚀性介质作用下腐蚀的类型、腐蚀过程的机理及其影响因素。有关腐蚀过程速度的资料,可作为预测混凝土在腐蚀条件下使用期限的依据。本书还对在腐蚀性条件下使用的钢筋混凝土结构中,钢筋的腐蚀过程、混凝土对钢筋的防护作用以及混凝土和钢筋混凝土的防护方法进行了研究。

该书可供从事混凝土和钢筋混凝土腐蚀研究与防护工作的科研、设计、施工的工程技术人员、管理人员使用,也可供各高等院校有关专业师生参考。

В. М. Москвин Ф. М. Иванов

С. Н. Алексеев Е. А. Гузеев

КОРРОЗИЯ БЕТОНА

И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА,

МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1980

混凝土和钢筋混凝土的腐蚀及其防护方法

倪继淼 何进源 孙昌宝 译

黄炯秋 刘智灵

责任编辑:李志清

封面设计:任辉

化学工业出版社出版发行

北京 7 区十六号楼

社印刷厂印刷

书店北京发行所经售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $13^{7/8}$ 字数 394 千字
1988 年 4 月第 1 版 1988 年 4 月北京第 1 次印刷

印 数 1—8,000

ISBN 7-5025-0076-6/TQ·38

定 价 3.50 元

译 者 的 话

《混凝土和钢筋混凝土的腐蚀及其防护方法》是一本腐蚀工程方面的专业论著。作者 B.M. 莫斯克文及其同事们是苏联的腐蚀工程专家，他们从事混凝土和钢筋混凝土腐蚀的科研工作已达数十年之久，做了大量的工程调查和实验研究，并收集了大量的资料性文献。这些工作使他们的著作具有充分的科学依据和重大的实用价值。因此，本书对于我国从事混凝土和钢筋混凝土腐蚀及其防护的研究，教学、设计、施工和使用部门的专业人员是十分有用的。

本书系全文译出，对一些需要更正的地方作了译注；至于一些明显的印误，在更正后不再一一注明。

本书的第一至第五章由倪继森译，第六至第八章由何进源译，第九、第十章由刘智灵译，第十一、第十二章由孙昌宝译，第十三至第十五章由黄炯秋译；本书由倪继森、孙昌宝、刘智灵校审，最后由刘智灵校核整理。由于水平所限，难免存在差错，欢迎读者批评指正。

一九八四年七月

序 言

混凝土和钢筋混凝土作为主要建筑材料，在完成苏共第二十五次代表大会通过的发展国民经济计划，包括工业、民用、运输和其它建筑物、构筑物的建设计划中起着很大作用。到1980年为止，在各种类型和各种用途的装配式和整体式结构中所采用的混凝土和钢筋混凝土的总体积约为二亿五千万立方米。

用混凝土和钢筋混凝土建造的建筑物和构筑物中有很大一部分，在使用期间常常受到腐蚀性介质的腐蚀。如果建筑物在建造时对结构材料不采取或不实施防腐措施，则腐蚀性介质就可能损坏建筑结构，甚至使其丧失使用价值。这与工业构筑物的关系尤为密切，因为在工业构筑物中，建筑结构直接与液态、气态等外部介质接触，或者被产品和生产中排放的废料所污染。

在有色冶金、化学、纸浆及其它工业部门中，约有20~70%的构筑物常常受到各种腐蚀性介质的作用，并由此引起结构材料的腐蚀。所以，需要对这类结构材料采取特殊的防腐措施。这类构筑物中还包括农业建筑物，它们会受到腐蚀性有机物的腐蚀。选择这类构筑物的防腐措施比较复杂，因为通常所使用的防腐材料多数是有毒的，站不能使用。

外部介质的腐蚀性越强，在建筑物进行设计、建造和使用时对其腐蚀作用考虑得越少，那么由腐蚀引起的结构损坏就越快和越深。据国外专家估计，由混凝土和钢筋的腐蚀造成的经济损失约占国民收入的1.25%。这些经济损失中不仅包括修复和重建建筑物的材料费用和工程造价，而且还包括产量上的损失，这是由于建筑结构不符合生产要求，或者在修理期间引起正常生产的中断造成的。

上述这些情况导致了劳动费用的增长，其中多数是手工修复工作的费用。这是一笔可观的，而且一直还在增长的费用。这些费用本来

目 录

序言

第一章 混凝土和钢筋混凝土腐蚀的历史概况及研究现状	1
第二章 环境介质作用的类别及腐蚀过程的分类	15
2.1 环境腐蚀性介质与混凝土和钢筋混凝土结构相互作用的 一般条件	15
2.2 环境介质的腐蚀性	20
2.3 腐蚀性液体的一般特征	22
2.3.1 天然地表水和地下水	22
2.3.2 工业生产的腐蚀性液体介质	26
2.4 腐蚀性气体介质	28
2.5 腐蚀性固体介质	31
2.6 腐蚀过程和腐蚀性介质的分类	33
第三章 腐蚀性介质对混凝土和钢筋混凝土材料及其抗蚀性的影响	36
3.1 水泥	36
3.2 骨料	41
3.3 搅拌混凝土用的水	43
3.4 钢筋	44
第四章 混凝土的结构	47
4.1 混凝土结构的概念	47
4.2 混凝土孔隙的结构	49
4.2.1 水泥石的孔隙水对水泥石结构特性的影响	54
4.2.2 水泥石和水泥砂浆孔隙结构的特性及各种因素 对其特性的影响	56
4.3 混凝土结构形成的特点	64
第五章 混凝土的渗透性及抗蚀性	66
5.1 渗透性——概念和指标	66
5.2 混凝土最高允许渗透系数的确定	69

5.3	各种结构混凝土的渗透率	72
5.4	腐蚀性介质在胶凝材料中扩散渗透的规律性	78
第六章	第Ⅰ类腐蚀	84
6.1	水泥石的可溶性及其在水合物-水系统中的平衡	85
6.2	腐蚀强度	88
6.3	水泥组分对混凝土抗蚀性的影响	99
6.4	生产工艺对混凝土抗蚀性的影响	103
6.5	各种构筑物混凝土的第Ⅰ类腐蚀及其防护方法	107
第七章	第Ⅱ类腐蚀	116
7.1	碳酸腐蚀的理论依据	116
7.2	碳酸水对水泥石和混凝土的腐蚀	124
7.2.1	各种水泥对碳酸腐蚀作用的抗蚀性	133
7.2.2	H_2CO_3 溶液的侵蚀性	135
7.3	酸对水泥石的影响和侵蚀性溶液更换速度对腐蚀速度的影响	137
7.3.1	各种水泥的抗蚀性	141
7.3.2	各种酸溶液的相对侵蚀性	148
7.4	酸对混凝土和钢筋混凝土构筑物的腐蚀及其主要防护措施	152
7.5	镁盐溶液的影响	154
7.6	碱溶液的作用	161
第八章	第Ⅲ类腐蚀	166
8.1	硫酸盐对混凝土的腐蚀	169
8.1.1	硫酸盐腐蚀产生和发展的条件	170
8.1.2	水泥品种对硫酸盐腐蚀混凝土的影响	178
8.1.3	溶液浓度和种类对混凝土腐蚀过程的影响	190
8.1.4	混凝土受硫酸盐腐蚀时的膨胀变形	194
8.1.5	水泥中的碱对混凝土抗蚀性的影响	203
8.2	盐在孔隙中的结晶作用对混凝土的腐蚀	204
8.2.1	混凝土结构部分浸泡在侵蚀性溶液中	204
8.2.2	盐溶液对混凝土的干湿交替作用	208
8.2.3	苛性碱的影响	210
8.3	混凝土构筑物中的第Ⅲ类腐蚀及某些试验结果	212

8.4	水泥中的碱与骨料中的氧化硅反应造成的混凝土的破坏	219
第九章	混凝土的气相腐蚀及钢筋混凝土结构的抗蚀性	228
9.1	各种酸性气体对混凝土作用的机理	230
9.1.1	第Ⅰ组气体对混凝土的影响	234
9.1.2	第Ⅱ组气体对混凝土的影响	239
9.1.3	第Ⅲ组气体对混凝土的影响	244
9.1.4	酸性气体对混凝土的共同腐蚀	247
9.2	气相腐蚀的动力学	250
9.3	混凝土特性对碳化速度的影响	256
9.4	外界环境对混凝土碳化速度的影响	259
第十章	混凝土中钢筋腐蚀的主要形式	262
10.1	钢筋腐蚀的主要特点	262
10.1.1	无应力钢筋的腐蚀特点	263
10.1.2	碳钢和低合金钢化学成分对钢筋抗蚀性的影响	264
10.1.3	应力对钢筋腐蚀的影响	266
10.1.4	高强钢筋的应力腐蚀和机械性能变化	269
10.2	钢筋的腐蚀开裂	270
10.2.1	高强钢筋的抗蚀性	270
10.2.2	评价钢筋腐蚀开裂危险的标准	272
10.2.3	钢筋基本参数对抗腐蚀开裂性能的影响	279
10.2.4	高抗蚀性能的热强钢筋	280
第十一章	混凝土的保护作用	284
11.1	混凝土中钢筋的电化学性能（发生钝化和破坏的条件）	284
11.2	混凝土中钢筋的动力学及其控制因素	292
11.3	胶结料和电解质掺加料对混凝土保护作用的影响	303
11.3.1	胶结料对混凝土保护能力的影响	303
11.3.2	电解质掺加料对混凝土保护能力的影响	311
11.4	混凝土保护层裂缝对钢筋腐蚀形成和发展的影响	322
11.5	钢筋电腐蚀的条件及其防护措施	331
11.6	长期保持混凝土钝化作用的条件	333
第十二章	混凝土和钢筋混凝土水工构筑物在海水中的腐蚀	339
12.1	海水的化学成分	340

12.2	气候对海上水工构筑物混凝土抗蚀性的影响	341
12.3	海上水工构筑物混凝土和钢筋混凝土的状况	344
12.4	海水对混凝土腐蚀的特点	354
第十三章	钢筋混凝土结构在应力状态下的抗蚀性	360
13.1	钢筋混凝土结构应力类型对其抗蚀性的影响	360
13.2	应力状态对混凝土抗蚀性的影响	363
13.3	侵蚀性介质及其成分对钢筋混凝土结构变形和强度性能的影响	368
13.4	侵蚀性介质对预应力钢筋混凝土结构抗蚀性的影响	383
13.5	用设计方法提高钢筋混凝土的抗蚀性	388
第十四章	钢筋混凝土结构的防腐	393
14.1	混凝土和钢筋混凝土结构的表面处理	394
14.2	憎水作用	394
14.3	油漆涂层	396
14.4	防腐薄膜材料	406
14.5	饰面和衬砌	408
第十五章	环境对混凝土侵蚀性的评定标准	411
15.1	评定标准的历史回顾	411
15.2	标准的内容	413
15.3	对侵蚀性条件下构筑物使用期的计算	419
结束语		421
参考文献		422

第一章 混凝土和钢筋混凝土腐蚀的历史概况及研究现状

鉴于在化学工业和其它工业部门建造的许多构筑物中，经常使用和加工生产对混凝土和钢筋有腐蚀作用的物质；鉴于在盐渍土和矿化水地区进行的建设日益发展以及必须建造更加坚固耐用的钢筋混凝土构筑物，因此，深入研究混凝土和钢筋混凝土构筑物耐久性的问题，已成为当前一项迫在眉睫的任务。

有些建筑物，例如水电站的堤坝、桥梁、隧道、海岸防波堤和码头、标志苏联人民在伟大卫国战争中的丰功伟绩而永存的纪念性构筑物（如伏尔加格勒马拉霍夫陵墓上的纪念碑、诺沃罗西斯克小地岛登陆纪念碑等）应当经受住环境介质的侵蚀，为人类世代造福，供人们瞻仰。

在着手分析各种腐蚀过程的机理、研究腐蚀规律以及论述防腐方法之前，必须深入研究并细心观察建筑材料与环境介质的相互作用是如何随技术发展而日益复杂化的，同时要研究如何解决混凝土和钢筋混凝土建筑结构及构筑物的耐久性问题。

最早期的建筑物，包括金字塔、庙宇、宫殿以及温带和热带地区的住宅等，最初采用建筑砂浆，后来采用混凝土建造。那时候建筑物所使用的材料，其主要的强度指标就是要求耐雨雪腐蚀。采用钢筋和胶凝材料共建堤坝和其它水工构筑物、桥梁、海岸防波堤以及码头时，胶凝材料的作用将更大。建筑界早期使用天然石材（起初用不规则的毛石，而后用加工后的块石砌体）建造这些构筑物时，最初采用粘土做胶凝材料，后来用石膏和石灰，使得砌筑起来更加方便。最后用石灰-火山灰灌浆勾缝。砂浆砌体的进一步发展就是混凝土，未经加工的大砾石、卵石和某些岩块可作为混凝土中的骨料使用。

从技术角度上评价构筑物混凝土在使用过程中经受腐蚀性液体作

用的耐久性，是一项颇有意义的工作。这里提到的是给水构筑物——水道、罗马式热水浴池、腌鱼槽及考古时从罗马帝国时代遗址中挖掘出来的其它构筑物。

石灰同天然水硬性活性物质相拌合，与氢氧化钙反应，生成不溶于水或稍溶于水的化合物。长期以来，这种物质一直是建造经受水侵蚀构筑物时使用的主要水硬性胶凝材料。火山灰，也叫作意大利凝灰岩〔最初是在波佐利城（Пущуоли）发现的，由此得名〕，联邦德国火山石灰均属于这类胶凝材料。在其它国家，则采用煅烧和磨细的粘土（称为烧粘土水泥）作为石灰砂浆的掺合料，以提高其防水性。将天然原料（石灰石和粘土的混合物）煅烧制得的水硬性石灰在胶凝材料生产中占有重要地位。这种材料在低温煅烧时具有胶凝性质，在水中硬化缓慢，硬化后能长期经受水的侵蚀。这种粘土含量较高的胶凝材料称为罗马水泥，因为它类似于古罗马所用的胶凝材料。这时，查阅水硬性胶凝材料发展史的有关资料，对于我们研制耐蚀性混凝土（特别是耐海水腐蚀）来说，是很有意义的工作。十九世纪四十年代，卓越的法国工程师兼研究家维卡（Вика）为了探索在那些年代建成的土伦码头被海水毁坏的原因，对水硬性石灰以及用石灰和火山灰制成的砂浆的性能进行了研究。

维卡对石砌体中受损的和完全无损的砂浆都进行了分析，他发现，构筑物外部的石灰（氧化钙）含量几乎减少了一半，而镁盐（氧化镁）含量几乎增加了5倍。维卡由此得出结论：海水中的镁盐（其中包括硫酸镁）与氢氧化钙和含水硅酸盐发生反应，生成氢氧化镁和硫酸钙。硫酸钙继续与水泥石中的其它组分相互作用，造成水泥石的腐蚀破坏^[62]。维卡的新作《水硬性组分遭受海水腐蚀的化学原因及其防护方法的研究》^[309]是研究海水对水硬性胶凝材料制成的混凝土腐蚀破坏的第一部科研著作。

尽管在十九世纪已有大量建筑工程采用了石灰-火山灰胶凝材料，但是，随着波特兰水泥生产的发展，这种胶凝材料的作用已逐渐、迅速地消失，因为波特兰水泥具有更高的抗蚀性。因此，对石灰-火山灰胶凝材料及其抗蚀性作进一步的讨论，看来已无必要了。

现在，我们来对用波特兰水泥以及类似波特兰水泥和特种水泥制作的混凝土的发展和使用的基本情况作一分析。我们的兴趣在于进一步扩大混凝土的应用范围，研究混凝土在使用期间已经遭受的和即将遭受的大量腐蚀。

众所周知，Л. 阿斯帕金 (Джозефа Аспдин) 水泥 (1824 年获专利权) 和 Е. 切利耶夫 (Егора Челиев) 水泥 (在他 1825 年出版的专著中有记载) 可并列为现代波特兰水泥的前身^[63]。这些水泥主要含有弱碱性硅酸钙和铝酸钙，但足以用来制作抗水性能较好的砂浆和混凝土了。例如，切利耶夫在他的著作中 (莫斯科, 1825 年版本) 对切利耶夫水泥作过如下描述：兹规定生产价廉质优的灰泥或水泥，它们应适用于水下结构，例如水渠、桥梁、蓄水池、坝、地下室和地窖，并用于砖石结构和木结构的抹灰。在 1812 年的卫国战争中，莫斯科克里姆林宫遭到严重破坏，在克里姆林宫的重建工程中，切利耶夫水泥获得了广泛的应用。

在十八世纪末和十九世纪初，各国开始进行大规模的土木工程，对胶凝材料提出的基本要求是具有防水性。当时只有波特兰水泥满足了这个要求。尽管最初人们对波特兰水泥抵抗各种化学成分水的可靠性尚不清楚。在半个世纪内，对波特兰水泥混凝土的防水性问题一直未取得一致看法。直到二十世纪初，波特兰水泥混凝土在各种天然水中的抗蚀性，才被人们所认识。

人们对波特兰水泥混凝土的腐蚀、抗蚀性以及这种胶凝材料的凝固过程几乎同时进行了研究。由于改进了水泥生产工艺，提高了煅烧温度，加速了水泥熟料的生成过程，从而提高了水泥的质量。随着人们对水泥凝固后发生在水泥-水系统中的过程有了进一步认识，因而有必要研究水泥石化化合物的腐蚀过程及其抗蚀性。

水泥生产工艺的改进，以及由此带来的水泥质量的提高，都是以水泥的强度来评定的。但是强度高并不意味着抗蚀性能好。提高水泥的碾磨细度和水泥中石灰的饱和系数，在某种程度上反而会降低水泥石对各种外部介质作用的抗蚀性。

海岸防波堤、码头、灯塔等是十九世纪初叶首先采用波特兰水泥

混凝土建造的最重要的构筑物。这些构筑物长期经受外部介质的强烈影响，其中包括物理作用的影响（如波浪冲击、泥砂磨蚀，以及北部地区冰和霜冻的作用）和化学作用的影响（溶解在海水中的盐的作用）。这些均能导致上述构筑物迅速破坏（图 1.1）。因此，我们最初研究混凝土的抗蚀性问题时，主要是了解海上构筑物中混凝土的腐蚀情况。在那个时期，为了制订提高结构耐久性的建筑规范，对混凝土试件和构件进行了自然条件下的抗腐蚀试验。

研究混凝土和钢筋混凝土海上构筑物的耐久性，在过去是，现在仍然是评价不同类型混凝土在各种气候条件下耐久性的重要手段。著



名建筑工程师 А.Р. 舒良琴柯(А.Р. Шуляченко)和 В.И. 察尔诺姆斯基(В.И. Чарномский)对各港口构筑物使用状况进行的实地调查研究,在发展苏联海上钢筋混凝土建筑方面起了重大作用。

1902年,他们调查了欧洲港口的混凝土和钢筋混凝土构筑物。考察结果,认为波特兰水泥适于建造海上水工构筑物。混凝土的密实性及其表面形成的水泥石碳化层(该碳化层是在混凝土块体和其它结构物经养护之后,沉入海水之前生成的)是混凝土具有足够抗蚀性的必要条件。

1904年,А.А.巴依考夫(А.А.Байков)和 В. И. 察尔诺姆斯基^[207]对俄罗斯各港口也进行了类似的调查。他们得出了相反的结论:按照 А.А. 巴依考夫的说法,当混凝土块体内部发现白色反应物时,混凝土可能已受到相当严重的损坏。他们力求对海水与水泥石作用时发生的化学腐蚀过程做出解释。某些研究者得出结论,用波特兰水泥制取的混凝土不能抵抗海水的侵蚀。例如,按照米哈利斯(Михаэлис)的见解,游离氢氧化钙与硫酸盐和镁盐的相互作用必然会导致混凝土的破坏。而提高混凝土的密实性只能使结构物的寿命延

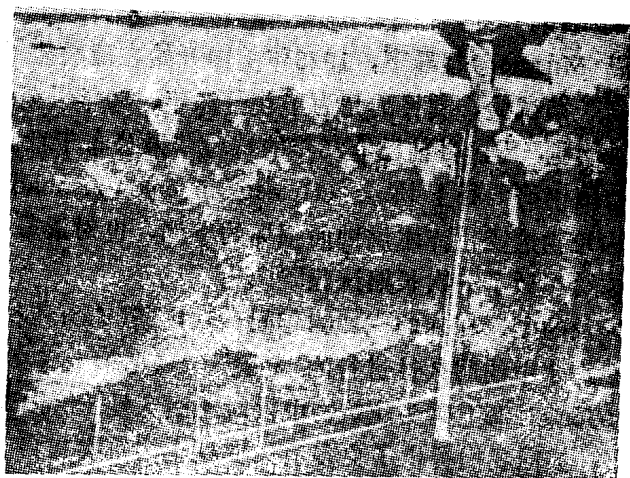


图 1.1 海浪对水工构筑物的破坏作用 (В.Н.Свиридов摄影)

长25~30年^[16]。

波特兰水泥混凝土在海水中的破坏原因和耐久性的极限问题，至今仍有争议。不过，对混凝土和钢筋混凝土海上构筑物腐蚀过程的研究工作，有助于我们对工业构筑物结构中的类似腐蚀过程的理解，并能形成混凝土和钢筋混凝土腐蚀的一般理论。

当1880~1890年第一批钢筋混凝土构件问世，并首次应用于工业建筑物和构筑物时，即出现了一个钢筋混凝土能否在化学活性物质（对混凝土水泥石有侵蚀性）腐蚀条件下安全使用的问题。这里首先是指地下水和各种生产溶液的腐蚀作用问题。此外，钢筋混凝土在工业区大气中的耐久性也成为突出的问题。在二十世纪初期，出版了Р. 格尤恩(Р.Грюн)^[260]、Э. 拉巴利德(Э.Рабальд)^[151]和А. 克莱洛盖尔(А.Клейнлогель)^[269]等人的专题论文集。他们对工业建筑中使用混凝土和钢筋混凝土的情况进行了基本研究和经验总结。这些专著论述了用波特兰水泥、矿渣波特兰水泥（这在当时已获得了广泛的应用）和矾土水泥制作的混凝土的抗蚀性，并把各种数据汇编成册。

对混凝土在复杂的自然环境中的耐久性进行长期的研究也是一项十分重要的工作。

在密勒(Миллер)领导下，1925年美国开始在硫酸盐含量极高的土壤内进行长期试验，其目的是为了获得25年、50年以至更长时期的混凝土腐蚀数据^[287]，目前已有25年的试验结果公布于世。

联邦德国钢筋混凝土协会(Немецкий союз железобетона)利用混凝土构筑物遭受沼泽水腐蚀而损坏的事例，也对混凝土在自然条件下的腐蚀情况做了一次长期试验^[301]。

应当提及的是，在1934~1964年间，坎皮斯(Кампюс)(比利时)对混凝土在海水中的耐久性进行的试验^[251]（见第十二章）和О. 戈尔夫(О.Гьörв)对海上码头建筑物中混凝土耐久性研究工作所做的总结报告^[258]，都向我们提供了更多有关混凝土构筑物在自然条件下使用情况的可靠数据，以及有关水泥种类、混凝土配合比和某些生产因素对混凝土抗蚀性影响方面的见解。

在进行室外调研工作（此项工作在时间间隔比较长的情况下要考虑时间因素）的同时，科研人员也进行了大量的实验室研究工作。在水泥化学方面取得的许多成果基础上（这些科研成果在采用物化法做物相分析时更有实用价值），对混凝土水泥石与各种化学化合物相互作用时的腐蚀过程的研究取得了进一步的发展。在此，我们不可能对混凝土和钢筋混凝土腐蚀方面的全部历史梗概一一论述，只能把讨论范围限制在这种广泛研究工作中的主要方面。

1887年，俄国学者С.Ф. 格林卡(С.Ф. Глинка)测出了硬化水泥石中含有 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 是一种最易溶解和最易反应的组分，也是水泥石显微结构中的薄弱环节。因此，有人提出将氢氧化钙与火山灰掺合料中的活性氧化硅化合。果然，欧洲南部港口采用含火山灰水泥建造的构筑物，获得了良好的抗蚀性能。

必须指出，在早期研究混凝土抗蚀性的同时，已对天然块石材料抵抗自然条件侵蚀的性能进行了试验。试验很有意义，因为在试验中所出现和解决的问题，与研究混凝土抗蚀性时遇到的问题相似。在十九世纪下半叶和二十世纪初期，科研人员对天然块石抵抗大气腐蚀的性能进行了大量的研究工作。这首先是由于大城市空气污染日益严重而决定开展的。城市空气污染的结果，致使历史上遗留下来的许多纪念像^①正迅速遭到损坏。

Н.К. 拉赫京(Н.К. Ляхтин)对俄国块石材料的自然风化问题进行了研究。他主要考察了结构的受力状态对加快腐蚀过程的影响问题，并对施工中研究腐蚀过程的必要性以及研究工作的基本原则作了阐述。Н.К. 拉赫京认为：只有研究了石块材料的破坏原因，而且准确地制定出鉴别石块腐蚀破坏的方法和标记，找到防止石块腐蚀或停止、减缓石块风化的方法和工具后，才能建造具有高强度和耐久性的构筑物^[95]。这一观点对于混凝土构筑物也是完全正确的。实际上，只有了解了混凝土在使用条件下腐蚀过程的实质，即查明腐蚀破坏原

① 目前，这方面的情况是相当严重的。例如，雅典卫城的许多大理石雕塑品已面临用石膏复制品替代，或者用罩子将整个塑像覆盖保护起来的境况。

因，制定出构筑物防腐方法和提高混凝土耐蚀性的方法之后，才能保证构筑物具有一定的耐久性。

А.А. 贝科夫(А.А. Байков)的著作，无论在基础理论方面还是实际应用方面，都对混凝土腐蚀研究的发展起了重大作用⁽¹⁷⁾。早在十月革命以前，贝科夫就开始了在胶凝材料硬化方面的研究工作，他直接参与巴库-索勒尔斯基输水管混凝土损坏原因的分析工作，研究了黑海港口构筑物的混凝土块体的现状，对卡拉达格斯火山灰(карадагский трас)的活性进行了考察，完成了建筑业方面的许多重要研究工作。А.А. 贝科夫工作的特点，是将解决实际问题与深入的科研工作相结合。А.А. 贝科夫的论点为当代有关火山灰可提高波特兰水泥混凝土抗蚀性的观点奠定了基础。他对混凝土构筑物受海水侵蚀破坏原因所作的结论，在后来的研究中都得到了证实。在贝科夫的领导下，苏联对胶凝材料在外部介质作用条件下使用状况的科学理论工作有了迅猛发展。

如前所述，在俄国革命以前，混凝土抗蚀性方面的研究工作仅局限于海上构筑物。由于工业尚不发达，钢筋混凝土在工业构筑物中的应用受到了限制。

在伟大的十月社会主义革命以后，国家的工业化发展向建设者们提出了新任务：必须广泛研究混凝土在各种介质中的腐蚀性问题，以便建造可供长期使用的耐久性水利工程和工业构筑物。

在设计大型混凝土和钢筋混凝土构筑物时，例如莫斯科大运河、德聂伯河水电站、伏尔加河水电站时，进行了大量的调研工作，以评价混凝土对各种成分天然水的抗蚀性能。建筑材料领域内的著名学者С.Н. 德鲁日宁(С.Н. Дружинин)、Г.К. 杰明耶夫(Г.К. Дементьев)、В.А. 金德(В.А. Кинд)、В.Н. 尤恩格(В.Н. Юнг)等人对含有活性矿物掺合料的混凝土性能进行了研究。他们专门成立了火山灰水泥委员会，在总结研究成果的基础上，建议在波特兰水泥中加入水硬性掺合料，这对于提高混凝土抵抗水和某些盐溶液的溶解作用是有益的。用火山灰波特兰水泥制成的混凝土的抗硫酸盐性能，也已得到证实。