
混凝土腐蚀破坏的 评估与修补

〔英〕P.普勒—斯特雷克 著

惠云玲 韩雪明 译

冶金工业出版社

混凝土腐蚀破坏的 评估与修补

〔英〕P.普勒—斯特雷克 著

惠云玲 韩雪明 译

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书译自英国Butterworths出版公司1987年出版的Peter Pullar-Strecker著的《Corrosion Damaged Concrete: assessment and repair》一书。书中介绍了混凝土腐蚀的因,结构现状的评估,钢筋混凝土结构的检查、维修与委托工作,并提出了修补方法与防护办法。

本书可供房管部门、设计及施工人员和科研院校的师生参考使用。

混凝土腐蚀破坏的 评 估 与 修 补

〔英〕P.普勒—斯特雷克 著

惠 云 玲 韩 雪 明 译

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

河北省阜城县印刷厂印刷

*

787×1092 1/32印张 $4\frac{1}{8}$ 字数 86千字

1991年7月第一版 1991年7月第一次印刷

印数00,001~5,000册

ISBN7-5024-0891-6

TU·47 定价2.45元

译者前言

《混凝土腐蚀破坏的评估与修补》是英国建筑工业研究与情报协会关于混凝土现状评估、破坏与修补研究成果性专著。在我国的工业与民用建筑中，已有相当数量的钢筋混凝土结构因混凝土腐蚀、老化、钢筋严重锈蚀而危及安全使用。因而如何延长已有建筑物的使用寿命，如何合理提高新建结构的耐久性已经受到各方面的关注。对已有混凝土结构物的耐久性评估及修补技术研究更是日益需要。为此，我们翻译了这本书。希望本书的出版对于合理使用维护建筑物、普及混凝土耐久性处理技术、延长其寿命及防止重大事故发生等方面能起到借鉴及推进作用。

本书的第一、二、三章由惠云玲翻译，第四、五、六章由韩雪明翻译。全书由林志伸校对，赵丕华审核。

由于水平有限，不当之处敬请读者批评指正。

译者

1990年11月

目 录

1 引 言	(1)
1.1 损坏处理	(1)
1.2 钢筋腐蚀的原因	(1)
1.3 混凝土开裂是钢筋腐蚀的一个征兆	(4)
1.4 混凝土质量的重要性	(8)
1.5 环境的影响	(8)
1.6 修补方法的决策	(11)
1.6.1 偶然超载	(11)
1.6.2 施工错误	(12)
1.6.3 用料错误	(12)
1.6.4 防护系统的维护	(13)
1.6.5 修补策略	(13)
1.6.6 更换结构构件	(14)
1.6.7 拆除与重建	(14)
1.7 鉴定的要求 (摘要)	(15)
2 结构现状的评估	(17)
2.1 检查与试验	(17)
2.2 裂缝的检查	(21)
2.2.1 裂缝的类型	(21)
2.2.1.1 纵向裂缝	(22)
2.2.1.2 横向裂缝	(22)
2.2.1.3 剪切裂缝	(24)

2.2.1.4	塑性收缩裂缝	(24)
2.2.1.5	塑性沉降裂缝	(24)
2.2.1.6	龟裂	(25)
2.2.1.7	表面收缩裂缝	(25)
2.2.2	裂缝的观测	(25)
2.2.2.1	0.05~0.1mm 宽的裂缝	(25)
2.2.2.2	大于0.1mm 宽的裂缝	(25)
2.2.3	裂缝宽度	(26)
2.2.4	重要裂缝	(26)
2.3	混凝土表面的击声探测	(27)
2.4	碳化试验	(28)
2.5	氯化物含量的确定	(32)
2.6	估测保护层厚度	(34)
2.7	裂缝扩展测量	(35)
2.8	现场估测混凝土强度	(36)
2.9	混凝土取芯样	(38)
2.10	超声波测量	(40)
2.11	吸水性与渗透性的测定	(40)
2.12	电极势能测定	(41)
2.13	电阻测量方法	(44)
2.14	评估策略 (摘要)	(45)
3	检查、修补与委托工作	(48)
3.1	寻找适当的咨询机构	(48)
3.2	公共关系	(49)
3.3	标准、规程	(50)
3.4	专用材料	(50)
4	修补方法	(52)

4.1	裂缝修补	(52)
4.1.1	塑性收缩裂缝	(52)
4.1.2	塑性沉降裂缝	(52)
4.1.3	剪切与横向裂缝	(53)
4.1.4	活裂缝	(55)
4.1.5	锈蚀引起的纵向裂缝	(56)
4.2	剥除混凝土保护层	(57)
4.2.1	边缘修补	(58)
4.2.2	剥除深度	(61)
4.2.3	侧面剥除范围	(62)
4.2.4	节点处的混凝土剥除	(63)
4.2.5	防止结构破坏的安全措施	(66)
4.3	清理钢筋	(66)
4.4	补加钢筋	(67)
4.5	钢筋涂料	(70)
4.6	更换混凝土	(71)
4.6.1	材料的特性和功能	(72)
4.6.2	混凝土浇注	(74)
4.6.3	用水泥砂浆局部修补	(80)
4.6.4	喷射混凝土	(81)
4.6.5	压力灌浆混凝土	(82)
4.6.6	养护	(84)
4.6.7	用树脂砂浆局部修补	(85)
5	表面处理	(88)
5.1	耐盐和防水涂料	(88)
5.2	抗碳化涂料	(89)
5.3	涂料的应用	(90)

6 阴 极 防 护..... (93)

参考文献..... (97)

附录 英、美国家关于加氟化物引起钢筋锈蚀的研

究与处理办法..... (99)

附表 关于加氟化物引起钢筋锈蚀的研究与处理

办法..... (101)

1 引 言

1.1 损 坏 处 理

如果钢筋混凝土结构出现了裂缝、剥落、钢筋锈蚀或者其它预示损坏的征兆，首要的任务是查明这种现象的严重程度、产生的原因以及怎样治理。

损坏发生的原因很多，包括地基沉降、结构超载、偶然损坏、硫酸盐侵蚀和碱骨料反应以及本书所主要论述的钢筋锈蚀等。对上述任何损坏都应立即采取措施以确保结构安全。然而，大多数导致损坏发生的过程是比较缓慢的，因而我们与其立即采取措施，不如力图弄清正在发生的问题，弄清其发展趋向，制定出既有效又经济的处理方案。

1.2 钢筋腐蚀的原因

当钢筋锈蚀时，其损坏过程通常是比较缓慢的，但损坏总在不断发展。有效的措施完全取决于正确认识腐蚀产生的原因和控制的方法。

自从采用钢筋混凝土结构以来，人们就采用钢筋承受拉应力并控制收缩开裂。钢材的形式有型钢、钢筋及钢丝。理论上，这些钢材由于受到周围混凝土的碱性保护，应该不会锈蚀，实际上这种保护在很长时间内也都是有效的。但是，由于空气中的酸性气体（通常是二氧化碳，在工业污染区也可能是二氧化硫）侵入混凝土内部，或由于来自海水中的氯

化物及公路上融化冰雪所用的盐对混凝土的侵蚀等，混凝土对钢筋的保护作用不断地减少。过去广泛作为混凝土硬化促凝剂的氯化钙也有类似的作用。附录中给出了应用氯化钙的简史。

气体或盐类侵入混凝土的能力主要与混凝土的渗透性有关。低质量的混凝土有较高的渗透性，高质量的混凝土渗透性较低。渗透性的强弱差异以及保护层厚度的不同基本上可以解释处于同一环境条件下的不同结构中钢筋出现锈蚀的时间为什么会有很大差异。

尽管在混凝土中有可能出现非膨胀腐蚀(看下述)，但是一般当钢筋锈蚀时，锈皮均比原钢材体积增大很多，以致产生足够的力使混凝土开裂。随着钢筋的继续锈蚀，裂缝逐渐增大。最后将引起整个混凝土保护层脱落，钢筋裸露。钢筋不仅没有了抵抗锈蚀的保护，也由于与混凝土失去了粘结力而不能承受混凝土传递的拉应力。

尽管引起破坏的过程较慢，除了预应力混凝土外，通常在几年前就有征兆，但最终还是会导致结构破坏。

关于后张法预应力混凝土：预应力混凝土与钢筋混凝土有相同的原理，即都采用钢筋承受拉应力，但也有些重要的区别。一种是先张法，在结构受荷前，钢筋就预先受拉；另一种是后张法，预应力钢筋仅其端部锚于混凝土中，在混凝土沿着钢筋长度的方向均没有约束。这种区别意味着锈蚀发生时，混凝土表面无任何征兆，因而结构就会在无任何征兆的情况下突然发生破坏。

钢筋腐蚀机理一直是近几年来深入研究的课题，已有很多详细描述腐蚀机理的文章发表。概括起来，在混凝土中的钢筋可能处于下列四种状态下：

“钝化状态”，钢筋处于无污染的碱性水泥浆环境中，由一种稳定的氧化膜保护着而免遭腐蚀。

“一般腐蚀”，钢筋表面均匀锈蚀，通常是由于碳化作用使碱性降低引起的。腐蚀的速率主要取决于周围环境的湿度及温度。

“坑蚀”，在钢筋与水泥浆的界面上，由于氯化物侵蚀，导致钢筋在许多局部迅速腐蚀（图1—1）。

“无保护（但有阴极约束）”，这时钢筋处于饱和的混凝土中，没有足够的氧气使其钝化。因为整个系统缺少促使阴极（非腐蚀端）反应所需要的氧气，腐蚀通常因缺少阴极电流而受到限制。然而，在此条件下若仅某一片断的一小部分混凝土处于饱和，则腐蚀可能会迅速发展并导致钢筋截面损失，但是不会生成常见的可膨胀的红锈皮。



图1-1 在饱和的混凝土中出现的严重坑蚀

在上述各种情况下，腐蚀都是一种电解过程。这一过程

需要混凝土中有一定的水分来提供足够的电解液（事实上在无盐的混凝土中相对湿度低于50%时，腐蚀就停止，在含有氯化物的混凝土中，腐蚀停止时相对湿度就更低一些）。在非腐蚀端（阴极）需要有维持反应进行的氧气，以便能提供电流给腐蚀端（阳极）。腐蚀和许多取决于化学反应的过程相同，腐蚀速度随着温度的增高而加快。

1.3 混凝土开裂是钢筋腐蚀的一个征兆

除了骨料铁锈引起的锈蚀外，钢筋严重锈蚀最早可看见的征兆通常就是钢筋所在位置的混凝土表面出现与钢筋平行的细裂缝（如图1—2~1—6所示）。

由于混凝土抗拉强度低，并且没有柔性，所以只需少量的锈皮就能使其开裂。而当混凝土保护层剥掉而使钢筋完全裸露时，在这一阶段，钢筋几乎可视为自由锈蚀。

事实上，混凝土与钢筋纵向平行开裂总是意味着锈蚀正

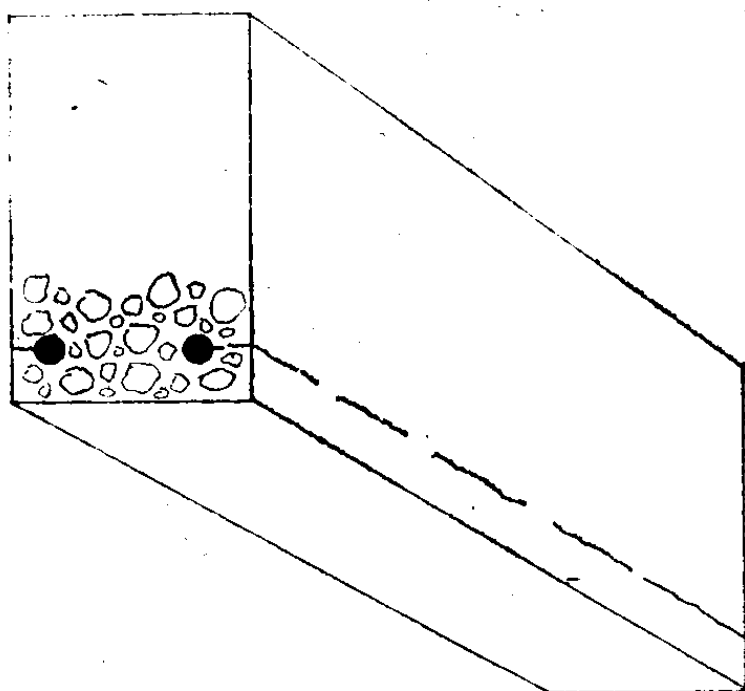


图1-2 这种细裂缝可作为钢筋锈蚀的早期信号

在迅速发展，并足以引起较大的后果。随着时间的推移，损坏将会变得更加明显，但这取决于紧靠钢筋的混凝土的内部状况。

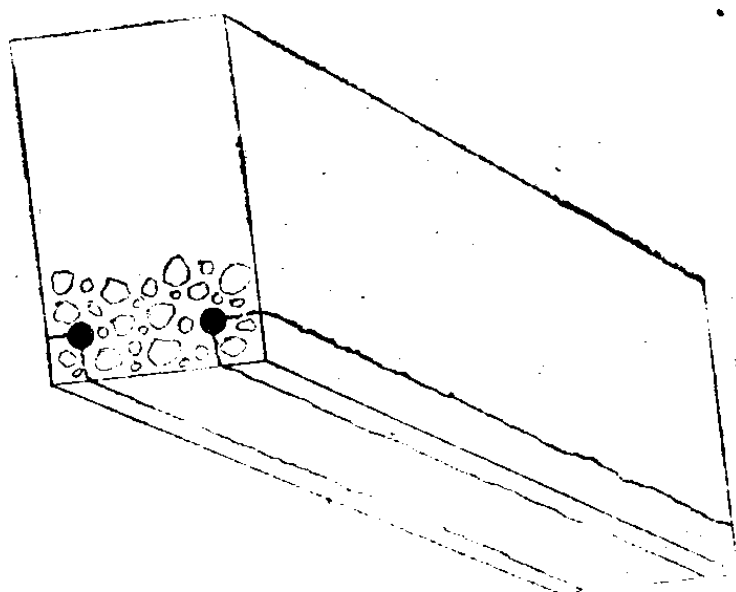


图1—3 当梁上出现第一条裂缝后，紧接着其它表面也会出现裂缝

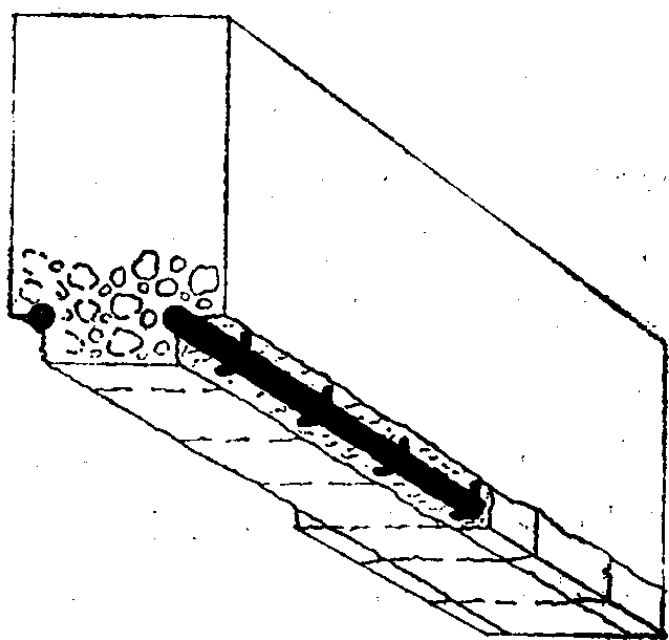


图1—4 疏松的混凝土终于脱落，钢筋裸露

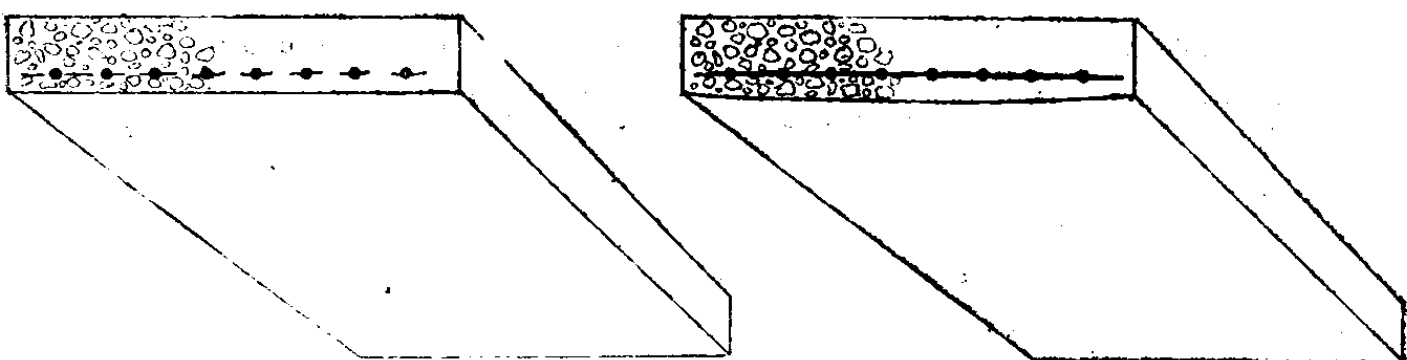


图1—5 裂缝也会在混凝土的厚度范围从一根钢筋伸向另一根钢筋。混凝土内部的空洞虽然看不见，而如果用锤子敲击保护层，就能很清楚地听见空洞声

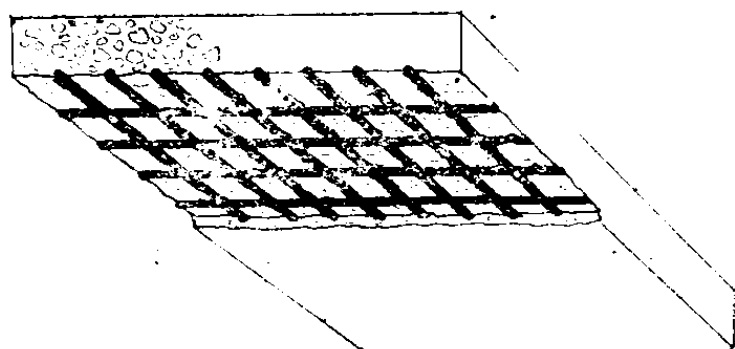


图1—6 无法预料这块板在突然掉下来之前还能维持多长时间

不是所有的裂缝都是由锈蚀引起的。然而不管在钢筋混凝土中出现多细的裂缝，都表明损伤已经产生。损伤是否进一步发展，将与裂缝产生的原因、裂缝与钢筋的相对位置有关。

不同类型裂缝的重要性将在2.2.4节中论述。当裂缝与受力钢筋垂直（横向裂缝）时，通常并不表明钢筋正在锈蚀。这些裂缝或者是由于混凝土凝固后不久收缩受到限制引起的（通常是热收缩或下陷），或者是由于荷载作用产生应力引起的。

如果这些裂缝不与钢筋纵向平行，并一直处于微细状态（通常裂缝宽度小于0.3mm），它们一般不会引起钢筋锈蚀。

如果裂缝正好沿着钢筋纵向方向，则不管这裂缝有多细，都是由于锈蚀引起的，这种裂缝表明损坏将会继续发展。

图1—7、1—8是混凝土损坏的两个实例。



图1—7 这是一些预制混凝土的铁路栅栏，其中的裂缝是由于锈蚀引起的，这时混凝土不能保护钢筋免遭腐蚀，有两种原因：（1）保护层质量很差并且很薄。因而能迅速碳化到钢筋表面；（2）为了促使混凝土硬化，增加预制工作的生产率，而在混凝土中掺有氯化钙混和物

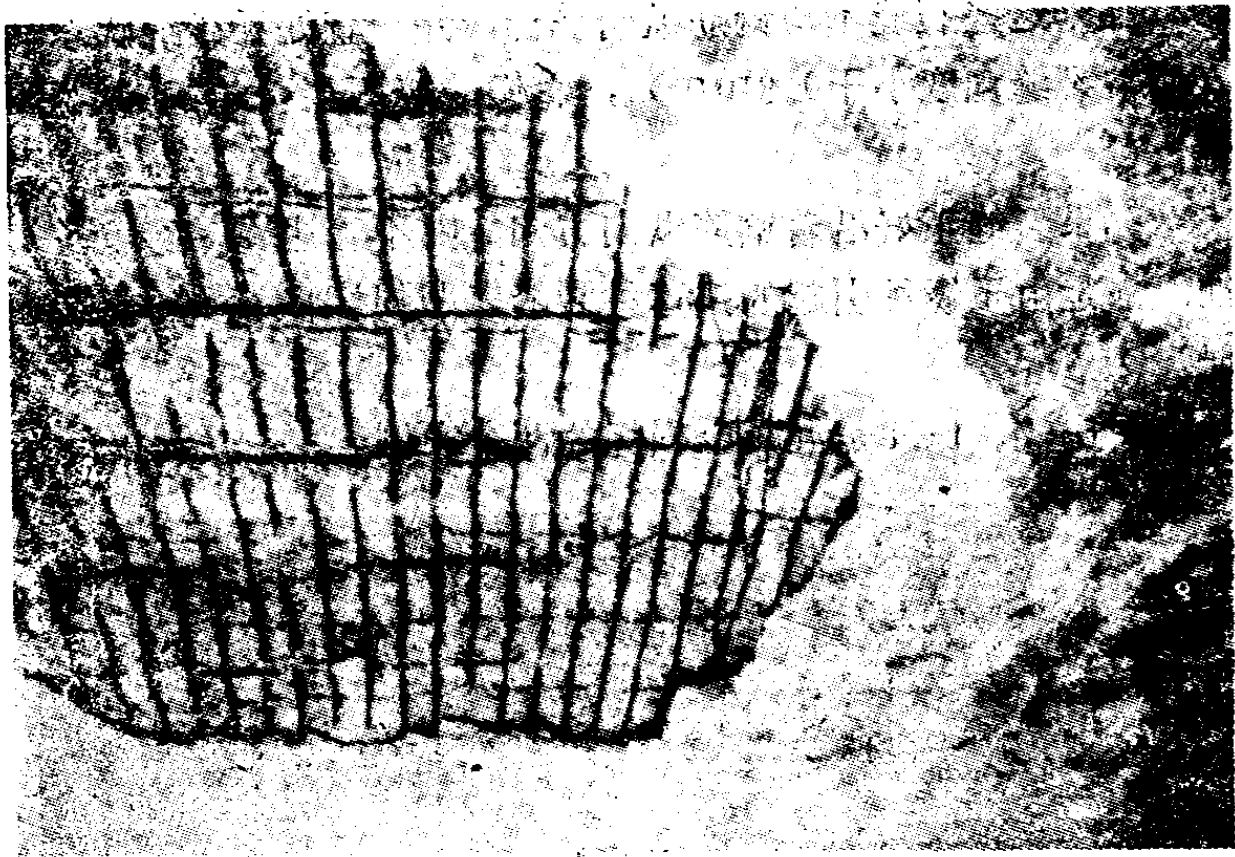


图1—8 巴林岛通廊顶部的混凝土严重剥落，毫无疑问是混凝土质量很差，钢筋保护层很薄。有砂浆垫层的（图右端）就比全是混凝土的防护效果要好。即使早期出现损坏，如果对混凝土进行了一定的检验，图中所出现的损坏也能预测

1.4 混凝土质量的重要性

假如钢筋的混凝土保护层厚度是足够的，当评定早期裂缝是否将是严重损坏的征兆时，混凝土质量是一个很重要的因素。专家通过用肉眼观察，辅以用锤子敲击，就可对一般的混凝土质量有一个大概的了解。但是，混凝土中是否存在杂质及碳酸盐等还需通过对试样的化学试验才能发现。

1.5 环境的影响

钢筋混凝土结构的损坏是否严重，周围环境的影响也是一个非常重要的因素。在室内环境中，较小的裂缝和混凝土

质量的一些缺陷（不包括氯化物杂质）不会引起严重的问题。相反在恶劣的环境中，如海水飞溅区域、干湿交替的地方以及既热又干燥的气候条件，则要求不含有害杂质的高质量的混凝土，这样才能在长期使用中得到满意的效果。当混凝土总是处于饱和的条件时，由于缺少氧气，一般是不会腐蚀的（见1.2节）。

裂缝与混凝土质量的研究资料表明：通常考虑构件的暴露条件以及侵蚀环境就可预估混凝土结构的损坏速率。

在公路桥梁上使用的除冰盐形成了一个局部人为的侵蚀环境。在美国，由于这种方法引起的损失价值达几百万美

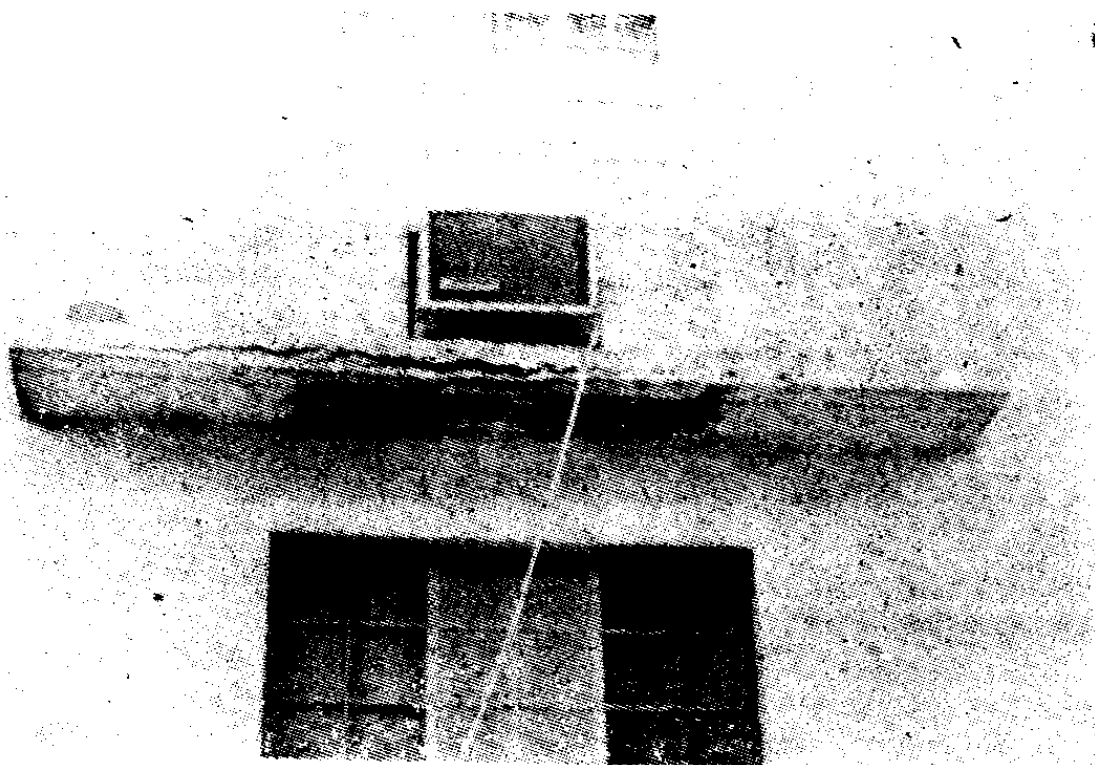


图1—9 这是巴林岛的一个阳台。虽然它是由劣质混凝土建成的，并且其中夹带着由风带来的含盐砂尘杂质，而钢筋锈蚀引起的进一步损坏仅仅发生在空调设备所在的区域，这种破坏是经常受水浸湿引起的。（把水从这个单元引入地下的管子是最近加上的，不用怀疑是当损坏已很明显时才安的管子）。总有一天，当大部分钢筋被锈断时 这个阳台将会塌落而掉到街上