

有孔陶粒混凝土的研究

Ю. Е. 柯尔尼勒維契 著
М. Г. 維尔日比茨卡亞

建筑工程出版社

烏克蘭建築科學院
建築材料研究所

有孔陶粒混凝土的研究

張秋濤 譯

建筑工程出版社出版

• 1958 •

内容提要 本书是乌克兰建筑科学院建筑材料研究所有孔陶粒混凝土的一本科学通报。

本书主要叙述了用有孔陶粒制造各种类型的轻质混凝土的性能及制造工艺，特别是有孔陶粒混凝土的试验研究成果。

此外，本书还阐述了有孔陶粒混凝土的来源，有孔陶粒用于制造混凝土的优缺点，有孔陶粒混凝土的试验方法以及其强度的若干问题。

最后，介绍了有孔陶粒混凝土配合比的设计，并举了若干的计算例题。

本书可供建筑材料方面的工程技术人员、科学工作者以及中等和高等学校学生参考。

原本说明

书 名 КЕРАМЗИТОБЕТОН—ПРОГРЕССИВНЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

著 者 Ю.Е. Корнилович, М.Г. Вержбицкая

出版者 Государственное издательство литературы
по строительству и архитектуре
УССР

出版地点 及 年 份 Киев—1955

有孔陶粒混凝土的研究

張 秋 瀾 譯

※

建筑工程出版社出版 (北京市惠康門外大街)

(北京市书刊出版业营业许可证书第052号)

建筑工程出版社印刷厂印刷·新华书店发行

书号915 52千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ ·印张 $2\frac{5}{8}$

1958年8月第1版 1958年8月第1次印刷

印数: 1—1,800 册 定价 (10) 0.38 元

目 录

序 言	4
第一章 有孔陶粒混凝土强度的基本因素的研究	7
一、問題的一般情况	7
二、人造砾岩受拉时破坏的几种基本型式的研究	14
三、輕質砂浆与輕質混凝土的强度因素的研究	30
第二章 有孔陶粒混凝土特性的研究 (利用基輔原料制的有孔陶粒)	44
一、混凝土組成成分的研究	44
二、輕質隔热混凝土	50
三、外墙結構用的輕質混凝土	54
四、承重鋼筋混凝土与混凝土結構用的輕質混凝土	59
五、簡短的結論	63
第三章 有孔陶粒混凝土配合比的設計与制造 暫行指示草案	65
一、序 言	65
二、材 料	66
三、有孔陶粒混凝土品种的选择	68
四、利用石英砂的有孔陶粒混凝土的配合比設計	69
五、利用有孔陶砂的有孔陶粒混凝土的配合比設計	75
六、大孔有孔陶粒混凝土(无砂)的配合比設計	76
七、混凝土配合比計算实例	77
八、有孔陶粒混凝土的制造	82
参考书籍	84

序 言

苏联共产党中央委员会和苏联部长会议所作的关于发展装配式钢筋混凝土结构和配件生产的决议，确立了我国建筑事业今后的发展道路。

目前，制造与应用装配式结构与配件的日益增长的经验证明，在建筑实践中广泛采用有效的轻质混凝土具有重大的意义。例如，应用轻质混凝土可以极简单地制造同样的大型墙壁构件，以代替复杂的多层预制板。

大家都知道，容重不超过 1800 公斤/立方公尺的混凝土称为轻质混凝土。根据苏联建筑科学院的分类[1]，轻质混凝土可以分为以下三种：1) 制造构筑物隔热构件用的混凝土，在干燥状态下的容重应为 700~1000 公斤/立方公尺，标号不应小于 15 号；2) 制造无筋与有筋(架立钢筋)的构筑物外墙用的混凝土，在干燥状态下的容重不应大于 1500 公斤/立方公尺，标号从 35 至 75 号；3) 制造承重混凝土结构与钢筋混凝土结构用的混凝土，在干燥状态下的容重不应大于 1800 公斤/立方公尺，而标号不应小于 100 号。

基本上，只有采用轻而坚固、价格便宜的骨料，才有可能制得轻质混凝土。

在苏联，轻质混凝土在建筑中的应用及其性能的研究工作，是在利用浮石和凝灰岩作为骨料的基础上开始的。这两种岩石矿床在阿尔明尼亚和格鲁吉亚的领土上储量极大。因此，用这种骨料作的混凝土，就成为最富有研究价值的混凝土。

土。但是，在苏联的大部分領土上，沒有适于作为輕質骨料用的岩石。在这种情况下，必須依靠人工制造，主要是采用粘土与矿渣膨胀的方法来制造。結果所获得的人造有孔骨料，通常称为有孔陶粒(Керамзит)和浮渣(Термозит)。

有孔陶粒与浮渣的制造工艺，基本上是根据試驗室的試驗和半工廠性质的經驗暂时制定的。因此，就需要繼續把这种制造工艺加以明确规定。目前，正采取一些措施来組織此类人造骨料的工业化生产。在別司古德尼柯夫(在莫斯科)，莫斯科市执行委员会所属的一些机构里，都装設了生产有孔陶粒的試驗用設備，并已投入生产。在伊斯大林命名的馬格尼托果尔斯克冶金工廠和日丹諾夫冶金工廠里，已經熟練地掌握了利用机械方法制取浮渣的實驗-工业式設備。在頓巴斯的叶那基也夫斯基冶金工廠里，正在采用的生产浮渣的坑式方法，乃是一种比較原始的方法。

許多組織，譬如，南方建筑科学研究所，全苏工业与民用建筑施工組織与机械化科学研究所，中央建筑材料科学研究所等，正在研究寻觅一些新的有效的輕質骨料。

随着輕質混凝土的生产与应用的扩大，为了解决一系列的实际問題，在这一方面广泛地进行科学研究，就显得更加需要了。

当輕質混凝土仅使用有限的几种骨料来制造，并且应用的范围也比較小时，还允許純粹用經驗方法来选择混凝土的配合比。虽然这种方法的有效性很小，但这种方法的特点之一是有许多的經驗公式，而每一个經驗公式都适用于用一种固定的骨料制造混凝土。一些新的人造骨料的出現，就需要有一些新的經驗公式。

当輕質混凝土强度的一些基本因素被闡明，一般規律(强

度的因素是从属于这些规律的)被确定的时候,选择輕質混凝土配合比用的近似的經驗方法,只有在科学的基础上,才能用比較准确与比較經濟而統一的配合比設計方法来代替。在这些规律作最終結論以前,应当进行广泛的試驗工作,这些工作包括有各种各样的个别情况。这样一来,为了提高輕質混凝土的經濟意义而改善其配合比的选择方法,以及为了合理地应用輕質混凝土起见,就必需研究这些混凝土的一系列的强度理論問題。

到目前为止,用人造骨料制造的輕質混凝土的工艺及建筑性能的研究,仅用一些个别种类的骨料来进行,这些骨料主要是用实验室的試驗方法制得的。但是,輕質混凝土的最主要的特点(此特点是骨料的特性对于輕質混凝土的物理-力学性能有很大的影响),并不能与更深刻研究的用天然輕質骨料制成的混凝土相类似。为了提高輕質混凝土的制造与应用的有效性,必需研究用个别种类有孔陶粒和浮渣制造的混凝土的工艺和建筑性能的特点,有孔陶粒和浮渣是从各种地方原料中,其中包括几乎完全未按照此目的研究过的基輔的泥灰質粘土制取的。

根据上述的一些任务,在乌克兰建筑科学院建筑材料研究所里,进行着各种輕質混凝土,其中包括有孔陶粒混凝土的理論与实验研究工作。

本科学通报包括下列內容: 1)有孔陶粒混凝土强度的基本因素之研究; 2)有孔陶粒混凝土与基輔原料制的有孔陶粒的特点之研究; 3)有孔陶粒混凝土的配合比設計与制造暂行指示草案。这一工作在許多方面是以水泥胶結性能的研究为依据的,而这些水泥胶結性能,是研究所〔2〕在很久以前所研究完成的。

第一章 有孔陶粒混凝土强度的 基本因素的研究

一、問題的一般情况

最近，有許多研究者在从事輕質混凝土和有孔陶粒混凝土的强度問題的研究。为了計算輕質混凝土的强度，他們曾提出了一些經驗公式。这些公式中的一批，仅仅对于所限定的骨料來說是正确的，而这些骨料的性能是限制在极狹小的范围之內的。在这些公式中，对于骨料强度所引起的影响，用一些各种各样的隱蔽系数考虑进去。下述这些公式就是属于这一种的：

Н.А.巴保夫(Н.А.Попов)所提出的公式：

有孔陶粒混凝土：

$$R_6 = 0.40 R_n \left(\frac{II}{B} - 0.25 \right);$$

浮石混凝土：

$$R_6 = 0.25 R_n \left(\frac{II}{B} - 0.25 \right);$$

М.З.西蒙諾夫(М.З.Симонов)所提出的公式：

浮石混凝土：

$$R_6 = 0.01 \sqrt{R_n} (II + 10);$$

阿尔吉克凝灰岩混凝土：

$$R_6 = 0.012 \sqrt{R_n} (II + 10);$$

Г.Д.齐司克列里(Г.Д.Цискрель)所提出的公式：

阿尔吉克凝灰岩混凝土：

$$R_6 = 0.45R_u \left(\frac{II}{B} - 0.25 \right);$$

浮石混凝土:

$$R_6 = 0.35R_u \left(\frac{II}{B} - 0.2 \right);$$

Н.С.高德节耶夫(Н.С.Годзиев)所提出的公式:

凝灰岩混凝土:

$$R_6 = 0.001R_u \cdot II;$$

浮石混凝土:

$$R_6 = 0.06R_u(1 + 0.011II)。$$

另外一批比較通用的公式，也是仅仅对于所限定的骨料来说是正确的。但是，其性能的研究范围較广，并且对于骨料强度的影响也公开加以計算。例如 В.М.胡达魏尔江(В.М.Худавердян)計算凝灰岩混凝土的公式即属此类:

$$R_6 = \frac{R_3}{3} \left[\sqrt{1 + 6.6 \frac{R_u}{R_3} \left(\frac{II}{B} - 0.5 \right)} - 1 \right]。$$

在所有的公式中，都采用下列的代表符号:

R_6 ——混凝土28天以后的受压强度极限(公斤/平方公分);

R_u ——水泥的活性(公斤/平方公分);

II ——每立方公尺混凝土中的水泥用量(公斤);

B ——每立方公尺混凝土中的水用量(公升);

R_3 ——骨料受压强度极限(公斤/平方公分);

$\frac{II}{B}$ ——真正的水灰比，即水泥重量与水量之比，可是

要把被骨料吸收的那一部分水量扣除。

上述的經驗公式，都存在着經驗公式所具备的全部缺

点，其中准确性和适用性都很小，而且应用的范围极狭小。这些公式不能够作为研究混凝土强度基本因素的基础，也不能够成为运用它们的根据。解决这些实际问题，仅可以借助于 A. И. 瓦干諾夫 (А. И. Ваганов) 在他的最完滿的著作 [3] (发表于 1954 年) 中所創立的輕質混凝土的强度理論。他的有孔陶粒混凝土的受压强度理論，一般可以应用到輕質混凝土上去，也可以作为研究有孔陶粒混凝土受压强度极限与变形的根据。但是，在 A. И. 瓦干諾夫的著作里，还存在一些问题，这些问题的解决，应该成为今后的研究目的。

A. И. 瓦干諾夫在科学上的主要功績，乃是他发现了这样一个情况，即輕質混凝土变形特征的变化过程（其中包括有孔陶粒混凝土），是随着混凝土中砂浆强度的变化而变化的。这个过程可分为两个阶段。他完善而又正确地指明，在第一阶段里，砂浆强度的增长，引起了用此砂浆所制的有孔陶粒混凝土之极限变形的增长，并且这一阶段的界限，也就是有孔陶砾 (Керамзитовый гравий) 的极限变形。A. И. 瓦干諾夫还指明了第二阶段的特征，在这一阶段里，当砂浆强度繼續增长时，有孔陶粒混凝土的极限变形并不增加。

第二阶段的这个特征并不准确。事实上，預先研究了 A. И. 瓦干諾夫自己所作的試驗資料之后，我們可以正确地把求出的各个点連結起来，例如在他的图 3、15 和 21 上。此时，可以清楚地看出，在第二阶段里，极限压縮性的增长和混凝土强度的增长还是产生的，但它是按照另一种规律（增长的程度很小，见图 1、2 和 3）在增长。

分析 B. M. 胡达魏尔江 [4] 对于用火山凝灰岩制造各种不同强度的輕質混凝土所作的資料后，我們可以得出相似的結論。由于混凝土內的砂浆强度是和它的灰水比成正比的，

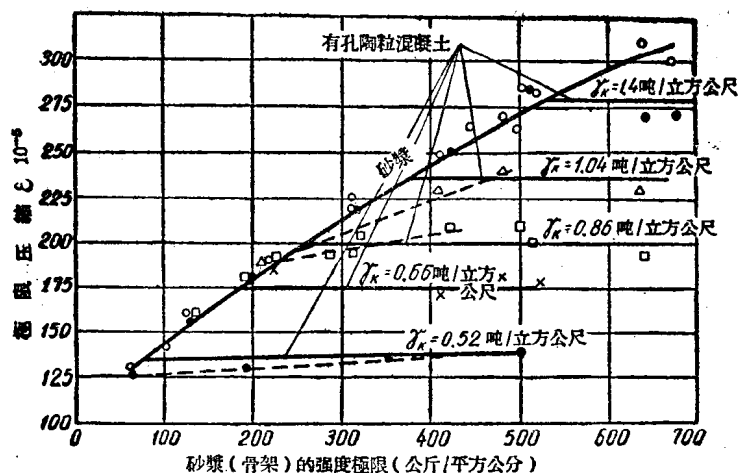


图 1 砂浆的强度极限和有孔陶粒颗粒的容重对于砂浆和有孔陶粒混凝土的相对极限压缩的关系。实线——瓦干诺夫的图表；虚线——对这些曲线所作的修正

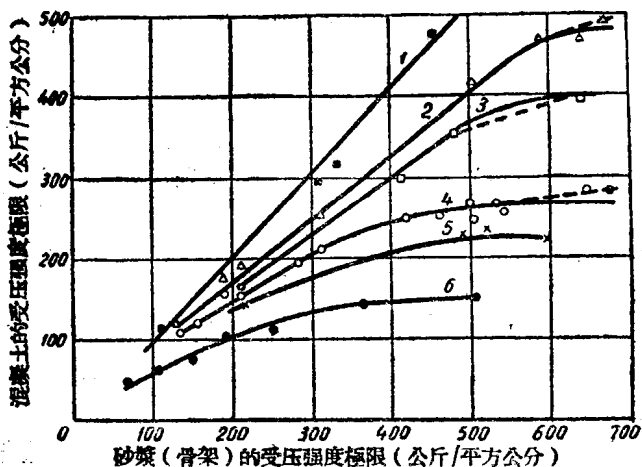
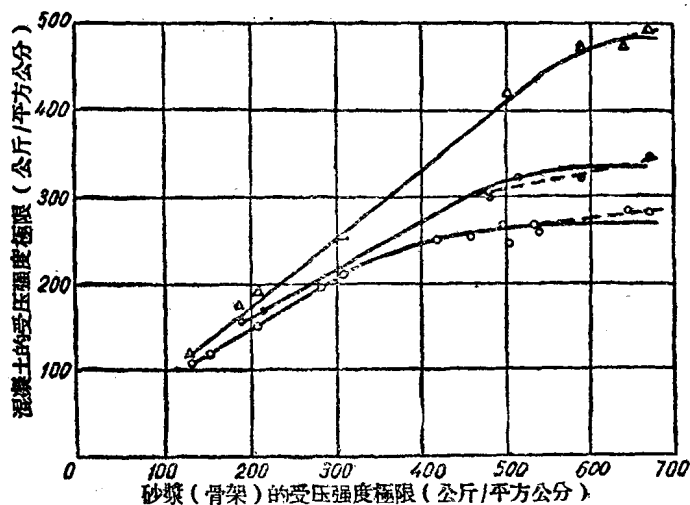


图 2 砂浆的强度极限和用各种不同骨料的混凝土的抗压强度极限的关系。实线——瓦干诺夫的图表；虚线——对这些曲线的修正

所以图 4 上 B.M. 胡达魏尔江的曲线和上面所介绍的 A.H. 瓦干諾夫的曲线，基本上是没有什么区别的。同时，第二阶段内混凝土强度的增长是非常明显的。

根据第二阶段的特征，A.H. 瓦干諾夫从而得出结论，当制造轻质混凝土时，应当仅以第一阶段为准。因为在第二阶段内，砂浆强度的增长并不会引起混凝土强度的增长，或者增长得很小。由于这样，瓦干諾夫甚至还给它起了个专门名词，叫作“有孔陶粒混凝土之极限强度”。

这种主张限制了制取高标号轻质混凝土的可能性，因此需要重新加以审查。在第一阶段期间内，轻质混凝土的破坏



- △ 有孔陶粒作的有孔陶粒混凝土 $\gamma_k = 1.40$ 吨/立方公尺
- 有孔陶粒作的有孔陶粒混凝土 $\gamma_k = 0.86$ 吨/立方公尺
- 用有孔陶粒混合料作的有孔陶粒混凝土

图 3 利用不同等级的有孔陶粒混合料作的有孔陶粒混凝土的受压强度极限。实线——瓦干諾夫的图表；虚线——对这些曲线的修正

是沿着砂浆层发生的，骨料的强度未被利用。因此，輕質混凝土的高强度可以利用第二阶段来获得。在第二阶段时，混凝土的强度决定于砂浆和骨料的总和强度。

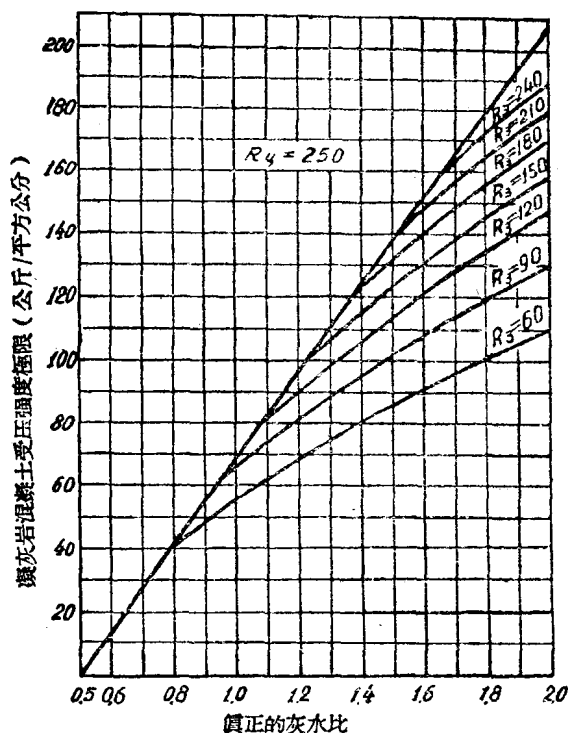


图 4 灰水比对于模灰岩混凝土受压时的强度的关系 (根据胡达魏尔江的资料)

分析上述有孔陶粒混凝土受压强度的理論之后，我們可以有把握地作出結論：这个理論 (即瓦干諾夫所持的理論——譯者注) 有一部分会遇到重要的反应，这一部分与第二阶段的破坏有关 (当着骨料破坏的时候)。

根据一个沒有根据的結論（即在第二阶段期間內，有孔陶粒混凝土的极限变形，并不取决于砂浆的强度极限，而是一个与有孔陶粒的极限变形相适应的固定的变形），假定在第二阶段內发生有阶段性的破坏：起初是骨料破坏，然后是砂浆。由此得知，有孔陶粒混凝土的强度极限就仅取决于骨料的极限变形。这一个結論被这样一种主张所証实了，这种主张是：极限变形相差悬殊的两种材料共同工作，而在变形时，强度較大、变形較小的材料首先发生破坏。一般說来，这样的实例是可能的，但却并不适合于前述情况。

在輕質混凝土內，在骨料顆粒被砂浆包围与挤压的情况下，砂浆与骨料的极限变形特征，一般彼此相差并不悬殊，变得异常接近。因此极有可能，輕質混凝土的破坏，并不是由于其組成成分有次序的破坏而发生的，它几乎是发生在同一个時間內。同时，混凝土的强度不仅取决于輕質骨料的强度，而且也取决于粘結骨料顆粒的砂浆强度。

从上述的一些图表分析中，可以說明，对于这一种学說有利的是西蒙諾夫（M.3.西蒙諾夫〔5〕也支持这种学說）。我們可以看出，从第二阶段一开始，当砂浆的强度增长的时候，混凝土的变形也同样发生增长，但稍为緩慢一些。此緩慢的原因就是在第一阶段的时候，变形取决于填充在試样全部破坏面积上的砂浆；而在第二阶段时，則仅仅是处在这一面积上的一部分砂浆（也就是骨料顆粒之間的那一部分砂浆），引起了变形的改变。

这样一来，輕質混凝土强度問題的现时状况的批判性的审查，就有必要对它們作进一步的研究。

二、人造砾岩受拉时破坏的几种基本型式的研究

在輕質混凝土方面的一些不同的規律性，其中也包括強度問題，應該當作一般規律的局部情況來加以研究分析。人造砾岩——建築砂漿和混凝土的性能也是從屬於這些一般規律的。

人造砾岩的基本構成成分乃是骨料和粘結骨料顆粒的水泥石。因此很顯然，所有砾岩的強度，首先應該全部地取決於這些組成成分的強度。改變這些成分的同時，就可以闡明人造砾岩破壞的一些基本型式以及有關破壞的一些規律性。

目前，有一種假說被認為是最有可能的。根據這種假說的解釋，砂漿和混凝土在受壓時的破壞原因乃是橫向擴張和主要橫向變形方向上的斷裂所致。當在支座表面上減少了摩擦力的情況下，受壓試件的破壞征狀就証實了這一點。此外，最近的研究資料，例如Н.М.斯維琴(Н.М.Свечин)[6]以及А.И.瓦干諾夫[3]所研究的資料，也都証實了這一假說。在任何情況下，由於斷裂而發生的破壞，應認為是所有破壞型式當中的最基本的型式。

由於這一原因，研究工作是以闡明受拉時的破壞基本型式為開端的。試驗工作按下述方法進行：用純水泥漿製造一些8字形試樣，在試樣頸變部分的中央，嵌放進同種類的骨料顆粒，其面積的大小，應大約填滿8字形頸變部分斷面的一半。這樣所制得的試樣，就好象任何的砾岩構件一樣了。此砾岩是由水泥石包圍着的骨料所組成的。

應用各種等級的水泥，改變水灰比和硬化時間，可以使水泥石的強度在一個極大的範圍內變動。骨料也同樣選擇各種不同的強度。為此，利用這樣一些骨料：花崗岩碎石；各

种不同品种的有孔陶粒；波特兰水泥塔結块；最后还有用水泥石（按預定的强度制造的）作的人造骨料。用水泥石作为骨料的研究是由 П.П. 格魯日盖(П.П.Глужге)〔7〕創始的，他并且指出为解决一系列的混凝土强度理論問題而采用这种骨料的前途。本通报所叙述的一些研究資料証实了这点。

应用各种各样的骨料和水泥石的无数次的結合，决定了它們彼此之間具有各种不同的粘結力。起初，在利用花崗岩碎石的时候，此粘結力是不强的；最后，在利用水泥石和塔結块作为骨料的时候，此粘結力就极为完善了。这样一来，所制成的試样，改变其强度（此强度是在标准仪器中用拉伸的方法确定的）基本因素的不同的变化方案就实现了。

对于上述大量試样所作的破坏特征的研究，使得能够确定，砾岩构件在受拉时存在三种基本的破坏型式。

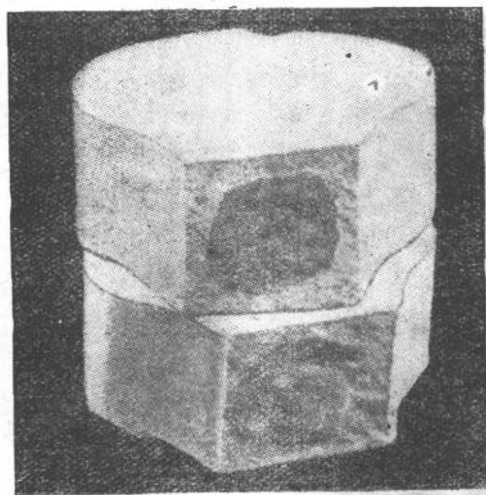


图 5 砾岩构件受拉时按型式 A 发生的破坏

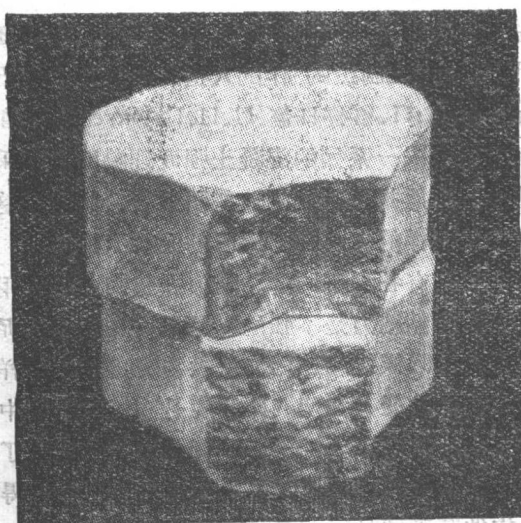


图 6 砾岩构件受拉时按型式 B 发生的破坏

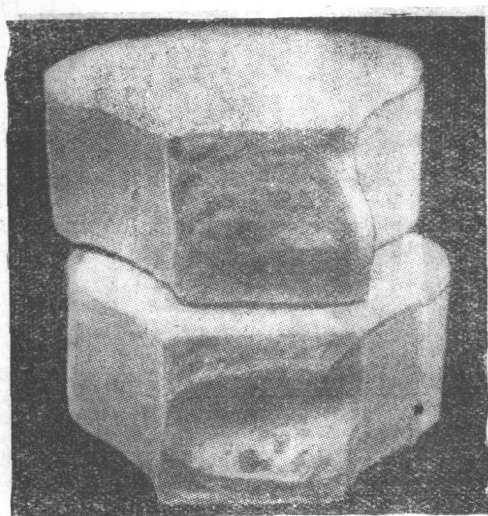


图 7 砾岩构件受拉时按型式 B 发生的破坏