

# 土石坝工程

华东水利学院《土石坝工程》翻译组译

水利电力出版社

06

# 土石坝工程

XXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXX

# 土 石 坝 工 程

华东水利学院《土石坝工程》翻译组译

水利电力出版社

ZV49/45 07

### 内 容 提 要

本书系根据美国1973年出版的《Embankment-Dam Engineering》一书译出，内容包括土坝与堆石坝的设计、施工与科研等各方面的有关问题，并引用了近若干年来世界各国在土石坝工程实践中一些较新的资料。全书计有8章，分别介绍了堆石的现场试验，土坝的渗流控制，土坝的边坡稳定分析，堆石的力学性质的试验和分析，地震时土坝的边坡稳定，分节管道伸张的估计，土石坝开裂的探讨，土石坝的沉陷变形等。

本书可供水利水电工程技术人员使用，也可供有关大专院校的师生参考。

Embankment-Dam Engineering  
John Wiley & Sons, New York 1973

### 土 石 坝 工 程

华东水利学院《土石坝工程》翻译组译

水利电力出版社出版  
(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售  
水利电力出版社印刷厂印刷

1978年9月北京第一版

1978年9月北京第一次印刷

印数 00001—14770册 每册 1.95元

书号 15143·3327

## 译 序

建国以来，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，全国大办水利。已兴建的大、中、小型水库，数以万计。特别是社办县办的中小型水利工程，更如雨后春笋。在所建造的坝工中，大多数为土石坝。因其利用当地材料，且可土法上马，极有推广的价值。近年来，在国内曾出版了若干专门著作，对修筑土坝技术加以介绍。与此同时，世界各国的坝工也把注意力转移到研究土石坝的设计与施工上。在某些方面有所发展，也有其独到的见解。

最近美国出版的《土石坝工程》一书，系由十一位从事设计和研究土石坝的专家所撰写。全书共分为十一个专题，涉及到土坝与堆石坝中的许多重要问题。我们本着毛主席“洋为中用”的教导，选择了其中八章，译成中文，以供国内从事水利水电建设工作的工程技术人员参考。

此书的内容有以下一些特点：

1. 每章的材料均独立自成体系，可以单独阅读，和前后各章无甚关系。
2. 各章所引用的材料均系取自各国实际工程，并应用理论分析其因果关系，而无繁琐的公式推导。
3. 文中引用了若干坝工实例，以具体的地质地形条件为基础，分析其失事及破坏原因，作出一定结论。不仅其方法可作为分析问题的参考，而且其结论也可作为设计与施工的借鉴。
4. 文中在各方面介绍了一些较新的观点和方法，例如对于堆石的力学性质的试验方法及研究分析；对防渗与排水的综合考虑；对边坡稳定的全面分析，并应用电子计算机加速计算；对边坡稳定、承载力及土压力的统一理论；地震时边坡的稳定分析；水力破裂及分散管涌的较新概念；土坝裂缝和沉陷的观察及分析；分节管道伸张量的简单估计等。

但是，在参考和阅读本书的资料时，决不可迷信，应抱批判接受的态度，取其精华，去其糟粕。因为资本主义国家学者看问题往往是形而上学的，缺少辩证的观点。希望读者阅读时，加以注意。此外，每个工程均有其具体的情况，切不可生搬硬套。对于有用的结论与方法，也应结合我们的国情，加以应用和改进。

译者大都系利用业余时间从事此项工作的，加以受到水平限制，译文中一定有许多错误和不妥之处。因此，诚恳地希望广大读者批评和指正。

译 者

# 目 录

## 译 序

第一章 压实堆石现场试验 .....	1
一、振动碾压的局限性 .....	2
二、试验采石场 .....	3
三、试验堆石料的施工设备 .....	5
四、试验堆石料的布置 .....	6
五、进行试验的步骤 .....	7
六、资料评价 .....	10
七、碾压机比较试验 .....	13
八、施工控制试验 .....	14
九、结语 .....	19
第二章 土坝的渗流控制 .....	20
一、绪论 .....	20
二、管涌破坏的预防 .....	21
三、防渗 .....	29
四、排水方法 .....	36
五、结论 .....	44
第三章 边坡稳定计算 .....	45
一、绪论 .....	46
二、基本力学原理 .....	49
三、普遍条分法 .....	65
第四章 堆石的力学性质 .....	93
一、绪论 .....	94
二、颗粒骨架 .....	95
三、接触力 .....	106
四、颗粒破碎 .....	117
五、试验设备与试件的制备 .....	128
六、抗剪强度 .....	139
七、破坏理论 .....	159
八、应力-应变关系 .....	171
九、实用中堆石的选择与估价 .....	186
第五章 土坝下铺设在可压缩地基上的分节管道的移动 .....	192
一、绪论 .....	192
二、研究的背景 .....	193
三、有限单元法分析 .....	196

四、从分析中得出的结论 .....	203
五、影响泊桑比的因素 .....	203
六、观测管道移动的步骤 .....	204
七、观测中的水保局坝介绍 .....	205
八、对水保局坝观测的讨论 .....	209
九、提要与结论 .....	219
<b>第六章 土坝和堆石坝在地震时的稳定性 .....</b>	<b>221</b>
一、赫布根坝(1959年) .....	222
二、下圣费南多坝(1971年) .....	226
三、地震引起土坝破坏的可能途径 .....	227
四、过去评价地震时土坡稳定性方面的实践 .....	228
五、拟静力分析中地震系数的选择 .....	228
六、动力反应分析 .....	235
七、谢菲尔德坝破坏的分析 .....	237
八、结论 .....	249
<b>第七章 堆筑坝的开裂 .....</b>	<b>251</b>
一、绪论 .....	251
二、历史概述 .....	251
三、水力破裂 .....	251
四、经验教训——土坝 .....	253
五、美国的小坝 .....	271
六、经验教训——土质心墙堆石坝 .....	279
七、钻孔中的液体流失 .....	307
八、研究成果 .....	316
九、开裂与抗震设计的关系 .....	323
十、总结：主要的结论和观察 .....	324
<b>第八章 土坝和堆石坝的变形 .....</b>	<b>329</b>
一、绪论 .....	329
二、马莫思普尔坝 .....	331
三、埃尔因菲尼罗坝 .....	341
四、内扎华科约特尔坝 .....	351
五、马迪朗坝 .....	359
六、阿科松博坝 .....	365
七、根据变形量测的重要结论 .....	375
八、对未来观测工作的建议 .....	382



# 第一章 压实堆石现场试验

G. E. 伯特伦

自从在土坝及堆石坝的施工中采用羊脚碾压实心墙土料以来，近来对能够压实堆石的重型振动碾压机的发展，已经使筑坝方法发生了重大的变化。最初振动压实的堆石层厚不超过几英尺，而在这以前，通常填筑堆石都是从30至40英尺高处抛填，并用高压水冲实。虽然在三十年代，欧洲已经采用振动碾压机来压实无粘性土，但直到最近数年以前，这一方法还未广泛地应用于坝的施工。

罗伯茨在1958年介绍了苏格兰高溪堆石坝的施工，那里利用经过处理的隧洞废渣填筑成24英寸厚的压实层。用任何别的方法都不能经济地填筑的小石块，用振动压实却成功地把它掺和到坝体中去。德斯提内和李梅报导了在阿尔卑斯山的萨锡尔坝混凝土护面下填筑成一振动压实的堆石带。这个紧密的压实堆石带给混凝土护面提供了均匀的支座，这一点在过去用人工堆筑要花很大费用才能办到。

在美国，高达445英尺的寇加尔坝（图1）于1964年建成，它是第一个使用振动碾压



图 1 寇加尔堆石坝



机来压实堆石坝壳的大型土石建筑物。原标准仅要求里面的堆石带每18英寸厚度用50吨气压碾压机来压实，而外面的堆石带每36英寸厚度只用D-8履带拖拉机压实。用指定的气压碾压机进行四遍碾压后，对18英寸厚的堆石层所造成的压实情况并不比用一般牵引装置和铺展装置碾压所造成的情况更密实些。而坝的巨大高度要求有一个合适的内层堆石带，它支撑着略有倾斜的心墙。该堆石带要尽可能地加以压实，以便使堆石的抗剪强度在极小应变的情况下能发挥出来。其目的在于尽可能地减少心墙开裂的可能。于是就下决心试验振动碾压机。

当时，可以采用的美国造的最重的振动碾压机，静重为9950磅。寇加尔坝在厂家设计并制造出更重的18900磅的碾压机以前，一直应用这种碾压机，后来用18900磅的碾压机一直到施工结束。巴斯根在1964年已经绘出了一个包括堆石带在内的坝的典型横剖面，并给出了堆石料的级配。

为了试验振动碾压机压实分层堆石的效果，在寇加尔坝施工期间，把试验堆石料加入到坝体中去。由于实际上没有关于试验堆石料压实施工和分析的可用资料，因而随着工作的进展，试验方法才建立起来。因此，在寇加尔坝这样一种大规模的现场试验中，对压实试验堆石料的施工和分析方法，是在探索的基础上发展起来的。在其它坝技术上也作了一些比较小的改进。

本章的目的是评论振动碾压的局限性和叙述设计堆石体所需的工地试验，包括试验采石场，试验堆石料，工地密度试验，颗粒分析和相对密度试验。

## 一、振动碾压的局限性

虽然使用重量在10至15吨（静重）之间的重型振动碾压机来压实堆石具有很明显的优点，但就压实这个目的而言，这些碾压机还不是很理想的。它们仅是到目前为止已经发展起来的这种压实的最实用和最经济的设备。

振动碾压机主要的局限性是振动仅适用于碾压层的顶面，在深度方向，碾压机的压实能力是有限的。增加碾压机重量并不能使压实的有效深度成比例地增加。事实上，附加滚筒的重量在表面石块上增加了一个“打击力”，致使在某些情况下，在压实层的表面会产生一定数量不合乎需要的细颗粒。

在当寇加尔坝开始施工时，假设重型振动碾压机能有效地压实5至6英尺厚的堆石层。这个假设是建立在这样的事实基础上的，就是在欧洲一些坝上振动压实堆石带已被指定可达2米厚。在美国，早期试验指出，即使所有粒径大于12英寸的试验堆石料都被剔除，有效的压实深度也不会大大超过18到24英寸。

伯特伦1963年在一篇早期的论文里，曾希望进行进一步的试验，以便有可能确定可以堆填在给定厚度堆石层内的最大石块尺寸。由于堆石试验的经验有所积累，用采石场石料作试验堆石体的目的有所改变，从原来想要建立最大石料尺寸与层厚的关系，改为确定采石场石料是否具有合适的级配，以及当把它用于内层堆石带厚18至24英寸、外层堆石带厚36英寸（最大）时，是否具有足够的坚固性。

振动碾压机的另一局限性是它只有向前移动才能得到最好的压实效果，而象羊脚碾或气压碾压机一类静力压实工具则向前后移动都是同样有效的。振动碾压机只向一个方向移动才有效，这是因为碾压滚筒的振动是由偏心轴或重物在固定方向内转动所产生的，这样就产生了一个最大的向下的力，其方向和碾压机前进方向的垂线成一微小的交角。在碾压过程中我们可以看到，直接在碾压机前面的石块振动得比直接在碾压机后面的石块厉害；在碾压机后面的石块有被推向后面而向上翻起的倾向。

## 二、试验采石场

为压实堆石体的设计和施工而制订的试验计划中，一个主要部分是试验采石场的开发。采石场的地点只有经过艰苦的地质踏勘、绘制地形图和仔细研究典型的岩心钻孔以后才能加以选定。这些步骤有助于保证试验采石场的石料尽可能和生产用的石料类型相接近。

试验采石场不仅生产试验堆石料施工所必需的石料，而且还提供有关毛石料的级配和有关加工方法的资料，这种方法对生产适用于压实堆石的石料是必要的。这些资料和试验堆石料的结果都被用来确定堆石分层的厚度和堤坝堆石部分的一般分区。为生产我们所需要的石料尺寸，炮眼的大小、间距以及炸药的数量和类型需要进行最好的组合，这些都要由试验确定。在某些情况下，试验计划的这些方面可能要比试验堆石料本身所耗费的时间还要多。通常炮眼布置成6至12英尺的方格。硝酸铵浆液和散装的炸药包在各种组合情况下都能作为炸药来使用，这取决于岩石的强度和结构。

在新梅隆斯坝工地，由两种爆破布置型式生产的堆石料粒径曲线，如图2所示。塑性图表示节理和裂隙内小于40号筛的风化材料的可塑性。图上的表格给出了炮眼编号、炮眼尺寸、钻眼的布置型式、压载、炸药系数以及斜度。所给尺寸表明布置是正方形的；“压载”表示从采石面到第一排钻眼的距离等于钻眼的间距。“斜度”给出了钻眼的倾角。这些钻眼是和天然岩石的构造相平行的，以便造成一个整齐的坡脚和使超挖减到最少。

碎石（通常规定为小于6英寸的石块）以及砂粒料用格筛从粗石料中分离出来，这在施工期间具有两个优点：（1）细颗粒（小于1/4英寸）如果不除去而保留在堆石层表面，将使碾压机工作效率降低，并妨碍各分层之间的结合；（2）通过格筛的材料经常可以用作坝体堆石部分和心墙之间的过渡材料。试验格筛可以用来测定通过格筛的材料数量和粒径。施工期间，格筛的费用是比较低的（在那里，只要将采石场石料倒在由预定间隔的粗钢筋组成的单个支架上即可）。事实上，它常常比从其它来源供给的过渡料要便宜得多，特别是当这些代用料必须从远处运来时。因此，这种筛分的基础，与其说取决于妨碍压实效果的砂粒尺寸，还不如说取决于用在过渡区的最大石料尺寸。细颗粒（即那些小于1/4英寸的颗粒）的排除将是一个比较缓慢的过程，它需要较精细和昂贵的筛网设备。

新梅隆斯坝的试验采石场和格筛装置如图3所示。采石场最后在三个30英尺的平台开挖，而在我们所给的图上只能同时看到其中的两个。钢筋间距固定为6英寸的格筛位于图3照片的左下角。倒在钢筋上面的粗石料直接落在格筛的前面，然后被装载车运至试验堆石料工地。和格筛成直角的皮带运输机则将小于6英寸的石料送到料堆。

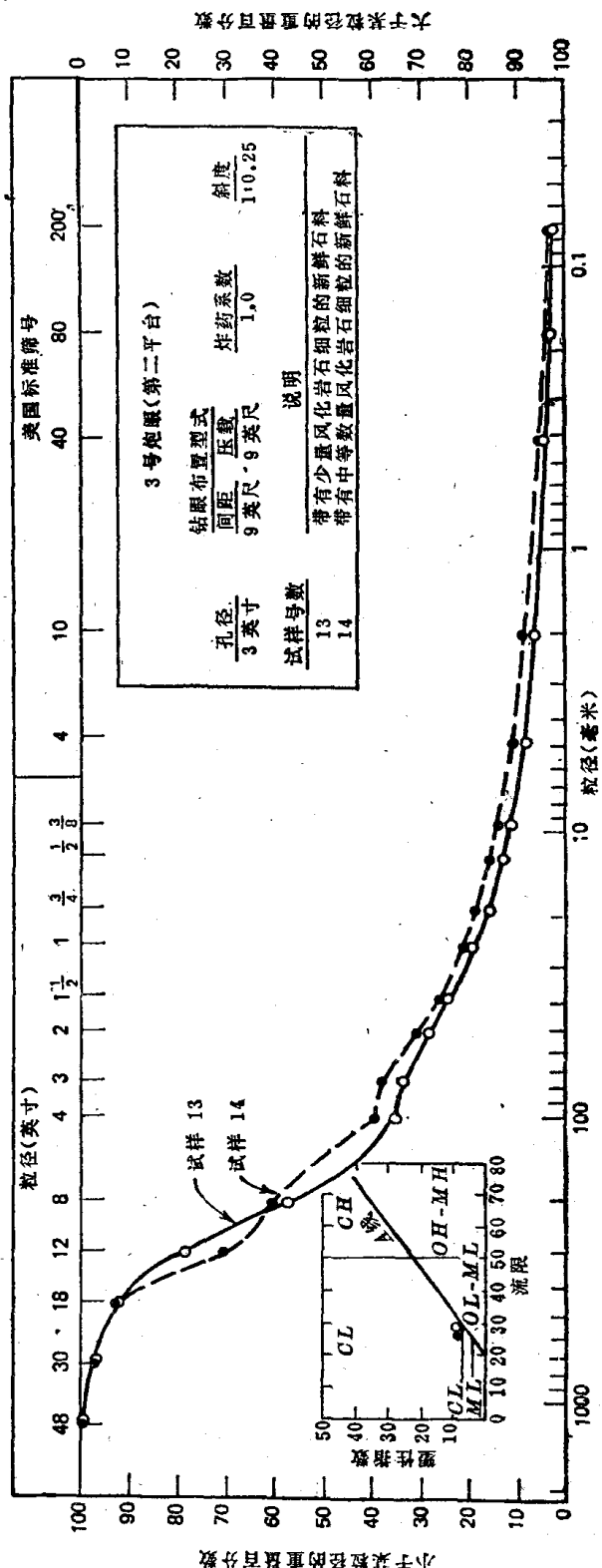
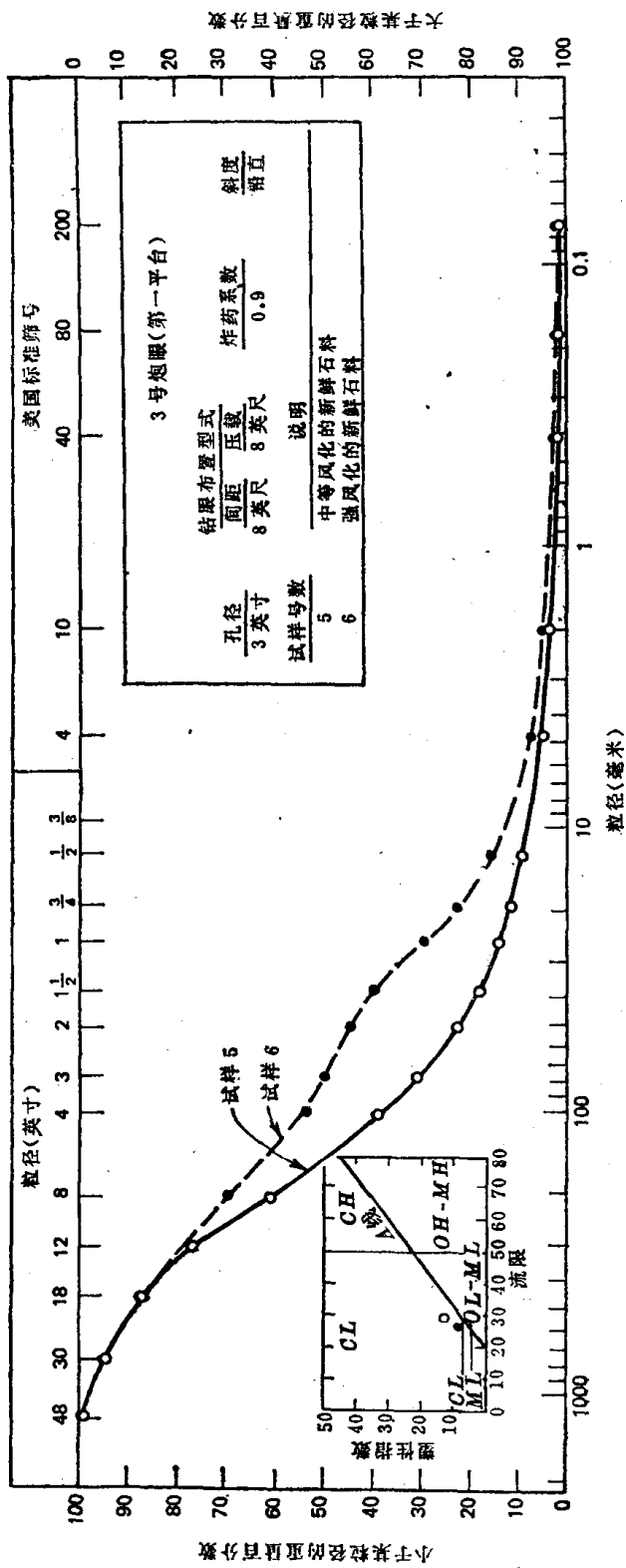


图 2 新梅隆斯坝试验采石场堆石料粒径曲线

图上有符号说明如下:

CL——低到中等塑性的无机粘土, 含砾粘土、砂质粘土、粉质粘土和瘦粘土;

CH——高塑性的无机粘土、肥粘土;

ML——无机粉砂和极细砂、岩粉、粉质或粘土质细砂或者有低塑性的粘土质粉砂;

OH——中到高塑性的有机粘土、有机粉砂;

MH——无机粉砂、云母或硅藻质细砂和粉质土、弹性粉砂。

——译者注

英寸 厘米

英寸 厘米



图 3 新梅隆斯坝的试验采石场和格筛

### 三、试验堆石料的施工设备

堆石体试验段的施工仅需下列重型设备：一台前端装载机或动力铲；运货卡车；一台带有推土刀的履带拖拉机；以及碾压机。

前端装载机可以用来将采石场的石块装入卡车运往格筛或试验堆石场。装载机要比动力铲操作更方便，而且在比较小的工作区域内，也是很经济的。卡车的大小无需特别规定，因为装运的距离通常很短而且搬运材料的数量也不多。

可以用一台带有推土刀的D-8或D-9型履带拖拉机来清理试验场地，将倾倒下来的石料铺成指定的层厚。此外，在压实试验期间还可用它们来牵引碾压机。如果在清理出的地面上直接堆放石料还不够坚固，还可以用拖拉机和碾压机来压出一个与试验段相宜的地基。在试验堆石料的施工中，建议采用牵引式碾压机，因为自行碾压机在陡坡道和转弯处的凹凸地面上工作是困难的。

如果把经过筛分的料用作过渡区的材料，则过渡料的压实特点也应当作为试验堆石料计划的一部分加以考虑。用来压实堆石料的设备同样也可以用来压实过渡料。然而，如果

细砂粒占有很大比例，振动碾压机的压实效果并不是最好的，50吨的气压碾压机在12英寸厚堆石层上工作，效果可能要好得多。

除碾压机之外，并不需要其它设备的详细规格。气压碾压机和振动碾压机的规格如下所述。

**气压碾压机。**气压碾压机至少应具有四个装有气胎的轮子。在碾压期间，对于25000磅的轮载，气胎的尺寸和层数必须能够使气胎压力保持在80至100磅/平方英寸之间。碾压机轮子应并排设置，而且设计成每一个轮子在通过崎岖的地面时承受大致相等的荷载。轮子的间距需使得相邻气胎最近边缘之间的距离，不大于单个气胎在工作压力为25000磅轮载条件下气胎宽度的50%。碾压机还需装有作为压载荷重用的合适的钢锭，这样可以使得每个轮子的荷载在工程师所指定的18000磅至25000磅之间变化。碾压机应在速度不超过5英里/时条件下牵引。

**振动碾压机。**振动碾压机应具有不小于20000磅的总静重，并且当和牵引车一起停在水平地面上时，至少其重量的90%应经过单个的光滑滚筒传至地面。滚筒直径在60至66英寸之间，宽72至80英寸；振动部分（包括滚筒、轴以及内燃机）的重量应不小于12000磅。工作期间的振动频率应在1100至1500次/分之间，而在工作频率条件下的动压力应不小于40000磅。碾压机应在速度不超过1.5英里/时的条件下，用一台D-8履带拖拉机或其他同类的拖拉机牵引。碾压机制造厂方必须提供充分的资料、图纸和技术标准的校核计算。

#### 四、试验堆石料的布置

堆石料压实是根据在碾压机反复碾压行进之下某一堆石层厚度减少的百分数来评价的。工地密度试验虽然在填土料中经常使用，但并不适用于堆石料，因为用大试样进行必要数量的试验所花时间太多。厚度减少平均百分数是通过测量堆石料上大量测点的沉陷来确定的。由于各车装载毛石料的级配各不相同，还因为堆石料的表面总是很不平整的，因此试验场地的面积要比细粒料的工地试验的场地来得大。经验表明，场地面积大到足以允许在等距网格布置下设置25至30个测点，就能取得最好的结果。为此，5×5英尺的方格就可以认为是很实用的，因为这样就可以使堆石层内的单个大岩块不致影响一个单独点以外的量测。4×6英尺或5×7英尺的网格也可应用，这要根据试验场地有效面积的形状来定。任何一条线上的测点不能少于3个。为了避开碾压时将石料从傍边推向外缘或斜坡道而形成的地段，测点离场地外缘不得少于10英尺。因此，一个设有5英尺方格、25个测点的正方形试验场，最小尺寸应为40×40英尺；而设有5英尺方格、27个测点的宽度最小的矩形试验场，则应为30×60英尺。一个典型试验堆石料的平面和横剖面见图4。

建议边坡采用1比1.5（垂直比水平），而为了拖拉机和碾压机行驶方便，两端则用1比5的斜坡道，毛石料的废渣可以用在边坡和斜坡道上。过了斜坡道，两端都应留有足够的转弯余地，以便拖拉机和碾压机能在堆石料上始终向前进方向行驶。

对于某一类石料，4或5层堆石常常就可以提供充分的资料，以确定压实标准。最大堆石层厚一般采用18至24英寸，因为试验堆石料的主要目的是测定内层堆石带材料的压实

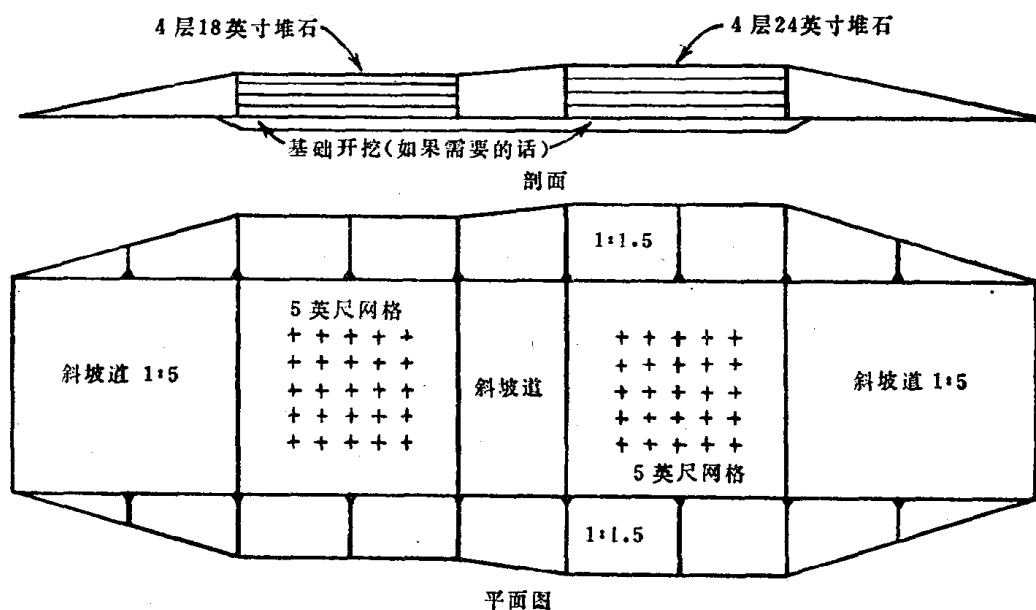


图 4 堆石料试验段的布置

性能,而内层堆石带又常在这个厚度范围之内填筑。因此,试验堆石料仅需 8 至 10 英尺高。

### 五、进行试验的步骤

将每一装载车的堆石填料倾倒在准备好的底面上或者倾倒在先前碾压过的堆石层上,并且用推土机将它们铺展到设计厚度。把疏松岩石倾倒在堆石层的前缘,以便将原来堆石料的水平表面当作铺展过程的导面,这样就可更容易地得到近乎均匀厚度的堆石层。对于这种推土机铺展操作来说,一个有经验的司机是不可缺少的,因为一旦堆石层堆好,要想把一些大尺寸的个别岩块平整到高处或堆填到低地都成为不可能。然而,尽管有这个困难,与平均厚度相差不超过 0.15 英尺的堆石面却是常见的。

拖拉机以及拆除掉振动机械装置的振动碾压机,应当在堆石层的整个表面上作一次单独的碾压。这一步骤的目的是平整表面以及将高处的岩石推到稳定的位置。然后,布置网格,用喷雾器将格点标以颜色。对每一格点进行水准测量,以确定其原始厚度。为了获得每一格点的有代表性的读数,最好是将水准尺安放在 12×12 英寸的钢板上,钢板的中央有一突出的大钉,在其上可安置水准尺。该钢板示于图 5 上,它可以由持尺者很容易地从一点携带到另一点。沉陷数据记录格式示于图 6 中。

在第一次平整碾压以后,拖拉机牵引着振动碾压机在整个堆石面上作两次碾压,前进的速率为每小时 1.5 英里,振动碾压机带有振动机械装置。碾压可以从堆石的任一末端进行。碾压机每一次的碾压应当与前一次碾过部分重迭 1 英尺左右。

在碾压 2 遍、4 遍、6 遍以后,重新测量网格系统,如果需要的话,在格点上再喷上新鲜颜色。然后进行一组新的水准测量。在计算平均沉陷时,舍弃掉沉陷为负值的那些偶然的测量资料。当然,也可以使碾压超过 6 遍;然而,采用普通的振动碾压机,碾压 6 遍



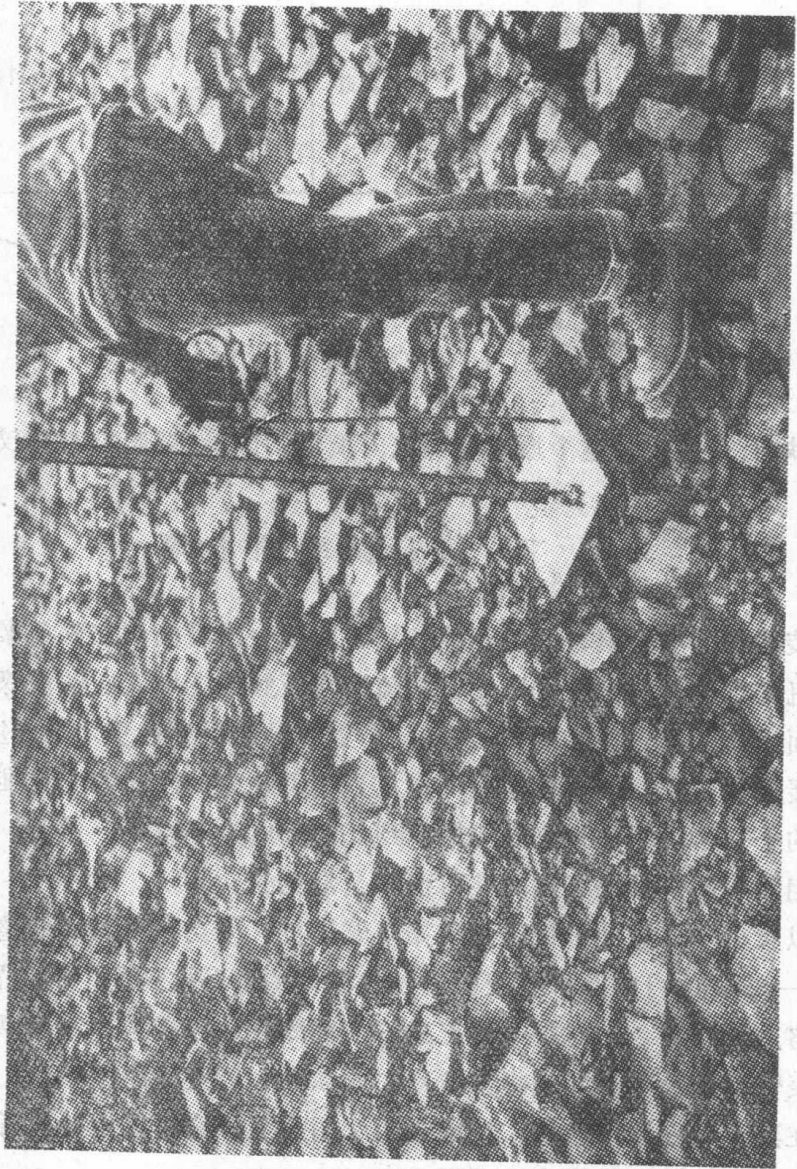


图 5 钢板上的水准尺



### 堆石料沉陷记录纸

工程: Outardes 4

日期: 5/11/64

试验堆石料: 1

试验者: R.T. A.R.

堆石层: 第2层

校核者: R.A.

平均厚度: 2.98英尺

碾压机: Vibro-Plus

观测点编号→	1		2		3		4		5	
组	$\Delta$	$\Sigma$	$\Delta$	$\Sigma$	$\Delta$	$\Sigma$	$\Delta$	$\Sigma$	$\Delta$	$\Sigma$
第一次二遍行进	0.06		0.04		0.03		0.03			
第二次二遍行进	0.02	0.08	0.01	0.05	0.02	0.05	0.03	0.06		
第三次二遍行进	0.02	0.10	0.02	0.07	0.02	0.07	0.03	0.09		
第一次二遍行进	0.03		0.03		0.01		0.05			
第二次二遍行进	0.02	0.05	0.01	0.04	0.03	0.04	0.02	0.07		
第三次二遍行进	0.02	0.07	0.03	0.07	0.02	0.06	0.04	0.11		
第一次二遍行进	0.03		—		0.01		0.10			
第二次二遍行进	0.03	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.14		
第三次二遍行进	0.01	0.07	0.01	0.02	0.03	0.06	0.05	0.19		
第一次二遍行进	0.00		0.03		0.05		0.08			
第二次二遍行进	—	0.00	0.01	0.04	0.03	0.08	0.05	0.13		
第三次二遍行进	0.01	0.01	0.02	0.06	0.03	0.11	0.03	0.16		
第一次二遍行进	0.06		0.01		—		0.09			
第二次二遍行进	0.02	0.08	0.01	0.02	0.03	0.03	0.06	0.15		
第三次二遍行进	0.03	0.11	0.04	0.06	0.00	0.00	0.04	0.19		
第一次二遍行进	0.08		0.06		0.03		0.12			
第二次二遍行进	0.04	0.12	0.05	0.11	0.03	0.06	0.07	0.19		
第三次二遍行进	0.02	0.14	0.03	0.14	0.02	0.08	0.04	0.23		
第一次二遍行进	0.01		0.00		0.04		0.04			
第二次二遍行进	0.01	0.02	0.04	0.04	0.05	0.09	0.04	0.08		
第三次二遍行进	0.01	0.03	0.02	0.06	0.02	0.11	0.02	0.10		
第一次二遍行进	$\Delta$ 平均 = 0.043					$\Sigma$ 平均 = 0.043				
第二次二遍行进	$\Delta$ 平均 = 0.030					$\Sigma$ 平均 = 0.073				
第三次二遍行进	$\Delta$ 平均 = 0.024					$\Sigma$ 平均 = 0.097				

$\Delta$  = 沉陷量;  $\Sigma$  = 累计沉陷量; 格点: 5 英尺 × 7 英尺。

图 6 沉陷读数记录纸

以上是不大可能有效地产生进一步的压实。通常，进一步的碾压仅能粉碎表面岩石而已。

碾压机的振动频率应当在碾压期间加以校核。为此，在岩石表面上安设管式转数计，并观察碾压机行进时的振动。转数计的安放点应当慎重选择。堆石中的大岩穴是可利用的地方。工地的经验已经证明，每分钟1500次振动的频率，对于堆石填料的压实是最合适的。

## 六、资料评价

由试验堆石料获得的压实资料，可以方便地用曲线的形式来表示，这时将厚度的减小百分数或沉陷的减小百分数，同堆石层厚度或碾压的遍数（指定的振动碾压机重量）绘成曲线。由初期试验堆石料得出的沉陷资料，只与堆石层厚度绘成曲线（图7），直到后来发现实际的沉陷与堆石层厚度无关为止（对于所有已经试验的堆石料，这个厚度大于18到20英寸）。据此就可得出下列结论：振动碾压机对于压实较大深度的毛石料不是很有效的。因此，试验性堆石施工的重点是：当需要对坝内不同区域提出不同设计要求时，探讨一下用处理石料方法在分区堆石填料中使用各种大小岩块的可能性。

堆石层厚度的减小百分数与碾压机碾压遍数的关系曲线（图8），在编制碾压标准中是很有用的，但保留原来的曲线可以作为发现反常试验结果的方法。在图8上的所有堆石料中，至少有总压实量的80%是由4遍碾压完成的。由于振动碾压机在堆石料上行进速率缓慢，碾压4遍就是这两种岩石（图8所示的）在10吨碾压机试验下的压实的经济界限。

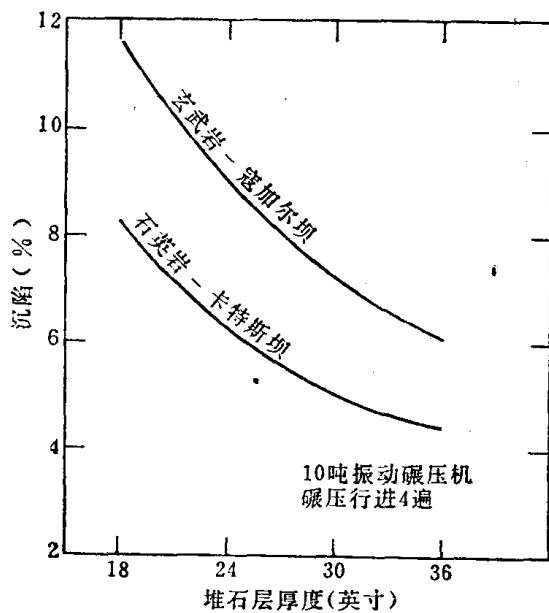


图7 堆石料沉陷与层厚

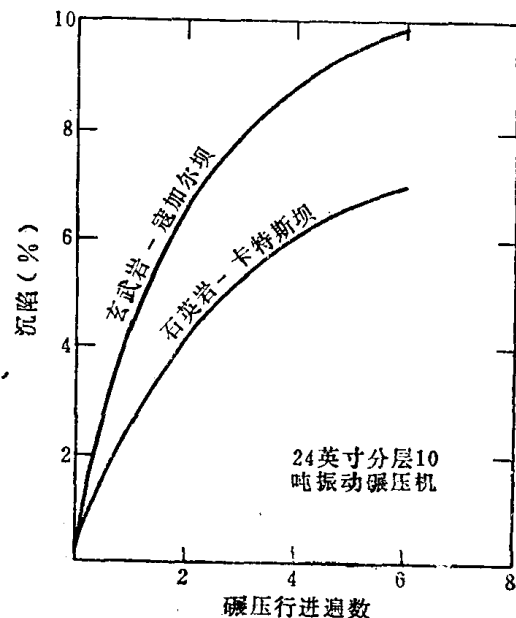


图8 堆石料沉陷与碾压遍数

为了正确地评价压实的效果，对试验堆石料每一分层的外貌观察，乃是不可缺少的。在完成了试验填料之后，应当从填料的一边向量测过的地方进行开挖。可以用前端装载机或反铲来开挖堆石填料。应当细心地用手来清除、平整开挖面，以便暴露出没有扰动过的压实岩石。在这种暴露面上，可能看出细颗粒的分离、各分层间的结合不足、单独岩块之