

634849

5134

7785

石碛坝

编著： 屈智炯 刘双光
刘峻 陈代禄

四川人民出版社

前 言

石碴坝是以石碴料填筑而成的土石坝，它具有就地取材、少占农田、抗震力强、施工时受雨季影响小、工程造价低、施工快等优点，是目前推广的一种坝型。

为总结石碴坝的利弊，我们结合教学、科研工作，实地调查了山东卧虎山水库、陕西汤峪水库、甘肃碧口电站、湖北白莲河水库、葛洲坝三三〇工程、广西澄碧河水库、江西柘林水库、四川三岔水库等十三个石碴坝及密云、官厅、冯家山、石砭峪等若干土石坝，同时接受水利部门的委托，配合水电部修订“土工试验操作规程”、“碾压式土石坝设计规范”的任务，自1974年开始对四川地区简阳石盘水库、南充升钟水库等六座水库的砂岩、粘土岩石碴料的筑坝特性及计算、分析方法作了较系统的试验和研究，并在参加其中一些水库的设计、施工中，探索了修造石碴坝的一些技术问题。

本书是根据上述材料及国内外其它有关资料编著而成的，主要介绍了四川和国内其它地区对石碴料的试验研究和石碴坝的设计、施工经验，全书共六章，插图214幅，理论联系实际，以应用为主。

本书由成都科技大学屈智炯、刘双光、刘峻、四川内江地区水利电力勘测设计队陈代禄编写，屈智炯主编，王民寿同志协助校核了第六章。本书编写过程中，得到成都科技大学、四川内江地区水利电力勘测设计队的支持，承武汉水利电力学院冯国栋教授、西北农学院、长江水利电力科研院、“三三〇”设计院、成都及昆明水电勘测设计院、水电部第五工程局、四川及湖北省水利局、四川省水利设计院、重庆市水利规划队、成都水电学校、四川省水利电力学校、四川内江及绵阳水电学校、四川宜宾、绵阳、内江、南充、乐山等五个勘测设计队、四川升钟、简阳石盘、剑阁“五一”等三个水库工程指挥部及成都市金堂县红旗水库工程指挥部、四川人民出版社提出不少宝贵意见，借此机会，表示衷心地感谢。

编 著 者

一九八〇年八月

常用符号和名词术语表

本表所用因次符号

L—长度(米、厘米、毫米); T—时间(年、天、秒);

F—力(吨、公斤、克); O—角度; N—次数

符 号	名 词、术 语	因 次	符 号	名 词、术 语	因 次
A	面 积	L^2	G	土粒比重	—
	孔隙压力系数	—		剪切模量	FL^{-2}
a	压缩系数	L^2F^{-1}	G_i	初始剪切模量	FL^{-2}
a_0	出逸高度	L	G_t	切线剪切模量	FL^{-2}
B	宽 度	L	H	高度, 水深	L
	孔隙压力系数	—	h	水 深	L
C_u	不均匀系数	—	h_B	波 度	L
C	凝 聚 力	FL^{-2}	h_{BB}	波浪爬高	L
C'	有效凝聚力	FL^{-2}	h_0	波浪壅高	L
c_c	压缩指数	—	I_L	液性指数	—
	曲率系数	—	I_p	塑性指数	—
c_H	药室扩大系数	—	i	水力坡降	—
c_k	所需要的土的凝聚力	FL^{-2}	(i)	许可水力坡降	—
c_v	固结系数	L^2t^{-1}	i_{cr}	临界水力坡降	—
c_s	综合影响系数	—	j	渗 透 力	FL^{-1}
D	直径, 吹程	L	K	应力分布系数, 模量数	—
d	超高, 直径	L		体积压缩模量	L^2F^{-1}
D_r	无粘性土相对密度	—	K_a	主动土压力系数	—
d_{10}	有效粒径	L	K_B	挖土机的时间利用系数	—
d_{30}	平均粒径	L	K_d	水深校正系数	—
d_{60}	限制粒径	L	K_H	土斗的充盈系数	—
E	变形模量	FL^{-2}	K_0	护坡粗糙系数	—
E_r	初始切线变形模量	FL^{-2}	K_1	联合作业延误系数	—
E_t	切线变形模量	FL^{-2}	K_p	被动土压力系数	—
e	孔 隙 比	—	K_R	软化系数	—
e_{max}	最松状态孔隙比	—	K_r	风化度系数	—
e_{min}	最密状态孔隙比	—	k	土的渗透系数	Lt^{-1}
F	牵 引 力	F	k_h, k_v	水平, 垂直地震系数	—
F_s	土坡的稳定安全系数	—	L, l	长 度	L
f	摩擦系数	—	M	力 矩	FL
f_k	所需要的土的摩擦系数	—	m	坡 率	—

符 号	名 词、术 语	因 次	符 号	名 词、术 语	因 次
m_a	系 数	—		水平位移	L
N	法向压力	FL ⁻²	V	体积, 药室容积	L ³
	推土机马力	—	V_1	土斗的几何容积	L ³
n	孔 隙 率	%	V_2	汽车装载的有效方量	L ³
	坝坡护面糙率	—	V_a	空气体积	L ³
n_e	有效排水孔隙率	%	V_o	粗颗粒封闭孔隙体积	L ³
P	垂直向荷载, 推力	F	V_s	土粒体积	L ³
	某粒组的百分含量	%	V_v	孔隙体积	L ³
P_A	主动土压力	F	V_w	水的体积	L ³
P_p	被动土压力	F	ν	渗流平均流速	Lt ⁻¹
P_u	动水压力	F		垂直位移	L
p	压 力	FL ⁻²		风速, 推土机开行速度	Lt ⁻¹
$\bar{p}$	有效压力	FL ⁻²	ν_{10}	库面上10米高的风速	Lt ⁻¹
p_c	先期固结压力	FL ⁻²	W(Q)	重 量	F
p_w	渗透压力, 静水压力	FL ⁻²	$W_{50}(Q_{50})$	平均直径的块石重量	F
Q	渗透流量	L ³	W_{max} (Q_{max})	最大的块石重量	F
	水平向地震力	F	W_{min} (Q_{min})	量小的块石重量	F
Q'	垂直向地震力	F	W_s	土粒重, 干土重	F
Q_s	汽车运输强度	L ³ t ⁻¹	W_w	湿 重	F
Q_i	汽车生产率	L ³ t ⁻¹	w	土的含水量	%
Q_z	正向铲的生产能力	L ³ t ⁻¹	w_f	含水量蒸发损失	%
q	单位渗透流量	L ³ t ⁻¹	w_L	土的液限	%
q_s	填料上坝强度	L	w_o	设计含水量	%
R	半 径	FL ⁻²	w_{op}	最佳含水量	%
	极限抗压强度	FL ⁻²	w_p	土的塑限	%
R_d	干抗压强度	FL ⁻²	α	系数, 地震加速度分布系数	—
R_t	新鲜岩样抗压强度	FL ⁻²	β	坡 角	°
	破坏比	—	γ	土的容重	FL ⁻³
R_m	饱水岩样抗压力强度	FL ⁻²	γ_d	土的干容重	FL ⁻³
R_w	风化岩样抗压强度	FL ⁻²	γ_k	料场原状土容重	FL ⁻³
S	基础, 地基的最终沉降量	L	γ_m	土的饱和容重	FL ⁻³
S_r	饱 和 度	%	γ_s	土粒的容重	FL ⁻³
T	透水地基深度, 透水层厚度	L	γ'	土的浮容重	FL ⁻³
	滑动力, 推力	F	δ	厚度, 安全加高, 节点位移	L
	汽车周转一次时间	t	ϵ_1	轴向应变	%
T_f	摩擦力, 抗剪力	F	$\epsilon_1 \epsilon_2$	横向应变	%
T_u	垂直向固结的时间因数	—	θ	炸药换算系数	—
t	时 间	t		角度, 风向与坝轴线法线的 交角	°
	厚 度	L			
U_s	固 结 度	—			
u	孔隙水压力	FL ⁻²			

符 号	名 词, 术 语	因 次	符 号	名 词, 术 语	因 次
λ	波 长	L	σ	有效应力	FL ⁻²
μ	柏森比, 坝体排泄系数	—	τ	剪 应 力	FL ⁻²
ν	空气在水中溶解系数		τ_f	抗剪强度	FL ⁻²
ρ	炸药密度	FL ⁻³	ϕ	内摩擦角	O
σ	正应力, 法向应力	FL ⁻²		集中系数	—
σ_z	土铅直向附加应力	FL ⁻²	ϕ'	有效内摩擦角	O
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	大、中、小主应力	FL ⁻²			

绪 论

土石坝所用的石料，随着近代施工方法的发展，对它的质量要求有了大幅度的放宽。过去要挑选新鲜、强度高的大块直径的石料，现在则利用枢纽建筑物中开挖出来的石碴、河流中的冲积料以及山麓堆积的石料等。一般经过压实都可作为坝体填料，称为填石料或称为压实堆石。所谓石碴料，为填石料的一种，具体是指：（1）在基岩上进行基坑、隧洞、溢洪道等工程施工开挖出来的废弃石碴料；（2）在专用料场开挖出来的石碴料。它们的共同特点是摩圆度差，颗粒直径变化范围大，细颗粒含量少。这种料没有统一的名称，有人称为利用料、代替料、废碴料、坡积料、风化料等等，这些名称无非是想反映料物的成因和性质，但含义都不够全面。在开挖的石碴料中，有的风化严重，有的则较新鲜，有的较坚硬，有的软弱，有的颗粒间无凝聚性，有的颗粒间具有一定的凝聚性。因此，还是统称它为石碴料比较适宜。石碴料填筑的坝，称为石碴坝，为目前广泛采用的一种新坝型。

我国五十年代初期，多采用土料和砂卵石填筑土石坝。后来由于土料缺乏，或由于河流冲积砂卵石开采困难，而且填筑时要由低处向高处运输。因而，1958年以后，我国山东、广西、湖北地区初步采用了溢洪道开挖出来的石碴或山坡风化岩碴作坝体材料。经过二十一年来的实践，现在已广泛用于较高的石碴坝中，很多省都已成功修筑了多座石碴坝（见表1）。从表1可以看出，无论岩浆岩、沉积岩或变质岩的新鲜和风化的石碴料，都是筑坝的材料。国外也在1958年就开始采用石碴料筑坝，如苏格兰高溪堆石坝的施工，曾利用经过处理的隧洞废碴填筑。其后利用振动压实石碴填筑坝体，促进了石碴坝的发展。据不完全统计，70年代初期，高度100米以上的石碴坝数量增加较快，1972年竣工的加拿大的迈卡坝高度达到240米就是其中的一例。

石碴坝能够在国内外得到迅速发展，除它具有一般土石坝就地取材、造价经济、受地质限制小、抗震性能好等优点外，还有下列特点：

1. 石碴坝能充分利用从建筑物中开挖的各种石碴料。过去，对这些材料的特性认识不够，常将其废弃而不准上坝；随着土工试验技术的发展，施工方法的改变，人们在实践中逐渐地掌握了其特性，特别是软弱岩块、风化石碴的筑坝特性。现在，原则上，各种石碴料，不必经严格挑选都可以上坝，从而把这种“废料”充分利用起来，扩大了料源，做到了就地取材，降低了造价。

2. 重型机械其中特别是振动碾压设备的使用，有力地促进了石碴坝的发展。在多数地区修建中、小型石碴坝，采用重型平碾或振动碾，可根本改善石碴料的压实条件和坝面的上升速度，并保证了施工压实质量；加之可在坝址区附近就地大规模开采石碴料，实现“高料低用”。如果道路布置合理，即使在群众性施工的条件下，也能达到较高的上坝强度。例如四川三岔水库日上坝方量就达一万立米左右。这对于缩短工期，提高工

效, 具有非常重要的意义。

3. 石碴料筑坝, 受雨季的影响小, 因而对多雨地区尤为有利。过去修粘性土料的均质坝, 受雨季影响较大: 降雨限制了坝面升高速度, 甚至于使坝越修越低或造成雨季停工。因此, 采用粘性土料 (或其它不透水材料) 作防渗体的石碴坝, 既可减少粘土用量

表1 国内石碴料筑坝举例
(坝高30米以上)

石碴坝名称及地点	建筑年代	最大坝高 (米)	坝型	工程量 (万立方米)	坝体组成
1. 卧虎山 (山东)	1959	46	宽心墙	208.4	坝壳为含石土、页岩碎屑
2. 鸭河口 (河南)	1960	31.0	心墙	484	坝壳下游干燥部分为风化岩块, 其它为砂砾
3. 白莲河 (湖北)	1959—1960	69.0	心墙	131.4	上、下游坝壳上部为花岗岩碎石, 下部为砾质粗砂
4. 育狮滩 (广西)	1958—1961	59.0	心墙	—	上、下游坝壳为风化、半风化岩块
5. 岗南 (河北)	1958—1960	62.0	斜墙	1070	下游干坡为风化料
6. 黄材 (湖南)	1963	60.5	心墙	170	坝壳为土夹风化板、页岩块
7. 富水 (湖北)	1964	45.0	心墙	464	风化页岩代替料
8. 漳河 (湖北)	1965	64.5	厚斜墙	500	下游干坡为风化粘土岩石碴
9. 澄碧河 (广西)	1958—1966	68.5	心墙	400	上、下游坝壳为风化料
10. 毛尖山 (广西)	1958—1965	72.0	心墙	—	上、下游坝壳为风化料
11. 拓林 (江西)	1970—1972	62.0	心墙	380	上、下游坝壳为石英砂岩、板岩石碴
12. 汤峪 (陕西)	1972	41.0	斜墙	44	坝壳为二云母石英片岩石碴
13. 张家岩 (四川)	1970—1973	52.0	厚斜墙	60	坝壳为含石土、页岩石碴
14. 碧口 (甘肃)	1969—1975	101.0	心墙	395	坝壳下部为砂卵石、干枚岩石碴, 上部为凝灰岩石碴, 堆石
15. 三岔 (四川)	1976	35.5	斜墙	182	坝壳为砂页岩石碴
16. 石盘 (四川)	1976	43.5	心墙	83.3	坝壳为砂岩石碴

及少占用农田，又可在降雨期大量填筑石碴料坝壳，加快施工进度，降低造价。

石碴坝在刚建成时，坝壳与防渗体间的不均匀沉降，可能将心墙拉裂而形成纵向裂缝；或因地基软弱，坝坡与地基一起失去稳定。而当蓄水时，水库中的水可能顺着坝体填料的孔隙或两岸接头处向下游渗透，不但会使水库中水量损失，并在坝的下游坡或坝址处局部引起渗透变形，或在渗流作用下，坝坡整体失去稳定。同时在长期蓄水后，石碴料变形渐趋稳定，而心墙粘土料的变形还在继续发展，两侧坝壳拱的支撑作用，使心墙产生水平裂缝。因之，在设计、施工时，要全面地考虑这些特点，做到正确选择土、石料，掌握石碴坝的渗流规律，控制坝体的变形和边坡的稳定，坝的构造设计得当，地基处理合适以及保证施工质量等。相反地，如果设计中考虑不周，或施工时注意质量不够，就会向着不利的方向发展，给国家人民造成损失。

本书根据中、小型石碴坝的勘察、设计和施工的基本要求编写。全书共分六章，主要内容有石碴料的勘察及其物理力学特性、渗流计算和石碴坝的稳定、变形分析和裂缝控制，以及石碴坝的设计和施工技术。编写时，根据石碴坝的特点，将土力学的基本原理与石碴坝的设计和施工有机地结合起来，并适当介绍一些新成就。如在坝体变形和裂缝分析中介绍了考虑非线性的有限单元法，水平裂缝形成的概念和估算方法；在石碴坝的稳定中除古典圆弧（条分）法外，还介绍了考虑土条间作用力的方法。最后在石碴坝的设计和施工技术中，尽量与其它“土石坝”专书配合，避免不必要的重复，各章多举算例和图表，可供从事这方面工作的技术人员阅读之用。

目 录

常用符号和名词术语表	1
绪论	1
第一章 石碴料的勘察与选择	1
第一节 石碴料的调查	1
第二节 石碴料源的自然特征	4
第三节 石碴料的物理性质	10
第四节 石碴料的颗粒级配及其工程分类	15
第二章 石碴料的力学性质	24
第一节 石碴料的压实性	24
第二节 石碴料的抗剪强度	28
第三节 石碴料的变形特性	36
第四节 石碴料的渗透性和渗透变形	44
第五节 石碴料力学特性的综合评价	49
第三章 石碴坝的稳定性	51
第一节 石碴坝的渗透计算	52
第二节 圆弧滑动(条分)法	68
第三节 非圆弧滑动法	81
第四节 坝坡抗震稳定计算	93
第五节 坝坡稳定的安全分析	95
第四章 变形计算和裂缝分析	97
第一节 概述	97
第二节 单向压缩分层总和法	100
第三节 有限单元法简介——平面变形问题	117
第四节 裂缝分析	127
第五节 裂缝控制简述	145
第五章 石碴坝设计	149
第一节 坝型比较和选择	149
第二节 坝体横断面设计	155
第三节 填料设计	172
第四节 石碴坝的渗流控制	181
第五节 过渡带	198
第六章 石碴坝的施工技术	202
第一节 拦洪渡汛和导流	203
第二节 土石料场的使用和开采	207

第三节 施工道路布置及运输.....	214
第四节 坝基与岸坡的开挖和处理.....	217
第五节 坝面作业.....	227
第六节 石碴坝各结合部的施工.....	236
第七节 石碴坝的施工质量检查.....	241
附录一 水利水电枢纽工程等级划分及设计标准 (SDJ12—78).....	254
各章参考文献.....	256

第一章 石碴料的勘察与选择

第一节 石碴料的调查

石碴料作为一种天然建筑材料,其勘察研究的任务和方法,除必须遵循一般天然建材^{[1][2]}规程的原则要求外,尚应特别注意工程上对石碴料的质量要求,并结合其料源足、用量大、质量差别悬殊,且多采用大药量爆破开采等特点,开展勘察与选择工作。

一、石碴料场的规划与选择

石碴料场位置的规划与选择,应符合运输和开采条件的要求,并使所有料场组成一个有机的供料整体,以适应不同施工阶段和施工条件的需要。由于石碴料料源分布广,往往在勘察初期容易忽视料场的全面规划和认真选择,从而给以后的施工带来很多不便。

如料场过于分散,则供料不足,影响施工进度;如过于集中,势必造成施工工作面狭窄,影响运输开采和场地布置。因此,在对料场的规划和选择时,首先应注意适当分散这个特点。同时又要特别注意所选定的料区,不能影响或危及坝体工程的安全;其次,在选择岩质时,有条件者,应注意母岩的岩性特征,以避免开采后有改变,而被迫改变设计施工参数,造成被动的局面。母岩强度高,比较新鲜,爆破后大块石多,需进行二次破碎。如过大石碴上坝,压实中往往容易架空。但当母岩强度过低、风化严重时,爆破后会形成许多过小碎屑,碾压后细颗粒显著增多,既不易

达到设计要求,也就失去作为石碴料应有的优越性。因此,在对料场的规划和选择中,必须注意调查研究风化层的厚度、性质以及岩层的风化速度,以便合理地开采和利用。

至于建筑物中开挖出来的石碴料的有效利用,在规划和选择料场中,也应统一加以考虑。对其方量及可能开采方式、堆放高程、地点和运输条件等,都需要事先规划周到,才不会给工程带来不利 的效果。

所以,正确的规划和选择石碴料场,对于设计、施工都是十分重要的,它牵涉到较多的技术经济因素,如地质条件、设计要求及施工技术条件等,须由有关专业协同进行。但作为基本因素的地质条件,则应由调查人员全面地搜集第一性资料,客观地进行综合分析,如实反映,才能在料场的规划问题上,主动地权衡利弊,考虑取舍。

二、石碴料的勘察和取样

为了正确认识和有效利用石碴料,就必须通过各种勘察手段,藉以查明料场母岩工程地质特征,以便确定料场的最优开采深度和边界,并算出储量,从而在数量和质量上作出正确的评价。

(一) 料区的勘探和储量计算

石碴料场勘探网点的密度,可参考表1—1所列。但在实际工作中,其布置形式(点、线、网)、间距、密度等,应根据料场的特点进行具体分析确定。必须防止“方格网一律化”的简单化倾向。勘探

表 1—1 石碴料场一般分类与勘探网点的间距

产地类型	说 明	勘 探 级 别	
		初 查	详 查
		间 距 (米)	
I	构造简单,产状接近水平,岩性单一,且较稳定	150—300	50—100
II	构造较复杂,产状较陡,岩性、岩相变化较大,夹层多	100—200	<50

方法一般多以坑、井探为主。除充分利用料场周边的天然露头外,为了弄清一定深度的地质情况,应结合每个料场的具体特点,尚须布置适量的钻孔、坑槽和小竖井,这样对于准确地查明料场的地质结构情况很起作用,而且这些小型竖井往往就被施工单位用作爆破竖井。

储量计算是整个料场地质勘探试验研究成果的集中体现,也是料场评价的重要标志。石碴料来源丰富固然是它的主要特点,但对每个具体料场来说,其储量并不是无限的。因为它受到母岩地质结构和研究深度的限制,于是每个料场都有它的最优开采深度和开采边界,所以各个料场也必须象计算其它类型的天然建材一样,应进行储量计算,而且需要用两种不同的储量计算方法以资校核。由于石碴料开采方式多用爆破,抛洒量较大,因此对详查阶段料场的勘探精度,误差应不超过15%。符合设计要求和可供开采的储量,应不得少于设计需要量的两倍。

(二) 石碴料的取样和试验

勘探和取样是紧密衔接着的两个工序,而勘探方法以及所布置勘探网的密度和深度,都会直接影响取样的效果。因而在勘探设计中,应该考虑取样的方便,根据料场地质条件,结合工程设计要求,正确地选定取样系统(层次、密度)。这是因为在取样中,不仅要取作为岩石试验的

样品,而且必须采集不同石碴颗粒组成的样品。例如仅就所开挖的风化石碴提供样品,显然不完全代表新鲜石碴的性质。特别对风化程度不同的石碴,爆破后颗粒大小差别十分悬殊,如何获得具有代表性的样品,在很大程度上取决于层位的选择与取样的方法和技术。因此,对石碴料应抓住风化程度对料物性质影响的主要特点,按剖面上反映出分层的规律性,与颗粒大小的代表性,分区或分段地进行取样试验。取样的组数,则决定于勘察级别与储量大小。经常多选择方量大,代表性强的勘探点,先剥去覆盖层(即无效层),从有效层的垂直方向均匀取样。由于对石碴料取样劳动量很大,因而应力求合理可行。当料场储量为50万立方米左右,对于三等以下工程,可按8~12的最小组数来考虑。

随着勘探研究的深度与工程设计的要 求,可加大工作量,或进行必要的野外碾压和爆破试验等,以选定试验研究控制条件和施工参数。有关试验的项目,应按建筑物的等级和勘察任务,分别提出不同的要求,可参考表1--2。

对于石碴料的每组取样数量,如在野外作筛分,选取的样品重量不宜小于0.5—1吨。如供室内试验,应注意某些项目不允许重复用料和力学性试验用料量较大的特点。一般作物理性试验,约需0.3~0.5

表 1—2(a) 母岩基本岩性的测定 (属参考使用项目)

项 目	说 明
1. 岩石的描述与鉴定	对岩类进行分类定名
2. 矿物成份分析	了解造岩矿物组成百分含量, 供研究石碇料母岩特性, 对其物理力学性质的影响
3. 化学成分分析	包括 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 以及各种氧化物和有机质, 含盐类等的测定, 供研究石碇料的化学稳定性
4. 比重、容重	了解母岩基本物理性质, 只供参考用
5. 吸水性	测定岩石的吸水率, 饱水率, 饱水系数, 供研究石碇料岩质时的参考
6. 单轴干抗压及饱和抗压	推算岩石软化系数, 判别石碇料母岩强度与浸水影响, 亦可供作评价石碇料岩质的参考
7. 单轴新鲜岩样与风化岩样的抗压	推算风化度系数, 判定母岩的风化性质, 亦可供作评价石碇料岩质的参考
8. 压碎性试验	为了了解材料的抗碎性质, 对其物理力学性质的影响 (供探讨性研究项目)
9. 水稳性试验	为了了解材料受水浸后的性质改变 (探讨性研究项目)
10. 液、塑限试验	对小于 0.5 毫米的岩粉进行测定, 以探讨母岩全风化的性质 (供探讨性研究项目)

表 1—2(b) 石碇料物理力学性质的测定 (绝大多数属于必须试验项目)

项 目	说 明
1. 颗粒形状及级配特征	了解石碇颗粒的几何特征与组成状况
2. 比 重	乃石碇料基本物理指标, 供计算干容重及孔隙比
3. 容 重	供控制填料标准 (如干容重) 质检、备样, 以及设计计算用 (包括湿容重、浮容重、饱和容重等)
4. 含 水 量	供控制填料标准, 质检、备样, 以及设计计算用
5. 饱 和 度	包括石碇料吸水率与饱水率的测定, 了解料物饱水状态, 作为基本物理指标, 供运算用
6. 相对密度	对于砂性大或较硬质的石碇料, 测定其相对紧密度, 供设计计算用
7. 击实试验	测定石碇料最大干容重和最佳含水量, 研究石碇料压实性能, 提供设计施工依据 (重要工程应配合现场碾压试验, 以资比较)
8. 压缩试验	为了解石碇料的压缩沉降特性, 应进行浸水与不浸水的压缩试验
9. 直剪试验	为稳定分析, 提供剪切强度指标
10. 渗透系数	为渗流及固结计算用
11. 管涌试验	为渗透变形分析用
12. 三轴剪切试验 (包括测孔隙水压力)	为稳定分析提供剪切强度指标, 并为电算用提供参数 (视具体条件而定)

吨；作力学性常规试验，约需1吨左右。对于室内颗分、含水量、虹吸筒法测比重等试验项目，尚应满足其不同粒径范围的不同要求，具体数量可参考表1—3。

表1—3 石碴料物理性试验一般样品数量

最大粒径 (毫米)	试样最少重量 (克)	最大粒径 (毫米)	试样最少重量 (克)
5	500	40	4000以上
10	1000	60	7000
20	2000	60以上	7000以上

第二节 石碴料源的自然特征

石碴料本身的质量，与其地质因素、母岩性质、风化作用、浸水影响等，有着密切的内在关系。下面就石碴料母岩的工程性质和某些地质因素对石碴料性质的影响加以叙述。

一、石碴料母岩的鉴定与描述

在利用石碴料时，可能用一种单一岩类的石碴，或用不同岩类组合的石碴作为填料。由于各种石碴的岩类属性不同，其工程性质会有很大差别。因此，鉴定与描述的目的，就是为了判别各种岩类所形成石碴料的特点，如花岗岩石碴的性质与页岩石碴就有很大差别。鉴定与描述的内容，包括颜色、构造、结构、造岩矿物、风化程度和岩类等，并定出岩石名称。其具体方法，按工程地质及岩石试验规程进行。三大类岩石的主要区别见表1—4。

岩浆岩又称火成岩，是由岩浆冷凝而成。如花岗岩、玄武岩、安山岩、正长岩等，这类石碴的特点，在未风化前多质硬呈块状，强度比较高，而风化后变成风化砾、卵石，其强度比母岩显著降低，透水性较大。

变质岩如片麻岩、板岩、千枚岩、石英岩、大理岩等是由原来的岩浆岩或沉积岩，经过强烈的变质而形成的。它的性质是与变质作用的特点，以及原岩的性质有关。这类岩碴的性能，与其母岩矿物成分、结晶程度、片理构造等关系密切。一

表1—4 三大类岩石的主要区别

特 征	岩 浆 岩	沉 积 岩	变 质 岩
结构和构造	- 具粒状、玻璃、斑状结构、气孔、杏仁、流纹、块状等构造 - 除喷出岩外，无层状片状构造	- 结构复杂，因形成环境而异 - 具层理、在层面上有波浪	- 具有片理 - 板状、片状、片麻状构造结晶质结构 - 砾石及晶体因受力可能变形
矿物成分及其它特征	- 主要为含硅矿物硬度高 - 不含化石 - 含多量长石 - 标准矿物：长石、辉石、橄榄石	- 主要成份为石英、方解石、粘土矿物，分布最广的岩石是页岩、砂岩和石灰岩 - 含有化石 - 标准矿物：岩盐、石膏	- 主要是绿泥石、滑石等，如岩石硬度高，多为含硅类矿物 - 变质深则不含化石 - 标准矿物：绿泥石、滑石等

般说来,块状者强度较好,成层状或片状者强度较差。

沉积岩如砾岩、砂岩、粘土岩、石灰岩、白云岩等是由原来任何种类的岩石,在地表附近受各种大自然的作用,逐渐崩散破坏,然后又堆积起来而形成的。这类石碴的性能,与母岩矿物成分,胶结成岩作用及层理构造有关。如在沉积岩中的火山碎屑岩石碴,随着母岩矿物成分相对含量和胶结压实程度的不同,应注意其所具有岩浆岩和正常沉积岩双重特征中,以何者为主要趋向。又如胶结碎屑岩,包括各种砾岩、砂岩、粉砂岩的性质,则取决于胶结物的特征。于是硅质胶结的石英砂岩,就一定比钙质胶结的粉砂岩强度高,抗风化性好。至于粘土岩(泥、页岩),则由于颗粒极细的粘土矿物沉积后,经脱水压密固结成岩,属于机械沉积和化学沉积的过渡类型,多为钙质泥质所胶结。上述这种岩类的石碴料,多属于软质石碴,易于压碎,强度不太高,抗水性差,也易风化和软化,有的含盐量较高。把这类石碴作为填料时,必须充分估计浸水影响这个特点,在设计和施工上采取相应的工程措施。

二、石碴料母岩的矿物化学成分

测定岩石的矿物组成与化学成分的目的

的,在于了解某种岩石作为石碴料的物质成分,以便分析料物本身的物质含量和结构组成,对石碴料工程性质的可能影响。例如以长石为主的粘土岩类石碴料,由于其风化程度和受水影响的不同,其性质变化较大,就其抗剪强度而言,对半风化者 $\phi = 20^{\circ} \sim 28^{\circ}$,对全风化者则与土料相同。以石英为主的砂岩石碴料,其风化程度与受水影响不同,对于抗剪强度性质的改变就不会太大, $\phi = 28^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 。这就说明长石与石英两种造岩矿物的成分不同,对石碴料某些工程性质的影响就不一样。表1—5及1—6列出某些工程石碴料母岩的矿物化学成分,供参考。

三、石碴料母岩的基本物理力学特性

石碴料来源于不同的岩类,具有不同的化学矿物成分。随着岩体破碎所形成石碴颗粒的大小和形状很不相同,因此其本身的坚固性和耐久性与其母岩基本物理力学性质,有着密切相关。

(一)岩石的比重

系采用岩石碾磨成粉过0.25毫米筛孔,取约50克试样,用比重瓶排水方法测定。一般介于2.50~3.30范围。常用值为2.70,而石碴料的比重,都是稍小于或接近于岩石的比重。

(二)岩石的容重

表1—5 汤峪水库岩石的矿物成分鉴定

矿物名称	总含量 (%)	不同粒径含量(%)		
		0.3~0.2(毫米)	0.2~0.1(毫米)	0.1~0.02(毫米)
石英	60~70	45	45	10
长石	5~10	100		0
水化黑云母	15~20	20	30	50
水化白云母及绢云母	5~10	20	30	50
绿泥石	<5	0	100	

表1-6 某些岩类石碴料的化学成分

母岩名称	化 学 成 分(%)					工 程 名 称
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	
砂 岩	87.85	8.01	3.34	8.45	0.67	四川三岔水库
砂质粘土岩	50.34	3.24	6.11	10.16	2.62	
泥质沙岩	59.86	9.43	3.39	7.54	4.66	四川升钟水库
钙质粉沙岩	64.43	2.85	8.60	6.70	1.70	
页 岩	72.50	11.14	7.03	1.60	1.84	山东卧虎山水库
风化页岩	72.18	6.20	6.00	5.07	2.49	
板 岩	64.11	7.06	20.12	0.82	1.84	江西柘林水库
闪长岩	46.44	23.20	9.10	7.62	4.38	湖北丹江口工程

测定岩石容重,可用以计算石碴料用量,并根据其容重和比重可推算岩石本身的孔隙率。容重值一般在2.30~2.90克/厘米³。

(三) 岩石的吸水性

主要取决于岩石孔隙率的大小及孔隙特征。吸水性系指岩石在水中的吸水能力,有吸水率和饱水率两个指标。

吸水率

$$= \frac{\text{通常大气压力下岩石的吸水重量}}{\text{干容重}} \times 100\%$$

饱水率

$$= \frac{\text{某一特定条件下岩石的吸水重量}}{\text{干容重}} \times 100\%$$

吸水率与饱水率属于同一物理现象,只是其所处试验条件不同而已。前者是在常压条件下,很快把开口孔隙中空气排除而水占其体积,后者乃表示石料在真空(真空度为20毫米高水银柱)及常温(18°~20°C)条件下的最大吸水能力。当某些硬质

石碴料,在配料中需要计算总含水量时,有时则采用表面烘干后饱水率数据。

(四) 岩石的抗压强度

用标准的岩石试件放在压力机上,求其单轴压缩状态下的破坏强度,叫极限抗压强度。乃判定岩石质量的重要力学性质指标。它与组成岩石的矿物成分及结构组织、荷载与层理方向等有关,其公式如下:

$$R = \frac{P}{A} \quad (1-1)$$

式中 R——极限抗压强度,公斤/厘米²

P——试样最终破坏时的荷载,公斤

A——试样受压净面积,厘米²

当石料饱和含水量增加后,其力学强度会降低。故要求用饱水试件的 R_m 和干燥试件的 R_d 进行比较,求得软化系数

$$K_R = \frac{R_m}{R_d} \text{ 的指标。}$$

下面列举出某些岩石的物理力学性质,见表1-7。

表1-7 母岩的物理力学性质

岩石名称	容重 γ (吨/米 ³)	比重G	孔隙率 n(%)	抗压强度R(公斤/厘米 ²)		软化系数	水库所在地区
				干	湿		
砂岩	1.95~2.65	2.68~2.74	3.23~27.3	126~1000	58~750	0.41~0.75	四川简阳县
	2.01~2.08	2.65	21.5~24.2	142.4~149.9	54.3~98.9	0.36~0.69	四川南部县
	2.42	2.70	10.5	78~1144	36~628	0.46~0.55	湖北葛州坝
粘土岩	2.08~2.39	2.65~2.80	14.8~21.5	121~247	24~154	0.2~0.75	四川剑阁县
	2.55	2.78~2.80	8.3~9.0	360~950	71~144	0.2	山东历城县
	2.43	2.67~2.78	9~12.5	78~916	45~514	0.5	湖北葛州坝
二云母	2.581	2.639	1.281	312~696.5	236~540	0.756	陕西汤峪水库
石英片岩	2.697	2.787	7.020			0.775	
千枚岩	2.60~2.70	2.70~2.80	3.66~3.85	250~800	100~400	0.4~0.5	甘肃碧口土石坝
凝灰岩	2.90~2.93	2.97~3.00	2.06~2.14	1200~1667	600~1000	0.5~0.6	甘肃碧口土石坝

四、影响石碴料特性的主要地质因素

石碴料的岩性特征,主要决定于形成石碴母岩的物质成分与组成情况,但同时也受风化和水浸的严重影响。就石碴料岩质的坚固性而言,有硬质石碴与软质石碴。就开采料源的风化程度而言,有新鲜料、弱风料、强风料等,随着料物开挖暴露和填筑以后的埋存情况,尚有可能继续风化的问题。所以探讨风化作用对石碴料工程性质的影响,是十分重要的。至于石碴料受水浸后的工程性质变化,就母岩岩质来看,只是表现在抗压强度的降低,而对于石碴料就有遇水软化与否的水稳性问题值得探讨。下面将分别叙述影响石碴料特性的主要地质因素。

(一)母岩种类对石碴料岩质坚固性的影响

石碴料岩质的坚固性,可按现行规范中,对岩石坚固性的划分标准(表1-8及1-9),进行判定。

(二)风化作用对石碴料性质的影响

表1-8 岩石坚固性的划分

岩石类型	代表性岩石
硬质岩石	花岗岩、花岗片麻岩、闪长岩、玄武岩、石灰岩、石英砂岩、石英岩、硅质砾岩等
软质岩石	页岩、粘土岩、绿泥石片岩、云母片岩等

表1-9 岩石软硬程度的分级

极限干抗压强度(公斤/厘米 ²)	判别标准
$R_d > 1200$	极坚硬
$R_d = 600 \sim 1200$	坚硬
$R_d = 300 \sim 600$	半坚硬
$R_d = 150 \sim 300$	软弱
$R_d < 150$	极软弱

由于风化因素的不同,对岩石的破坏程度也不一样。风化程度不同的母岩所形成的石碴料,其性质显然就不同。如表