

TUSHIBA JIANSHE SHIYONG
JISHU YANJIU JI YINGYONG

土石坝建设 实用技术研究及应用

郭庆国 蔡长治 著



黄河水利出版社

土石坝建设
实用技术研究及应用

土石坝建设 实用技术研究及应用

张洪刚 张世强 著

中国水利水电出版社

土石坝建设实用技术 研究及应用

郭庆国 蔡长治 著

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

土石坝建设实用技术研究及应用/郭庆国,蔡长治著.
郑州:黄河水利出版社,2004.10

ISBN 7-80621-815-7

I.土… II.①郭…②蔡… III.土石坝-水利工程 IV.TV641

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 083431 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850 mm×1 168 mm 1/32

印张:7.75

字数:195 千字

印数:1—2 000

版次:2004 年 10 月第 1 版

印次:2004 年 10 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-815-7/TV·365

定价:25.00 元

前 言

随着科学技术的发展,大型土石方机械、重型振动碾的应用,高土石坝、土质心(斜)墙堆石坝、混凝土面板堆石坝发展很快,高水头电站增多,新材料(如土工布、土工膜等)的出现和使用,给堤坝、水坝、尾矿坝、灰坝增添了新的色彩。大量坝工建设的实践,积累了丰富的经验,为坝工建设作出了巨大贡献,并制定了一系列的规程、规范,逐渐使坝工建设走上了程序化、规范化。

但因当地材料坝的筑坝材料主要是土石料,该材料属弹塑性材料,工程性质较为复杂,又受当地自然环境条件影响,性质多变。就某一种土石料而言,因存在的状态和自然条件不同,工程性质差异很大。另外,修建大坝多在山区,坝址区的地形、地质条件形形色色、错综复杂,几乎是一个坝址一个样。在这样复杂多变的条件下,加上高水头电站的兴起、新材料的应用等,有许多技术问题需要继续研究与探索。坝工建设目前仍处在半理论、半经验状态,正如著名坝工专家谢拉德(Sherard)所说:“土石坝建设中许多东西,与其说是科学,不如说是艺术。”鉴于此种状况,在坝工建设中,除了依据规程、规范中的方法、要求、原则外,还必须结合工程所处的具体条件,进行必要而细致的试验研究和分析论证,使建成的工程符合当地的实际情况,只有这样才能达到经济合理的目的。为此,作者长期在第一线从事设计、施工、监理、咨询及岩土试验研究工作,对实践中遇到的问题进行了大量的试验研究、分析和论证,取得了一些成果。现将其中一部分撰写成此书,奉献给读者,如能对有关技术人员有所裨益,将是最大的欣慰。但因工作条件、学识所限,书中难免有不妥之处,敬请读者指正。

除对书中引用有关前人的东西加以注明外,对曾经关心与支持笔者的杨澍林、李铭播、周子慎、胡克让、陈德禹、车成文和一起共事的王雅范、曾云、张天存、王泽生、杨爱菊、刘正兴、杨鹏、李春林、李鹏、周俊、王亚斌、马凌云、刘爱龙、金雅玲、马理、付恩怀、张云、孙维卫等同志,在此一并深表感谢。

作 者

2004 年 7 月 10 日

目 录

第一章 黏性土几种颗粒分析标准的分析比较	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 SD 标准与 AS 标准的比较	(1)
1.3 SD 标准与 SDS 标准的比较	(6)
1.4 小结	(7)
第二章 几种非常规岩石试验研究与应用	(10)
2.1 岩石点荷载试验方法的研究与应用	(10)
2.2 浸水软化对软弱岩石强度和变形特性的影响	(17)
2.3 白龙江宝珠寺水电工程基岩泥化夹层 D ₅ 渗透变形 试验研究	(24)
第三章 砂石滤层的研究与应用	(35)
3.1 概况	(35)
3.2 砂石滤层准则的研究与进展	(36)
3.3 砂石滤层的材质、生产、压实标准与施工	(51)
第四章 无纺土工织物的滤层特性及应用	(66)
4.1 引言	(66)
4.2 滤层功能及设计准则	(66)
4.3 土工织物滤层的应用实例	(68)
4.4 土工织物滤层的物理模型试验	(72)
4.5 压密变形对土工织物滤层功能的影响	(76)
第五章 土石坝的压实标准及应用	(89)
5.1 概况	(89)
5.2 土石坝工程的压实标准及有关指标	(89)

5.3	关于 D_r 的名称	(93)
5.4	相对压实度与压实度的关系	(94)
5.5	施工质控标准	(94)
5.6	设计计算干密度(或干容重)指标的确定标准	(95)
5.7	填筑压实标准应用中存在的问题	(101)
5.8	应用中的矛盾及解决途径	(106)
5.9	小结	(110)
第六章	几种快速确定黏性细粒土最大干密度的方法	(112)
6.1	概况	(112)
6.2	几种快速确定黏性土最大干密度的方法	(113)
6.3	小结	(124)
第七章	超径粗粒土最大干密度的近似测定方法	(127)
7.1	引言	(127)
7.2	最大、最小干密度的试验条件	(128)
7.3	影响粗粒土密度特性的主要因素及变化规律	(129)
7.4	确定无黏性超径粗粒土最大干密度的近似测定 方法	(133)
7.5	利用粗粒土实测资料对本节所提方法的验证	(134)
7.6	工程应用实例	(135)
7.7	小结	(138)
	附:对测堆石原位密度附加质量法的应用与评价	(140)
第八章	土石坝高塑性区的作用及控制条件	(149)
8.1	引言	(149)
8.2	黏土心(斜)墙与混凝土防渗墙的连接	(149)
8.3	混凝土防渗墙插入黏土心墙存在的问题	(151)
8.4	分析研究及解决措施	(152)
8.5	混凝土防渗墙顶高塑性区的作用及控制条件	(157)
8.6	小结	(160)

第九章 塔里干黏土心墙土石坝防渗土料的性质及工程措施	(162)
9.1 工程概况	(162)
9.2 黏土料源勘察及工程性质试验	(162)
9.3 黏土料的特点	(166)
9.4 防渗土料的选择	(170)
9.5 黏土心墙采用的工程措施	(171)
9.6 小结	(172)
第十章 黏土防渗墙的技术性能及应用	(174)
10.1 概况	(174)
10.2 施工前的室内模型试验	(175)
10.3 黏土防渗墙的现场施工	(179)
10.4 黏土防渗墙的填筑质量及防渗性能	(181)
10.5 小结	(186)
第十一章 高压闸门充压式止水的试验研究与应用	(188)
11.1 概况	(188)
11.2 A 型充压式止水试验研究	(190)
11.3 J ₃ 型充压式止水的试验研究	(201)
11.4 对橡胶止水充压面形式的研讨	(207)
第十二章 水工闸门尼龙滑块的试验研究与应用	(211)
12.1 引言	(211)
12.2 尼龙滑块的受力条件及试验要求	(211)
12.3 Mc 尼龙 ₆ 材料的机械性能的测试	(212)
12.4 Mc 尼龙 ₆ 滑块与钢板(轨)的摩擦性能试验	(215)
12.5 对尼龙滑块和钢板间摩擦特性的讨论	(220)
12.6 小结	(225)
第十三章 沟后坝失事的思考	(227)

13.1	概况	(227)
13.2	L 墙缝的特点、教训、解决途径	(229)
13.3	料源是坝体合理布置、分区设计的主要条件	(232)
13.4	混凝土面板堆石坝的特点及思考	(233)
13.5	小结	(236)

第一章 黏性土几种颗粒分析标准的分析比较

1.1 引言

在某土石坝工程的合同文件中,“填筑土料应满足图纸要求的合适级配(指级配上下包线,原是用《土工试验规程》(SDS01—79)方法测定的资料)。但对土颗粒分析标准,同时列出 ASTM_{D422}《土粒径分析》、《土工试验规程》(SD128—84)和《土工试验方法标准》(SDJ123—88)”。由于标准不同,测试成果不同,在施工填筑后的土料鉴别中,出现黏粒含量增大,级配曲线超出要求包线范围,认为不满足要求,常引起争议,这就引起对测试方法方面的考虑。另外在一些土石坝著作中,将国内外著名的已建土石坝的防渗土料的颗粒级配绘制在同一图上供坝工建设者借鉴、类比、评价及选择防渗土料,亦有忽视测试方法的问题。因此,为了正确评价和应用土料,有必要考虑测试方法标准问题。各国各有各的标准,甚至一个国家不同行业也有不同的标准,限于篇幅,不一一列举,这里着重就美国标准 ASTM_{D422}《土粒径分析》(以下简称 AS 标准)与《土工试验规程》(SD128—84)(以下简称 SD 标准)、《土工试验规程 SDS01—79》(以下简称 SDS 标准)之间的差异讨论如下。

1.2 SD 标准与 AS 标准的比较

1.2.1 SD 标准与 AS 标准的相似之处

SD 与 AS 两种标准,在土颗粒分析中,关于土样制备、碾散方

法、过 2mm 筛、采 4% 浓度(40g/1 000mL)六偏磷酸钠(亚磷酸钠)溶液作分散剂、土的悬液体积为 1 000mL 等方面是相同的。SD 标准将粒径 $d < 0.1\text{mm}$ 的颗粒称细粒,用比重计法进行颗粒分析,将 $d > 0.1\text{mm}$ 的颗粒称为粗粒,用筛分法进行颗粒分析;AS 标准将粒径 $d > 0.074\text{mm}$ 的颗粒称为粗粒,用筛分法进行颗粒分析,将 $d < 0.074\text{mm}$ 的颗粒称为细粒,用比重计法进行颗粒分析。这一方面两者是相似的。筛分中除了筛孔形状尺寸略有差异外,试验、计算方法是基本相同的。

1.2.2 SD 标准与 AS 标准的不同之处

SD 标准:做颗粒分析试验时,称取风干或烘干土 30g,分散剂的加入量为 10mL;土的分散方法,先将称取土样倒入三角烧瓶中,加 200mL 水,浸泡不少于 18h 后,放在电热器上煮沸,从水煮沸开始计,黏土煮沸 1h,其他土煮沸不少于 0.5h,冷却后倒入量筒(沉淀筒)加入 10mL 分散剂,并注水至 1 000mL,供比重计法测试用。

AS 标准:做颗粒分析试验时,称取风干土或烘干土 50g,当砂土为多数时称 100g;将称取的土样放入烧杯中,再加 125mL 分散剂,浸泡至少 16h 后,将土倒入专门的分散杯中,加水至半杯以上,进行搅拌分散。搅拌方法有两种,一种是用高速机械搅拌器(在空气中 10 000 次/分)搅拌 1min,另一种是用空气搅拌器,在 140kPa 压力下,搅拌 5min。对塑性指数 $I_p < 5$ 的土料,搅拌 5min;对塑性指数 $I_p = 5 \sim 10$ 的土料,搅拌 10min;对塑性指数 $I_p > 20$ 的土料,搅拌 15min。分散后将土样倒入量筒,并加水至 1 000mL,供比重计法测试用。

上述两种标准的主要差别如下:

(1)两种方法土的悬液体积皆为 1 000mL,而一种称取土量为 30g,加入的分散剂为 10mL,另一种称取土量为 50g,加入的分散剂为 125mL,显然两者的土悬液体积浓度是不相同的。

(2)一种是做比重计测试前才加入分散剂,分散剂仅在比重计测试过程中起作用,另一种是一开始就加入分散剂,分散剂在浸泡、搅拌分散中及比重计测试过程中皆起作用,可见分散剂作用时间差别较大。

(3)从分散剂的加入量看,一种为 10mL,一种为 125mL,两者相差 12.5 倍。即使按单位土量计算,一种平均 1g 土加分散剂 0.33mL,另一种平均 1g 土加分散剂 2.5mL,两种标准也相差 7.6 倍。

(4)在分散方法上,一种用煮沸法分散,另一种是用高速机械搅拌。前者为高温煮沸,将对土中胶粒及易挥发物质有影响,后者用物理方法搅拌,对土质影响小,故两者分散方法、原理是不同的。

1.2.3 AS 与 SD 两种标准测试成果分析比较

如上所述,AS 标准与 SD 标准在方法上有不同之处,那么两者对同一土料的测试结果是否一致,尚需进一步了解。针对此问题,结合工程中的需要和现有条件,进行了对比试验,每取一种土样,分两份进行试验,得到两种方法的测试结果,以此资料为基础分析比较如下。

1.2.3.1 颗粒组成级配曲线的特点

对同一种土料用两种标准测的颗粒组成级配曲线如图 1-1 所示,AS 标准测得级配曲线在 SD 标准测试颗粒级配曲线上方。一般粒径愈粗,差别愈小,颗粒粒径愈细差别愈大,表明两种标准的测试结果是有差异的,且随土料颗粒愈细,黏性愈大,差别愈大。

1.2.3.2 两种标准测定黏粒含量的特点

对黏性土来说,人们在研究中多用黏粒(粒径 $d < 0.005\text{mm}$ 的颗粒称为黏粒,AS 标准、SD 标准皆用此定义)含量反映黏性土的性质,故这里对 AS 与 SD 两种标准各自测试的黏粒含量进行了统计分析,并绘制出它们的相关关系如图 1-2 所示。

由图 1-2 可以看出,两种方法测得的黏粒含量皆是随土性不

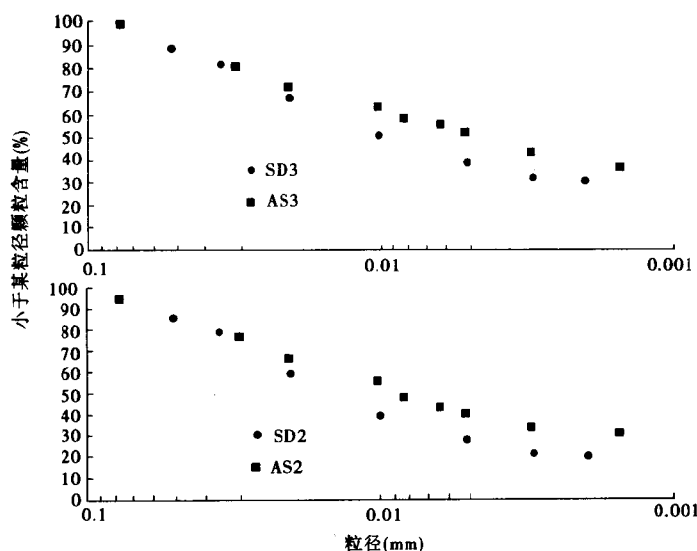


图 1-1 颗粒级配曲线

同而不同,当 SD 标准测得的黏粒含量大时,AS 标准测得的黏粒含量亦大,但 AS 标准测得的黏粒含量值比 SD 标准测得的黏粒含量值增大得较多。

1.2.3.3 两种标准黏粒含量差值与液限含水量关系的特点

如前所述,两种标准测得的黏粒含量的差值随土料性质不同而不同,为了反映这一特点,分别统计了每一种土料两种标准测得的黏粒含量的差值并引用了液限含水量这一物性指标,绘制了各种土料黏粒含量差值与液限含水量 ω_L 相关关系图,如图 1-3 所示。

由图 1-3 可以看出,土料的塑限含水率在 27%~53% 之间,黏粒含量差值在 4.5%~25% 之间变化,黏粒含量差值是随土性不同的变数,其规律是土的液限含水率愈大,两种标准测得的黏粒含量差值愈大。同时也说明黏性土的颗粒愈细,黏粒含量愈高,颗粒

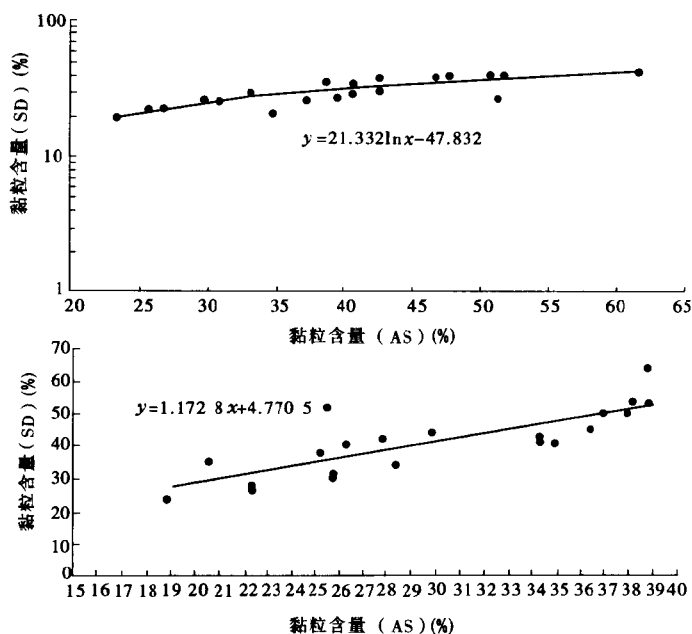


图 1-2 AS-SD 黏粒含量关系曲线

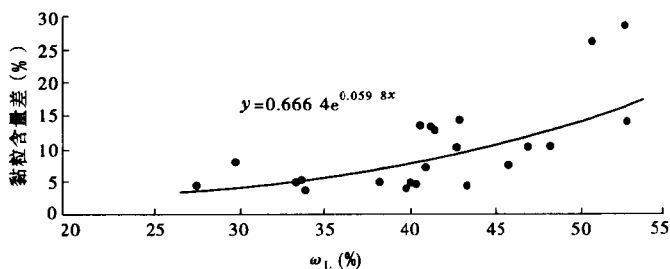


图 1-3 黏粒含量差与 ω_L 关系曲线

数量愈多,相应比表面积愈大,吸附水的能力愈强,则液限含水量愈大。

两种颗粒分析标准,其测试结果是有差异的。主要原因是两种标准本身有不同,如两种标准土的悬液体积同为 1 000mL,相比之下,AS 标准比 SD 标准土的称量多 20g,分散剂多 115mL,分散剂在全过程中起作用时间长,分散方法用机械搅拌对土样影响小,土的悬液浓度势必比 SD 标准浓度大,颗粒的沉降速率是不相同的,反映在测试结果中,AS 标准测定的黏粒含量高,显然是合理的。这种差异也显示出两种标准各自的特点,故在颗粒级配资料分析、评价、应用中,必须按各自的测试标准区别对待。

1.3 SD 标准与 SDS 标准的比较

SD 标准与 SDS 标准的颗粒分析方法在总体上是相同的,但前者采用六偏磷酸钠作分散剂,后者采用氨水作分散剂。两种方法采用的分散剂不同,对其测试结果影响如何,值得讨论。

这两种标准皆为中国原水电部规程,尤其是从 SDS 到 SD 的规程修订中,一些单位曾做了大量工作,为土工界所熟悉,这里不再多说。为了反映差别,这里仅简要列举几例。如 635 工程的防渗土料,SD 标准比 SDS 标准黏粒含量增大 5%~9.6%,见表 1-1;金盆水利枢纽工程土料用 SD 标准比 SDS 标准黏粒含量增大 0.4%~8%。黄委勘测规划设计研究院小浪底工程设计分院地质处曾结合工程需要,在土料场(寺院坡、李家坡、前苇园、后苇园等小料场)开挖竖井 10 个,总深度 206.3m,每隔 1~2m 取土样一次,共 168 个,每一土样分别用氨水(SDS)、六偏磷酸钠(SD)两种分散剂,共进行了 336 组颗粒分析对比试验。最后经分析比较认为,对轻中粉质壤土,差值较小,大部分在规定试验误差范围界线以内;对重粉质壤土,用六偏磷酸钠作分散剂比用氨水作分散剂黏粒($d < 0.005\text{mm}$)含量多数增大 2%~8%,个别为 10%以上,如李家坡料场 1 号井 13 个土样资料,黏粒含量增大 11%~19%。

由此可以看出,当用氨水作分散剂时,测得的黏粒含量为28%时,此土定名为重粉质壤土,再由如上述用六偏磷酸钠比用氨水作分散剂测得的黏粒含量增大8%时,则黏粒含量为36%,增大11%;黏粒含量为39%,增大17%;黏粒含量为45%,只要黏粒含量在30%~50%的,该土料定名为粉质黏土,黏粒含量大于50%的土料定名为黏土。

表 1-1 SD 和 SDS 两种标准测定黏粒含量比较

土样编号	黏粒($d < 0.005\text{mm}$)含量(%)		
	SD 标准	SDS 标准	两种标准差
I - A	48.7	41.0	7.7
I - B	40.6	31.0	9.6
VI	39.0	34.0	5.0

以上几个工程实例表明,对于同一土料,由于采用分散剂不同,不仅黏粒含量发生变化,连土的名称也发生了变化。显然不同方法有不同结果,反过来说,这个不同结果反映各自的方法、标准,故在用黏粒含量评价土性时,不能忽略各自测试方法及测试方法与有关标准的一致性。

1.4 小结

(1)土是由大小不等、形状不一的颗粒组成的,不同土料有不同的颗粒组成级配和性质,颗粒分析试验是以测定颗粒组成这一特性为目的。黏性土的土粒可分为原始颗粒和团粒两种,团粒是由许多小颗粒集结而成,它是在沉积过程及以后的生存期间形成的。在颗粒分析中对团粒有人主张全分散,以反映颗粒真实情况,有人主张半分散,以反映土的现实存在情况,至今仍在争论中,未形成统一意见。故目前使用的颗粒分析标准,方法差异较大,如在