

碾压式堆石坝坝体料压实标准研究

姜苏阳, 杨维九

(黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003)

摘要:分析碾压式堆石坝堆石料压实过程中堆石性质、级配、施工机械、铺筑厚度、压实遍数、加水量、气候条件等对压实的影响,对工程中采用孔隙率作为堆石料的压实标准进行讨论,认为堆石料的压实与级配、小于5mm的细粒含量、压实功能和加水有关,同时分析了软岩、砂砾料等其它坝体料的压实影响因素,对用相对密实度作为砂砾料的压实标准进行了讨论。

关键词:堆石坝;堆石料;压实标准;孔隙率;相对密实度

中图分类号:TV641.4

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2002)01-0009-03

1 影响堆石压实的因素

1.1 坝型对压实的影响

不同坝型对堆石料的压实标准要求也不同,土质防渗体土石坝、混凝土面板坝、沥青混凝土防渗土石坝堆石的基本作用都是用以保持坝体的稳定,因此,只需满足坝体稳定、压缩沉陷量小、排水性能好并具有一定强度的石料均可作为坝体的材料,包括新鲜岩石、开挖的石渣料、软岩、砾石、卵石和漂石、风化砂、风化砾石等。

由于心墙或面板的材料不同,其坝体料必须与心墙或面板保持整体稳定、变形、沉陷相适应。因此,3种坝型对坝体料的压实要求也不一样。上述3种坝型中,混凝土面板刚性最大,适应变形能力最差,要求坝体沉陷量最小,其对坝体料的压实度要求最高;沥青混凝土面板适应变形能力比混凝土面板好,要求坝体料的压实度相对来说低一些;土质防渗体(土坝)由于其刚度和堆石体相比,相差较悬殊,且因堆石体沉降快而土质防渗体固结慢,会引起堆石体对后期下沉的土质防渗体产生摩擦力而使防渗体发生裂缝。堆石体压实密度越高其刚度越大,对土质防渗体变形更不利,因此对坝体料压实度要求比其它两种坝型较低。

1.2 堆石性质对压实的影响

一般来说,坝的等级和坝高越高,对材料性质、压实参数及压实标准的要求也越高。堆石的力学性质,如抗剪强度、压缩性、压缩模量等,与堆石的压实密度密切相关。从已建堆石坝统计资料看,采用的岩

石岩性是多种多样的,采用堆石料的岩石抗压强度范围较大,最低为10MPa左右,最高可达235MPa,多数坝在50~150MPa之间。

研究表明,当岩石抗压强度大于某一数值后,堆石体压缩模量的增加并不一定随岩石抗压强度的增加而线性增大。库克认为用抗压强度为30~40MPa的岩石修建的堆石坝其压缩性并不比抗压强度更高的硬岩所建造的坝大。各种岩性的堆石料均可得到较高的压缩模量,尽管一些岩石抗压强度较低,在相同压实密度情况下,硬岩堆石变形比软岩堆石小。采用硬岩堆石时,只要调整好堆石级配,经合理压实可得到较高的模量。任何石料,其无侧限抗压强度(浸渍)达到30MPa或更大一些就足够了,较低强度的石料可以用在特定的分区内。

1.3 级配对压实的影响

级配良好的堆石料经合理压实可得到较高的密实度、较高的变形模量和抗剪强度。研究表明,即使堆石的母岩岩性、最大粒径不同,只要级配相近,其压缩性可能相近,几种性质不同的石料,最大粒径不同,但级配相似,试验得出的压缩性基本相同,这说明堆石级配对堆石料性能起着决定性的作用。

当堆石的不均匀系数 $C_u < 5$ 时,级配是不良的;当 $C_u > 15$ 时,级配是良好的。一般来讲, C_u 值越大压实效果越好。但 C_u 值过大,堆石易分离,严重时会造成堆石架空,不能碾压密实,变形模量反而可能降低。因此, C_u 值也不宜过大,建议可控制在15~30范围内。

采石场级配石料,一般为未经筛分的非规格料,

最大粒径不超过层厚,同时能提供相对平滑的表面,以利碾压,直径小于 25 cm 的不要超过 50%,含泥量一般为 6%~10%。超径石的存在严重影响堆石的压实效果。一般认为超径石在 3% 以下时,对堆石压实不致产生较大影响。

1.4 施工机械对压实的影响

坝体透水料和半透水料的主要压实机械有振动碾、气胎碾、夯板、尖齿碾等。土石料压实效果取决于碾压机的重量、碾磙直径和运行速度。各类土石料的碾压效果比较表明,砂土以采用振动平碾压实最为合理。砾卵石土应采用轮胎压力为 0.8~1 MPa 的气胎振动碾,它能保证材料取得良好压实效果而不会受过大破坏。砂土和砾卵石土的干密度可概略地采用土料场上的天然干密度。

1.5 压实功能对压实的影响

1.5.1 铺筑厚度和压实遍数

据研究,采用相同的压实功能,0.8 m 铺层厚度与 1.6 m 铺层厚度相比,干密度提高 8%、压实模量可提高 50%。因此,采用薄层碾压对提高堆石的密实度、压缩模量是非常有效的。但是,铺层厚度越薄,堆石开采、填筑成本越高。因此应从技术、经济两方面综合考虑,确定合理的铺层厚度。根据国内外数十座面板坝的统计,主堆石区铺层厚度一般为 0.6~1.0 m,国外一般为 0.8~1.0 m,国内除极个别铺层厚度为 0.6 m 和 1.0 m 外,从坝高 50 多 m(如关门山坝)至坝高 180 m 左右(如天生桥一级 $H=178$ m),铺层厚度均为 0.8 m。由此看来,随着坝高的增加,不一定要将铺层厚度选择得过小。

岩石坚硬的堆石经过薄层碾压,可以获得很高的压缩模量,一般常用的压实遍数为:当采用 10 t 震动碾时,碾压 4 遍,实际碾压遍数可通过碾压试验确定。工程实例表明,堆石碾压遍数一般为 4~8 遍。当碾压遍数达到某极限时,再增加遍数,堆石密实度增加较小,甚至基本不再增加。因此,不宜选择过多的碾压遍数,工程中应通过现场碾压试验确定碾压遍数。

1.5.2 加水

为提高堆石的压实效果,压实施工中常采用加水措施。这样做的结果可以减少压缩系数,加水可以将堆石的细颗粒冲填到大颗粒空隙中,可使材料浸润,使块石棱角容易压碎,从而增强压实效果。试验表明,只要堆石中含有足够的细颗粒,加水对任何类型的堆石都有影响。加水量的大小与筑坝材料的种类和施工方法有关,一般为堆石体积的 10%~25%。但对于吸水率低(饱和面干含水量小于 2%)的坚硬岩石,加水效果不明显。对于细颗粒含量较小的堆石更是如此。

关于碾压的洒水量还不能给出一个明确的标准,通常依其岩性、细粒含量而异。对于坚硬石料可不加水。对大多数石料,在无试验资料情况下,一般宜为填筑方量 30%~50% 的水量;砂砾料的加水量宜为 20%~40%。工程中应通过现场碾压试验确定是否加水以及具体的加水量。

1.6 气候条件对压实的影响

气候条件主要指严寒期填筑堆石料时,应遵循一系列特定要求。冬季堆石不能浇水,否则有可能积聚冰雪,导致堆石体出现不能容许的大变形。

2 堆石料压实标准的确定

堆石的压实设计大多采用孔隙率这一指标作为设计标准。但随着对堆石性质研究的深入和施工技术的提高,用孔隙率的概念已不能完全满足施工的需要。堆石的压实与级配、小于 5 mm 的细粒含量、压实功能和加水有关。

2.1 用孔隙率与施工参数作为压实标准的碾压土石坝

一般规定堆石压实孔隙率约为 22%~28%,相应的压实平均干密度为 2.0~2.2 t/m³,并规定有相应的碾重、铺料厚度、碾压遍数,并要求加水。例如,对于坚硬岩石,往往采用碾重 10 t,铺料厚度 0.6~1.0 m,碾压 4~6 遍,加水量 20%~25%。施工过程中进行严格管理,就能满足高土石坝的变形与稳定要求。

次要部位堆石的密实度控制应综合考虑坝高、堆石岩性等,孔隙率不宜大于 25%,干密度不宜小于 2.0 t/m³。一般次堆石区的铺层厚度比主堆石区厚一些,大多数坝的次堆石区层厚为 0.8~1.2 m。但层厚增加会大大降低压实密度,从而使堆石抗剪强度降低。

2.2 用孔隙率作为压实标准的面板堆石坝

由于面板坝对碾压堆石的变形较土石坝提出了更高的要求,因此,自然提出了更高的压实标准和更薄的铺土厚度要求。

a. 主堆石区的平均填筑密度大多为 2.2~2.3 t/m³,相应的孔隙率为 21%~25%、碾压 4~8 遍,铺土厚度 0.6~0.8 m,合格率控制为 70%~80%。

b. 次堆石区只起稳定与排水(浸润线以下)作用,压实标准可与一般土石坝的碾压堆石相似,根据小于 5 mm 的细粒含量多少,孔隙率可采用 20%~28%,合格率控制为 70%~80%。

c. 对于垫层区,尤其是人工砂、碎石配合成的优良级配料,其孔隙率可达 15%~21%,因此填筑标准应通过仔细的碾压试验确定,但合格率宜控制为 90%。

d. 过渡区一般采用小于 300 mm 的较细堆石料填筑,如级配连续,且含有 10%~20% 的小于 5 mm 的细料,则孔隙率可采用 20%~22%,合格率宜控制为 90%。

e. 对于饱和抗压强度大于 30 MPa 的坚硬岩石,可选定铺土厚度 80 cm 左右。对于风化堆石料、软弱岩石(饱和抗压强度小于 30 MPa)以及小于 5 mm 颗粒含量占 15%~30% 以上的坚硬堆石料,铺土厚度可选定 40~60 cm。对于垫层、过渡层料,可选定铺土厚度 40 cm。

f. 选定重 10 t 级的碾为标准碾(碾宽小于或等于 200 cm,震动频率 1500~2400 次/min)。

g. 一般采用碾压 6 和 8 遍两种遍数为标准碾压遍数。按照以上参数,进行两种标准碾压遍数试验,其平均干密度,即可作为碾压堆石的近似最大干密度。

h. 一般情况下碾压加水 20%~50%。

i. 对于高坝和岸坡陡峻的河谷,要求适当提高压实标准,即面板坝堆石的压实标准与坝高、河谷形态有关。例如塞沙拉面板坝的主堆石区,采用平均孔隙率为 21.2%,效果很好。

j. 用砂砾料填筑面板坝时,砂砾料压实的平均孔隙率则为 15% 左右。对于软弱岩石或含有风化料的堆石,填筑孔隙率则控制得更小,例如有的工程平均孔隙率仅为 11%,也就是说要求碾压得更密实些。

2.3 用孔隙率作为压实标准的沥青混凝土心墙堆石坝

目前,我国沥青混凝土心墙堆石坝建造不多。大连碧流河水库一部分坝段采用了沥青混凝土心墙堆石坝,要求石料抗压强度不低于 60 MPa,石料软化系数不应小于 0.9,坝体孔隙率要求小于 35%,最大块径不得大于 0.8 m,细颗粒含量(小于 5 mm)不得大于 15%,其中含泥量应小于 5%,且细颗粒不应集中,避免针片状石料上坝。分层填筑,层厚 1 m,用打夯机夯实。

2.4 用相对密实度法确定砂砾料的压实标准

相对密实度法是以往常用的方法,这种方法首先要测定砂砾料不同砾石含量的最大、最小干密度,根据设计选定相对密实度,便可确定设计的 $\gamma_d \sim p_s$ 关系曲线。

相对密实度与地震等级、坝高等有关。一般的土石坝或处于地震烈度为 5 度以下地区的坝,其非粘性土的相对密实度不宜低于 0.67;对于高坝,或地震烈度为 8~9 度时应不小于 0.75。若提高其压实标准,可增大抗剪强度,减少坝体工程量和沉降,但必须有相应的碾压设备。在地震区或有动力荷载的作用时,非粘性土的设计相对密实度应根据动力振动试验而定。

非粘性土压实合格率一般为 70%~80%,视工程的重要性而定。

参考文献:

- [1] 郭诚谦、陈慧远.土石坝[M].北京:水利电力出版社,1981.111~212.
- [2] 能源部·水利部水利水电规划设计总院.碾压式土石坝设计手册(上册)[M].北京:水利出版社,1989.146~237.
- [3] 郭庆国、吴嘉.大坝 4A 类堆石填筑中是否加水问题的论证[J].人民黄河,1996(小浪底工程增刊):42~44.

(收稿日期:2000-08-29 编辑:张志琴)

·简讯·

我国正在建设一批城市垃圾电站

利用城市垃圾焚烧热量来发电,是一个变废为宝的好办法,在一些发达国家的城市已较为普遍地采用,而我两对城市垃圾的处理多采用垃圾场堆积或填埋方法。近年来在一些大城市也逐渐摸索修建垃圾电站,据初步了解有以下一些城市:

a. 北京市.正在朝阳区修建首座垃圾电站,日焚烧垃圾 1300 t,年发电 1.36 亿 kW·h,总投资 6.8 亿元,计划 2003 年建成。

b. 上海市.正在浦东修建一垃圾电站,日处理垃圾 1000 t,年发电 1.5 亿 kW·h,拟安装 2 台 8500 kW 汽轮发电机。

c. 广州市.拟由德国一公司采取交钥匙总承包方式修建垃圾电站,日处理垃圾 1000 t,3 年内建成,总投资 6.3 亿元。

d. 深圳市.由深圳能源集团投资建设,日处理垃圾 450 t,安装 2 台 6000 kW 汽轮发电机,于 2001 年 8 月开工,2002 年底投入使用。

e. 武汉市.正在关山热电厂内修建江南垃圾电站,日处理垃圾 1000 t,装机 2.5 万 kW,年发电量 1 亿 kW·h,计划 2003 年建成。此外,还拟在汉阳区修建第二座垃圾电站,现正开展前期工作。

f. 哈尔滨市.正由哈尔滨宝热电股份有限公司、黑龙江龙电股份公司和深圳新能源股份公司共同投资 1.4 亿元修建一垃圾电站的一期工程,日处理垃圾 200 t,装机 3000 kW,年发电量为 2160 万 kW·h,已于 2000 年开工建设,预计 2002 年建成。紧接进行二期工程建设。

g. 郑州市.正在荥阳县修建一座日处理 1000 t 的垃圾电站,年发电量为 1.8 亿 kW·h,计划在 2001 年底前建成投产。

h. 石家庄市.正在建设一座日处理垃圾 450 t 的垃圾电站,年发电量为 6120 万 kW·h,总投资 1.28 亿元,预计 2002 年 6 月建成。

i. 芜湖市.已于 2001 年 6 月开工建设一座垃圾电站,用 2 台流化床垃圾焚烧锅炉和 2 台 6000 kW 机组,每台日焚烧垃圾 600 t,预计 2002 年 4 月投入使用。该电站是由杭州锦江集团投资建设的。

j. 杭州市.正由杭州锦江集团和中国节能投资公司共同投资在余杭县乔司镇修建一座垃圾电站,日处理垃圾 800 t,年发电量为 7800 万 kW·h。

(吴冀高供稿)