

采用多种施工技术联合进行高边坡加固

胡应德

(国家电力公司成都勘测设计研究院科学研究所 四川 成都 610071)

摘要 介绍置换开挖、喷混凝土和预应力锚索等多种加固技术在某高拱坝边坡中的联合应用,总结了施工中的一些经验和教训。工程实践表明,多种加固措施联合治理边坡稳定问题效果较好,在施工过程中,把握施工时机,确保施工质量是综合治理措施取得预期效果的关键。

关键词 拱坝;喷混凝土;置换开挖;预应力锚索;高边坡稳定

中图分类号:TV642.4;TV544

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)04-0053-03

某拱坝坝址区河谷深切,两岸陡峻,边坡最高超过 250 m,属“V”型河谷,河谷宽高比 1.5。河道流向由 NW 急转弯为 S50°W,左岸为凹形坡,右岸为单薄山脊。坝区地层以 F_1 断层为界,上盘为千枚岩,下盘为花岗闪长岩。按岩性和岩体结构条件可分为两个岩带,其中第二岩带主要为绿泥石片岩夹碎裂花岗闪长岩,厚度达 40 m,岩体强度低,变形模量低于 3 GPa,分布在坝肩中上部高程。坝基岩体虽然较好,但坝址区发育数条挤压错动带和接触破碎带,最宽有 8 m,横穿河道并向两岸延伸。因此,大坝高边坡和坝肩抗力体的稳定是一个十分关键的问题。

1 置换开挖

置换开挖法是彻底解决建基面软弱夹层等问题的常用方法。当工程量不大、埋深较浅时,一般将其挖除并回填混凝土;当工程量大、埋藏很深且有应力要求时,可挖至一定深度,回填混凝土并进行固结灌浆处理。

大坝建基面出露的绿泥石片岩和风化花岗岩岩体大致沿两岸建基面呈垂直向条状分布,最大宽度约 10 m,最小宽度 1 m。采用人工开挖方式,局部风化花岗岩岩体采用小药量解爆挖除以确保其不受扰动。由于工程所在地降雨量大,绿泥石片岩暴露一定时间后(约 3 d),加上雨水浸润,极易软化,从而导致二次挖除处理。针对这一情况,在施工过程中,改变了原来确定的与边坡开挖同步施工方案,将其延至浇筑前建基面清理中进行,在开挖时,尽量避免或减少施工用水对绿泥石片岩的浸泡,在开盘前一次性冲洗干净。虽然这一改变会带来干扰已浇筑仓面混凝土的后果,但

在清基时,只要做好保护和清理,就可以保证混凝土不受影响。实际施工表明,这种改变既可保证建基面质量,又可避免二次处理,减少投资,是合理可行的。

在浇筑回填混凝土时,置换区底部设置钢筋网 $\phi 25 @ 25$ 。采用三级配常态混凝土(配筋部位使用二级配),混凝土标号 R_{90}^{200} ,整体回填浇筑。

2 喷锚施工

在边坡支护中,非预应力锚杆是为加固裂隙岩体而锚固在岩体内的杆件。锚杆与岩体共同工作,形成一种内部加强方式。喷混凝土是在喷浆基础上,改进喷射装置,用以向岩体表面喷射含粗集料的混凝土,广泛用于地下工程的加固处理,在边坡临时或永久支护中应用也较多。它具有生产效率高、施工速度快、不需模板、机械化程度高、早期强度高等优点。

根据岩石块度、节理裂隙的水平深度、构造产状,布置了长 3 m 和 5 m 两种砂浆锚杆。

a. 钻孔。锚杆孔呈梅花形布置,5 m 锚杆的排间距为 2 m $\times$ 2 m 和 2.5 m $\times$ 2.5 m,3 m 锚杆的排间距为 2.5 m $\times$ 2.5 m。造孔钻头为“一”字形合金钻头,孔径 45 mm。孔向与主要结构面垂直或成较大交角。

b. 砂浆。水泥采用 425 号普通硅酸盐水泥,水灰比 0.5,砂子用最大粒径不大于 3 mm 的中细砂,单位水泥用量 641 kg,水泥与砂的重量比为 1:2。

c. 锚杆安设。注浆前,用高压风、水将钻孔冲洗干净,砂浆备制时搅拌均匀,且随拌随用,注浆饱满;钢筋采用二级螺纹钢,直径 $\phi 25$,下料长度为 5.1 m 和 3.1 m,人工安装,外露保证 10 cm。

d. 质量检查。锚杆施工中,严格按设计要求和

施工规范进行.在安装锚杆中,曾出现下料长度不足的问题,由于施工方为降低钢筋下料损耗,将料长9m的钢筋下作两根锚筋使用,发现这一问题后,现场监理工程师立即进行了查处并返工.在锚杆注浆和安装时,成型了10组试件,实测28d强度指标最大为26.5MPa,最小为17.1MPa,平均值为21MPa,满足了设计要求.

边坡开挖后,对高、中程和低程局部较破碎的岩体面,采用喷混凝土(局部挂钢筋网)进行处理,以防止岩体进一步风化、地表水浸入岩体节理裂隙以及施工中掉块伤人,与锚杆相结合,提高边坡整体抗滑能力.喷混凝土标号R200,喷厚10cm.

a. 岩面清理(挂网).喷前将工作面上岩粉、松动岩块、杂物等清理干净.钢筋网采用 $\varnothing 6$ 钢筋,校直并编成200mm $\times$ 200mm的正方形网格,网距岩面6cm左右,结点用22号铁丝捆扎,在锚杆外露端与钢筋点焊牢固.

b. 集料拌和.水泥为425号普通硅酸盐水泥,中砂含水率4%~6%,石子粒径5~15mm,掺入速凝剂3%,水灰比0.42,采用人工拌和,均匀后上机喷射.喷混凝土主要配合比见表1.

表1 喷混凝土主要配合比

编号	$\frac{W}{(C+F)}$	$\frac{W}{(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})}$	$\gamma/\%$	水泥/ $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	砂/ $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	石子/ $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$
P1	0.42	227	—	541	1 623	—
P2	0.42	189	50	451	902	902

c. 喷射.喷射方式为湿喷,喷射时,主要控制压力、喷射角度、喷射距离、一次喷厚和喷层间歇时间等,一次喷射长度小于6m,喷厚4~6mm,后一次喷射在前一次混凝土终凝后才进行.

d. 质量检查.喷混凝土质量由于受操作人员的技能等影响较大,通常波动较大,因此,必须严格控制各工序施工质量以保证喷混凝土质量.采用切割法取样成型了8组共24个试件,实测最大值为35.2MPa,最小值为17.5MPa,平均值为23.1MPa,完全满足设计要求.

3 预应力锚索

预应力锚索布置在大坝左右岸下游面,共100根,其中左岸64根,右岸46根,呈梅花型布置,排间距5m $\times$ 5m,锚索长度以伸入拱座将控制裂隙锚住为准,因此,左岸锚索长度有50m和45m,右岸为25m和20m,锚固段长度6m.单孔锚索设计荷载为2000kN,超张拉荷载为2100kN.由于受F₁断层影响,预应力锚索部位的岩体完整性较差,局部结构破碎,施工部位均为接近90°的悬崖,因此施工平台、风水电的布置难

度相当大.锚索钻孔排架由上而下搭设,排架宽4m,一排锚索孔排架搭设成一个整体,既牢固又方便施工,并与坝肩开挖平台相连接,形成一个宽约4m、长45m的平台,利用该平台进行锚索制安、修建灌浆平台和简易制浆站.锚索施工工艺流程如下:锚索制作及除锈→除油处理→造孔→压水→ $q\geq 10\text{Lu}$ →固结灌浆→扫孔→下锚→锚墩安装→锚固段注浆→张拉→→自由段注浆→锚索永久防护($q<10\text{Lu}$).

a. 造孔.造孔前将表面松动危岩清除干净.用Y-2地质钻机带潜孔锤回转冲击钻进,锚孔孔位用经纬仪测量放样,钻机固定于施工平台排架上,孔向和倾角采用地质罗盘调整,开孔前反复校准钻孔方位与倾角后方可开钻.为保证锚索钻孔孔斜不大于3%,选用刚性好、重量轻的钻杆,钻杆直径88.9mm,长度1.5m,每米重量10kg.造孔钻头采用直径145mm的冲击钻头,成孔直径约150mm.钻孔完毕后,对钻孔进行风水联合冲洗,直到孔内岩屑、杂物清洗干净,检查合格后孔口加盖保护.当钻孔遇到风化层或破碎带时,经常会出现塌孔、掉块,给钻孔、锚索安装带来困难,甚至返工.因此当钻孔出现这种情况时,进行固结灌浆处理.固结灌浆压力不宜过大,采用0.1~0.2MPa,水灰比0.5:1,并掺入适量速凝剂.固结灌浆后,待凝12h后再行扫孔.

b. 锚孔围岩固结灌浆.锚孔围岩固结灌浆可以提高岩体完整性和围岩的弹性模量,减少因岩体变形而产生的预应力损失.各型锚索的灌浆段长6~8m,灌浆采用纯压式自下而上分段灌浆法.锚固段灌浆压力为0.7~1.0MPa,自由段灌浆压力为0.2~0.5MPa.固结灌浆前进行压水试验,当 $q<10\text{Lu}$ 时可暂不做固结灌浆,反之则必须进行固结灌浆.制浆采用袋装525号普通硅酸盐水泥,人工倒灰、高速搅拌机搅拌0.5:1的原浆,经贮浆桶配制制成最稀水灰比(2:1)灌浆,灌浆采用2:1,1:1,0.6:1三级.

c. 锚索制安.锚索选用1860N/mm²强度级的低松弛钢绞线,每根锚索由11根钢绞线组成.钢绞线下料长度为51.5m、46.5m、26.5m、21.5m,其中锚固段长6~7m,其余为自由段,钢绞线下料的同时用机械方法进行除锈、除油处理.编制时锚固段间隔1.2m安装一个隔离环;自由段每隔2.0m安装一个隔离环或隔离架,锚固段与自由段间用沥青隔离.每根锚索外径用12号铁丝将隔离环和隔离架绑扎牢固.锚索中心插入一根 $\varnothing 3/4$ "的聚氯乙烯塑料管作为注浆管,其长度略长于锚索长度.整根锚索编制完成后,与外界相对隔离,各型锚索分别编号、存放,以保证加工制作后的锚索质量.

d. 锚固段注浆.锚索制成后人工搬运进行安

表 2 锚索试验张拉结果一例

张拉荷载 /kN	表压 /MPa	钢绞线伸长量/mm											测量平 均值/mm	计算值 /mm	理论值 /mm
		1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号	8号	9号	10号	11号			
0.10P = 19	3.7	71.2	73.8	50.3	64.3	58.2	51.5	66.1	58.2	55.1	69.6	89.0	64.3	0.0	
0.25P = 48	9.2	90.4	93.0	68.5	81.5	74.6	68.2	85.0	75.5	73.5	89.7	108.2	82.6	18.3	
0.50P = 96	18.3	126.0	122.5	99.7	110.1	106.4	97.4	114.1	107.5	102.9	124.0	137.7	113.5	49.2	
0.75P = 143	27.5	156.9	153.2	136.0	141.7	139.0	129.6	147.8	137.1	136.2	162.5	177.0	147.0	82.7	
1.00P = 191	36.6	190.4	187.5	172.2	177.3	171.4	162.3	183.4	173.6	170.5	193.6	208.0	180.9	116.6	
0.75P = 143	27.5	169.4	166.3	152.7	160.3	155.8	153.4	163.1	155.0	150.9	172.9	192.0	162.9	98.7	
0.50P = 96	18.3	139.0	139.6	124.2	132.0	125.0	123.2	136.6	127.3	122.1	140.4	160.8	133.7	69.4	
0.25P = 48	9.2	109.4	106.8	91.6	101.4	93.3	89.0	106.4	96.6	90.1	109.5	128.8	102.1	37.8	
0.10P = 19	3.7	90.6	89.4	70.2	83.8	73.8	69.3	87.0	77.2	71.6	90.6	109.0	83.0	18.7	
总变形量		119.2	113.7	121.9	113.0	113.2	110.8	117.3	115.4	115.4	124.0	119.0	116.6	116.6	
塑性变形量		19.4	15.6	19.9	19.5	15.6	17.8	20.9	19.0	16.5	21.0	20.0	18.7	18.7	
弹性变形量		99.8	98.1	102.0	93.5	97.6	93.0	96.4	96.4	98.9	103.0	99.0	98.0	98.0	104.6

装,安放在孔内并确认无误后先注入 110 L 水泥浆 (0.4:1)灌浆锚固段,然后拔出注浆管 12 m。灌浆材料为 525 号普通硅酸盐早强水泥,加入适当微膨胀剂 (MgO) 水灰比 (0.4~0.5):1。根据水泥浆材试验结果,锚索灌浆后应尽量进行张拉,当超过 8 d 时,则将孔内注满石灰水防锈 (pH>10),张拉后用风吹尽孔内石灰水。

e. 锚墩制作。按设计要求,锚墩采用现浇加筋混凝土制作,锚墩承压面应与钻孔轴线垂直,但由于施工方自行更改型式,造成了返工。

f. 锚索张拉。张拉前,对千斤顶、油泵、压力表进行标定,待锚固段注浆结石强度达到 35 MPa、锚墩混凝土强度达到 R300 后进行张拉。

g. 试验锚索。随机抽检 5 根锚索进行张拉试验。用 200 kN 千斤顶单根张拉,分 5 级 9 步加载:0.10P、0.25P、0.5P、0.75P、1.00P、0.75P、0.5P、0.25P、0.10P (P 为设计荷载),每一级稳定 10 min 后记录钢绞线伸长量,并与理论弹性伸长量比较,其误差应在 +10%~-5% 范围内。试验完成后,换用 2000 kN 千斤顶进行整索张拉,超张拉至 1.05P 并稳定 20 min 后锚固。锚索试验张拉成果见表 2。

h. 非试验锚索。先用 200 kN 千斤顶单根预张拉,张拉力为 0.20P;然后用 200 kN 千斤顶分 5 级 (0.25P、0.5P、0.75P、1.00P、1.05P)分步张拉,张拉速率小于或等于 200 kN/min。张拉到达 1.05P 并稳定 20 min 后锁定。

锚索验收后,将锚索多余部分裁掉,只外露 5 cm 长,用纯水泥浆做 5 cm 厚护面将锚具及锚索封闭保护起来。

4 结 语

a. 施工实践表明,经过及时加固的边坡 2 年多来未出现开裂和破坏,这说明多种加固措施联合治理边坡稳定是有效的。但在此高拱坝边坡和抗力体

的加固施工中,由于多种原因的影响 (如生产资金不足、施工干扰大等),施工进度未能跟上,坝顶以下边坡开挖后长期暴露,产生卸荷松弛,导致边坡出现多次塌方,造成了较大的经济损失。因此,加固处理是否及时将直接关系到施工技术方案的成败。

b. 在施工过程中,应加强质量环节控制,及时解决施工中出现的问題,确保施工质量。如右岸预应力锚索设计布置时,未考虑到钻孔会穿过探洞,6 号锚索孔终孔后孔底距探洞仅 1 m,无法制作锚根。现场监理工程师根据这一情况,会同设计代表决定将此孔加深至 45 m,穿过探洞的部分用钢管进行联结,施工结果证明这种处理方法是正确的。由于岩壁突兀,且花岗岩难以凿挖,给锚墩制作带来极大困难。施工方在锚墩施工时又结合其在其它工程中的经验,修改原设计承压钢板,采用铸钢件承压,将锚墩尺寸缩小。监理发现后认为,修改后的锚墩难以承受张拉 2 100 kN 的压力,但因锚索施工交通条件极差,所有材料只能靠人工搬运上山,最后决定以张拉时不破坏为标准,后经张拉,大部分已浇锚墩被压坏 (试验室成型试件实测强度仅仅 12.4 MPa)。针对现场地形、地质条件和施工方已购铸钢件的具体情况,经现场设计代表和监理计算后,决定对锚墩尺寸和钢筋布设进行修改。同时调整锚墩混凝土配合比,按 C40 进行拌制浇筑,单位水泥用量为 594 kg。既方便了施工,又保证了锚墩质量。最终张拉验证这种修改是正确的、合理的。

参考文献:

[1] 中国岩土锚固工程协会. 岩土锚固工程技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1996.
[2] 武汉水利电力学院, 成都科学技术大学. 水利工程施工 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1983.
[3] 中国电力企业联合会标准化部. 电力工业标准汇编 水电卷——施工 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.

(收稿日期 2000-02-20 编辑 张志琴)