

高陡边坡大倾角简易架空索道的设计与施工布置

李乾刚, 余义保

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘要:水利水电枢纽工程施工普遍存在超高陡边坡分散危岩体处理等问题。而索道是高陡边坡施工材料、工器具及设备经常运用的、较为理想的运输工具。但天然高陡边坡存在索道上锚点布置及施工等难题,需要解决上锚点施工通道。阿尔塔什大坝工程根据施工需要设计了2 t 架空索道。为解决右岸高陡边坡施工通道问题,该工程利用原有高边坡地质探洞设置了集束锚杆,解决了上锚点施工问题,取得了良好的经济和社会效益。结合索道在阿尔塔什大坝工程中的应用,对索道设计及控制要点进行了介绍。

关键词:高陡边坡;架空索道;设计;施工;阿尔塔什水利枢纽

中图分类号:TV7;TV53;TV51;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)04-0106-04

1 工程概况

阿尔塔什水利枢纽工程是叶尔羌河干流山区下游河段的控制性水利枢纽工程,其右岸高边坡陡峻,高度达600 m,边坡分布有31块危岩体,这些危石和孤石掉落形成的落石将会影响到工程的施工和正常运行。对其进行治理时,面临着处理范围广,施工面狭窄,施工内容复杂等问题。项目部技术人员在现场针对高陡边坡中上部W17、W18及最大块W19(20)危岩体处(支护面积2.5万 m^2 ,需转运材料7 200 t)无法布置上锚点的难点,利用边坡已有地质探洞布置了2 t 索道,结合人行爬梯进行支护材料及小型设备运输是保证右

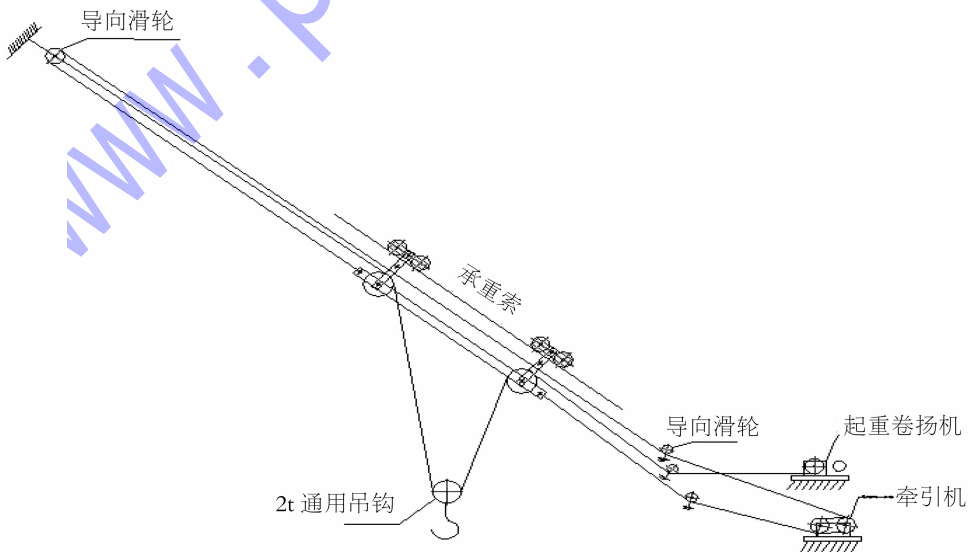
岸高边坡加固处理进度的关键。阿尔塔什大坝工程右岸高边坡处理结合天然地形特点,采取布置集束锚杆的方式对上锚点进行加固,确保了上锚点的拉应力满足需求。

2 索道设计

2.1 索道受力计算

架空索道系统包括由承重索、牵引索、承重缆索滑动系统及下挂结构、缆索地面转向系统构成的主缆索体系及由两岸承重锚固系统、下游岸地面转向系统地锚及卷扬机地锚基础构成的锚固和基础体系。缆索牵引流程见图1。

缆索型式:单跨施工缆索。特性参数:跨度 L



=653 m,上锚点高程 2 148 m,下锚点高程 1 686 m,主索 A、B 两点的高差 $h=462$ m,设计提升重量为 2 t,牵引索附着在主索上。根据水利水电工程中架空索道承载索的工作矢量(跨中最大挠度与水平跨度的比值)一般取值为 0.05~0.07,本工程取中间值 0.065。初选承重索型号为 6×37 、直径 36 mm,自重 4.734 kg/m,钢丝绳最小破断拉力为 70.19 t,根据《货运架空索道安全规范》(GB12141-2008)要求,承载索钢丝绳的抗拉安全系数及钢丝绳的最小破断张力与钢丝绳最大工作张力之比不小于 3,故将该工程中钢丝绳的安全系数 K 取 3。

索道受力情况见图 2。由于承重索为柔性结构,索本身不承担弯矩,因此,根据《水利水电施工组织设计手册》第五卷 P784 说明,当主索的两悬吊点之间有高差 h 时,在主索自重 q 和集中力 PK 共同作用下,则主索在两端点处的水平力 H 、垂直反力 V_a 、 V_b 可按下述公式求得:

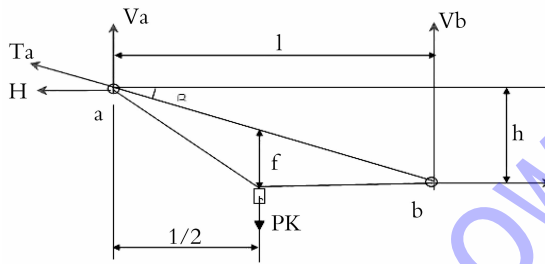


图 2 索道受力简图

$$H = \frac{ql^2}{8f\cos\beta} + \frac{PK_1}{4f} \quad (1)$$

$$V_A = \frac{ql}{2\cos\beta} + \frac{P_k}{2} + H \frac{h}{l} \quad (2)$$

$$V_B = \frac{ql}{2\cos\beta} + \frac{P_k}{2} - H \frac{h}{l} \quad (3)$$

主索端点处的最大拉力为 T_0 ,

$$T_0 = T_A = \sqrt{V_A^2 + H^2} \quad (14)$$

式中 β 为两悬吊点的连线与水平线的夹角; h 为两悬吊点的高差。主索受力计算及校核计算分别见表 1 与表 2。

2.2 上锚点设计

由于受不规则探洞尺寸(底宽 1.5 m,中心高 1.7 m,水平长度为 60 m)限制,预埋锚杆孔的分

表 1 主索受力计算表

名称	代号	计算值
水平拉力(当 P_k 在跨中时 H_{\max})/kg	H	16,772
上锚点(A点)高程/m	2 148	
下锚点(B点)高程/m		1 686
主索 A、B 两点的高差/m	h	462
两悬点连线与水平线的夹角(弧度)	β	0.670 122
跨度/m	l	583
矢度/m,6.5%	f	37.895
总起重量/kg	P_k	2 600
主索每延米重量/kg·m ⁻¹	q	4.734
垂直反力/kg	V_a	16 352
垂直反力/kg	V_b	-10 230
主索端点最大拉力/kg	T_a	23 424

表 2 主索的选用及校核计算表

名称	代号	计算值
水选用($6 \times 37 + 1$)		
钢丝绳直径	φ /mm	36
钢丝绳破断拉力	T_p /kg	70190
主索受力		
安全系数:($k=3$)	$K = T_p/T_a$	3
拉应力	$\delta_{拉} = T_a/A$ /MPa	465.1
缆索弯曲应力	$\delta_{弯}$ /MPa	338.5
弯应力与拉应力之比:(<1)	$\delta_{弯}/\delta_{拉}$	0.73
缆索下垂度验算	$f = (q \times l) / (8 \times H_0 \times \cos\beta) + P_k \times l / (4 \times H_0)$	22.62
主索长度	L /m	794
主索钢丝绳重量	W /kg	3 758.2

布按 0.5 m × 0.5 m 排布,洞宽方向布设 2 排孔,沿探洞轴线布设长度约 4 m。施工要求:探洞内的集束锚杆应预先布设,先放样设定承载索连接点位置(离探洞洞口约 10 m),使 16 根锚杆均指向预设的承重索锚固卸扣且锚杆锚入 2 m 的设计长度均应插入锚孔内,相互位置固定后一次性依次完成注浆工作。集束锚杆施工情况见图 3。

集束钢丝绳应根据现场锚杆距洞口的远近调整钢丝绳长度,集束点数变化为 16→8→4→1(该点离洞口距离为 10 m 左右)→主索;集束钢丝绳数量的变化为 8→4→4→1($\varphi 36$ 主索);钢丝绳规格变化为 $\varphi 16 \rightarrow \varphi 26 \rightarrow \varphi 26 \rightarrow \varphi 36$ (主索)。钢丝绳集束连接应避免钢丝绳相互干扰,必要时将其用

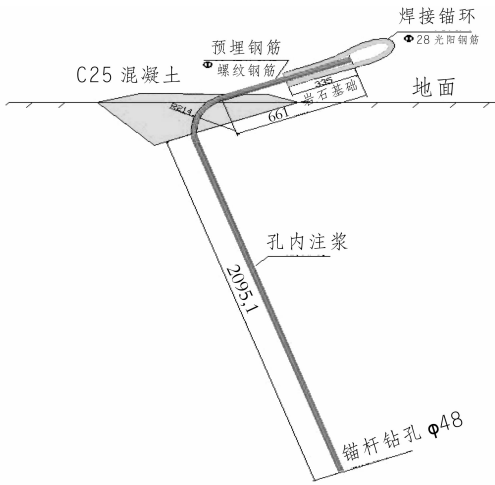


图 3 集束锚杆施工图

方木隔离开,紧线扣的安装需考虑便于现场调整作业。

承重索 $\phi 36(6 \times 36WS + FC - 1870)$ 下方垫枕木,承载索在探洞洞口通过枕木处按承载索实际走向刻槽定位;起重索 $\phi 16(35W \times 7 + FC - 1870)$ 防扭转于枕木中间钻孔穿过;牵引索 $\phi 16(6 \times 19S + FC - 1870)$ 穿过最下层枕木且牵引索转向滑轮布置在探洞外侧,索道上锚点探洞口方木支架施工情况见图 4。

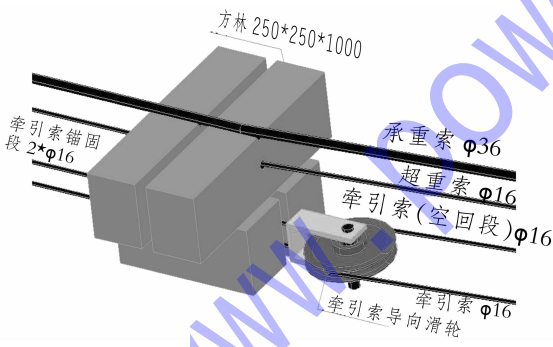


图 4 索道上锚点探洞口方木支架施工图

上锚点主索端点最大拉力 $Ta = 234.24 \text{ kN}$ 。根据水利水电工程锚喷支护技术规范要求,内锚固段胶结长度安全系数 K 值取 1.5, 端头锚筋采用孔壁与介质之间的抗剪力计算锚杆承受的设计张拉力。

$$P = \pi L \tau D$$

式中 P 为孔壁与介质之间的抗剪力(kN); D 为锚筋孔径, $D = 28 \text{ mm}$; L 为有效锚固长度, 取 2 m; τ 为孔壁与混凝土之间的粘着力。对于水泥胶结材料与围岩粘结强度, 取值 0.8 N/mm^2 , 故 $P = 3.14 \times 28 / 1000 \times 2 \times 800 = 140.67 \text{ (kN)}$ 。

由上可知, 锚筋抗拔拉力设计值为 140.67 kN。

$$\text{安全系数 } K = p / F$$

式中 F 为要求锚筋抵抗的外力值(kN); 若按照 1.4 荷载分项系数考虑, 则有:

$K_{\text{实际}} = 140.67 / (234.24 / 16 \times 1.4) = 6.8$, 满足抗拔要求。

2.3 下锚点设计

采取浇筑钢筋混凝土结构即可满足下锚点拉应力要求。起重卷扬机、牵引绞车应根据现场实际条件放样布设, 亦可同侧布置; 距下锚墩的距离不得小于 10 m, 且安装部位应有 $20 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的平坦场地, 起重卷扬机、牵引绞车混凝土基础浇筑前须确定预埋螺栓孔位和两机高程台阶。沿索道轴线方向布置预埋锚杆 $4\phi 32 (L = 8 \text{ m})$ 及竖向受力锚杆 $9\phi 25 (L = 2 \text{ m})$, 锚杆材料为 HRB400 热轧螺纹钢; 混凝土钢筋笼主筋材料为 $\phi 18$, 周边钢筋为 $\phi 12$, 钢筋连接方式采用现场绑扎工艺, 混凝土墩外围尺寸为 $2100 \text{ mm} \times 2000 \text{ mm} \times 1297 \text{ mm}$, 混凝土强度级别为 C25, 浇筑方量约 5 m^3 。锚碇计算情况见表 3, 索道下锚墩结构见图 5。

表 3 锚碇计算表

下锚碇水平拉力	下锚碇垂直反力	设计安全系数	锚碇设计下锚点最大拉力	预应力锚杆应力	实际安全系数
H/kg	V_b/kg	K	Ha/kg	F/kg	K
16 772	10 230	1.5	19 645	40 000	2.04

2.4 索道运输参数

架空索道采用 SQJ-50A 型索道牵引机(电动), 牵引钢丝绳规格为 $\phi 16$ 纤维芯钢丝绳, 卷扬机布置在下锚点附近, 平台高程约 1 686 m。卷扬机平台采用钢绳锚杆将卷扬机基础与基岩连接,

锚杆采用 6 根 $2\phi 16$ 砂浆钢绳锚杆, 入岩 2 m, 索道运输参数见表 4。

3 施工及运行要求

(1) 采用索道作为材料及设备的主要运输工具能保证运输强度和工期以及成本控制。但是,

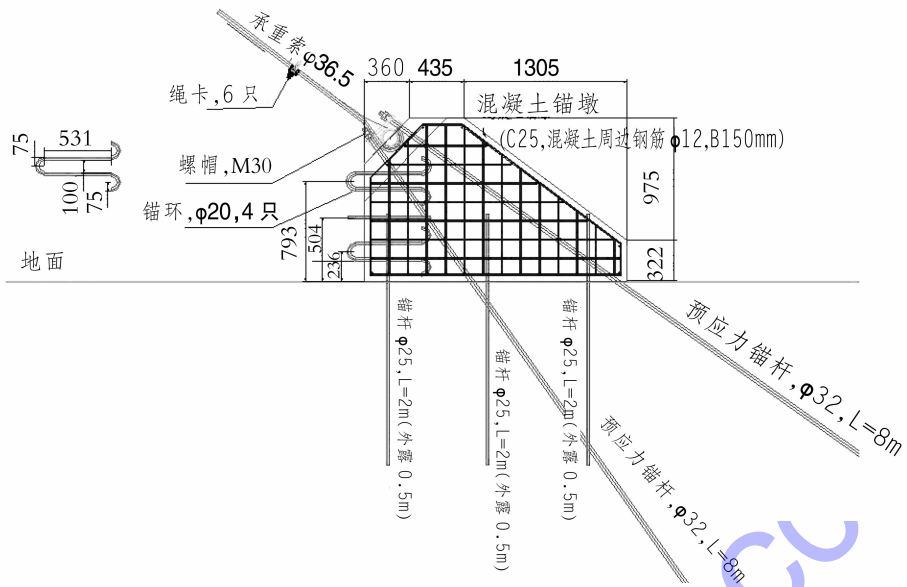


图5 索道下锚墩结构图

表4 索道运输参数表

运行参数	数值
索道额定载重量/t	2
小车往返一次时间/min	35.3
运输能力/t·h ⁻¹	3.4
每天工作时间/h·d ⁻¹	12
运输能力/t·d ⁻¹	40.8
运输能力/t·月 ⁻¹	1 019.8

作为索道更重要的目的之一是确保施工安全。索道作为特种设备,其自身具有一定的安全风险,在施工过程中必须制定相关制度,严格按照设计要求进行施工,严格按照制度进行管理,即可避免索道作为特种设备的安全风险。

(2)在承重索布设过程中,应严格控制索道垂度,张拉时在承载索上布设标识,先用手扳葫芦将承载索张拉至标识处,然后悬挂相应的配重调整后固定。

(3)索道安装分部项目完成后应履行报验手续,由项目部工程、质量、安全、测量、机物等相关部门的人员进行复核检查(检查记录与签字手续归档保存)。索道作为特种起重运输设备,其合格证、质量证明文件、检查记录、维修记录、保养记录等文件应归入特种设备档案,由设备部门管理。

(4)索道运行时,操作工必须经过培训、熟练

并掌握操作设备的“结构、性能、基本原理”,做到“会使用、会维护、会保养、会处理一般性故障”,经考试合格并取得操作资格证后方可上岗操作。

4 结语

阿尔塔什水利枢纽右岸边坡采用在地质探洞内布置2t架空索道处理高陡边坡上大范围分布的危岩体,有效地解决了前期施工场地限制。索道投入使用后,能满足工程施工所需材料的运输以及100B等潜孔钻机、4m³/min空压机等运输需求,有效加快了危岩体处理及支护施工进度,确保了右坝肩开挖重要节点目标的完成,至2017年7月已完成施工材料、设备运输7200t,索道运行安全。

参考文献:

- [1] SL375-2007, 缆索起重机技术条件[S].
- [2] GB50009-2012, 建筑结构荷载规范[S].
- [3] 严自勉. 缆索起重机[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

作者简介:

李乾刚(1988-),男,河南商丘人,助理工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;

余义保(1987-)男,四川广元人,项目工程技术部主任,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)