

叶巴滩水电站大坝混凝土施工缆机布置方案

李 鹏， 杜 长 飏， 李 心 睿， 蒋 林 魁

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川 成都 610072)

摘 要:叶巴滩拱坝坝高 217 m,坝体结构复杂,混凝土浇筑强度大,采用缆机入仓。为获得最优的缆机布置方案,结合坝址两岸地形地质条件,拟定了平移式和辐射式(左辐射式、右辐射式)2 种类型、3 个方案进行技术经济比较,比较结果表明,平移式缆机方案在布置条件、运行灵活性及工程投资等方面均较优,故推荐平移式缆机布置方案。

关键词:混凝土浇筑;缆机布置;方案拟定;技术经济比选

中图分类号:[TM622];TV642;U227.5 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2019)02-0071-05

1 概 述

叶巴滩水电站位于四川与西藏界河金沙江上游河段上,系金沙江上游 13 个梯级水电站的第 7 级。拦河大坝采用混凝土双曲拱坝,位于“V”形对称峡谷中,大坝坝顶高程 2 894.00 m,最大坝高 217.00 m,拱冠顶厚 11 m,底宽 46.00 m,厚高比 0.212。坝顶中心线弧长 582.214 m,共分为 27 个坝段,横缝平均间距约为 22 m。在坝身 2 804.00 m 高程 12~15 号坝段布置有 4 孔泄洪深孔;在坝身 2 877.00 m 高程 12~17 号坝段布置有 5 孔泄洪表孔,采用骑缝布置。在坝身 2 760.00 m 高程 12 号 和 17 号 坝 段 布 置 2 孔 导 流 底 孔。大 坝 混 凝 土 总 量 约 280 万 m³,浇筑工期 44 个月,高峰月浇筑强度约 11.5 万 m³/m。

坝址区河道顺直,两岸山体雄厚,地形陡峭,左、右岸地形坡度分别约 45°~55°、40°~45°;河谷狭窄,呈对称深切“V”型峡谷,峡谷系数约 2.0。主要结构面横河向发育,呈似横向谷特征。

2 大坝混凝土浇筑方案选择

从国内外已建和在建的工程实例来看,适用于混凝土坝浇筑的主要施工设备包括门机、塔机、塔(顶)带机、缆机及其他辅助浇筑设备。门机、塔机是一种较传统的混凝土浇筑设备,适用于河谷较宽、混凝土工程量较大的工程。缆机作为一种高空运输设备,不受水流条件的影响,不需要布置入仓通道,特别适用于河谷窄陡的混凝土坝工程。

缆机运行作业干扰小,供料线路集中,运输强度高,不需占用大坝施工场地,浇筑强度及工期保

证性高,还能兼顾金属结构及设备物资的吊运。国内外高拱坝混凝土均采用缆机作为主要入仓方式,因此,叶巴滩拱坝选择缆机作为大坝混凝土浇筑的主要入仓方式。

根据大坝混凝土浇筑计算机模拟分析,采用 3 台和 4 台额定起重量 30t 的缆机均可满足坝体混凝土浇筑及金属结构和施工机械吊运等辅助作业要求,采用 3 台缆机工期比 4 台缆机工期长约 1 个月。考虑到叶巴滩电站地处高寒高海拔地区,大坝系施工关键项目,为提高施工的保证性,推荐采用 4 台额定起重量 30 t 的缆机。

3 缆机布置方案拟定

根据叶巴滩枢纽建筑物布置和两岸地形条件,平移式和辐射式方案均能满足大坝浇筑的覆盖范围要求,因此,拟定了平移式和辐射式(左辐射式、右辐射式)2 种类型、3 个方案进行技术经济比较。

3.1 平移式缆机方案

3.1.1 缆机平台布置

本工程坝址两岸地形基本对称,右岸地形等高线顺直,且几乎平行于河床纵轴线。左岸拱肩坝顶高程附近发育一山谷,地形等高线稍显零乱、弯曲,向下游经过坝顶后,转向山里,但坝肩位置地形等高线总体走势仍基本平行于河床纵轴线,从地形条件上分析,两岸均具备布置平移式缆机的基本地形条件。

由于本工程大坝混凝土系统布置在左岸,为方便上料,缆机供料平台也布置在左岸,结合坝肩开挖形成;因左岸上游发育一山脊,左岸开挖边坡

规模相对较大,为尽量减小左岸边坡开挖高度,将宽度较小的缆机副塔平台布置在左岸,缆机主塔平台布置在右岸。

3.1.1.1 平台的长度

缆机平台在上下游方向应控制住整个大坝混凝土浇筑范围及孔口金属结构吊运,并应预留出缆机在上下游两端停靠时车挡安全距离,同时考虑左岸下游地势较低因素,左右岸缆机平台长度约 180 m。

3.1.1.2 平台的宽度

根据类似工程经验,采取 30t 平移式缆机的主车平台宽 15 m、副车平台宽 12 m 可以满足缆机安装、运行及检修要求。主车布置于右岸,副车布置于左岸。

3.1.1.3 平台的高程及缆机的跨度

左右岸坝肩拱间槽距离 514 m,缆机的非正常工作区取跨度的 1/10,分析得出叶巴滩最短缆机跨度 645 m 左右,相应的缆机承载索垂度在 35 m 左右,30 t 缆机主索至吊罐底部的高度约 17~20 m,同时考虑坝顶以上留有安全高度约 7 m,则缆机平台布置高程应在 2 953.00 m 高程以上。结合坝顶供料平台、坝肩边坡马道平面布置,以及考虑缆机非工作区影响、左岸右地形条件等因素,经布置比较,左右岸缆机平台高程布置在 3 000.00 m 高程较为合适,既能满足缆机运行要求,对坝肩边坡的影响也相对较小,缆机平台本身的结构工程量也较小。

在平台高程 3 000.00 m 确定后,为保证缆机平台出露在岩石面,且尽量减少边坡开挖工程量,确定缆机跨度为 675 m。缆机布置参数见表 1。

表 1 平移式方案缆机布置参数表

序号	项目	单位	数值	备注
1	左岸高程	m	3 000.00	
2	右岸高程	m	3 000.00	
3	两端连线中点高程	m	3 000.00	
4	缆机跨度	m	675.00	
5	主索垂度	%	5.50	
6	主索下垂高度	m	37.13	
7	主索最低高程	m	2 962.87	
8	主索~混凝土吊罐底的最小距离	m	17.00	
9	混凝土吊罐底~浇筑高程的安全距离	m	6.75	
10	最高可浇筑高程	m	2 939.12	
11	坝顶高程	m	2 894.00	
12	富裕起升高度	m	45.12	
13	富裕钢绳长度	m	180.5	按 4 倍绳率计算
14	左岸边坡最大开挖高度	m	120	
15	右岸边坡最大开挖高度	m	130	随开关站边坡统一开挖
16	平台及轨道长度	m	180	左岸下游需搭设栈桥,长约 40 m
17	主车平台宽度	m	15	
18	副车平台宽度	m	12	

3.1.2 供料线布置

3.1.2.1 左岸主供料线

主供料线为大坝混凝土供料线,是大坝混凝土从水平运输卸料到垂直运输的交接场地。本工程料场及砂石加工系统均在大坝下游左岸,大坝混凝土系统宜布置在大坝左岸下游。因此,混凝土

供料线按大坝混凝土系统布置在左岸坝肩下游设计。

根据类似工程经验,大坝混凝土供料线一般布置在坝顶高程,即混凝土供料线布置于坝肩 2 894.00 m 高程,长度约 200 m。供料线采用循环线的布置方式,混凝土运输车从左岸下游混

凝土系统→502#隧洞→左岸坝肩 2 894.00 m 高程马道(即供料平台)卸料→卸料后经 501#隧洞公路→503#公路隧洞→下游混凝土系统,形成循环供料线。

供料线平台结合左岸坝肩 2 894.00 m 高程马道布置,马道开挖宽度 5~15 m,在马道外侧搭设 5~15 m 宽的栈桥形成 20 m 宽供料平台,可以满足一辆混凝土自卸汽车卸料、2 辆自卸汽车并行。供料线外侧搭设 5 m 宽的栈桥形成料罐

卸料平台。
3.1.2.2 右岸辅助供料线
为满足大坝混凝土浇筑期间钢筋、模板及设备运输的需要,右岸 2 894.00 m 高程坝肩开挖马道向山内扩宽 10 m,再向外侧搭设 5 m 宽的钢栈桥形成 15 m 宽物料供应平台。平台长度约 185 m。

平移式缆机布置方案见图 1。

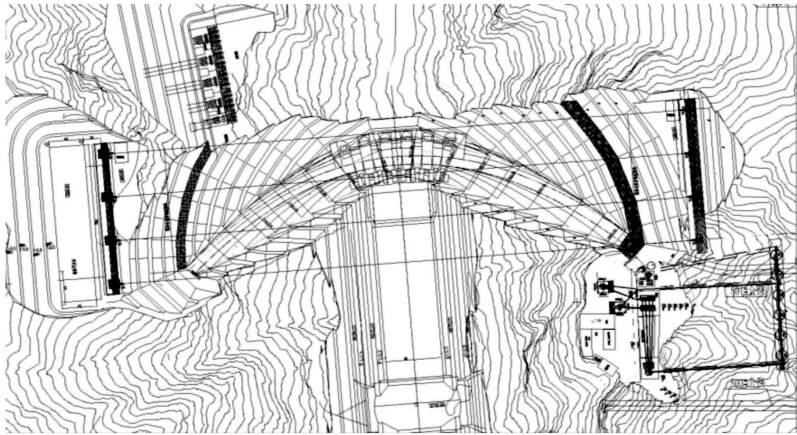


图 1 平移式缆机布置图

3.2 辐射式缆机方案
3.2.1 左辐射式缆机方案

根据坝址地形特征,对左辐射方案的缆机平台及供料线进行了初步布置分析。右岸固定端平台高程 3 080.00 m;左岸辐射端平台高程 3 000.00 m,平台宽度 12 m,长度 330 m,缆机跨度 830 m。左岸拱间槽上游发育一山脊,地形凌乱,总体呈中间高、上下游低的态势,地形高差

达 150 m,左岸上游需搭设栈桥高度达 50 m,施工难度大;左右岸缆索出线高差达 80 m,视线坡角大,技术上很难实现;因缆机布置高程高,导致吊深增大,最大吊深超过 300 m;同时,料场及砂石加工系统均在大坝下游左岸,不利于供料。
综上所述,左岸辐射式缆机布置方案技术难度极大、供料不畅,可不予采用。左岸辐射式缆机布置方案见图 2。

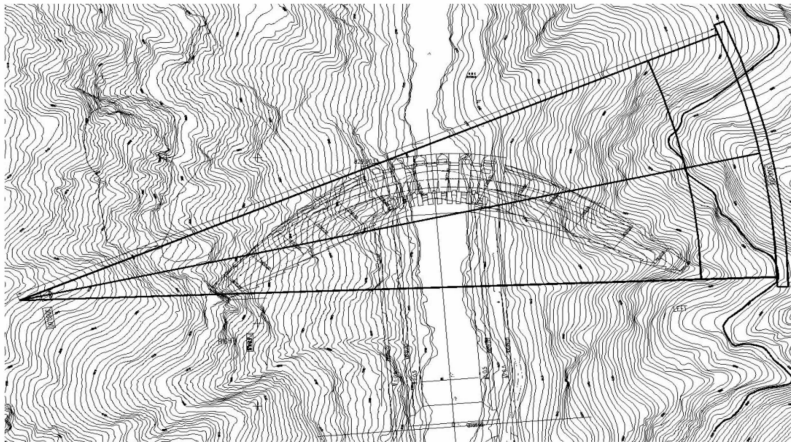


图 2 左辐射式缆机布置图

3.2.2 右辐射式缆机方案

3.2.2.1 缆机平台布置

根据地形特征,左岸拱间槽上下游侧均发育一山脊,拱间槽布置于山谷处,右岸地形较顺直。右岸辐射式方案在覆盖全坝段浇筑范围的条件下,充分利用地形条件,将固定端布置于左岸拱间

槽上方山谷处,出线高程 3 025.00 m;右岸辐射平台上游地势较低,需搭设栈桥,缆机平台高程越高,需搭设栈桥高度越高,难度越大,综合考虑后右岸辐射端平台高程取 3 000.00 m,栈桥高度约 50 m;平台宽度 12 m,长度 316 m,缆机跨度 758 m。右辐射式缆机布置参数见表 2。

表 右辐射式方案缆机布置参数表

序号	项目	单位	数值	备注
1	左岸固定端出线高程	m	3 025.00	固定端
2	右岸辐射平台高程	m	3 000.00	
3	两端连线中点高程	m	3 012.50	
4	缆机跨度	m	758.00	
5	主索垂度	%	5.50	
6	主索下垂高度	m	43.18	
7	主索最低高程	m	2 969.3	
8	主索~混凝土吊罐底的最小距离	m	17.00	
9	混凝土吊罐底~浇筑高程的安全距离	m	7.85	
10	最高可浇筑高程	m	2 944.5	
11	坝顶高程	m	2 894.00	
12	富裕起升高度	m	50.5	
13	富裕钢绳长度	m	202	按 4 倍绳率计算
14	左岸边坡最大开挖高度	m	64	
15	右岸边坡最大开挖高度	m	130	随开关站边坡统一开挖
16	平台及轨道长度	m	316	右岸上游需搭设栈桥,长约 120 m
17	辐射端平台宽度	m	12	

3.2.2.2 供料线布置

与平移式缆机布置一致,右辐射式缆机布置也采用 2 894.00 m 高程左岸供料线方案。坝肩开挖区域段供料线与 2 894.00 m 高程马道相结合,开挖宽度 15 m,在 2 894.00 m 高程由供料平台向外侧搭设 5 m 宽的栈桥形成 20 m 宽供料线平台,可以满足 1 辆自卸汽车卸料及 2 辆混凝土运输车同时并列运行,供料线外侧搭设 5 m 宽的栈桥形成料罐卸料平台。

为满足大坝浇筑钢筋、模板、钢结构及设备运输的需要,右岸 2 894.00 m 高程坝肩开挖马道向内扩宽为 10.0 m,向外侧搭设 5 m 宽的栈桥形成 15 m 宽物料供应平台。左岸主供料线长度约 70 m,右岸辅助供料平台受进水口部分占压,长度约 260 m。

右岸辐射式缆机布置方案见图 3。

4 缆机布置技术经济比选

4.1 技术比较

4.1.1 施工布置

主供料线长度将影响大坝混凝土的施工强度,较长的主供料线,更能便利的进行施工组织,提高混凝土浇筑效率;供料线太短,势必在混凝土卸料过程中相互干扰,不利于多台缆机同仓浇筑,也不利于缆机抬吊,在运行上有较大限制,影响大坝浇筑强度。

平移式缆机主供料线长约 200 m,右辐射式缆机主供料长度约 70 m。从供料线布置来看,平移式缆机布置方案更优。

4.1.2 边坡开挖高度及工程量

由于地面开关站布置于右岸 3 000.00 m 高程缆机平台后侧,两方案右岸缆机平台以上边坡开挖受地面开关站影响,高度均为 130 m,无差别。

对于平移式缆机方案,左岸缆机平台以上边坡规模主要由大坝边坡控制,布置缆机前后,边坡

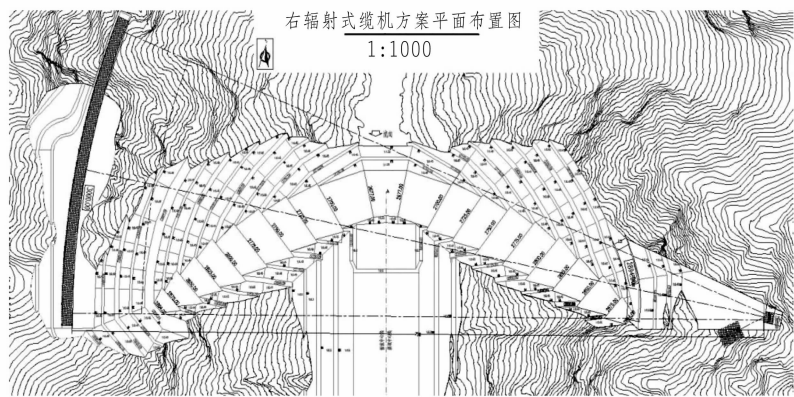


图 3 右辐射式缆机布置图

开挖高度均约 120 m 左右,仅开挖深度及边坡支护工程量略有增加。右辐射式缆机方案左岸固定端开挖边坡高度 89 m,比平移式方案低,但与坝肩边坡开挖相互独立,整个边坡开挖及支护均属于布置缆机后增加的工程量。

总体而言,右辐射式缆机方案对边坡影响略大,支护工程量也略大。从该因素分析,平移式缆机布置方案优。

4.1.3 缆机平台布置

鉴于左岸地形靠近下游侧地形线转向沟内,地势较低,平移式缆机方案左岸缆机平台需设置栈桥,栈桥最大垂直高度 25 m 左右,难度较小。而辐射式方案由于右岸辐射平台上游地势低,需搭设栈桥高度 55 m 左右,施工难度较大。

从缆机平台布置方面,平移式缆机方案更优。

4.1.4 缆机运行

根据运行经验,平移式缆机运行及管理简单,效率较高,而辐射式缆机运行及管理相对复杂,特别是在多台缆机合作、联合抬吊等方面要求严格。但从国内已建和在建工程来看,两种方案在设备运行方面没有本质的差别,均已有成熟的管理经验。

对叶巴滩工程来说,从布置条件上分析,两种方案在运行方面没有特别的限制条件,但平移式缆机运行及管理相对简单,保障性较高。此外,富裕起升高度越小,缆机运行时吊钩的摇摆幅度越小,缆机运行稳定性也越好。平移式方案、右辐射方案的富裕起升高度相差不大,分别为 45.12 m、50.5 m。平移式方案比辐射式方案的缆机运行稳定性略好。

4.2 经济比较

经测算,平移式缆机方案土建总投资约 43

589.97 万元,右辐射式缆机方案土建总投资约 47 421.93 万元。从两个数据不难看出,平移式缆机方案投资更为节省。

4.3 推荐缆机布置方案

根据上述分析,平移式缆机方案和右辐射式缆机方案主要优缺点对比见表 3。

表 3 平移式及右辐射式缆机方案比较汇总表

比较项目	平移式	辐射式
布置比较	缆机平台长度小,对边坡影响小,土建工程量小,缆机上料容易,与其他项目施工干扰小	辐射端缆机平台较长且布置困难,与进水口施工有干扰;对边坡影响相对较大;供料线较短,缆机上料略复杂
运行比较	运行及管理简单,保障率较高	运行及管理较复杂
边坡比较	开挖工程量相对略大,但与坝肩开挖连成一片	开挖工程量相对略小,但开挖相对独立,均为布置缆机后的增加量
经济比较	总造价约 43 589.97 万元	总造价约 47 421.93 万元
方案比较	推荐方案	

综上所述,经技术及经济比较,平移式缆机方案运行简单,保障率高;对坝肩边坡影响小;缆机土建及边坡工程量相对较小;土建投资较右辐射式方案略优。因此,综合考虑,选择平移式缆机方案作为叶巴滩拱坝混凝土施工的推荐方案。

5 结 语

结合叶巴滩水电站坝址狭窄陡峭河谷的地形地质条件,对平移式和辐射式(左辐射式、右辐射式)2 种类型、3 个方案进行了技术经济比选。通过比选得出平移式缆机方案在技术上更优,在经济上更省,因此,选择了运行效率高、投资较省、适应性更好的平移式缆机方案作为叶巴滩大坝混凝土

(下转第 80 页)

下洞室围岩产生了一定的增量位移,但不超过 8 mm,小于 10%。(2)地震工况下主厂房上游边墙围岩出现一定的小值拉应力,量值不超过-0.7 MPa;两工况下最大压应力主厂房顶拱分别为 35.63 MPa、33.72 MPa,尾闸室顶拱分别为 35.64 MPa、36.47 MPa。围岩应力较未考虑地震作用时变化较小,不超过 5%。(3)地震荷载对锚杆应力影响很小。两工况下顶拱部位较正常工况锚杆应力变化小于 3%。可见,地震作用对洞室稳定状况影响较小,洞室稳定性和支护结构安全性是有保证的。

6 结 论

- 综合上述计算分析成果,可得如下结论:
- (1)硬梁包水电站厂区初始应力以构造应力为主,三大洞室区为中高应力区。当前主洞室轴线选择合理,有效规避了最大主应力对洞室稳定的不利影响,同时兼顾了中间应力的影响。
- (2)三大洞室顶拱拱角、高边墙中部,交叉口部位等均发生了不同程度的应力集中现象,最大主应力可达约 50MPa,但仍在围岩强度承受范围内;2D、3D 模型下围岩变形规律基本一致,量值总体不大。
- (3)各洞室间岩柱塑性破坏区未出现贯通现象,洞室围岩整体稳定性可控。但洞室高边墙中下部、交叉口等部位塑性区分布相对较深,且破坏点连通性强,可能形成楔型不利组合,出现局部稳定问题。另外,断层贯穿部位处的围岩位移、支护受力均较正常部位有明显的增加,应引起重点关注,并作好关键部位的弱面查勘,制定好针对性的加强支护预案。
- (4)目前采用的支护处理深度和加固强度基本合适,锚杆(索)受力总体不大,满足系统支护安

(上接第 75 页)
土浇筑方案。

参考文献:

[1] 袁建华,谢红忠. 江口水电站坝体混凝土施工缆机布置设计[J]. 人民长江,2001(3):59-61.

[2] 王翔,梁任强,翁永红. 乌东德大坝施工缆机布置方案研究[J]. 水利水电技术,2014(1):107-110.

[3] 翁永红,汪安华,范五一,简兴昌. 向家坝水电站大坝混凝土浇筑方案研究[J]. 中国三峡建设,2004(5):47-50.

作者简介:

李 鹏(1990-),男,四川内江人,硕士,工程师,现供职于中国电

全性要求。但为了充分发挥锚杆(索)作用,结合工程地质条件,洞室局部支护参数仍有一定的优化空间,以降低工程造价。

(5)考虑地震作用的计算分析结果表明,地震荷载对地下洞室群围岩应力分布、洞周位移、锚杆(索)受力等均影响较小,洞室稳定性及支护结构安全性是有保证的。

参考文献:

[1] 孙开畅,孙志禹.向家坝水电站地下厂房洞室群围岩稳定分析[J].长江科学院院报,2006,23(5):29-32.

[2] 唐旭海,张建海,张恩宝.溪洛渡电站左岸地下厂房洞室群围岩整体稳定性研究[J].云南水力发电,2007,23(1):33-37.

[3] 陈秀铜,李 璐.大型地下厂房洞室群围岩稳定分析[J].岩石力学与工程学报,2008,27(s1):2866-2872.

[4] 张恩宝,樊熠玮,赵晓峰.溪洛渡水电站地下厂房洞室群施工期围岩稳定性分析[J].水电站设计,2016,32(4):1-7.

[5] 王震洲,侯东奇,曾海燕等.两河口地下厂房轴线方位选择与围岩稳定分析[J].地下空间与工程学报,2016,12(1):227-235.

[6] 周述达,裴启涛,张存慧.大型地下洞室群主洞室规模优化及支护设计研究[J].人民长江,2016,47(18):65-70.

[7] 樊启祥,王义锋.溪洛渡水电站地下厂房岩体工程实践[J].岩石力学与工程学报,2011,30(增1):2986-2993.

[8] 麦锦锋,李端有,黄祥,刘宝乐.乌东德水电站右岸地下厂房施工期围岩稳定分析[J].长江科学院院报,2016,33(05):42-47.

[9] 方 丹,陈建林,张 帅.杨房沟水电站地下厂房围岩稳定分析[J].岩石力学与工程学报,2013,32(10):2094-2099.

[10] 蒋 峰,张建海等.某大型地下厂房洞室群支护设计和围岩稳定[J].四川水力发电,2004,23(4):31-33.

作者简介:

张恩宝(1979-),男,河南灵宝人,高级工程师,主要从事水工建筑物设计工作;

邓 瞻(1979-),男,湖北襄阳人,高级工程师,主要从事水工建筑物设计工作。

(责任编辑:卓政昌)

建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程施工组织;

杜长劼(1991-),男,甘肃陇南人,硕士,助理工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程施工组织;

李心睿(1991-),男,四川绵阳人,硕士,助理工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程施工组织;

蒋林魁(1975-),男,湖南宁乡人,学士,教高,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程施工组织。

(责任编辑:卓政昌)