

二滩水电站左岸导流洞围岩稳定性评价及处理

龙疆红

(国家电力公司成都院成都水利水电建设工程公司, 四川 成都 610072)

摘要: 已建成的二滩水电站导流洞为目前世界之最, 围岩内存在的高地应力、软弱岩带、节理不利组合等构成了控制隧洞稳定的主要地质因素。笔者以左岸导流洞为例, 在围岩分级、分类的基础上, 对这些主要地质因素所引起的围岩稳定问题进行了分析预测, 并简介了施工处理措施。

关键词: 二滩水电站; 导流洞; 围岩稳定性; 岩爆; 软弱岩带; 评价及处理

中图分类号: P642

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(1999)增-0088-03

二滩水电站为砼双曲拱坝, 全地下厂房, 采用左、右共两条隧洞导流布置型式。导流洞断面为圆拱直墙型, 断面尺寸 23.5 m × 18.0 m (高 × 宽), 为世界之最。本文以左岸导流洞为例, 根据前期地质勘探成果及施工地质编录资料, 采用二滩岩体质量分级与 Q 系统相结合对围岩稳定性进行了工程地质评价。分析并简介了左岸导流洞存在的主要工程地质问题及其处理措施。

1 左岸导流洞布置区地质概况

左岸导流洞长 1 087.8 m, 垂直埋深 100~200 m, 最大水平埋深 280 m。

隧洞区出露的基岩, 由二迭系玄武岩和后期侵入的正长岩以及因侵入活动形成的变质玄武岩组成, 岩石湿抗压强度 170~210 MPa, 属坚硬岩类。沿线地质构造简单, 为玄武岩组成的单斜构造, 断层不发育且规模小, 与工程有关的仅有 f5、f26、f27 等小断层, 破碎带宽 0.2~1.0 m, 挤压紧密, 倾角陡, 垂直或斜交河床展布。此外, 玄武岩内尚有一些小型破碎带, 空间上孤立存在, 互不连续。岩体内主要构造形迹为一套节理裂隙, 宏观上大致可归为 6 组, 空间分布上明显表现为发育程度的区段性和不同岩性的差异性。每一区段仅发育 2~3 组; 在正长岩内规律性较强, 一般发育“两陡一缓”, 把岩体切割成较规则的块状结构。在玄武岩内原生柱状节理和缓倾节理不发育, 被切割而成的结构体形态不规则。

隧洞区岩体透水性差, 地下水活动微弱, 开挖揭示洞壁多干燥, 仅个别段有渗水迹象。洞线埋深较大处, 地应力较高, 实测结果表明 σ_1 为 20~38 MPa,

方位 $N 10^\circ \sim 30^\circ E$, 倾向河床, 倾角 $< 30^\circ$ 。

2 围岩岩体质量分级和围岩分类

2.1 隧洞围岩分类标准

在勘测设计阶段, 根据钻孔和平硐揭示的洞线地质情况, 利用二滩水电站岩体质量分级标准和隧洞围岩分类标准对地下洞室围岩进行了工程地质评价, 共分为 6 级 5 类 (见表 1)。随后为适应国际招标以及施工期隧洞支护需要, 又利用国际上通用的 Q 系统分类法划分了围岩类别, 并建立了二滩岩体质量与 Q 系统之间的关系。

从表 1 情况分析可以看出: (1) 以反映岩体固有物理力学特性为目标的二滩岩体质量分级结果与 Q 系统评价结果有较好的对应关系。由于岩体质量分级针对各级岩体给出了相应的物理力学参数, 同时 Q 系统法的使用又为解决支护措施提供了一种简便快速的手段。因此, 采用二滩岩体质量分级与 Q 系统相结合对围岩进行工程地质评价是合适的。(2) 虽然两种分类方案考虑的基本因素大致相同, 但是因服务目的不完全相同, 因此它们对同一岩体的评价也存在一定的差别。这种差别一是由于岩体本身固有的结构不均性, 二是因为 Q 系统围岩分类主要针对隧洞支护。

2.2 左岸导流洞围岩分类评价

据前期勘探试验结果, 结合施工开挖揭示的地质情况, 按上述标准, 将左岸隧洞围岩分为 6 段 (见表 2)。

总体上左岸导流隧洞洞身大多位于新鲜、坚硬、完整性较好的火成岩内, 而且沿洞线地下水活动微弱, 总体上成洞地质条件较优越。据勘探阶段地质成果分析和开挖阶段地质观测, 隧洞区主要工程地质

问题是: 受地应力影响产生岩爆; 节理组合形成 不稳定楔体; 软弱岩带不利成洞。

表 1 二滩电站岩体质量分级与水电围岩分类和 Q 值的对应关系表

二滩 岩体 质量 分级	水电围岩分类		Q 系统围岩分类			弹性抗力 系数 K_0 $/\text{MPa} \cdot \text{cm}^{-1}$	坚固 系数 $/f$	泊松比 $/\mu$	变形 模量 E_0 $/\text{GPa}$
	类别	评价	Q 值		评价				
			范围值	平均值					
A	I	稳定	1~ 50	29	好	160	8	0.17	35
B	I	稳定	4.1~ 33	19	好	100~ 120	6~ 7	0.20	25
C	II	基本稳定	2.9~ 18	11	好~ 一般	70~ 80	5~ 6	0.20	10~ 15
D	III	稳定性差	2~ 10	6	坏~ 一般	30~ 45	3~ 5	0.25	4~ 5.5
E-3	IV	不稳定	1.7~ 6.1	4	坏	20~ 30	2~ 3	0.27	0.8~ 2.5
E-1, E-2	IV	不稳定	0.017~ 0.8	0.03	很坏~ 极坏	1~ 5	1~ 2	0.30	1.5
F	V	极不稳定	< 0.01		极坏	< 1	1	0.35	0.5~ 1.0

表 2 左岩导流洞围岩分段评价表

分段桩号 $/\text{m}$	围岩地质特征	岩体结构类型	二滩岩体 质量分级	水电围 岩分类	Q 值
0+ 000~ 0+ 345	正长岩为主, 局部有少量变质玄武岩, 岩体内主要节理三组: $N 20^{\circ} \sim 0^{\circ} E/NW 50^{\circ} \sim 60^{\circ} N 40^{\circ} \sim 60^{\circ} W/N E 65^{\circ} \sim 70^{\circ} E/W/S 10^{\circ} \sim 30^{\circ}$; 间距 1~ 2 m。	整体~ 块体结构	A、C-1 局部 B-2	I II	23.5~ 67.5
0+ 345~ 0+ 520	围岩为变质玄武岩, 岩体内主要节理: $N 30^{\circ} \sim 60^{\circ} E/NW 50^{\circ} \sim 60^{\circ} N 50^{\circ} \sim 70^{\circ} W/N E 60^{\circ} \sim 75^{\circ}$; 间距 40~ 100 cm 缓倾角节理, 延伸长 3~ 5 m, 连续性差。	块状~ 镶嵌结构	C-2	II	10~ 30
0+ 520~ 0+ 690	正长岩为主, 局部有少量变质玄武岩, 岩体内节理: $N 50^{\circ} \sim 70^{\circ} E/NW 60^{\circ} \sim 70^{\circ} N 50^{\circ} \sim 60^{\circ} W/N E 60^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 近 $E/W/S 20^{\circ} \sim 50^{\circ}$; 其中部分段第 组缺失。	整体~ 块状结构	A	I	30~ 65
0+ 815~ 1+ 003	玄武岩为主, 夹两条裂面绿泥石化玄武岩 ($P_2\beta$) 软弱岩带, 主要节理 $N 30^{\circ} \sim 50^{\circ} E/NW 60^{\circ} \sim 70^{\circ} N 30^{\circ} \sim 50^{\circ} W/N E 60^{\circ} \sim 70^{\circ} N 45^{\circ} \sim 60^{\circ} E/SE 40^{\circ} \sim 50^{\circ}$; 间距 30~ 60 cm。	块状~ 镶嵌结构 $P_2\beta$ 为碎裂结构	C-2 少量 E-2	II IV	13.3~ 40 0.07~ 0.5 (E-2)
0+ 690~ 0+ 815	围岩为正长岩, 节理发育情况同前一段, 间距 50~ 100 cm。	块状结构	C-1	II	18~ 40
1+ 003~ 1+ 087.8	围岩为玄武岩, 弱风化中段, 主要节理同前段, 结构均一性差, 裂面受风化, 并有次生充填。	镶嵌结构	D-2	III	5~ 8.9

表 3 Russenes 岩爆分级标准表

岩爆等级	描述	σ_{an}/R_c
0	无岩爆	< 0.36
1	低岩爆活动	0.36~ 0.46
2	中等岩爆	0.46~ 0.6
3	高度岩爆	> 0.6

3 主要工程地质问题评价及处理

3.1 岩爆问题

主要存在于隧洞中段整体~ 块状结构的 A、B 级岩体内, 岩体节理裂隙不发育, 间距大, 一般 1~ 2 组, 节理裂隙很少互相交切构成不稳定块体。围岩稳定性主要受岩石强度与二次应力重分布强度控制。据实测地应力成果, 洞身埋深 200 m 左右时, 原岩主应力 σ 量级达 20~ 38 MPa, 总体上与洞线近垂直或大角度相交, 倾向河床, 倾角 < 30°; 对洞壁稳定性较有利。但是在靠河侧拱墙交界部位易产生应力集中。应力集中系数按 3 考虑时, 二次应力 σ_{an} 将达到 60~ 114 MPa, 与围岩单轴抗压强度 $\alpha = 170 \sim 210 \text{ MPa}$ 对比 $\sigma_{an}/R_c = 0.35 \sim 0.57$, 按 Russenes 岩爆分级标准 (见表 3) 判断, 局部洞段可能产生低~ 中等岩爆。

施工开挖时洞 0+ 620~ 0+ 690 m 曾出现岩爆现象, 该段水平埋深 140~ 170 m, 垂直埋深 180~ 200 m, 围岩岩性为正长岩, 岩体内主要节理有两组: $N 20^{\circ} \sim 50^{\circ} E/NW 50^{\circ} \sim 60^{\circ} N 30^{\circ} \sim 50^{\circ} W/N E 65^{\circ} \sim 70^{\circ}$; 间距 1~ 2 m, 裂面闭合, 无充填, 呈整体块状结构。开挖 1~ 2 h 后, 在顶拱中心线 (见图 1) 出现岩爆活动, 岩爆形成厚 5~ 20 cm 的岩板, 岩片随时间延续不断塌落, 断口新鲜, 显示张性破裂特点。开挖面形成后采用间距 1 m、长 2.5~ 3.5 m 的短锚杆加挂网喷 10 cm 厚的砼, 确保了施工安全和洞壁稳定。

3.2 洞壁岩块稳定问题

左岸导流洞围岩, 以坚硬的、节理块状玄武岩岩

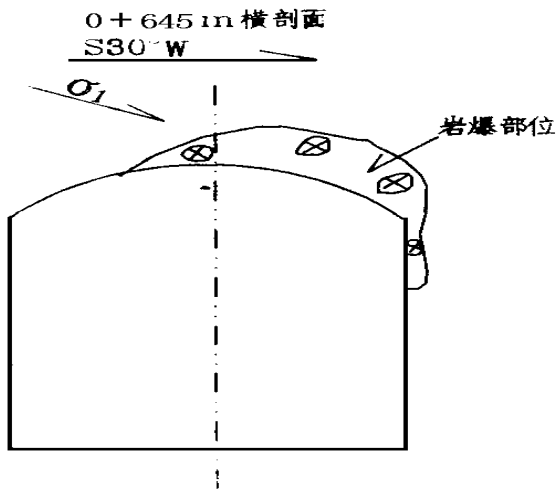


图1 顶拱岩爆部位图

体为主,在地应力较低的部位,洞壁是否稳定,主要受节理裂隙组合形成的不利块体稳定控制。施工开挖前,根据探硐及地表调查的优势节理情况,利用赤平投影分析了可能失稳的岩块组合型式。如第一段 0+000~0+345 m 洞线 N 89°31'E,岩性为正长岩,岩体优势节理有 3 组: 组 N 20°~50°E/NW 60°~70°; 组 N 40°~60°W/NE 50°~70°; 组近 EW/S 10°~30°; 间距 60~200 cm,为正长岩内典型的“两陡一缓”块状结构型式。

节理赤平投影(见图 2)结果表明:顶拱部位,洞壁稳定性主要受 ①、② 组节理切割成的岩板稳定控制。外边墙上,③ 组节理切割成的楔形块体倾向临空面,且交线倾角较大,容易失稳,施工中采取加强支护。内边墙无不利组合块体,洞壁稳定性好。

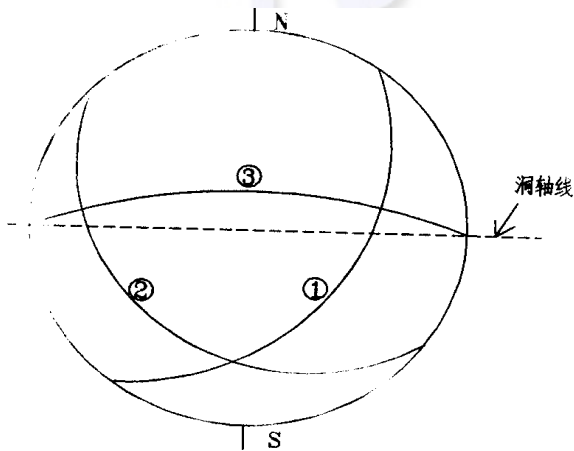


图2 左导洞第一段节理赤平投影图

上述分析,虽然未考虑到结构面强度对可能失稳岩块的影响,但是通过对洞壁破坏模式的判断,在施工开挖支护时,明确了锚杆加固的重点部位及方位,保证了洞壁的稳定。

施工开挖后,该段顶拱主要受第 ① 组缓倾角节理控制,洞顶出现较大变形,采用长 8 m、间距 4 m 与第 ① 组缓倾角节理面垂直的锚杆加固后,变形停止,围岩稳定良好。

3.3 软弱岩带的稳定问题

由正长岩侵入活动形成的裂面绿泥石化玄武岩 (P₂β)——软弱岩带,虽然在洞线上分布数量有限,仅占整个洞线围岩的 0.5%,但由于该类岩体自稳能力极差,从而构成了控制左岸导流洞围岩稳定的主要地质问题之一。

左岸导流洞于 0+825~0+845 m、0+893~0+917 m 遇到了该类软弱岩带,岩体内除节理裂隙外,尚有一些小型构造破碎带存在,岩块块度一般为 10~30 cm,裂面普遍被软弱的绿泥石、滑石等矿物充填,一般厚 1~3 mm,最厚达 30 mm,呈典型的碎裂结构,Q 值仅为 0.5。基本上没有自稳时间,开挖揭露后即产生塌方。显然在 18 m 跨度的情况下,用常规方法是难以保证洞壁稳定的。为了避免类似情况的发生,施工地质一定要作好超前预报。

由于开挖前对洞线地质情况了解较清楚,施工中采用 4 m 的锚杆进行超前加固,每次循环开挖进尺不超过 1 m,基本上未发现大的塌方。开挖面形成后,立即采用长 8 m 的锚杆支护,同时挂网喷砼,使围岩不致进一步松弛,施工期围岩基本稳定。

4 结 语

(1) 二滩水电站左岸导流隧洞围岩以坚硬、新鲜、完整的玄武岩为主,成洞条件良好。围岩稳定性主要受岩体内的结构面不利组合控制。

(2) 在进行隧洞围岩稳定性工程地质评价时,我们采用二滩岩体质量分级与 Q 系统、赤平投影等手段相结合对围岩进行工程地质评价,很好地满足了支护设计及加固系统安装需要。

(3) 长隧洞围岩中,构造破碎带、软弱岩带往往是无法避免的,除详细的地质调查,充分认识其特性外,还必须采取正确合理的施工开挖方法,才能尽量保证围岩稳定安全成洞。

作者简介:

龙疆红(1969年-),女,重庆人,国家电力公司成都院成都水利水电建设工程公司综合办公室副主任,工程师,学士,从事水电工程工程地质专业