

# 三峡地下电站岩锚梁防裂设计与施工

王 煌 周述达 罗承昌 李 旻

(长江水利委员会设计院, 湖北武汉 430010)

**摘要:** 三峡地下电站安装 2 台 1 200 t/125 t 桥式起重机, 桥机的最大轮压值达到 1 080 kN, 轮压偏心距 75 cm, 其规模在国内外已建电站中属于最大级的。从调研及以往工程实践中可知, 岩锚梁在施工和运行阶段都或多或少地出现了裂缝, 即使在不危及工程安全运行的情况下, 对结构的耐久性也将产生不利影响, 是安全生产中的隐患。在三峡地下电站岩锚梁的设计中, 对导致岩锚梁产生裂缝的原因进行了全面的分析和研究, 制定了相应的防裂措施, 并在施工中认真贯彻执行, 取得了很好的实际效果。

**关键词:** 岩锚梁; 防裂措施; 施工; 三峡地下电站

**中图分类号:** TV731.6 **文献标识码:** A

岩锚梁是利用一定数量的深孔锚杆和岩壁台座把混凝土梁体牢牢地锚固在岩壁上的结构, 由钢筋混凝土梁、锚杆和围岩共同承受荷载和作用。梁体承受的全部荷载及其自重通过锚杆及岩壁台座传递到岩体内。岩锚梁的结构特点及其在地下厂房施工期和运行期的重要作用使其设计和施工备受重视。

三峡地下电站安装 6 台 700 MW 水轮发电机组, 地下厂房尺寸为 311.30 m × 31.00 m × 87.30 m (长 × 宽 × 高), 顶拱跨度为 32.60 m, 安装 2 台 1 200 t/125 t 桥式起重机, 其厂房洞室规模和桥机轮压均远大于国内外已建工程的规模, 岩锚梁布置见图 1。三峡地下电站桥机的最大轮压值达到 1 080 kN, 轮压偏心距 75 cm, 洞室围岩为闪云斜长花岗岩, 岩体裂隙较发育, 下游边墙存在多个规模巨大的不利块体, 直接影响岩锚梁的稳定与安全。

众所周知, 三峡工程是国家的重点工程, 工程质量备受关注。鉴于岩锚梁在地下电站的重要性, 以及国内已建工程的岩锚梁多数出现大量裂缝的实际情况, 参建各方针对岩锚梁的设计和施工质量给以高度的重视。设计人员专门成立了岩锚梁 QC 小组, 结合实际情况对岩锚梁结构提出切实可行的锚固设计、防裂措施及混凝土浇筑时的要求, 以减少岩锚梁裂缝, 提高岩锚梁结构的整体性和耐久性。

## 1 岩锚梁裂缝原因分析

岩锚梁产生裂缝的原因是多方面的, 除去施工中人为因素的影响外, 从混凝土自身因素来看, 有混凝土抗拉强度低和施工中温度应力大等方面的影响; 从外部因素来看, 有基础围岩的不均匀变形、锚固系统约束、下层洞室围岩的爆破开挖以及爆破飞石对已浇梁体的击损等方面的影响因素。根据以往的设计经验和所收集的资料就可对导致岩锚梁产生裂缝的原因进行分析, 得出岩锚梁裂缝原因分析关联图, 见图 2。

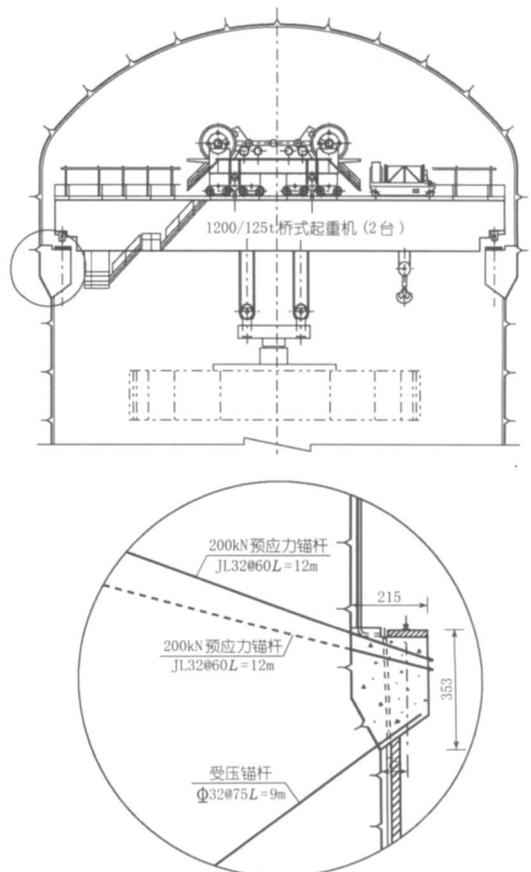


图 1 三峡地下厂房岩锚梁示意 (单位: cm)

收稿日期: 2009-10-16

作者简介: 王 煌, 女, 长江水利委员会设计院枢纽处, 高级工程师。

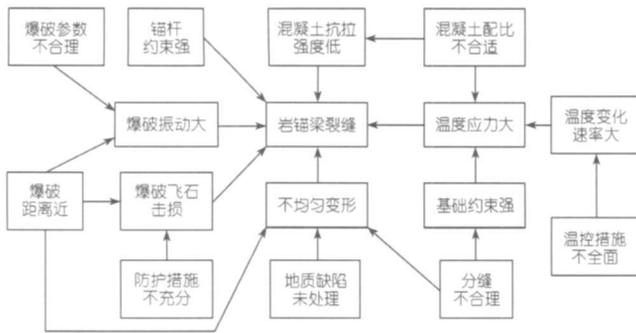


图 2 岩锚梁裂缝原因分析关联

## 2 防裂设计与施工

根据岩锚梁裂缝原因分析关联图, 针对末端原因进行分析、研究, 采取相应的措施来减少和避免岩锚梁产生裂缝。

### 2.1 地质缺陷的处理

由于断层和裂隙的分布, 地下洞室边墙形成较多规模较大的不利块体, 在厂房下游边墙规模较大的块体有 6 个, 见图 3 根据稳定分析成果, 采用锚索、锚杆以及阻滑键进行加固处理, 确保块体的稳定状态。

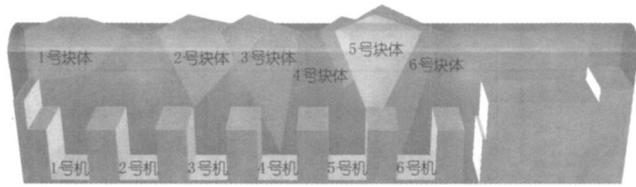


图 3 地下厂房下游边墙块体分布

### 2.2 岩锚梁的分缝位置和长度

岩锚梁设计手册中建议分缝间距考虑浇筑温度、浇筑能力等因素, 一般不宜超过 25 m, 以往工程实际中分缝间距一般为 15~20 m, 由于基础的约束较大, 梁体不能均匀收缩, 产生很大的温度应力, 并且较长的混凝土梁不能适应岩体的不均匀变形, 容易使梁体出现横向裂缝。为了减小温度应力, 避免梁体产生温度裂缝, 必须合理设置永久缝和施工缝:

(1) 在围岩地质条件、洞室边墙高度差别较大处, 以及梁底大洞室两侧等部位设置永久缝。在洞室边墙断层和裂隙出露部位、安装场段与机组段之间、下游边墙进厂交通洞两侧设置永久缝, 使梁体能够较好地适应围岩的不均匀变形, 避免梁体产生贯穿性结构裂缝。

(2) 浇筑段的长度按 8~12 m 控制, 确定施工缝的位置。永久缝间的梁体按 8~12 m 间距设置施工缝, 采用跳仓浇筑, 缝面中间留键槽, 键槽面积不小于梁体横断面面积的 1/4 纵向钢筋跨缝布置不断开, 减小了基础对梁体收缩变形的约束, 降低了混凝土的温度应力, 避免梁体出现横向温度裂缝。

### 2.3 综合实施温控措施

根据施工进度安排, 岩锚梁混凝土施工正值 6 月初至 9 月底高温季节, 施工中借鉴工程实际经验, 采取骨料预冷、加冰拌和、通水冷却、加强养护等综合温控措施来防止混凝土出现裂缝。

### 2.4 优化混凝土配比

在原材料方面, 温差主要是由于水泥的水化热引起的, 以

往工程中岩锚梁施工多采用泵浇混凝土, 坍落度大, 水泥用量大, 水化热较高, 是导致温度裂缝的主要原因之一。为了降低水化热, 增加混凝土的抗拉极限值, 选择合适的材料品种和配比是非常必要的。

三峡地下电站岩锚梁混凝土设计标号为 C30F250W10 为降低入仓混凝土的水化热、降低水泥用量, 提高混凝土的抗拉性能, 采用了掺微纤维低热水泥、低坍落度 (9~11 cm) 混凝土进行浇筑。

(1) 选用低热水泥, 掺入适量粉煤灰, 降低水化热。采用低热硅酸盐水泥和低热矿渣水泥等早期水化热低的水泥替代中热水泥, 梁体的最大温降值约低 7℃, 见图 4 梁体的最大应力可减小 0.43 MPa 掺入 20% 的粉煤灰减少水泥用量, 降低水化热并提高混凝土的和易性, 能有效地减小温差, 对降低梁体的温度应力有明显效果。

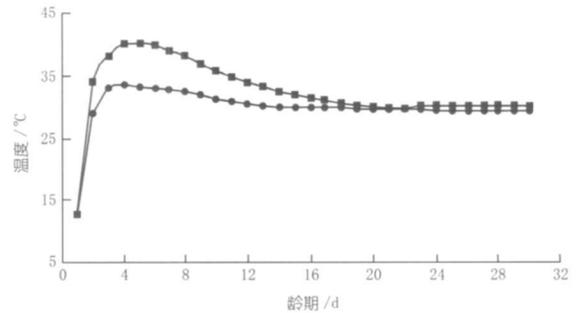


图 4 中、低热水泥浇筑梁体典型点温度历程

(2) 掺入适量聚丙烯微纤维和外加剂 (减水剂和引气剂), 提高混凝土的抗裂性能。在水泥基料中掺入防裂纤维, 增加材料抗裂能力, 有效地控制混凝土因塑性收缩干裂或温度变化所引起的裂缝, 并可抑制裂缝的发展, 与普通混凝土相比可分别提高混凝土的劈裂抗拉强度 12% 和抗折强度 7%~8%, 见表 1。适当使用外加剂可以减小混凝土收缩开裂的机会, 在一定程度上增加混凝土的抗裂性能。

表 1 普通混凝土和微纤维混凝土性能指标对比 MPa

类别	抗压强度		抗折强度		劈裂强度		弹性模量	
	7 d	28 d	7 d	28 d	7 d	28 d	7 d	28 d
普通混凝土	14.62	24.00	2.62	3.62	2.21	2.90	18.75	19.17
	15.08	24.32	2.60	3.65	2.14	2.90	18.48	18.75
微纤维混凝土	15.07	24.27	2.91	3.93	2.38	3.25	18.20	17.86
	15.17	24.48	2.85	3.90	2.28	3.27	18.86	18.07

(3) 通过试验确定混凝土的配合比。岩锚梁混凝土浇筑采用胎带机入仓, 选用低坍落度 (9~11 cm) 混凝土, 通过试验确定其标准配合比, 见表 2。

表 2 混凝土标准配合比

设计等级	水灰比	坍落度 / cm	材料用量 / (kg·m <sup>-3</sup> )								
			水泥	粉煤灰	水	砂	中石	小石	聚丙烯纤维	减水剂溶液	引气剂溶液
C30F250W10	0.41	9~11	224	56	115	675	786	524	1.0	11.22	1.823

### 2.5 减小锚杆约束影响

三峡地下电站桥机荷载很大, 最大轮压值达到 1 080 kN, 设

计选用高强钢预应力锚杆,合理选择自由段长度,采用二次灌浆技术,减小施工期锚杆对混凝土变形的约束。

### 2 6 合理选择爆破参数

经过厂房洞室第 I、II 层的开挖,尤其是顶拱及岩锚梁部位的开挖,积累了较好的经验,在岩锚梁下部洞室岩体的开挖中,采取合理的爆破参数将质点的振动速度控制在设计允许范围内,避免对已浇混凝土产生爆破震动破坏。

### 2 7 选择合适的爆破距离

下层岩体开挖爆破震动作用,可能造成岩锚梁的锚杆锚固力降低、梁体混凝土开裂、混凝土与岩面间的黏结力损失甚至拉裂,改变梁的受力状态,影响岩锚梁的稳定性。以往工程中考虑到方便岩锚梁混凝土的浇筑,待厂房第二层开挖后即进行混凝土的浇筑,使得后续的开挖面距离岩锚梁较近,爆破及岩体变形对梁体的影响较大。

为了既满足岩锚梁混凝土的浇筑要求,又尽量减小下层开挖对岩锚梁的不利影响,经过研究提出了下层开挖面距岩锚梁的合适距离。由图 5 可知,岩锚梁位于厂房洞室第 II 层中部,在完成厂房洞室第 III-1 层开挖、第 III-2 层预裂后,进行岩锚梁混凝土浇筑施工;并严格控制第 III-2 层的开挖爆破必须在同部位岩锚梁混凝土达到 28 d 龄期后进行,传到岩锚梁处的爆破质点振动速度控制在 5~7 cm/s。减小爆破震动及围岩不均匀变形对岩锚梁的不利影响。

年 9 月 20 日浇筑完成。之后对混凝土外观先后由业主、设计、监理和施工单位联合对岩锚梁混凝土进行 5 次裂缝检查,最后一次检查的时间为 2007 年 3 月 5 日,共发现了 5 条表面微裂缝,均分布在上游侧岩锚梁,具体检查结果见图 6 和表 3。

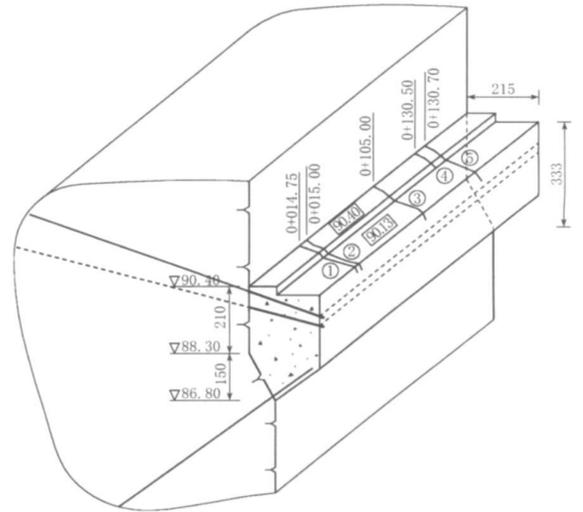


图 6 上游岩锚梁裂缝示意(单位:尺寸 cm,其余 m)

表 3 上游岩锚梁裂缝情况

裂缝编号	缝长 / m	缝宽 / mm	缝深 / cm	裂缝形态
1	2 15	0 15~0.2	20	表面呈细微不规则状
2	2 15	0 25	20	表面呈细微不规则状
3	2 15	0 25~0.3	30	表面呈不规则状
4	0 85	0 25	40	表面呈不规则状
5	2 15	0 25~0.3	60	表面呈不规则状

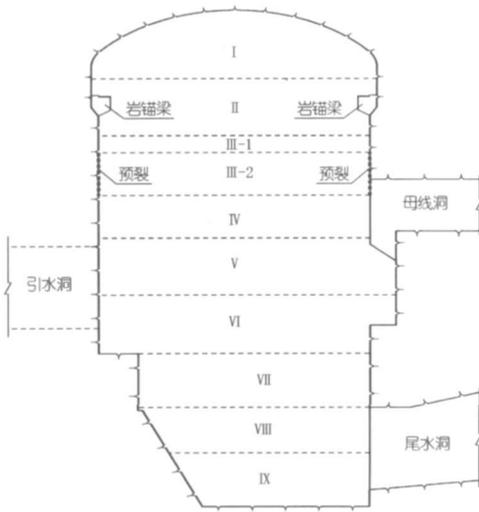


图 5 地下厂房开挖分层示意

施工期岩锚梁的变形受洞周围岩开挖变形的影响,其位移形态以水平向为主,第 III~V 层开挖对岩锚梁变形影响最大,而岩锚梁的刚度和强度均不可能抵抗围岩的变形,势必会随着围岩变形的加大而产生裂缝。采取上述措施后明显减小了爆破震动及围岩不均匀变形对岩锚梁的不利影响,避免了混凝土产生变形裂缝和震动破坏。

### 2 8 加强对已浇梁体的防护措施

对岩锚梁侧面、底面加强防护措施,以免飞石撞坏梁体。

## 3 防裂措施效果检查

### 3 1 裂缝检查情况

三峡地下电站岩锚梁于 2006 年 6 月 19 日开始浇筑,2006

## 3 2 桥机和岩锚梁荷载试验

2008 年 12 月 31 日至 2009 年 1 月 11 日对 2 台 1 200 t 桥机和岩锚梁进行了荷载试验。岩锚梁的工作状况正常,梁体混凝土及梁体与岩石胶结面均未出现新的裂缝。

三峡地下电站岩锚梁全长 620 余米,仅在局部范围内出现 5 条表面微裂缝,岩锚梁混凝土结构没有出现贯穿性裂缝,绝大部分为无裂缝岩锚梁。

## 4 总结

三峡地下电站岩锚梁的设计和施工,体现了追求“精品工程”的质量意识,体现了技术先行、预防为主的指导思想,在质量控制方面较以往工程有了突破性的进展,受到了国务院质量专家组的高度评价。岩锚梁的设计和施工是地下厂房的重点和难点,要减少和避免岩锚梁混凝土出现裂缝,必须得到参建各方的重视,采取各方面的综合措施方可达到目的,其措施的重点应放在温度应力的控制和防止围岩不均匀变形而导致裂缝的发生上。

(编辑:刘忠清)