

某水库 K8 巨型溶洞处理方案研究

王 畅¹, 李 翔²

(1.水利部建设管理与质量安全中心,北京 100038;2.中国水利水电第七工程局有限公司,四川 成都 610213)

摘 要:某水库处于岩溶发育地区,先导孔钻孔以及先导孔物探测试和施工期进一步揭示水库防渗线溶蚀率情况发生了巨大变化。通过有针对性地对原有防渗帷幕设计方案进行优化,制定了岩溶发育区的帷幕灌浆技术要求,从施工的可操作性、检查情况、工程投资可控性等多方面看取得了较好的效果。该岩溶发育区的处理方案必要且合理,其经验可供类似工程参考。

关键词:岩溶;水库;防渗帷幕;设计优化

中图分类号:TV7;TV554;TV51;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2019)06-0069-05

Study on Treatment Scheme of K8 Giant Karst Cave in a Reservoir

WANG Chang¹, LI Xiang²

(Construction Management and Quality Safety Center, Ministry of Water Resources, Beijing, 100038; 2. Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610213)

Abstract: A reservoir is located in karst area where the pilot hole drilling, geophysical test of the pilot hole and the construction period further reveal that the dissolution rate of the impervious line of the reservoir has changed greatly. By optimizing the original impervious curtain design scheme, the technical requirements of curtain grouting in karst area are formulated, and good results are obtained from the aspects of construction operability, inspection situation, project investment controllability, etc. The treatment scheme of this karst area is necessary and reasonable, and its experience can be used as reference for similar projects.

Key words: karst cave; reservoir; impervious curtain; design optimization

1 概 述

某水库属Ⅲ等中型工程,主要由大坝、溢洪道和取水塔组成,大坝为碾压式沥青混凝土心墙堆石坝,坝顶高程 549.2 m,最大坝高 86.2 m,总库容为 3 580 万 m³。大坝左岸防渗线长 458.3 m,右岸防渗线长 675.7 m。河床及坝肩沿坝轴线布置,长 249 m,防渗线合计长 1 383 m,防渗面积约 17 万 m²。

坝基岩体岩溶发育强烈,严重影响到坝基岩体的承载力及抗滑能力。左岸岩体透水性为中等,河床及右岸最为发育,为强~极强透水岩体,其岩溶率分别达 15.17%和 23.23%,且以泥质充填及无充填为主。坝基下 30 m 范围以内基岩溶洞直线率>10%的范围占坝基的绝大部分,溶洞直线率>20%的也占了很大的范围。其中右岸岩

体发育了 K5、K8 等巨型溶洞群,最大的空腔体积达 3 万 m³。溶洞发育规模巨大,岩溶地基易引起岩溶塌落而影响坝体稳定,且岩溶处理复杂,防护难度大,安全风险高。

2 右岸溶洞稳定性评价

鉴于右岸地质条件的复杂特性,采用人工踏勘、勘探孔、地质雷达对溶洞稳定性进行了详细研究,对右岸溶洞整体进行了三维有限元分析计算。

2.1 右岸溶洞分布情况

大坝右岸相继揭示出 K4、K5、K6、K8、K9 等溶洞群,这些溶洞及暗河均位于防渗帷幕线路上。K5、K8 溶洞为钻孔 H42 高程 508.32 m 揭示出的溶洞,钻孔揭示溶洞深度大于 13 m。K6 溶洞为 H44 钻孔揭示发育的溶蚀裂隙。K9 溶洞与防渗线上王家坟洼地的溶洞基本一致,发育规模更大。

2.2 K8 溶洞

K8 溶洞的发育方向基本顺坝轴线向右岸山

收稿日期:2019-11-01

体延伸。上游边界距坝轴线约 30 m,下游边界距坝轴线约 10 m,顺洞主方向全长约 63.5 m。溶洞主要发育在寒武系上统毛田组第一段($\in 3m1$)地层中,岩性为灰~深灰色、中厚层~厚层状微晶~致密灰岩、白云质灰岩与灰质白云岩互层,属强岩溶层。溶洞的空洞部分最大断面面积约 291 m²,初估空洞部分体积约为 12 000 m³。

K8 溶洞在平面上实测到的最大投影面积约为 2 080 m²,洞底覆盖有厚度为 5~8 m 的粉土、砂卵砾石、溶蚀塌陷岩块、碎石等溶洞充填物,根据溶洞有无充填物的上、下部分划分为 K8 I 区、K8 II 区。K8 I 区为上部空腔,空腔往上部延伸至中层平洞,中层平洞高程以下溶洞距离灌浆轴线较近,易形成渗漏点,中层平洞以上高程溶洞距离灌浆轴线较远,对帷幕不构成影响,可不进行处理。K8 II 区为下部空腔,有充填物,洞底覆盖层最厚达 30 m,充填物以黏土、砂为主,夹卵砾石、溶蚀塌陷岩块、碎石,黏土呈可塑状,质纯,黏性强,遇水成稀泥。根据类似工程经验及实际情况(现状土为非分散性土,属流土型,临界水力比降为 0.96),对该充填物必须进行处理。

2.3 针对 K8 溶洞制定的监测方案

K8 溶洞的监测主要包括变形监测、渗流监测和锚杆应力监测。

溶洞变形监测设备为 2 支水准测点,分别位于桩号下灌右 0+170 和下灌右 0+180 廊道上游侧边墙。渗流监测设备为 2 支渗压计,分别位于下灌右 0+170 和下灌右 0+180,高程为 487 m,纵 0-001.9。

K8 溶洞锚杆应力监测设备包括锚杆应力计 28 支,用于锚筋束应力监测。

K8 溶洞内的检测设备技术指标及配套设备与 K5 一致。

3 K8 巨型溶洞处理方案研究

项目部技术人员根据钻探揭示的地形地貌与三维有限元分析计算,以及 K8 巨型溶洞发育规模、水文工程地质特征、与王家坟洼地以及坑坨洼地之间的空间关系(图 1),结合国内工程实例,有针对性地研究了 K8 I 区、K8 II 区的处理方案,具体如下。

3.1 K8 I 区处理方案

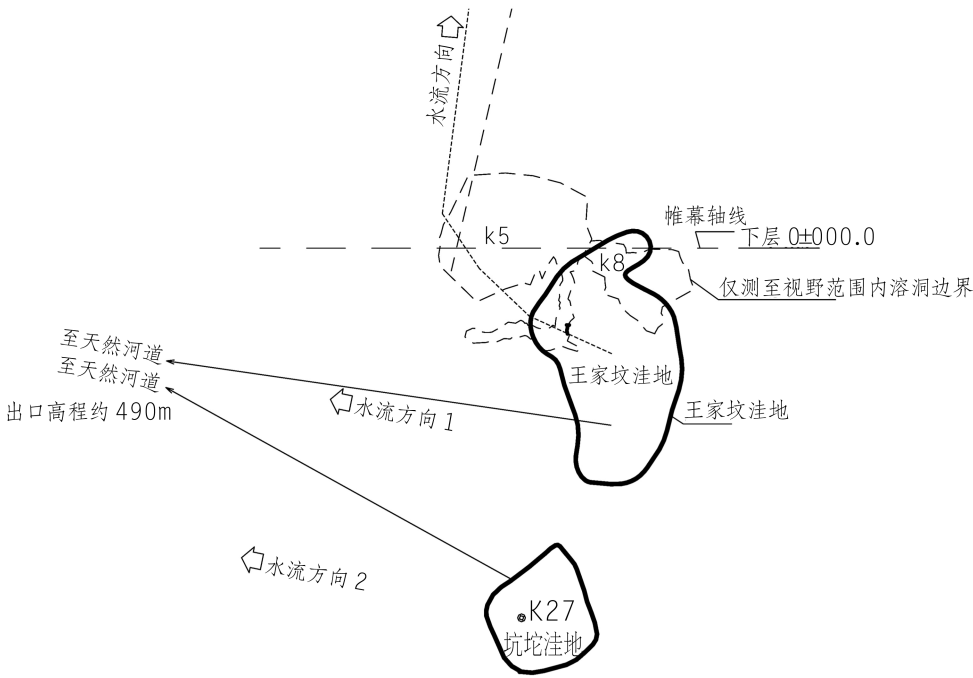


图 1 K8 上部洼地与 K8 及 k5 平面关系图

3.1.1 采用自密实混凝土全部填充

对全溶洞均采用先清除填充物(黏土、砂、卵砾石、溶蚀塌陷岩块、碎石),再采用自密实混凝土

回填的方式进行治理。K8 溶洞向上发育成狭长的空间,采用其他工程措施处理均较困难,而采用自密实混凝土回填、结合帷幕灌浆、补强灌浆后,

能够达到封堵渗漏点的目的。该方案无需对 K8 溶洞做进一步的开挖处理,只需清理填充物即可,施工难度较小^[1]。

3.1.2 帷幕改线

根据对所揭示的地质情况进行分析,K8 溶洞一直呈向上游发育的趋势,K8 溶洞若防渗线局部上移,同样不可避免地会遇到溶洞。因此防渗线仅能做下移调整,利用调整后的防渗线将 K8 溶洞“包在庫内”。由于上、中层平洞洞挖已完成,需要防渗线后上、中、下三层灌浆平洞同步移动。

3.1.3 防渗墙方案

防渗墙需设置于灌浆轴线,根据 K8 与灌浆轴线的关系,K8 的空腔部分基本位于轴线上游侧,因此,即使设置防渗墙,防渗墙上游侧 518 m 高程以下的空腔区仍需以自密实混凝土回填以防止形成渗漏点,相对于直接以自密实混凝土回填,工程量并没有显著减少并且需要对溶洞进行开挖处理后施工防渗墙,对溶洞的稳定性不利。加之施工面狭窄,采用防渗墙方案施工难度较大,对工期影响较大。

K8 I 区处理方案综合比较情况见表 1。

经过以上综合比较得知:方案二虽然投资可

表 1 K8 I 区处理方案比较表

方案	优 点	缺 点
方案一	(1)施工难度小、可靠性高 (2)全部填充后对 k8 溶洞及山体整体稳定有利	该方案工程量大,投资大
方案二	工程投资小	(1)地质风险大。由于该方案防渗线修改段无勘探孔控制,而新防渗线可能在 Kw12 溶洞发育范围内 (2)新灌浆平洞必须穿过 K6 溶洞,施工难度大 (3)帷幕后的山体单薄,有帷幕失效的可能性
方案三	溶洞处理便于进行安全监测及管理	(1)工作面狭窄,施工难度相对较大 (2)K8 溶洞大多数位于帷幕线上游,即便做了防渗墙,也需对上游空腔进行回填

能最小,但风险太大;方案三结构复杂,施工困难,且 K8 溶洞大多数位于帷幕线上游,即便做了防渗墙也需对上游空腔进行回填,工程量相对于方案一并不一定小;方案一施工难度小且回填的混凝土能够满足防渗要求。经综合对比后决定对 K8 I 区处理采用方案一,即自密实混凝土全部充填方案。

3.2 K8 II 区处理方案

对于下部的充填物,除保证渗透稳定外,还必须结合上部 K8 I 区选取的回填混凝土方案综合考虑结构稳定。

在以黏土、砂为主的地质条件下,即使采用可注性好的超细水泥、TGRM 和 HSC 浆材仍不能达到渗透注浆加固的目的,浆液只能以大劈裂、强挤压、密充填的方式进入地层,因而较难形成均匀、连续的固体结构;若浆液强度不能足以抵抗高压水的话很容易被水击穿崩溃,造成流水、涌砂,最后造成整个大坝的防渗系统失效。因此,对于溶洞底板以下,采用常规高压灌浆至设计帷幕底线^[2]。

鉴于填充物承载力较低,在高压喷射后填充物的承载力仍然不能满足承受上部压力的要求,

因此而选用钢管灌注桩作为上部的承重结构^[3]。

经综合考虑,最终决定对 K8 II 区采用高压喷射灌浆+钢管桩的型式进行处理。

3.3 对王家坟及坑坨洼地采用的排水措施

在王家坟洼地和坑坨洼地设置截水沟,将洼地的雨水排至取水塔上游。同时,在 K8 溶洞高程 518 m 位置设置进水口,通过埋设 DN200PE 管最终引入廊道中,再经廊道从 4 # 施工支洞流入下游河道。在管道出口处设置钢阀门。K8 施工完毕,关闭管道阀门,隔绝洼地对 K8 的影响。

3.4 针对 K8 巨型溶洞采取的处理方案

根据 K8 溶洞充填物及边壁的实际情况,最终采用自密实混凝土回填+高压喷射灌浆+钢管桩+周边引排的永久性综合处理措施。

高程 488 m 以上为空腔区,针对廊道及 490 m 平台以上至 518 m 高程全部空腔体采用自密实混凝土进行填筑。考虑到库区蓄水后溶洞内的最大水头达到 60 m,混凝土体承受着较大的水平推力,因此,在空腔区上游侧边壁布置锚筋桩(图 2),协助抵抗水平推力。

高程 488 m 以下为填充区,填充区全部采用高压喷射灌浆进行处理以达到防渗的目的;对溶

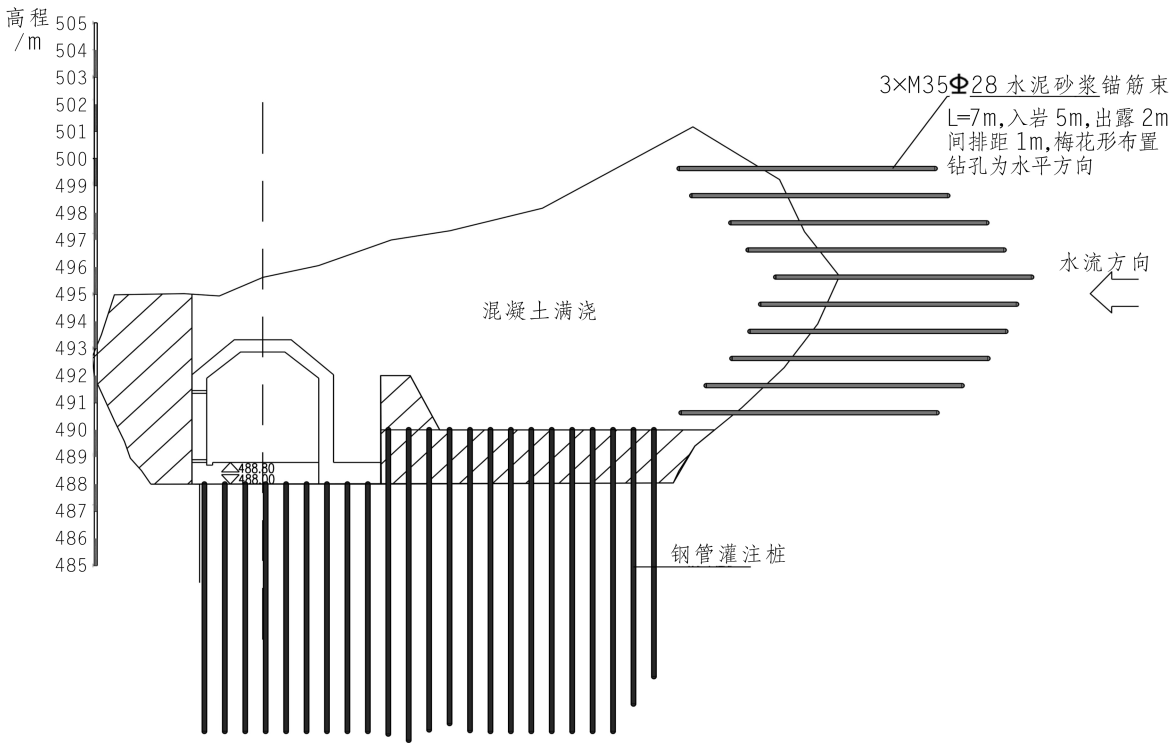


图 2 钢管桩、锚筋桩布置图

洞轴线上游侧进行补强灌浆可以降低溶洞内的水头,并与帷幕灌浆、填充区高压喷射灌浆、溶洞内混凝土体共同形成完整的防渗体系。

由于上部混凝土浇筑后自重大且上游库区蓄水后水头抬高,填充区将承受较大的荷载,因此,在混凝土填筑体下部设钢管灌注桩作为承重结构。

4 K8 溶洞处理的施工过程

4.1 K8 溶洞的支护施工

K8 溶洞的前期支护处理按照排危→引排水→开挖→支护四个基本步骤施工。排危为对 K8 溶洞上部孤石堆积体开挖过程中溶洞周边危岩的处理;引排水为 K8 溶洞暗河水和开挖过程中溶洞周边各个渗水点的堵截引排;开挖主要为孤石堆积体的爆破解小后沿 K8 溶洞外露的整体岩体面分台阶自上而下开挖至高程 488 m;支护主要从 K8 溶洞进口顶板及其沿灌浆平洞轴线方向岩体面的锚杆支护,以及 K8 溶洞进口处即下灌右 0+165~下灌右 0+179 的基础开挖换填→底板混凝土浇筑→下游侧支撑墙混凝土浇筑→上游侧护壁混凝土浇筑→上游侧挡墙混凝土浇筑施工。

4.2 空腔自密实混凝土填筑

K8 溶洞空腔在右岸下层平洞完成廊道混凝

土浇筑后,自密实混凝土从中层灌浆平洞浇筑高程 518 m 以下的混凝土、上层灌浆平洞浇筑高程 518 m 以上的混凝土。

4.3 K8 溶洞高压旋喷施工

K8 部位的高压喷射灌浆采用旋喷方式进行。采用全液压钻机 QDG-2 型钻机同心钻头跟套管钻进。钻孔直径为 146 mm,钻孔结束后,将钻杆提出,下入 Φ110PVC 管,然后用 YGB 液压拔管机提拔套管。喷浆设备采用特制高喷台车,当喷射管下至设计深度后,开始送入符合要求的浆、水、气,之后静喷 1~3 min,待达到预定的喷射压力和喷浆量且等孔口回浆比重达到设计值后,按设计的提升方式及速度自下而上提升,直至提升到设计要求的终喷高程。高喷灌浆宜全孔自下而上连续作业。需中途拆卸喷射管或因故中断后恢复喷射灌浆时,对搭接段应进行复喷,复喷长度不小于 0.5 m。高压旋喷灌浆先进行 I 序孔施工,再进行 II 序孔施工,相邻次序孔的作业间隔时间不少于 24 h。喷射灌浆结束后,立即停止提升,采用 1.7 g/m³ 的水泥浆液进行充填灌浆。

4.4 K8 溶洞钢管桩施工

主要采用冲击回转、套管跟进的方法钻进。

钢管使用壁厚 6 mm, $\Phi 68$ 的钢管。帷幕灌浆孔位的钢管桩待其钻至设计孔深后,在钢管内部预埋壁厚 4 mm 的 $\Phi 76$ 钢管,然后在钢管内注入水泥浆液。对于非帷幕孔位的钢管桩,则在孔内放置直径为 25 mm 的三级钢筋,最后在套管内填入一级配常态混凝土,骨料采用人工碎石^[4]。

4.5 补强灌浆

对 K8 溶洞底板、边壁及顶拱进行补强灌浆施工。底板及边壁补强灌浆孔主要采用 100 D 潜孔钻机钻孔,顶拱补强灌浆孔主要采用 XY-2 地质钻机钻孔,孔径 ≥ 60 mm。K8 溶洞底板部位的灌浆孔原则上以垂直混凝土方向钻孔;边壁部位补强孔的钻孔方向垂直洞壁;溶洞顶部的补强孔

在右岸中层钻倾斜孔。补强灌浆孔采用自下而上分段灌浆的方法进行灌注。灌浆孔分为 I、II 序,先灌 I 序孔,再灌 II 序孔。灌浆段长及压力:补强灌浆孔孔深深入基岩 8 m,从上至下各段分别为 2 m,3 m,3 m^[5]。

5 溶洞处理效果评价

右岸 K8 溶洞锚杆应力计主要安装在 0+170、0+180 断面 496 m 与 504 m 高程。受溶洞回填处理影响,在施工过程中测值有增大现象;溶洞处理施工完成后又趋于稳定。对监测结果进行分析得知:蓄水阶段 K8 溶洞的锚杆应力计测值变化较小,变化趋势平稳,其过程线见图 3~6。

6 结论与建议

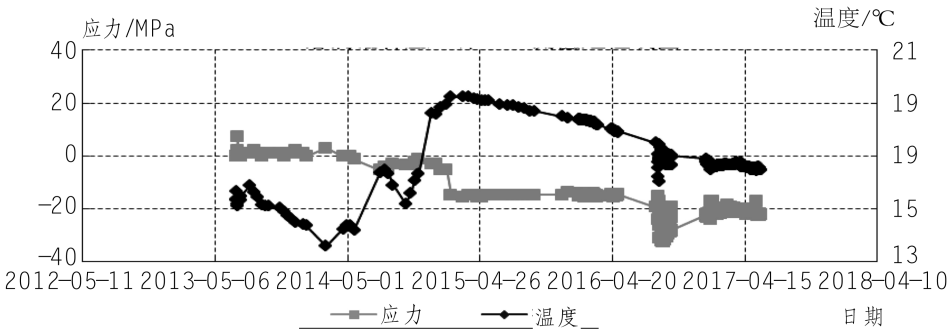


图 3 锚杆应力计 R1-1 测值过程线图

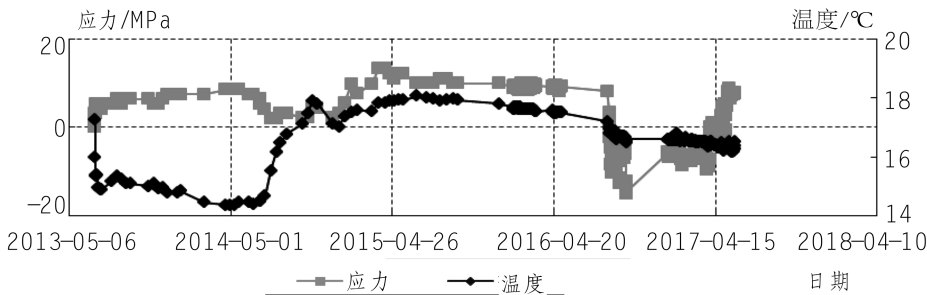


图 4 锚杆应力计 R1-2 测值过程线图

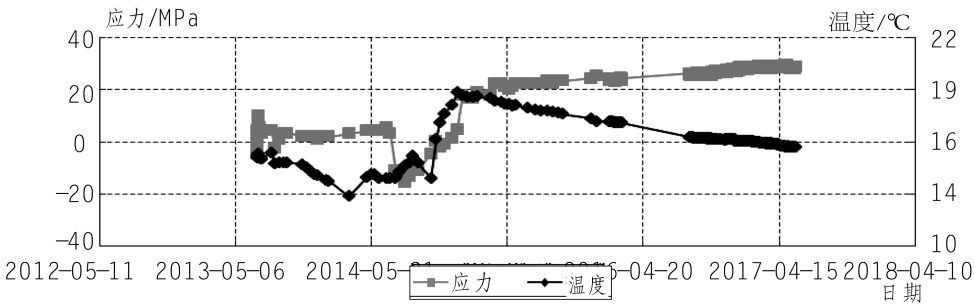


图 5 锚杆应力计 R7-1 测值过程线图

(下转第 95 页)

电流极的位置用盐水浇灌或增加电流极根数用以降低误差。如采用直线法,随着电流极的移动,接地电阻变化较大,按照规范要求,连续按 5% 的电流极与接地网距离间隔移动 3 次,如接地网电阻变化小于 5% 则可认为所测接地电阻基本与实际接地电阻一致(此条在实际测量中务必执行)。如未达到要求,则需采取相近风机接地网外引互联,必要时各风机位需采取深井接地方案,或采用离子接地极、高效接地模块等材料,直至单台风机工频接地电阻降至 4 Ω 以下。

4 结 语

我国的山地风电场大多面临雷暴天数较多、土壤电阻率高、接地土质条件差的问题,如不针对风电机组本体及基础接地进行有的放矢的设计,很有可能会对设备运行、人身安全及项目经济效益造成不可估量的伤害。因此,如何在技术和经济合理的情况下最大程度地满足山地风电场安全运行的问题也越来越受到各方面的关注。笔者在

文中对面临高雷暴、高土壤电阻率问题的山地风电场风机接地问题进行了分析,旨在与同行探讨交流,为类似工况的风电场防雷接地设计提供参考与借鉴。

参考文献:

[1] 中丹可再生能源发展项目管理办公室,中丹可再生能源发展项目中国可再生能源发展路线图 2050,2014 年 12 月。
[2] GB 51096—2015,风力发电场设计规范[S]。
[3] GB/T 21714—2015,雷电防护[S]。
[4] GB 50169—2016,电气装置安装工程接地装置施工及验收规范[S]。
[5] IEC 61400—24:2010, Wind turbines—Part 24:Lightning protection[S]。
[6] IEC 62305:2010, Protection against lightning part 1~4 [S]。

作者简介:

李 翔(1987-),男,四川成都人,工程师,在读博士研究生,从事新能源发电设计工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 73 页)

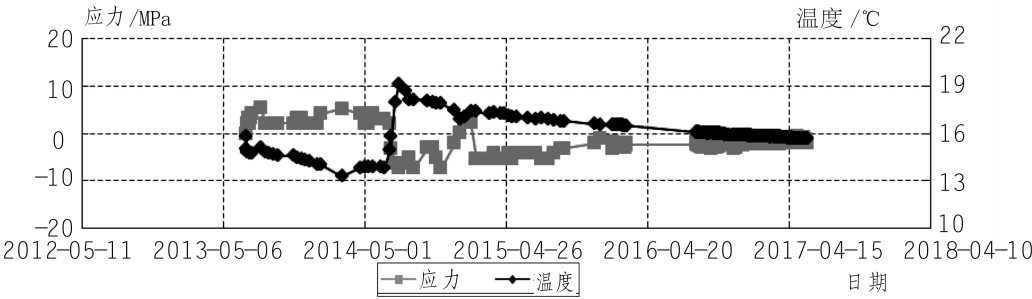


图 6 锚杆应力计 R7-2 测值过程线图

笔者根据 K8 溶洞巨型岩溶的发展规模、形态、工程特征,统筹考虑工程施工的难易程度与经济成本,提出了自密实混凝土回填+高压喷射灌浆+钢管桩+周边引排的永久综合处理措施,成本经济,降低了施工风险。同时,对于 K8 之类的水工巨型溶洞亦需要长期观测跟踪,以期形成广泛、适用的水工巨型溶洞处理技术。

参考文献:

[1] 刘同江,唐 钢,王 军,孙亚飞.黔张常铁路高山隧道巨型溶洞处理技术研究[J].隧道建设(中英文),2019,39(6):972—973。
[2] 袁永才,李术才,李利平,等.岩溶隧道施工过程中大型溶洞

的综合预报及治理方案研究[J].现代隧道技术,2015,52(2):192—193。
[3] 李勇良.云桂客专营盘山隧道穿越巨型溶洞处治技术研究[J].铁道建筑技术,2016,32(2):57—57。
[4] 邹成杰.水利水电岩溶工程地质[M].北京:水利水电出版社,1994。
[5] 李彦军.岩溶地质综合勘察方法[J].铁道建筑,2000,39(5):8—9。

作者简介:

王 畅(1975-),女,北京市人,高级工程师,从事水利水电工程建设管理与质量安全工作;
李 翔(1983-),男,四川成都人,工程师,从事水利水电、市政工程建设技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)