

新疆某水库石膏岩问题对坝址比选分析

孟凯歌

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v7i9.5012

[摘要] 新鲜石膏岩相对较完整,属中硬岩,风化后呈碎块状和粉末状。由于石膏岩属中溶岩体,在长期水流淋滤作用下易导致石膏岩岩体结构破坏,产生渗漏问题,而且石膏岩遇水后属极为强烈的腐蚀岩体,对多种水工建筑物材料存在腐蚀问题。基于此,本文探讨了新疆某水库工程石膏岩的工程特性、溶蚀现象、抗冲刷能力、对水工建筑物的腐蚀程度等问题,将直接影响到坝址的选择。

[关键词] 石膏岩; 水库渗漏; 渗漏计算

中图分类号: TV697 **文献标识码:** A

Analysis of Gypsum Rock Problem of a Reservoir in Xinjiang on the Comparison of Dam Site Selection

Kaige Meng

Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey Design Institute Co., Ltd

[Abstract] Fresh gypsum rock is relatively intact, belongs to medium hard rock, and is fragmented and powdery after weathering. Since gypsum rock belongs to the medium-solution rock body, it is easy to cause the damage of gypsum rock body under the effect of long-term water flow and filtration, resulting in leakage problems, and gypsum rock is a very strong corrosive rock body after contact with water, which has corrosion problems for a variety of hydraulic building materials. Based on this, the engineering characteristics, dissolution phenomenon, erosion resistance, corrosion degree of hydraulic buildings and other issues of gypsum rock of the project will directly affect the selection of dam site.

[Key words] gypsum rock; reservoir leakage; leakage calculation

引言

新疆某水库的上坝址水库区位于MEKH与KZH汇合口以上的KZH主河道上,河谷底宽1~1.5km,河谷两侧山体雄厚,高程2600~3300m,相对高度400~800m,属中山地貌。该段河谷纵坡2‰~3‰,水库回水长度17.5km,库盘为长带状,谷底地形平缓、河道弯曲。下坝址水库区位于MEKH与KZH汇合口以下的KZH主河道上,河谷底宽470~780m,河谷两侧山体雄厚,高程2510~2900m,相对高度150~600m,属中山地貌。KZH河谷纵坡2‰~3‰,水库回水长度17.5km,MEKH河谷纵坡10‰,水库回水长度4.5km,库盘为长带状,谷底地形平缓、河道弯曲,沿河两岸冲沟发育。冲沟底部大部分基岩出露,局部堆积厚度不大的坡洪积碎石土。

1 地质构造

水库区处于西昆仑山与南天山构造带交汇处卡巴加特复背斜隆起带内,构造挤压强烈,断裂褶曲发育,地质条件复杂。水库区主要分布区域性活动断裂卡兹阿尔特断裂F4和乌合沙鲁断裂F17,以断裂F4为界,南侧(上盘)为卡兹阿尔特断裂推覆构造体,

北侧以F17为界整体为一单斜构造。卡兹阿尔特断裂F4沿KZH右岸平行河谷分布,穿越MEKH库区,在距下坝址右坝肩300m处通过,断裂位于KZH右岸。F4断裂该段产状 $280\sim 310^{\circ} SW \angle 50\sim 65^{\circ}$,发育多条断面,破碎带数十米,沿断裂多分布巨厚石膏岩,数十米至百余米不等。沿断裂古近系地层压覆于新近系地层之上,断裂上盘古近系地层整体岩体较破碎,结构面发育,下盘新近系地层临近断层局部受断层影响,结构面发育,岩体破碎。断裂距上坝址1600m,距下坝址300m。

2 水库渗漏

2.1 上坝址水库渗漏

库区处于狭长的河谷区,两岸山体较高且较宽厚,山体高程在2800~3300m以上,基岩出露高程均高于正常蓄水位,库区两侧山体宽度大于10km。两岸主要为古近系和新近系地层,岩性为砂岩、砾岩、泥岩、灰岩等,地层不均匀互层为主,岩层产状稳定,走向 $285^{\circ}\sim 305^{\circ}$,与岸坡近平行,风化层裂隙相对较发育,新鲜岩体较完整。库区右岸发育顺河向的F4断裂,其出露的地面高程高于正常蓄水位,且断层为压扭性,断层带挤压密实,无渗

表1 下坝址右岸库区渗流量估算计算表

平均渗透系数(K)		坝上、下游水位差(H)	透水层平均厚度		渗径(L)	绕坝渗漏断面宽度(B)	单宽剖面的渗流量(q)	年渗流量(Q)	渗流量占库容比例
			上游(h1)	下游(h2)					
cm/s	m/d	m	m	m	m	m	m ³ /(m·d)	万 m ³ /a	
1.0×10 ⁻¹	86	42	95	55	1200	300	222.8	2440	4%

漏通道。库区周围无低于正常蓄水位的深切邻谷,周边地形封闭良好,因此上坝址不存在邻谷渗漏问题。

2.2 下坝址水库渗漏

水库区由MEKH和KZH组成,KZH河谷宽阔,水库地形条件较好,MEKH蜿蜒汇入KZH,河谷略窄。两河库岸山体雄厚,KZH库区广泛出露新近系砂岩、泥岩、砾岩地层,岩体透水性微弱,无低于库水的临谷分布,无水库渗漏问题;MEKH分布古近系灰岩、泥岩、砂岩和石膏岩,岩体透水性微弱,地层走向与库岸平行或斜交,除右岸可能沿石膏岩溶蚀洞及断层带产生渗漏外,水库无渗漏问题。

2.2.1 下坝址右岸渗漏分析

下坝址右岸受二条河切割形成一向北东方向突出的基岩山梁,山梁长度1.5km,宽1.1~1.5km,山顶高程2780~2900m,远高于水库正常蓄水位2400m,斜穿山梁。在下坝址右岸坝后F4断层及石膏岩处可见泉点分布,表明沿断层及石膏岩已形成了渗水通道,水库存在渗漏问题。F₅₄、F₅₅、F₅₆、F₅₇断层为压扭性断层,沿断层多为砂岩、泥岩等,破碎带挤压密实,透水性差,且出露位置远高于库水位,断层与库水无水力联系,沿断层未发现泉水出露,不会沿该组断裂产生渗漏问题。远坝段石膏岩层受断层控制,呈透镜体状分布,且出露位置远高于库水位,不会沿该层石膏岩产生绕坝渗漏。

2.2.2 右岸F4断层及石膏岩渗漏问题

①渗漏带空间分布特征。本阶段在地质测绘的基础上,在可能渗漏带进口F4断层带及F53下盘石膏岩地层布置2个钻孔,并进行了钻孔压水试验,初步查明了水库渗漏通道的分布及渗透特征。首先,渗漏带分布于F4与F53之间,垂直山梁分布,长1.2~1.3km,渗漏断面呈平行四边形,水平宽度约300m,深度顺断层面延伸,深度220m。渗漏带垂直岩层岩体总厚度200m,包括F4断层带(破碎带50~80m,含石膏岩构造透镜体)、石膏岩夹灰岩(F53下盘,厚度140m,其中灰岩厚度20m),石膏岩临断层段岩体破碎,多呈块裂结构,灰岩多呈碎裂结构。渗漏带贯通MEKH河床和下游KZH主河道,进出口河床覆盖层厚度206m,多为强透水层,渗漏带岩体内裂隙及石膏岩溶隙形成主要渗漏通道。其次,渗漏带岩层压扭变形明显,走向由南侧60°~80°向北侧渐变为270°~300°,倾南东或南西,倾角50°~60°。该段F₄产状275°~290° SW∠50°~65°,F₅₃产状270°~280° SW∠50°~70°,地层层面呈弧形弯曲。

②渗漏带渗透特征。目前,顺F4断层及石膏岩坝后下游见泉

水出露,估测流量7L/min,周边见芦苇分布,泉水高于河床高程7m,石膏岩南侧多分布相对隔水的泥岩地层,富水性差,坡脚未见泉眼出露,产生渗漏通道的可能性不大,该泉水位低于山梁上游河水16m,泉水SO₄²⁻含量2907.98mg/L,MEKH右岸石膏岩钻孔地下水SO₄²⁻含量2171.86 mg/L,分析认为上游MEKH河水顺F₄断层及破碎石膏岩向下游排泄形成泉水。据钻孔压水试验资料,上部(地表以下60m)较破碎石膏岩,裂隙、溶隙、溶穴发育,透水性强,为中等~强透水层,下部完整石膏岩裂隙、溶隙、溶穴不发育,为弱~微透水层,分析认为,石膏岩透水性主要受构造及风化程度影响。

③蓄水初期渗流量初步估算。根据坝址区勘察资料,库区河谷覆盖层埋深70~80m处,多分布低液限黏土层,为相对隔水层,渗漏段入口距KZH河谷约1.6km,受早期沉积环境影响,分析该段河谷同期沉积低液限黏土,为相对隔水层,对库水和下部石膏岩渗漏通道阻隔,下部渗径较长,渗流量相对较小,该隔水顶板为渗漏计算含水层底板。

采用SL373—2007《水利水电工程水文地质勘察规范》附录C中邻谷渗漏计算公式进行渗流量计算:

$$q=K \times (M_1+M_2) / 2 \times (H_1-H_2) / L$$

式中: q—单宽剖面的渗流量 [m³/(m·d)]; K—岩(土)体的渗透系数(m/d); M₁—水库岸边(入渗点)含水层厚度(m); M₂—邻谷岸边(排泄点)含水层厚度(m); H₁—水库水位(m); H₂—邻谷水位(m); L—平均渗径(m);

渗透系数的确定: 依据石膏岩钻孔压水试验资料,并根据C·库兹纳尔提出的渗透系数(K)与吕荣值(Lu)关系曲线图,石膏岩地层渗透系数K=1.0×10⁻³cm/s,考虑到本次勘探资料较少,临F₄断层石膏岩岩体较破碎,结合经验本次渗透系数取1.0×10⁻¹cm/s,即86m/d。

含水层厚度的确定: 上游入渗点含水层厚度95m,下游排泄点含水层厚度55m。

入渗点、排泄点水位的确定: 上游入渗点水位为库水位2405m,下游排泄点水位为2363m。

平均渗径的确定: 上部渗漏带上游入渗点至下游排泄点长度1200m。

渗漏带宽度的确定: 根据库区渗漏剖面,渗漏带宽度取300m。

对右岸库区渗流量进行计算,计算结果见表1。

由表1知: 假定理想状态下,渗漏带岩体相对均一,当渗透系

数平均值取 $1.0 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ 时,年渗漏量对应为2440万 m^3 。综合分析,溶隙、溶穴在裂隙、层面、构造影响带各处较发育,且深度、规模差异较大,但总体上向深部逐渐减弱。考虑到大的贯通性溶隙、溶洞分布的可能,渗漏量可能远大于该值。

④石膏岩溶蚀特征及水库运行期渗漏预测。石膏岩为泄湖相沉积岩,是化学沉积的产物,包括硬石膏(CaSO_4)和石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),两者常伴生。在自然条件特别是在一定埋深的情况下,石膏岩并不是纯净的,而是和碎屑沉积物或其他杂质共生,不同沉积环境不同石膏岩物理化学力学特征也不相同。石膏岩为可溶岩,遇水易溶蚀。工程区石膏岩主要为硬石膏,呈灰白、浅灰色,新鲜的石膏岩岩质较硬,高温加热后可变为白色,强度急剧变小,手可掰碎。据试验成果,新鲜的石膏岩饱和抗压强度43.8MPa,上部弱风化硬石膏岩饱和抗压强度10.3MPa。

该段石膏岩地层未发现大的溶洞,石膏岩体表面溶蚀现象相对严重,多为溶隙或溶穴,溶隙多充填土,溶穴直径一般5~20cm,据钻孔岩芯揭示,石膏岩岩石局部溶隙、溶穴发育,一般2~5cm,大者30cm,灰岩内局部亦可见溶隙发育,岸坡崩坡积石膏岩块表面多见溶穴分布,溶蚀作用强烈。

本阶段对石膏岩取样进行冲蚀试验,岩块试样在中心打孔(孔径3-4mm)(照片2-3),采用自来水、人工配置水溶液(根据河水硫酸根离子浓度配置),分别用恒定流速(0.5m/s、2m/s)进行冲蚀试验。

采用流速0.5m/s自来水进行冲蚀,66小时后孔径变为17-25mm(照片2-4),质量损失率为19-25%;采用流速2m/s自来水进行冲蚀,66小时后孔径变为27-31mm,质量损失率为26-34%;采用流速0.5m/s人工配置水溶液(模拟河水)进行冲蚀,66小时后孔径变为16-21mm,质量损失率为12-21%。试验表明石膏岩在动水环境下溶蚀速度较快,溶蚀速度随水流流速增大而变大,随水流硫酸根离子增大而变小。

综合分析,石膏岩溶蚀受裂隙发育程度、裂隙连通性控制,水库蓄水后,随着石膏岩的溶蚀,溶隙、溶穴将不断扩大,渗漏量将持续扩大。渗漏段设计处理方案为:对进口正常蓄水位以下采用岸坡防渗面板+河床防渗墙,面板以上岸坡覆盖层分布,建

议采取清除措施。

3 水库水体污染

据地质调查及地质测绘,水库区右岸局部分布石膏岩层,右岸冲沟口洪积扇堆积物中多含大量石膏岩块,水库区两岸广泛分布砂岩、泥岩地层,岩体层面、断层、卸荷带及节理裂隙内多夹有白色石膏脉(膜),两岸坡积物表面也可见到白色水溶盐析出,表明岩体中均含水溶盐。石膏岩成分主要为硫酸钙(CaSO_4),为中溶岩,遇水溶蚀后,造成库水 SO_4^{2-} 含量升高,属库水的污染源。

河水水质简分析结果表明,河水中 SO_4^{2-} 含量413.23~576.6mg/L,与水库区石膏岩有关,对下坝址右岸渗漏带石膏岩段取水样进行水质简分析结果表明,该渗漏带地下水中 SO_4^{2-} 含量2171.86~2907.98mg/L,远远大于河水中含量。水库蓄水后,库区分布的石膏岩及含石膏岩石,及冲沟口堆积的大量石膏岩块成为水质污染源,可能使库水中 SO_4^{2-} 含量增高,污染水质,并腐蚀水工建筑物及金属结构,建议采取防腐措施,并加强运行期的水质监测工作。

4 结论

下坝址虽然河谷相对狭窄,但右坝肩距区域性断裂较近,受其影响,右岸坝肩岩体破碎,透水性强,同时存在石膏岩层的水库渗漏、污染库水等问题,工程处理难度大、投资高。上坝址河谷宽阔,岩体相对完整,地质构造简单,工程地质条件明显优于下坝址。

[参考文献]

- [1]GB 50487-2008.水利水电工程地质勘察规范(2022年版)[S].北京:中国计划出版社,2023.
- [2]林仕祥.王甫洲水利枢纽坝基石膏岩溶蚀研究及处理对策[J].人民长江,2007,38(9):40-42.
- [3]洪文之.西宁石膏岩工程地质性质及对建筑物适宜性的探讨[J].青海地质,1999,(1):69-71.

作者简介:

孟凯歌(1989--),男,汉族,河南周口人,本科,工程师,从事水利水电工程地质工作。